

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «**Электрический привод**»

Для студентов направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника, профиль подготовки – Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

Невинномысск 2022

Содержание

Введение	3
Лабораторная работа № 1 Исследование механической части электропривода	4
Лабораторная работа № 2 Моделирование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.....	11
Лабораторная работа № 3 Исследование режимов реостатного пуска электропривода постоянного тока	16
Лабораторная работа № 4 Исследование режима динамического торможения электропривода постоянного тока	22
Лабораторная работа № 5 Исследование режима торможения противовключением электропривода постоянного тока	27
Лабораторная работа № 6 Моделирование электропривода по системе «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока»	31
Лабораторная работа № 7 Расчет рабочих характеристик машины постоянного тока	36
Лабораторная работа № 8 Исследование машины постоянного тока при работе в двигательном и генераторном режимах.....	43
Лабораторная работа № 9 Исследование машины постоянного тока последовательного возбуждения.....	48
Лабораторная работа № 10 Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	53
Лабораторная работа № 11 Исследование трехфазной асинхронной машины с фазным ротором	60
Лабораторная работа № 12 Исследование режима динамического торможения в асинхронном электроприводе.....	64
Лабораторная работа № 13 Исследование режима торможения противовключением в асинхронном электроприводе	69
Лабораторная работа № 14 Исследование трехфазной асинхронной машины с короткозамкнутым ротором при питании от однофазной сети	73
Лабораторная работа № 15 Исследование трехфазной синхронной машины	80
Лабораторная работа № 16 Исследование пускового режима синхронного двигателя	86
Список рекомендуемой литературы	91

Введение

Дисциплина «Электрические привод» изучается студентами направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника (профиль подготовки – «Электропривод и автоматика») на 3-м и 4-м курсах, когда базовые теоретические дисциплины специальности практически уже освоены. Так как, кроме освоения теоретического материала, требуется закрепление полученных знаний в лабораторных условиях, поэтому в учебном процессе высших учебных заведений наряду с теоретическим обучением значительное место отводится выполнению лабораторных работ. Правильное сочетание теоретических знаний с практикой лабораторных работ обеспечивает высокое качество подготовки выпускников.

Электрические привод (ЭП) – это одна из основных общетехнических дисциплин для подготовки инженеров электротехнических и электроэнергетических специальностей.

Цель преподавания ЭП – основной целью дисциплины «Электрические привод» является формирование у студентов теоретической базы по современным направлениям развития электрического привода, которая позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности, связанной с проектированием, испытаниями и эксплуатацией электрических приводов.

Задачами курса являются: изучение методов описания электропривода как электромеханической системы, в которой одновременно протекают электромагнитные и механические процессы; осмысление энергетических и физических процессов в электроприводах постоянного и переменного тока; ознакомление с принципами управления и элементами проектирования ЭП.

Лабораторная работа № 1 Исследование механической части электропривода

Цель работы: Исследование динамических свойств механической части электропривода на примере трехмассовых и эквивалентных им двухмассовых расчетных схем.

Теоретическая часть

Механическая часть реального электропривода представляет собой многомассовую упругую механическую систему, в которой наличие упругих связей накладывает определенные особенности на протекание в ней динамических процессов, отличающихся от процессов в одномассовом звене.

Для описания динамических свойств механической системы наиболее универсальными являются уравнения движения в обобщенных координатах, то есть уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial W_k}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1.1)$$

где W_k – запас кинетической энергии системы, выраженный через обобщенные координаты q_i (угловые и линейные перемещения) и обобщенные скорости \dot{q}_i (угловые или линейные скорости); $Q_i = \delta A_i / \delta q_i$ – обобщенная сила (момент или усилие), определяемая суммой элементарных работ δA_i всех действующих сил на возможном перемещении δq_i .

Число обобщенных координат, как и число уравнений Лагранжа, описывающих динамические характеристики объекта моделирования, соответствует числу степеней свободы объекта, в данном случае – механической системы.

При наличии в кинематической схеме механической части электропривода передаточных устройств, обеспечивающих согласование форм или скоростей движения исполнительного органа с двигателем, целесообразно привести переменные и параметры механической системы к валу двигателя. Это позволяет получить расчетную схему, дающую наглядное представление о реальном влиянии действующих масс, жесткостей на динамические свойства механической части электропривода (МЧ ЭП). Кроме того, в этом случае значительно проще составить систему уравнений Лагранжа, представляющую математическую модель исследуемого объекта.

В лабораторной работе предлагается выполнить исследование динамики на примере расчетной схемы (рисунок 3.1), в которой обобщенными координатами являются угловые перемещения масс $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, и соответствующие им обобщенные угловые скорости $\omega_1, \omega_2, \omega_3$.

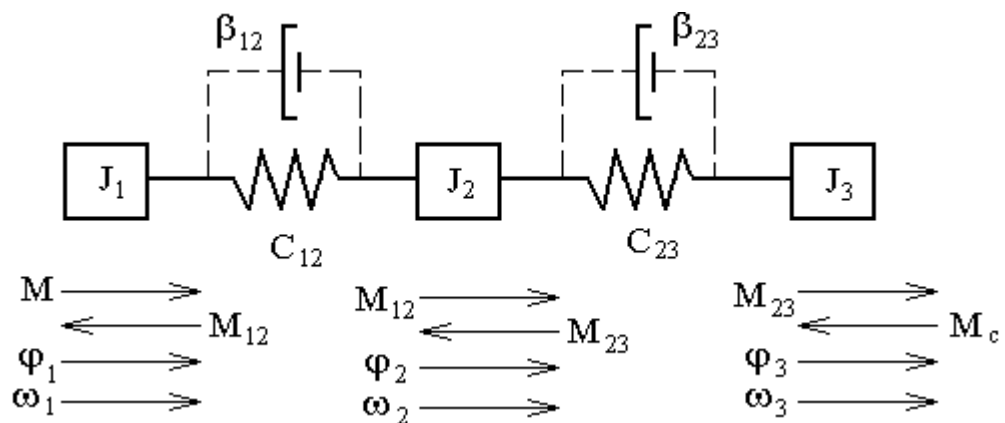


Рисунок 1.1 – Расчетная схема трехмассовой последовательной упругой системы

В расчетной схеме статические моменты, обусловленные силами трения в элементах кинематической цепи первой (J_1) и второй (J_2) масс, ввиду их малости приняты равными нулю. В расчетной схеме действуют: M – момент электродвигателя (ЭД), M_{12}, M_{23} – моменты упругой деформации, M_c – статический момент исполнительного органа рабочей машины. Кроме того, на

схеме приведены следующие параметры: C_{12} , C_{23} – жесткости упругих связей между массами, β_{12} , β_{23} – коэффициенты внутреннего вязкого трения.

В данной лабораторной работе математическую модель системы можно разделить на две части: модель электрической части и модель механической части.

Математическая модель электрической части представляется следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\epsilon} = \frac{R_d}{k\Phi} \cdot (1 + T_{\epsilon} \cdot p) \\ U_{\text{я}} = R_{\text{я}\Sigma} \cdot (1 + T_{\text{я}} \cdot p) \cdot i_{\text{я}} + k\Phi \cdot \omega_1 \\ M = i_{\text{я}} \cdot k\Phi \\ T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} \\ T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}\Sigma}} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

Математическая модель механической части представляется следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} M - M_{12} - M_{c1} = J_1 p \omega_1 \\ M_{12} - M_{23} - M_{c2} = J_2 p \omega_2 \\ M_{23} - M_{c3} = J_3 p \omega_3 \\ M_{12} = C_{12} (\phi_1 - \phi_2) \\ M_{23} = C_{23} (\phi_2 - \phi_3) \end{array} \right. \quad (1.2)$$

Структурная схема, построенная на основе этих двух моделей, представлена на рисунке 3.2.

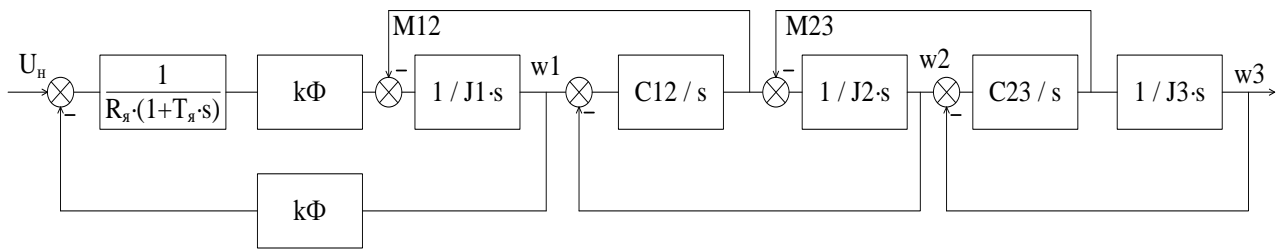


Рисунок 1.2 – Структурная схема трехмассовой механической части с последовательной расчетной схемой

На практике чаще используют эквивалентную расчетную схему двухмассовой упругой системы (рисунок 1.3), к которой приводят трехмассовую механическую систему. Однако при этом переходят некоторые особенности исследуемого объекта, на что следует обратить внимание при моделировании трехмассовой и эквивалентной ей двухмассовой механических систем.

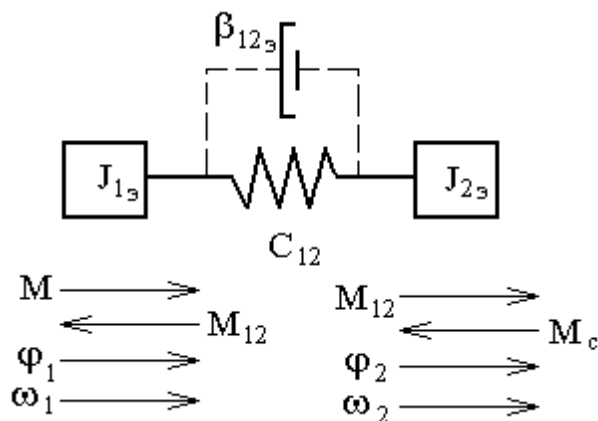


Рисунок 1.3 – Эквивалентная расчетная схема двухмассовой упругой механической системы

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Построить в Matlab структурную схему трехмассовой механической части с последовательной расчетной схемой.

Снять частотные и временные характеристики $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$, $\omega_3(t)$, $M_{12}(t)$, $M_{23}(t)$ при ступенчатом управляющем воздействии и зафиксировать передаточные функции по этим каналам.

Набрать структурную схему эквивалентной двухмассовой механической части и снять частотные и временные характеристики $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$, $M_{12}(t)$, при ступенчатом управляющем воздействии и зафиксировать передаточные функции по этим каналам.

Выполнить сравнительный анализ частотных и временных характеристик трех- и двухмассовой механических систем и выявить отличительные признаки между ними.

Осуществить варьирование параметров двухмассовой механической системы и выявить их влияние на частотные и временные характеристики объекта моделирования, изменяя параметры МЧ ЭП J_2 и C_{12} изменить в пределах $(1 \dots 3)J_2$ и $(0.5 \dots 1.5)C_{12}$ при числе исследуемых значений не менее трех.

Исходные данные для расчетов и моделирования содержатся в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

Вар. №	Параметры								
	J_2	J_3	C_{12}	C_{23}	λ_{12}	λ_{23}	M_c	ε_{max}	ω
1.	0.1	0.6	100	125	0.1	0.1	20	50	105
2.	0.2	0.5	125	150	0.15	0.15	40	50	105
3.	0.3	0.4	150	100	0.2	0.2	80	50	105
4.	0.1	0.7	150	125	0.1	0.1	20	75	157
5.	0.2	0.5	175	150	0.2	0.2	30	75	157
6.	0.3	0.3	200	175	0.3	0.3	40	75	157
7.	0.15	0.8	175	200	0.1	0.15	50	100	230
8.	0.2	0.9	200	150	0.2	0.2	75	100	230

9.	0.25	1.0	150	125	0.3	0.25	100	100	230
10.	0.3	1.1	250	200	0.15	0.1	30	125	262
11.	0.4	1.3	275	225	0.2	0.15	60	125	262
12.	0.5	1.4	300	250	0.25	0.3	90	125	262
13.	0.35	0.9	250	300	0.15	0.25	15	150	314
14.	0.45	1.2	225	250	0.25	0.2	30	150	314
15.	0.55	1.5	275	225	0.3	0.15	45	150	314

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Выбор мощности и параметры выбранного электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения.
- Расчетную и структурную схемы (математическую модель) трехмассовой механической системы в абсолютных единицах.

- Частотные и временные характеристики трехмассовой модели механической системы. Анализ характеристик и выводы.

- Приведение параметров трехмассовой расчетной схемы к эквивалентной двухмассовой.

- Математические модели двухмассовой механической системы в абсолютных единицах.

- Частотные и временные характеристики двухмассовой эквивалентной механической системы. Анализ характеристик и выводы.

- Сравнительный анализ частотных и временных характеристик трех- и двухмассовых систем, отличительные признаки.

- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение, виды и отличительные признаки расчетных схем механической части электропривода.

2. Какие элементы относятся к механической части ЭП?

3. Как влияют параметры двухмассовой упругой механической части электропривода на частотные и временные характеристики моделируемого объекта?

4. Принципиальные отличия частотных и временных характеристик трех- и двухмассовых механических систем. Анализ причины отличий.

Лабораторная работа № 2 Моделирование электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения

Цель работы: исследование динамических свойств двигателя постоянного тока независимого возбуждения, выявление влияния параметров двигателя и нагрузки на динамические характеристики двигателя, получение навыков построения динамических характеристик при ненулевых начальных условиях.

Теоретическая часть

Электрические машины постоянного тока представляют собой электромеханические преобразователи (ЭМП) электрической энергии в механическую и наоборот и подчиняются общим законам электромеханического преобразования энергии.

Принципиальная электрическая схема двигателя изображена на рисунке 6.1, где показаны: обмотка дополнительных полюсов (ДП), компенсационная обмотка (КО), являющиеся вспомогательными в машине, поэтому при математическом описании принимаются во внимание только их электрические параметры. Влияние вихревых токов в крупных машинах при изменении магнитного потока учитывается обмоткой ОВТ.

К числу основных обмоток, участвующих в электромеханическом преобразовании энергии, относятся обмотка якоря (ОЯ) и обмотка возбуждения (ОВ).

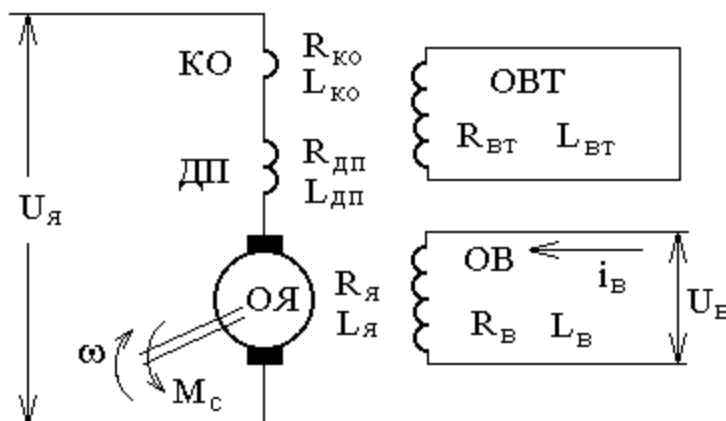


Рисунок 6.1 – Принципиальная электрическая схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Физические процессы, протекающие в цепи якоря, описываются следующим уравнением:

$$U_{\text{я}} = R_{\text{яц}_{\Sigma}} \cdot I_{\text{я}} + k \cdot \Phi \cdot \omega , \quad (6.1)$$

где $R_{\text{яц}_{\Sigma}} = R_{\text{я}} + R_{\text{дн}} + R_{\text{ко}}$ – активное сопротивление цепи якоря, Ом; $L_{\text{яц}_{\Sigma}} = L_{\text{я}} + L_{\text{дн}} + L_{\text{ко}}$ – индуктивность цепи якоря, Гн; Φ – магнитный поток обмотки возбуждения, Вб; $k = p_i \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a)$ – конструктивный коэффициент; p_n – число пар полюсов; N – число активных проводников; a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря; ω – угловая скорость якоря, с^{-1} .

Уравнение механического движения электродвигателя имеет вид:

$$M - M_c = J \cdot d\omega / dt , \quad (6.2)$$

где M , M_c – соответственно момент двигателя и статический момент, приведенный к валу двигателя, Н·м; J – момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Изучить возможности и правила работы с комплектом программных средств MATLAB+Simulink+пакеты расширения.

Выбрать двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), руководствуясь данными таблицы 6.1.

Для выбранного двигателя составить математические модели, описывающие его динамику в режимах пуска и изменения нагрузки.

Изучить теоретический материал по математическому моделированию двигателя постоянного тока независимого возбуждения, по динамической механической характеристике ДПТ НВ и динамической жесткости.

Составить схему модели ДПТ с НВ.

Снять временные характеристики при пуске ДПТ НВ без нагрузки.

Снять временные характеристики при пуске ДПТ НВ под нагрузкой.

Снять временные характеристики при сбросе/набросе нагрузки.

