ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ
ШКОЛА
ЭНЕРГЕТИКИ

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА «ВЕДУЩИЙ» В ОДНОМАШИННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Докладчик:
Малюта Борис Дмитриевич, аспирант гр. А3-42 ОЭЭ ИШЭ ТПУ
Научный руководитель:
Суворов А.А., к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

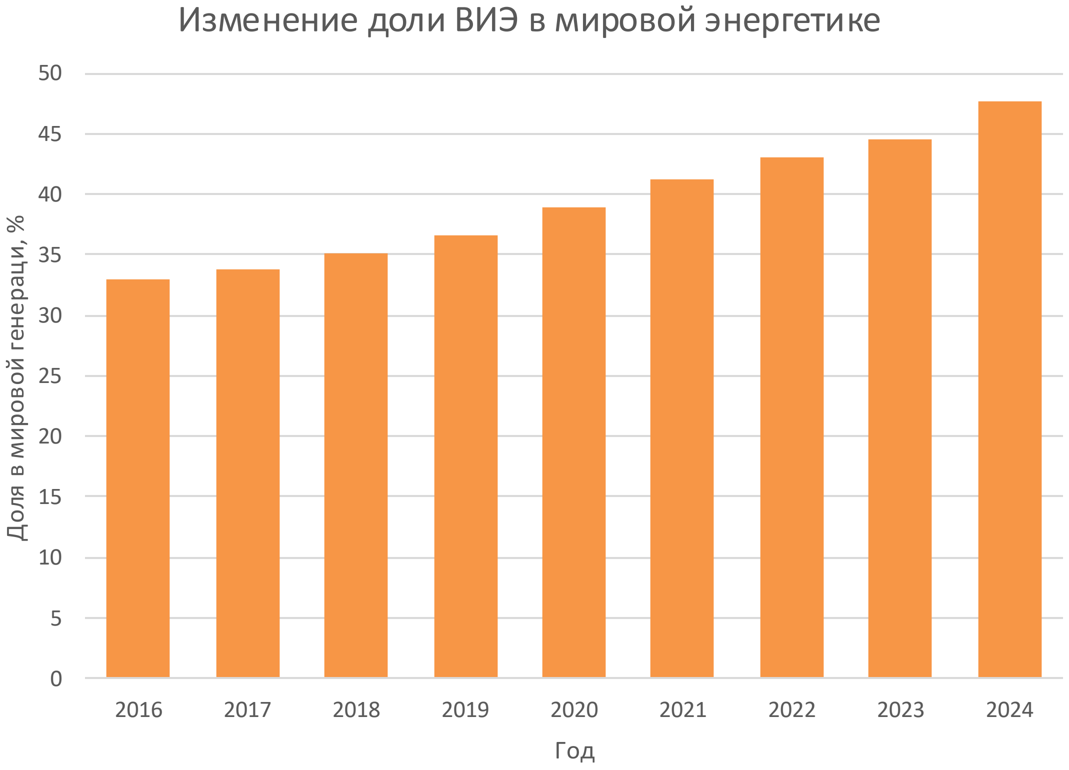
25.11.2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. Проблематика
2. Виртуальный синхронный генератор
3. Виртуальный синхронный генератор. Алгоритм ВСГ-Т
4. Модель в пространстве состояний
5. Результаты иследования

ПРОБЛЕМАТИКА

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ



ПРОБЛЕМАТИКА

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ

- Эквивалентная постоянная инерции энергосистем снижается с ростом мощностей ВИЭ ввиду того, что такие мощности подключаются через силовые преобразователи, не обладающие физической инерцией

