

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составители
А. В. Григорьев
И. Ю. Семькина

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
(СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ)**

**Методические указания к практическим занятиям
аспирантов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
13.06.01 «Электро- и теплотехника» в качестве
электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Гаргаев А. Н. – доцент кафедры электропривода и автоматизации

Григорьев Александр Васильевич

Семыкина Ирина Юрьевна

Системы управления электроприводов (специальные главы)

[Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям аспирантов направления 13.06.01 «Электро- и теплотехника», специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы», всех форм обучения / сост. А. В. Григорьев, И. Ю. Семыкина; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016. – систем. требования: Процессор Intel или AMD 500 МГц, ОЗУ 128 Мб; мышь. – Загл. с экрана.

В учебно-методическом комплексе, предназначенном для выполнения 4 практических заданий по дисциплине «Системы управления электроприводов (специальные главы)», приведены по каждой работе цели и задачи, краткие теоретические сведения об изучаемом материале, задания для выполнения, вопросы для самопроверки, а также дан список рекомендуемой литературы для подготовки.

© КузГТУ, 2016

© Григорьев А. В.,
Семыкина И. Ю.,
составление, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1:	5
НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КООРДИНАТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА	5
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	5
2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	5
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	6
4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	6
5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	6
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	19
7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	20
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2:	22
НАБЛЮДАТЕЛИ МАГНИТНОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	22
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	22
2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	22
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	22
4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	23
5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	23
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	32
7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	33
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3:	35
ПОЛЕОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ	35
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	35
2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	35
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	35
4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	36
5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	36
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	52
7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	53
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4:	55
ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ	55
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	55

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	55
3. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	55
4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	56
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	60
6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	61
ПРИЛОЖЕНИЕ I.....	63

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1:

Настройка регуляторов системы подчиненного регулирования координат электропривода постоянного тока

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы: Ознакомиться с методикой синтеза систем подчиненного регулирования, изучить ее особенности применительно к системам электропривода и закрепить навыки компьютерного моделирования систем регулируемого электропривода.

Задачи работы:

Ознакомиться с методом синтеза систем управления электроприводов по принципу подчиненного регулирования координат.

Научиться применять принцип подчиненного регулирования координат для синтеза системы управления электроприводом постоянного тока.

Получить навыки синтеза системы управления электроприводом постоянного тока и навыки моделирования.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Ознакомление с п. 5 данных методических указаний.

Расчет регуляторов системы подчиненного регулирования координат двигателя постоянного тока по исходным данным из табл. 1 (вариант соответствует последней цифре номера зачетной книжки).

Собрать систему подчиненного регулирования координат в среде MexBIOS.

Пересчитать параметры регулятора для системы MexBIOS.

Произвести моделирование системы подчиненного регулирования координат в среде MexBIOS.

Составить отчет (требования к отчету см. в п. 4).

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

Параметры двигателей постоянного тока

Вариант	Тип	R_n , кВт	U_a , В	I_a , А	n_n , об/мин	U_{vm} , В	I_{vm} , А	$2p$	R_a , Ом	J , кг*м ²	K_m	K_{svm}	L_a , Гн	L_{vm} , Гн	R_{vm} , Ом
1	ПЭ-162-6К	710	375	2020	750	110	34	8	0.0043	202	70.47	1200	0.000118	2.24	3.23
2	ПЭВ-143-7КЭ	220	285	1040	460	110	17.8	4	0.0136	32.2	39.92	2600	0.000568	16.06	6.17
3	МПЭ-800-800У3	800	440	1940	800	176	7.8	6	0.0072	170	53.85	3078	0.000180	36.06	22.56
4	МПВЭ-450-29У3	450	370	1470	290	154	50	10	0.0411	3250	32.10	1300	0.000331	8.16	3.08
5	МПЭ-2500-260	2550	930	2920	260	129	48	10	0.0104	3250	182.75	1900	0.000467	6.94	2.68
6	МПВ-1000-32	1000	460	2520	320	270	99	10	0.021	7500	20.59	2500	0.000217	14.52	2.72
7	ДЭВ-816	150	440	370	480	220	6.5	4	0.048	16.2	78.30	5000	0.002365	79.23	33.84
8	ДПЭ-82	175	460	410	740	85	24	4	0.026	17	55.91	1520	0.001447	6.23	3.54
9	МПЭ-450-900-1	450	440	1090	1100	110	22.1	4	0.0141	30	38.12	2700	0.000350	11.48	4.97
10	ДЭ-816У2	200	400	490	750	85	21.15	4	0.021	15.1	50.94	5000	0.001039	24.11	4.01

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет выполняется на листах формата А4, ориентация страницы – книжная. Поля: слева 3 см, справа 1,5 см, сверху 1,5 см, снизу 2 см. Шрифт – Times New Roman, 14 пт. Титульный лист выполняется в соответствии с приложением I.

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Задачи работы.

Расчет регулятора системы подчиненного регулирования координат привода постоянного тока.

Таблицу с параметрами блоков МехBIOS.

Структурную схему системы в среде МехBIOS.

Результаты моделирования в среде МехBIOS (график тока якоря, скорости и электромагнитного момента).

5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В промышленно применяемых электроприводах постоянного и переменного тока наиболее важной задачей является регулирование угловой скорости электропривода. Наибольшее распространение для решения такой задачи получила система управления элек-

тропривода, выполненная по принципу подчиненного регулирования координат.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Системы подчиненного регулирования используют последовательную коррекцию свойств объекта. В общем случае структурная схема многоконтурной системы строится по иерархическому принципу с промежуточным регулированием переменных x_1 , x_2 и так далее на уровне соответствующих заданных значений x_1^* и x_2^* , как это показано на Рис. 1. При этом, как правило, число контуров регулирования не превышает трех.

Для двухконтурной системы подчиненного регулирования структурная схема состоит из регуляторов с передаточными функциями W_{P_1} и W_{P_2} , и объекта регулирования с последовательно соединенными передаточными функциями W_{O_1} и W_{O_2} .

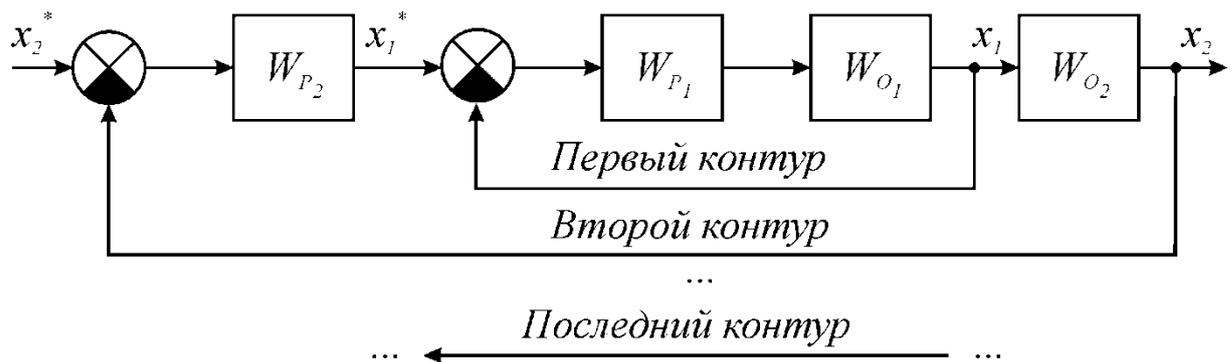


Рис. 1. Структура системы подчиненного регулирования

При этом объект регулирования обязательно представляет собой набор динамических звеньев, содержащих как составляющие, инерционности которых могут быть компенсированы регулятором, так и некомпенсируемые составляющие. Наличие некомпенсируемых составляющих в большинстве случаев обусловлено особенностями технической реализации конкретной системы.

Влияние всех некомпенсируемых составляющих учитывается передаточной функцией некомпенсируемой части

$$W_{НЧ} = \frac{1}{\prod_i (T_{OH_i} p + 1)} \quad (1)$$

где T_{On_i} – постоянная времени некомпенсированной составляющей i -го контура, в которой по причине малости T_{On_i} всеми слагаемыми полинома знаменателя при p^2, p^3 и так далее можно пренебречь.

Таким образом, передаточную функцию некомпенсированной части можно представить в виде:

$$W_{нч} \approx \frac{1}{p \cdot \sum_i T_{On_i} + 1} = \frac{1}{T_\mu p + 1} \quad (2)$$

где T_μ – постоянная времени некомпенсированной части объекта регулирования.

Эта передаточная функция записывается как составляющая передаточной функции внутреннего контура регулирования.

Для того, чтобы после замыкания контуров отрицательной обратной связью по регулируемой координате обеспечивались требуемые статические и динамические показатели качества регулирования, логарифмические амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики каждого разомкнутого контура должны иметь вполне определенный вид и параметры, которые проиллюстрированы на Рис. 2, а регуляторы каждого контура рассчитываются таким образом, чтобы скорректировать исходные свойства объекта с целью приближения их к заданным показателям качества.

Исходя из приведенной на Рис. 2 желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики, разомкнутый контур регулирования должен обладать астатизмом первого порядка и учитывать свойства передаточной функции некомпенсированной части объекта регулирования.

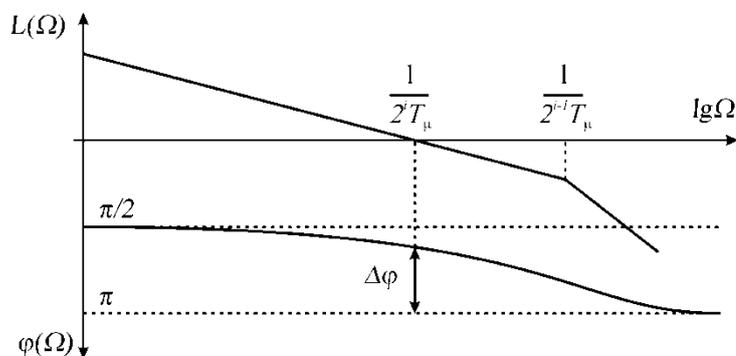


Рис. 2. Логарифмические амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики разомкнутого контура при настройке на технический оптимум

Таким образом, передаточную функцию разомкнутого внутреннего контура можно записать как:

$$W_{P_1} \cdot W_{O_1} = \frac{1}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{T_1 p} \quad (3)$$

где T_1 – постоянная интегрирования астатической составляющей внутреннего контура, которая определяется как $T_1 = T_\mu \cdot a_1$.

При настройке контура регулирования на технический оптимум, гарантирующий величину перерегулирование не более 4,3 % и время переходного процесса $t_n = 6T_\mu$, коэффициент a_1 выбирается равным двум. Таким образом, учитывая, что

$$W_{O_1} = W_{KЧ_1} W_{НЧ} = W_{KЧ_1} \frac{1}{T_\mu p + 1} \quad (4)$$

где $W_{KЧ_1}$ – передаточная функция компенсируемой части внутреннего контура, с помощью простых математических преобразований передаточная функция регулятора определяется как

$$W_{P_1} = \frac{1}{2T_\mu p \cdot W_{KЧ_1}} \quad (5)$$

Второй контур настраивается по тому же алгоритму, но в качестве передаточной функции некомпенсируемой части выступает передаточная функция замкнутого первого контура

$$W_{3_1} = \frac{\frac{1}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{2T_\mu p}}{1 + \frac{1}{T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{2T_\mu p}} \approx \frac{1}{2T_\mu p + 1} \quad (6)$$

а регулятор настраивается исходя из соотношения

$$W_{P_2} \cdot W_{O_2} \cdot W_{3_1} = \frac{1}{2T_\mu p + 1} \cdot \frac{1}{T_2 p} \quad (7)$$

где T_2 – постоянная интегрирования астатической составляющей второго контура, которая определяется как $T_2 = T_1 \cdot a_2$. Учитывая, что $a_2 = 2$, передаточная функция регулятора второго контура определится как:

$$W_{P_2} = \frac{1}{4T_\mu p \cdot W_{O_2}} \quad (8)$$

При необходимости настройки третьего и последующих контуров расчет ведут по аналогичному алгоритму, в результате кото-

рого определяется передаточная функция регулятора произвольного i -го контура:

$$W_{P_i} = \frac{1}{2^i T_{\mu} p \cdot W_{O_i}}$$

Необходимо, однако, отметить, что с увеличением числа контуров увеличится суммарная инерционность системы подчиненного регулирования. Также нужно иметь в виду, что рассмотренная настройка обеспечит гарантированный результат только в случае отсутствия внешних возмущений, не учитывающихся при настройке, к которым также относятся перекрестные связи контуров.

ОСОБЕННОСТИ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения система подчиненного регулирования угловой скорости содержит два контура регулирования: внутренний контур регулирования тока якоря КРТ, который выступает также контуром регулирования момента, и внешний контур регулирования угловой скорости двигателя КРС.

Структурная схема электропривода, построенная по системе преобразователь-двигатель, изображена на рис. 1. Звеном МЧ с передаточной функцией

$$W_{MЧ}(p) = \frac{1}{T_{MЧ} p}$$

учитывается механическая часть привода. Здесь $T_{MЧ}$ – механическая постоянная времени двигателя.