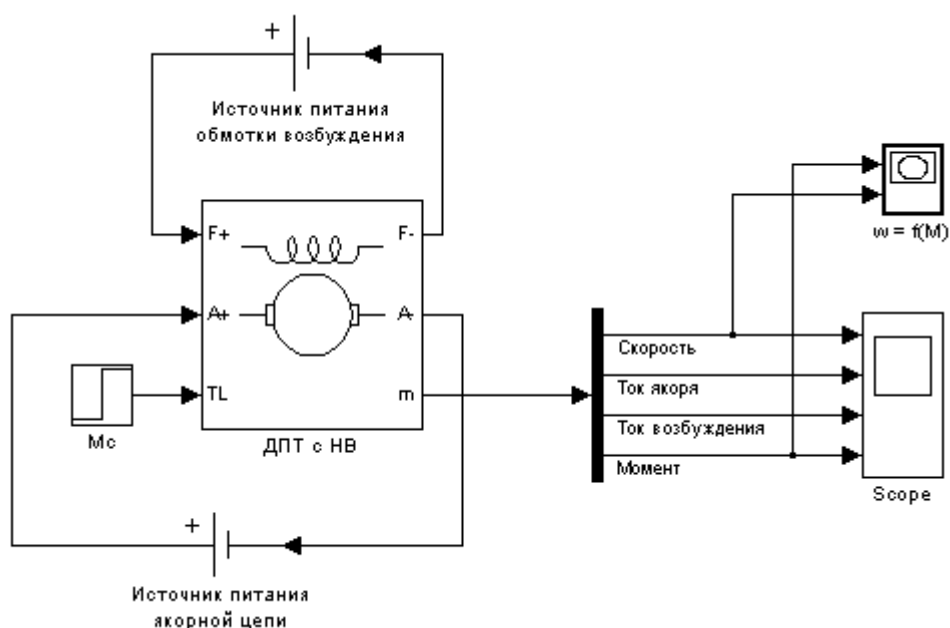


Рисунок 6.2 – Вариант модели ДПТ с НВ для исследования переходных процессов при пуске

Таблица 6.1 – Исходные данные

№	Тип двигателя	$P_{2ном}$, кВт	$U_{я}$, В	$U_{в}$, В	$n_{ном}$, об/мин	$I_{я}$, А	$I_{в}$, А	$R_{я}+R_{дп}$, Ом	$R_{в}$, Ом	$L_{я}$, мГн	$L_{в}$, Гн	J , кг*м ²
1	2ПН90М	1	220	110	3000	5,27	1	4,788	110,4	48	11,2	0,004
2	2ПН100М	2	220	220	3000	10,8	0,7	1,65	318	26	45,1	0,011
3	2ПН132М	4	220	220	1500	21,65	1,37	1,08	160,8	11	18,4	0,038

4	2ПН132L	3	220	110	1000	15,62	2,44	1,824	45	18,1	5,5	0,048
5	2ПФ132М	4	440	220	1500	9,37	1,65	3,92	133,2	38,6	13,2	0,038
6	2ПН160М	13	220	220	2120	66,13	2,98	0,164	73,8	2,2	9,6	0,083
7	2ПН160L	11	440	220	1600	26,44	2,8	0,899	78,36	12,5	8,5	0,1
8	2ПО160М	6	220	220	1600	31	1,24	0,463	177,6	7,1	24,6	0,083
9	2ПО160L	10	440	220	2120	24,11	1,57	0,666	140,4	12	18,4	0,1
10	2ПФ160М	16	220	220	3150	80,15	3,45	0,0732	63,72	0,99	11,3	0,083
11	2ПФ180М	15	220	220	1500	85,5	76,01	3,73	0,168	59,04	2,7	9,4
12	2ПФ180L	25	440	220	2200	89,5	59,5	3,99	0,264	55,2	4,4	7,4
13	2ПН200М	60	440	220	3150	90,5	145,44	5,24	0,0912	42	1,6	6,1
14	2ПФ200М	22	220	220	1600	87,5	110,3	3,99	0,0912	55,2	1,6	10,6
15	2ПФ200L	30	220	220	1500	88,5	148,3	5,78	0,0612	38,04	1,2	9,3

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Исходные данные в соответствии с вариантом задания.

Схему модели ДПТ с НВ в Matlab Simulink.

Графики переходных процессов.

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение, основные возможности и область применения программных средств MATLAB, Simulink и пакетов расширения.
2. Физический смысл частотных и временных характеристик.
3. Охарактеризуйте каналы управления ДПТ НВ на основе полной структурной схемы двигателя и при $\Phi = const$.
4. Понятие о динамической механической характеристике двигателя и ее назначении. Каким образом осуществляется ее построение?
5. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?
6. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
7. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

Лабораторная работа № 3 Исследование режимов реостатного пуска электропривода постоянного тока

Цель работы: исследование механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения при реостатном пуске; выявление влияния параметров пускового реостата и нагрузки на динамические характеристики двигателя.

Теоретическая часть

Сопротивления, вводимые в якорную цепь ДПТ могут быть пусковые, тормозные и регулировочные. Пусковые сопротивления вводятся для ограничения пускового тока. При пуске двигателя в ход его ЭДС=0 и пусковой ток определяется только приложенным напряжением и сопротивлением якорной цепи:

$$I_{\text{яп}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}} = \frac{U - 0}{R_{\text{я}}} = \frac{U}{R_{\text{я}}} \quad (7.1)$$

Без добавочного сопротивления он может в 10-20 раз превышать номинальный ток, что не допустимо по условиям коммутации.

При пуске с добавочным сопротивлением двигатель работает последовательно на ряде механических характеристик с постепенно уменьшающейся крутизной. Чем больше ступеней пускового сопротивления, тем плавнее разгон. Обычно число их не более 3-5.

Необходимую величину добавочного сопротивления, соответствующего какой-либо механической характеристике, можно найти из уравнения характеристики или непосредственно из графика, т.е. пусковой диаграммы (рис. 7.1). Действительно, из нее видно, что отрезок ab при моменте M_1 есть падение

скорости двигателя при отсутствии добавочного сопротивления в цепи якоря, а отрезок ae соответствует падению скорости при введении добавочного сопротивления, соответствующего пусковой характеристике при $\omega=0$. Отсюда следует, что эти отрезки в некотором масштабе одновременно характеризуют сопротивление цепи якоря. Следовательно, в этом масштабе отрезок ab определяет сопротивление обмотки якоря, а отрезок ae – полное сопротивление якорной цепи при пуске двигателя в ход.

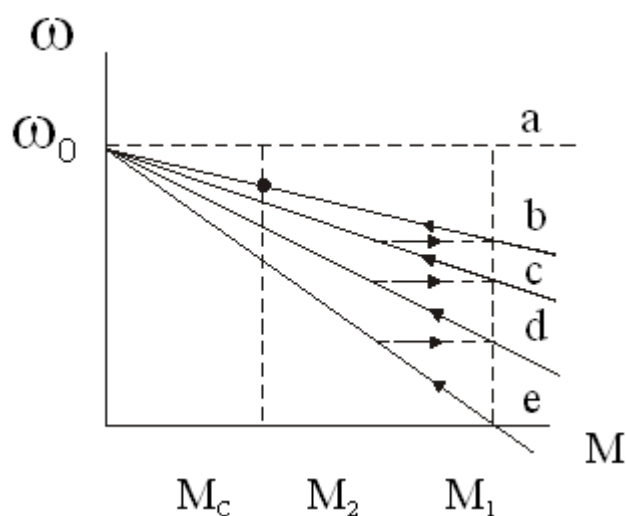


Рисунок 7.1 – Пусковая диаграмма

Расчет пусковых сопротивлений ведется в 2 этапа:

- 1) Определяется полное сопротивление $R = R_{я} + R_{доб}$.
- 2) Производится разбивка на секции, чтобы двигатель работал на правильной пусковой диаграмме.

Расчет может быть графическим и аналитическим.

При графическом расчете строятся характеристики $\omega = f(M)$ или $\omega = f(I_{я})$, на которых двигатель должен работать в процессе пуска, т.е. строится пусковая диаграмма. Воспользуемся зависимостями $\omega = f(I_{я})$ (рис.7.2). Сначала по паспортным данным двигателя строится естественная характеристика. По оси абсцисс откладываются значения пускового тока $I_{я1}$, тока переключения $I_{я2}$ и

тока статической нагрузки I_C . Значения этих токов (соответственно моментов) берутся в пределах $I_{Я1} = (2 \div 2,5)I_H$; $I_{Я2} = (1,2 \div 1,5)I_C$ или $I_{Я2} = (1,2 \div 1,5)I_H$.

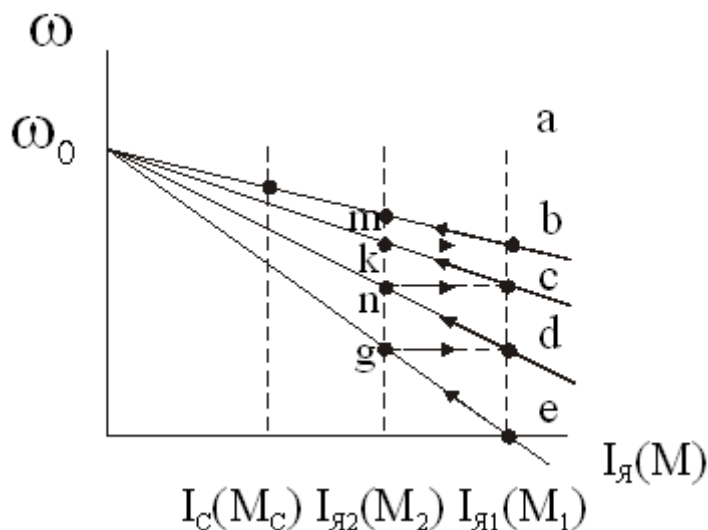


Рисунок 7.2 – Электромеханические характеристики ДПТ

Соединив т. е с т. ω_0 , получим пусковую характеристику при работе с полным добавочным сопротивлением. Т.к. ток $I_{Я1} > I_C$, двигатель начнет разгоняться, а ток якоря будет уменьшаться. По достижении им значения, равного $I_{Я2}$, часть сопротивления отключается, ток скачком возрастает до значения $I_Я$ и двигатель переходит для работы на новой характеристике (от т. d), на которой он будет работать до т. n, где выключается следующая ступень пускового сопротивления и т.д. до выхода на естественную характеристику в т. b. Если это не получится, необходимо изменить значение тока $I_{Я2}$ и выполнить построение пусковой диаграммы заново таким образом, чтобы переход с последней пусковой характеристики на естественную произошел именно при токе $I_{Я1}$ (в т. b). Отключаемым на каждой ступени сопротивлениям соответствуют отрезки de, cd, bc. Масштаб сопротивлений можно найти исходя из отрезка ab и известной величины $R_Я$. Но т.к. отрезок ab невелик и это может вызвать большую погрешность, удобнее находить масштаб по отрезку ae. Этому

отрезку соответствует $R_m = \frac{U}{I_Я}$.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Изучить возможности и правила работы с комплектом программных средств MATLAB+Simulink для моделирования двигателей постоянного тока.

Выбрать двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), руководствуясь данными таблицы 6.1.

Для выбранного двигателя рассчитать значения пускового реостата.

Провести моделирование процесса реостатного пуска ДПТ.

Снять временные характеристики скорости, тока и момента двигателя.

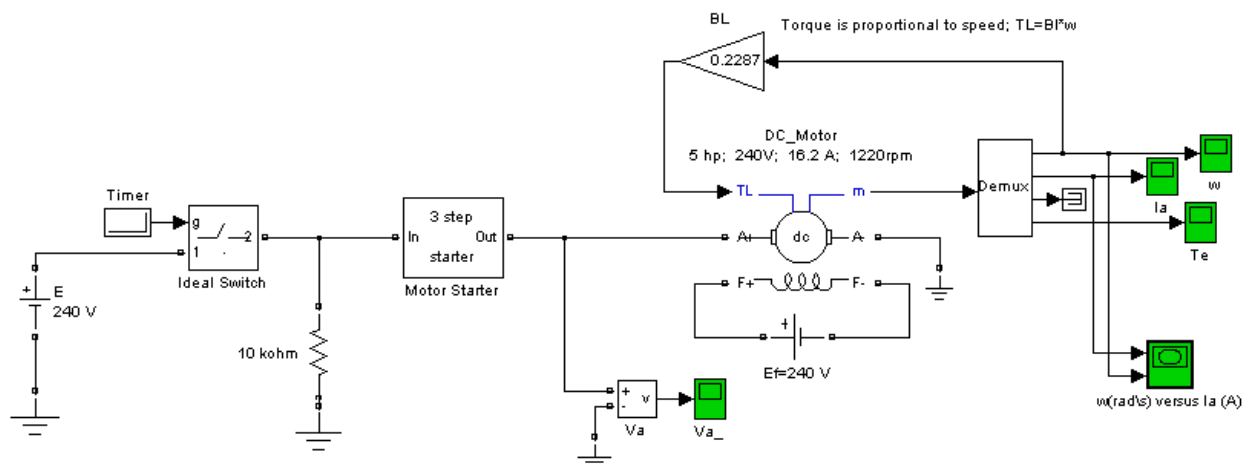


Рисунок 7.3 – Вариант модели ДПТ с НВ для исследования переходных процессов при реостатном пуске

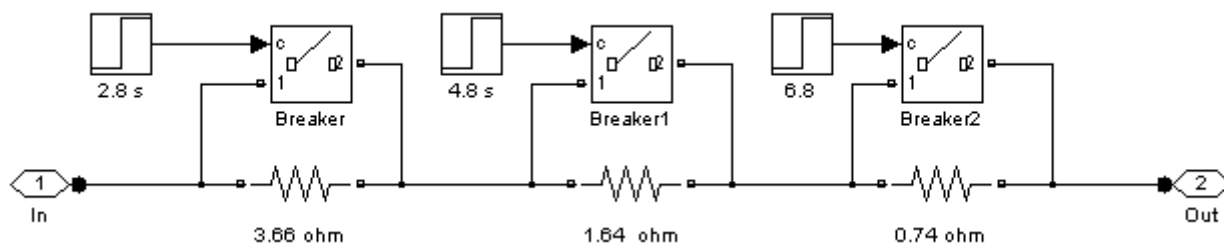


Рисунок 7.4 – Вариант модели пускового реостата

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Исходные данные в соответствии с вариантом задания.

Схему модели ДПТ с НВ при реостатном пуске.

Результаты расчета (требуемые графики функций и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Физический смысл частотных и временных характеристик.
2. Охарактеризуйте каналы управления ДПТ НВ на основе полной структурной схемы двигателя и при $\Phi = const$.
3. Понятие о динамической механической характеристике двигателя и ее назначении. Каким образом осуществляется ее построение?
4. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?
5. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
6. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

Лабораторная работа № 4 Исследование режима динамического торможения электропривода постоянного тока

Цель работы: исследование механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения в режиме динамического торможения; выявление влияния параметров пускового реостата и нагрузки на динамические характеристики двигателя.

Теоретическая часть

ЭД может работать в трех тормозных режимах – генераторном (рекуперативном), динамического торможения и в режиме противовключения.

Генераторный (рекуперативный) режим можно получить, если уменьшить напряжение на якоре ($U_{я} < U_{ян}$). При этом скорость якоря ω будет больше скорости ω'_0 . Схема ЭД будет такая же, как и в двигательном режиме. Сначала ЭД тормозится, отдавая энергию в сеть, затем он переходит работать в двигательный режим, но с меньшей скоростью (рис. 8.1).

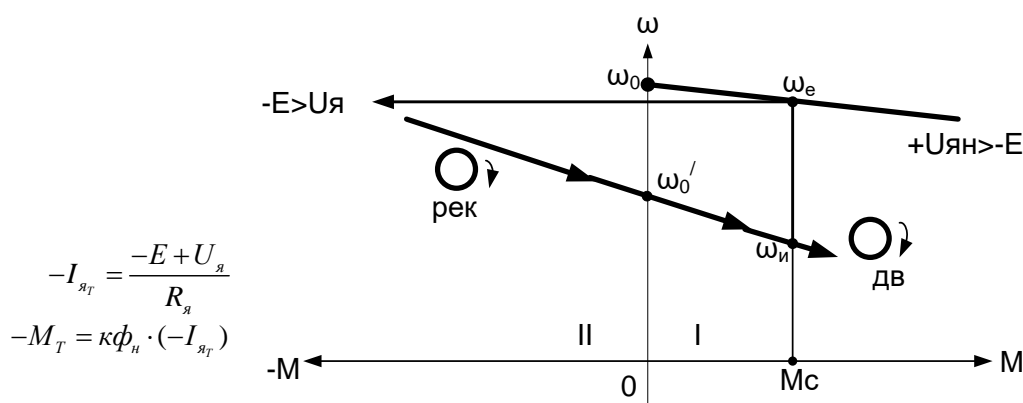


Рисунок 8.1 – Характеристики двигательного и рекуперативного режима торможения ЭД

Для динамический торможения необходимо у работающего ЭД якорь замкнуть на тормозное сопротивление R_T , а обмотку возбуждения оставить подключенной к источнику питания (рис. 8.2).

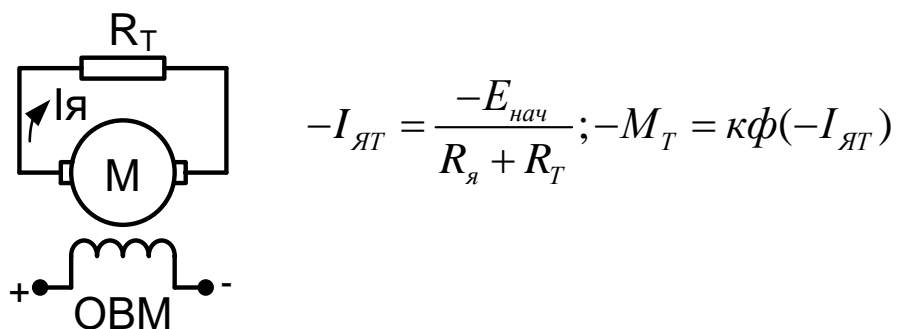


Рисунок 8.2 – Схема ЭД в динамическом режиме торможения

Сопротивление R_T включено для ограничения начального тормозного тока до величины $I_{Т.нач} = 2,5I_{ян}$: $R_T = \frac{E_{нач}}{2,5I_{ян}} - R_я$.