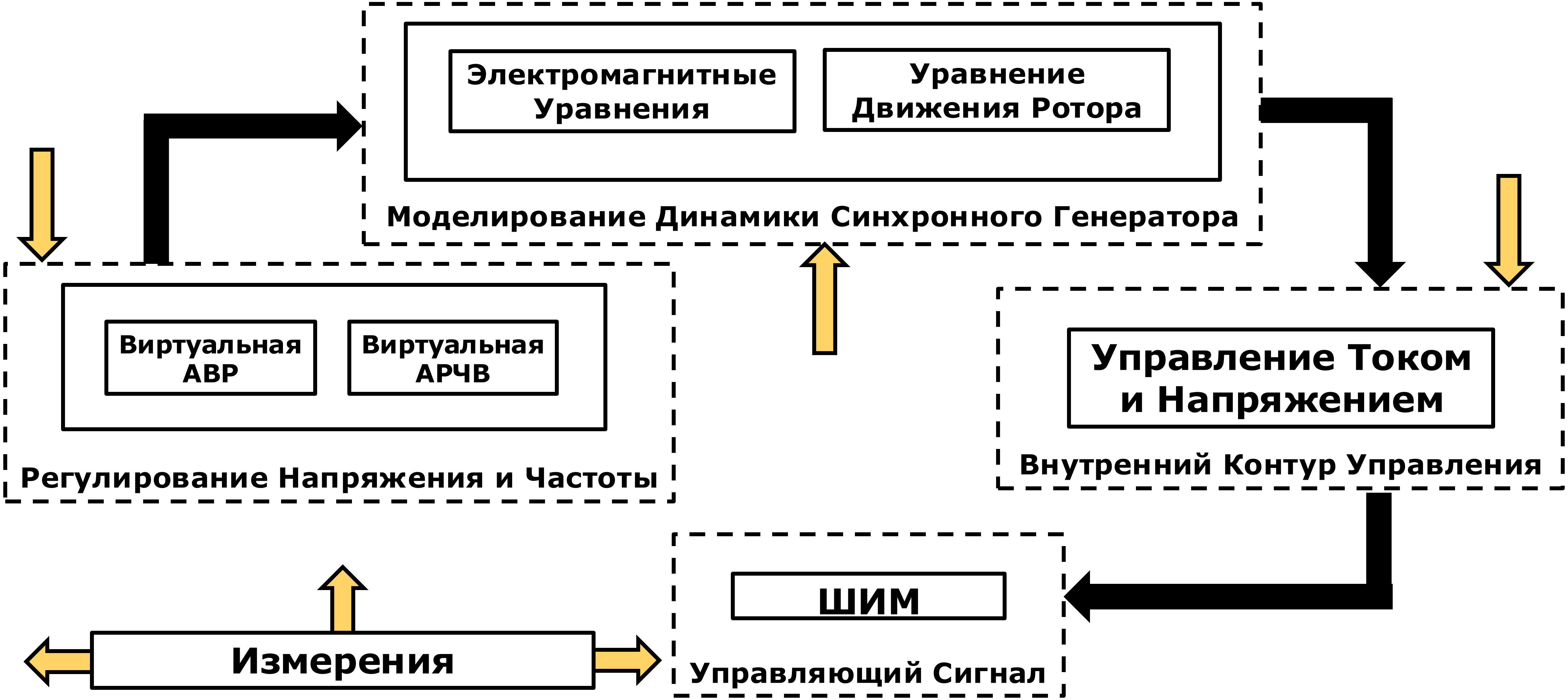
- Мощности ВИЭ не участвуют в регулировании режимов энергосистем

- Контуры ФАПЧ негативно сказываются на работе силовых преобразователей в слабых сетях при малых возмущениях

$$2 \cdot T_{J,\text{ЭЭС}} \cdot \frac{d\omega}{dt} = P_{\text{Г}} - P_{\text{Н}}$$

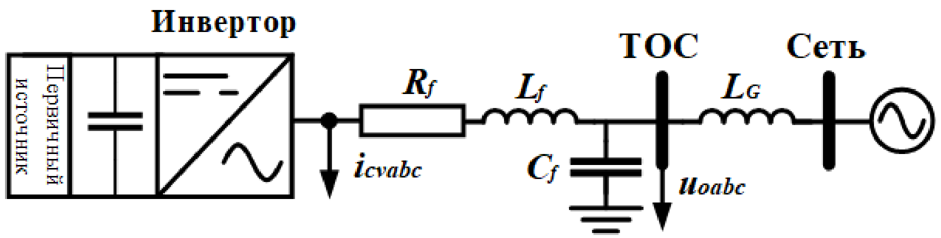
$$T_{J,\text{ЭЭС}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{Ji} \cdot S_i}{S_{\text{ЭЭС}}}$$

