



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Энергетика, автоматика и системы коммуникаций»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий
по дисциплине

«Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов»

Автор
Чубукин А.В.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Методические указания для выполнения практических работ предназначены для студентов направления 140400.62 очной формы обучения

Автор

Канд. техн. наук, доцент Анатолий Владимирович
Чубукин



Оглавление

ИЗУЧЕНИЕ	КОМПЛЕКТНОГО	ТИРИСТОРНОГО	
ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОДЕЛИ БУЗ609			5
1. Цель работы.....			6
2. Устройство и работа элементов привода БУЗ609			7
3. Описание устройства электропривода			14
Контрольные вопросы			27
ЛИТЕРАТУРА.....			28
ИЗУЧЕНИЕ	КОМПЛЕКТНОГО	ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА «КЕМТОР»			29
1. Цель работы.....			30
2. Описание комплектного тиристорного электропривода «КЕМТОР»			31
2.1. Функциональная схема комплектного электропривода			31
2.2. Тиристорный преобразователь цепи якоря			35
2.3. СИФУ выпрямителем напряжения якорной обмотки двигателя			36
2.4. Система импульсно-фазового управления тока возбуждения			41
2.5. Логический блок определения вращения			42
2.6. Преобразователь задания тока			47
2.7. Регулятор тока возбуждения			48
2.8. Датчик напряжения.....			50
2.9. Регулятор скорости			51
2.10. Узел токоограничения			53
2.11. Модуль задания тока			53
2.12. Регулятор тока			54
2.13. Задатчик интенсивности			55
Контрольные вопросы			57
ЛИТЕРАТУРА.....			58



ИЗУЧЕНИЕ	КОМПЛЕКТНОГО	ЭЛЕКТРОПРИВОДА	
ПОСТОЯННОГО ТОКА МОДЕЛИ «КЕМТОК»			59
1. Цель практической работы			60
2. Описание комплектного тиристорного электропривода «КЕМТОК»			61
2.1. Функциональная схема и силовой тиристорный преобразователь			61
2.2. Система импульсно-фазового управления			66
2.3. Регуляторы тока и скорости			72
2.4. Блок логики			77
Контрольные вопросы			82
ЛИТЕРАТУРА			83

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКТНОГО ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОДЕЛИ БУЗ609



1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа работы и схемотехники аналоговой системы управления на основе функциональной и принципиальной схем комплектного электропривода БУЗ609 с однофазным реверсивным тиристорным преобразователем.

2. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА БУЗ609

Устройства управления однофазные, реверсивные, тиристорные серии БУЗ609 предназначены для питания цепей якоря электродвигателя (исполнение Т), а также для питания обмоток возбуждения электрических машин (исполнение В) в системе реверсивного автоматизированного электропривода постоянного тока мощностью до 5,0 кВт [3].

Устройства исполнения Т (якорное управление) предусматривают введение обратной связи по частоте вращения и обеспечивают регулирование частоты вращения якоря двигателя в диапазоне 1...2000.

Устройства исполнения В (возбудителя) позволяют регулировать ток возбуждения электрических машин в электроприводах с реверсом поля.

Устройство управления представляет собой блок открытого исполнения с односторонним обслуживанием, который можно встроить в нишу технологического оборудования или нормализованный шкаф комплектной станции управления.

Силовые приборы и элементы устройства смонтированы на вертикальной панели, жестко соединенной с корпусом устройства, а органы системы управления размещены на поворотной передней плате с печатным монтажом. Плата управления соединяется с приборами силовой панели гибким жгутом при помощи двух разъёмных соединений. Для удобства наладки и проверки работы системы управления на плате предусмотрены контрольные выводы для индикации состояния отдельных узлов.

Связь устройства управления с другими устройствами осуществляется автономным монтажным соединением.

Исполнительными органами устройства управления являются силовые тиристоры, соединенные по противоположной однофазной мостовой схеме с питанием непосредственно от силовой сети. Включение тиристоров программируется системой управления, в состав которой входят элементы и приборы для формирования командных сигналов, функционально зависящих от величины задающего напряжения и состояния выходных параметров.

Для обеспечения требуемого коэффициента использования двигателя по току устройство управления снабжено дросселем,

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

который является автономным узлом. В зависимости от величины номинального выпрямленного тока дроссели изготавливаются четырех исполнений.

Питание обмотки возбуждения двигателя осуществляется от сети через автономный узел, входящий в состав системы управления устройства.

Широко регулируемый электропривод с устройством управления БУ3609 представляет замкнутую систему автоматического регулирования с обратной связью по регулируемому параметру. Для облегчения анализа, синтеза и наладки устройства вся система разбита на простейшие регуляторы, каждый из которых контролирует свой параметр, причем в системе подчиненного регулирования выходной сигнал внешнего регулятора является сигналом задания для подчиненного внутреннего.

Регулирование выходных параметров осуществляется путем изменения выпрямленного напряжения U_d тиристорного преобразователя в функции сигнала задания скорости. Система регулирования выполнена по двухконтурной структуре с ПИ-регуляторами.

В зависимости от назначения замкнутой системы электропривода применяют различные исполнения устройства БУ3609. Для стабилизации частоты вращения вала электродвигателя постоянного тока применяют исполнение Т, для стабилизации тока возбуждения электрических машин – исполнение В.

Функциональная схема комплектного электропривода исполнения Т с регулированием скорости двигателя постоянного тока по цепи якоря приведена на рис. 1. Привод включает следующие блоки: силовой, систему импульсно-фазового управления, блок логического управления и блок регуляторов.

Силовой блок состоит из двух комплектов тиристоров $V_{S1}...V_{S4}$ и $V_{S5}...V_{S8}$, включенных по мостовой схеме и работающих с отдельным управлением. Тиристорные комплекты выполнены на однооперационных тиристорах типа Т20, управляющие импульсы на которые подаются через разделительные импульсные трансформаторы Т1...Т4. В цепи переменного тока преобразователя установлен датчик тока (ДТ), выполненный на базе трансформатора тока.

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) осуществляет преобразование управляющего сигнала U_y в фазовый сдвиг управляющих импульсов, поступающих на силовые тиристоры преобразователя. Для управления двумя комплектами тиристоров

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

используется одна СИФУ, работающая по принципу вертикально-го управления.

Блок логического управления (ЛУ) реализует раздельное управление тиристорными комплектами, осуществляя подключение СИФУ к одному из комплектов. Переключение ЛУ происходит в функции выходных сигналов нелинейного звена и датчика проводимости тиристоров.

Блок регуляторов (БР) содержит регуляторы тока (РТ) и скорости (РС), а также элементы линеаризации характеристики управления тиристорного преобразователя.

Рассмотрим подробнее принцип работы устройства исполнения Т (якорное управление). На входе регулятора скорости РС (рис. 1) сравниваются сигнал задания U_3 с выхода датчика скорости ЗС и сигнал отрицательной обратной связи U_{oc} по частоте вращения, поступающий с тахогенератора BR . Выходной сигнал РС является задающим для регулятора тока РТ.

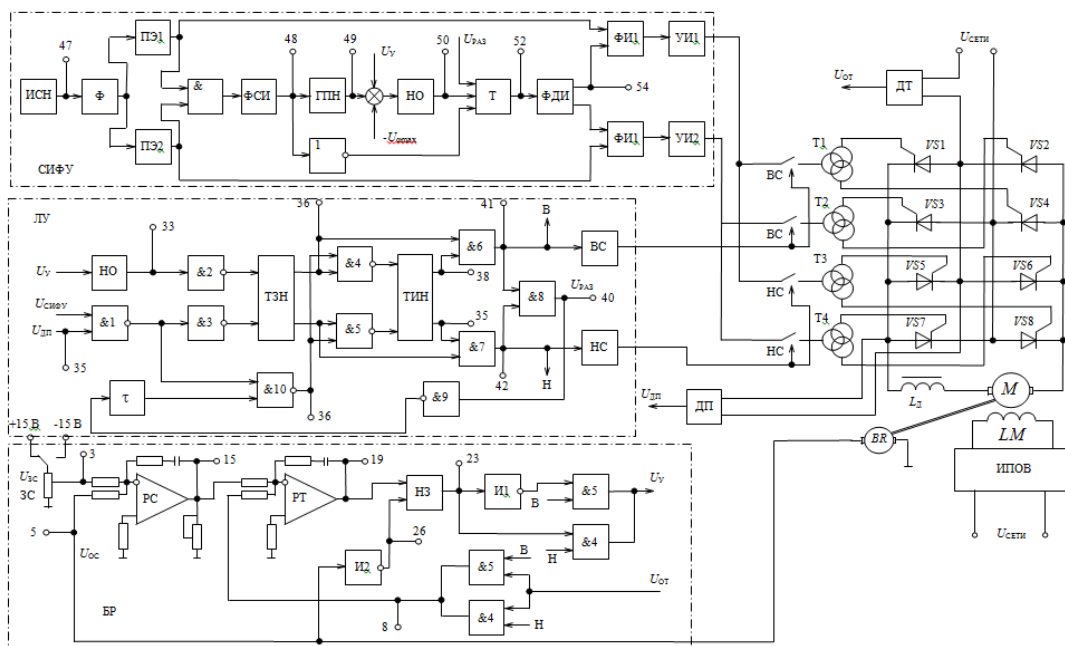


Рис. 1. Функциональная схема комплектного электропривода БУ3609

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

На входе РТ сравниваются сигнал с РС и сигнал отрицательной обратной связи UOT по току, поступающий с датчика тока ДТ управляемого выпрямителя УВ. Далее выходной сигнал РТ U_i через нелинейное звено НЗ поступает на вход системы импульсно-фазового управления СИФУ.

НЗ вводится в систему регулирования для компенсации нелинейности характеристики управления силового устройства, которая в значительной мере проявляется при переходе из режима непрерывных токов (РНТ) в режим прерывистых токов (РПТ). В РПТ, являющимся характерным для однофазных преобразователей, имеет место резкое снижение коэффициента усиления КУВ преобразователя [2]. Таким образом, ток преобразователя I_d нелинейно зависит от сигнала задания U_3 , а, следовательно, коэффициент передачи по току силового преобразователя

$$K_{УВ} = \frac{dI_d}{dU_3}$$

изменяется при переходе из РПТ в РНТ.

Соответственно снижается общий коэффициент усиления всей системы регулирования скорости, что приводит к ухудшению характеристик и переходных процессов в системе автоматического регулирования, а при малых токах может вызвать потерю устойчивости.

Поэтому для оптимизации переходных процессов в РПТ, необходима корректировка параметров регулятора в функции ЭДС и тока. Характеристика НЗ подбирается таким образом, чтобы его коэффициент передачи КНЗ был обратным коэффициенту передачи управляемого выпрямителя (УВ) КУВ. В этом случае результирующий коэффициент передачи звеньев «УВ — НЗ» не зависит от режима тока и для линеаризованного УВ является величиной постоянной $КНЗ \cdot КУВ = \text{const}$.