Тормозная характеристика приведена на рисунке 8.3 (второй квадрант).

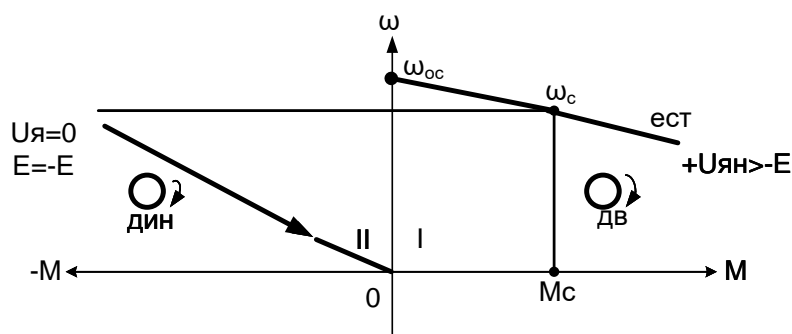


Рисунок 8.3 – Тормозная характеристика ЭД в динамическом режиме торможения

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Изучить теоретический материал по математическому моделированию двигателя постоянного тока независимого возбуждения, по динамической механической характеристике ДПТ НВ и динамической жесткости.

Изучить возможности программных средств MATLAB+Simulink для моделирования режима динамического торможения ДПТ.

Выбрать двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), руководствуясь данными таблицы 6.1.

Составить схему модели динамического торможения ДПТ с НВ (пример рис.8.4).

Рассчитать сопротивление динамического торможения, обеспечивающее двукратное ограничение тока якоря.

Снять временные характеристики скорости, тока и момента двигателя при динамическом торможении.

Сделать выводы по работе.

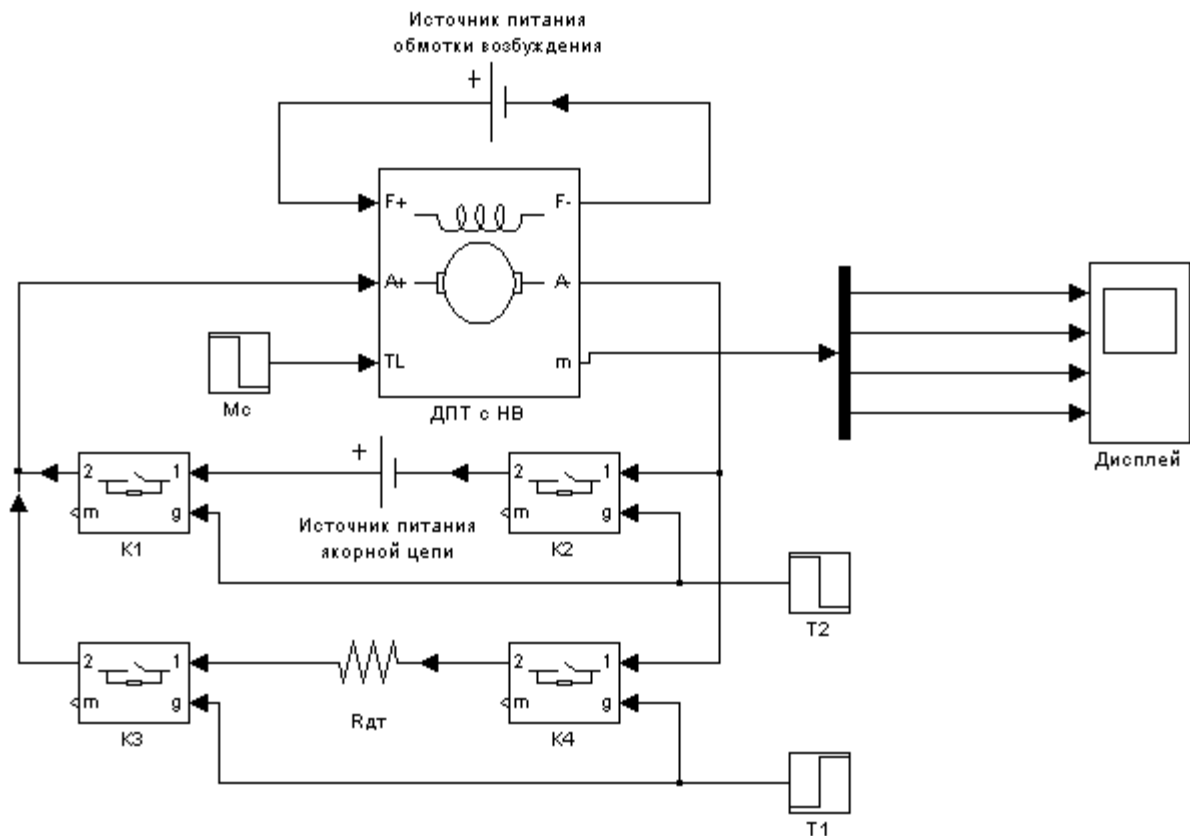


Рисунок 8.4 – Вариант модели ДПТ с НВ для исследования динамического торможения

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Исходные данные в соответствии с вариантом задания.

Схему модели ДПТ с НВ при динамическом торможении.

Расчеты сопротивления реостата динамического торможения.

Результаты расчета (требуемые графики функций и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют режимы торможения ДПТ?
2. Понятие о динамической механической характеристике двигателя и ее назначении. Каким образом осуществляется ее построение?
3. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?
4. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
5. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

Лабораторная работа № 5 Исследование режима торможения противовключением электропривода постоянного тока

Цель работы: исследование механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения в режиме торможения противовключением; выявление влияния параметров пускового реостата и нагрузки на динамические характеристики двигателя.

Формируемые компетенции: способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6).

Теоретическая часть

Торможение противовключением осуществляется путем перемены полярности напряжения на якоре. Схема ЭД приведена на рисунке 9.1.

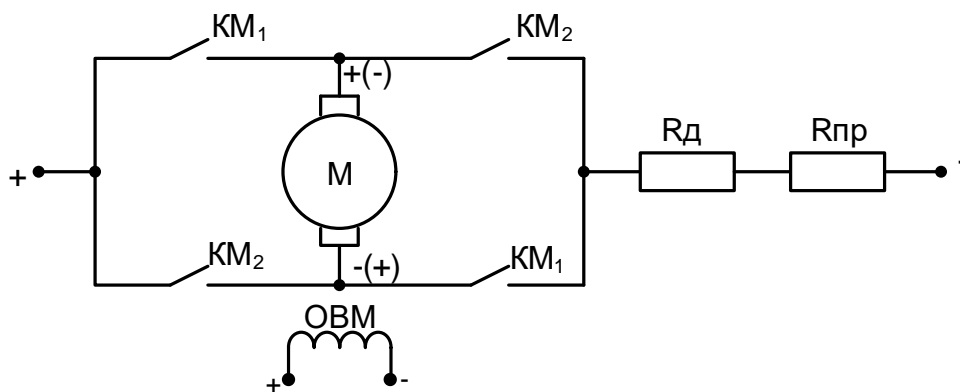


Рисунок 9.1 – Схема ЭД при реализации торможения противовключением путем перемены полярности напряжения на якоре

Для включения ЭД в двигательный режим необходимо включить контакты контактора KM_1 . Для получения торможения противовключением необходимо отключить контакты KM_1 и включить контакты контактора KM_2 . В результате таких переключений поменяется полярность напряжения на якоре, изменится направление тока в якоре, и ЭД будет тормозиться.

Для ограничения тормозного тока на время торможения ЭД включают в цепь якоря сопротивление R_d и так называемое сопротивление противовключения $R_{пр}$:

$$R_{пр} = \frac{-U_{ян} - E_{иле}}{2,5I_{ян}} - (R_я + R_d), \quad (9.1)$$

Тормозной ток определяется по выражению:

$$-I_{яТ} = \frac{-U_{ян} - E_{нач}}{R_я + R_d + R_{пр}} \approx -\frac{2U_{ян}}{R_я + R_d + R_{пр}}, \quad -M_T \equiv -I_{яТ}. \quad (9.2)$$

Тормозные характеристики приведены на рисунке 9.2 (второй квадрант).

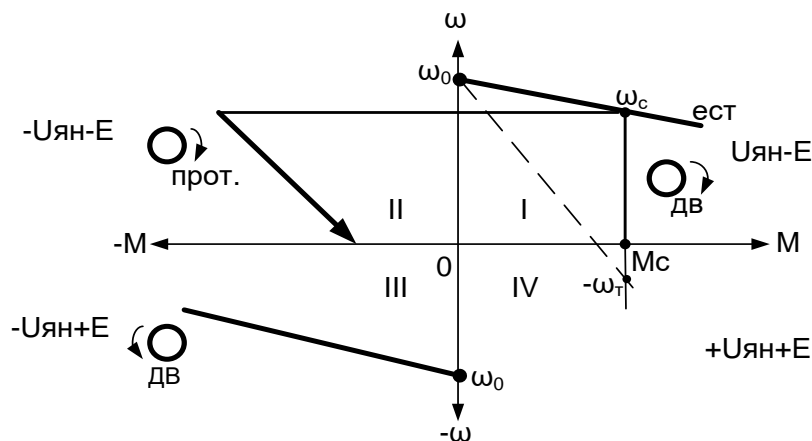


Рисунок 9.2 – Тормозные характеристики ЭД при торможении противовключением

При скорости $\omega=0$ ЭД отключают от сети. Если требуется осуществить реверс ЭД, то при скорости $\omega=0$ необходимо отключить сопротивление $R_{пр}$. Тогда двигатель начнет вращаться в противоположную сторону (третий квадрант).

Торможение противовключением за счет действия активного момента сопротивления $M_{са}$ возможен если при подъеме груза ввести в цепь якоря сопротивление R_d и $R_{пр}$, то сформируется механическая характеристика, на которой все моменты двигателя (в том числе и при нулевой скорости) будут меньше M_c . Под действием момента сопротивления якорь выворачивается в

обратную сторону. В результате в режиме противовключения осуществляется спуск груза на малой (ползучей) скорости ($-\omega_T$). Механическая характеристика приведена на рис. 9.2 пунктиром.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Изучить теоретический материал по математическому моделированию двигателя постоянного тока независимого возбуждения, по динамической механической характеристике ДПТ НВ и динамической жесткости.

Изучить возможности программных средств MATLAB+Simulink для моделирования тормозных режимов ДПТ.

Выбрать двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ), руководствуясь данными таблицы 6.1.

Составить на основе схемы рис.9.1 модель торможения противовключением ДПТ.

Снять временные характеристики скорости, тока и момента двигателя при торможении противовключением.

Сделать выводы по работе.

Составить и защитить отчет.

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

Цель работы.

Исходные данные в соответствии с вариантом задания.

Схему модели ДПТ при торможении противовключением.

Результаты расчета (требуемые графики функций и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют режимы торможения ДПТ?

2. В чем отличие энергетических показателей электропривода при различных режимах торможения

3. Понятие о динамической механической характеристике двигателя и ее назначении. Каким образом осуществляется ее построение?

4. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?

5. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

Лабораторная работа № 6 Моделирование электропривода по системе «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока»

Цель работы: исследование динамических свойств электропривода (ЭП) по системе тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПП НВ), работающего по разомкнутому циклу.

Теоретическая часть

Для реализации указанной цели лабораторной работы нужно, прежде всего, ознакомиться с математическим описанием и структурными схемами разомкнутых электромеханических систем (ЭМС), обратив особое внимание на обобщенную ЭМС с линеаризованной механической характеристикой.

В структурную схему исследуемой электромеханической системы входит двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПП НВ), двухмассовая упругая механическая часть, рассмотренные ранее, и тиристорный преобразователь в качестве регулируемого источника напряжения.

Тиристорный преобразователь характеризуется своими регулировочными и внешними характеристиками в режимах непрерывного и прерывистых токов, коэффициентом усиления, динамическими характеристиками в переходных процессах. Входной координатой тиристорного преобразователя (ТП) является напряжение управления (U_y), выходной координатой – выпрямленная ЭДС, величина которой обозначается в установившемся режиме (E_d), а в переходных процессах (e_d).

Управляющие свойства ТП определяются характеристиками управления $E_d=f(U_y)$. Внутренняя координата ТП – угол отпирания α определяется характеристикой системы импульсно-фазового управления (СИФУ) в виде математического описания $\alpha=f_y(U_y)$, а внешняя координата – математическим описанием характеристики вентильной группы $E_d=f_{вз}(\alpha)$. Результирующая характеристика управления ТП представляет собой функцию

$E_d=f_{sz}[f_y(U_y)]=f(U_y)$. Поскольку для всех ТП характеристики управления вентильных групп одинаковы, то вид результирующей характеристики ТП будет зависеть от характеристики СИФУ, которая определяется формой опорного напряжения: косинусоидальной или пилообразной.

Динамические свойства тиристорного преобразователя определяются неполной управляемостью тиристоров и параметрами сети, ведущей преобразователь. В зависимости от исполнения СИФУ и его инерционности тиристорный преобразователь для линейного участка характеристики управления представляется передаточными функциями вида:

$$W(p) = \frac{E_d(p)}{U_y(p)} = \frac{k_n}{T_n p + 1}, \quad (10.1)$$

$$W(p) = \frac{k_n \cdot e^{-\tau \cdot p}}{T_n p + 1}, \quad (10.2)$$

$$W(p) = k_n \cdot e^{-\tau \cdot p}, \quad (10.3)$$

где k_n , T_n – соответственно, коэффициент усиления и постоянная времени тиристорного преобразователя, $T_n=0,01\dots0,015$ с; τ_n – чистое запаздывание, $\tau_n=0,007\dots0,015$ с.

Математическое описание динамических процессов, протекающих в управляемом выпрямителе, является многовариантным, зависящим от требуемой степени адекватности, определяемой задачами конкретного исследуемого электропривода. Для выбора типа математической модели ТП вводится показатель K_p , равный отношению длительности переходного процесса в системе автоматического управления к длительности проводимости отдельного вентиля.

При $K_p < 10$ применяют импульсные модели, при $K_p < 30$ – непрерывные нелинейные модели и при $K_p > 30$ – упрощенные непрерывные модели. Чем большее значение имеет показатель K_p , тем менее точной моделью ТП можно воспользоваться при исследовании динамических процессов электропривода.

Учитывая значения K_p для промышленных электроприводов, чаще применяют непрерывные модели тиристорных преобразователей.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Подготовить математическое описание и структурную схему тиристорного преобразователя.

Подготовить математическую модель и структурную схему регулируемого электропривода постоянного тока (пример на рис.10.1).

Составить схему модели неуправляемого выпрямителя в соответствии с вариантом задания (нулевая или мостовая).

Составить схему модели ЭП по системе «Тиристорный преобразователь – ДПТ НВ».

Рассчитать переходные процессы ДПТ НВ при питании якоря от управляемого выпрямителя при различных U_y .

Рассчитать переходные процессы наброса и сброса нагрузки (момент нагрузки номинальный).

Исследовать форму питающего напряжения и тока якоря при питании якоря ДПТ НВ от тиристорного преобразователя и сравнить их с графиками при питании якоря ДПТ от источника бесконечной мощности.

Сделать выводы.

Составить и защитить отчет.

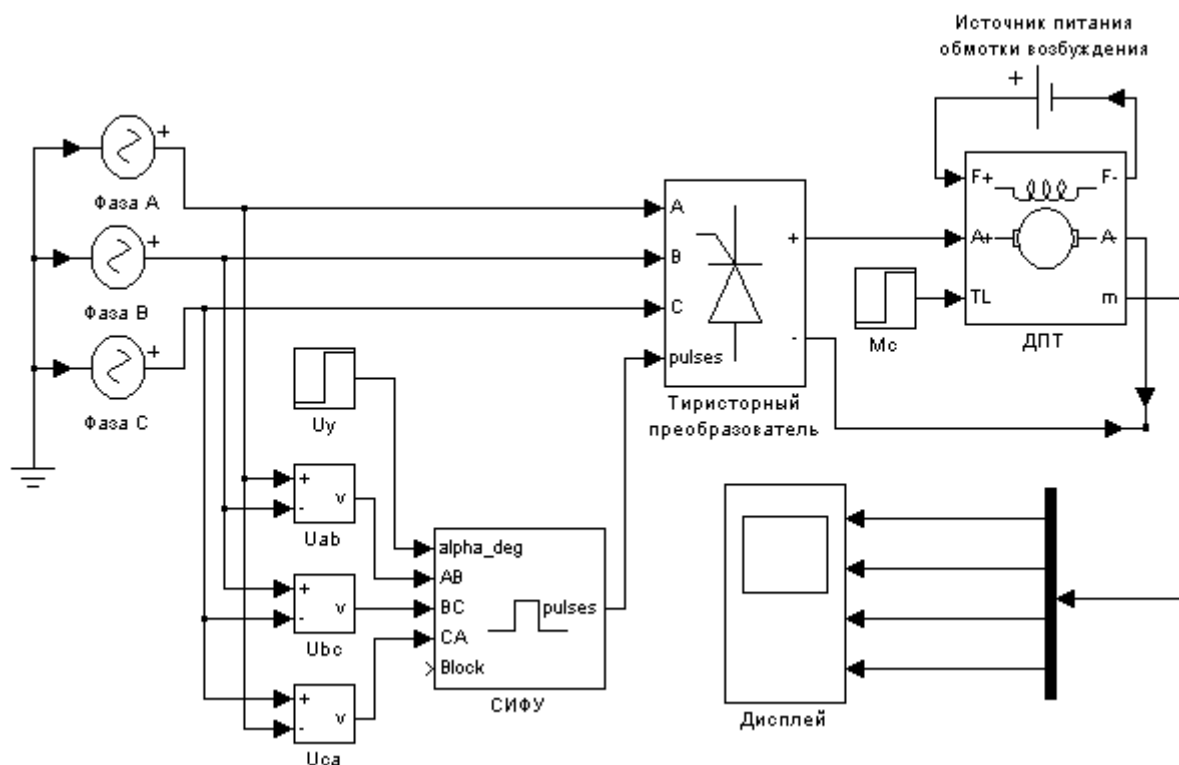


Рисунок 10.1 – Вариант модели ЭП по системе «тиристорный преобразователь – ДПТ НВ»

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- Цель работы.
- Схему модели ЭП по системе «тиристорный преобразователь – ДПТ НВ».
- Графики переходных процессов пуска ДПТ НВ при питании от тиристорного выпрямителя (момент нагрузки равен 0).
- Графики переходных процессов наброса и сброса нагрузки (момент нагрузки равен $M_{ном}$).
- Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие математические модели существуют для описания тиристорного преобразователя постоянного тока? Охарактеризуйте критерии выбора той или иной модели.