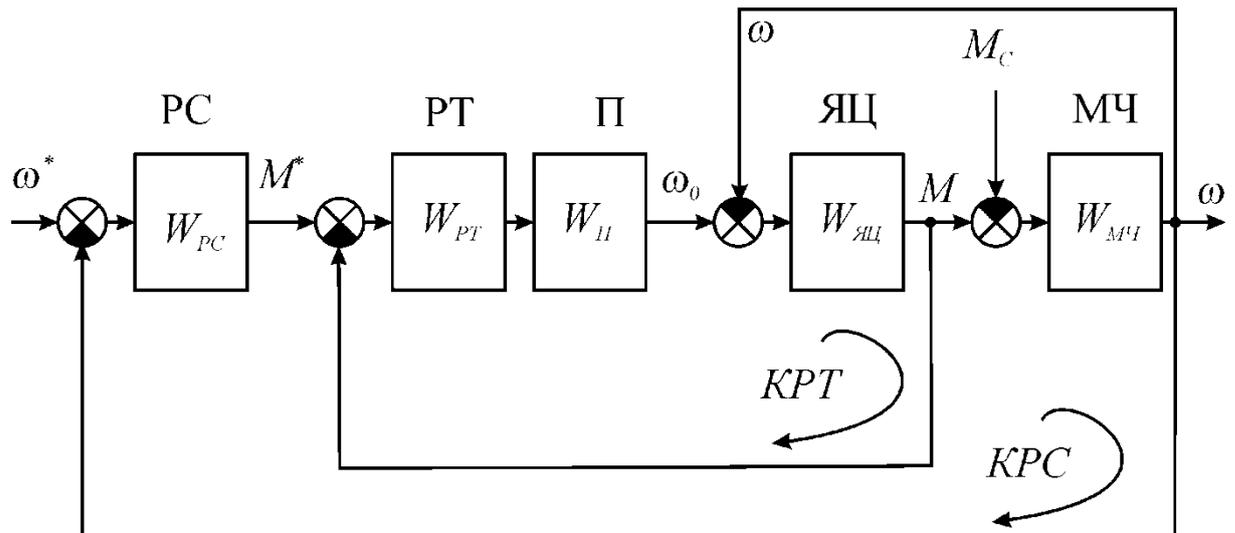


Рис. 3. Структурная схема электропривода постоянного тока с подчиненным регулированием

Звено ЯЦ с передаточной функцией

$$W_{\text{ЯЦ}}(p) = \frac{K_{\text{ЯЦ}}}{T_{\text{ЯЦ}}p + 1}$$

учитывает электрические свойства якорной цепи, то есть силовой цепи преобразователь-двигатель. Здесь $K_{\text{ЯЦ}}$ – коэффициент передачи по моменту двигателя; $T_{\text{ЯЦ}}$ – электромагнитная постоянная времени якорной цепи двигателя, включая силовую цепь преобразователя.

Регулировочные свойства преобразователя учитываются звеном Π с передаточной функцией

$$W_{\Pi}(p) = \frac{e^{-p\tau}}{T_{\Pi}p + 1}$$

где T_{Π} – постоянная времени преобразователя; τ – время чистого запаздывания преобразователя, которым в большинстве случаев пренебрегают.

Приведенная на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** структурная схема электропривода содержит перекрестную связь, обусловленную влиянием ЭДС двигателя, и в таком виде для расчета непригодна.

Чтобы получить структурную схему электропривода, аналогичную изображенной на Рис. 1, можно, например, преобразовать ее путем переноса ω_0 за пределы контура регулирования КРТ. Тогда получим структурную схему электропривода, которая не со-

держит перекрестных связей и вполне пригодна для расчетов параметров регулятора тока РТ и регулятора скорости РС.

Однако в практике расчетов электроприводов с подчиненным регулированием координат зачастую обратную связь по ЭДС двигателя просто отбрасывают. В этом случае весьма простым путем получается приближенная структурная схема электропривода, которая так же, как и структурная схема на Рис. 10, не содержит перекрестных связей.

Пренебрежение обратной связью по ЭДС двигателя в большинстве случаев допустимо, поскольку, учитывая высокую механическую инерционность, ее можно рассматривать как медленно изменяющееся возмущение, не влияющее на динамику процессов и приводящее к появлению дополнительной статической ошибки регулирования.

НАСТРОЙКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ЯКОРЯ ДВИГАТЕЛЯ

Настройка контура регулирования тока якоря (КРТ) включает в себя, во-первых, определение структуры регулятора тока РТ и расчет величины параметров РТ. При выборе структуры регулятора РТ необходимо исходить не только из желаемых динамических показателей, но и из функционального назначения КРТ. Прежде всего, КРТ должен ограничивать ток якоря двигателя при перегрузках электропривода.

Так как в реальных условиях нельзя исключить приложения чрезмерной нагрузки с высоким темпом, то для надежного ограничения тока якоря в переходном режиме необходимо предусмотреть высокое быстродействие КРТ. Помимо этого, чтобы избежать превышения по току, на выходе регулятора скорости РС устанавливают ограничение на величину заданного тока якоря и заданного момента M^* .

Учитывая, что постоянная времени преобразователя T_{II} как правило мала, а при использовании полупроводниковых преобразователей обусловлена технической реализацией и физически не может быть компенсирована, некомпенсируемой частью объекта регулирования принимается преобразователь П.

Исходя из этого, компенсируемой частью объекта регулирования является ЯЦ с передаточной функцией одноемкостного звена.

Поэтому при настройке на технический оптимум РТ по структуре представляет собой ПИ-регулятор.

С целью упрощения в ряде случаев применяют КРТ с РТ, выполненным по структуре П-регулятора. Однако следует иметь в виду, что в этом случае при высоких и средних угловых скоростях двигатель не может быть использован полностью по габаритной мощности. Причина заключается в том, что при настройке контура пренебрегают влиянием обратной связи по ЭДС двигателя, действие которой направлено на снижение величины тока якоря и момента, а использование П-регулятора не позволяет получить требуемой в этих условиях статической точности регулирования. Описанное явление может снизить производительность механизма при переменной нагрузке, поэтому выбирать в качестве структуры РТ П-регулятор рекомендуется только при невысоких требованиях к точности и динамическим показателям качества регулирования.

НАСТРОЙКА КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ КРС

Исходя из принципа подчиненного регулирования, регулятор скорости РС в КРС при настройке на технический оптимум должен быть по структуре П-регулятором, поскольку компенсируемой частью объекта регулирования является МЧ с передаточной функцией интегрирующего звена. Однако чтобы компенсировать ошибку от влияния обратной связи по ЭДС двигателя, а также влияние нагрузки, в реальных электроприводах применяются и П- и ПИ-регуляторы в качестве структуры РС. Если КРС с П-регулятором отвечает требуемой точности поддержания угловой скорости электропривода, то его применяют как более простой. В тех случаях, когда требуемая точность оказывается выше, применяют более сложный ПИ-регулятор.

Передаточную функцию ПИ-регулятора для контура регулирования скорости можно записать как

$$W_{PC}(p) = K_{PC} \left(1 + \frac{1}{T_I p} \right)$$

где K_{PC} – коэффициент передачи РС, полученный непосредственным применением методики настройки на технический оптимум; T_I – постоянная интегрирования РС.

Идея выбора параметров такого РС состоит в том, чтобы в районе частоты среза логарифмической амплитудно-частотной характеристики ω_C заставить работать пропорциональный канал регулятора, а интегральному каналу оставить только район низких частот. Количественные рекомендации для этого случая дает правило настройки на симметричный оптимум, согласно которому $1/T_I = \omega_C/2$, где ω_C определяется по Рис. 2.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ПРИВОДА

Качество переходных процессов, протекающих в двигателе постоянного тока независимого возбуждения, зависит от интенсивности процессов разгона и торможения. Изменение этой величины в электроприводе, построенном по схеме подчиненного регулирования координат, обеспечивается правильной настройкой КРС и выбором соответствующего типа задатчика интенсивности ЗИ, который формирует плавное нарастание величины заданной угловой скорости ω^* . В большинстве случаев бывает достаточно применить типовой интегральный задатчик интенсивности, обеспечив требуемую крутизну нарастания тока якоря.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И НЕОБХОДИМЫЕ РАСЧЕТЫ

Структурную схему контура тока можно представить в виде **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Здесь инерционность преобразователя учтена за счет введения апериодического звена, но не учтена его дискретность и квантование по времени. Обратная связь представлена в общем виде коэффициентом k_T

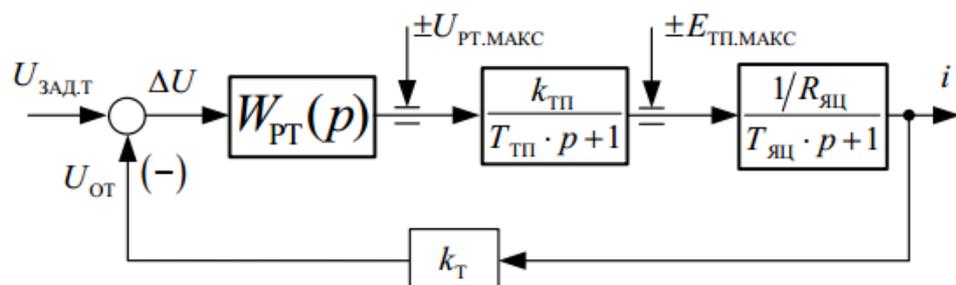


Рис. 4. Структурная схема контура тока

Данный контур можно настроить на модульный оптимум, обеспечивая предельное быстродействие при перерегулировании на

уровне 4,3%, приняв за малую некомпенсируемую постоянную времени величину $T_{ТП} = 10^{-4}$ с. Так как шаг расчета процессора практически равен величине постоянной времени преобразователя то дискретность системы будет существенно влиять на настройку контура. Примем следующие допущения при настройке контура:

Пренебрегаем апериодическим звеном из-за максимальной частоты расчета в ядре микроконтроллера. Обратную связь считаем безынерционной $k_T=1$.

С учетом этого схема на Рис. 4 примет вид:

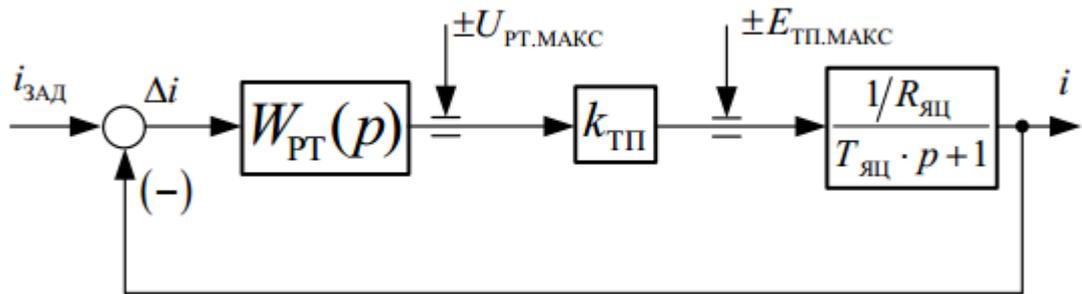


Рис. 5. Структурная схема контура тока

Данный контур настраиваем на апериодический переходный процесс для последующей настройки контура скорости.

Передаточная функция объекта управления контура тока

$$W_{OY}(p) = \frac{K_{ТП}}{R_{яц}(T_{яц}p + 1)},$$

желаемые передаточные функции замкнутого и разомкнутого контуров тока имеют следующий вид:

$$W_{ЗЖ}(p) = \frac{1}{T_T p + 1}; W_{РЖ}(p) = \frac{1}{T_T p},$$

где $T_T = 1/\omega_{y.t.} = 1/(2 \cdot \pi \cdot 200) = 0,8 \cdot 10^{-3}$ с – желаемая постоянная времени контура тока.

Тогда передаточная функция регулятора тока будет иметь вид:

$$W_{РТ}(p) = \frac{W_{РЖ}(p)}{W_{OY}(p)} = \frac{1}{T_T p} \cdot \frac{R_{яц}(T_{яц}p + 1)}{K_{ТП}},$$

Передаточная функция соответствует ПИ-регулятору

$$W_{РТ}(p) = K_{РТ} \frac{(T_{РТ}p + 1)}{T_{РТ}p},$$

Определим параметры регулятора:

$$T_{РТ} = T_{яц} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$K_{PT} = \frac{R_{ЯЦ} \cdot T_{ЯЦ}}{T_T \cdot K_{ТП}} = \frac{3,5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 23} = 0,17.$$

Для дискретной модели регулятора дополним расчет коэффициента интегральной составляющей:

$$K_i = \frac{dt}{T_{PT}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{0,9 \cdot 10^{-3}} = 0,11,$$

где $dt = 1 \cdot 10^{-4}$ с – шаг расчета системы.

Настройку контура скорости произведем на симметричный оптимум с фильтром на входе. Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором и замкнутым контуром тока представлена на Рис. 6.

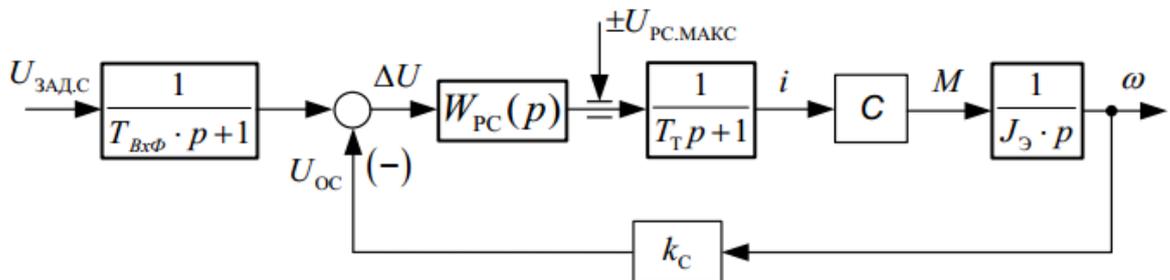


Рис. 6. Структурная схема контура скорости

Малая некомпенсированная постоянная времени контура скорости равна постоянной времени внутреннего контура тока $T_T = 2,2 \cdot 10^{-4}$ с.

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{ЗС.МАКС}}{\omega_M} = \frac{1}{4400 / 9,55} = 0,00217 \text{ с}^{-1},$$

где $U_{ЗС.МАКС} = 1$ о.е. – максимальное задание на скорость; ω_M – максимальная скорость двигателя.

$$k_{PC} = \frac{J_э}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot C \cdot k_c} = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0463 \cdot 0,00217} = 90,4.$$

Постоянную времени регулятора найдем следующим образом:

$$T_{PC} = 4 \cdot T_{\mu c} = 0,00088 \text{ с}.$$

Для уменьшения величины перерегулирования, на вход контура скорости устанавливаем апериодический фильтр первого порядка с постоянной времени $T_f = T_{PC}$, а коэффициент интегральной составляющей будет равен

$$K_i = \frac{dt}{T_{PT}} = \frac{10^{-3}}{0,88 \cdot 10^{-3}} = 1,1364$$

ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ

Для проверки навыков расчета соберем структурную схему модели, показанную на рис. 7, и настроим регуляторы согласно методике, приведенной выше. Параметры блоков сведены в табл. 2.

