

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации


Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

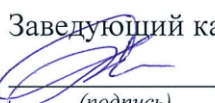


Работа выполнена в СКБ ФЭУ «Промышленная робототехника»

СОГЛАСОВАНО

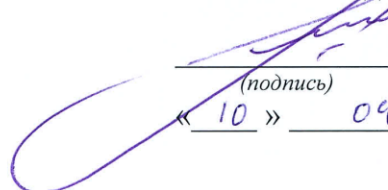
Декан ЭТФ


_____ А.С. Гудим
(подпись)
« 09 » 04 20 20 г.

Заведующий кафедрой _____

_____ С.П. Черный
(подпись)
« 08 » 04 20 20 г.


УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОПРО


_____ Ю.С. Иванов
(подпись)
« 10 » 04 20 20 г.

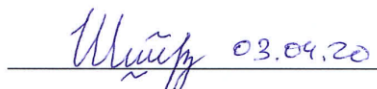
**Имитационная модель системы управления электроприводом
«Асинхронно-вентильный каскад»
Комплект конструкторской документации**

Руководитель проекта


_____ 03.04.20
(подпись, дата)

С.В. Стельмашук

Ответственный исполнитель


_____ 03.04.20
(подпись, дата)

К.И. Шерзод

Комсомольск-на-Амуре 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



ЗАДАНИЕ

на разработку

Выдано студентам: К. И. Шерзод – 6ЭЛб-1

Название проекта: Имитационная модель системы управления
электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»

Назначение: Изучение характеристик электропривода «Асинхронно-
вентильный каскад»

Область использования: В учебном процессе, практические занятия по дис-
циплине «Электрический привод»

Функциональное описание имитационной модели:

– Файл АВК.xmcd рассчитывает параметры блоков линеаризованной и
имитационной модели АВК.

– Файл АВKdat.m для хранения данных моделей.

– Файл АВK.slx содержит линеаризованную и имитационную модели си-
стемы АВК.

– Модели системы АВК позволяют получать разгонные и тормозные ди-
намические характеристики, а также исследовать переходные процессы в от-
клонениях.

Оборудование, для которого разрабатывается программа:

Программная среда MatLab с пакетом SymPowerSystems

Математический редактор MathCad

Требования: Характер переходных процессов в малых отклонениях в
обоих моделях должны повторяться

План работ:

Наименование работ	Срок
Разработка документа MathCad для вычисления параметров и выбора элементов силовой части системы АВК	Апрель 2020
Разработка документа MathCad для вычисления параметров блоков имитационной и линеаризованной модели	Апрель 2020
Составление m-файла для хранения данных параметров блоков моделей	Апрель 2020
Разработка иммитационной модели с помощью пакета SimPowerSystems	Апрель 2020
Разработка документа MathCad для вычисления параметров системы управления АВК	Май 2020
Разработка линеаризованной модели с помощью Simulink	Май 2020

Комментарии:

Перечень графического материала:

1. Листинг документа АВК.xmcd
2. Блок-схема моделей файла АВК.slx
3. Примеры переходных процессов

Руководитель проекта

С.В. Стельмащук

(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



ПАСПОРТ

Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»

Руководитель проекта _____ С.В. Стельмащук
(подпись, дата)

Ответственный исполнитель _____ К.И. Шерзод
(подпись, дата)

Комсомольск-на-Амуре 2020

Содержание

1	Общие положения	8
1.1	Наименование модели	8
1.2	Наименования документов, на основании которых ведется разработка модели	8
1.3	Перечень организаций, участвующих в разработке модели	8
1.4	Сведения об использованных при разработке нормативно- технических документах	9
2	Описание модели.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.1	Общие сведения	Ошибка! Закладка не определена.
2.2	Функциональное назначение модели.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3	Принцип работы модели	10
2.4	Используемые программные средства	10
2.5	Вызов и загрузка	10
2.6	Входные данные.....	10
2.7	Выходные данные	10
3	Руководство пользователя.....	11
3.1	Назначение модели	Ошибка! Закладка не определена.
3.2	Использование модели	Ошибка! Закладка не определена.
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	13
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	20
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	213
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	25

1 Общие положения

Настоящий паспорт является документом, предназначенным для ознакомления с основной структурой, особенностями и правилами эксплуатации имитационной модели «Системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»» (далее «модель»).

Паспорт входит в комплект поставки модели. Перед запуском модели внимательно изучите правила ее эксплуатации.

1.1 Наименование модели

Полное наименование модели – Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад».

1.2 Наименования документов, на основании которых ведется разработка модели

Создание модели «Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»» осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке модели

Заказчиком создания модели «Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт., д. 27.

					СКБЭТФ.2.ИП.01000033	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		8

Исполнителями работ по созданию модели «Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»» являются Конструктор студенческого конструкторского бюро электротехнического факультета (далее СКБ ЭТФ), студент группы 6ЭЛб-1, К.И. Шерзод.

1.4 Сведения об использованных при разработке нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 19.001-77. Единая система программной документации (ЕСПД). Общие положения.

ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения

ГОСТ 19.101-77. ЕСПД. Виды программ и программных документов.

ГОСТ 19.401-78. ЕСПД. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 19.402-78. ЕСПД. Описание программы.

ГОСТ 19.404-79. ЕСПД. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					СКБЭТФ.2.ИП.01000033	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		9

2 Описание модели

2.1 Общие сведения

Имитационная модель позволяет моделировать динамические характеристики силовой части системы «Асинхронно-вентильный каскад» и сравнивать их с характеристиками линеаризованной модели.

2.2 Функциональное назначение модели

Модель может применяться на практических занятиях по дисциплине «Электрический привод» с целью сравнения расчетных параметров привода с моделируемыми данными.

2.3 Принцип работы модели

С помощью файла АВК.xmcd в математическом редакторе MathCad загружаются данные асинхронного двигателя, выбирается трансформатор и сглаживающий дроссель, рассчитываются параметры блоков линеаризованной и имитационной модели АВК. Листинг документа файла АВК.xmcd приведен в Приложении А.