2. Как выглядят частотные и временные характеристики ТП при ступенчатом управляющем и возмущающем воздействиях?

3. Как влияют электромагнитная и электромеханическая постоянные времени на динамические характеристики электропривода с одномассовой механической частью?

4. Как получить оптимальные условия демпфирования механических колебаний электроприводом?

5. Как отражаются на частотных и временных характеристиках условия оптимального демпфирования механических колебаний?

6. Учет звеньев чистого запаздывания при анализе устойчивости технических систем.

Лабораторная работа № 7 Расчет рабочих характеристик машины постоянного тока

Цель работы: приобрести практические навыки расчета рабочих характеристик машины постоянного тока при работе в двигательном и генераторном режимах.

Формируемые компетенции: способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6).

Теоретическая часть

Электрической машиной постоянного тока принято считать машину, которая генерирует в сеть или потребляет из нее постоянный ток. Работа машины постоянного тока, как и машин переменного тока, основана на законе электромагнитной индукции. Устройство машины постоянного тока подобно устройству обращенной синхронной машины, у которой неподвижная часть – индуктор – создает основной магнитный поток Φ_v , а в находящемся внутри якоре происходит процесс электромеханического преобразования энергии: электрической в механическую (двигатель) или обратно – механическую в электрическую (генератор).

Под механической характеристикой двигателя принято понимать зависимость его скорости вращения от момента нагрузки $\omega = f(M)$.

Механические характеристики машины с независимым возбуждением при различных сопротивлениях в якорной цепи показаны на рис. 13.1., механические характеристики при различных потоках представлены на рис. 13.2. а., а при различных напряжениях на якоре – на рис.13.2.б.

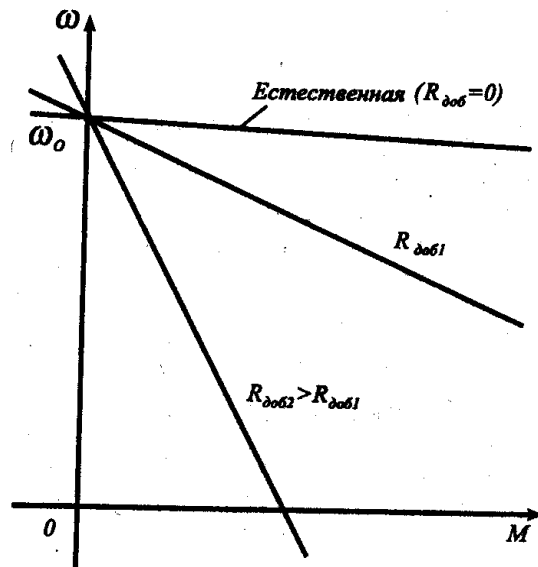


Рисунок 13.1 – Механические характеристики машины с независимым возбуждением при различных сопротивлениях в якорной цепи.

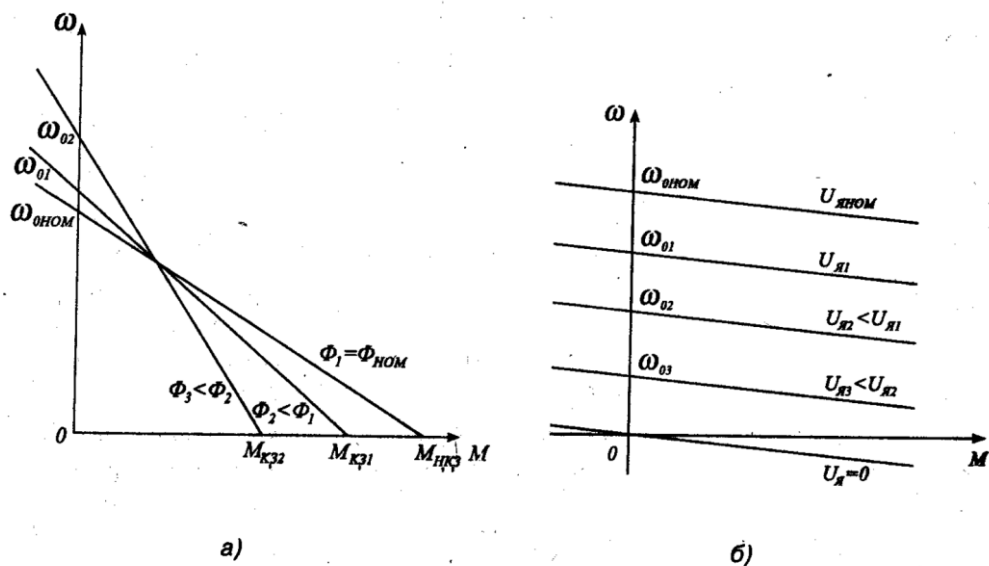


Рисунок 13.1 – Механические характеристики при различных потоках (а), а при различных напряжениях на якоре (б).

Вид этих характеристик определяет и область их использования при регулировании скорости вращения двигателя постоянного тока: в области скоростей, меньших номинальной используется регулирование напряжения на якоре, а в области больших – уменьшение магнитного потока машины.

Рабочие характеристики двигателя постоянного тока представляют собой зависимости момента, скорости вращения, тока якоря и коэффициента

полезного действия от выходной мощности двигателя. Качественный вид этих характеристик для двигателей с параллельным возбуждением представлен на рис. 13.3.

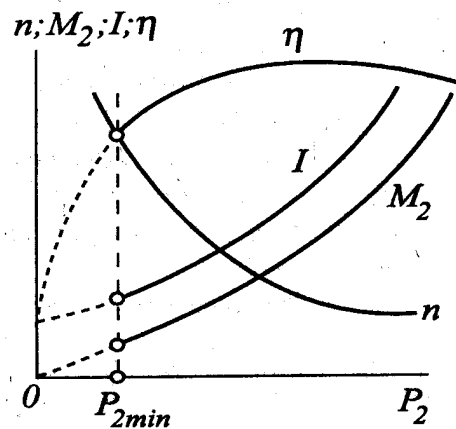


Рисунок 13.3 – Качественный вид этих характеристик для двигателей с параллельным возбуждением

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 13.4.

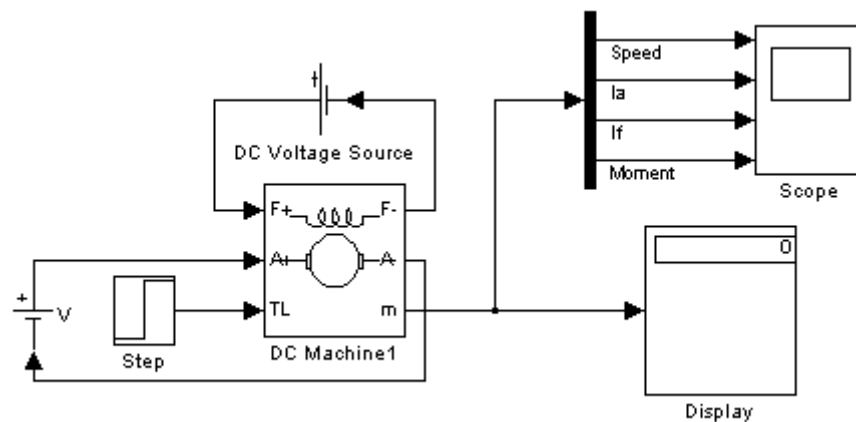


Рисунок 13.4 – Модель для исследования машины постоянного тока с независимым возбуждением

Она включает источники постоянного напряжения ($V1$ - для питания якоря машины, $V2$ - для питания обмотки возбуждения из библиотеки Power System Blockset/Electncal Sources), блок *Moment* для задания момента нагрузки (блок *Constant* из библиотеки Simulink/Sources), саму машину постоянного тока (блок *DC Machine* из библиотеки Power System Blockset/Machines), блок для измерения переменных состояния машины *Display* и осциллограф *Scope* для визуального наблюдения процессов из библиотеки Simulink/Sinks.

Цепь якоря и цепь возбуждения видны из графического начертания блока. На вход TL подается момент нагрузки, выход m предназначен для измерения и наблюдения переменных состояния машины в следующей последовательности: угловая скорость (рад/с), ток якоря в (А), ток возбуждения (А), электромагнитный момент (Нм).

В полях настройки машины задаются:

- параметры обмотки якоря — R_a (Ом), L_a (Гн);
- параметры обмотки возбуждения — R_f (Ом), L_f (Гн);
- коэффициент L_{af} ,
- суммарный момент инерции машины и нагрузки — J (кГм²). Следует

подчеркнуть, что параметры $\{L_f, J\}$ важны при исследовании переходных процессов. На установившиеся режимы они не влияют;

- коэффициент вязкого трения — B_m (Нм-с);
- коэффициент сухого трения — T_f (Нм),
- начальная скорость.

Взаимная индуктивность между обмотками возбуждения и якоря определяется из выражений:

$$I_\epsilon = \frac{U_\epsilon}{R_\epsilon}, M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, I_{я.н} = \frac{P_n}{U_{я.н} \cdot \eta_n} - I_\epsilon, L_{af} = \frac{M_n}{I_{я.н} \cdot I_\epsilon} \quad (13.1)$$

Индуктивность обмотки при исследовании установившихся процессов может быть принятой близкой к нулю. При исследовании переходных

процессов значение L_g для машин обычного исполнения выбирается из неравенства:

$$L_g \geq (2-5) \frac{L_y \cdot R_g}{R_y} \quad (13.2)$$

Момент инерции для двигателей обычного исполнения определяется из неравенства

$$J \geq \frac{(5-10) \cdot L_y \cdot P_n^2}{R_y^2 \cdot \omega_n^2 \cdot I_{я.н.}^2} \quad (13.3)$$

Момент сухого трения и коэффициент вязкого трения определяются из следующих соображений. Общие механические потери для машин обычного исполнения составляют $\Pi_{мех} = (0,5 - 2\%)P_n$. Кроме того эти потери равны

$\Pi_{мех} = T_f \cdot \omega_n + B_m \cdot \omega_n^2$. Если считать, что потери на трение и вентиляционные потери приблизительно равны, то

$$T_f \approx \frac{\Pi_{мех}}{2 \cdot \omega_n}, B_m \approx \frac{\Pi_{мех}}{2 \cdot \omega_n^2} \quad (13.4)$$

Паспортные параметры машин постоянного тока приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1. Паспортные параметры машин постоянного тока

Тип двигателя	P_n [кВт]	U_n [В]	n_n [об/мин]	h_n [%]	R_y [Ом]	R_g [Ом]	L_y [мГн]
1	2	3	4	5	6	7	8
2ПН-0.17	0,17	220	750	48,5	27,2	162	514
2ПН-0.25	0,25	220	1120	57	15,47	612	297
2ПН-0.37	0,37	220	1500	61,5	10,61	612	190
2ПН-0.71	0,71	220	2360	70	3,99	123	70
2ПН-1.0	1	220	3000	72,5	2,52	92	48

1. Для заданной преподавателем машины рассчитать значение параметров и заполнить поля окна настройки параметров машины.
2. Задать параметры моделирования.
3. При снятии характеристик в окне настройки блока *Moment* последовательно задаются значения момента от 0 до $1,2 M_n$ с шагом $0,2 M_n$. Для

каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется таблица 13.2 измеренных и рассчитанных значений.

Таблица 13.2. Измеренные и рассчитанные значения.

Задание	Измерения			Расчет		
М Нм	ω [рад/с]	$I_{я}$ [А]	$I_{г}$ [А]	P_1 [Вт]	P_2 [Вт]	η

Вычисления осуществляются по выражениям:

$$P_1 = U \cdot (I_{я} + I_{г}), P_2 = M_{н} \cdot \omega, \eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (13.5)$$

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные, в соответствии с вариантом задания.

Расчетные формулы параметров машины.

Расчетные формулы для мощностей P_1 , P_2 и КПД.

Заполненные таблицы.

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Физический смысл частотных и временных характеристик.
2. Охарактеризуйте каналы управления ДПТ НВ на основе полной структурной схемы двигателя и при $\Phi = const$.
3. Понятие о динамической механической характеристике двигателя и ее назначении. Каким образом осуществляется ее построение?
4. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?
5. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
6. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

Лабораторная работа № 8 Исследование машины постоянного тока при работе в двигательном и генераторном режимах

Цель работы: приобрести практические навыки расчета и построение механических и регулировочных характеристик машины постоянного тока.

Теоретическая часть

Под механической характеристикой двигателя принято понимать зависимость его скорости вращения от момента нагрузки $\omega = f(M)$.

Механические характеристики машины с независимым возбуждением при различных сопротивлениях в якорной цепи показаны на рис. 14.1., механические характеристики при различных потоках представлены на рис. 14.2. а., а при различных напряжениях на якоре – на рис.14.2.б.

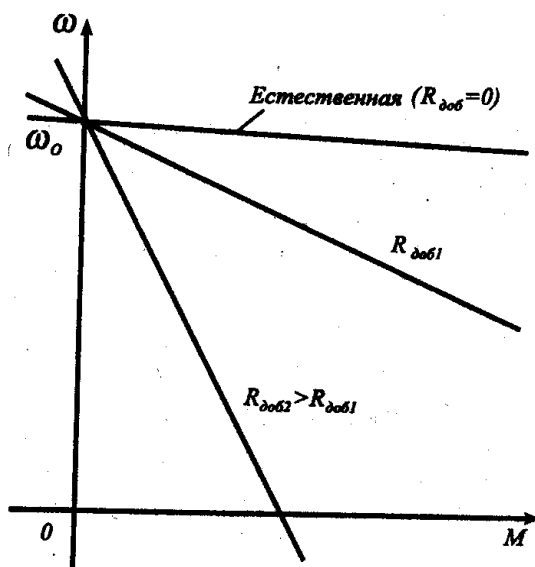


Рисунок 14.1 – Механические характеристики машины с независимым возбуждением при различных сопротивлениях в якорной цепи.

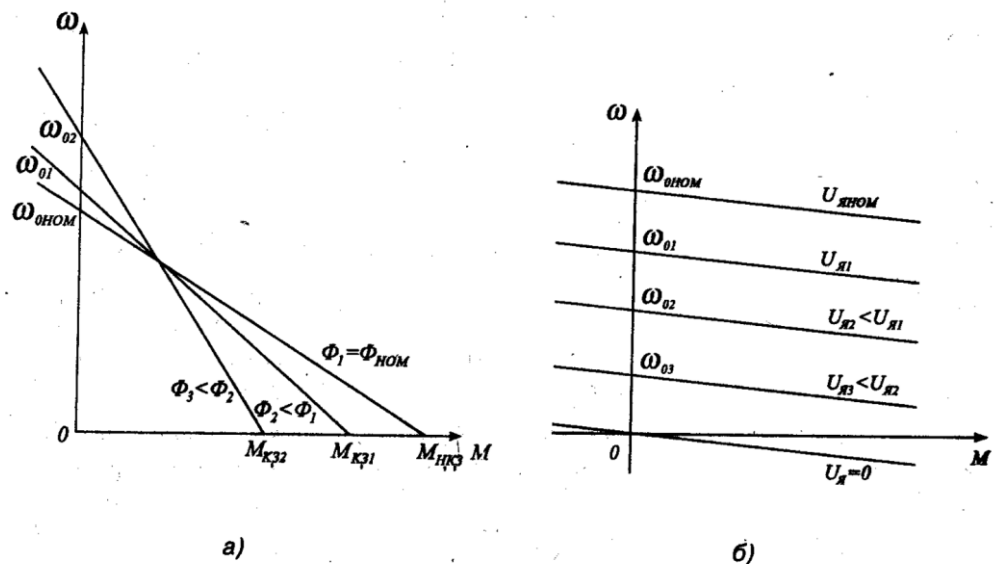


Рисунок 14.2 – Механические характеристики при различных потоках (а), а при различных напряжениях на якоре (б).

