

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2014»

ДЕВЯТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ИВАНОВО, 15 – 17 апреля 2014 г.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

**ТОМ 3
ЧАСТЬ 2**

ИВАНОВО

ИГЭУ

2014

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Девятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2014»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. Ч. 2. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014. – 244 с.

Помещенные в сборник тезисы докладов студентов и аспирантов электроэнергетического факультета Ивановского государственного энергетического университета отражают основные направления научной деятельности кафедр в области электроэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электроэнергетики.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

Члены оргкомитета: декан электроэнергетического факультета, к.т.н., профессор **А.Ф. СОРОКИН**, зав. кафедрой «Автоматическое управление электроэнергетическими системами», к.т.н., доцент **В.Д. ЛЕБЕДЕВ**, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники и электротехнологий», д.т.н., профессор **В.А. МАРТЫНОВ**, заместитель зав. кафедрой «Электрические станции и диагностика электрооборудования», к.т.н., доцент **В.М. ЛАПШИН**, зав. кафедрой «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика», к.т.н., доцент **В.Ф. ВОРОБЬЕВ**, зав. кафедрой «Электрические системы», к.т.н., доцент **А.Ю. МУРЗИН**, заместитель декана электроэнергетического факультета по научной работе к.т.н., доцент **А.В. МАКАРОВ**.

СЕКЦИЯ 16

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Председатель – д.т.н., профессор **Мартынов В.А.**

Секретарь – к.т.н., доцент **Сайкин М.С.**

И.Ю. Долгих, асп.;
рук. А.Н. Королёв, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Требования к качественным показателям индукционного нагрева во многом определяются технологическим процессом при его применении, а также используемыми режимами управления. В случае поверхностного нагрева определяющим является его глубина и температура поверхности изделия. При этом, подбирая режим работы, можно существенно влиять на технико-экономические и качественные показатели процесса.

При анализе тепловых процессов поверхностного нагрева распространено допущение о выделении основной тепловой энергии в поверхностном слое, равном глубине проникновения тока, определяемой выражением:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (1)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление нагреваемого изделия; μ – магнитная проницаемость нагреваемого изделия; f – частота питающего индуктор тока.

Это допущение позволяет получать аналитические зависимости для анализа тепловых процессов в нагреваемой поверхности. Однако для более качественной оценки процесса нагрева и охлаждения необходимо проводить послойный анализ их характеристик. При этом задача осложняется нелинейными зависимостями сопротивления металла при его нагреве, а также теплоёмкости и теплопроводности (рис. 1), которые с достаточной степенью точности могут быть учтены только при компьютерном моделировании. В связи с этим была разработана математическая модель послойного анализа тепловых и электрических процессов индук-

ционного нагрева плоской ферромагнитной поверхности. При этом были приняты следующие допущения:

- не учитываются структурные преобразования в стали при превышении температурой точки Кюри;
- охлаждение в окружающую среду в связи с малой поверхностью соприкосновения с ней нагреваемого слоя несопоставимо меньше отвода тепла в соседние слои через теплопроводность;
- удельное сопротивление нагреваемого металла, его теплоёмкость и теплопроводность характерны для всего слоя в целом.

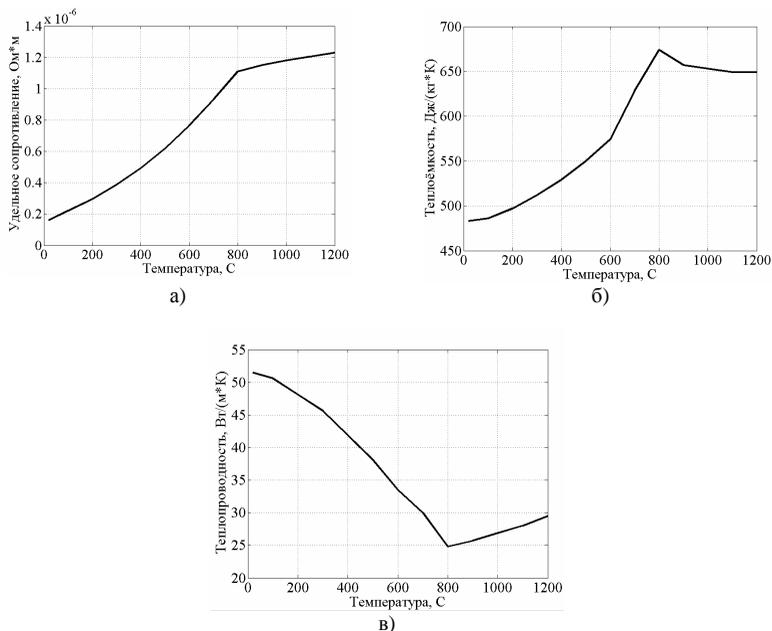


Рис. 1. Нелинейные зависимости параметров материала изделия от температуры: а – удельное электрическое сопротивление; б – теплоемкость; в – теплопроводность

Известно, что при индукционном нагреве действующее значение наводимого в изделии тока имеет максимальную величину на поверхности и изменяется по его глубине по экспоненциальному закону. Предложенная методика тепловых расчётов заключается в декомпозиции нагреваемого изделия на некоторое количество слоёв, каждый из которых нагревается своим током. При этом можно считать, что по каждому слою протекает постоянный ток, как это показано на рис. 2.

Рассмотрим математическую модель тепловых процессов для k -го слоя нагреваемого изделия. В общем случае k -й слой нагревается за счёт энергии, выделяемой в слое по закону Джоуля-Ленца

$$dQ_{Hk} = R_{Tk} I_k^2 \quad (2)$$

и энергии, поступающей в слой из предыдущего $(k-1)$ -го слоя

$$dQ_{II(k-1)} = k_{k(k-1)} S_{IIk(k-1)} (T_{(k-1)} - T_k) \cdot \quad (3)$$

В то же время указанный слой передаёт энергию в последующий $(k+1)$ -й слой:

$$dQ_{II(k+1)k} = k_{(k+1)k} S_{II(k+1)k} (T_k - T_{(k+1)}) \cdot \quad (4)$$

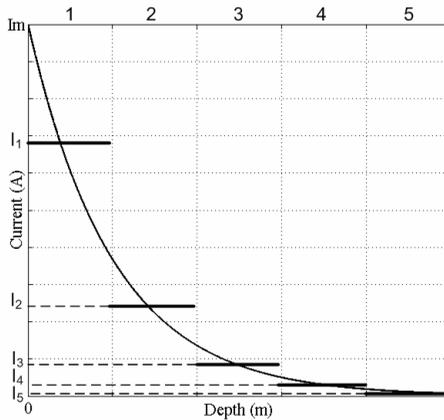


Рис. 2. Декомпозиция нагреваемого изделия по слоям

При этом, если k -й слой является первым, уравнение (3) исключается, а если последним – уравнение (4) принимает вид:

$$dQ_{IIck} = k_{Ck} S_{IIk} (T_k - T_C) \cdot \quad (5)$$

В приведённых уравнениях $k_{k(k-1)}$, $k_{(k+1)k}$ – коэффициенты теплопередачи от одного слоя к другому, которые могут быть приняты равными теплопроводности слоёв; $S_{IIk(k-1)}$, $S_{II(k+1)k}$ – площади соприкосновения слоёв; k_{Ck} – коэффициент теплопередачи от слоя к окружающей среде; S_{IIk} – площадь соприкосновения слоя с окружающей средой.

Сопротивление слоя R_{T_k} , по которому протекает электрический ток, определяется в соответствии с выражением (6):

$$R_{T_k} = \rho_{T_k} \frac{l_{C_k}}{S_{C_k}}, \quad (6)$$

где ρ_{T_k} – удельное сопротивление материала слоя изделия, зависящее от его температуры; l_{C_k} – длина слоя изделия; S_{C_k} – поперечное сечение слоя изделия.

Повышающая температуру энергия определяется выражением:

$$dQ_{I_k} = m_k C_k dT_k, \quad (7)$$

где m_k – масса слоя; C_k – теплоёмкость материала слоя изделия, нелинейно зависящая от температуры.

Таким образом, учитывая, что

$$dQ_{I_k} = dQ_{I_{k-1}} + dQ_{I_{k(k-1)}} - dQ_{I_{(k+1)k}}, \quad (8)$$

совмещая указанные уравнения, имеем в операторной форме:

$$T_k = (R_{T_k} I_k^2 + k_{k(k-1)} S_{I_{k(k-1)}} (T_{(k-1)} - T_k) - k_{(k+1)k} S_{I_{(k+1)k}} (T_k - T_{(k+1)})) \frac{1}{m_k C_k s}. \quad (9)$$

Структурная схема k -го слоя модели представлена на рис. 3.

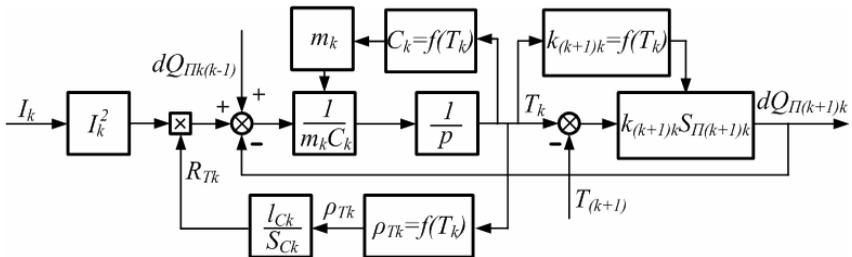


Рис. 3. Структурная схема модели тепловых процессов k -го слоя нагреваемого изделия

На рис. 4 представлены результаты динамики послыонного нагрева изделия.

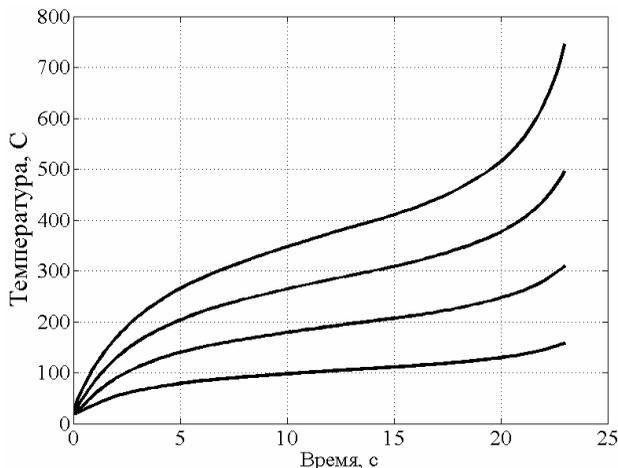


Рис. 4. Динамика послойного нагрева изделия

Проведённые с помощью модели исследования показали, что индукционный нагрев слоёв существенно отличается по величине и темпу. Естественно они зависят от величины и частоты тока в нагреваемом изделии. В связи с этим модель может быть использована для оптимизации технологического процесса по критериям его требуемого качества.

В.В. Волков, студ., И.Ю. Долгих, асп.;
рук. А.Н. Королёв, к.т.н., доцент,
А.С. Орлов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА В ПРОГРАММЕ ELCUT

Главной особенностью индукционного нагрева является выделение тепла непосредственно в обрабатываемом металле. При этом реализуется возможность значительной концентрации электрической энергии в небольшом объеме нагреваемого металла. Важными преимуществами индукционного нагрева является его высокая скорость, обеспечивающая высокую производительность, и экологичность, связанная с отсутствием продуктов горения. В то же время изготовление индуктора особой формы позволяет обеспечить равномерный нагрев деталей сложной конфигурации.

В связи со сложностью электромагнитных процессов, происходящих при индукционном нагреве, наиболее рациональным методом их исследования является компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов. В работе представлены результаты моделирования индукционного нагрева плоским индуктором в программе ELCUT.

Основной задачей выполненного моделирования является исследование характеристик индукционного нагрева при переменных параметрах. При этом с точки зрения оптимизации процесса индукционного нагрева наибольший интерес представляют:

– определение характера зависимости тепловыделения в заготовке при заданной частоте от зазора между индуктором и заготовкой;

– расчёт зависимости тепловыделения в заготовке от величины удельного сопротивления её материала в соответствии с изменением температуры;

– исследование частотных характеристик тепловыделения в заготовке.

Геометрия разработанной модели индукционного нагрева, представленная на рис. 1, включает в себя плоский индуктор – 1, по которому пропускается ток, нагреваемое изделие – 2, воздушный зазор между индуктором и изделием – 3 и расчётную область – 4 с заданными граничными значениями. Исходными данными для расчёта помимо входного тока в индукторе являются параметры используемых материалов: удельное сопротивление медного индуктора и стального нагреваемого изделия, а также его магнитная проницаемость.

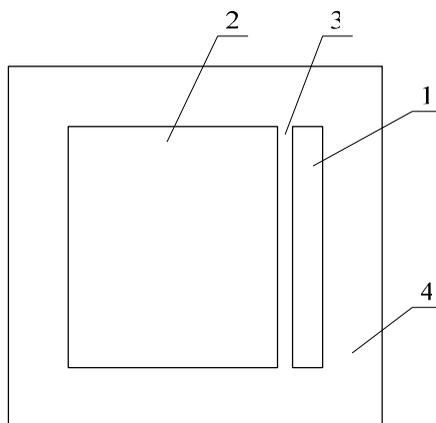


Рис. 1. Геометрия модели индукционного нагрева: 1 – индуктор; 2 – нагреваемое изделие; 3 – зазор между индуктором и изделием; 4 – расчётная область

Картина распределения магнитного поля в расчётной зоне, представленная на рис. 2, показывает на его концентрацию в поверхностном слое нагреваемого изделия, что при переменном токе приводит к его интенсивному нагреву.

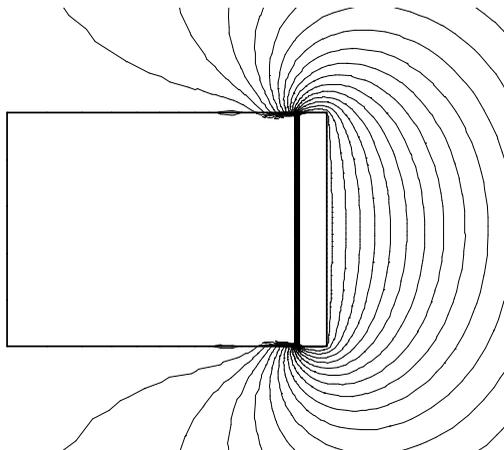


Рис. 2. Распределение магнитного поля в расчётной зоне

График изменения тепловыделения в изделии при принятой частоте $f = 20$ кГц, полученный путём варьирования величины зазора между индуктором и изделием, показан на рис. 3. Представленная зависимость указывает на существенное снижение тепловыделения на поверхности нагреваемого изделия при увеличении зазора, что ставит задачу по его минимизации при разработке установок индукционного нагрева.

В процессе нагрева стального изделия происходит изменение его удельного сопротивления и магнитной проницаемости. При этом при увеличении температуры до точки Кюри, соответствующей структурным преобразованиям в стали, магнитная проницаемость меняется незначительно, в то время как при переходе этой точки происходит резкий скачок её величины до 1. Поэтому при исследовании индукционного нагрева стального изделия до точки магнитных превращений изменение магнитной проницаемости можно не учитывать, и наибольший интерес в этом случае представляет зависимость тепловыделения от удельного сопротивления заготовки, представленный на рис. 4. Анализ результатов моделирования показывает на значительное повышение тепловыделения при повышении температуры изделия, что важно при разработке системы управления установками индукционного нагрева.

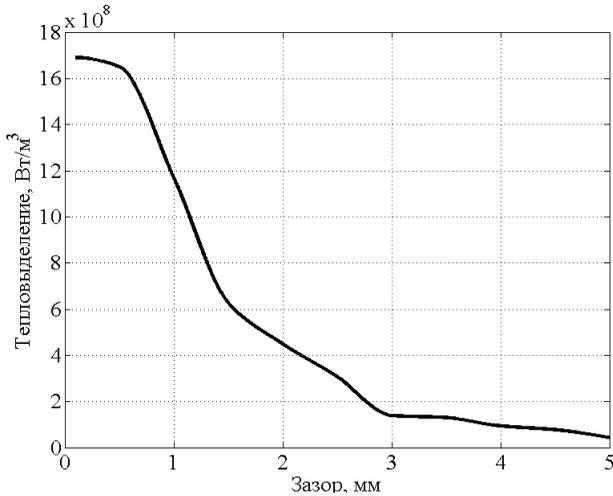


Рис. 3. Зависимость тепловыделения в изделии от величины зазора

График изменения тепловыделения в заготовке от частоты тока в индукторе, полученный при постоянной величине воздушного зазора $\delta = 5$ мм, принятым в связи с требованием тепловой изоляции индуктора от изделия, представлен на рис. 5.

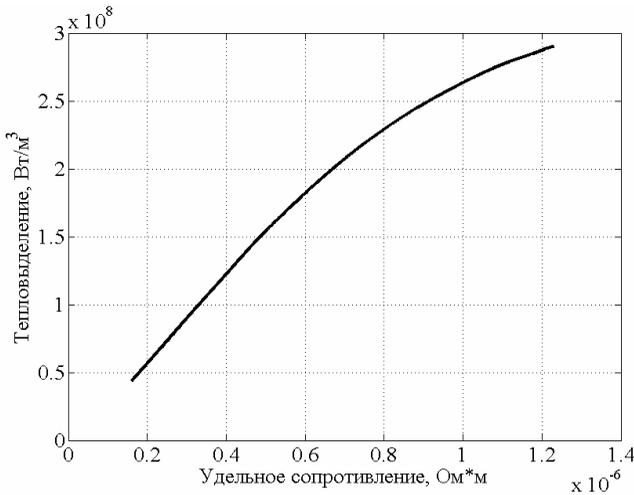


Рис. 4. Зависимость тепловыделения от величины удельного сопротивления

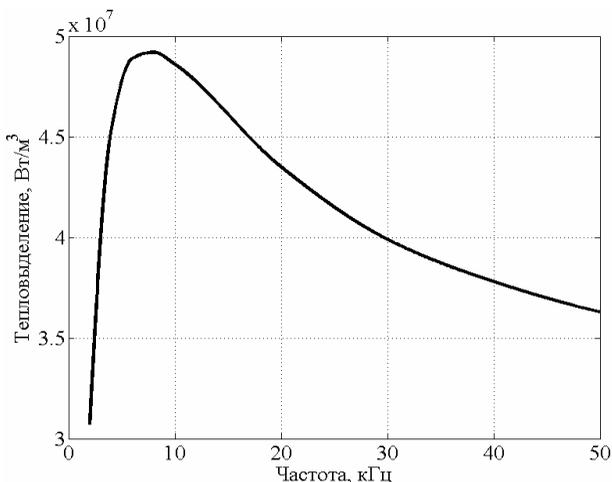


Рис. 5. Зависимость тепловыделения от частоты тока

Приведённая зависимость показывает, что для каждой системы индуктор-изделие существует оптимальная частота нагрева, которая для данного случая составляет около 8 кГц.

В целом полученные при моделировании результаты могут быть использованы для оптимизации конструкции индукторов и при разработке системы управления индукционным нагревом для заданного электротехнологического процесса.

*Е.С. Зайцев, асп.; рук В.Д. Лебедев, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНОГО БРОНИРОВАННОГО КАБЕЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЁТОМ ПРОВОДИМОСТИ БЕСКОНЕЧНОГО ГРУНТА

При расчётах несимметричных режимов работы подземных кабельных линий, в том числе, токов короткого замыкания на землю, необходимо учитывать влияние проводимости грунта на продольные электрические параметры кабелей. В литературе [1] авторы предлагают рассчитывать матрицу продольных сопротивлений коаксиального бронированного

кабеля находящегося в бесконечном проводящем грунте на основе электромагнитной теории коаксиальных линий передачи и цилиндрических оболочек С.А. Щелкунова [2].

В настоящее время для анализа тепловых режимов работы кабелей стало возможным совместное решение дифференциальных уравнений электромагнитного поля и теплопроводности путём применения метода конечных элементов [3], реализованного в различных программных комплексах (COMSOL Multiphysics, ANSYS, ELCUT). Для учёта влияния проводимости бесконечного грунта на электромагнитное и тепловое поле кабеля авторы данной работы предлагают применить теорию, изложенную в [1, 2] для формирования граничных условий при решении полевых задач методом конечных элементов.

Рассмотрим коаксиальный бронированный кабель, находящийся в бесконечном проводящем грунте (рис. 1.). Матрица продольных сопротивлений такого кабеля связывает падения напряжений вдоль проводящих элементов конструкции кабеля и грунта ($U_{ж}, U_{э}, U_{б}, U_{г}$) с токами ($I_{ж}, I_{э}, I_{б}, I_{г}$) в этих элементах и грунте (рис. 2) в соответствии с уравнением:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{ж} \\ \dot{U}_{э} \\ \dot{U}_{б} \\ \dot{U}_{г} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_{ж,ж} & \underline{Z}_{ж,э} & \underline{Z}_{ж,б} & \underline{Z}_{ж,г} \\ \underline{Z}_{э,ж} & \underline{Z}_{э,э} & \underline{Z}_{э,б} & \underline{Z}_{э,г} \\ \underline{Z}_{б,ж} & \underline{Z}_{б,э} & \underline{Z}_{б,б} & \underline{Z}_{б,г} \\ \underline{Z}_{г,ж} & \underline{Z}_{г,э} & \underline{Z}_{г,б} & \underline{Z}_{г,г} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ж} \\ \dot{I}_{э} \\ \dot{I}_{б} \\ \dot{I}_{г} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

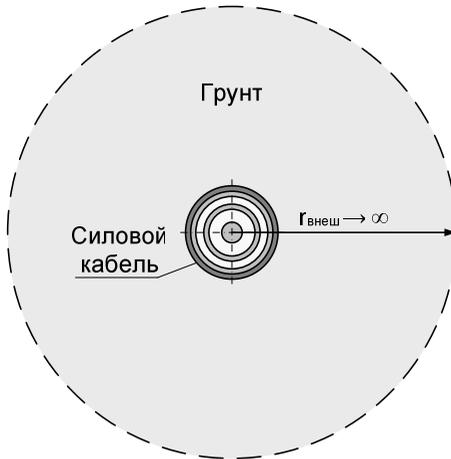


Рис. 1. Силовой коаксиальный кабель в бесконечном грунте

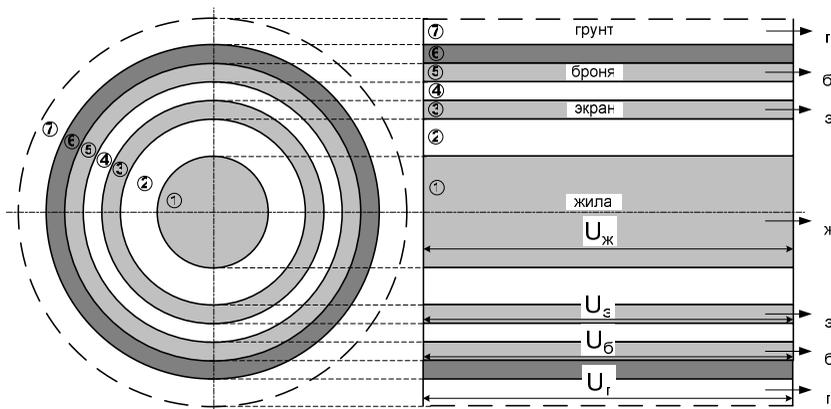


Рис. 2. Продольные токи и напряжения в проводящих элементах конструкции кабеля

Элементы матрицы продольных сопротивлений в соответствии с [1, 2] определяются по следующим формулам:

$$\underline{Z}_{ж,ж} = \underline{Z}_{b1} + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_{a3} - 2\underline{Z}_{ab3} + \underline{Z}_{b3} + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_{a5} - 2\underline{Z}_{ab5} + \underline{Z}_{b5} + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_{a_{-2}} - 2\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (1)$$

$$\underline{Z}_{ж,э} = -\underline{Z}_{ab3} + \underline{Z}_{b3} + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_{a5} - 2\underline{Z}_{ab5} + \underline{Z}_{b5} + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_{a_{-2}} - 2\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (2)$$

$$\underline{Z}_{б,ж} = -\underline{Z}_{ab5} + \underline{Z}_{b5} + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_{a_{-2}} - 2\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (3)$$

$$\underline{Z}_{э,э} = -\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (4)$$

$$\underline{Z}_{э,э} = \underline{Z}_{b3} + \underline{Z}_4 + \underline{Z}_{a5} - 2\underline{Z}_{ab5} + \underline{Z}_{b5} + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_{a_{-2}} - 2\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (5)$$

$$\underline{Z}_{э,ж} = \underline{Z}_{ж,э}; \quad \underline{Z}_{э,б} = \underline{Z}_{ж,б}; \quad \underline{Z}_{э,э} = \underline{Z}_{ж,э}; \quad (6)$$

$$\underline{Z}_{б,б} = \underline{Z}_{b5} + \underline{Z}_6 + \underline{Z}_{a_{-2}} - 2\underline{Z}_{ab_{-2}} + \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (7)$$

$$\underline{Z}_{б,ж} = \underline{Z}_{ж,б}; \quad \underline{Z}_{б,э} = \underline{Z}_{э,б}, \quad \underline{Z}_{б,э} = \underline{Z}_{ж,э}; \quad (8)$$

$$\underline{Z}_{э,э} = \underline{Z}_{b_{-2}} + \underline{Z}_2^{\infty}; \quad (9)$$

$$\underline{Z}_{э,ж} = \underline{Z}_{ж,э}; \quad \underline{Z}_{э,э} = \underline{Z}_{э,э}; \quad \underline{Z}_{э,б} = \underline{Z}_{б,э}. \quad (10)$$

где $\underline{Z}_{a(3,5,r)}$ – внутреннее поверхностные сопротивления цилиндрических проводников 3, 5 и грунта, Ом/м; $\underline{Z}_{b(1,3,5,r)}$ – внешние поверхностные сопротивления цилиндрических проводников 1, 3, 5 и грунта Ом/м; $\underline{Z}_{ab(3,5,r)}$ – внутренние поверхностные сопротивления цилиндрических проводников 3, 5 и грунта, Ом/м; $\underline{Z}_{2,4,6}$ – сопротивления изоляционных слоёв 2, 4 и 6, Ом/м; \underline{Z}_r^∞ – сопротивление бесконечного грунта, Ом/м.

Сопротивления, указанные в последних выражениях, определяют по формулам:

$$\underline{Z}_{b1} = \frac{\underline{\sigma}_1}{2\pi r_1 \gamma_1} \cdot \frac{J^0(\underline{\sigma}_1 r_1)}{J^1(\underline{\sigma}_1 r_1)}; \quad (11)$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{j\omega\mu_a}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}; \quad (12)$$

$$\underline{Z}_{a3} = \frac{\underline{\sigma}_3}{2\pi r_2 \gamma_3} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_3 r_3) I^0(\underline{\sigma}_3 r_2) + I^1(\underline{\sigma}_3 r_3) K^0(\underline{\sigma}_3 r_2)}{K^1(\underline{\sigma}_3 r_2) I^1(\underline{\sigma}_3 r_3) - I^1(\underline{\sigma}_3 r_2) K^1(\underline{\sigma}_3 r_3)}; \quad (13)$$

$$\underline{Z}_{ab3} = \frac{\underline{\sigma}_3}{2\pi r_3 \gamma_3} \cdot \frac{I}{K^1(\underline{\sigma}_3 r_2) I^1(\underline{\sigma}_3 r_3) - I^1(\underline{\sigma}_3 r_2) K^1(\underline{\sigma}_3 r_3)}; \quad (14)$$

$$\underline{Z}_{b3} = \frac{\underline{\sigma}_3}{2\pi r_3 \gamma_3} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_3 r_2) I^0(\underline{\sigma}_3 r_3) + I^1(\underline{\sigma}_3 r_2) K^0(\underline{\sigma}_3 r_3)}{K^1(\underline{\sigma}_3 r_2) I^1(\underline{\sigma}_3 r_3) - I^1(\underline{\sigma}_3 r_2) K^1(\underline{\sigma}_3 r_3)}; \quad (15)$$

$$\underline{Z}_4 = \frac{j\omega\mu_a}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_4}{r_3}; \quad (16)$$

$$\underline{Z}_{a5} = \frac{\underline{\sigma}_5}{2\pi r_4 \gamma_5} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_5 r_5) I^0(\underline{\sigma}_5 r_4) + I^1(\underline{\sigma}_5 r_5) K^0(\underline{\sigma}_5 r_4)}{K^1(\underline{\sigma}_5 r_4) I^1(\underline{\sigma}_5 r_5) - I^1(\underline{\sigma}_5 r_4) K^1(\underline{\sigma}_5 r_5)}; \quad (17)$$

$$\underline{Z}_{ab5} = \frac{\underline{\sigma}_5}{2\pi r_5 \gamma_5} \cdot \frac{I}{K^1(\underline{\sigma}_5 r_4) I^1(\underline{\sigma}_5 r_5) - I^1(\underline{\sigma}_5 r_4) K^1(\underline{\sigma}_5 r_5)}; \quad (18)$$

$$\underline{Z}_{b5} = \frac{\underline{\sigma}_5}{2\pi r_5 \gamma_5} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_5 r_4) I^0(\underline{\sigma}_5 r_5) + I^1(\underline{\sigma}_5 r_4) K^0(\underline{\sigma}_5 r_5)}{K^1(\underline{\sigma}_5 r_4) I^1(\underline{\sigma}_5 r_5) - I^1(\underline{\sigma}_5 r_4) K^1(\underline{\sigma}_5 r_5)}; \quad (19)$$

$$\underline{Z}_6 = \frac{j\omega\mu_a}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_6}{r_5}; \quad (20)$$

$$\underline{Z}_{a-z} = \frac{\underline{\sigma}_z}{2\pi r_z \gamma_z} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}}) I^0(\underline{\sigma}_z r_6) + I^1(\underline{\sigma}_z r_5) K^0(\underline{\sigma}_z r_4)}{K^1(\underline{\sigma}_z r_6) I^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}}) - I^1(\underline{\sigma}_z r_6) K^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}; \quad (21)$$

$$\underline{Z}_{ab-z} = \frac{\underline{\sigma}_z}{2\pi r_6 r_{\text{внеш}} \gamma_z} \cdot \frac{I}{K^1(\underline{\sigma}_z r_6) I^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}}) - I^1(\underline{\sigma}_z r_6) K^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}; \quad (22)$$

$$\underline{Z}_{b-z} = \frac{\underline{\sigma}_z}{2\pi r_{\text{внеш}} \gamma_z} \cdot \frac{K^1(\underline{\sigma}_z r_6) I^0(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}}) + I^1(\underline{\sigma}_z r_6) K^0(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}{K^1(\underline{\sigma}_z r_6) I^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}}) - I^1(\underline{\sigma}_z r_6) K^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}; \quad (23)$$

$$\underline{Z}_z^\infty = \frac{\underline{\sigma}_z}{2\pi r_{\text{внеш}} \gamma_z} \cdot \frac{K^0(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}{K^1(\underline{\sigma}_z r_{\text{внеш}})}, \quad (24)$$

где $\underline{\sigma}_{(1,3,5,z)} = \sqrt{j\omega\mu_a\gamma_{(1,3,5,z)}}$ – эквивалентная комплексная глубина проникновения проводников 1, 3, 5 и грунта, м⁻¹; $I^0(x)$, $I^1(x)$ – модифицированные функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка соответственно; $K^0(x)$, $K^1(x)$ – модифицированные функции Бесселя второго рода нулевого и первого порядка соответственно; $r_{1,2,3,4,5,6}$ – радиусы соответствующих слоёв конструкции кабеля, м; $r_{\text{внеш}}$ – радиус внешней границы расчёта, м; $\gamma_{(1,3,5,r)}$ – проводимости проводников 1, 3, 5 и грунта, См/м; μ_a – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; ω – угловая частота тока, рад/с;

В тематическом разделе Perpendicular Induction Currents, Vector Potential программы COMSOL Multiphysics существует несколько видов граничных условий для внешней границы модели. Среди них есть такое, при котором необходимо задавать поверхностную плотность тока (surface current). Это условие сопровождается уравнением:

$$-\bar{n} \times \bar{H} = \bar{J}_{sz}, \quad (22)$$

где \bar{n} – нормальный вектор к внешней границе; \bar{H} – вектор напряжённости магнитного поля, А/м; \bar{J}_{sz} – z-компонента вектора плотности тока на границе, А/м. В уравнении (2.36) \bar{J}_{sz} и является входным задаваемым параметром, причём, по размерности он совпадает с напряжённостью (А/м).

Для этого вида граничных условий с помощью теории С.А. Щелкунова можно выразить комплекс \bar{J}_{sz} по закону полного тока, определив суммарный ток путём сложения элементов матрицы [I] из уравнения (1), при условии, что элементы матрицы [U] являются входными параметрами:

$$[I] = [Z]^{-1} [U], \quad (23)$$

тогда

$$j_{sz} = \frac{(i_{ж} + i_{з} + i_{о} + i_{с})}{2\pi r_{внеш}}. \quad (24)$$

Применение данной методики при формировании граничных условий позволит решить задачу по расчёту электромагнитного поля коаксиального кабеля, находящегося в бесконечном массиве проводящего грунта методом конечных элементов однозначно. При этом результат решения не будет зависеть от выбора значения радиуса внешней границы расчёта.

Библиографический список

1. **CIGRE** Technical Brochure 531 :Cable Systems Electrical Characteristics, 2013.
2. **Schelkunoff S.A.** The electromagnetic theory of coaxial transmission lines and cylindrical shields // Bell system technical journal. – 1934. – N 13.
3. **Титков В.В.** К оценке теплового режима трехфазной линии из СПЭ-кабеля. // Кабель-news. – № 10 (октябрь). – 2009. – С. 47 – 51.

УДК 621.327.9

А.А. Низамеев, студ.;
рук. А.И. Рудаков, д.т.н., профессор
(КГЭУ, г. Казань)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ – КАК МЕРОПРИЯТИЕ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Существует множество проблем, связанных с сбережением и рациональным использованием электричества. Современная энергетика заботится о снижении потерь в области распределения и передачи энергии, в частности в области освещения. Так как качество электроэнергии не может пока еще достигнуть высоких показателей, то она влияет на правильную работу и срок службы светового оборудования. Именно поэтому повсеместно применяются мероприятия по замене старых источников света с лампами накаливания, на более новые. В основном на люминесцентные лампы, энергосберегающие лампы, и светодиодные лампы. Но как показывает практика, в них имеются ряд недостатков. К примеру светодиод-

ные лампы значительно дороже люминесцентных, а люминесцентные не могут работать в течение гарантированного срока службы из-за перебоев, и начинают мерцать. Можно смело утверждать, что решение еще не найдено. Сравнивая особенности индукционного освещения с применяемыми для наружного и промышленного освещения светильниками с натриевыми ДНаТ и ртутными ДРЛ-лампами. Самым заметным преимуществом является срок службы индукционной лампы, который на порядок превышает показатели натриевых и ртутных ламп. Такой длительный срок без замены значительно сокращает эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием, стоимостью закупки и расходами на логистику.

Индукционные лампы имеют излучение, приближенное к солнечному спектру, и обладают высокой светоотдачей. Технологии их производства, которые базируются на явлении электромагнитной индукции и газовом разряде, позволяют производить лампы со светоотдачей выше 80 лм/Вт, а в перспективе этот параметр может достичь еще более высоких значений. К преимуществам индукционных ламп можно отнести отсутствие пульсаций и стробоскопического эффекта за счет использования качественного электронного балласта, создающего ток с рабочей частотой 190 – 250 кГц. Мгновенный запуск индукционной лампы способствует снижению потерь электричества и позволяет разрабатывать системы освещения с применением датчиков движения и уровня освещенности. В отличие от традиционных источников наружного освещения индукционные светильники устойчивы к низким температурам, ударам, снижению напряжения. При их включении в электросетях не возникают перегрузки из-за больших пусковых токов.

Доказательство выгоды применения индукционного освещения - как мероприятие по экономии электрической энергии.

Благодаря индукционному принципу работы энергия, которую выделяет лампа, расходуется на освещение, а не на ее нагрев, и это позволяет сократить энергозатраты до 70 %. При одинаковой освещенности индукционная лампа потребляет электроэнергию на 30 – 50 % меньше, чем металлогалогенная лампа, и на 40 – 60 % меньше, чем натриевая лампа.

Расчет экономии электроэнергии, путем замены люминесцентных ламп на индукционные, на примере МБДОУ Батагайский детский сад "Кунчээн" № 5 муниципального района "Усть-Алданский улус (район)" Республики Саха (Якутия) [2].

Потребление электроэнергии люминесцентными лампами: 60 люминесцентных ламп по 40 Вт, (при работе учреждения 240 дней в год по 10 часов) потребляют 5760 кВт в год. 1 кВт = 4,44 руб.

$$W = q \cdot P = 60 (\text{л}) \cdot 40 (\text{Вт}) = 2,4 (\text{кВт}) , [3].$$

где q – количество ламп, P – мощность одной лампы, W – мощность всех ламп.

$$H = W \cdot D \cdot T = 2.4 \text{ (кВт)} \cdot 240 \text{ (д)} \cdot 10 \text{ (ч)} = 5760 \text{ (кВтч)},$$

где D – количество дней работы, T – количество часов работы, H – годовое потребление всех ламп.

$$S = H \cdot F = 5760 \text{ (кВтч)} \cdot 4,44 \left(\frac{\text{руб}}{\text{кВтч}} \right) = 24574,4 \text{ руб.},$$

где F – фиксированное значение тарифа на электроэнергию за 2014 год.

Срок службы 1 лампы = 6000 часов = 2,5 года (для данного случая).

Стоимость люминесцентных ламп 60 л = 1800 руб. (30 руб. за 1 шт).

При использовании индукционных ламп. Возможно два варианта.

1) 20 л x 40 Вт = 0,8 кВт

0,8 кВт x 2400 = 1920 кВтч

1920 x 4,44 = 8524,8 руб.

2) 20 л x 20 Вт = 0,4 кВт

0,4 x 2400 = 0,96 кВтч

0,96 x 4,44 = 4262,4 руб.

Срок службы 1 индукционной лампы = 100000 часов = 41,66 лет (для данного случая). Стоимость индукционных ламп 20 л по 40 Вт = 36000 руб. (1800 руб. за 1 шт).

20 л по 20 Вт = 14000 руб. (700 руб. за 1 шт)

1 индукционная лампа заменяет по сроку службы 16,6 = 17 люминесцентных ламп.

Вывод: Чтобы обе лампы проработали 42 года или 100000 часов, необходимо 20 инд. Л или 999,95 = 100 люм. л в стоимостном выражении 14000 руб. или 30000 руб. затратить на покупку ламп, плюс к этому также будут затраты на пускорегулирующее(балласт) оборудование:

-инд. л. затраты = 400 руб. за светильник, так как многие идут со встроенным балластом. 10 светильников по 2 лампы, 4000 руб. Итого 14000 + 4000 = 18000 руб.;

- люм. л. затраты = 200 руб. за 1 светильник, 50000 руб. за 1000 л (из расчета 250 светильников, т.е с светильник по 4 л. = 1000 л). Итого 80 тыс. руб.

При длительной работе он не растрескивается вокруг электродов, и материал электрода по мере свечения не осажается на поверхности баллона. Поэтому даже после непрерывной работы индукционные лампы долго сохраняют уровень светового потока 80 – 90 % от первоначального.

Для сравнения, люминесцентные лампы дневного света теряют к концу срока службы до 50 – 60 % первоначальной яркости, то есть имеют световой поток на уровне 40 % от заявленного изначально. На их баллонах образуются черные непрозрачные круги вдоль поверхности и вокруг электродов.

Библиографический список

1. **Энергетический** паспорт № СРО-Э-0058-74-О, приложение 10, стр. 12.
2. **А.А. Федорова**, Г.В. Сербиновского Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под общ. ред. Т. П. М.: Госэнергоиздат, 1963. – 251 с.
3. **Федоров А.А.**, Старков Л. Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 47 с.
4. **Правила** устройства электроустановок. 7-е изд. – 2002. – 15 с.
5. **В.Г. Герасимов** и др. Электротехнический справочник / Под общ. ред. профессоров МЭИ,. 8-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 145 с.

*М.Ф. Низамиев, Р.Р. Гибадуллин, аспиранты;
рук. И.В. Ившин, д.т.н., профессор
(КГЭУ г. Казань)*

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ОПОРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Большую роль в безотказной работе выключателей и разъединителей играет фарфоровая изоляция. В разъединителях это опорные стержневые изоляторы (ОСИ), а в выключателях фарфоровые покрышки. Поломки опорных фарфоровых изоляторов разъединителей, фарфоровых покрышек воздушных выключателей приводят к отключению потребителей, к несчастным случаям. Дефекты фарфоровой изоляции возникают вследствие воздействия внешних факторов (влага, перепады температур, механические нагрузки) и внутренних факторов (нарушение технологии изготовления и качество исходных материалов). Одним из эффективных способов предупреждения возникновения внутренних и внешних дефектов изоляторов является их выявление на ранней стадии изготовления и эксплуатации.

В настоящее время для контроля механического состояния опорно-стержневых фарфоровых изоляторов высоковольтной коммутационной аппаратуры в условиях эксплуатации получило распространение множество методов, значительно отличающихся по своей методической сущности и аппаратной реализации.

Существующие методы контроля технического состояния и диагностики ОСИ (визуальный контроль, ультразвуковая импульсная дефекто- и структурометрия, метод акустической эмиссии, метод фуксиновой пробы под давлением и др.) имеют свои недостатки. Одним из главных недостатков данных методов заключается в необходимости отключения и вывода из эксплуатации ОСИ. В отличие от других методов, метод свободных колебаний с использованием бесконтактных виброметров позволяет контролировать техническое состояние изоляторов, находящихся под напряжением.

Использование лазерных виброметров LV-2 позволит производить измерения колебаний в исследуемых точках изоляторов на расстоянии до 5 метров, а также исключить влияние помех и многочисленных шумов. Принцип действия лазерного виброметра заключается в сложении отраженного от объекта оптического сигнала, несущего информацию о колебательной скорости объекта, с излучаемым гетеродинным оптическим сигналом (рис. 1).

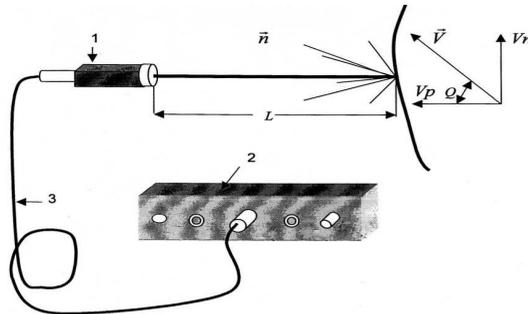


Рис. 1. Принцип действия лазерного преобразователя: 1 – лазерный виброметр, 2 – электронный блок, АЦП, 3 – соединительный кабель, n – направление лазерного луча, L – расстояние до объекта, V – вектор виброскорости; Vp – проекция виброскорости на направление лазерного луча; Vn – ортогональная лучу проекция виброскорости

Принцип действия основан на измерении сдвига частоты $\Delta F(t)$ лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом со скоростью $V(t)$ (эффект Доплера):

$$\Delta F(t) = 2 \times \frac{\dot{\Gamma} \ddot{\Gamma}}{V(t) \times n} + \Omega = 2 \times \left| \frac{\dot{\Gamma} \ddot{\Gamma}}{V(t)} \right| \cos(Q) + \Omega,$$

где $\lambda = 0,78$ мкм – длина волны лазерного излучения, $V(t)$ – вектор виброскорости, n – направление лазерного луча, Q – угол между $V(t)$ и направлением лазерного луча, Ω – постоянный сдвиг частоты рассеянного излучения, формируемый оптоэлектронной схемой прибора.

Измерение производится с помощью оптического гетеродина и частотного детектора, напряжение на выходе которого, пропорционально $\Delta F(t) - \Omega$.

Основные параметры преобразователя:

- частотный диапазон – от 2 до 30 кГц;
- диапазон измеряемых виброскорости до 400 мм/сек;
- динамический диапазон – не менее 70 дБ;
- расстояние до объекта от 0,5 до 5 метров;
- чувствительность 25 мВ/(мм/с).

В основе принципа работы измерительно-диагностического комплекса (ИДК) лежит так называемый интегральный метод свободных колебаний. Использование этого метода предполагает анализ изменения спектра затухающих акустических колебаний (мод) при наличии в теле фарфорового изолятора дефекта (трещины, полости, пористости). Спектр свободных затухающих колебаний зависит от следующих параметров:

- конфигурации (формы) изделия;
- геометрических размеров изделия (длины, высоты, ширины);
- материала, из которого сделано изделие;
- наличия в нем внутренних дефектов (трещины, полости, наличие пор, посторонние включения).

Любое изменение вышеперечисленных параметров приводит к изменению спектра затухающих акустических колебаний (акустических мод). Другими словами, в двух совершенно одинаковых внешне изделиях спектры затухающих акустических колебаний могут сильно отличаться друг от друга, если одно из изделий имеет внутренний дефект. При наличии приборного оснащения (соответствующей аппаратуры) эти изменения могут быть зафиксированы и расшифрованы. Определяются типы изменений спектра затухающих акустических колебаний в диагностируемом изделии и сопоставляются с определенными типами дефектов, имеющихся в этом изделии [2].

Схема ИДК представлена на рис. 2. В качестве чувствительных элементов используются лазерные виброметры. Сигналы от лазерного преобразователя поступают на многофункциональный модуль ввода-вывода, откуда оцифрованные данные передаются на персональный компьютер, с установленным программным обеспечением.

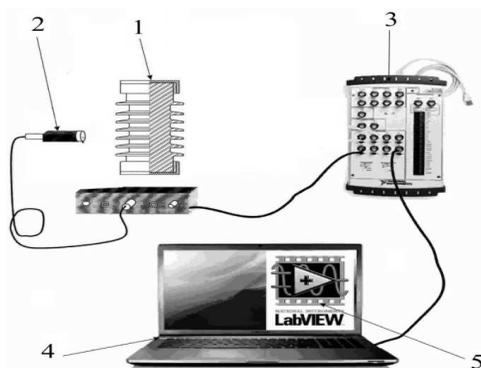


Рис. 2 Схема измерительно-диагностического комплекса: 1 – объект исследования, 2 – лазерный виброметр, 3 – многофункциональный модуль ввода-вывода, 4 – персональный компьютер; 5 – программное обеспечение National Instruments

Записанный в цифровой форме сигнал будет преобразовываться в амплитудный спектр с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье или в скейлограммы с использованием Вейвлет преобразований. Процедуры преобразований могут быть реализованы с помощью программного обеспечения, разработанного в среде графического программирования LabVIEW. Программное обеспечение LabVIEW представляет собой достаточно гибкий и модульный инструмент для того, чтобы обрабатывать полученные измерения, начиная от сбора данных, вплоть до вывода результата [3].

При формировании спектра (скейлограммы) исправной ОСИ, предполагается использовать метод робастного взвешивания. Данный метод заключается в итерационной оценке, начальным приближением которой является медиана, а при уточнении «вес» каждого из входных значений зависит от его невязки относительно текущего значения оценки, нормированной робастной оценкой разброса невязок, и вычисляется с использованием известной в статистике биквадратной весовой функции Тьюки.

Для анализа полученных и преобразованных сигналов используется комплекс способов тестовой и функциональной диагностики, на который получен патент на изобретение [4].

Комплекс с высокой степенью вероятности позволяет выявлять наличия в ОСИ внутренних дефектов, в том числе невидимые трещины в фарфоре изолятора, расположенные ниже верхней кромки нижнего фланца изолятора.

Библиографический список

1. **Шейкин А.А.** Контроль качества изделий из высоковольтного электрофарфора на производстве. Сборник материалов 2-го семинара “Диагностика технического состояния фарфоровых изоляторов высоковольтных коммутационных аппаратов”, М., ВНИИЭ, 27 – 29 октября 1999 г.

2. **Ившин И.В.** Информационно-измерительная система для контроля технического состояния работающих механизмов по параметрам вибрации./ Саитбаталова Р.С., Ваньков Ю.В., Гаврилов В.А., Мифтахова Н.К. // Известия вузов. Проблемы энергетики. – № 3 – 4. Казань: КГЭУ, 2012. – С.128 – 135.

3. **Ившин И.В.** Программа для ЭВМ «Gear Detector». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008611249 от 13.03.2008 г.

4. **Ившин И.В.** Способ контроля дефектности изделий / Кочергин А.В., Владимиров О.В., Ваньков Ю.В. и др., Патент на изобретение № 2334225 от 20.09

И.С. Снитко, асп.;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗКИ

Одним из важных направлений в теории измерительных трансформаторов является учет динамических процессов, которые возникают при изменении параметров как сети, так и присоединенной нагрузки. Несмотря на обычную ограниченность во времени переходные процессы оказывают сильное влияние на работу измерительных трансформаторов. Заранее выполненный расчет аварийного переходного процесса необходим для наладки автоматической защиты. Анализ переходных процессов в измерительных трансформаторах затруднен нелинейностью магнитной цепи и учетом нагрузки, содержащей в общем случае как индуктивные, так и емкостные элементы. Несмотря на появление в последние годы эффективных численных методов расчета динамических процессов электромагнитных устройств и внедрение в инженерную практику расчетов быстродействующей вычислительной техники анализ переходных режимов, как правило, проводится с использованием метода наложения при-

нужденного и свободного режимов. Очевидно, что такой подход базируется на довольно грубых допущениях и неадекватен возможностям современной вычислительной техники.

В настоящее время при анализе нелинейных динамических схем широко применяется метод переменных состояния [1], который совместим со многими методами численного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений и может считаться универсальным методом.

На основании этого метода была создана математическая модель динамических процессов в измерительных трансформаторах, описанная в [2]. Данная модель является универсальной и позволяет анализировать как статические, так и динамические процессы в измерительных трансформаторах самых различных конструкций при любых нагрузках.

Математическая модель основана на решении уравнения переменных состояния относительно токов ветвей измерительного трансформатора $[i_m]$, которые имеют следующий вид:

$$\frac{d[i_m]}{dt} = [L_m]^{-1} ([u_{em}] - [R_m][i_m]). \quad (1)$$

При известных начальных условиях (1) решается известными методами численного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений.

В качестве примера на рис. 1 приведена конструкция трансформатора [3]. Магнитная цепь трансформатора при любых токах и напряжениях его ветвей может быть представлена схемой замещения с сосредоточенными параметрами, которая будет содержать нелинейные и линейные проводимости и источники МДС [1]. На рис. 2 приведена схема замещения магнитной цепи трансформатора. На рисунке не показаны цепи магнитных потоков рассеяния, так как они практически не влияют на распределение магнитных потоков в стальном сердечнике.

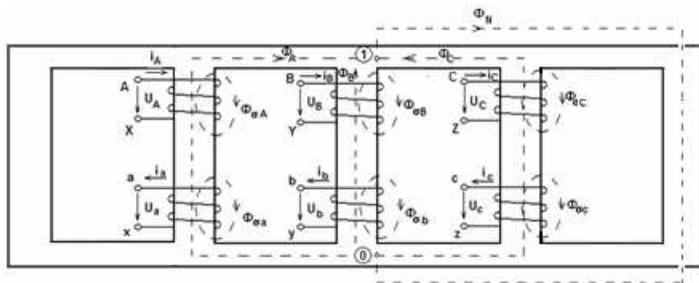


Рис. 1. Магнитная цепь трехфазного пятистержневого трансформатора

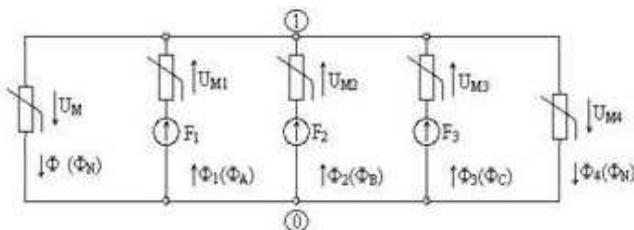


Рис. 2. Схема замещения магнитной цепи трехфазного пятистержневого трансформатора

На рис. 3 представлена кривая первичного тока при работе измерительного трансформатора в режиме холостого хода.

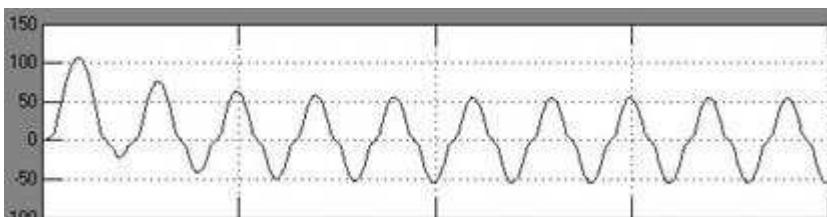


Рис. 3. Кривая первичного тока в режиме холостого хода

Как видно из рис. 3, при включении трансформатора в режиме холостого хода имеет место переходный процесс. В зависимости от начальной фазы в момент включения и параметров трансформатора изменяется амплитуда броска тока и время переходного процесса.

При подключении к выводам вторичной обмотки измерительного трансформатора нагрузки, представленной резистивными элементами, получаем следующую кривую первичного тока (рис. 4).

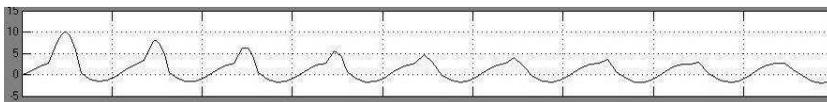


Рис. 4. Кривая первичного тока при подключении резистивной нагрузки

В свою очередь кривая вторичного тока будет иметь следующий вид (рис. 5).

Из анализа кривых можно сделать вывод о том, что вторичный ток быстрее выходит на установившийся режим. Временная диаграмма вторичного напряжения будет иметь такой же вид, что и диаграмма тока, т.к. трансформатор работает на резистивную нагрузку.

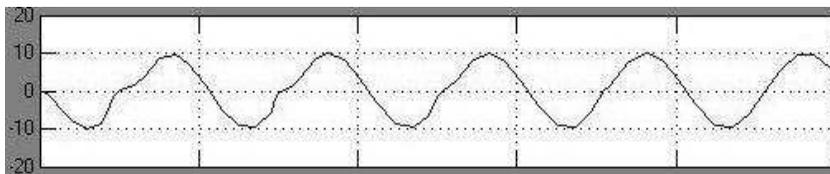


Рис. 5. Кривая вторичного тока при подключении резистивной нагрузки

Библиографический список

1. **Мартьянов В.А.** Современные модели и методы расчета нелинейных электромеханических устройств. – Иваново, 2000. – 140 с.
2. **Снитыко И.С.** Применение математической модели динамических электромагнитных процессов в измерительных трансформаторах. – Материалы региональной научно-технической конференции студентов и аспирантов «ЭНЕРГИЯ-2012». – Т. 3. – С. 179 – 184).
3. **Рожкова Л.Д., Козулин В.С.** Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

Д.В. Волкова, асп.;
рук. В. А. Камакин, д.т.н., профессор
(РГАТУ, г. Рыбинск)

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА НА БАЗЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Для повышения качества технологического процесса термической обработки и плавки необходимо обеспечить точность поддержания температуры. Для решения данной задачи предлагается использовать в качестве системы регулирования параметрический трансформатор.

Параметрический трансформатор является одной из систем на базе параметрического резонанса. Параметрический резонанс – явление быстрого возрастания колебаний в электрической или механической системе при периодическом изменении её параметров. Устройства, использующие параметрический эффект, известны в отечественной литературе под общим названием параметроны. Одна из интересных особенностей параметрона заключается в том, что при наличии феррорезонанса в системе относительный фазовый сдвиг индукций в магнитопроводах принимает промежуточное значение от 0 до 180°.

Параметрический трансформатор обладает уникальным свойством одновременно выполнять функции трансформации, двухсторонней фильтрации помех, стабилизации выходного напряжения, защиты от перегрузок [1. с. 223].

Для выбора базовой схемы параметрического трансформатора был проведен сравнительный анализ существующих схем. Их можно разделить на две группы – параметрический трансформатор ортогонального типа и параметрический трансформатор параллельного типа.

Как отмечается в [2. с. 200], параметрические трансформаторы параллельного типа отличаются от параметрических трансформаторов ортогонального типа меньшим расходом магнитного материала, лучшими условиями возбуждения, простотой конструкции, меньшим расходом мощных изделий.

Кроме вышеперечисленных преимуществ параметрические трансформаторы параллельного типа имеют массогабаритные показатели в 3 – 4 раза выше, чем ортогональные параметрические трансформаторы, высокий КПД – порядка 0,7 – 0,9, а также позволяют использовать конденсаторы меньшей емкости.

Исходя из вышесказанного, целесообразно остановить свой выбор на параллельном параметрическом трансформаторе. Схема такого параметрического трансформатора приведена на рис. 1.

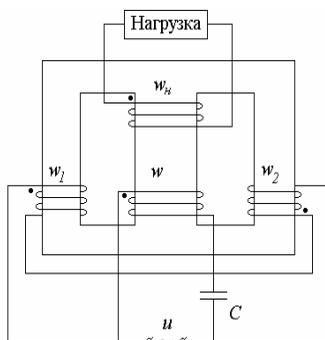


Рис. 1. Параметрический трансформатор параллельного типа

Параметрический трансформатор представляет собой универсальную САР тока и имеет естественную прямоугольную внешнюю характеристику, представленную на рис. 2, без введения дополнительного регулирования. Коэффициент полезного действия параметрического трансформатора в режиме регулирования тока составляет примерно 92 – 95 %. Кроме того, он обладает хорошей электромагнитной совместимостью по питанию и при определенных условиях может осуществлять компенсацию реактивной мощности, создаваемой другими устройствами. Таким образом, в качестве САР целесообразно использовать параметрический трансформатор.

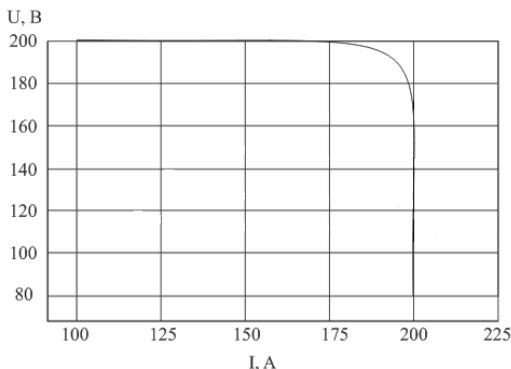


Рис. 2. Внешняя характеристика регулятора тока

Однако с введением в состав САР данного устройства возникает ряд проблем. Режимы работы параметрического трансформатора описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, которые в общем виде не имеют аналитического решения. Известно множество методик, основанных на том или ином упрощении и линеаризации порождающего уравнения. Однако они предназначены для расчета САР напряжения, и при расчете системы регулирования тока дают погрешность, превышающую 30 %. Поэтому после расчета и изготовления системы потребуется весьма существенная экспериментальная подгонка.

Для создания методики, позволяющей избежать экспериментальной доработки, необходимо, прежде всего, иметь точную математическую модель динамической кривой перемагничивания магнитопровода параметрического трансформатора. Поскольку вид этой кривой определяющим образом влияет на все режимы работы параметрического трансформатора, то необходимо не только определить наиболее точный способ аппроксимации динамической кривой перемагничивания, но и получить методику, которая позволяла бы с помощью опыта определять параметры такой аппроксимации.

В ходе исследовательской работы были рассмотрены различные типы аппроксимирующих функций:

Функции вида $H = kB^n + H_0$ и $H = \alpha g(\beta B + \gamma) + H_0$ позволяют по известным индукции и напряженности насыщения, а также коэрцитивной силе достаточно просто получить кривую перемагничивания. Существенный недостаток – плохая передача кривизны характеристики кривой перемагничивания.

Также была рассмотрена аппроксимация кривой перемагничивания с помощью системы параметрически заданных функций.

К недостатку такого способа аппроксимации следует отнести параметрическую зависимость индукции и напряженности. Привязка параметра к реальным величинам при разработке математических моделей различных устройств представляет значительные трудности, поэтому было целесообразно избавиться от параметра, и вывести аналогичную зависимость, где независимой переменной была бы, например, индукция, а напряженность магнитного поля являлась бы ее функцией. Произведя эквивалентные преобразования системы параметрически заданных функций, окончательно получили выражение для аппроксимации кривой перемагничивания магнитопровода:

$$\left(\frac{2H}{H_s}\right) = \left(\frac{B}{B_s}\right)^n + \left(\frac{B}{B_s}\right) \cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{\omega} \frac{d}{dt} \left(\frac{B}{B_s}\right). \quad (1.1)$$

Аппроксимация кривой перемагничивания выражением вида (1.1) позволяет не только легко получить аналитическую кривую, хорошо согласующуюся с экспериментальными данными, в заданном режиме, но и осуществить моделирование динамической кривой перемагничивания с адекватной реакцией на изменение амплитуды и частоты магнитной индукции. Т. о. можно сделать вывод о том, что данное выражение позволяет получить наиболее точную математическую модель динамической кривой перемагничивания для расчета электрического режима параметрона.

Библиографический список

1. **Флора В.Д.** Электрические машины специальных конструкций и принципов действия. Под редакцией доцента к.т.н. Ю.С.Коробкова. / В.Д. Флора. – Запорожье – Информационная система iElectro, 2011. – 254 с.
2. **Мкртчян Ж.А.** Основы построения устройств электропитания ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1990. – 280 с.: ил.

*Н.В. Гондина, студ.,
рук. О.А. Пустовая, к.с.-х.н., доцент
(ФГБОУ ВПО ДальГАУ, г. Благовещенск)*

АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ БЫТОВЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

Современная энергетика характеризуется, на данный момент не только потребленными мощностями, но и эффективностью их использования. Одним из немаловажных характеристик товаров является энерге-

тические затраты на его производство. Особенно это касается промышленных предприятий с большими потребляемыми мощностями. Для промышленных предприятий давно существует ряд мер, воздействие которых направлено на повышение эффективности использования энергетических ресурсов. К таким мерам, прежде всего, относится компенсация реактивной мощности на промышленных объектах, использование средств автоматизации производства и др.

Однако потребление энергии бытовыми потребителями никак не регламентировалось. В последнее время Госдумой Российской Федерации был принят ряд законов, призванных упорядочить потребление энергии в бытовой сфере. К ним прежде всего относится закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", так же от 6 мая 2011 г. N 354 "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов", Постановление Правительства № 614 от 22.07.2013 о введении норм потребления электрической энергии и ряд других законодательных актов [1].

За последнее время мы привыкли к тому, что уходя из дома можно не отключать телевизор, компьютер и другие бытовые приборы. Индикацией их работы в данном случае являются светодиоды и светодиодные панели. В среднем один светодиод расходует до 30 Вт·ч электроэнергии в режиме ожидания.

Целью работы является определение количество энергии потребляемой бытовыми приборами в режиме ожидания [1].

В процессе анализа источников литературы были выявлены следующие задачи исследования:

1. Проанализировать состав бытового оборудования установленного в жилых помещениях и определить его номинальную мощность исходя из паспортных данных.

2. Установить потребляемую в спящем режиме мощность на основе паспортных данных и времени работы в этом режиме.

3. На основе полученных данных выявить резервы экономии электрической энергии для бытовых приборов ежедневного использования.

Было проведено обследование коммунальных квартир и частных жилых домов, на наличие бытовой техники, а так же проведена работа с их паспортными данными и другой нормативной литературой. В работе использовался статистический метод исследований.

Всего было обследовано 56 потребителей и получены следующие результаты (табл.1). В ежедневном использовании находятся у всех по-

требителей: холодильник, телевизор, утюг, электрочайник, что необходимо считать минимальным набором бытовых приборов (табл.1).

Наибольшее энергопотребление было обнаружено в номинальном режиме у холодильника. В пределе от 2 до 4 кВт·ч потребляемой мощности находятся 78 % потребителей, в предел от 4 до 6 кВт·ч находятся 15 % потребителей [2].

Аналогичная тенденция наблюдалась и у телевизионной техники, а так же у персональных компьютеров. Номинальная мощность стиральных машин лежит в пределе от 2 до 4 кВт·ч.