Рассчитанные параметры заносятся в файл АВКdat.m (см. Приложение Б). В среде MatLab загружается файл АВКdat.m, и с помощью пакета SimPowerSystems загружается файл АВК.slx, где представлены линеаризованная и имитационная модели системы АВК. Внешний вид моделей представлен в Приложении В.

Запуск процесса моделирования приводит к вычислению переходных процессов скорости, электромагнитного момента и выпрямленного тока, которые сравниваются между собой (см. Приложение Г). Файл АВК.xmcd также определяет скорость и выпрямленный ток имитационной и линеаризованной модели по заданному значению угла управления инвертором β .

					СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		10

2.4 Используемые программные средства

Математический редактор MathCad 14.0, файл АВК.xmcd.

Программа MatLab R2014a с пакетом SimPowerSystems, файлы АВК.slx и АВКdat.m.

2.5 Вызов и загрузка

На персональном компьютере загружаются программы MatCad и MatLab с пакетом SimPowerSystems. В среде MathCad загружается файл АВК.xmcd. В среде MatLab загружаются сначала файл АВКdat.m, а затем загружается файл АВК.slx.

2.6 Входные данные

Для файла АВК.xmcd – технические данные асинхронного двигателя, трансформатора и сглаживающего дросселя.

Для файла АВКdat.m – параметры моделей.

Для файла АВК.slx – статический момент и угол работы инвертора.

2.7 Выходные данные

Результатом выполнения файла АВК.xmcd являются параметры имитационной и линеаризованной моделей.

Результатом выполнения файла АВК.slx являются графики переходных процессов скорости, электромагнитного момента и выпрямленного тока системы АВК.

					СКБЭТФ.2.ИП.01000033	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		11

3 Руководство пользователя

3.1 Назначение модели

Моделирование системы АВК и сравнение результатов моделирования.

3.2 Использование модели

В файл АВК.xmcd сначала заносятся данные заданного асинхронного двигателя. Затем после проведения расчетов по выбору трансформатора и сглаживающего дросселя, в файл АВК.xmcd заносятся данные выбранных трансформатора и сглаживающего дросселя.

В файл АВKdat.m заносятся данные двигателя, трансформатора, сглаживающего дросселя и линеаризованной модели системы АВК. Эти данные являются параметрами моделей в файле АВK.slx.

					СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		12

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг документа файла АВК.xmcd

Двигатель МТ-71-10

Исходные данные двигателя

$$P_H := 80000 \quad n_H := 582 \quad p_H := 5 \quad f_{1H} := 50$$

$$\cos\varphi_H := 0.71 \quad k_e := 1.21 \quad J := 10$$

$$U_{1H} := 380 \quad I_{1H} := 190 \quad R_1 := 0.0275 \quad X_1 := 0.113$$

$$E_{2H} := 294 \quad I_{2H} := 167 \quad R_2 := 0.0266 \quad X_2 := 0.068$$

Расчетные данные

$$R'_2 := k_e^2 \cdot R_2 = 0.039 \quad X'_2 := k_e^2 \cdot X_2 = 0.1 \quad X_k := X_1 + X'_2 = 0.213$$

$$\omega_{0H} := \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p_H} = 62.832 \quad \omega_H := \frac{\pi}{30} \cdot n_H = 60.947 \quad s_H := \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}} = 0.03$$

$$S_d := 3 \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} = 216600 \quad \text{Полная мощность двигателя}$$

$$\Gamma_{2H} := \frac{I_{2H}}{k_e} = 138.017$$

$$\sin\varphi_{2H} := \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_k^2}} = 0.158 \quad \cos\varphi_{2H} := \sqrt{1 - \sin\varphi_{2H}^2} = 0.987$$

$$I_\mu := \sqrt{I_{1H}^2 - \Gamma_{2H}^2 \cdot \cos\varphi_{2H}^2} - \Gamma_{2H} \cdot \sin\varphi_{2H} = 110.546$$

$$X_\mu := \sqrt{\frac{U_{1H}^2}{I_\mu^2} - R_1^2 - X_1^2} = 3.324 \quad \text{Индуктивное сопротивление намагничивания}$$

ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА

D := 1.6 диапазон скоростей

$$s_{\max} := \frac{D - 1}{D} = 0.375 \quad \text{приближенное максимальное скольжение}$$

$$\beta_{\min} := 15 \cdot \text{deg} = 0.262 \quad \text{Минимальный угол управления инвертором}$$

					СКБЭТФ.2.ИП.010000Э3	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		13

$$k_{dл} := \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 1.35 \quad k_{dл} = \frac{U_{d0}}{U_{2л}} \quad k_d := \frac{3 \cdot \sqrt{6}}{\pi} = 2.339 \quad k_d = \frac{U_{d0}}{U_{2ф}}$$

$$k_{dл} \cdot E_{2н} \cdot s_{max} = k_d \cdot U_{2ф.г} \cdot \cos(\beta_{min}) = k_{dл} \cdot U_{2л.г} \cdot \cos(\beta_{min})$$

$$E_{d0в} := k_{dл} \cdot E_{2н} = 397.039$$

$$U_{2ф.г} := \frac{E_{d0в} \cdot s_{max}}{k_d \cdot \cos(\beta_{min})} = 65.898 \quad \text{Требуемое фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора}$$

$$U_{2л.г} := \sqrt{3} \cdot U_{2ф.г} = 114.139 \quad \text{Требуемое линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора}$$

$$k_2 := \sqrt{\frac{2}{3}} = 0.816 \quad k_2 = \frac{I_{2л}}{I_d} \quad I_{2л} = I_{2ф} \quad I_{дн} := \frac{I_{2н}}{k_2} = 204.532$$

$$k_T := \frac{\pi}{3} = 1.047 \quad k_T = \frac{S_T}{P_{d0}}$$

$$S_{гп} := k_T \cdot \frac{3 \cdot k_2 \cdot E_{d0в} \cdot s_{max} \cdot I_{дн}}{k_d} = 33395.22 \quad \text{Требуемая мощность трансформатора}$$

