

ІІТМО

Электрический привод

Практика 5. Лабораторная работа «Исследование электропривода на базе АД с КЗР»

**Маматов Александр Геннадьевич, к.т.н., ассистент ф. СУиР,
руководитель группы научно-технического развития,
НПЦ «Прецизионная Электромеханика»**

Задание 1 «Исследование статических характеристик электропривода с АД с КЗР»

Исходные данные: паспортные данные двигателя, который вы выбрали в первой ЛР.



а) Рассчитать параметры схемы замещения двигателя по паспортным данным (если вы не считали на курсе «Электрические машины», спросите код у ментора)

б) Построить семейство механических характеристик при изменении напряжения питания: от $0.1 \cdot U_{nom}$ до U_{nom} с шагом $0.1 \cdot U_{nom}$

в) Построить семейство механических характеристик при изменении частоты питания от $0.1 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} с шагом $0.1 \cdot \omega_{1nom}$

Задание 1 «Исследование статических характеристик электропривода с АД с КЗР»



г) Построить семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ для частот питания от $0.1 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} с шагом $0.1 \cdot \omega_{1nom}$

д) Построить семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IR компенсацией для частот питания от $0.1 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} с шагом $0.1 \cdot \omega_{1nom}$

е) Построить семейство механических характеристик при скалярном частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$ с IZ компенсацией для частот питания от $0.1 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} с шагом $0.1 \cdot \omega_{1nom}$

Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Построить динамическую модель АД с КЗР.



Промоделировать прямой пуск АД с механической нагрузкой из ЛР №1 построить графики тока статора, момента, скорости.

Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

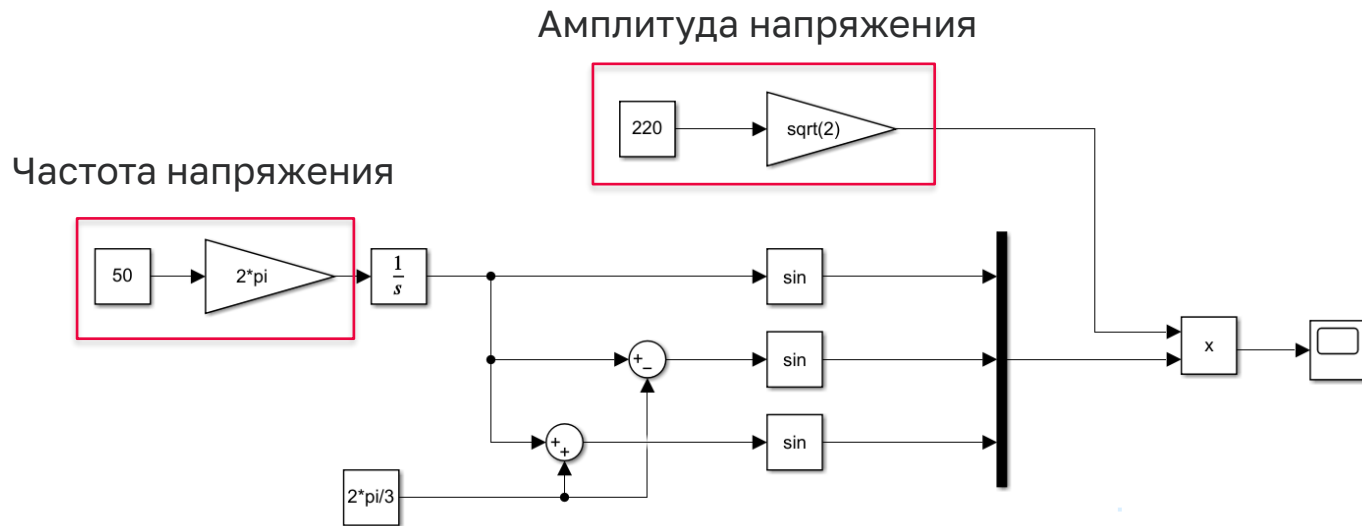
Трёхфазное управляющее напряжение:



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

Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Модель в Simulink:



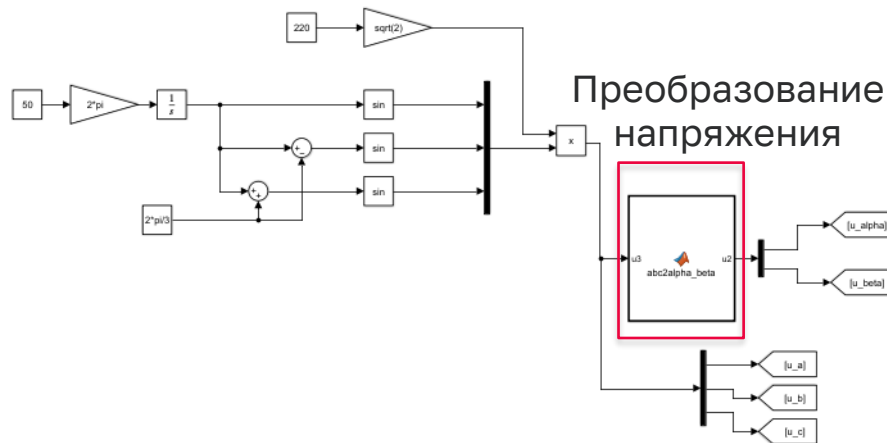
Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Преобразование в неподвижную двухфазную ортогональную систему координат:

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

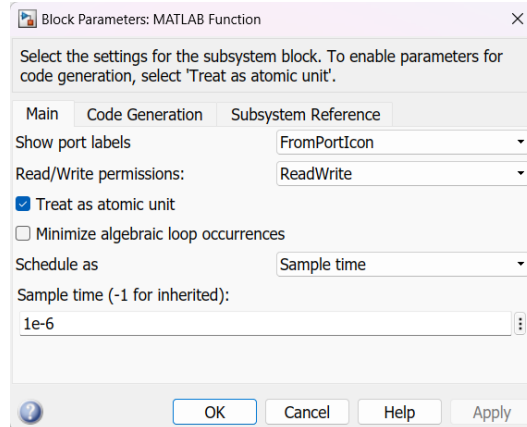
Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Модель в Simulink:



MATLAB Function

```
function u2 = abc2alpha_beta(u3)
    u2 = [2/3 -(1/3) -(1/3); 0 1/sqrt(3) -1/sqrt(3)] * u3;
end
```



Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Параметры модели:



R_S активное сопротивление статора

Z_p число пар полюсов

R_R активное сопротивление ротора

$\omega_e = Z_p \cdot \omega_r$ электрическая частота вращения ротора

L_M индуктивность ветви намагничивания

ω_r частота вращения ротора

$L_S = L_M + L_{S\sigma}$ полная индуктивность ветви статора

$L_R = L_M + L_{R\sigma}$ полная индуктивность ветви ротора

Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Динамическая модель АД с КЗР в двухфазной неподвижной системе координат относительно тока статора и потокосцепления ротора:

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

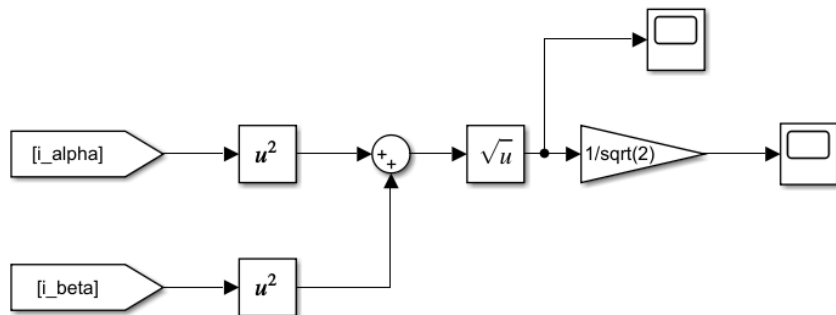
$$\begin{aligned} K_u &= \frac{L_R}{L_S L_R - L_M^2}, K_i = \frac{R_S L_R^2 + L_M^2 R_R}{L_S L_R^2 - L_M^2 L_R}, \\ K_1 &= \frac{L_M R_R}{L_S L_R^2 - L_M^2 L_R}, K_2 = \frac{L_M}{L_S L_R - L_M^2}, \\ K_3 &= \frac{L_M R_R}{L_R}, K_4 = \frac{R_R}{L_R}. \end{aligned}$$

Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Расчет тока статора:

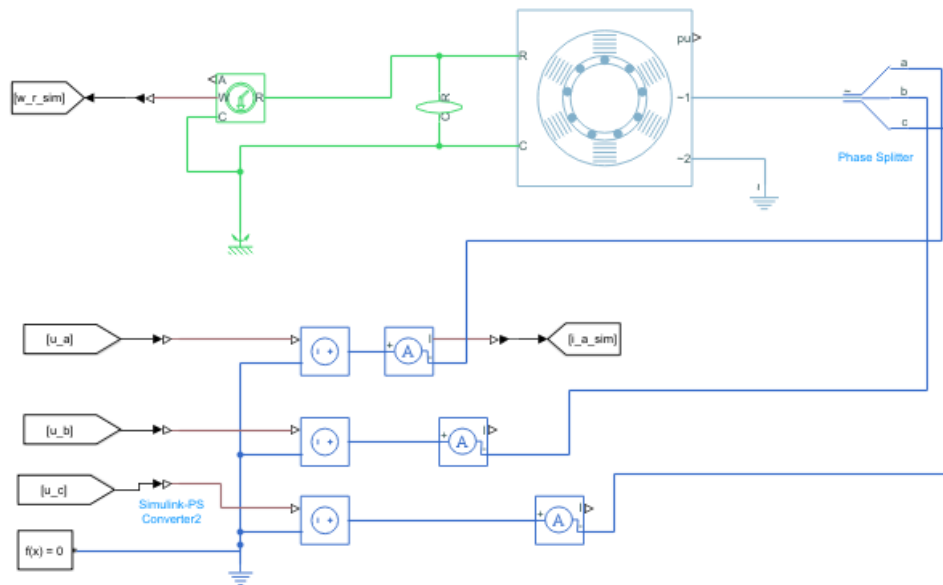
$$I_{Sm} = \sqrt{i_{S\alpha}^2 + i_{S\beta}^2} \quad \text{амплитудное значение}$$

$$I_s = \frac{I_{Sm}}{\sqrt{2}} \quad \text{действующее значение}$$



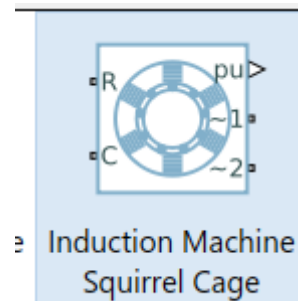
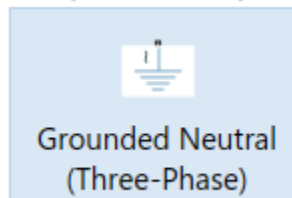
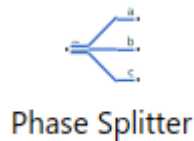
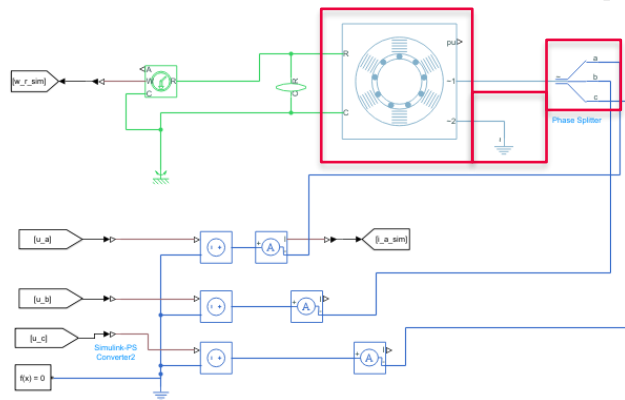
Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Динамическая модель АД с КЗР в Simscape:



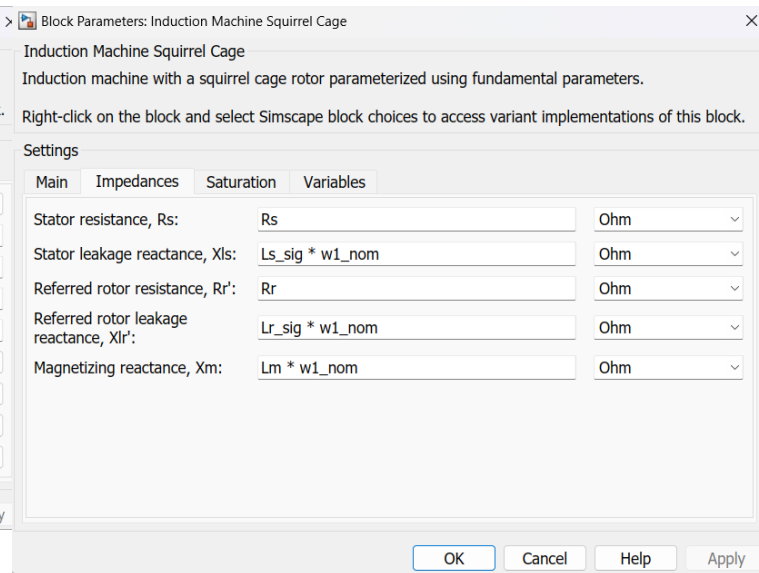
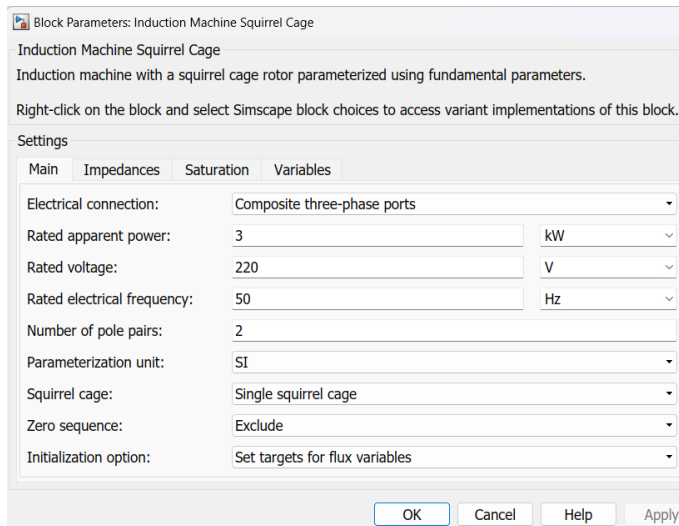
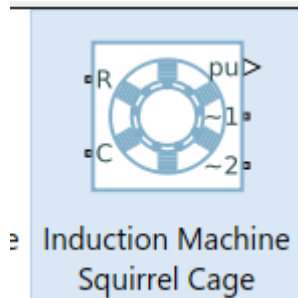
Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Динамическая модель АД с КЗР в Simscape:



Задание 2 «Построение динамической модели АД с КЗР»

Динамическая модель АД с КЗР в Simscape:



Мощность и число пар полюсов у вас отличаются

Задание 3 «Построение скалярного частотного управления АД с КЗП»

Реализовать скалярное частотное управление АД с КЗП по закону $U/f = \text{const}$.

Промоделировать частотный пуск АД с механической нагрузкой из ЛР №1, построить графики тока статора, момента, скорости.

Под частотным пуском подразумевается линейное увеличение частоты питания от $0.05 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} . Рассмотреть разные времена нарастания частоты. Сравнить результаты.

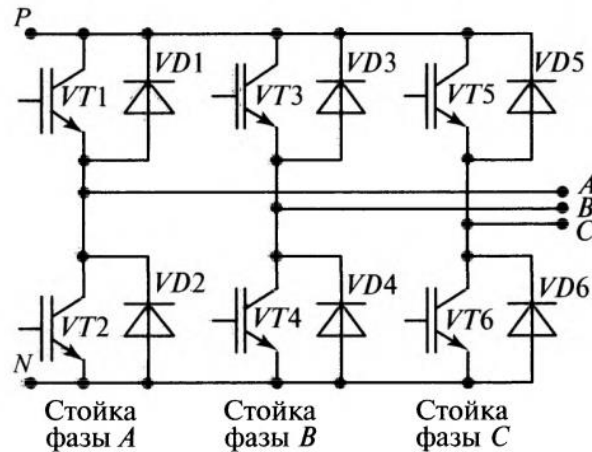
Задание 3 «Построение скалярного частотного управления АД с КЗП»

Подсказка:

Для реализации скалярного частотного управления по закону $U/f = \text{const}$ необходимо ввести функциональную связь между действующим значением напряжения и его частотой при формировании трехфазного управляющего напряжения.

Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

Широтно-импульсный преобразователь выполняет роль усилителя напряжения и для трехфазных двигателей переменного тока, в большинстве случаев, реализуется следующим образом:



Теория:

Системы управления электроприводов. Анучин А.С. Глава 2

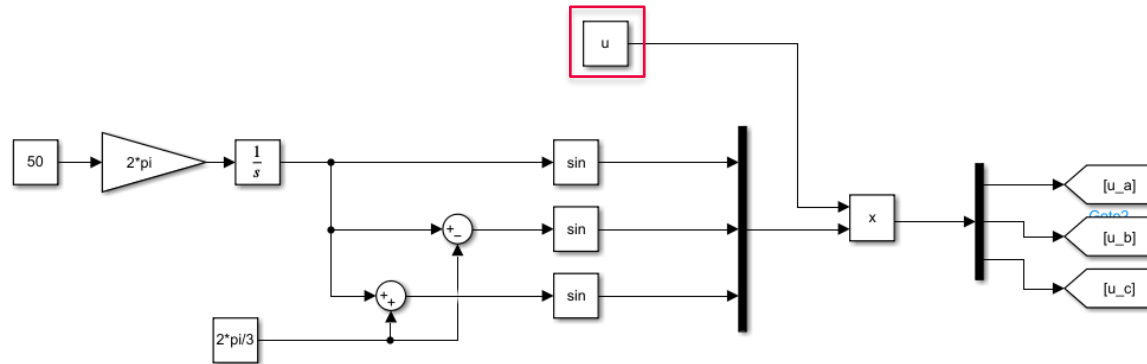
Electric Motor Control DC, AC, and BLDC Motors. Sang-Hoon Kim. Глава 7

Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

Предположим питание системы ШИП-АД осуществляется от источника напряжения постоянного тока $U_{dc} = 700$ В.



Преобразуем задатчик управляющих трехфазных напряжений следующим образом:



Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

$u \in [0;1]$ Относительная амплитуда напряжения



Мы будем реализовывать синусоидальную ШИМ, в этом случае амплитуда управляющего напряжения определяется следующим образом:

$$U_m = u \cdot \frac{U_{DC}}{2}$$

Предварительно следует определить величину u , соответствующую амплитуде номинального фазного напряжения двигателя.

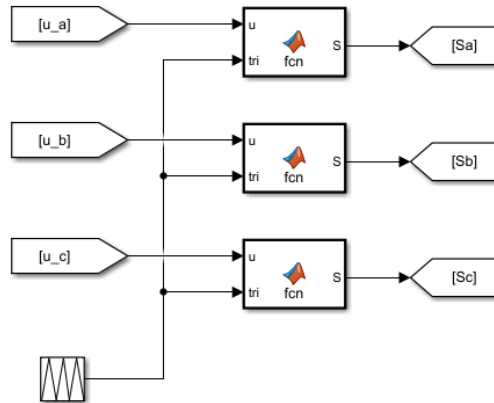
Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

В качестве опорного сигнала будем использовать тот же пилообразный сигнал, что и в лабораторной работе №2.



Реализуем расчет фазных напряжений для Simulink модели.

Расчет функции переключения верхнего ключа для каждой стойки инвертора:

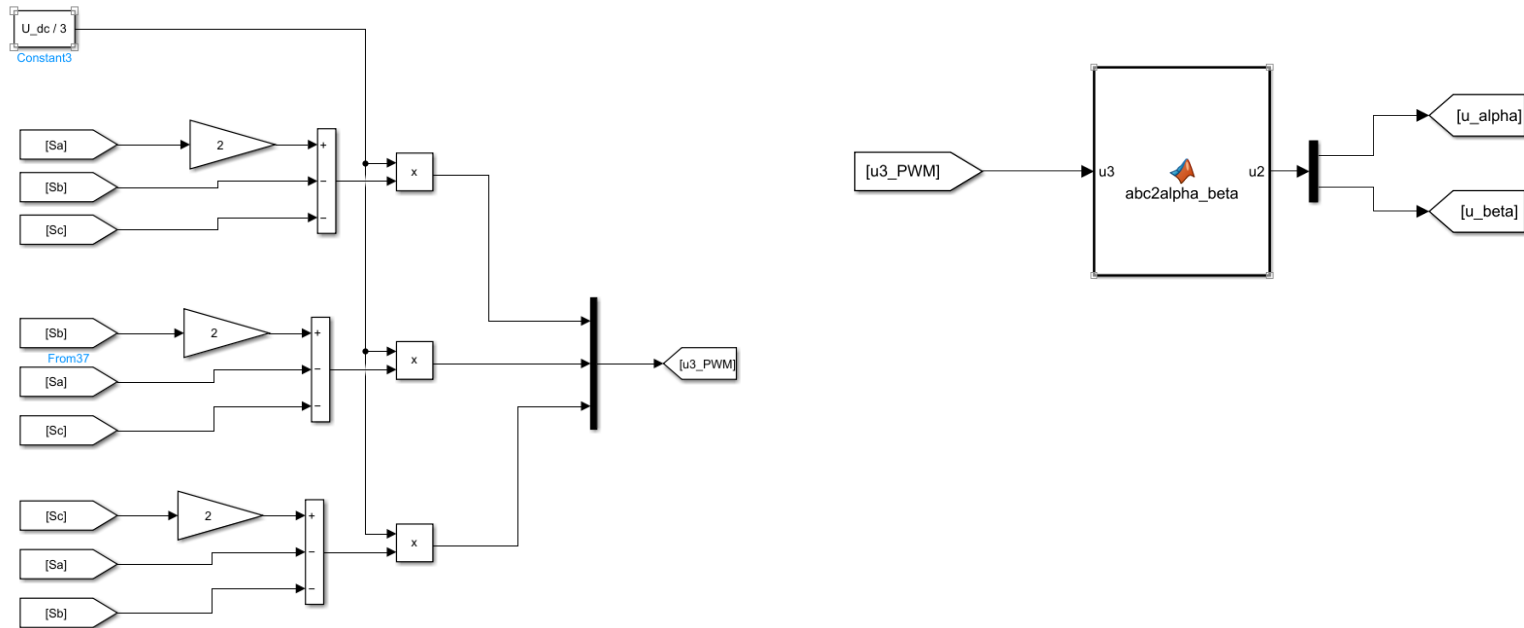


MATLAB Function1

```
function S = fcn(u, tri)
if u >= tri
    S = 1;
else
    S = 0;
end
```

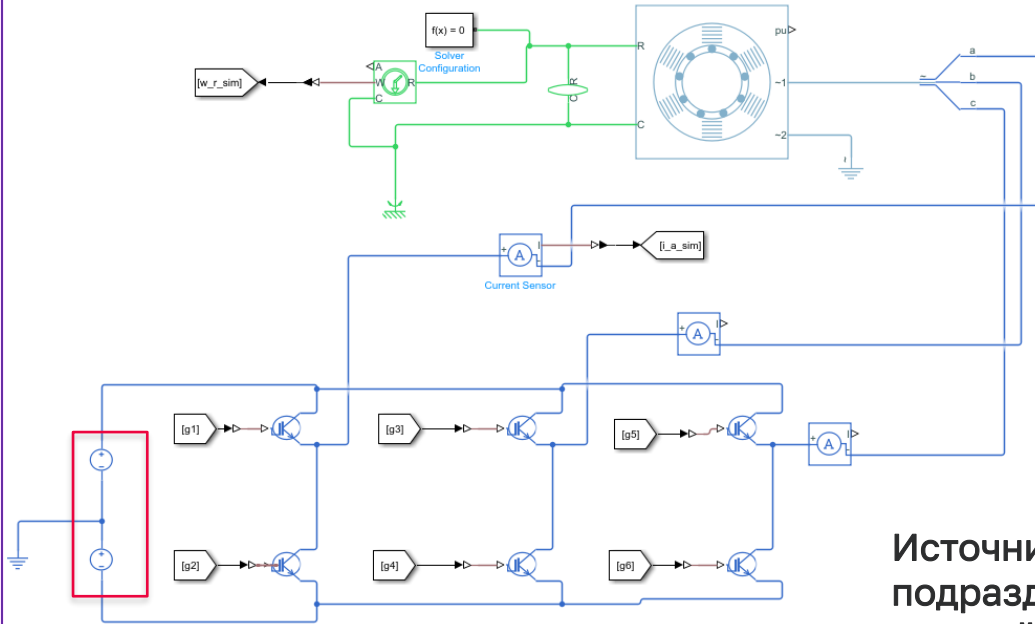
Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