Форма внешней характеристики НЗ (рис. 2) достигается соответствующим подбором параметров НЗ в функции сигнала тока U_1 . Сдвиг характеристики по оси ординат осуществляется введением в НЗ сигнала положительной обратной связи U_e по ЭДС двигателя, поступающего с тахогенератора ВР (рис. 1) через инвертор И2, и зависит от знака U_e . Таким образом, выходное напряжение НЗ равно:

$$U_{НЗ} = K_{НЗ} \cdot U_{ВХ} + U_C = U_I + U_e.$$

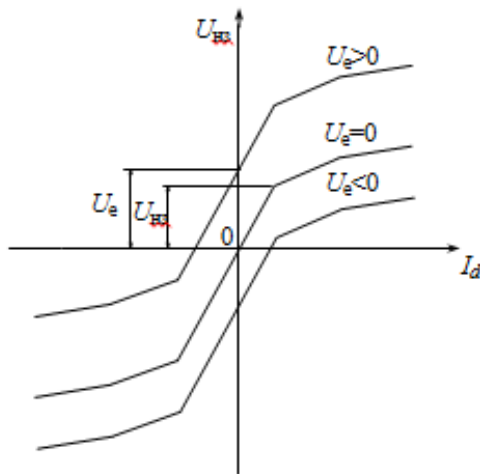


Рис. 2. Характеристика нелинейного звена

При разгоне двигателя ЭДС E увеличивается, а ток I_d (рис. 2) уменьшается, что соответственно снижает $K_{нз}$. Таким образом, $K_{нз} = f(E)$. Для сохранения постоянства коэффициента передачи всей системы $K_{нз}$ необходимо увеличить, что и достигается сдвигом линеаризованной характеристики НЗ (рис. 2). Выходной сигнал НЗ, определяющий ток и ЭДС двигателя, поступает в СИФУ. Этот сигнал является управляющим (U_y) для СИФУ и задает угол регулирования α , определяющий выпрямленное напряжение $U_d = E + I_d R$.

СИФУ является одноканальной и выполнена по вертикальному принципу управления с линейным опорным напряжением. Выходные импульсы СИФУ поступают на комплекты тиристорных «Вперед» («В») и «Назад» («Н»). В СИФУ предусмотрена возможность получения узких и широких управляющих импульсов, необходимых для применения в силовых схемах выпрямления соответственно с тиристорами или оптотиристорами.

Для осуществления отдельного управления тиристорным преобразователем служит логическое переключающее устройство ЛУ, представляющее собой узел отдельного управления силовым преобразователем. ЛУ работает в функции выходного сигнала нелинейного звена $U_{нз}$, характеризующего направление вращения, и сигнала блокировки $U_{бл}$, характеризующего проводя-

щее состояние тиристоров.

Сигнал блокировки, поступающий с безинерционного датчика проводимости (ДП) тиристоров (рис. 1), запрещает переключение ЛУ при протекании тока через тиристоры. ДП работает по принципу контроля напряжения на тиристорах катодной и анодной групп УВ. При отсутствии напряжения на тиристорах (проводящее состояние вентилях) $U_{\text{Бл}}=0$ запрещается переключение каналов В и Н и логических ключей ЛУ.

При изменении полярности сигнала задания U_3 , поступающего на вход РС с выхода ЗС, выходные сигналы РС, РТ и НЗ также реверсируются. Это приводит к сдвигу углов в направлении α_{max} и отключению тиристоров. При спаде тока, протекавшего по последней перед реверсом задания группе тиристоров, до нуля ДП дает разрешение на переключение каналов ЛУ ($U_{\text{Бл}}=1$).

ЛУ переключается в положение, когда каналы В и Н выключены, после чего начинается отсчет паузы, необходимой для восстановления запирающих свойств тиристоров.

После отсчета выдержки времени ЛУ дает разрешающий сигнал на включение противоположной группе силовых тиристоров. Ток якоря меняет направление, двигатель тормозится, а затем разгоняется в обратном направлении. Наличие контактов реле $K1$, установленных в обвязке РС, ускоряет динамические процессы преобразователя при реверсе.

Рассмотрим особенности работы устройства исполнения В на основе его функциональной схемы (рис. 3). Функциональная схема возбудителя (рис. 3), работающего в системе регулирования тока нагрузки, по своей структуре и работе аналогична схеме якорных устройств. Отличие заключается в следующем: регулятор, выполняющий функции ПИ-регулятора скорости, здесь отсутствует, а регулятор тока является регулятором тока возбуждения; отсутствуют источник питания обмотки возбуждения двигателя (ИПОВМ), инвертор И1, реле $K1$; предусмотрен узел защиты тиристоров от перенапряжений УЗП, возникающих со стороны питающей сети при отключении индуктивной нагрузки.

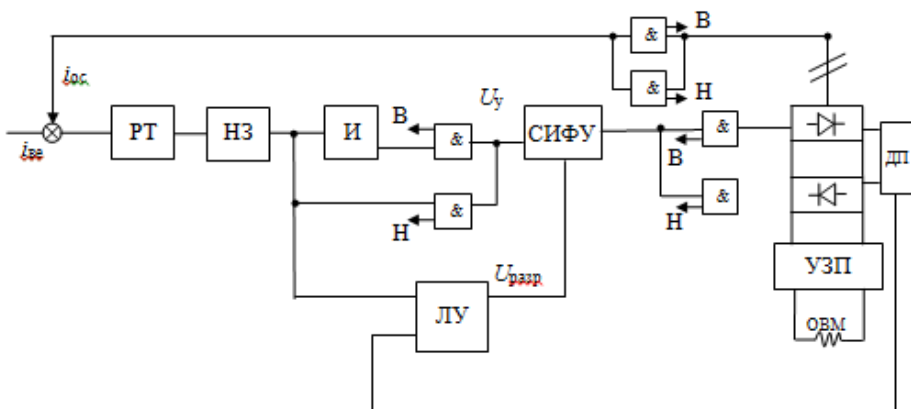


Рис 3. Схема функциональная возбудителя (исполнение В)

3. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Основу силовой части устройства управления (рис. 4) составляют две группы тиристоров $VS1...VS4$ и $VS5...VS8$, работающие с раздельным управлением. Тиристорные группы могут быть выполнены на тиристорах типа $T10$, а также на оптронных тиристорах (для устройства управления с выходным $I_H=10$ A). На рис. 4. представлена схема силового преобразователя, выполненная на оптотиристорах.

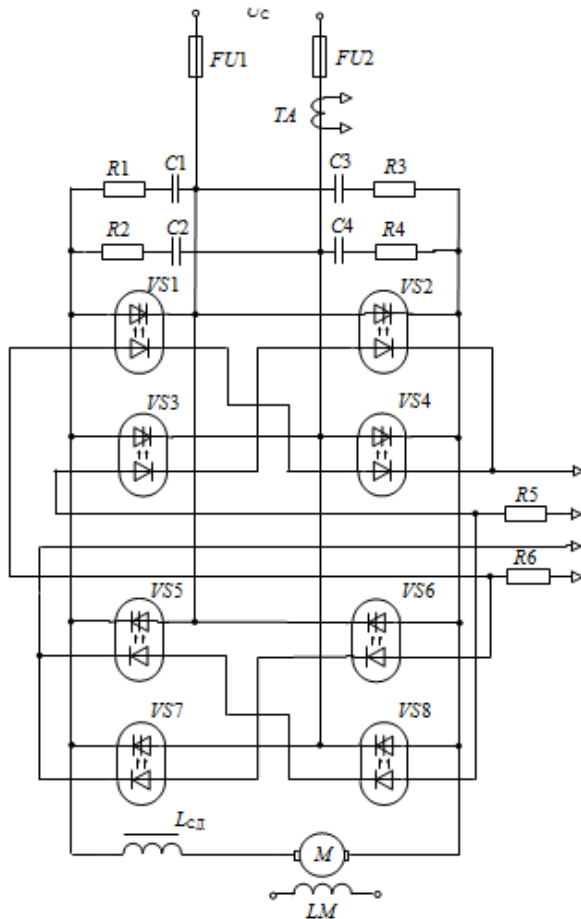


Рис. 4. Принципиальная схема силового тиристорного преобразователя

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

Применение оптронных тиристорov позволяет исключить импульсные трансформаторы со вспомогательными элементами, упростить систему регулирования и управлять широкими (до 180°) импульсами. Это преимущество позволяет исключить в возбудителях проблему токоудержания тиристорov.

Для уменьшения перенапряжений, вызванных запираением тиристорov в процессе их коммутации, используются защитные RC-цепочки R1C1... R4C4, включенные параллельно оптоотиристорам. Максимально-токовую защиту обеспечивают быстродействующие плавкие предохранители FU1, FU2. Снижение зоны прерывистых токов при малой нагрузке двигателя достигается включением сглаживающего дросселя ЛСД.

Резисторы R5, R6 ограничивают потребляемый от СИФУ ток, протекающий через фотодиоды оптоотиристорov.

Трансформатор тока ТА формирует сигнал отрицательной обратной связи по току i_{oc} .

Питание обмотки возбуждения двигателя LM осуществляется от стабилизированного источника ИПОВМ якорного устройства (рис. 1). При этом изменение напряжения на нагрузке должно быть, не более $\pm 2\%$ при колебаниях напряжения питающей сети 0,85... 1,1 Ун.

Рассмотрим работу системы импульсно-фазового управления тиристорным преобразователем (СИФУ). Функциональная схема СИФУ приведена на рис.1 и включает в себя: источник синхронизирующего напряжения ИСН; фильтр Ф; пороговые элементы ПЭ1 и ПЭ2; формирователь синхронизирующих импульсов ФСИ; генератор пилообразного напряжения ГПН; нуль-орган НО (компаратор); RS- триггер Т; формирователь длительности импульсов ФДИ; распределители импульсов ФИ1, ФИ2; усилители импульсов УИ1, УИ2; импульсные трансформаторы Т1...Т4. ИСН и Т1...Т4 расположены на силовой панели, а остальные узлы — на печатной плате СР.

Принципиальная схема СИФУ приведена на рис. 5 и 6. Диаграммы напряжений на отдельных элементах СИФУ показаны на рис. 7.

Схема СИФУ, приведенная на рис. 5, работает следующим образом. Синхронизирующее фазное напряжение U_C , поступающее с обмотки питающего трансформатора TV в СИФУ, отфильтровывается и сдвигается на 30 эл. град. фильтром Ф (R95, R96, C23). С выхода фильтра напряжения с помощью пороговых элементов ПЭ1 (R97, R100, VT56, VT58) и ПЭ2 (R98, R99, VT57,

VT59) преобразуется в противофазные прямоугольные импульсы (рис. 7, б, с).

Длительность указанных импульсов определяет зону разрешения выдачи управляющих импульсов на тиристоры. Например, для группы «В» («Вперед») управляющие импульсы на тиристоры VS1, VS4 подаются в момент времени t_1 – t_4 (рис. 7, с) что исключает одновременную выдачу управляющих импульсов в двух противофазных тиристорах выпрямительного моста.

