

Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина

Кафедра электропривода
и автоматизации промышленных установок

***Синтез цифровых алгоритмов векторного регулирования координат
электроприводов станков с ЧПУ
на основе метода АКАДР синергетической теории управления***

Автор: ассистент Репин Александр Александрович

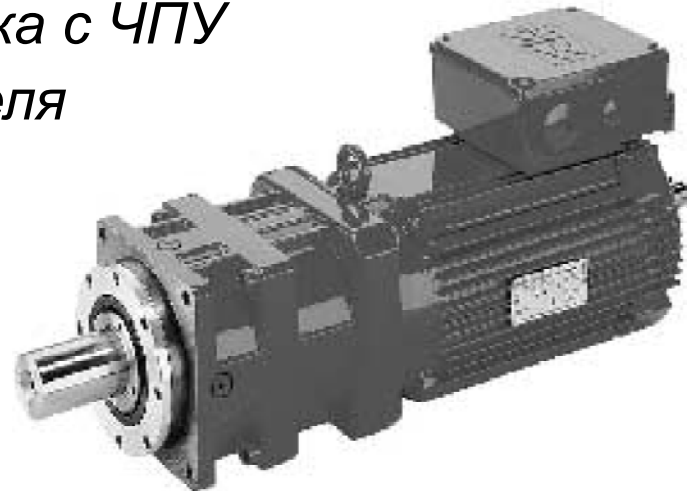
Руководитель: д. т. н., профессор Глазунов Виктор Федорович

- *Основное направление исследований*

поиск путей применения инновационных методов современной теории управления при разработке высокоэффективных электромеханических систем

- *Объект*

Электропривод подачи станка с ЧПУ на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами



Тенденции

- *Требования к системам управления электроприводами ужесточаются*
- *Принцип подчиненного регулирования координат теряет эффективность*
- *Выход – переход к методам оптимального и адаптивно-самоорганизующегося управления*

- *Основная проблема теории управления*

аналитическое конструирование оптимальных регуляторов

АКОР

- *Недостатки прикладных методов АКОР*

- *Используются в основном квадратичные функционалы*
- *Структура объекта управления полагается линейной*
- *Учет нелинейности объекта требует решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных*
- *Не решена проблема выбора структуры и весовых коэффициентов оптимизирующих функционалов*

- **Синергетический подход** –
один из путей развития теории АКОР
- *Базовый метод синергетической теории управления*
*метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов **АКАР***
- *АКАДР – метод синтеза дискретных синергетических регуляторов*
открывает возможность применения синергетических законов управления в цифровых микропроцессорных системах