Вид этих характеристик определяет и область их использования при регулировании скорости вращения двигателя постоянного тока: в области скоростей, меньших номинальной используется регулирование напряжения на якоре, а в области больших – уменьшение магнитного потока машины.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Структура и описание виртуальной лабораторной установки представлены в лабораторной работе №7.

Паспортные параметры машин постоянного тока приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1. Паспортные параметры машин постоянного тока

Тип двигателя	P_n [кВт]	U_n [В]	n_n [об/мин]	h_n [%]	$R_{я}$ [Ом]	$R_{в}$ [Ом]	$L_{я}$ [мГн]
1	2	3	4	5	6	7	8
2ПН-0.17	0,17	220	750	48,5	27,2	162	514
2ПН-0.25	0,25	220	1120	57	15,47	612	297
2ПН-0.37	0,37	220	1500	61,5	10,61	612	190
2ПН-0.71	0,71	220	2360	70	3,99	123	70
2ПН-1.0	1	220	3000	72,5	2,52	92	48

1. Для заданной преподавателем машины рассчитать значение параметров и заполнить поля окна настройки параметров машины.

2. Задать параметры моделирования.

3. Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания в цепи якоря следует провести для двух значений напряжения на якоре $0,6 U_{я}$ и $0,8 U_{я}$ где $U_{я}$ - номинальное напряжение на якоре. При этом момент нагрузки следует изменять от $-1,2 M_n$ до $1,2 M_n$ с шагом $0,2 M_n$. Для каждого значения напряжения на якоре и момента проводится моделирование и заполняется таблица 14.2.

Таблица 14. 2. Механические характеристики в цепи якоря

M [Нм]	ω [рад/с]

4. Снятие механических характеристик при различных сопротивлениях в цепи якоря следует провести для двух значений сопротивления якоря $2R_{я}$ и $4R_{я}$, где $R_{я}$ - первоначальное значение сопротивления. Изменение сопротивления якоря осуществляется в поле окна настройки параметров машины. При этом момент нагрузки следует изменять от $-1,2 M_n$ до $1,2 M_n$ с шагом $0,2 M_n$. Для каждого значения сопротивления якоря и момента проводится моделирование и заполняется таблица 14.2.

5. Снятие механических характеристик при различных потоках возбуждения следует провести для двух значений потока $0,6 \Phi_n$ и $0,8 \Phi_n$. Для этого в поле *Field-armature mutual inductance* необходимо установить значение

L_{af} вначале 0,6, а затем 0,8 от первоначальной величины.

При этом момент нагрузки следует изменять от $-1,2 M_n$ до $1,2 M_n$ с шагом $0,2 M_n$. Для каждого значения потока и момента проводится моделирование и заполняется таблица 14.2.

6. Снятие регулировочных характеристик при изменении напряжения якоря проводится для постоянного момента нагрузки, равного номинальному, и изменению напряжения в цепи якоря от 0,4 до 1,2 исходного значения с шагом 0,2 исходного значения напряжения. Для каждого значения напряжения проводится моделирование и заполняется таблица 14.3.

Табл. 14.3. Регулировочные характеристики при изменении напряжения якоря

$U_{я}$ [Нм]	ω [рад/с]
--------------	------------------

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные, в соответствии с вариантом задания.

Схема модели для проведения лабораторной работы.

Графики рабочих характеристик машины в двигательном и генераторном режимах.

Графики механической характеристики машины при различных напряжениях на якоре.

Графики механической характеристики машины при различных сопротивлениях якоря.

Графики механической характеристики машины при различных потоках.

Регулировочная характеристика двигателя.

Контрольные вопросы

1. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?
2. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
3. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?
4. Что такое регулировочная характеристика двигателя и каково ее назначение?

Лабораторная работа № 9 Исследование машины постоянного тока последовательного возбуждения

Цель работы: приобрести практические навыки исследования машины постоянного тока последовательного возбуждения при работе в двигательном режиме.

Теоретическая часть

В двигателях с последовательным возбуждением поток и момент зависят от тока якоря. Рассчитать механические характеристики последовательного возбуждения, в связи с нелинейностью кривой намагничивания машины, весьма затруднительно. В каталогах приводятся естественные характеристики $\omega = f(I_{я})$ и $M = f(I_{я})$. Вид статистических характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при различной величине сопротивления в цепи якоря и величины питающего напряжения показаны на рис. 15.1 а, б.

Рабочие характеристики двигателя постоянного тока представляют собой зависимости момента, скорости вращения, тока якоря и коэффициента полезного действия от выходной мощности двигателя. Качественный вид этих характеристик для двигателей с последовательным возбуждением представлен на рис. 15.2.

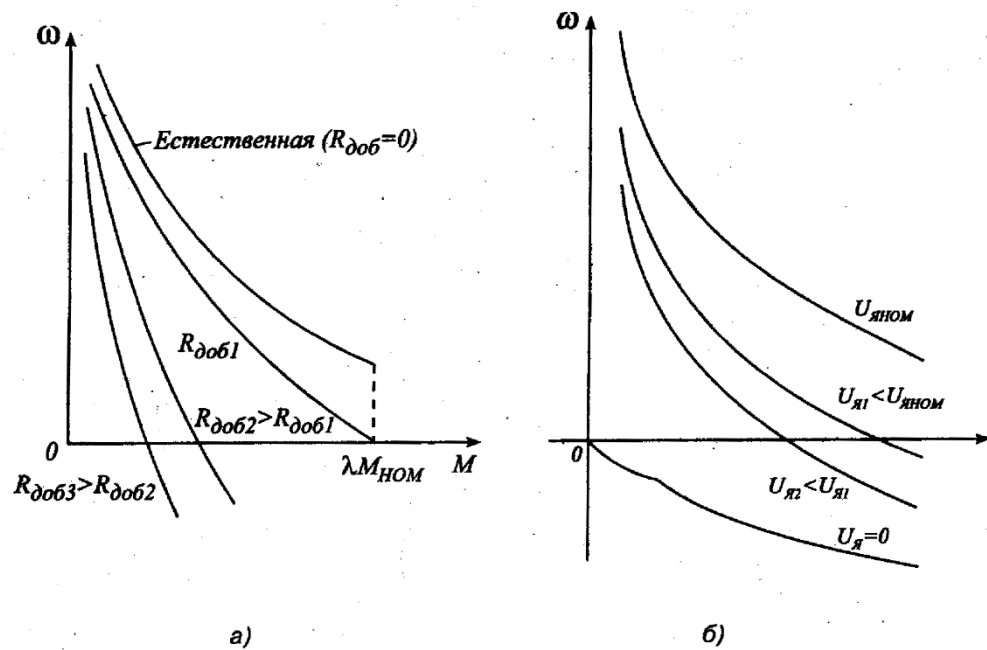


Рис. 15.1. Характеристика двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при различной величине сопротивления в цепи якоря (а) и величины питающего напряжения (б)

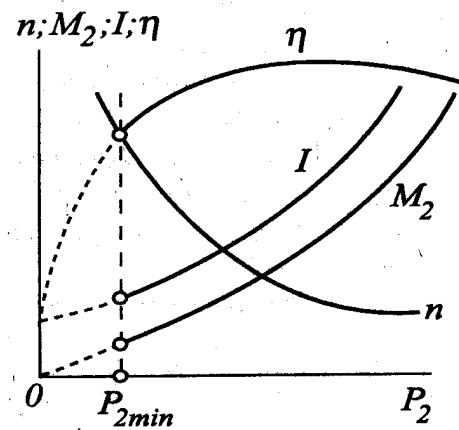


Рисунок 15.2 – Качественный вид этих характеристик для двигателей с параллельным возбуждением

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Виртуальная лабораторная установка (рис.15.3) включает источники постоянного напряжения (V - для питания машины из библиотеки Power System Blockset/Electrical Sources), блок *Moment* для задания момента нагрузки (блок *Constant* из библиотеки Simulink/Sources), саму машину постоянного тока (блок *DC Machine* из библиотеки Power System Blockset/Machines), блок для измерения переменных состояния машины *Display* из библиотеки Simulink/Sinks.

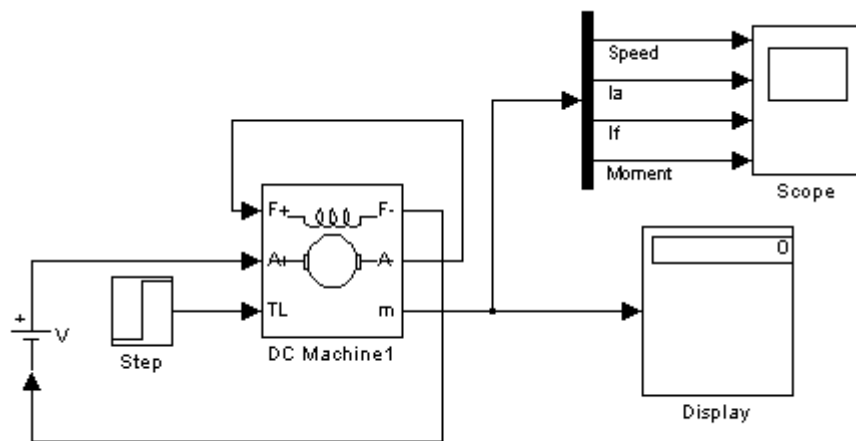


Рисунок 15.3 – Модель для исследования машины постоянного тока с последовательным возбуждением.

Последовательно заполнить окно настройки параметров машины постоянного тока, окно настройки параметров источника питания и окно настройки параметров моделирования.

Задать параметры машины и источника

Задать параметры моделирования.

При снятии характеристик по п. 4.1 порядка выполнения работы в окне настройки блока *Moment* последовательно задаются значения момента от 5 Нм до 100 Нм с шагом 10 Нм. Для каждого значения момента осуществляется

моделирование и заполняется таблица 10.1 измеренных и рассчитанных значений.

Таблица 15.1. Измеренные и рассчитанные значения

Задание	Измерения			Расчет		
М Нм	ω [рад/с]	I_a [А]	I_e [А]	P_1 [Вт]	P_2 [Вт]	η

Вычисления осуществляются по выражениям:

$$P_1 = U \cdot I, P_2 = M \cdot \omega, \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Схема модели и описание блоков.

Заполненные таблицы.

Механические характеристики машины $\omega = f(M)$.

Рабочие характеристики машины $\omega, I, M, P_1, \eta = f(P_2)$.

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие причины влияют на жесткость механических характеристик электродвигателей последовательного и смешанного возбуждения?

2. В каких квадрантах осей координат располагаются характеристики электродвигателей последовательного и смешанного возбуждения?

3. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую механическую характеристику?

4. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.

5. Как влияют параметры цепи якоря на динамическую жесткость механической характеристики ДПТ НВ?

6. Что такое регулировочная характеристика двигателя и каково ее назначение?

Лабораторная работа № 10 Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: освоить методику составления структурной модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; исследовать основные динамические характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при пуске, набросе и сбросе нагрузки.

Формируемые компетенции: способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6).

Теоретическая часть

Состояние многофазной машины переменного тока в стационарном и переходном режимах описывается потокосцеплениями обмоток статора ψ_s и ротора ψ_r , а также угловой скоростью ротора ω . Потокосцепления являются направленными величинами, вращающимися в плоскости, перпендикулярной оси двигателя. Если считать эту плоскость комплексной, то потокосцепления могут быть представлены векторами. Эти векторы непосредственно связаны с векторами токов статора и ротора:

$$\dot{\psi}_s = \dot{i}_s L_s + \dot{i}'_r L_m; \quad (16.1)$$

$$\dot{\psi}_r = \dot{i}'_r L_r + \dot{i}_s L_m, \quad (16.2)$$

где i_s, i'_r – ток статора и приведенный ток ротора; L_s, L_r, L_m – индуктивности обмоток статора, ротора и намагничивания.

Каждый вектор тока и пропорциональный ему вектор потока равен геометрической сумме компонент, образуемых в отдельных фазах. Для трехфазной обмотки, оси которой смещены в пространстве на 120° , результирующий вектор тока будет:

$$i = \frac{2}{3} (i_a + i_b e^{j120^\circ} + i_c e^{j240^\circ}). \quad (16.3)$$

Токи в фазах можно определить из проекции вектора тока на соответствующие оси обмоток. Например, $\hat{i}_a = |i|$.

Изложенная методика применима непосредственно к линейным, симметричным машинам с синусоидальным распределением потока, питающимся от симметричной сети синусоидальными напряжениями и токами. Путем определенного расширения математического описания могут быть учтены такие факторы, как несимметрия поля, высшие гармоники, переменные параметры.

В координатной системе, вращающейся относительно оси обмотки с угловой скоростью ω_k , для каждой трехфазной обмотки справедливо уравнение:

$$u^k = i^k R + \frac{d\psi^k}{dt} + j\omega_k \psi^k, \quad (16.4)$$

где индексом k у символов векторов обозначена выбранная координатная система.

В часто применяемой координатной системе, вращающейся синхронно с частотой статора, можно записать следующее уравнение напряжений для статора двигателя:

$$\dot{u}_s = \dot{i}_s R_s + \frac{d\dot{\psi}_s}{dt} + j\omega_s \dot{\psi}_s, \quad (16.5)$$

где R_s , ω_s – активное сопротивление обмоток статора и угловая частота поля статора; соответственно для ротора:

$$\dot{u}_r = \dot{i}'_r R'_r + \frac{d\dot{\psi}_r}{dt} + j\omega_s \dot{\psi}_r, \quad (16.6)$$

где R'_r , ω_r – приведенное активное сопротивление обмоток ротора и угловая частота тока ротора.

Момент двигателя соответственно будет:

$$M = \frac{3}{2} k_s \operatorname{Im}\{\dot{\psi}_s i'_r\} z_p = -\frac{3}{2} k_r \operatorname{Im}\{\dot{\psi}_r i'_s\} z_p, \quad (16.7)$$

где z_p – число пар полюсов машины; k_s, k_r – коэффициенты электромагнитной связи статора ($k_s = L_m/L_s$) и ротора ($k_r = L_m/L_r$).

В АД вследствие равномерности воздушного зазора магнитные сопротивления остаются постоянными при любых взаимных расположениях обмоток статора и ротора. Поэтому для описания АД можно использовать любую ортогональную систему координат, вращающуюся в пространстве с произвольной скоростью. Эти уравнения в векторной форме, записанные во вращающейся с произвольной частотой системе координат, имеют следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{U}_s = R_s \dot{I}_s + \frac{d\dot{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \dot{\Psi}_s, \\ 0 = R_r \dot{I}_r + \frac{d\dot{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \dot{\Psi}_r, \\ \dot{\Psi}_s = L_s \dot{I}_s + L_m \dot{I}'_r, \\ \dot{\Psi}_r = L_m \dot{I}_s + L_r \dot{I}'_r, \\ \dot{I}_m = \dot{I}_s + \dot{I}'_r, \\ \dot{\Psi}_m = L_m \dot{I}_m, \\ M_{эм} = \frac{3}{2} Z_p k_r (\dot{\Psi}_r \times \dot{I}_s), \\ M_{эм} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \end{array} \right. \quad (16.8)$$

где $\dot{U}_s, \dot{I}_s, \dot{\Psi}_s$ – результирующие векторы напряжения, тока и потокосцепления статора; $\dot{I}'_r, \dot{\Psi}_r$ – те же параметры для ротора; $\dot{I}_m, \dot{\Psi}_m$ – результирующие вектора тока намагничивания и потокосцепления в воздушном зазоре; $L_s = L_{s\sigma} + L_m, L_r = L_{r\sigma} + L_m$ – полные индуктивности соответственно статора и

ротора ($L_{s\sigma}, L_{r\sigma}$ – соответственно индуктивности рассеяния статора и ротора, L_m – индуктивность контура намагничивания); ω, ω_k – электрическая частота вращения ротора асинхронного двигателя (АД) и частота вращения системы координат; Z_p – число пар полюсов; M, M_c – электромагнитный момент двигателя и момент сопротивления нагрузки; J – момент инерции двигателя; $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – электромагнитная постоянная времени роторной цепи; ω_i, ω_{2i} – соответственно частота вращения вектора \dot{I}_s и относительное скольжение ротора относительно \dot{I}_s .

Конфигурация структурной схемы асинхронного двигателя зависит от выбранного типа модели и системы координат. Рассмотрим формирование структурных схем двухфазных моделей со скоростью вращения координатной системы $\omega_k=0$ и $\omega_k=\omega_s$.

Для составления структурной схемы в неподвижных осях используем систему уравнений, а также уравнение момента двигателя, записанное в проекциях на оси:

$$M = \frac{2}{3} Z_p L_m (i_{rd} i_{sq} - i_{rq} i_{sd}) \quad (16.9)$$

и уравнение движения:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (16.10)$$

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Определить основные параметры асинхронного двигателя в соответствии с вариантом задания.

Составить в пакете Matlab структурную схему (рис. 16.1), по которой будут исследованы основные динамические режимы.

Исследовать пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором под нагрузкой (момент нагрузки равен $0,5 M_{ном}$).

Исследовать переходной процесс наброса дополнительной нагрузки (момент дополнительной нагрузки равен $M_{ном}$).

Исследовать переходной процесс сброса нагрузки (момент дополнительной нагрузки равен $M_{ном}$).

Сделать выводы по работе.