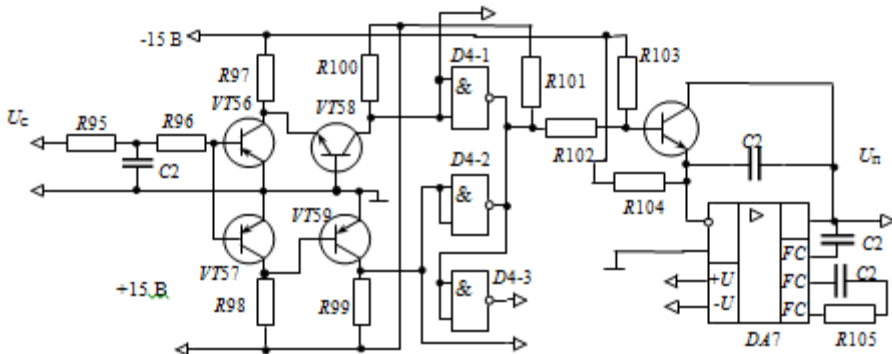


Рис. 5. Принципиальная схема СИФУ (устройство синхронизации и генератор пилообразного напряжения)

Длительность протекания тока через силовые тиристоры составляет не более 150° (рис. 7, а). В моменты отсутствия импульсов с обоих пороговых элементов, т.е. в моменты перехода синусоиды U_c через нуль, на выходе ФСИ ($D4-1$, $D4-2$), формируется синхроимпульс (сигнал «1»), которым осуществляется разряд конденсатора $C24$ ГПН ($R102$... $R105$, $VT60$, $C24$... $C26$, $DA7$) до нуля через транзистор $VT60$. Заряд конденсатора $C24$ осуществляется по цепи: $-15 В$, $R104$, $C24$, $DA7$.

В момент исчезновения синхроимпульса t_5 (рис. 7, б) напряжение на ГПН начинает снова нарастать от 0 до 10 В.

Таким образом, ГПН генерирует пилообразное опорное напряжение U_n двойной частоты питающей сети (100 Гц), которое поступает на вход нуля – органа НО ($DA8$, $C27$, $R109$).

Схема СИФУ, представленная на рис. 6, содержит нуль-орган, RS-триггер, формирователь длительности управляющего импульса и усилитель импульсов.

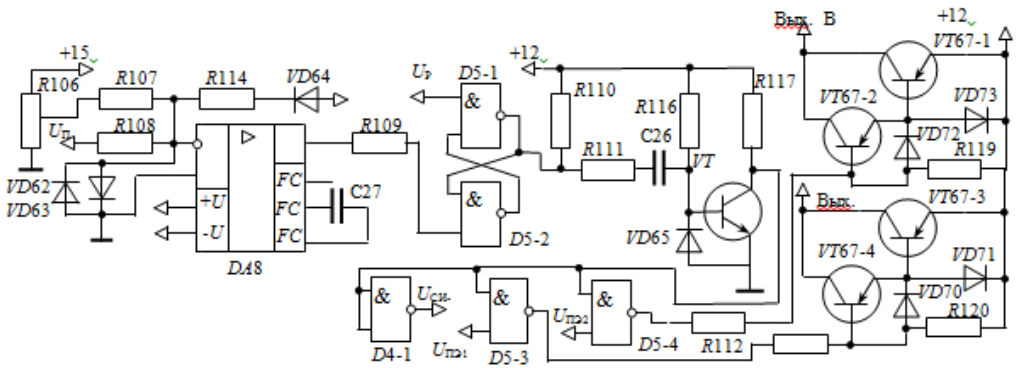


Рис. 6. Принципиальная схема СИФУ (компаратор, триггер, формирователь длительности импульсов и усилитель импульсов)

На входе НО U_p сравнивается с управляющим напряжением U_y и с сигналом ограничения α_{\max} (-15 В, R106, R107). Сравнение происходит по токам. Когда $i_{U_{пил}} > i_{огр} \alpha_{\max} - i_{U_y}$, НО изменяет свое состояние с «1» на «0», что приводит к срабатыванию RS – триггера (D5-1, D5-2), и на его выходе появляется сигнал «0» – моменты t_2-t_3 (рис. 7, i). Этот сигнал поступает на вход ФДИ (R111, R110, R116, R117, VD65, VT66, C28), и конденсатор C28, заряженный ранее по цепи: +12 В, R110, R111, C28, VT56, общая точка (О.Т.), разряжается через D5-1 (рис. 6). Таким образом, на выходе ФДИ формируется управляющий импульс длительностью $\tau = C28 \cdot R111$. Процессы, происходящие в схеме при реверсе, иллюстрируются диаграммами на рис. 8.

До момента времени t_1 работал комплект тиристоров «В» с током i_B , в момент времени t_1 была подана команда на реверс тока. Разрешение на снятие управляющих импульсов с комплекта «В» и подачу их на комплект «Н» от ЛУ поступает после падения тока до нуля, т.е. в момент времени t_2 . Одновременно с переключением импульсов осуществляется скачкообразное изменение управляющего напряжения U_2 (рис.8, e) в момент t_2 .

Если не осуществить выдачу повторных импульсов, величина бестоковой паузы ($t_f - t_1$) может достичь 1,5...2 периодов дискретности выпрямителя, что обуславливает большие переерегулирования, а иногда может вызвать и автоколебания в замкнутой системе регулирования.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

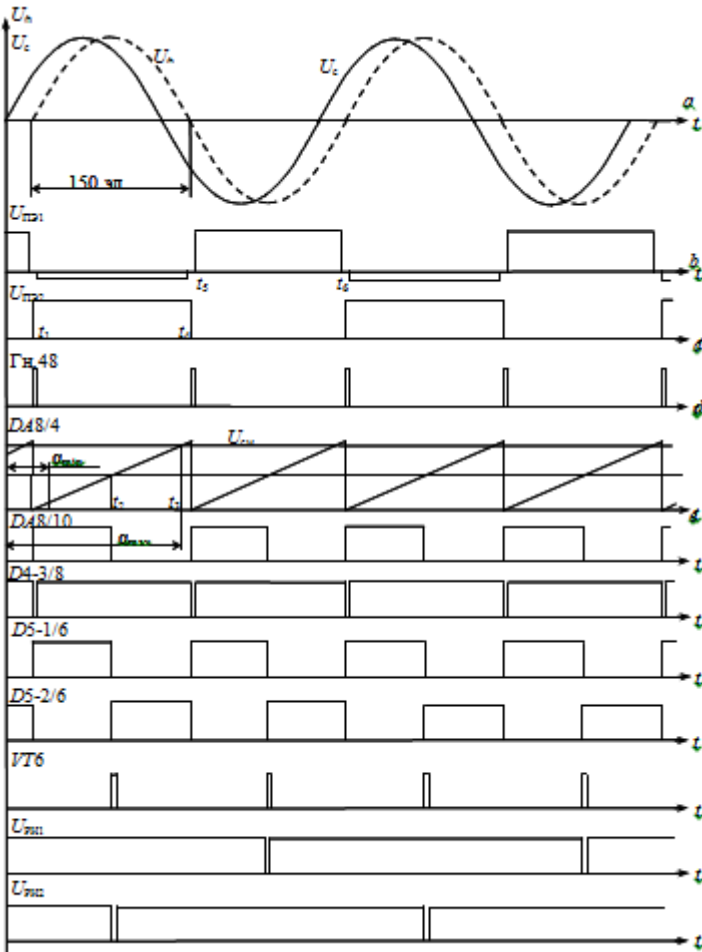


Рис. 7. Диаграммы функционирования СФУ

Для исключения этого с ЛУ подается сигнал $U_{\text{разр}}$. На триггер $D5-1$, $D5-2$ и подготавливает его к выдаче повторного импульса управления. В момент t_3 , когда $U_{\text{пил}} > U_{\gamma} - U_{0\text{max}}$ выдается повторный импульс.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

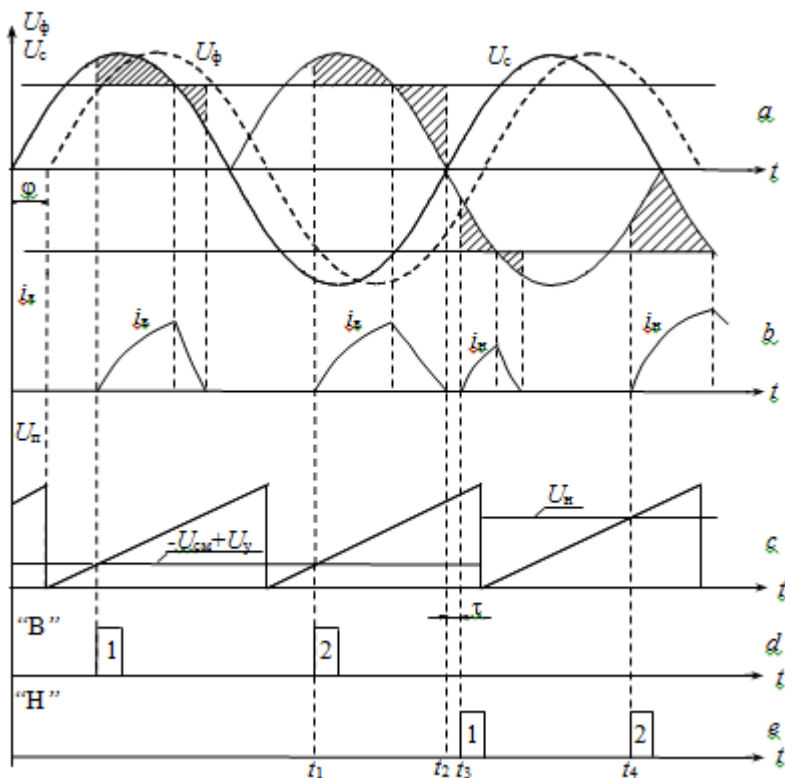


Рис. 8. Диаграммы напряжений и токов при реверсе преобразователя

Управляющие импульсы поступают на вход распределителей импульсов ФИ1, (Д5-3) и ФИ2(Д5-4), где они логически перемножаются с соответствующими сигналами с ПЭ1 и ПЭ2 (рис. 7, i, m):

$$U_{\text{ФИ1}} = U_{\text{УИ}} U_{\text{ПЭ1}},$$

$$U_{\text{ФИ2}} = U_{\text{УИ}} U_{\text{ПЭ2}}.$$

где $U_{\text{ФИ1}}$, $U_{\text{ФИ2}}$ – выходные сигналы с ФИ1, ФИ2;

$U_{\text{УИ}}$ – сигнал управляющего импульса;

$U_{\text{ПЭ1}}$, $U_{\text{ПЭ2}}$ – выходные сигналы с ПЭ1, ПЭ2.

В моменты равенства нулю $U_{\text{ФИ1}}$ и $U_{\text{ФИ2}}$ соответственно усилитель импульсов УИ1 (V767-1, V767-2, V768, V769, R119) или

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

УИ2 ($V767-3$, $V767-4$, $V770$, $V771$, $R120$) открыт, и на силовые тиристоры поступает управляющий импульс (рис. 7, k , l).