Трансформатор ТС-40

$$S_T := 40000 \quad U_{1л.г} := 380 \quad U_{2л.г} := 133$$

$$\Delta P_{xx} := 480 \quad \Delta P_{кз} := 745 \quad u_k := 4.12\% \quad i_{xx} := 3.8\%$$

$$k_{гп} := \frac{U_{1л.г}}{U_{2л.г}} = 2.857 \quad I_{1л.г} := \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{1л.г}} = 60.774 \quad U_{2ф.г} := \frac{U_{2л.г}}{\sqrt{3}} = 76.788$$

$$U_{1к} := u_k \cdot U_{1л.г} = 15.656 \quad \text{Напряжение короткого замыкания}$$

$$Z_{кТ} := \frac{U_{1к}}{\sqrt{3} \cdot I_{1л.г}} = 0.149 \quad R_{кТ} := \frac{\Delta P_{кз}}{3 \cdot I_{1л.г}^2} = 0.067 \quad X_{кТ} := \sqrt{Z_{кТ}^2 - R_{кТ}^2} = 0.133$$

$$R_{1г} := \frac{R_{кТ}}{2} = 0.034 \quad X_{1г} := \frac{X_{кТ}}{2} = 0.066 \quad \text{Сопровиления первичной обмотки}$$

$$R'_{2г} := \frac{R_{кТ}}{2} = 0.034 \quad X'_{2г} := \frac{X_{кТ}}{2} = 0.066$$

$$R_{2г} := \frac{R'_{2г}}{k_{гп}^2} = 0.0041 \quad X_{2г} := \frac{X'_{2г}}{k_{гп}^2} = 0.0081 \quad \text{Сопровиления вторичной обмотки}$$

					СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		14

$$I_{XX} := i_{XX} \cdot I_{1Л.Т} = 2.309 \quad Z_{\mu.Т} := \frac{U_{1Л.Т}}{I_{XX}} = 164.545$$

$$R_{\mu.Т} := \frac{\Delta P_{XX}}{3 \cdot I_{XX}^2} = 30 \quad X_{\mu.Т} := \sqrt{Z_{\mu.Т}^2 - R_{\mu.Т}^2} = 161.787 \quad \text{Сопротивления цепи намагничивания}$$

ВЫБОР СГЛАЖИВАЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ

$p := 6$ кратность пульсаций для 3х фазной мостовой схемы

$$L_{д} := \frac{X_k}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.00068 \quad L_{т} := \frac{X_{кт}}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.00042$$

$$I_{nm} := 0.05 \cdot I_{дн} = 10.227 \quad \text{Величина пульсаций тока}$$

$$L_{\Sigma} := \frac{0.178 \cdot E_{d0B}}{p \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot I_{nm}} = 0.00367 \quad \text{Требуемая суммарная индуктивность}$$

$$L_{др.тр} := L_{\Sigma} - 2 \cdot (L_{д} + L_{т}) = 0.00147 \quad \text{Требуемая индуктивность дросселя}$$

Сглаживающий реактор ФРОС-65/0,5

$$I_{др.н} := 250 \quad L_{др} := 0.0015 \quad \Delta P_{др} := 110$$

$$X_{др} := 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot L_{др} = 0.471 \quad R_{др} := \frac{\Delta P_{др}}{I_{др.н}^2} = 0.00176$$

Параметры блока Three-Phase Transformer

Nominal power and frequency [Pn(VA), fn(Hz)]

$$S_T = 40000 \quad P_{tr} \quad f_{1H} = 50 \quad f_n$$

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms), R1(Ohm), L1(H)]

$$U_{1Л.Т} = 380 \quad V_n \quad R_{1Т} = 0.034 \quad R_{1tr} \quad \frac{X_{1Т}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.00021 \quad L_{1tr}$$

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms), R2(Ohm), L2(H)]

$$U_{2Л.Т} = 133 \quad U_2 \quad R_{2Т} = 0.00412 \quad R_{2tr} \quad \frac{X_{2Т}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.000026 \quad L_{2tr}$$

Magnetization resistance Rm (Ohm)

$$R_{\mu.Т} = 30 \quad R_{mtr}$$

Magnetization inductance Lm (H)

$$\frac{X_{\mu.Т}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.515 \quad L_{mtr}$$

						СКБЭТФ.2.ИП.010000Э3	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.			15

Параметры блока Filter Choke

Resistance (Ohms):	Inductance (H):
$R_{\text{др}} = 0.00176$ Rdr	$L_{\text{др}} = 0.0015$ Ldr

Параметры блока Asynchronous Machine

$P_n(\text{VA})$	$V_n(\text{Vrms})$	$f_n(\text{Hz})$
$S_{\text{д}} = 216600$	$U_{1\text{н}} = 380$	$f_{1\text{н}} = 50$

$R_s(\text{ohm})$	$Lls(\text{H})$
$R_1 = 0.028$	$\frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = 0.00036$

$R_r'(\text{ohm})$	$Llr'(\text{H})$
$R'_2 = 0.039$	$\frac{X'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = 0.00032$

$Lm(\text{H})$

$$\frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = 0.011$$

$J(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	$p()$
$J_{\Sigma} := 1.5 \cdot J = 15$	$p_{\text{н}} = 5$

МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

$$E_{d0\text{н}} := k_d \cdot U_{2\phi, \Gamma} = 179.613$$

$$X_d := \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot X_k = 0.101 \quad R_{2\Sigma} := \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot X_{2\Gamma} + 2 \cdot R_2 + 2 \cdot R_{2\Gamma} + R_{\text{др}} = 0.067 \quad R'_1 := \frac{R_1}{k_e^2} = 0.019$$

$$R_{\sigma}(s) := (X_d + 2 \cdot R'_1) \cdot s + R_{2\Sigma}$$

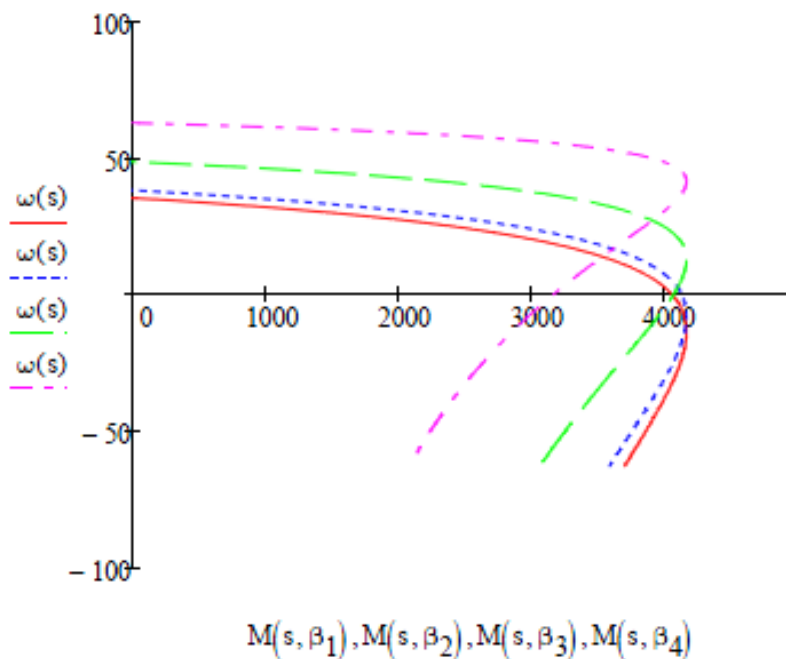
$$s_0(\beta) := \frac{E_{d0\text{н}}}{E_{d0\text{в}}} \cdot \cos(\beta) \quad a := \frac{R_1}{R'_2} = 0.706 \quad s_k := \frac{R_{2\Sigma}}{X_d} = 0.661 \quad s'_k := \frac{s_k}{1 + 2 \cdot a \cdot s_k} = 0.342$$

$$M_k := \frac{E_{d0\text{в}}^2}{\omega_{0\text{н}} \cdot (1 + 2 \cdot a \cdot s'_k) \cdot X_d} = 16672.201$$

$$M(s, \beta) := M_k \cdot \frac{(s - s_0(\beta)) \cdot (s_0(\beta) + s'_k)}{(s + s'_k)^2} \quad \omega(s) := \omega_{0\text{н}} \cdot (1 - s)$$

$$\beta_1 := 15\text{deg} \quad \beta_2 := 30\text{deg} \quad \beta_3 := 60\text{deg} \quad \beta_4 := 90\text{deg}$$

$$s := 0, 0.001 \dots 2$$



$$M_C := 0 \quad s := 0$$

$$\text{Given } M(s, \beta) = M_C \quad \text{get}_s(\beta, M_C) := \text{Find}(s)$$

Функция для определения скольжения

ЛИНЕАРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВК

$$U_{y\max} := 10 \quad \text{Максимальное значение сигнала управления (Uymax)}$$

$$E_{d0B} = 397.039 \quad \text{Максимальное значение выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя (Ed0)}$$

$$\omega_{0H} = 62.832 \quad \text{Номинальная круговая частота (w0)}$$

$$J_{\Sigma} = 15 \quad \text{Суммарный момент инерции (J)}$$

$$L_{\Sigma} := 2 \cdot L_d + L_T + L_{др} = 0.00328$$

Вычисление коэффициента C_M

$$\text{get_Id}(\beta, M_C) := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow \text{get}_s(\beta, M_C) \\ \frac{E_{d0B} \cdot s - E_{d0H} \cdot \cos(\beta)}{(X_d + 2 \cdot R_1) \cdot s + R_2 \Sigma} \end{array} \right. \quad \text{Функция для определения выпрямленного тока}$$

$$\beta_{\min} = 15 \cdot \text{deg}$$

$$\beta_{\max} := 90\text{deg}$$

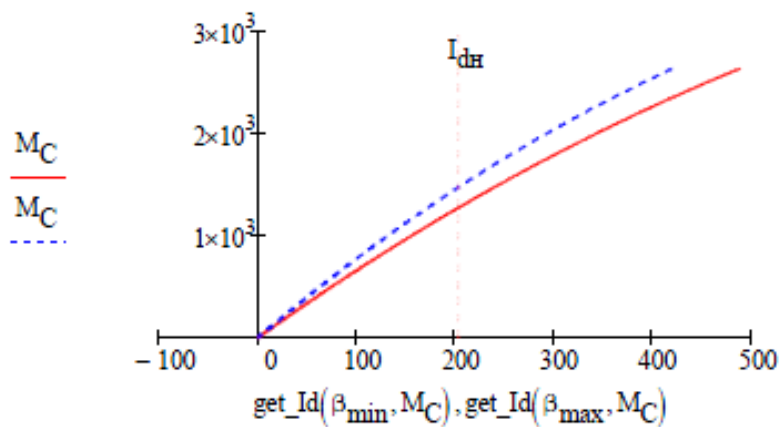
$$M_H := \frac{P_H}{\omega_H} = 1312.618$$

