

**Министерство образования и науки ЛНР
ОСП «Индустриальный техникум»
ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический
университет»**

"Системы управления электроприводами"

Методические указания к практическим работам

для студентов специальности

**13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования»**

**Алчевськ
2018**

Разработал _____ И.Н.Моисеенко преподаватель
методист высшей категории

Утверждено на заседании методического совета
председатель методического совета _____ Л. Л. Кузьмина

Рассмотрено и одобрено на заседании
комиссии электротехнических дисциплин
протокол №__ от " __ " _____ 2018 года
председатель комиссии _____ В.В.Колесник

Содержание

Введение	4
Практическая работа 1 "Составление работы релейно-контакторных схем управления асинхронными двигателями"	5
Практическая работа. 2 " Составление и анализ работы релейно- контакторных схем управления ДПТ"	7
Практическая работа 3: "Изучение работы схем управления с магнитными командоконтроллерами"	7
Практическая работа 4 "Расчет и выбор основных элементов тиристорного преобразователя"	16
Практическая работа 5 "Расчет и выбор аппаратов защиты тиристорного преобразователя"	21
Практическая работа 6 "Расчет и выбор основных элементов частотного преобразователя"	23
Практическая работа 7 "Расчет и выбор основных элементов тиристорного регулятора напряжения"	26
Практическая работа 8 "Настройка регуляторов системы автоматического регулирования"	28
Список литературы	32

Введение

Задание к практическим работам с краткими методическими указаниями по изучению дисциплины "Системы управления электроприводами" составлено согласно программы.

Дисциплина "Системы управления электроприводами" входит в профессиональный цикл обучения студентов специальности 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования»

Выполнение практических работ проводится по рабочему плану дисциплины. Каждая практическая работа выполняется после преподавания темы на лекции. Целью практических работ является закрепление и усовершенствование каждой темы дисциплины и приобретения практических навыков:

- чтения релейно-контакторных схем;
- оставления схемы с релейно-контакторным управлением для реализации различных режимов управления;
- выбирать и рассчитывать элементы различных систем электроприводов;
- рассчитывать аппаратуру для систем управления.

Целью практических работ является подготовка студентов к самостоятельному выполнению курсовых и дипломных работ.

При оформлении работ необходимо придерживаться общих требований к оформлению документации. Схемы должны быть выполнены аккуратно согласно ЕСКД.

Практическая работа № 1

Тема: Составление работы релейно- контакторных схем управления асинхронными двигателями

Цель: Научиться составлять и описывать работу релейно- контакторных схем управления в различных режимах работы.

Ход работы

1. По техническому заданию (таблица 1) составьте силовую часть и схему управления; нарисуйте ее. Варианты технического задания приведены в таблице 1. В нереверсивных схемах в каждом посту должны быть две кнопки "Пуск" и "Стоп", а в реверсивных три кнопки: "Вперед", "Назад" и "Стоп". Крестиками отмеченные условия, которые нужно принимать при составлении схемы. При наличии в схеме нескольких двигателей предусмотреть реле времени для создания автоматического пуска с выдержкой времени каждого следующего двигателя. Должна обеспечиваться такая последовательность пуска : 1-2-3.
2. В схеме необходимо предусмотреть необходимые защиты и блокирование.
3. Дайте описание работы схемы во всех режимах.
4. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие типы защиты используются в схемах?
2. Как осуществить реверс?
3. Как работает реле времени?
4. Что называется нулевой защитой?
5. Средства регулирования скорости асинхронных двигателей.
6. Что называется блокированием? их типы.
7. Назовите методы торможения.

Таблица 1 - Техническое задание к практической работе 1

Вариант	Число двигателей			Тип ротора		Присутствие реверса		Характер пуска				Тип торможение		
	1	2	3	К. з	Ф.	нет	да	прямой	Резистор в статоре		Динамическое	Противовключение	Механический тормоз	
									1	2				
1		+		+		+		+				+		
2	+				+	+				+				+
3			+	+		+		+					+	
4	+			+			+	+						+
5	+				+		+			+		+		
6		+		+		+		+					+	
7	+				+	+					+			+
8	+			+			+		+			+		
9			+	+		+		+						+
10	+				+		+				+			+
11	+			+		+			+				+	
12		+		+		+		+					+	
13	+			+			+		+			+		
14			+	+		+		+					+	
15	+				+		+			+				+
16		+			+	+					+		+	
17	+				+		+			+				+
18	+			+		+			+				+	
19		+		+		+		+					+	
20		+		+		+		+					+	
21	+				+	+				+		+		+
22	+				+		+			+				+
23		+		+		+			+				+	
24	+				+	+					+			+

Практическая работа № 2

Тема: Составление релейно- контакторных схем управления двигателями постоянного тока

Цель: Научиться составлять и описывать работу релейно- контакторных схем управления в различных режимах управления.

Ход работы

1. По техническому заданию (таблица 2) составить силовую часть и схему управления согласно задания; нарисуйте ее.
2. В схеме необходимо предусмотреть необходимые блокирования и защиты.
3. Дайте описание работы схемы во всех режимах.
4. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Назовите методы торможения двигателей постоянного тока.
2. Какие типы защиты используются в схемах?
3. Как осуществить реверс двигателей постоянного тока?
4. Как работает реле максимального тока?
5. Что называется нулевой защитой?
6. Средства регулирования скорости двигателей постоянного тока.

Практическая работа № 3

Тема: Схемы управления двигателями с магнитными командоконтроллерами

Цель: Приобретение навыков в чтении схем управления двигателями с релейно-контакторною системой управления в разных режимах работы с магнитными командоконтроллерами.

Ход работы

1. Рассмотреть работу релейно-контакторных панелей управления двигателями.
2. Опишите работу принципиальной схемы в заданном режиме согласно своего варианта (таблица 3).
3. В отчете нарисуйте схему согласно ЕСКД.
4. Сделайте вывод.

Таблица 2 - Техническое задание к практической работе 2

Вариант	Тип возбуждение		Присутствие реверса		Пуск в функции		Количество степеней		Тип торможение		
	последовательное	независимое	нет	да	времени	тока	1	2	На выбеге	Динамич. в функции времени	Динамич. в функции э.д.с
1		+	+		+			+		+	
2	+		+			+	+			+	+
3		+		+	+		+		+		
4	+			+	+		+			+	
5		+	+		+		+		+		
6	+		+			+		+	+		
7	+			+	+		+				+
8		+	+		+		+		+		
9		+	+		+		+			+	
10		+		+	+		+		+		
11	+			+		+	+			+	
12		+	+			+		+			+
13	+		+		+		+			+	
14	+					+	+				+
15		+		+	+		+				+
16		+	+		+			+		+	
17		+	+			+	+			+	+
18		+		+	+		+		+		
19	+			+	+		+			+	
20		+	+		+		+		+		
21		+	+			+		+	+		
22	+		+		+		+		+		
23	+			+	+		+				+
24		+	+		+		+		+		

Контрольные вопросы

1. Назовите виды командоконтроллеров.
2. Чем отличаются магнитные командоконтролеры от кулачковых?
3. Как осуществить реверс?
4. Как работает реле максимального тока?
5. Как осуществляется нулевая защита?
6. Средства регулирования скорости двигателей.