Датчик контроля проводимости тиристоров (датчик проводимости ДП) выдает информацию о состоянии управляемых тиристоров силового моста («Открыт», «Закрыт»).

Схема электрическая принципиальная ДП и его подключения к блоку логического управления ЛУ приведена на рис. 9.

Функционально ДП состоит из измерителей напряжений ($R57$, $R58$, $VD25...VD27$), элемента гальванической развязки ($VD28$) и усилителя сигнала ($V729$, $V730$, $R63$, $R64$). Измерители напряжения подключаются параллельно участкам «анод-катод» тиристоров.

Если тиристоры обеих групп закрыты, т.е. ток нагрузки равен нулю, ДП шунтирует силовую схему, и напряжение сети падает на резисторах $R57$, $R58$. При этом оптронный тиристор $VD28$ открывается, а транзисторы $V729$, $V730$ закрываются. Таким образом, на вход ЛУ поступает сигнал $U_{дп}$, равный логической «1». Этот сигнал является разрешающим для переключения ЛУ.

При открывании силовых тиристоров одно из плеч делителя $R57$, $R58$ оказывается зашунтированным. Это приводит к закрыванию $VD28$ и открыванию $V729$, $V730$, а значит $U_{дп}$ равен «0» и блокирует переключение ЛУ.

Функциональная схема ЛУ приведена на рис. 1, а принципиальная схема на рис. 9. ЛУ включает следующие устройства:

ноль-орган НО, обеспечивающий высокую чувствительность на входе устройства;

элементы совпадения «И-НЕ» ($\&2... \&9$), «И» ($\&1$, $\&10$);

триггер заданного положения ТЗП;

триггер истинного положения ТИН;

узел выдержки времени τ ;

логические транзисторные ключи Vc и Vn ;

усилители импульсов УИ1, УИ2.

ЛУ выполняет следующие функции:

выбор нужного направления работы «Вперед» («В») или «Назад» («Н») в зависимости от знака входного сигнала;

включение соответствующих ключей Vc или Vn , разрешающих выдачу управляющих импульсов, поступающих в СИФУ на соответствующий комплект тиристоров, а также подачу на вход в СИФУ U_c , блокирующего управляющие импульсы в течение паузы;

осуществление блокировки входа ЛУ сигналами $U_{дп}$ датчи-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

ка проводимости ДП тиристоров и $U_{\text{СИФУ}}$;

создание необходимой для надежной работы выдержки времени между снятием импульсов с работавшего ранее комплекта и подачей их на вступающий в работу комплект тиристоров.

Управляющий сигнал с выхода регуляторов поступает на вход НО (микросхема $DA6$ на рис. 9). В момент времени, когда сигнал $U_{\text{ДП}}$ с ДП равен логической «1» и не выдаются управляющие импульсы $U_{\text{СИФУ}}$ через схемы совпадения $D1-1$ и $D1-2$ (&1, &2) сигнал с выхода НО проходит на вход ТЗП ($D1-3$, $D1-4$) и устанавливает его в определенное состояние. Элементы совпадения $D2-1$ и $D2-2$ (&4, &5) при блокирующем сигнале $U_{\text{Бл}}$, равном «1», переводят ТИП ($D2-3$, $D3-4$) в то же состояние. Выходы обоих триггеров подаются на схемы совпадения $D3-1$ и $D3-2$ (&6, &7) и переключают ключи Vc ($V736$) или Hc ($V737$). Сигналы Vc и Hc усиливаются соответствующими усилителями УИ1 ($V738-1$, $V738-2$, $V739$, $V740$), УИ2 ($V738-3$, $V738-4$, $V742$, $V743$) и подаются на соответствующие комплекты тиристоров.

При наличии тока в силовой цепи с ДП поступает сигнал запрета «0» в результате на выходе схемы &1 «0», ТЗП не переключается до исчезновения тока нагрузки.

При реверсировании управляющего сигнала реверсируется сигнал на выходе НО. Ток нагрузки начинает падать и при токе, равном нулю, сигнал $U_{\text{ДП}}$ становится равным «1», что дает возможность переключиться элементам &1...&3 и перевести ТЗП в новое состояние. Таким образом, ТЗП и ТИП находятся в противоположном состоянии и на выходах &6 ($D3-1$) и &7 ($D3-2$) появляются сигналы «1». При этом Vc и Hc отключаются, сигнал U_p с элемента &8 ($D3-3$) блокирует прохождение управляющих импульсов с СИФУ, и начинается отсчет выдержки времени элементом τ ($C19$, $VD33$) до приведения триггеров в новое состояние.

При наличии сигнала «1» на выходе &9 ($D3-4$) конденсатор $C19$ начинает заряжаться, и, как только напряжение на нем достигает «1», выходной сигнал $U_{\text{Бл}}$ элемента &10 ($V732$, $V733$, $R65$) также становится равным «1», ТИП переводится в новое состояние, соответствующее состоянию ТЗП. Таким образом, ключи Vc и Hc переключаются, и управляющие импульсы поступают на другой комплект тиристоров.

Комплектный электропривод представляет собой двухконтурную систему регулирования скорости, в которой контур регу-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

лирования тока является подчиненным по отношению к контуру регулирования скорости. Задающим сигналом для контура тока является выходное напряжение регулятора скорости. В этом случае достаточно просто реализуется ограничение величины тока в переходных режимах за счет ограничения выходного напряжения регулятора скорости, что достигается путем регулировки переменного резистора $R20$, установленного на выходе регулятора скорости РС (рис. 1).

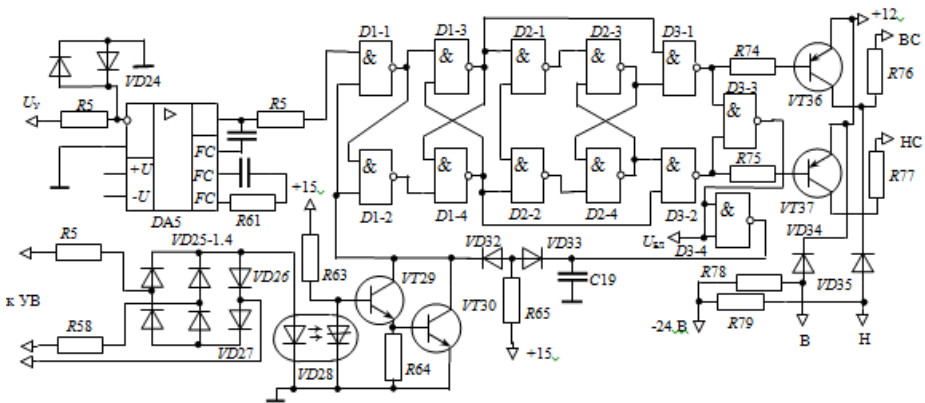


Рис. 9. Принципиальная схема блока логического управления

В якорных устройствах управления используется регулятор скорости РС, который выполнен на операционном усилителе $DA1$ и дополнительных элементах, обеспечивающих его устойчивую работу (рис. 10).

Задающее напряжение U_3 и напряжение обратной связи по скорости (напряжение тахогенератора BR) U_{0C} суммируются на инвертирующем входе РС. Выходное напряжение регулятора U_{PC} регулируется потенциометром $R20$, определяя величину динамического тока якоря двигателя.

Элементы $R21$, $C2$ выбираются в зависимости от параметров объекта регулирования и включаются в диагональ реверсирующего мостика, собранного на контактах герконного реле $K1$, которое через диод $VD1$ подключено параллельно задатчику скорости (ЗС). При реверсе напряжения на ЗС срабатывает $K1$ и переключает гибкую обратную связь $R21$, $C2$, в результате конденсатор $C2$ подключается к $DA1$ обратной полярностью и реверс

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

выходного напряжения РС и двигателя M ускоряется. Это особенно важно при больших диапазонах регулирования частоты вращения двигателя 1:500...1:2000, когда величина задающего сигнала мала, а время инвертирования РС велико.

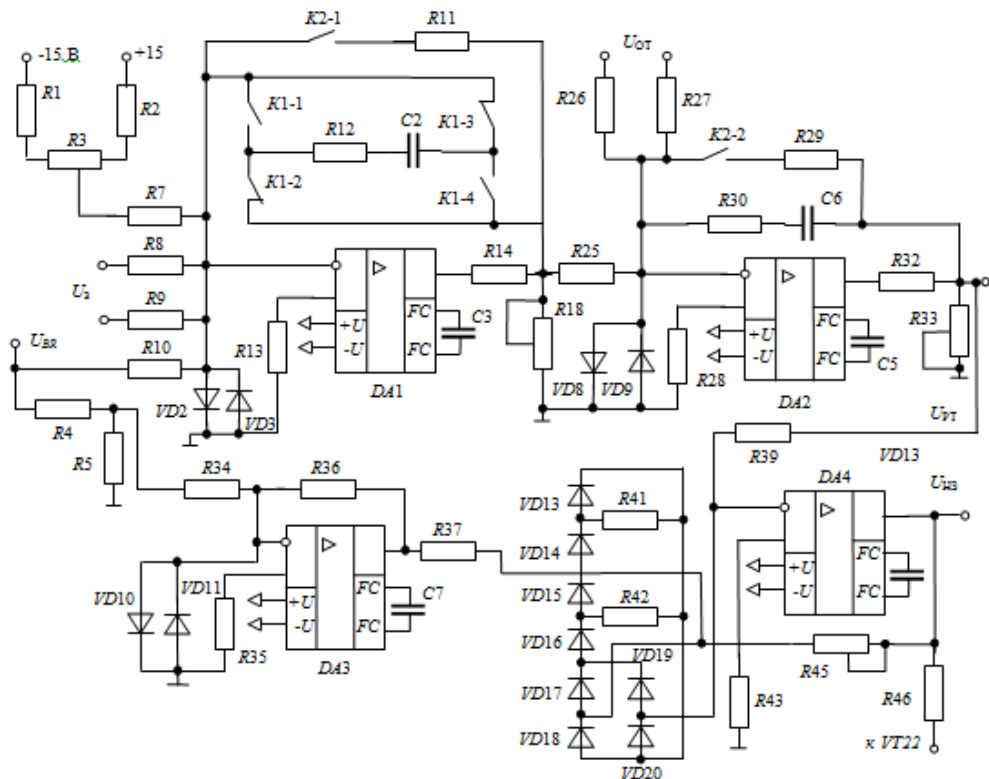


Рис. 10. Принципиальная схема блока регуляторов

Потенциометром $R3$ устанавливается нулевое напряжение на выходе $DA1$. Элемент $C3$ осуществляет внутреннюю коррекцию интегрального усилителя.

Регулятор тока РТ построен на микросхеме $DA2$. На входе РТ суммируются сигналы задания тока якоря через резистор $R25$ и обратной связи по току через $R26$, $R27$, поступающего с датчика тока ДТ.

Нелинейное звено НЗ выполнено на микросхеме $DA4$. В цепь обратной связи включен нелинейный делитель ($VD13$... $VD20$, $R41$, $R42$), который по-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

вочную характеристику с переменным коэффициентом усиления.

