

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
по курсу «Электрический привод»
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ АД С КЗР

Вариант № 4

Автор работы: Кирбаба Д.Д.

Группа: R3438

Преподаватель: Маматов А.Г.

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	3
2. Данные для расчета	3
3. Ход работы	3
1. Исследование статических характеристик электропривода с АД КЗР	3
Расчет недостающих значений для определения параметров схемы замещения	3
Семейство механических характеристик при изменении напряжения питания.....	5
Семейство механических характеристик при изменении частоты питания	6
Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ для частот питания $\omega =$ $0.1\omega_n: 0.1\omega_n: \omega_n$	7
Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IR-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n: 0.1\omega_n: \omega_n$	8
Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IZ-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n: 0.1\omega_n: \omega_n$	9
2. Построение динамической модели АД с КЗР	10
Динамическая модель Simulink	10
Моделирование Simulink.....	14
Динамическая модель Simscape.....	16
4. Построение скалярного частотного управления АД с КЗР по закону $U/f = \text{const}$	18
5. Выводы.....	21

1. Цель работы

Исследование статических характеристик АД с КЗР, построение динамической модели АД с КЗР и синтез скалярного частотного управления.

2. Данные для расчета

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	Индекс механической характеристики	Отношение пускового момента к номинальному моменту	Отношение пускового тока к номинальному току	Отношение максимального момента к номинальному моменту	Динамический момент инерции ротора, кг·м ²	Масса IM1001, кг	Сервис-фактор
5AM250M2	90	2955	93,5	0,93	157	291	II	1,8	7,0	2,7	0,52	505	1,15

Таблица 1 – Паспортные данные АД с КЗР

3. Ход работы

1. Исследование статических характеристик электропривода с АД КЗР

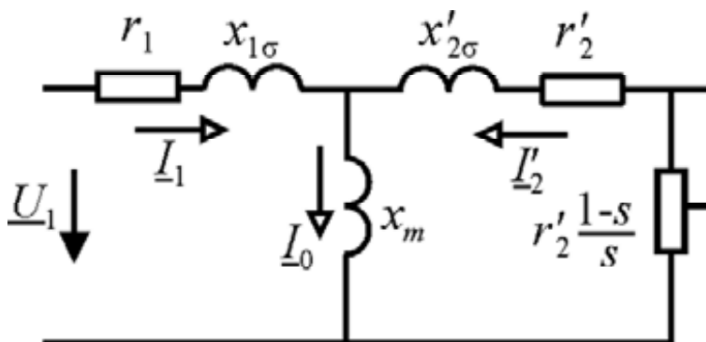


Рисунок 1 - Схема замещения двигателя

Расчет недостающих значений для определения параметров схемы замещения

$$U_{1N} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 219.39 \text{ В}$$

$$I_{1N} = I_N = 157 \text{ А}$$

$$\omega_1 = 2\pi f = 314.16 \text{ рад/с}$$

$$z_p = \frac{2p}{2} = 2$$

$$s_N = 1 - \frac{n_N}{n_1} = 0.015$$

Активное сопротивление статора

$$r_1 = \frac{U_{1N} I_{1N} \cos \phi_{1N} - M_N \omega_1 / (m_1 z_p)}{I_{1N}^2} = 0.0633 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление ротора

$$r'_{20} = \frac{m_1 z_p U_{1N}^2 s_N}{\omega_1 M_N} = 0.0237 \text{ Ом}$$

Критическое скольжение

$$s_m(r'_2) = \frac{s_N (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - A(r'_2)})}{A(r'_2)} = 0.0927$$

Индуктивное сопротивление ветви короткого замыкания

$$x_{ks}(r'_2) = \sqrt{\frac{r'^2_2}{s_m(r'_2)} - r_1^2} = 0.2203 \text{ Ом}$$

$$b(r'_2) = \frac{x_{ks}(r'_2)}{(r_1 + r'_2/s_N)^2 + (x_{ks}(r'_2))^2} = 0.0985 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление ветви намагничивания

$$x_m(r'_2) = \frac{1}{(I_N \sqrt{1 - \cos^2 \phi_{1N}}) / U_{1N} - b(r'_2)} = 6.0783 \text{ Ом}$$

$$I'_2(r'_2) = \frac{U_{1N}}{\sqrt{(r_1 + r'_2/s_m(r'_2))^2 + x_{ks}(r'_2)^2}} = 34.79 \text{ А}$$

Относительное значение опрокидывающего момента

$$\mu_m(r'_2) = \frac{m_1 z_p (I'_2(r'_2))^2 r'_2}{\omega_1 s_m M_N} = 0.0091$$

Коэффициенты вытеснения

$$k_r(h) = h \frac{\text{sh} 2h + \sin 2h}{\text{ch} 2h - \cos 2h} = 2.41$$

$$k_x(h) = \frac{3}{2h} \frac{\operatorname{sh} 2h + \sin 2h}{\operatorname{ch} 2h - \cos 2h} = 0.6229$$

Пусковой момент

$$\mu_s(h) = \frac{m_1 z_p U_{1N}^2 r_2' k_r}{\omega_1 \left((r_1 + r_2' k_r(h))^2 + (x_{1\sigma} + x_{2\sigma}' k_x(h))^2 \right) M_n} = 1.8$$

Семейство механических характеристик при изменении напряжения питания

$$U = 0.1 U_{\text{nom}} : 0.1 U_{\text{nom}} : U_{\text{nom}}$$

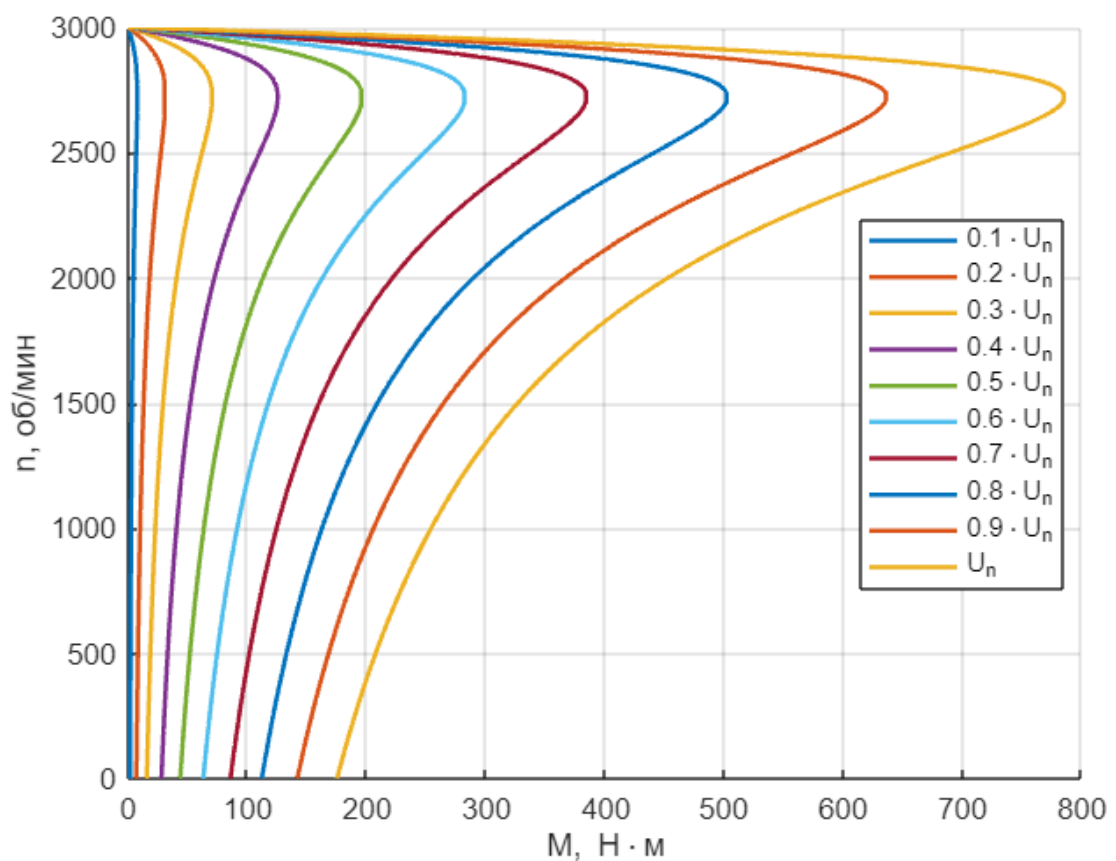


Рисунок 2 – Семейство механических характеристик при изменении напряжения питания