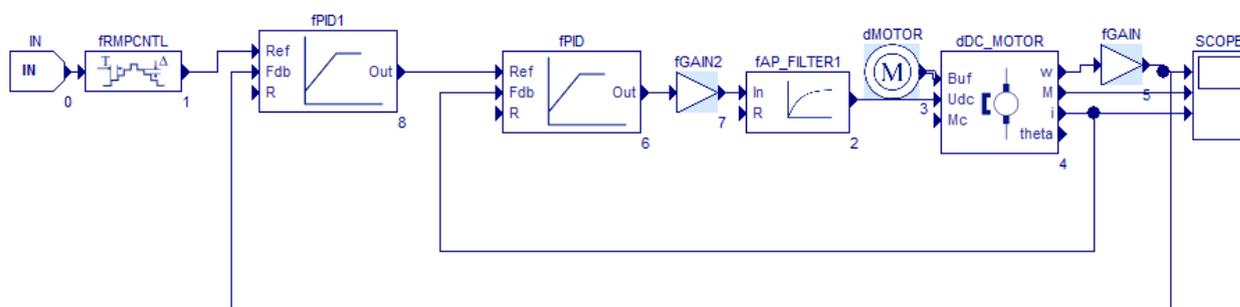
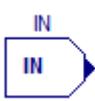
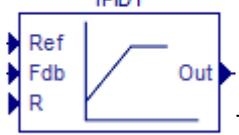
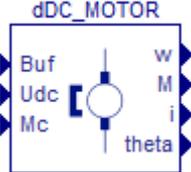


Рис. 7. Общий вид модели в среде MexBIOS

Таблица 2

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
IN	Встроенные		0	Формат Значение	Float 0..1
SCOPE	Встроенные		Параметр		Значение
			Количество каналов	3	
			Количество точек	100000	
			Формат	Float	
Fgain	Математика		7	Gain	23
			5		0.002
Fap_FILTER1	Регуляторы и фильтры		2	SampleTime	0.00001
				Tf	0.0001
Fpid	Регуляторы и фильтры		8	Kp	90.4
				Ki	1.1364
				Kc	1
				Min	-1
				Max	1
			6	Kp	0.17
				Ki	0.11
				Kc	0.11

				Min	-1
				Max	1
Dmotor	Модели двигателей		№	Параметр	Значение
			3	Rs	1.7
				Ls	0.0018
				J	0.000004
				C	0.0463
Остальные параметры принять равными 0					
Ddc_MOTOR	Модели двигателей		№	Параметр	Значение
			4	SampleTime	0.00001
Frmpcntl	Управление двигателем		№	Параметр	Значение
			1	RampDelay-Max	0
				RampLow-Limit	0
				RampHigh-Limit	1
				DeltStep	0.5

После сборки модели подтверждаем её работоспособность и точность параметров регулирования.

Сборку физической модели проводим с учетом того, что сигнал скорости вычисляется из сигнала положения с использованием дифференцирования (блок SPEED_FR). Полученное значение коэффициента усиления регулятора и постоянной интегрирования будет вызывать вибрации двигателя. Для нормальной работы контура скорости необходимо взять $k_{pc}K_i$ в десять раз меньше полученных при расчете.

Создадим проект физического эксперимента и дополним раздел модели выходными сигналами по току и напряжению. Параметры блоков приведены в табл. 2.

Модель модуля PWM приведена на рис. 9.

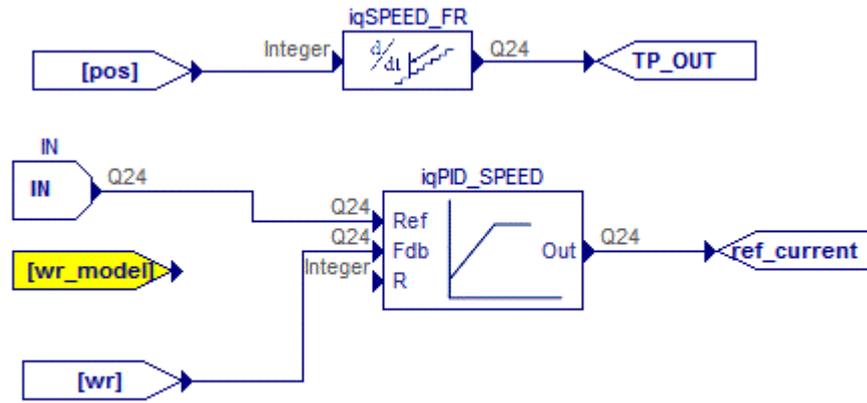


Рис. 8. Speed loop

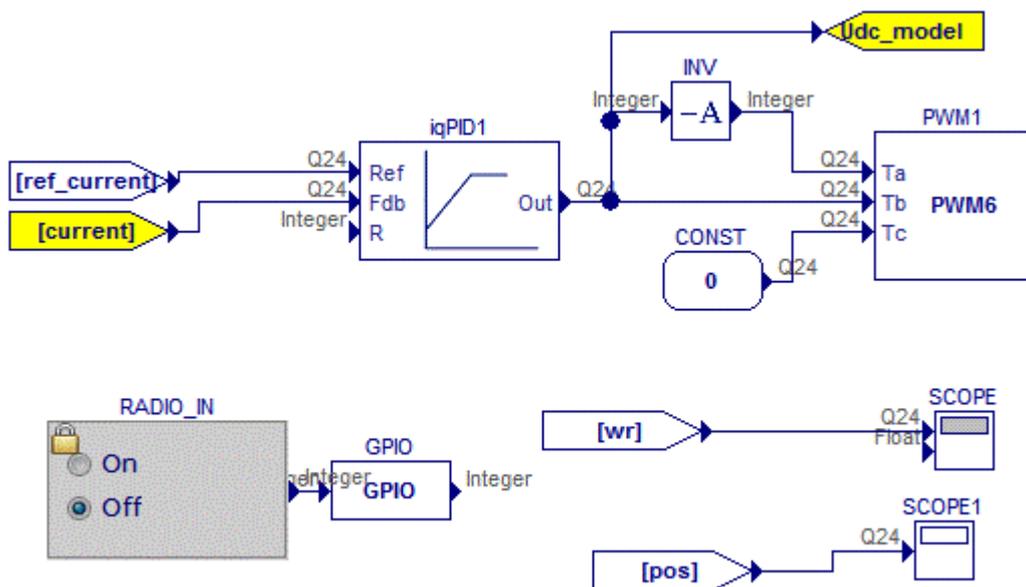


Рис. 9. Модуль PWM

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные виды регуляторов.
2. Какие методы настройки систем подчиненного регулирования вам известны?
3. Какие вы знаете критерии устойчивости и показатели качества систем автоматического управления?
4. Как меняется переходный процесс в системе с ПИ-регулятором при увеличении интегральной составляющей?
5. Каковы особенности расчета параметров элементов принципиальной электрической схемы ПИД-регулятора?

6. Как влияют коэффициенты ПИД-регулятора на качество работы электропривода?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Панкратов, В. В. Автоматическое управление электроприводами [Электронный ресурс] Ч. 1 Регулирование координат электроприводов постоянного тока : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» и профилю подготовки «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / Новосибир. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : НГТУ, 2013. – 200 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228894>

2. Семькина, И. Ю. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. электропривода и автоматизации. – Кемерово, 2011. – 0 с. URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90678&type=utchposob:common>

Дополнительная литература

1. Ещин, Е. К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов (Моделирование и управление) : учебное пособие / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2003. – 247 с. URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90159&type=utchposob:common>

2. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва : Академия, 2006. – 304 с.

3. Терехов, В. М. Элементы автоматизированного электропривода : учебник для вузов по специальности «Электропривод и

автоматизация пром. установок». – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.

4. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматика пром. установок и технолог. комплексов» направления подготовки дипломир. специалистов «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2: Наблюдатели магнитного состояния асинхронного электродвигателя

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы: изучить методы оценки состояния асинхронного электродвигателя, выявить их особенности и получить навыки их моделирования.

Задачи работы:

1. Ознакомиться со структурами наблюдателей магнитного состояния асинхронных электродвигателей.
2. Научиться моделировать системы полеориентированного управления с использованием средств вычислительной техники.
3. Получить навыки физического моделирования подсистем идентификации магнитного состояния асинхронных электродвигателей с использованием стенда и персонального компьютера.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Ознакомление с п. 5 данных методических указаний.

Сборка модели в среде MexBIOS в соответствии со структурной схемой, приведенной в п. 5.

Моделирование подсистемы идентификации магнитного состояния асинхронных электродвигателей в среде MexBIOS.

Физический эксперимент на стенде МСВ-02.

Составление отчета по выполнению практического задания (требования к отчету см. в п. 4).

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

Параметры асинхронных электродвигателей

<i>№ варианта</i>	<i>Tun</i>	$P_{\text{н}}$ <i>кВт</i>	<i>p</i>	$U_{\text{фв}}$ <i>В</i>	$f_{\text{в}}$ <i>Гц</i>	$I_{\text{фв}}$ <i>А</i>	R_s , <i>Ом</i>	$X_{s\sigma}$ <i>Ом</i>	R_r' , <i>Ом</i>	$X_{r\sigma}'$ <i>Ом</i>	J , <i>кг*м²</i>
1	4A80A4Y3	1.1	2	220	50	2.74	9.2177	5.9915	5.0034	8.8296	0.0032
2	4A90L4Y3	2.2	2	220	50	5.02	4.1496	3.2181	2.4548	5.3187	0.0056

№ вари- анта	Тип	$P_{\text{н}}$ кВт	$p_{\text{п}}$	$U_{\text{фв}}$ В	$f_{\text{в}}$ Гц	$I_{\text{фв}}$ А	R_s , Ом	$X_{s\sigma}$ Ом	R_r' , Ом	$X_{r\sigma}'$ Ом	J , кг*м ²
3	4A132M4Y3	11	2	220	50	21.89	0.4212	0.8326	0.3055	1.2412	0.04
4	4A160M4Y3	18.5	2	220	50	35.59	0.2547	0.5154	0.1428	0.7733	0.13
5	4A180M4Y3	30	2	220	50	56.12	0.1304	0.3375	0.0675	0.4503	0.23
6	4A200M4Y3	37	2	220	50	68.45	0.1230	0.2712	0.0557	0.4332	0.37
7	4A225M4Y3	55	2	220	50	100.10	0.0582	0.1853	0.0317	0.2957	0.64
8	4A250M4Y3	90	2	220	50	161.13	0.0322	0.1313	0.0184	0.1577	1.2
9	4A280M4Y3	132	2	220	50	238.95	0.0189	0.1033	0.0158	0.1315	2.5
10	4A315M4Y3	200	2	220	50	350.41	0.0086	0.0529	0.0084	0.0723	3.6
11	4A355M4Y3	315	2	220	50	548.97	0.0047	0.0390	0.0054	0.0542	7

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет выполняется на листах формата А4, ориентация страницы – книжная. Поля: слева 3 см, справа 1,5 см, сверху 1,5 см, снизу 2 см. Шрифт – Times New Roman, 14 пт. Титульный лист выполняется в соответствии с приложением I.

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Задачи работы.

Математическую модель и структурную схему наблюдателя магнитного состояния асинхронного электродвигателя.

Таблицу с параметрами блоков MexBIOS.

Структурную схему системы в среде MexBIOS.

Результаты моделирования в среде MexBIOS (графики оцененного и действительного значений потокосцепления ротора).

Временная зависимость потокосцепления ротора, снятая в результате физического эксперимента на стенде МСВ-02.

5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Модели двигателя используются для оценки его угловой скорости в электроприводах с полеориентированным управлением. Структура и параметры модели и моделируемой системы должны преимущественно совпадать. Однако параметры моделей не всегда хорошо согласовываются с параметрами двигателя, они могут значительно изменяться в связи с изменением температуры или рабочей точки машины, поэтому существует ряд бездатчиковых систем управления, выполняющих помимо оценки скорости идентификацию параметров двигателя.

Для определения углового положения поля можно использовать как модель обмотки статора, так и модель обмотки ротора. Каждая модель имеет свои преимущества и недостатки.

МОДЕЛЬ РОТОРА

Модель обмотки ротора предназначена для определения вектора потокосцепления ротора Ψ_2 на основании информации о токе статора и угловой скорости двигателя. Запишем уравнения роторной обмоткой:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} &= -R_2 i_{2\alpha} - p_n \omega \Psi_{2\beta}; \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} &= -R_2 i_{2\beta} + p_n \omega \Psi_{2\alpha};\end{aligned}$$

Запишем уравнения магнитной связи:

$$\begin{aligned}L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha} &= \Psi_{2\alpha}; \\ L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta} &= \Psi_{2\beta};\end{aligned}$$

Подставив в уравнения ротора уравнения, приведенные выше, получим:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} &= -R_2 \left(\frac{\Psi_{2\alpha} - L_{12} i_{1\alpha}}{L_2} \right) - p_n \omega \Psi_{2\beta}; \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} &= -R_2 \left(\frac{\Psi_{2\beta} - L_{12} i_{1\beta}}{L_2} \right) + p_n \omega \Psi_{2\alpha};\end{aligned}$$

Приведем полученные уравнения к виду одноемкностного звена и введем замену $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$:

$$\begin{aligned}T_2 \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} + \Psi_{2\alpha} &= L_{12} i_{1\alpha} - p_n \omega \Psi_{2\beta}; \\ T_2 \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} + \Psi_{2\beta} &= L_{12} i_{1\beta} + p_n \omega \Psi_{2\alpha};\end{aligned}\tag{1}$$

Следует обратить внимание на то, что в качестве переменных состояния в уравнениях (1) выбраны ток статора и потокосцепление ротора, в связи с чем, уравнения обмотки ротора представляются в форме, отличной от той, которую рассматривают в курсе теории электропривода.

На блок-схеме (рис. 1) модели обмотки ротора входными сигналами являются измеряемые величины вектора тока статора и угловой скорости. Выходными сигналами являются амплитуда Ψ_2

вектора потокосцепления ротора, и угол этого вектора, т.е. угол полеориентирования.