Таблица 3 - Задание к практической работе 3

Вариант	№ панели	Режим, который необходимо описать
1	1	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
2	2	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
3	3	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
4	4	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
5	5	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
6	1	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
7	2	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
8	3	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
9	4	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
10	5	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Вперед", а потом в нулевое положение.
11	1	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Назад", а потом в нулевое положение.
12	2	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Назад", а потом в нулевое положение
13	3	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Назад", а потом в нулевое положение
14	4	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Назад", а потом в нулевое положение
15	5	Переводим рукоятку командоконтроллера в крайнее положением "Назад", а потом в нулевое положение
16	1	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
17	2	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение

18	3	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
19	4	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
20	5	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
21	1	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
22	2	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение
23	3	Переводим рукоятку командоконтроллера по положением "Назад", а потом в нулевое положение

Рисунок 1 - Схема панели №1

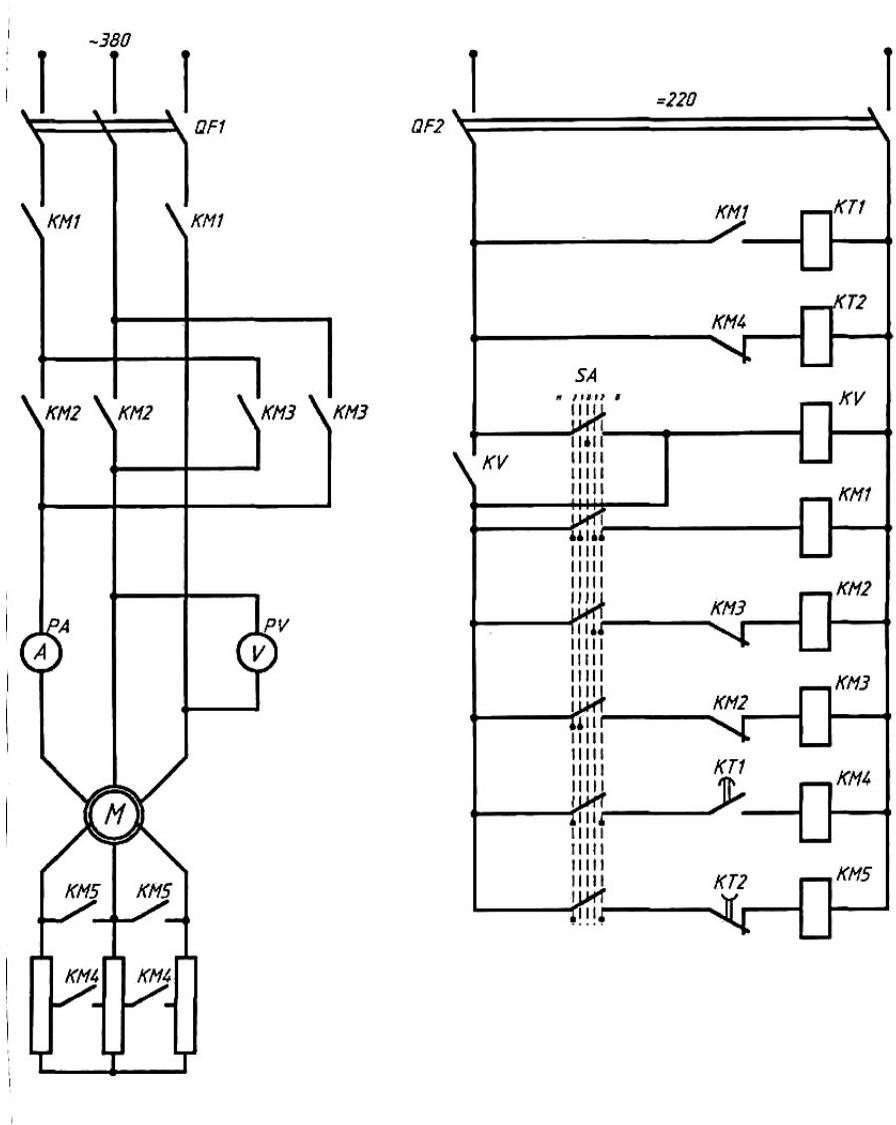


Рисунок 2 - Схема панели №2

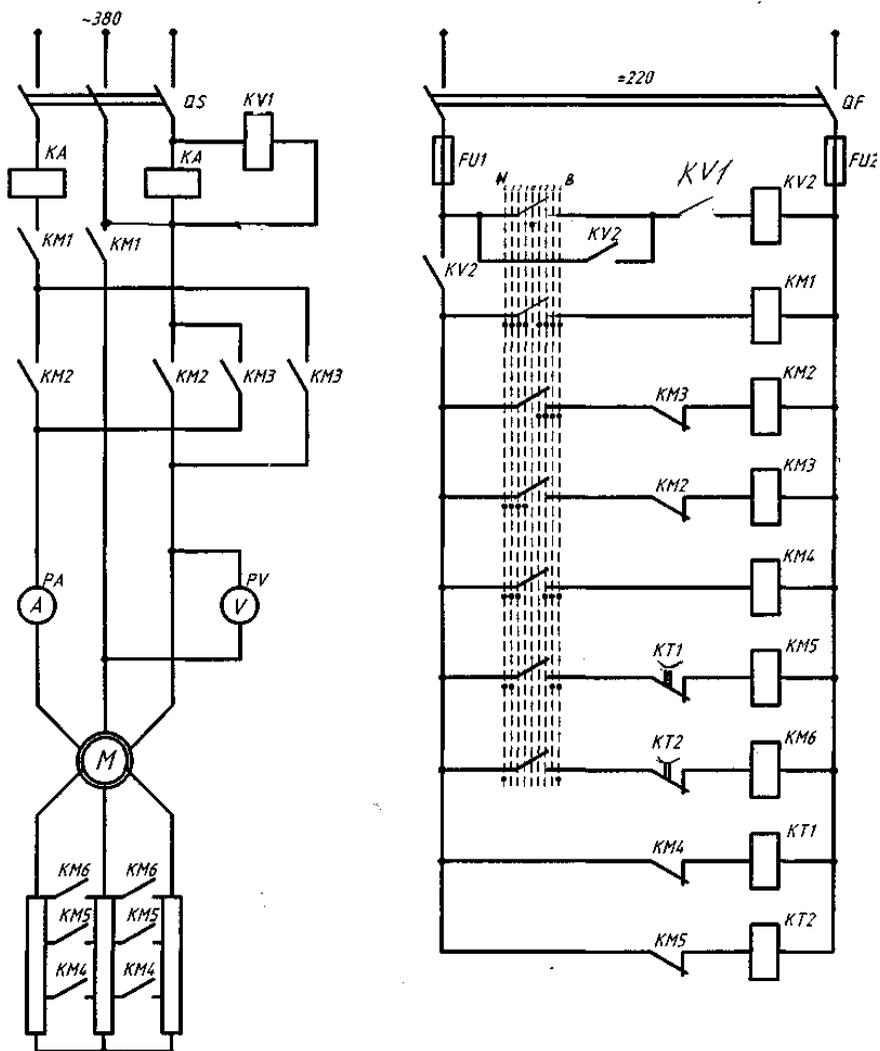


Рисунок 3 - Схема панели № 3

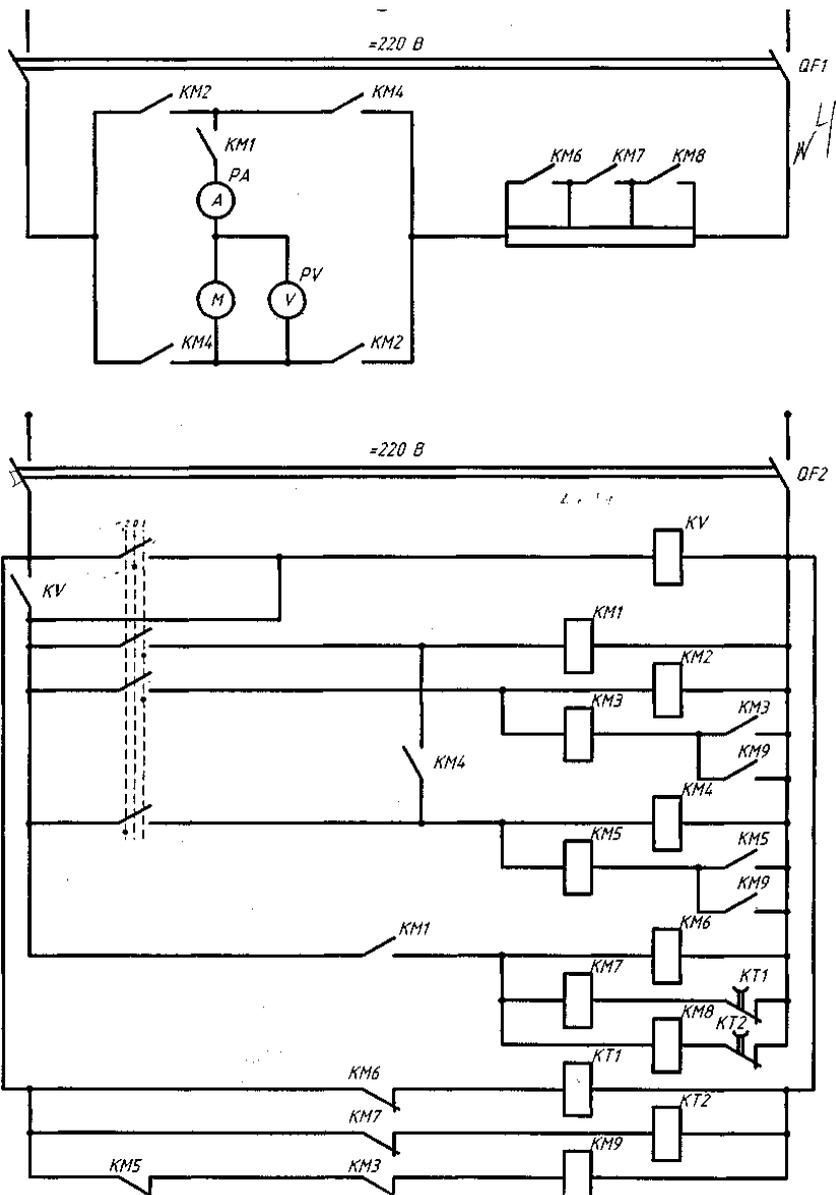


Рисунок 4 - Схема панели № 4

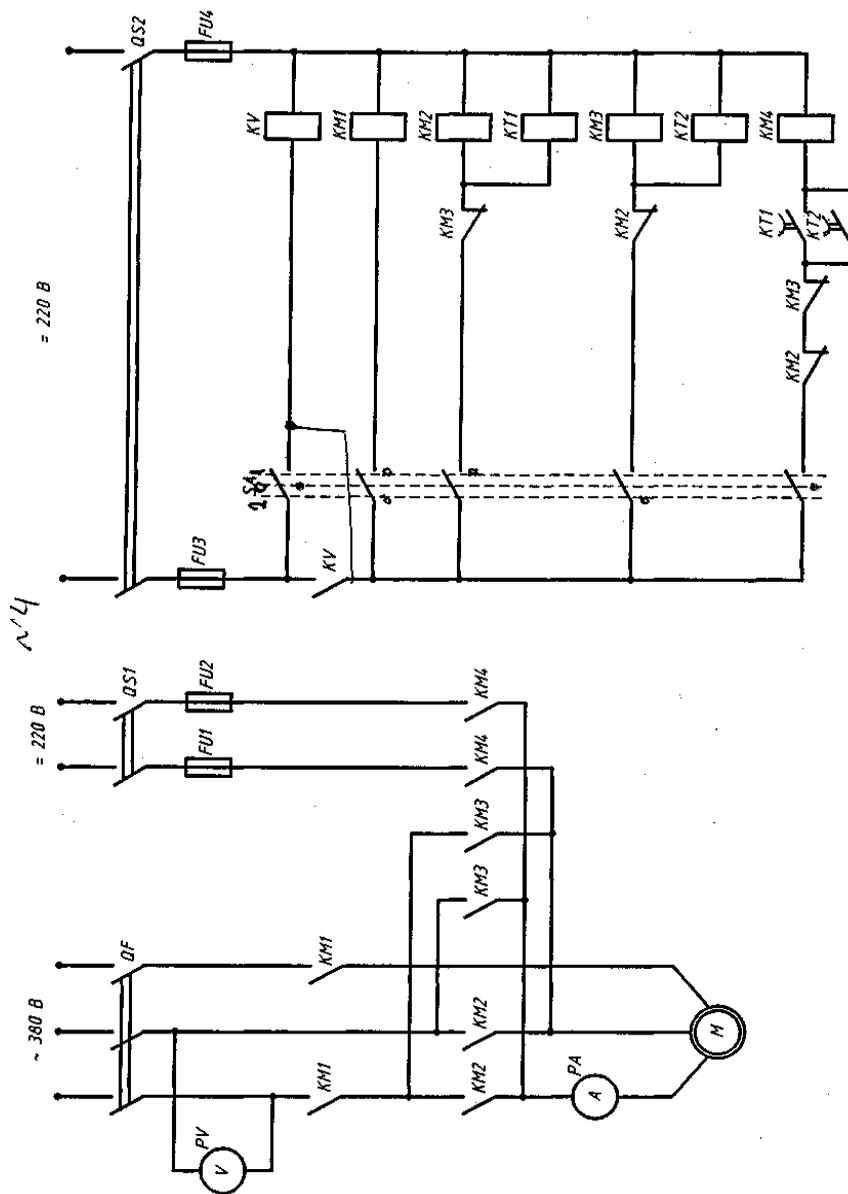
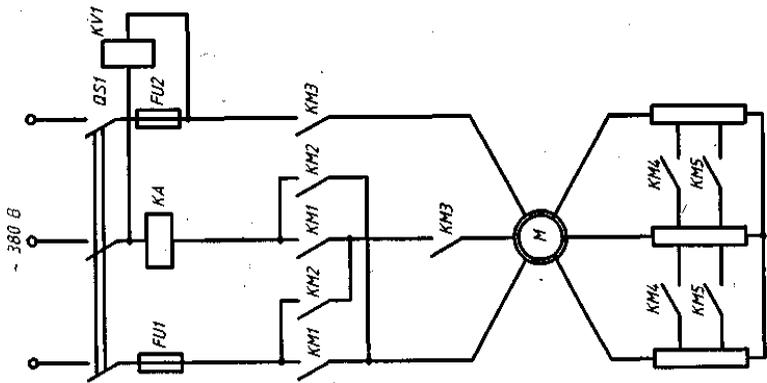
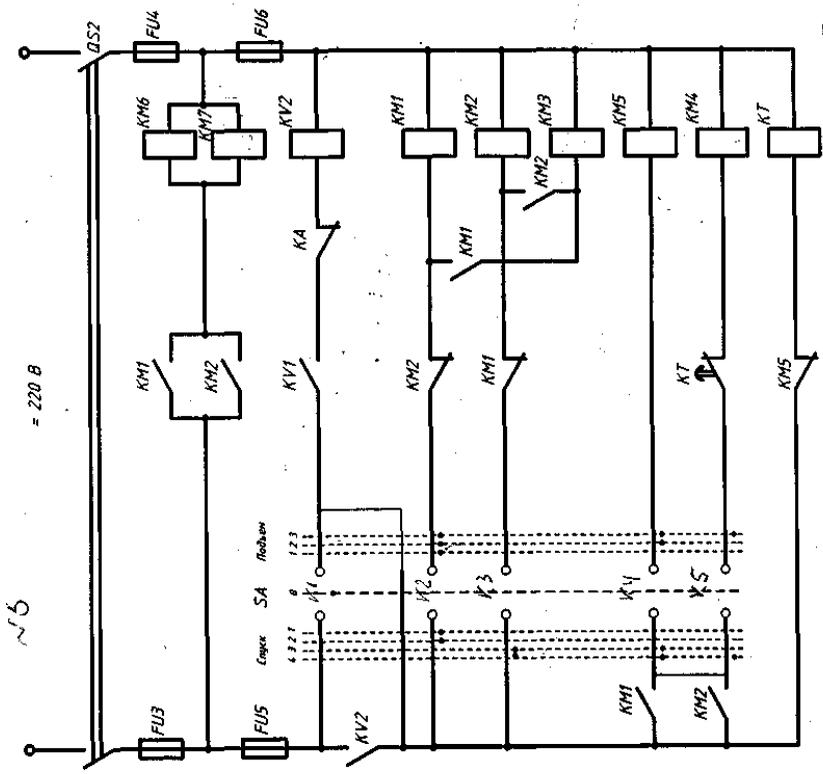


Рисунок 5 - Схема панели №5



Практическая работа № 4

Тема: Расчет и выбор основных элементов силовых цепей тиристорного преобразователя

Цель: Научиться выполнять расчет и выбор основных элементов тиристорного преобразователя.

Ход работы

1. Для заданного типа двигателя (таблица 4) рассчитать и выбрать основные элементы тиристорного преобразователя: силовой трансформатор, тиристоры и сглаживающий дроссель.