Таблица 1. Установленное бытовое оборудование

№	Наименование оборудования	Наличие, %
1	Холодильник	100
2	Телевизор	100
3	Компьютер	17
4	Утюг	100
5	Микроволновая печь	17
6	Стиральная машина	11
7	Водонагреватель	88
8	Выключатели со светодиодной подсветкой	5
9	Электрочайник	100
10	Мультиварка	11
11	Электровытяжка	17
12	Пылесос	100
13	Электроплита	17

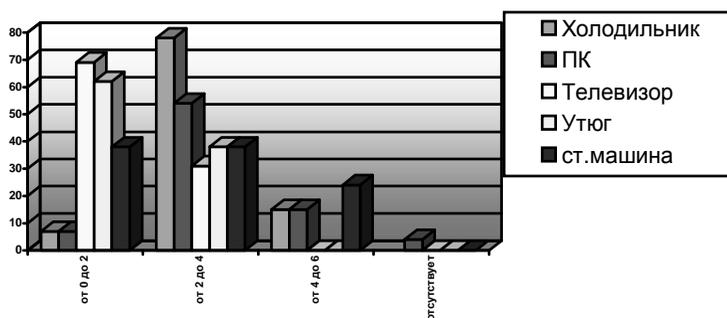


Рис. 1. Распределение по мощности бытовых приборов, кВт·ч

Суммарное потребление электрической энергии по домохозяйствам с учетом мелкой бытовой техники (чайник, пылесос, мультиварка и др) лежит в пределе до 15 кВт·ч (рис. 2).

Большая доля потребителей (55 %) находится в пределе от 12 до 15 кВт·ч, это объясняется установкой в частных домохозяйствах в качестве отопительных элементов обогревателей (электроротлов).

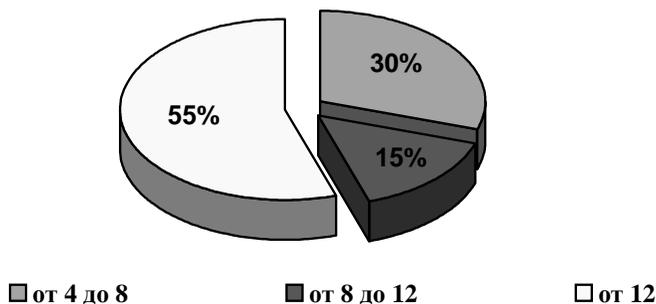


Рис. 2. Суммарное потребление электроэнергии бытовыми приборами, кВт·ч

Так как расходуемая ими мощность в основном лежит в пределе от 8 до 12 кВт·ч, то суммарная мощность с учетом бытовых приборов повышается до 15 кВт·ч..

В режиме ожидания большинство потребителей расходуют электроэнергию в пределе до 50 Вт в сутки, это порядка 46,6 %, так же большую долю потребителей порядка 26,6 % составили, потребители, расход которых лежит в пределе 200 – 300 Вт·ч, у части потребителей расходуемая энергия превысила 300 Вт·ч в сутки (20,7 %).

Доля потребления электроэнергии в режиме ожидания от общего потребления составит для холодильника 4,85 %, для телевизора 11 % (рис. 3), для персонального компьютера 8 %. Хуже всего дело обстоит с микроволновой печью доля расхода электроэнергии, которой в режиме ожидания составляет 24%, что обусловлено спецификой режима работы. Пища приготавливается или разогревается достаточно быстро, а все остальное время она находится в режиме ожидания, особенно это заметно при использовании микроволновой печи только для разогрева пищи.

Таким образом, при использовании бытовых приборов были выявлены следующие тенденции:

1. Среднее потребление электрической энергии в последнее время существенно возросло в связи с появлением большого количества бытовых электроприборов. Их среднее потребление электрической энергии лежит в пределе 15 кВт·ч.

2. В спящем режиме в домохозяйствах расходуется порядка 300 Вт·ч, что в год составляет 1180 кВт·ч. В денежном эквиваленте при цене за 1 кВт·ч 2,71 руб. около 3197 руб.

3. Наибольшее потребление, как в рабочем режиме, так и режиме ожидания дает холодильное и телевизионное оборудование. Среднее потребление 3,11 и 1,58 кВт·ч в сутки соответственно и в режиме ожидания 0,151 и 0,175 кВт·ч соответственно.

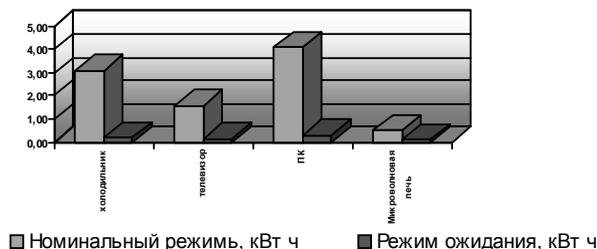


Рис. 3. Отношение электроэнергии расходуемой в режиме ожидания и номинальном

Библиографический список

1. Арутюнян, А.А. Основы энергосбережения / А.А.Арутюнян – М.: Энергия, 2012. – 600 с.
2. Сибикин, Ю.Д. Технологии энергосбережения / Ю.Д.Сибикин, М.Ю.Сибикин – М.: Энергия, 2006. – 235 с.

В.Д. Карачёв, асп.;
рук. А.Н. Голубев, д.т.н., профессор,
В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

УЛУЧШЕНИЕ ВИБРОШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Шумы и вибрации электрических машин определяются силами, которые могут носить магнитный, механический и аэродинамический характер [1]. Магнитные шумы могут быть вызваны радиальными, тангенциальными и осевыми магнитными силами. Если тангенциальные силы являются функциями электромагнитного момента, то радиальные определяются силами, вызывающими деформацию статорного кольца, то есть являются функцией пространственного распределения индукции в воздушном зазоре машины. Широкие возможности целенаправленного воздействия на конфигурацию магнитного поля, и, следовательно, на виброшумовые характеристики, открывает увеличение числа фаз статорной обмотки [2, 3].

Снижение шумов и вибраций путем применения многофазных машин ($m > 3$) обусловлено уменьшением тангенциальных сил, вызванных

пульсациями электромагнитного момента СД. Это связано с тем, что увеличение числа фаз статорной обмотки вызывает разрежение гармонического состава поля в направлении устранения из него асинхронных гармоник при относительном возрастании синхронных, обуславливающих появление дополнительных постоянных составляющих электромагнитного момента.

Другой причиной возникновения вибраций является действующая в любой точке воздушного зазора радиальная магнитная сила, величина которой пропорциональна квадрату индукции в зазоре. Эта сила вызывает динамические деформации статорного кольца, которые соответственно являются источником магнитных шумов [1]. Особенно большие вибрации могут вызвать второй и четвертый порядки этой силы.

При рассмотрении вопроса улучшения виброшумовых показателей ЭП следует поставить задачу компромиссной минимизации действующего значения тока статора и магнитных шумов при сохранении требуемого электромагнитного момента:

$$F = P_{2m}^2 + P_{4m}^2 + \frac{\varphi}{1-\varphi} \frac{B_{rm}^2}{\delta^2} I_s^2 = \min,$$

где $\varphi \in (0;1)$ – вспомогательная переменная.

Для снижения второй гармоники радиальной магнитной силы высшие гармоники тока играют незначительную роль в отличие от продольной составляющей первой гармоники. Высшие же гармоники играют роль в снижении действующего значения тока. При этом для достижения лучшего энергетического эффекта высшие гармоники должны содержать лишь поперечную составляющую [3]. Продольная составляющая высших гармоник тока должна быть равна нулю:

$$I_{sd(v)} = 0, v = 3, 5, \dots, m.$$

Решение задачи оптимизации разбивается на два этапа [4]:

1. Определение значений q -х составляющих спектральных векторов тока статора $\bar{I}_{s(v)}$. В этом случае ставится задача минимизации действующего значения тока при обеспечении требуемого момента.

2. Определение продольной составляющей первой гармоники тока статора. В этом случае ставится задача компромиссной минимизации действующего значения тока статора и магнитных шумов.

Рассчитанные функциональные зависимости вводятся в САУ многофазными СД с улучшенными виброшумовыми характеристиками с по-

Библиографический список

1. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. М.: Энергия, 1981. – 352 с.
2. Голубев А.Н., Лапин А.А. Многофазный синхронный регулируемый электропривод: научное издание / ГОУВПО ИГЭУ. Иваново, 2008. – 156 с.
3. Голубев А.Н., Лапин А.А. Математическая модель синхронного двигателя с многофазной статорной обмоткой // Электротехника. – 1998. – № 9. – С. 8 – 13.
4. Апаньев С.С., Голубев А.Н., Мартынов В.А., Белоногов В.Г., Карачев В.Д. Синхронный электропривод с улучшенными виброшумовыми характеристиками и его моделирование // Вестник ИГЭУ. – 2013. – № 2. – С. 62 – 66.

Е.А. Степанов, студ.;
рук. Г.И. Бояринов, к.т.н., профессор
(НИУ СФ «МЭИ», г. Смоленск)

**КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ
4П ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УЧЕБНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

Данная работа является продолжением статьи «Анализ преобразования методики проектирования ДПТ серии 2П в методику проектирования ДПТ серии 4П» и очередным этапом подготовки выпускной работы.

Темой этой статьи является анализ конструкции двигателя постоянного тока серии 4П с точки зрения получения возможно лучшей картины поля и упрощения конструкции машины. Основной проблемой здесь является тот факт, что из открытых источников никакой конкретной информации, кроме термина «неявнополюсная» получить не удастся. Точная же конструкция держится в тайне по очевидным коммерческим соображениям и, вероятно, охраняется множеством патентов. Таким образом, современная методика проектирования не покидает пределов закрытых коллективов КБ.

Начальные предположения о конструкции строятся в основном на трудах к.т.н. В.Д. Лущика, который изучал этот вопрос и разрабатывал экспериментальные образцы. Так, одним из таких образцов был двигатель на основе троллейбусного ДК-210А3. Причем статор этого двигателя был заменен на подходящий по размеру статор асинхронного двигателя. Весь процесс сборки был сложным и трудоемким и производился в Москве на заводе им. Кирова. Образец показал все преимущества перехода к новой серии и был достаточно качественным, чтобы, в числе прочего, про верить на нем варианты конструкции компенсационной обмотки.

Упомянутые статьи дают нам отправную точку в анализе конструкции: ротор ДПТ должен остаться тем же, а конструкция статора будет

полностью позаимствована [для целей учебного проектирования] из методики Копылова для асинхронных двигателей.

Второй вопрос касательно конструкции двигателя это расположение обмоток: возбуждения, компенсационной, дополнительных полюсов. Обмотка дополнительных полюсов и ее конструкция не интересна нам на этапе принципиального обсуждения конструкции, т.к. по сути ее влияние будет интересно только на этапе расчета потерь на коммутацию. Да и приблизительная оценка возможна даже без фактического расчета, введением коэффициента. Таким образом, остается оценить расположение обмотки возбуждения и компенсационной. Необходимо определить их конструкцию и задаться значениями токов. Основой проверки будет моделирование поля методом конечных элементов.

Так, для обмотки возбуждения рассмотрим поле одного витка обмотки. Из рис. 1а видно, что возможно насыщение стали в центральном зубце главного полюса, поэтому витки обмотки необходимо равномерно распределять в пазах вдоль полюса. Достаточно предусмотреть место для размещения в одном пазу двух проводников от разных витков обмотки возбуждения примерно так, как показано на рис. 1б. В этом случае распределение линий поля будет почти равномерным в пределах полюса, что подтверждает моделирование.

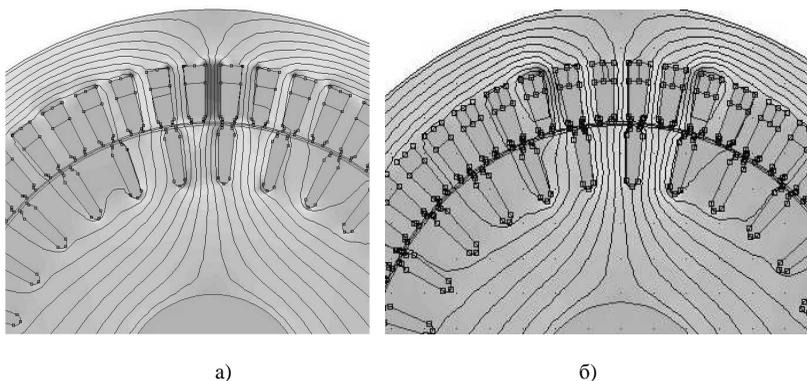


Рис. 1. Картина поля обмотки возбуждения

Для компенсационной обмотки применим теоретические выкладки В.Д. Лущика, но их не имеет смысла приводить здесь. Интересен для данной задачи только вывод: компенсационная обмотка укладывается в пазына половине полюсного деления, т.е. ровно до середины главного полюса. Этот результат теоретического расчета легко проверить модели-

рованием, зная необходимый вид поля, а так же стоит рассмотреть варианты с изменением числа пазов, в которые будет уложена компенсационная обмотка. На рис. 2а представлена схема расположения проводников в пазах. На рис. 2б – 2г картина поля при разном числе пазов компенсационной обмотки (последний рисунок – схема расположения, предложенная В.Д. Лушиком).

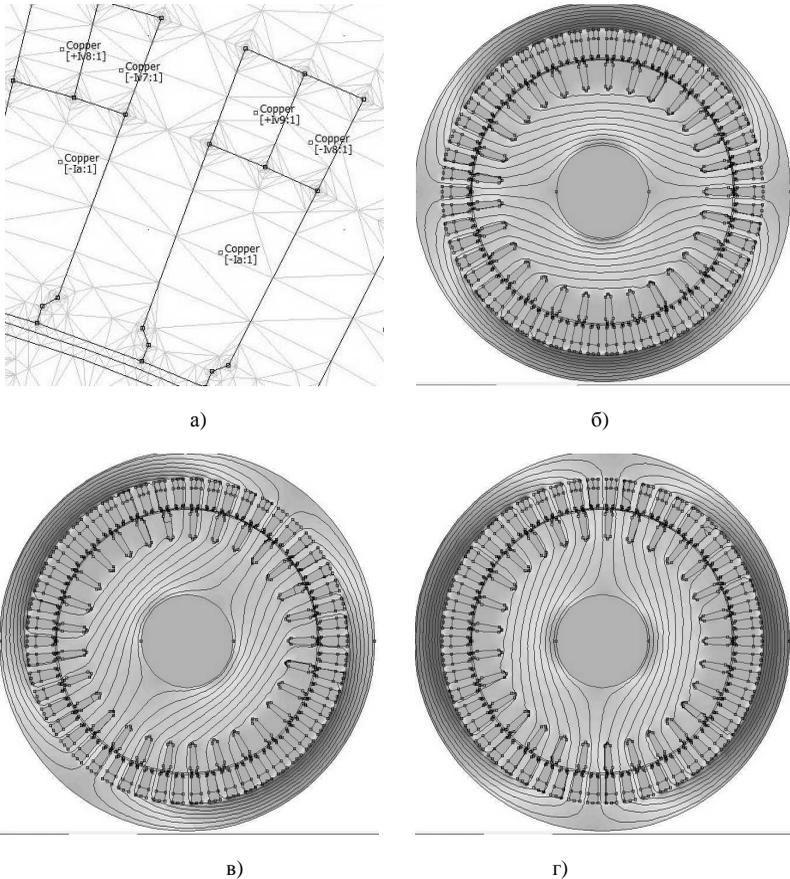


Рис. 2. Картина поля компенсационной обмотки

Таким образом, получены качественно удовлетворяющие требованиям картины поля в машине и становится возможным, принимая такую конкретную конструкцию, вносить вполне определенные изменения в

стандартный проектировочный расчет на основе синтеза такового для ДПТ и АД с некоторыми поправками.

Библиографический список

1. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа. 2002.
2. **Вольдек А.И.** Электрические машины. – СПб.: Питер. 2008.
3. **Лущик В.Д.** Двигатели постоянного тока с неявнополюсным статором. – Электротехника. – N 2. – 1994.

А.Ю. Меркулов, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Фундаментальные открытия, во второй половине 20 века, показали, что многие природные объекты, процессы и явления обладают свойствами самоподобия, все части имеют ту же форму, что и все целое, и масштабной инвариантности, способностью перенесения установленных физических законов из системы одного размера, в такую же систему, но в другом пространственно-временном масштабе. Описывать такие структуры позволяет теория фракталов. Основными понятиями данной теории являются фрактал, фрактальная размерность, фрактальная геометрия, фрактальное исчисление.

Свое распространение теория фракталов получила после выхода книги Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы» в 1977 году, в которой для описания различных процессов и объектов было предложено использовать нецелочисленные, дробноразмерные пространства – фракталы. Фракталы можно подразделить на:

- Математические, имеющие бесконечное число масштабов;
- Физические, имеющие конечный интервал масштабов.

Фрактальная геометрия, позволяет изучать закономерности, обладающие ярко выраженной фрагментарностью, изломанностью и искривленностью. В телекоммуникациях она используется для создания фрактальных антенн, имеющих важные для данной отрасли характеристики (компактность и широкополосность).

Вследствие того, что физические законы во многих динамических системах описываются дифференциальными уравнениями, порядок производных которых может быть нецелочисленным, требуется теория ин-

тегрирования и дифференцирования дробного порядка. Для решения таких уравнений используется фрактальное и дробное исчисления, позволяющие переходить от обычных дифференциальных уравнений к фрактальным.

Применение методов фрактальной геометрии, фрактального исчисления, фрактальных алгоритмов открывает большие возможности и перспективы в физике, радиоэлектронике (рис. 1), телекоммуникациях, обработке сигналов и в родственных им научных и технических областях.

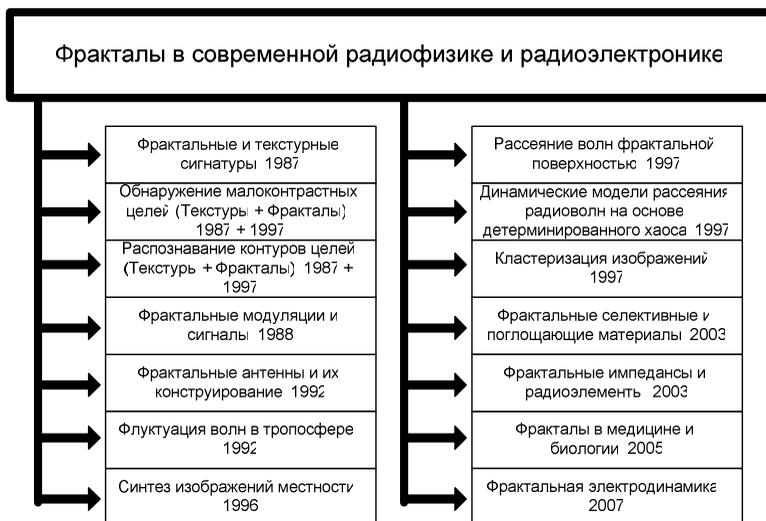


Рис. 1. Новые информационные технологии на основе фракталов и скейлинга

Фрактальные методы оказались так же эффективны для разработки широкополосных радиосистем, развитие которых позволяет:

- Повысить уровень помехозащищенности и конфиденциальности, передаваемой информации;
- Увеличить информационную емкость радиосистем;
- Повысить скорость передачи данных.

Важную роль в создании новых систем имеют фрактальные радиоэлементы, эквивалентная схема которого представлена на рис. 2.

Связь между током и напряжением в таком элементе определяется дифференциальным уравнением не целого порядка вида

$$i_N = G \frac{d^{\alpha} u_N(t)}{dt^{\alpha}}, \quad (1)$$

где β – порядок производной ($\beta > 0$) или интеграла ($\beta < 0$).

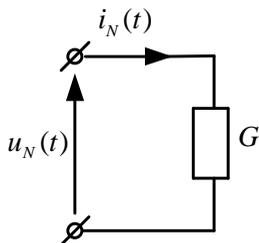


Рис. 2. Гипотетический реактивный элемент

В качестве его количественной характеристики используют фрактальный импеданс. Частотные характеристики фрактального импеданса при вещественном значении β определяются соотношением

$$Z_F(j\omega) = \frac{|Z_c|}{\tau^\beta} j\omega^{-\beta}, \quad (2)$$

где Z_c – величина импеданса двухполюсника на частоте ω_c , $\tau = 1/\omega_c$.

Для моделирования цепей с такими элементами применяется аппроксимационный синтез двухполюсников, одна из возможных схем реализации данной модели представлена на рис. 3, главная её особенность состоит в том, что она представляет собой фрактальную структуру. Частотная зависимость входного импеданса такой цепи при бесконечно большом числе каскадов пропорциональна $(j\omega)^{-\beta}$, где параметр β определяется выражением вида

$$\beta = 1 - \frac{\ln(2)}{\ln(a)}, \quad (3)$$

В технике особую роль играет метод аналогового моделирования, суть которого заключается в замене некоторой системы её электрической схемой замещения, что позволяет существенно упростить процесс моделирования. Для данного метода построение электронных моделей интегро-дифференциальных оператор нецелых порядков имеет особую важность, когда воспроизводимая динамическая система описывается дифференциальным уравнением дробного порядка

Теория фракталов нашла широкое применение во многих отраслях естествознания и техники, позволяя моделировать и изучать сложные процессы и явления, происходящие в технических устройствах.

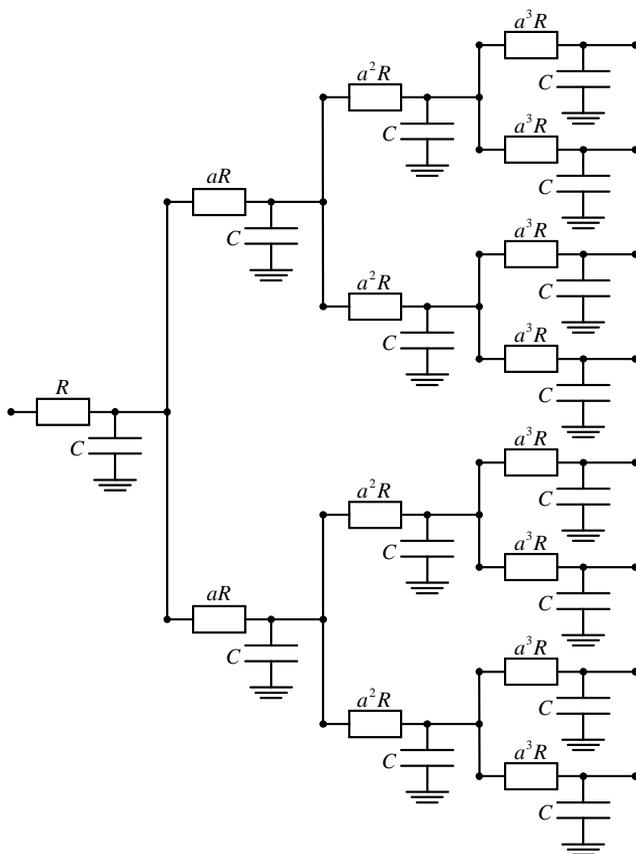


Рис. 3. RC-цепь фрактальной структуры

Библиографический список

1. **Основы** фрактальной геометрии и фрактального исчисления / под ред. Ю.Б. Башкуев. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. – 224 с.
2. **Потапов А.А.** Фракталы, скейлинг и дробные операторы в радиотехнике и электронике // Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2009. – Т. 1. – № 1 – 2. – С. 64 – 108.
3. **Дробное** исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. Научное издание. / В.В. Васильев, Л.А. Симак. – Киев, НАН Украины, 2008. – 256 с.
4. **Крупенин С.А.** Фрактальные излучающие структуры и аналоговая модель фрактального импеданса: Автореф. дис. ... канд. физико-математических наук: 01.04.03, 01.04.04. – М., 2009. – 157 с.

*Д.Н. Грузков, студ.;
рук. А.Е. Сидоров, к.т.н., доцент
(КГЭУ, г. Казань)*

БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) – является частью сложного многофункционального комплекса. БЛА открывает возможность оперативного и недорогого способа обследования труднодоступных участков местности, в которых получение информации обычными средствами, включая авиаразведку, затруднено или же подвергает опасности здоровье и даже жизнь людей. периодического наблюдения, обследования и мониторинга линий электропередач. Полученная бортовыми средствами мониторинга информация должна в режиме реального времени передаваться на пункт управления для обработки и принятия адекватных решений.

Для обеспечения задач наблюдения в реальном масштабе времени в процессе полета и цифрового фотографирования выбранных участков линии, включая расположенные в труднодоступных участках местности, а также определения координат исследуемых участков местности БЛА должен содержать в своем составе: спутниковую навигационную систему, устройство радиолинии телеметрической информации, бортовую цифровую вычислительную машину и модуль автопилота.

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БЛА) получают новые области применения и используются для выполнения задач, которые могут предполагать синтез цели функционирования БЛА в полёте, принятие оптимальных решений к действию с учётом разнообразных факторов состояния БЛА и внешней среды, исполнение этих решений с высокой точностью, т.е. перенос части интеллектуальных функций человека-оператора в число реализуемых бортовой системой управления. Такое расширение сферы применения и усложнение решаемых задач, существенное повышение автономности и надежности БЛА, в свою очередь приводит к необходимости разработки нового поколения бортовых систем управления, обеспечивающих возможность функционирования в условиях быстротечности изменения воздушной обстановки, при наличии случайных возмущений среды и других факторов неопределенности на основе комплексного использования современных интеллектуальных информационных технологий.

Предлагается интеллектуальная система поддержки принятия решений для задач распознавания, мониторинга, прогнозирования,

планирования и управления БЛА, осуществляющим облет наземных неподвижных и мобильных объектов с целью их оперативного наблюдения (фото и видеосъемки), поиска и обнаружения в условиях ограниченности времени и ресурсов.

Система прогнозирования и принятия решений обеспечивают решение задач анализа, диагностики, оценивания и распознавания ситуаций, прогнозирования развития событий, помогают выбрать наилучшие решения в зависимости от возникшей ситуации, сопровождают этапы реализации решений, формируют управляющие воздействия, корректируя тем самым маневры БЛА при выполнении задания и оптимизируя его параметры по заданным критериям.

Рассматриваемая система, интегрированная в БЛА, позволяет обеспечить решение широкого круга задач по мониторингу линий электропередач в труднодоступных для человека районах. Применение в составе бортового оборудования телевизионных камер позволяет обеспечить высокое разрешение и детальный мониторинг подстилающей поверхности в режиме реального времени. Применение цифровой фото аппаратуры позволяет использовать БЛА для проведения аэрофотосъемки в заданном районе с последующей детальной дешифровкой. Использование тепловизионной аппаратуры позволяет обеспечить круглосуточность применения БЛА, хотя и с меньшим разрешением, чем при использовании телевизионных камер. Наиболее целесообразно применение комплексных систем, с формированием синтезированного изображения. Однако такие системы пока еще достаточно дороги. Наличие на борту радиолокационной системы позволяет получать информацию с меньшим разрешением, но круглосуточно и при неблагоприятных метеоусловиях. Возможность обеспечения устойчивой связи является одной из важнейших характеристик, определяющих эксплуатационные возможности комплекса управления БЛА. Предложенная система управления пространственным положением и изменением режима полёта в зависимости от обнаружения, распознавания и идентификации поврежденных либо внештатных или аварийных ситуаций на линиях электропередач или опорах и изоляторах в комплексах управления БЛА обеспечивает оптимизацию процесса использования БЛА для обследования линий электропередач.

Библиографический список.

1. **Ерофеев А.А.**, Поляков А.О. Интеллектуальные системы управления. – Изд. СПбГТУ.
2. **Орлов Б.В.**, Мазинг Г.Ю., Рейдель А.Л., Степанов М.Н., Топчеев Ю.И. – Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов.

*М.В. Смирнов, А.И. Бобков, курсант;
рук. А.В. Топоров, Е.А. Топорова
(ИвИ ГПС МЧС России, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА РАДИАЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ С МАГНИТОЭЛАСТМЕРНЫМ ИСТОЧНИКОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Основным недостатком большинства магнитоэластичных уплотнений вала является необходимость использования постоянного магнита в качестве источника магнитного поля и магнитопроводов для создания магнитного поля в рабочей области уплотнения. Другой важной задачей является обеспечение равномерности рабочего зазора при работе уплотнения [1].

Исключение постоянного магнита и магнитопроводов из конструкции уплотнения позволит значительно уменьшить его габариты при сохранении основных рабочих характеристик.

На рис.1. представлена конструкция комбинированного магнитоэластичного уплотнения в сборе. Уплотнение содержит кольца из магнитоэластичного материала 1, сепаратор 2, изготовленный из пластмассы и имеющий кольцевые волнообразные изгибы круглого профиля, установлен во втулку 3 изготовленную из эластичного материала, помещенной в корпус 4 уплотняемого устройства. Магнитная жидкость 5 помещается между валом 6 и кольцами из магнитоэластичного материала 1 и удерживается там магнитными силами.

Возникающие перемещения сепаратора 2 компенсируются за счет упругих свойств эластичного материала втулки 3. Втулка 3 установлена в корпусе 4 уплотняемого устройства. Вал 6 из магнитопроводящего материала выполняет функцию подвижного магнитопровода и обеспечивает замыкание магнитного потока. Магнитная жидкость 5 концентрируется в зоне контакта колец из магнитоэластичного материала 1 с валом 6.

Предлагаемое комбинированное магнитоэластичное уплотнение работает следующим образом.

Кольца из магнитоэластичного материала 1 в уплотнении служат источником магнитного поля. Магнитная жидкость 5 удерживается магнитными силами между кольцами из магнитоэластичного материала 1 и валом 6 образуя герметичные кольцевые пробки.

Магнитные силы возникают в результате замыкания магнитного потока, создаваемого кольцами из магнитоэластичного материала 1 через вал 6.

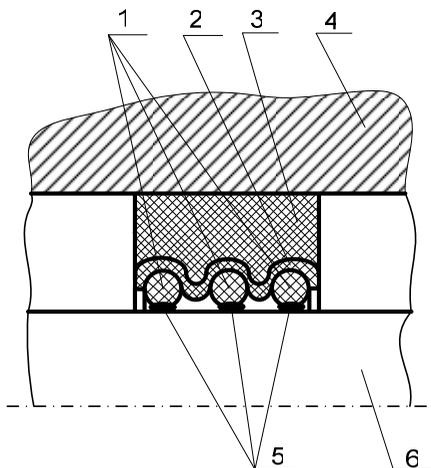


Рис. 1. Комбинированное магнитожидкостное уплотнение

При возникновении перепада давлений магнитные силы, действующие на магнитную жидкость 5 компенсируют его действие, тем самым, обеспечивая герметичность уплотнения. Каждая магнитожидкостная пробка способна воспринимать определенный перепад давлений, зависящий от максимальной индукции в зоне контакта колец из магнитоэластомерного материала 1 с валом 6.

Перепад давлений, удерживаемый уплотнением, определяется суммой перепадов всех магнитожидкостных пробок.

Так же магнитная жидкость 5 выступает в качестве смазки при трении между кольцами из магнитоэластомерного материала 1 и валом 6.

Установка колец из магнитоэластомерного материала 1 в сепаратор 2, помещенный во втулку 3, изготовленную из эластомерного материала предотвращают отрыв колец из магнитоэластомерного материала 1 от вала 6, например, в результате несоосности вала, вибраций и пр.

При этом перемещения сепаратора 2 компенсируются за счет упругих свойств эластомерного материала втулки 3.

Такое комбинированное магнитожидкостное уплотнение будет иметь меньшие габаритные размеры, по сравнению с ранее предложенными конструкциями [2].

Библиографический список

1. **Магнитные** жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин и др.: Под общ. Ред. Д.В. Орлова, В.В. Подгоркова. – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.

2. **Топоров А.В.**, Малый И.А., Потемкина О.В. и др. Комбинированное магнитожидкостное уплотнение вала. Патент на полезную модель RU 135048 U1 от 27.11.2013

Д.Ю. Морозова, маг.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Магнитожидкостные датчики угла наклона (МЖДУН) могут применяться в различных областях техники, например в системах автопилотирования самолетов, для контроля отклонения опор ЛЭП, а также угла наклона ротора генератора электрических станций. Кроме этого МЖДУН могут применяться для коммутации управляющих электромагнитных клапанов, гидропривода, горизонтирования люльки автоподъемника.

В работе рассмотрена конструкция МЖДУН с кольцевыми постоянными магнитами и чувствительным элементом (рис. 1). В данном типе датчиков используется свойство левитации чувствительного элемента на постоянных магнитах, помещённого в МЖ.

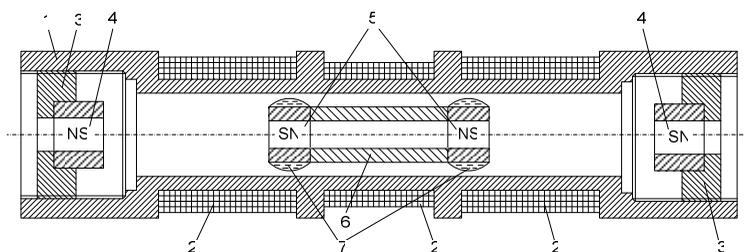


Рис. 1. МЖДУН с кольцевыми постоянными магнитами

МЖДУН состоит из цилиндрического корпуса 1, выполненного из немагнитопроводного материала, охваченного измерительными обмотками 2, и имеющего торцевые крышки 3 с отверстиями, в которых установлены центрирующие кольцевые постоянные магниты 4. Чувствительный элемент состоит из двух кольцевых постоянных магнитов 5, между внутренними торцевыми поверхностями которых расположена магнитопроводная втулка 6 со сквозным отверстием. Центрирующие кольцевые магниты 4 направлены одноименными полюсами к кольцевым по-

стоянным магнитам 5 чувствительного элемента. В цилиндрическом зазоре, образованном кольцевыми постоянными магнитами 5 и внутренней поверхностью корпуса 1 находится МЖ 7, которая обеспечивает устойчивый подвес чувствительного элемента и гидродинамический режим трения в зазоре, что позволяет ему перемещаться вдоль корпуса с малым коэффициентом трения.

Главный недостаток этой конструкции состоит в повышенной массе чувствительного элемента, что вызывает смещение чувствительного элемента МЖДУН относительно оси симметрии. Это приводит к возникновению погрешности измерения угла наклона.

В связи с этим разработана конструкция МЖДУН (рис. 2) [1] с облегченным исполнением чувствительного элемента за счет наличия выточек в магнитопроводной втулке 6. Варианты исполнения магнитопроводной втулки представлены на рис. 3.

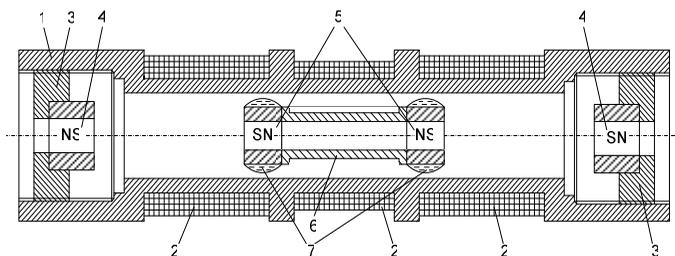


Рис. 2. МЖДУН с облегченным исполнением втулки

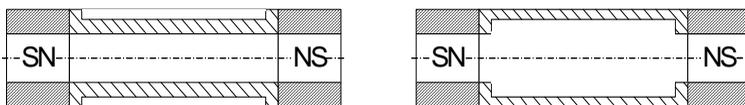


Рис. 3. Варианты исполнения магнитопроводной втулки чувствительного элемента МЖДУН

Целью работы являлся анализ распределения индукции магнитного поля в разных сечениях МЖДУН с различным конструктивным исполнением чувствительного элемента. Для решения поставленной задачи использовался метод конечных элементов (МКЭ). Решение задачи расчета магнитного поля находилось в виде функции, минимизирующей некоторый функционал, который являлся определенным интегралом от функции, построенной на основе уравнения Пуассона. При расчете магнитного поля МКЭ расчетная область МЖДУН с непрерывно изменяющимися параметрами разбивалась на треугольные элементы, стороны которых совпадали с границами раздела сред, имеющих разную магнитную про-

нищаемость. В пределах каждого элемента магнитная индукция и проницаемость считались одинаковыми в любой точке. В местах, где градиент напряженности изменялся сильнее, проводилась более подробная дискретизация. По результатам расчета поля представлялась картина распределения магнитной индукции в датчике.

В качестве магнитов рассматривались «закритические» магниты с величиной остаточной индукции 0,77; 0,8; 1,13 Тл и коэрцитивной силы 540; 640 и 800 кА/м. Магнитопроводная втулка изготавливалась из сталей марок: Сталь 10 и Сталь 20Х13. Размеры магнита изменялись в пределах: наружный диаметр магнита D составлял 10, 12, 14 мм, внутренний диаметр $d = 2, 2, 3$ мм, высота магнита $h = 3, 4, 4$ мм соответственно. Размеры магнитов выбирались исходя из соотношений $h/D = 0.3$, $l_{vt}/D = 1$ [2]. Выточки выполнялись на расстоянии 1 мм от стыка втулки с магнитом; глубина выточек варьировалась от 0,5 до 4,5 мм. При этом определялась величина магнитной индукции по оси симметрии МЖДУН. Расчет велся в относительных единицах S_{mag}/S_{vt} , где S_{mag} – площадь поперечного сечения магнита, S_{vt} – площадь поперечного сечения втулки с выточкой.

На рис. 4 приведены сравнительные расчётные зависимости величины магнитной индукции на оси симметрии МЖДУН от величины выточки во втулке. Графики представлены для значений коэрцитивной силы $H_c = 540$ кА/м, диаметрами $D = 10, 12, 14$, материал втулки сталь 10.

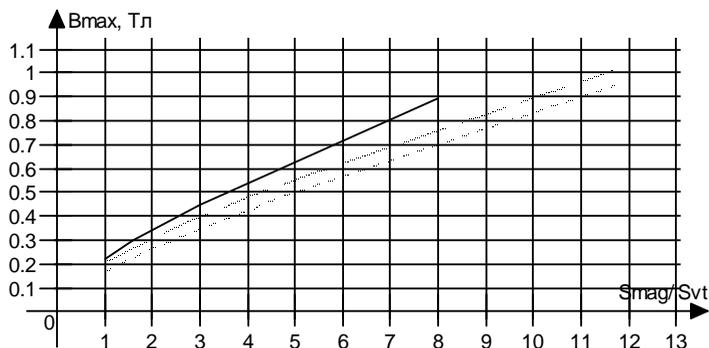


Рис. 4. Зависимости $B_{max}(S_{mag}/S_{vt})$ для МЖДУН, $H_c = 540$ кА/м — $D = 10$ мм, ---- $D = 12$ мм, -.-.- $D = 14$ мм

Из графиков видно, что при увеличении выточки в датчике диаметром $D = 14$ мм сталь насыщается меньше, однако для всех диаметров магнита сталь работает на линейном участке кривой намагничивания.

На рис. 5 приведены сравнительные расчётные зависимости величины магнитной индукции на оси симметрии МЖДУН от величины выточ-

ки во втулке. Графики представлены для магнитов диаметром $D = 14$ мм, с величинами коэрцитивной силы $H_c = 540, 640, 800$ кА/м.

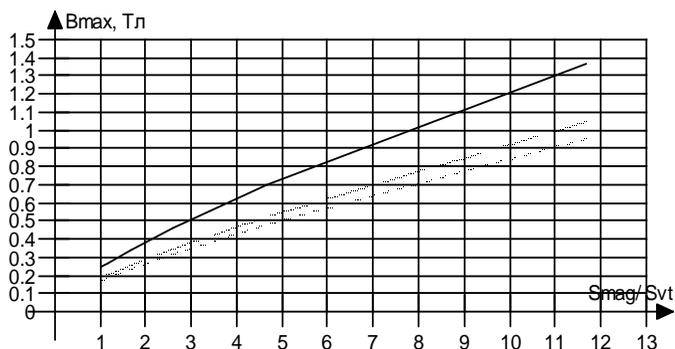


Рис. 5. Зависимости $B_{max}(S_{mag}/S_{vt})$ для МЖДУН, $D = 14$ — $H_c=800$ кА/м, --- $H_c = 640$ кА/м, ---- $H_c = 540$ кА/м

По полученным зависимостям можно заключить, что магниты с коэрцитивной силой более 800 кА/м хорошо работают при выточке до 4 мм. При больших выточках сталь 10 магнитопроводной втулки работает на нелинейном участке кривой намагничивания.

На рис. 6 представлены расчётные зависимости величины магнитной индукции на оси симметрии МЖД от величины выточки во втулке при их внутреннем и внешнем исполнении. Графики представлены для величины коэрцитивной силы $H_c = 540$ кА/м, диаметром $D = 14$ мм, материал втулки сталь 10.

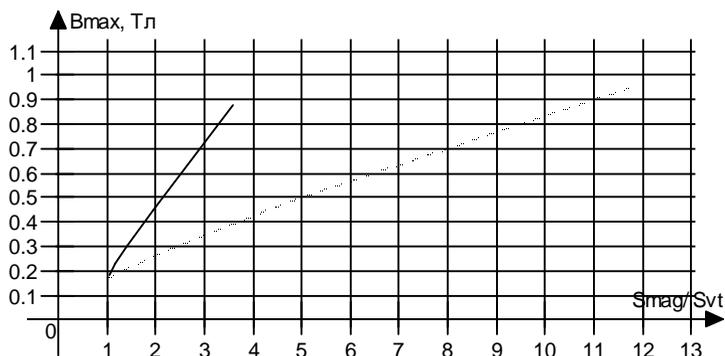


Рис. 6. Зависимости $B_{max}(S_{mag}/S_{vt})$ для МЖДУН, $D = 14$, $H_c = 540$ кА/м; — внутреннее исполнение выточки, ---- внешнее исполнение выточки

Из полученных графиков (рис. 6) следует, что магнитопроводная втулка может быть выполнена как с наружными, так и с внутренними выточками. При выполнении выточек с внутренней стороны втулки её сталь насыщается слабее, однако при выполнении втулки с наружными выточками её масса снижается, что обеспечивает более рациональное положение чувствительного элемента относительно оси симметрии.

Библиографический список

1. Сайкин М.С., Морозова Д.Ю., Магнитожидкостное устройство для определения угла наклона. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 113349, МКИ G01C 9/00, Приоритет от 18.10.2011, опубл. 10.02.2012, Бюл. N 4.

2. Сабуров И.Е. Исследование и разработка магнитожидкостного датчика угла наклона с постоянными магнитами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Иваново 2001.

*А.С. Волков, А.И. Копалов, студенты;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Герметизация валов большого диаметра предъявляет ряд новых требований к конструкции магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ), обусловленных следующими особенностями:

1. Наличие радиальных биений и осевых смещений.
2. Невозможность решения поставленной задачи с помощью классической конструкции герметизатора.
3. Наличие протяженного и разветвленного магнитопровода с несколькими рабочими зазорами заполненными магнитной жидкостью.

В качестве источника магнитного поля в таких МЖГ должны применяться наборные постоянные магниты в форме пластин или дисков. Использование магнитов в форме пластин предпочтительнее т.к. они обеспечивают больший коэффициент заполнения по площади между полюсными приставками магнитопровода МЖГ.

Кольцевые магниты больших размеров (с наружным диаметром кольца более 130 мм) не выпускаются промышленностью. Кроме этого, МЖГ предназначенные для герметизации больших валов состоят из габаритных деталей, при механической обработке которых расширяются

поля допусков, что влияет на обеспечение стабильности эксплуатационных характеристик герметизатора. Поэтому в конструкции МЖГ должны быть предусмотрены элементы позволяющие производить регулировку магнитной индукции в рабочих зазорах. В качестве таких элементов могут применяться обычные винты расположенные равномерно по всей окружности одной из полюсных приставок (рис. 1).

Представленная конструкция (рис. 1) состоит магнитного узла, включающего в себя постоянные магниты 1, к торцевым поверхностям которых примыкают полюсные приставки 2 и 3, охваченные по внешнему диаметру бандажом 4, изготовленным из немагнитопроводного материала. Магнитный узел установлен на немагнитопроводном валу 5. Магнитопроводные кольца 6 и 7 и корпус 8 образуют статические рабочие зазоры δ_1 заполненные магнитной жидкостью. Тела качения 9 обеспечивают постоянную величину динамических рабочих зазоров δ_2 полюсными приставками 2, 3 и магнитопроводными кольцами 6, 7. Кольцевые втулки 10, 11, 12 и 13 по которым катятся тела качения изготовлены из специальной стали с повышенной твёрдостью, что обеспечивает сохранение постоянными по величине рабочих зазоров δ_2 .

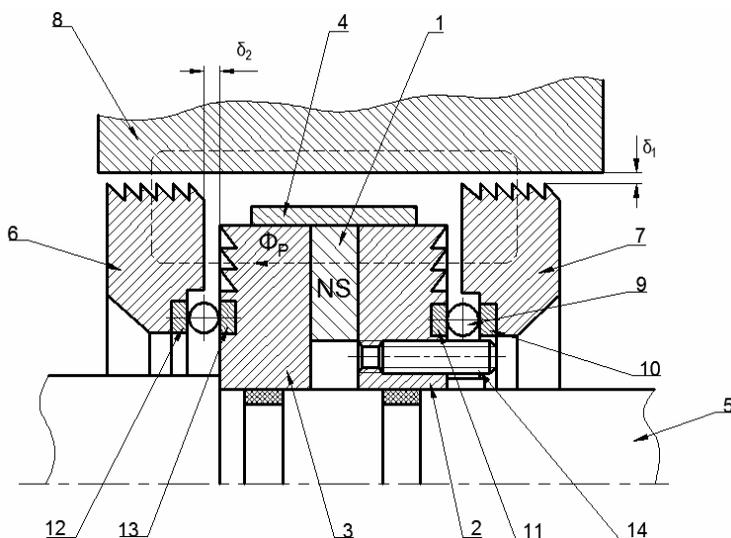


Рис. 1. Магнитожи́дкостный герметизатор с регулируемыми параметрами

Цель исследований состояла в определении диапазонов регулирования величины магнитной индукции в рабочих зазорах МЖГ, что необхо-

димо при создании серии герметизаторов с высокой степенью повторяемости эксплуатационных характеристик.

Численное исследование герметизаторов проводилось в интегрированной среде ELCUT, алгоритм которой базируется на методе конечных элементов. Триангуляция расчетной области проводилась при учете граничных условий Дирихле–Неймана. При этом значения \max и \min индукции в рабочем зазоре $\delta_2 = 0,1$ мм определялось на расстоянии 0.02 мм от магнитопроводных колец 2 и 3. Величина статических рабочих зазоров $\delta_1 = 0,04$ мм. Остаточная магнитная индукция постоянных магнитов составляла 0,77 Тл, а коэрцитивная сила 540 кА/м. В качестве магнитопровода в МЖГ использовалась сталь марки – Сталь 10 с индукцией насыщения 2,1 Тл в магнитном поле 50кА/м. По окружности вращения магнитного узла расположены 20 винтов диаметром 8 мм каждый. При уменьшении зазоров Δ между торцевой поверхностью регулировочных винтов и внутренней торцевой поверхностью полюсной приставки магнитопровода (рис. 2), часть магнитного потока замыкалась через винты, что снижало значение магнитной индукции в динамических рабочих зазорах δ_2 .

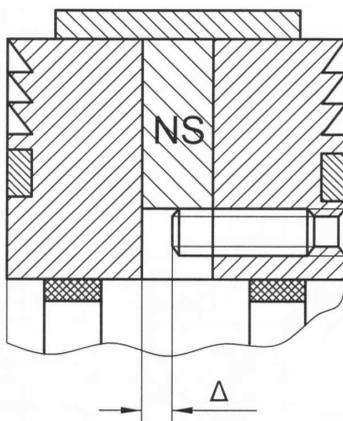


Рис. 2. Магнитный узел с регулировочными винтами

Результаты расчёта максимальной и минимальной индукции под зубцами МЖГ представлены на рис. 3 и 4.

Вывод: Использование регулировочных винтов позволяет плавно изменять величину магнитной индукции в динамических рабочих зазорах МЖГ в диапазоне от 0 до 30 %, что позволяет использовать данную конструкцию МЖГ на различном технологическом оборудовании и прово-

дить настройку эксплуатационных параметров в зависимости от эксплуатационных требований.

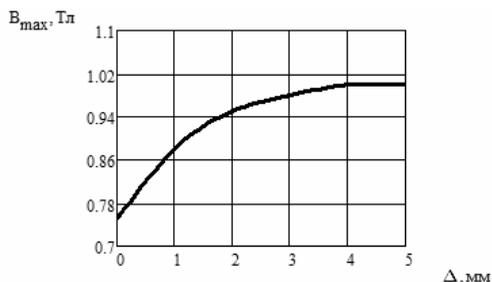


Рис. 3. Изменение максимальной магнитной индукции в рабочем зазоре δ_2 при различных положениях регулировочных винтов

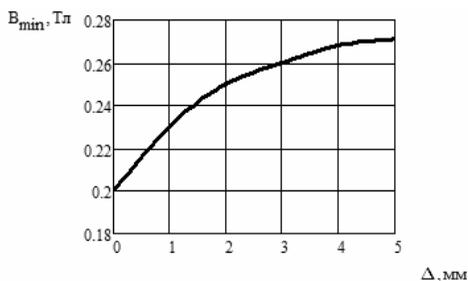


Рис. 4. Изменение минимальной магнитной индукции в рабочем зазоре δ_2 при различных положениях регулировочных винтов

О.В. Демиденко, студ.;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРИИ ВАКУУМНЫХ И ГАЗОВЫХ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Решение ряда технических задач по герметизации вращающихся валов технологического оборудования возможно только при использовании магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ). Они обладают существенными преимуществами перед традиционными типами уплотнений, а именно: абсолютной герметичностью $10^{-6} - 10^{-7}$ мм. рт. ст., низким собст-

венным моментом трения, высоким ресурсом работы (до 50000 часов), простотой технического обслуживания.

Целью работы является создание и исследование серии вакуумных и газовых МЖГ для герметизации валов, диаметрами от 7 до 50 мм, с ограничением максимальной магнитной индукции под зубцом вакуумного МЖГ 1,1 Тл и МЖГ газовых сред 1,5 Тл.

Исследование серии МЖГ проводилось в среде ELCUT. Исходными параметрами являлись: форма и шаг зубца b , величина площадки при основании t , угол наклона по отношению к основанию, трапецевидальная форма полюсных приставок.

Конструктивно вакуумные МЖГ представляют собой отдельный модуль, в котором величина рабочего зазора обеспечивается собственными подшипниками. В качестве подшипников используются подшипники серии 0000. МЖГ газовых сред пристыковываются к технологическому узлу. Для вакуумных МЖГ величина рабочего зазора составляет 0,1 мм, а для МЖГ газовых сред она составляет от 0,1 до 0,15 мм. и увеличивается с ростом диаметра вала (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость рабочего зазора от диаметра вала

Диаметр вала	Рабочий зазор
$\leq 15\text{мм}$	0,1мм
$15 < d_b \leq 30\text{мм}$	0,12мм.
$30 < d_b \leq 50\text{мм}$	0,15мм

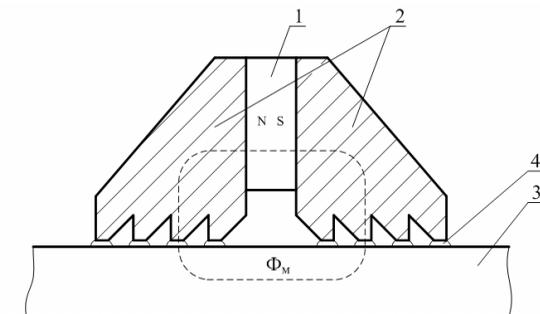


Рис. 1. Конструкция магнитожидкостного герметизатора: 1 – постоянный магнит; 2 – полюсная приставка; 3 – магнитный вал; 4 – магнитная наножидкость

Шаг зубца для вакуумного МЖГ составляет 2 мм., а для МЖГ газовых сред от 2 до 3 мм., на основании зависимости [1, 2]:

$$b = \delta(20 \div 40) .$$

Величина площадки при основании зубца равна 0,2 мм. Зубец выполнен в форме прямоугольной трапеции с углом при основании 45°. В качестве материала магнитопровода МЖГ использовались стали марок: Сталь 10 с индукцией магнитного насыщения 2,1 Тл. и Сталь 20Х13 с индукцией магнитного насыщения 1,78 Тл. при напряжённости магнитного поля 50000 А/м. В качестве источника магнитного поля выбран высококоэрцитивный постоянный магнит марки СМ165/1800, из сплава неодим-железо-бор в виде колец, с величиной остаточной индукции 0,9 Тл и коэрцитивной силой 680 кА/м. В рабочий зазор МЖГ была заправлена магнитная жидкость (МЖ) с намагниченностью насыщения 40 кА/м.

Численные исследования проведены для диаметров валов от 7 до 50 мм. Внутренний диаметр постоянного магнита изменялся по соотношению:

$$d_m = d + 2(\delta + (b - t)) + 0.6.$$

Получившаяся величина диаметра приравняется к ближайшему целому числу. Внешний диаметр постоянного магнита увеличивался до такой величины, при которой максимальная магнитная индукция под зубцом вакуумного МЖГ составляла 1,1 Тл, а МЖГ газовых сред 1,5 Тл.

Площадь поперечного сечения вала соответствовала диапазону от 38,5 мм² до 20 мм². Площадь поперечного сечения постоянного магнита вакуумного МЖГ изменялась от 396 мм² до 6094 мм², а МЖГ газовых сред от 500 мм² до 5362 мм². Площадь поперечного сечения полюсной приставки соответствовала величинам от 267,5 мм² до 1889,7 мм²

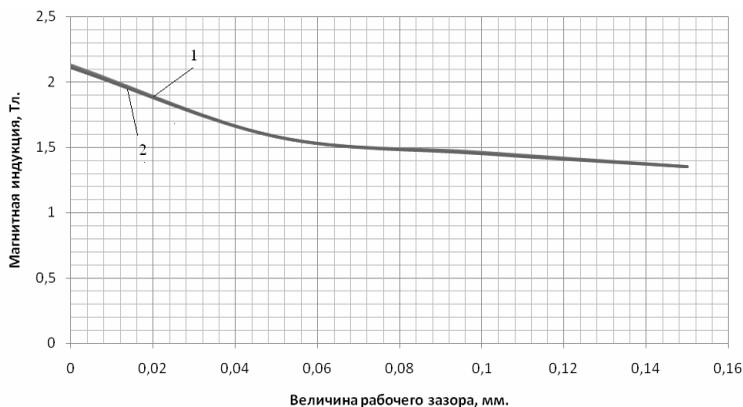


Рис. 2. Графики зависимости магнитной индукции от величины рабочего зазора в МЖГ: 1 – классическая конструкция МЖГ; 2 – МЖГ с улучшенными массогабаритными характеристиками

Для оценки магнитной системы значения магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ определялось в относительных единицах по отношению площади поперечного сечения магнита S_m к площади поперечного сечения полюсной приставки S_p .

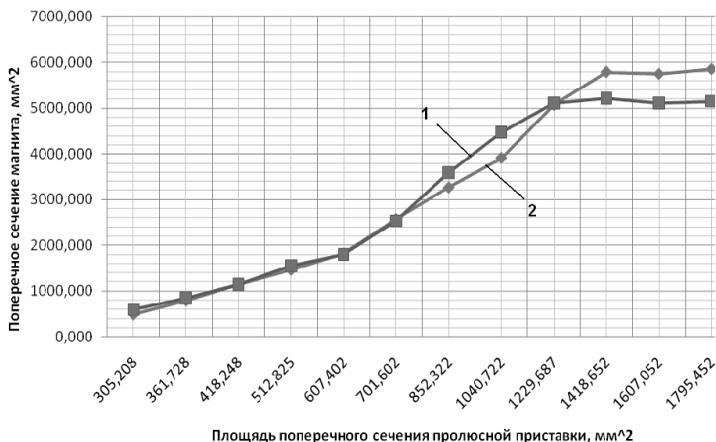


Рис. 3. Графики зависимости отношений площадей поперечного сечения магнита, к поперечному сечению полюсной приставки: 1 – МЖГ газовых сред; 2 – вакуумный МЖГ

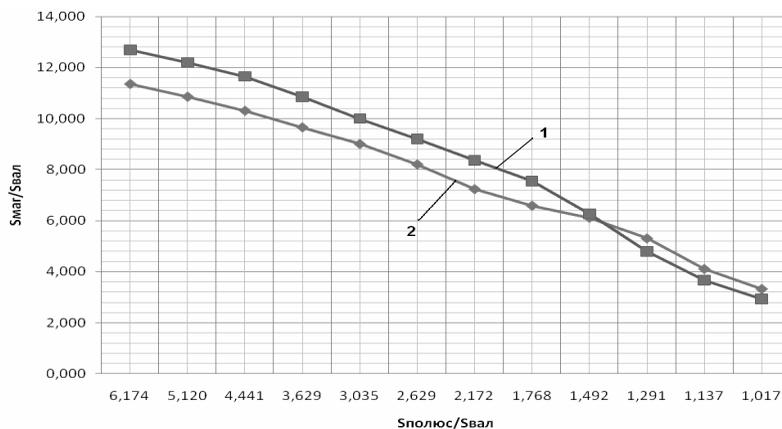


Рис. 4. Графики зависимости S_m/S_p к S_p/S_v : 1– МЖГ для газовых сред; 2 – Вакуумный МЖГ

Исследования показали, что трапециевидальная форма полюсных приставок не изменяет величины магнитной индукции в рабочем зазоре

МЖГ, это видно из графика зависимости магнитной индукции от величины рабочего зазора в МЖГ.

Полученные зависимости позволяют выбрать соотношения площадей и размеров постоянных магнитов и магнитной системы МЖГ на этапе проектирования.

Библиографический список

1. **Магнитные** жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин и др.: Под общ. Ред. Д.В. Орлова, В.В. Подгоркова. – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.
2. **Шоффа В.Н.** Анализ полей магнитных систем электрических аппаратов. М.: МЭИ. 1994. – 111 с.

Е.Е. Болкунов, студ.;
рук. А.В. Калинин, ст. преподаватель
(ФГБОУ ВПО ДальГАУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЫДЕЛЕНИЯ ОТ ГАЛОГЕНОВЫХ ЛАМП

Существует множество конструкций ламп, различного исполнения, назначения и мощности. В последнее время наибольшее распространение получили светодиодные лампы и светильники. Такие лампы в качестве источника света используют светодиоды. Они являются одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет использовать в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не содержат ртути, и не представляют опасности для человека и окружающей среды в случае выхода из строя или разрушения. Однако часть энергии примерно 75 % в светодиодных устройствах преобразуется в тепловой поток, который создает ряд проблем.

- во-первых, при перегреве светодиода уменьшается его эффективность, падает световой поток, изменяется цветовая температура, а срок службы может сокращаться в разы;

- во-вторых, при температуре 80 °С интенсивность свечения падает примерно на 15 % в сравнении с интенсивностью при комнатной температуре. Как результат, светильник с двадцатью светодиодами при температуре 80 °С может иметь световой поток, эквивалентный потоку от семнадцати светодиодов при комнатной температуре. При температуре перехода в 150 °С, интенсивность света светодиодов может упасть на 40%; [1, 2]

- в-третьих, у светодиодов присутствует отрицательный температурный коэффициент прямого напряжения, то есть при повышении температуры происходит уменьшение прямого напряжения светодиодов. Обычно этот коэффициент составляет от -3 до -6 мВ/К, поэтому прямое напряжение типичного светодиода может составлять 3,3 В при $+25$ °С и не более 3 В при $+75$ °С. Если источник питания не позволяет снижать ток на светодиодах, то это может привести к ещё большему перегреву и выходу светодиодов из строя. Кроме того, многие источники питания для светодиодных светильников рассчитаны на температуру эксплуатации до $+70$ °С.

Поэтому при конструировании светодиодных светильников решающую роль в обеспечении их максимальной эффективности играет оптимизация теплоотдачи светодиодов, проще говоря, интенсивное охлаждение. Как известно, передача тепла от нагретого тела осуществляется за счет трех физических процессов: излучение, конвекция, теплопроводность. Традиционно сложилось, что расчет потерь на нагрев, тепловыделение и так далее ведут исходя из мощности ламп, например ламп накаливания и люминесцентных. В нашем же случае привычный метод расчета даст весьма неточные результаты. Дело в том, что при небольшом потреблении энергии, светодиодная лампа большую часть энергии расходует на теплообразование [1, 2].

Был проведён анализ величины теплового излучения светодиодных установок, при температуре 20 °С (рис. 1).

На фотографиях, сделанных пирометром, видно как сильно и какие части лампы нагреваются (рис. 2).

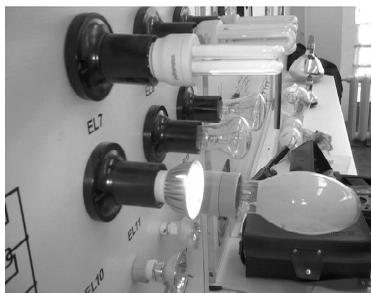


Рис. 1. Установка для исследования светодиодов

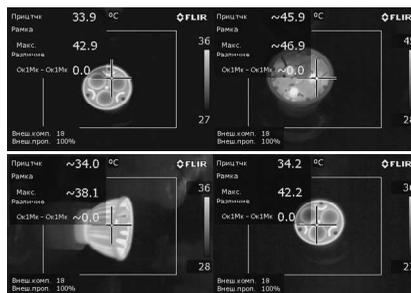


Рис. 2. Снимки сделанные пирометром

Исследование пирометром показывает, что большая часть теплового излучения аккумулируется в устройствах сопряжения то есть в чаше от-

ражателя и управляющей аппаратуре, что создает вероятность нарушения работы управляющих устройств.

Библиографический список

1. **Михляев, С.В.** Обработка спектральной информации в многоволновой пирометрии / С.В. Михляев, Ю.Д. Мухин, Е.С. Нежевенко // Автотметрия. – 1998. – № 1. – С. 39 – 46.
2. **Тымкул, В.М.** Оптико-электронные приборы и системы. Теория и методы энергетического расчета / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул. – Новосибирск: СГА, 2005. – 215 с.

***А.В. Скоробогатов, С.Л. Сафонов, студенты;
рук. О.А. Пустовая, к.с.-х.н., доцент
(ФГБОУ ВПО ДальГАУ, г. Благовещенск)***

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ИНВАЛИДОВ

В 2009 году на уровне правительства Российской Федерации была принята программа «Доступная среда», на период 2011 – 2015 гг. основными положениями которой, является улучшение уровня жизни инвалидов, а в частности повышение доступности мест общественного пользования. В рамках программы предусмотрено установка пандусов на въезде в здания и сооружения, обеспечение современными техническими средствами передвижения, а так же установка звуковой и иного вида сигнализации в местах пересечения проезжей части.

В городе Благовещенске так же реализуется такая программа, она принята 15 августа 2012 года № 3879 которая предусматривает меры по обеспечению комфортного проживания инвалидов на территории г. Благовещенска. Часть мер таких как установка пандусов и звуковая сигнализация в местах пересечения автомобильных дорог пешеходами уже реализованы.

Однако часть мер по созданию доступной среды обитания можно рассмотреть и с точки зрения здорового человека, в частности это касается установки звуковой сигнализации в местах пешеходных переходов. Нами рассмотрена работа таких устройств на нескольких перекрестках города в дневное и ночное время. В частности анализировалась работа такой установки на пешеходном переходе по ул. Ленина в районе городской администрации и были выявлены следующие моменты, требующие доработки.

1. В дневное время звуковой сигнал практически не слышен из-за повышенного уровня шума от проезжающих автомобилей, зона слышимости составила порядка 3 метров.

2. В ночное время при отсутствии движения сигнал хорошо слышен, однако в зону его действия попадают, и жилые дома комфортность проживания, в которых снижается.

3. Наличие звукового сигнала практически не помогает сориентироваться и определить направление, в котором следует двигаться, а так же дальность до пешеходного перехода.

Таким образом, при установке сигнализирующих устройств, требуется устранить ряд выявленных недостатков. Нами предлагается комплектная система состоящая из универсального передатчика и приемника. Основу системы составляет передатчик, который устанавливается на опоре светофора, зона покрытия сигнала составляет 5 метров (рис. 1).