Семейство механических характеристик при изменении частоты питания

$$\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$$

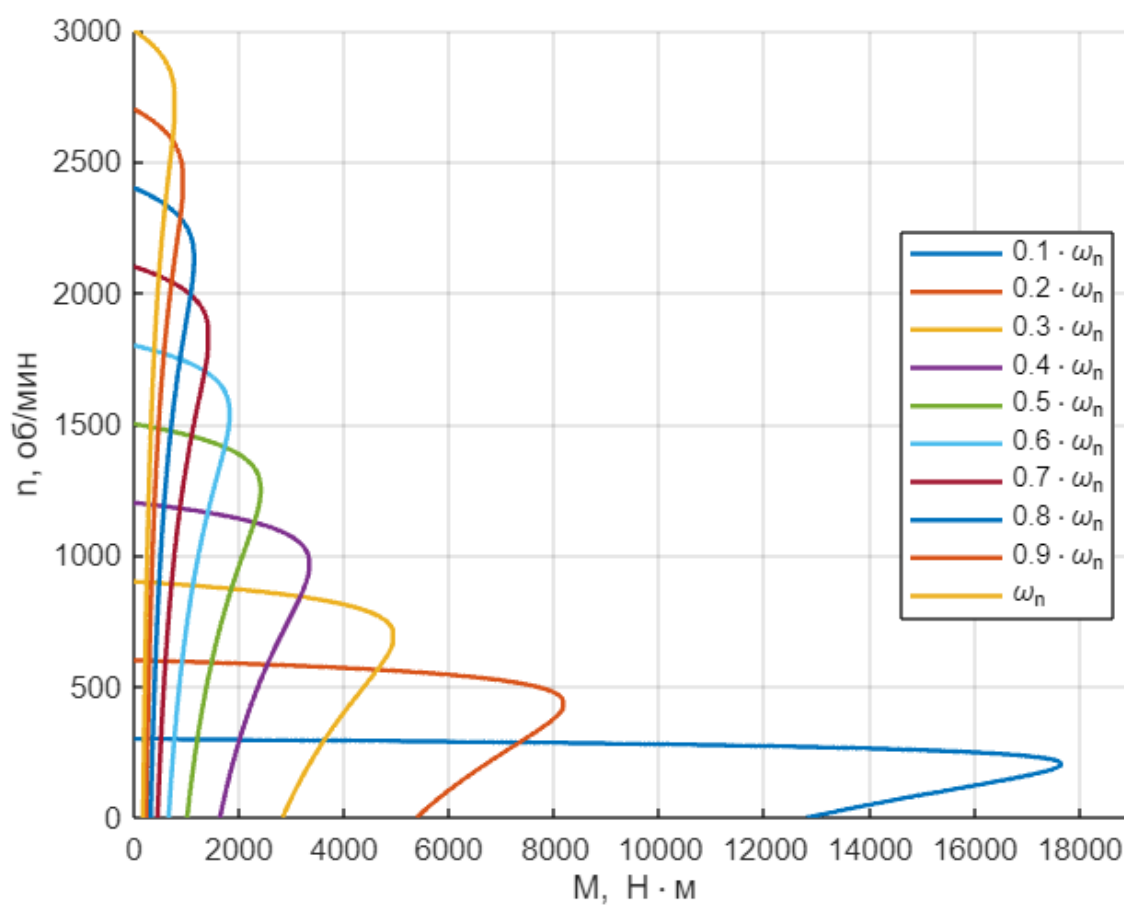


Рисунок 3 - Семейство механических характеристик при изменении частоты питания

Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

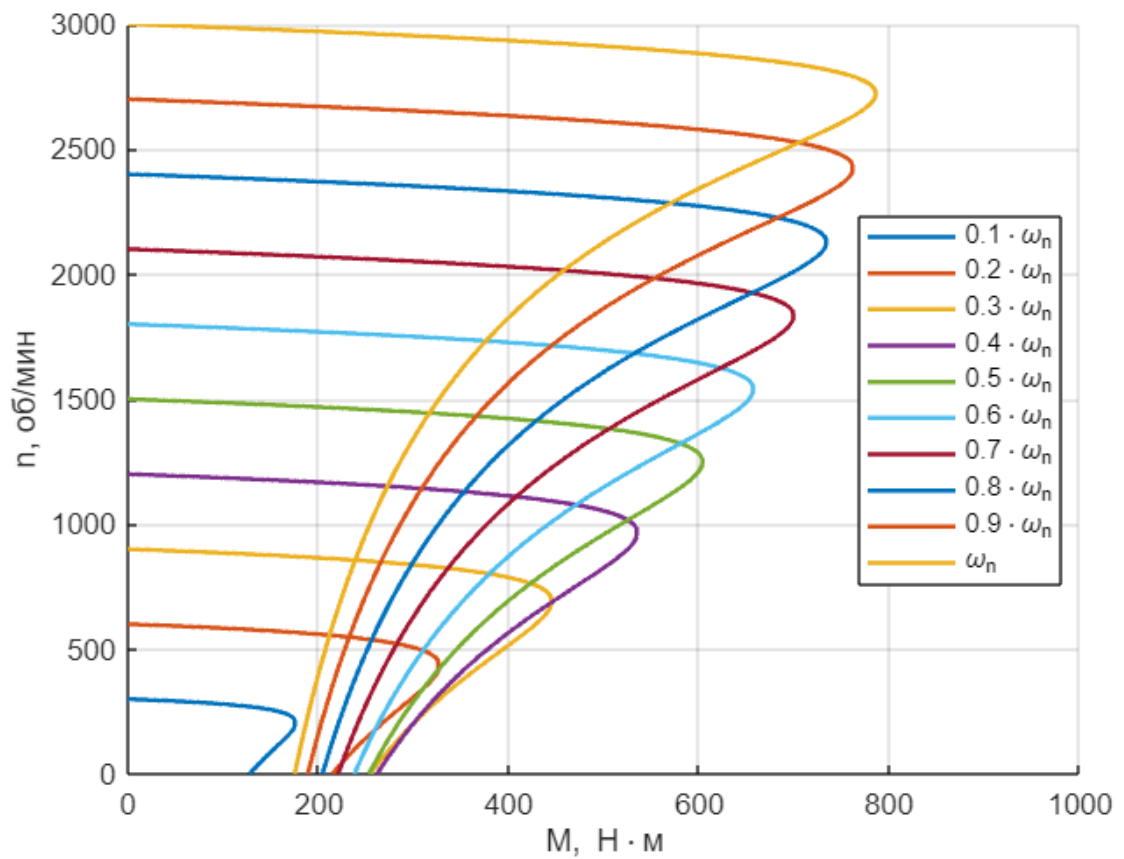


Рисунок 4 - Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IR-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

IR-компенсация:

$$U_{ad} / \omega_1 = \alpha U_{ad N} / \omega_1 = (\underline{U}_1 - r_1 \underline{I}_1) / \omega_1 = \text{const}, \text{ т.е. } \underline{U}_1 = \alpha U_{ad N} + r_1 \underline{I}_1,$$

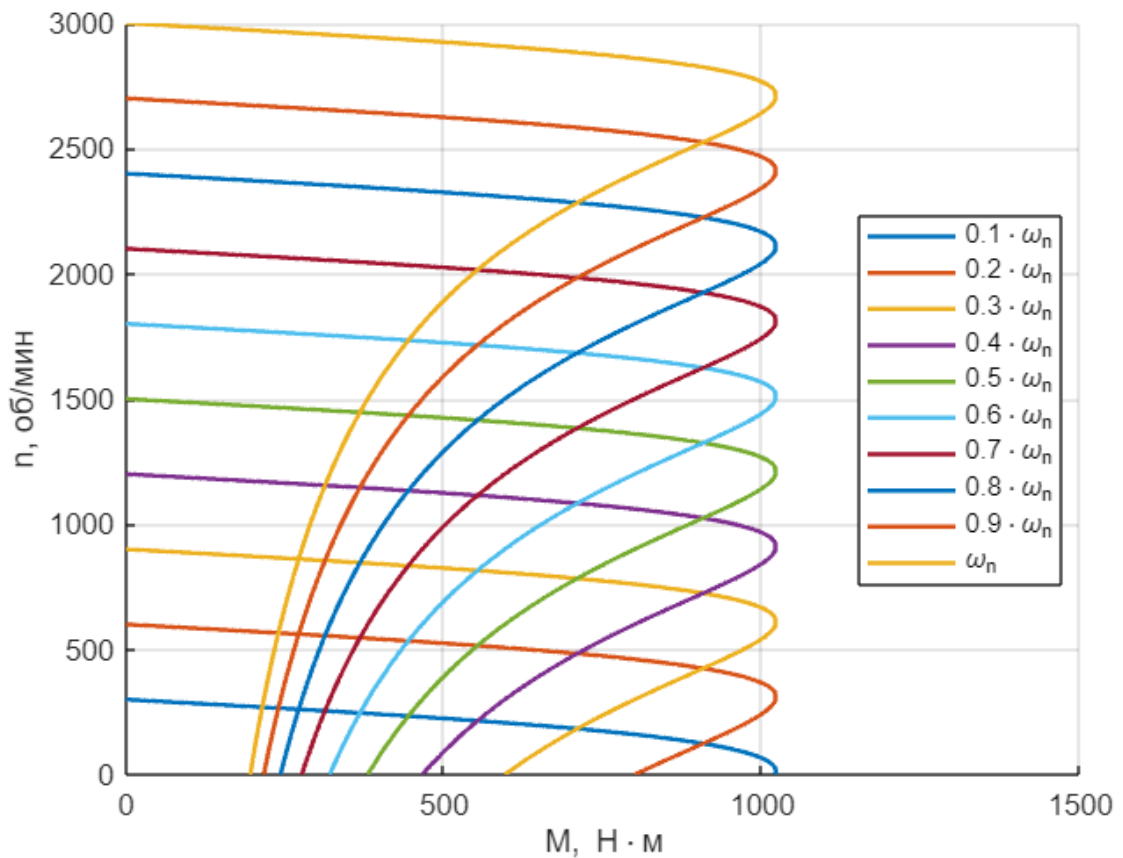


Рисунок 5 - Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IR-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IZ-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