2. Сделайте вывод.

Расчет и выбор основных элементов силовых цепей тиристорного преобразователя

1. Выбор силового трансформатора

Рассчитываем значение вторичного фазного напряжения

$$U_{2фрасч} = k_U \cdot k_C \cdot k_\alpha \cdot k_R \cdot U_{дн},$$

где k_U - коэффициент, который характеризует отношение напряжений $U_{2ф}/U_{до}$ в выпрямителе согласно таблицы;

k_C - коэффициент запаса по напряжению $k_C = 1,05 \div 1,1$,

k_α - коэффициент запаса, который учитывает неполное открытие тиристоров при максимальном управляющем сигнале; $k_\alpha = 1,05 \div 1,1$

k_R - коэффициент запаса, который учитывает падение напряжения в обмотке трансформатора, $k_R = 1,05$;

$U_{дн}$ - номинальное выпрямленное напряжение ТП, принимаем равным напряжению двигателя, $U_{дн} = U_H$.

Расчетное значение тока вторичной обмотки

$$I_{2расч} = k_1 \cdot k_i \cdot I_{дн},$$

где k_1 - коэффициент, который учитывает отклонение формы анодного тока вентилей от прямоугольной, $k_1 = 1,05 \div 1,1$;

k_i - коэффициент схемы, который характеризует отношение I_2/I_d , согласно таблицы 1;

$I_{дн}$ - номинальный ток преобразователя (двигателя).

