

**Методические рекомендации
по проверке трансформатора тока**

Протокол проверки трансформатора тока

1. Объем выполнения работ при техническом обслуживании трансформатора тока. В соответствии с Правилами технического обслуживания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики, утвержденными приказом Минэнерго от 13.07.2020 г. N 555, при проведении технического обслуживания трансформатора тока выполняются следующие проверки:

- определение однополярных выводов первичной и вторичной обмоток и проверка их соответствия маркировке организации-изготовителя;
- проверка коэффициента трансформации на рабочем ответвлении;
- проверка вольт-амперной характеристики со снятием остаточной намагниченности;
- проверка рабочей точки характеристики намагничивания со снятием остаточной намагниченности.

2. Паспортные данные трансформатора тока. Паспортные данные трансформатора тока, для которого проводится техническое обслуживание, представлены в таблице.

Общие параметры	Тип трансформатора тока	Номинальное напряжение трансформатора тока, кВ	Номинальный первичный ток, А	Год выпуска
Параметры вторичных обмоток	Номинальный вторичный ток, А	Класс точности	Номинальная вторичная нагрузка, В·А	Номинальная предельная кратность / Номинальный коэффициент безопасности приборов
№1				
№2				

3. Определение однополярных выводов первичной и вторичной обмоток и проверка их соответствия маркировке организации-изготовителя. В соответствии с п. 9.4. ГОСТ 8.217-2003 при проверке правильности обозначения контактных зажимов и выводов допускается применять методы, описанные в руководстве по эксплуатации по работе с испытательным комплексом (см. страницы 93–94 руководства по эксплуатации РЕТОМ-25). При проверке правильности обозначения контактных зажимов и выводов действующее значение первичного тока должно быть не меньше 10% от номинального значения в соответствии с п. 9.4.2 ГОСТ 8.217-2003. При проведении проверки вторичной обмотки №1 с помощью комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.1 выполнить следующие действия:

- подключить амперметр РА к выводам вторичной обмотки №1 (вывод РА, отмеченный «*», должен быть подключен к выводу И1 вторичной обмотки);

- подключить источник №3 ($\sim U_5$, I5) к выводам первичной обмотки трансформатора тока (вывод источника, отмеченный «*», должен быть подключен к выводу Л1 первичной обмотки);
- замкнуть накоротко выводы всех прочих вторичных обмоток;
- настроить измеритель разницы фаз ϕ между током I5 (измерение) и током, измеряемым амперметром РА (опора);
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов РА, I5, ϕ ;
- в меню настройки диапазона источника №3 выбрать «150 А»;
- установить действующее значение первичного тока равным не менее 10% от номинального значения;
- зафиксировать значение разницы фаз в таблицу;
- оценить правильность маркировки первичной и вторичной обмоток.

Для проверки полярности прочих вторичных обмоток необходимо выполнить аналогичные действия.

	Вторичная обмотка №1	Вторичная обмотка №2
Значение разницы фаз, градус		

Вторичная обмотка трансформатора тока считается прошедшей проверку в случае, если разница фаз между первичным и вторичным токами близка к нулю.

4. Проверка коэффициента трансформации. В соответствии с п. 3.9. РД 153-34.0-35.301-2002 для проверки коэффициента трансформации необходимо использовать источник тока, подключаемый к выводам первичной обмотки, и амперметры, измеряющие первичный и вторичный токи. Действующее значение первичного тока должно быть не менее 25% от номинального. Для проверки коэффициента трансформации вторичной обмотки №1 с помощью испытательного комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.2 выполнить следующие действия:

- подключить амперметр РА к выводам вторичной обмотки №1 (вывод РА, отмеченный «*», должен быть подключен к выводу И1 вторичной обмотки);
- подключить источник №3 ($\sim U_5$, I5) к выводам первичной обмотки трансформатора тока (вывод источника, отмеченный «*», должен быть подключен к выводу Л1 первичной обмотки);
- замкнуть накоротко выводы всех прочих вторичных обмоток;
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов РА, I5;
- в меню настройки диапазона источника №3 выбрать «150 А»;
- установить действующее значение первичного тока равным не менее 25% от номинального значения;
- зафиксировать значения первичного и вторичного тока в таблицу;
- рассчитать действительный коэффициент трансформации;
- оценить отклонение рассчитанного коэффициента трансформации от паспортного значения.