Примечание: результаты расчета переходных процессов асинхронного двигателя в основных динамических режимах должны быть представлены в виде графиков функций $M=f(t)$, $I_1=f(t)$, $\omega=f(t)$ и фазового портрета – $\omega=f(M)$, а также в виде таблицы результатов расчета этих величин (количество точек должно быть достаточно для полного представления переходного процесса).

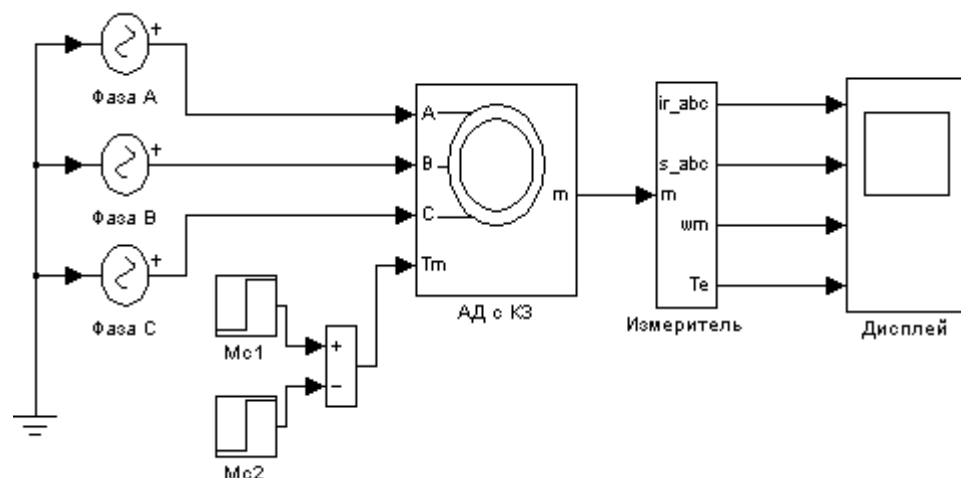


Рисунок 16.1 – Вариант модели для исследования переходных процессов пуска, наброса, сброса нагрузки

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные (табл. 16.1), в соответствии с вариантом задания.

Структурная схема модели для исследования динамических режимов работы асинхронного двигателя при прямом подключении к сети.

Результаты расчета (требуемые графики переходных процессов и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Таблица 16.1 – Исходные данные

Данные двигателя													
№ варианта	Тип двигателя	P_2	к.п.д.	\cos	$I_{ном}$	$S_{ном}$	X_m	R_1	R_2	M_{max}	$M_{пуск}$	Sk	J
		кВт	%	-	А	-	Ом	Ом	Ом	-	-		
1	4A100S2Y3	4,0	86,5	0,89	7,9	0,033	95,0	1,51	1,01	2,5	2,0	0,28	0,0059
2	4A160S2Y3	15,0	88,0	0,91	28,4	0,021	31,0	0,403	0,171	2,2	1,4	0,12	0,048
3	4A180S2Y3	22,0	88,5	0,91	41,4	0,019	19,1	0,207	0,106	2,5	1,4	0,125	0,07
4	4A200L2Y3	45,0	91,0	0,9	83,3	0,018	12,95	0,071	0,053	2,5	1,4	0,115	0,17
5	4A100L4Y3	4,0	84,0	0,84	8,6	0,046	61,5	1,72	1,36	2,4	2,0	0,315	0,011
6	4A100M4Y3	11,0	87,5	0,87	21,9	0,028	32,1	0,432	0,321	3,0	2,2	0,195	0,04
7	4A100S4Y3	22,0	90,0	0,9	41,2	0,020	21,4	0,219	0,112	2,3	1,4	0,14	0,19
8	4A200L4Y3	45,0	92,0	0,9	82,4	0,016	12,3	0,091	0,045	2,5	1,4	0,1	0,45
9	4A112M6Y3	4,0	82,0	0,81	9,1	0,051	48,2	1,86	1,49	2,5	2,0	0,38	0,021
10	4A160M6Y3	15,0	87,5	0,87	29,9	0,026	22,1	0,457	0,206	2,0	1,2	0,14	0,18
11	4A200M6Y3	22,0	90,0	0,9	41,2	0,023	21,9	0,267	0,128	2,4	1,3	0,135	0,4
12	4A200L6Y3	30,0	90,5	0,9	55,8	0,021	14,6	0,181	0,087	2,4	1,3	0,135	0,45
13	4A132S8Y3	4,0	83,0	0,7	10,4	0,061	33,7	1,43	1,22	2,6	1,9	0,36	0,042
14	4A160M8Y3	11,0	87,0	0,75	25,5	0,025	17,2	0,568	0,267	2,2	1,4	0,15	0,18
15	4A200L8Y3	22,0	88,5	0,84	44,8	0,027	15,2	0,304	0,142	2,0	1,2	0,13	0,45

Контрольные вопросы

1. Как влияют параметры статора и ротора на динамическую механическую характеристику?
2. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
3. Как меняется скорость двигателя при сбросе/набросе нагрузки?
4. Каковы электромагнитные процессы в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором?

Лабораторная работа № 11 Исследование трехфазной асинхронной машины с фазным ротором

Цель работы: освоить методику составления структурной модели асинхронного двигателя с фазным ротором; исследовать основные динамические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором при пуске, набросе и сбросе нагрузки.

Теоретическая часть

Асинхронной машиной называется электромеханический преобразователь, в котором возникновение момента на валу ротора возможно лишь при различных скоростях вращения магнитного поля и ротора. Основными элементами конструкции асинхронной машины являются статор и ротор.

Отличительной особенностью машин с фазным ротором является наличие на роторе обмотки из проводников круглого или прямоугольного сечения, начала которой выведены на контактные кольца. Узел контактных колец вынесен из станины, а контактные кольца закрыты кожухом. Узел контактных колец консольного типа. Контактные кольца, опрессованные пластмассой, насаживаются на вал двигателя, они выполняются чугунными или медными. Выводные концы обмотки ротора подходят к трем кольцам через внутреннее отверстие в вале ротора. Обмотка ротора соединяется в звезду.

Для оценки свойств асинхронного двигателя используется его *механическая характеристика* (зависимость скорости вращения ротора машины n от вращающего момента M).

Построив кривую $M = f(s)$ и используя выражение для скольжения, можно получить механическую характеристику $n = f(M)$.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 17.1.

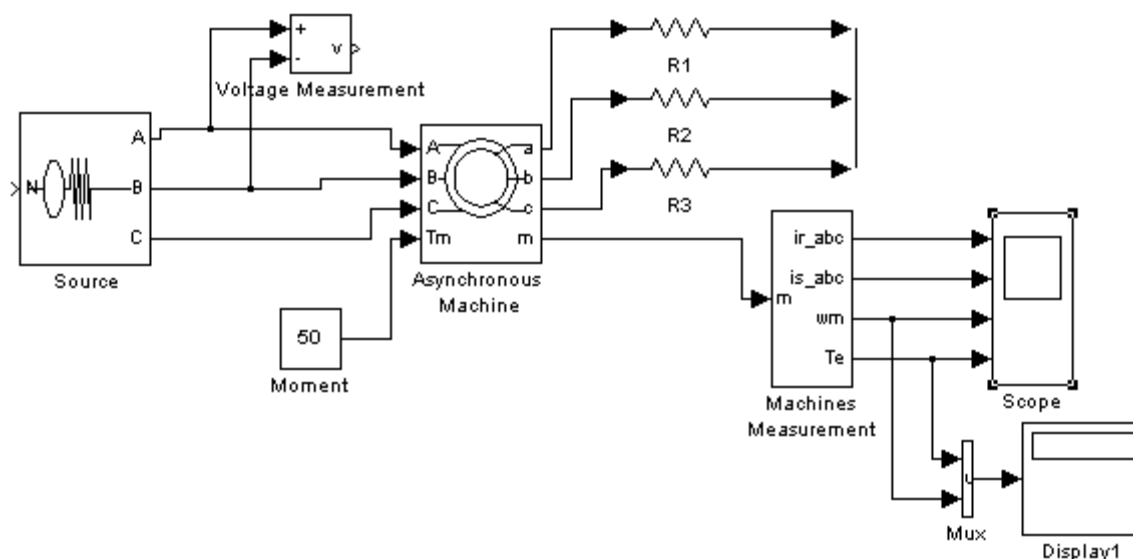


Рисунок 17.1 – Модель для исследования асинхронной машины с фазным ротором

Сравнивая модель (рис. 16.1) с представленной можно убедиться в их полной аналогии. Разница состоит в том, что в цепь ротора включены одинаковые по величине сопротивления $R1=R2=R3$. Отличие окна настройки асинхронной машины с фазным ротором от аналогичной короткозамкнутой состоит в том, что в поле *Rotor type* введен фазный ротор.

Все остальные блоки и их настройки остались без изменения (см. Лабораторную работу № 16).

Параметры асинхронной машины для выполнения работы задаются преподавателем. При самостоятельной работе эти данные можно рассчитать, пользуясь паспортными данными.

Снятие механических характеристик машины в двигательном режиме в соответствии содержания работы производится на модели при изменении нагрузочного момента от 0 до 1,4 номинального и изменении сопротивления в цепи ротора от 0 до 5 R_s . При этом последовательность выполнения работы следующая:

- задается значение сопротивления в роторе;
- для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 17.1.

Таблица 17.1. Механические характеристики асинхронной машины в двигательном режиме

M [Нм]	ω [рад/с]
----------	------------------

По данным таблицы строятся механические характеристики двигателя при различных добавочных сопротивлениях в цепи ротора.

Временные зависимости переменных состояния машины можно наблюдать на экране осциллографа, на котором виден и переходной процесс при пуске машины, и установившиеся процессы.

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные в соответствии с вариантом задания.

Схема модели и описание виртуальных блоков.

Механические характеристики машины в двигательном режиме.

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Особенности конструкции асинхронного двигателя с фазным ротором.
2. Понятие о динамической жесткости механической характеристики и ее назначении.
3. Характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором?

Лабораторная работа № 12 Исследование режима динамического торможения в асинхронном электроприводе

Цель работы: Освоить методику составления структурной модели для исследования режима динамического торможения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; исследовать переходные процессы при динамическом торможении АД.

Формируемые компетенции: способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6).

Теоретическая часть

Асинхронный двигатель может работать в тех же тормозных режимах, что и двигатель постоянного тока, а именно: в режиме рекуперативного торможения, противовключения и динамическом.

Для динамического торможения обмотки статора АД отключают от сети переменного тока и подключают к источнику постоянного тока, как это показано на рис. 19.1.

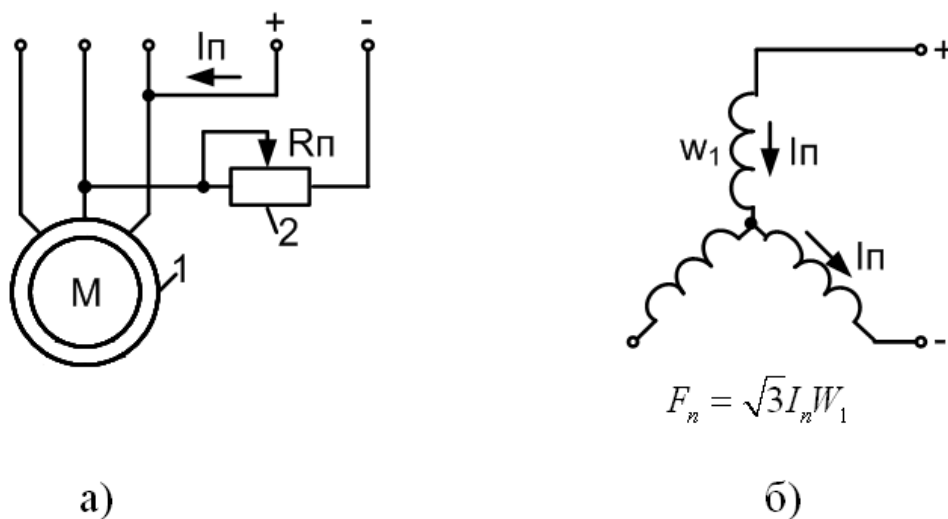


Рисунок 19.1 – Схема динамического торможения АД (а)
и схема включения обмоток статора (б)

Постоянный ток I_{π} , значение которого может регулироваться резистором R_{π} , протекает по обмоткам статора и создает относительно статора неподвижное магнитное поле. При вращении ротора в нем наводится ЭДС, частота которой пропорциональна скорости. Эта ЭДС, в свою очередь, вызывает появление тока в замкнутом контуре обмотки ротора, который создает магнитный поток, также неподвижный относительно статора. Взаимодействие тока ротора с результирующим магнитным полем АД создает тормозной момент, за счет которого достигается эффект торможения. Двигатель в этом случае работает в режиме генератора независимо от сети переменного тока, преобразовывая кинетическую энергию движущихся частей ЭП и рабочей машины в электрическую, которая рассеивается в виде тепла в цепи ротора.

На рисунке 19.1 б показана наиболее распространенная схема включения обмоток статора при динамическом торможении. Система возбуждения АД в этом режиме является несимметричной. Для проведения анализа работы АД в режиме динамического торможения несимметричную систему возбуждения заменяют симметричной. С этой целью принимается допущение, что статор питается не постоянным током I_{π} , а некоторым эквивалентным трехфазным переменным током, создающим такую же МДС (магнитодвижущую силу) АД, что и постоянный ток.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Определить основные параметры асинхронного двигателя в соответствии с вариантом задания (табл. 19.1).

Составить структурную схему, по которой будут исследованы основные динамические режимы (рис. 19.2).

Исследовать переходные процессы при динамическом торможении АД.

Сделать выводы по работе.

Составить и защитить отчет.

Примечание: результаты расчета переходных процессов асинхронного двигателя в основных динамических режимах должны быть представлены в виде графиков функций $M=f(t)$, $I_1=f(t)$, $\omega=f(t)$ и фазового портрета – $\omega=f(M)$, а также в виде таблицы результатов расчета этих величин (количество точек должно быть достаточно для полного представления переходного процесса).

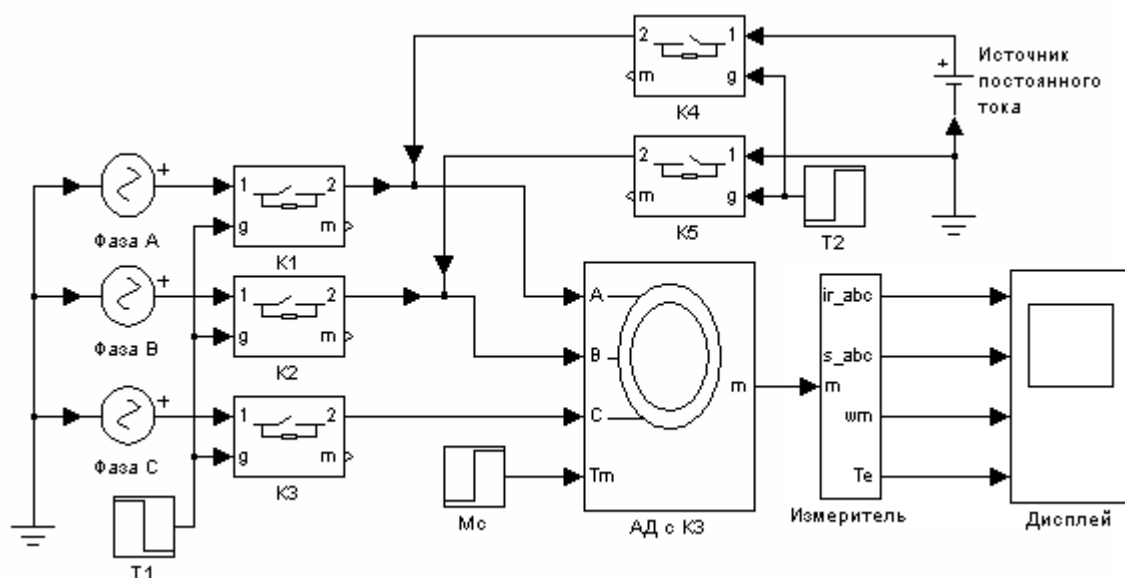


Рисунок 19.2 – Вариант модели для исследования переходных процессов при динамическом торможении АД

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и

противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные, в соответствии с вариантом задания.

Структурная схема модели АД для исследования режима динамического торможения.

Результаты расчета (требуемые графики переходных процессов и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение, основные возможности и область применения программных средств MATLAB, Simulink и пакетов расширения.

2. Каким образом производится перевод АД в режим динамического торможения?

3. Каковы энергетические показатели режима динамического торможения АД?

4. Как влияют параметры статора и ротора на динамическую механическую характеристику?

Лабораторная работа № 13 Исследование режима торможения противовключением в асинхронном электроприводе

Цель работы: Освоить методику составления структурной модели для исследования режима торможения противовключением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Теоретическая часть

Асинхронный двигатель может работать в режиме рекуперативного торможения, противовключения и динамическом.

Перевод АД в режим торможения противовключением может быть выполнен двумя путями. Один из них связан с изменением чередования двух фаз питающего АД напряжения. Допустим, что АД работает на характеристике 1 (рис. 15.1) при чередовании фаз напряжения ABC. Тогда при переключении двух фаз (например, B и C) АД переходит на характеристику 2, участок аб которой соответствует торможению противовключением.

Обратим внимание на то обстоятельство, что при противовключении скольжение АД изменяется от $S = 2$ до $S = 1$.

Ротор при этом вращается против направления движения поля и постоянно замедляется. Когда скорость спадает до нуля, двигатель должен быть отключен от сети, иначе он может перейти в двигательный режим, причем ротор его будет вращаться в направлении, обратном предыдущему.