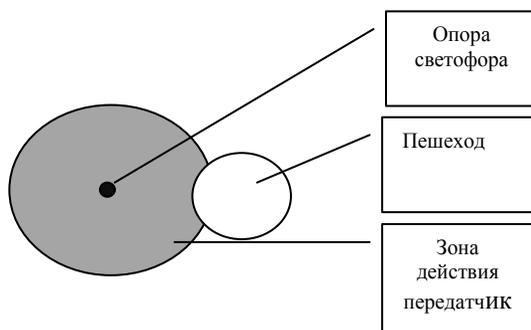


Рис. 1. Зона взаимодействия приемника и передатчика

Передатчик работает в инфракрасном диапазоне и находится в режиме ожидания, то есть посылает пучки импульсов через определенный промежуток времени. Пешеход в своем распоряжении имеет приемник, который принимает сигнал и посылает ответный, переводя, передатчик в режим работы. Пешеход получает непрерывный сигнал передатчика в виде вибрации, частота и интенсивность которой зависит его местоположения. Чем ближе пешеход находится к передатчику, тем интенсивнее сигнал. Так же необходимо предусмотреть изменение параметров сигнала в зависимости от цвета светофора [1].

Структурно передатчик выполняется из следующих блоков: ИК – излучатель – предназначен для передачи выработанного сигнала, источник питания, схема управления. Схема управления выполняется на основе микроконтроллера ATtiny2313 (рис. 2) [1, 2]. Кроме простоты программирования, этот тип микроконтроллеров так же обладает широким температурным диапазоном, что так же важно для наших климатических условий. Программирование, осуществляется по протоколу USART [1].

Микроконтроллер работает совместно с кварцевым генератором. В соответствии с разработанным программным обеспечением подается сигнал на излучатель. Внешний вид передатчика представлен на рис. 3 [1, 2].

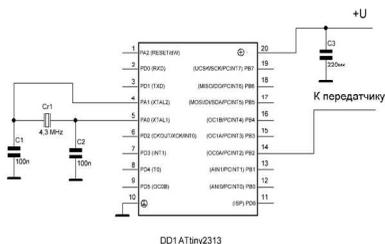


Рис. 2. Принципиальная схема устройства управления

Приемник конструктивно выполнен из следующих блоков: эксцентрик, источник питания, блок управления. В качестве блока управления используется тот же микроконтроллер. Конструктивно это оформляется так же на одной плате (рис. 4). Приемник помещается в носимый на руке браслет который может быть оформлен в зависимости от пожеланий потребителя.

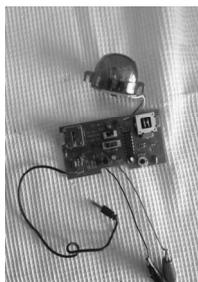


Рис. 3. Передатчик

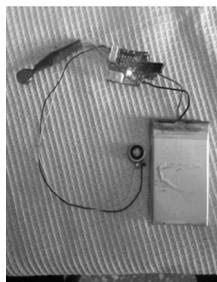


Рис. 4. Приемник

Таким образом, предложенная модель позволяет исключить наличие звукового сигнала, как фактора причиняющего беспокойство в районах с жилой застройкой, а также повысить информативность передаваемого сигнала за счёт введения дополнительных контролируемых параметров.

Применение подобной системы не потребует больших капиталовложений так как ее стоимость без стоимости монтажа составит порядка 3 тыс. рублей для передатчика и 1,5 тыс.руб. для приемника. Расходной частью являются приемники, которыми необходимо обеспечить проживающих на данной территории инвалидов по зрению и слуху. Кроме это-

го такая система имеет ряд дополнительных возможностей, что позволяет расширить их спектр применения.

Библиографический список

1. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2010.
2. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. – М.: ИП «Радио-Софт», 2002.

*А.П. Пахомов, студ., А.А. Карташова, асп.;
рук. С.Ю. Ситников, к.т.н., доцент,
В.Ф. Новиков, д.х.н., профессор
(КГЭУ, г. Казань)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНВЕРТОРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Устройства, осуществляющие инвертирование, т.е. преобразование постоянного напряжения в переменное, в силовой электронике, называются инверторами. Другими словами указанные устройства выполняют процесс, обратный выпрямлению.

Инверторы используются достаточно часто и имеют множество различных областей применения. В их число входит сварочная техника, поскольку инверторы удовлетворяют широкий спектр требований, предъявляемых к современным источникам питания. Среди последних можно выделить наличие возможности регулировки, динамические характеристики, оснащение необходимыми аппаратурными средствами, а также технологические свойства источника питания.

В последнее время на рынке источников питания для сварочных работ появился достаточно широкий спектр инверторных тиристорных и транзисторных выпрямителей. Среди достоинств данных приборов можно отметить технологическую гибкость (возможность получения любых заданных характеристик), малые габариты и масса, безынерционность, высокие КПД и коэффициент мощности, окупающие их сложность и относительно высокую стоимость. Кроме этого, инверторные источники питания позволяют уменьшить тепловложение в сварное соединение, что снижает протяженность зоны термического влияния (ЗТВ) по сравнению с классическими диодными выпрямителями. Снижение плотности ЗТВ, в свою очередь, положительно сказывается на коррозионной стойкости сварной конструкции [1].

Все эти факторы говорят о перспективности и актуальности совершенствования конструкций различных инверторных источников тока. В настоящее время существует достаточно обширная база усовершенствованных конструкций для применения в сварочном деле. Основной целью совершенствования конструкции является повышения надежности работы устройства. Однако, эксплуатация и конструирования инверторных источников тока связаны еще с рядом недостатков, в числе которых:

- наличие датчиков тока нагрузки и датчиков потребляемого инвертором тока, которые обеспечивают ложное срабатывание нагрузки;
- сложность калибровки датчиков магнитного поля (датчиков Холла), а также требование усиления сигнала, что усложняет схему устройства;
- наличие параметрических индуктивных датчиков, требующих автономных источников высокой частоты;
- недостаточная защита электронных компонентов инвертора при высокой крутизне (скорости) нарастания тока, что характерно для коротких замыканий;
- ограниченные регулировочные возможности, если регулирование тока зачастую осуществляется изменением частоты инвертора;
- передача энергии в зону дуги конденсатора;
- ухудшение устойчивости горения дуги на малых токах вследствие увеличения пульсаций тока;
- потеря работоспособности ввиду наличия величин напряжения, превышающих номинальное значение элементов схемы и др.[2-3].

Таким образом, развитие схемотехники инверторных источников тока представляет большой интерес.

Например, известна конструкция однофазного мостового транзисторного инвертора, который содержит транзисторы питания со сглаживающим конденсатором на выходе, нагрузку, преимущественно трансформаторного типа, подключенную к диагонали переменного тока инвертора через конденсатор, датчик тока нагрузки и систему управления, выполненную по принципу отрицательной обратной связи. Дополнительно в схему введен датчик сквозных токов в виде насыщающегося трансформатора с тремя одинаковыми первичными и одной вторичной обмоткой. Одна первичная обмотка включена между одноименными полюсами источника питания и выводами диагонали постоянного тока инвертора. Две другие первичные обмотки, встречно включенные по отношению к первой, включены в плечи мостового транзисторного инвертора, имеющие общую точку с одним из выводов диагонали переменного тока этого мостового транзисторного инвертора. Одна из упомянутых обмоток включена между плюсовым выводом диагонали постоянного тока мостового транзисторного инвертора и коллектором соответствующе-

го транзистора, другая – между минусовым выводом диагонали постоянного тока мостового транзисторного инвертора и эмиттером соответствующего транзистора [2]. Схема данного устройства приведена на рис. 1.

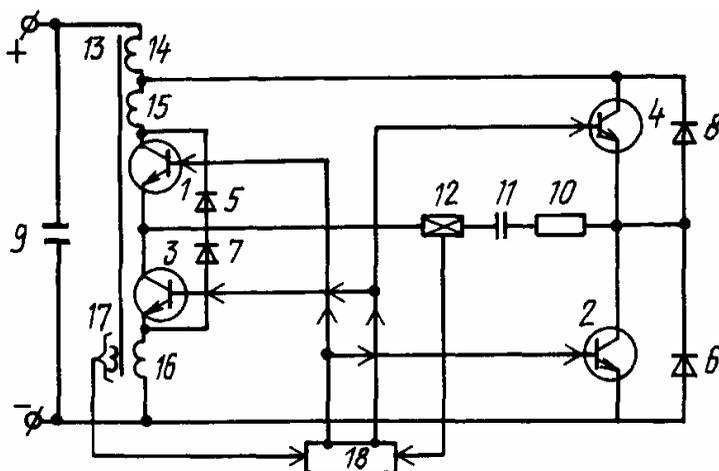


Рис. 1. Силовая часть однофазного мостового транзисторного инвертора: 1, 2, 3, 4 – транзисторы, 5, 6, 7, 8 – обратные диоды, 9 – сглаживающий конденсатор, 10 – нагрузка, преимущественно трансформаторного типа, 11 – конденсатор, 12 – датчик тока, 13 – четырехобмоточный трансформатор, 14, 15, 16 – первичные обмотки, 17 – вторичная обмотка, 18 – система защиты и управления

Данная конструкция электросварочного аппарата позволяет повысить надежность однофазного мостового транзисторного инвертора.

Подобные конструкции инверторных источников тока, обладая улучшенными эксплуатационными характеристиками, могут существенно расширить диапазон функционирования тех систем, в которых они используются. В качестве примера можно привести следующую синергетическую систему, которая представляет собой систему сварки короткой дугой между перемещающимся проволочным электродом и заготовкой. Она относится к способу управления импульсом тока и электрода с сердечником для флюса, и может найти применение в машиностроении.

Система включает: источник питания с устройством управления для создания импульса тока, подводящего энергию к электроду для расплавления торца электрода, и режима переноса расплавленного металла, и с отслеживанием окончания указанного импульса расплавления; датчик времени для измерения фактического времени между окончанием импульса и короткого замыкания; устройство для регулирования требуемо-

го времени от импульса до короткого замыкания; схему для создания корректирующего сигнала основанного на различии между фактическим временем и требуемом времени; схему, чувствительную к корректирующему сигналу для управления заданным параметром импульса тока. Электрод с сердечником является самозащитным электродом с сердечником из флюса и содержит различные электродные композиции, которые особенно благоприятны при их использовании в сочетании с задаваемой системой формой импульса. В результате получают сварные швы с низкими уровнями загрязнителей, которые характеризуются высокими прочностными свойствами и являются долговечными [4].

Проводя обзор различных рационализаторских решений в области совершенствования схем инверторного оборудования, применяемого в качестве источников тока для сварки, становится очевидным актуальность повышения надежности и энергоэффективности работы подобных установок. Кроме этого, важной составляющей остается получение стабильных выходных характеристик, которые в конечном итоге напрямую влияют на качество получаемого сварного соединения.

Библиографический список

1. **Ильященко Д.П.** Влияние энергетических характеристик инверторного источника питания на химический состав и микроструктуру сварного шва из стали 12Х18Н9Т // Научно-технические вестник Поволжья. – № 4. – 2013. – С. 178 – 180.
2. **Сторожик В.Г.**, **Магазинник Л.Т.**, **Магазинник Г.Г.** Однофазный мостовой транзисторный инвертор. Патент России №2168825, опубл. 10.06.2001.
3. **Князьков А.Ф.**, **Князьков С.А.**, **Деменцев К.И.** Инверторный источник питания для электродуговой сварки. Патент России №2306213, опубл. 20.09.2007.
4. **Нараянан Б.К.**, **Майерс Р.К.**, **Солтис П.Т.** Синергетическая система сварки. Патент России №2345873, опубл. 10.05.2008.

А.В. Алейников, студ.;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор,
А.Н. Голубев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗУБЦЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В настоящее время все более широкое распространение, в том числе и в электроэнергетике, получают приводы на основе синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). Соответственно возникает не-

обходимость в более свершенных системах их управления и более точных методах расчета. Современные модели СДПМ основаны на уравнениях Парка–Горева и имеют следующие допущения:

- не учитывается насыщение стали;
- кривая размагничивания постоянного магнита линейна и не зависит от температуры;
- не учитывается зубчатость сердечников, т.е. зазор машины предполагается гладким;
- учитывается только радиальное синусоидальное распределение индукции в зазоре.

Одним из важных требований к электроприводу является улучшение его виброшумовых характеристик, которые непосредственно связаны с пульсациями момента, радиальных и тангенциальных сил, действующих на зубцы. Поэтому анализ этих параметров является важной задачей современного электропривода.

В данной статье представлен алгоритм расчета радиальных сил, действующих на зубцы статора, учитывающий реальную геометрию машины, а так же насыщение магнитной цепи.

Полагая, что магнитная проницаемость зубца СДПМ во много раз больше, чем магнитная проницаемость в зазоре и пазах ($\mu = \mu_0 \mu_r \gg \mu_0$), можно пренебречь полем в пазах и учитывать только радиальные составляющие индукции поля в зубце машины. Тогда, как показано в [1], радиальная сила F_r , которая тянет зубец в сторону зазора, может быть определена по формуле

$$F_r = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S_z}, \quad (1)$$

где Φ – магнитный поток, входящий (выходящий) в наконечник зубца со стороны зазора; S_z – площадь наконечника зубца.

Магнитный поток Φ может быть представлен в виде суммы двух потоков

$$\Phi = \Phi_{ПМ} + \Phi_{ЗК}, \quad (2)$$

где $\Phi_{ПМ}$ – магнитный поток наконечника зубца, обусловленный действием только постоянных магнитов ротора; $\Phi_{ЗК}$ – магнитный поток наконечника зубца, обусловленный действием только токов многофазной статорной обмотки.

Относительные магнитные проницаемости высококоэрцитивных ПМ близки к единице и гораздо меньше магнитных проницаемостей стали статора. Поэтому вполне корректным представляется допущение о том, что насыщение магнитной цепи статора обусловлено действием только постоянных магнитов ротора[2]. При этом допущении можно с помощью численных методов расчета магнитных полей предварительно определить зависимость $\Phi_{ПМ}$ от угла поворота ротора относительно статора α с учетом насыщения стали статора. Тогда при заданном угле α магнитный поток $\Phi_{ЗК}$ может быть определен по формуле

$$\Phi_{ЗК} = \lambda(\alpha) \cdot i_{ЗК}, \quad (3)$$

где $i_{ЗК}$ – ток рассматриваемого зубцового контура, который определяется как разность мгновенных токов двух соседних пазов; $\lambda(\alpha)$ – радиальная магнитная проводимость зубцового контура.

Величина $\lambda(\alpha)$ при известном угле α определяется также с помощью численных методов расчета полей, при этом магнитная проницаемость статора может быть принята равной бесконечности, а области, занятые постоянными магнитами ротора, заменяются средами без источников поля, магнитные проницаемости которых равны магнитным проницаемостям постоянных магнитов.

Таким образом, определив предварительно зависимости $\Phi_{ПМ}(\alpha)$ и $\lambda(\alpha)$, можно при известных токах в обмотке статора и положении ротора относительно статора α найти радиальные силы, действующие на зубцы СДПМ.

Для проверки адекватности разработанной модели и принятых допущения были произведены расчеты радиальных сил, действующих на зубцы двух СДПМ с номинальным моментом $M_3 = 170$ Нм, имеющих различное исполнение ротора (рис. 1): а – ротор выполнен из сегментных постоянных магнитов без вставок; б – на роторе пространство между магнитами заполнено алюминиевыми вставками и имеется ферромагнитная квадратная муфта на валу двигателя.

На рис. 2 представлены кривые радиальных сил, действующих на один из зубцов статора СДПМ, при токах, соответствующих номинальным, для различных углов α . Рис. 2 а соответствует конструкции ротора рис. 1 а, рис. 2 б – конструкции ротора рис. 1 б. При этом сплошными линиями изображены кривые сил, определенные по предлагаемой методике, а отдельными кружками представлены значения сил, полученных

непосредственно из расчета поля методом конечных элементов, при тех же токах с учетом с учетом кривой намагничивания стали статора.

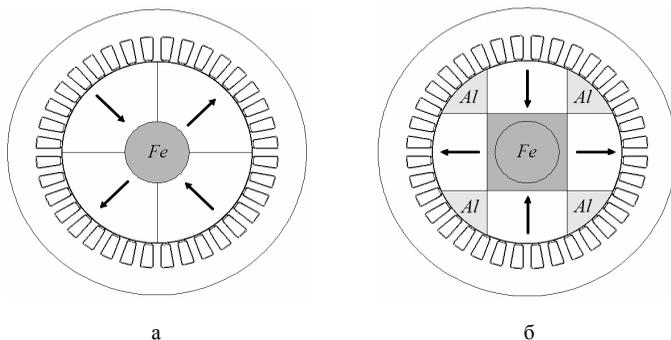


Рис. 1. Конструкции синхронных машин с различным исполнением ротора

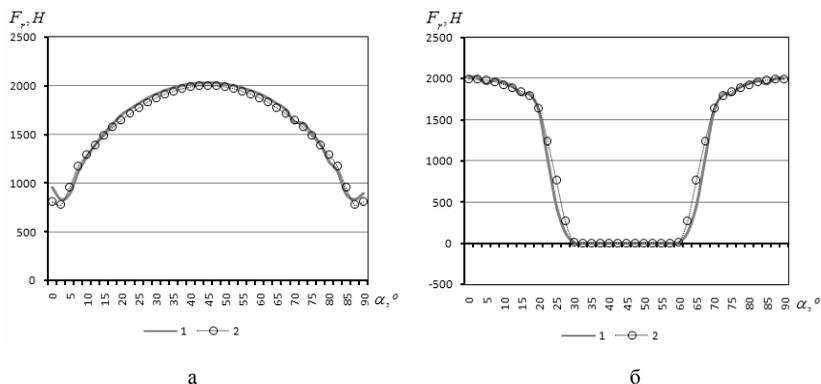


Рис. 2. Радиальная сила, действующая на зубец СДПМ с различным исполнением ротора

Как следует из сопоставления результатов расчета, значения радиальных сил, полученные при принятых допущениях, и по результату расчета поля в активной зоне практически совпадают.

Библиографический список

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах: Учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика». – М.: Высш. шк., 1989.
2. **Мартьянов В.А.,** Голубев А.Н. Моделирование электромагнитных процессов в многофазных синхронных двигателях с постоянными магнитами // Электричество. – 2013. – № 9. – С. 37 – 41.

СЕКЦИЯ 17

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Председатель – к.т.н., доцент **Макаров А.В.**

Секретарь – ассистент **Зайцев Е.С.**

*А.А. Герасимов, студ.; рук. А.Н. Королёв, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТОМАС ЭДИСОН – ВЕЛИЧАЙШИЙ ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОТЕХНИК И БИЗНЕСМЕН 19-ГО ВЕКА

Томас Альва Эдисон родился в 1847 году в семье среднего достатка, жившей в маленькой деревушке Милан (штат Огайо). Школу маленький Альва посещал только в течение трех месяцев. Учителя считали его «ограниченным», так как не пытались понять и развить индивидуальность ребенка. Мать забрала его из школы и дала ему первое образование.

Все свои знания юный Эдисон получил от матери, бывшего преподавателя, и из книг, которые читал в Народной библиотеке Порт-Гулона. В 10 лет мальчик увлекся химическими опытами и создал в подвале дома свою первую лабораторию.

Свой первый крупный заработок Эдисон получил за усовершенствование телеграфирования биржевых бюллетеней о курсе золота и акций путем применения биржевого тикера. На полученные деньги он покупает оборудование для изготовления биржевых тикеров и открывает собственную мастерскую. В этот период всё своё свободное время он посвящает работе.

Для изобретательской деятельности нужна была большая, хорошо оборудованная лаборатория, поэтому в январе 1876 года началось её строительство в Менло-Парке недалеко от Нью-Йорка. Начиная с этого момента изобретательство становится его основной профессией.

Тут он разрабатывает первый практически действующий телефонный микрофон, в котором использовал угольный порошок и вводит в телефон индукционную катушку, что значительно усилило звук телефона.

Кроме того, он в 1879 году установил решающее значение вакуума при изготовлении ламп и закончил работу над лампочкой накаливания с угольной нитью.

Следующим его изобретением был магнитный сепаратор железной руды. В его основе лежали различия магнитных свойств и различного по-

ведения материалов в зоне действия магнитного поля, изменяющего гравитационную траекторию материалов.

Кроме того Эдисон сконструировал двухфазный генератор, то есть динамо-машину, работающую в условиях меняющейся электрической нагрузки. С тех пор мы можем включать неограниченное количество электроприборов одновременно без ущерба для их функционирования.

В последующие годы Эдисон создаёт фонограф, электрический счетчик и другие свои изобретения. Всего за свою жизнь Эдисон получил в США 1093 патента и около 3 тысяч в других странах мира.

Умер талантливый изобретатель Томас Альва Эдисон 18 октября 1931 года на 85-м году жизни в Вест-Оранже (штат Нью-Джерси, США).

Библиографический список

1. Сайт свободной энциклопедии "Википедия" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
2. Сайт "Новости высоких технологий" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hi-news.ru/>.
3. Сайт "Initech" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.initech.ru>.

*А.В. Самсонов, студ.; рук. А.В. Макаров, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММЫ EMTP-RV

В настоящее время существует множество программ, позволяющих моделировать почти любые электрические процессы. EMTP-RV является профессиональным программным обеспечением для моделирования и анализа электроэнергетических систем в переходных процессах. Эта универсальная система программирования создана для цифрового моделирования переходных явлений электромеханического и электромагнитного характера. С помощью этой программы могут моделироваться сложные сети и системы управления различной структуры.

Перед моделированием в реальном времени объекты больших энергосистем разделяются на подсистемы, каждая из которых решается одним процессором. В настоящее время развитие науки происходит ускоренными темпами, внедряются новые информационные технологии и компьютерная техника. Это повышает качество работы, потому что компьютер позволяет теорию и практику совместить в единое целое.

Программа EMTP была разработана Германом Деммелем более сорока лет назад при поддержке федеральной энергетической компании

США и до сих пор продолжает совершенствоваться. В 1982 году данной компанией было принято решение о коммерциализации проекта и создана группа координации разработчиков, которая называется EMTP Development Coordination Group. Результатом работы этой группы стала коммерческая программа DCG EMTP, текущая версия которой и называется EMTP-RV. DCG EMTP была выпущена в 1987 году, а затем улучшена до версии 2.0 к середине 1989 года. Последняя версия программы EMTP, известной как EMTP96, до выхода EMTP-RV, являлась самой технически продвинутым программным обеспечением для анализа переходных процессов и моделирования в различных областях. В 2003 году DCG выпустила новую усовершенствованную версию, EMTP-RV, разработанную под техническим руководством Hydro-quebec. Эта версия программы становится более доступной и понятной в освоении любому пользователю, появляются новые функциональные возможности и параметры, что обеспечивает большую производительность и качество моделирования. EMTP-RV не является обновлением. Это полная замена EMTP96 .

Существует две версии EMTP-RV: коммерческая и базовая.

Базовая версия предназначена для решения широкого круга задач известными методами и ориентирована на проектировщиков. Коммерческая версия содержит уникальные модели оборудования, не реализованные в других программах.

Библиотека включает большое количество стандартных устройств электроэнергетических сетей, в том числе:

- модели электромеханизмов;
- модели линий и кабелей;
- полноценные модели трансформаторов, позволяющие моделировать насыщенность и гистерезис магнитного ядра.

Для измерения напряжений и токов реализованы амперметры, вольтметры и виртуальный осциллограф с неограниченным числом каналов.

Кроме того, пользователь может создавать свои собственные компоненты и модули, используя универсальные языки описаний, такие как GPD L и Fortran. Специализация программы EMTP-RV в области разработки электронной продукции для энергосистем обеспечивает постоянство развития новаторских решений с целью удовлетворения запросов потребителей и сохранение лидирующих позиций, как в технологии, так и на рынке. Главный недостаток EMTP-RV – инертность. Время, которое проходит от идеи до ее воплощения в программе, измеряется годами. Однако, сам процесс перевооружения любой организации, работающей в области электроэнергетики, рассчитан на несколько лет. Соответствен-

но, на данном этапе времени необходимо тестировать как уже запущенные в работу, так и находящиеся в работе устройства. Также к недостаткам программы можно отнести англоязычный интерфейс

Программа расчета электромагнитных переходных процессов ЕМТР-RV является удобным и достаточно мощным инструментом для анализа явлений в электрических сетях любой степени сложности. Несмотря на указанные недостатки, модель может найти практическое применение в моделировании переходных процессов в электрических сетях.

Библиографический список

1. Сайт программы ЕМТР-RV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://emtr.com/>, свободный. – Загл. с экрана.

*М.В. Зотова, Ю.А. Кузнецова, студенты;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

«ЧУДЕСА» МАГНИТНОГО ЖЕЛЕЗНЯКА, ЯНТАРЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЫБ

Первые наблюдения электрических и магнитных явлений относятся к глубокой древности. О таинственных способностях магнита притягивать железные предметы упоминается в старинных летописях и легендах, дошедших до нас из Азии, Индии, Китая, Центральной Америки, древней Греции и Рима. Кусочки природного железняка (магнита) в разных странах имели различные названия, но большая часть из них переводится как «любящий» (т.е. «любящий» железо).

Происхождение слова «магнит» древние ученые также объясняют по-разному. Например, известный римский писатель и ученый Плиний (23 – 79 гг.) в своей 37-томной «Естественной истории» ссылается на легенду о пастухе Магнезе, пасшем стада у подножия горы на острове Крите, близ которой были разбросаны загадочные черные камни, притягивавшие железные гвозди его сандалий и железный наконечник посоха. В честь Магнеза эти камни будто бы назвали магнатами, а само явление притяжения – магнетизмом.

По утверждению древнегреческого философа Платона (427 – 347 гг. до н.э.) слово «магнит» происходит от названия древнегреческой провинции Магнезии, жителей которой называли «магнетами», а камни из Магнезии – магнитами.

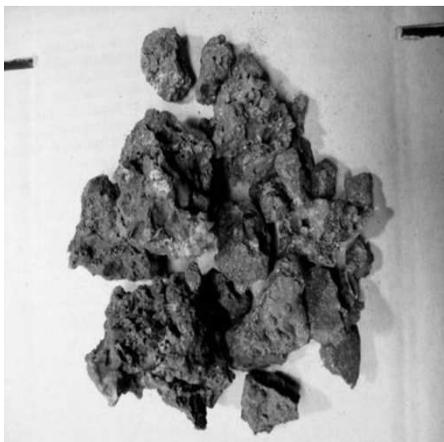


Рис. 1. Камни магнита

Из древних сказаний и летописей, относящихся ко второму тысячелетию до н.э., мы узнаем о многих интересных фактах практического использования магнита. Древние индийцы использовали магнит для извлечения железных наконечников стрел из тел раненых воинов. В китайских летописях рассказывается о волшебных магнитных воротах, сквозь которые не мог пройти человек, спрятавший металлическое оружие. При раскопках городища ольмеинков (Центральная Америка) найдены скульптуры трехтысячелетней Давности, высеченные из магнитных глыб.

В Китае во втором тысячелетии до н.э. уже применялись первые компасы, разных конструкций. В одном из музеев хранится китайский компас тысячелетней давности, напоминающий ложку.



Рис. 2. Китайский компас

И каким замечательным подтверждением известной закономерности развития цивилизации, является тот факт, что уже упоминавшиеся древние ольмеки, отделенные от китайцев тысячами океанских миль, высекали фигуры морских черепах из глыб магнитной породы; намагниченная голова таких черепах как бы символизировала удивительную способность этих земноводных ориентироваться в море вдали от берегов.

Довольно широкое распространение получили легенды о мистических способностях магнитной стрелки передавать сообщения на расстоянии. Об этом выразительно рассказывает Г. Галилей (1564 – 1642 гг.). Один «изобретатель» предложил ему продать «симпатическую» магнитную стрелку, посредством которой можно поддерживать связь с человеком, находящимся за 2 – 3 тысячи миль. «Тогда я сказал, – писал Галилей, – что согласен приобрести секрет, но хочу сначала испытать его на деле. Причем, для меня совершенно достаточно, если испытание будет произведено так, что я буду находиться в одной из комнат моего дома, а он в другой, изобретатель сказал, что на таком малом расстоянии я не смогу видеть действие его изобретения. На этом я с ним и расстался, заявив, что не чувствую никакого желания ехать в Каир или Московию для того, чтобы производить опыт, но, что если он сам пожелает туда отправиться, я согласен быть другой стороной, оставшись в Венеции».

Естественно, что древние ученые и естествоиспытатели задумывались над причиной загадочных свойств магнита. Платон, например, объяснял их божественным происхождением.

Один из древних мудрецов Фалес (640 – 550 гг. до н.э.) считал причиной движения «душу», и поэтому, по мнению Аристотеля, наличие у магнита «души» вызывало притяжение к нему железа.

Очень образное объяснение свойств магнита дано в знаменитой поэме «О природе вещей» римского поэта Лукреция (99 – 55 гг. до н.э.), написанной более двух тысяч лет назад.

«Мне остается сказать, по какому закону природы то происходит, что камень притягивать может железо, ... Люди весьма удивляются камню такому... Прежде всего из магнита должны семена выделяться множеством или же ток истекать, разбивая толчками воздух, который везде между камнем лежит и железом, только что станет пустым пространство меж ними, и много места очиститься там, как тот час же, общию кучей первоначала туда стремглав понесутся железа...».

С именем Фалеса связаны и дошедшие до нас предания о свойстве натертого янтаря: притягивать легкие тела. По его мнению, в янтаре (как и в магните) имеется душа, являющаяся первопричиной притяжения.

Изделия из янтаря, блестящие и красивые, широко использовались древними людьми для украшения, поэтому вполне вероятно, что многие могли заметить, что натертый янтарь притягивает легкие соломинки, кусочки тканей и пр.



Рис. 3. Янтарь – драгоценный камень и магнит

Греки называли янтарь «электрон» – от этого (спустя много веков) и произошло слово «электричество». Известно, что в одном из древнегреческих сочинений описывался камень (по-видимому, драгоценный), который, подобно янтарю, электризовался при трении. Но об электризации других тел древние греки, вероятно, не знали.

И еще одно любопытное явление не осталось незамеченным древними народами, жившими на побережье Средиземного моря и в бассейне Нила. Речь идет об «электрических» рыбах – скате и соме. Греки их называли «наркэ», что означает «парализующий». При соприкосновении с этими рыбами, имеющими электрические органы, человек испытывал сильные удары. Известно, что в первом веке н.э. римские врачи использовали электрический ската для лечения подагры, головной боли и других болезней.

И, конечно, древние народы наблюдали грозные раскаты грома и яркие вспышки молний, внушавшие им естественный страх, но ни одному из мудрецов тех времен не могла прийти мысль о том, что и притяжения натертого янтаря, и удары электрических рыб, и явление грозы в атмосфере имеют одну и ту же природу.

Упадок античной культуры заметно отразился и на изучении электрических и магнитных явлений. Из многочисленных источников следует, что практически до 1600 г. не было сделано ни одного открытия в области электрических явлений, а в области магнетизма описаны способы использования мореплавателями компаса (арабами в IX в., а европейцами – в XI в.). В XIII в. мы находим подтверждения некоторым новым от-

крытиям, сделанным независимо друг от друга англичанином Р. Бэконом, французом П. Перегрином и итальянцем Д.Б. Порта. П. Перегрин и Д.Б. Порта описали способы изготовления магнитных стрелок, а П. Перегрин (около 1270 г.) впервые снабдил компас градуированной шкалой.

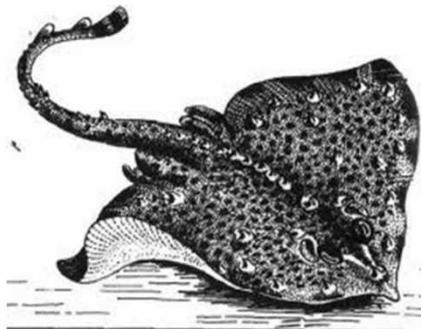


Рис. 4. Скат – электрическая рыба

В течение многих веков магнитные явления объясняли действием особой магнитной жидкости, и лишь выдающийся французский физик А.М. Ампер в 20-х годах XIX в. впервые объяснил электрическую природу магнетизма.

Библиографический список

1. **Официальный** сайт компании "Локус" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://locus.ru/library/stati_po_energetike/829/page/1.
2. **Информационный** канал Subscribe.Ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://subscribe.ru/archive/tech.electrotech/200904/13060559.html>.

*М.Ю. Абрамова, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НИКОЛА ТЕСЛА. НЕЗАСЛУЖЕННО ЗАБЫТЫЙ

Одна из самых противоречивых фигур прошлого столетия, человек-загадка и гениальный сербский изобретатель, все это в одном лице – Никола Тесла, и по сей день продолжает волновать умы исследователей и ученых, почитателей и противников. Чем он заслужил столь неугасающее внимание к своей персоне и в то же время столь неоднозначное отношение к своим заслугам?

Имя Теслы действительно окутано легендами, многие считают его мистиком и безумцем, не признавая ценности его исследований, но есть и те, кто по достоинству способен оценить его вклад в мировое развитие электричества. Еще во время учебы будущий «повелитель молний» загорелся идеей создания электродвигателя, который бы работал на переменном токе. И, приступив к изучению токов высоких частот и высоких напряжений в 1889 году, Никола Тесла положил начало новой области электротехники – так называемой технике ВЧ.

С тех пор его карьера начала развиваться стремительно. В 1891 году получен патент на изобретение генератора переменного тока, воспроизводящего относительно высокочастотные колебания тока, в 1896 – патент на резонансный трансформатор, производящий высокое напряжение при ВЧ, названный впоследствии «катушкой Тесла». И это лишь начало списка достижений великого изобретателя. Освещение ПРА, развитие идеи беспроводной телекоммуникационной связи, передача радиочастотной энергии, принципы дистанционного управления, лампа – прототип лазерного луча, бифилярная катушка как основа проволочных резисторов, другими словами, вся современная электротехника, так или иначе, пользуется заслугами Николы Теслы.

Кроме того, до сих пор не имеется единого мнения относительно произошедшего в 1908 году Тунгусского взрыва, причиной которого могли стать эксперименты изобретателя на Лонг-Айленде. Существует мнение, что Никола Тесла намеренно рассчитал траекторию сигнала башни с конечной точкой в слабозаселенном районе Сибири. Тем не менее, ученые продолжают искать разгадку.

«Кто действительно хочет понять все величие нашего времени, тот должен познакомиться с историей науки об электричестве. И тогда он узнает сказку, какой нет и среди сказок "Тысячи и одной ночи"», утверждал Тесла. Всю свою жизнь он посвятил попыткам применить собственные знания с практической точки зрения, опередив время и навсегда оставив в истории человечества значительный след.

Библиографический список

1. **Мамаладзе М.** Летучий голландец Николы Теслы. // Оракул. – № 7(июль). – 2012.
2. **Николас Бегич,** Джин Мэннинг. Никола Тесла и его дьявольское оружие. – М.: Эксмо, Яуза, 2008.
3. **Правдивцев В.Л.** Причастен ли Никола Тесла к Тунгусскому феномену? – Ст. на интернет-портале www.bastabalkana.com. 2013.
4. **Фейгин О.** Тесла и сверхсекретные проекты Пентагона. – М.: Эксмо, 2009.

**О.В. Бровентьев, студ.; рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Получение переменного тока никогда не представляло принципиальных трудностей. Действительно, в обмотках всех электромашинных генераторов – генерируются переменные токи, которые в машинах постоянного тока преобразуются в ток постоянного направления. В 1832 году анонимным изобретателем был создан первый однофазный синхронный многополюсный генератор, и все последующие работы в области электромашин были направлены на изыскание наилучших конструкций коммутирующих устройств.

Долгое время попытки сконструировать генераторы переменного тока (до конца 70-х годов 19 века) носили эпизодический характер. В этот период такие генераторы представляли собой обычно машины постоянного тока, у которых коллектор был заменён двумя контактными кольцами. В 1863 году Уайльд разработал в качестве одного из вариантов машины с электромагнитами генератор переменного тока. Этот генератор вместо коллектора, состоящего из 2 пластин, имел 2 контактных кольца. Обмотка электромагнитов питалась от отдельного магнитоэлектрического генератора, укрепленного на ярме основной машины. Наиболее существенный толчок работам в области генераторов переменного тока дала электрическая свеча системы П.Н. Яблочкова [1].

Павел Николаевич Яблочков (родился 14 сентября 1847 г., село Жадовка, Саратовской губернии) выходец из семьи обедневшего мелкопоместного дворянина, происходившего из старинного русского рода. Российский электротехник, изобретатель и предприниматель. В 1876 г. изобрёл дуговую лампу накаливания без регулятора – «Свеча Яблочкова» – чем положил начало практически применимой системе электрического освещения. Работал над созданием электромашин и химических источников тока [3].

Яблочков впервые в мире изобрёл и применил на практике прибор, впоследствии названный трансформатором переменного тока и совершивший настоящую революцию в электротехнике. Описание, данное Яблочковым в патенте №115793 от 30 ноября 1876 г. и в «Русской привилегии» от 6 апреля 1878 г., убедительно доказывает, что он изобрёл трансформатор переменного тока на 6 лет раньше Голара и Гиббсона (1882 г), которым приписывается приоритет в западной литературе. Его прибор,

варьируя напряжение (именно в этом заключался принцип работы трансформатора), позволял «питать от одного источника тока отдельно ряд светильников различной силы света» [2].

В 1878 г. Яблочков совместно с заводом «Грамма» разработал несколько однотипных конструкций генераторов для питания 4, 6, 16 или 20 свечей. Рассмотрим в качестве примера конструкцию генератора на 16 свечей. Кольцевой неподвижный якорь имел секционную обмотку, секции которой образовывали 4 отдельные цепи по 4 катушки на каждую цепь. На валу машины вращалось 8 полюсов, возбуждавшихся постоянным током. Таким образом, на каждый полюс приходилось по 2 катушки, в которых индуктировались токи, сдвинутые по фазе друг относительно друга на $\frac{1}{4}$ периода. Катушки соединялись друг с другом через одну так, что бы токи в одной цепи совпадали по фазе. От каждой цепи питались 4 свечи Яблочкова. Следовательно, рассматриваемый генератор представлял собой не что иное, как двухфазную синхронную машину с электрически не связанными токами. Конструкторы не стремились создать многофазную систему токов, а искали возможность построить генератор с несколькими цепями, вместе с тем, улучшить использование машины, чего они и достигли, сделав обмотку якоря двухфазной. Наиболее серьёзным препятствием для развития генераторов переменного тока явилось нагревание стальных сердечников. Это был один из главных недостатков генератора Уайльда. Не в меньшей степени препятствовал развитию генераторов нагрев сердечника якоря. В обмотках якорей протекал переменный ток, и вопрос о снижении величины потерь в стали якоря со временем приобрёл первостепенную важность, будучи при этом и трудноразрешимым. Практика изготовления штрихованных сердечников начала утверждаться только в 80-х годах. Плюс, из-за технологических трудностей сердечники делались массивными. В этих условиях становятся понятными 2 главные тенденции в развитии генераторов переменного тока: 1) Увеличение мощности машины – увеличивать число катушек якоря (та же тенденция, что и в машинах постоянного тока), 2) Снижение потерь в сердечнике – снизить объём стали в якоре. Последнее направление привело к тому, что некоторые генераторы стали изготавливаться, не имея стальных сердечников. В 1885 на тепловой электростанции «Паддингтон» (Англия) был установлен генератор, который был выполнен двухфазным с катушечными обмотками и предназначался для отдельного питания различных ламп (как и генератор Яблочкова «Грамма»). Машина имела мощность 115 КВт при напряжении 105 В и весила 18 тонн. Приводилась она от поршневой паровой машины со скоростью 146 об/мин и вырабатывала переменный ток с частотой 40 Гц. Возбудитель приводился от отдельной паровой машины. Таким образом можно констатировать, что

к середине 80-х годов уже были разработаны пригодные для практического использования генераторы переменного тока. Современный период в развитии генераторов начался только в 90-х годах прошлого столетия, когда стали изготавливать трёхфазные машины с шихтованными сердечниками и барабанным типом якорных обмоток [1].

Как и много лет назад, современный генератор переменного тока на больших предприятиях занимает несколько комнат, опутанный системой медных проводов, стальных балок, изоляторов и прочих составляющих. Более компактные генераторы переменного тока установлены в автомобилях. Там генератор выполняет функцию по подзарядке аккумуляторных батарей. На кораблях и самолётах тоже есть подобные конструкции, а значит, трансатлантическое путешествие в Америку не обходится без генераторов переменного тока. Морские и воздушные генераторы адаптированы к водной и воздушной (на большой высоте) среде и имеют трёхкратную обмотку. Это нужно для сохранения компактных размеров без потерь количества вырабатываемой энергии. Генератор переменного тока может преобразовывать энергию в постоянный ток при помощи диодного моста [4].

Вклад в науку и электрическую технику, сделанный нашим соотечественником П.Н. Яблочковым, является очень и очень большим. Системы освящения и, впоследствии, изобретённые им генераторы переменного тока активно используются в технике и сегодня. Процесс, различимый на уровне внедрения технологий и изобретений Яблочкова дал начало цепочке принципиально новых подходов в электротехнике.

Библиографический список

1. **Первые** генераторы переменного тока <<http://electrolibrary.narod.ru/gistory-perem.htm>> (8.07.2010).
2. **Московский** журнал «Впервые...» <<http://www.mosjour.ru/index.php?id=598>> (1.01.2011).
3. **Павел** Николаевич Яблочков – биография <<http://to-name.ru/biography/pavel-jablochkov.htm#>> (2.05.2006).
4. **Генераторы** переменного тока, устройство и принцип действия <<http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/gl/proizv3/gjenjeratorypjerjemjennogotokaprimjenjenijeiprincipdjejstvija.htm>> (7.04.2007).

*Е.И. Некрасова, студ.; рук. А.Н. Королев, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСТАВШАЯСЯ В ТЕНИ. ПЕРВАЯ ЖЕНЩИНА-ЭЛЕКТРИК

В этой статье речь пойдет о человеке талантливым, целеустремленном и смелом, сумевшем стать первой женщиной – членом международ-

ной организации «Союза инженеров-электриков», первой женщиной-ученым, сделавшей официальный доклад в Британской академии наук – Лондонском Королевском обществе и оставившей следы своей деятельности в электротехнике, радиотехнике, кинематографии и даже в военной технике.

Герда Айртон (урожденная Маркс) родилась в Портси, Англия, в 1854 г. была третьим ребенком из восьми детей часовщика. Окончив школу, Герда остается в Лондоне, зарабатывает себе на жизнь и помогает своей семье. После успешной сдачи вступительных экзаменов по математике и английскому языку в 1876 г. она становится студенткой. Все помыслы юной леди направлены на то, чтобы доказать своим примером, что они ничем не хуже джентльменов, обучающихся в других колледжах.

В 1899 г. Герда Айртон делает в институте доклад о своих наблюдениях по Вольтовой дуге, который производит на слушателей большое впечатление. Проблем с голосованием не было и ее избирают членом Института инженеров-электриков. Так появилась первая женщина-электрик.

Работы по дуге и волновым процессам не остались незамеченными учеными Англии. В 1902 г. ее выдвигают кандидатом в члены Лондонского Королевского общества. Но Чартер (устав) академии не позволяет любой женщине быть ее членом. Это было для Герды тяжелым разочарованием.

В 1906 г. Герду Айртон приглашают в Королевское общество сделать доклад по темам ее работ. Доклад был сделан блестяще и её научные работы были представлены к награде Большой медалью и небольшой премией. Но радость была не в премии, а в том, что она оказалась первой женщиной читавшей доклад в английской Академии.

В годы первой мировой войны большой патриот своей родины Герда Айртон разрабатывает конструкцию специального вентилятора для борьбы с отравляющими газами противника, тогда впервые примененными немцами. Она изобретает малогабаритный вентилятор для выдувания ползущего по земле тяжелого отравляющего вещества и вентиляции окопов. Авиация тогда была развита недостаточно, чтобы иметь возможность атаковать с воздуха, и метод, предложенный Гердой, был принят. Британская армия закупила 100.000 таких вентиляторов.

Библиографический список

1. **Электронная** электротехническая библиотека" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://locus.ru/library/stati_po_energetike/829/page/1.
2. **Официальный** сайт компании «АКФА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://akfalighting.com/facts>.
3. **Официальный** сайт компании ОАО «МРСК Центра» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mrsk-1.ru/common/upload/list_file/2010-March.pdf.

*М.В. Зотова, Ю.А. Кузнецова, студенты;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ МАШИНА, ОТКРЫВШАЯ НОВЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Значительный перелом в представлениях об электрических и магнитных явлениях наступил в начале XVII в., когда вышел в свет фундаментальный научный труд английского ученого Вильяма Гильберта (1554 – 1603 гг.) «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле» (1600 г.). Гильберт считал, что причиной действия на магнитную стрелку является магнетизм Земли, которая является большим магнитом. Свои выводы он основывал на оригинальном эксперименте, впервые им осуществленном. Он изготовил из магнитного железняка небольшой шар – «маленькую Землю – тереллу» и доказал, что магнитная стрелка принимает у поверхности этой «тереллу» такие же положения, какие она принимает в поле земного магнетизма. Он установил возможность намагничивания железа посредством земного магнетизма.



Рис. 1. Книга Гильберта

Исследуя магнетизм, Гильберт занялся также и изучением электрических явлений. Он доказал, что электрическими свойствами обладает не только янтарь, но и многие другие тела – алмаз, сера, смола, горный хрусталь, электризующиеся при их натирании. Эти тела он называл «электрическими», в соответствии с греческим названием янтаря (электрон). Но Гильберт безуспешно пытался наэлектризовать металлы, не изолируя их. Поэтому он пришел к ошибочному выводу о невозможности электризации металлов трением.

Фундаментальный труд Гильберта выдержал в течение XVII в. несколько изданий, он был настольной книгой многих естествоиспытателей

в разных странах Европы и сыграл огромную роль в развитии учения об электричестве и магнетизме.

Одним из первых, кто, познакомившись с книгой Гильберта, решил получить более сильные проявления электрических сил, был известный изобретатель воздушного насоса магдебургский бургомистр Отто фон Герике (1602 – 1686 гг.). В 1650 г. он изготовил шар из серы «величиной с детскую голову», насадил его на железную ось, укрепленную на деревянном штативе (рис. 1). При помощи ручки шар мог вращаться и натирался ладонями рук или куском сукна, прижимаемого к шару рукою. Это была первая простейшая электростатическая машина. Герике удалось заметить слабое свечение электризуемого шара в темноте и, что особенно важно, впервые обнаружить, что пушинки, притягиваемые шаром, через некоторое время отталкиваются от него – это явление ни Герике, ни многие его современники долго не могли объяснить.



Рис. 2. Электростатическая машина Герике

Из письма известного немецкого ученого Г.В. Лейбница (1646 – 1716 гг.) Герике (март 1672 г.) известно, что Лейбниц, пользуясь его машиной, наблюдал электрическую искру – это первое упоминание об этом загадочном явлении.

В течение первой половины XVIII в. электростатическая машина претерпела ряд усовершенствований: шар из серы был заменен стеклянным (так как стекло более интенсивно электризовалось), а позднее вместо шаров или цилиндров, которые труднее было изготовить и при нагревании они нередко взрывались, стали применять стеклянные диски. Для натирания использовались кожаные подушечки, прижимаемые к стеклу пружинками. Позднее для усиления электризации подушечки стали покрывать амальгамой. Важным новым элементом конструкции машины стал кондуктор (1744 г.) – металлическая трубка, подвешенная на шелковых нитях, а позднее устанавливаемая на изолирующих опорах. Кондуктор служил резервуаром для сбора электрических зарядов, образованных при трении.

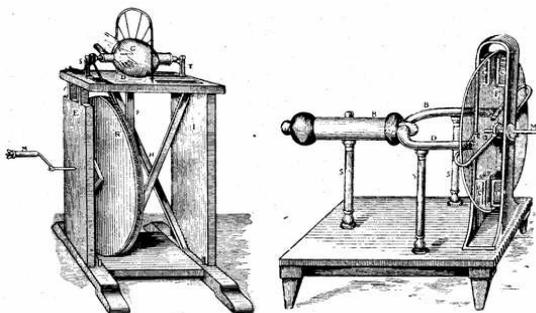


Рис. 3. Электростатическая машина XVIII в.

В 60-х гг. XVIII в. электростатическая машина приобрела основные современные черты. Стремясь получить наибольший эффект, некоторые изобретатели сооружали машины огромных размеров: так, например, в Лондоне хранится электростатическая машина с диаметром диска 2 м 27 см, причем вращение его осуществлялось паровой машиной (1849 г.).

Разнообразные эксперименты с электростатическими машинами и успехи в области естествознания вызывали значительный интерес к электрическим и магнитным явлениям и привели к открытию ранее неизвестных фактов. Были обнаружены два рода электричества и выявлены законы их взаимодействия, установлена «быстрота передачи электричества». Создаются новые электрические приборы, позволившие получать и накапливать электричество в больших количествах, а также измерять его интенсивность. Начинается изучение явлений атмосферного электричества, разрабатываются первые теории электрических явлений.



Рис. 4. Один из первых электроскопов с золотыми листочками, изобретенный Дюфе

Значительным шагом в изучении свойств электрических зарядов были исследования Стефана Грея (1670 – 1736 гг.) – члена английского Королевского общества и Шарля Франсуа Дюфе (1698 – 1739 гг.) – члена Парижской Академии наук. В результате многочисленных экспериментов С. Грей удалось установить, что «электрическая способность стеклянной трубки притягивать легкие тела может быть передана другим телам», и показать (1729 г.), что тела в зависимости от их отношения к электричеству можно разделить на две группы: проводники (например, металлическая нить, проволока) и непроводники (например, шелковая нить).

Продолжая опыты С. Грея, Ш. Ф. Дюфе (в 1733 – 1737 гг.) обнаружил два рода электричества – «стеклянное», «смоляное» и их особенность отталкивать одноименные заряды и притягивать противоположные. Дюфе также создал прототип электроскопа в виде двух подвешенных нитей, расходящихся при их электризации.

Библиографический список

3. **Официальный** сайт компании "Локус" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://locus.ru/library/stati_po_energetike/829/page/1.

4. **Информационный** канал Subscribe.Ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://subscribe.ru/archive/tech.electrotech/200904/13060559.html>.

*М.В. Ильина, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Сверхпроводимость – состояние, в которое при низкой температуре переходят некоторые твердые электропроводящие вещества. Сверхпроводимость была обнаружена во многих металлах и сплавах и в некоторых полупроводниковых и керамических материалах [1]. Два из наиболее удивительных явлений, которые наблюдаются в сверхпроводящем состоянии вещества, – исчезновение электрического сопротивления в сверхпроводнике и выталкивание магнитного потока из его объема [2].

Сверхпроводящее состояние возникает скачкообразно при температуре, которая называется температурой перехода. Выше этой температуры металл или полупроводник находится в нормальном состоянии, а ниже ее – в сверхпроводящем. Температура перехода данного вещества определяется соотношением двух «противоположных сил»: одна стремится упорядочить электроны, а другая – разрушить этот порядок [3].

Сверхпроводимость обнаружена у 30 элементов и около 1000 сплавов. Сверхпроводящие свойства обнаруживают многие сплавы со структурой упорядоченных твердых растворов и промежуточных фаз (о-фаза, фаза Лавеса и др.). При обычных температурах эти вещества не обладают высокой проводимостью [3].

Таблица 1. Сверхпроводники и их температуры перехода в сверхпроводящее состояние ($^{\circ}\text{K}$) [4]

Металл и соединение	Температура перехода $T_{\text{к}}$, $^{\circ}\text{K}$	Металл и соединение	Температура перехода $T_{\text{к}}$, $^{\circ}\text{K}$
Ванадий	5,1	Цинк	0,79
Тантал	4,38	Nb_3Sn	18,1
Белое олово	3,73	NbV	14,7
Свинец	7,22	V_3Si	17,0
Рений	2,40	Tl_3Bi_5	6,4
Молибден	0,92		

Наиболее общим свойством сверхпроводников является существование критической температуры сверхпроводимости $T_{\text{к}}$, ниже которой электросопротивление вещества становится исчезающе малым [4].

Переход из нормального состояния (с ненулевым электросопротивлением) в сверхпроводящее наблюдается не только в чистых элементах, но также в сплавах и интерметаллических соединениях. Б. Маттиас сформулировал правила, связывающие существование сверхпроводимости с валентностью Z :

1. Сверхпроводимость существует только при $2 < Z < 8$.
2. У переходных металлов, их сплавов и соединений при $Z = 3, 5$ или 7 наблюдаются максимальные температуры перехода в сверхпроводящее состояние (см. рис. 2).
3. Для каждого данного значения Z предпочтительны определенные кристаллические решетки (для получения максимальной $T_{\text{к}}$) причем $T_{\text{к}}$ быстро растет с атомным объемом сверхпроводника и падает с увеличением массы атома [5].

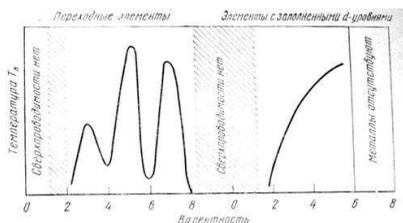


Рис. 1. Наличие сверхпроводимости и $T_{\text{к}}$ переходных и простых металлов [5]

Наиболее перспективными с точки зрения технического применения являются сверхпроводники с высокой критической температурой. Наиболее высокой T_K обладают сплавы и соединения переходных металлов ниобия и ванадия. Эти сверхпроводящие материалы делятся на три группы: 1) сплавы (твердые растворы) с объёмно-центрированной кубической решеткой – Nb-Ti, Nb-Zr. $T_K \sim 10$ К и выше; 2) соединения с решеткой каменной соли, например NbN и Nb (C, N), $T_K \sim 18$ К; 3) соединения ниобия и ванадия с элементами подгрупп алюминия и кремния, имеющие кристаллическую решетку типа β -W и стехиометрическую формулу A_3B , где A – Nb или V, B – элемент подгруппы ШВ или IVB, например V_3Si , Nb_3Sn , $Nb_3(Al, Ge)$, $T_K \sim 21$ К и выше [5].

Вещества в сверхпроводящем состоянии обладают специфическими магнитными свойствами. В первую очередь это проявляется в зависимости критической температуры сверхпроводимости от напряженности внешнего магнитного поля. Критическая температура максимальна в отсутствие внешнего магнитного поля и снижается при увеличении его напряженности. При некоторой напряженности внешнего поля H_{KM} , называемой критической $T_K = 0$. Другими словами, в полях, равных или больших H_{KM} , сверхпроводящее состояние в веществе не возникает ни при каких температурах. Такое поведение сверхпроводников иллюстрируется кривой $H_K(T)$ (рис. 3). Каждая точка этой кривой дает величину критического внешнего поля H_K при данной температуре $T < T_K$, вызывающего потерю сверхпроводимости. Эта кривая является кривой фазового перехода: сверхпроводящая фаза \rightarrow нормальная фаза. В отсутствие магнитного поля этот переход является фазовым переходом второго рода. В присутствии внешнего магнитного поля – это переход первого рода.

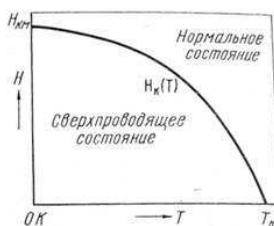


Рис. 2. Зависимость критического поля сверхпроводника от температуры [5]

Другим важным магнитным свойством сверхпроводников является их диамагнетизм. Внутри сверхпроводника, помещенного в магнитное поле, индукция равна нулю. Если же сверхпроводник помещен в магнитное поле при температуре выше критической, то при охлаждении ни-

же T_k магнитное поле «выталкивается» из сверхпроводника и его индукция в этом случае также равна нулю [1].

Сверхпроводники с малой глубиной проникновения (резкое затухание магнитного поля у поверхности) называются мягкими сверхпроводниками, или сверхпроводниками I рода. Имеются также жесткие сверхпроводники, или сверхпроводники II рода. Сверхпроводники II рода характеризуются более высокими значениями критических полей и большей шириной температурной области перехода в сверхпроводящее состояние. Для мягких сверхпроводников (олово, ртуть, цинк, свинец) температурный интервал перехода в сверхпроводящее состояние составляет около 0,05 К, тогда как для жестких сверхпроводников (ниобий, рений, соединения со структурой β -W) температурный интервал сверхпроводящего перехода составляет около 0,5 К [4].

Фундаментальным различием между сверхпроводниками I и II рода является знак поверхностной энергии между нормальной и сверхпроводящей фазами. В сверхпроводниках II рода эта энергия отрицательна. В силу этого в таких сверхпроводниках в полях, меньших критического, возможно возникновение нормальных (несверхпроводящих) областей, отделенных от сверхпроводящих областей границами, параллельными внешнему магнитному полю. Появление таких нормальных областей (линий магнитного потока) может привести к снижению свободной энергии тела если граничная энергия отрицательна [5].

Среди чистых металлов сверхпроводниками II рода являются ниобий и ванадий, остальные металлы – сверхпроводники I рода [2].

Сегодня большое внимание уделяется исследованию и разработке конструкций, использующих сверхпроводниковые материалы, которые дают возможность по-новому подойти к вопросам создания электротехнических устройств.

Увеличение плотности тока, повышение удельной мощности, а также наличие особых, присущих только сверхпроводникам, физических свойств создают предпосылки для разработки высокоэффективных видов электроэнергетического оборудования.

Применение высокотемпературных сверхпроводников и СП-оборудования в электроэнергетике обеспечивает многие преимущества:

- сокращение потерь электроэнергии примерно в два раза;
- снижение массогабаритных показателей оборудования в два-четыре раза;
- повышение надежности и продление срока эксплуатации электрооборудования за счет снижения старения изоляции;
- повышение надежности и устойчивости работы энергосистем;

- повышение качества электроэнергии, поставляемой потребителям;
- повышение уровня пожарной и экологической безопасности электроэнергетики;

- создание принципиально новых систем энергетики.

Особый эффект в электроэнергетике СП-технологии могут дать при их применении в системах электроснабжения мегаполисов и крупных городов.

Библиографический список

1. **П. Де Жен.** Сверхпроводимость металлов и сплавов. – М., 1968
2. **Тинкхам М.** Введение в сверхпроводимость. – М., 1980
3. **Шмидт В.В.** Введение в теорию сверхпроводников. – М., 1982
4. **Физическое металловедение.** Под ред. Р. Кана. Т. 1. – М.: Мир, 1967. – 339 с.
5. **Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л.** Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

*Д.Г. Елисеев, студ.;
рук Г.В. Чекан, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

У ИСТОКОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ

Уильям Шокли заинтересовался идеей создания полупроводникового усилительного элемента ещё в 1939 г. Он пытался управлять проводимостью полупроводника с помощью электрического поля. По замыслу Шокли управляющее поле не должно создавать ток в полупроводнике, т.е. гальванического контакта между источником этого поля и полупроводником не должно быть. Роль управляющего поля должна была сводиться лишь к изменению проводимости полупроводника и в итоге – к управлению током в цепи другого источника [1].

Конструкция полупроводникового усилительного элемента, придуманная Шокли, возникла как результат простого копирования идеи вакуумного триода. Однако даже при сильных полях управлять проводимостью и током в полупроводнике не удавалось, что объясняется недостаточным уровнем технологии того времени.

После войны эксперименты возобновились. В конце 1945 г. фирма Bell Telephon Labs поставила задачу создания полупроводниковых заменителей ламп. Для решения поставленной задачи фирмой была организована группа специалистов, в состав которой вошли физики Джон Бардин, Уолтер Браттейн и Уильям Шокли. Возглавить группу было поручено Уильяму Шокли.

В основу исследований была положена довоенная идея Шокли, и по-прежнему множество экспериментов завершились неудачей. Их причину установил сам Шокли. Он предположил, что поле вызывает на поверхности полупроводника деформацию энергетических уровней, противодействующую его проникновению вглубь полупроводника. Так был открыт и объяснён «эффект поля», сыгравший в дальнейшем большую роль при разработке различных типов полевых транзисторов.

Транзисторный эффект был выявлен лишь в 1947 г. при исследовании двух близко расположенных точечных контактов, образующих в местах контактов р-п-переходы («кошачий ус»). После множества неудач У. Браттейн случайно перепутал полярность питания на одном из контактов и неожиданно обнаружился усилительный эффект. Дж. Бардин дал его научное объяснение, введя понятие инжекции подвижных зарядов из открытого р-п-перехода в прилегающую к нему область полупроводника. 16 декабря 1947 года был создан первый точечный транзистор.

Характеристики точечного транзистора оказались неустойчивыми, и дальнейшего применения он не нашёл. Вскоре свой вклад в решение проблемы вновь внёс У. Шокли. Он предложил плоскостной транзистор, ставший на долгие годы основой макроэлектроники, микроэлектроники и нанoeлектроники.

В 1950 году Холл и Данлоп предложили формировать р-п-переходы сплавлением, так был создан сплавной транзистор.

В начале 1954 года Шокли предложил использовать диффузию по Фуллеру для формирования р-п-переходов с заданной глубиной и профилем концентрации примесей. В 1955 году создан диффузионный транзистор.

В августе 1958 года Fairchild Semiconductor представила разработанный Гордоном Муром 2N696 — первый кремниевый мезатранзистор. Он отличался тем, что обработка проводилась целыми, неразрезанными пластинами с применением фотолитографии и мокрого окисления по Фрошу

В 1959 г. Роберт Нойс (будущий основатель фирмы Intel) изобрел способ, позволяющий создавать на одной пластине кремния транзисторы и все необходимые соединения между ними. Полученные электронные схемы стали называться интегральными схемами, или чипами.

В 2004 году Новосёловым К.С. и Геймом А.К. был открыт новый полупроводниковый материал графен. Этот основной претендент на замену кремнию также является материалом углеродной группы. На его основе создается транзистор, работающий в трех разных режимах.

Термин означает трёхэлектродный полупроводниковый электронный прибор, в котором ток в цепи двух электродов управляется третьим.

В структуре любого транзистора есть три вывода – это база (затвор), эмиттер и коллектор [2]. Управление током в выходной цепи осуществляется либо за счет изменения входного тока, либо входного напряжения. При этом даже небольшое варьирование входных величин может приводить к существенному изменению выходного напряжения и тока. Принцип работы транзистора во многом похож на принцип действия такого известного всем устройства, как рупор. Достаточно произнести что-нибудь перед его узким отверстием, направив широкое в сторону другого человека, стоящего в нескольких десятках метров, и голос, усиленный рупором, будет хорошо слышен вдалеке. Вот так и в случае транзистора – если пропустить через участок “база – эмиттер” слабый ток, он будет усилен транзистором в десятки, и даже сотни раз, а усиленный ток потечет через участок “коллектор – эмиттер”. Это явление связано с тем, что внешние электрические поля и токи могут изменять плотность носителей заряда в полупроводнике и оказывать существенное влияние на его электропроводность.

Транзисторы могут быть как единичными (дискретными) приборами, так и являться элементом интегральной схемы рис. 1.

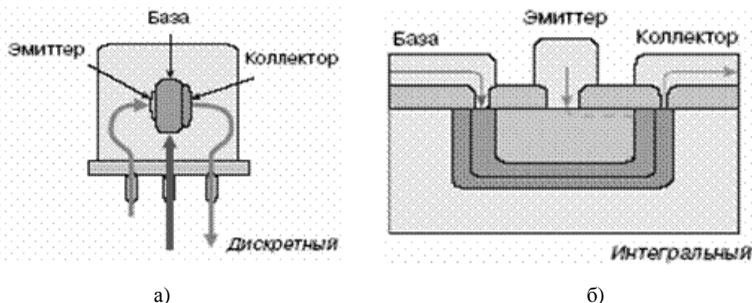


Рис. 1. Устройство дискретного и интегрального полупроводниковых транзисторов

В настоящее время находят применение транзисторы двух видов – биполярные и полевые.

Биполярными транзисторы так называют потому, что электрический ток в них образуют электрические заряды положительной и отрицательной полярности. Носители положительных зарядов принято называть дырками, отрицательные заряды переносятся электронами. В биполярном транзисторе используют кристалл из германия или кремния – основных полупроводниковых материалов, применяемых для изготовления транзисторов и диодов. Поэтому и транзисторы называют одни кремниевыми, другие – германиевыми.