Для проверки коэффициента трансформации прочих вторичных обмоток необходимо выполнить аналогичные действия.

Вторичная обмотка	Первичный ток, А	Вторичный ток, А	Коэффициент трансформации	Отклонение от паспортного значения, %
№1				
№2				

В соответствии с п. 7.4 РД 34.45-51.300-97 отклонение значения коэффициента трансформации от паспортного значения не должно превышать 2%.

5. Размагничивание магнитопроводов вторичных обмоток трансформатора тока перед снятием ВАХ.

⚠ ВНИМАНИЕ ⚠

При проведении проверки не допускается резкое регулирование напряжения на выводах вторичной обмотки. Напряжение требуется регулировать плавно.

В соответствии с Правилами технического обслуживания устройств и комплексов релейной защиты и автоматики, утвержденными приказом Минэнерго от 13.07.2020 г. N 555, перед снятием вольт-амперной характеристики и ее рабочей точки необходимо произвести размагничивание магнитопровода трансформатора тока. В соответствии с п. 9.3.3 ГОСТ 8.217-2003 для размагничивания магнитопровода вторичной обмотки №1 с помощью испытательного комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.3 выполнить следующие действия:

- настроить вольтметр U3 для измерения среднего абсолютного значения, приведенного к действующему значению, переменного напряжения (в меню указано как «СРВП1,11»);
- настроить амперметр I3 для измерения действующего значения тока (RMS);
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов U3, I3;
- в меню настройки диапазона источника №3 выбрать «20 А»;
- подключить источник напряжения №3 (~U3, I3) к выводам вторичной обмотки №1;
- разомкнуть первичную обмотку и прочие вторичные обмотки;
- ⚠ **плавно** подать переменное напряжение, при котором действующее значение вторичного тока равняется 10% от номинального значения ($I_2 = \text{_____ А}$);
- плавно (в течение 1-2 минут) уменьшать значение подаваемого напряжения до тех пор, пока значение тока не станет равным 0.2% от номинального значения ($I_2 = \text{_____ А}$).

Для размагничивания магнитопроводов прочих вторичных обмоток необходимо выполнить аналогичные действия.

6. Проверка вольт-амперной характеристики.

⚠ ВНИМАНИЕ ⚠

При проведении проверки не допускается резкое регулирование напряжения на выводах вторичной обмотки. Напряжение требуется регулировать плавно.

В соответствии с п. 3.7. РД 153-34.0-35.301-2002 вольт-амперная характеристика (ВАХ) вторичной обмотки трансформатора тока представляет собой зависимость среднего абсолютного значения переменного напряжения на выводах вторичной обмотки от действующего значения тока, протекающего по этой обмотке, при разомкнутой первичной

обмотке. Характеристика снимается до значения тока, равного $0,1K_{\text{пр}}I_{2\text{ном}}$ ($K_{\text{пр}}$ – номинальная предельная кратность; $I_{2\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток). После снятия характеристика сопоставляется с паспортной кривой для оценки наличия короткозамкнутых витков. Для вольт-амперной характеристики вторичной обмотки №1 с помощью испытательного комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.3 выполнить следующие действия:

- рассчитать максимальный вторичный ток, до которого снимается характеристика, $I_{2\text{м}} = 0,1K_{\text{пр}}I_{2\text{ном}}$ и записать в таблицу (крайняя правая ячейка строки «Расчетный ток, А»);
- рассчитать действующие значения подаваемого тока для каждой точки характеристики в соответствии с таблицей («Расчетный ток, А»);
- рассчитать значение напряжения на выводах вторичной обмотки при работе ТТ в линейном режиме $U_{2(10\%)} = k_{\text{пр ном}} S_{\text{ном}} / I_{2\text{ном}}$ ($I_{2\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток, А; $k_{\text{пр ном}}$ – номинальная предельная кратность; $S_{\text{ном}}$ – номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А.) и записать в таблицу;
- настроить вольтметр U3 для измерения среднего абсолютного значения, приведенного к действующему значению, переменного напряжения (в меню указано как «СРВП1,11»);
- настроить амперметр I3 для измерения действующего значения тока (RMS);
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов U3, I3;
- выбрать диапазон источника №3 (~U3, I3) в соответствии с рассчитанными параметрами: $U_{\text{диапазон}} > U_{2(10\%)}$ и $I_{\text{диапазон}} > I_{2\text{м}}$;
- подключить источник напряжения №3(~U3, I3) к выводам вторичной обмотки №1;
- разомкнуть первичную обмотку и прочие вторичные обмотки;
- **⚠ плавно** изменяя ток на выводах вторичной обмотки в соответствии с рассчитанными значениями («Расчетный ток, А»), фиксировать показания измерительных приборов U3, I3 и записывать их в таблицу («Напряжение U3, В» и «Ток I3, А»);
- после снятия всех точек провести размагничивание магнитопровода в соответствии с пунктом 5.
- построить вольт-амперную характеристику на координатной плоскости в соответствии с таблицей.

Для проверки вольт-амперной характеристики прочих вторичных обмоток необходимо выполнить аналогичные действия.

Вторичная обмотка №1 ($U_{2(10\%)} = \underline{\hspace{2cm}}$ В)								
Напряжение U3, В								
Ток I3, А								
Расчетный ток, А	$0,02I_{2\text{м}} =$	$0,04I_{2\text{м}} =$	$0,06I_{2\text{м}} =$	$0,08I_{2\text{м}} =$	$0,1I_{2\text{м}} =$	$0,2I_{2\text{м}} =$	$0,6I_{2\text{м}} =$	$I_{2\text{м}} =$
Вторичная обмотка №2 ($U_{2(10\%)} = \underline{\hspace{2cm}}$ В)								
Напряжение U3, В								
Ток I3, А								

Ток, А	$0,02I_{2н}$	$0,04I_{2н}$	$0,06I_{2н}$	$0,08I_{2н}$	$0,1I_{2н}$	$0,2I_{2н}$	$0,6I_{2н}$	$I_{2н}$