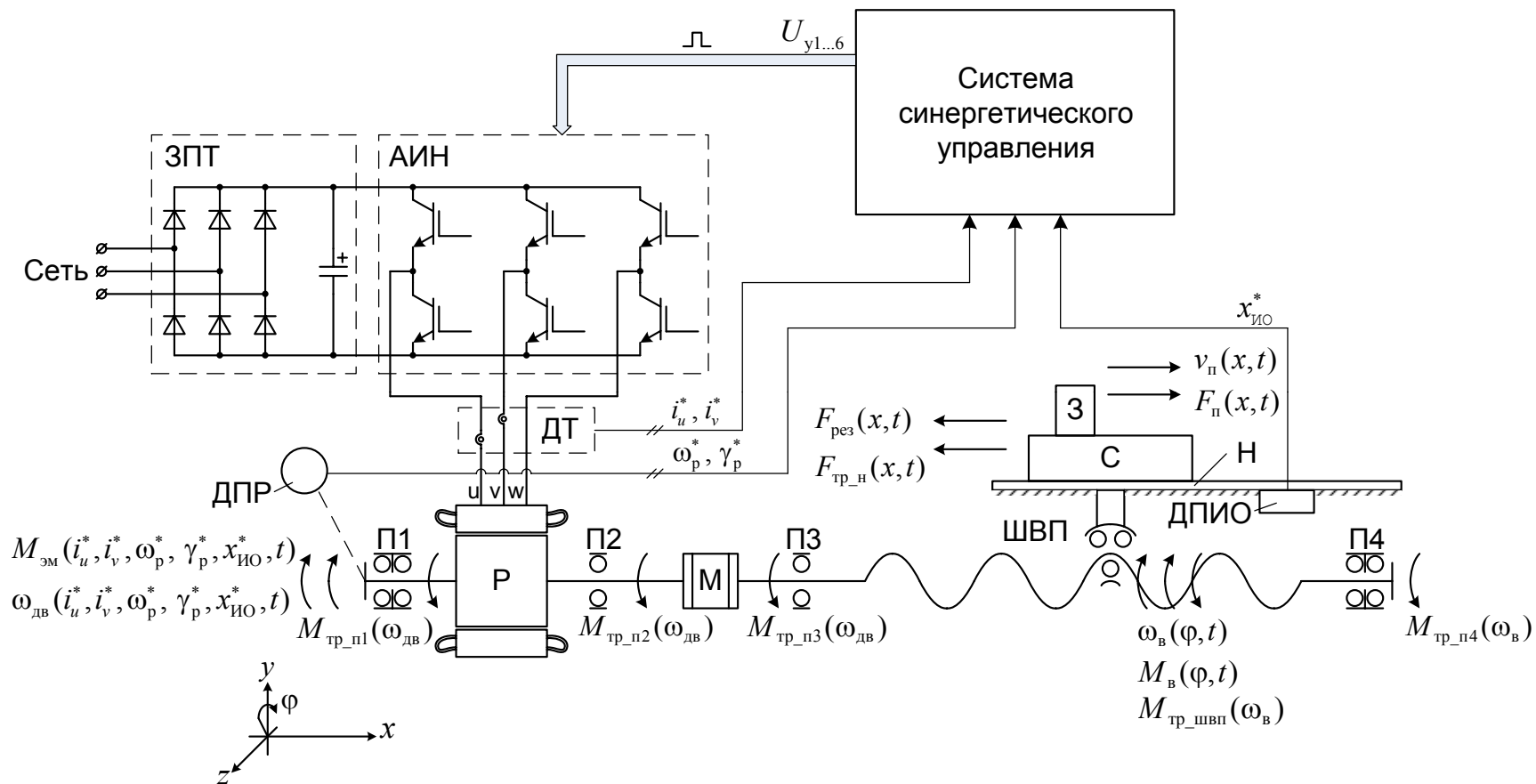
- **Цель работы**

разработка энергосберегающего цифрового синергетического алгоритма векторного управления бесконтактным синхронным электроприводом, обеспечивающего, по сравнению с известными алгоритмами, лучшие технические характеристики механизма подачи металлорежущего станка с ЧПУ

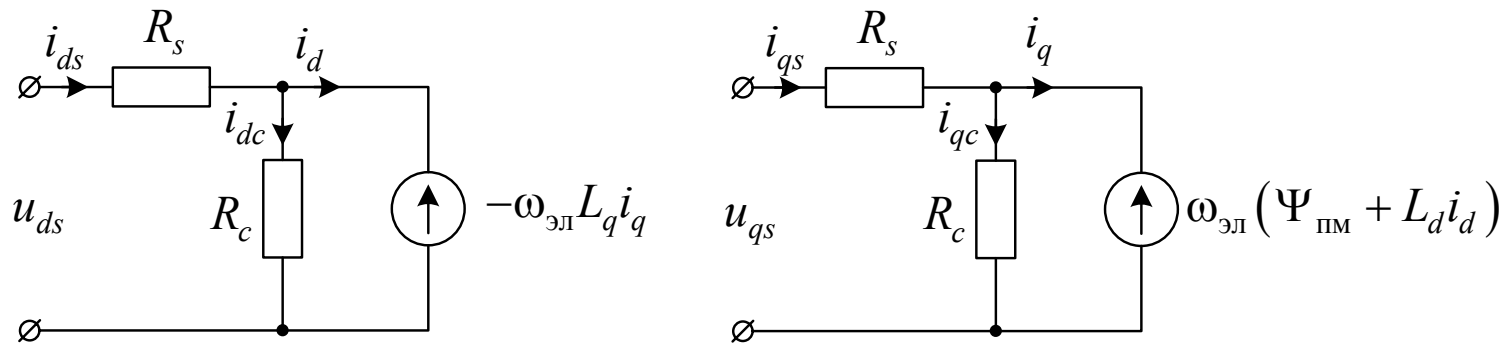
- **Основные задачи**

- *разработка математической модели электромеханической системы «БСЭП – механизм подачи», максимально отражающей статические свойства и динамические характеристики объекта управления;*
- *синтез энергосберегающего цифрового алгоритма векторного регулирования положения исполнительного органа БСЭП на основе метода АКАДР синергетической теории управления.*