Для изготовления кристалла используют сверхчистый материал, в который добавляют специальные строго дозированные примеси. Они и определяют появление в кристалле проводимости, обусловленной дырками (р-проводимость) или электронами (n-проводимость). Таким образом, формируют один из электродов транзистора, называемый базой. Если теперь в поверхность кристалла базы ввести тем или иным технологическим способом специальные примеси, изменяющие тип проводимости базы на обратную так, чтобы образовались близлежащие зоны n-p-n или p-n-p, и к каждой зоне подключить выводы, образуется транзистор. Одну из крайних зон называют эмиттером, т. е. источником носителей заряда, а вторую – коллектором, собирателем этих носителей. Зона между эмиттером и коллектором называется базой. Выводам транзистора обычно присваивают названия, аналогичные его электродам. Усилительные свойства транзистора проявляются в том, что если теперь к эмиттеру и базе приложить малое электрическое напряжение – входной сигнал, то в цепи коллектор – эмиттер потечет ток, по форме повторяющий входной ток входного сигнала между базой и эмиттером, но во много раз больший по значению.

Полевой транзистор представляет собой полупроводниковый прибор, в котором управление током между двумя электродами, образованным направленным движением носителей заряда дырок или электронов, осуществляется электрическим полем, создаваемым напряжением на третьем электроде. Электроды, между которыми протекает управляемый ток, и носят название истока и стока, причем истоком считают тот электрод, из которого выходят (истекают) носители заряда. Третий, управляющий, электрод называют затвором. Токопроводящий участок полупроводникового материала между истоком и стоком принято называть каналом, отсюда еще одно название этих транзисторов – каналные. Под действием напряжения на «затворе» относительно истока меняется сопротивление «канала» а значит, и ток через него.

Усиливающая способность транзисторов используется в аналоговой технике, например, в аналоговом телевидении и радио. Другим важнейшим применением является цифровая техника (память, процессоры, компьютеры, цифровая связь и т.п.) – транзисторы заменили вакуумные лампы в большинстве электронных устройств, совершив революцию в создании интегральных схем и компьютеров. В настоящий момент вся современная цифровая техника основана на так называемых МОПТ – транзисторах, изготовленных на основе металл – оксид – полупроводниковых слоев.

Изобретение транзисторов и создание на их базе электротехнических устройств – важная веха в современной науке и технике.

Библиографический список

1. **Арефьев А.С.** История транзистора / А.С. Арефьев, В.В. Рудь, А.И. Тяжев // Академия связи. – 2008. – № 4.
2. **Транзисторы** <http://www.nanometer.ru/2008/12/18/nanoazbuka_54962.html> (18.12.2008).

*М.А. Чадов, студ.; рук. А.Н. Королёв, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НИКОЛА ТЕСЛА – ВСЕМИРНО ИЗВЕСТНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИК

Никола Тесла (10 июля 1856, Австрийская империя, Хорватии – 7 января 1943, Нью-Йорк, США) – изобретатель в области электротехники и радиотехники, инженер, физик. Родился и вырос в Австро-Венгрии, в последующие годы в основном работал во Франции и США.

Широко известен благодаря своему вкладу в создание устройств, работающих на переменном токе, многофазных систем и электродвигателя, позволивших совершить так называемый второй этап промышленной революции. Он открыл переменный ток, флюоресцентный свет, беспроводную передачу энергии, впервые разработал принципы дистанционного управления, основы лечения токами высокой частоты, построил первые электрические часы, двигатель на солнечной энергии и многое другое, получив на свои изобретения 300 патентов в разных странах. Он изобрёл радио раньше Маркони и Попова, получил трёхфазный ток раньше Доливо-Добровольского.

Именем Н. Теслы названа единица измерения плотности магнитного потока (магнитной индукции).

С 1889 года Никола Тесла приступил к исследованиям токов высокой частоты и высоких напряжений. Изобрёл первые образцы электромеханических генераторов ВЧ (в том числе индукторного типа) и высокочастотный трансформатор (трансформатор Теслы, 1891).

Трансформатор Тесла, также катушка Тесла (англ. Tesla coil) – устройство, изобретённое Николой Тесла и носящее его имя, является резонансным трансформатором, производящим высокое напряжение высокой частоты. Прибор был запатентован 22 сентября 1896 года как «Аппарат для производства электрических токов высокой частоты и потенциала».

Тесла одним из первых запатентовал способ надёжного получения токов, которые могут быть использованы в радиосвязи. 10 марта 1891 года, в США Тесла получил патент, описывающий «Метод управления дугowymi лампами, в котором генератор переменного тока производил высокочастотные (по меркам того времени) колебания тока порядка 10 кГц.

Башня Ворденклиф (1901 – 1917, также известная как Башня Теслы) – первая беспроводная телекоммуникационная башня, созданная Николой Теслой и предназначавшаяся для коммерческой трансатлантической телефонии, радиовещания, и демонстрации беспроводной передачи электроэнергии. Первые полномасштабные испытания башни-резонатора прошли 15 июня 1903 года ровно в полночь по местному времени.

Целью мировой беспроводной системы Теслы являлось совмещение передачи энергии с радиовещанием и направленной беспроводной связью, которое бы позволило избавиться от многочисленных высоковольтных линий электропередачи и содействовало бы объединению электрических генерирующих в глобальном масштабе.

Тесла умер в ночь с 7 на 8 января 1943 года. Тесла всегда требовал, чтобы ему не мешали, на дверях его гостиничного номера в Нью-Йорке даже висела специальная табличка. Тело было обнаружено горничной и директором отеля «Нью-Йоркер» лишь спустя 2 дня после смерти. 12 января тело кремировали, и урну с прахом установили на Фэрнклиффском кладбище в Нью-Йорке. Позже она была перенесена в Музей Николы Теслы в Белграде.

Библиографический список

1. Сайт свободной энциклопедии "Википедия" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
2. Портал Peoples.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.peoples.ru/>

*А.Н. Ивашина, А.С. Смирнова, студенты;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СУД НАД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПОЧКОЙ

Изобретение электрической лампочки является одним из величайших открытий в истории человечества, имевшее огромное значение. Это привело к перевороту в области энергетики, крупнейшим сдвигам в промышленности, всеобщей электрификации. Сегодня трудно найти уголок в мире, где бы ни было электричества. Оно стало неотъемлемой, обязательной частью жизни любого цивилизованного человека.

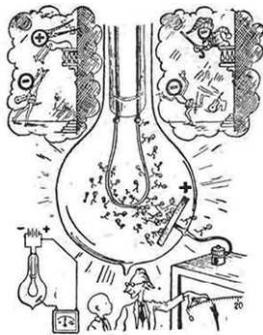
Внедрение научно-технических достижений в повседневную практику нередко сталкивалось с таким противодействием, что поборникам нового приходилось порой использовать форму судебного процесса с об-

винителями, защитниками и судьями для доказательства преимуществ новой техники.

Удивительно, но факт, что с помощью судебного процесса пришлось доказывать широкой публике, казалось бы, очевидные преимущества электрического освещения.

Для этого в марте 1879 года английский парламент учредил комиссию, которая должна была положить конец кривотолкам и нелепым слухам, распускавшимся противниками электричества – газовыми компаниями.

Комиссия обладала значительными полномочиями: она имела право вызывать всех свидетелей, каких сочтет нужными, и на тех же правах, на которых их вызывает суд. Дознание производилось так же, как судебное следствие. Ответчиком было электричество.



Свидетели давали показания относительно его свойства и действий, стенографисты записывали их. Члены комиссии занимали судейские места. Стол с вещественными доказательствами был заставлен различными электрическими приборами, с которыми тут же проводились опыты. Стены покрывали чертежи и диаграммы.

Председателем суда был избран профессор химии Л. Плейфер. Строго соблюдая процедуру суда, комиссия “допросила” свидетелей защиты – Тиндала, Томсона, Приса, Сименса, Кука и других.

Доводы свидетелей обвинения были следующими. По мнению художников, электрический свет “холоден и представляет мало экспрессии”. Английские леди находили, что он придает “какую-то мертвенность лица и, кроме того, затрудняет выбор одежды, так как освещенные электрическим светом костюмы кажутся иными, чем при вечернем освещении”.

Торговцы Биллингсгэтского рынка жаловались на то, что “электрический свет придает дурной вид рыбе, и просили снять устроенное у них освещение”. Многие жаловались на резь в глазах и мигание света. Свидетели защиты терпеливо разъясняли, что следует смотреть не на фонари, а на освещенные ими предметы, что смотреть прямо на солнце еще больнее, но никто не ставит это в вину солнечному свету. Что мертвенность лица замечается только “при смешении газового света с электрическим”. Что “мигание” дуги в лампах от некачественно изготовленных электродов. И т.д. и т.п.

В приговоре комиссия постановила, что электрический свет вышел из области опытов и проб и ему необходимо предоставить возможность конкуренции с газовым освещением. Комиссия запретила передавать электрическое освещение газовым компаниям, “как некомпетентным в вопросах электротехники”.

Что же касается экономичности, то электротехнике предстояло пройти еще длительный путь – к созданию центральных электрических станций, линий электропередачи и распределительных устройств.

Библиографический список

1. **Официальный** сайт компании "СмартЭлектро". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.http://smart-electro.com/28_1.php](http://smart-electro.com/28_1.php).

2. **С.А. Бажанова** "Как работает радиолампа. Классы усиления" Электронная версия книги. Электронный адрес: <http://nice.artip.ru/kak-rabotaet-radiolampa-klassy-usileniya-sa-bazhanov>.

3. **Сайт** "Мир великих открытий". [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://mimovogo.ru/elektricheskaya-lampochka>.

*А.А. Карцев, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ: ИЗ БУДУЩЕГО В ПРОШЛОЕ

Почему мы все сейчас не ездим на электромобилях? Ведь он появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания. Первый электромобиль в виде тележки с электромотором был создан в 1841 г. Он был старше, удачливее и популярнее. Об успехах «электромобилизации» тех лет говорит и то, что первые рекорды скорости были установлены именно на электромобилях. В 1895 году состоялся первый в мире официально зарегистрированный заезд, во время которого электромобиль француза Шарля Жанто показал скорость 63 км/ч. А в 1899 La Jamais Contente, построенный бельгийцем Камилем Иенатци, первым из всего сухопутного транспорта преодолел барьер в 100 км/ч и достиг скорости 105,882 км/ч. В том же году электромобиль фирмы Vorland Electric проехал на одной зарядке от Чикаго до Милуоки расстояние в 167 км со средней скоростью 55 км/ч. Конец XIX – начало XX веков можно считать «золотым веком» электромобиля. Наибольшей популярностью электромобили пользовались в США, где в начале XX века их количество более чем в 1,5 раза превышало количество автомобилей. Так, согласно статистике, 38 % транспортных средств имели электрические двигатели, 40 % – паровые, 22 % – бензиновые. Электромобили нашли очень широкое применение:

кроме личного средства передвижения они использовались в качестве такси, пожарных машин и карет скорой помощи. В 1910 году в Нью-Йорке около 70000 такси были электрическими.

Успех электромобилей очевиден, но история их развития не столь однозначна, как может показаться на первый взгляд. Отдельной вехой в истории строения электромобилей являются разработки Николы Тесла. Именно он является создателем электромобиля, который мог похоронить все бензиновые двигатели навсегда. При поддержке компаний Pierce-Arrow Co. and General Electric в 1931 Тесла снял бензиновый двигатель с нового автомобиля фирмы Pierce-Arrow и заменил его электромотором переменного тока мощностью в 80 л.с. без каких бы то ни было традиционно известных внешних источников питания. В местном радиомагазине он купил 12 электронных ламп, провода, несколько разномастных резисторов, собрал из этого некое устройство и поместил его в коробочку длиной 60 см, шириной 30 см и высотой 15 см. Укрепив коробочку сзади за сиденьем водителя, он присоединил провода к бесщеточному двигателю воздушного охлаждения. Два стержня диаметром 0,625 мм и около 7,5 см длиной торчали из коробки. Тесла занял водительское место, подключил эти два стержня и заявил: «Теперь мы имеем энергию». Он нажал на педаль и автомобиль поехал. Это транспортное средство развивало скорость до 150 км/ч и обладало характеристиками лучшими, чем любой автомобиль с двигателем внутреннего сгорания на то время. Одна неделя была потрачена на испытания транспортного средства, и при этом не была произведена ни одна подзарядка или замена электрического оборудования. Поскольку на машине стоял двигатель переменного тока и не имелось никаких батарей, справедливо возникает вопрос: «Откуда же в нем бралась энергия?» На подобные вопросы Тесла отвечал: «Из эфира вокруг всех нас». Такое заявление казалось полым безумием, и в газетах стали появляться статьи, обвиняющие конструктора в «чёрной магии». Скептические комментарии прессы побудили учёного к тому, что он снял с машины таинственную коробочку и возвратился в свою лабораторию. Тайна его источника энергии умерла вместе с ним...

Вернемся к традиционным электромобилям. Что могло прервать их развитие на самом пике популярности? Обратимся к мировой истории и американской экономике того времени. Именно на конец XIX – начало XX веков пришлось открытие множества новых нефтяных месторождений Америки. Это было время становления нефтяных монополий, имеющих контроль над топливными компаниями и влияющих на автомобильную индустрию, а электромобили могли стать для них серьезным конкурентом, заставляющим нести огромные финансовые потери. Началось

бурное развитие двигателей внутреннего сгорания (ДВС). И в скором времени автомобили с ДВС стали заметно опережать электромобили как по скоростным показателям, так и по запасу хода. Таким образом, нефтяные корпорации, финансируя авто-концерны и диктуя цены на топливо вытеснили электромобили с рынка. До сих пор на оплату борьбы с «электромобильностью», по неофициальным данным, уходит около 1,5 % доходов нефтяных компаний.

Похожую ситуацию вновь можно наблюдать в 90-е годы XX века в США. В 1990 году правительством была принята государственная программа по поддержке электромобилей, согласно которой уже к 2003 году 10 % всех автомобилей страны должны были иметь нулевой уровень вредных выбросов. Компания General Motors (GM) отреагировала одной из первых и с 1996 года начала серийный выпуск модели EV1 с полностью электрическим приводом. Уже в первый месяц после выхода электромобиля на рынок было около 50000 желающих его приобрести или взять в аренду. Для GM такой резкий спрос на машину был весьма неожиданной новостью, причем новостью неприятного характера: при массовом производстве EV1 компания имела бы многомиллионные убытки, как от продажи остальных автомобилей, так и от их ремонта и обслуживания. Электромобили вновь стали угрозой для нефтяной индустрии. Корпорации оказали огромное давление на правительство. Учитывая прямую зависимость экономики страны от нефтяной составляющей, власти вскоре отменили свой собственный «экологический» закон, дав тем самым GM формальные основания для прекращения выпуска электромобилей. Компания без объяснения причин изъяла все автомобили у арендаторов для последующей утилизации. И снова производство и распространение электромобилей было искусственно приостановлено.

Существует ещё одна не менее важная причина, по которой электромобили и в настоящее время не могут составить конкуренцию автомобилям с ДВС. Эта причина в источнике питания – литий-ионных батареях. По-прежнему их небольшая ёмкость сильно ограничивает пробег электромобиля: за полтора столетия эволюции они так и не достигли характеристик, позволяющих ему на равных конкурировать с бензиновыми и дизельными автомобилями по запасу хода. Если в 1912 году электромобиль американской фирмы Detroit Electric установил рекорд, проехав на одной зарядке 340 км, то в 2010 году переделанная на электротягу малолитражка Daihatsu Mira EV преодолела дистанцию в 1003 км. Прогресс очевиден, но это результаты рекордных заездов, а в повседневной эксплуатации дела обстоят еще хуже. Тот же Detroit Electric в своей рекламе обещал средний пробег до 130 км, а современные Tesla Model S могут проехать без подзарядки около 425 км. Конечно, этого вполне достаточно

для поездок в пределах города, но пробеги на более дальние расстояния будут уже весьма затруднительны. Данное обстоятельство позволяет иметь Tesla Model S только в качестве второго или третьего автомобиля в семье, но при этом стоит учитывать достаточно высокую (от 62 до 87 тысяч долларов) стоимость электромобиля.

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что на данном этапе развития автомобильной индустрии электромобиль не может выступать стопроцентным конкурентом традиционному автомобилю и полностью его заменить. Пока существует кризис литий-ионных источников энергии, заметного прогресса в строении электромобилей быть не может. Заглядывая в прошлое, можно предположить, что автомобилестроение сумело противостоять нефтяному влиянию и пойти по иному пути – пути электрификации. В таком случае мы бы вряд ли сейчас задавались вопросом о проблемах автотранспорта. Но не все так безнадежно, ведь тайна электромобиля Теслы по-прежнему остается загадкой...

*М.Ю. Пручкин, студ.; рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АККУМУЛЯТОРА

Принято считать, что основные принципы работы, использующиеся и по сей день, были открыты в конце XVIII века итальянским физиком и естествоиспытателем Алессандро Вольтой (1745 – 1827). Именно тогда, работая в университете города Павия, он заинтересовался "животным электричеством", открытым несколькими годами ранее его соотечественником Луиджи Гальвани. Вольта доказал, что именно ток, вырабатываемый при контакте двух различных металлов, вызывает наблюдавшееся сокращение мышц в лягушачьих лапках. Этим он опроверг предположение Гальвани о том, что электричество вырабатывается в мышцах. Для того, чтобы доказать свою точку зрения, он наполнил соляным раствором две чаши и соединил их металлическими дугами. Один конец этих дуг был медным, а другой цинковый. Они были установлены так, что в каждой чаше было по одному электроду каждого типа. Эта конструкция (рис. 1) и стала первой батареей, вырабатывающей электричество за счет химического взаимодействия двух металлов в растворе. В 1800 г. он усовершенствовал ее, создав свой знаменитый "вольтов столб", первый источник постоянного тока. Он представлял собой 20 пар кружочков, изготовленных из двух различных металлов, проложенных кусочками

кожи или ткани, смоченных в соляном растворе. В знак признания заслуг итальянского ученого, его именем была названа единица электрического напряжения – вольт [1].

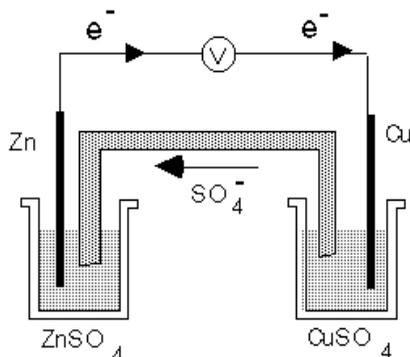


Рис. 1. Первая "химическая" батарея

Первый значительный прорыв был совершен французом Гастоном Планте. В 1859 г. он провел интересный опыт, внешне похожий на то, что проделал Вольта. В его гальваническом элементе в качестве электродов использовались свинцовые пластины, а электролитом являлась разбавленная серная кислота. Планте подключил к элементам источник постоянного тока, и некоторое время заряжал батарею. После этого прибор стал сам вырабатывать электричество, выдавая почти всю энергию, потраченную на зарядку. Причем подзаряжать его можно было много раз. Именно так и появился тот самый свинцовый аккумулятор, который еще долго будет использоваться во всех производимых автомобилях.

Существенным недостатком аккумулятора Планте была его небольшая емкость – он слишком быстро разряжался. Вскоре Планте заметил, что емкость можно увеличить специальной подготовкой поверхности свинцовых пластин, которые должны быть по возможности более пористыми. Чтобы добиться этого, Планте разряжал заряженный аккумулятор, а затем опять пропускал через него ток, но в противоположном направлении. Этот процесс формовки пластин повторялся многократно в течение приблизительно 500 часов и имел целью увеличить на обеих пластинках слой окиси свинца.

До тех пор, пока не была изобретена динамо-машина, аккумуляторы представляли для электротехников мало интереса, но когда появилась возможность легко и быстро заряжать их с помощью генератора, аккумуляторы получили широчайшее распространение.

Еще один прибор-долгожитель был разработан и запатентован другим французским изобретателем, Жоржем Лекланше в 1866 году. Названный в его честь элемент послужил прообразом современных "сухих" батарей, правда, изначально он такому названию не соответствовал. Дело в том, что в варианте, предложенном Лекланше, электролит был жидким. В производимых же сейчас батарейках он заменен на желеобразный для того, чтобы не допустить вытекания содержимого и порчи оборудования, которое эта батарея питает. В остальном же, за это время технология почти не изменилась. Как и полтора века назад, сухие элементы представляют собой цинковый стаканчик (анод), в который вставлен графитовый стержень (катод), а внутреннее пространство заполнено электролитом. По такой технологии выпускают самые дешевые и массовые источники питания

В 1882 году Камилл Фор значительно усовершенствовал технику изготовления аккумуляторных пластин. В аккумуляторе Фора формирование пластин происходило гораздо быстрее. Суть усовершенствования Фора заключалась в том, что он придумал покрывать каждую пластинку суриком или другим окислом свинца. При заряджении слой этого вещества на одной из пластин превращался в перекись, тогда как на другой пластинке вследствие реакции получалась низкая степень окисла. Во время этих процессов на обеих пластинах образовывался слой окислов с пористым строением, что способствовало скоплению выделяющихся газов на электродах.

В начале XX века усовершенствованием аккумулятора занялся Томас Эдисон, который хотел сделать его более приспособленным для нужд транспорта. В результате были созданы железно-никелевые аккумуляторы с электролитом в виде едкого калия. В 1903 году начинается производство новых портативных аккумуляторов, которые получили широкое распространение в транспорте, на электростанциях и в небольших судах.

Для легковых автомобилей 6-вольтовая электросистема была общепринятой почти полвека, и только в 50-х годах произошел массовый переход на 12 вольт. Эбонитовые корпуса батарей с торчащими наружу или залитыми мастикой перемычками между элементами постепенно уступили место более легким и прочным полипропиленовым. Пионером в применении синтетических материалов для корпусов аккумуляторов выступила в 1941 году австрийская фирма Varen, а полипропилен начала использовать американская фирма Johnson Controls в середине 60-х. Произойшли в конструкции свинцово-кислотных аккумуляторов и другие изменения, повлиявшие на их параметры и срок службы.

Большинство современных аккумуляторных батарей: никель-кадмиевые, никель-металл-гидридные, а также все литиевые – были разработаны уже в 20-м веке в лабораториях крупных компаний или универ-

ситетов. Основные принципы, на которых основано функционирование батарей, уже досконально изучены и описаны точными формулами. Сегодня основные задачи, которые стоят перед разработчиками, это подбор оптимальных компонентов.

Химики различают гальванические элементы двух родов: первого и второго. Разница между ними заключается в том, как производится энергия, которую они вырабатывают.

Элементы первого рода – это одноразовые батареи, которые производят электроэнергию за счет химических реакций, в результате которых анод, катод и электролит претерпевают необратимые изменения. Это делает перезарядку таких батарей невозможной или очень нерациональной.

Элементы второго рода чаще называют аккумуляторами. Это значит, что они могут заряжаться, если к электродам подключить источник постоянного тока. Химические реакции, протекающие в них, являются обратимыми. Таким образом, батареи второго рода не производят, а лишь сохраняют энергию.

Одним из важнейших показателей, который важно знать для каждого типа батарей является удельная емкость. Она определяется как отношение энергии элемента к его массе или объему и выражается в Ватт-часах на единицу массы или объема. Чем выше этот коэффициент, тем больше энергии может храниться в единице веса, и тем более привлекательна она для использования в переносных устройствах. В табл. 1 приведены параметры различных типов аккумуляторов [2].

Таблица 1. Параметры различных типов аккумуляторов

Тип	Номинальное напряжение, Вольт	Удельная емкость, Ватт-час/кг
Ni-Cad	1,2	40 – 60
NiMH	1,2	60 – 80
Li-Ion	3,6	90 – 110
Li-Polymer	3,6	130 – 150

В настоящее время трудно представить человечество без таких устройств как сотовый телефон, цифровой фотоаппарат, планшет или ноутбук, которые в свою очередь не могут автономно работать без источников питания. Поэтому аккумуляторы стали неотъемлемой частью жизни современного общества.

Библиографический список

1. **Веселовский О.Н.**, Шнейберг Я.А. Очерки по истории электротехники. – М.: Издательство МЭИ, 1993. – 252с.
2. **Элементы** питания <<http://www.hpc.ru/lib/arts/1147/>> (14.09.2001).

*А.Г. Смирнова, Ю.А. Карманова, студенты;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРВЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Профессор анатомии Болонского университета Л. Гальвани, занимаясь исследованием внутренних органов препарированной лягушки, заметил подергивание ее лапки при прикосновении к ней скальпелем. Гальвани решил, что причиной этих подергиваний являются искры от электростатической машины, стоящей рядом на лабораторном столе, с которой работал один из его ассистентов. Он стал изучать обнаруженное явление.

Один из экспериментов Гальвани выглядел следующим образом. К позвоночнику препарированной лягушки, лежащей на железном листе, с помощью крючка прикреплялась медная проволока. Прикосновение другого конца проволоки к листу приводило к сокращению мышц лягушки. По мнению Гальвани, причина этого явления заключается в том, что в тканях лягушки вырабатывается животное электричество. Это электричество, являющееся «нервным флюидом», протекает по образовавшейся замкнутой цепи и вызывает сокращения мышцы. Результаты своих исследований Гальвани обнародовал в 1791 г., опубликовав «Трактат о силах электричества при мышечном движении».



Рис. 1

В 1792 г., познакомившись с работой Гальвани, изучением описанного явления стал заниматься Вольта. Он заметил, что интенсивность сокращений мышц лягушки зависит от того, какие употребляются металлы. Вольта пришел к выводу, что источником электричества являются не процессы, происходящие в организме лягушки, а контакт двух разнородных металлов. Лягушка же представляет собой лишь своеобразный измерительный прибор – «электрометр, в десятки раз более чувствительный, чем даже самый чувствительный электрометр с золотыми лепесточками». Результатом исследований Вольты было изобретение им первого источника электрического тока, получившего название вольтова столба (рис. 1.)

Столб состоял из наложенных друг на друга гальванических пар – круглых пластинок из цинка и меди, серебра и цинка или меди и олова, отделяемых друг от друга картонными или тканевыми прокладками, пропитанными соленой водой. При замыкании проводником верхней и нижней пластинок столба возникала электрическая искра, а

при прикосновении к столбу рукой Вольта ощущал покалывание, аналогичное покалыванию, получаемому при разряде лейденской банки, но действие столба не прекращалось, а продолжалось длительное время. Жжение в руке «не только не утихает, но делается все сильнее и сильнее, становясь скоро невыносимым, до тех пор, пока цепь не разомкнется», – отмечал Вольта.

Полагая, что большое количество металлических пластин своим весом будут выжимать влагу из картонных и суконных прокладок, Вольта сконструировал еще один вид своего аппарата – чашечную батарею, которую современники Вольта стали именовать короной сосудов или венком из чашек. Впоследствии ее стали называть просто гальванической батареей. Она состояла из последовательно соединенных цинковых (1) и серебряных (2) пластин, опущенных попарно в чашки с разбавленной серной кислотой (рис. 2).



Рис. 2

Действие изобретенного прибора заключалось в том, что при соприкосновении двух различных металлов в месте контакта возникает электровозбудительная (электродвижущая) сила, которая перемещает электричество так, что получается разность напряжений между металлами. Направления электродвижущих сил двух таких пар в одной цепи противоположны, поэтому их суммарное действие будет равно нулю, и никакого тока не будет. Но в гальванической батарее каждая пара металлических пластин разделена жидким проводником, вследствие чего электрическое действие пары серебро–цинк не компенсируется обратным действием пары цинк–серебро. Проводники первого класса, как называл Вольта металлы, соприкасаются своими концами с проводником второго класса, с жидким проводником – кислотой или раствором соли. В такой цепи действие пары цинк–серебро не компенсируется обратным действием пары серебро–цинк, и в цепи непрерывно протекает электрический ток. Для подтверждения своих выводов Вольта клал себе в рот, на язык и под язык, пластины или монеты из разных металлов. При соединении их проволочкой он ощущал кисловатый вкус, такой же, как мы ощущаем.

Вольтов столб был последним, но наиболее выдающимся изобретением Вольта. Он произвел в 1794 г. «эпохальный опыт» ("квартет мокрых"), потрясший современников. Четверо с мокрыми руками станови-

лись в круг, затем первый правой рукой держит цинковую пластинку, а левой касается языка второго; второй касается язычного яблока третьего, который держит за ножки препарированную лягушку, а четвертый правой рукой схватывает ее тельце, а левой подносит серебряную пластинку к цинковой в правой руке первого. В момент касания первый резко вздрагивает, второй морщится от «лимонного» вкуса, у третьего – искры в глазах, четвертый чувствует неприятные ощущения, а лягушка будто оживает и трепещет.

Заслуживают внимания трактат Вольты «Об идентичности гальванического и электрического флюидов», его высказывания о «сходстве» электричества и магнетизма. Он говорил, что разницу в характере действия этих двух процессов следует искать в различном напряжении электростатических машин и батареи. Термин «напряжение» впервые появился именно в работах Вольты.



Рис. 3

В противовес Вольтовой теории возникла химическая теория, согласно которой электрический ток возникает в результате химических реакций, происходящих в гальваническом элементе. При погружении цинковой пластины в раствор серной кислоты цинк вступает с ней в химическую реакцию, растворяется в ней. Положительные ионы цинка переходят в раствор. Начинается и обратный процесс – переход ионов цинка из раствора на пластину и осаждение на ней металлического цинка. В какой-то момент устанавливается равновесие между этими двумя процессами, и пластина приобретает относительно раствора определенный потенциал. Аналогичные процессы происходят и у поверхности медного электрода.

Так как потенциалы электродов, выполненных из различных металлов, то между ними возникает разность потенциалов, определяющая ЭДС гальванического элемента. Изменение потенциала электрода относительно его равновесного значения называется электрохимической поляризацией, или просто поляризацией электрода и гальванического элемента.

Исследование процессов в гальванических элементах привело к созданию так называемых вторичных элементов, аккумуляторов – химических источников электрической энергии с обратимо используемыми электродами. Сначала через элемент пропускается электрический ток для накопления на электродах и в растворе нужных веществ (первичная реакция), а затем элемент используется в качестве источника тока (вторичная реакция). Первый аккумулятор был построен в 1859 г. французским химиком Г. Планте (рис. 3). Это был свинцовый, или кислотный, аккумуля-

лятор. Две свинцовые пластины опускаются в раствор серной кислоты. На них образуется серноокислый свинец, а раствор насыщается этой же солью. При пропускании тока через электролит при зарядке аккумулятора электрод, соединенный с положительным полюсом источника, покрывается двуокисью свинца, а второй электрод превращается в чистый свинец. При работе аккумулятора в качестве источника, при его разрядке, двуокись свинца постепенно расходуется, и на обоих электродах вновь накапливается серноокислый свинец. Создание источника электрического тока сыграло громадную роль как в развитии науки об электромагнетизме, так и в расширении его практического применения. Французский ученый Ф. Араго назвал вольтов столб одним из самых замечательных приборов, когда-либо изобретенных человеком. С создания вольтова столба началась новая научная и технологическая эпоха – эпоха электротехники.

Библиографический список

1. **Матюшенко, В.С.** История электроэнергетики/ В.С. Матюшенко, С.В. Матющенко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010.

2. **Веселовский, О.Н.** Очерки по истории электротехники/О.Н. Веселовский, Я.А. Шнейберг. – М.: Издательство МЭИ, 1993.

*Н.В. Лебедева, А.Ю. Меркулов, студенты;
рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕЛЕ

Реле – электрическое устройство (выключатель), предназначенное для замыкания и размыкания различных участков электрических цепей при заданных изменениях электрических или неэлектрических входных величин.

Слово «реле» имеет англо-французское происхождение. Реле произошло от слова *relais*, что означало смену уставших почтовых лошадей на станциях или передачу эстафеты спортсменом. На сегодняшний день продолжают активно использоваться несколько видов реле:

- электрические;
- тепловые;
- механические;
- оптореле.

Основные части электромагнитного реле: электромагнит, якорь и переключатель. Электромагнит представляет собой электрический провод, намотанный на катушку с сердечником из магнитного материала.

Якорь – пластина из магнитного материала, через толкатель управляющая контактами. При пропускании электрического тока через обмотку электромагнита возникающее магнитное поле притягивает к сердечнику якорь, который через толкатель смещает и тем самым переключает контакты. Переключатели могут быть замыкающими, размыкающими, переключающими.

В общем случае реле обладает 4 основными органами:

- воспринимающим. Реагирует на внешнее явление и производит в соответствии с ним изменения в других частях реле;
- исполнительный. Осуществляет скачкообразное изменение тока или напряжения во внешних электрических цепях;
- замедляющий. Замедляет действие реле;
- регулировочный. Изменяет параметры срабатывания реле.

Обратимся непосредственно к происхождению реле. Изначально реле применялось с целью усиления электрических сигналов, ослабленных в линиях электропередач, до значений, приемлемых для работы телеграфных аппаратов.

В основу будущего изобретения лег опыт датского физика Х. Эрстеда, ставший первым экспериментальным доказательством взаимосвязи электрических и магнитных явлений. Он помещал над магнитной стрелкой прямолинейный металлический проводник, направленный параллельно стрелке. При пропускании через проводник электрического тока стрелка поворачивалась почти перпендикулярно проводнику. В то же время Д.Ф. Араго установил, что проводник, по которому протекает ток, приобретает магнитные свойства.

В 1821 г. М. Фарадей публикует трактат «О некоторых новых электромагнитных движениях и о теории магнетизма», где показывает, как заставить намагниченную стрелку непрерывно вращаться вокруг одного из магнитных полюсов.

На основе опыта Эрстеда И. Швейггер предложил многовитковую катушку, которая увеличивала магнитную мощность электрической цепи. Множитель Швейггера, оснащенный магнитной стрелкой, стал первым точным измерителем электричества – гальванометром.

Следующим важным этапом, стала, предложенная А. Ампером, система электромагнитного телеграфа, которая является прообразом современного реле. Его система представляла собой набор букв и цифр, передаваемых по отдельным проводам и регистрируемая отклонением магнитной стрелки. Свое дальнейшее развитие система А. Ампера получила в России, где в 1832 г. академик П. Л. Шиллинг продемонстрировал свой электромагнитный телеграф, для которого был разработан специальный

телеграфный код, в котором каждой букве алфавита соответствовала определенная комбинация символов, проявлявшаяся в виде черных и белых кружочков на телеграфном аппарате.

В 1824 г. англичанином В. Стардженом был продемонстрирован искусственный магнит, позволявший увеличивать дальность электромагнитной связи, за счет введения в обмотку намагничивающегося сердечника из подковообразного железа. Работу над усовершенствованием электромагнита Старджена, продолжил американец Дж. Генри. Он предложил использовать изоляцию между слоями обмотки и изобрел многообмоточный электромагнит. На основе этих изобретений в 1831 г. им был продемонстрирован звуковой телеграф.

В 1835 г. Дж. Генри был предложен более чувствительный электромагнит, который включался обмоткой в линию связи перед силовым электромагнитом телеграфа. Подвижный магнит дополнительного устройства с приходом импульса тока перемещался между полюсами подковообразного сердечника и замыкал тем самым контакты цепи батареи питания и обмотки силового электромагнита звукового телеграфа. Таким образом, дополнительное электромагнитное устройство Генри представляло собой электромагнитный контактный коммутатор электрической цепи (получивший наименование «relay» (по-русски «реле»)), осуществляющий усиление импульсов тока, приходящих на силовой электромагнит телеграфа. С появлением приборов двухполюсного телеграфирования было разработано новое реле (электромагнитное поляризованное реле), которое реагировало на полярность протекающего тока.

В последствии реле стало применяться во многих областях, и в соответствии с областью их применения их подразделяют на:

- телеграфные;
- телефонные;
- железнодорожные;
- автомобильные;
- для устройств электротехники и энергетики;
- для устройств сигнализации, автоматики и телемеханики.

В 1901 г. создаются индукционные реле тока, предпринимаются первые попытки создания дистанционных реле. Вскоре, в связи с развитием электрических систем, реле начинают применять для защиты. В 20-х гг. 20-го века публикуются первые работы по релейной защите, выполняемой на электромеханической базе. В 30-х годах прошлого века начинается значительное совершенствование реле. Уже в 50-х годах в США существовало около 50 фирм, изготавливавших реле различных типов, а в СССР около 30 предприятий.

В настоящее время термином реле обозначается широкая группа автоматических приборов, используемых в релейной защите, автоматике, телемеханике. На данный момент актуальны 7 видов реле:

- 1) напряжения;
- 2) времени;
- 3) герконовые;
- 4) регулирования фаз;
- 5) давления;
- 6) температур;
- 7) тока.

Реле времени является вспомогательным реле, обеспечивающим заданную выдержку времени при возможных в условиях эксплуатации колебаниях воздействующей на него величины. Существует большое число выполнений реле времени. Их можно объединить в 4 группы: реле с электромагнитными пусковыми элементами и механическими успокоителями, реле с микродвигателем, реле счета импульсов и реле с электрическими контурами гС.

Геркон с электромагнитной катушкой составляет герконовое реле. Перед обычными электромеханическими реле герконовые изделия имеют несколько преимуществ: обладают малыми габаритами, отличаются простой конструкцией, устойчивы к влажности и обгоранию контактов, не имеют подвижных элементов конструкции, обладают потрясающим быстродействием.

В устройствах релейной защиты наиболее широко распространены токовые реле, реагирующие на недопустимое увеличение тока в защищаемой цепи, и реле минимального напряжения, реагирующие на снижение ниже определенного значения или полное исчезновение напряжения. Токовые реле включаются последовательно, а реле напряжения – параллельно защищаемой цепи. Катушки токовых реле выполняются с малым количеством витков из провода большого сечения и поэтому имеют небольшое сопротивление, а катушки реле напряжения – с большим количеством витков из провода меньшего сечения, чем катушки токовых реле, и поэтому обладают большим сопротивлением.

Сегодня на смену традиционным релейным защитам на электромеханической элементной базе приходят современные цифровые устройства, сочетающие в себе функции защиты, автоматике, управления и сигнализации. Их применение дает возможность повысить чувствительность защит и значительно уменьшить время срабатывания. Они объединили функции отдельных реле и функции, выполнявшиеся ранее регистрирующими приборами.

Библиографический список

1. Сто лет релейной защите. Сборник материалов. / Сост. М.А. Шабад. – СПб: ПЭ-Ипк, 2006. – 60 с.
2. Малащенко А.А. История создания и развития реле [www.elcp.ru] // Электронные компоненты. – 2004. – № 9. – URL:http://ecworld.ru/media/bip/pdfs/malashenko_ec904.pdf (дата обращения: 21.02.2014)
3. История техники / А.А. Зворыкин, Н.И. Осьмова, В.И. Чернышев, С.В. Шухардин. – М., Соцэкгиз, 1962. – 772 с.
4. Основы релейной защиты / А.М. Федосеев. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1961. – 440 с.

*В.А. Сударькова, студ.; рук Г.В. Чекан, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ: ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

В наше время тема развития альтернативных способов получения электрической энергии как нельзя более актуальна. Традиционные источники стремительно иссякают и уже через сотню лет могут быть исчерпаны. Уже сейчас энергетические ресурсы довольно дороги и в значительной мере влияют на экономику многих государств.

Всё это заставляет жителей нашей планеты искать новые способы получения энергии. И одним из наиболее перспективных направлений является получение солнечной энергии. Результатом многолетней работы ученых стало такое устройство как солнечная батарея.

Первые солнечные нагреватели появились во Франции. Естествоиспытатель Ж. Бюффон создал большое вогнутое зеркало, которое фокусировало в одной точке отраженные солнечные лучи. Это зеркало было способно в ясный день быстро воспламенить сухое дерево на расстоянии 68 метров. Вскоре после этого шведский ученый Н. Соссюр построил первый водонагреватель. Это был всего лишь деревянный ящик со стеклянной крышкой, однако вода, налитая в него, нагревалась солнцем до 88 °С. В 1774 году великий французский ученый А. Лавуазье впервые применил линзы для концентрации тепловой энергии солнца. Вскоре в Англии отшлифовали большое двояковыпуклое стекло, расплавлявшее чугун за три секунды и гранит – за минуту.

Первые солнечные батареи, способные преобразовывать солнечную энергию в механическую, были построены во Франции. В конце XIX века на Всемирной выставке в Париже изобретатель О. Мушо демонстрировал инсолятор – аппарат, который при помощи зеркала фокусировал лучи на паровом котле. Котел приводил в действие печатную машину, печатав-

шую по 500 оттисков газеты в час. Через несколько лет в США построили подобный аппарат мощностью в 15 лошадиных сил [1].

Однако в XX веке были созданы и более серьезные системы. Одна из таких была сооружена в США в штате Нью-Мексико в 1978 году и работает до сих пор. Называется – Национальная солнечная установка для тепловых испытаний (NSTTF) [2]. Принадлежит она Пентагону и применяется для проверки жаропрочности корпусов военных и гражданских ракет. Состоит NSTTF из 60-метровой башни-мишени и 220 гелиостатов, размером 6х6 метров каждый. Зеркала, подобно архимедовой установке, направляют свои солнечные зайчики в одно полутораметровое пятнышко на верхушке установки, где температура в солнечные дни поднимается до 2000 °С. Всего в 2,5 раза меньше, чем на поверхности Солнца, и в 2 раза выше температуры горения напалма. Установка имеет площадь зеркал 8500 м² и тепловую мощность 5 МВт.

Солнечная батарея – бытовой термин, использующий в разговорной речи или не научной прессе. Обычно под термином «солнечная батарея» подразумевается несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) – полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

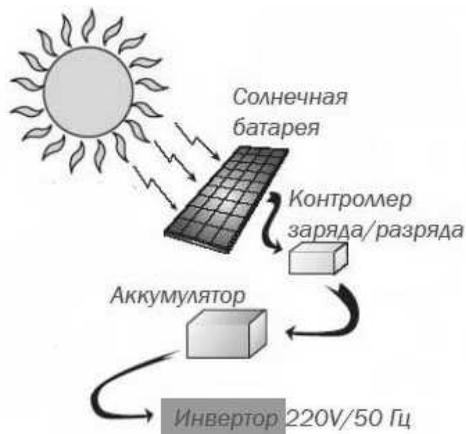


Рис. 1. Схема солнечной батареи

В отличие от солнечных коллекторов, производящих нагрев материала – теплоносителя, солнечная батарея производит непосредственно электричество. Хотя, для производства электричества из солнечной энергии используются и солнечные коллекторы: собранную тепловую энергию можно использовать и для выработки электричества.

Основной ресурс для производства большинства типов солнечных батарей – кремний. Он является вторым по распространенности элементом на нашей планете [3].

Достоинства солнечной батареи:

- 1) Общедоступность и неисчерпаемость источника.
- 2) Теоретически, полная безопасность для окружающей среды.

Недостатки солнечной батареи:

- 1) Зависимость от погоды и времени суток.
- 2) Как следствие необходимость аккумуляции энергии.
- 3) Высокая стоимость конструкции.
- 4) Необходимость постоянной очистки отражающей поверхности от пыли.
- 5) Нагрев атмосферы над электростанцией.

Использование:

1) Солнечные батареи крупного размера, как и солнечные коллекторы, очень широко используются в тропических и субтропических регионах с большим количеством солнечных дней. Особенно популярны в странах Средиземноморья, где их помещают на крышах домов.

2) Солнечные батареи – один из основных способов получения электрической энергии на космических аппаратах: они работают долгое время без расхода каких-либо материалов, и в то же время являются экологически безопасными, в отличие от ядерных и радиоизотопных источников энергии.

3) Для подзарядки электромобилей.

4) Для обеспечения электричеством и/или подзарядки аккумуляторов различной бытовой электроники – калькуляторов, плееров, фонариков и т.п.



Рис. 2. Использование солнечных батарей в доме

Использование электроэнергии от солнечных батарей выгодно не только из-за дешевизны, но и тем, что они не вредят окружающей среде. Но в России мало солнечных дней в году. Поэтому для большей пользы природе и экономики актуально использовать комбинированные источники энергии, то есть солнечную энергию, сегодня следует рассматривать как дополнение к топливным, гидравлическим и ядерным энергоносителям [4].

Библиографический список

1. Немного истории. Солнечные батареи в космической технике <<http://pelletcom.ru/vetryaki-solnechnye-paneli/solnechnyye-batarei>> (14.08.2011).
2. Солнечная энергия – будущее Земли <<http://galspace.spb.ru/index115.html>> (1.10.2006).
3. Глиберман А.Я., Зайцева А.К. Кремниевые солнечные батареи. – М.: 1961
4. Солнечная батарея – использование в быту <<http://livescience.ru/Статьи: Солнечная-батарея-макет-дома>> (5.06.2011).

*Ю.А. Карманова, А.Г. Смирнова, студенты;
рук. В. А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОИСКИ ПУТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Как известно, в настоящее время не возникает проблем передачи энергии на большие расстояния. Но они существовали задолго до появления первых электростанций и ЛЭП. Раньше всего появились способы механической передачи энергии с помощью различных механических устройств и приспособлений – канатов, блоков, приводных ремней. Использование проволочного каната позволяло достигать дальности передачи до 120 м, а применение канатов с промежуточными блоками, устанавливаемыми через каждые 100 м, позволяло увеличивать это расстояние до 5 км. На появляющихся крупных промышленных предприятиях энергия от общего двигателя передавалась отдельным станкам и механизмам с помощью силовой передачи или трансмиссии. С 40-х гг. XIX в. для передачи энергии стала применяться вода, распространявшаяся под давлением по трубам (Лондонская система, которая начала работать в 1884 г, а к 1894 г. имела протяженность трубопроводов 112 км). Довольно широко применялась передача энергии сжатым воздухом (в туннелях, угольных шахтах). В 1870 г. в Париже и Вене с помощью пневматической передачи импульсов регулировался ход 8000 часовых механизмов городских часов.

Ни одна из описанных систем не могла обеспечить удовлетворительной передачи энергии на большие расстояния. Только электропередача могла успешно решить эту задачу.

Первые опыты передачи электрической энергии на расстояние проводились на постоянном токе и относятся к 70-м гг. XIX в. Известно, что постоянный ток использовался в основном для освещения и нагрева. В 1873 г. на Венской международной выставке французский механик И. Фонтен продемонстрировал установку, в которой одна машина Грамма работала в режиме генератора, вырабатывая электроэнергию, а вторая – в режиме двигателя, приводя во вращение водяной насос искусственного водопада. Машины были соединены намотанным на барабан кабелем длиной более 1 км. Установка Фонтена показывала возможность передачи энергии с помощью электричества, но характеризовалась большими потерями энергии в кабеле. Для повышения экономичности электропередачи необходимо увеличивать сечение проводов и повышать напряжение в сети.

Начиная с 1874 г. русский инженер Ф.А. Пироцкий стал проводить опыты по передаче электроэнергии. Он считал, что выработку электроэнергии целесообразно производить в месте, где имеется топливо, либо гидравлическая энергия, и передавать ее потребителю по проводам. Для уменьшения потерь энергии он предлагал в качестве линии электропередачи использовать железнодорожные рельсы, сечение которых в несколько сотен раз превышало сечение обычных проводов. В 1875 г. он проверял свои выводы на заброшенной железнодорожной ветке. Один рельс служил прямым проводом, другой – обратным; оба рельса изолировались от земли. Питание цепи осуществлялось генератором Грамма, потребителем был электродвигатель, длина линии электропередачи составляла около 1 км. Использование в качестве проводов рельсы нашло применение при разработке первых проектов городского электрифицированного транспорта. Сторонником увеличения сечения проводов при передаче электрической энергии был и немецкий электротехник Э.В. Сименс. Он, посетив в 1876 г. Ниагарский водопад, сумел правильно оценить энергетические возможности его использования, утверждал, что для передачи энергии водопада на расстояние 50 км потребуется проводник диаметром 75 мм.

В 80-е гг. большой вклад в развитие теории электропередачи внесли французский академик М. Депре и российский ученый, профессор Д.А. Лачинов, получившие ряд важных зависимостей при исследовании вопросов экономичности электропередачи. В 1882 г. Депре построил линию электропередачи Мисбах – Мюнхен протяженностью 57 км. Установленный в Мисбахе генератор постоянного тока приводился в действие паровой машиной мощностью 3 л.с. и вырабатывал электрическую энер-

гию напряжением 1,5 – 2 кВ. Электропередача осуществлялась по стальным проводам диаметром 4,5 мм на территорию выставки в Мюнхене, где такая же машина, работавшая в режиме двигателя, приводила в действие насос для искусственного водопада. КПД передачи был довольно низким – не более 25 %. В 1883 г. Депре построил линию Визиль – Гренобль протяженностью 14 км. КПД передачи составлял 62 %. Несколько позже Фонтен в аналогичных условиях, используя последовательное соединение генераторов меньшего напряжения, достиг КПД, равного 82 %.

К концу 80-х гг. XIX в. техника постоянного тока получила значительное развитие. Однако постоянный ток не мог служить средством, способным на высоком уровне решить задачи энергообеспечения промышленности. Решить их можно было только с помощью переменного тока, напряжение которого можно легко менять при использовании трансформатора. Яблочкову, создавшему «электрическую свечу» – дуговую лампу без регулятора, пришлось решать проблему «дробления электричества», т. е. питания нескольких свечей или групп свечей от одного источника. Одним из методов такого дробления было применение индукционных катушек при питании электрических свечей переменным током. Первичные обмотки катушек включались последовательно в цепь источника, а к их вторичным обмоткам подключались электрические свечей. Если первичная цепь питалась постоянным током, то в нее включался прерыватель, преобразующий постоянный ток в пульсирующий.

В августе 1882 г. на Всероссийской промышленно-художественной выставке в Москве в павильоне Яблочкова лаборант Московского университета И.Ф. Усагин продемонстрировал установку, схема которой изображена на рис. 1.

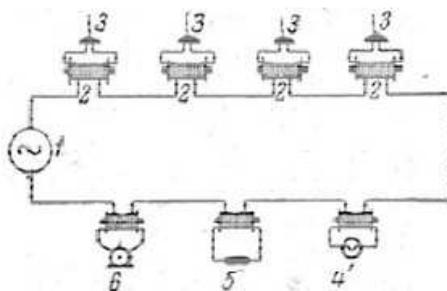


Рис. 1. Схема установки И.Ф. Усагина

Каждая из семи катушек 2 имела первичную и вторичную обмотки с одинаковым числом витков и сердечник с разомкнутой магнитной сис-

темой. Первичные обмотки включались последовательно в цепь генератора переменного тока 1 системы Яблочкова. К вторичным обмоткам подключались приемники электрической энергии: четыре электрические свечи Яблочкова 3, дуговая лампа с регулятором 4, нагревательная спираль из платиновой проволоки 5, электродвигатель 6. Схема явилась первым шагом на пути создания электрической сети. Демонстрируя установку, Усагин отключал отдельные потребители от вторичной обмотки, не нарушая работы других.

В 1883 г. в Лондоне Л. Голяром и Э.Д. Гиббсом впервые демонстрировались трансформаторы, имеющие коэффициент трансформации, отличный от единицы. Они служили уже не только для «дробления энергии», но и для преобразования напряжения.

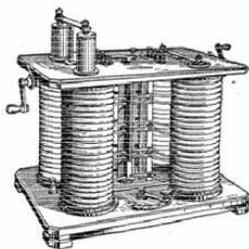


Рис. 2. Общий вид «вторичного генератора»

На деревянной подставке устанавливалось несколько индукционных катушек, обмотки которых могли соединяться последовательно или параллельно. Первичная обмотка выполнялась из медного провода диаметром 3 мм, вторичная состояла из отдельных катушек, намотанных медным кабелем, и составляла несколько параллельно работающих цепей, в каждую из которых включались отдельные потребители. Секционирование катушек позволяло менять напряжение на зажимах вторичных обмоток. В 1883 г. они обеспечили электроэнергией осветительные установки четырех станций метрополитена. Длина первичной линии составляла 23 км при напряжении 1,5 кВ. Величина передаваемой мощности составляла 15 кВА. В 1885 г. ими была построена электростанция переменного тока мощностью 160 кВА. Энергия распределялась по двум линиям длиной 2 км каждая при напряжении 1,2 кВ. Существенным недостатком трансформатора Голяра и Гиббса была незамкнутость его магнитной системы. Первый трансформатор с замкнутой магнитной системой был построен в Англии в 1884 г. братьями Гопкинсонами. Его сердечник набирался из стальных полос или проволок. На сердечнике, чередуясь

между собой, размещались катушки первичной и вторичной обмоток. Двигатели однофазного переменного тока по всем параметрам уступали двигателям постоянного тока и не имели распространения. Таким образом, и однофазный переменный ток было невыгодно передавать на большие расстояния. Поэтому в следующие годы были разработаны системы многофазных токов.

Библиографический список

1. **Матюшенко В.С.** История электроэнергетики / В.С. Матюшенко, С.В. Матющенко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010.
2. **Веселовский О.Н.** Очерки по истории электротехники/О.Н. Веселовский, Я.А. Шнейберг. – М.: Издательство МЭИ, 1993.

*И.Н. Румянцев, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА МАГНИТНОМ ПОДВЕСЕ

В жизни общества транспорт играет исключительно важную роль, оказывая огромное влияние на социальное и экономическое развитие не только отдельных стран, но и целых континентов. Можно сказать, что транспорт – стержень цивилизации, то что связывает страны и континенты.

Традиционная железнодорожная технология, основанная на взаимодействии «колесо-рельс» и непрерывно совершенствующаяся в течение более 180 лет, по мнению многих, уже подошла к пределу своих технических возможностей и дальнейшему осязаемому качественному и количественному прогрессу. Каким быть промежуточному – между железнодорожным и воздушным – виду транспорта? Что сменит пресловутый «колесо-рельсовый привод»?

Начиная с конца 60-х годов ученые и инженеры разных стран сосредоточили свои усилия на разработке бесконтактных, бесколесных систем наземного транспорта. Наиболее интенсивно эти работы велись в таких развитых странах, как ФРГ, Япония, Великобритания, США. Рассматривались две схемы подвески: "воздушная подушка" (ВП) и магнитная подвеска (МП). Достаточно быстро выяснилось, что ВП (в силу ряда существенных причин) не подходит для скоростного пассажирского транспорта, поэтому в дальнейшем усилия ученых были направлены на разработку систем транспорта с МП.

Изучение возможности будущей замены колесно-рельсовых видов транспорта развивалось в направлении совершенствования линейной тяги и замены ходовой части традиционного подвижного состава магнитным полем, регулируемым сложной силовой электроникой.

Что такое линейный двигатель? Это двигатель, который передает тяговое и тормозное усилия без контакта между вагоном и путевой структурой – за счет возникающего магнитного поля.

Считается, что впервые в мире линейный двигатель для пассажирских перевозок был использован в 1984 г. В аэропорту Бирмингема на участке длиной 620 м стали обращаться 2-вагонные кабинки (на 38 пассажиров), приводимые в движение линейным двигателем.

Первые испытания на участке длиной 1.4 км в Брунсвикском университете проводились ещё в 1976 г., пробег опытного вагона превысил 400 тыс. км. Опытные испытания без пассажиров на 600-метровом участке в Зап. Берлине проводились с конца 1984 г. (Берлинский M-Bahn).

Тележки вагона, представляющие собой магнитные ползуны большой длины, движутся внутри путевой структуры, что исключает сход с пути и обеспечивает уменьшение общей высоты.

Аналогичные разработки велись в Японии. За время проведения международной выставки в Цукубе (1985 г.) вагон HSST-Expo перевёз 610 тыс. пассажиров.

Регулярное движение с пассажирами по первой в мире линии с линейным двигателем было открыто в декабре 1985 г. В Ванкувере и стало главной достопримечательностью проводившейся здесь в 1986 г. Всемирной выставки.

В середине 1970-х годов – почти одновременно с Германией и Японией – в Советском Союзе начались плановые работы в области магнитного подвеса и линейной тяги. Исследования проводились в Армении, Казахстане (Алма-Ата), Российской Федерации, на Украине. Возможность постройки участка опытной наземной линии рассматривалась для организации транспортной связи г. Киева с аэропортом «Борисполь» (20 км). Кроме исключительной трудности задачи, увеличенной нечеткостью выбранного способа магнитного подвешивания, на результатах работ сказались недостаточное финансирование и организационные ошибки.

Современные сверхпроводящие магниты позволяют получить значительные плотности магнитной энергии в единице объема, что необходимо для получения подъемных сил, достаточных для перемещения транспортных средств весом в десятки тонн на левитационной высоте до 0,3 м.

Интересным является тот факт, что при изготовлении maglev («Magnetic Levitation» – буквально – магнитный подвес) немецкие инже-

неры основывались на записях, произведенных ученым Германом Кемпером, получившим патент на создание магнитоплана еще в 1934 году.

Транспортные средства на магнитной подушке подразделяются на электромагнитные, электродинамические и основанные на эффекте «потенциальной магнитной ямы».

Электромагнитная система основана на притягивании транспортного средства снизу к пути магнитами подвеса. Магниты направления, расположенные с обеих сторон по всей длине транспортного средства, удерживают его по бокам на колее. При пропускании через обмотки ротора, в статоре возбуждается индукционный ток, создающий магнитное силовое поле, которое приводит в движение состав. Таким образом, силы подъема (подвес) и тяги обеспечивает взаимодействие магнитных полей. Наибольшая проработка электромагнитных систем достигнута в Германии, где они получили название «TransRapid».

Принцип действия электродинамической системы подвешивания заключается в следующем: сверхпроводящий магнит, движущийся над поверхностью проводящего полотна, возбуждает в нем вихревые токи, взаимодействие которых с полем магнита приводит к появлению подъемной, поперечной и тормозящей сил. Основными достоинствами электродинамической подвески (ЭДП) является значительная величина отношения подъемной силы к весу сверхпроводящего магнита, простота и низкие требования к точности изготовления путевого полотна. Разработки данного типа магнитного подвеса проводятся в Японии, где они носят название «Maglev» и, как немецкая, доведены до уровня использования на пассажирской работе (г. Шанхай, 2003 г., г. Нагоя, 2005 г.). В настоящее время задача конструкторов и испытательной системы, нацеленных на организацию междугороднего транспортного сообщения, связана со стабилизацией магнитодвижущей силы и поддержание сверхпроводимости «Maglev» при внешних воздействиях.

В свою очередь, «потенциальная магнитная яма» основой которой является так называемый «контур Лейсвейта», развития не получила, и её использование для обеспечения пассажироперевозок не планируется. При этом во всех разновидностях транспортных средств на магнитной подушке используется линейный двигатель – применяемый на пассажирской работе во внутригородском сообщении с середины 1980-х годов.

В отличие от привода типа «колесо – рельс» линейный позволяет (теоретически без ограничений) повышать силу тяги и с большим ускорением разгонять транспортное средство (поезд) до максимальной скорости.

На сегодняшний день линии метрополитена с линейным двигателем помимо Ванкувера действуют в Осаке (с 1990 г.), Торонто (с 1991 г.),

Куала-Лумпуре (с 1996 г.), Нью-Йорке (с 2003 г.), причем во всех указанных городах, за исключением Осаки, движение составов (включая расстановку в депо) осуществляется без машиниста. Кроме этого, линейный двигатель применяется на составах монорельсовых дорог.

Из не относимых к городскому транспорту, применяемых в местах досуга линий, обслуживаемых составами с линейными двигателями, может быть отмечена связавшая аэропорт «Орlando» с Дисней-Лэндом (Флорида, 1990 г.)

Широкое применение транспортных средств на магнитной подушке пока сдерживается технической сложностью реализации принципа обеспечения движения (подвеса и удержания в парящем состоянии) и неоднозначностью заключений о величине потребления топливно-энергетических ресурсов транспортными средствами «TransRapid» и «Maglev». Кроме этого окончательно не определена категория маршрутов (на сегодняшний день – пригородно-городские), на которые найдут применение магнитоподвесные транспортные системы.

Библиографический список

1. **Свободные** тома реферативного журнала «Автомобильный и городской транспорт» ВИНТИ за 1985, 1986 г.
2. **Экспресс**-информация ВИНТИ «Городской транспорт»: 1988 – 2003 гг.
3. **Железные** дороги мира: 1995 – 2006 гг.
4. **Международный** научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – № 7. – 2008.

*Д.С. Трухин, студ.; рук. Г.В. Чекан, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ПЕРВОГО ТРАМВАЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

В 1830 году появились самые первые трамваи. До 1880 года они приводились в движение тягловыми животными – чаще всего двумя лошадьми рис.1, отсюда и название «конка». Однако у такого транспорта были недостатки, а именно: рабочий день лошади ограничивался физическими возможностями животного (4 – 5 часов). В среднем на один вагон трамвая приходилось по десять лошадей, которые требовали ухода и питания [1].

Проблема была решена русским инженером-изобретателем Федором Аполлоновичем Пироцким.



Рис. 1. Трамвай на конной тяге

Он родился 1 марта 1845 года в Лохвицком уезде Полтавской губернии в семье военных врачей, потомственных украинских казаков. Окончил Константиновский кадетский корпус и юнкерский класс Михайловской артиллерийской академии (1866) и проходил службу в артиллерийских войсках в Киеве. Там он познакомился и подружился с П.Н. Яблочковым. В 1871 г. вернулся в Петербург, работал в Главном артиллерийском управлении. Разработал особую систему металлургических печей, предложил новую конструкцию доменных и пекарных печей, но основные интересы его лежали в области электричества. В 1874 г. он начал проводить эксперименты на Волковом поле вблизи Петербурга – опыты по передаче электроэнергии на расстояние до 1 км – и в 1875 г. на участке Сестрорецкой железной дороги запустил вагоны на электрической тяге, причем токопроводом служили изолированные от земли рельсы. В 1880 г. модернизировал городские двухэтажные трамваи на конной тяге, переведя их на электрическую тягу, и с 3 сентября 1880 года новый трамвай начал курсировать по Петербургу. Но денег на продолжение экспериментов у Пироцкого не было, хотя его изобретением заинтересовался весь мир. И более других – братья Сименсы, которые в 1881 г. открыли в Берлине первую постоянную электрическую трамвайную линию (в России первая постоянная линия открылась только в 1892 г.). Пироцкий возвратился на службу артиллерийского офицера. В 1881 г. проложил первый подземный электрический кабель в Санкт-Петербурге для передачи электроэнергии от пушечного литейного завода к Артиллерийской Школе. В 1888 г. в звании полковника ушел в отставку. Жил в военном пансионе города Алешки (ныне Цюрупинск, Крым) на мизерную пенсию, которой едва хватало на пропитание и плату за жилье.

Впервые в России 22 августа 1880 г. в Петербурге, на Песках, на углу Болотной улицы и Дегтярного переулка была проверена возможность движения трамвайного вагона "электрической силою, идущей по рельсам, по которым катятся колеса вагона".

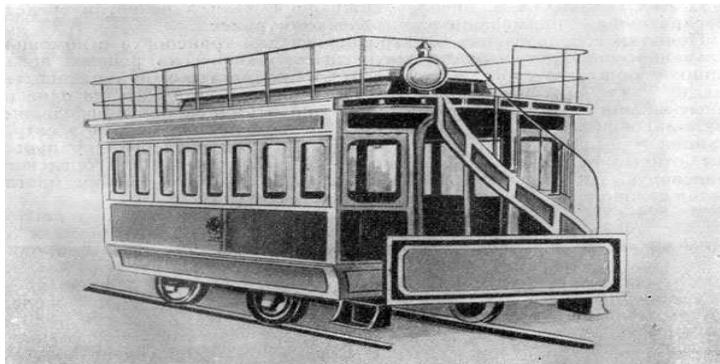


Рис. 2. Трамвай конструкции Ф.А. Пироцкого (общий вид)

Вагон первого в мире электрического трамвая (рис. 2) двигался с 40 пассажирами со скоростью 10 – 12 км/час. Питание вагона осуществлялось через рельсовые пути при напряжении постоянного тока 100 В. Рельсовые пути были предварительно специально приспособлены для передачи электрической энергии путем изоляции костылей от шпал специальным составом и подкладки под рельсы изолирующих брезентовых прокладок.

На опытном вагоне трамвая был установлен тяговый двигатель мощностью 4 л.с. шунтового возбуждения с 600 об/мин. Токосъем производился через бандажи колес, поэтому последние изолировались от вагонных осей. В трамвае впервые была применена зубчатая передача от тягового двигателя к осям вагона по кинематической схеме Пироцкого, в дальнейшем получившая незаслуженно наименование передачи Спрега. Передача Пироцкого выгодно отличалась от примененной позднее на трамвайном вагоне В. Сименса несовершенной ременной передачи.