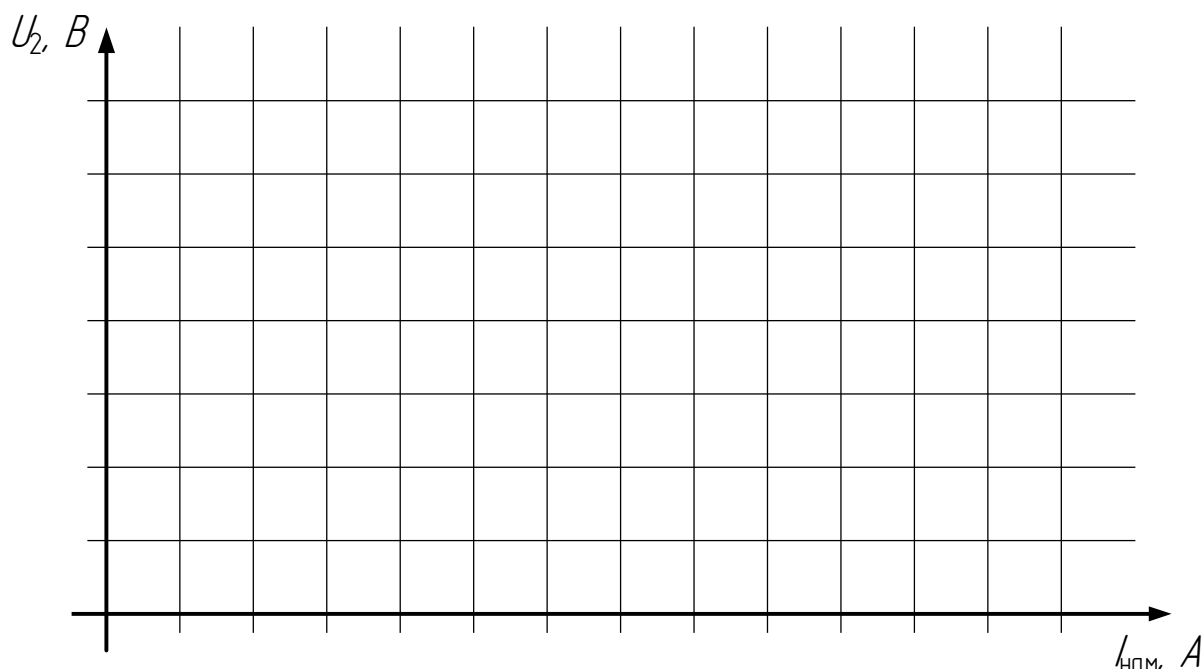


Рисунок 1 – Вольт-амперная характеристика вторичной обмотки трансформатора тока

Вторичная обмотка трансформатора тока считается прошедшей проверку в случае, если полученная характеристика совпадает с зависимостью, снятой на заводе изготовителе или в процессе наладки. Совпадение характеристик контролируется визуально.

7. Проверка рабочей точки характеристики намагничивания обмоток для защиты. В соответствии с п. 9.8 ГОСТ 7746-2015 для определения значения полной погрешности вторичной обмотки трансформатора тока требуется измерить действующее значение тока намагничивания при подаче напряжения, действующее значение которого рассчитывается в соответствии с выражением:

$$U_{2(10\%)} = I_{2н} k_{пр\ н} \sqrt{(R_2 + 0.8Z_{2н})^2 + (0.6Z_{2н})^2},$$

где $I_{2н}$ – номинальный вторичный ток, А; $k_{пр\ н}$ – номинальная предельная кратность; R_2 – активное сопротивление вторичной обмотки, Ом; $Z_{2н}$ – модуль полного сопротивления номинальной нагрузки, Ом.

При отсутствии значения активного сопротивления вторичной обмотки R_2 напряжение $U_{2(10\%)}$ рассчитывается по упрощенному выражению.

$$U_{2(10\%)} = \frac{k_{пр\ н} S_{н}}{I_{2н}},$$

где $S_{н}$ – номинальная нагрузка вторичной обмотки, В·А.

В соответствии с измеренным действующим значением тока намагничивания $I_{\text{нам}(10\%)}$ необходимо рассчитать величину полной погрешности вторичной обмотки трансформатора тока.

$$\varepsilon_{\text{расч}} = \frac{I_{\text{нам}(10\%)}}{k_{\text{пр ном}} I_{2\text{ном}}} 100\%.$$

Для проверки рабочей точки характеристики намагничивания вторичной обмотки с помощью испытательного комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.3 выполнить следующие действия:

- провести размагничивание магнитопровода в соответствии с пунктом 5.
- рассчитать значение напряжения $U_{2(10\%)}$ и записать в таблицу («Напряжение на выводах вторичной обмотки $U_{2(10\%)}$, В»);
- настроить вольтметр U3 для измерения среднего абсолютного значения, приведенного к действующему значению, переменного напряжения (в меню указано как «СРВП1,11»);
- настроить амперметр I3 для измерения действующего значения тока (RMS);
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов U3, I3;
- в меню настройки диапазона источника №3 выбрать «20 А»;
- подключить источник напряжения №3 (~U3, I3) к выводам вторичной обмотки №2;
- разомкнуть первичную обмотку и прочие вторичные обмотки;
- установить значение напряжения на выводах вторичной обмотки равным напряжению $U_{2(10\%)}$;
- измерить действующее значение тока $I_{\text{нам}(10\%)}$ и записать в таблицу («Ток намагничивания $I_{\text{нам}(10\%)}$, А»);
- рассчитать полную погрешность трансформатора тока и записать в таблицу;
- оценить соответствие расчетных параметров классу точности вторичной обмотки трансформатора тока.