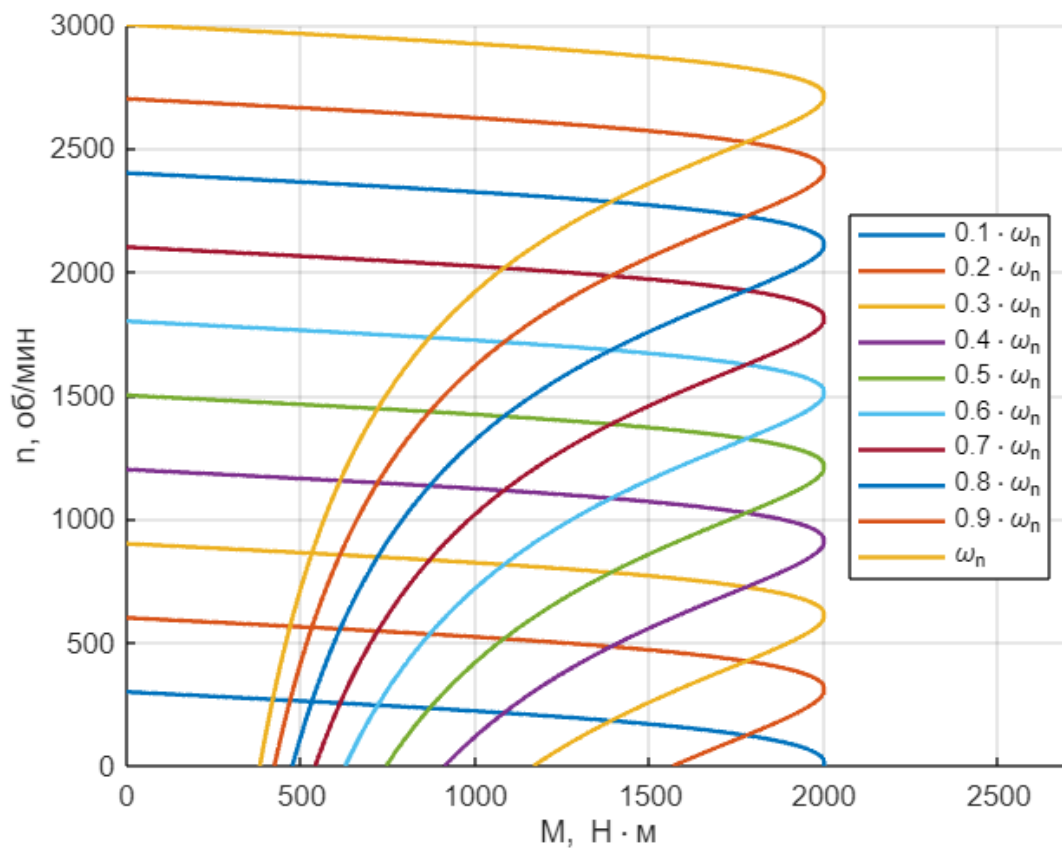


Рисунок 6 - Семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IZ-компенсацией для частот питания $\omega = 0.1\omega_n : 0.1\omega_n : \omega_n$

2. Построение динамической модели АД с КЗР

Динамическая модель Simulink

Трёхфазное управляющее напряжение:

$$\begin{cases} U_a = U_m \sin(\omega t) \\ U_b = U_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ U_c = U_m \sin(\omega t + 2\pi/3) \end{cases}$$

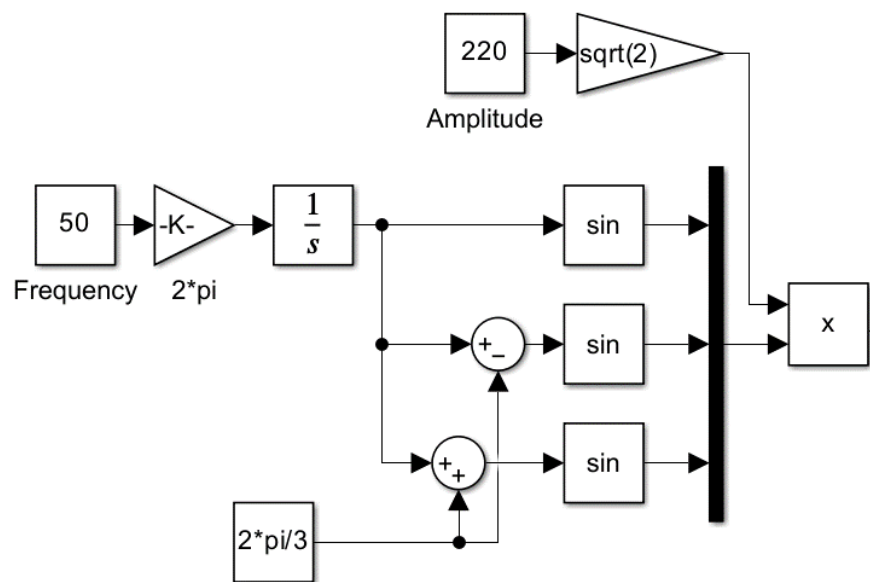


Рисунок 7 – Генератор трехфазного управляющего напряжения

Преобразование в неподвижную двухфазную ортогональную систему координат:

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ 0 & 1/\sqrt{3} & -1/\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

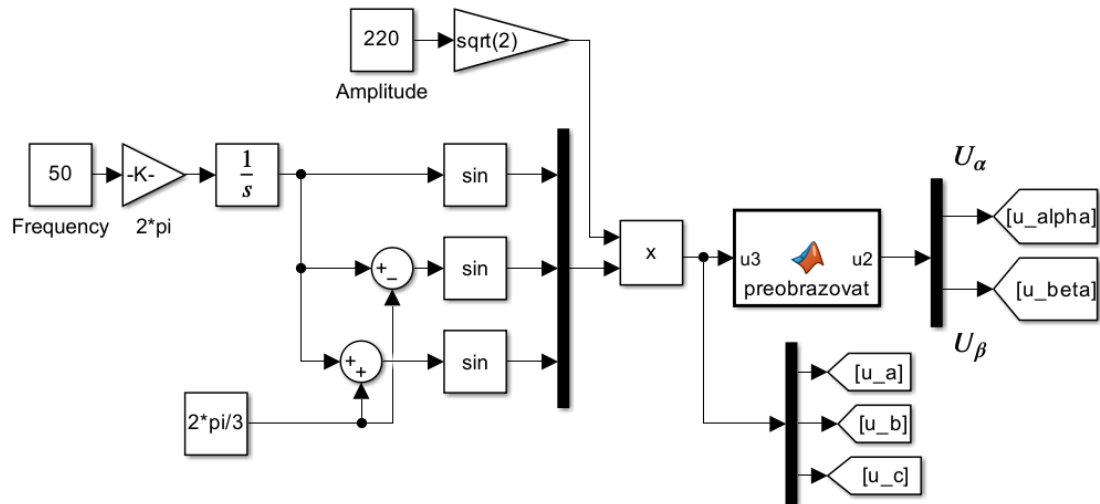


Рисунок 8 - Генератор напряжения с преобразователем

Расчет тока статора:

$$I_{Sm} = \sqrt{i_{S\alpha}^2 + i_{S\beta}^2} - \text{амплитудное значение}$$

$$I_S = \frac{I_{Sm}}{\sqrt{2}} - \text{действующее значение}$$

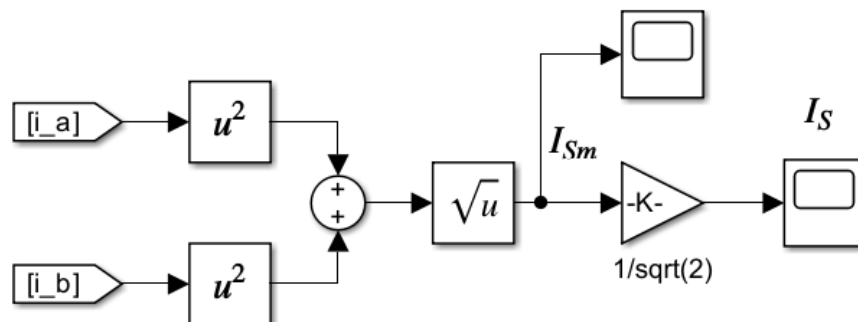


Рисунок 9 - Схема для расчета тока статора

$$\begin{cases} \frac{di_{S\alpha}}{dt} = K_u u_\alpha - K_i i_{S\alpha} + K_1 \Psi_{R\alpha} + K_2 \omega_e \Psi_{R\beta}, \\ \frac{di_{S\beta}}{dt} = K_u u_\beta - K_i i_{S\beta} + K_1 \Psi_{R\beta} - K_2 \omega_e \Psi_{R\alpha}, \\ \frac{d\Psi_{R\alpha}}{dt} = K_3 i_{S\alpha} - K_4 \Psi_{R\alpha} - \omega_e \Psi_{R\beta}, \\ \frac{d\Psi_{R\beta}}{dt} = K_3 i_{S\beta} - K_4 \Psi_{R\beta} + \omega_e \Psi_{R\alpha}, \\ M_{IM} = 1.5 \cdot Z_p \cdot \frac{L_M}{L_R} \cdot (\Psi_{R\alpha} \cdot i_\beta - \Psi_{R\beta} \cdot i_\alpha). \end{cases}$$