На трамвае Пироцкого использовался опорно-рамный привод [4]. В этом приводе двигатель приводил в движение две колесные пары через клиноременные передачи, расположенные на разных концах вала, т.е. привод был групповым. Клиноременная передача позволяла резко упростить конструкцию привода, играла роль компенсирующего механизма при перемещениях колесной пары. Вместе с тем она имела низкий к.п.д., малую долговечность и надежность, а также создавала дополнительные нагрузки на подшипники двигателя и колесной пары. Предположительно, Пироцкий, имея цель быстрее продемонстрировать преимущества электрической тяги перед конной, предпочел решение, которое было проще реализовать, в ущерб эксплуатационным свойствам. В дальнейшем пере-

дачи гибким звеном (цепная передача) находили применение до 50-х годов в основном в локомотивах с механической передачей небольшой мощности (мотовозы, железнодорожные краны).

Данное изобретение весьма успешно применяется во всем мире. Трамваи на электрической тяге экономичны и надежны, они отлично подходят для использования в городах. Всё это благодаря электродвигателю, на котором работает трамвай. Идея создания городского электротранспорта послужила хорошей основой для электрификации всех транспортных средств на планете. На данный момент крупнейшие автомобильные концерны создают автомобили, работающие на электродвигателях.

Библиографический список

1. **Возникновение** и развитие городского электротранспорта <<http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000040/st029.shtml>> (1.02.2006).
2. **Опорно-рамный** привод <<http://izmerov.land.ru/privod/privod00.html>> (3.04.2001).

*А.С. Смирнова, А.Н. Ивашина, студенты;
рук. В.А. Мартынов, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕСЛА И ЭДИСОН: БИТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОРОЛЕЙ

Телефон и фонограф, системы радиолокации и кинокамера, диктофон и электрогенераторы, телеуправляемые механизмы, высокочастотная техника, паровые турбины и магнитный способ сепарации железной руды – буквально ко всему два этих великих изобретателя – Томас Эдисон и Никола Тесла – приложили свои руки и головы. Но, пожалуй, главная их заслуга – свет на улицах и в домах. Они заложили основы всей системы электрификации, от электростанций и до ламп накаливания, от генераторов и до небольших остроумных деталей – цоколей, патронов, предохранителей и счетчиков. Именно электрические устройства стали полем битвы двух гениев.

Не было в истории ученого, которого бы окружало больше загадок и тайн (рис. 1). Одни считали его гением, другие – чернокнижником, а третьи – попросту безумцем. Но именно Тесле мы должны быть благодарны, например, за наличие доступного электричества в наших квартирах – изобретатель сделал ставку на переменный ток. Всего он запатентовал более 300 изобретений, заработав на них 15 миллионов долларов (в нынешних ценах примерно 250 – 300 миллионов).

Родившийся в Хорватии Никола Тесла довольно рано проявил признаки своего научного гения: уже в детстве его переполняли самые фантастические грезы. Он читал запоем, и герои книг будили в нем желание стать сверхчеловеком: в распорядке дня на сон отводилось не более четырех часов, Тесла изнурял себя учебой, уделяя внимание не только техническим наукам, но и профессионально разбирался в музыке, лингвистике, философии, свободно общался на нескольких языках. Со стороны он, впоследствии названный Резерфордом «пророком электричества», походил на одержимого: таким и считал его профессор Пражского университета Пешль, которому 24-летний студент изложил свою идею генератора переменного тока. Пешль пренебрежительно пожал плечами, но авторитеты для молодого изобретателя перестали существовать. Распродав все свое имущество, он отправился в Америку, к легендарному «королю изобретателей» Томасу Эдисону.

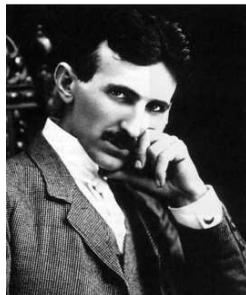


Рис. 1. Никола Тесла

Будучи старше Теслы на девять лет, Эдисон уже гремел по всему миру (рис. 2). Он был самоучкой: после того, как однажды учитель назвал Томаса «полным тупицей», возмущенная мать забрала его из школы, и тот продолжил образование самостоятельно. Томас много читал и, не имея достаточно средств на восхитительные игрушки, которыми обладали сверстники, конструировал их сам, попутно дорабатывая и совершенствуя механизмы. На всю жизнь он сохранит такой подход к работе: беря за основу уже существующие принципы и изобретения, улучшать их.



Рис. 2. Томас Эдисон

Эдисон усовершенствовал телеграфный аппарат и «мимеограф», самопишущее электронное перо: специальная игла наносила на лист бумаги едва заметные отверстия, а типографский валик оттискивал по этому трафарету необходимое число копий (рис. 3). В наши дни этот механизм используется в машинках для татуировок, а во времена Эдисона мимеограф, «дедушка ксерокса», был чрезвычайно популярен среди бизнесменов. Это позволило молодому инженеру не только встать на ноги, но и организовать собственную лабораторию в Менло-Парке, в короткий срок превратив ее в настоящую «фабрику изобретений», на которой трудились десятки ученых и техников.

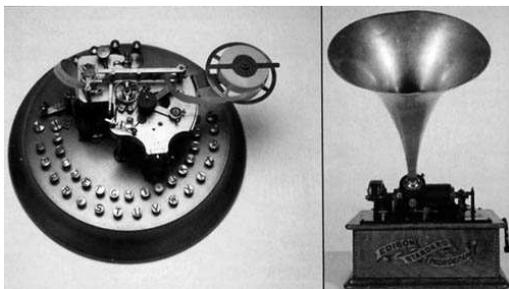


Рис. 3. Печатающий телеграф (слева), фонограф (справа)

Сюда и направился Никола буквально напрямик с борта трансатлантического лайнера. В те годы Эдисон, уже запатентовавший лампу накаливания и генератор постоянного тока, совершенствовал свою систему электрификации города, опытная модель которой успешно действовала в деловой части Манхэттена. Изучив проект Теслы, Эдисон решил отложить его «под сукно», тем временем предложив молодому сербу поработать над его системой на основе постоянного тока. Тот согласился, однако втайне продолжил работу над совершенствованием собственного генератора переменного тока и уже через год получил на него патент (рис. 4). Но ревнивый начальник развернул против проекта Теслы настоящую войну, и Тесле пришлось покинуть Менло-Парк.

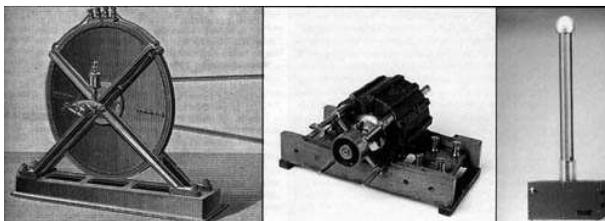


Рис. 4. Генератор переменного тока и экзотическая высоковольтная высокочастотная катушка

К счастью, известный промышленник и изобретатель Джордж Вестингауз оказался более сметливым человеком. Присутствуя на одном из докладов Теслы, он сразу оценил его идеи и, потратив миллион долларов, выкупил у него патенты на генераторы, электродвигатели, трансформаторы и другие механизмы. Вскоре принадлежавшая фирме Вестингауза Ниагарская ГЭС начала генерировать переменный ток. Но Эдисон не оставил попыток одолеть строптивного «ученика».

Как раз в те годы парламентом штата Нью-Йорк была создана специальная комиссия для выбора «наиболее гуманного способа приведения в исполнение смертных приговоров». Воспользовавшись моментом, Эдисон устроил показательную демонстрацию: нескольких кошек и собак при большом стечении народа заманили на металлическую пластину, находящуюся под напряжением в 1000 вольт (разумеется, переменным). Пресса подробно живописала смерть несчастных животных. Но неутомимый Никола Тесла придумал эффективный ответный ход. Через несколько лет его представление, состоявшееся на Всемирной выставке в Чикаго, потрясло весь мир. С совершенно спокойным видом он пропускал через себя переменный ток напряжением в миллионы вольт – молнии плясали на поверхности его кожи, но сам он оставался невредимым. А когда обьятый электрическими разрядами «сумасшедший» брал в руки не подключенные ни к каким проводам лампы накаливания, они послушно загорались в его руках. Это казалось настоящим волшебством. И вскоре Эдисону пришлось пойти на перемирие: эдисоновская компания General Electric вынуждена была приобрести лицензии на электрическое оборудование у компании Westinghouse.

В 1915 году New York Times сообщила, что Николе Тесле и Томасу Эдисону присуждена Нобелевская премия в области физики. Но ни один из них так и не стал нобелевским лауреатом. Оба великих изобретателя отказались получать эту престижную премию: они не смогли простить друг другу прошлых обид.

Библиографический список

1. **Информационный** портал from-ua.com. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.from-ua.com/technology.
2. **Сайт** Tainoe.Ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tainoe.ru.

*С.Н. Фролов, студ.; рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ОРУЖИЯ

Один из проектов оружия XXI в. – электромагнитные ускорители масс (ЭМУ). Идея их применения в военных целях возникла в конце XIX в., но планомерные работы по созданию ЭМУ начались только в 70-х гг. XX в. Предполагается, что их можно будет использовать в качестве танковых пушек, противоракетного оружия космического базирования, для беспламенного запуска ракет и летательных аппаратов.

Электромагнитное оружие (ЭМО) – оружие, в котором для придания начальной скорости снаряду используется магнитное поле, либо энергия электромагнитного излучения используется непосредственно для поражения цели.

В первом случае магнитное поле используется как альтернатива взрывчатым веществам в огнестрельном оружии. Во втором – используется возможность наведения токов высокого напряжения и выведения из строя электрического и электронного оборудования в результате возникающего перенапряжения, либо вызывание болевых эффектов или иных эффектов у человека. Оружие второго типа позиционируется как безопасное для людей и служащее для вывода из строя техники противника или приводящих к неспособности живой силы противника; относится к категории Оружие нелетального действия. Пушка Гаусса (англ. Gaussgun, Coilgun, Gausscannon) – одна из разновидностей электромагнитного ускорителя масс. Названа по имени немецкого учёного Карла Гаусса. Следует иметь в виду, что этот метод ускорения масс используется в основном в любительских установках, так как не является достаточно эффективным для практической реализации. По своему принципу работы (создание бегущего магнитного поля) сходна с устройством, известным как линейный двигатель.

Пушка Гаусса состоит из соленоида, внутри которого находится ствол (как правило, из диэлектрика). В один из концов ствола вставляется снаряд (сделанный из ферромагнетика). Результат во многом зависит от массы снаряда. При протекании электрического тока в соленоиде возникает магнитное поле, которое разгоняет снаряд, «втягивая» его внутрь соленоида. На концах снаряда при этом образуются полюса, ориентированные согласно полюсам катушки, из-за чего после прохода центра соленоида снаряд притягивается в обратном направлении, то есть тормозится. В любительских схемах иногда в качестве снаряда используют постоянный магнит, так как с возникающей при этом ЭДС индукции легче бороться. Такой же эффект возникает при использовании ферромагнетиков, но выражен он не так ярко благодаря тому что снаряд легко перемагничивается. Для наибольшего эффекта импульс тока в соленоиде должен быть кратковременным и мощным. Как правило, для получения такого импульса используются электролитические конденсаторы с высоким рабочим напряжением.

Параметры ускоряющих катушек, снаряда и конденсаторов должны быть согласованы таким образом, чтобы при выстреле к моменту подлета снаряда к соленоиду индукция магнитного поля в соленоиде была максимальной, но при дальнейшем приближении снаряда резко падала. Стоит заметить, что возможны разные алгоритмы работы ускоряющих катушек.

Рельсотрон (рельсовый ускоритель масс, рельсовая пушка, англ. railgun) – импульсный электродный ускоритель масс, принцип действия которого объясняется с помощью силы Лоренца, превращающей электрическую энергию в кинетическую энергию. Является перспективным оружием. Однако сила Лоренца не зависит от начального толчка вообще: не только направление силы ни как не связано с направлением начального толчка, но и само возникновение силы не зависит от факта толчка. Рельсотрон же ускоряет в любую сторону в зависимости от направления начального толчка. Высказывалась гипотеза об испарении материала ускоряемого тела позади пятна контакта. Но и рельсы, и само ускоряемое тело могут быть изготовлены из термостойкого материала и запитать рельсотрон достаточно низким напряжением, и он всё равно будет работать. Предпринимались даже попытки объяснить действие рельсотрона отдачей при ускорении носителей искрового тока.

Рельсотрон состоит из двух параллельных электродов, называемых рельсами, подключенных к источнику мощного постоянного тока. Разгоняемая электропроводная масса располагается между рельсами, замыкая электрическую цепь, и приобретает ускорение под действием силы Лоренца, которая возникает при замыкании цепи в возбужденном нарастающим током магнитном поле. Сила Лоренца (сила Ампера) действует и на рельсы, приводя их к взаимному отталкиванию. Иногда используется подвижная арматура, соединяющая рельсы.

Катушка Томпсона – индукционный ускоритель масс (“Tompsongun”). В основу функционирования индукционного ускорителя масс положен принцип электромагнитной индукции. В плоской обмотке создается быстро нарастающий электрический ток, который вызывает в пространстве вокруг переменное магнитное поле. В обмотку вставлен ферритовый сердечник, на свободный конец которого надето кольцо из проводящего материала. Под действием переменного магнитного потока, пронизывающего кольцо в нём возникает электрический ток, создающий магнитное поле противоположной направленности относительно поля обмотки. Своим полем кольцо начинает отталкиваться от поля обмотки и ускоряется, слетая со свободного конца ферритового стержня. Чем короче и сильнее импульс тока в обмотке, тем мощнее вылетает кольцо.

В годы холодной войны возможность применения электромагнитного (ЭМ) оружия вызывала интерес. Многими специалистами оно рассматривалось как окончательное решения спора, что эффективнее: броня или оружие против брони.

На данный момент Китай, Россия, США и более двух десятков других стран проводят интенсивные исследования в области электромагнит-

ных рельсовых пушек и их производства. Главной проблемой электронных ускорителей остаются мощные и энергоёмкие импульсные источники электрической энергии: пока что все известные устройства довольно громоздки и дороги.

Библиографический список

1. **Алресов С.С.** Коноплев Выстрел в будущее: пушка Гаусса своими руками // Популярная механика. – 2008. – № 8.
2. **Маликов В.Г.** Признано несвоевременным / В.Г.Маликов // Техника молодежи. – 1987. – № 5. – С. 30.
3. **С.Вэй** Новое электромагнитное оружие вызывает всеобщий интерес// AGM – 2010. – № 6 – С. 16
4. **Техническая** энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:http://alltechnolog.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=60:2011-07-22-20-24-06&catid=22:2011-07-02-13-41-11&Itemid=22.

СЕКЦИЯ 18

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Председатель – к.т.н., доцент **Лапшин В.М.**

Секретарь – ассистент **Глотова Н.В.**

И.А. Галишина, студ., А.А. Карташова, асп.;
рук. В.Ф. Новиков, д.х.н., профессор
(КГЭУ, г. Казань)

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ МАЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Современное маслонаполненное электрооборудование относится к промежуточному звену в энергетической цепочке между производителем электроэнергии и конечными потребителями. Как известно, силовые трансформаторы не имеют каких-либо движущихся частей, поэтому их КПД преобразования напряжения превышает 99 %, что повышает срок их полезного использования, который может достигать нескольких десятилетий.

В настоящее время на балансе энергетических предприятий России находится около 20 000 единиц силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов классов напряжения 110 кВ и выше, из которых более 40 % эксплуатируются более 25 лет.

Современные требования к эффективному использованию технологического оборудования электростанций приводит к необходимости применения систем, обеспечивающих непрерывный контроль и диагностику основных параметров надежности электрооборудования. Разработка систем диагностики технического состояния силовых трансформаторов будет способствовать повышению безотказной работы за счет раннего обнаружения неисправностей, так как в случае аварии ожидаются огромные финансовые потери, связанные с недопоставками электроэнергии потребителям, потеря времени и материальных ресурсов в результате выполнения внеплановых ремонтно-восстановительных работ. Кроме того, при аварии окружающая среда загрязняется продуктами деструкции трансформаторного масла, многие из которых обладают канцерогенной активностью и вызывают образование злокачественных опухолей организма человека.

Можно привести примеры аварий на подстанциях, произошедших по вине выхода из строя силовых трансформаторов.

Так, например,

- 23 мая 2010 года в результате аварии на Первомайской ТЭЦ остались без света юго-западные районы Санкт-Петербурга;

- 17 февраля 2012 г. произошла авария в Барнауле, в результате без света остались 109 тысяч человек. В зону отключения попали больницы, школы, детские сады и медицинские учреждения;

- 20 августа 2010 г. произошла авария сразу на двух подстанциях Санкт-Петербурга, в результате чего на Невском проспекте встал электрический транспорт, не работали предприятия, и была отключена электрическая энергия в жилых домах;

- 28 мая 2010 года свыше 12 тысяч человек остались без электричества в Чечне;

- 26 апреля 2010 года более 2 тысяч жителей Владивостока остались без света.

Этот список можно продолжать бесконечно. В результате аварий, связанных с неисправностями силовых трансформаторов России терпит значительные финансовые, материальные и социальные убытки. Поэтому оценка остаточного ресурса силовых трансформаторов является достаточно актуальной проблемой, решение которой возможно на основе комплексного обследования маслонаполненного электрооборудования различными инструментальными методами.

К одним из наиболее информативных диэлектриков, используемых в маслонаполненном электрооборудовании, относится трансформаторное масло, о состоянии которого судят по его химическим, механическим и электротехническим свойствам, к числу которых относится кислотность, содержание воды, механических примесей и взвешенного угля, вязкости, температуры вспышки, пробивному напряжению, а также степени окисления, которая характеризуется кислотным числом и реакцией водной вытяжки. Электроизоляционные масла, являясь жидкими диэлектриками, должны обеспечивать изоляцию токонесущих частей электрооборудования, служить средой, отводящей тепло, а также способствовать быстрому гашению электрической дуги в выключателях.

Таким образом, техническое состояние маслонаполненного электрооборудования оценивается по тангенсу угла диэлектрических потерь, выделению газообразных продуктов, а также определению критического уровня фурановых соединений, которые образуются в процессе деструкции бумажной изоляции и сорбируются трансформаторным маслом.

На предприятиях энергетической отрасли промышленности эксплуатируется большое количество силового маслонаполненного элек-

трооборудования, аварии которых могут приводить к крупным пожарам, дорогостоящим ремонтным работам и экономическим потерям в результате недопоставки электроэнергии потребителям. Поэтому диагностика этого электрооборудования и как можно более раннего выявления отклонений от нормального технического состояния является достаточно актуальной задачей [1].

Наиболее часто повреждения в трансформаторах приводит к повышению температуры масла и напряженности электрического поля внутри изоляции. В результате этого процесса разрушается электрическая изоляция, что приводит к выделению различных газообразных веществ органической и неорганической природы. При этом трансформаторное мало накапливает в себе информацию о физико-химических процессах, протекающих в эксплуатируемом электрооборудовании. В этой связи инструментальные методы анализа позволяют выявить более 60 % возможных дефектов силовых трансформаторов на ранней стадии их развития [2]. Поэтому инструментальные методы анализа растворенных в трансформаторном масле газов включены в основные нормативные документы, которые определяют требования к контролю состояния трансформаторного оборудования [3].

К одним из наиболее информативных методов диагностики развивающихся в трансформаторном оборудовании дефектов относится газовая хроматография, которая получила наиболее широкое распространение [4 – 5]. В то же время в последние годы постоянно происходит поиск новых путей хроматографической диагностики состояния силовых трансформаторов, в частности стали применять высокоэффективную жидкость жидкостную хроматографию, что позволило существенно расширить круг определяемых в трансформаторном масле компонентов, включая его продукты уплотнения, органические и неорганические соли, а также фурановые соединения [8].

В то же время развитие существующих хроматографических методов анализа газов, выделяющихся из трансформаторного масла идет по пути применения более совершенных селективных детекторов, повышения чувствительности и точности определения за счет применения усовершенствованной системы проботбора и пробоподготовки, а также сорбентов, обладающих повышенной селективностью разделения газообразных смесей [9 – 10].

Совершенствование этих направлений в настоящее время происходит по пути разработки новых методических подходов к уже имеющимся системам, разработки новых диагностических систем, с обработкой результатов на основе математических подходов.

Диагностику маслонаполненного оборудования хроматографическими методами можно представить схемой, приведенной на рис. 1.



Рис. 1. Диагностика маслонаполненного электрооборудования

Как видно из рис. 1, для определения фурановых соединений используется хромато-масс-спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография и тонкослойная хроматография.

Библиографический список

1. **Ванин Б.В.**, Львов Ю.Н., Львов М.Ю. и др. О повреждении силовых трансформаторов напряжением 110 – 5 кВ в эксплуатации. – Электрические станции. – 2001. – № 9. – С. 53 – 58.
2. **Долин А.П.**, Крайнов В.К., Смекалов В.В., Шамко В.Н. Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов. – Энергетик. – 2001. – № 7. – С. 30 – 34.
3. **Объем** и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300.97. – М.: изд-во НЦ «ЭНАС», 2000 – 256 с.
4. **Методические** указания по подготовке и проведению хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов. РД 34.46.303-98. – М: ОАО «ВНИИЭ», 1998. – 48 с.
5. **Методические** указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. РД 153-34. 0-46.302-00. – М: ОАО «ВНИИЭ», 2001. – 41 с.
6. **Каратаев О.Р.**, Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Основы газохроматографического анализа. Под ред. проф. Новикова В.Ф. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2007. – 244 с.

7. **Каратаев О.Р.**, Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Инструментальные методы анализа. Концентрирование примесей и хроматография. Ч. I. Под ред. проф. Новикова В.Ф. – Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2009. – 299 с.

8. **Методика** количественного химического анализа. Определение содержащих производных фурана в электроизоляционных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. РД 34.43.206-94. – М.: СПО «ОРГРЭС», 1995. – 12с.

9. **Бузаев В.В.**, Сапожников Ю.М. Хроматографический комплекс для анализа газов, воздуха и воды, растворенных в трансформаторных маслах. В сб. «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». – С. Петербург: ПЭИПК, 1997 – Вып. 5. – С. 151 – 153.

10. **Дарьян Л.А.** Проботборники «ЭЛХРОМ» для хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле. В сб. «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». – С. Петербург: ПЭИПК, 2000. – Вып. 11. – С. 234 –237.

УДК621.314.222.8

*Ндайизей Мартин;
рук. А.Е. Усачев
(КГЭУ, г. Казань);
н. конс. Р.Г. Ильдарханов
(ООО ИЦ «Энергопрогресс», г. Казань)*

АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБМОТОК ОДНОТИПНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Оценка состояния обмоток силовых трансформаторов (СТ) методом частотного анализа получила широкое распространение в эксплуатационной диагностике СТ. Данный метод основан на сравнение амплитудно-частотных характеристик диагностируемого СТ при первичным (нормограмма) и текущем (дефектограмма) измерении [1]. Изменения в характеристиках свидетельствуют о появлении электрических или механических повреждений обмоток. Для количественной оценки возникающих в обмотках остаточных деформаций при использовании метода частотного анализа применяют математическую обработку в виде вычисления коэффициента корреляции или аналогичных ему величин. Статистический анализ значений частот резонансов АЧХ позволяет перейти к более детальному изучению состояния обмоток трансформаторов [2]. Это дает возможность не только определять наличие дефекта, но и получить представление о его типе, степени развития и локализации в обмотке.

В работе проанализированы АЧХ обмоток низкого напряжения, полученные на однопольных трансформаторах марок АТДЦТН-125000/220/110, АТДЦТН-200000/220/110, АТДЦТН-250000/220/110,

производства Запорожского трансформаторного завода (ЗТЗ). Обмотки всех анализируемых СТ соединены в неразборный треугольник, поэтому при измерении использовались схемы, когда тестовый сигнал подается начало обмотки, а отклик записывается на конце обмотки данной фазы.

По полученным амплитудно-частотными характеристикам 12 автотрансформаторов и их соответствующих точек строились графики нормального распределения Гаусса по формуле:

$$y(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f_i - f_0}{\sigma} \right)^2},$$

где f_i – i -го частота, средняя частота, σ – среднее отклонение частоты, $y(f)$ – значение функции в точке f_i .

Наложение всех кривых распределения Гаусса на одном графике дал восемь (8) групп резонансов совпадающих по номерам (рис. 1).

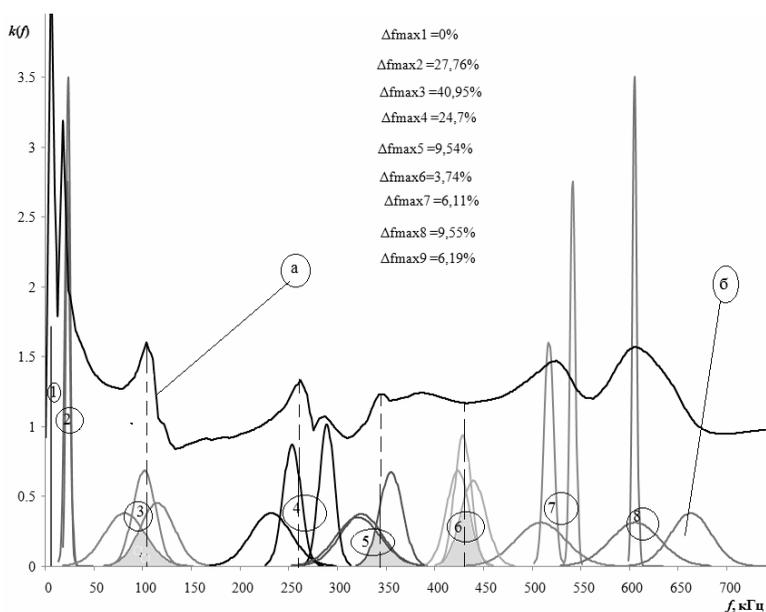


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики АДЦТН-125000/220 (а) и резонансы распределения Гаусса всех АТ (б): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – резонансы частот по распределению гаусса

На рисунке показаны максимальные отклонения частот резонансов в процентах.

Установлено, что наиболее информативные резонансы находятся на частотах 100кГц, 250 кГц, 350кГц и 430 кГц. Исходя из этого, если последующее измерение имеет отклонение, выходящее за рамку этих процентов частот резонансов, то можно судить о возникновении дефекта в обмотках трансформатора. Подтверждение результатов ожидается после создания модели с реальными размерами АТ и сравнения полученных результатов с результатами данной работы.

Выводы

1. Произведен анализ амплитудно-частотных характеристик двенадцать автотрансформаторов мощностью 125МВА, 200МВА и 250МВА. Результаты анализа показали, что при отсутствии дефекта все кривые совпадают. Какое либо изменение внутри трансформатора приводит к изменению его активных, емкостных и индуктивных параметров приводящих к изменению кривой амплитудно-частотных характеристик. Нахождение и определение вида дефекта производится сравнением разницей между полученной кривой с исходной кривой.

2. Статистический анализ позволил получить информативные резонансы позволяющие оценить дальнейшее состояние автотрансформаторов при отсутствии его исходных кривых. Резонансы с максимальным отклонением частот меньше 10 % могут входить в составе исходных кривых для оценки состояния силового трансформатора.

Библиографический список

1. **Matz Ohlen** and Peter Werelius Megger Sweden AB, Taby, Sweden Measurement Considerations when Using Frequency Response Methods for Condition Assessment of Power Transformers Proceedings of the 2010 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, September 6-11, 2010, Tokyo, Japan. A7-1. – С. 191 – 196.

2. **Ильдарханов Р.Г.**, Усачев А.Е. Контроль состояния обмоток силовых трансформаторов путем спектрального анализа передаточных функций // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2010. – № 3 – 4. – С. 38 – 47.

Я.В. Потачиц, асп.; И.И. Сергей, д.т.н., профессор
(БНТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА СИЛ СЖАТИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ РАСПОРОК РАСЩЕПЛЁННОЙ ФАЗЫ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Для математического описания динамики расщепленных проводов используются уравнения движения гибкой упругой нити [1]. Они спра-

ведливы для участков проводов между распорками, на которые воздействуют при коротком замыкании (КЗ) только распределенные электродинамические усилия (ЭДУ). Из-за фиксации проводов в зажимах распорок при КЗ на провода в этих точках воздействуют также сосредоточенные силы, величины которых могут быть определены лишь с учетом характеристик распорок. При многофазных КЗ из-за разницы в расстояниях между составляющими различных фаз траектории движения проводов становятся несимметричными. Это ведет к повороту распорок и закручиванию фазы. Математическое описание динамики расщепленной фазы (РФ) на основе принятой модели включает в себя уравнения поступательных перемещений и закручивания проводов и распорок, которые решаются совместно [1].

Жесткая распорка с точки зрения теоретической механики как неизменяемая система является абсолютно твердым телом. По определению, абсолютно твердое тело не может подвергаться никаким деформациям и представляет собой идеальный образ, который тем ближе подходит к реальной распорке, чем меньше последняя способна деформироваться под действием сил, приложенных от проводов. Подавляющее большинство распорок, установленных еще в энергосистемах бывшего СССР, можно отнести к распоркам жесткого типа [1].

Указанный численный метод расчета параметров электродинамической стойкости расщепленной фазы пригоден для оценки электродинамической стойкости РФ при любом взаимном расположении составных проводников для различных, в том числе и неравномерно установленных распорок [2]. Однако расчёт по вышеуказанному методу трудоёмок и требует высокой квалификации пользователя. Поэтому для инженерных расчётов был модифицирован упрощённый метод расчета, основанный на рассмотрении расщепленной фазы как статической системы, к которой прикладываются максимальные электродинамические усилия при КЗ [3].

Расчётные формулы выводятся для положения равновесия провода. На основании условия упругой деформации растяжения прилегающих к распоркам участков (рис. 1) провода по закону Гука, получена следующая формула для определения H_{\max} [3]:

$$H_{\max} = H_0 + \frac{EA}{L} \left[\frac{s(1 - \cos \beta_{\max})}{\sin \beta_{\max}} - \frac{q^2 l^3}{24H_0^2} \right], \quad (1)$$

где H_{\max} – максимальное тяжение провода; H_0 – начальное тяжение провода, Н; s – шаг расщепления, м; l – длина подпролёта, м; E – модуль упругости, Н/мм²; A – поперечное сечение провода, мм².

Расчёт силы сжатия распорки производится по очевидному выражению:

$$P_{\max} = 2H_{\max} \operatorname{tg} \beta_{\max}, \quad (2)$$

где P_{\max} – максимальная сила сжатия, действующая на распорку, Н.

При допущении, что в момент максимального стягивания проводов в фазе имеет место равновесие приложенных к ним сил и моментов этих сил, получено следующее уравнение:

$$\left[H_{\max} + \frac{EA}{l} \left[\frac{s(1 - \cos \beta_{\max})}{\sin \beta_{\max}} - \frac{q^2 l^3}{24H_0^2} \right] \right] \operatorname{tg} \beta_{\max} - \frac{i^2}{10} \cdot \frac{(\cos \beta_{\max})^2}{\sin \beta_{\max}} \ln \frac{[K + s - d \cos \beta_{\max}][K + s \cos 2\beta_{\max} - d]}{sd(2 \sin 2\beta_{\max} + 1 - \cos 2\beta_{\max})^2}, \quad (3)$$

где $K = \sqrt{d^2 + s^2 - 2ds \cos 2\beta_{\max}}$; d – удвоенный диаметр провода, м.

Уравнение (3) представляет собой трансцендентное алгебраическое уравнение с одним неизвестным β_{\max} . Решение уравнения (3) находится методом половинного деления [4], который сводит процесс нахождения угла β_{\max} к выполнению конечного числа итераций и даёт результат в виде числового значения с погрешностью, приемлемой для решаемой задачи. Данный подход основан на последовательном сужении интервала, содержащего единственный корень уравнения (3) до того времени, пока не будет достигнута заданная точность ϵ .

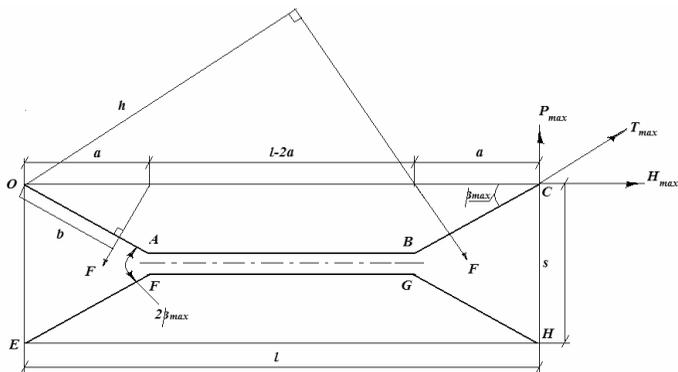


Рис. 1. К определению суммарного момента при предельном стягивании проводов расщеплённой фазы

Разработанный алгоритм был реализован в компьютерной программе. После нахождения β_{\max} выполняется расчёт H_{\max} и P_{\max} . Разработанный метод использован для расчёта параметров электродинамической стойкости расщеплённых фаз гибкой ошиновки проектируемых типовых открытых распределительных устройств 330 – 500 кВ в Российской Федерации. В результате этого расчёта определялись силы сжатия дистанционных распорок. При сравнении результатов определялись силы сжатия распорок, найденные по формуле Манузо, которой широко пользуются в проектной практике. Результаты этого расчёта представлены в табл. 1.

Таблица 2. Сравнение результатов расчёта сил сжатия распорок $P_{\max \text{ расч}}$

$I_{\text{но}}^{(3)}$, кА	Марка провода	$P_{\max \text{ расч.}}$ Н КП FAZA	Тип распорки	$P_{\max \text{ расч.}}$ Н МЕТОД	$I_{\text{доп.}}$ М.	P_{\max} Н (по Манузо)
20	2×АС 300/39	1920	РГ-2-400	1400	9.83	2574
20	2×ПА 500	1720	РГ-2-400	1650	9.83	2929
40	2×АС 300/39	1920	РГ-2-400	1850	1.3	3022
40	2×ПА 500	2120	РГ-2-400	2250	1.6	3466
63	2×АС 300/39	2200	РГ-2-400	2340	0.7	3490
63	2×ПА 500	2520	РГ-2-400	2670	0.756	4654

Как видно из табл. 1, приближённый метод расчёта сил сжатия распорок и максимальных тяжений, действующих на дистанционную распорку, для фазы, состоящей из двух проводов, даёт результаты, которые подтверждаются численными расчётами по компьютерной программе FAZA. При токах КЗ 40 – 60 кА электродинамическая стойкость РФ обеспечивается только при использовании демпфирующих распорок с повышенной механической прочностью. Следует отметить, что в компьютерной программе FAZA и в приближённом методе не учитывается подвижность лучей ДР относительно рамы, что вносит погрешность в результаты расчёта сил сжатия распорки и максимальных тяжений. Для оценки величины этой погрешности необходимо усовершенствовать компьютерную программу FAZA и учесть в расчётах особенности конструкции демпфирующей распорки.

Библиографический список

1. Сергей, И.И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент. – М.: ВУЗ – ЮНИТИ, 2001. – С. – 151.
2. Стрелюк, М.И. Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки открытых распределительных устройств высокого напряжения. Электричество: научный журнал. – 1984. – № 1. – С. 10 – 14.

3. **Сергей, И.И.**, Андрукевич А.П Упрощённый расчёт максимальных тяжёлых расщеплённых проводов при коротком замыкании. Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 4. – С. 18 – 23.

4. **Демидович, Б.П.** Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1968. – 664 с.

*Р.В. Шилак, студ.; рук. Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
(БНТУ, г. Минск)*

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА МЕХАНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРОВОДОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Под воздействием механической нагрузки и температуры окружающей среды в проводах распределительных устройств (РУ) возникают механические напряжения. Расчет положения провода зависит от геометрии пролета, его конструктивных особенностей, пространственного расположения отпаяк [1].

Решение уравнений статики гибких проводов реализовано в компьютерных программах [2], позволяющих определить стрелы провеса и тяжение проводов под действием гололедных и ветровых нагрузок. Программы учитывают разность высот подвеса, гирлянды изоляторов, распорки, а также отпайки к электрическим аппаратам. Программы пригодны для расчета монтажных режимов при способе монтажа с одной гирляндой в пролете и различных вариантах монтажа отпаяк, а также позволяют решить обратную задачу: по известной стреле провеса определить тяжение.

Решение обратной задачи производится путем численного решения нелинейных дифференциальных уравнений статики гибкой упругой нити. После аппроксимации системы дифференциальных уравнений конечно-разностными уравнениями решение обратной задачи сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений на основе вложенных итераций. Отличие от прямой задачи заключается в другом порядке их следования и в изменении критериев, по которым оценивается достижение заданной точности в определении параметров гибкой ошиновки распределительных устройств и проводов воздушных линий. Ход и построение первой итерации относительно координат практически остаются без изменений. Добавляется только формула для определения начального приближения тяжения, заимствованная из [1].

После достижения заданной точности в определении координат вычисляется тяжение в проводе. Контроль достижения заданной точности в вычислении тяжения выполняется по стреле провеса в заданной точке пролета $f_{\text{расч}}^{(p)}$. Итерационный процесс завершается, если

$\Delta f = f_{\text{расч}}^{(P)} - f_0$ станет меньше заданной точности вычислений (f_0 – исходная стрела провеса). Если эта точность не достигнута, то по методу половинного деления определяется новое приближение тяжения

$$T^{(P)} = T^{(P-1)} + \Delta T^{(P)},$$

где $\Delta T^{(P)} = \pm \Delta T^{(P-1)} / (2 - k)$.

Коэффициент k равен 1 до тех пор, пока разность $\Delta f = f_{\text{расч}}^{(P)} - f_0$ не изменит знака, после чего значение k устанавливается равным нулю. Знак $\Delta T^{(P)}$, зависящий от соотношения $f_{\text{расч}}^{(P)}$ и f_0 , легко устанавливается благодаря известному характеру изменения тяжения с изменением стрелы провеса. Начальное значение $\Delta T^{(1)}$ принимается равным 5 % от начального приближения тяжения.

На каждом шаге итерации по тяжению уточняется длина провода до деформации $l(0)$. Параметром, характеризующим $l(0)$ в уравнениях статички гибкой упругой нити, является шаг h_0 , представляющий собой часть длины гибких шин. Он равен

$$h_0^{(P)} = \frac{h_f^{(P)}}{(1 + \alpha_y T_f^{(P)})(1 + \alpha_t \theta)},$$

где $h_f^{(P)}$ – расстояние между f -м и $(f - 1)$ -м узлами сетки; $T_f^{(P)}$ – значение p -го приближения тяжения в f -м узле сетки; θ – температура провода в исходном режиме; α_y, α_t – коэффициенты упругого и температурного удлинения провода.

Если месторасположение заданной стрелы провеса не совпадает с узлом сетки, то путем логических сравнений определяется ближайший узел сетки, стрела провеса в котором принимается равной исходной.

Величина h_f определяется значениями p -го приближения координат в узлах сетки $\bar{R}_f^{(P)}$ и $\bar{R}_{f-1}^{(P)}$:

$$h_f^{(P)} = \sqrt{\left(x_f^{(P)} - x_{f-1}^{(P)}\right)^2 + \left(y_f^{(P)} - y_{f-1}^{(P)}\right)^2 + \left(z_f^{(P)} - z_{f-1}^{(P)}\right)^2}.$$

Рассмотренный алгоритм решения обратной задачи реализован в компьютерных программах механического расчета проводов [2].

Библиографический список

1. **Бошнякович А.Д.** Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. – Л.: Энергия, 1975. – 248 с.
2. **Стрелюк М.И.,** Сергей И.И., Бладыко Ю.В. Численный метод расчета статики гибкой ошиновки ОРУ в различных режимах климатических воздействий // Энергетика: Изв. высш. учеб. заведений. – 1983. – № 8. – С. 8 – 14.

*А.А. Шпаковский, А.Г. Баран, студенты;
рук. П.И. Климкович
(БНТУ, г. Минск)*

**РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ
ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ЖЕСТКИМИ
ПРОИЗВОЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ
СОСТАВНЫМИ ПРОВОДНИКАМИ**

Токосоведущие части современных КРУ имеют нестандартную конструкцию – шины расположены в вершинах произвольного треугольника, для которого в ГОСТ 30323-95 [1] отсутствуют расчетные фазы включения тока и соответственно коэффициенты расположения. Пакет медных шин крепится с помощью медных надставок к опорно-проходным изоляторам. Надставки существенно увеличивают изгибающие моменты, действующие на опорно-проходные изоляторы, возникающие в результате электродинамического взаимодействия фаз.

При расчете указанных шин на электродинамическую стойкость необходимо знать не только максимальные значения проекций электродинамических усилий (ЭДУ) или их равнодействующих, но и максимальные напряжения в материале шин, вызванные воздействием ЭДУ. Расчет механических напряжений обычно производится по мгновенным значениям ЭДУ, что допустимо, если основная собственная частота колебаний элементов шинной конструкции выше 150 Гц [1].

Условия максимума для напряжения в материале шин прямоугольной формы не совпадают с условиями максимума ни для проекции ЭДУ ни для равнодействующих, так как напряжение в материале шин зависит еще и от соотношения моментов сопротивления поперечного сечения шины относительно ее главных осей инерции. При косом изгибе шин прямоугольного сечения всегда имеются точки, в которых силы разных знаков вызывают напряжения одного знака. Напряжение в материале шин определяется по выражению

$$|\sigma| = \frac{l^2}{\lambda} \left[\frac{|f_x|}{W_y} + \frac{|f_y|}{W_x} \right],$$

где l – длина пролета; λ – коэффициент расчетной схемы [1]; f_x и f_y – удельные проекции ЭДУ на оси координат; W_x и W_y – моменты поперечного сопротивления шины относительно осей.

В пакетной шине на взаимодействие проводников фаз накладывает-ся взаимодействие шин внутри пакета

$$|\sigma_{\Sigma}| = |\sigma_{\Phi}| + |\sigma_{\text{эл}}|,$$

где σ_{Σ} – суммарное напряжение в материале шин; σ_{Φ} – напряжение, вызванное взаимодействием фаз; $\sigma_{\text{эл}}$ – напряжение, вызванное взаимодействием элементов пакета.

Составные шины КРУ подвержены косому изгибу и максимальное механическое напряжение для них определяется по формуле

$$\sigma_{\text{max}} = \left(\frac{M_{\text{из } x}}{W_y} + \frac{M_{\text{из } y}}{W_x} \right) \frac{\eta\beta}{\lambda} + \sigma_{\text{эл max}},$$

где $M_{\text{из } x}$ и $M_{\text{из } y}$ – проекции изгибающих моментов на оси x и y ; $\sigma_{\text{эл max}}$ – максимальное напряжение в материале шины, обусловленное взаимодействием полос внутри пакета одной фазы; η – динамический коэффициент, учитывающий влияние колебаний [1]; β – коэффициент расчетной схемы [1].

Величина $\sigma_{\text{эл max}}$ определяется по выражению

$$\sigma_{\text{эл max}} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot l_{\text{эл}}^2 \cdot k_{\Phi}}{12 \cdot a_{\text{эл}} \cdot W_{\text{эл}}} \left(\frac{i_y}{2} \right)^2 \eta_{\text{эл}},$$

где $l_{\text{эл}}$ – длина пролета элемента шины между прокладками; $a_{\text{эл}}$ – расстояние между осями поперечных сечений элементов составных шин; $W_{\text{эл}}$ – момент сопротивления поперечного сечения элемента шины; k_{Φ} – коэффициент формы, учитывающий влияние поперечных размеров шин на ЭДУ; i_y – ударный ток КЗ.

В шинной конструкции, фазы которых расположены по вершинам треугольника, ЭДУ изменяют во времени свое направление в пространстве, оставаясь все время перпендикулярными осям шин. Для их расчета могут быть использованы как явные, так и численные методы.

Для сборных шин, расположенных параллельно друг другу в вершинах произвольного треугольника, пригоден метод расчета ЭДУ в системе параллельных бесконечно длинных и тонких проводников. В отличие от случая параллельных проводников, лежащих в одной плоскости, при их пространственном расположении ЭДУ изменяются во времени как по величине, так и направлению и составляющие ЭДУ складываются геометрически. Изоляторы при этом подвергаются различным видам деформации. Поскольку прочность изоляторов для различных видов деформации неодинакова, то при расчете недостаточно определить максимум ЭДУ, а необходимо знать и его направление. При их определении используются формулы вычисления ЭДУ для двух параллельных проводников, которые суммируются геометрически в соответствии со схемой расположения проводников фаз (рис. 1).

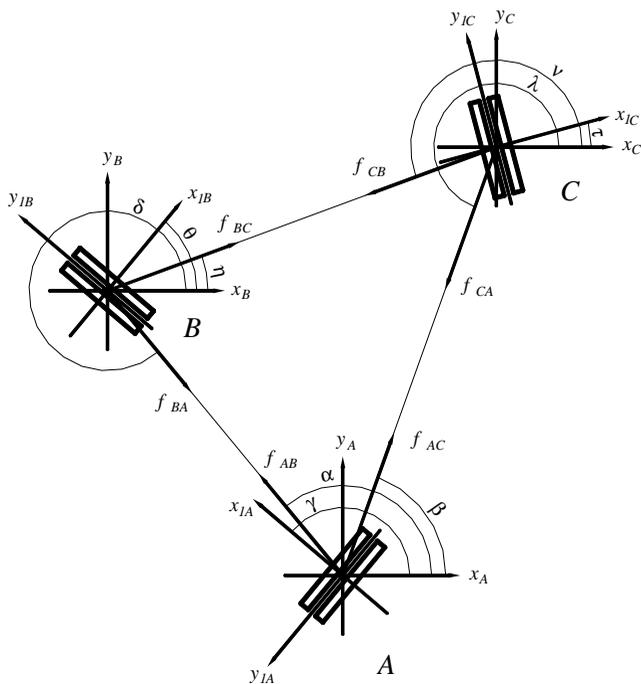


Рис. 1.

Глобальная система координат, характеризующая взаимное положение изоляторов и шин, располагается в точке крепления изоляторов, а по-

ложение шин задается другой системой координат, повернутой относительно основной на соответствующие углы, при которых одна из осей параллельна шинам, а другая – перпендикулярна к ним. Проекции ЭДУ на оси x и y для проводников фаз будут равны:

$$\begin{aligned} f_{AX} &= f_{AB} \cos \alpha + f_{AC} \cos \beta ; \\ f_{AY} &= f_{AB} \sin \alpha + f_{AC} \sin \beta ; \\ f_{BX} &= f_{BA} \cos \delta + f_{BC} \cos \eta ; \\ f_{BY} &= f_{BA} \sin \delta + f_{BC} \sin \eta ; \\ f_{CX} &= f_{CA} \cos \lambda + f_{CB} \cos \nu ; \\ f_{CY} &= f_{CA} \sin \lambda + f_{CB} \sin \nu , \end{aligned}$$

где f_{jk} – усилие от взаимодействия фаз.

При трехфазном КЗ мгновенные значения токов определяются по выражениям

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \left[\sin(\omega t + \psi) - \sin \psi e^{-\beta t} \right]; \\ i_B &= I_m \left[\sin\left(\omega t + \psi - \frac{2}{3}\pi\right) - \sin\left(\psi - \frac{2}{3}\pi\right) \pi e^{-\beta t} \right]; \\ i_C &= I_m \left[\sin\left(\omega t + \psi + \frac{2}{3}\pi\right) - \sin\left(\psi + \frac{2}{3}\pi\right) \pi e^{-\beta t} \right], \end{aligned}$$

где I_m – амплитуда периодической составляющей тока КЗ; β – показатель затухания аperiodической составляющей тока КЗ; ψ – фаза включения тока КЗ; ω – угловая частота вращения вектора переменного напряжения.

С учетом выражений для токов КЗ выражения для определения касательных и нормальных к шинам электродинамических усилий для фазы А имеет вид:

$$\begin{aligned} f_{AX_1} &= 2 \cdot 10^{-7} I_m^2 \left[\sin(\omega t + \psi) - e^{-\beta t} \sin \psi \right] \times \\ &\times \left\{ \frac{\cos(\alpha - \gamma)}{d_{AB}} \left[\sin\left(\omega t + \psi - \frac{2}{3}\pi\right) - e^{-\beta t} \sin\left(\psi - \frac{2}{3}\pi\right) \right] + \right. \\ &\left. + \frac{\cos(\beta - \gamma)}{d_{AC}} \left[\sin\left(\omega t + \psi + \frac{2}{3}\pi\right) - e^{-\beta t} \sin\left(\psi + \frac{2}{3}\pi\right) \right] \right\}, \end{aligned}$$

где d_{AB} и d_{AC} – междуфазные расстояния.

Для выбора расчетных условий КЗ выражения для ЭДУ исследуются на максимум. Определение максимальных ЭДУ, а также соответствующих им текущего времени и угла включения КЗ, выполняется методом циклической прогонки по расчетному времени процесса КЗ t_k и фазе включения КЗ ψ . На каждом шаге вычисления производим выбор максимальных вычисленных значений, а также фиксирование соответствующих им текущего времени и текущего угла включения КЗ.

Разработанный явный метод расчета электродинамических усилий в жесткой ошиновке положен в основу компьютерной программы RigidBusbars, которая может быть использован в практике конструкторских работ по разработке шинных конструкций распределительных устройств с произвольным расположением шин и изоляторов.

Библиографический список

1. ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. Введ. 01.03.1999. Минск, 2000. 37 с.

*Е.А. Ельникова, студ., М.М. Фомин;
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ FLASH-АНИМАЦИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕРАКТИВНОГО УЧЕБНИКА «ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ»

Процессы модернизации методов систем образования студентов с использованием дистанционного обучения занимают всё большую роль в современной методике обучения. На сегодняшний день существуют множество автоматизированных обучающих систем (АОС).

АОС представляет собой комплекс обучающего курса лекций (электронный учебник) и системы контроля (тестирование студентов).

Преимущества использования автоматизированной обучающей системы:

- 1). Позволяет осуществлять удалённое обучение.
- 2). Контроль знаний осуществляется с помощью системы тестирования.
- 3). Позволяет упростить преподавательский труд.

Недостатком является то, что в случае удаленного обучения нет полной уверенности в том, что студент самостоятельно выполняет тестирование.

Система позволит модернизировать существующий ранее процесс обучения. АОС позволяет проконтролировать теоретические знания студента.

В данной работе разработана АОС по первой части курса «Математические задачи электроэнергетики», читаемого студентам специальности «Электрические станции».

Создание АОС осуществлено на базе Гипертеста 2.0 (Hypertest 2.0) [1, 2]. На рис. 1 показано то, что будет доступно обучаемому (web-учебник).

Область оглавления предоставляет студенту доступ к следующим структурным единицам материала выбранной программы: модули (кнопка «Оглавление»), элементы знаний (кнопка «Глоссарий»), процедуры тренировки и контроля (кнопки «Тренаж» и «Тесты»).

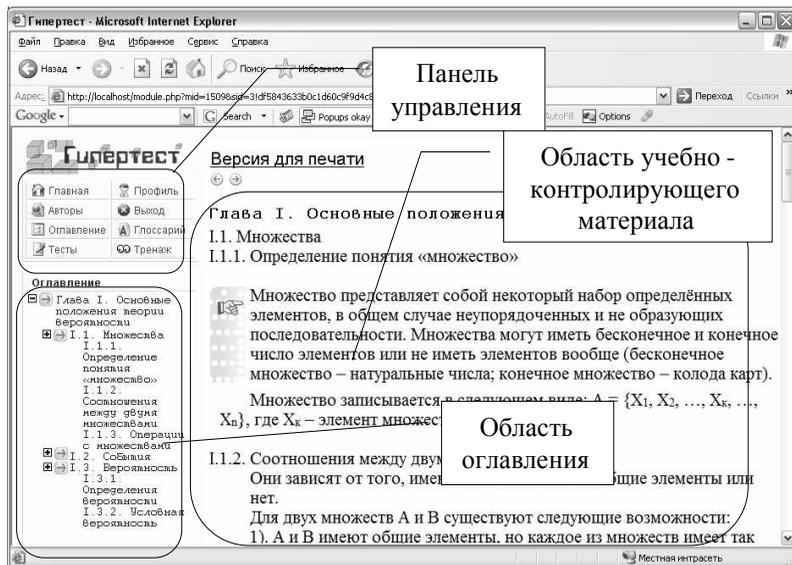


Рис. 1. Структура web-учебника

Панель управления обеспечивает следующие возможности (табл. 1):

Таблица 1. Функции управляющих ссылок

Наименование	Функция
Главная	Возврат на главную страницу
Профиль	Просмотр персонального профиля знаний
Авторы	Просмотр сведений об авторах учебной программы
Выход	Завершение сеанса работы
Оглавление	Просмотр структуры учебного материала в формате оглавления
Глоссарий	Просмотр структуры учебного материала в формате словаря
Тесты	Формирование списка тестов
Тренаж	Формирование списка процедур тренажа

На рис. 2 показан вариант вопроса на тестировании.

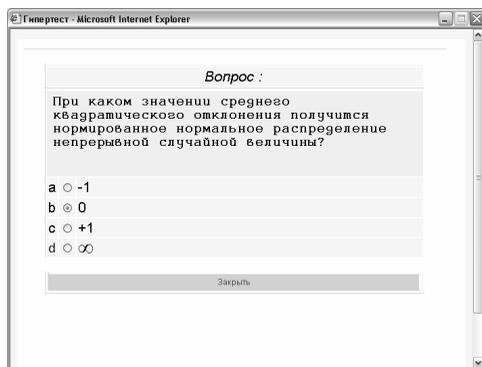


Рис. 2. Пример вопроса

На основе пройденного тестирования оцениваются знания и работа студента с АОС.

Применение технологий flash-анимации. Adobe Flash (ранее Macromedia Flash) – мультимедийная платформа компании Adobe для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций. Широко используется для создания рекламных баннеров, анимации, игр, а также воспроизведения на веб-страницах видео- и аудиозаписей.

Применение данных технологий при разработке интерактивного учебника «Основы теории надежности» было направлено на то, чтобы создать систему контроля знаний студентов в области составления таблиц надежности схем электрических соединений.

В итоге, получился Flash-документ, который позволяет составить таблицу надежности, автоматически проверить ее и вывести результат с оценкой.

К его достоинствам можно отнести следующее:

- автоматическая проверка и выставление оценки;
- сокращение времени студента на оформление работы, что дает ему больше времени для размышлений;
- упрощение преподавательского труда.

Описание модели. Исходный вид представлен на рис. 3.

Следующим этапом проверки знаний тестируемого является решение поставленной перед ним задачи, а именно: составление таблицы надежности схемы электрических соединений (рис. 4).

Далее, когда тестируемый думает, что закончил и определил все правильные ответы, он должен нажать кнопку «ЗАВЕРШИТЬ». После этого появится результат теста (рис. 5).

Завершить	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	A1	A2
Q1								
Q2								
Q3								
Q4								
Q5								
Q6								
A1								
A2								

Рис. 3. Исходный вид таблицы

Завершить	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	A1	A2
Q1	✗	—	—	—	—	—	—	✗
Q2	—	✗	—	T=1.5ч	T>1.5ч	—	T=1.5ч	✗
Q3	✗	—	✗	—	—	—	—	✗
Q4	T=1.5ч	✗	—	✗	T=1.5ч	T>1.5ч	✗	—
Q5	T>1.5ч	—	—	—	✗	—	✗	—
Q6	—	T=1.5ч	✗	—	—	✗	—	✗
A1	T=1.5ч	—	—	—	—	—	✗	—
A2	T>1.5ч	—	—	—	—	—	—	✗

Рис. 4. Вид таблицы в заполненном виде

2.03125 (26 из 64)

Рис. 5. Вид таблицы при отображении результата теста

Внедрение современных компьютерных и использование новых информационных технологий представляет качественно новый этап в процессе обучения.

Библиографический список

1. **Пантелеев Е.Р.**, Суворов В.А. Сервер приложений среды Web-обучения ГИПЕРТЕСТ 2.0 (СП ГИПЕРТЕСТ). Св-во о регистрации в ОФАП №7809 от 26.02.07, номер ВНТИЦ - 50200700456 от 01.03.07.
2. **Пантелеев Е.Р.** Средства поддержки жизненного цикла Web-обучения в инструментальном комплексе ГИПЕРТЕСТ 2.0 // Информационные технологии. – № 2. – 2007. – С. 39 – 45.

*А.В. Шиков, студ.; рук. А.В. Рассказчиков, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ СХЕМ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ

В зависимости от типа станции применяются различные схемы выдачи мощности. Для ТЭЦ выполняются схемы блочного типа и с использованием генераторного распределительного устройства (ГРУ). В соответствии с нормативными документами при величине местной нагрузки (МН) менее 30 % от мощности генератора рекомендуется применять блочный вариант схемы выдачи мощности. Это обосновывается технико-экономическими соображениями. Для КЭС выполняются схемы блочного типа.

Важным показателем является надёжность схем, которая характеризуется бесперебойным электроснабжением потребителей и выдачей электроэнергии в систему [1].

Для сравнения двух видов схем выдачи мощности ТЭЦ производится анализ надёжности двух вариантов схем ТЭЦ с тремя установленными генераторами (рис. 1, 2).

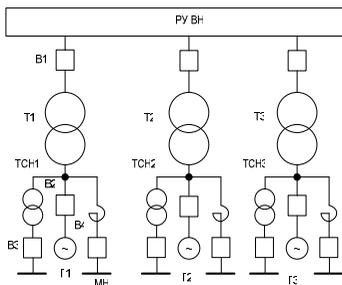


Рис. 1. Блочная схема выдачи мощности

Отказами схем выдачи мощности считаются полное (1) или частичное (2) нарушение электроснабжения местной нагрузки, а также отключение одного генератора (3), двух генераторов (4) или полное (5) прекра-

щение выдачи мощности в энергосистему. Учитываются отказы одного из выключателей или одного из силовых трансформаторов. Случаи наложения отказов одного оборудования на ремонт другого оборудования не рассматриваются. При таких условиях отказы вида 1 и 5 в обеих схемах можно считать не возможными [2].

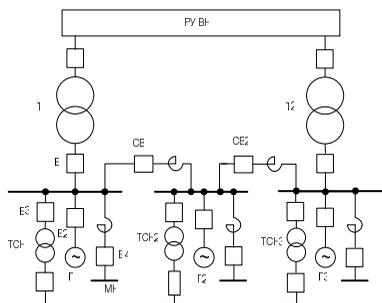


Рис. 2. Схема выдачи мощности с ГРУ

Для анализа надёжности вариантов схем выдачи мощности ТЭЦ по рис. 1 и рис. 2 разработаны деревья отказов (рис. 3, 4, 5, 6).

В блочном варианте (рис. 1) погашение одного блока (отказ 3) возможно при отказе ТСН1, Т1 и выключателей В1 – В4 (рис. 3). При этом отключается только одна секция местной нагрузки, что не приводит к ограничению электроснабжения потребителей.

При отказе одного из секционных выключателей СВ1 или СВ2 (рис. 2) отключаются соответственно 1, 2 или 2, 3 секции ГРУ, что приводит к обесточиванию третьей части местной нагрузки (отказ 2, рис. 4).

Отключение одного генератора на ГРУ (отказ 3) происходит при отказе одного из выключателей В1 – В4, подключённых к ГРУ (рис. 5).

Отключение одновременно двух генераторов на ГРУ (отказ 4) происходит при отказе одного из секционных выключателей СВ1 или СВ2 (рис. 6).

На рис. 3 – 6 приведены схемы деревьев отказов для одного блока и одной секции ГРУ. Для построения полного дерева отказов необходимо соответственно нарастить разработанные схемы. [1]

Блочная схема содержит события, возникающие при отказах блочных силовых трансформаторов. Ввиду высокой надёжности силовых трансформаторов вероятность отказа их небольшая. Следовательно, блочная схема имеет большую надёжность, чем схема с ГРУ, так как, как видно на рис. 3 – 6, нет отключения двух генераторов одновременно.

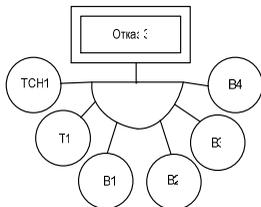


Рис. 3. Дерево отказа 3 для блочного варианта

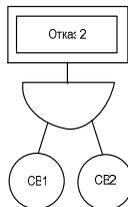


Рис. 4. Дерево отказа 2 для варианта с ГРУ

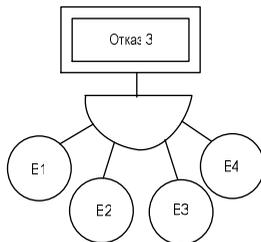


Рис. 5. Дерево отказа 3 для варианта с ГРУ

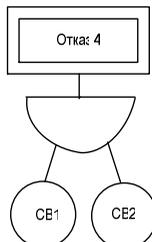


Рис. 6. Дерево отказа 4 для варианта с ГРУ

Вероятность отказа 3 для блочного варианта:

$$P_{3бл} = 1 - ((1 - \omega_{TCH1})(1 - \omega_{T1})(1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{B2})(1 - \omega_{B3})(1 - \omega_{B4})),$$

$$P_{3бл} = 1 - ((1 - 0,012)(1 - 0,025)(1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,111,$$

где $\omega_{TCH1}, \omega_{T1}, \omega_{B1}, \omega_{B2}, \omega_{B3}, \omega_{B4}$ – параметры потоков отказа оборудования [1/год].

Вероятность отказа 3 для варианта с ГРУ:

$$P_{3ГРУ} = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{B2})(1 - \omega_{B3})(1 - \omega_{B4})),$$

$$P_{3ГРУ} = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,08.$$

Вероятность отказа 2 для варианта с ГРУ:

$$P_{2ГРУ} = 1 - ((1 - \omega_{CB1})(1 - \omega_{CB2})),$$

$$P_{2ГРУ} = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,04.$$

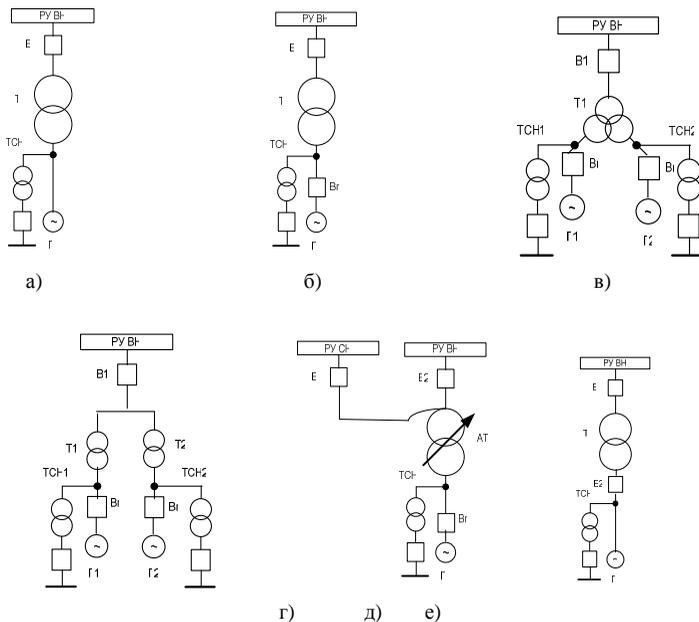
Вероятность отказа 4 для варианта с ГРУ:

$$P_{4ГРУ} = 1 - ((1 - \omega_{CB1})(1 - \omega_{CB2})),$$

$$P_{4ГРУ} = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,04.$$

На основе приведенных расчетов можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным вариантом является блочная схема выдачи мощности, поскольку ни при каких возможных событиях не происходит потеря потребителей.

Для определения наиболее надёжного варианта схемы для блочной КЭС, рассмотрим следующие варианты блоков генератор-трансформатор:



На рис. 7 – 12 приведены схемы деревьев отказов для одного блока.

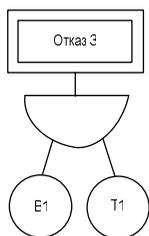


Рис. 7.

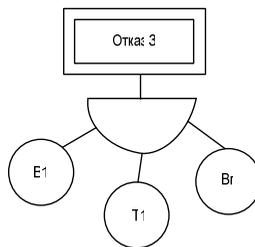


Рис. 8.