Вторичная обмотка	Напряжение на выводах вторичной обмотки $U_{2(10\%)}$, В	Ток намагничивания $I_{\text{нам}(10\%)}$, А	Расчетное значение полной погрешности
№2			

В соответствии с п. 6.5.2 ГОСТ 7746-2015 рассчитанное значение полной погрешности $\varepsilon_{\text{расч}}$ не должно превышать значения полной погрешности трансформатора тока, определяемой классом точности.

8. Проверка коэффициента безопасности обмоток для измерений и коммерческого учета. В соответствии с п. 9.17.2 ГОСТ 70507.2-2024 для проверки коэффициента безопасности приборов обмотки для измерений и учета на выводы вторичной обмотки требуется подать напряжение U_2 , при котором действующее значение тока намагничивания равняется:

$$I_{\text{нам}} = 0.1 I_{2\text{ном}} k_{\text{б ном}}.$$

Для проверки коэффициента безопасности приборов вторичной обмотки с помощью испытательного комплекса РЕТОМ-21, 25 необходимо в соответствии с рис. П.3 выполнить следующие действия:

- провести размагничивание магнитопровода в соответствии с пунктом 5.
- рассчитать значение напряжения $I_{\text{нам}}$ и записать в таблицу («Ток намагничивания $I_{\text{нам}}$, А»);
- настроить вольтметр U3 для измерения среднего абсолютного значения, приведенного к действующему значению, переменного напряжения (в меню указано как «СРВП1,11»);
- настроить амперметр I3 для измерения действующего значения тока (RMS);
- вывести на экран измерителя показания измерительных приборов U3, I3;
- в меню настройки диапазона источника №3 выбрать «20 А»;
- подключить источник напряжения №3 (~U3, I3) к выводам вторичной обмотки №1;
- разомкнуть первичную обмотку и прочие вторичные обмотки;
- установить значение тока во вторичной обмотке равным $I_{\text{нам}}$;
- измерить значение напряжения U_2 и записать в таблицу («Напряжение на выводах вторичной обмотки U_2 , В»);
- рассчитать значение U_2 и записать в таблицу.

Вторичная обмотка	Ток намагничивания $I_{\text{нам}}$, А	Напряжение на выводах вторичной обмотки U_2 , В	Расчетное значение напряжения на выводах вторичной обмотки $U_{2\text{расч}}$, В
№1			

Вторичная обмотка считается прошедшей проверку, если измеренное значение U_2 удовлетворяет следующему неравенству:

$$U_2 \leq U_{2\text{расч}} = I_{2\text{ном}} k_{б\text{ ном}} \sqrt{(R_2 + \cos \varphi_2 Z_{2\text{ном}})^2 + (\sin \varphi_2 Z_{2\text{ном}})^2}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