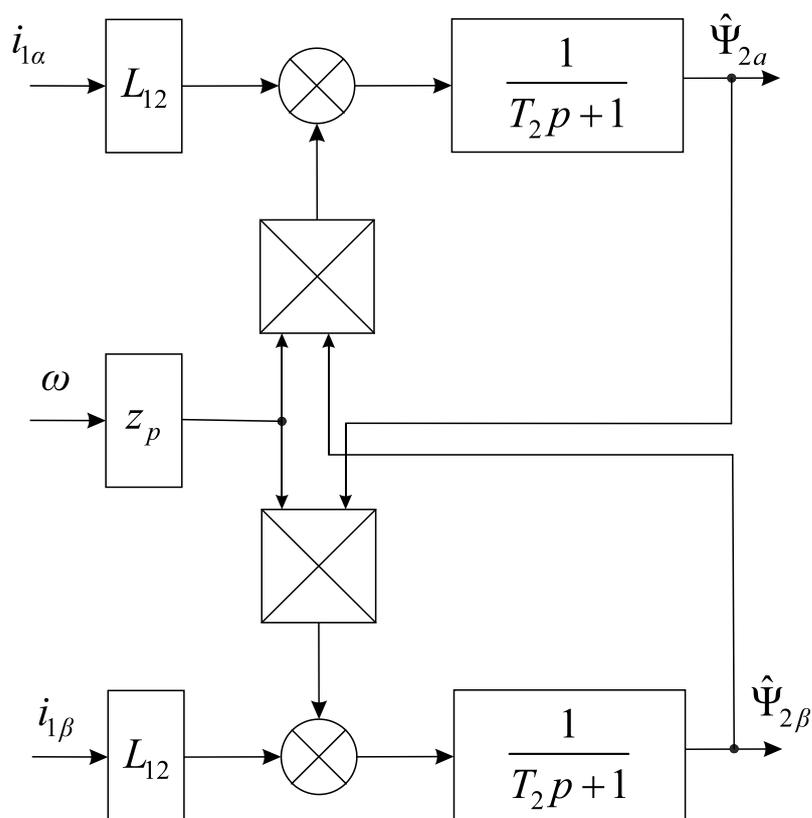


Рис. 1. Структурная схема модели ротора

Поскольку для модели обмотки ротора необходима информация об угловой скорости двигателя, ее применение в бездатчиковых электроприводах ограничено.

Точность модели обмотки ротора определяется точностью определения входящих в нее параметров, в особенности постоянной времени ротора, зависящей от значительно изменяющегося активного сопротивления ротора. Постоянная времени ротора определяет точность оценки угла полеориентирования, а т.к. это наиболее критичная величина в приводах с векторным управлением, применение модели ротора может привести к ошибкам регулирования. Другой параметр модели – взаимная индуктивность – является коэффициентом и не оказывает влияния на угловое положение поля, влияя лишь на амплитуду вектора потокосцепления, что не критично для качества оценки.

МОДЕЛЬ СТАТОРА

Модель обмотки статора используется для оценки вектора потокосцепления статора и вектора потокосцепления ротора без необходимости знать угловую скорость. Поэтому такая модель двигателя предпочтительнее для применения в системах бездатчикового управления. В неподвижной системе координат модель статора записывается следующим образом:

$$\Psi_{1\alpha} = \int (U_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha}) d\tau;$$

$$\Psi_{1\beta} = \int (U_{1\beta} - R_1 i_{1\beta}) d\tau.$$

Для определения вектора потокосцепления ротора используются выражения связи между токами и потокосцеплениями. В итоге потокосцепление ротора из модели обмотки статора определяется следующим образом:

$$\Psi_{2\alpha} = \frac{L_2}{L_{12}} \left(\int (U_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha}) d\tau - \sigma L_1 i_{1\alpha} \right);$$

$$\Psi_{2\beta} = \frac{L_2}{L_{12}} \left(\int (U_{1\beta} - R_1 i_{1\beta}) d\tau - \sigma L_1 i_{1\beta} \right),$$

где $\sigma = 1 - \frac{L_{12}^2}{L_1 L_2}$.

Применение модели статора в представленном виде ограничено, поскольку на практике во входных сигналах присутствуют ошибки, а при аппаратном исполнении интегрирующего звена присутствует явление неоднозначности и дрейфа нуля. Сложность заключается в том, что интегрирующее звено обладает свойством накапливания ошибок, что приводит к невозможности оценки вектора потокосцепления.

Для устранения связанных с этих проблем интегрирующее звено, присутствующее в модели статора, заменяется одноемкостным (рис. 2), частота сопряжения которого не должна превышать $1/T_1$ ($T_1 = L_1/R_1$).

Частотные характеристики показывают, что звено первого порядка ведет себя так же, как интегрирующее звено, для частот, превышающих частоту сопряжения. Надо отметить, что частота сопряжения $1/T_1$ – это «верхний предел». При замене интегрирующего звена на эквивалентное по свойствам одноемкостное, уменьшение частоты сопряжения приводит к увеличению точности модели,

в то время как увеличение частоты сопряжения вызывает существенные погрешности оценивания в динамических режимах.

Наиболее важным параметром модели статора является активное сопротивление статора R_1 , которое увеличивается при увеличении температуры и может значительно изменяться. Однако сопротивление статора, в отличие от R_2 , относительно легко поддается контролю, поэтому для практических задач применение модели статора предпочтительнее, чем модели ротора.

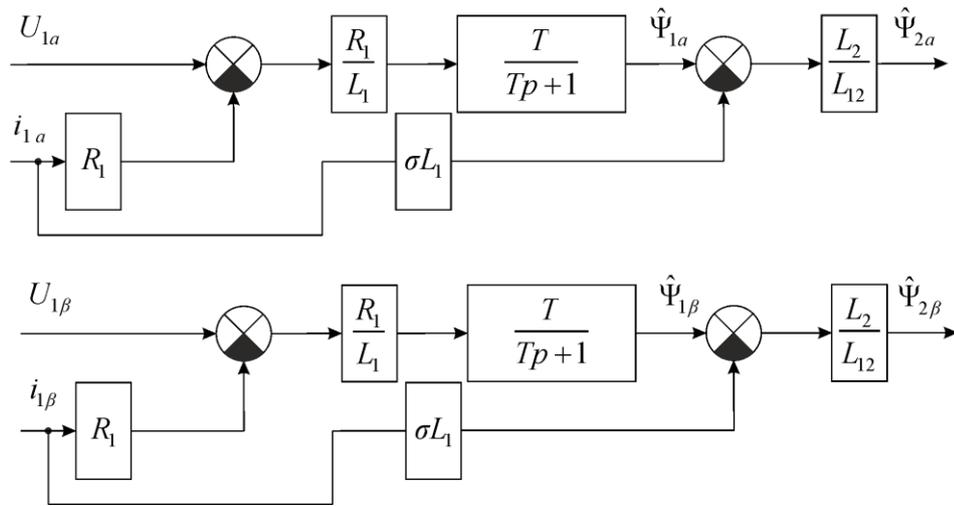


Рис. 2. Модель статора

ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ

Реализация наблюдателей магнитного состояния в общем виде представлена на рис. 3. Использованные элементы приведены в таблице 2.

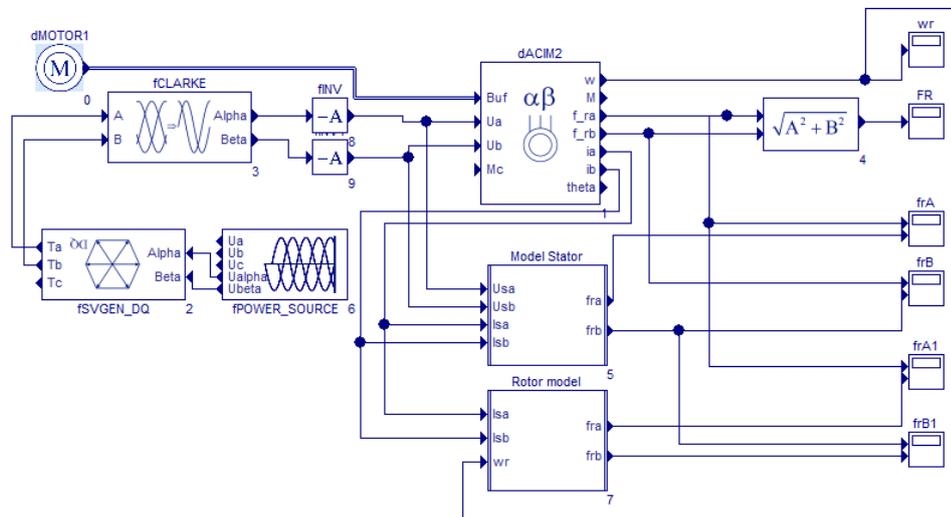
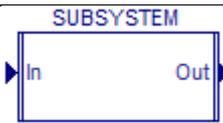
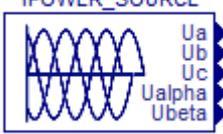
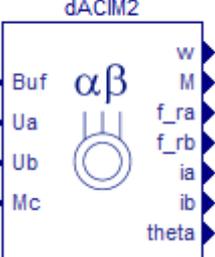


Рис. 3. Общий вид модели наблюдателей магнитного состояния

Таблица 2

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			Имя	Параметр	Значение
SCOPE	Встроенные		wr	Количество каналов Количество точек Формат	1 10000000 Float
			FR	Количество каналов Количество точек Формат	1 10000000 Float
			frA	Количество каналов Количество точек Формат	2 10000000 Float
			frB	Количество каналов Количество точек Формат	2 10000000 Float
			frA1	Количество каналов Количество точек Формат	2 10000000 Float
			frB1	Количество каналов Количество точек Формат	2 10000000 Float
			SUBSYSTEM	Встроенные	
fPOWER_SOURCE	Источники сигналов		№ 0	Параметр SampleTime Ampl Freq	Значение 0.00001 220 50

dMOTOR	Модели двигателей		№	Параметр	Значение
			0	Ls Lr	0.509 0.519
dACIM2	Модели двигателей		№	Параметр	Значение
			1	SampleTime	0.00001

Сборка модели ротора осуществляется согласно структуре, представленной на рис. 4 и параметров моделируемого двигателя (см. свойства блока dMotor№0). Общий вид модели в среде Мех-ВІОS представлен на рис. 3, а в таблице 6 приведены элементы и их настройки.

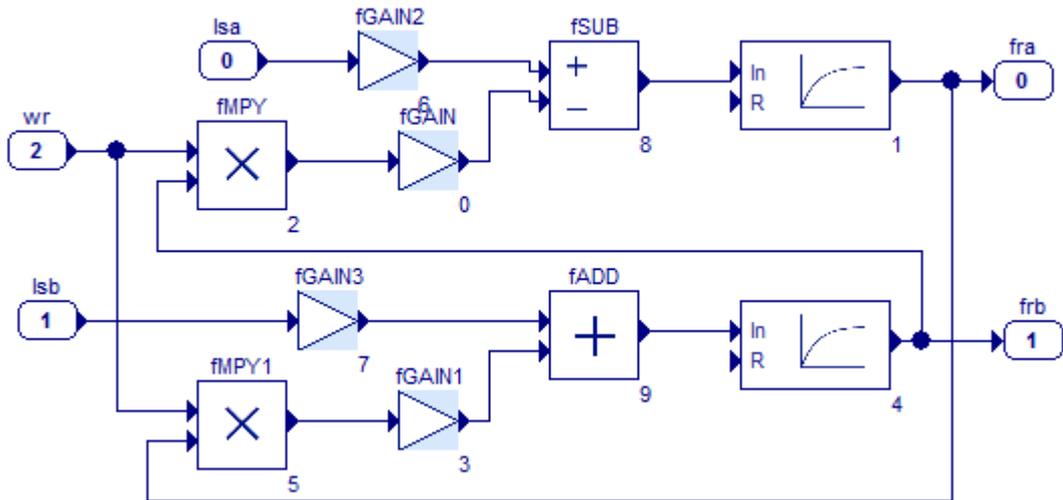
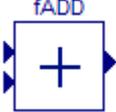
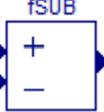


Рис. 4. Модель ротора

Таблица 3

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
SUBIN	Встроенные				
SUBOUT	Встроенные				
fGAIN	Математика		№	Параметр	Значение
			0	Gain	0.082

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
			3		0.082
			7		0.477
			6		0.477
fADD	Математика				
fSUB	Математика				
fMPY	Математика				
fAP_FILTER1	Регуляторы и фильтры		№	Параметр	Значение
			1	SampleTime	0.000001
				Tf	0.082
			4	SampleTime	0.000001
				Tf	0.082

Сборка модели статора осуществляется согласно структуре, представленной на рис. 5 и параметров моделируемого двигателя (см. свойства блока dMotor№0). Общий вид модели в среде Mex-BIOS представлен на рис. 3, а в табл. 2, 3, 4 приведены элементы и их настройки.