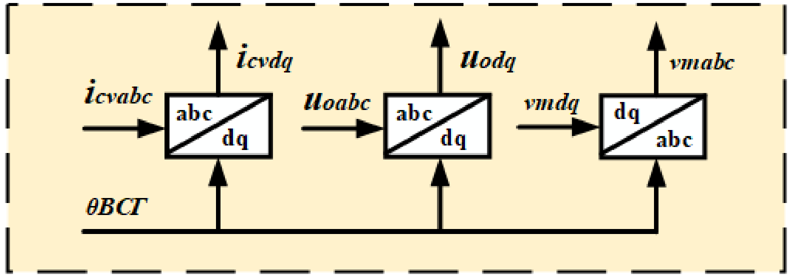
ВИРТУАЛЬНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

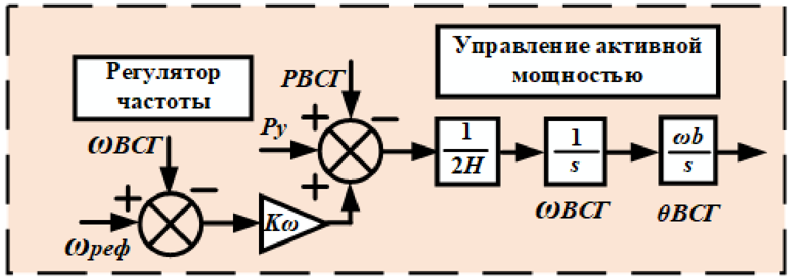


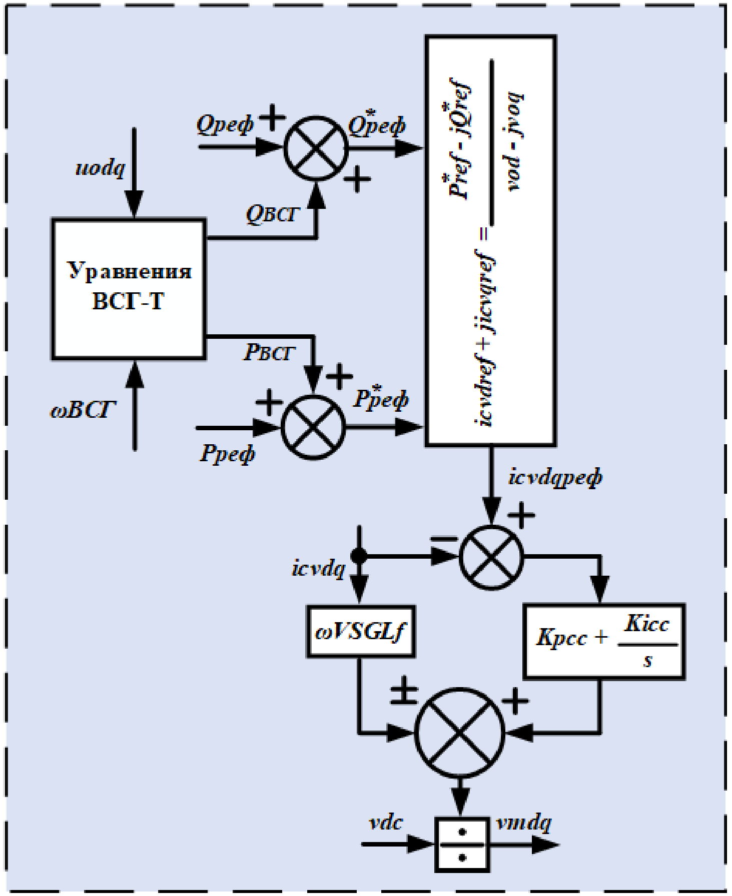
ВИРТУАЛЬНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР. АЛГОРИТМ ВСГ-Т