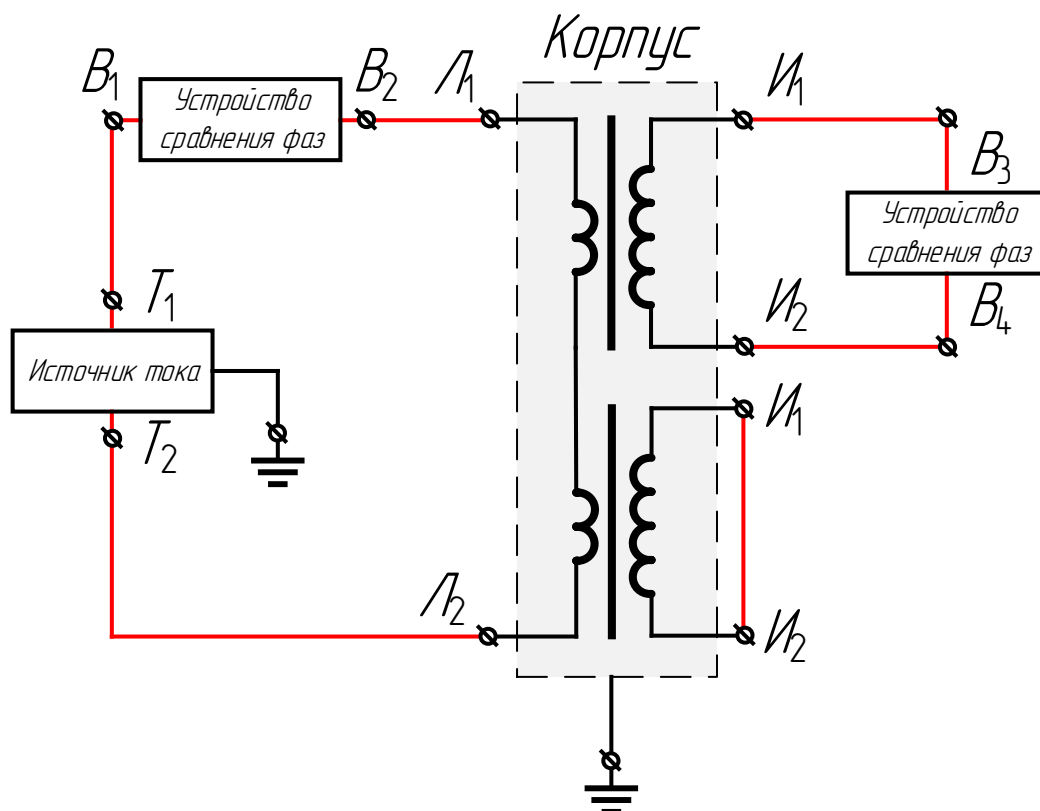


Рисунок П.1

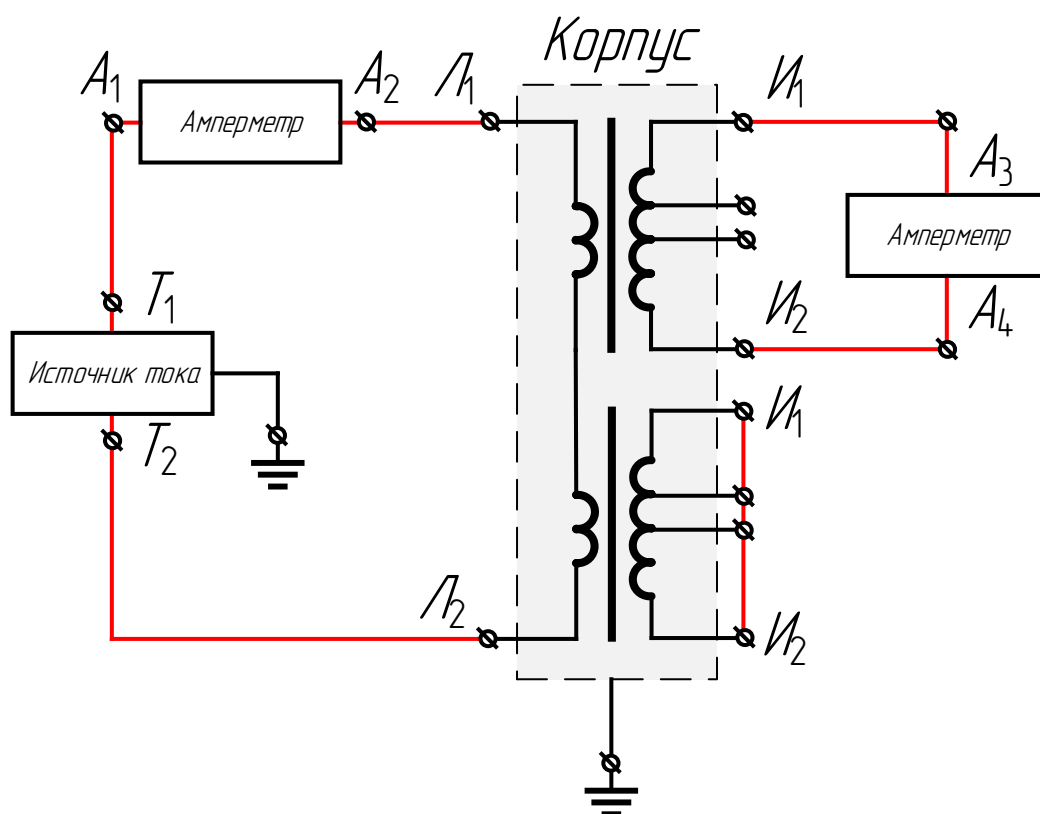