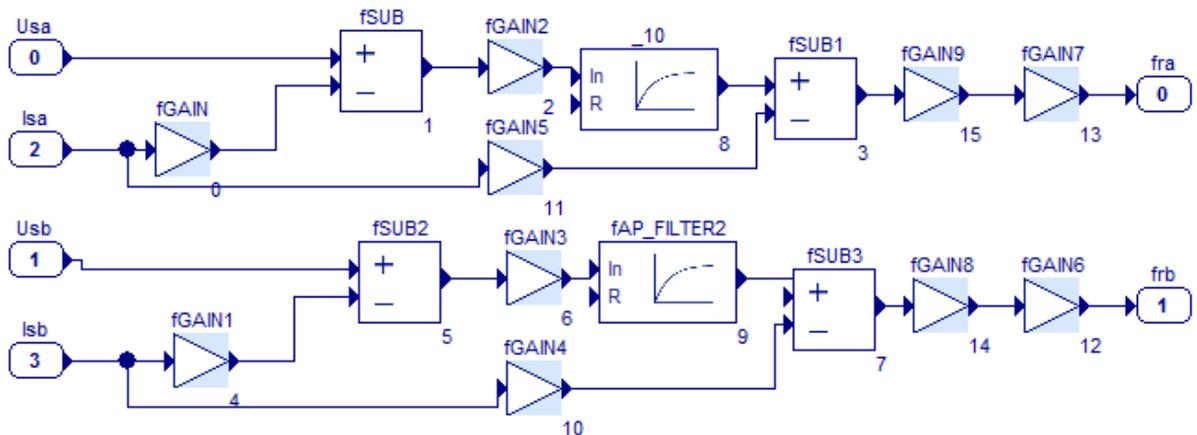
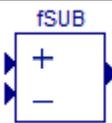
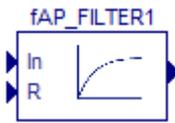


Рис. 5. Модель статора

Таблица 4

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
SUBIN	Встроенные				
SUBOUT	Встроенные				
fGAIN	Математика		№	Параметр	Значение
			0	Gain	5.65
			2		10
			4		5.65
			6		10
			10		0.071
			11		0.071
			12		1
			13		1
			14		1.088
			15		1.088
fSUB	Математика				
fAP_FILTER1	Регуляторы и фильтры		№	Параметр	Значение
			8	SampleTime	0.000001
				Tf	10
			9	SampleTime	0.000001
	Tf	10			

Завершив сборку и настройку моделей. Выставим необходимое время моделирования, равное 2 с, и снимем зависимости потоков сцеплений ротора. Общий вид таких зависимостей представлен на рис. 6, 7.

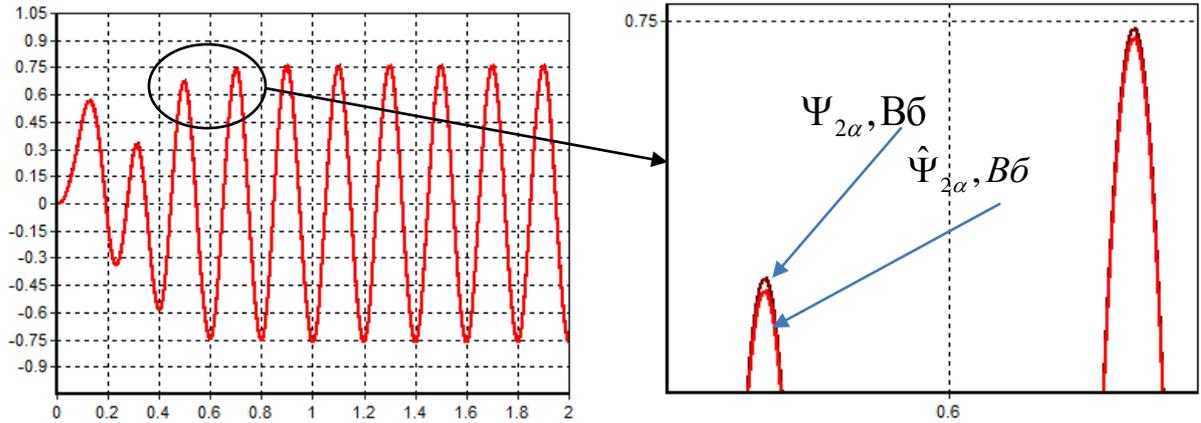


Рис. 6. Результат работы наблюдателя магнитного состояния (модель статора)

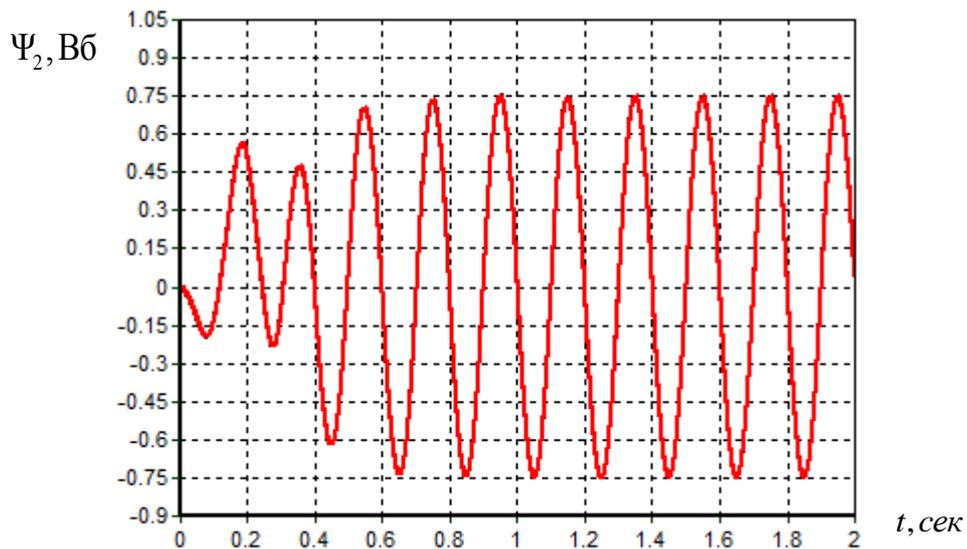


Рис. 7. Результат работы наблюдателя магнитного состояния (модель ротора)

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите преимущества и область применения асинхронных бездатчиковых электроприводов.
2. Приведите вывод уравнений «модели ротора» на основе модели обобщенной электрической машины.
3. Недостатки «модели статора» с использованием чистого интегрирования? Каким способом избавляются от данных недостатков?
4. Оцените динамическую ошибку работы наблюдателя магнитного состояния асинхронного электродвигателя?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Денисов, В. А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника». – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 164 с.

2. Семькина, И. Ю. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. электропривода и автоматизации. – Кемерово, 2011. – URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90678&type=utchposob:common>

Дополнительная литература:

3. Ещин, Е. К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов (Моделирование и управление) : учебное пособие / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2003. – 247 с. URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90159&type=utchposob:common>

4. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электротехника и электротехнологии». – Москва : Академия, 2006. – 272 с.

5. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва : Академия, 2006. – 304 с.

6. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматика пром. установок и технолог. Комплексов» направления подготовки дипломир. специалистов

«Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

7. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3: Полеориентированное управление асинхронным электродвигателем

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы: изучить методы построения систем полеориентированного управления асинхронным двигателем, выявить их особенности и освоить способы их настройки.

Задачи работы:

1. Научиться моделировать системы полеориентированного управления с использованием средств вычислительной техники.
2. Получить навыки выбора и расчета регуляторов для систем полеориентированного управления, а также моделирования систем полеориентированного управления с использованием персонального компьютера.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Ознакомление с п. 5 данных методических указаний.

Сборка модели в среде MexBIOS в соответствии со структурной схемой, приведенной в п. 5.

Моделирование подсистемы идентификации магнитного состояния асинхронных электродвигателей в среде MexBIOS.

Составление отчета по выполнению практического задания (требования к отчету см. в п. 4).

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

Параметры асинхронных электродвигателей

№ варианта	T_{un}	$P_{нв}$ кВт	$p_{п}$	$U_{фнв}$ В	$f_{нв}$ Гц	$I_{фнв}$ А	R_s , Ом	$X_{s\sigma}$ Ом	R_r' , Ом	$X_{r\sigma}'$, Ом	J , кг*м ²
1	4A80A4Y3	1.1	2	220	50	2.74	9.2177	5.9915	5.0034	8.8296	0.0032
2	4A90L4Y3	2.2	2	220	50	5.02	4.1496	3.2181	2.4548	5.3187	0.0056
3	4A132M4Y3	11	2	220	50	21.89	0.4212	0.8326	0.3055	1.2412	0.04
4	4A160M4Y3	18.5	2	220	50	35.59	0.2547	0.5154	0.1428	0.7733	0.13
5	4A180M4Y3	30	2	220	50	56.12	0.1304	0.3375	0.0675	0.4503	0.23
6	4A200M4Y3	37	2	220	50	68.45	0.1230	0.2712	0.0557	0.4332	0.37

№ варианта	T_{un}	$P_{\text{нв}}$ кВт	$p_{\text{п}}$	$U_{\text{фв}}$ В	$f_{\text{нв}}$ Гц	$I_{\text{фв}}$ А	R_s , Ом	$X_{s\sigma}$ Ом	R_r' , Ом	$X_{r\sigma}'$, Ом	J , кЗ*М ²
7	4A225M4Y3	55	2	220	50	100.10	0.0582	0.1853	0.0317	0.2957	0.64
8	4A250M4Y3	90	2	220	50	161.13	0.0322	0.1313	0.0184	0.1577	1.2
9	4A280M4Y3	132	2	220	50	238.95	0.0189	0.1033	0.0158	0.1315	2.5
10	4A315M4Y3	200	2	220	50	350.41	0.0086	0.0529	0.0084	0.0723	3.6
11	4A355M4Y3	315	2	220	50	548.97	0.0047	0.0390	0.0054	0.0542	7

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет выполняется на листах формата А4, ориентация страницы – книжная. Поля: слева 3 см, справа 1,5 см, сверху 1,5 см, снизу 2 см. Шрифт – Times New Roman, 14 пт. Титульный лист выполняется в соответствии с приложением I.

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Задачи работы.

Математическую модель и структурную схему системы полеориентированного управления с прямым ориентированием по вектору потока ротора.

Таблицу с параметрами блоков MexBIOS.

Структурную схему системы в среде MexBIOS.

Результаты моделирования в среде MexBIOS (графики частоты вращения ротора электродвигателя и амплитуды вектора потока сцепления ротора).

5. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Преобразования Кларк (Edith Clarke) и Парка (R.H. Park) переменных используется не только для упрощения анализа динамических процессов электромеханического преобразования энергии, но также в качестве математической основы построения алгоритмов функционирования систем управления электроприводами переменного тока.

Преобразования Парка:

$$i_{1\alpha}^* = i_{1d}^* \cos \gamma - i_{1q}^* \sin \gamma. \quad (1)$$

$$i_{1\beta}^* = i_{1d}^* \sin \gamma + i_{1q}^* \cos \gamma.$$

Преобразования Кларк:

$$\begin{aligned}
i_{1a}^* &= i_1^* \sin(\gamma). \\
i_{1b}^* &= i_1^* \sin(\gamma - 2\pi / 3). \\
i_{1c}^* &= i_1^* \sin(\gamma + 2\pi / 3).
\end{aligned}
\tag{2}$$

В частности, этот математический аппарат является основой принципа ориентирования по полю двигателя, который впоследствии был реализован для управления асинхронными и синхронными электроприводами. Для пояснения этого принципа предположим, что при управлении двигателем доступны для измерения текущие значения модуля, угловой скорости и фазы вектора потокоцепления ротора. Тогда ось x синхронно вращающейся системы координат x - y представляется возможным совместить с мгновенным направлением этого вектора:

$$\bar{\Psi}_2 = \Psi_{2\max} e^{j\omega_{0эл}t}$$

при этом $\Psi_{2x} = \Psi_{2\max}$, $\Psi_{2y} = 0$, вектор тока статора становится ориентированным относительно $\bar{\Psi}_2$ углом сдвига φ_1 :

$$\bar{i}_1 = I_{1\max} e^{j(\omega_{0эл}t + \varphi_1)},$$

его проекция на ось x i_{1x} является мгновенным значением намагничивающего тока машины, а проекция на ось y , представляет собой активный ток статора. Основой для вычисления текущих переменных служат уравнения механической характеристики в осях x - y ($\omega_k = \omega_{0эл}$), ориентированных по полю двигателя, в которых $\Psi_{2x} = \Psi_{2\max}$, $\Psi_{2y} = 0$ в любой момент времени:

$$\left\{ \begin{aligned}
u_{1x} &= i_{1x} R_1 + p\Psi_{1x} - \omega_{0эл} \Psi_{1y}; \\
u_{1y} &= i_{1y} R_1 + p\Psi_{1y} + \omega_{0эл} \Psi_{1x}; \\
0 &= i_{2x} R_2 + p\Psi_{2\max}; \\
0 &= i_{2x} R_2 + (\omega_{эл} - p_n \omega) \Psi_{2\max}; \\
M &= p_n \frac{L_{12}}{L_2} i_{1y} \Psi_{2\max} i_{1y}.
\end{aligned} \right.
\tag{3}$$

С помощью уравнений потокоцеплений при ориентировании по вектору $\bar{\Psi}_2$ систему уравнений (3) можно преобразовать к виду:

$$\begin{cases} u_{1x} \approx R_1 [(T_1 p + 1) i_{1x} - T_{1\sigma} \omega_{0эл} i_{1y}]; \\ u_{1y} \approx R_1 [(T_{1\sigma} p + 1) i_{1y} - T_{1\sigma} \omega_{0эл} i_{1x}]; \\ i_{1x} = \frac{(T_2 p + 1) \Psi_{2\max}}{L_{12}}; \\ M = \beta(\omega_0 - \omega), \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } T_1 = \frac{L_1}{R_1}, T_{1\sigma} = \frac{(L_1 L_2 - L_{12}^2)}{L_2 R_1}, T_2 = \frac{L_2}{R_2}, \beta = \frac{P_n^2 \Psi_{2\max}^2}{R_2}.$$

Аналогичным путем можно осуществить ориентирование по вектору потокосцепления $\bar{\Psi}_1$ или $\bar{\Psi}_\mu$ и получить соотношения, соответствующие этим условиям.

Полученные уравнения наглядно представляют динамические особенности асинхронного электропривода с частотным управлением при ориентировании по полю двигателя. Изменением i_{1x} можно регулировать потокосцепление ротора, но при существенных проявлениях электромагнитной инерции, характеризуемой большими постоянными времени T_1 и T_2 . При постоянном потоке ($\Psi_{2\max} = const$) система (4) представляется в виде

$$\begin{cases} u_{1x} \approx R_1 [i_{1x} - T_{1\sigma} \omega_{0эл} i_{1y}]; \\ u_{1y} \approx R_1 [(T_{1\sigma} p + 1) i_{1y} - T_{1\sigma} \omega_{0эл} i_{1x}]; \\ i_{1x} = \frac{\Psi_{2\max}}{L_{12}}; \\ M = \beta(\omega_0 - \omega), \end{cases} \quad (5)$$

При этом электромагнитная инерция обусловлена только изменениями потоков рассеяния статора и полностью проявляется только при питании статора от источника напряжения. Если преобразователь частоты обладает свойствами источника тока, при $\Psi_{2\max} = const$, теоретически асинхронный двигатель представляет собой безынерционный объект управления, а при регулировании потока по отклонению его механическая характеристика определяется уравнениями:

Непосредственное полеориентирование заключается в измерении текущего положения магнитного поля с помощью специальных датчиков, встраиваемых в двигатель. Этот способ требует вмешательства в конструкцию двигателя, поэтому сложен и имеет невысокую надежность. На практике в серийных электроприводах с векторным управлением не используется.