Динамическая структура электропривода БУ3609 не относится к типу классических систем подчиненного регулирования [1]. Настройка его регуляторов тока и скорости не производится на технический или симметричный оптимумы. За счет использования нелинейного звена в структуре электропривода (рис. 2) линеаризуется характеристика управления тиристорного преобразователя как при работе его в зоне непрерывных, так и в зоне прерывистых токов. Кроме того, разработчики комплектного электропривода считают тиристорный преобразователь безинерционным звеном [2]. В этих условиях структурная схема системы регулирования скорости имеет вид, представленный на рис. 11 а, б. На рис. 11, а приведена структурная схема в относительных единицах с выходной координатой e_v — относительная ЭДС двигателя. В качестве базовой величины для относительной системы единиц принято максимальное выпрямленное напряжение ТП $U_d = K_m E_m$, где E_m - максимальное значение линейной ЭДС на

входе тиристорного преобразователя, $K_m = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}$, где m — коэффициент пульсности выпрямленного напряжения на выходе тиристорного преобразователя.

На рис. 11, б приведена структурная схема САР скорости в абсолютных единицах.

На приведенных структурных схемах введены следующие обозначения:

$\frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$ — передаточная функция фильтра, оптимизирующего переходный процесс по управляющему воздействию;

$K_k \frac{T_k p + 1}{T_k p}$ — передаточная функция ПИ-регулятора скорости;

сти;

$K_i \frac{T_i p + 1}{T_i p}$ — передаточная функция ПИ-регулятора тока;

K_{Π} — линеаризованный коэффициент передачи тиристорного преобразователя;

$\frac{1/R_3}{T_3 p + 1}$ — передаточная функция электромагнитной части двигателя постоянного тока;

ти двигателя постоянного тока;

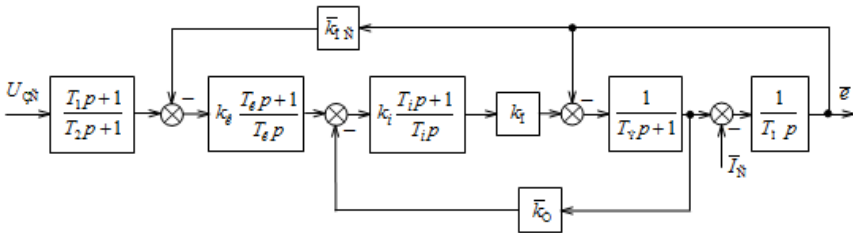
$\frac{R_3}{c T_M p}$ — передаточная функция механической части электропривода;

тропривода;

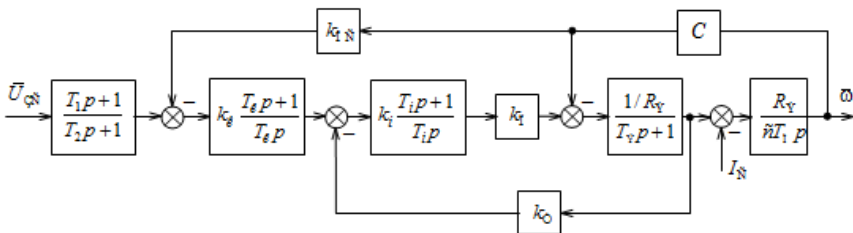
\bar{k}_{OC}, k_{OC} — соответственно относительный коэффициент передачи скорости и абсолютный коэффициент передачи по скорости;

\bar{k}_T, k_T — коэффициент передачи датчика тока и относительный коэффициент передачи по току;

C — конструктивный коэффициент двигателя.



а) структурная схема САР скорости в относительных единицах



б) структурная схема САР скорости в абсолютных единицах

Рис. 11. Структурная схема САР скорости электропривода БУЗ3609



Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

Приведенная структурная схема комплектного электропривода может использоваться для математического моделирования с целью проверки правильности выбора параметров регуляторов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом осуществляется линеаризация характеристики управления тиристорным преобразователем?
2. Какую функцию выполняет датчик проводимости вентиляей?
3. На каком принципе функционирует датчик проводимости вентиляей?
4. Какие основные блоки входят в состав системы импульсно-фазового управления?
5. Объясните назначение блока логического управления.
6. Какие виды обратных связей используются в комплектном приводе?
7. Какого типа регуляторов предусмотрены в контурах тока и скорости?
8. Объясните принцип работы реверсивного тиристорного преобразователя.
9. Объясните алгоритм работы СИФУ при реверсе двигателя.
10. Обладает ли контур скорости астатическими свойствами по управляющему и по возмущающему воздействию?



ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Б.Онищенко, М.И. Аксенов, В.П.Грехов, А.И.Нитиевская (под общ. ред. Г.Б.Онищенко): Автоматизированный электропривод промышленных установок.– М.:РАСХН, 2001.

2. *Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/ М П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов –М.: Издательский центр «Академия», 2004.*

3. Устройства управления однофазные, реверсивные, тиристорные БУЗ609: техническое описание и инструкция по эксплуатации.– СССР, Москва.

**ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА «КЕМТОР»**





1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью практической работы является изучение принципа работы и схмотехники аналоговой двухзонной системы регулирования скорости по функциональной и принципиальной схемам комплектного электропривода постоянного тока «Кемтор» с тиристорным преобразователем

2. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКТНОГО ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА «КЕМТОР»

2.1. Функциональная схема комплектного электропривода

Комплектный тиристорный электропривод постоянного тока «Кемтор» применяется в приводах главного движения токарных, фрезерных, сверлильных и других металлорежущих станков с ЧПУ. Привод представляет собой функционально завершённую систему регулирования двигателя постоянного тока, работающего в двух зонах.

Современные двигатели постоянного тока, применяемые в приводах главного движения металлорежущих станков, характеризуются большим удельным крутящим моментом и высокими динамическими свойствами [1]. Двигатель с независимым возбуждением имеет две обмотки: якорную и возбуждения, которые питаются от отдельных управляемых выпрямителей. Двигатель с независимым возбуждением обеспечивает двухзонное регулирование скорости. В первой зоне скорость регулируется изменением напряжения на якоре от нуля до номинального значения при поддержании номинального магнитного потока. Во второй зоне происходит регулирование скорости двигателя, связанное с изменением магнитного потока от номинального до минимального значения при поддержании номинального напряжения на якоре двигателя. В первой зоне скорость меняется от нуля до номинального значения, во второй зоне — от номинального значения до максимального, ограниченного свойствами двигателя [2].

Возможности двигателя работающего в системе двухзонного регулирования, могут быть охарактеризованы графиками (рис.1). По оси абсцисс отложены значения угловой скорости ω , а по оси ординат — предельные значения допустимых величин тока якоря I_a , момента двигателя M и мощности P , принятой в первом приближении равной $P=UI$.

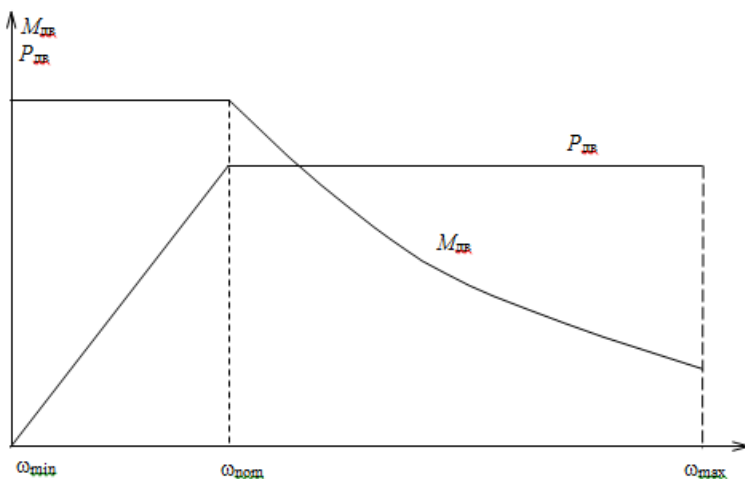


Рис. 1. Графики зависимости мощности и момента двигателя при двухзонном регулировании скорости

При обеспечении требуемого режима охлаждения во всем диапазоне регулирования скорости длительно допустимым значением тока двигателя является его номинальный ток $I_{ном}$. Поскольку на всех скоростях ω от нуля до номинального значения магнитный поток остается номинальным, то и допустимое значение момента двигателя остается равным номинальной величине.

На скоростях выше основной, допустимое значение момента снижается в соответствии с выражением $M = C_e I_a \Phi$, а допустимая мощность остается постоянной, так как напряжение $U_H = \text{const}$. Таким образом, применение двухзонного регулирования скорости двигателя целесообразно в тех случаях, когда момент нагрузки механизма, приводимого в движение, на высоких скоростях меньше, чем на скоростях ниже основной. В этом случае установленная мощность двигателя получается меньше, чем при обеспечении всего диапазона за счет изменения напряжения при номинальном значении Φ_H .

Функциональная схема системы двухзонного регулирования приведена на рис. 2. На схеме указаны следующие основные блоки комплектного электропривода «Кемтор»

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

1. Задатчик интенсивности преобразует задающее напряжение, изменяющееся скачкообразно, в линейно нарастающее или спадающее с определенным темпом напряжение.

2. Дифференцирующая RC-цепочка улучшает динамические характеристики контура регулирования скорости.

3. Регулятор скорости осуществляет сравнение заданной скорости двигателя с его действительной скоростью, на выходе регулятора скорости формируется управляющее воздействие в виде задания для контура тока.

4. Блок токоограничения ограничивает задание тока так, чтобы на выходе регулятора скорости напряжение не превышало 11,5 В по абсолютному значению.

5. Модуль задания тока независимо от полярности входного напряжения формирует на выходе это напряжение с той же амплитудой, но всегда с положительным знаком.

6. Регулятор тока сравнивает задание тока с сигналом действительного якорного тока, причем на выходе получается корректирующее воздействие, которое преобразуется системой импульсно-фазового управления в новый угол отпирания тиристоров и, соответственно, ток отвечающий заданному значению.