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ









$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_d}{dt} = \omega_b \left(v_{od} + R_v i_{d,\text{ВСГ}} + \omega_{\text{ВСГ}} \psi_q \right) \\ \dfrac{d\psi_q}{dt} = \omega_b \left(v_{oq} + R_v i_{q,\text{ВСГ}} - \omega_{\text{ВСГ}} \psi_d \right) \end{cases}$$

$$\frac{d\psi_{1q}}{dt} = \omega_b \left(-R_{1q} i_{q,\text{ВСГ}} - \frac{R_{1q}}{L_{1q}} \psi_{1q} \right)$$

$$\frac{d\psi_{fd}}{dt} = K_u \left(\frac{Q_{\text{ref,ВСГ}} - Q_{\text{ВСГ}}}{V_o} \right)$$

$$\begin{cases} i_{d,\text{ВСГ}} = \dfrac{\psi_{fd} - \psi_d}{L_v} \\ i_{q,\text{ВСГ}} = \dfrac{\psi_{1q} - \psi_q}{L_v} \end{cases}$$

МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ

Линеаризованная модель в пространстве состояний имеет следующий вид:

$$\Delta\dot{X} = A \cdot \Delta X + B \cdot \Delta U$$

Где:

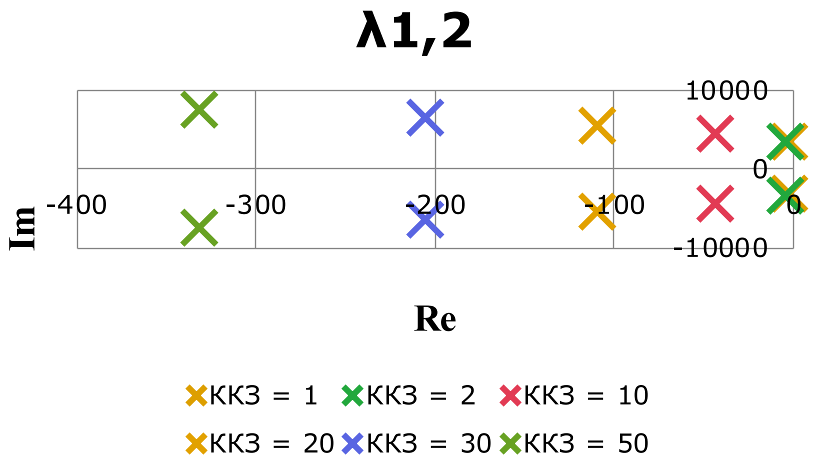
A – матрица состояния математической модели рассматриваемой системы

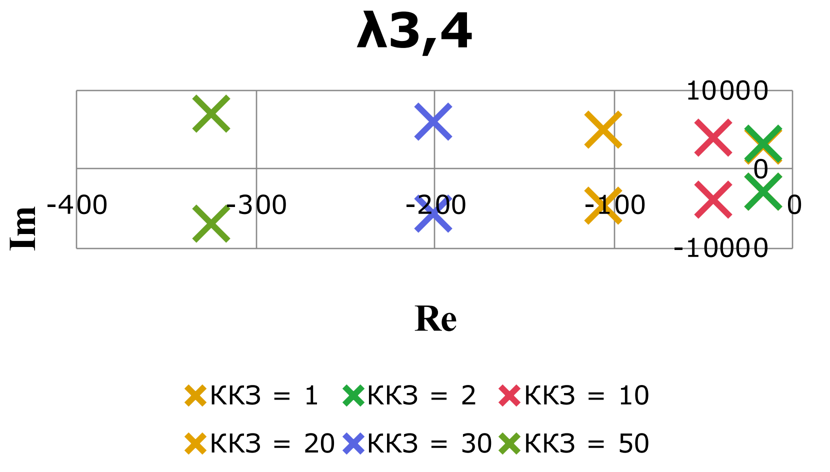
$\Delta X, \Delta\dot{X}$ – вектор-столбец линеаризованных переменных состояния и их производных соответственно