Коэффициент трансформации напряжения

$$k_{тр} = \frac{U_{л1}}{U_{л2}}$$

где $U_{л1}$ - напряжение на первичной стороне трансформатора, в зависимости от питательной сети;

$$U_{л2} - \text{напряжение на вторичной стороне трансформатора,}$$

$$U_{л2} = \sqrt{3} \cdot U_{2ф,расч}.$$

Действующее значение тока первичной обмотки,

$$I_1 = \frac{I_{2,расч}}{K_{ТР}}.$$

Расчетная типичная мощность трансформатора

$$S_{мп} = k_s \cdot k_c \cdot k_R \cdot k_I \cdot k_\alpha \cdot U_{дн} \cdot I_{дн}$$

где k_s - коэффициент схемы (таблица)

По расчетным данным необходимо выбрать трансформатор согласно условий:

$$S_n \geq S_{ТР}; \quad U_{2ф} \geq U_{2ф,расч}; \quad U_{л1} = U_{сети}.$$

Необходимо выписать следующие параметры трансформатора :

S_n - полная мощность, ВА;

$U_{л1}$ - первичное напряжение, В;

$U_{л2}$ - вторичное напряжение, В;

$\Delta P_{хх}$ - потери холостого хода, Вт;

$\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, Вт;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания, %;

$I_{хх}$ - ток холостого хода, % .

Таблица - Основные показатели схем выпрямления

Тип схемы выпрямления	Коэффициенты			
	$k_u = \frac{U_{2ф}}{U_{d0}}$	$k_i = \frac{I_2}{I_d}$	$k_s = \frac{S_{мп}}{U_d \cdot I_d}$	$k_{увз} = \frac{U_{\epsilon \max}}{U_{d0}}$
Однофазная мостовая	1,11	1	11	1,57
Трёхфазная с нулевым выводом	0,855	0,577	1,345	2,09
Трёхфазный зигзаг с нулевым выводом	0,855	0,577	1,46	2,09
Трёхфазная мостовая	0,425	0,815	1,045	1,045

2. Расчет и выбор силовых тиристорov

Среднее значение тока через тиристор

$$I_a = k_{zi} \cdot \frac{I_{дн}}{k_{ax} \cdot m_{тр}}$$

где k_{zi} - коэффициент запаса по току, с учетом увеличения тока двигателя за время переходного режима, $k_{zi} = (2 \div 2,5)$;

k_{ax} - коэффициент, который учитывает интенсивность охлаждения:

$k_{ax} = 1$ - при принудительном охлаждении,

$k_{ax} = (0,3 \div 0,35)$ - при естественном охлаждении;

$m_{тр}$ - число фаз трансформатора;

$I_{дн}$ - ток якоря двигателя.

Максимальная величина обратного напряжения на тиристоре

$$U_{об\ тах} = k_{зн} \cdot K_{и\ зв} \cdot U_{d0}$$

где $k_{зн}$ - коэффициент запаса за напряжением, который учитывает возможность появления перенапряжений на тиристорах, $k_{зн} = (1,5 \div 1,8)$;

$K_{и\ зв}$ - коэффициент обратного напряжения для принятой схемы;

U_{d0} - ЭДС условного холостого хода преобразователя при $\alpha = 0^\circ$,

$$U_{d0} = \frac{U_{2\phi}}{K_u}$$

где $U_{2\phi}$ - фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора,

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}}$$

По расчетным данным реднего значения тока и по максимальной величине обратного напряжения выбираем тиристоры.

3. Выбор сглаживающего дросселя

Сглаживающий дроссель включается последовательно с якорем двигателя, должен выполнять две основные задачи:

- обеспечивать непрерывность тока якоря двигателя в определенном диапазоне нагрузок и частот его вращения;
- ограничивать амплитуду переменной составляющей тока якоря двигателя к допустимой величине.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{я} = K \cdot \frac{30 \cdot U_{н}}{\pi \cdot I_{н} \cdot p \cdot n_{н}}$$

где k - коэффициент для машин постоянного тока:

$k = 0,1$ - для компенсированных машин,

$k = 0,5 \div 0,6$ - для некомпенсированных машин;

p - число пар полюсов двигателя.

Индуктивность трансформатора преобразователя

$$L_{тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{2\phi}}{I_2 \cdot \omega_c}$$

где ω_c - угловая частота напряжения сети, $\omega = 314c^{-1}$

Индуктивность сглаживающего дросселя $L_{ср\text{ расч.}}$ при минимальной нагрузке реверсивного тиристорного преобразователя и угле регулирования

$$L_{ср\text{ расч}} = \frac{e_n \cdot \sqrt{2} \cdot U_{дб}}{m \cdot \omega_c \cdot I_{\min}} - L_{я} - \nu L_{тр}$$

где e_n - относительное эффективное значение первой гармоники выпрямленного напряжения, $e_n = 0,24$;

I_{\min} - минимальный ток нагрузки преобразователя

$$I_{\min} = (0,05 \div 0,1) I_H$$

m - число пульсаций для схем выпрямления;

ν - коэффициент схемы: $\nu = 2$ для трехфазной мостовой

Расчетная индуктивность сглаживающего дросселя, необходимая для обеспечения необходимого уровня пульсаций выпрямленного тока,

$$L_{ср\text{ расч}} = \frac{e_n \cdot U_{дб}}{m \cdot \omega_M \cdot i_e \cdot I_H} - L_{я} - \nu L_{тр}$$

где $i_e = (0,02 \div 0,15)$ - относительное эффективное значение пульсаций первой гармоники выпрямленного тока

Реакторы выбирают выходя из большего расчетного значения индуктивности, и значения выпрямленного тока. При этом должны выполняться такие условия:

$$I_{H,др} \geq I_H; \quad L_{H,др} \geq L_{ср\text{ расч}}$$

Если величина $L_{сд} \leq 0$ то нет необходимости устанавливать сглаживающий дроссель. Если дроссель нужен, то его выбирают по следующим параметрам $I_{H,др}$ и $L_{H,др}$.

4. Расчет мощности и выбор тиристорного преобразователя

Номинальный ток преобразователя

$$I_{H,т.п.} \geq I_H \cdot 2,5$$

Мощность тиристорного преобразователя должна быть не меньше мощности двигателя

Таблица 4 – Исходные данные к практической работе №4

Вариант	Тип двигателя	Усети	Кол. двиг.	Рн	Un	ln	пн	Ря	диапазон регулирования
		В		кВт	В	А	Об/мин	Ом	
1	Д12	6000	3	2.5	220	14.6	1140	1.63	10
2	Д21	6000	2	4.5	220	26	1000	0.95	5
3	Д22	6000	1	6.0	220	33	1070	0.57	2
4	Д31	6000	1	8.0	220	44	820	0.42	4
5	Д32	6000	1	12	220	65	740	0.28	10
6	Д41	6000	1	16	220	86	670	0,17	5
7	Д806	6000	2	22	220	116	635	0,1085	2
8	Д808	6000	1	37	220	192	565	0,054	4
9	Д810	6000	1	55	220	280	540	0,0356	15
10	Д812	10000	1	75	220	380	500	0,023	5
11	Д814	10000	1	110	220	550	490	0,0805	10
12	Д816	10000	1	150	220	740	470	0,094	5
13	Д818	6000	1	185	220	920	440	0,0056	2
14	Д21	6000	3	5,5	220	31	1400	0,531	4
15	Д22	6000	2	8	220	43,5	1510	0,275	10
16	Д31	6000	1	12,8	220	64	1360	0,3	5
17	Д32	6000	2	18	220	94	1190	0,118	2
18	Д21	6000	2	4	440	12	1220	3,54	4
19	Д31	6000	1	6,7	440	19	875	2,08	10
20	Д41	6000	1	15	440	40	710	0,695	5

Контрольные вопросы

1. Назначение трансформаторов напряжения на входе ТП.
2. За какими параметрами избирают тиристоры?
3. Какие схемы соединений тиристоров вы знаете? Дайте им сравнительную характеристику.
4. Какие функции выполняет дроссель?
5. Для чего используется токоограничивающий реактор?