При торможении противовключением токи в обмотке двигателя могут в 7–8 раз превышать соответствующие номинальные токи. Заметно уменьшается коэффициент мощности двигателя. О КПД в данном случае говорить не приходится, т.к. и преобразуемая в электрическую механическая энергия и энергия, потребляемая из сети, рассеиваются в активном сопротивлении ротора, и полезно используемой энергии в данном случае нет.

Короткозамкнутые двигатели кратковременно перегружаются по току. Правда, у них при ($S > 1$) вследствие явления вытеснения тока заметно возрастает активное сопротивление ротора. Это приводит к уменьшению I_2' и увеличению момента.

С целью увеличения эффективности торможения двигателей с фазным ротором в цепи их роторов вводят добавочные сопротивления, что позволяет ограничить токи в обмотках и увеличить момент.

Другой путь торможения противовключением может быть использован при активном характере момента нагрузки, который создается, например, на валу АД грузоподъемного механизма. Допустим, что требуется осуществить спуск груза, обеспечивая его торможение с помощью АД. Для этого АД путем включения в цепь ротора добавочного резистора (сопротивления) переводится на искусственную характеристику (прямая 3 на рис. 20.1). Вследствие превышения моментом нагрузки M_c пускового момента M_p АД и его активного характера груз может опускаться с установившейся скоростью $-\omega_{уст1}$. В этом режиме торможение скольжения АД может изменяться от $S = 1$ до $S = 2$.

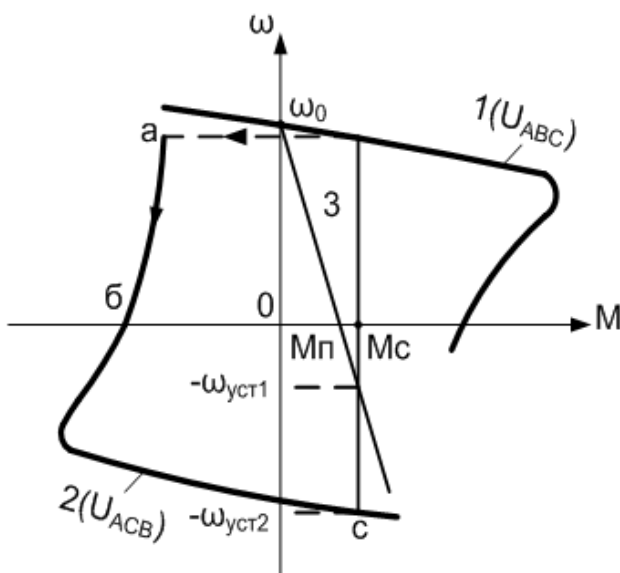


Рисунок 20.1 – Торможение противовключением АД

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Определить основные параметры асинхронного двигателя в соответствии с вариантом задания.

Составить структурную схему, по которой будут исследованы основные динамические режимы.

Исследовать переходные процессы при динамическом торможении АД.

Сделать выводы по работе.

Составить и защитить отчет.

Примечание: результаты расчета переходных процессов асинхронного двигателя в основных динамических режимах должны быть представлены в виде графиков функций $M=f(t)$, $I_1=f(t)$, $\omega=f(t)$ и фазового портрета – $\omega=f(M)$, а также в виде таблицы результатов расчета этих величин (количество точек должно быть достаточно для полного представления переходного процесса).

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные, в соответствии с вариантом задания.

Структурная схема модели АД для исследования режима торможения противовключением.

Результаты расчета (требуемые графики переходных процессов и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каким образом осуществляется перевод асинхронного двигателя в режим торможения противовключения?
2. Каковы энергетические показатели электропривода при торможении противовключением?
3. Как влияют параметры статора и ротора на динамическую механическую характеристику?
4. Каковы пределы токов двигателя в режиме торможения противовключением?

Лабораторная работа № 14 Исследование трехфазной асинхронной машины с короткозамкнутым ротором при питании от однофазной сети

Цель работы: исследование переходных процессов в трехфазной асинхронной машине с КЗ ротором при питании от однофазной сети.

Формируемые компетенции: способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6).

Теоретическая часть

Асинхронной машиной называется электромеханический преобразователь, в котором возникновение момента на валу ротора возможно лишь при различных скоростях вращения магнитного поля и ротора. Трехфазные асинхронные машины с короткозамкнутым ротором благодаря своей технологичности, надежности, низкой стоимости и большому сроку службы составляют основную долю мирового парка электрических машин. Основными элементами конструкции асинхронной машины являются статор и ротор.

Коэффициент мощности при однофазном подключении двигателя выше, чем при трехфазном подключении. Это объясняется наличием конденсатора, который компенсирует часть потребляемой двигателем реактивной мощности.

Для оценки свойств асинхронного двигателя используется его *механическая характеристика* (зависимость скорости вращения ротора машины n от вращающего момента M).

Построив кривую $M = f(s)$ (рис.18.1.) и используя выражение для скольжения, можно получить механическую характеристику $n = f(M)$ (рис. 18.2.).

В качестве *рабочей характеристики* приняты зависимости (рис.18.3.):

- скорости вращения ротора $n = f(P_2)$;
- вращающего момента на валу машины $M_2 = f(P_2)$;
- тока статора $I_1 = f(P_2)$;

- коэффициент полезного действия $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.

Эти характеристики позволяют находить все основные величины, которые определяют режимы работы двигателя при различных нагрузках. Их можно получить либо путем по схеме замещения, либо экспериментально.

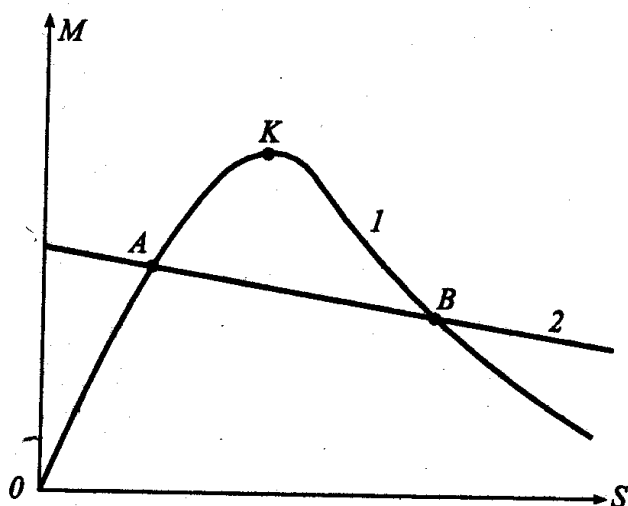


Рисунок 18.1 – Зависимость момента от скольжения.

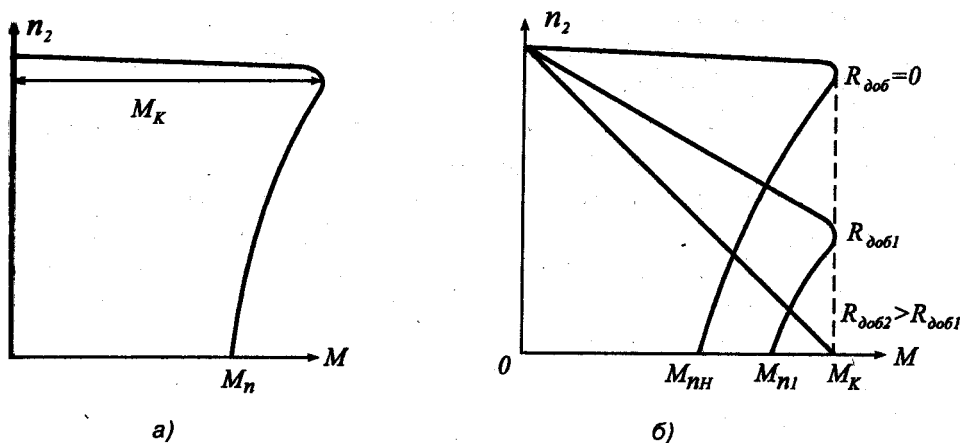


Рисунок 18.2 – Механическая характеристика асинхронной машины (а) и механические характеристики асинхронной машины с фазным током (б).

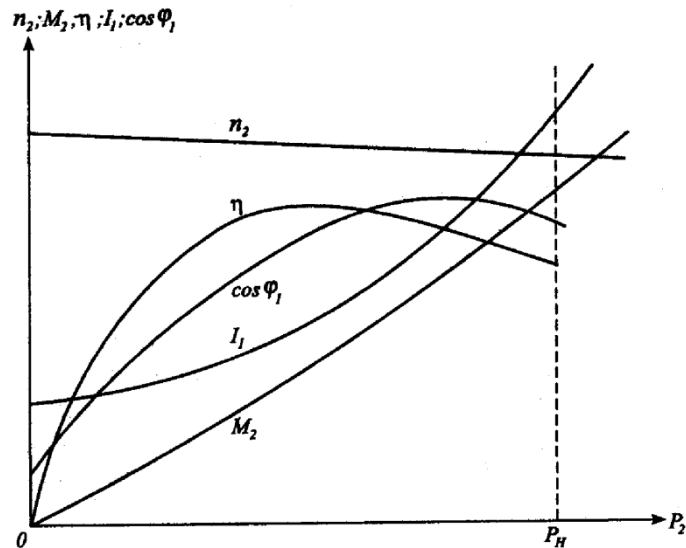


Рисунок 18.3 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 18.4. Она содержит:

- источник переменного однофазного напряжения;
- конденсатор (С) в цепи питания;
- измеритель напряжения и тока в источнике питания V_1, I_1 ;
- исследуемую трехфазную асинхронную машину *Asynchronous*;
- измеритель активной и реактивной мощности P, Q в источнике питания;
- блок *Display*] для количественного представления измеренных мощностей; блок *Moment* для задания механического момента на валу машины

из главной библиотеки Simulink/Sinks;

- блок *Machines Measurement*,
- блок *RMS* для измерения действующего тока в источнике;
- блок *Display2* для количественного представления действующего тока в источнике (A) и скорости (рад/с);
- блок *Mux*, объединяющий два сигнала в один векторный;
- блок *Scope* для наблюдения токов статора, а также скорости и момента асинхронной машины.

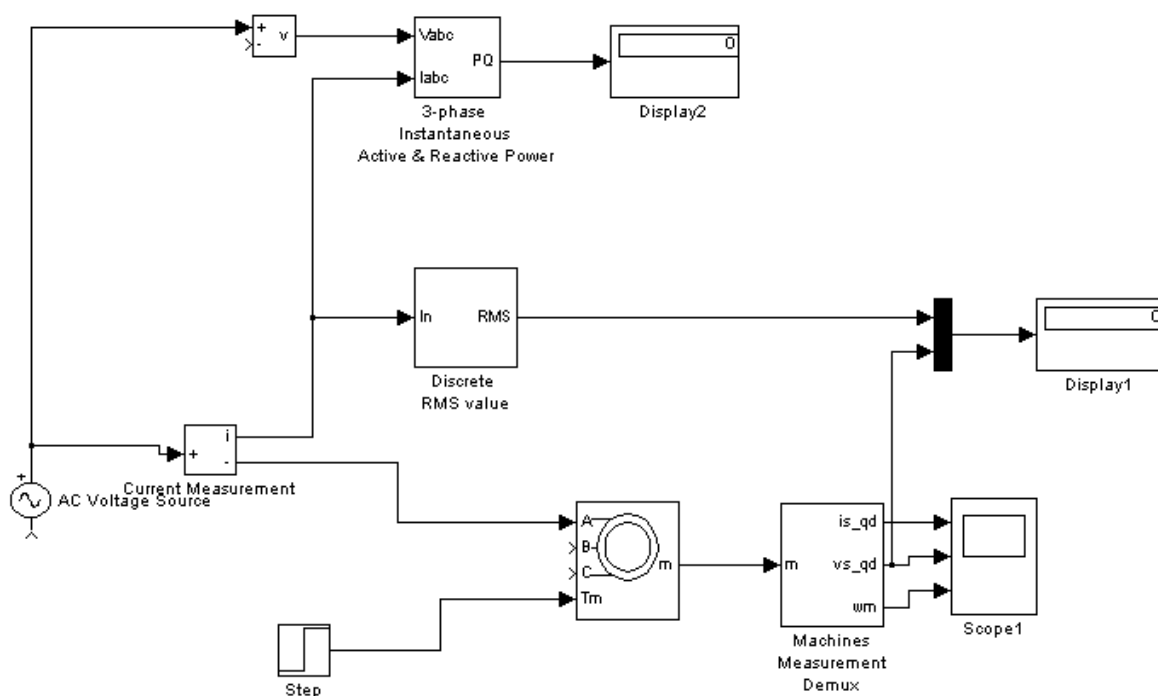


Рисунок 18.4 – Модель для исследования асинхронной машины

Параметры схемы замещения в окне настройки рассчитываются так же, как для трехфазного питания асинхронной машины.

В выпадающем меню окна настройки параметров универсального блока измерения поля *Machine type* задается тип машины. Флажками выбираются переменные для измерения.

В полях окна настройки параметров источника питания задаются:

- амплитуда напряжения источника (В);

- начальная фаза в градусах;
- частота (Гц).

Напряжение и частота источника должны соответствовать параметрам асинхронной машины.

Параметры асинхронной машины для выполнения работы задаются преподавателем. Заполняется окно настройки параметров моделирования.

Снятие механической характеристики машины в двигательном режиме производится на модели при изменении нагрузочного момента от нуля до номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. Наброс момента нагрузки осуществляется с задержкой по отношению к началу моделирования с тем, чтобы переходные процессы при пуске закончились. Заполняется окно настройки блока *Moment*.

При проведении исследований заполняется таблица 18.1.

Таблица 18.1. Механическая характеристики машины в двигательном режиме

M [Нм]	ω [рад/с]
----------	------------------

Снятие рабочих характеристик двигателя проводится на модели при изменении нагрузочного момента от нуля до номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 18.2

Таблица 18.2. Измеренные и рассчитанные значения

M [Нм]	Измерения					Вычисления				
	P1 Вт	Q1 ВАр	U1 В	I1 А	ω рад/с	φ град	$\cos \varphi$	P2 Вт	η %	S %

Вычисления производятся по выражениям:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1}, P_2 = M \cdot \omega, \eta = \frac{P_2}{P_1}, s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}$$

По данным таблиц строится механическая характеристика машины и на отдельном графике - рабочие характеристики.

Временные зависимости переменных состояния машины можно наблюдать на экране осциллографа. Где показан и переходной процесс при пуске машины, и переходной процесс при набросе момента нагрузки, и установившиеся процессы.

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Схема модели и описание виртуальных блоков.

Механическая характеристика машины в двигательном режиме.

Рабочие характеристики машины в двигательном режиме.

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы причины применения однофазной сети для питания трехфазной машины?
2. Каковы энергетические показатели при питании трехфазной машины от однофазной сети.
3. Какие существуют способы пуска трехфазной машины от однофазной сети?

Лабораторная работа № 15 Исследование трехфазной синхронной машины

Цель работы: Исследование трехфазной явнополюсной, синхронной машины.

Теоретическая часть

Синхронной называют машину переменного тока, в которой скорость вращения ротора равна скорости вращения магнитного поля в ее рабочем зазоре. Часто синхронную машину используют в качестве двигателя с неизменной скоростью вращения ротора, приводящего во вращение крупные вентиляторы, компрессоры, центробежные насосы и генераторы постоянного тока и т.д. Кроме того, синхронную машину используют как компенсатор для повышения коэффициента мощности питающей электрической сети, а также для регулирования ее реактивной составляющей мощности.

Конструкция статора синхронной машины, практически ничем не отличается от конструкции статора асинхронной машины. Основное отличие синхронной машины заключается в устройстве ротора (индуктора), который представляет собой явнополюсный или неявнополюсный электромагнит, обмотка которого через контактные кольца и щетки питается от внешнего источника. В качестве индуктора в синхронной машине может использоваться постоянный магнит.

Рабочие характеристики (рис. 23.1.) представляют собой зависимости тока I_a , электрической мощности P_1 , поступающий в обмотку якоря, КПД η , и $\cos \varphi$ от отдаваемой механической мощности P_2 при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ и неизменном токе возбуждения.

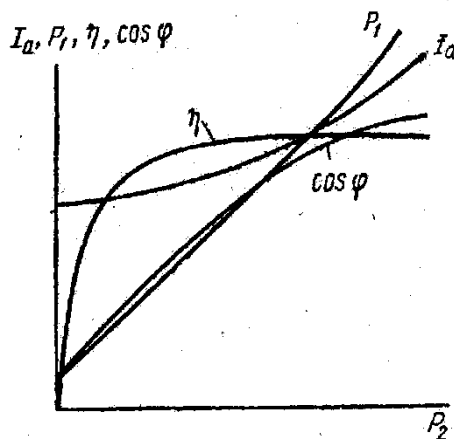


Рисунок 23.1 – Рабочая характеристика синхронного двигателя.

Поскольку скорость вращения двигателя постоянна, зависимость $n = f(P_2)$ обычно не приводится; не приводится также и зависимость $M = f(P_2)$, так как вращающий момент M пропорционален P_2 . Зависимости $I_a = f(P_2)$ и $P_1 = f(P_2)$ имеют характер, близкий к линейному. Ток холостого хода I_{a0} определяется реактивной составляющей и активным током, компенсирующим потери в стали и механические потери. Мощность холостого хода P_0 равна сумме возникающих при этом режиме потерь. Кривая $\eta = f(P_2)$ имеет характер, общий для всех электрических машин.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 23.2.