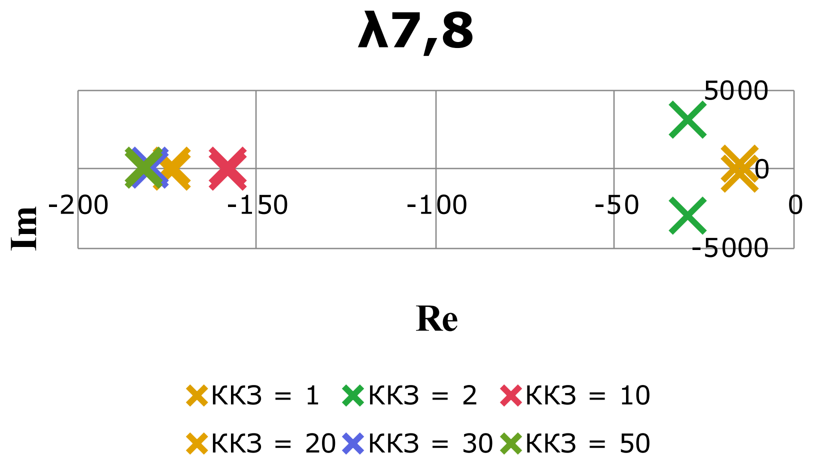
B – матрица коэффициентов при входных величинах

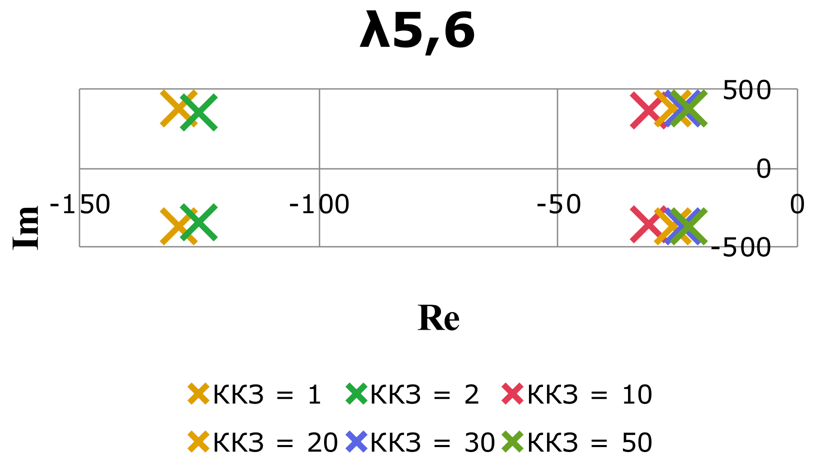
ΔU – вектор-столбец линеаризованных входных величин

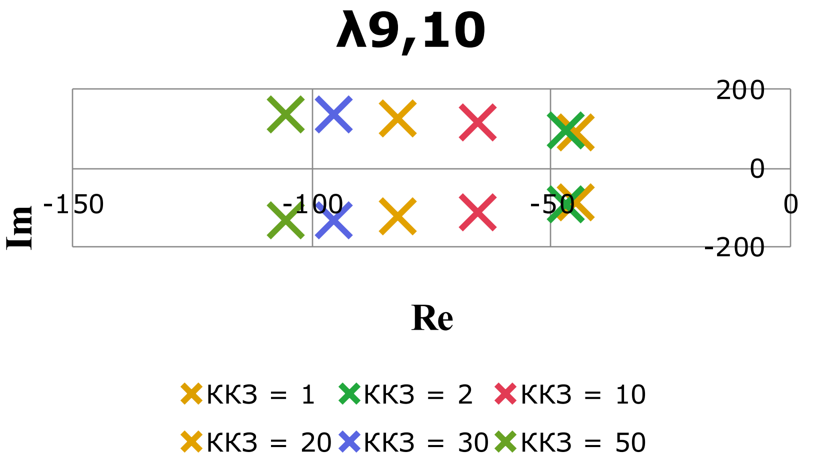
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