Расчет фазных напряжений для Simulink модели:



Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

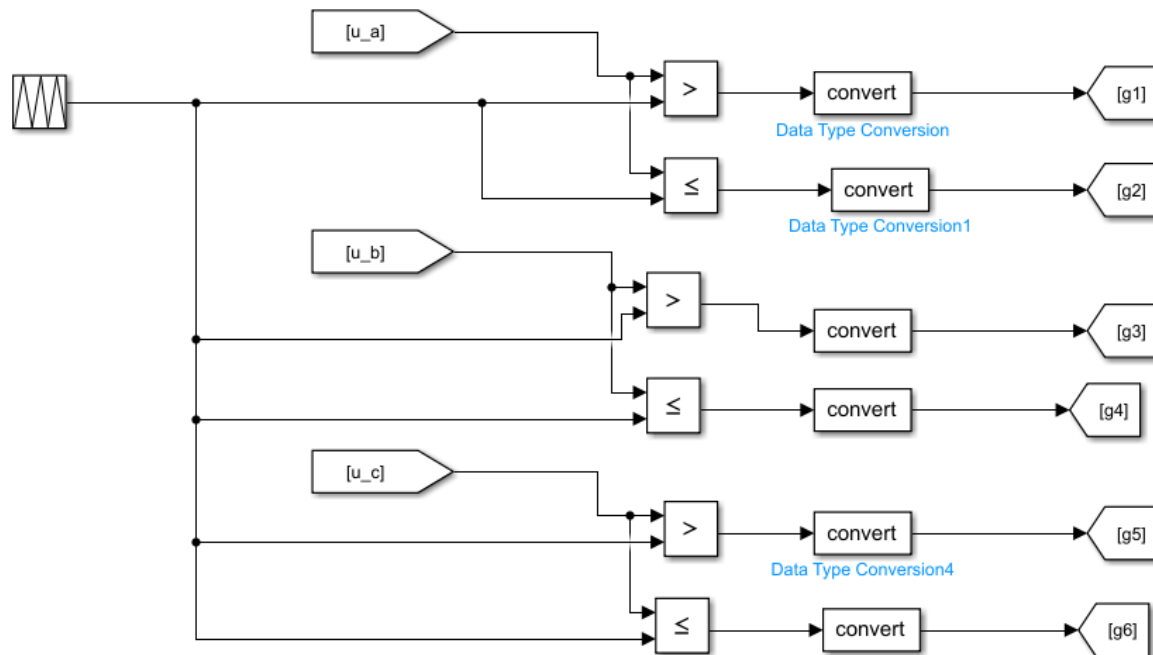
Реализуем ШИП для Simscape модели:



Источник питания на модели условно подразделяем на два источника по $U_{dc}/2$ каждый, «землю» подключаем между ними.

Дополнительное задание 1 «Моделирование системы управления АД с КЗР с ШИП»

Расчет управления для стоек преобразователя:



Дополнительное задание 2 «Построение скалярного частотного управления АД с КЗР с IR- и IZ-компенсацией»

Дополнить модель АД с ШИП скалярным векторным управлением с IR- и IZ- компенсацией.

Промоделировать частотный пуск АД с механической нагрузкой из ЛР №1, построить графики тока статора, момента, скорости.

Под частотным пуском подразумевается линейное увеличение частоты питания от $0.05 \cdot \omega_{1nom}$ до ω_{1nom} . Рассмотреть разные времена нарастания частоты. Сравнить результаты.

**Спасибо
за внимание!**

it's **MO** *re than a*
UNIVERSITY

amamatov@itmo.ru