Прямое полеориентирование заключается в следующем. По результатам обработки текущей информации о доступных для прямого измерения переменных (напряжениях, токах, угловой скорости двигателя) производится оценивание компонент вектора потокосцепления ротора в неподвижной системе координат, через которые затем определяются мгновенные значения $\cos \gamma$ и $\sin \gamma$, которые используются в координатных преобразованиях.

Направляющие косинус и синус ориентирующего вектора определяются следующим образом:

$$\cos \gamma = \frac{\psi_{2\alpha}}{\psi_2}; \sin \gamma = \frac{\psi_{2\beta}}{\psi_2}; \psi_2 = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2}.$$

Косвенное ориентирование производится без обработки информации о мгновенных токах и напряжениях двигателя, путем вычисления фазы вектора потокосцеплений ротора путем интегрирования ω_1 , выраженной из второго уравнения:

$$\gamma = \int \omega_1 dt = \int (\omega_2 + \omega p_n) dt = \int \left(\frac{L_m}{T_2} \frac{i_{2q}}{\psi_2} + \omega p_n \right) dt,$$

где ω_2 – частота скольжения.

При прямом полеориентировании требуется знать все электрические параметры двигателя, которые на практике не всегда известны, в связи с чем, такие системы управления дополняют системой идентификации параметров асинхронного двигателя.

При косвенном полеориентировании требуется установка высокоточного датчика угловой скорости ротора двигателя. Ошибка определения угла γ при таком подходе также сильно зависит от точности задания величины активного сопротивления ротора, которое может изменяться до 40 % при изменении теплового состояния обмотки ротора.

НАСТРОЙКА КОНТУРОВ

Контур потока

Структурная схема контура регулирования амплитуды вектора потокосцепления ротора представлена на рис. 2.

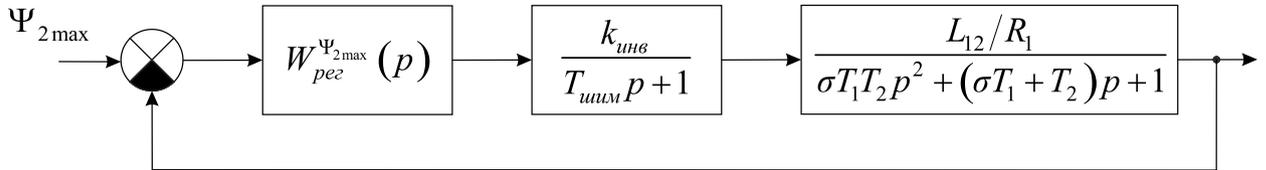


Рис. 2. Структурная схема разомкнутого контура регулирования амплитуды вектора потокосцепления ротора

Выполним настройку контура регулирования потокосцепления на модульный оптимум.

Желаемая разомкнутая передаточная функция контура потока:

$$W_{1,жс}(p) = \frac{1}{T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p}$$

Действительная разомкнутая передаточная функция контура потока:

$$W_{1,раз}(p) = W_{рег}^{\Psi_{2max}}(p) \cdot \frac{k_{инв}}{T_{цим}p + 1} \cdot \frac{L_{12}/R_1}{\sigma T_1 T_2 p^2 + (\sigma T_1 + T_2)p + 1}$$

$$W_{1,жс}(p) = W_{1,раз}(p)$$

$$W_{рег}^{\Psi_{2max}} = \frac{\frac{1}{T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p}}{\frac{k_{инв}}{T_{цим}p + 1} \cdot \frac{L_{12}/R_1}{\sigma T_1 T_2 p^2 + (\sigma T_1 + T_2)p + 1}} = \frac{\sigma T_1 T R_1 p}{k_{инв} 2T_{\mu} L_{12}} + \frac{(\sigma T_1 + T_2) R_1}{k_{инв} 2T_{\mu} L_{12}} + \frac{R_1}{k_{инв} 2T_{\mu} L_{12} p}$$

$k_{инв} = 55$ – коэффициент усиления инвертора, при питающем напряжении стороны постоянного тока 100 В.

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно выполнить расчет коэффициента интегральной составляющей:

$$k_i = \frac{\Delta t}{k_{iW_{рег}^{\Psi_{2max}}}}$$

Контур момента

Допущения:

- пренебрегаем влиянием нагрузки.
- пренебрегаем влияние ЭДС.

- переходные процессы в канале потока окончились.

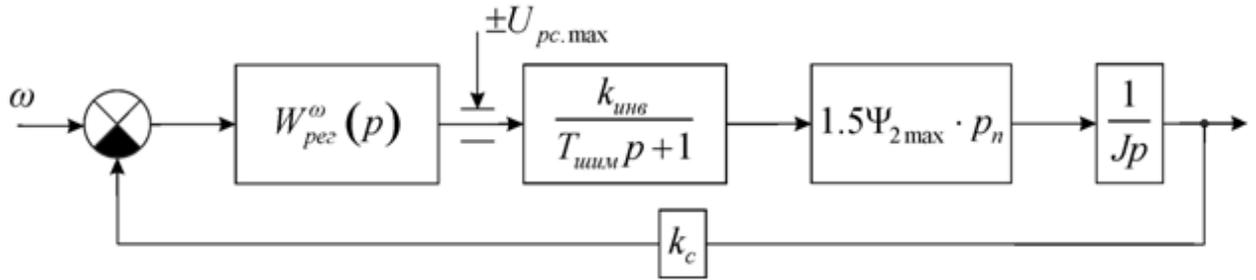


Рис. 3. Структурная схема регулирования электромагнитного момента двигателя

Желаемая разомкнутая передаточная функция контура потока:

$$W_{1,жс}(p) = \frac{1}{T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p}.$$

Действительная разомкнутая передаточная функция контура момента (рис. 3):

$$W_{1,раз}(p) = W_{рез}^{\omega}(p) \cdot \frac{k_{инв}}{T_{цшм}p + 1} \cdot \frac{1}{Jp} \cdot 1.5p_n \Psi_{2max}.$$

$$W_{1,жс}(p) = W_{1,раз}(p)$$

$$W_{рез}^{\omega}(p) = \frac{J}{3T_{\mu}p_n \Psi_{2max} k_c k_{инв}}.$$

Настроим регулятор скорости на симметричный оптимум:

$$W_{рез}^{\omega}(p) = k_{u\omega} \frac{T_{u\omega}p + 1}{T_{u\omega}p},$$

$$\text{где } T_{u\omega}p = 8T_{\mu}$$

$$W_{рез}^{\omega}(p) = \frac{J}{3T_{\mu}p_n \Psi_{2max} k_c k_{инв}} + \frac{J}{3T_{\mu}p_n \Psi_{2max} k_c k_{инв} 8T_{\mu}p}.$$

Для дискретной модели регулятора необходимо дополнительно выполнить расчет коэффициента интегральной составляющей:

$$k_i = \frac{\Delta t}{k_{iW_{рез}^{\omega}}}$$

Рассчитаем регулятор тока:

$$U_a = e_a + I_a R_1;$$

$$e_a = \frac{d\Psi_a}{dt};$$

$$\Psi_a = L_1 i_{1a} + L_{ab} i_{1b} + L_{ac} i_{1c} + L_A i_{aA} + L_B i_{aB} + L_C i_{aC};$$

Пренебрегаем влиянием нагрузки ($i_{1q} = 0$)

$$U_a = \frac{dL_1 i_{1a}}{dt} + I_a R_1$$

$$W_0(p) = \frac{1}{R_1 + pL_1};$$

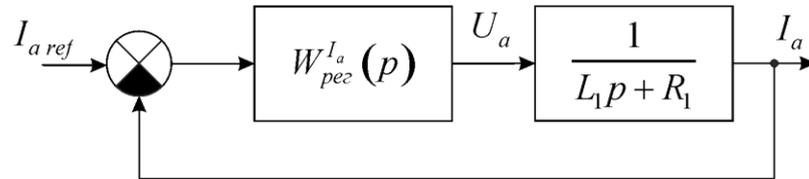
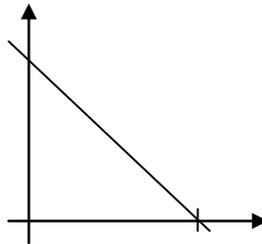


Рис. 4. Структурная схема контура регулирования тока

$$W_{жс}(p) = \frac{1}{Tp};$$

$$W_{пез}^{I_a}(p) W_0(p) = W_{жс}(p);$$

20Lg(k)



200 Гц Lg(ω)

Рис. 5. ЛАХ разомкнутого контура регулирования тока

200 Гц – частота пропускания преобразователя.

По ЛАХ системы (рис. 5) определим T :

$$T = \frac{1}{200};$$

$$W_{пез}^{I_a}(p) = \frac{200}{p}(R_1 + pL_1).$$

ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ В СРЕДЕ MEHBIOS

Общая схема полеориентированного управления представлена на рис. 6. Используемые элементы приведены в таблице 2.

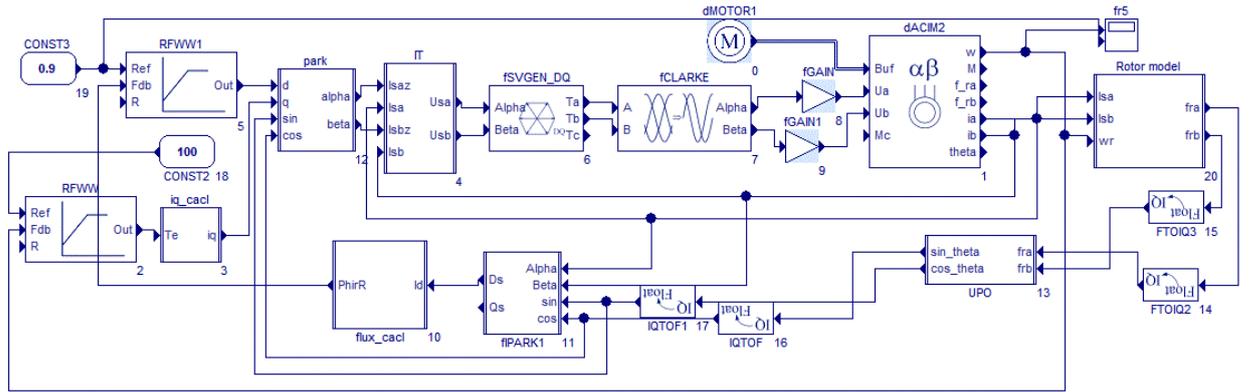
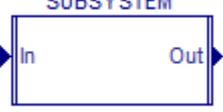
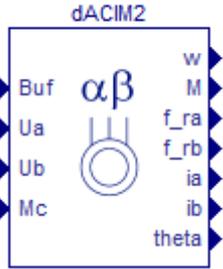
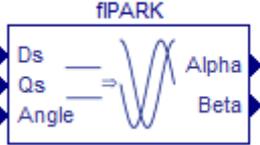
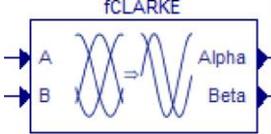
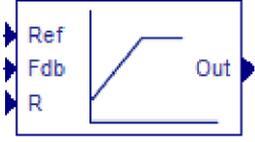


Рис. 6. Общая схема полеориентированного управления

Таблица 2

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			Имя	Параметр	Значение
SCOPE	Встроенные		wr	Количество каналов Количество точек Формат	1 100000000 Float
			fr	Количество каналов Количество точек Формат	1 100000000 Float
SUB-SYSTEM	Встроенные			№	Структура
				3	0
				4	0
				10	0
				11	0
				12	0
dMOTOR	Модели двигателей		№	Параметр	Значение
			0	Ls	0.509
				Lr	0.519
				Wn	314
				In	50
				Fn	1.4
				Rs	5.65
				Rr	6.298
	Lm	0.477			

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки					
			Zp J	1 0.00035				
dACIM2	Модели двигателей		№ 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SampleTime</td> <td>0.00001</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	SampleTime	0.00001
Параметр	Значение							
SampleTime	0.00001							
IGTOF	Математика							
fIPARK	Управление двигателем							
fSVGENDQ	Управление двигателем							
fCLARKE	Управление двигателем							

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
fPID	Регуляторы и фильтры		2	Kp	0.294
				Ki	0.0001
				Kc	0
				Kd	0
				Min	-1.2
				Max	1.2
			5	Kp	0.25
				Ki	0.7
				Kc	0
				Kd	0
				Min	-2.1
				Max	2.1
fGAIN	Математика		№	Параметр	Значение
			8	Gain	-1
9	-1				
fTOQIQ	Математика				

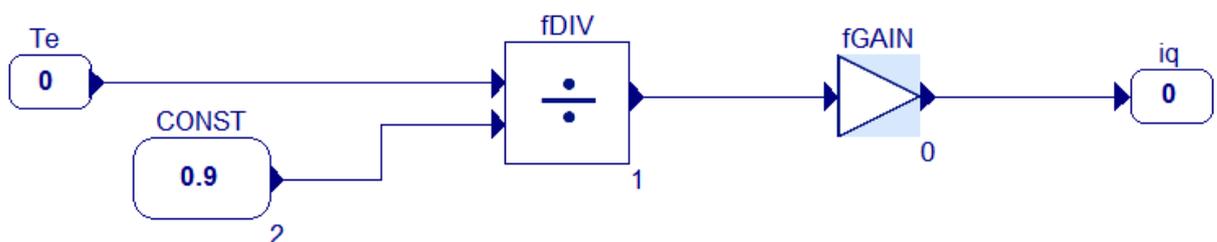
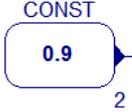
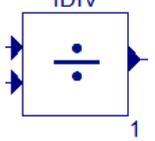