Функциональная схема привода подачи



Модель синхронного двигателя с постоянными магнитами с учетом потерь мощности



Суммарные потери мощности в стали и меди СДПМ

$$P_{\text{MC}}^{\Sigma} = P_{\text{M}} + P_{\text{C}} = 1.5 R_s (i_{ds}^2 + i_{qs}^2) + \frac{1.5 \omega_{эл}^2}{R_c} \left[(L_q i_q)^2 + (\Psi_{\text{пм}} + L_d i_d)^2 \right]$$

Энергетический инвариант

$$\phi_1 = i_{ds} - i_{dsz}^{\text{ОПТ}} = 0, \text{ где } i_{dsz}^{\text{ОПТ}} = P_{\text{MC}}^{\Sigma} (i_{ds}) \rightarrow \min$$

Основные этапы синтеза регулятора методом АКАР

Модель объекта

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} - \mathbf{G}\mathfrak{D}$$

Задача синтеза

$\mathbf{u} - ?$ для перевода объекта в состояние $\Phi = 0$

Совокупность целевых инвариантных многообразий, удовлетворяющих функциональным уравнениям

$$\Psi_s = \mathbf{F}(\mathbf{x}), \quad \dim \Psi_s = \dim \mathbf{u}$$

$$\dot{\Psi}_s + \Lambda_s \gamma_s(\Psi_s) = 0 \quad (1)$$

Динамическая декомпозиция

$$\Psi_s = 0 \rightarrow \dot{\bar{\mathbf{x}}} = \tilde{\mathbf{A}}(\bar{\mathbf{x}})\bar{\mathbf{x}} + \tilde{\mathbf{B}}\phi - \tilde{\mathbf{G}}\mathfrak{D}$$

Синтез «внутренних» управлений ϕ

$$\Psi_k = \mathbf{F}(\mathbf{x}), \quad \dim \Psi_k = \dim \phi$$

$$\dot{\Psi}_k + \Lambda_k \gamma_k(\Psi_k) = 0 \quad (2)$$

.....

Определение «внешних» управлений

$$\phi_k \rightarrow \Psi_s, \Psi_k, \dots, (1), (2) \dots \Rightarrow \mathbf{u}$$

Уравнения замкнутой системы с базовым законом управления

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} - \mathbf{G}\mathfrak{D} \\ \mathbf{u} = -(\mathbf{B}^1)^{-1} \left[\mathbf{A}^1(\mathbf{x})\mathbf{x} + \dot{\phi}^1 + \mathbf{P}^{-1} \Lambda^1 \Psi^1 \right] \end{cases}$$