Рисунок П.2

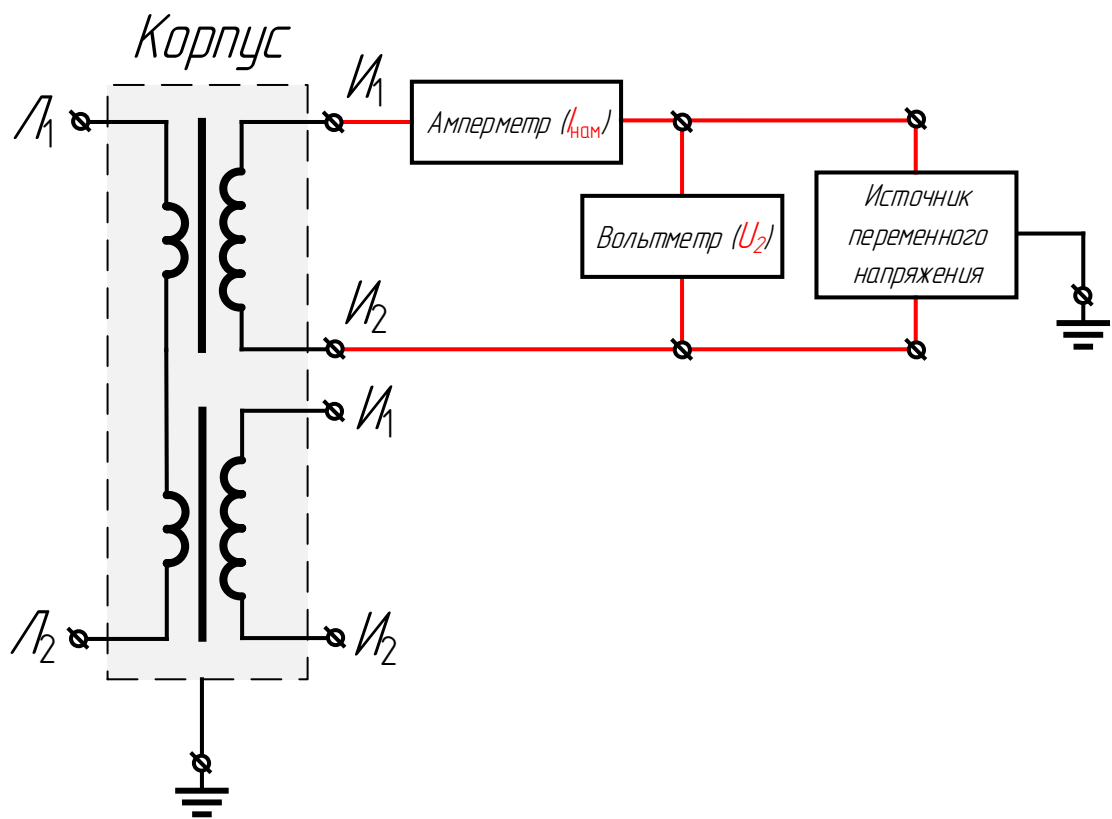


Рисунок П.3