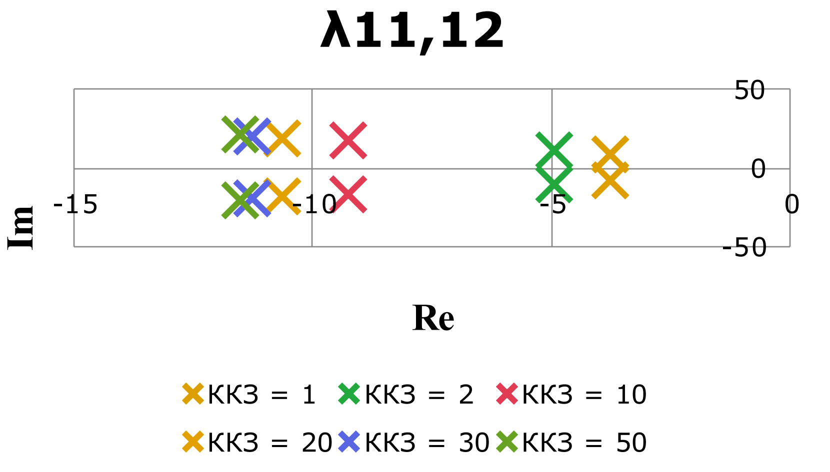




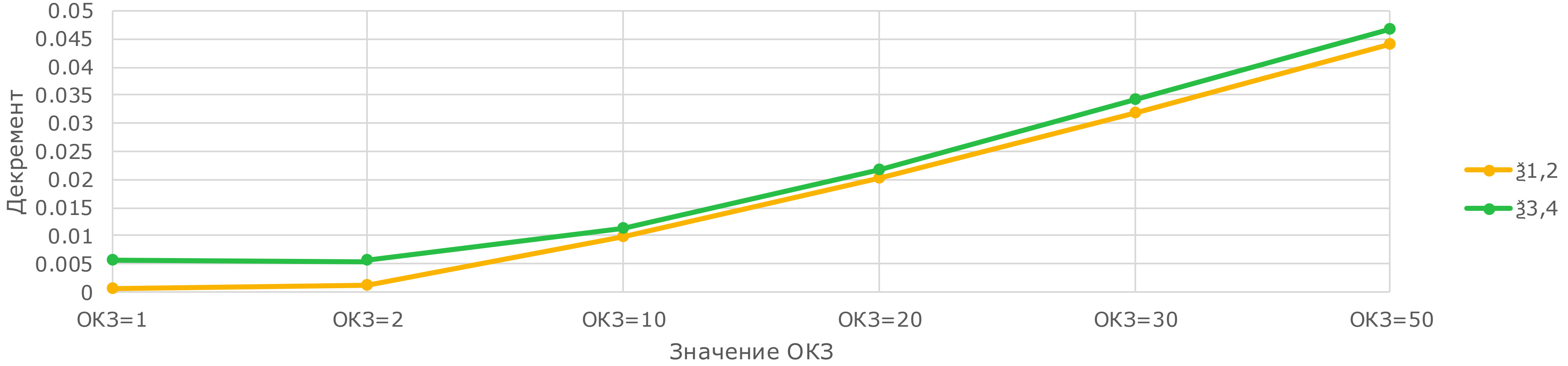


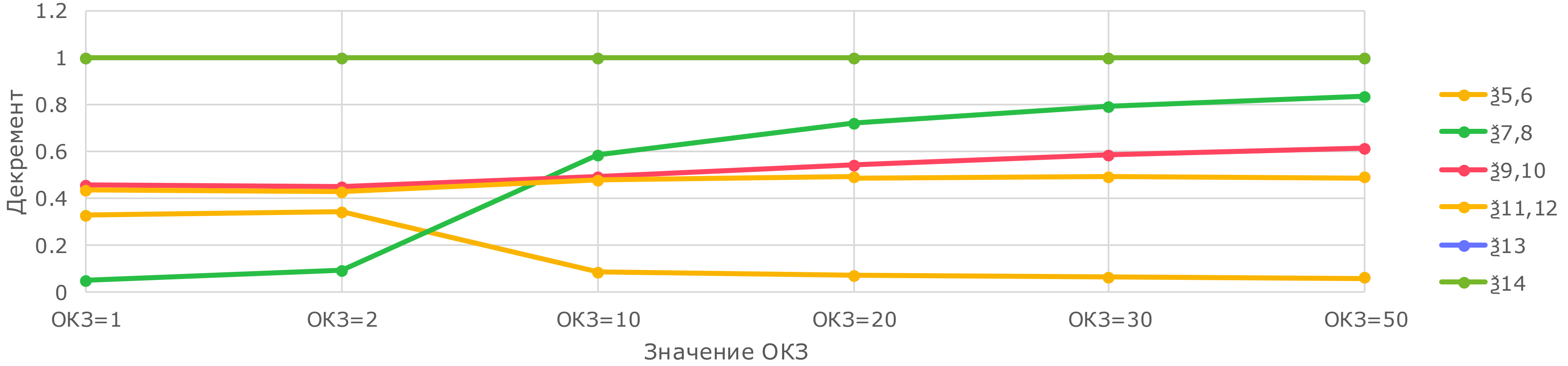






РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ





ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА ЭНЕРГЕТИКИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик:
Малюта Борис Дмитриевич, аспирант гр. А3-42 ОЭЭ ИШЭ ТПУ
Научный руководитель:
Алексей Александрович Суворов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

25.11.2025

ПРИЛОЖЕНИЕ. МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

$$A = [A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad A_4 \quad A_5 \quad A_6 \quad A_7 \quad A_8 \quad A_9 \quad A_{10} \quad A_{11} \quad A_{12} \quad A_{13}]^T$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & \omega_b\omega_{g0} & 0 & 0 & \frac{\omega_b}{c_1} & 0 & 0 & 0 & -\frac{\omega_b}{c_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -\omega_b\omega_{g0} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\omega_b}{c_1} & 0 & 0 & 0 & -\frac{\omega_b}{c_1} & 0 & -\omega_b v_{od0} & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = [-1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -m_q \quad 0 \quad 0]$$

$$A_4 = [0 \quad -1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} \frac{-1-k_{pc}k_{pv}+k_{FFv}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & -\frac{k_{pc}c_1\omega_{g0}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & \frac{k_{pc}k_{iv}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & -\frac{k_{pc}+r_1}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{ic}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{FFi}k_{pc}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{-k_{pc}k_{pv}m_q}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_6 = \begin{bmatrix} \frac{k_{pc}c_1\omega_{g0}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & \frac{-1-k_{pc}k_{pv}+k_{FFv}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{pc}k_{iv}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & -\frac{k_{pc}+r_1}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{ic}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{FFi}k_{pc}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 & \frac{k_{pc}c_1v_{od0}}{\frac{l_1}{\omega_b}} & 0 \end{bmatrix}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ. МОДЕЛЬ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

$$A_7 = \begin{bmatrix} -k_{pv} & -c_1\omega_{g0} & k_{iv} & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & k_{FFi} & 0 & -k_{pv}m_q & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_8 = \begin{bmatrix} c_1\omega_{g0} & -k_{pv} & 0 & k_{iv} & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & k_{FFi} & 0 & c_1 v_{od0} & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_9 = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\dfrac{r_g}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} & \omega_b\omega_{g0} & 0 & \omega_b i_{oq0} & \dfrac{v_{g0}\sin\delta\theta_0}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} \end{bmatrix}$$

$$A_{10} = \begin{bmatrix} 0 & \dfrac{1}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_b\omega_{g0} & -\dfrac{r_g}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} & 0 & -\omega_b i_{od0} & \dfrac{v_{g0}\cos\delta\theta_0}{\dfrac{l_g}{\omega_b}} \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} -\omega_f i_{oq0} & \omega_f i_{od0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_f i_{od0} & -\omega_f & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} -\dfrac{i_{od0}}{T_a} & -\dfrac{i_{oq0}}{T_a} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & = \dfrac{v_{od0}}{T_a} & 0 & 0 & -\dfrac{k_d}{T_a} & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_b & 0 \end{bmatrix}$$