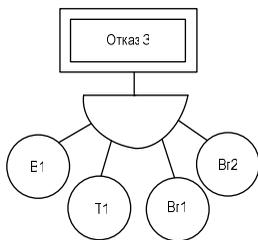


Рис. 9.

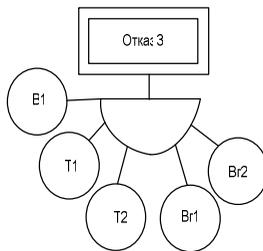


Рис. 10.

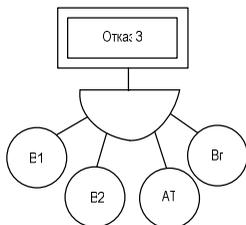


Рис. 11.

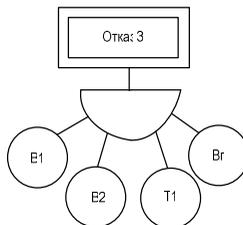


Рис. 12.

Вероятность отказа 3 для варианта а):

$$P_a = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{T1})),$$

$$P_a = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,025)) = 0,045.$$

Вероятность отказа 3 для варианта б):

$$P_b = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{B2})(1 - \omega_{T1})),$$

$$P_b = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,025)) = 0,064.$$

Вероятность отказа 3 для варианта в):

$$P_c = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{T1})(1 - \omega_{Bc1})(1 - \omega_{Bc2})),$$

$$P_c = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,025)(1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,08.$$

Вероятность отказа 3 для варианта г):

$$P_d = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{T1})(1 - \omega_{BT2})(1 - \omega_{Bc1})(1 - \omega_{Bc2})),$$

$$P_d = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,025)(1 - 0,025)(1 - 0,02)(1 - 0,02)) = 0,105.$$

Вероятность отказа 3 для варианта д):

$$P_{d)} = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{B2})(1 - \omega_{AT})(1 - \omega_{Bz1})),$$

$$P_{d)} = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,028)(1 - 0,02)) = 0,085.$$

Вероятность отказа 3 для варианта е):

$$P_{e)} = 1 - ((1 - \omega_{B1})(1 - \omega_{B2})(1 - \omega_T)(1 - \omega_{Bz1})),$$

$$P_{e)} = 1 - ((1 - 0,02)(1 - 0,02)(1 - 0,025)(1 - 0,02)) = 0,082.$$

При анализе расчетов вероятностей отказа 3, самым надежным оказался вариант а), однако отсутствие генераторного выключателя усложняет процесс эксплуатации генератора и схемы в целом.

Библиографический список

1. **Надежность** и эффективность электроснабжения: Учебное пособие / Уфимс. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Б.В. Папков, Д.Ю. Пашали. – Уфа, 2005. – 380 с.
2. **Назарычев А.Н.**, Скоробогатов А.А., Марьянова С.И. Введение в теорию надежности энергообъектов: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 128 с.

*М.В. Львов, студ.; рук. А.В. Рассказчиков, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ

Введение. С самого своего развития и по настоящее время силовые трансформаторы претерпевали совершенствование на заводах изготовителей. Это совершенствование касалось в первую очередь конструктивных характеристик таких как: масса, габаритные размеры, потери в трансформаторе. В данной работе было рассмотрено шесть классов напряжения (35 – 750 кВ), рассмотрен обширный диапазон мощностей силовых трансформаторов (1,6 – 630 МВА), в исследовании участвует более 70 единиц силовых трансформаторов отечественных производителей, по всем разделам работы были получены наглядные результаты.

Определение использования единицы массы силового трансформатора на 1 МВА мощности. В данном разделе определялось фактическое использование 1 тонны массы трансформатора для получения одного МВА его мощности, а так же сравнение характеристики силовых трансформаторов с масляной и элегазовой изоляцией.

На рис. 1 представлено использование 1 единицы массы трансформатора на 1 МВА его мощности для класса напряжения 110 кВ. Здесь происходит снижение затрат стали на 1 МВА мощности с ростом номинальной мощности трансформатора.

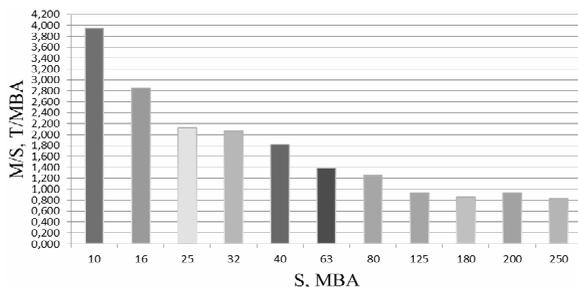


Рис. 1. Использование единицы массы трансформатора на 1 МВА его мощности для 110 кВ

На рис. 2 представлено сравнение данной характеристики элегазового трансформатора ОРЭНЦН-21/220 и силовых трансформаторов с масляной изоляцией той же мощности. Наглядно видно, что трансформатор с элегазовой изоляцией имеет значительное преимущество перед трансформаторами с масляной изоляцией.

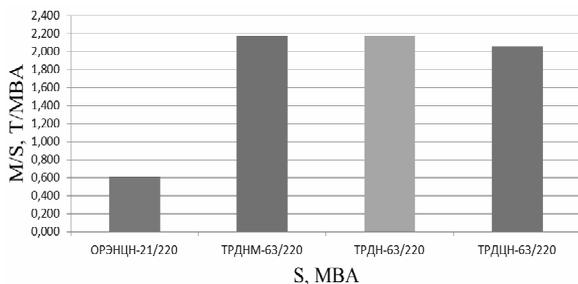


Рис. 2. Сравнение характеристики трансформаторов с элегазовой и масляной изоляцией

Определение использования единицы объема бака силового трансформатора на 1 МВА мощности. В данном разделе определялось фактическое использование 1 кубического метра объема бака трансформатора для получения одного МВА его мощности, а так же сравнение характеристики силовых трансформаторов с масляной и элегазовой изоляцией.

На рис. 3 представлено использование 1 единицы объема бака трансформатора на 1 МВА его мощности для класса напряжения 110 кВ. Здесь

происходит снижение единицы объема бака необходимой на 1 МВА мощности с ростом номинальной мощности трансформатора.

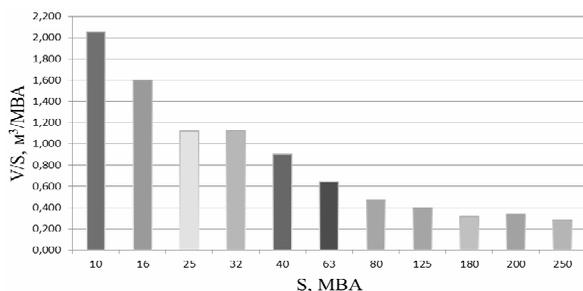


Рис. 3. Использование единицы объема бака трансформатора на 1 МВА его мощности для 110 кВ

На рис. 4 представлено сравнение данной характеристики элегазового трансформатора ОРЭНЦН-21/220 и силовых трансформаторов с масляной изоляцией той же мощности. Наглядно видно, что трансформатор с элегазовой изоляцией имеет значительное преимущество перед трансформаторами с масляной изоляцией.

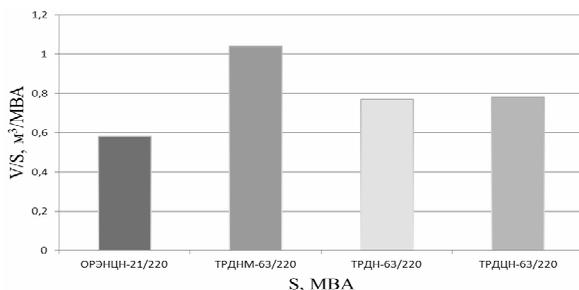


Рис. 4. Сравнение характеристики трансформаторов с элегазовой и масляной изоляцией

Совершенствование силовых трансформаторов путем снижения потерь. В данном разделе произведен анализ изменения за счет совершенствования магнитопровода и обмоток силового трансформатора. Данная характеристика рассматривалась с учетом времени производства трансформатора, использовались как старые, так и новые данные по силовым трансформаторам.

На рис. 5 показана зависимость изменения потерь в трансформаторе ТДЦ-80000/110 с 1975 года по настоящее время. Видно, что с 1975 года по 2012 происходит явное снижение потерь в силовом трансформаторе.

Данная картина показывает целенаправленное совершенствование данного силового трансформатора за счет снижения потерь.

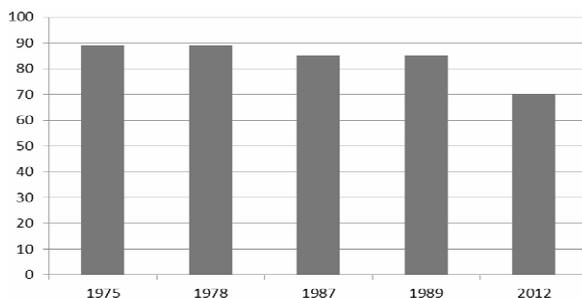


Рис. 5. Изменение P_{xx} ТДЦ-80000/110 с 1975 по 2012 г.г.

Выводы

1. С ростом номинальной мощности и класса напряжения силового трансформатора происходит снижение роста его габаритных и весовых характеристик.

Таблица 1. Общие выводы

U, кВ	V, м ³	M, Т
750	0,26	0,76
500	0,28	0,75
330	0,69	1,47
220	0,86	1,73
110	0,89	1,79
35	0,975	2,53

2. Силовой трансформатор с элегазовой изоляцией имеет явное преимущество перед трансформатором с масляной изоляцией как в плане габаритов так и в плане массы.

3. С самого начала проектирования трансформаторов делались попытки его усовершенствовать путем улучшения его характеристик: снижение потерь, снижение массы, снижение объема трансформатора.

Библиографический список

1. **Официальный** каталог продукции ОАО «Электрозавод» <http://www.elektrozavod.ru/>.
2. **Неклепаев Б.Н.**, Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

3. **Справочник** по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.; ил.

4. **Рожкова Л.Д.**, Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

5. **Рожкова Л.Д.**, Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М., «Энергия», 1975. – 704 с.

6. **Электрическая** часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособие для электроэнергетических специальностей вузов; Крючков И.П., Кувшинский Н.Н.-3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 456с.

*А.С. Карачева, студ.; рук. О.Н. Калачева, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ БАЗ ДАННЫХ

Целью данной работы является изучение студентами баз данных: создание баз, редактирование, создание форм, запросов.

Одной из наиболее доступных систем, реализующих работу баз данных на современных принципах, является настольная СУБД MS Access. MS Access является не просто СУБД, она включает в себя и средства разработки схем баз данных, и средства визуального формирования запросов, экранных форм, отчетов, то есть имеет полный набор средств, необходимых для создания полезных приложений баз данных, а также средства поддержки их работы.

Основное назначение баз данных – обеспечение наиболее компактного и надежного хранения информации, предназначенной для различного применения. Из этого вытекают требования к таблицам баз данных.

1. Наиболее компактное, не избыточное хранение информации, исключающее повторы данных. Для решения этой задачи данные разбиваются на такое число таблиц, чтобы неэлементарная информация хранилась только один раз в одном месте.

2. Непротиворечивость. Так, например, некоторый признак описывается словом, на основе этого признака может понадобиться группировка. В этом случае целесообразно все возможные значения этого поля вынести в отдельную таблицу, в противном случае небольшая ошибка в написании признака будет приводить к невозможности правильной группировки.

3. Целостность информации. Она состоит в том, что связи для взаимосвязанных полей обеспечиваются при любых условиях. Например, СУБД обеспечивает запрет удаления записи из таблицы признаков, если

на этот признак ссылается какое-то поля в любой из таблиц БД. Ясное дело, что факт ссылки должен быть отмечен в логической схеме БД.

В качестве практического задания студентам на лабораторной работе предлагается создание базы данных электрозачитных средств энергопредприятия в помощь обслуживающему персоналу данного предприятия для удобства получения информации об имеющихся защитных средствах, сроках их годности, ответственных лицах и т. п. Поскольку электроустановки делятся на электроустановки с напряжением до 1000 В и электроустановки с напряжением выше 1000 В, то электрозачитные средства также подразделяют на средства до 1000 В и средства выше 1000 В. Поэтому целесообразно разместить информацию в двух таблицах во избежание нарушения первого требования к таблицам.

Для обеспечения связи между таблицами студенты учатся создавать схему данных и устанавливать связи. Как правило, это связи типа «Один-ко-многим». При подобном типе связи каждой записи главной таблицы соответствует одна или несколько связей в подчиненной таблице. Структура связей типа «Один-ко-многим» позволяет избежать избыточности данных и дублирования записей.

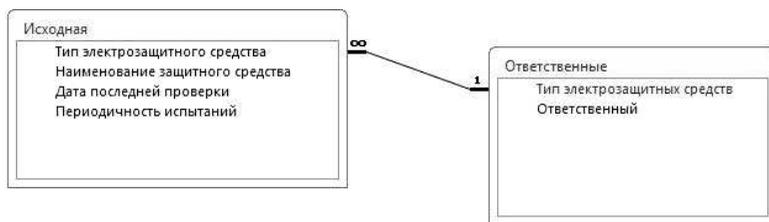


Рис. 1. Схема данных

Запросы – это объект базы данных, который служит для извлечения данных из таблиц и предоставления их пользователю в удобном виде. Особенность запросов состоит в том, что они черпают данные из базовых таблиц и создают на их основе временную таблицу. Применение запросов позволяет избежать дублирования данных в таблицах и обеспечивает максимальную гибкость при поиске и отображении данных в базе данных.

Интерфейс пользователя необходим для наглядного представления данных на экране монитора или на бумажном носителе, а также для их удобного и быстрого ввода.

При выполнении практического задания в Access студенты должны усвоить то, что интерфейс базы данных с пользователем реализуется посредством форм и отчетов. Формы ориентированы на работу с данными

на экране монитора и выполняют как вывод, так и ввод данных. Отчеты предназначены для представления данных на бумажном носителе.

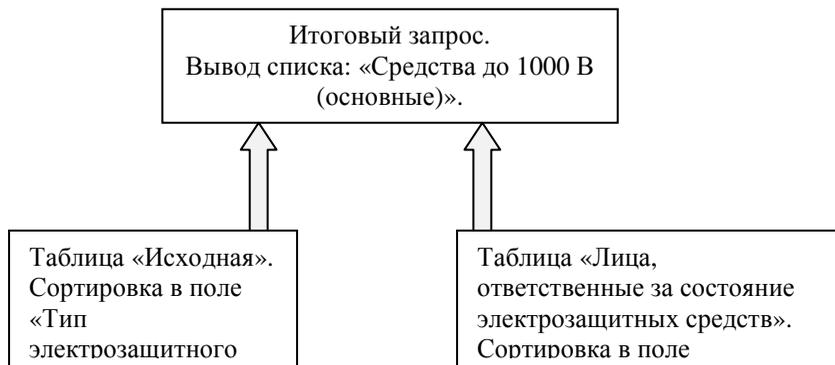


Рис. 2. Запрос на выборку

Основной формой и отчетов являются элементы. Обычно элемент - это визуальный объект, который может быть связан с полем, строкой или столбцом таблиц и запросов.

Библиографический список

1. Сергеев А. Access 2007. Новые возможности. – СПб.: Питер, 2008. – 176 с.: ил.
2. Правила применения испытания средств защиты, используемые в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Сеннов А. Access 2003. Практическая разработка баз данных. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2006. – 256с.: ил.

*Н.В. Баранова, студ.; рук. О.Н. Калачева, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОД ОЦЕНКИ РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Факторы, влияющие на условия коммутации. Условия гашения дуги и скорости восстановления электрической прочности в межконтактном промежутке определяются конструкцией и мощностью дугогасительных устройств (внутренняя характеристика выключателя). Основными факторами, влияющими на процессы деионизации дугового промежутка, являются отключаемый ток, количество выделенного и отведен-

ного от дуги тепла (особенно в зоне прохождения тока через нулевое значение) и свойства дугогасительного устройства, которые зависят от конструкции дугогасительной камеры и процесса гашения дуги, а так же от переходного восстанавливающегося напряжения (ПВН).

Оценка ресурса выключателей. Работоспособность высоковольтного выключателя как коммутационного аппарата в значительной степени определяется использованием его технического ресурса. Для выбора оптимального времени проведения ремонтных работ целесообразно постоянно иметь информацию о степени выработки технического ресурса выключателя, иными словами, контролировать “остаточный ресурс” аппарата.

Основными параметрами выключателя, определяющими его устойчивую работу, являются его контактная система, исправность кинематической схемы, нормальное функционирование дугогасительных устройств, сохранение паспортной диэлектрической прочности в основных узлах и исправность цепей и аппаратуры схемы управления.

В перечне заводских параметров, обеспечивающих нормальную работу выключателя и требующих непрерывного контроля, целесообразно выделить следующие основные: механический ресурс (МР) выключателя, регламентируемый допустимым числом операций включения-отключения (В-О) и устанавливаемый изготовителем (Вк), не ниже требования ГОСТ 687-78 (2000 циклов); коммутационный ресурс (КР), характеризующий суммарным числом циклов В-О при токах короткого замыкания (КЗ) и при нагрузочных токах, которое допускает выключатель без осмотра и ремонта дугогасительных устройств.

Механический ресурс привода выключателя не зависит от величины коммутируемого тока. Поэтому выработанный механический ресурс может быть определен простым подсчетом операций включения или отключения. Относительное значение текущего выработанного механического ресурса можно вычислить по формуле

$$U_{\text{мех.выр.оти}} = \frac{N_{\text{откл}}}{N_{\text{мех.П}}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $N_{\text{откл}}$ – текущее значение количества выполненных выключателем операций включения или отключения, $N_{\text{мех.П}}$ – паспортное значение механического ресурса.

Паспортный коммутационный ресурс (КР) целесообразно оценить произведением значения отключаемого тока на допускаемое заводом число отключений

$$U_{\text{ком}} = I_{\text{откл}} N_{\text{откл}} . \quad (2)$$

Для выключателей отвечающих ГОСТ 687-78, паспортное значение КР не остаётся постоянным, а с увеличением значения отключаемого тока линейно уменьшается. Характер изменения КР конкретного выключателя определяется его паспортными параметрами. Выработанный коммутационный ресурс целесообразно сравнивать с приведенным паспортным значением ресурса, который численно равен произведению номинального тока отключения на допустимое количество отключений при этом токе

$$U_{\text{ком.П}} = I_{\text{откл.ном}} N_{\text{откл.ном}} . \quad (3)$$

Паспортный коммутационный ресурс при номинальном токе равен произведению номинального тока выключателя на допустимое количество отключений на этом токе

$$U_{\text{ком.ном}} = I_{\text{ном}} N_{\text{ном}} . \quad (4)$$

Тогда выработанный коммутационный ресурс полюса (фазы) выключателя может быть определен как полная сумма произведений всех отключенных токов на соответствующие нормирующие коэффициенты, которые также зависят от этих токов

$$U_{\text{ком.выр}} = \sum_{i=0}^{i=N} (I_{\text{откл.}i} \cdot K(I_{\text{откл.}i})) . \quad (5)$$

Учитывая линейный характер зависимости коммутационного ресурса от величины отключаемого тока нормирующие коэффициенты можно вычислить по формуле

$$K(I_{\text{откл.}i}) = \frac{U_{\text{ком.П}}}{U_{\text{ком.ном}} + \frac{U_{\text{ком.П}} - U_{\text{ком.ном}}}{I_{\text{откл.ном}} - I_{\text{ном}}} \cdot (I_{\text{откл.}i} - I_{\text{ном}})} . \quad (6)$$

Используя формулы (5), (6) можно вычислять новое значение выработанного коммутационного ресурса полюса (фазы) выключателя после каждого отключения по выражению

$$U_{\text{ком.выр.}i} = U_{\text{ком.выр.}i-1} + I_{\text{откл.}i} \cdot \frac{U_{\text{ком.П}}}{U_{\text{ком.ном}} + \frac{U_{\text{ком.П}} - U_{\text{ком.ном}}}{I_{\text{откл.ном}} - I_{\text{ном}}} \cdot (I_{\text{откл.}i} - I_{\text{ном}})} , \quad (7)$$

где $U_{ком.выр.i-1}$ – значение выработанного коммутационного ресурса после предыдущего отключения.

Так как коммутируемый ток во всех полюсах (фазах) выключателя разный, необходимо рассчитывать выработанный коммутационного ресурс для каждой из трех фаз отдельно и принимать в качестве выработанного коммутационного ресурса выключателя в целом наибольшее значение из трёх

$$U_{ком.выр} = \max(U_{ком.выр.A}, U_{ком.выр.B}, U_{ком.выр.C}). \quad (8)$$

Относительное значение текущего выработанного коммутационного ресурса можно вычислить по формуле

$$U_{ком.выр.отн} = \frac{U_{ком.выр}}{U_{ком.П}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Количество отключений номинального тока отключения, которые осталось произвести выключателю при текущем значении выработанного коммутационного ресурса, рассчитывается по выражению

$$N = INT \left[\frac{U_{ком.П} - U_{ком.выр}}{I_{откл.ном}} \right]. \quad (10)$$

Алгоритм вычисления текущего выработанного ресурса выключателя. Для вычисления текущего выработанного ресурса выключателя требуется использовать следующие константы и переменные (изменяемые величины).

Константы: $I_{откл.ном}$ – номинальный ток отключения; $N_{откл.ном}$ – допустимое количество отключений номинального тока отключения; $I_{ном}$ – номинальный ток выключателя; $N_{ном}$ – допустимое количество отключений номинального тока; $U_{ком.выр.i-1.A}$ – начальное значение выработанного коммутационного ресурса в фазе А; $U_{ком.выр.i-1.B}$ – начальное значение выработанного коммутационного ресурса в фазе В; $U_{ком.выр.i-1.C}$ – начальное значение выработанного коммутационного ресурса в фазе С; $N_{откл}$ – начальное значение количества выполненных выключателем операций отключения.

Переменные (изменяемые величины): $I_{ком.i.A}$ – действующее значение тока до отключения выключателя в фазе А; $I_{ком.i.B}$ – действующее значение тока до отключения выключателя в фазе В; $I_{ком.i.C}$ – действующее значение тока до отключения выключателя в фазе С.

Выходные величины: $U_{ком.выр.i.A}$ – текущее значение выработанного коммутационного ресурса в фазе А; $U_{ком.выр.i.B}$ – текущее значение выработанного коммутационного ресурса в фазе В; $U_{ком.выр.i.C}$ – текущее значение выработанного коммутационного ресурса в фазе С; $U_{ком.выр.отн}$ – относительное значение текущего выработанного коммутационного ресурса; N – количество отключений номинального тока отключения, которые осталось произвести выключателю при текущем значении выработанного ресурса; $U_{мех.выр.отн}$ – относительное значение текущего выработанного механического ресурса.

После каждого отключения выключателя:

- увеличить на единицу значение количества выполненных выключателем операций отключения;
- получить действующие значения токов в фазах выключателя до коммутации;
- вычислить новые значения выработанного коммутационного ресурса фаз выключателя по формуле (7);
- определить наибольшее значение выработанного ресурса по (8);
- вычислить относительное значение текущего выработанного коммутационного ресурса по (9);
- вычислить количество отключений номинального тока отключения, которые осталось произвести выключателю при текущем значении выработанного коммутационного ресурса по формуле (10);
- вычислить относительное значение текущего выработанного механического ресурса по формуле (1).

Библиографический список

1. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. –М: Энергия, 1973. – 260 с.
2. Фоков К.И., Твердохлебов И.А., Григорьев Н.П. Выбор проектных решений при разработке подстанций 10...500 кВ: Учебное пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001. – 53 с.: ил.
3. ГОСТ 687-78: Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия-М: Госстандарт СССР,1980. – 108 с.

*И.Б. Авлоева, студ.; рук. В.А. Савельев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время в РФ функционирует оптовый и розничный рынки электроэнергии и мощности. В этих условиях незаменимым инстру-

ментом анализа являются АСКУЭ. Опыт применения АСКУЭ, например, на промышленных предприятиях показал, что экономия энергоресурсов после ее внедрения в среднем составляет от 10 – 15 до 25 – 30 % месячного потребления, а срок окупаемости затрат на их создание не превышает 1,5 года.

Автоматизированная информационно-измерительная система (АИИС) – иерархическая система, представляющая собой техническое устройство, функционально объединяющее совокупность измерительно-информационных комплексов точек измерений, информационно-вычислительного комплекса и системы обеспечения единого времени, выполняющее функции проведения измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, информации о состоянии объектов и средств измерений, а также передачи полученной информации в интегрированную автоматизированную систему управления коммерческим учетом на оптовом рынке электроэнергии в автоматизированном режиме.

АСКУЭ – это комплекс технических, программных и организационных решений, позволяющих потребителю вести учет потребления электроэнергии в соответствии с требованиями современных нормативных документов.

В докладе рассматриваются несколько наиболее популярных в России автоматизированных систем коммерческого учета, зарекомендовавших себя среди специалистов по результатам эксплуатации.

Система АСКУЭ «Континиум» предназначена для бытового и мелкомоторного секторов розничного рынка электроэнергии и внесена в Государственный реестр средств измерений.

Ее отличительной особенностью является применение в качестве информационных каналов связи существующих силовых электрических линий напряжением 220/380 В ЖКХ и жилых зданий. Система имеет высокую помехозащищенность при передаче информации по силовой сети, а ее работоспособность не зависит от постоянно меняющихся электромагнитных полей, обусловленных помехами, параметрами нагрузки и т.п. К преимуществам системы можно отнести:

- легкость монтажа: основной обмен информации осуществляется по уже существующей электрической сети, в силу этого не требуется выполнение строительных монтажных работ для прокладки дополнительных информационных каналов. Это упрощает и удешевляет как монтаж, так и последующую эксплуатацию;
- возможен независимый монтаж, запуск и эксплуатация отдельных фрагментов системы (разделенных как территориально, так и по выполняемым функциям).

Она внедрена в Московской области, Санкт-Петербурге, Калининграде, Владимире, Томске, Перми, Мурманске и др.[1]

Система АСКУЭ МЗЭП представляет собой традиционную АСКУЭ бытовых потребителей. Она предусматривает интеграцию счетчиков и технических средств АИИС разных производителей, может вести учет по электроэнергии, теплоте, газу и вод. Ядром системы является УСПД «Энеркон-2005». В централизованном варианте к ней может быть подключена охранная сигнализация квартир. Электронная книжка абонента может применяться в качестве единой книжки платежей за коммунальные услуги. Стоимость автоматизации в пересчете на одного абонента не превышает стоимости двухтарифного счетчика. Затраты времени и средств, при этом минимальные, т. к. линии связи – провода силовой сети – уже существуют [2].

АИИС КУЭ производства ООО «ЭльстерМетроника». Компания ООО «ЭльстерМетроника» является правопреемником фирмы «АББ ВЭИ Метроника». Основным видом ее деятельности остается выпуск новых «Альфа А1800» и «Альфа А1140» – интеллектуальных счетчиков электроэнергии.

Фирма располагает аппаратными средствами и программами для построения систем учета (от 10 – 200 точек учета до 10 000 точек учета и более). Добавляемые в счетчик новые свойства, позволяет решать как задачи коммерческого учета электроэнергии, телемеханики, а также контроля качества электроэнергии.

АИИС КУЭ производства ЗАО ИТФ «Системы и технологии». Группа компаний «Системы и технологии» выпускает широкий спектр оборудования и программного обеспечения. Система рассчитана на создание многоуровневых АИИС КУЭ. Ее системы успешно внедрены и эксплуатируются на нескольких тысячах предприятий России, Белоруссии и Казахстана. Она характеризуется высокой степенью совместимости и открытости, может взаимодействовать с большинством других устройств и систем в области учета энергоресурсов. Основным программным компонентом в ней является ИВК «ИКМ-Пирамида». Система «Пирамида» принята в промышленную эксплуатацию на таких объектах большой энергетики, как ОАО «Татэнсрго», ОАО «Рязаньэнерго», ОАО «Нижповэнерго», ОАО «Конаковская ГРЭС» и т.д.

ООО «ИСКРЭН» производит полный комплекс работ по разработке АИИС КУЭ. Основное оборудование и программное обеспечение, производится фирмой «ISKRAEMECO» (Словения). ООО «ИСКРЭН» предлагает сервисное обслуживание оборудования, оказывает консультационные услуги по работе системы и проводит обучение персонала, обслуживающего АИИС.

Результаты анализа, представленных выше АИИС представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики, присущие данным АСКУЭ (АИИС КУЭ)

Тип рынка Фирма Характеристики	Розничный рынок электроэнергетики		Оптовый рынок электроэнергетики		
	АСКУЭ «Континиум»	АСКУЭ МЗЭП	АИИС КУЭ ООО «Эльстер- Метроника»	АИИС КУЭ ЗАО ИТФ «Системы и технологии»	АИИС КУЭ ООО «ИС- КРЭН»
Помехозащищенность	+	+	+	+	+
Легкость монтажа	+			+	
Массовость внедрения у бытовых / промышленных потребителей	103975/нет	33518/нет	33/очень много	Нет/284	Около 10 (точных данных нет)
Применение PLC-технологий	+	+			
Количество точек учета, поддерживаемых сервером	103975	До 1024	От 10 – 200 до 10000	От 300 – 512	неизвестно
Собственное производство оборудования АИИС КУЭ (счетчики, маршрутизаторы и т.д.)	да	нет	да	да	нет
Открытость системы (возможность работать с другими техническими средствами)	+	+	+	+	
Перспектива многофункционального применения системы		+	+	+	

Учитывая наличие собственного производства технических средств, включая счетчики с PLC-технологией, большой опыт проектирования, монтажа и наладки автоматизированных систем на промышленных предприятиях, в электрических сетях, на тепловых и атомных станциях, на подстанциях ФСК и у бытовых потребителей, а также положительные отзывы заказчиков, авторы рекомендуют для проектирования и внедрения на оптовом и розничном рынке автоматизированные системы коммерческого учета электрической энергии производства ЗАО ИТФ «Системы и технологии» (г. Владимир).

Библиографический список

1. http://www.continium.ru/aais/aais_generalinfo.php.

*Р.Р. Киямов, студ.; рук. В.А. Савельев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОМПЛЕКТНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И МЕРЫ ПО ЕЕ СНИЖЕНИЮ

Общие показатели надежности сетей 6 – 10 кВ в сравнении с аналогичными показателями зарубежных стран не высоки. Так в российских сетях 6 – 10 кВ происходит, в среднем, 26 отключений в год в расчете на 100 км воздушных или кабельных линий, в сетях 0,4 кВ – до 100 отключений. В результате потребители отключаются до 5 – 6 раз в год (в технически развитых зарубежных странах до 1 – 2). Причинами повреждений на ВЛ 6 – 10 кВ являются старение конструкций и материалов при эксплуатации (18 %), климатические воздействия (ветер, гололед и их сочетание) выше расчетных значений (19 %), грозовые перенапряжения (13 %), недостатки эксплуатации (6 %), посторонние воздействия (16 %) и невыясненные причины повреждений (28 %). Кабельные линии всех классов напряжения повреждаются из-за дефектов прокладки (до 20 %), старения силового кабеля (31 %), механических повреждений (30 %), заводских дефектов (10 %) и коррозии (9 %).

На балансе распределительных электрических сетей и других объектов электроэнергетики в России находится: около 17 тыс. подстанций напряжением 35 – 220 кВ и более 500 тыс. подстанций напряжением 6 – 35/0,4 кВ с установленной электрической мощностью трансформаторов около 423 млн. кВА. Из общего числа подстанций 6 – 10/0,4 кВ 13% выполнены в закрытом исполнении. Примерно 15 % (от общего числа) подстанций находятся в неудовлетворительном состоянии.

Значительную долю среди трансформаторных подстанций составляют комплектные трансформаторные подстанции (КТП), которые применяются для электроснабжения объектов промышленного, сельскохозяйственного и коммунального назначения. Основные виды повреждений применяемых сегодня КТП связаны с короткими замыканиями в высоковольтном отсеке, из-за малых расстояний между крайними фазами предохранителей напряжением 6 – 10 кВ и стенками шкафа. Довольно часто возникают течи воды из под проходных изоляторов при повреждении уплотнений вызванных изменением климатических условий. Часто повреждаются контактные соединения в шкафу напряжением 6 – 10 кВ.

Ниже, в качестве иллюстрации, приведены некоторые показатели надежности электрооборудования КТП. Так в табл. 1 приведены данные о механической износостойкости разных типов выключателей, а в табл. 2 среднестатистические отказы кабельных линий при различных способах прокладки.

Таблица 1. Механическая износостойкость силовых выключателей

Выключатели	Уном, кВ	Ином, А	Ютклом,А
Вакуумные	10; 35	630...2500	10; 12,5; 20; 31,5
Маломасляные	10; 110; 220	630...1600; 1250; 2000	20; 31,5; 25; 40
Воздушные	35 – 750	2000; 4000	31,5...63
Элегазовые	10	1000...1600	20
Электромагнитные	6-10	1600; 2500; 3150	40

Таблица 2. Среднестатистические отказы кабельных линий при различных способах прокладки

Способ прокладки	Число отказов, %	
	кабелей	соединительных муфт
В траншеях	81,3	90,3
В туннелях	2,2	2,0
В каналах	4,5	2,6
В блоках	7,9	4,8
На эстакадах	0,4	-
На кабельных конструкциях в цехах	3,7	0,3

Из табл. 1 видно, что наименьшей повреждаемостью обладают вакуумные выключатели, затем идут элегазовые, маломасляные, электромагнитные и воздушные. Из таблицы следует, что максимальное число отказов кабельных линий происходит при прокладке их в траншеях, а минимальное при прокладке кабелей в кабельных конструкциях.

Сегодня для электрооборудования КТП характерны:

- большой объём морально и физически устаревшего электрооборудования;
- отставание от мирового уровня по технологии производства оборудования;
- недостаточная проектная надежность, основанная на устаревшем подходе к определению расчетных климатических нагрузок;
- большие эксплуатационные расходы.

Следует также отметить, что автоматизация сетей 35 – 220 кВ и 6 – 10 кВ находится на относительно низком уровне – около 38 % центров питания оснащены телесигнализацией и менее 16 % имеют телеуправление.

Телемеханизация сетевых объектов – пунктов секционирования и автоматического включения резерва, распределительных пунктов и подстанций 6 – 10 кВ – осуществляется в отдельных РСК. В 1990-е годы из-за недостатка финансирования сократились темпы реконструкции, технического перевооружения и нового строительства сетей РСК. В результате износ сетевых объектов увеличился до 40 % и более. Более 40 % воз-

душных и кабельных линий, 30 % подстанций находятся в эксплуатации дольше срока службы. Процесс старения сетевых объектов продолжается.

Проведенный анализ состояния КТП и питающих их сетей показывает необходимость принятия ряда мер направленных на повышение надежности работы КТП. К ним можно отнести внедрение современного электрооборудования – вакуумных выключателей, ограничителей перенапряжений, столбовых трансформаторных подстанций напряжением 6 – 10/0,4 кВ мощностью 25 – 100 кВА. Шире внедрять средства автоматизации и телемеханики, микропроцессорные защиты, методы и средства диагностирования и др.

*Е.А. Большаков, студ.; рук. В.А. Савельев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ АЭС С РЕАКТОРОМ ТИПА БН- 800

Объектами СКУ ЭЧ являются режимы работы: электротехнического оборудования, АВР секций 6 и 0,4 кВ, РПН, автосинхронизатора генератора АЭС.

Система контроля и управления электрической частью (СКУ ЭЧ) предназначена для контроля и управления электротехническим оборудованием, предоставления персоналу электроцеха информации о текущем режиме, схеме коммутации, нарушениях режимов и неисправностях оборудования. Она осуществляет так же обмен данными с системным оператором и с системами диагностики оборудования.

СКУ ЭЧ имеет иерархическую трехуровневую структуру и включает верхний, средний и нижний уровни. Верхний уровень это панели мозаичного щита с контроллером, автоматизированное рабочее место на центральном щите управления (АРМ ЦЩУ), АРМЫ персонала электроцеха, АРМ релейного персонала и диагностики. Средний уровень включает сетевое оборудование, сервера СКУ ЭЧ, сбора осциллограмм и диагностики, центральные координирующие устройства и шлюз сопряжения. Нижний уровень включает сетевое оборудование и устройства связи с объектом (УСО).

Внутренний обмен данными и командами дистанционного управления осуществляется по цифровым каналам с использованием международных стандартных протоколов связи и внутренних протоколов, поддерживаемых программно – техническими средствами (ПТС) серии SICAM. Сбор результатов регистрации быстротекущих процессов от уст-

роиств микропроцессорной релейной защиты (МППЗ) осуществляется по цифровым каналам передачи данных. Обмен данными и командами дистанционного управления с электрооборудованием осуществляется устройствами МППЗ и УСО по проводным физическим связям. Обмен данными с техническими средствами диагностики электрооборудования и для отображения информации осуществляется по протоколу ТСР/Р.

На иерархических уровнях задачи делятся на системные и локальные. Системными являются задачи, решаемые системой в целом. Локальными являются задачи, выполняемые на определенном иерархическом уровне. Функциональные задачи делятся на основные и вспомогательные. К основным относятся задачи дистанционного управления, контроль за техническим состоянием оборудования и контроль за аналоговыми сигналами; вычисление аналоговых величин, синхронизация, световая и звуковая сигнализация, контроль достоверности, фильтрация аналоговых сигналов и подавление дребезга дискретных сигналов, организация блокировок при дистанционном управлении и человеко-машинный интерфейс. К вспомогательным задачам относятся: контроль состояния ПТС РЗ, поддержание единого астрономического времени, сбор информации об аварийных процессах, защита от несанкционированных действий персонала, контроль доступа и действий оперативного персонала, обмен информацией со смежными системами (СКУ НЭ, СОТИ АССО, системы диагностики), вывод оборудования в ремонт, контроль уставок МППЗ и ступенчатый пуск.

Основные функции СКУ ЭЧ:

– Контроль и управление выключателями 6 и 0,4кВ. Ее целью является: постоянный контроль положения выключателей («включен» / «отключен»); дистанционное управление выключателями. Оно осуществляется при изменении оперативной схемы, при проведении регламентных работ, при аварийных отключениях электрооборудования; управление работой АВР секций и контроль состояния МППЗ при их срабатывании.

Управление выключателями это основной объем управления, обеспечиваемый СКУ ЭЧ энергоблока. Контроль за положением выключателей позволяет оператору (в совокупности с аналоговыми параметрами) судить о текущей оперативной схеме.

– Постоянный контроль за аналоговыми параметрами 4...20 мА. Данная функция обеспечивает контроль в объеме порядка 1 % и позволяет оператору контролировать режим работы оборудования.

– Постоянный контроль электрооборудования энергоблока. Ее цель контролировать техническое состояние электрооборудования энергоблока, используя информацию, получаемую от МППЗ «ЭКРА.

– Задача «Оперативное дистанционное управление электрооборудованием», выполняет: контроль блокировок РЗ, местной блокировки, несквитированной оператором сигнализации и т.п.; контроль текущего режима работы; формирует запрос на выдачу команды при действиях оператора с мнемосхемой, панелью управления; подтверждение запроса оператора на выдачу команды, для всех управляющих воздействий, на выключатели 6 и 0,4 кВ, управляющее воздействие выдается и фиксируется только после необходимого подтверждения; формирование сообщения на выдачу команды с меткой времени запроса; пересылка команды от средств формирования к средствам реализации и средствам фиксации управляющего воздействия;

В докладе рассматривались алгоритмы основных технологических задач СКУ ЭЧ.

*А.А. Кротиков, студ., Н.В. Глотова, м.н.с.;
рук. В.А. Савельев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОСЛЕ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ

Около 70 % электросетевого оборудования, имеющегося в энергосистемах, отработали свой нормативный срок службы. Это касается и силовых масляных трансформаторов с высшим напряжением 6 – 10 кВ мощностью до 630 кВА.

После нормативного срока службы трансформаторов возможно два варианта обеспечения надежного электроснабжения потребителей. Первый – путем замены отработавшего свой срок трансформатора новым. Второй – продолжать эксплуатацию дальше в течение определенного срока.

Общее количество таких трансформаторов, например, в городских электрических сетях весьма значительно (в городах с численностью населения порядка 450 тыс. человек их эксплуатируется свыше 15 тысяч). На замену отслуживших нормативный срок трансформаторов ежегодно потребуются нескольких миллионов рублей, включая закупку трансформаторов, затраты на демонтаж старых и монтаж новых трансформаторов.

Если продлить эксплуатацию отработавших нормативный срок трансформаторов, то удалось бы сэкономить средства и сократить выпуск новых трансформаторов. Но в этом случае увеличится параметр потока их отказов и возрастут затраты на техническое обслуживание и ремонт.

В пользу продолжения эксплуатации отслуживших срок трансформаторов свидетельствует то, что сегодня эксплуатируются трансформаторы, со сроком службы превышающем нормативный в 1,2 – 1,4 раза.

Заключение о возможности дальнейшей эксплуатации трансформаторов, превысивших нормативный срок или об их замене новыми должно приниматься на основе технико-экономических расчетов и результатов комплексной оценки технического состояния каждого трансформатора или по результатам мониторинга влияющих факторов, величин предшествующих нагрузок и перегрузок трансформатора, а так же воздействий сквозных токов короткого замыкания. В последнем случае нужно знать степень износа изоляции трансформаторов от протекания тока нагрузки согласно графика работы потребителей, учесть изменения температуры окружающей среды, степень износа изоляции трансформатора от реальных перегрузок и протекавших сквозных токах короткого замыкания. Это позволит оценить остаточный ресурс изоляции в конце нормативного срока службы.

В докладе приводятся результаты оценки влияния постоянной нагрузки и изменяющейся температуры окружающей среды. Здесь под температурой окружающей среды понимается постоянная эквивалентная температура воздуха за время t , при котором износ изоляции класса А такой же, как и при действительно изменяющейся температуре в течение времени t .

Анализ показал, что при номинальной и постоянной в течение года нагрузке изоляция силового трансформатора изнашивается лишь на 33 % от нормативного износа, при температуре окружающей среды $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при годовой эквивалентной температуре, равной $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительный износ изоляции за год составит 42,5 % т.е. в 1,27 раза больше.

При нагрузках, меньших номинальной мощности трансформатора, относительный износ изоляции резко снижается. Так, например, если в течение года иметь постоянную нагрузку трансформатора превышающую номинальную на 10 %, то вместо 25 лет ресурс изоляции будет израсходован за 18,8 года.

Учет фактической температуры окружающей среды показывает, что ресурс изоляции трансформатора при его номинальной нагрузке в течение года будет использован только за три нормативных срока службы.

При нагрузках трансформатора выше 20 % возрастет интенсивность сработки ресурса изоляции и, следовательно, снижается его срок службы.

Библиографический список

1. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы). – М.: Выс. шк.; – С. 8 – 10.
2. Инструкция по эксплуатации трансформаторов. – М.: Энергия; 1978. – 80 с.

Н.В. Глотова, м.н.с., А.А. Кротиков, студ.;
рук. Савельев, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время в России и за рубежом разрабатывается несколько стратегий технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

Стратегия ремонта – это правило, однозначно устанавливающее выбор периодичности, состава и объема профилактических мероприятий, проводимых в течение всего времени работы оборудования.

Целью создания этих стратегий ТОиР является снижение общего числа затрат на плановые отключения, снижение потерь от аварийных простоев, выполнение ремонтов при ограничении выделенных средств и ресурсов, оптимизация затрат на эксплуатацию, обеспечение качественного ремонта при заданном уровне надежности и др.

Сравнивая планово предупредительный ремонт (ППР) и ремонт по техническому состоянию можно отметить следующее: при применении ППР около половины работ выполняется без необходимости, наблюдается снижение надежности оборудования сразу после ремонта, замена деталей производится с большим остаточным ресурсом

При ТОиР по техническому состоянию известно его индивидуальное техническое состояние, повышается эффективность ремонта за счет послеремонтного диагностирования, достоверно определяются сроки и необходимые работы по профилактике и ремонту оборудования.

Внедрение современных стратегий ремонта невозможно без использования специализированных программных комплексов (ПК) и информационных систем (ИС). Их задача накапливать информацию о состоянии оборудования и реализация планирования процессов на основе новых стратегий ремонта [5]. Одной из распространенных и лоббируемых ИС в России является система SAP Enterprise Resource Planning. SAP ERP – это интегрированная компьютерная система. Она предназначена для автоматизации учета и управления внутренними и внешними ресурсами предприятия, включая материальные ценности, финансовые ресурсы оборудования, материалы, рабочую силу и т.д. ERP выполняет следующие функции: фиксирует историю ТОиР, планирует графики и состав ремонтных работ, учитывает затраты, осуществляет контроль за качеством и сроками выполнения ТОиР. Система позволяет хранить, накапливать результаты ТОиР и оценивать их качество.

Известна также специализированная информационная система паспортизации оборудования и результатов оценки технического состояния оборудования, интегрируемая в ИС класса EAM-Enterprise Asset Management (система управления активами). Она позволяет минимизировать владение активами на стадии “Эксплуатация жизненного цикла” за счет комбинированного применения разных стратегий обслуживания, осуществляет визуализацию объектов и процессов управления и их изменений, а так же может интегрировать системы классов PLM, EAM, ERP и ГИС.

Отмеченные разработки опираются на опыт повышения эффективности обслуживания сложных объектов с учетом технического состояния, на стандарты INPOAP-913 и отраслевые руководства по оптимизации программ ТОиР атомных станций.

Известны также программные средства и методы календарно-сетевого планирования при подготовке и проведению ремонтов оборудования электрических станций с учетом технического состояния. Основы этой методики изложены в отраслевом документе МТ 1.3.1.02.005.0010-2011. Этот программный комплекс использует пользовательский интерфейс Primavera Project Management используя типовые специальные макеты для задач ТОиР.

За рубежом [1] делается акцент на две стратегии. Цель первой обеспечить надежность конкретной единицы оборудования, второй на надежность предприятия в целом (электрическая сеть, энергосистемы промышленные предприятия). Первая стратегия делится на три направления: корректирующая, плановая и по техническому состоянию. В корректирующей капитальный ремонт и замену проводят после отказа оборудования. Капитальный ремонт делается при отказе, а текущий ремонт, замена и диагностирование проводятся по календарному графику. Стратегия ТОиР по техническому состоянию, где под техническим состоянием понимается совокупность подверженных изменению его свойств, характеризующихся в любой момент времени технической документацией и определяющих степень пригодности оборудования для использования по назначению [2].

Стратегия по техническому состоянию использует периодическое диагностирование и результаты мониторинга. Текущий ремонт проводят по результатам оперативного диагностирования. Капитальный ремонт делают при отказе, а замену по результатам ремонтного диагностирования. Для коммутационного оборудования корректирующее направление реализуется при полном отказе от ТОиР. При этом его замену осуществляют по наработке, нормативному сроку службы или по календарному или нормативному сроку службы. Для получения этих

данных используют результаты автоматизированного мониторинга ряда контролируемых параметров.

Зарубежные стратегии ТОиР ориентированные на надежность предприятия делятся на два направления: по надежности и по результатам оценки рисков. В первом направлении текущий и капитальные ремонты, а так же замену реализуют с учетом экономической значимости и технологической ответственности оборудования для предприятия, электрической сети или энергосистемы в целом. Второе направление предполагает, учет результатов оценки рисков используя данные оперативного диагностирования или мониторинга. Текущий ремонт проводят по техническому состоянию, но с учетом оценки значимости ответственности и риска. Капитальный ремонт проводят при отказе, а замену по техническому состоянию с оценкой экономической значимости и технологической ответственности. Анализируя зарубежный опыт следует отметить, что в силу значительного износа оборудования (65 – 70 % по данным [3]) для России такой переход на ТОиР по техническому состоянию пока не приемлем из-за высокой степени риска отказа. Поэтому для оборудования вышедшего за нормативный срок службы, согласно норм проводится техническое освидетельствование оборудования, а затем комиссия решает вопрос о продлении срока его эксплуатации.

Библиографический список

1. **М. Marketz**, J. Polster, M. Muhr. Maintenance Strategies for Distribution Networks /Proc, 14th International Symposium on High Voltage Engineering, Beijing, 2005. – Paper F-55.
2. **Савельев В.А.** Оценка технического состояния и диагностирования объектов энергетики. Термины и определения /В.А. Савельев//Вестник ИГЭУ. – 2003. – Вып. 2. – С. 35 –40.
3. **Стратегии** развития электросетевого комплекса Российской Федерации 2013.

*С.Н. Литвинов, Е.М. Новоселов, аспиранты;
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ

Большая часть неисправностей подшипников напрямую влияет на эксцентриситет ротора, следовательно эксцентриситет может служить показателем, отражающим состояние подшипников. Рассмотрим влияние эксцентриситета ротора на магнитное поле воздушного зазора.

Если ротор асинхронной машины, опираясь на подшипники эксцентрично расположен в статоре, то возникает сила одностороннего магнит-

ного притяжения, которая стремится увеличить эксцентриситет и значительно уменьшить критическую скорость вала (рис. 1).

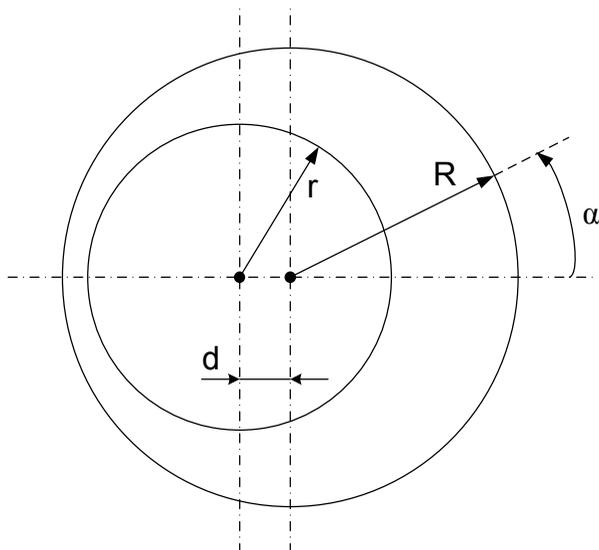


Рис. 1. Эксцентрично расположенный ротор

Если r и R радиусы ротора и статора, то зависимость воздушного зазора δ от угла α при смещении оси ротора на расстояние d от оси статора определяется выражением

$$\delta(\alpha) = R - r - d \cdot \cos(\alpha) = \delta_m \cdot \cos(\alpha),$$

где $\delta_m = R - r$ – номинальный воздушный зазор. При этом $\varepsilon = \frac{d}{\delta_m}$ – относительный эксцентриситет.

Если статор имеет симметричную трехфазную обмотку, то рабочая гармоника линейной токовой нагрузки с p парами полюсов выражается как

$$A_p(\alpha, t) = A_p \cdot \cos(p\alpha - \omega t).$$

Тогда с учетом ослабления дополнительных полей от эксцентриситета для магнитной индукции в воздушном зазоре, созданной рабочей гармоникой МДС с p парами полюсов справедливо следующее выражение [1]:

при $p = 1$

$$B(\alpha, t) = -\mu_0 \cdot \frac{A}{\delta_m} \cdot R \cdot u \left(\left(1 - \left(\frac{\varepsilon \cdot \vartheta}{2u} \right)^2 \right) \cdot \text{Cos}(\alpha - \omega \cdot t) + \right. \\ \left. + \frac{\varepsilon \cdot \vartheta}{2 \cdot u} \cdot D_2 \cdot \text{Cos}(2\alpha - (\omega + \omega_s) \cdot t) - \left(\frac{\varepsilon \cdot \vartheta}{2u} \right)^2 \cdot D_1 \cdot \text{Cos}(\alpha - (2\omega_s - \omega) \cdot t) \right),$$

где A – амплитудное значение рабочей гармоники линейной токовой нагрузки; $u = 1/\sqrt{1-\varepsilon^2}$; $\vartheta = 2 \cdot \frac{1-\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\varepsilon^2 \cdot \sqrt{1-\varepsilon^2}}$; $\omega_s = (1-s) \cdot \frac{\omega}{p}$; D_1, D_2 – коэффициенты демпфирования;

при $p > 1$

$$B(\alpha, t) = -\mu_0 \cdot \frac{A}{\delta_m} \cdot R \cdot u \left(\frac{\varepsilon \cdot \vartheta}{2 \cdot u} \cdot D_{p+1} \cdot \text{Cos}((p+1) \cdot \alpha - (\omega + \omega_s) \cdot t) + \right. \\ \left. \text{Cos}(p \cdot \alpha - \omega \cdot t) + \frac{\varepsilon \cdot \vartheta}{2u} \cdot D_{p-1} \cdot \text{Cos}((p-1) \cdot \alpha - (\omega - \omega_s) \cdot t) \right).$$

Произведем теоретический анализ изменения магнитной индукции в зависимости от величины эксцентриситета ротора. На рис. 2 показаны изменения спектра магнитной индукции в зависимости от величины относительного эксцентриситета ротора e для двигателя с числом пар полюсов $p = 4$.

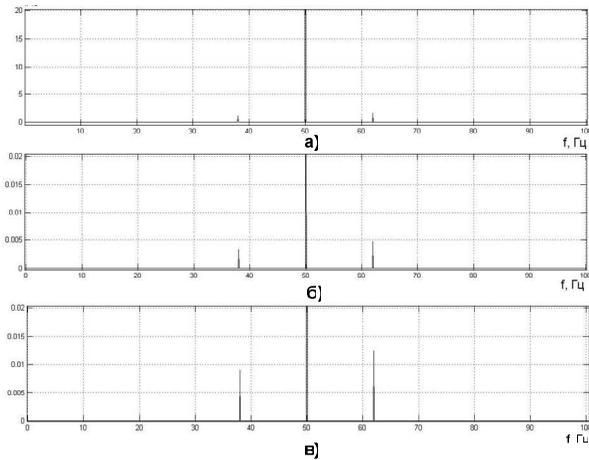


Рис. 2. Спектр магнитной индукции при $p = 4$: а – $e = 0.1$; б – $e = 0.3$; в – $e = 0.6$

Проанализируем полученные результаты. Влияние эксцентриситета ротора приводит к появлению новых гармонических составляющих магнитной индукции – гармоник эксцентриситета ротора (ГЭР) с частотами определяемыми следующим выражением

$$f_{\text{Э}}^{(\nu\pm)} = f_c \cdot \left(1 \pm \nu \cdot \frac{(1-s)}{p} \right) = f_c \pm \nu \cdot f_p,$$

где f_p – частота вращения ротора.

Математическое моделирование показало, что увеличение величины эксцентриситета ротора приводит к пропорциональному росту амплитуд ГЭР (рис. 2), так же возрастает разность амплитуд правого и левого лепестков ГЭР. Из вышесказанного следует, что возможна реализация метода контроля эксцентриситета ротора и, соответственно, подшипников, в котором диагностическим признаком неисправности будет либо увеличение амплитуд ГЭР, либо увеличение разности амплитуд ГЭР.

Библиографический список

1. Геллер, Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Б. Геллер, В. Гамата. – М.: Энергия, 1981. – 352 с

*Д.Ю. Луговой (ТГК-2, г. Архангельск),
Д.А. Коробицын
(ТГК-2; ЦРМ САФУ им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск),
А.Ю. Лагунов, В.Д. Терёхин
(ЦРМ САФУ им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

В настоящее время в Российской Федерации приоритетным направлением является энергопользование и энергосбережение. Арктика имеет исключительно важное военно-стратегическое значение для России. Длительное время традиционными для Арктической зоны источниками электроэнергии являлись бензиновые и дизельные электрогенераторы. Для их работы необходим регулярный завоз топлива и обслуживание. Кроме того, в резуль-

тате этой деятельности оказывается значительное негативное влияние на экологию островов Северного Ледовитого Океана: загрязнение выхлопными газами, разливом топлива на поверхность почвы, уничтожение растительного покрова при перевозке топлива, накопление тары (бочек). Одно из возможных решений данной ситуации – использование альтернативных источников электроэнергии (солнечные батареи, ветрогенераторы, аккумуляторы).

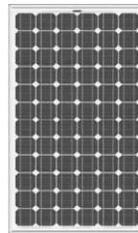


Географическое положение. Экспериментальная установка по изучению возможности источников альтернативной энергии установлена на северном острове архипелага Новая Земля – Мыс Желания в национальном парке «Русская Арктика».

7 ветровой район (давление ветра 0,85/85 кПа/кгс/м² при высоком уровне пульсаций), 3 район по весу снегового покрова ($S_g = 1,8/180$ кПа/кгс/м²), 3 район по толщине стенки гололеда (20 мм), арктический и субарктический климатические пояса.



Оборудование. В качестве оборудования альтернативной энергетики были выбраны ветрогенератор, солнечные батареи, аккумуляторы и инвертор. В качестве ветрогенератора выбран пал на американскую систему Whisper 200 с выходным напряжением с контроллера за-



ряда в 24 вольта и мощностью до 1000 Вт. В то же время солнечные батареи выбраны отечественного производства, а именно ФСМ-300.



Данные солнечные батареи изготовлены из монокристаллических солнечных элементов, защищенных прочным стеклом. Каждая из таких батарей выдает напряжение до 36,7 В, мощность до 300 Вт, суммарная же мощность четырех установленных батарей составляет до 1200 Вт.



Для преобразования выходного напряжения солнечных батарей в напряжение 24 В и зарядки аккумуляторов установлен контроллер за-

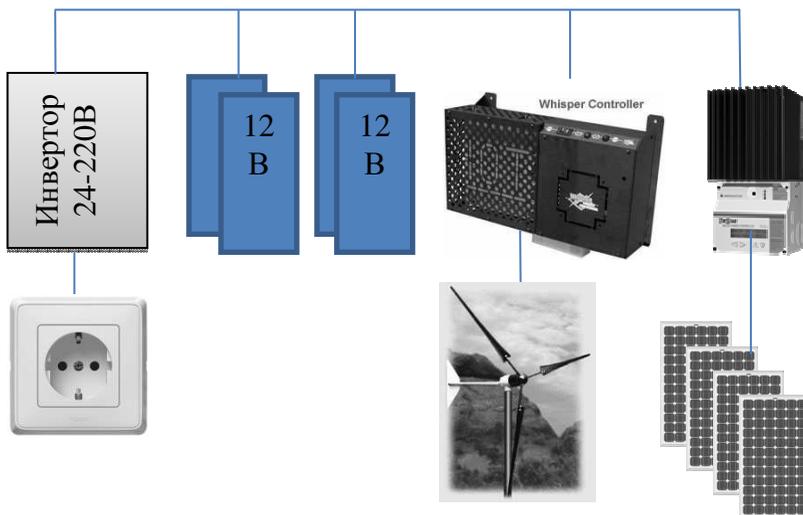
ряда Morningstar TS-MPPT-60 с цифровым дисплеем Morningstar TS-M-2, выдерживающий зарядный ток до 60 А.

В случае, если данные системы не могут выдать необходимую нагрузку потребителю в связи с отсутствием ветра и солнца, то система питается от четырех герметизированных, необслуживаемых аккумуляторных батарей GEL CHALLENGER G 12-200H на 12В 200 Ач.

Последующее преобразование с 24В постоянного напряжения в 220В переменного для питания внешней цепей осуществляется инвертором MUST EP 2024, способным держать нагрузку до 2000Вт. В сумме данная система дает возможность непрерывно и бесперебойно запитывать нагрузку независимо от погодных условий.



Общая схема.



Апробация. После установки оборудования и подключения всех ее элементов между собой было проведено тестирование установки: при отключенном бензиновом генераторе мощностью 2 кВт, который использовался в качестве единственного источника электроэнергии для жилого дома, от установки одновременно работали 5 энергосберегающих ламп, холодильник, спутниковый модем, зарядное устройство для рации. При этом остаточной мощности хватило на то, чтобы вскипятить электрочайник мощностью 1,5 кВт. Необходимо также отметить, что все ос-

тавшееся время нахождения участников экспедиции на Мысе Желания система работала исправно и обеспечивала круглосуточно электроэнергией весь жилой дом без использования бензинового генератора. Таким образом, данная установка была апробирована в реальных условиях и доказала свою работоспособность.

СЕКЦИЯ 19

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Председатель – к.т.н., доцент **Воробьев В.Ф.**
Секретари – к.т.н., доцент **Вихарев А.В.**, аспирант **Шадриков Т.Е.**

Д.Е. Лебедев, асп.;
рук. В.Е. Качесов, д.т.н., доцент
(НГТУ, г. Новосибирск)

АЭРОДИАГНОСТИКА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проблема своевременного обнаружения дефектов ВЛЭП с последующим устранением для того, чтобы предотвратить незапланированное отключение линии, всегда была актуальной. А по причине большого износа электротехнического фонда такая работа «на предупреждение» имеет как прикладной интерес с точки зрения упрощения эксплуатации ВЛЭП, так и большой экономический эффект, обусловленный уменьшением расходов на замену оборудования, расходов на компенсацию потерь электроэнергии, а также уменьшением затрат на заработную плату обслуживающему и ремонтному персоналу.

Основными факторами, приводящими к нарушению работоспособного состояния воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) и их повреждению, являются:

1. несоответствие проектных решений фактическим климатическим условиям;
2. неудовлетворительное техническое состояние элементов ВЛЭП;
3. неудовлетворительное состояние трасс ВЛЭП и прилегающих к ним лесных массивов [1].

В настоящее время существует несколько способов контроля ВЛЭП, призванных поддерживать работоспособное состояние линии, например:

1. пешие обходы линий;
2. объезды линий на авто- и мототранспорте;
3. облеты линий на вертолете;

4. диагностика линий с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В нашей стране последний способ также получает развитие. Стоит отметить, что управление аппаратами осуществляется с помощью глобальных навигационных систем: GPS и ГЛОНАСС. Целью данного проекта является разработка нового способа, особенность которого состоит в том, что управление БПЛА происходит при помощи самой линии.

На БПЛА устанавливают измерительную аппаратуру: электромагнитный датчик высокочастотного излучения и АЦП. В ручном режиме располагают БПЛА под или над проводами ВЛ, выполненной на опорах portalного типа, и по радиоканалу включают устройство автоматического пилотирования, задавая расстояние до провода (высоту полета) величиной E_0 . На концах крыльев устанавливают датчики измерения электрического поля. Измеренное на концах крыльев и усредненное по двум датчикам значение напряженности электрического поля $E_{ср}$, вводят в систему автоматического пилотирования летательным аппаратом, после чего сравнивают с величиной E_0 . Более детально способ пилотирования описан в [2].

Уже сейчас можно сформулировать задачу, которая возникает при анализе изменения электрического поля вдоль линии (см. рис. 1).

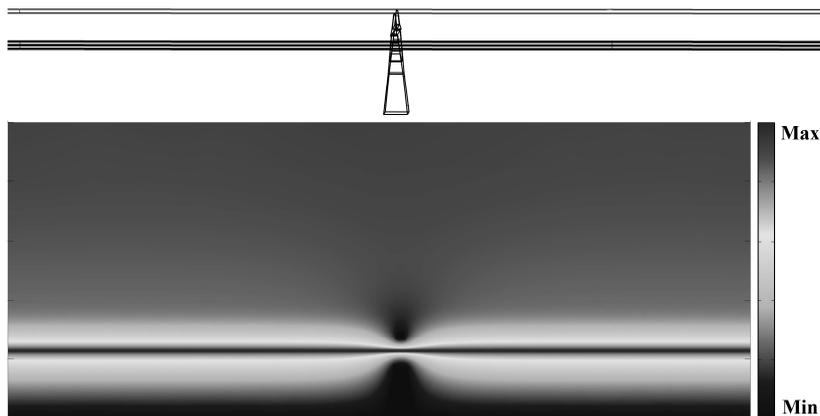


Рис. 1. Изменение электрического поля вдоль линии. Сечение проведено по центру опоры. Шкала отображает изменение значений потенциала

Из картины поля видно, что при приближении БПЛА к опоре (при учете того, что он движется на некотором удалении от линии) электрическое поле на его траектории значительно изменяется. Причем градиент этого изменения достаточно высок по отношению к изменению поля

вдоль остального пролета. Поэтому необходимым условием при создании комплекса БПЛА является выбор таких датчиков измерения электрического поля, которые возможно отстроить от данных высокоскоростных изменений поля без ущерба для пилотирования либо программирование бортового компьютера БПЛА таким образом, чтобы он мог вносить необходимые изменения в прокладываемый курс при пролете над опорой. Аналогичные действия могут потребоваться при пролете БПЛА под линией для учета высокой поросли, а также при пилотировании БПЛА при помощи магнитного поля.