$$M_{C\min} := 0$$

$$M_{C\max} := 2 \cdot M_H$$

$$M_C := M_{C\min} \dots M_{C\max}$$

					СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		17



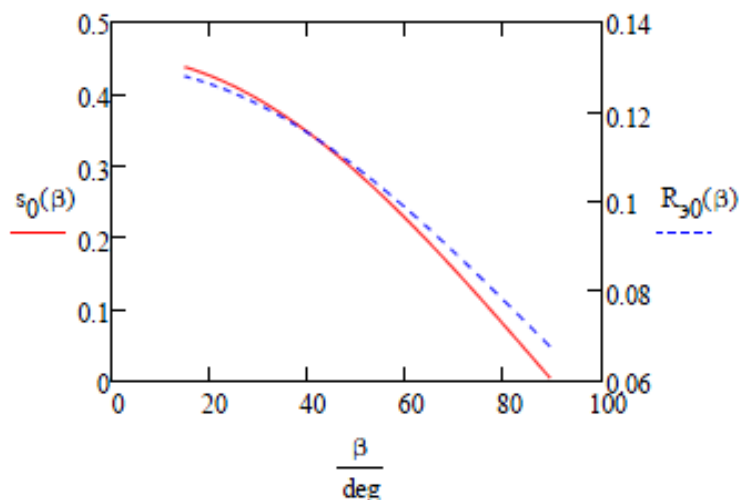
$$I_{dm.max} := \text{get_Id}(\beta_{min}, M_{Cmax}) = 488.216 \quad I_{dm.min} := \text{get_Id}(\beta_{max}, M_{Cmax}) = 420.156$$

$$I_{dm.cp} := \frac{I_{dm.max} + I_{dm.min}}{2} = 454.188$$

$$C_M := \frac{E_{d0B} - X_d \cdot I_{dm.cp}}{\omega_{0H}} = 5.585 \quad \text{Коэффициент } C_M = \frac{M}{I_d}$$

Вычисление эквивалентного сопротивления

$$R_{\beta 0}(\beta) := R_{\beta}(s_0(\beta)) \quad \beta := \beta_{min}, \beta_{min} + 0.01 .. \beta_{max}$$



$$R_{\beta 1} := \frac{R_{\beta 0}(\beta_{max}) + R_{\beta 0}(\beta_{min})}{2} = 0.097 \quad \text{Эквивалентное сопротивление (Re)}$$

$$T_{\beta} := \frac{L_{\beta}}{R_{\beta 1}} = 0.034 \quad \text{Электромагнитная постоянная времени (Te)}$$

$$K_H := \frac{E_{d0H}}{U_{ymax}} = 17.961 \quad \text{Коэффициент инвертора (Ki)}$$

$$T_H := \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_{1H}} = 0.00167 \quad \text{Постоянная времени инвертора (Ti)}$$

ЭКСПЕРИМЕНТ

Определение скорости и выпрямленного тока по заданому углу β

Задать угол β $\beta_y := 60\text{deg}$

Задать статический момент $M_C := 1000$

$u_y := U_{y\text{max}} \cdot \cos(\beta_y) = 5$ Напряжение управления

$\omega_y := \frac{\omega_{0H}}{C_M E_{d0B}} [C_M (E_{d0B} - K_H \cdot u_y) - M_C \cdot R_{\Sigma 1}] = 45.859$ Установившаяся скорость
линеаризованной модели
АВК

$I_{dy} := \frac{1}{R_{\Sigma 1}} \left(E_{d0B} \cdot \frac{\omega_{0H} - \omega_y}{\omega_{0H}} - K_H \cdot u_y \right) = 179.037$ Установившейся выпрямленный ток
линеаризованной модели

$s_c := \text{get}_s(\beta_y, M_C) = 0.265$

$\omega_c := \omega_{0H} \cdot (1 - s_c) = 46.176$ Скорость имитационной модели АВК

$\text{get_Id}(\beta_y, M_C) = 148.584$ Выпрямленный ток имитационной модели АВК

					СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		19

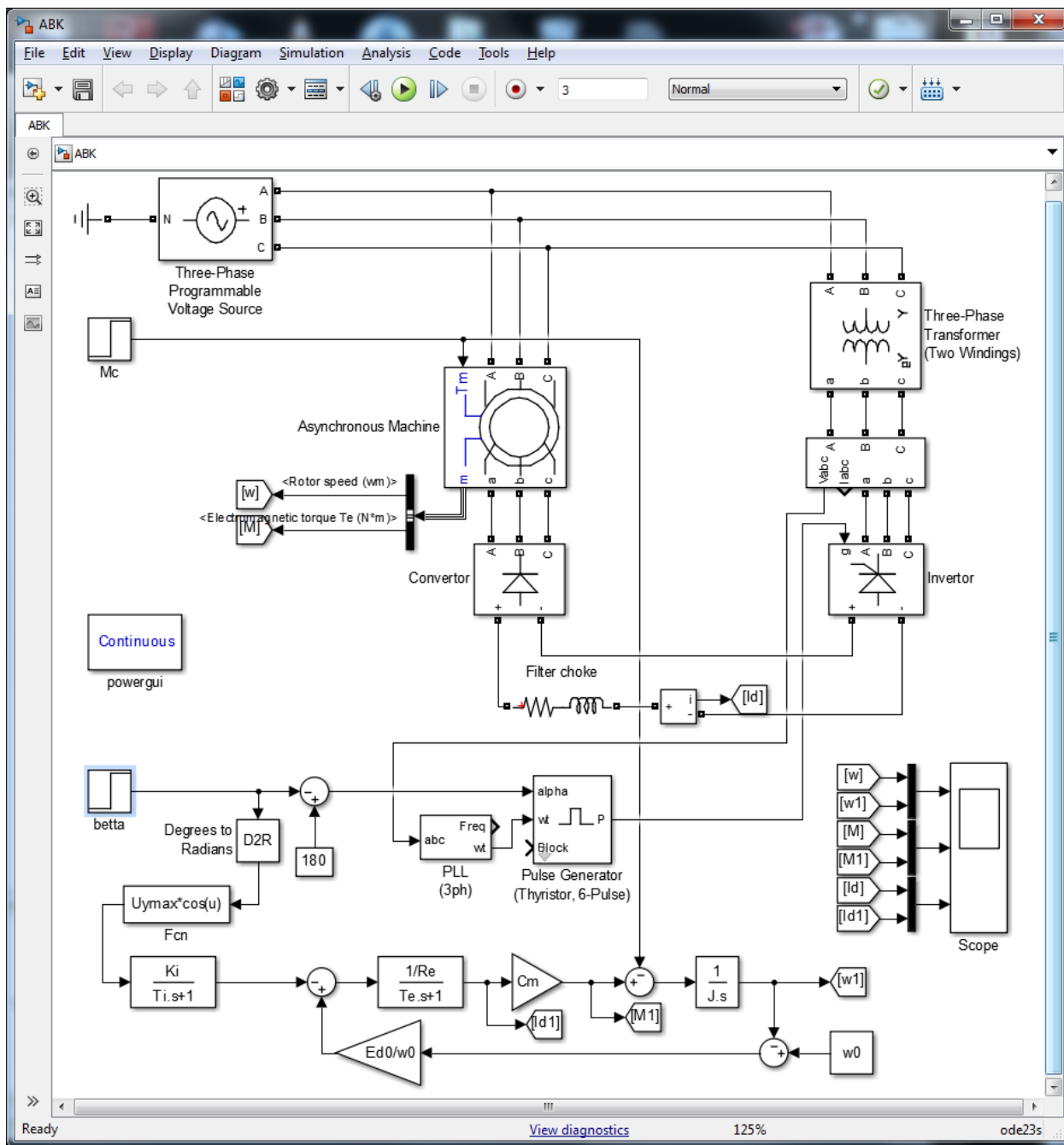
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Файл АВКdat.m

```
ABKdat.m  x  +
1      % Asynchronous Machine
2 -    Pn=216600; Vn=380; fn=50;
3 -    Rs=0.028; Lls=0.00036;
4 -    Rr=0.039; Llr=0.00032;
5 -    Lm=0.011;
6 -    J=15; p=5;
7      % Filter choke
8 -    Ldr=0.015; Rdr=0.00176;
9      % Three-Phase Transformer (Two Windings)
10 -   Ptr=40000; R1tr=0.034; L1tr=0.00021;
11 -   U2=133; R2tr=0.00412; L2tr=0.000026;
12 -   Rmtr=30; Lmtr=0.515;
13     % Линеаризованная модель АВК
14 -   Uymax=10; Ed0=397; w0=62.83;
15 -   Cm=5.585; Re=0.097; Te=0.034;
16 -   Ki=17.96; Ti=0.00167;
```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Внешний вид моделей (файл АВК.slx)



Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБЭТФ.2.ИП.01000033

Лист

21

Block Parameters: Asynchronous Machine

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]:

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]:

Mutual inductance Lm (H):

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:

Initial conditions

Simulate saturation

[i(Arms) ; v(VLL rms)]:

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБЭТФ.2.ИП.010000Э3

Лист

22

Block Parameters: Three-Phase Transformer (Two Windings)

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)]
[Ptr, fn]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H)]
[Vn R1tr L1tr]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H)]
[U2 R2tr L2tr]

Magnetization resistance Rm (Ohm)
Rmtr

Magnetization inductance Lm (H)
Lmtr

Saturation characteristic [i1(A) , phi1(V.s) ; i2 , phi2 ; ...]
[0 0;0.66653 1910.3;277.72 2419.7]

Initial fluxes [phi0A , phi0B , phi0C] (V.s):
[1273.5 -1273.5 1114.3]

OK Cancel Help Apply

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБЭТФ.2.ИП.010000ЭЗ

Лист

23

Block Parameters: Filter choke

Series RLC Branch (mask) (link)

Implements a series branch of RLC elements.
Use the 'Branch type' parameter to add or remove elements from the branch.

Parameters

Branch type:

Resistance (Ohms):

Inductance (H):

Set the initial inductor current

Measurements

Block Parameters: Three-Phase Programmable Voltage Source

Three-Phase Programmable Voltage Source (mask) (link)

This block implements a three-phase zero-impedance voltage source. The common node (neutral) of the three sources is accessible via input 1 (N) of the block. Time variation for the amplitude, phase and frequency of the fundamental can be pre-programmed. In addition, two harmonics can be superimposed on the fundamental.

Note: For "Phasor simulation", frequency variation and harmonic injection are not allowed. Specify Order =1 and Seq=1,2 or 0 to inject additional fundamental components A and B in any sequence.

Parameters

Positive-sequence: [Amplitude(Vrms Ph-Ph) Phase(deg.) Freq. (Hz)]

Time variation of:

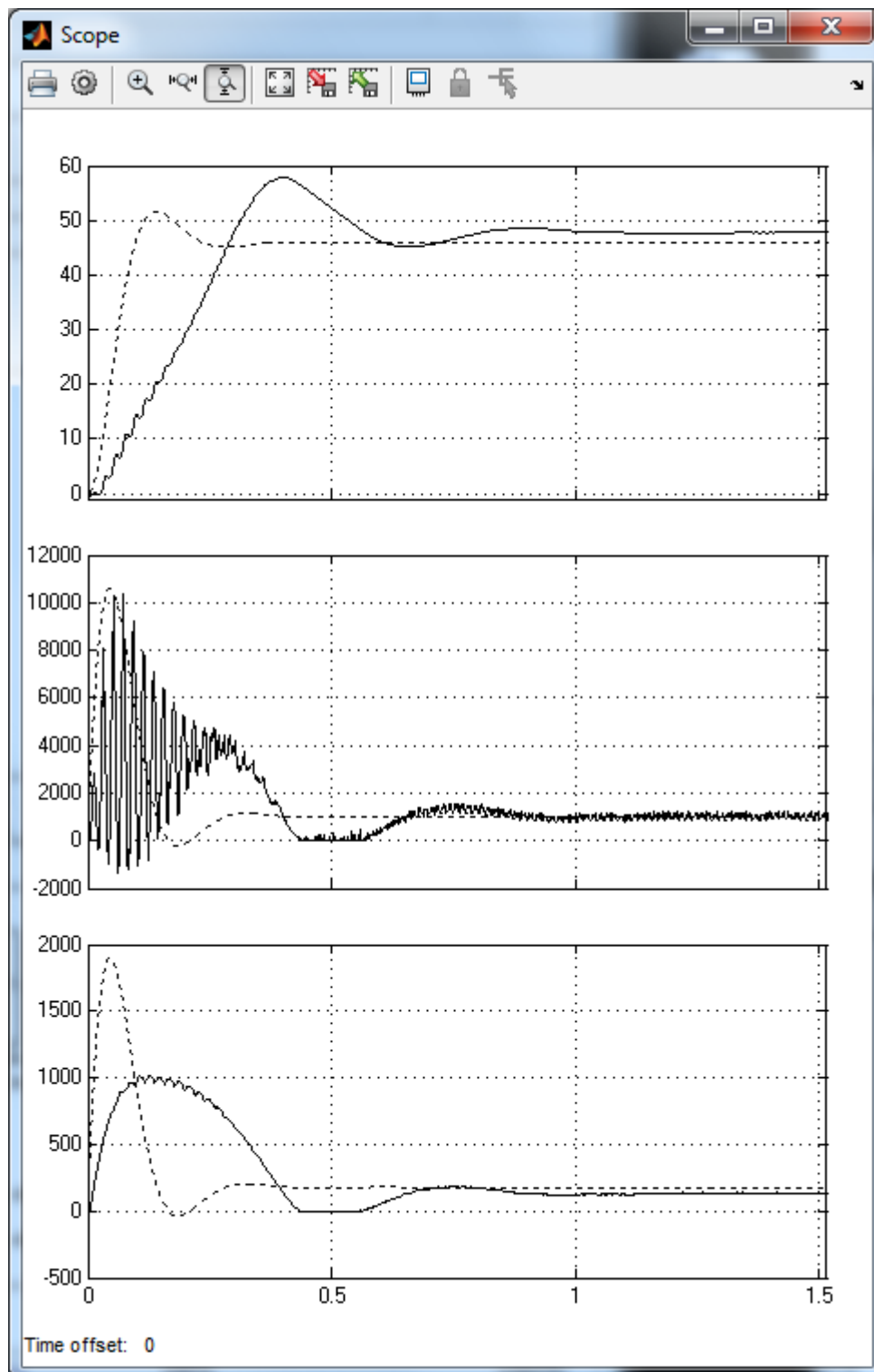
Fundamental and/or Harmonic generation:

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Графики переходных процессов (сплошная линия – имитационная модель
пунктирная линия – линеаризованная модель)

1 – скорость; 2 – электромагнитный момент; 3 – выпрямленный ток.