Уравнения замкнутой системы

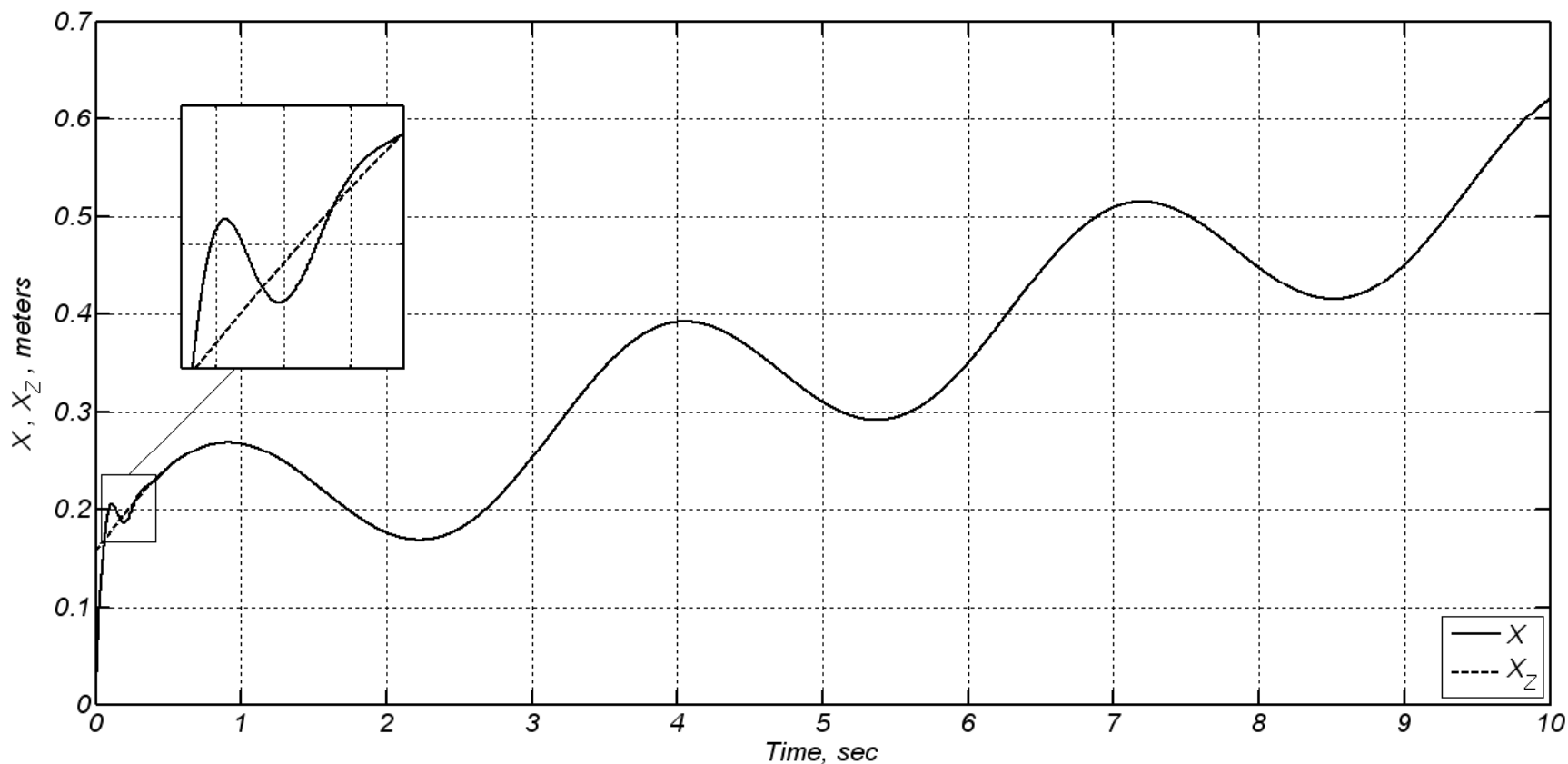
а) с асимптотическим наблюдателем состояния

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{y}} = \mathbf{D}(\mathbf{y})\mathbf{y} + \mathbf{B}\mathbf{u} - \mathbf{H}\mathbf{v} \\ \mathbf{u} = \hat{\mathbf{v}} - (\mathbf{B}^1)^{-1} \left[\dot{\phi}^1 + \mathbf{P}^{-1} \Lambda^1 \Psi^1 \right] \\ \dot{\mathbf{z}} = \mathbf{L}[\mathbf{z} - \Gamma^1(\mathbf{y})] - \gamma(\mathbf{y}, \mathbf{u}) \\ \hat{\mathbf{v}} = \Gamma^1(\mathbf{y}) - \mathbf{z} \end{cases}$$

б) с динамическим векторным регулятором

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} - \mathbf{G}\mathfrak{D} - \mathbf{C}\mathbf{z} \\ \dot{\mathbf{z}} = \Delta\Phi \\ \mathbf{u} = -(\mathbf{B}^1)^{-1} \left[\mathbf{A}^1(\mathbf{x})\mathbf{x} - \Delta^1 \int x_2 dt + \dot{\phi}^1 + \mathbf{P}^{-1} \Lambda^1 \Psi^1 \right] \end{cases}$$

Динамические характеристики замкнутой синергетической системы управления электроприводом в режиме слежения за сигналом, задающим необходимое положение исполнительного органа механизма подачи станка с ЧПУ



Выводы

- *Энергосберегающий синергетический алгоритм управления электроприводом механизма подачи станка с ЧПУ обеспечивает высокую точность позиционирования исполнительного органа в режиме слежения за задающим сигналом.*
- *Энергосберегающая стратегия управления, основанная на введении энергетического инварианта позволяет обеспечивать минимизацию потерь мощности в двигателе на всем диапазоне регулирования.*