Практическая работа № 5

Тема: Расчет и выбор аппаратов защиты силовых цепей тиристорного преобразователя

Цель: Научиться выполнять расчет и выбор аппаратов защиты для тиристорного преобразователя.

Ход работы

1. Для выбранного тиристорного преобразователя в практической работе №4 рассчитать и выбрать аппараты для осуществления таких видов защиты :
 - максимально токовая защита в цепях переменного и постоянного тока;
 - от перенапряжения тиристором;
 - защита обрыва поля.
2. Нарисуйте схему силовой цепи тиристорного преобразователя с аппаратами защиты.
3. Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие типы защиты используют в силовых кругах ТП?
2. Почему используют автоматические выключатели на высокой и на низкой стороне трансформатора?
3. Для чего к тиристорам подключают R - С цепочки?
4. Почему опасный обрыв цепи обмотки возбуждения?
5. За какими параметрами избирают автоматические выключатели?
6. За какими параметрами избирают предохранители

Выбор аппаратов защиты ТП

1 Выбираем автоматические выключатели на первичной стороне трансформатора

Номинальный ток расцепителя автомата должен быть не меньше действующего значения тока цепи с учетом возможных эксплуатационных нагрузок

$$I_{расц} = K_n \cdot I_{1ТР};$$

где K_n - коэффициент надежности, который учитывает разброс характеристик автомата, $K_n = 1,2$;

$I_{1ТР}$ - первичный ток трансформатора,

$$I_{1TP} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H}}$$

где S_H - номинальная мощность трансформатора;

U_{1H} - линейное напряжение первичной обмотки трансформатора.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{уст.эм}$ не должен превышать ударный ток тиристора для интервала до 10 мс

$$I_{уст.эм} \geq K_H \cdot K_n \cdot I_{1TP};$$

где K_n - коэффициент перегрузки, $K_n = 2$.

Автоматический выключатель выбирать необходимо с учетом напряжения цепи, в которую он подключен по величинам номинального тока расцепителя и по току срабатывания.

2 Выбор автоматического выключателя в цепи постоянного тока

Номинальный ток расцепителя автомата

$$I_{H \text{ расц}} = K_H \cdot I_{H,дв};$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя

$$I_{уст.эм} \geq K_H \cdot \lambda_{дв} \cdot I_{H,дв};$$

где $\lambda_{дв}$ - коэффициент перегрузочной способности двигателя по току.

При выборе автоматического выключателя необходимо учитывать величину и вид напряжения той цепи, в которую он включен.

3 Защита вентиля от перенапряжения осуществляется R-C-цепочкой, которая подключается параллельно каждому тиристор.

Емкость конденсатора, мкФ

$$C = \frac{10 \cdot I_a}{U_{об.мах}};$$

где I_a - среднее значение тока через тиристор;

$U_{об.мах}$ - максимальная величина обратного напряжения на тиристоре.

Конденсатор выбирается по величинам емкости и напряжения цепи.

Сопротивление резистора, Ом

$$R = \frac{10 \cdot U_{об.мах}}{I_{доп}};$$

где $I_{доп}$ - допустимый (граничный) ток тиристора.

Мощность рассеивания разрядным сопротивлением

$$P = I_a^2 \cdot R$$

Разрядный резистор выбираем по величине сопротивления и мощности.

4 Выбор реле максимально токовой защиты

Ток срабатывания реле

$$I_{р.м} \geq K_3 \cdot \lambda_{дв} \cdot I_{н.дв};$$

где K_3 - коэффициент запаса, $K_3 = 1,2$.

5. Минимально токовая защита обмотки возбуждения

Ток отключения реле при работе двигателя с номинальным потоком ($\Phi = \text{const}$)

$$I_{р.мин} \geq K_2 \cdot I_{н.о.в.};$$

где K_2 - коэффициент, который учитывает допустимое значение тока возбуждения при $\Phi = \text{const}$, $K_2 = 0,9$, при работе двигателя с ослабленным потоком $K_2 = 0,5$.

$I_{н.о.в.}$ - номинальный тока обмотки возбуждения.

6. Выбор предохранителей, которые подключаются последовательно тиристорам

Номинальный ток плавкой вставки

$$I_{н.в.} \geq K_{зап} \cdot I_{н.т.};$$

где $I_{н.т.}$ - номинальный ток тиристора

$K_{зап}$ - коэффициент запаса, $K_{зап} = 1,25$.

Практическая работа № 6

Тема: Расчет и выбор основных элементов преобразователя частоты (ПЧ)

Цель: Научиться выполнять расчет и выбор элементов преобразователя частоты, составлять схему подключения ПЧ к двигателям.

Ход работы

1. По исходным данным для управления двигателями (таблица 5) выбрать основные элементы силовой цепи частотного преобразователя.
2. Нарисовать силовую схему системы ПЧ-АД

3. Сделать вывод.

Выбор частотного преобразователя

1 Расчет IGBT транзисторов, которые являются силовыми элементами инвертора ПЧ

Максимальный ток через ключи инвертора

$$I_{c \max} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot k_1 \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_n \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_L} \cdot n$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность двигателя

U_L - линейное напряжение питания, $U_L = 380\text{В}$

k_1 - коэффициент допустимой кратковременной перегрузка по току,
 $k_1 = (1,2 \div 1,5)$;

k_2 - коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока
 $k_2 = (1,1 \div 1,2)$;

U_L - линейное напряжение двигателя;

η_n - номинальный к.к. д. двигателя

n - количество двигателей.