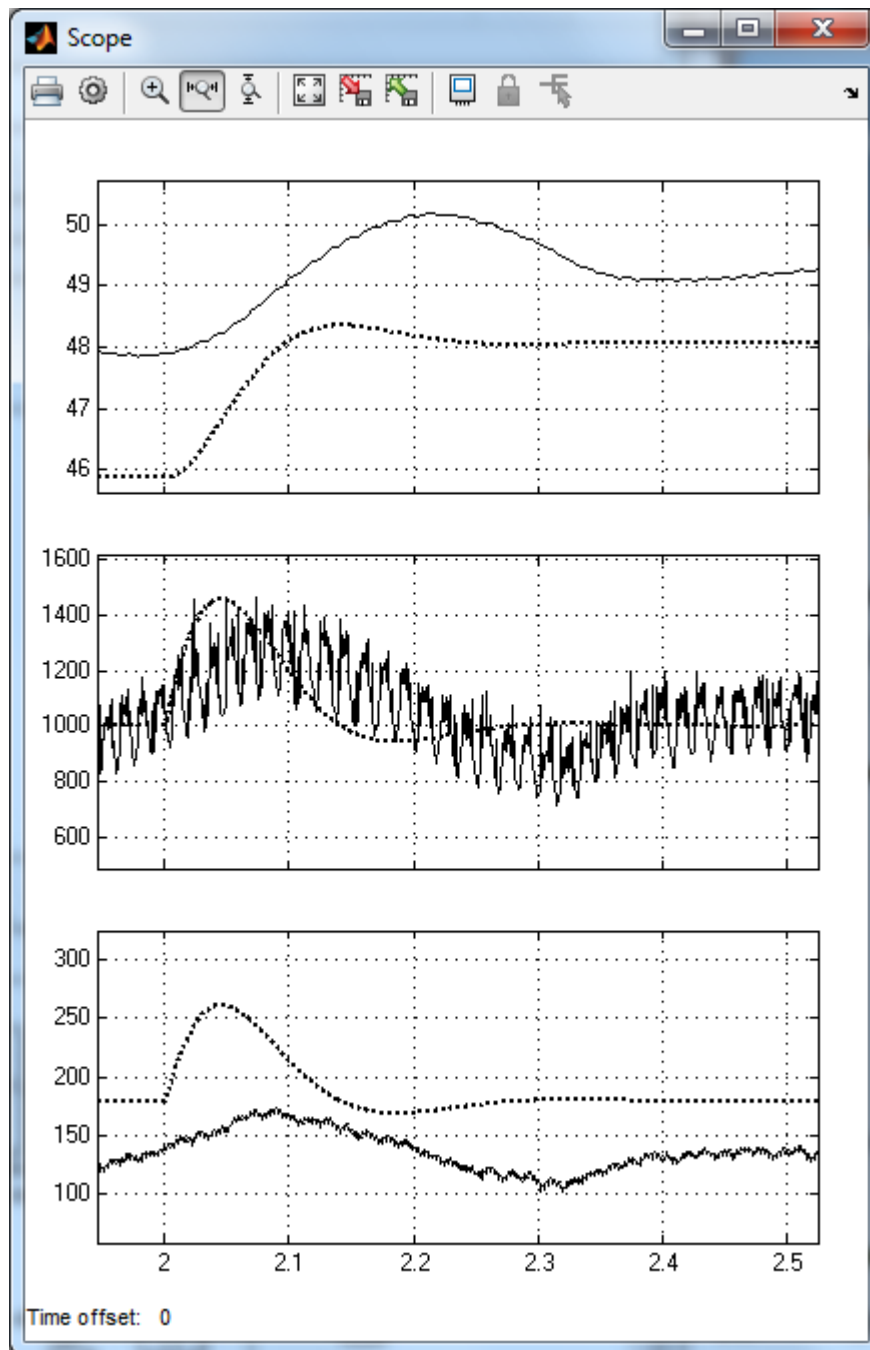
Разгон системы АВК

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

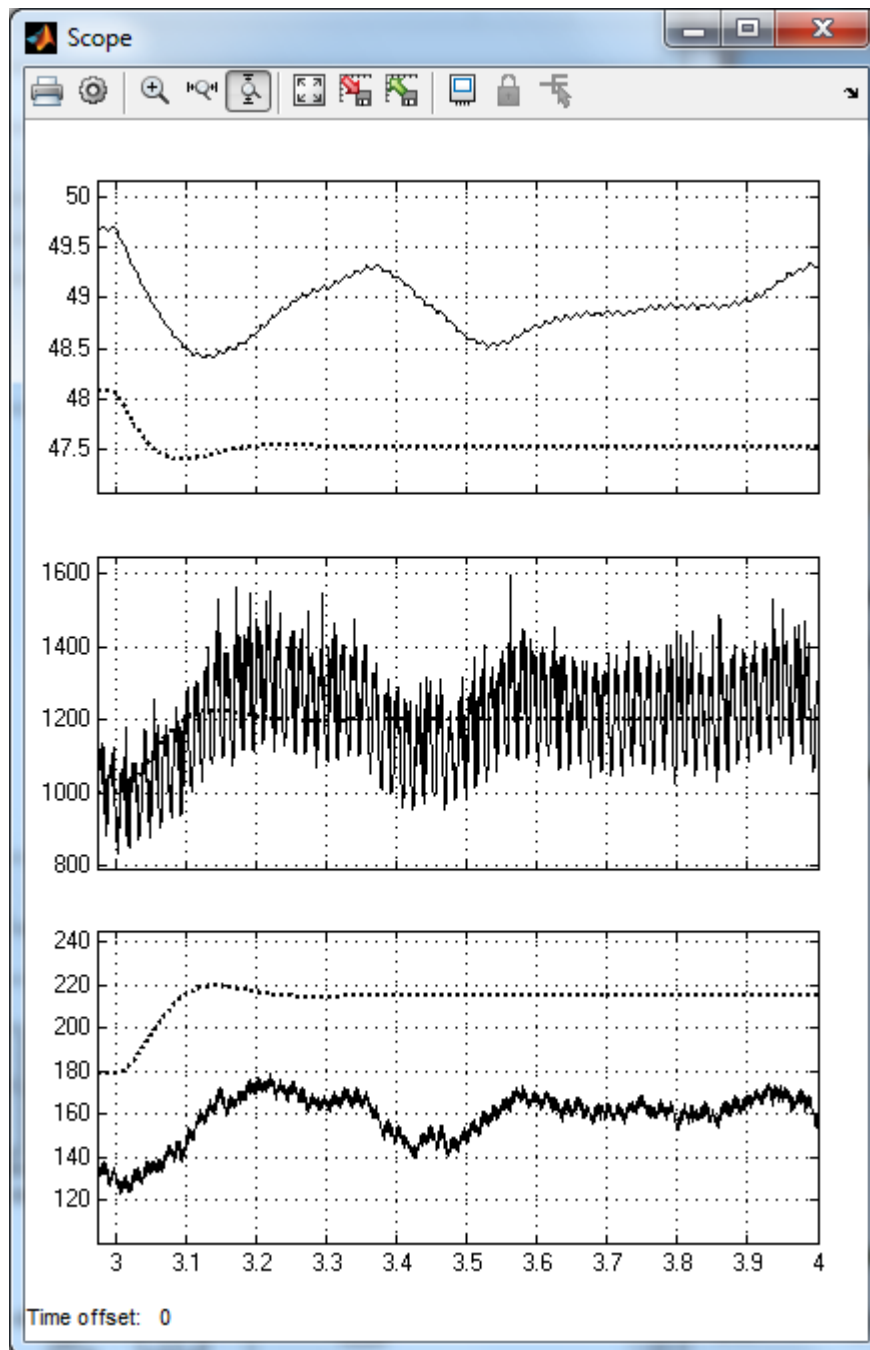
СКБЭТФ.2.ИП.01000033

Лист

25



Переходные процессы при приращении по углу управления инвертором



Переходные процессы при приращении по статическому моменту

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ЭТФ

 А.С. Гудим

(подпись)

« 3 » июня 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой _____

 С.П. Черный

(подпись)

« 3 » июня 2020 г.

АКТ

о приемке в эксплуатацию модели

«Имитационная модель системы управления электроприводом
«Асинхронно-вентильный каскад»»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 3 » июня 2020 г.

Комиссия в составе представителей:

заказчика

- С.В. Стельмашук – руководитель проекта,
- С.П. Черный – заведующий кафедрой ЭПАПУ,
- А.С. Гудим – декан ФЭУ
- С.И. Сухоруков – руководитель СКБ «Промышленная робототехника»

исполнителя

- К.И. Шерзод – 6ЭЛб-1,

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает модель «Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»», в составе:

Программное обеспечение:

- Текст документа математического редактора MathCad
- Блок-схема линеаризованной и имитационной моделей

Эксплуатационная документация:

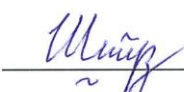
- Паспорт модели

Модель «Имитационная модель системы управления электроприводом «Асинхронно-вентильный каскад»» прошла апробацию с «29» апреля по «30» апреля 2020 г. и признана годной к эксплуатации. Были протестированы все режимы функционирования, отказы системы, а также аварийные отключения по вине системы не наблюдались.

Руководитель проекта

Ответственный исполнитель

 / С.В. Стельмашук /

 / К.И. Шерзод /