Как известно, линия электропередачи создает электромагнитное поле. Выше была освещена электрическая часть, но управлять аппаратом можно и с помощью магнитного поля.

Управление БПЛА с помощью магнитного поля аналогично управлению при помощи электрического поля. Процесс детально описан в [3]. Отметим лишь основную сложность при работе с магнитным полем – в отличие от напряжения, величина которого регламентируется ГОСТ 13109-97, и отклонение более 10 % не допускается, ток в линии может изменяться в очень широких диапазонах, что влечет изменение пространственного положения БПЛА. Однако корректировать значение можно с помощью передачи на борт аппарата информации о текущем токе в линии.

Для передачи информации о токе, протекающем по ВЛ, может применяться высокочастотный (ВЧ) тракт линии, используемый для целей релейной защиты, автоматики и связи. Несущая частота ВЧ канала связи находится, как правило, в диапазоне 50...500 кГц. В связи тем, что волновая длина на этих частотах много меньше волновой длины на промышленной частоте, в некоторых точках ВЛ ток несущей частоты становится минимальным, и при низкой чувствительности по «токовому» ВЧ каналу БЛА становится неуправляемым. Одним из вариантов решения данной задачи может стать использование последнего измеренного значения тока линии при отсутствии информации о его текущей величине.

Предполагаемая структурная схема аппаратуры для управления БПЛА и регистрации дефектов представлена на рис. 2. Управление происходит с помощью системы автоматического пилотирования (АП), упрощенно показанной на рисунке. Диагностика основана на регистрации электромагнитного излучения разрядных процессов (ЭМИР), таких как коронный и поверхностный частичный разряды, создающих электромагнитный фон вблизи ВЛ с частотами 5...50 МГц. Сигнал ЭМИР принимается специальной антенной, после чего усиливается (К – рисунок), детектируется и передается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП – рисунок). К выходу АЦП подключается бортовой компьютер (БК), куда за-

писывается полученная информация, а также видеоинформация и текущие координаты.

Обработка измерительной информации выполняется с помощью специального программного обеспечения, формирующего базы данных, удобные для анализа и принятия решений.

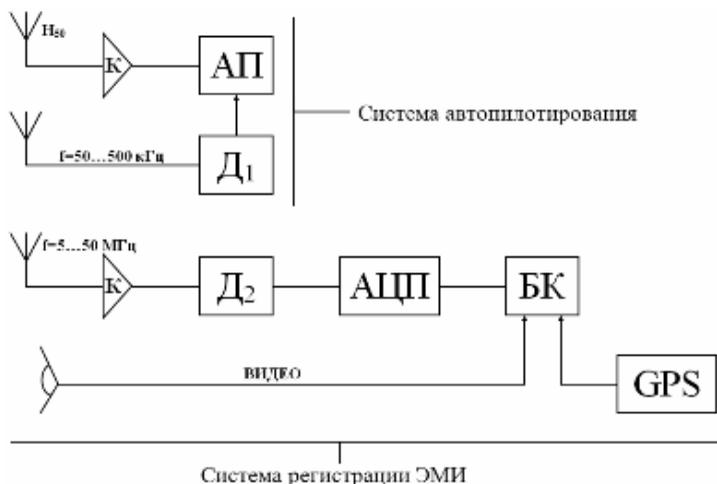


Рис. 2. Структурная схема управления и измерения

В соответствие с [4], наиболее важный параметр исследуемых импульсов – частота. Она находится в широких пределах от 0,15 – 1000 МГц. Именно в зависимости от значения частоты необходимо отталкиваться при выборе оборудования, с помощью которого будет проводиться исследование. В общем случае, частота или длительность импульсов будут зависеть от геометрических характеристик ВЛЭП. Исходя из этого, для более точной настройки оборудования, рекомендуется выполнять модели линий для разных изоляторов и разных типов опор.

Библиографический список

1. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. – 136 с.
2. Патент РФ № 2421746 (от 20.06.2011), МПК G01R31/08. Способ диагностики высоковольтной линии электропередачи / В.Е. Качесов, Д.Е. Лебедев // БИ. – № 17. – 2011.
3. Патент РФ № 2483314 (от 18.11.2011), МПК G01R31/08. Способ аэродиagnостики высоковольтной линии электропередачи / В.Е. Качесов, Д.Е. Лебедев // БИ. – № 15. – 2013.
4. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2001. – С. 42 – 44.5.

*И.В. Бубнов, А.Е. Саблин, студенты;
рук. О.С. Мельникова, ассистент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ 110 КВ

В электроэнергетике находится большое количество силового маслonaполненного оборудования, в котором основной электроизоляционной средой является трансформаторное масло.

С целью определения качества трансформаторного масла в маслonaполненном оборудовании в эксплуатации производится определение пробивного напряжения масла с помощью специально оборудованных аппаратов и измерительной ячейки в соответствии с требованиями стандартов.

В качестве характеристик электрической прочности масла принимаются значения его пробивных напряжений в стандартном маслoпробойнике.

Расчет статистических характеристик электрической прочности образцов трансформаторного масла и сопоставительный анализ полученных результатов выполнены по традиционным методикам ГОСТ 6581-75 (Россия) и ASTM D1816-67 (1971).

Традиционные методики предусматривают определение статистических характеристик электрической прочности трансформаторного масла по 6 измерениям. По американскому стандарту ASTM D1816-67 (1971) в качестве оценки результатов испытаний масла применяется критерий статистического постоянства, т.е. выполнение условия:

$$3(U_{\text{пр,макс}} - U_{\text{пр,мин}}) < U_{\text{пр,мин}} \quad (1)$$

Российский стандарт предусматривает определение среднего арифметического значения пробивного напряжения

$$\langle U_{\text{пр}} \rangle = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{\text{пр},i} ; \quad (2)$$

среднюю квадратическую ошибку среднего арифметического значения пробивного напряжения:

$$\sigma_{\langle U_{\text{пр}} \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{\text{пр},i} - \langle U_{\text{пр}} \rangle)^2}{n \cdot (n-1)}} ; \quad (3)$$

Оценкой достоверности результатов испытаний отвечает нормированное значение коэффициента вариации, при значении более 20 % которого, качество масла считается неудовлетворительным:

$$V_{<U_{\text{пр}}>} = \frac{\sigma_{<U_{\text{пр}}>}}{\langle U_{\text{пр}} \rangle} \cdot 100\% ; \quad (4)$$

С целью проведения сопоставления критериев оценки результатов испытаний масла рассматриваемых методик важно привести их к одному базисному параметру. В данном случае целесообразно привести к параметру $V_{<U_{\text{пр}}>}$. В результате выполненного анализа по американскому стандарту ASTM D1816-67 (1971) предельное значение коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$ было установлено в 6 %.

Для расчетов были использованы данные эксплуатационных испытаний в стандартном малопробойнике для маслонаполненного оборудования трансформаторов напряжения ЗНОМ-110 и масляного выключателя МКП-110-3.5М, установленных на подстанциях Ленэнерго. Массив экспериментальных результатов составил 40 образцов масла.

На основе экспериментальных данных были определены: максимальное и минимальное значения пробивных напряжений; средние значения пробивных напряжений; средние квадратические отклонения пробивных напряжений; коэффициенты вариации.

На основе полученных данных определены функции распределения коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$, представленные в табл.1.

На рис. 1 представлена гистограмма распределения коэффициентов вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$.

Из табл. 1 и рис. 1 следует, что в эксплуатации наиболее вероятные значения коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$ (вероятность наблюдения 25 %) находятся в диапазоне (2,68 – 3,78) %. Наибольшие значения $V_{<U_{\text{пр}}>}$ наблюдаются в диапазоне (11,5 – 12,6) % с вероятностью 10 %.

Здесь следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 6581-75 предельное значение коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$ установлено в 20 %, то есть допускаются ещё большие границы снижения качества масла в условиях эксплуатации.

Вместе с тем по американскому стандарту ASTM D1816-67 (1971) предельное значение коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$ установлено в 6 %.

По полученным данным исследовано изменение отношения $U_{\text{пр,max}}/U_{\text{пр,min}}$ в зависимости от качества масла. Это отношение по американскому стандарту ASTM D1816-67 (1971) применяется для оценки статистических характеристик трансформаторного масла в эксплуатации, для этого условие (1) преобразуется к виду:

$$\frac{U_{\text{пр, макс}}}{U_{\text{пр, мин}}} < \frac{4}{3}. \quad (5)$$

Таблица 1. Распределение коэффициентов вариации среднего арифметического значения пробивного напряжения при числе образцов масла N = 40

№ интервала	Границы интервалов отклонений $V_{<U_{\text{пр}}>}$, %	Частота в интервале m	Частость $f(V_{<U_{\text{пр}}>}) = m/N$ $f(V_{U_{\text{пр}}>}) = m/N$	Вероятность, функция распределения $F(V_{<U_{\text{пр}}>})$
1	1,58 – 2,6795	2	0,05	0,05
2	2,6795 – 3,779	10	0,25	0,3
3	3,779 – 4,8785	7	0,175	0,475
4	4,8785 – 5,978	6	0,15	0,625
5	5,978 – 7,0775	3	0,075	0,7
6	7,0775 – 8,177	3	0,075	0,775
7	8,177 – 9,2765	2	0,05	0,825
8	9,2765 – 10,376	3	0,075	0,9
9	10,376 – 11,4755	0	0	0,9
10	11,4755 – 12,575	4	0,1	1

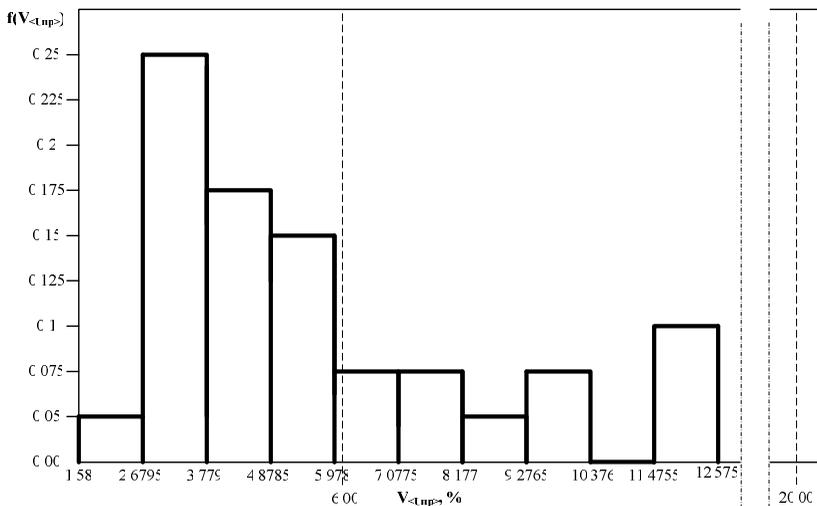


Рис. 1. Гистограмма распределения коэффициентов вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$

По результатам выполненного анализа на рис. 2 представлена корреляционная связь отношения $U_{\text{пр, макс}}/U_{\text{пр, мин}}$ и коэффициента вариации $V_{<U_{\text{пр}}>}$, которое применяется в соответствии с ГОСТ 6581-75 (Россия).

Из рис. 2 видно, что наблюдается явно выраженная положительная корреляция между величинами $U_{\text{пр,max}}/U_{\text{пр,min}}$ и $V_{<U_{\text{пр}}>}$. При этом расчётный тренд имеет вид:

$$U_{\text{пр,max}}/U_{\text{пр,min}} = \exp(0,078 \cdot (V_{<U_{\text{пр}}>})^{1,887}). \quad (6)$$

Коэффициент корреляции составил 91,7 %.

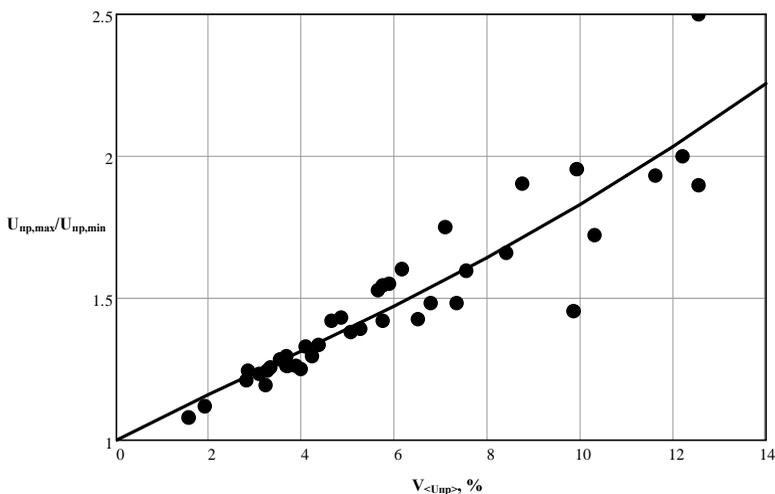


Рис. 2. Корреляционная связь параметров $U_{\text{пр,max}}/U_{\text{пр,min}}$ и $V_{<U_{\text{пр}}>}$

Приведенный расчет статистических характеристик электрической прочности трансформаторного масла показал, что имеет место общий порядок проведения испытаний в рассматриваемых методиках, но так же выявил различия в оценке критериев статистической устойчивости контролируемых параметров.

*С.О. Мухин, магистр.; рук. О.А. Баженов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИКЕ НЕЛИНЕЙНОГО РЕЗИСТОРА ОПН

Ограничители перенапряжений (ОПН) получили достаточно широкое распространение и уже более 20-ти лет эксплуатируются в энергосистемах.

ОПН представляет собой колонку последовательно включенных нелинейных сопротивлений – варисторов. Колонка варисторов размещается в герметичном корпусе, предотвращающем воздействие неблагоприятных атмосферных факторов на варисторы.

Материал варисторов на 90 – 95 % состоит из окиси цинка и добавок малых количеств оксидов и диоксидов металлов (висмута, кобальта, марганца, хрома и др.) высокой химической чистоты и производится по технологии, близкой к керамической (высокотемпературный обжиг в атмосфере кислорода). Это приводит к получению материала с высокой нелинейностью ВАХ.

Структурно материал варистора состоит из зерна окиси цинка с диаметром 5 – 20 мкм с сопротивлением 0,1 – 1,0 Ом·см и межзернистой фазы с размерами 0,01 – 0,1 мкм с сопротивлением в 10^{13} – 10^{15} больше, чем окись цинка. Межзернистая фаза, обволакивающая зерно окиси цинка, структурно состоит из кристаллической пирохлорной фазы и химически связанной аморфной прослойки.

Способ выделения активной составляющей тока ОПН для диагностики его состояния. Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано для диагностики под рабочим напряжением состояния нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), применяемых для защиты электрооборудования сетей и подстанций от грозовых и внутренних перенапряжений.

Нелинейность варисторов неодинакова в разных областях вольтамперной характеристики. В области малых токов при воздействии рабочего напряжения нелинейность мала и ОПН обладает большим сопротивлением.

Уменьшение значения сопротивления нелинейного резистора в области рабочих напряжений приводит к возрастанию полного тока проводимости, постоянно протекающего через ОПН.

Для повышения достоверности диагностики ОПН необходимо выделить активную составляющую полного тока за счет компенсации ёмкостной составляющей полного тока проводимости.

Известна система диагностики состояния ОПН под рабочим напряжением на основе анализа тока через ОПН по третьей гармонике полного тока проводимости. По величине третьей гармоники полного тока проводимости, пропорциональной значению активной составляющей тока через ОПН, рассчитывают значение активного тока и его изменение в процессе эксплуатации ОПН.

Настоящее изобретение направлено на достижение технического результата, заключающегося в повышении точности и достоверности диагностики состояния ОПН под рабочим напряжением за счёт прямого ис-

пользования в качестве диагностического параметра активной составляющей полного тока проводимости, вызывающей в ОПН выделение активной мощности, повышение температуры нелинейного резистора и его деградацию.

Исследование проводилось на компьютерной модели в программном комплексе MATLAB в среде «Simulink». Электрическая схема исследования приведена на рис. 1.

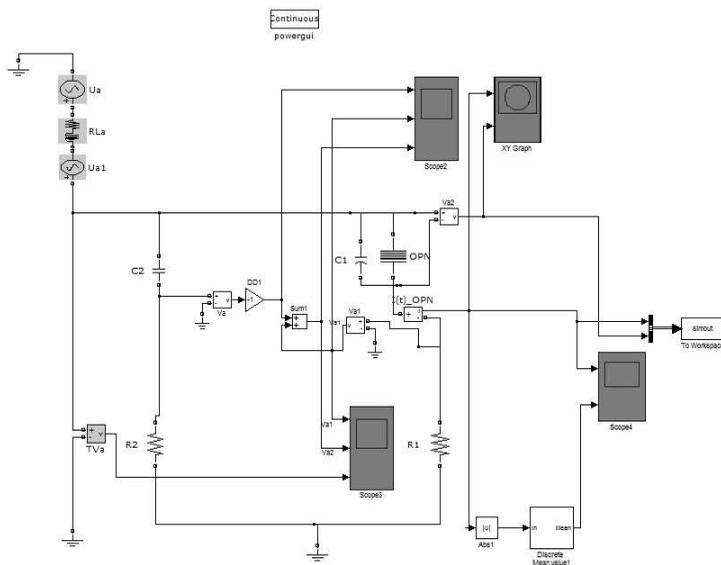
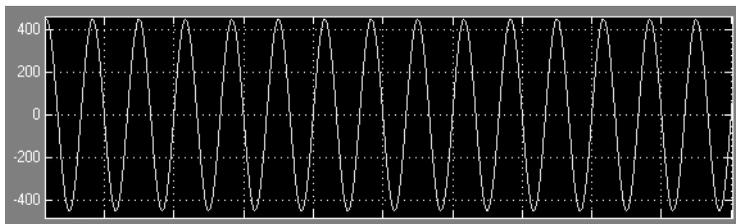


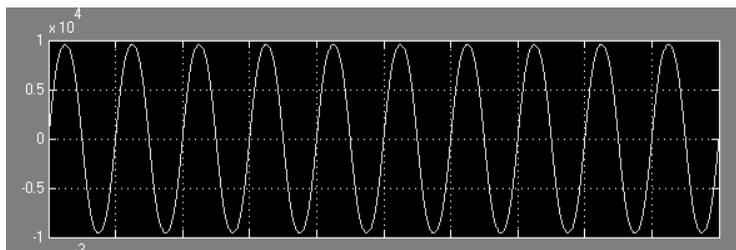
Рис. 1. Реализация метода диагностики ОПН в среде MATLAB/Simulink

Нелинейный ограничитель перенапряжений моделировался параллельной схемой замещения, содержащей ёмкость и нелинейный активный резистор. Измерение ёмкостного и активного токов производится с помощью соответствующих измерительных комплексов.

Напряжение сети задаётся с помощью двух генераторов переменного напряжения. Один из них формирует напряжение 10 кВ частотой 50 Гц. Для создания в напряжении сети 3-й гармоники подключается второй генератор с напряжением частотой 150 Гц. Допустимое напряжение 3-й гармоники для сети с номинальным напряжением 10 кВ составляет 0,3 кВ, предельно допустимое – 0,45 кВ. При компьютерном исследовании влияния искажения сетевого напряжения на результат диагностики ОПН напряжение 2-го генератора изменялось от 0 до 450 В (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Осциллограммы сетевого напряжения: а) третья гармоника сетевого напряжения (2-й генератор); б) сетевое напряжение при предельном коэффициенте искажения

При проведении частотного анализа несимметрия сетевого напряжения моделировалась путём изменения напряжения частотой 150 Гц с помощью второго генератора. При этом измерялись коэффициенты несинусоидальности сетевого напряжения и напряжения после ОПН.

Результаты частного анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты частного анализа

	ВАЗ 1	Параметры	Генератор 2		
1	Напряжение	В	0	300	450
2	Частота	Гц	0	150	150
3	гармоника	№	3	3	3
4	Коэффициент нелинейности сети, THD_c	%	0,05	2,99	4,5
5	Коэффициент нелинейности после ОПН, $THD_{опн}$	%	1,49	9,08	13,55
6	Коэффициент нелинейности после сумматора, $THD_{сум}$	%	68,38	60,66	56,5

Проведённые исследования показывают, что несинусоидальность сетевого напряжения оказывает влияние на результаты диагностики ОПН

при рабочем напряжении. Так, при искажении синусоидальности сетевого напряжения в допустимых ГОСТ пределах коэффициент несимметрии по 3-й гармонической составляющей напряжения после ОПН возрастает в 5 раз, что может привести к формированию неверной команды о состоянии ОПН.

Библиографический список

1. Черных И.В. "Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink". – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288с.: ил.
2. Черных И.В. «Simulink: среда создания инженерных приложений». – М.: Диалог-МИФИ; 2003. – 496с.: ил.
3. Код доступа: <http://polymer-apparat.ru/articles/techinfo/diagnostikaopn/>.
4. ГОСТ 13109 – 97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

А.В. Наумов, студ.;
рук. Г.А. Филиппов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г.Иваново)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ РАСЧЁТНЫМ МЕТОДОМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В настоящее время в условиях высокого износа производственных фондов и ограниченного объёма финансирования основными задачами компаний различных отраслей экономики, в том числе электроэнергетических, является повышение эффективности и надёжности функционирования. Поэтому наиболее привлекательной областью управления для компании становится управление производственными активами. В связи с этим, большинство энергетических компаний переходит к системе технического обслуживания оборудования основанной на показателях надёжности (система RCM) [2]. Исходя из данной системы, для такого технически-сложного оборудования, как высоковольтный силовой трансформатор, целесообразно применять техническое обслуживание по состоянию, в связи с чем на предприятиях создаются единые базы данных о состоянии силового оборудования по изменению которых можно было бы планировать вывод оборудования в ремонт. О техническом состоянии силовых трансформаторов в первую очередь говорит состояние изоляционной системы. Поэтому в базу данных преимущественно необходимо вносить результаты измерений и испытаний, проводимых на изоляции трансформатора. Одним из таких параметров является влажность

целлюлозной изоляции трансформатора. Потеря изоляцией своих электроизоляционных свойств связана с ее химико-физическим старением, накоплением твердых примесей, влаги и образованием различных газовых включений. На электрическую прочность изоляционной системы ощутимое влияние оказывают концентрация в ней влаги и газов. Вода, попавшая в изоляционную систему, не только уменьшает ее электрическую прочность, но и увеличивает скорость старения изоляции.

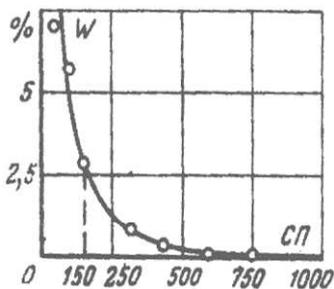


Рис. 1. Образование воды при термическом разложении бумаги

Все источники увлажнения изоляции трансформаторов могут быть разделены на 3 группы: а) вода, остающаяся после заводского процесса сушки; б) вода, образующаяся в результате старения бумаги и масла; в) вода, проникающая в трансформатор в результате поглощения ее из сырого воздуха и вода попавшая в трансформатор в виду нарушения герметичности уплотнения. Наибольший вред наносится электрооборудованию через увлажнение целлюлозной изоляции. К примеру, если учесть, что допустимое влагосодержание трансформаторного масла в эксплуатации может достигать 25 г/т, а влагосодержание твёрдой изоляции 4 % от ее общей массы, то в мощном силовом трансформаторе 600 МВА, содержащем 35 т масла и 12 т бумаги, содержание воды в масле и бумаге будет 350 г и 480 кг соответственно. Т.е. основная, подавляющая масса воды располагается в бумажной изоляции, влияя на ее электрические характеристики, химическую стойкость и механическую прочность. Поэтому оценка влагосодержания твёрдой изоляции имеет большое значение для описания состояния электрооборудования, важно иметь информацию о содержании влаги не только между ремонтами, но и в процессе эксплуатации. Вода в целлюлозной изоляции может содержаться в следующих видах: связанная, в виде пара, свободная в виде пропитывающей жидкости. Наибольшую опасность представляет вода в свободной форме, по мере старения изоляции ее количество увеличивается. Новая целлюлозная изоляция имеет степень полимеризации 1200 – 1300 единиц, при ее старении и увлажнении, степень полимеризации уменьшается, при этом выделяется некоторое количество связанной воды, которая переходит в свободное состояние (см. рис. 1). Минимально-допустимая степень полимеризации целлюлозной изоляции равняется 250 единиц.

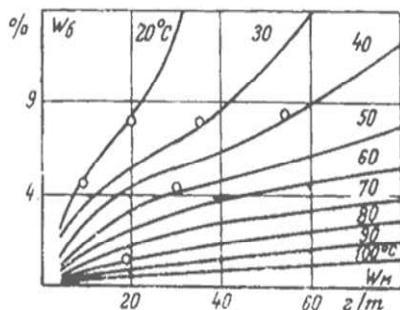


Рис. 2. Равновесное влагосодержание в бумаге W_b и в масле W_m при различной температуре

Режим работы трансформатора изменяется с течением времени (за сутки, за год), при этом между бумагой и маслом происходит непрерывный влагообмен, при относительно невысокой температуре бумага способна впитывать в себя влагу из масла благодаря своей пористости и наоборот при повышении температуры вода из бумаги начинает переходить в масло. В стабильном режиме работы можно определить равновесное содержание воды в бумаге и в масле по кривым Фабра (см. рис. 2). На данный момент существует несколько способов оценки увлажненности целлюлозной изоляции в трансформаторах. При капитальном ремонте оборудования, оценить влагосодержание твёрдой изоляции можно по заложенным в бак трансформатора образцам целлюлозы. В процессе работы его можно найти по кривым Фабра, однако это возможно только при стабильном температурном режиме, что труднодостижимо во время эксплуатации. Согласно РД «Объем и нормы испытаний электрооборудования», влажность твёрдой изоляции силовых трансформаторов в процессе эксплуатации допускается определять расчётным путём.

Существует упрощенный метод определения влагосодержания твёрдой изоляции трансформаторов расчётным методом на основе результатов измерения диэлектрических характеристик. Преимуществом метода является то, что из оборудования необходимы лишь мост Шеринга и электродная система позволяющая измерить тангенс угла диэлектрических потерь масла. Метод разработан департаментом технического аудита и генеральной инспекции Корпоративного центра ОАО РАО «ЕЭС России». Исходные данные для определения влагосодержания твёрдой изоляции:

а) тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) междуобмоточной изоляции, измеренный на отключенном от сети и расшинованном трансформаторе через 2 часа или более после отключения, нагретом до температуры верхнего слоя масла не менее 60°C . Измерения проводят по нормальной схеме мостом Шеринга;

б) температура верхнего слоя масла в трансформаторе во время измерения тангенса угла потерь и емкости междуобмоточной изоляции;

в) тангенс угла потерь масла ($\text{tg}\delta_M$) трансформатора, измеренный при той же температуре;

По измеренному тангенсу угла диэлектрических потерь межобмоточной изоляции ($\text{tg}\delta$) и тангенсу угла диэлектрических потерь масла ($\text{tg}\delta_M$), измеренному при той же температуре, при которой измерен ($\text{tg}\delta$), определяется тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_T$) твердой изоляции, используя соотношение: $\text{tg}\delta = K_T \text{tg}\delta_T + K_M \text{tg}\delta_M$ (1), где K_T , K_M – коэффициенты влияния тангенсов угла потерь $\text{tg}\delta_T$ и $\text{tg}\delta_M$ твердой изоляции и масла. Они зависят от конструктивных размеров изоляции, упрощенно можно принять $K_T = 0.6$ и $K_M = 0.4$. Исходя из формулы (1), получаем:

$$\text{tg}\delta_T = \frac{\text{tg}\delta - K_M \text{tg}\delta_M}{K_T}$$

Среднее влагосодержание твердой изоляции (W) в зависимости от тангенса угла диэлектрических потерь твердой изоляции ($\text{tg}\delta_T$) и температуры верхнего слоя масла (T °С) определяется по графику на рис. 3. На основе данной методики по результатам профилактических испытаний были проведены расчёты влагосодержания твёрдой изоляции для четырёх трансформаторов типа ТРДН-25000/110, полученные значения могут быть внесены в базу данных и в дальнейшем использоваться для прогнозирования остаточного ресурса рассматриваемого оборудования.

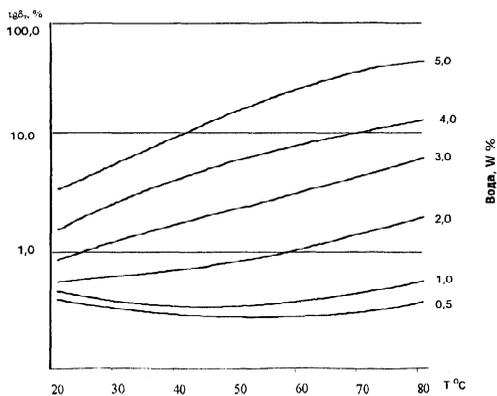


Рис. 3. Зависимость $\text{tg}\delta_T$ силовых трансформаторов от температуры при различной влажности

Библиографический список

1. Лизунов С.Д. Сушка и дегазация трансформаторов высокого напряжения. – М. Энергия, 1971.
2. Волкова И.О. Управление производственными активами энергетических компаний. – М. НИУ ВШЭ, 2013.
3. Объёмы и нормы испытания электрооборудования: РД 34.45-51.300-97. –М., 1998. – 154 с.

4. **Ванин Б.В.**, Львов Ю.Н., Львов М.Ю. Методические указания по определению влагосодержания твёрдой изоляции обмоток силовых трансформаторов (шунтирующих реакторов) по результатам измерения диэлектрических характеристик. Департамент технического аудита и генеральной инспекции Корпоративного центра ОАО РАО «ЕЭС России». 2007.

А.Н. Шаиков, маг., М.В. Акульшина, студ.;
рук. Ю.А. Митькин, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА С ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ЕГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

При экспериментальном определении электрической прочности трансформаторного масла в одной пробе жидкости проводится серия последовательных пробоев. Количество этих пробоев определяется объёмом масла в применяемом сосуде и находится в пределах 6 – 100 опытов в исследуемой пробе масла.

Особое внимание уделяется определению пробивных напряжений эксплуатационного трансформаторного масла в целях контроля технического состояния высоковольтного маслонеполненного оборудования (МНО). При этом определение пробивных напряжений масла проводится с применением специально разработанных методик и испытательных ячеек, реализованных в технических устройствах – маслопробойниках.

Для МНО нормативными документами предусмотрено периодическое определение пробивных напряжений проб масла, взятых из действующего оборудования, в стандартном маслопробойнике.

В настоящее время определение пробивного напряжения трансформаторного масла в маслопробойнике в разных странах проводится по методикам, которые достаточно близки друг к другу. Однако имеются и заметные различия. Здесь следует отметить отсутствие единого подхода к процедуре перемешивания масла после его пробоя, времени выдержки масла после пробоя, а также в выборе статистических характеристик пробивных напряжений эксплуатационного масла.

Совершенствование методов диагностики изоляции МНО по электрической прочности образцов масла ставит задачу по изучению и обоснованию выбора рациональных характеристик прочности масла, учитывающих статистическую природу пробоя жидких диэлектриков. Такой подход позволит более полно выявлять степень влияния эксплуатационных факторов на электрическую прочность масла.

С учётом этого решается задача совершенствования испытательной ячейки в целях проведения исследований процессов при пробоях масла и после его пробоя (рис. 1 и 2), а также повышения эффективности определения пробивного напряжения трансформаторного масла в маслопробойнике.

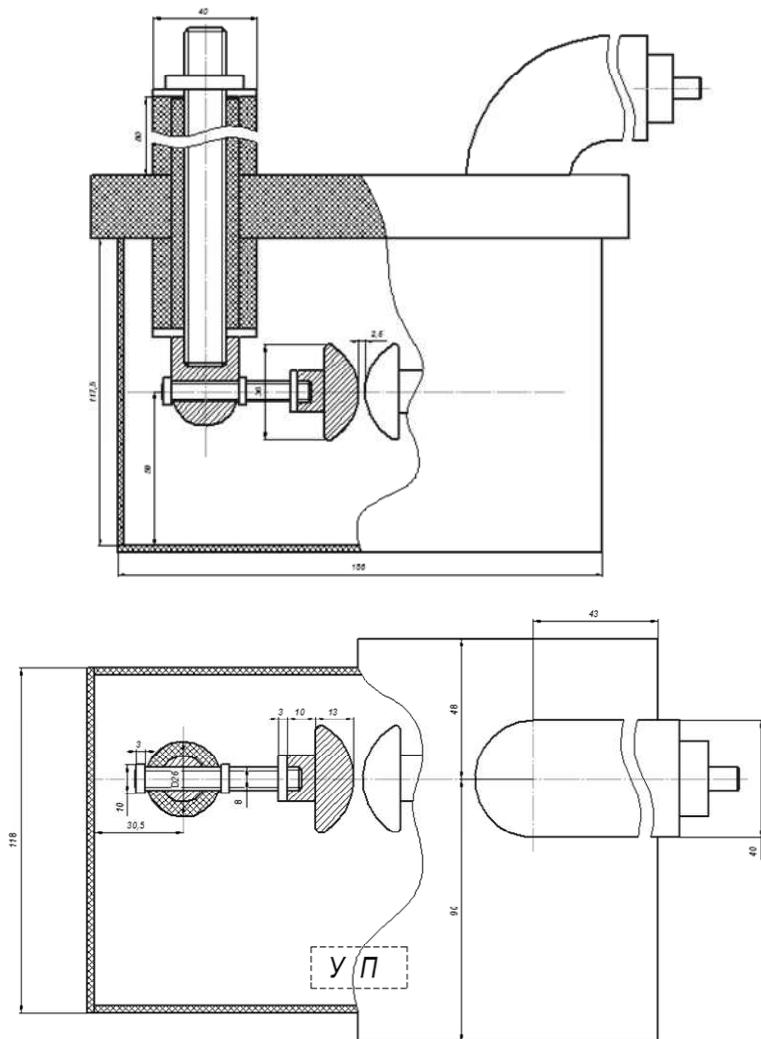


Рис. 1.

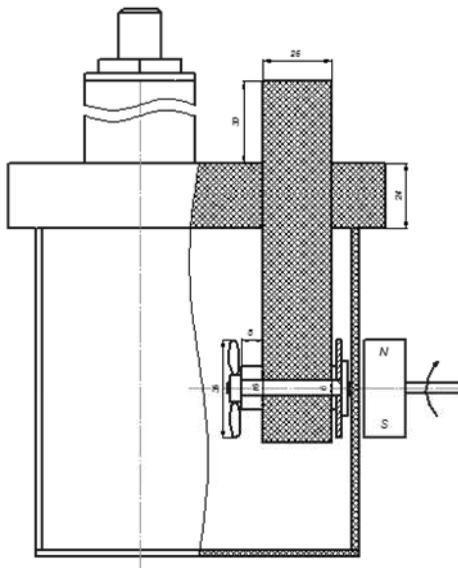


Рис. 2.

При этом за основу принято запатентованное кафедрой ВЭТФ ИГЭУ техническое решение, обеспечивающее перемешивание масла между электродами после его пробоя с применением затопленной струи.

Испытательная ячейка выполнена из двух самостоятельных частей: съёмной панели из органического стекла с установленной на ней электродной системой (рис. 1) и пропеллерной мешалкой (рис. 2), а также прозрачным полимерным сосудом с маслом.

В собранном виде (рис. 2) с внешней стороны сосуда расположена вращающаяся магнитная полумуфта, обеспечивающая вращение вала пропеллерной мешалки, расположенной в слое масла. Ось вала мешалки расположена перпендикулярно оси электродов по линии их центральной симметрии, поэтому при вращении пропеллера создаётся затопленная струя масла, которая удаляет продукты разложения масла после его пробоя и эффективно перемешивает его в области расположения электродов.

Такая конструкция испытательной ячейки позволяет проводить исследования по определению электрической прочности трансформаторного масла и других электроизоляционных жидкостей при различных формах электродов и расстояний между ними. Одновременно создаётся возможность эффективно перемешивать жидкость после её пробоя с применением затопленной струи.

*Т.Е. Шадриков, асп.; В.Ф. Воробьев, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ СХЕМЫ УМНОЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В УСТРОЙСТВЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Надежность работы энергетического оборудования в основном, определяется изоляцией. Наиболее достоверным методом оценки качества изоляции является метод испытания путем приложения к изоляции высокого напряжения. Для получения высоких испытательных напряжений в настоящее время используются традиционные устройства преобразования напряжения, основанные на эффекте трансформации электрической энергии из одной обмотки в другую посредством циркуляции магнитного поля в магнитопроводе. Однако такие схемы испытательных установок обладают рядом существенных недостатков – при работе на частотах 50 Гц и больших коэффициентах трансформации такие установки обладают большими массо-габаритными показателями и существуют сложности в изготовлении надежной изоляции. Особые проблемы возникают при эксплуатации высоковольтных трансформаторов в передвижных испытательных установках. При перемещении испытательной лаборатории к месту работы обмотки трансформаторов испытывают повышенные механические нагрузки (вибрации, удары, сотрясения и др.). Это часто является причиной повреждения высоковольтной изоляции и выхода из строя испытательной установки. Следует отметить, что в современных технологиях преобразования энергии в настоящее время применяются другие принципы преобразования энергии, основанные на применении силовой электроники и высокочастотных преобразований. Цель исследования предполагает разработку принципиально новой схему высоковольтного испытательного устройства или установок с использованием полупроводниковой технологии для испытания объектов с большой емкостью.

Новизна схемы заключается в применении схемы умножения напряжения, работающей в переходном режиме. Принцип работы схемы заключается в следующем: входное напряжение сети 220 В 50 Гц выпрямляется с применением схемы выпрямления напряжения, входящей в преобразователь напряжения, транзисторный управляемый узел регулирует момент открытия транзисторов и создает близкую к синусоидальной волну напряжения с частотой 500 Гц. Повышение напряжения до уровня нескольких киловольт происходит с помощью высокочастотного повышающего трансформатора. Повышенное трансформатором на-

пряжение увеличивается благодаря использованию схемы умножения напряжения. Блок-схема установки показана на рис. 1.

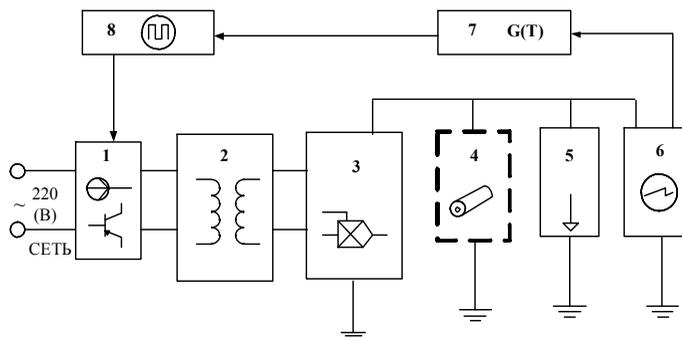


Рис. 1. Блок-схема испытательного источника: 1 – преобразователь напряжения, 2 – высокочастотный трансформатор, 3 – умножитель напряжения, 4 – объект испытаний, 5 – устройство разрядки, 6 – блок измерений, 7 – блок обратной связи, 8 – задающий генератор

Разрабатываемая установка должна отвечает следующим требованиям (5):

- Обеспечить проведение испытаний силовых кабельных линий с различной изоляцией одной установкой (СПЭ, БМИ, и др.);
- Возможность выбора частоты выходного напряжения (постоянное напряжение, напряжение с частотой от 0.1 Гц до 50 Гц)
- Компактность установки (отказ от силового трансформатора);
- Достаточная мощность;

В настоящее время, учитывая сложность проведения большого числа натуральных экспериментов, воспользуемся моделированием на ЭВМ. На данном этапе разработки наибольший интерес представляет исследование управляемой схемы умножения (УСУ). Объектом моделирования выступает схема умножения напряжения (рис. 2). Для упрощения процесса моделирования были приняты следующие допущения (6):

- Транзисторный преобразователь напряжения заменен идеальным синусоидальным источником напряжения;
- Высокочастотный трансформатор в модели отсутствует ввиду сложности и детализации его проработки на начальном этапе.

В ходе работы модели были получены осциллограммы процессов зарядки и разрядки элементов схемы. Моделирование производилось при переменном напряжении на входе умножителя с частотой 500 (Гц) и времени моделирования, равному 0.002 с (один период колебания напряжения). Аппроксимация кривой показала, что форма напряжения, форми-

руемая на кабеле, представляет собой четверть периода ступенчатого синусоидального сигнала (рис. 3) и может быть разложена в гармонический ряд для последующего анализа.

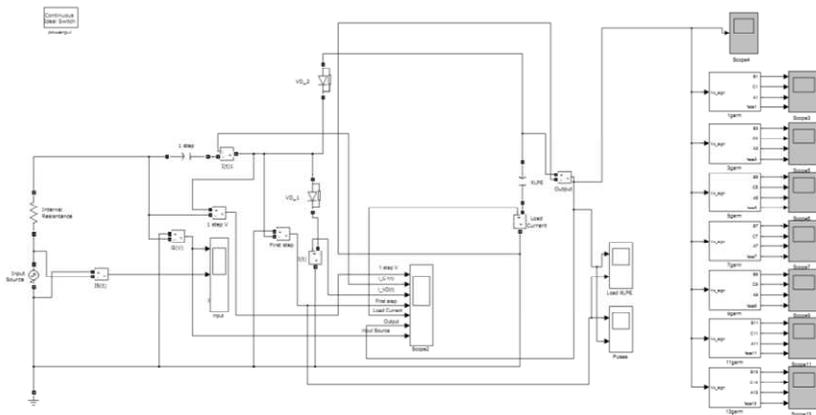


Рис. 2. Модель схемы умножения напряжения в Simulink

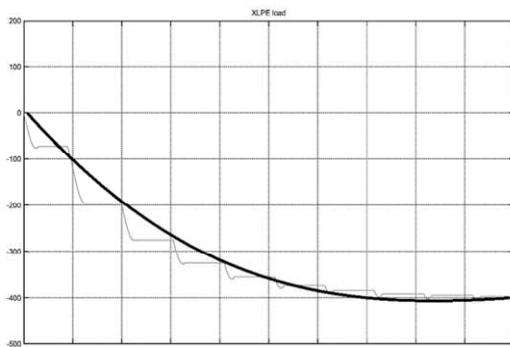


Рис. 3. Четверть синусоиды выходного напряжения

С помощью разложения периодической функции в тригонометрический ряд Эйлера – Фурье:

$$f(\omega t) = \frac{1}{2} \sum_{k_1=-\infty}^{k_1=\infty} (B_{k_1m} \sin k_1 \omega t + C_{k_1m} \cos k_1 \omega t) \quad (1)$$

Были получены коэффициенты амплитуды, фазы гармонических составляющих. Результаты гармонического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета гармонических составляющих

Номер гармоники ν	B_{km}, A	C_{km}, A	A_{km}, A	$\psi_k, \text{рад}$
1	1,7	13,5	13,7	1,5
3	-11	6	12	0,6
5	-9	1,5	9	-0,3
7	-3,7	4,5	5,8	-0,9
9	0,3	2,1	1,7	1,5
11	-0,2	-0,5	0,8	1,3
13	2,25	0,5	2,25	0,5

По итогам исследований сделан вывод в преобладании гармоник под номерами 3 и 5 в выходной форме напряжения, формируемого на кабеле, которые могут быть убраны фильтрами.

Отдельным направлением исследований видится применение модульной многоуровневой системы (ММС) на IGBT-транзисторах для получения требуемого уровня напряжения на испытуемом образце.

Библиографический список

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Издание 6-е. – М.: ЭНАС, 1998.
2. Аппарат испытания диэлектриков «АИД-70М» Руководство по эксплуатации 2АМБ.169.001-01 РЭ.
3. МЭК 60502-2. Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальное напряжение от 1 до 30 кВ.
4. Методические указания по испытанию силовых кабелей класса 5 – 132 кВ установками переменного синусоидального напряжения сверхнизкой частоты серии VLF. ЯМЗ – 2010.
5. Сравнительный обзор высоковольтных установок для испытания кабельной изоляции, Т.Е. Шадриков, В.Ф.Воробьев, Материалы восьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов “ЭНЕРГИЯ 2013”. – ФГОУ ВПО ИГЭУ им В.И. Ленина.
6. Материалы конференции «Энергетика глазами молодежи», г. Новочеркасск, Т.Е. Шадриков, В.Ф. Воробьев доклад «Разработка компактного высоковольтного диагностического устройства для испытания кабельных линий с различной изоляцией».

Т.Е. Шадриков, асп.;
А.М. Соколов, д.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НЕПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

С развитием компонентов силовой электроники стало возможным создание полупроводниковых силовых устройств, отличающихся высоким быстродействием, возможностью работы на высокой частоте, малы-

ми потерями на переключение. Это привело к созданию мощных полупроводниковых преобразователей напряжения, обеспечивающих трансформацию напряжения одной частоты в другую [1]. Известно, что повышение частоты напряжения электрооборудования приводит к сокращению габаритов электротехнического и энергетического оборудования (прежде всего силовых трансформаторов) и его массы. В области энергетики это направление перспективно возможностью создания компактных трансформаторных подстанций (КТП) нового поколения, которые по своим размерам и массе будут на несколько порядков отличаться в сторону уменьшения массогабаритных характеристик от существующего поколения оборудования, работающего на промышленной частоте.

Высоковольтный силовой трансформатор представляет собой достаточно сложное электромагнитное устройство, осуществляющее преобразование напряжения одной величины в другую. Трансформаторы промышленной частоты используют магнитопроводы из электротехнической стали и сравнительно большое количество меди для обмоток трансформатора. В трансформаторах непромышленной (повышенной) частоты в качестве магнитопровода используется другие материалы (феррит, аморфное железо и др.), значительно меньшие по объёму и массе, и значительно меньшее количество витков обмоток за счет применения высокой частоты. Однако вывод о целесообразности применения таких устройств может быть сделан лишь при наличии их технико-экономической эффективности, что требует разработки методики её оценки.

Для оценки технико-экономических показателей трансформатора непромышленной частоты необходимо выполнить расчет основных параметров трансформатора. Он базируется на методике расчета трансформатора с ферритовым магнитопроводом [2]. Исходными параметрами являются номинальная мощность трансформатора P_T , номинальное напряжения первичной и вторичной обмоток U_1 и U_2 , частота напряжения f , иногда задается форма осциллограммы трансформируемого напряжения.

На основании заданной мощности рассчитывается главный критерий выбора сердечника трансформатора по формуле (1):

$$S_C \cdot S_0 = \left(\frac{P_T \cdot 10^4}{4 \cdot K_\Phi \cdot B_m \cdot f \cdot K_I \cdot K_{II}} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (1)$$

где K_Φ – коэффициент формы импульса, K_{II} – коэффициент использования окна, S_C – площадь эффективной части магнитопровода, S_0 – эффективная площадь сердечника,

Согласно методике расчета [2] при выборе сердечника из числа существующих должно выполняться следующее условие (2):

$$(S_c \cdot S_0)_{CT} > (S_c \cdot S_0)_{РАСЧ} \quad (2)$$

Параметр $(S_c \cdot S_0)_{CT}$ это величина, рассчитанная для стандартного сердечника и зависящая от геометрических параметров сердечника.

Методика, указанная в (1) предусматривает последовательный расчет всех необходимых параметров трансформатора: число первичных и вторичных витков, параметры провода, токи в обмотках, потери в меди и феррите и т.д. Формулы (3) показывают определения числа витков для первичной и вторичной обмотки:

$$w_1 = \frac{U_1 \cdot 10^4}{4 \cdot K_\Phi \cdot B_M \cdot f \cdot S_c} \quad (3)$$

$$w_2 = \frac{w_1 \cdot (U_{ВЫХ} + k_1 \cdot U_{ПР})}{U_1}$$

Ввиду применения высокой частоты в работе трансформатора, конструкция его обмотки должна быть выполнена с учетом явления поверхностного эффекта. Выполняется расчет глубины проникновения э/м поля в проводник по формуле (4):

$$b_m = 1000 \cdot \sqrt{\frac{\rho_m}{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \mu_0}} \quad (4)$$

Причем, диаметр одного провода не должен превышать удвоенной величины глубины проникновения э/м поля, условие (5) должно выполняться:

$$d_{MAX} \leq 2 \cdot b_m \quad (5)$$

Потери в трансформаторе и его КПД рассчитывались по формулам (6) и (7):

$$\Delta P_{TR} = K_3 \cdot (K_2 \cdot I_1^2) \cdot R_1 + K_4 \cdot (K_3 \cdot I_2^2) \cdot R_2 + \frac{2 \cdot P_{УД} \cdot M_c \cdot n_c}{1000} \quad (6)$$

$$\eta_{TR} = 1 - \frac{\Delta P_{TR}}{P_{TR}} \quad (7)$$

Методика может быть дополнена расчетом удельных параметров трансформатора по формулам (8):

$$m_0 = \frac{M_T}{P_{ВЫХ}} \quad (8)$$

$$v_0 = \frac{V_T}{P_{ВЫХ}}$$

где V_T – объем сердечников с обмотками, с учетом выступающей части обмотки и разного числа сердечников; M_T – масса всего трансформатора без учета корпуса и вывода высокого напряжения. Учитывает массу сердечника, массу проводов обмоток и массу изоляции. Масса изоляции и масса провода находятся по формулам (9):

$$m_{\text{ПР}} = I_{\text{СРВ}} \cdot (S_{\text{ПР1}} \cdot n_{\text{ПР1}} \cdot w_1 + S_{\text{ПР2}} \cdot n_{\text{ПР2}} \cdot w_2) \cdot \gamma_M$$

$$m_{\text{ИЗ}} = \frac{I_{\text{СРВ}}}{K_{\text{И}}} \cdot (S_{\text{ПР1}} \cdot n_{\text{ПР1}} \cdot w + S_{\text{ПР2}} \cdot n_{\text{ПР2}} \cdot w_2) \cdot \gamma_{\text{Эпокс}} \quad (9)$$

Масса сердечника определяется по формуле (10):

$$M_C \leq \gamma_{\text{ФЕР}} \cdot (2 \cdot H \cdot L \cdot b - 2 \cdot b \cdot h \cdot l_{\text{П}}) \quad (5)$$

С использованием рассмотренных соотношений был выполнен расчёт параметров силового трансформатора повышенной частоты мощностью 4 кВт напряжением 500(250)В/3 кВ с применением магнитопровода ЕЕ110 (величина $S_{\text{С0}}$ составляет 181,893 см⁴).

Внешний вид трансформатора, собранного на базе двух Ш-образных сердечников показан на рис. 1.

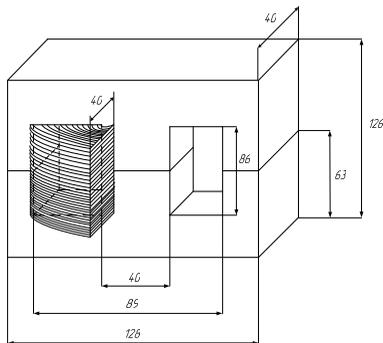


Рис. 1. Конструкция высоковольтного трансформатора не промышленной частоты на мощность 4 кВА

Номинальная мощность трансформатора составляет 4кВА, номинальная рабочая частота 10 кГц. Габаритные размеры трансформатора без учета корпуса и выводов составляют 128x120x126 мм, общий вес без учета корпуса составляет 2,706 кг. На рис. 2 представлено сравнение массогабаритных характеристик трансформаторов на 4 кВА с рабочей частотой 10 кГц и наиболее близким аналогом на 50 Гц – ОД 4кВА/6 кВ (сведения из Интернета):

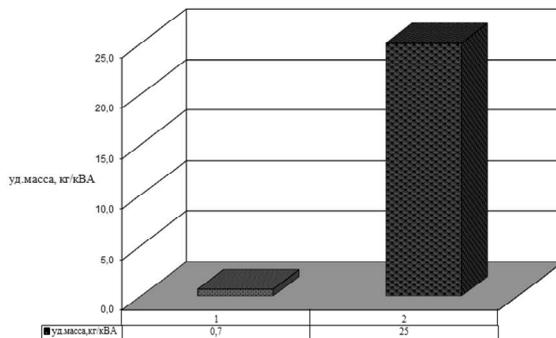


Рис. 2. Массогабаритные характеристики 1-ВЧ тр-р при частоте 10 кГц; 2- тр-р 50 Гц ОД-4кВА/6кВ

Удельные характеристики ВЧ трансформатора по результатам расчетов и трансформатора 50 Гц равны (табл. 1):

Таблица 1. Сравнение удельных параметров ВЧ трансформатора и 50 Гц

ВЧ трансформатор	$m_0 = 0.677 \frac{\text{кг}}{\text{кВТ}}$	$v_0 = 0.333 \frac{\text{дм}^3}{\text{кВТ}}$
ОД-4кВА/6кВ	$m_0 = 25 \frac{\text{кг}}{\text{кВТ}}$	$v_0 = 5.6 \frac{\text{дм}^3}{\text{кВТ}}$

В ходе расчета был вычислен коэффициент полезного действия, у ВЧ трансформатора он равен 99.54 %, в то время как у ОД-4кВА/6кВ только 95.4 % (рис. 3).

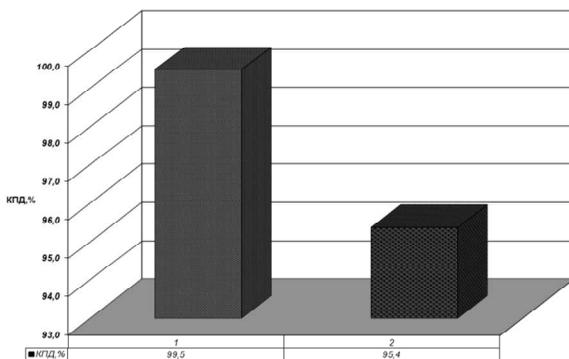


Рис. 3. КПД трансформаторов: 1 – ВЧ тр-р при частоте 10 кГц; 2 – тр-р 50 Гц ОД-4кВА/6кВ

Очевидно, что с ростом номинальной мощности удельные параметры должны уменьшаться. Результаты технико-экономического сравнения будут дополнены информацией о стоимости производства ВЧ трансформатора, однако уже на данном этапе видны преимущества в габаритах и уменьшении потерь по сравнению с трансформаторами промышленной частоты. Предметом дальнейших исследований является создание ВЧ трансформатора на более высокие мощности и напряжения, а также разработка высоковольтной системы передачи электроэнергии на высокой частоте.

Библиографический список

1. **Ситников В.Ф.** Силовая электроника в системах электроснабжения переменного тока // Электричество. – 2008. – № 2. – С. 33 – 38.
2. **В.И. Мелешин** Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005.

*Т.Е. Шадриков, А.А. Яблоков, аспиранты;
А.В. Макаров, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново),
Amir Arzande, professor (Supélec, France)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ HVDC С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА EMTP-RV

Программный комплекс EMTP-RV предназначен для решения широкого круга задач в области электроэнергетики. Позволяет моделировать систему, состоящую из большого числа элементов и имеет встроенные библиотеки электроэнергетического оборудования. Общепризнанна мировым энергетическим сообществом.

Высоковольтные линии постоянного тока (HVDC) приобретают все большую актуальность в мире. Применение HVDC позволяет соединить распределенную генерацию с крупными централизованными сетями, повысить надежность работы больших сетей и сделать управление большими сетями более гибким и отзывчивым.

В программе EMTP-RV была разработана модель системы с четырьмя источниками переменного напряжения промышленной частоты, соединенные между собой двухпроводной линией постоянного тока (рис. 1).

Преобразователи напряжения, используемые в модели, объединены в подсети и обозначены как Systeme_1,2,3,4.

Четыре системы переменного тока заданы с помощью источников напряжения 250 кВ, считается, что это источники бесконечной мощности энергосистемы. Однако, в модели пределы мощности у преобразователей AC/DC заданы и равны 37.5 МВт.

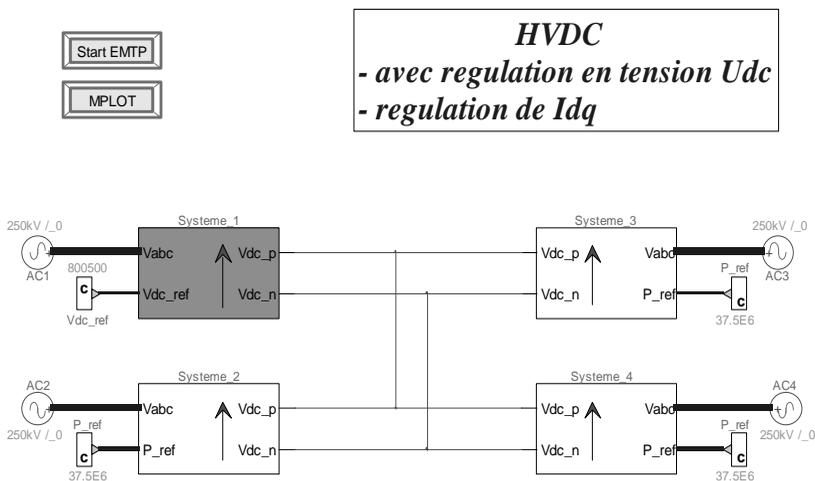


Рис. 1. Четыре источника переменного напряжения связаны друг с другом через преобразователи напряжения и линию HVDC

Система 1 (рис. 1) осуществляет регулирование напряжения линии HVDC, связывающей первую систему со всеми остальными. Регулирование основано на изменении величины зарядного напряжения конденсатора (можно использовать другой источник постоянного напряжения) и сравнения его с заданным значением. Применяется каскадная схема управления с использованием двух PI-регуляторов (пропорционально-интегральный регулятор), показанная на рис. 2, причем первый PI-регулятор влияет непосредственно на референсное (задаваемое) значение тока I_d (отвечающее за активную мощность в системе). Второй регулятор отвечает за сравнение измеренных двухфазных токов с заданными значениями.

При работе с системами HVDC необходимо применять прямое и обратное преобразование Парка (трансформатор Парка), используемое для преобразования трёхфазной системы (фазы А, В, С) в систему двухфазную с величинами D и Q . Реализация прямого преобразования Парка в EMTP-RV представлена на рис. 3.

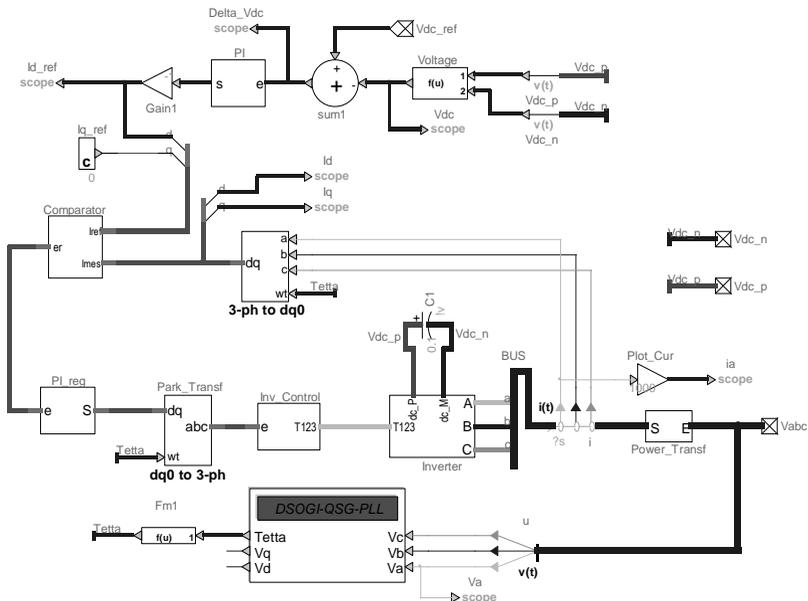


Рис. 2. Структура системы 1 (регулирование напряжения HVDC)

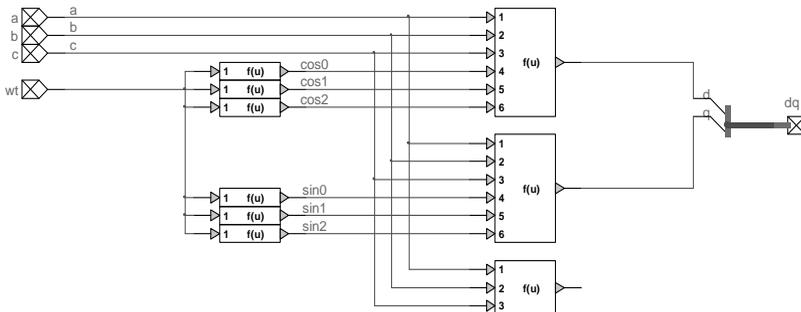


Рис. 3. Реализация трансформации Парка в среде EMTP-RV

Преобразования трехфазной системы в двухфазную происходят благодаря работе системе матричных уравнений:

Для изучения стабилизации напряжения в HVDCлинии было задано напряжение $U_{dc} = 800500$ (В).

Системы 2, 3, 4 имеют аналогичную структуру и осуществляют регулирование активной и реактивной мощности систем переменного тока.

Библиографический список

1. **IEEE** Transactions on Industrial Electronics 60(6):2360-2371 (2013) An Energy-Based Controller for HVDC Modular Multilevel Converter in Decoupled Double Synchronous Reference Frame for Voltage Oscillation Reduction. Gilbert Bergna, Erik Berne, Philippe Egrot, Pierre Lefranc, Amir Arzande, Jean-Claude Vannier, and Marta Molinas.

*Ю.А. Яльцева, магистрант;
В.Ф. Воробьев, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЕНТИЛЬНЫХ
РАЗЯДНИКОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ МЕТОДИКИ
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВАМИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

С 80-х годов XX века реформирование и реструктуризация энергетических отраслей открыли для обсуждения такой вопрос, как поиск оптимального механизма управления предприятием, обеспечивающее высокую надежность работы оборудования и регулирование экономических интересов участников процесса (потребителей, собственников и т.п.). Сформировались новые требования к показателям эффективности использования активов.

В настоящее время под производственным активом понимают материальные, финансовые и другие ресурсы предприятия, имеющие для него реальную или потенциальную ценность. Под управлением производственными активами понимают скоординированную деятельность по повышению эффективности работы оборудования, направленную на достижение целей организации по надежности, безопасности и экономической эффективности. Управление активами – это не инструмент управления сам по себе, а процесс объединения многих современных инструментов и методов.

Результаты исследований показали, что наиболее успешные электросетевые компании обеспечивают достижение оптимального соотношения «надежность – затраты», применяя в управлении комплексный подход, реализуемый с помощью создания систем управления активами. Зарубежные компании достаточно серьезно продвинулись вперед как в разработке стратегии и методологии управления активами, так и в вопросе практической реализации самой концепции. Разработка концепции управления активами базируется на уже имевшихся теориях и направлениях, таких как управление качеством, техническое обслуживание по состоянию оборудования и т.д. Проект создания и внедрения системы управления производственными активами направлен на обеспечение по-

следовательного перехода от традиционного планирования издержек на ремонт, обслуживание и техническое перевооружение производства, к управлению стоимостью жизненного цикла активов, начиная с момента закупки, до физического вывода оборудования из эксплуатации. В России система управления активами уже успешно внедрена на предприятиях Смоленской АЭС, УК "Волжский гидроэнергетический каскад", объединяющей Воткинскую, Волжскую, Жигулевскую, Камскую, Саратовскую ГЭС и др. Одной из составляющих методологии управления активами является система технического обслуживания ответственного оборудования. Система планово-предупредительных ремонтов, отличающаяся как повышенной надежностью, так и дороговизной и ресурсоёмкостью, была заменена на систему ремонта по потребности (РП), включающую сбор максимальной информации, сложность планирования, но минимальные эксплуатационные затраты. РП основан на фактической потребности в ремонте после диагностики и объективного контроля технического состояния оборудования.