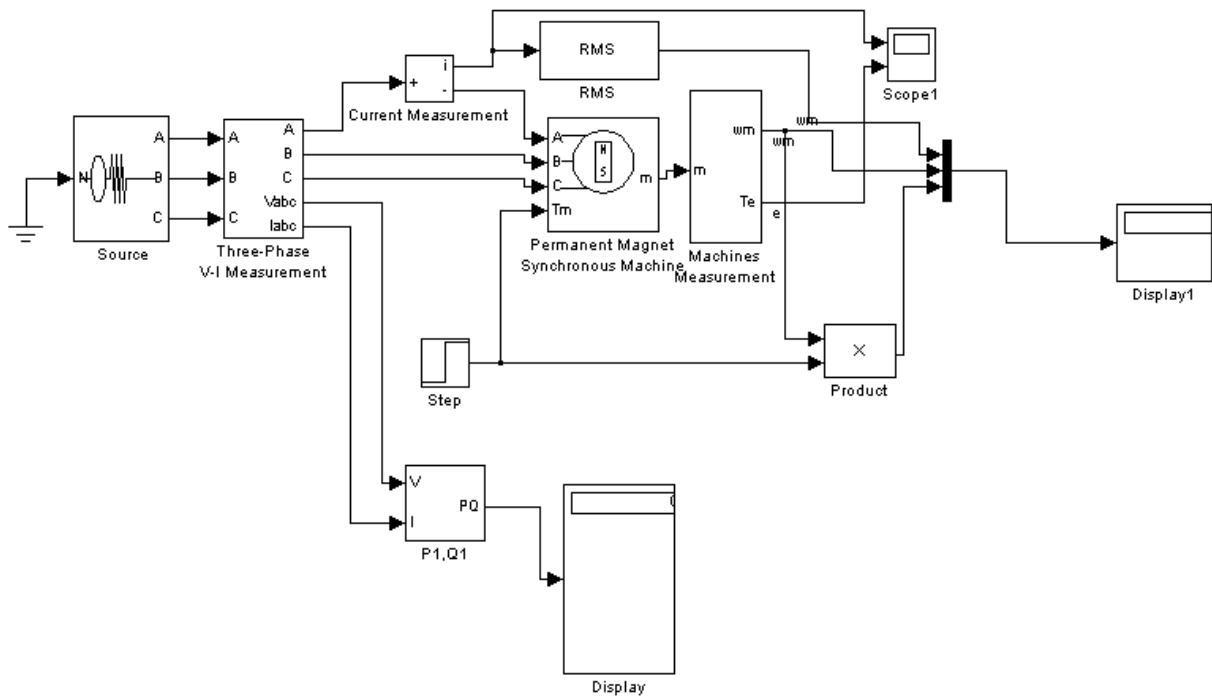


Рисунок 23.2 – Модель для исследования синхронной машины

Она содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения *Source* из библиотеки *Power System Blockset/Extras/Electrical Sources*;
- измеритель трехфазного напряжения и тока *Three-Phase V-I Measurement* из библиотеки *Power System Blockset/Extras/ Measurement*;
- исследуемую трехфазную синхронную машину *Permanent Magnet Synchronous Machine* из библиотеки *Power System Blockset/Machines*,
- измеритель активной и реактивной мощности *P1, Q1* из библиотеки *Power System Blockset/Extras/Measurement*;
- блок измерения переменных состояния машины *Machines Measurement* из библиотеки *Power System Blockset/Machines*;
- блок *Display* для количественного представления измеренных мощностей (в трех первых окнах блока представлены активные мощности в каждой фазе машины, в трех последних - реактивные мощности);
- блок *RMS* из библиотеки *Power System Blockset/Extras/ Measurement*,

измеряющий действующий ток в фазе машины;

- блок *Moment* для задания механического момента на валу машины из главной библиотеки Simulink/Source;
- блок *Product* из главной библиотеки Simulink/Math, вычисляющий механическую мощность на валу машины;
- блок *Scope* для наблюдения тока статора, момента и механической мощности синхронной машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок *Display1* для количественного представления измеренных тока (А) и электромагнитного момента (Нм) машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок *Mux*, объединяющий два сигнала в один векторный из главной библиотеки Simulink/Signal & System.

В полях окна настройки параметров синхронной машины последовательно задаются:

- активное сопротивление обмотки статора (Ом);
- индуктивности по продольной и поперечной оси (Гн);
- максимальный поток в машине (Вб);
- момент инерции (кгм^2), коэффициент вязкого трения (Нмс), число пар полюсов.

В окне настройки блока измерения переменных состояния машины задается тип машины, который выбирается в поле *Machine type*. В выпадающем меню этого поля следует выбрать *Permanent magnet synchronous*. Флажки слева включаются у тех переменных состояния, которые подлежат измерению.

В окне настройки параметров источника показано напряжение и частота источника, которые должны быть согласованы с напряжением, скоростью и числом пар полюсов машины.

Параметры синхронной машины и источника питания для выполнения работы задаются преподавателем. Заполняется окно настройки параметров моделирования.

Снятие механической и рабочих характеристик машины в двигательном режиме производится на модели (рис. 6.1) при изменении нагрузочного момента от нуля до 1,4 от номинального. Номинальный момент определяется из выражения

$$M_n \approx \frac{\sqrt{3} \cdot U_m (U_m - \omega \cdot \Phi_m) \cdot P}{\sqrt{2} \cdot \omega \cdot R_s},$$

где $U_m, \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - амплитуда и частота источника питания, Φ_m, R_s, p - максимальный поток, сопротивление статора и число пар полюсов машины.

Для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 23.1.

Таблица 23.1. Измеренные и рассчитанные значения

М [Нм]	Измерения					Вычисления				
	P1 Вт	Q1 ВАр	U1 В	И А	ω рад/с	φ град	$\cos \varphi$	P2 Вт	η %	I [А]

Вычисления осуществляются по формулам:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1}, \eta = \frac{P_2}{P_1}, P_1 = P_a + P_e + P_c, Q_1 = Q_a + Q_e + Q_c$$

По данным таблицы строятся рабочие характеристики $I, \cos \varphi, h = f(P_2)$

Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины осуществляется на модели при постоянном моменте нагрузки (задается преподавателем). Максимальный поток в поле *Flux induced magnets* (рис. 23.2) следует задавать в диапазоне 0,6-1,2 Вб с шагом 0,05 Вб. Для каждого значения потока проводить моделирование, по результатам заполнить таблицу 23.2.

Таблица 23.2. Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины

Φ_m	Q1	P1	$\cos \varphi$
[Вб]	[ВАр]	[Вт]	

Содержание отчета

Цель работы.

Схема модели и описание виртуальных блоков.

Рабочие характеристики машины в двигательном режиме.

Зависимости $P_1, Q_1, \cos \varphi$ от Φ_m .

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы конструктивные особенности синхронных машин?
2. Что такое подсинхронная скорость?
3. Как влияет значение потока возбуждения СМ на потребляемую из сети мощность?

Лабораторная работа № 16 Исследование пускового режима синхронного двигателя

Цель работы: Исследование принципа асинхронного пуска синхронного двигателя.

Теоретическая часть

Синхронные двигатели (СД) занимают в промышленных автоматизированных электроприводах значительное место и применяются главным образом для привода механизмов, скорость которых не требуется регулировать (компрессоры, вентиляторы, насосы, холодильные машины, преобразовательные агрегаты и т.д.).

Схема включения СД приведена на рисунке 24.1 а.

По конструктивному исполнению статор СД такой же, как и у АД. Ротор выполняется с двумя обмотками: пусковой обмоткой ОП типа беличьей клетки (как у асинхронного короткозамкнутого двигателя) и обмоткой возбуждения ОВ постоянного тока. Первая из обмоток служит для асинхронного пуска СД, вторая – для его возбуждения в нормальном режиме работы.

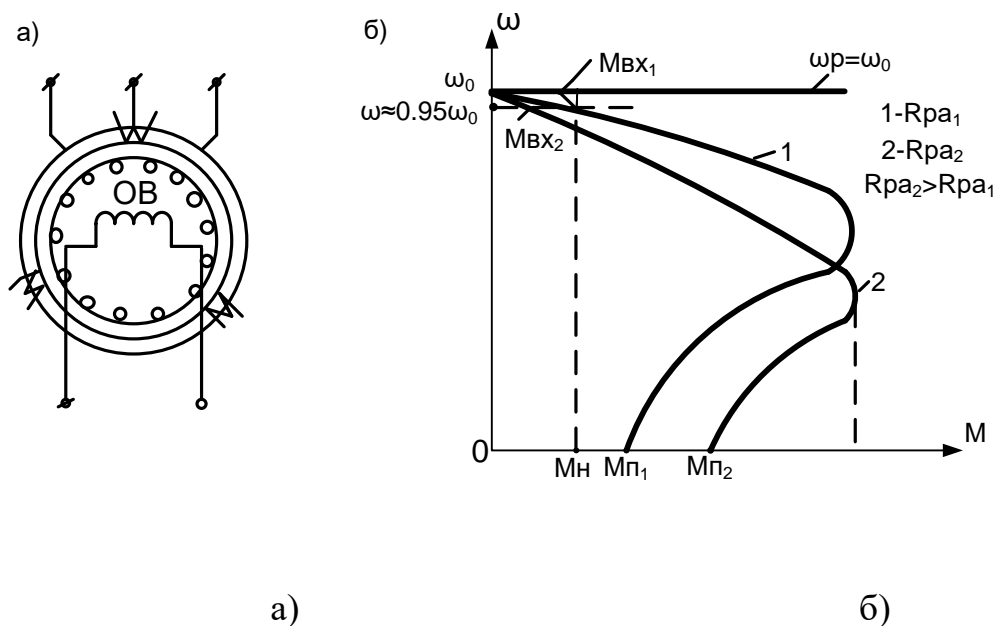


Рисунок 24.1 – Схема включения синхронного двигателя (а) и механические характеристики (б)

Двигатель пускается в ход как асинхронный. При скорости $\omega \approx 0,95\omega_0$ ($\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p}$ или $n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$) подается возбуждение, и двигатель вытягивается в синхронизм: $\omega_p = \omega_0$.

СД выполняются с пусковыми клетками двух типов (с различными активными сопротивлениями R_{pa} пусковой обмотки ротора), что позволяет получить различные пусковые механические характеристики (характеристики 1 и 2, рис. 24.1б).

Выбор одной из двух указанных характеристик зависит от момента сопротивления производственного механизма. При пуске и вхождении двигателя в синхронизм необходимо выполнение условия [1,3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{П.Дв} > M_{П.мех.} \\ M_{вх.Дв} > M_{вх.мех.} \end{array} \right\}, \quad (24.1)$$

где $M_{П.Дв}$ и $M_{П.мех.}$ – пусковые моменты двигателя и механизма ИО; $M_{вх.Дв}$ и $M_{вх.мех.}$ – входные моменты двигателя и механизма.

Двигатели, у которых пусковая клетка выполняется с повышенным активным сопротивлением, применяются обычно с большим значением статического момента при пуске (характеристика 2). При вентиляторном характере статического момента более приемлемы двигатели с механической характеристикой 1.

Перечень используемого оборудования

Для проведения лабораторной работы используется персональный компьютер (ПЭВМ) с установленным программным пакетом Matlab Simulink.

Указания по порядку выполнения работы

Имитационная модель асинхронного пуска синхронного двигателя представлена на рис. 24.2 .

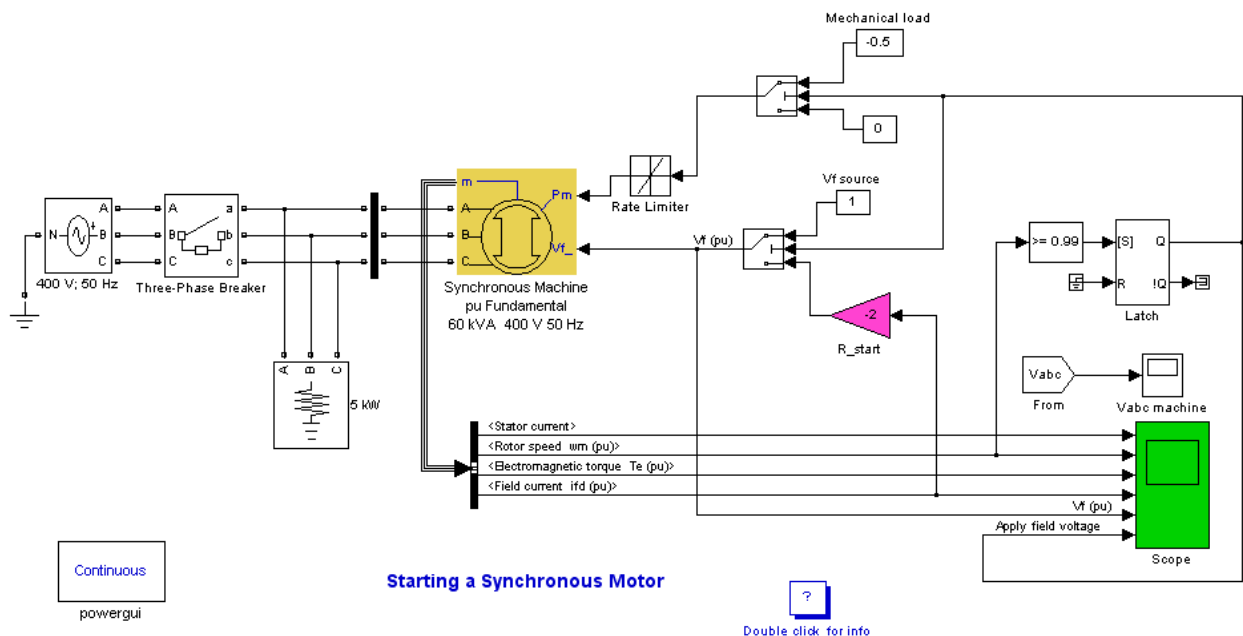


Рисунок 24.2 – Модель пуска синхронного двигателя в Matlab

Необходимо исследовать характеристики синхронного двигателя при различных значениях напряжения питания.

В блоке источника питания необходимо последовательно ввести следующие значения напряжения:

- $U_c = U_n$;

- $U_c = 0,8U_n$;

- $U_c = 0,7U_n$;

- $U_c = 0,5U_n$.

Для каждого значения напряжения снять характеристики двигателя.

Сделать вывод о проделанной работе.

Составить и защитить отчет.

Указания по технике безопасности

1. К выполнению работ на ПЭВМ во время лабораторных занятий допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студенты, допускающие нарушение инструкций техники безопасности (ТБ) и противопожарной безопасности (ПБ), немедленно удаляются из компьютерного класса (лаборатории).

2. В случае обнаружения неисправности компьютера сообщить об этом преподавателю.

3. После получения разрешения от преподавателя, включить ПЭВМ и приступить к работе.

4. После выполнения задания и получения разрешения от преподавателя, закрыть активные приложения, корректно завершить сеанс работы на ПЭВМ, отключить питание.

5. Привести в порядок рабочее место, и после получения разрешения преподавателя покинуть помещение.

Содержание отчета

Цель работы.

Исходные данные, в соответствии с вариантом задания.

Схема имитационной модели пуска синхронного двигателя.

Результаты расчета (требуемые графики переходных процессов и таблицы результатов расчета требуемых величин).

Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каковы конструктивные особенности синхронных машин?
2. Назовите способы пуска синхронных двигателей.
3. Что такое подсинхронная скорость?
4. Как влияет пониженное напряжение питания на пуск синхронного двигателя?

Список рекомендуемой литературы

1. Белов Н. В. Электротехника и основы электроники: учебное пособие.- СПб.: Лань, 2012.
2. Беспалов В.Я., Котелец Н.Ф. Электрические машины: учеб.пособие.- М.: Академия, 2012.
3. Вольдек, А. И. Электрические машины : машины переменного тока : учебник / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - СПб. [и др.] : Питер, 2008. - 349 с. : ил., табл. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 341-343. - Алф. указ.: с. 344-349.
4. Вольдек, А. И. Электрические машины : Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - СПб. [и др.] : Питер, 2008. - 320 с. : ил., табл. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 315-316. - Алф.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+SIMULINK 4/5 в математике и моделировании: Полное руководство пользователя / В.П.Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 576с.
6. Кацман, М. М. Электрические машины : учебник / М. М. Кацман. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2003. - 469 с. - Задачи для сам. реш.: с. 446-454. - Библиогр.: с. 455. - Предмет. указ.: с. 456-462. - ISBN 5-06-003661-8
7. Онищенко Г.Б. Электрический привод: Учебник.- М.: Академия, 2006.
8. Сергеенков, Б. Н. Электрические машины. Трансформаторы : учеб. пособие для вузов / Б. Н. Сергеенков, В. М. Киселев, Н. А. Акимова ; под ред. И. П. Копылова. - М. : Высшая школа, 1989. - 352 с. : ил. - Библиогр.: с. 346-347. - Предм. указ.: с. 348-349.

9. Электротехника: учебное пособие в трех книгах. Книга III. Электроприводы. Электроснабжение./ под ред. П. А. Бутырина. - Челябинск; Москва: ЮУрГУ, 2005.
10. Электротехника: учебное пособие в трех книгах. Книга II. Электрические машины. Промышленная электроника. Теория автоматического управления./ под ред. П. А. Бутырина, Р. Х. Гафиятуллина, А. Л. Шестакова. - Челябинск; Москва:ЮУрГУ,2004. - 711 с.