$$K_u = \frac{L_R}{L_S L_R - L_M^2}, K_i = \frac{R_S L_R^2 + L_M^2 R_R}{L_S L_R^2 - L_M^2 L_R},$$

$$K_1 = \frac{L_M R_R}{L_S L_R^2 - L_M^2 L_R}, K_2 = \frac{L_M}{L_S L_R - L_M^2},$$

$$K_3 = \frac{L_M R_R}{L_R}, K_4 = \frac{R_R}{L_R}.$$

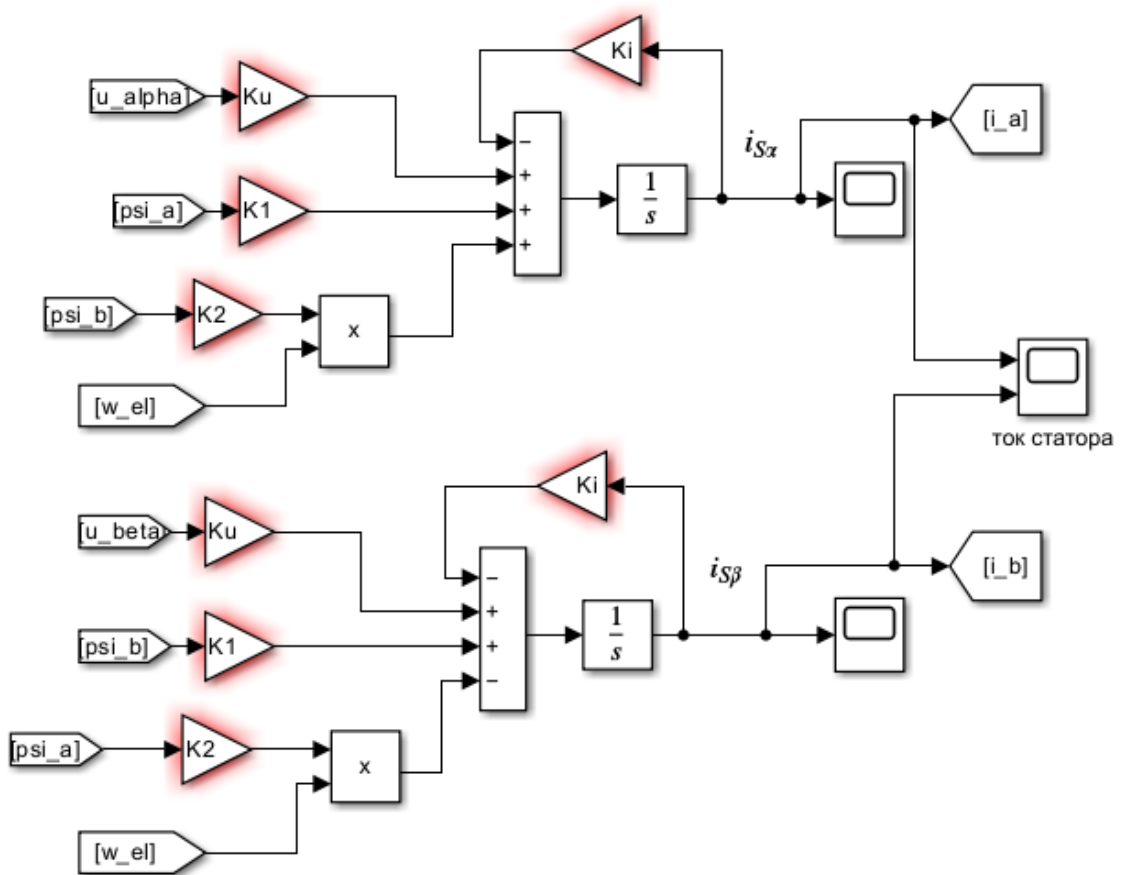


Рисунок 10 - Схема для расчета тока статора в двухфазной неподвижной системе координат

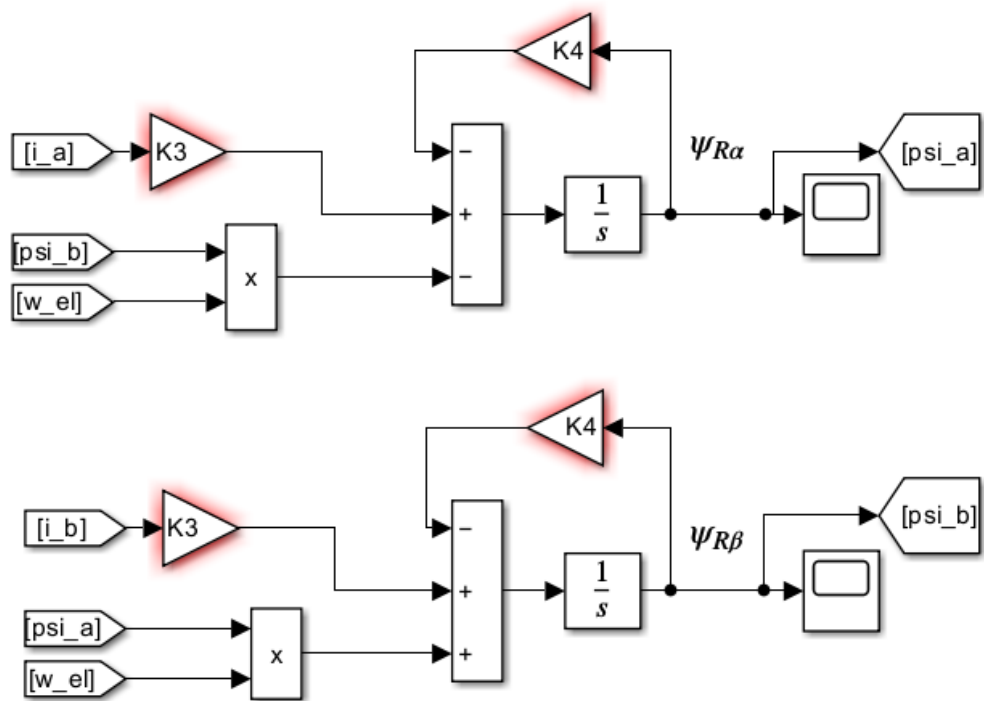


Рисунок 11 - Схема для расчета потокосцепления в двухфазной неподвижной системе координат