Выбираем транзисторы по току коллектора

2 Расчет и выбор диодов

Среднее выпрямленное напряжение диода

$$U_d = k_{cн} \cdot U_L$$

где $k_{cн}$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки $k_{cн} = 1,35$ (для мостовой трехфазной схемы)

Максимальное значение среднего выпрямленного тока

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \left\| \frac{I_{c \max}}{\sqrt{2}} \right\| \cdot U_{\text{э}} \cdot \cos \varphi + c \cdot P_{\text{о}}}{U_d}$$

где c - количество пар IGBT/FWD в инверторе $c=6$;

$P_{\text{т}}$ - потери мощности в транзисторе.

Максимальный рабочий ток диода

$$I_{Vm} = k_{cc} \cdot I_{dm}$$

где $k_{cc} = 1,045$ - для мостовой трехфазной схемы;

Максимальное обратное напряжение диода для мостовой схемы

$$U_{Vm} = k_{\text{эн}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_L \cdot k_{cн} \cdot k_c + \Delta U_H$$

где K_c - коэффициент допустимого повышения напряжения сети,
 $K_c=1,1$

$K_{эН}$ - коэффициент запаса по напряжению $K_{эН}=1,15$

ΔU_n - запас на коммутационные выбросы напряжения в цепи постоянного тока,

$\Delta U_n=(100-150)$ В;

$K_{сн}$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки $k_{сн}= 1,35$ (для мостовой трехфазной схемы).

Диоды выбираются по максимальному рабочему току не меньше I_{Vm} и по максимальному обратному напряжению

3. Параметры фильтра сглаживания

$$L_0 C_0 = \frac{S + 1}{(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f_s)^2}$$

где f_s - частота сети $f_s=50$ Гц;

S - коэффициент сглаживания, $S=(3 \div 12)$;

m - пульсность схемы, $m=6$ (для мостовой трехфазной схемы).

Индуктивность фильтра

$$L_{0\min} = \frac{1,3 \cdot U_{\bar{e}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I_d}$$

где I_d - ток диода.

Дроссель необходимо выбрать по току нагрузки (двигателей) и индуктивности $L_{0\min}$

$I_{др.н}=I_n$

Емкость конденсатора

$$C_0 = \frac{L_0 C_0}{L_{0\min}}$$

Конденсатор выбираем по значениям емкости и напряжению

Частотного преобразователя выбираем по мощности и току нагрузки

$P_{пч}=P_n$

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются частотные преобразователи?
2. Какие основные элементе входят в силовую часть ПЧ из AI?
3. Какие виды инверторов используются?
4. Чем отличаются автономный инвертор тока от автономного инвертора напряжения?
5. Для чего используется сглаживающий дроссель?

Практическая работа № 7

Тема: Расчет и выбор основных элементов тиристорного регулятора напряжения

Цель: Научиться выполнять расчет и выбор тиристорного регулятора напряжения (ТРН), пользуясь специальной литературой

Ход работы

1. По данным своего варианта (таблица 5) рассчитать параметры и выбрать тиристоры для ТРН и выбрать его по каталогу
2. Нарисовать силовую схему
3. Сделать вывод.

Расчет и выбор основных элементов ТРН

Определяем среднее значение тока через тиристор при $\alpha=0$

$$I_{T,CP} = \sqrt{2} \cdot \frac{I_H}{\pi} \cdot n,$$

где I_H - номинальный ток двигателя;

n - количество двигателей.

Максимальное обратное напряжение на тиристоре

$$U_{звтах} = k_{эп} \cdot k_{иэв} \cdot U_{до}$$

где $k_{эп} = (1,5 \div 1,8)$ - коэффициент запаса по напряжению, который учитывает возможность появления перенапряжений на тиристорах;

$k_{иэв}$ - коэффициент обратного напряжения, $k_{иэв}=2,09$

$U_{до}$ - ЭДС условного холостого хода преобразователя при $\alpha = 0^\circ$,

$$U_{до} = \frac{U_{2ф}}{k_u}$$

где k_u - коэффициент, который характеризует отношение напряжений $U_{2ф}/U_{до}$, $k_u=0,855$;

$U_{2ф}$ - фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора,

$$U_{2ф} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}}$$

По расчетным данным выбираем тиристоры согласно условий

$$U_{втах} \leq U_n ; \quad I_{T,CP} \leq I_{вдоп}$$

где $I_{вдоп}$ - максимально допустимый средний ток тиристора;

U_n - повторяющееся напряжение выбранного тиристора,

Выбираем тиристорный регулятор напряжения по току нагрузки и мощности.

Таблица 5 - Исходные данные для практической работы

Вариант	Тип двигателя	Количество двигателей	P_n , кВт	η_n	$\cos \varphi$	I_n , А
1	МТКФ011 - 6	2	1,4	0,61	0,66	5,2
2	МТКФ012 - 6	2	2,2	0,67	0,69	7,2
3	МТКФ111 - 6	2	3,5	0,72	0,79	9,4
4	МТКН111 - 6	1	2,5	0,68	0,63	8,8
5	МТКФ112 - 6	1	5	0,74	0,74	13,8
6	МТКН112 - 6	3	3,6	0,71	0,66	11,5
7	МТКФ211 - 6	2	7,5	0,75	0,77	19,5
8	МТКН211 - 6	1	7	0,73	0,7	20,8
9	МТКФ311 - 6	1	11	0,77	0,76	28,5
10	МТКФ312 - 6	1	15	0,81	0,78	36
11	МТКФ411 - 6	2	22	0,825	0,79	51
12	МТКФ412 - 6	1	30	0,835	0,78	70
13	МТКФ311 - 8	2	7,5	0,735	0,71	21,8
14	МТКФ312 - 8	1	11	0,78	0,74	29
15	МТКФ411 - 8	2	15	0,71	0,71	40
16	МТКФ412 - 8	2	22	0,69	0,69	60
17	МТКН511 - 8	1	28	0,83	0,77	67
18	МТКН512 - 8	1	37	0,83	0,78	87
19	МТКН311 - 6	1	11	0,77	0,76	28,5
20	МТКН312 - 6	1	15	0,81	0,78	36

Контрольные вопросы

1. Когда используют ТРН?
2. Какие основные элементы входят в силовую часть ТРН - АД?
3. Как осуществляется реверс в системах ТРН - АД?
4. Как регулируется скорость двигателя в системах ТРН - АД?

Практическая работа № 8

Тема: Настройка регуляторов системы автоматического регулирования

Цель: Научиться рассчитывать и выбирать параметры элементов системы автоматического регулирования

Ход работы

1. Рассчитать и выбрать элементы, схему однократно интегрирующей системы автоматической регулирования двигателя в системе ТП-Д (таблица 10).
2. Построить двухконтурную однократно интегрирующую систему автоматического регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока, который работает от тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока.
3. Сделайте вывод.