Разрядники являются одним из видов ответственного оборудования. Большинство вентильных разрядников (РВ), находящихся в эксплуатации энергосистем, выработали свой ресурс и уже не могут обеспечить эффективную защиту электрооборудования от перенапряжений. Поэтому количество выявляемых дефектных разрядников с каждым годом увеличивается. Характерными дефектами вентильных разрядников являются неравномерное распределение напряжения по элементам (для многоэлементных разрядников); обрыв шунтирующего сопротивления; увлажнение внутренней части в результате разгерметизации; неправильная комплектация элементов. Для вентильных разрядников, чей срок эксплуатации более 15 лет, велика вероятность изменения основных защитных характеристик: увеличение остающегося напряжения как при малых, так и при больших токах в пределах от 15 до 20 %; значительное снижение ресурса по пропускной способности; снижение импульсного пробивного напряжения (ВСХ) до –30 % с одной стороны из-за уменьшения давления внутри аппаратов, с другой из-за провалов ВСХ в микросекундном диапазоне; увеличение пробивного напряжения при 50 Гц до 5 – 10 %; в ряде случаев подъем ВСХ на 15 ÷ 20 %. Большие токи, протекающие через нелинейное сопротивление РВ, приводят к повышению остающегося напряжения. Эксплуатационный показатель надежности РВ в 1.5 – 2.0 раза меньше, чем это требуется эксплуатацией. В связи с этим на первый план выходит проблема замены их на более надёжные и простые в эксплуатации нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). Замена вентильных разрядников на соответствующие ограничители перенапряжений

компенсирует ухудшение защитных характеристик РВ, улучшает показатель надежности грозозащиты в 2 – 3 раза. При срабатывании конструкция ОПН позволяет снизить сопровождающий ток до нескольких миллиампер, что дает возможность отказаться от последовательных искровых промежутков. В настоящее время остро стоит проблема своевременной замены вентильных разрядников на нелинейные ограничители перенапряжений. Для правильной оценки реального состояния РВ возникает необходимость проведения диагностических испытаний как самого разрядника, так и его составных частей: искровых промежутков, шунтирующих резисторов, изоляционных конструкций, нелинейных сопротивлений. В основном уровень защиты изоляции оборудования подстанций определяется остающимся напряжением на разряднике. Прогноз остаточного ресурса и уровня защиты изоляции от грозовых перенапряжений возможен на основании измерений параметров разрядника (в соответствии с РД и ПУЭ) в процессе эксплуатации и последующем анализе этих данных.

Общий подход в оценке технического состояния (ТС) оборудования заключается в том, что единые правила разработки алгоритмов оценки ТС активов и единый классификатор оборудования позволяют составить единый методологический подход к оценке данного вида производственных активов. Классификатор оборудования представляет собой иерархическое представление групп оборудования. Оценка ТС оборудования производится на основе показаний индекса состояния, формируемого на основе измеряемых параметров оборудования. Каждому критерию выставляется оценка. Необходимо учитывать последствия отказа оборудования. Рассматриваются как схемы соединения оборудования, так и количество и вид потребителей, которые могут быть отключены вследствие отказа оборудования.

Для оценки реального состояния вентильного разрядника в качестве критериев предлагаем использовать такие показатели как срок службы разрядника, количество срабатываний, величина тока проводимости, пробивное напряжение промышленной частоты, мощность защищаемого оборудования. Значения измеренных параметров сравниваются с параметрами, указанными в нормативных документах, и выставляется оценка. Общий индексный показатель выводится на основании средней суммарной оценки всех критериев измерения (рис. 1).

Появившиеся тенденции поиска новых принципов и моделей управления техническим обслуживанием активов в России позволяют организовать четкий процесс использования и управления активами на протяжении всего их жизненного цикла. Универсальной схемы или модели управления активами в настоящее время не существует. Для производст-

венных активов подавляющая часть исследований и предложений лежит в области формирования инструментов мониторинга состояния, сбора обширной статистической информации. Предложенный алгоритм оценки реального состояния вентильного разрядника позволяет определить остаточный ресурс аппарата и скоординировать процессы по его эффективной замене на нелинейные ограничители.

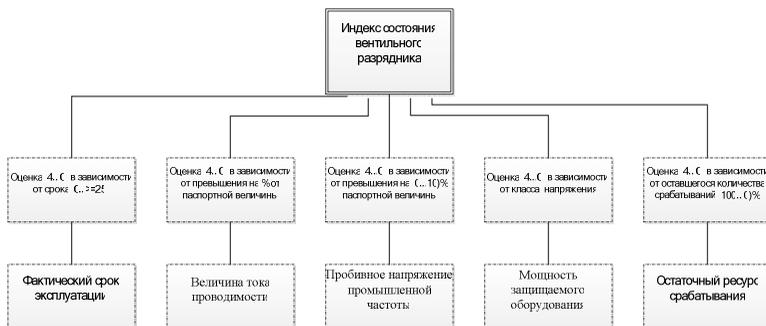


Рис. 1. Упрощённый пример формирования оценки состояния вентильного разрядника

Библиографический список

1. **Невский А.** Управление активами в электроэнергетике // ЭнергоРынок: профессиональный журнал / учредитель : издательский дом "РЦБ". – М. – 2006. – № 10.
2. **Маслов А., Фролов К., Волкова И.** Анализ мирового опыта в области построения систем управления активами электросетевых компаний // ЭнергоРынок: профессиональный журнал / учредитель : издательский дом "РЦБ". – М. – 2007. – № 7.
3. **Богородицкий, Николай Петрович.** Электротехнические материалы: [учебник для вузов] / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Изд. 7-е, перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1985. – 304 с: ил.
4. **Кольчев А.В.** Исследование влияния изменения характеристик защитных аппаратов на показатель надежности защиты подстанций 35 – 500 кВ от перенапряжений. Автореферат.

А.С. Монахов, студ.;
рук. С.А. Словесный, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕГИСТРАЦИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При нынешнем состоянии российской энергетики, когда 50 – 55 % основного силового оборудования выработало свой ресурс, основной задачей эксплуатации (кроме предотвращения аварий) становится продле-

ние срока службы оборудования. Значительная часть повреждений электротехнических средств связана с дефектами изоляции, поэтому разработке новых методов и способов контроля состояния изоляции и совершенствованию уже имеющихся, следует уделять особое внимание.

На изоляцию во время эксплуатации действуют электрические поля, тепловые и механические нагрузки. Изоляция стареет, в ней происходят необратимые изменения. Одним из проявлений старения является образование в толще изоляции газовых включений (расслоение изоляции). Напряженность электрического поля на таких участках выше, чем в остальной изоляции, а электрическая прочность значительно ниже, поэтому в газовых полостях возникают электрические разряды, называемы частичными разрядами (ЧР).

Информация о частичных разрядах (ЧР) появилась с началом эксплуатации высоковольтных электрических машин и кабелей. Электрическая изоляция двигателей, генераторов и кабелей оказалась наиболее подвержена действию ЧР, что обусловлено двумя факторами: особенностью строения изоляции и воздействием на нее повышенных напряженностей электрического поля при уменьшении габаритных размеров оборудования. При большой интенсивности ЧР происходит разрушение изоляции вследствие разрастания малых воздушных или масляных включений. Со временем этот процесс приводит к пробое изоляции и выводу оборудования из работы.

Появление ЧР сопровождается следующими физическими явлениями: протеканием импульсного тока в цепях, где имеются объекты с ЧР; электромагнитным излучением в окружающее пространство; возникновением ударных волн; разложением диэлектрика на молекулярные группы в зоне действия ЧР; световым излучением в окружающее пространство; нагревом локальных объемов изоляции с ЧР.

Регистрация изменений характеристик ЧР позволяет определять оборудование с ослабленной изоляцией, своевременно проводить ремонт и избегать серьезных аварий.

Для регистрации ЧР используют следующие методы: электрический; электромагнитный, или дистанционный, СВЧ-метод; акустический; химический; оптический, или оптоэлектронный; термический.

Электрический способ требует контакта измерительных приборов с объектом измерения, что делает его не самым простым и удобным, но такой способ позволяет определять количественные характеристики ЧР. При реализации электрического способа контроля не требуется подача на объект измерения напряжений, превосходящих номинальные рабочие значения, поэтому он является щадящим для изоляции электрооборудования. Недостатком электрического способа контроля ЧР является его

низкая помехоустойчивость, что препятствует его реализации применительно к оборудованию, находящемуся в эксплуатации.

Акустический способ регистрации ЧР разрабатывался с целью обнаружения места возникновения ЧР в оборудовании, например, в силовых и измерительных трансформаторах, кабелях, элегазовом оборудовании. Для локализации участка изоляции с ЧР используются чувствительные микрофоны, которые улавливают звуковые волны, расположенные в диапазоне частот выше порога слышимости. Недостатком акустического способа является низкая чувствительность при регистрации ЧР малой интенсивности.

Электромагнитный, или дистанционный СВЧ-способ позволяет обнаружить ЧР с помощью направленного приемного СВЧ антенного устройства. Этот способ не требует контакта с объектом измерения. Недостатками способа является невозможность количественной оценки измеренных параметров ЧР, а также низкие помехоустойчивость и избирательность устройства.

Наиболее перспективным, из рассмотренных способов, является электрический способ.

Наибольшие трудности при измерении электрических сигналов ЧР в условиях эксплуатации вызывает выделение сигналов ЧР, возникающих в высоковольтной изоляции контролируемого оборудования из полного спектра электромагнитных колебаний, включающего в себя электромагнитные внутренние и внешние помехи. Так как временные характеристики импульсов токов ЧР лишь незначительно отличаются от импульсов токов, вызываемых помехами, большинство предлагаемых методов идентификации импульсных токов ЧР оказываются не достаточно эффективными.

В настоящее время перспективным в плане устранения помех является использование и дальнейшее совершенствование мостовой схемы (рис. 1). Она позволяет избавиться от большинства видов помех, кроме помех, возникающих в контуре заземления. Принцип ослабления сигнала от внешних шумов и помех (главным образом, от помех короны) состоит в следующем: токи от источника помех, проходя на землю через емкости объекта и соединительного конденсатора, создают встречные (синфазные) падения напряжения на измерительных элементах (R_0, R_x). В то же время ток частичных разрядов вызывает согласное падение напряжения на измерительных элементах, которое регистрируется измерительным устройством.

В процессе регистрации ЧР электрическим способом измеряются «вторичные» проявления ЧР. Под «вторичными» проявлениями понимаются импульсные токи, сопровождающие ЧР в изоляции высоковольтного оборудования и формируемые этими токами импульсные напряжения.

При использовании для регистрации характеристик ЧР мостовой схемы, импульсы напряжения подводятся к измерительному устройству по двум коаксиальным кабелям. В качестве измерительного устройства используется электронный осциллограф (ЭО), информация от которого выводится на монитор компьютера. Применение ЭО позволяет сохранять в памяти компьютера результаты измерения. Использование ЭО позволяет контролировать характеристики ЧР и отслеживать динамику их изменения.

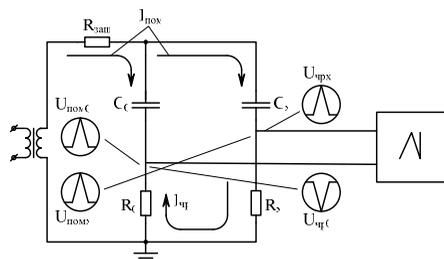


Рис 1

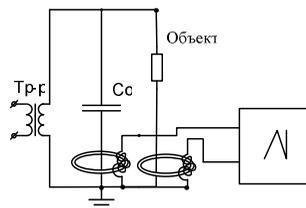


Рис 2

Изображенная на рис. 1 мостовая схема позволяет регистрировать ЧР в объектах, электроды (выводы) которых могут быть отделены от земли. При невозможности выполнения этого условия, например, при измерении ЧР в изоляции силовых высоковольтных кабелей, предлагается регистрировать импульсные токи ЧР с помощью трансформаторных датчиков тока, устанавливаемых на заземляющие проводники. При этом сопротивления R_0 , R_x исключаются из схемы. В рассматриваемой работе приводятся результаты исследования характеристик трансформаторных датчиков тока с ферритовым (рис. 3) и пермалловым (рис. 4) магнитопроводами. Результаты испытания датчиков свидетельствуют о линейном характере вольт-амперной характеристики в диапазоне измеряемых токов ЧР от нуля до 20 мА.

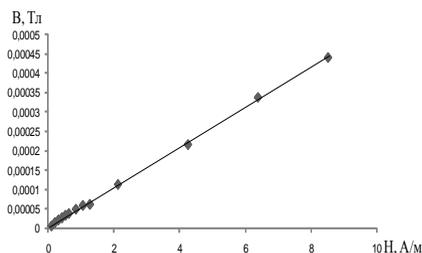


Рис. 3.

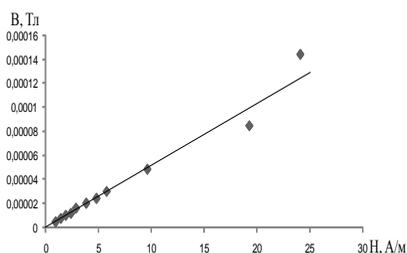


Рис. 4.

Разработанная схема в лабораторных условиях позволяет надежно регистрировать ЧР на фоне внешних импульсных помех. Для оценки возможности ее применения в условиях эксплуатации необходимо проведение испытаний схемы на действующем оборудовании.

Библиографический список

1. **Кучинский Г.С.** Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия Ленингр. отделение, 1979.
2. **А. Шваб** Измерения на высоком напряжении: измерительные приборы и способы измерения, 1983.

А.С. Страхов, студ.;
рук. В.Ф. Воробьев, к.т.н., доцент,
С.А. Словесный, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

В современной энергетике широкое применение находят кабельные линии электропередачи, которые постепенно заменяют воздушные. Надёжность кабельных линий в основном определяется надёжностью работы их изоляции. Поэтому важной задачей современной электроэнергетики является диагностирование состояния изоляции кабельных линий.

Одним из эффективных методов диагностирования технического состояния изоляции является способ измерения характеристик частичных разрядов (ЧР). ЧР представляют собой электрические разряды, возникающие в ограниченном объёме изоляции, в котором имеются неоднородные включения с пониженной электрической прочностью. Часто в твёрдой изоляции в качестве неоднородностей могут выступать газообразные и жидкие включения. ЧР, наблюдаемые в изоляции, приводят к её старению, что является причиной нарушения электрической прочности диэлектрика.

Измерение характеристик ЧР изоляции может производиться как под рабочим напряжением, так и при воздействии на изоляцию испытательных напряжений. При испытании может быть использовано постоянное, переменное и импульсное напряжения. В ходе измерения определяются следующие характеристики [1]:

- кажущийся заряд единичного ЧР ($q_{\text{ЧР}}$);
- частота следования ЧР ($n_{\text{ЧР}}$);

- средний ток ЧР ($I_{\text{ЧР}}$);
- энергия единичного ЧР ($W_{\text{ЧР}}$);
- средняя мощность ЧР ($P_{\text{ЧР}}$);
- квадратичный параметр ($D_{\text{ЧР}}$);
- напряжение ЧР ($U_{\text{ЧР}}$).

Диагностирование изоляции по характеристикам ЧР позволяет выявлять дефекты ещё на начальной стадии их развития, наблюдать за их развитием и, тем самым, определять ее состояние в любой момент времени. Однако имеются и трудности в анализе состояния изоляции по характеристикам частичных разрядов. К ним можно отнести малый уровень полезного сигнала, значительное влияние помех на результаты измерений, ВЧ характер измеряемого сигнала. Для протяжённых кабельных линий имеется дополнительная трудность – определение мест возникновения ЧР.

В настоящее время имеются установки, которые способны определять характеристики частичных разрядов в кабельных линиях и определять месторасположение дефекта. Примером таких установок может служить система измерения частичных разрядов **OWTS** [2], используемая для определения, измерения и локализации мест возникновения ЧР в кабельной изоляции. На рис. 1 представлена система OWTS M28 для измерения характеристик ЧР в силовых высоковольтных кабельных линиях и их локализации. Установка состоит из высоковольтного источника, катушки индуктивности, необходимой для создания переменного испытательного напряжения, и блока обработки сигнала. Схема испытательной установки и форма испытательного напряжения, воздействующего на изоляцию кабеля, показаны на рис. 2.



Рис. 1. Система OWTS M 28 для измерения и локализации ЧР в кабельных линиях

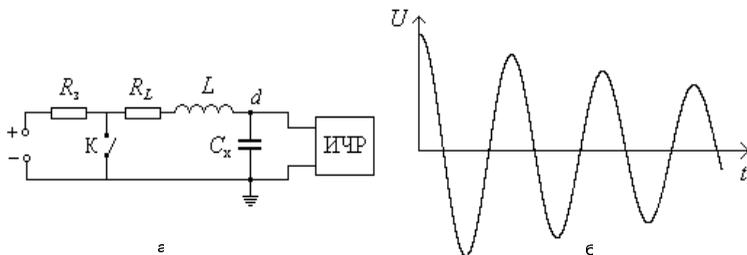


Рис. 2. Измерение ЧР при затухающем осциллирующем напряжении: а – схема испытательной установки, где R_z – зарядное сопротивление; L – катушка индуктивности; R_L – активное сопротивление обмотки катушки индуктивности; K – высоковольтный ключ; ИЧР – измеритель ЧР; б – изменение испытательного напряжения

Принцип работы системы измерения частичных разрядов OWTS заключается в следующем. После зарядки емкости фазы КЛ от высоковольтного источника высокого напряжения, она подключается к индуктивности L помощью электронного переключателя (K). В процессе разряда емкости кабеля через индуктивность возникают затухающие синусоидальные колебания, частота которых зависит от емкости диагностируемого объекта и составляет обычно 50 – 100 Гц. При этих частотах изменяющегося напряжения и обычно встречающихся на практике длинах испытуемых кабелей волновые процессы в них не наблюдаются, т.е. все участки кабеля находятся под воздействием одинакового напряжения. Поэтому при достаточно высоких напряженностях электрического поля, воздействующих на дефекты изоляции кабеля, в них могут практически одновременно возникать частичные разряды. Наблюдаемые в изоляции кабеля частичные разряды имеют более высокие частотные характеристики по отношению к вызвавшему эти частичные разряды испытательному напряжению. Поэтому испытуемая кабельная линия для этих ЧР должна рассматриваться как длинная линия с распределенными параметрами. Измеряя время прихода сигнала ЧР от места его возникновения и время прихода сигнала того же ЧР, отраженного от противоположного разомкнутого конца испытуемого кабеля, можно рассчитать место расположения дефекта в его изоляции. Однако при наличии нескольких мест возникновения ЧР на протяжении кабельной линии достаточно сложно проводить идентификацию прямых и отраженных сигналов и система может дать ошибочные результаты.

В ходе исследования планируется разработать способ определения характеристик частичных разрядов и их расположения для кабельных линий электропередач, принципиально отличающийся от метода OWTS.

Предлагается воздействовать на изоляцию кабельной линии высоковольтным испытательным импульсом прямоугольной формы. При длительности импульсов порядка десятков наносекунд они будут распространяться по длине кабеля, воздействуя на изоляцию на длине нескольких метров. Сформировавшиеся сигналы ЧР и время их прихода в устройству измерения позволят оценить степень дефектности изоляции и рассчитать место расположения этого дефекта.

Схема испытательной установки представлена на рис. 3. Для определения характеристик частичных разрядов предлагается модифицированная мостовая схема измерения с применением прибора для измерения характеристик частичных разрядов ИЧР-201. Схема измерения представлена на рис. 4.

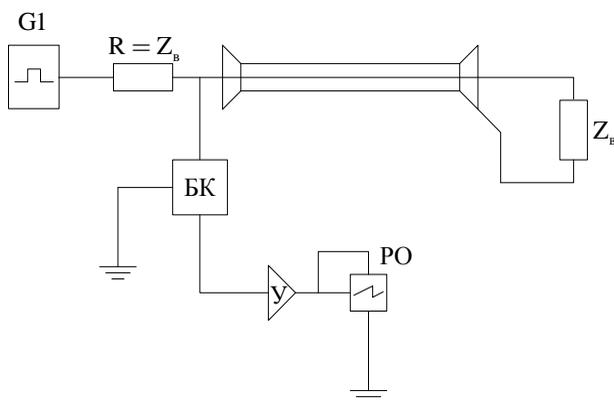


Рис. 3. Схема испытательной установки, G1 – генератор прямоугольных импульсов короткой длины, Z_b – волновое сопротивление кабельной линии, БК – блок коммутации, У – усилитель, ПО – осциллограф

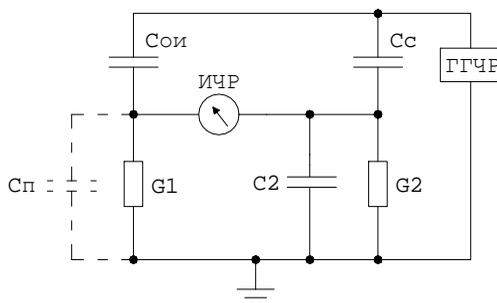


Рис. 4. Схема измерения характеристик ЧР: C_c – соединительный конденсатор, $C_{ои}$ – ёмкость объекта испытаний, ГГЧР – градуировочный генератор

Таким образом, разрабатываемая система позволит своевременно обнаруживать дефекты в изоляции кабелей и оценивать их остаточный ресурс работоспособности.

Библиографический список

1. **Г.С. Кучинский** Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1979. – 224 с.
2. **И.Н. Привалов** Современные методы и технические средства для испытаний и диагностики силовых кабельных линий // Учебное пособие. – СПб, 2008.

*А.М. Дубов, Р.С. Несынов, студенты;
рук. М.Е. Тихов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АКТИВНЫЕ УСТРОЙСТВА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Молния – уникальное природное явление. Именно с ней связывают подавляющее большинство отключений ЛЭП в весенне-летний период. От молнии защищают здания, воздушные и морские суда. Первую и достаточно простую молниезащитную систему – стержневой молниеотвод в середине 18-го века предложил Б.Франклин.

Традиционная конструкция молниеотводов (стержневые, тросовые и молниеприёмная сетка), как и их эффективность остается неизменной в течение длительного исторического периода. Однако модернизация систем молниезащиты не потеряла свою актуальность.

Ведутся исследования [1] по повышению эффективности традиционных методов грозозащиты ЛЭП за счет применения грозозащитных тросов нового поколения из полимерных материалов.

Повышение эффективности защитного действия молниеотводов связывают с применением нетрадиционных, так называемых активных устройств молниезащиты (с упреждающей стримерной эмиссией (ESE – early streamer emission), с применением лазера, защита объекта по средствам триггерного разряда, с использованием радиоактивных элементов).

В их основе лежат различные воздействия на электрическое поле или состояние воздуха у вершины стержня, которые способствовали бы более раннему инициированию встречного лидера [2].

Радиоактивные молниеотводы. Предложены французскими исследователями почти в середине прошлого века [3]. На вершине молниеотвода размещалась капсула с радиоактивным веществом. Его излучение ионизирует воздух в окрестности капсулы, что, как считалось, способствует управлению процессом ориентировки разряда и выбором точки удара. Однако мощность

источника излучения на молниеотводе ограничена и недостаточна для возбуждения встречного лидера, а применение радиоактивных веществ в устройстве является его самым существенным недостатком.

Триггерная молниезащита. Данный вид молниезащиты является уникальным ввиду своих конструктивных особенностей. Молниевулавливание происходит по средствам запуска с земли металлического проводника на высоту до 300 м. Триггерные разряды используются в основном для изучения параметров молниевых разрядов.

Лазерная искра должна играть роль молниеотвода и изменить направление развития разряда в сторону от защищаемого объекта. Высокоионизированный канал создается при фокусировке излучения лазерной установки длиннофокусной линзой. Во время грозы лазерная установка должна находиться в ждущем режиме, и сигнал для срабатывания затвора квантового генератора должен подаваться при достижении зарядом на защищаемом объекте заранее определённого критического значения [4]. Как и в случае с триггерной защитой подобная технология достаточно сложна и требует наличия систем мониторинга грозовой обстановки.

Система молниезащиты с упреждающей стримерной эмиссией. В настоящее время в мире используется более 50 000 тысяч подобных систем. ESE-молниеприемниками снабжены такие объекты как Собор Парижской Богоматери, аэропорт им. Шарля де Голля, Красная Крепость в Дели, штаб-квартира компании Renault, отель Найянт в Денвере (США), небоскреб CenralPlaza, здание Белэкспо в г. Минске (рис. 1), Оперный театр в г. Осло (Норвегия).



Рис. 1. Применение ESE-молниеприемника.

Имеется опыт использования ESE молниеотводов и в России [5].

Конструкция ESE молниеприёмника показана на рис. 2 [6]. Основой конструкции является накопитель энергии, который заряжается от тока короны. Параметры устройства подбираются таким образом, что оно срабатывает при приближении лидера молнии к высоте ориентировки (150 – 200 м).

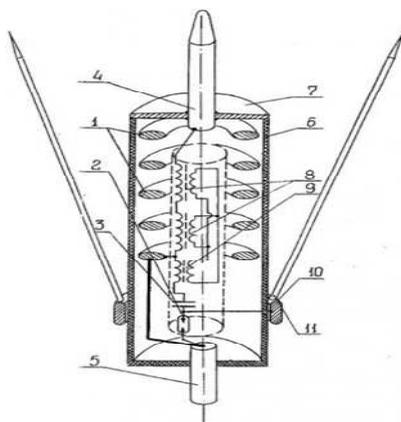


Рис. 2. Конструкция ESE молниеприёмника: 1 – многосекционный разрядник; 2 – генераторный разрядник; 3 – конденсатор; 4 – стержень; 5 – заземлитель; 6 – корпус; 7 – проводящая крышка; 8 – повышающий трансформатор; 9 – изолирующий трансформатор; 10 – основание; 11 – боковые стержни

Импульс высокого напряжения на стержне 4 инициирует встречный лидер. Таким образом, при попадании молнии в стержень молниеприёмника многосекционный разрядник пробивается, замыкая корпус на «землю» и защищая устройство от разрушения.

В отличие от традиционного молниеприёмника, активный должен обеспечивать более раннее возбуждение встречного стримера.

Как утверждают разработчики, эта технология наиболее пригодна для массового применения, а также, что несмотря на довольно высокую стоимость самих активных молниеприёмников, их применение позволяет получить значительную экономию на системе молниезащиты в целом на зданиях с большой площадью кровли и с кровлей сложной конфигурации.

Кроме того, производителями ESE-молниеприёмников указывается и об увеличении приблизительно в 5 раз зоны защиты на уровне земли такого молниеотвода по отношению к традиционному той же высоты.

Это в свою очередь является не сколько преимуществом, сколько недостатком. Согласно [7] радиус стягивания, определяющий число ударов молнии в молниеотвод за грозовой сезон увеличивается с ростом зо-

ны защиты на уровне земли, и как следствие возрастает поражаемость такого молниеотвода.

Кроме того, при проектировании, применение систем активной молниезащиты в России, никак не регламентировано.

В действительности, как отмечено рядом авторов [8, 9], при установке активной молниезащиты заказчик получает обыкновенный стержневой молниеотвод, но за гораздо большие деньги.

По результатам работы в 2003 году сессии IEEE Power Engineering Society, а также в 2004 году на малазийском форуме ассоциации инженеров-консультантов (АСЕМ) были представлены данные, подтверждающие неэффективность применения активных систем молниезащиты.

Библиографический список

1. **Гусенков, А.В.** Применение грозотросов из полимерных материалов с повышенной электропроводностью / А.В. Гусенков, С.В. Воробьев // Энергетик. – № 10. – 2013.
2. **Сборник** статей и научно популярных изданий за 2011 – 2012 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dehn-ru.com>.
3. **Ларионов, В.П.** Защита зданий и производственных сооружений от молнии / В.П. Ларионов. – М.: Энергия, 1974.
4. **Александров, Г.Н.** Молния и молниезащита / Г.Н. Александров. – М.: Наука, 2008.
5. **III Международная конференция** по молниезащите. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lightningprotection.ru>.
6. **Молниеотвод** с повышенной молниезащитой. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ntpo.com>.
7. **Базелян, Э.М.** Еще раз про ESE-молниеотводы / Э.М. Базелян // Новости Электротехники. – № 1 (79). – 2013.
8. **Marley Beeera, Vemon Cooray.** Laboratory experiments cannot be utilized to justify the action of early streamer emission terminals / Journal of Physics D: Applied Physics. – V.41. – 2008.
9. **W. Rison.** Experimental validation of conventional and non-conventional lightning protection systems / 2003. Report on Conf. IEEE. Toronto, Canada.

*М.А. Ковалёв, студ.;
рук. И.Е. Шишкова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ НА МНОГОГРАННЫХ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОПОРАХ

Важность, актуальность и сложность проблемы негативного влияния на био- и техносферу со стороны электрических полей, создаваемых объектами электроэнергетики, подтверждены многочисленными расчетными и экспериментальными работами последних лет [1].

Для соблюдения санитарных и строительных норм по допустимым напряженностям поля, в частности при выборе размеров зон отчуждения для линий электропередачи высокого напряжения, необходима точная и полная информация об электромагнитной обстановке, обусловленной полями искусственного происхождения.

Теоретический анализ структуры поля линии может быть проведён с помощью расчетных моделей, точность которых в настоящее время ограничена только объемом оперативной памяти ЭВМ. Большинство таких моделей ориентировано на расчет действующих значений пространственных составляющих напряженности поля, в то время как некоторые «электростатические эффекты» полей ЛЭП коррелируются с другими характеристиками вектора напряженности. Например, граница зоны экологического воздействия определяется величиной наибольшего модуля вектора напряженности $E_{m,наиб}$, определяемой по мгновенным значениям проекции E_x E_y с учетом начальных фаз соответствующих пространственных составляющих напряженности, зависящих, в свою очередь, от расположения точки наблюдения в выбранной системе координат.

Анализ распределения $E_{m,наиб}$ (x) на различных расстояниях от земли подтвердил целесообразность замены семейства профилей сложной формы линиями равного уровня наибольшего модуля напряженности.

В данной работе на математической модели исследованы электрические поля высоковольтной линии электропередач на композитных и многогранных опорах, конструкции которых приведены на рис. 1.

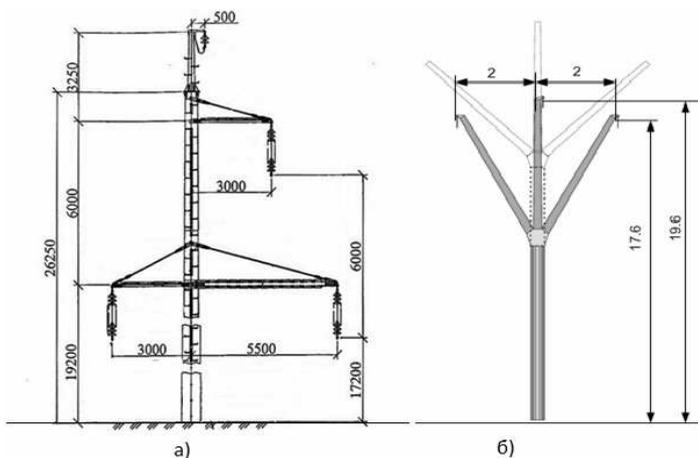
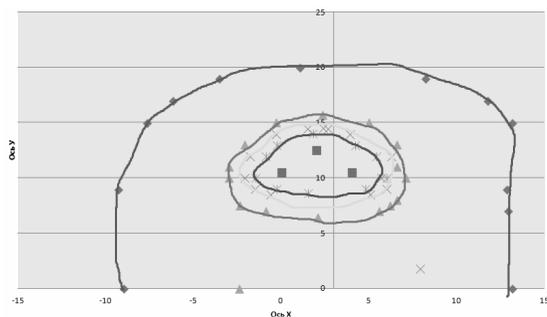


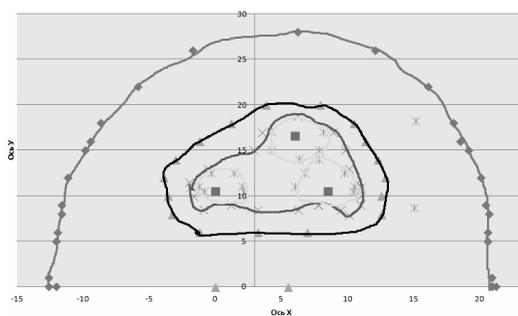
Рис. 1. Конструкции опор ЛЭП 220 кВ : а) ПМ-220-1; б) Композитная опора с изолирующей головкой

Для соответствующих поле-образующих систем рассчитаны пространственные распределения напряженностей электрического поля, по которым можно сделать выводы о воздействии электрического поля на техно- и биосферу.

Результаты представлены в виде карт изолиний наибольшего модуля напряженности электрического поля (рис. 2). По картам можно судить о том, где локализовано наиболее сильное поле и каковы границы и формы соответствующих областей. Карты позволяют сравнить на стадии проектирования различные варианты конструкции ВЛ по критериям безопасности и экологичности. Карта может быть полезна для выбора маршрута движения пилотируемого или беспилотного летательного аппарата при проведении контроля состояния изоляции линии по длине трассы. Карта позволяет наиболее точно определить границы санитарно-защитной зоны и определить условия пересечения ЛЭП с автодорогами.



а)



б)

Рис. 2. Карты изолиний наибольшего модуля напряженности электрического поля: а) композитная опора; б) многогранная опора; ■провода; ▲5кВ/м; ◆1кВ/м; ×10кВ/м; ✖15кВ/м

Проведено сравнение распределения электрического поля вблизи линий на композитных опорах и многогранных опорах. Показано, что сокращение межфазных расстояний с 8,5 м (многогранные опоры) до 4 м (композитные опоры) и использование изоляционных свойств опоры из композитных материалов удаляет область сильного поля ($E \geq 5 \text{ кВ/м}$) от плоскости земли, и уменьшает размеры соответствующих различным напряженностям областей, что делает более безопасным проведение вблизи линии хозяйственной деятельности. В частности из рис. 2 следует, что использование композитных опор позволяет сократить санитарно-защитную зону с 33 до 22 метров.

Библиографический список

1. Дубинич Л.А., Каверина Р.С., [Яковлев Л.В.]. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации. – Доклад на III Российской с международным участием научно-практической конференции «ЛЭП». – Новосибирск, 2008.

*А.Д. Малышева, М.Э. Софьина, студенты;
рук. М.Е. Тихов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ

Защита объектов различного назначения от прямых ударов молнии выполняется с помощью стержневых или тросовых молниеотводов. Принципиально структура молниеотвода не изменилась со времен Франклина: молниеприемник, непосредственно воспринимающий на себя удар молнии, токоотвод и заземлитель.

Альтернативой традиционной конструкцией молниеприемника в последние десятилетия является так называемый активный или ESE-молниеприемник (early streamer emission – упреждающая стримерная эмиссия) [1], позволяющий по заверению его производителей обеспечивать более быстрое создание встречного лидера, способствующего перехвату молнии на значительном удалении от вершины молниеприемника.

Кроме того, имеется опыт применения DAS-молниеотводов (dissipation array systems) или так называемых «рассеивателей» (рис. 1), которые, должны обеспечивать создание зоны коронного разряда, препятствующей прорастанию встречного лидера, и тем самым как бы предотвращая развитие нисходящего лидера молнии в сторону защищаемого объекта [2]. Фирма-производитель Lightning Eliminators &

Consultants, Inc. (США) заявляет о применении 3000 таких систем более чем в 70 странах мира [3].

Вопросам эффективности ESE и DAS-молниезащитных систем посвящено множество работ и исследований [4].



Рис. 1. Применение «активных» DAS-молниеотводов в аэропорту (США)

В отличие от идеологии DAS-систем, в работах Г. Н. Александрова [5] были проведены исследования по определению вероятности прорыва молнии к защищаемому стержневыми молниеотводами с развитой в горизонтальном направлении вершиной (тороиды, консольные элементы) объекту.

Рассматриваемая конструкция вершины значительно уменьшает вероятность прорыва молнии к защищаемому объекту. Это обусловлено тем, что происходит увеличение заряда на вершине молниеотвода (за счет увеличения емкости по отношению к окружающим объектам) и повышается вероятность ориентировки молнии на молниеотвод.

Кроме того, подобная конструкция вершины позволяет применять молниеотводы меньшей высоты, чем традиционные при аналогичной величине надежности.

Исследования показали, что эффективность консольной конструкции падает при числе составляющих более шести. В этом случае экономичней применение тороидальных систем.

Для молниезащиты объектов, выбрасывающих в атмосферу горючие и взрывоопасные вещества, была предложена [6] конструкция отдельного стоящего молниеотвода, рассчитанная на исключение искрообразования в зоне горючих и взрывоопасных газовых выбросов (рис. 2).

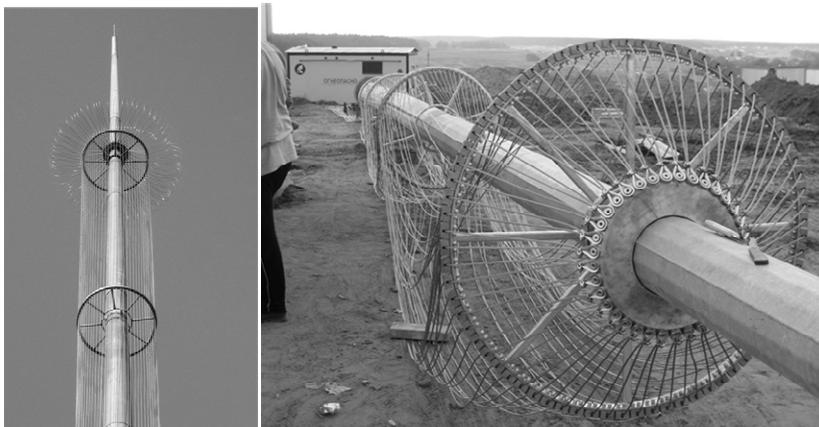


Рис. 2. Искробезопасный молниеотвод

За счет предлагаемого технического решения (экранирующая оболочка боковой поверхности стойки молниеотвода в виде расщепленных металлических тросов) радиальное поле молниеотвода не превышает порог ионизации воздуха, и тем самым не дает старт коротким искровым незавершенным разрядам.

В противном случае, благодаря высокой температуре плазмы в каналах таких разрядов, их контакт с зоной горючих газовых выбросов в атмосферу повышает вероятность возгорания или взрыва.

Высота экранирующей оболочки составляет 80 % от полной высоты молниеотвода.

Библиографический список

1. **III Международная конференция по молниезащите** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lightningprotection.ru>.
2. **Князев В.В.,** Кравченко В.И., Лесной И.П., Мельников П.Н. Результаты исследования параметров активных молниеприемников и рассеивателей // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2008. – Вып. 21.
3. **Lightning Eliminators & Consultants, Inc. (LEC).** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lightningprotection.com/#projects>.
4. **Lightning Protection /editor,** Vernon Cooray. – UK, London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. – P.1070.
5. **Александров, Г.Н.** Молния и молниезащита / Г.Н. Александров.– М.: Наука, 2008.
6. **Пат. 2382464 С1,** Российская Федерация, МПК H02H/ 9/04. Устройство для молниезащиты / Э.М. Базелян и др.; заявитель и патентообладатель Э.М. Базелян и др. – № 2009102066/09; заявл. 23.01.2009; опубл. 20.02.2010, бюл. № 5.

*В.А. Корнеев, Д.А. Кузьмин, студенты; рук. Ю.М. Степанова
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОМЕХИ ОТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Применение сверхвысоких и высоких напряжений в современной электроэнергетике позволяет значительно увеличить пропускную способность линий электропередач (ЛЭП) и уменьшить потери электроэнергии в них. Но нужно учитывать особенность ЛЭП сверхвысокого и высокого напряжения – образование коронного разряда.

Коронный разряд возникает в неоднородном электрическом поле и представляет собой частичный пробой воздушного промежутка. Коронный разряд является источником дополнительных потерь электроэнергии. Кроме того, он является мощным источником высокочастотных помех, который воздействует на современные микропроцессорные устройства, радио- и телеаппаратуру. Коронный разряд создает помехи радиоприему в полосе частот от 0,15 МГц до 1 ГГц [3].

К факторам, способствующим образованию короны, относятся:

1. Напряжение линии электропередач. Напряжение линии электропередач определяет напряженность на поверхности провода. Чем больше напряженность на поверхности провода, тем больше скорость увеличения потенциала на нем, следовательно, тем больше коронных разрядов происходит на единице поверхности провода.

2. Диаметр провода. Уровень помех повышается с увеличением диаметра провода. Электрическое поле, излучаемое от поверхности провода, при увеличении диаметра провода ослабевает медленнее, чем на проводе меньшего диаметра. Поэтому электрическое поле, окружающее провод большего диаметра, может дольше поддерживать коронные разряды, чем электрическое поле, образованное вокруг провода меньшего диаметра.

3. Состояние поверхности провода. Состояние поверхности провода сильно влияет на образование короны. Новый провод создает больше помех от короны и вызывает их даже в хорошую погоду из-за неровностей поверхности (заусенцы на поверхности алюминия). С увеличением срока эксплуатации провода радиопомехи от него снижаются.

4. Атмосферные и погодные условия. Повышение температуры или понижение атмосферного давления воздуха, или то и другое вместе могут увеличивать разреженность воздуха. Это приводит к уменьшению пробивной прочности воздуха, а, следовательно, к увеличению вероятности появления короны на проводе. Дождь и снег вызывают наибольшее увеличение числа коронных разрядов на поверхности провода и могут повысить уровень радиопомех более чем на 20 дБ по сравнению с помехами

от той же линии при отсутствии осадков. Разряды могут возникать также и при пролете снежинок или капель воды мимо провода.

Наиболее важными параметрами, влияющими на уменьшение величины радиопомех от короны на проводах, являются диаметр провода и число проводов в фазе. Такие параметры ЛЭП как высота проводов над землей, расстояние между фазами или шаг расщепления фазы, оказывают меньшее влияние на уровень радиопомех. На практике они обычно определяются механическими требованиями и требованиями электрической прочности воздушных промежутков.

Присутствие на проволоках отложений посторонних веществ, таких как грязь или наличие оцарапанных проволок может приводить к сильным локальным разрядам короны вследствие высоких местных повышенных напряжений, что может значительно повысить уровень помех от линии. Поэтому необходимо избегать повреждения поверхности провода при транспортировке и монтаже линии.

Оборудование подстанций, изоляторы и арматура могут быть источниками радиопомех, а также в некоторых случаях и телевизионных помех. Это может быть вызвано различными явлениями: коронными разрядами на изоляторах и арматуре, поверхностными разрядами на изоляторах [2].

Коронные разряды на арматуре вызываются высоким изменением потенциала на некоторых участках поверхности такой арматуры, как защитные кольца или полукольца, распорки и соединения. Если предположить, что напряжение, приложенное к арматуре, постепенно повышается, то на ней происходят многочисленные процессы разряда. Только некоторые из них способны создавать радиопомехи, однако все они вызывают свечение и влияют на потери, вызываемые коронным разрядом. Помехи от арматуры увеличиваются во время дождя или при высокой влажности из-за увеличения локальных областей с повышенным потенциалом, вызванных наличием капель воды на поверхности элементов арматуры.

На этапе разработки арматуры необходимо принимать решения для уменьшения радиопомех, возникающих на арматуре ЛЭП. Остриев и выступов на арматуре следует избегать. Все кромки и углы должны быть хорошо скруглены, головки болтов должны быть скруглены и экранированы.

Помехи от изоляторов могут быть вызваны различными причинами, большинство которых связаны с явлениями, происходящими на их поверхности. Например, коронные разряды, вызванные неоднородностями в виде налетов сухих веществ или капель воды или искрением на сухих участках, вызванным токами утечки на загрязненных изоляторах. Радиопомехи могут возникать в результате разрядов между цементом и фарфором или стеклом, если на стыках между ними имеются небольшие воздушные зазоры.

Уровни помех снижают уменьшением уровня напряжения при использовании изоляторов со специальными характеристиками. Например, изоляторы, выполненные из органических материалов, или стеклянные или фарфоровые изоляторы, покрытые консистентной смазкой, предотвращают образование сплошного влажного слоя. Установка таких изоляторов снижает уровень помех в условиях влажности и загрязнения. При продолжительном сроке службы поверхности изоляторов загрязняются и подвергаются смачиванию, в результате начинают создаваться помехи. Другое решение – установка изоляторов, покрытых полупроводящей глазурью. Они характеризуются низкими уровнями помех в условиях загрязнения. Токопроводящая глазурь улучшает распределение напряжения и, вследствие нагревания, вызываемого протеканием тока по слою глазури, образуются широкие сухие участки, и приложенное напряжение не может вызывать перекрытий.

Таким образом, мероприятия по ограничению помех необходимо проводить на стадии разработки отдельных конструктивных элементов линии электропередач.

Библиографический список

1. РД 50-725-93 (СИСПР18-2). Совместимость технических средств электромагнитная Радиопомехи промышленные от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Методы измерения и процедура установления норм.
2. РД 50-724-93 (СИСПР18-3). Совместимость технических средств электромагнитная Радиопомехи промышленные от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Практические рекомендации по уменьшению помех.
3. РД 50-723-93 (СИСПР18-1). Совместимость технических средств электромагнитная Радиопомехи промышленные от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Описания физических явлений.

Н.А. Матвеев, студ.;
рук. Г.А. Филиппов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ ВВОДОВ

Оценка состояния изоляции ввода проводится на основании анализа всей совокупности результатов испытаний. При этом необходимо установить связь между характером предполагаемых дефектов, динамикой их развития и контролируруемыми параметрами. Характерные дефекты, возникающие в изоляции герметичных вводов в эксплуатации [1]: увлажнение остова, тепловая неустойчивость (развитие теплового пробоя), старе-

ние, загрязнение, увлажнение масла, осадок на остова и внутренней поверхности нижней крышки, частичные разряды в остова, масле, поверхностные разряды.

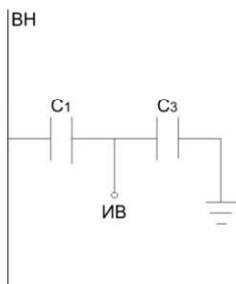


Рис. 1. Схема замещения изоляции ввода

В ходе испытаний контролируются сопротивления изоляции R_1 и R_2 , емкости C_1 и C_2 (рис. 1), $tg\delta_1$ и $tg\delta_2$, характеристики трансформаторного масла, концентрация растворенных газов. Предельные значения этих параметров и динамика их изменения регламентируются [2]. Основанием для принятия решения о дальнейшей эксплуатации ввода или его браковки служит общая оценка степени ухудшения технического состояния и учет опыта эксплуатации.

Наиболее опасные виды дефектов, как показал анализ повреждений вводов, связаны с появлением примесных частиц в масле, осадка жёлто-бурого цвета и отложения его на внутренней поверхности нижней крышки или изоляционного остова. Основная доля пробоев вводов происходила из-за завершения ползущих поверхностных разрядов по осадку на фарфоре при рабочем напряжении. Часть пробоев развивалась на поверхности остова.

В ряде случаев при появлении дефектов имеет место увеличение $tg\delta$ основной изоляции, но при появлении желто-бурого осадка $tg\delta$ может уменьшаться и даже принять отрицательные значения. Уменьшение тангенса угла диэлектрических потерь вплоть до отрицательных значений может происходить по следующим причинам: 1) под воздействием внешних электрических полей; 2) за счет шунтирующего действия паразитной емкости и сопротивления между обкладками и проводящими загрязнениями на поверхности остова.

Снижение $tg\delta$ под воздействием внешних электрических полей рассмотрено в [3]. Следовательно, научный интерес представляет изучение физических процессов, происходящих в объекте за счет шунтирующего действия паразитной емкости и сопротивления между обкладками и проводящими загрязнениями на поверхности остова, при измерении тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции.

На схеме замещения высоковольтного ввода (рис. 2) емкость S_x объекта представлена в виде цепочки из нескольких последовательно соединенных конденсаторов т.к. такое представление ближе к реальному

объекту. Пути паразитных токов показаны включением соответствующих проводимостей.

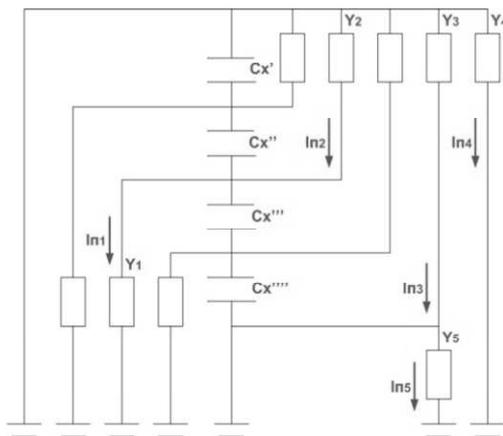


Рис. 2. Схема замещения высоковольтного ввода

Паразитный ток $I_{п3}$ вызывается в основном утечками по поверхности контролируемого объекта между электродами, а также током короны на проводах схемы измерений. Токи $I_{п1}$ и $I_{п2}$ протекают по частичным емкостям изоляционной конструкции объекта относительно деталей, находящихся под напряжением измерительной установки, или заземленным. Паразитный ток $I_{п4}$ обусловлен емкостью и проводимостью деталей объекта, связанных с источником напряжения. Ток $I_{п5}$ протекает по емкостям и проводимостям, шунтирующим измерительный элемент схемы измерения.

Ток $I_{п3}$ зависит от степени загрязнения поверхности изоляционной конструкции, от её увлажнения. Погрешности измерения, вносимые токами $I_{п2}$ и $I_{п1}$, также нередко связаны с состоянием поверхности объекта. Паразитные токи $I_{п2}$ и $I_{п1}$ замыкаются и через отложения на внутренней поверхности фарфоровой крышки объекта, которые вызваны старением и разложением масла.

Для анализа физических процессов происходящих в изоляции ввода воспользуемся упрощенной схемой замещения изоляции ввода (рис. 3), считая, что в основной изоляции остова диэлектрических потерь нет (или они близки к нулю) и потери обусловлены лишь проводящими осадками на нижней поверхности изоляционного остова и на внутренней поверхности нижней фарфоровой крышки.

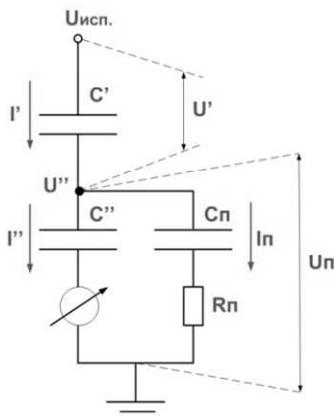


Рис. 3. Упрощенная схема замещения изоляции ввода

Эквивалентная паразитная емкость $C_{п}$ включена между двумя емкостями C' и C'' , составляющими емкость объекта.

На векторной диаграмме I' – измеряемый ток через объект. Напряжение U'' – падение напряжения от тока I'' на емкости C'' – отстает по фазе от тока на 90° (емкость C'' без потерь). Паразитный ток $I_{п}$, вызванный этим же напряжением, имеет активную и реактивную составляющие, а, следовательно, опережает напряжение на угол $90^\circ - \delta_{п}$, где $\delta_{п} = \arctg \omega C_{п} R_{п}$.

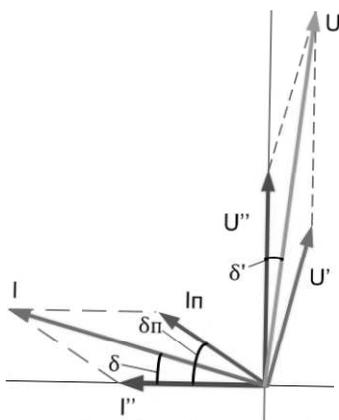


Рис. 4. Векторная диаграмма к расчету погрешности при измерении $\epsilon_{гз}$

Суммарный ток $\bar{I} = \bar{I}' + \bar{I}''$ протекая по емкости C' , вызовет падение напряжения U' , сдвинутое относительно тока на 90° (емкость C' без потерь). Сумма напряжений U' и U'' и есть испытательное напряжение U , относительно которого будет измерена фаза тока I'' . Этот ток опережает напряжение U на угол $90^\circ + \delta'$, т.е. будет измерено отрицательное значение угла диэлектрических потерь.

Таким образом, измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ в условиях эксплуатации при его возрастании по сравнению с предыдущим значением указывает об увлажнении, старении, загрязнении изоляции. Но в ряде случаев при влиянии внешних электрических полей и из-за отложения осадка на поверхности изоляции остова и внутренней поверхности фарфоровой рубашки значение тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ снижается и даже может принять отрицательное значение.

Библиографический список

1. **Славинский А.З.** Высоковольтные вводы: Расчет, конструирование и ремонт. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2001.
2. **Объёмы** и нормы испытания электрооборудования: РД 34.45-51.300-97. – М., 1998. – 154 с.
3. **Масленников Н.В.** Исследование влияния внешних электрических полей при измерении тангенса угла диэлектрических потерь высоковольтных вводов: Материалы научной конференции студентов и аспирантов ИГЭУ «Энергия». – 2012.

Содержание

Секция 16. Электротехника и электротехнологии

<i>И.Ю. Долгих; рук. А.Н. Королёв</i> Исследование многослойной модели индукционного нагрева	3
<i>В.В. Волков, И.Ю. Долгих; рук. А.Н. Королёв, А.С. Орлов</i> Исследование энергетических характеристик индукционного нагрева в программе ELCUT	7
<i>Е.С. Зайцев; рук В.Д. Лебедев</i> Формирование граничных условий для расчёта электромагнитного поля коаксиального бронированного кабеля методом конечных элементов с учётом проводимости бесконечного грунта	11
<i>А.А. Низамеев; рук. А.И. Рудаков</i> Перспективы применения индукционного освещения – как мероприятия по экономии электрической энергии	16
<i>М.Ф. Низамиев, Р.Р. Гибадуллин; рук. И.В. Ившин</i> Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния стержневых опорных изоляторов . . .	19
<i>И.С. Снитко; рук. В.А. Мартынов</i> Применение математической модели динамических электромагнитных процессов в измерительных трансформаторах при подключении нагрузки	23
<i>Д.В. Волкова; рук. В. А. Камакин</i> Система регулирования тока на базе параметрического трансформатора	26
<i>Н.В. Гондина, рук. О.А. Пустовая</i> Анализ резервов экономии электроэнергии бытовыми потребителями	29
<i>В.Д. Карачёв; рук. А.Н. Голубев, В.А. Мартынов</i> Улучшение виброшумовых характеристик синхронного электропривода	33
<i>Е.А. Степанов; рук. Г.И. Бояринов</i> Качественная оценка конструкции двигателя серии 4П применительно к учебному проектированию	36
<i>А.Ю. Меркулов; рук. М.С. Сайкин</i> Применение теории фракталов для решения задач электротехники	39
<i>Д.Н. Грузков; рук. А.Е. Сидоров</i> Беспилотный летательный аппарат для диагностики линии электропередач с интеллектуальной системой управления	43
<i>М.В. Смирнов, А.И. Бобков; рук. А.В. Топоров, Е.А. Топорова</i> Разработка радиально-комбинированного магнитожидкостного уплотнения с магнитоэластмерным источником магнитного поля	45
<i>Д.Ю. Морозова; рук. М.С. Сайкин</i> Моделирование магнитожидкостных датчиков с различными конструкциями чувствительного элемента	47
<i>А.С. Волков, А.И. Копалов; рук. М.С. Сайкин</i> Численное исследование магнитожидкостного герметизатора с регулируемыми параметрами магнитной индукции	51
<i>О.В. Демиденко; рук. М.С. Сайкин</i> Исследования серии вакуумных и газовых магнито-жидкостных герметизаторов с улучшенными массогабаритными параметрами	54
<i>Е.Е. Болкунов; рук. А.В. Калинин</i> Исследование тепловыделения от галогеновых ламп	58
<i>А.В. Скоробогатов, С.Л. Сафонов; рук. О.А. Пустовая</i> Устройство для пространственной ориентации инвалидов	60
<i>А.П. Пахомов, А.А. Карташова; рук. С.Ю. Ситников, В.Ф. Новиков</i> Перспективы разработки новых конструкций инверторных источников тока	63
<i>А.В. Алейников; рук. В.А. Мартынов, А.Н. Голубев</i> Расчет радиальных электромагнитных сил, действующих на зубцы синхронного двигателя с постоянными магнитами	66

Секция 17. История электротехники

<i>А.А. Герасимов; рук. А.Н. Королёв</i> Томас Эдисон – величайший изобретатель, электротехник и бизнесмен 19-го века	70
---	----

<i>А.В. Самсонов; рук. А.В. Макаров</i> История создания программы EMTP-RV	71
<i>М.В. Зотова, Ю.А. Кузнецова; рук. В.А. Мартынов</i> «Чудеса» магнитного железняка, янтаря и электрических рыб	73
<i>М.Ю. Абрамова; рук. М.С. Сайкин</i> Никола Тесла. Незаслуженно забытый	77
<i>О.В. Бровентьев; рук. Г.В. Чекан</i> История создания генератора переменного тока	79
<i>Е.И. Некрасова; рук. А.Н. Королев</i> Оставшаяся в тени. Первая женщина-электрик	81
<i>М.В. Зотова, Ю.А. Кузнецова; рук. В.А. Мартынов</i> Электростатическая машина, открывшая новые свойства электричества	83
<i>М.В. Ильина; рук. М.С. Сайкин</i> История развития сверхпроводников	86
<i>Д.Г. Елисеев; рук. Г.В. Чекан</i> У истоков полупроводниковых устройств	90
<i>М.А. Чадов; рук. А.Н. Скорлѳв</i> Никола Тесла – всемирно известный электротехник	94
<i>А.Н. Ивашина, А.С. Смирнова; рук. В.А. Мартынов</i> Суд над электрической лампочкой	95
<i>А.А. Карцев; рук. М.С. Сайкин</i> Электромобиль: из будущего в прошлое	97
<i>М.Ю. Пручкин; рук. Г.В. Чекан</i> История возникновения аккумулятора	100
<i>А.Г. Смирнова, Ю.А. Карманова; рук. В.А. Мартынов</i> Первый источник электрического тока	104
<i>Н.В. Лебедева, А.Ю. Меркулов; рук. М.С. Сайкин</i> История создания и развития реле	107
<i>В.А. Сударькова; рук. Г.В. Чекан</i> Солнечные батареи: прошлое и будущее	111
<i>Ю.А. Карманова, А.Г. Смирнова; рук. В.А. Мартынов</i> Поиски путей передачи электроэнергии на большие расстояния	114
<i>И.Н. Румянцев; рук. М.С. Сайкин</i> История создания и развития транспортных средств на магнитном подвесе	118
<i>Д.С. Трухин; рук. Г.В. Чекан</i> Создание первого трамвая на электрической тяге	121
<i>А.С. Смирнова, А.Н. Ивашина; рук. В.А. Мартынов</i> Тесла и Эдисон: битва электрических королей	124
<i>С.Н. Фролов; рук. М.С. Сайкин</i> История создания электромагнитного оружия	127
Секция 18. Электрооборудование и режимы электрических станций и подстанций	
<i>И.А. Галишина, А.А. Карташова; рук. В.Ф. Новиков</i> Обоснование необходимости организации системы диагностики малонаполненного электрооборудования	131
<i>Ндайизейе Мартин; рук. А.Е. Усачев; н. конс. Р.Г. Ильдарханов</i> Анализ различий амплитудно-частотных характеристик обмоток однофазных силовых трансформаторов	135
<i>Я.В. Потачиц; И.И. Сергей</i> Оценка сил сжатия дистанционных распорок расщеплённой фазы при коротком замыкании	137
<i>Р.В. Шилак; рук. Ю.В. Бладыко</i> Обратная задача механического расчета проводов распределительных устройств	141
<i>А.А. Шпаковский, А.Г. Баран; рук. П.И. Климкович</i> Расчет электродинамической стойкости токоведущих конструкций с жесткими произвольно расположенными составными проводниками	143
<i>Е.А. Ельникова, М.М. Фолмин; рук. А.А. Скоробогатов</i> Применение технологий flash-анимации при разработке интерактивного учебника «Основы теории надежности»	147
<i>А.В. Шиков; рук. А.В. Рассказчиков</i> Анализ надёжности схем выдачи мощности	151
<i>М.В. Львов; рук. А.В. Рассказчиков</i> Анализ конструктивных характеристик силовых	156
<i>А.С. Карачева; рук. О.Н. Калачева</i> Разработка лабораторной работы по изучению баз данных	160
<i>Н.В. Баранова; рук. О.Н. Калачева</i> Метод оценки ресурса высоковольтных выключателей	162
<i>И.Б. Авлоева; рук. В.А. Савельев</i> Современное состояние автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии	166
<i>Р.Р. Киямов; рук. В.А. Савельев</i> Анализ повреждаемости комплектных подстанций и меры по ее снижению	170

<i>Е.А. Большаков; рук. В.А. Савельев</i> Система контроля и управления электрической частью АЭС с реактором типа БН-800	172
<i>А.А. Кротиков, Н.В. Глотова; рук. В.А. Савельев</i> Оценка продолжительности эксплуатации силовых трансформаторов после нормативного срока службы	174
<i>Н.В. Глотова, А.А. Кротиков; рук. Савельев</i> Анализ перспективных стратегий и информационных систем технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования	176
<i>С.Н. Литвинов, Е.М. Новоселов; рук. А.А. Скоробогатов</i> Теоретическое обоснование метода контроля состояния подшипников	178
<i>Д.Ю. Луговой, Д.А. Коробицын, А.Ю. Лагунов, В.Д. Терёхин</i> Исследование и экспериментальная отработка возможности применения источников альтернативной энергии для обеспечения функционирования оборудования спутниковой связи в условиях Арктики	181
Секция 19. Высоковольтные электроэнергетика и электротехника	
<i>Д.Е. Лебедев; рук. В.Е. Качесов</i> Аэродиагностика воздушных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения при помощи беспилотных летательных аппаратов	185
<i>И.В. Бубнов, А.Е. Саблин; рук. О.С. Мельникова</i> Статистические характеристики электрической прочности трансформаторного масла для маслонаполненного оборудования 110 кВ	189
<i>С.О. Мухин; рук. О.А. Баженов</i> К вопросу о диагностике нелинейного резистора ОПН	192
<i>А.В. Наумов; рук. Г.А. Филиппов</i> Определение влагосодержания твердой изоляции обмоток силовых трансформаторов расчётным методом по результатам измерения диэлектрических характеристик	196
<i>А.Н. Шапков, М.В. Акулицина; рук. Ю.А. Митькин</i> Испытательная ячейка для определения пробивного напряжения трансформаторного масла с эффективной системой его перемешивания	200
<i>Т.Е. Шадриков; В.Ф. Воробьев</i> Изучение формы выходного напряжения управляемой схемы умножения напряжения в устройстве испытания изоляции высоким напряжением	203
<i>Т.Е. Шадриков; А.М. Соколов</i> Методика оценки технико-экономических показателей высоковольтных силовых трансформаторов не промышленной частоты	206
<i>Т.Е. Шадриков, М.А. Яблоков; А.В. Макаров, Amir Arzande</i> Исследование систем HVDC с применением программного комплекса EMTP-RV	211
<i>Ю.А. Яльцева; В.Ф. Воробьев</i> Методы оценки остаточного ресурса вентильных разрядников с учетом требований методики современных технологий управления активными электроэнергетикой	214
<i>А.С. Монахов; рук. С.А. Словесный</i> Регистрация частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования	217
<i>А.С. Страхов; рук. В.Ф. Воробьев, С.А. Словесный</i> Диагностирование состояния изоляции кабельных линий по характеристикам частичных разрядов	221
<i>А.М. Дубов, Р.С. Несынов; рук. М.Е. Тихов</i> Активные устройства молниезащиты	225
<i>М.А. Ковалёв; рук. И.Е. Шишкова</i> Сравнительный анализ электрических полей высоковольтных линий на многогранных и стеклопластиковых опорах	228
<i>А.Д. Мальшева, М.Э. Софьина; рук. М.Е. Тихов</i> Современные конструкции стержневых молниеотводов	231
<i>В.А. Корнеев, Д.А. Кузьмин; рук. Ю.М. Степанова</i> Помехи от высоковольтных линий электропередачи	234
<i>Н.А. Матвеев; рук. Г.А. Филиппов</i> Особенности диагностики маслонаполненных герметичных вводов	236

ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКА

ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭНЕРГИЯ-2014»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3

Часть 2

*Составитель Макаров А.В.
Компьютерная верстка Фомичевой А.В.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать 31.03.2014. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,18.
Тираж 100 экз. Заказ № .
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.