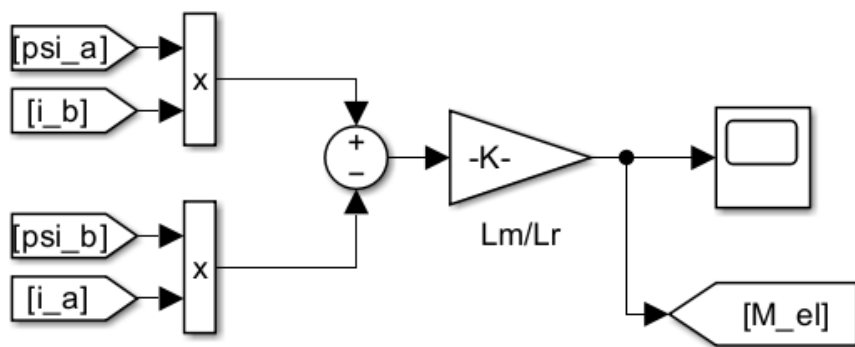


Рисунок 12 – Схема для расчета электрического момента M_{el}

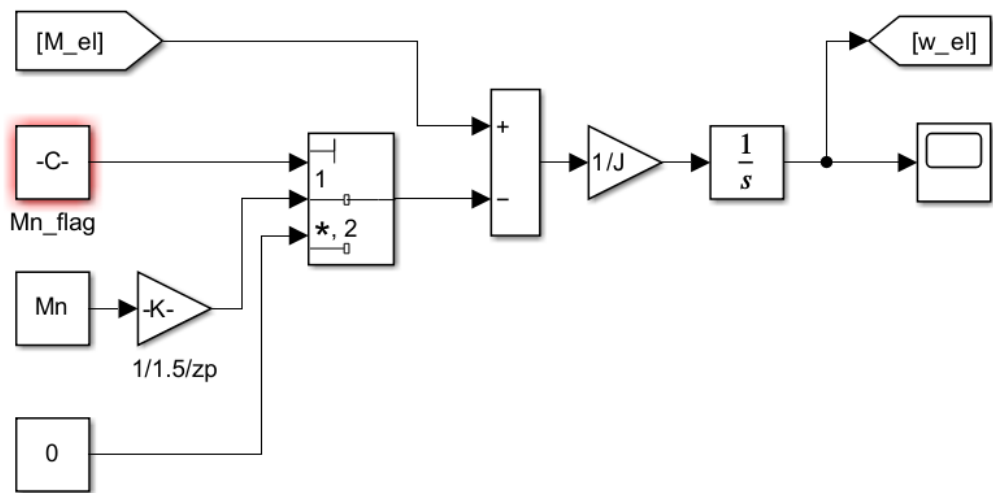


Рисунок 13 - Схема для расчета скорости вращения ротора ω_{el}

Моделирование Simulink

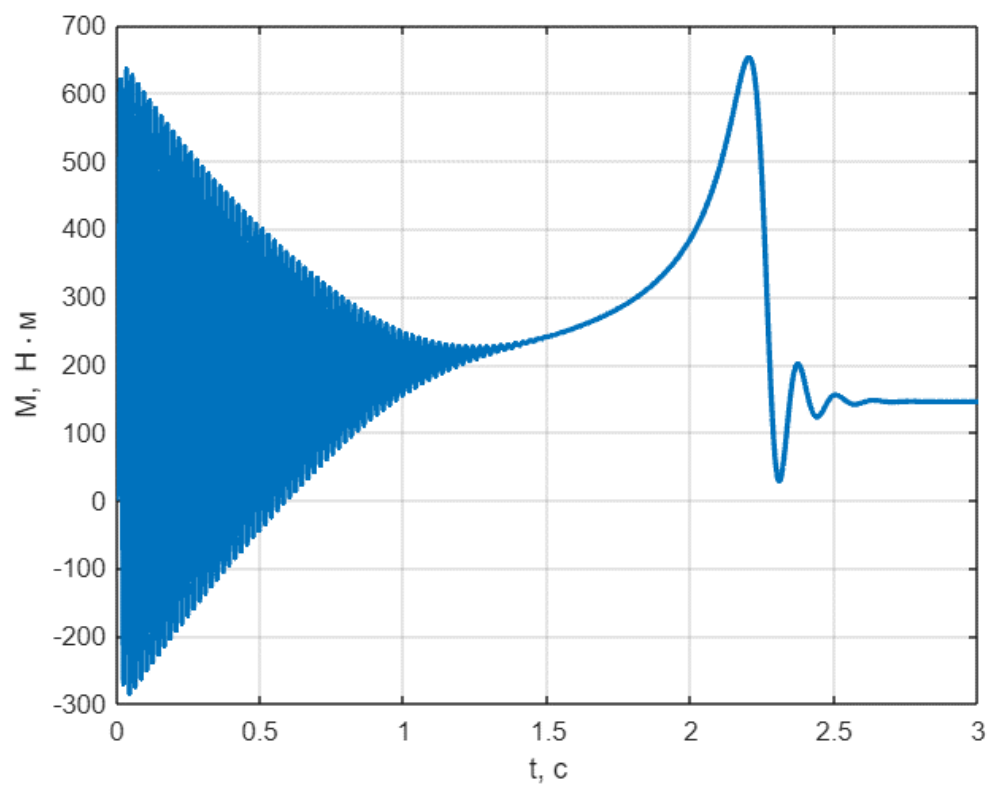


Рисунок 14 – График момента при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой

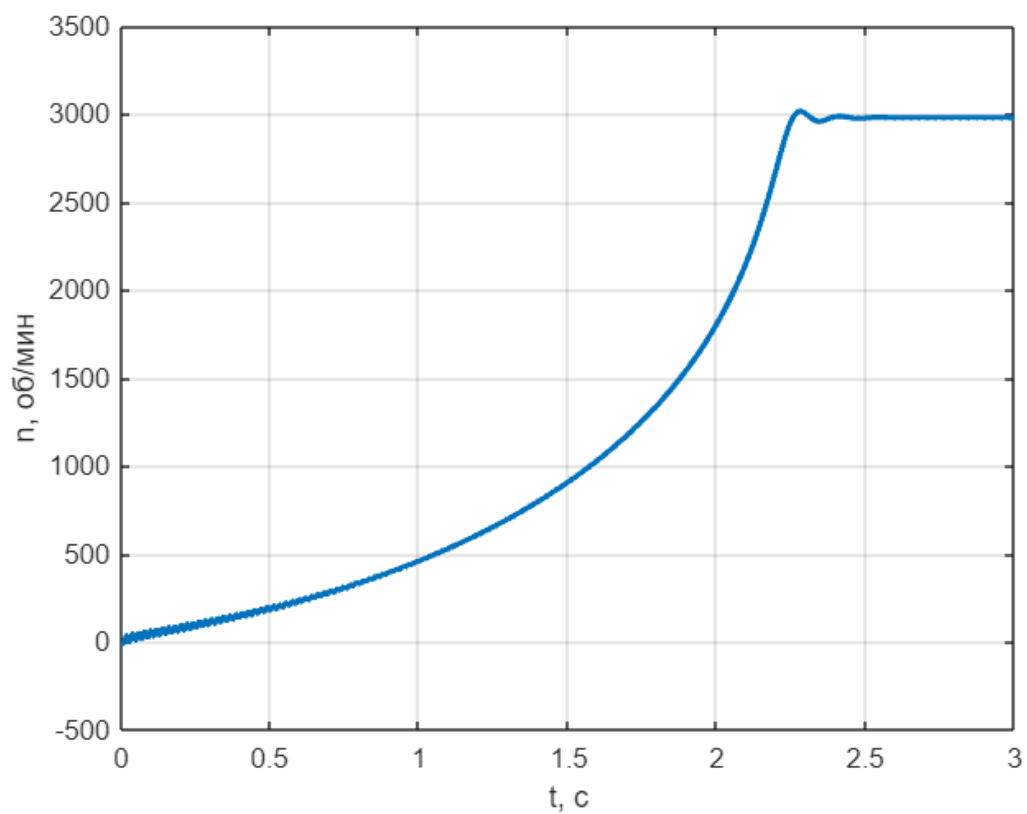


Рисунок 15 - график скорости вращения ротора при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой

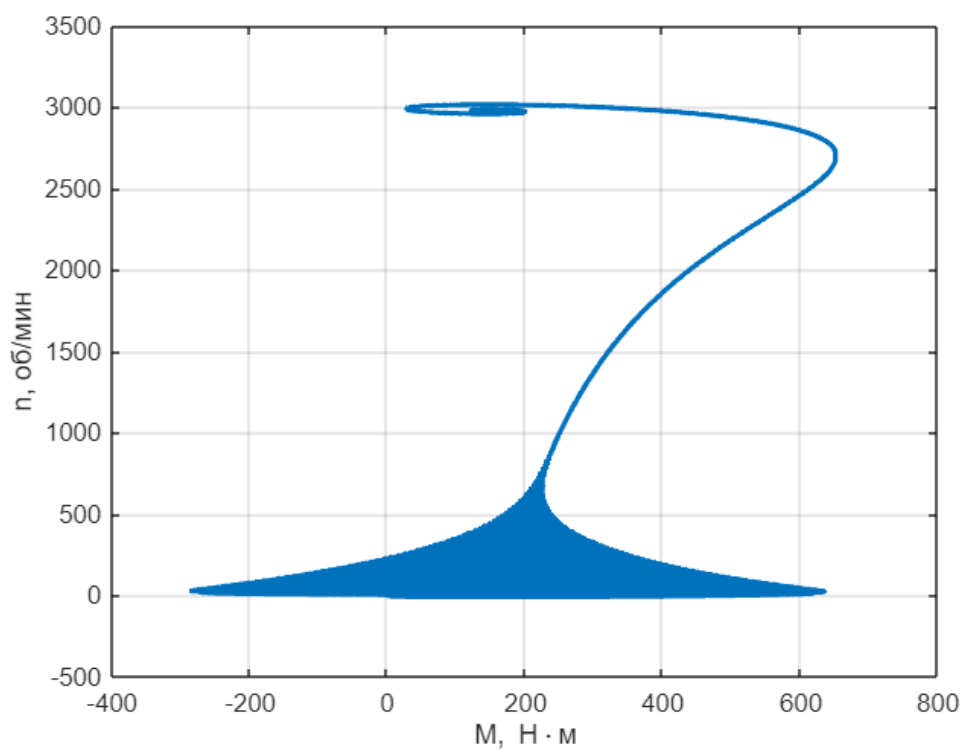


Рисунок 16 - Механическая характеристика при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой

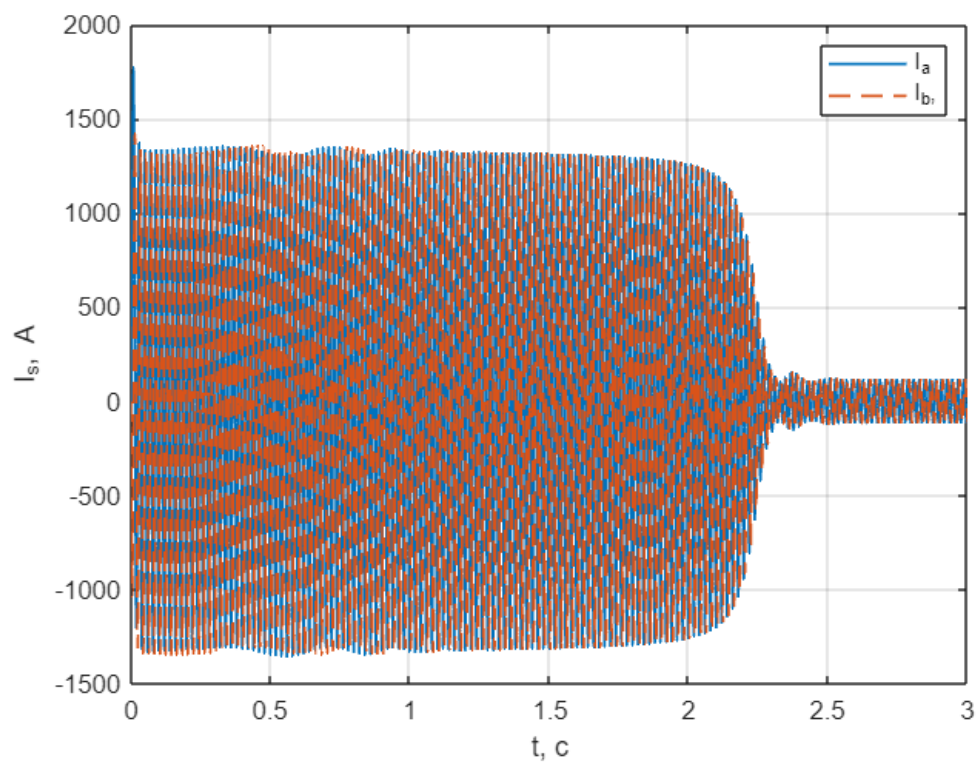


Рисунок 17 - График тока при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой

Динамическая модель Simscape

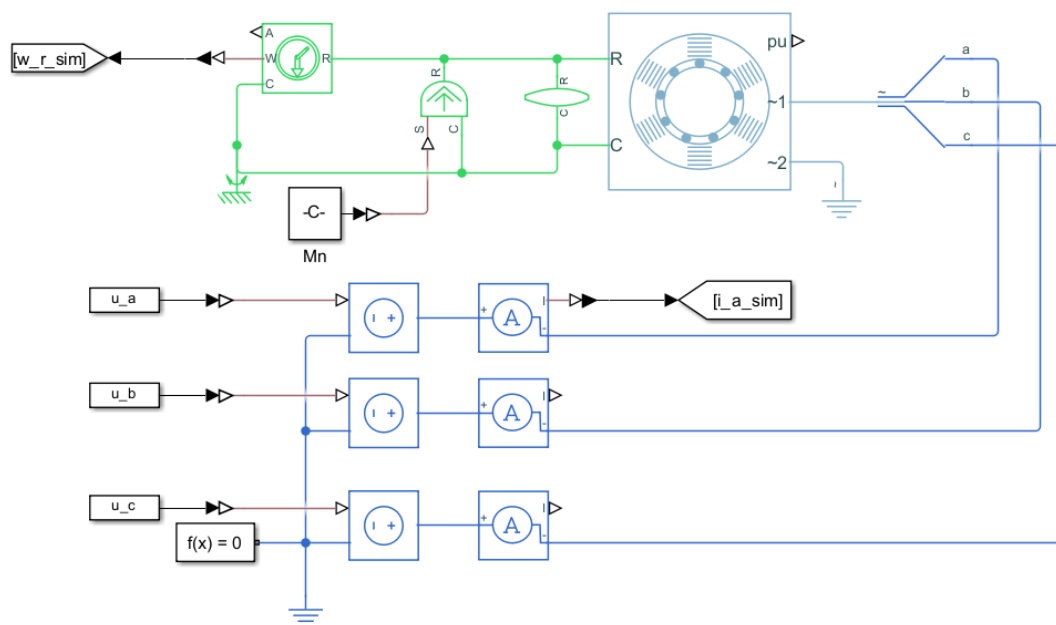


Рисунок 18 - Схема Simscape

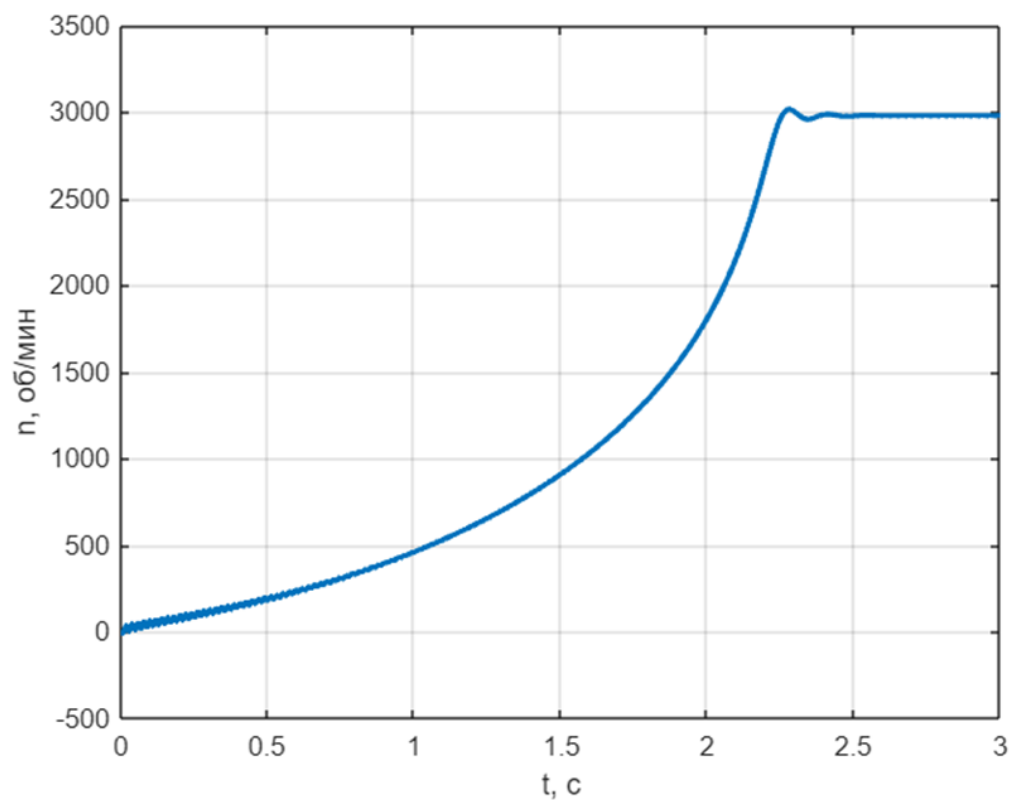


Рисунок 19 - График скорости при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой при моделировании в Simscape

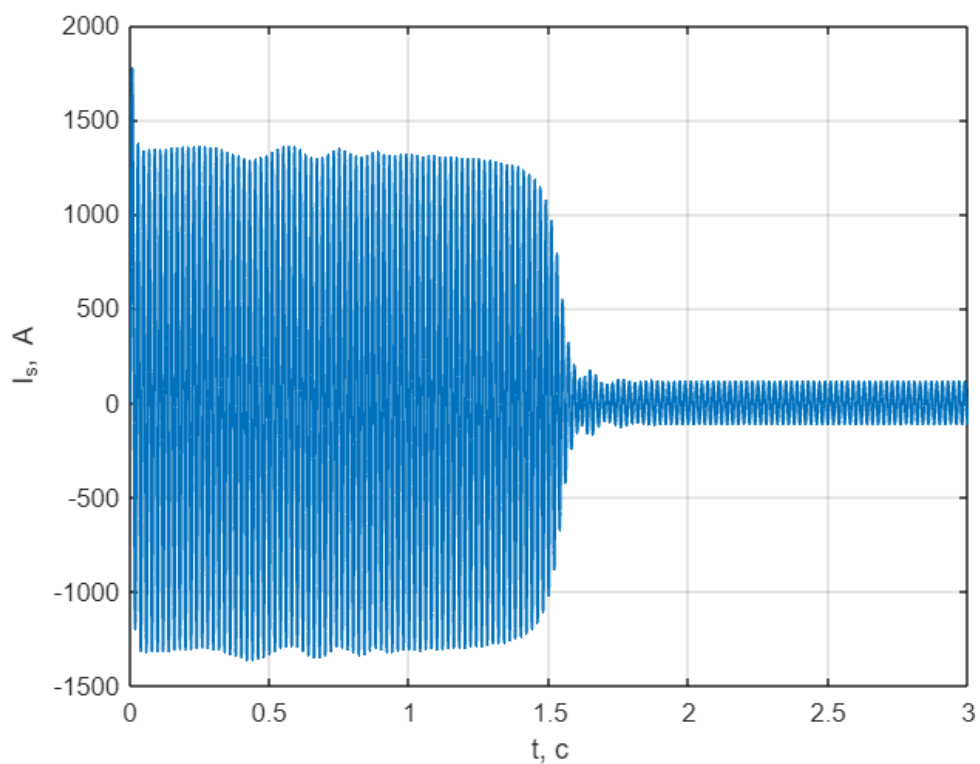


Рисунок 20 - График тока при прямом пуске АД с номинальной нагрузкой при моделировании в Simscape

4. Построение скалярного частотного управления АД с КЗР по закону $U/f = \text{const}$