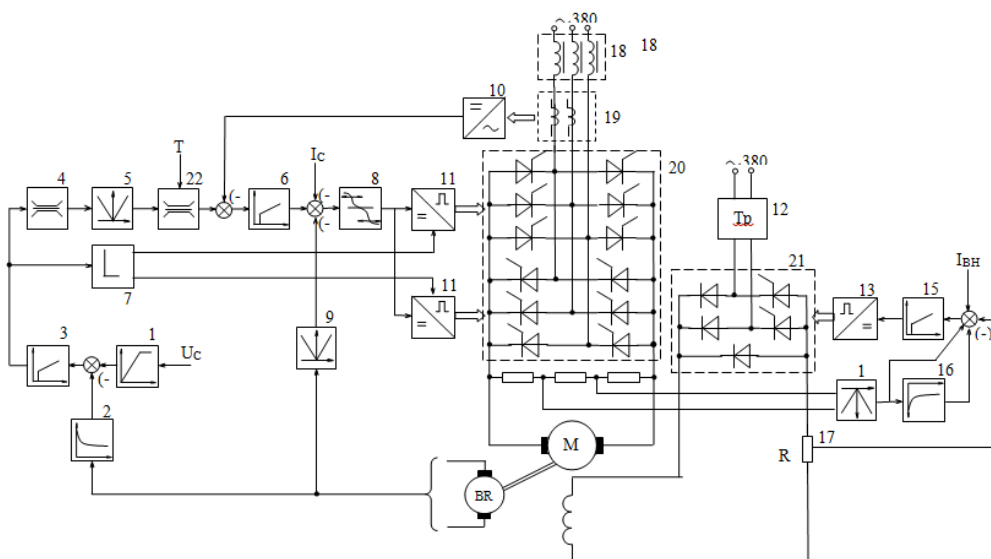


Рис. 2. Функциональная схема комплектного электропривода «KEMTOP»

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

1. Блок, который определяет направление вращения, причем его сигналы разрешают или запрещают работу одного из двух комплектов тиристорных управляемых выпрямителей якорного напряжения.

2. Блок задания тока при нулевой скорости начального тока регулирует начальный угол отпирания тиристорov с целью плавного пуска двигателя.

3. Формирователь сигнала, пропорционального скорости двигателя, с помощью тахогенератора.

4. Формирователь сигнала, пропорционального якорному току.

5. Система импульсно-фазового управление тиристорным преобразователем, питающим цепь якоря.

6. Трансформатор, питающий тиристорный преобразователь обмотки возбуждения двигателя.

7. Система импульсно-фазового управление тиристорным выпрямителем обмотки возбуждения.

8. Блок формирования сигнала модуля якорного напряжения.

9. Регулятор тока возбуждения.

10. Дифференцирующая цепь для улучшения динамических характеристик контура регулирования напряжения якоря во второй зоне.

11. Датчик тока возбуждения — активное сопротивление (шунт), падение напряжения на котором используется пропорционально току возбуждения.

12. Коммутационный трехфазный дроссель сетевого напряжения.

13. Трансформаторы тока, используемые в датчике тока якоря двигателя.

14. Реверсивный тиристорный преобразователь, питающий якорь двигателя.

15. Нереверсивный выпрямитель для питания обмотки возбуждения.

16. Рассмотрим принцип работы отдельных блоков комплектного электропривода на основе принципиальных схем [3].

2.2. Тиристорный преобразователь цепи якоря

Тиристорный преобразователь цепи якоря представляет собой трехфазный реверсивный выпрямитель, выполненный по мостовой схеме. Изменение направления вращения двигателя, то есть реверс, в принципе может осуществляться двумя способами: путем смены полярности якорного напряжения или смены полярности напряжения возбуждения, то есть, реверсом тока якоря или реверсом тока возбуждения. У каждого из двух способов есть свои преимущества и недостатки, но лучшими динамическими показателями характеризуется реверс тока якоря, несмотря на то, что для этой цели необходимы более мощные тиристоры, которые достаточно дороги. В тиристорном преобразователе «Кемтор» применяется реверс по цепи якоря двигателя.

Для реверсирования напряжения преобразователя используются два встречно включенных комплекта тиристорных выпрямителей для якорной обмотки, питаемые от сети. Выпрямители, входящие в состав комплекта выполнены по трехфазной мостовой схеме, пульсации выпрямленного напряжения имеют частоту 300 Гц, что гарантирует малую пульсацию тока двигателя и устраняет необходимость в дополнительном дросселе для фильтрации тока якоря, тем более, что двигатель обладает немалой индуктивностью якоря, которая выполняет роль фильтра. Комплекты выпрямителей подсоединены к клеммам двигателя встречно-параллельно и в зависимости от того, какой из них работает, изменяется полярность приложенного напряжения. Одновременная работа двух комплектов выпрямителей недопустима, так как возникает короткое замыкание между ними, и поэтому они управляются раздельно во времени. Если необходимо переключить управление с одного выпрямителя на другой, следует выждать около 4 мсек с целью запираания последнего открытого тиристора и только после этого управляющие импульсы подаются тиристорам второго выпрямителя. Такое управление называется раздельным, его преимущества заключаются в отсутствии уравнивательных дросселей и снижении массо-габаритных показателей силового преобразователя, а недостатки — в увеличении зоны прерывистых токов и усложнении схемы управления за счет применения блока логического управления комплектами тиристоров.

2.3. СИФУ выпрямителем напряжения якорной обмотки двигателя

Задача блока СИФУ заключается в формировании управляющих импульсов через 60 электрических градусов, распределении их к соответствующим тиристорам, и в соответствии с заданным током (сигналом от регулятора тока) смещении их на соответствующий фазовый угол.

Рассмотрим работу одного канала, который синхронизируется фазой *A*, а два других канала фаз *B* и *C* идентичны с первым. Принципиальная схема одного канала СИФУ приведена на рис. 3. Для начального смещения зоны управления до 30 эл. градусов используется *RC*-цепочка. На вход *RC*-цепочки подается синусоидальное напряжение фазы *A*, на выходе получается напряжение смещенное на 30 эл. градусов напряжения. Настройка фазы смещенного напряжения осуществляется переменным резистором *RP11*.

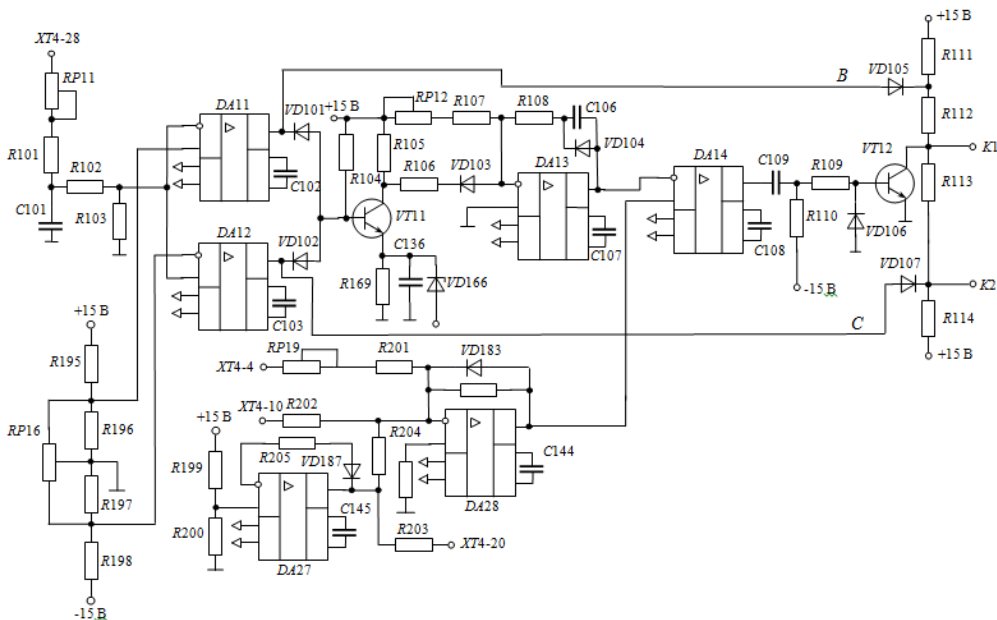


Рис. 3. Принципиальная схема одного канала СИФУ

Далее смещенное по фазе напряжение поступает на сле-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

дующую ступень, состоящую в фазе А из двух операционных усилителей $DA11$ и $DA12$, которые работают в качестве компараторов. Уровни переключения около $+300$ мВ для $DA11$, минус 300 мВ для $DA12$ получаются с помощью схемы, которая является общей для остальных двух каналов, работающих с фазами В и С (рис. 3). Схема представляет собой резисторные делители напряжения $R195$, $R196$ и $R198$, $R197$. С помощью потенциометра $RP16$ выравняются модули положительного и отрицательного напряжений смещения. Симметрия этих напряжений оказывает влияние на следующую ступень, которая представляет собой интегратор ($DA13$), на выходе которого получается отрицательное пилообразное напряжение одинаковой амплитуды.

Схема интегратора вместе с транзисторным ключом $V711$ образует синхронизируемый генератор пилообразного напряжения. При поступлении каждого положительного импульса на базу $V711$, он отпирается и насыщается, напряжение на его коллекторе становится равным минус 9 В, так как эмиттер отпирается, то напряжение на нем будет равно минус $9,4$ В из-за наличия стабилитрона $VD166$.

Операционный усилитель $DA13$ работает как интегратор с двумя входами: первый связан с $+15$ В посредством резисторов $R107$ и $RP12$, а второй с коллектором $V711$ посредством резисторов $R106$ и $VD103$. Так ток второго входа приблизительно в 1000 раз больше первого, поэтому разряд конденсатора $C106$ происходит очень быстро. Для пояснения принципа работы генератора пилообразного напряжения примем в качестве начального условия, что $V711$ открыт и насыщен. В этом случае диоды $VD101$ и $VD102$ должны быть заперты, что возможно при положительных выходных напряжениях компараторов $DA11$ и $DA12$. При этом ток, протекающий через резистор $R104$, проходит через базо-эмиттерный переход транзистора $V711$ и он открывается.

На выходе усилителя $DA13$ при открытом транзисторе $V711$ напряжение стремится к напряжению положительного источника питания $+15$ В, но происходит отпирание диода $VD104$ и на выходе $DA13$ в результате устанавливается положительное напряжение величиной, примерно равной $+1$ В. Конденсатор $C106$ окончательно разряжается, а усилитель $DA13$ превращается из интегратора в масштабный усилитель. Как только на выходах компараторов $DA11$ и $DA12$ появляется отрицательное напряжение, начинает протекать ток через резистор $R104$ и диоды $VD101$ или $VD102$. Транзистор $V711$ запирается, на его коллекторе по-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

является напряжением величиной +15 В, диод VD103 запирается, при этом действует только первый вход DA13, соединенный с источником +15 В.

На выходе DA13 начинается интегрирование напряжения по первому входу и происходит формирование линейно уменьшающегося напряжения, которое прерывается следующим отпирающим импульсом, поступающим на транзистор VT11. С помощью резистора RP12 скорость интегрирования настраивается таким образом, что за время интегрирования между двумя импульсами на базе транзистора VT11 напряжение на выходе DA13 достигало минус 9 В.

Пилообразный сигнал с выхода усилителя DA13 поступает на инвертирующий вход компаратора DA14, а на его неинвертирующий вход приходит отрицательное напряжение, которое является выходным напряжением регулятора тока. В момент, когда линейное нарастающее напряжение превысит по абсолютному значению уровень напряжения на неинвертирующем входе, компаратор DA14 переключается и на выходе появляется положительное напряжение насыщения.

Положительный фронт импульса на выходе DA14 дифференцируется с помощью C109 и R110 и на базу транзистора VT12 поступает отпирающий импульс, который насыщает его, и на коллекторе напряжение уменьшается до 1 В. Диод VD106 предохраняет транзистор VT12 от отрицательного импульса, который возникает при переключении компаратора DA14 до отрицательного напряжения насыщения.