Рис. 7. Структурная схема iq_sasl

Таблица 3

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
CONST	Встроение		2	Значение	0.9
fDIV	Математика				
fGAIN	Математика		0	Gain	2.176
SUBIN	Встроенные				
SUBOUT	Встроенные				

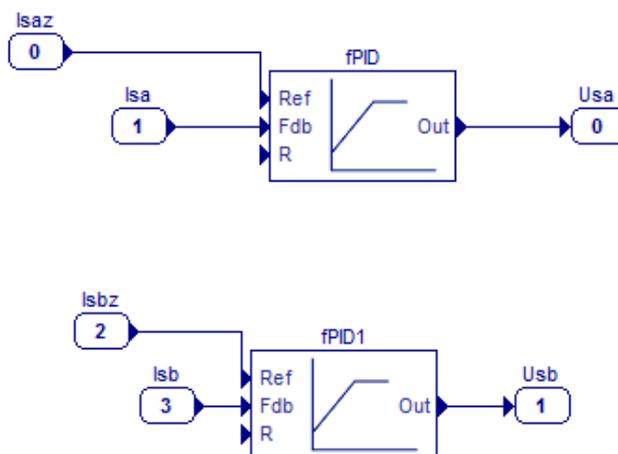
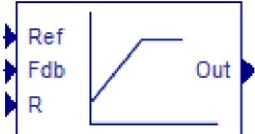


Рис. 8. Структурная схема идеального источника тока

Таблица 4

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
SUBIN	Встроенные				

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
SUBOUT	Встроенные				
fPID	Регуляторы и фильтры		№	Параметр	Значение
			2	Kp Ki Kc Kd Min Max	0.294 0.0001 0 0 -1.2 1.2
			5	Kp Ki Kc Kd Min Max	0.25 0.7 0 0 -2.1 2.1

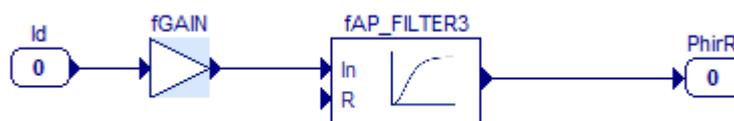


Рис. 9. Структурная схема Phir_calc

Таблица 5

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
SUBIN	Встроенные				
SUBOUT	Встроенные				
fAP_FILTER1	Регуляторы и фильтры		№	Параметр	Значение
			8	SampleTime Tf	0.000001 0.082
fGAIN	Математика		№	Параметр	Значение
			0	Gain	0.477

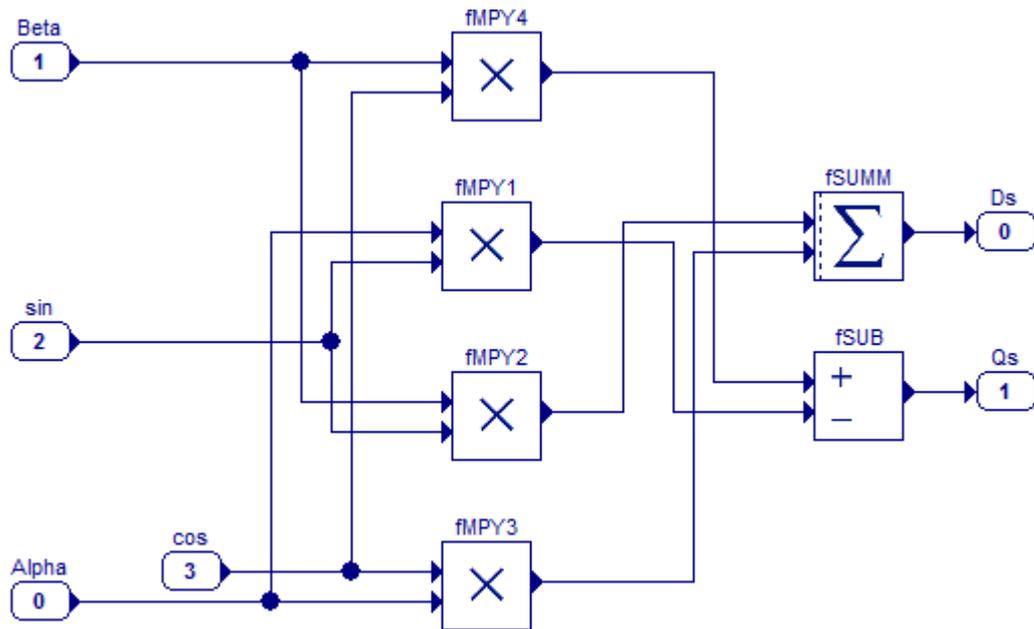


Рис. 10. Структурная схема Ipark

Таблица 6

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки
fMPY	Математика		
fSUMM	Математика		
fSUB	Математика		
SUBIN	Встроенные		
SUBOUT	Встроенные		

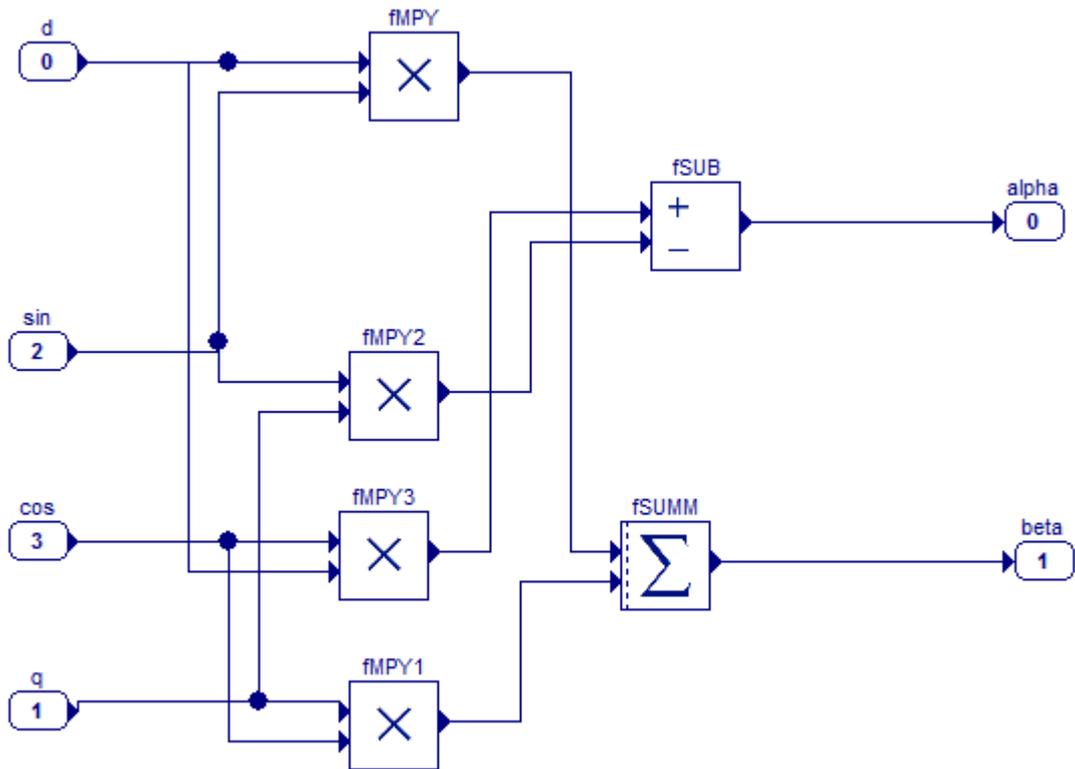
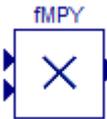
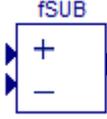


Рис. 11. Структурная схема park

Таблица 7

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки
fMPY	Математика		
fSUMM	Математика		
fSUB	Математика		
SUBIN	Встроенные		
SUBOUT	Встроенные		

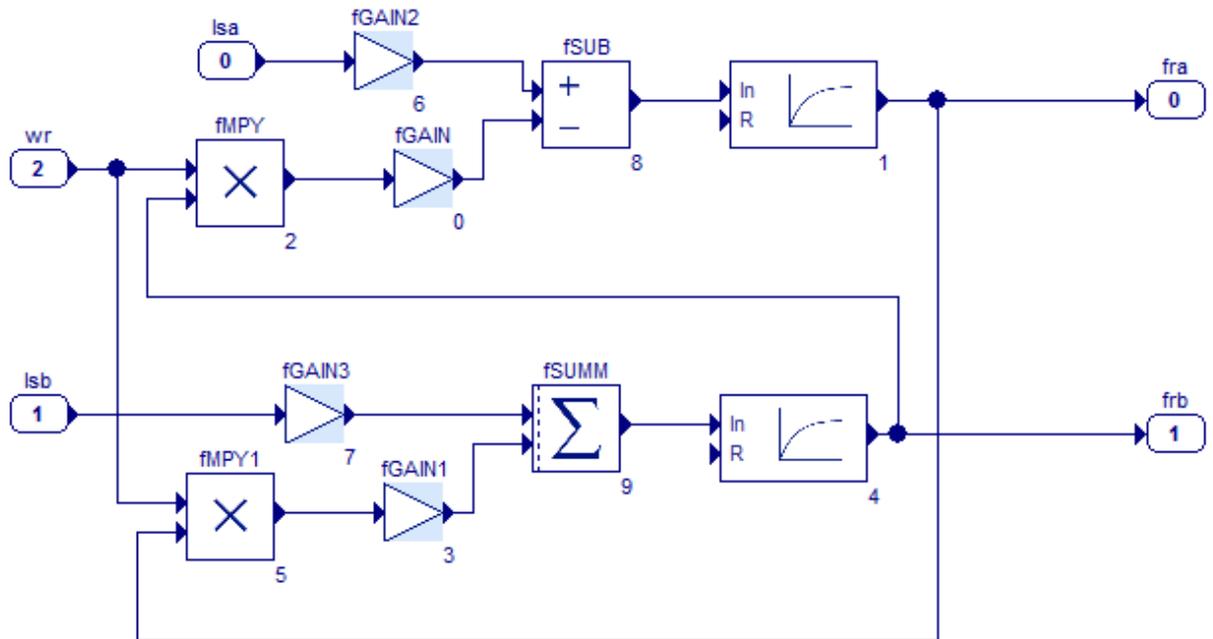


Рис. 12. Структурная схема Rotor

Таблица 8

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
fMPY	Математика				
fSUMM	Математика				
fGAIN	Математика		0	Gain	0.082
			3	Gain	0.082
			6	Gain	0.477
			7	Gain	0.477
fAP_FILTER1	Регуляторы и фильтры		8	SampleTime	0.000001
				Tf	0.082
SUBIN	Встроенные			SampleTime	0.000001
				Tf	0.082
SUBOUT	Встроенные				

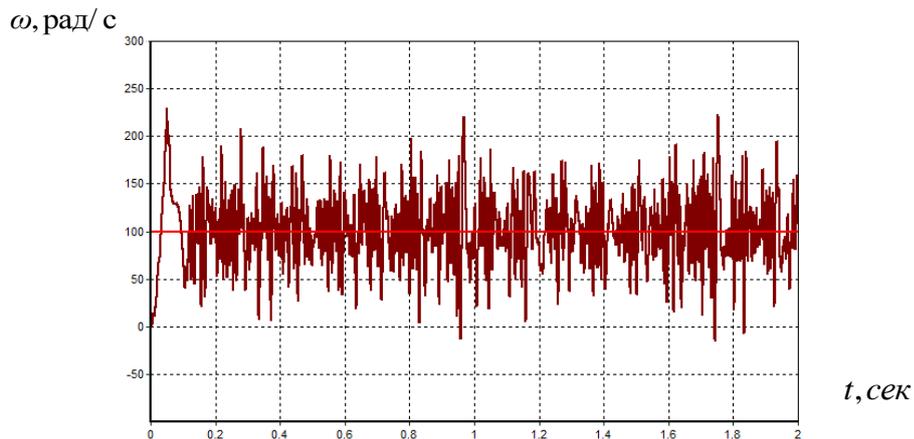


Рис. 13. Результат моделирования управления угловой скоростью

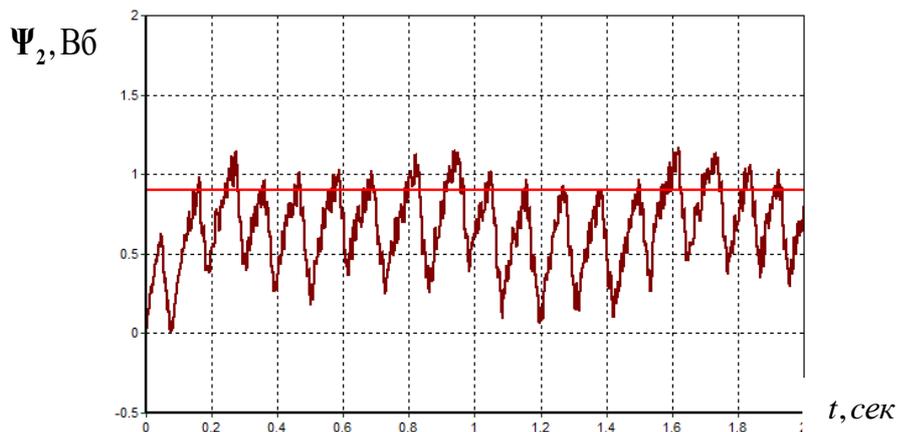


Рис. 14. Результат моделирования управления потокоцеплением ротора

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое полеориентирование?
2. В чем заключается принцип векторного управления?
3. Чем отличаются классические системы векторного управления по току и напряжению?
4. Какие методы используются для настройки регуляторов систем векторного управления?
5. Какие допущения принимаются при настройке регуляторов?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Денисов, В. А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника». – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 164 с.

2. Семькина, И. Ю. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. электропривода и автоматизации. – Кемерово, 2011. – URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90678&type=utchposob:common>

Дополнительная литература:

3. Ещин, Е. К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов (Моделирование и управление) : учебное пособие / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2003. – 247 с. URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90159&type=utchposob:common>

4. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электротехника и электротехнологии». – Москва : Академия, 2006. – 272 с.

5. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва : Академия, 2006. – 304 с.

6. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматика пром. установок и технолог. комплексов» направления подготовки дипломир. специалистов

«Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

7. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4: Вентильный электродвигатель

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы: изучить методы построения систем управления вентильными электродвигателями и получить навыки моделирования и настройки систем управления.

Задачи работы:

1. Изучить основные структурные схемы систем вентильных электродвигателей.
2. Получить навыки моделирования вентильных электродвигателей на персональном компьютере.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1. Ознакомление с п. 4 данных методических указаний.
2. Сборка модели в среде MexBIOS в соответствии со структурной схемой, приведенной в п. 4.
3. Занесение параметров в блоки программы MexBIOS в соответствии с п. 4 данных методических указаний.
4. Выполнение моделирования, в результате которого должна быть продемонстрирована работа схемы, а также выполнить оценку влияния коэффициентов на характер переходного процесса.
5. Анализ результатов экспериментов.
6. Составление отчета по выполнению практического задания (требования к отчету см. в п. 3).

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет выполняется на листах формата А4, ориентация страницы – книжная. Поля: слева 3 см, справа 1,5 см, сверху 1,5 см, снизу 2 см. Шрифт – Times New Roman, 14 пт. Титульный лист выполняется в соответствии с приложением I.

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Задачи работы.

Математическую модель и структурную схему вентильного электродвигателя.

Таблицу с параметрами блоков MexBIOS.

Структурную схему системы в среде MexBIOS.

Результаты моделирования в среде MexBIOS (графики тока статора и угловой частоты вращения ротора).

4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Вентильным двигателем называют систему, состоящую из синхронного электродвигателя, полупроводникового коммутатора и системы управления, обеспечивающей управление ключами коммутатора, в функции от текущего положения ротора двигателя.

Первые вентильные двигатели были предложены в 30-е годы XX столетия, но из-за несовершенства электронных элементов, в то время не нашли широкого применения. В настоящее время, за счет появления полупроводниковых ключей, в виде разного рода транзисторов и тиристоров, вентильные двигатели заняли свою нишу в промышленности.

Основная идея работы вентильного двигателя заключается в том, что в зависимости от текущего положения ротора коммутация обмоток статора осуществляется таким образом, чтобы вектор магнитодвижущей силы статора был направлен под углом θ эл равным 90 электрических градусов по отношению к вектору магнитодвижущей силы ротора. При этом, учитывая, что электромагнитный момент синхронного двигателя определяется как $M \propto |\Psi_1| |\Psi_2| \cos \theta$, где Ψ_1 и Ψ_2 – векторы потокосцеплений статора и ротора соответственно, будет формироваться максимальное значение электромагнитного момента синхронного двигателя.

В вентильных двигателях для управления положением вектора магнитодвижущей силы статора относительно вектора магнитодвижущей силы ротора используются два способа:

1) дискретный, при котором по сигналам дискретного датчика положения в заданных точках положения ротора осуществляющая коммутация требуемых фаз обмотки статора и дискретное переключение вектора магнитодвижущей силы статора;

2) непрерывный, при котором по сигналу непрерывного датчика положения ротора формируется требуемый алгоритм комму-

тации ключей инвертора, обеспечивающий заданное положение вектора магнитодвижущей силы статора.

Вентильный двигатель с дискретным формированием магнитодвижущей силы статора также называют бесколлекторной машиной постоянного тока. Рассмотрим принцип действия данного двигателя. На рис. 1 приведена его функциональная схема.

При протекании тока по обмоткам статора в них создается магнитодвижущая сила. При этом, изменяя схему подключения обмоток статора к источнику постоянного напряжения можно получить шесть возможных положения магнитодвижущей силы статора, как это показано на рис. 2.

Учитывая, что максимальный момент синхронного двигателя обеспечивается при $\theta=90$, а возможные ближайшие положения вектора потокосцепления статора отстают друг от друга на угол 60 , коммутацию ключей осуществляют таким образом, чтобы вектор магнитодвижущей силы статора находился в секторе от 120 до 60 .

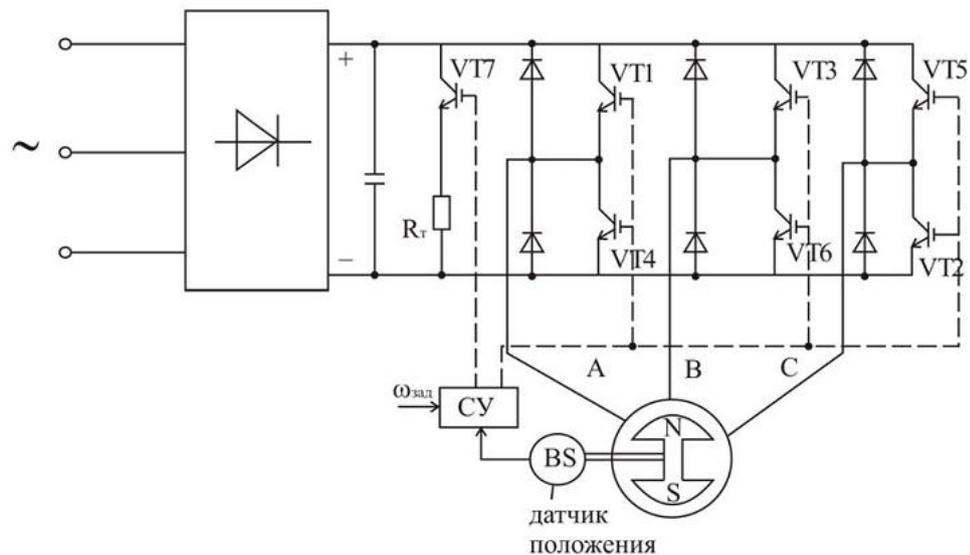


Рис. 1. Функциональная схема вентильного двигателя

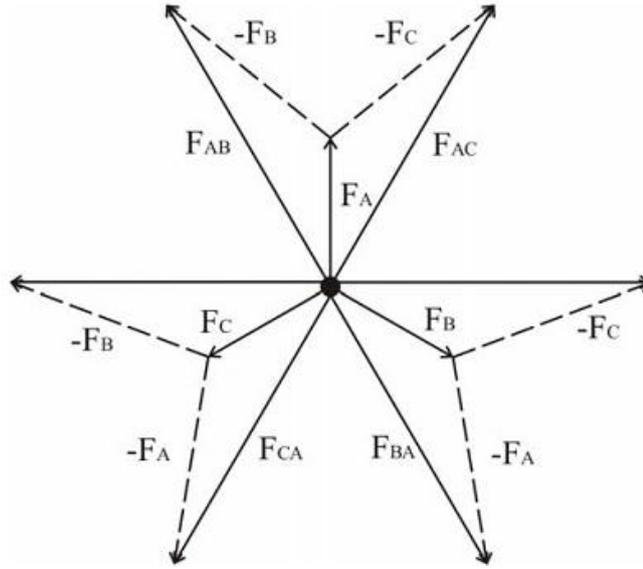


Рис. 2. Возможные положения векторов магнитодвижущей силы статора

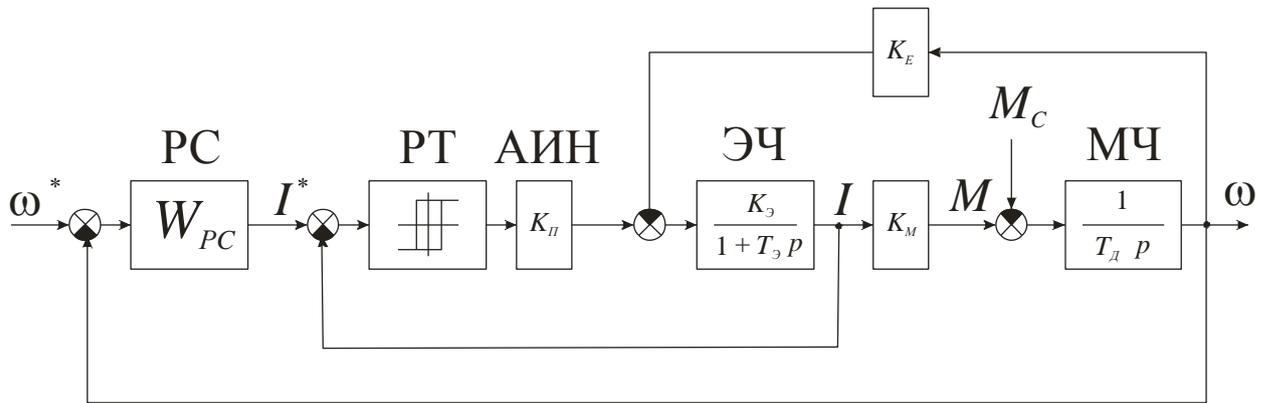


Рис. 3. Структурная схема вентильного двигателя

ОБЩИЙ ВИД МОДЕЛИ

Реализация модели вентильного электропривода в общем виде представлена на рис. 4. Использованные элементы приведены в таблице.

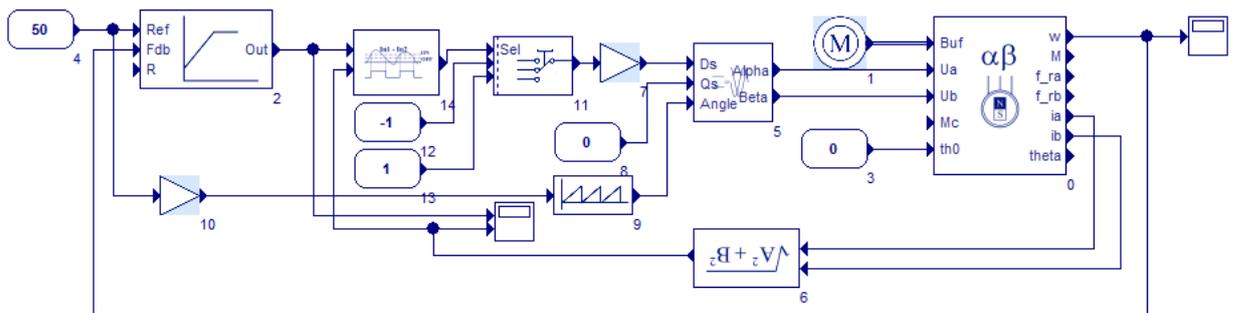
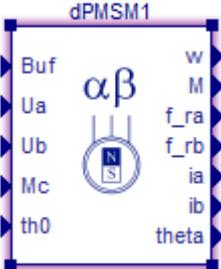
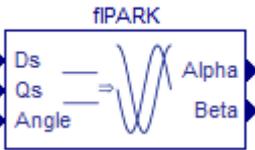
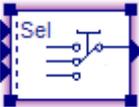
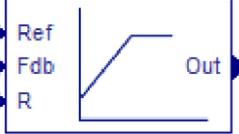
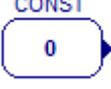
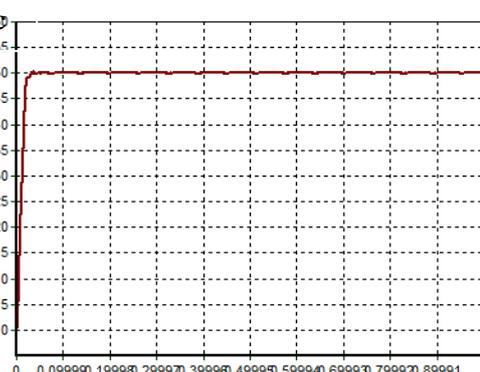


Рис. 4. Общий вид модели вентильного привода

Название блока	Библиотека	Графическое обозначение	Настройки		
			№	Параметр	Значение
dMOTOR	Модели двигателей		1	Rs Ls Lr Zp J PsiR	0.5 0.00175 0.00175 2 0.0003618 0.17
dPMSM	Модели двигателей		0	SampleTime	0.00001
fIPARK	Управление двигателем				
fRAMPGEN	Управление двигателем		9	SampleTime BaseFreq Gain Offset	0.00001 1 1 0
fA_COMPARATOR	Расширенная логика		14	Level_ON Level_OFF	0.001 -0.001
fA_MUX	Расширенная логика		14	NumIn Def	3 0

			№	Параметр	Значение			
			fPID	Регуляторы и фильтры		2	Kp	0.0002
				Ki	0.001			
				Kc	0			
				Kd	0			
				Min	20			
				Max	50			
			№	Параметр	Значение			
			fGAIN	Математика		7	Gain	200
			8		0.318			
fMAG	Математика							
			№	Параметр	Значение			
			CONST	Встроенные		3	Значение	0
					4	Значение	50	
					8	Значение	0	
					12	Значение	-1	
		13	Значение	1				

I, A

 ω , рад/с

t, сек

Рис. 5. Результаты моделирования работы вентильного электропривода

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключаются отличия вентильного двигателя от синхронного?
2. Способы управления положением МДС в вентильном двигателе
3. Как обеспечить максимальный момент вентильного двигателя?

4. Чем отличается управление вентильного двигателя от синхронного?

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Денисов, В. А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника». – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 164 с.

2. Семькина, И. Ю. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : конспект лекций для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. электропривода и автоматизации. – Кемерово, 2011. – URL:

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90678&type=utchposob:common>

Дополнительная литература:

3. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электротехника и электротехнологии». – Москва : Академия, 2006. – 272 с.

4. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» направления подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – Москва : Академия, 2006. – 304 с.

5. Усынин, Ю. С. Системы управления электроприводов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматика пром. установок и технолог. комплексов» направления подготовки дипломир. специалистов «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

6. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск : Техноперспектива, 2006. – 363 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Титульный лист отчета по практической работе

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ (СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ)

ОТЧЕТ

по практическому заданию №1
«Настройка регуляторов системы подчиненного регулирования
координат электроприводов постоянного тока»

Выполнил:
Аспирант гр. ЭЭа-151
ФИО

Проверил:
Профессор, д.т.н.
ФИО

(подпись)

Оценка _____

«___» _____ 2016 г.

Кемерово 2016