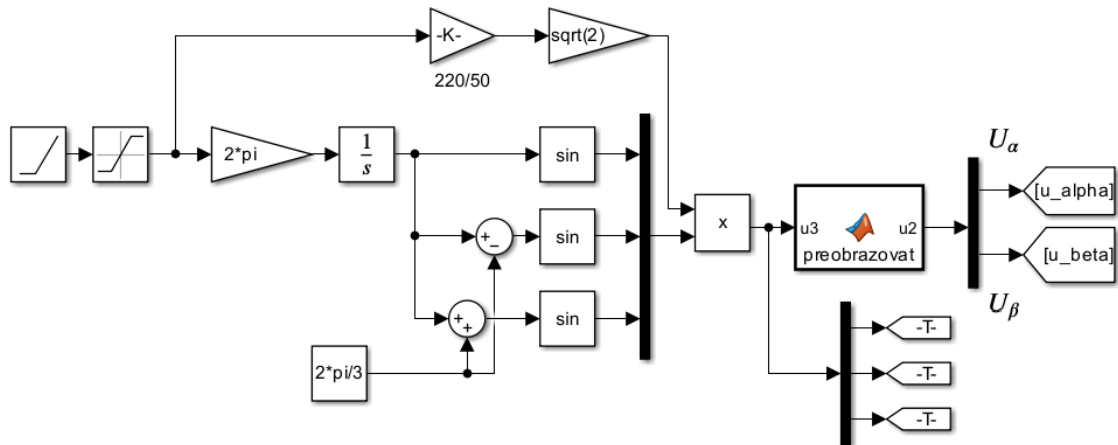


Рисунок 21 - Измененный генератор напряжения для частотного управления

Будем проводить частотное управления АД с КЗР с номинальной нагрузкой с разными временами нарастания частоты: 50%, 75%, 100%.

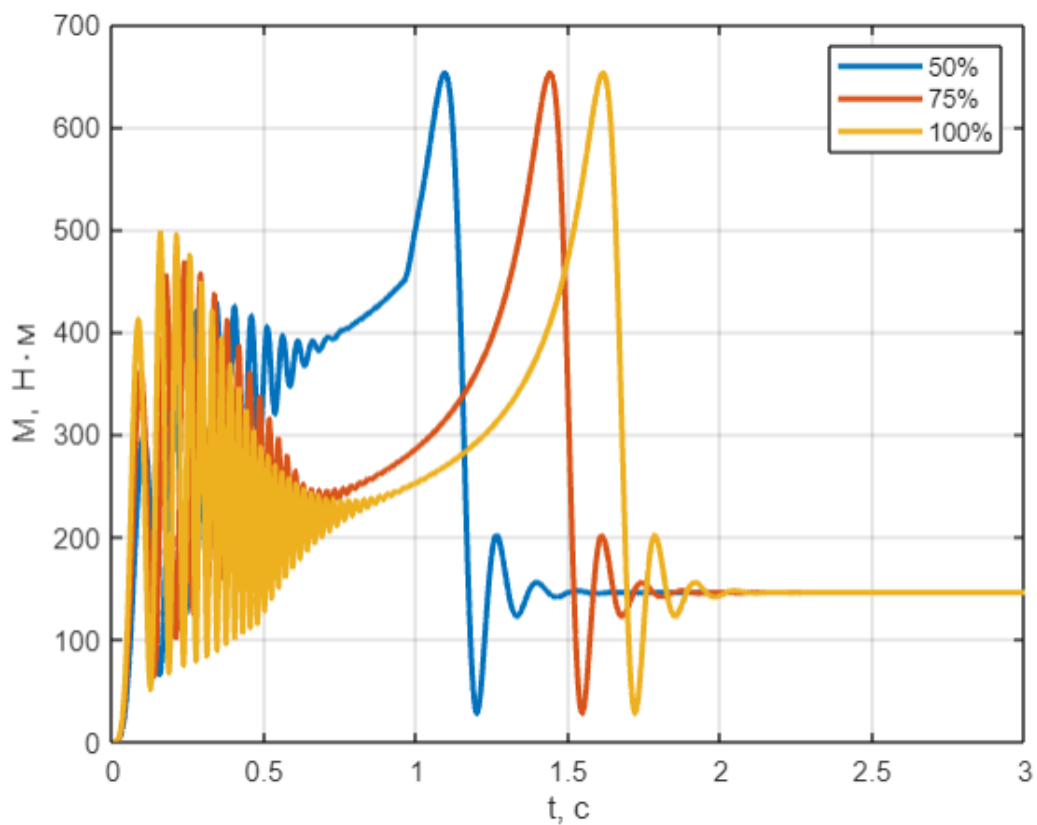


Рисунок 22 - Графики момента при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при различном времени нарастания частоты

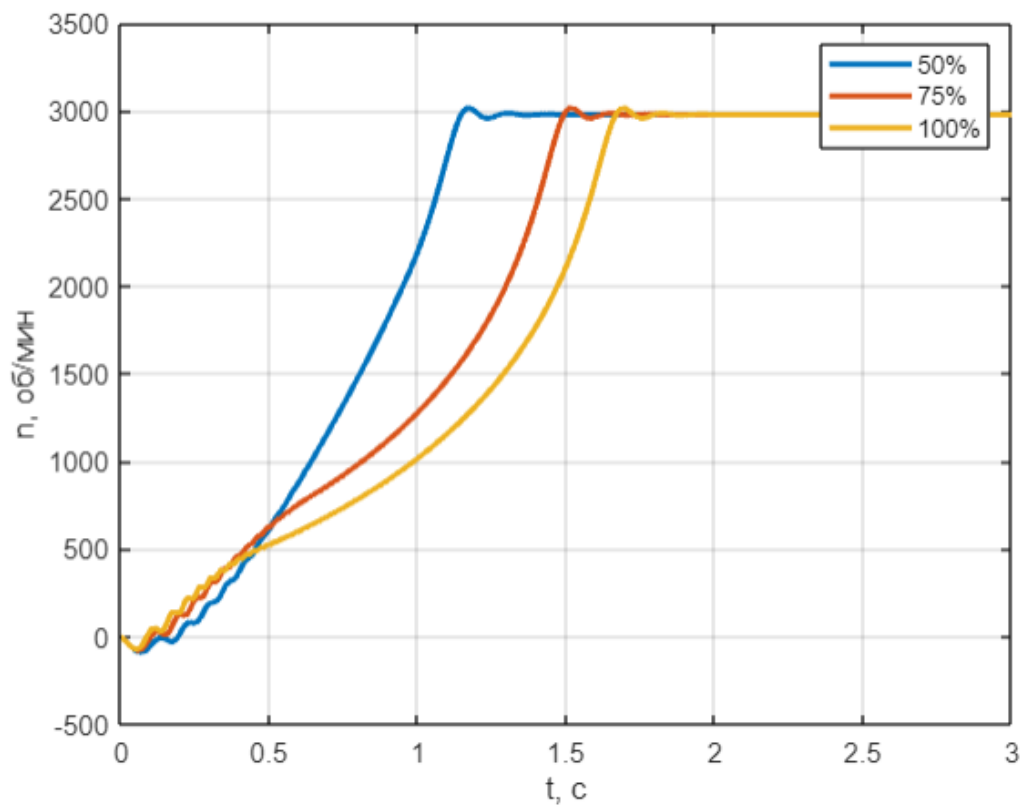


Рисунок 23 - Графики скорости вращения ротора при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при различном времени нарастания частоты

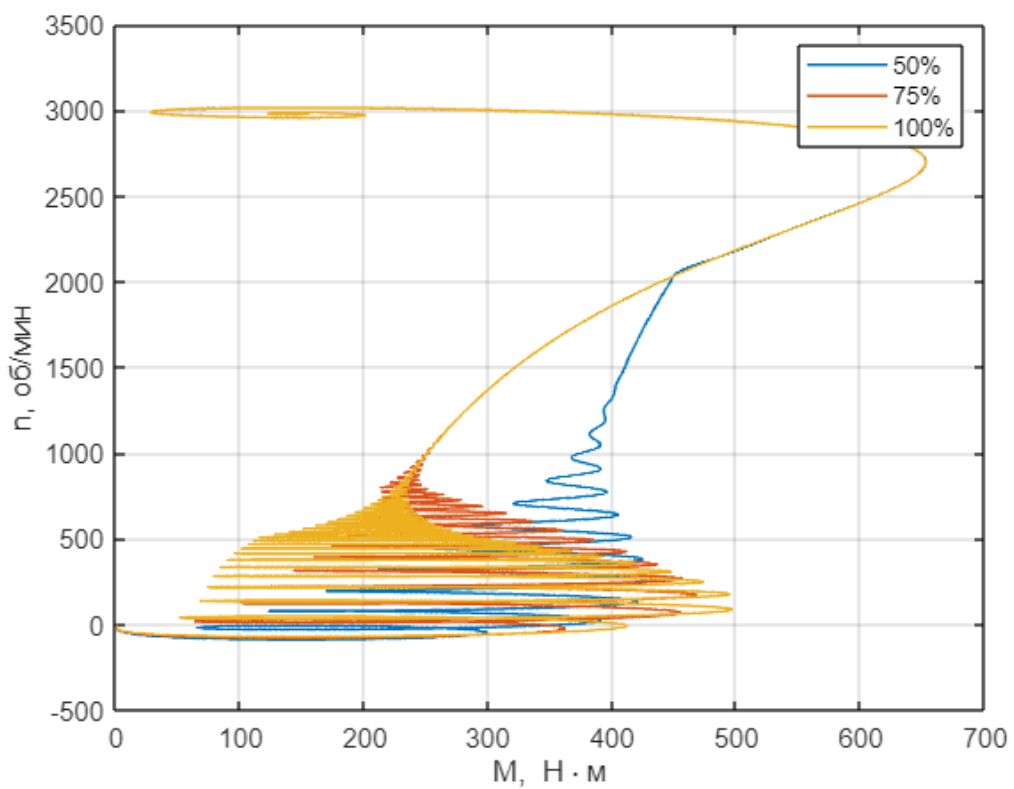


Рисунок 24 – Механические характеристики при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при различном времени нарастания частоты