Транзисторы VT13 и VT14 работают последовательно в зависимости от знака запрещающих сигналов «B» и «C». Эмиттеры этих транзисторов подсоединены к напряжению +10 В, полученному с помощью стабилитрона VD176, резистора R182 и конденсатора C141. Напряжения «B» и «C», появляющиеся на выходах компараторов DA11 и DA12, имеют модуль амплитуды не менее 12 В и через диоды VD105 и VD107 поступают на базы транзисторов VT13 и VT14. Предположим, что сигнал «B» равен минус 12 В, сигнал «C» равен +12 В и транзистор VT12 заперт. В этом положении диод VD105 заперт, диод VD107 заперт, транзисторы VT13 и VT14 также заперты. При насыщении транзистора VT12 диод VD105 остается запертым. В результате транзистор VT13 отпирается током, протекающим через резистор R112, и на его коллекторе появляется импульс напряжения. В то же самое время диод VD107 открывается, начи-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

стор $R113$, но при этом потенциал на базе транзистора $VT14$ остается более положительным по сравнению с его эмиттером и транзистор $VT14$ остается запертым. Обратная картина наблюдается при смене знаков сигналов « B » и « C ». Следует напомнить, что сигналы « B » и « C » получаются на выходах усилителей $DA11$ и $DA12$, работающих в качестве компараторов на уровнях $+300$ мВ и минус 300 мВ. Причем на время, когда мгновенная амплитуда входной синусоиды по абсолютному значению меньше 300 мВ, а эти сигналы следуют один за другим, причем оба положительные, и наступает время восстановления интегратора схемы $DA13$.

До сих пор рассматривался способ формирования и распределения импульсов одного канала СИФУ, два других канала работают аналогично. Полученные таким образом импульсы поступают на конечную ступень импульсных усилителей, которые усиливают их по мощности, и посредством диодной логической схемы передаются на импульсные трансформаторы, которые гальванически разделяют цепи управления от сетевого напряжения и передают импульс к управляющему электроду соответствующего тиристора. Схема этого узла показана на рис. 4. Верхняя схема управляет двумя одноименными тиристорами двух комплектов силовых выпрямителей, но не одновременно, а в зависимости от сигналов A и B , разрешающих работу только одного из них. В схеме СИФУ имеется шесть импульсных усилителей по числу тиристоров одного комплекта выпрямителя, причем каждый из шести усилителей имеет два выхода. Например, транзисторный ключ $VT15$ является общим для комплектов выпрямителей, но импульс получает только тот тиристор, для которого поступает разрешение в виде сигналов A и B .

Диоды $VD108$ и $VD109$ осуществляют логическое «ИЛИ», таким образом обеспечивается поступление на базу $VT15$ двух импульсов, отстоящих один от другого на 60 электрических градусов, а необходимость в двух импульсах становится ясной из принципа действия мостового выпрямителя. Сигналы A и B выполняют разрешающие функции и определяют, какой из двух комплектов выпрямителей будет работать в данный момент времени. Величины, которые принимают эти сигналы, могут быть равны $+20$ В или 0 В, причем « A » отличается от « B », за исключением случая, когда нет разрешения на работу, тогда оба сигнала принимают значение « 0 », то есть выпрямители не работают. Разрешение на работу прерывается обычно на время, равное 4 мс, в случаях, когда переключается управление от одного комплекта выпрями-

теля к другому в связи с потребностями раздельного управления.
 Действие сигналов *A* и *B* связано с готовностью преобразователя к работе с указанием полярности якорного напряжения регулятора скорости.

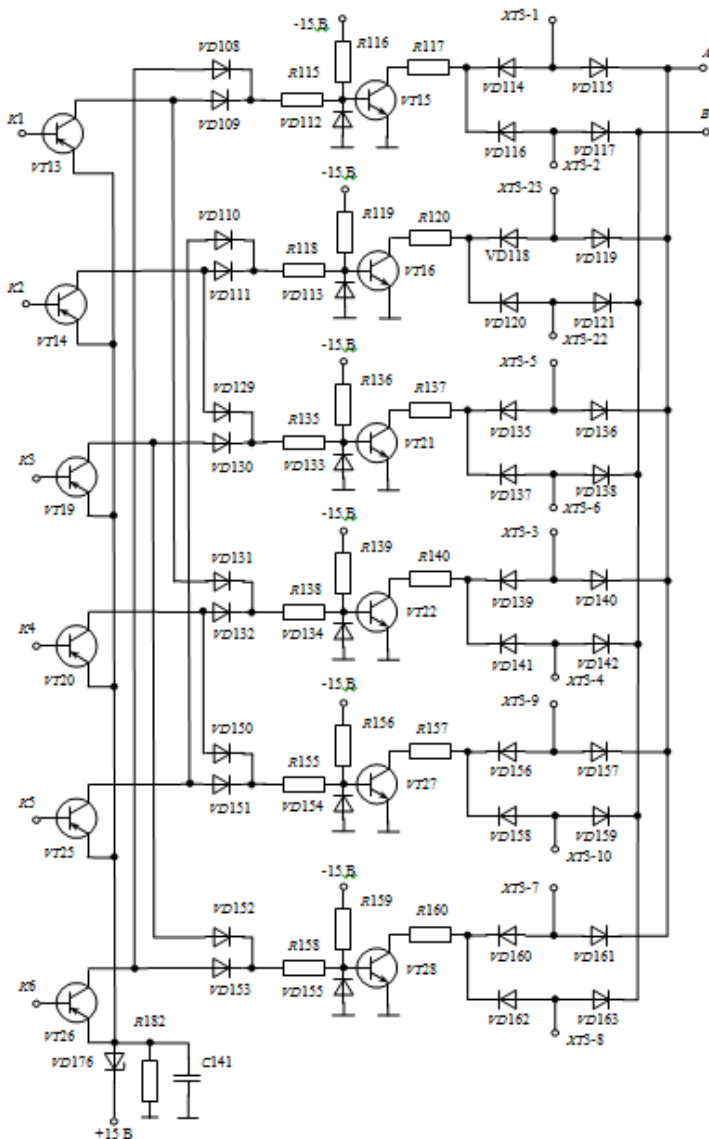


Рис. 4. Усилители импульсов СИФУ

2.4. Система импульсно-фазового управления тока возбуждения

Принципиальная схема выпрямителя для питания обмотки возбуждения двигателя показана на рис. 5.

Схема выпрямителя обмотки возбуждения является полупроводниковой и состоит из двух диодов $VD1$, $VD2$ и двух тиристоров $VS1$, $VS2$, включенных по однофазной мостовой схеме. Диод $VD0$ предохраняет выпрямитель и обмотку возбуждения от перенапряжений, которые порождаются большой индуктивностью обмотки. Кроме того, этот диод обеспечивает нормальную работу выпрямителя, так как без него тиристоры оставались бы открытыми.

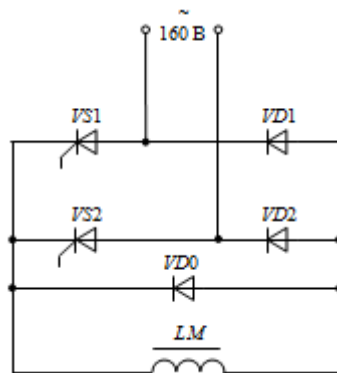


Рис. 5. Схема выпрямителя обмотки возбуждения

Следовательно, схема выпрямителя мостовая, двухполупериодная, и требуется управление только двумя тиристорами. Для этой цели используется такая же схема СИФУ, что и для управления выпрямителем тока якоря. При этом используется только один канал с некоторыми упрощениями:

- а) разрешение на работу имеется всегда;
- б) конечные ступени имеют только по одному выходу, так как каждая из них управляет одним тиристором;
- в) отсутствует потенциометр для настройки начального смещения сигнала синхронизации, который берется от отдельной обмотки трансформатора для питания возбуждения.

Задание тока возбуждения осуществляется выходным напряжением регулятора тока возбуждения.

2.5. Логический блок определения вращения

Основная часть блока расположена на плате «Фазовое управление», за исключением входного преобразователя, расположенного на плате «Регуляторы». Входной преобразователь выполнен на усилителе *DA58* и работает как компаратор уровня напряжения. Его схема показана на рис. 6.

На вход компаратора *DA58* поступает сигнал с выхода регулятора скорости. В зависимости от полярности этого сигнала на выходе получается логическая единица или нуль. Стабилитрон служит для смещения напряжения на выходе *DA58* в случае, когда имеет место отрицательное напряжение насыщения, то оно за счет стабилитрона преобразуется в логический нуль.

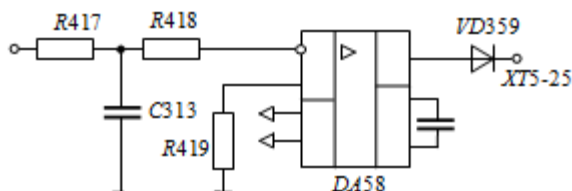


Рис. 6. Принципиальная схема входного преобразователя

На входе *DA58* имеется *RC*-фильтр, который обеспечивает устойчивую работу преобразователя. Выходное напряжение *DA58*, преобразованное в логический уровень перебрасывается посредством клемм разъема *X75-25* и *X74-6* на плату «Фазовое управление», где находится остальная часть логического блока. Принципиальная схема блока определения направления приведена на рис. 7. В зависимости от заданного направления вращения двигателя на клемму *X74-6* подается логическая единица или нуль. На клемму *X74-8* подается разрешение на работу сигналом «Работа» платы «Регуляторы», напряжение этого входа принимает значение нуля или +15 В, причем при нуле сигнала транзистор *V743* заперт и на его коллекторе получается логическая единица.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

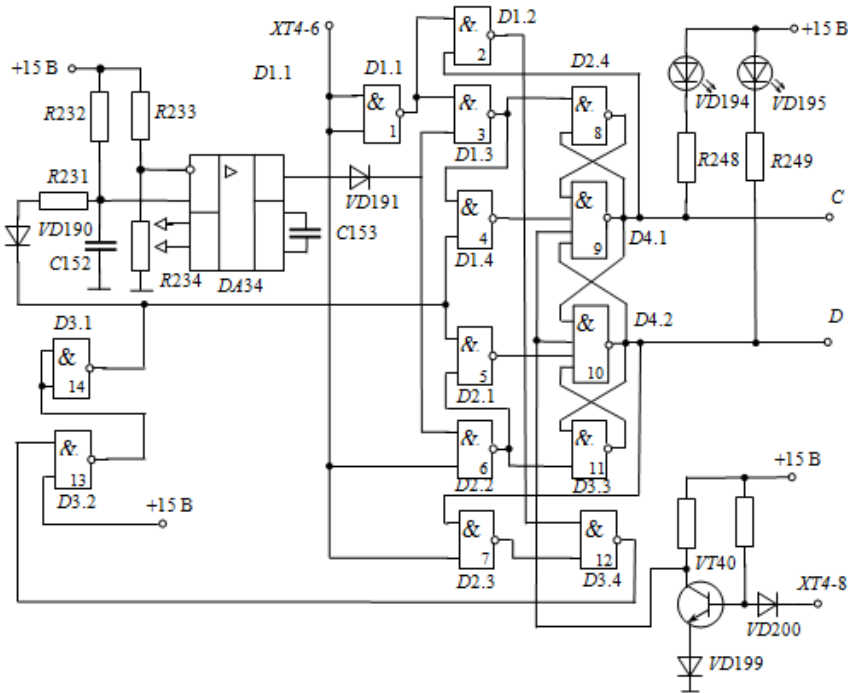


Рис.7. Принципиальная схема блока определения направления

Все логические элементы в рассматриваемом блоке выполняют функцию «И—НЕ», чтобы легче объяснить работу схемы, пронумеруем их от 1 до 14 (рис. 7). Принимаем, что на входе XT4-6 имеется «0», а на выходе XT4-8 — «1». Выходы логических элементов в этом случае будут соответствовать табл. 1