Пример выбора параметров регуляторов

Исходные данные:

Перерегулирование по току - 60%,

по скорости - 73%,

Постоянные времени :

преобразователя $T_{т.п.}=3$

якорной цепи $T_{я}=37$

регулятора тока $T_{\mu \text{ р.т.}}=3$

регулятора скорости $T_{\mu \text{ р.с.}}=4$

Сопротивление якорной цепи $R_{я}=0,03$

Коэффициент преобразователя $K_{т.п.}=50$

коэффициент датчика тока $k_{\tau}=2 \cdot 10^{-3} \text{ В/А}$

Коэффициент датчика скорости $k_{\omega}=0,02 \text{ Вс}$

Электромеханическая постоянная двигателя $T_{\text{м}}=2,4 \text{ мс}$

1 Выбор параметров регулятора тока

1.1 Определяем коэффициент регулятора тока

$$K_{\text{РТ}} = \frac{T_{\text{я}}}{B_{\text{ОТ}}} \cdot \frac{R_{\text{я}}}{K_{\tau} \cdot K_{\tau \text{ П}}},$$

где $B_{\text{ОТ}}$ - постоянная времени интегрирования

$$B_{\text{ОТ}} = 4 \cdot \xi^2 \cdot \Sigma T_{\mu} = 4 \cdot 0,2^2 \cdot 6 = 0,96$$

где ξ - сумма малых постоянных времени регулятора тока

$$\Sigma T_{\mu} = T_{\mu P T} + T_{T, \Pi} = 3 + 3 = 6$$

ξ - коэффициент демпфирования (выбирается по значению перерегулирования, таблица 9) $\xi = 0,2$

$$K_{P.T.} = \frac{37}{0,96} \cdot \frac{0,03}{2 \cdot 10^3 \cdot 50} = 1156 \cdot$$

1.2 Задаемся емкостью конденсатора обратной связи в пределах (1-10)мкФ.

$$C_{ост} = 2 \text{ мкФ}$$

Таблица 9

$\sigma, \%$	ξ	$t/T_{\mu i}$	$t1/\Sigma T_{\mu i}$
73	0.1	0.336	0.632
59.7	0.2	0.72	1.28
37.3	0.3	1.176	1.974
25.4	0.4	1.728	2.744
16.3	0.5	2.42	3.63
9.3	0.6	3.324	4.728
4.3	0.707	4.7	5.278
1.5	0.8	6.624	8.364
1.2	0.9	11.142	12.996
0	1.0		

1.3 Вычисляем сопротивление обратной связи при условиях компенсации постоянной времени якорной цепи

$$R_{OCT.} = \frac{T_{я}}{C_{OCT}} = \frac{37}{2} = 185 \text{кОм}$$

1.4 Определяем сопротивление входного резистора

$$R_T = \frac{R_{OCT.}}{K_{PT.}} = \frac{185}{1156} = 1,6 \text{кОм}$$

1.5 Принимаем $R_T = 2 \text{кОм}$

2 Выбор параметров регулятора скорости (рисунок 8)

2.1 Коэффициент регулятора скорости

$$K_{P.C.} = \frac{T_M}{K_{O.C.C.} \cdot B_{OC}} = \frac{2A}{0,02 \cdot 0,4} = 300$$

$$B_{OC} = 4 \xi^2 \Sigma T_{\mu} = 4 \cdot 0,1^2 \cdot 10 = 0,4$$

$$\Sigma T_{\mu} = T_{\mu r.c.} + T_{\mu r.T} + T_{\mu T.п.} = 3 + 3 + 4 = 10$$

2.2 Зададимся величиной сопротивления входного резистора в пределах (1-2) кОм

$$R_C = 1 \text{кОм}$$

2.3 Определяем сопротивление обратной связи

$$R_{O.C.C.} = K_{PC} \cdot R_C = 300 \cdot 1 = 300 \text{кОм}$$

2.4 Принимаем $R_{O.C.C.} = R_{O.C.C.} = 300 \text{кОм}$

Контрольные вопросы

- 1 В чем заключается оптимизация контура?
- 2 Какая система управления называется последовательной коррекцией?
- 3 Как работает система регулирования с подчиненным управлением?
- 4 Сколько контуров можно использовать и за какими параметрами?
- 5 Какую функцию выполняют регуляторы тока?

Таблица 10 - Исходные данные к практической работе №8

Вариант	Перерегулирование %		Сопротивление якорной цепи, Ом	Постоянные времена, мс				Электромеханическая постоянная времени, мс	Коэффициенты		
	По току	По скорости		преобразователя	Регулятора тока	Регулятора скорости	Якорной цепи		преобразователя	датчика тока, В/А	датчика скорости, Вс
1	73	4.3	0.01	1	2	2	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
2	60	1.5	0.01	2	4	3	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
3	37	4	0.04	3	3	4	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
4	25	9	0.025	4	5	6	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
5	16	16	0.035	5	1	5	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
6	9	25	0.035	6	6	2	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
7	4	37	0.025	7	4	1	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
8	1.5	60	0.035	8	2	3	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
9	4.0	73	0.04	1	5	5	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
10	0	0	0.035	2	6	2	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
11	73	1.5	0.03	3	2	3	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
12	60	4	0.025	4	4	4	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
13	37	9	0.03	5	3	6	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
14	25	16	0.04	6	5	5	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
15	16	25	0.04	7	1	2	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
16	9	37	0.03	8	6	1	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
17	4	60	0.035	1	4	3	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
18	1.5	73	0.045	2	2	5	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
19	4.0	0	0.05	3	5	2	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
20	0	4	0.05	4	6	3	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
21	73	9	0.025	5	2	4	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
22	60	16	0.027	6	4	6	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
23	37	25	0.028	7	3	5	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
24	25	37	0.05	8	5	2	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
25	16	60	0.055	1	1	1	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
26	9	73	0.02	2	6	3	38	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
27	4	0	0.01	3	4	5	37	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
28	1.5	1.5	0.015	4	2	2	40	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02
29	4.0	4	0.018	5	5	3	39	2.4	50	$2 \cdot 10^{-3}$	0.02

Список литературы

1. Москаленко В.В. Электрический привод, - М.: Высшая школа, 2000г.
2. Фотиев М. М., Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. - М.: Металлургия, 1990г.
3. Алиев И.И., Справочник по электротехнике и электрооборудованию. - М.: Высшая школа, 2000г.
4. Рапутов Б.М. Электрооборудование кранов металлургических предприятий. М.: Металлургия, 1990г.
5. В. В. Москаленко, Справочник по электротехнике и электрооборудованию, - М.: "Мастерство", 2005г-366с.
6. М. П. Белов, Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов, -М: "Академия", 2004г. -575с.