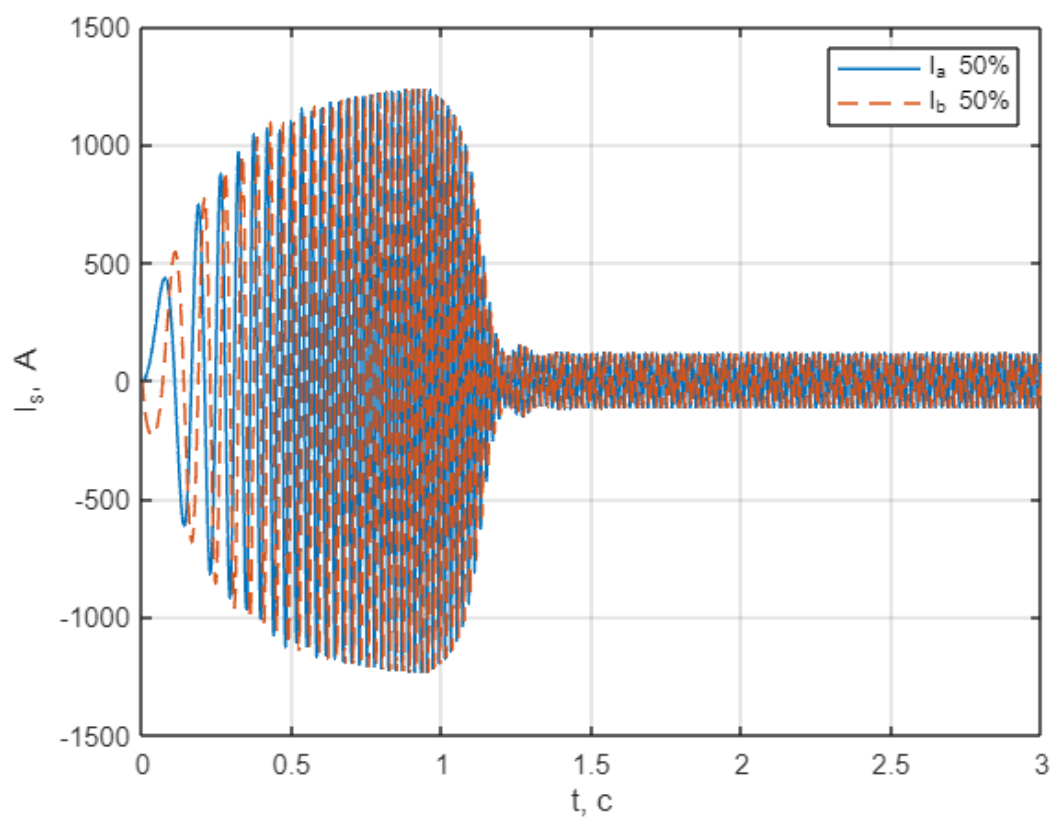


Рисунок 25 – Графики тока при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при времени нарастания частоты 50%

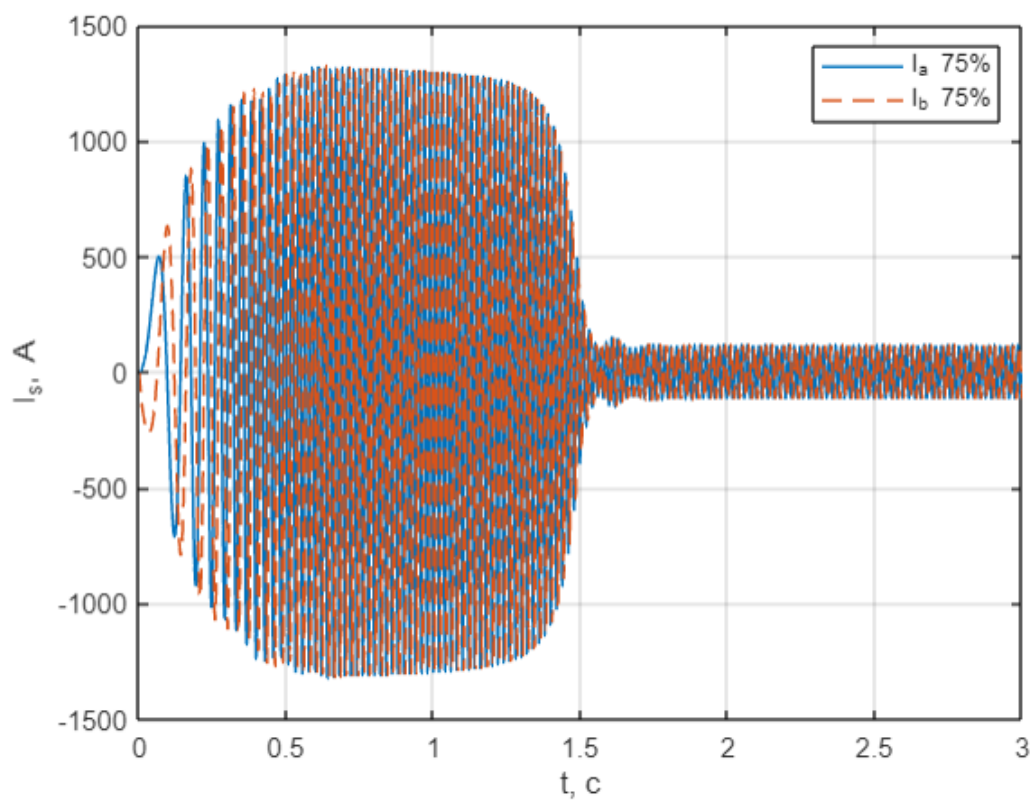


Рисунок 26 – Графики тока при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при времени нарастания частоты 75%

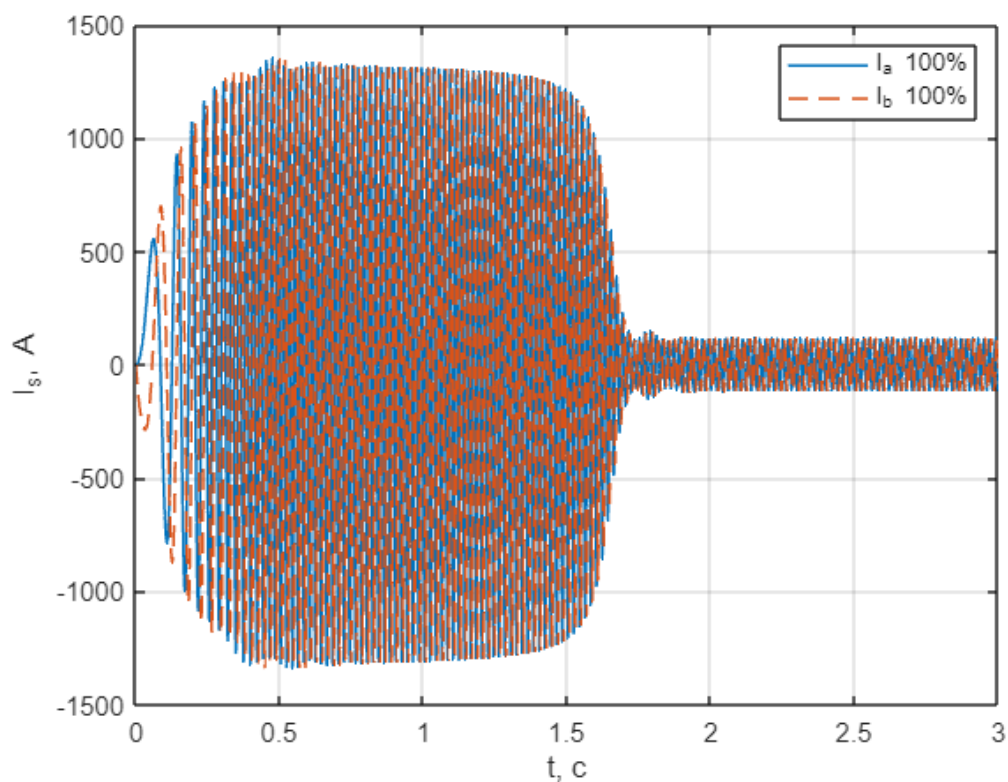


Рисунок 27 – Графики тока при частотном управлении АД с КЗР с номинальной нагрузкой при времени нарастания частоты 100%

5. Выводы

В данной работе были успешно исследованы статические и динамические характеристики электропривода с АД с КЗР. Были построены семейства механических характеристик при разных регулирований. А также модели в Simulink и Simscape, с помощью которых проведено моделирование прямого пуска АД и пуска с линейным увеличением частоты питания. Построены графики тока статора, момента и скорости.