Таблица 1

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	34
Логич. уровень	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1

Если в этом положение подается сигнал «Работа», то есть «1» с коллектора VT43, то выход 9-го элемента получает значение «0», то есть имеется раз-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

«В») соответствующего выпрямителя. Кроме 9-го элемента, изменяются выходы элементов, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

№ элемента	2	12	13	14	3	5
Логич. уровень	1	0	1	0	1	1

Выход $DA34$ повторяет сигнал 14 элемента с задержкой 4 мсек, которая реализуется с помощью резисторного делителя $R233$, $R234$, к которому подключен инвертирующий вход усилителя $DA34$, и RC -цепочки $C132$ и $R233$, соединенной с неинвертирующим входом $DA34$. Конденсатор $C132$ через диод $VD190$ и резистор $R231$ подключен к выходу 14 элемента, поэтому при появлении на нем сигнала логического «0» конденсатор $C132$ будет разряжаться. Если на клемму $X74-6$ подается логическая «1», то сигналы на выходе логических элементов примут значения, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

№ элемента	1	7	12	13	14	4	5	8	9
Логич. уровень	0	0	1	0	1	0	0	0	1

После вышеуказанных переключений на фронте входного сигнала, поступающего с выходов 4-го и 5-го элементов, получаются нули, которые устанавливают единицы на выходах 9 и 10 элементов, и таким образом запрещается работа обоих выпрямителей. После 4 мс, когда на выход $D34$ поступает сигнал «1», получается набор сигналов, приведенный в табл. 4.

Таблица 4

№ элемента	5	6	11	10	7	12	13	14
Логич. уровень	1	0	1	0	1	0	1	0

Ясно, что после паузы величиной 4 мс, поступает разрешение приступить к работе другому комплекту выпрямителя, так как сигнал «С» принимает значение «0». Таким образом, осуществля-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

ется переключение работы комплектов силовых выпрямителей, то есть реверсирование привода.

Для обратного переключения необходимо снова подать «0» на клемму ХТ4-6, причем процесс аналогичен. Сигналы «С» и «D» индицируются светодиодами УН194 и УН195. После формирования в рассмотренной схеме сигналы «С» и «D» поступают на соответствующие входы схемы коммутатора (рис. 8), при помощи которых питаются импульсные трансформаторы управления тиристорами комплектами выпрямителей якорного напряжения. Выходные ступени коммутатора выполнены на среднемощных «*p-n-p*» транзисторах VT36 и VT37, которые питаются +24 В через RC-фильтр, который выполнен на резисторе R188 и конденсаторе C140. Рассмотрим усиление по мощности сигнала «С», причем для сигнала «D» действие схемы аналогично.

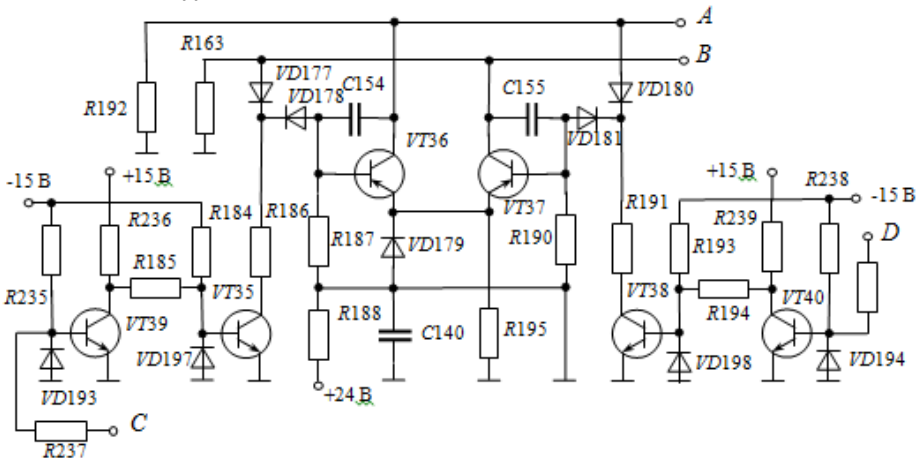


Рис. 8. Принципиальная схема коммутатора

При поступлении «0» на вход «С» транзистор VT40 запирается (через R238, подается минус 15 В), на его коллекторе получается напряжение +15 В, которое подается через резисторы R239 и R185 на базу транзистора VT35 и он насыщается.

Диоды VD194 и VD197 ограничивают запирающее напряжение транзисторов VT40 и VT35 уровнем минус 0,7 В. С насыщением транзистора VT35 через резистор R186 протекает базовый ток на транзистор VT36, который тоже насыщается. Таким образом, на выход поступает усиленный сигнал «А» амплитудой около 20

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

В. Диод $VD180$ блокирует отпирание транзистора $VT37$, и таким образом достигается дополнительная блокировка против одновременного разрешения на работу обоих выпрямителей. Сигналы « C » и « D » имеют еще одно предназначение: выдавать разрешение на работу регуляторов скорости и тока платы «Регуляторы».

Прежде чем объяснить действие схемы, необходимо упомянуть, что когда нет разрешения на работу преобразователя, что соответствует сигналам " C " и " D ", равным единице, регуляторы "закорачиваются" ключами, выполненными на МОП-транзисторах. Эти ключи соединены с входом и выходом каждого регулятора, и для запираания их транзисторов на разъемах подается напряжение минус 30 В. При напряжении на разъемах +15 В, они отпираются, причем их сопротивление составляет несколько сот Ом.

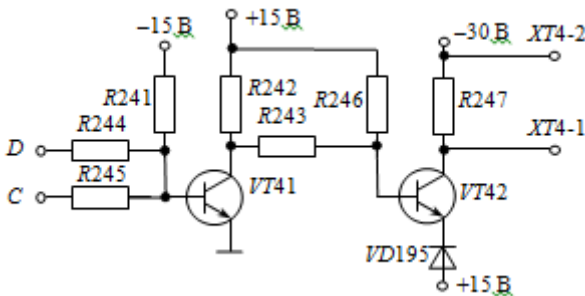


Рис. 9. Принципиальная схема управления МОП-транзисторами

Схема (рис. 9.) обеспечивает управление упомянутыми ключами следующим образом: входная цепь $VT41$ рассчитана таким образом, что когда на входах " C " и " D " имеется высокий уровень (+15 В), транзистор насыщен. Это приводит к насыщению $VT42$, и на выходе $X74-1$ получается +15 В, что обозначает, что регуляторы «закорочены» и нет разрешения на работу. Если хотя бы один из сигналов " C " и " D " — нуль, $VT41$ и $VT42$ запираются и на выходе устанавливается минус 30 В. Это напряжение запирает ключи, а это уже разрешение на работу. Диод $VD195$ гарантирует надежное запираение транзистора $VT42$, то есть повышает помехоустойчивость схемы.

Этим заканчивается рассмотрение логического блока определения направления вращения.

Следует знать, что направление определяется полярностью напряжением выхода регулятора скорости, а разрешение на «ра-

боту» поступает с узла «Работа», который находится на плате «Регуляторы».

2.6. Преобразователь задания тока

Назначение этого узла: получение сигнала от регулятора тока и превращение его в уровень, который при превышении абсолютного значения опорного напряжения (пилообразного) переключает компараторы *DA14*, *DA18*.

Как было сказано раньше, эти компараторы формируют управляющие импульсы, причем угол отпираания тиристоров зависит от задания тока. Кроме того, узел обеспечивает начальное задание тока и два коэффициента усиления в зависимости от датчика скорости (тахогенератора). Схема преобразователя задания тока показана на рис. 10.

Операционный усилитель *DA28* работает в качестве сумматора трех напряжений. При нуле на входах *X74-10* и *X74-20* с помощью *RP10* осуществляется настройка, при которой на выходе *DA28* напряжение должно быть равно 6,5 В. При этом напряжении угол отпираания тиристоров выпрямителя тока якоря такой, что ток получается минимальным. Этот ток называется начальным током (током при нулевой скорости). Если на *X74-10* подается сигнал с регулятора тока, который всегда отрицателен, на выходе *DA28* напряжение увеличивается в положительном направлении относительно земли, что приводит к протеканию тока в якоре большей величины. На *X74-20* поступает модуль сигнала, пропорциональный скорости. Осуществляется отрицательная обратная связь по скорости, которая действует только в первой зоне регулирования. Это выполняется при помощи схемы *DA27* и делителя напряжения на резисторах *R199* и *R200*. В общей точке обоих сопротивлений напряжение около 2,5 В. Во второй зоне регулирования *VD182* отпирается, на его аноде получается напряжение 2,5 В, таким образом, прекращается действие отрицательной обратной связи по скорости.

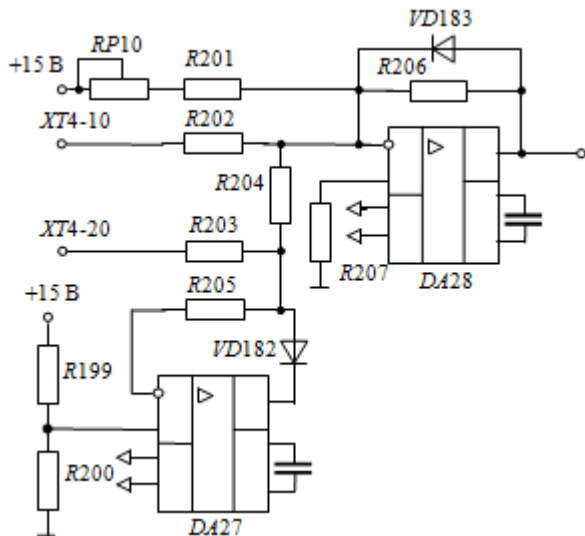


Рис. 10. Принципиальная схема преобразователя задания тока якоря

2.7. Регулятор тока возбуждения

Регулятор тока возбуждения поддерживает его постоянным в первой зоне регулирования, а во второй регулируется так, что якорное напряжение не превышает максимального значения, и оно остается постоянным. Схема показана на рис. 11.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

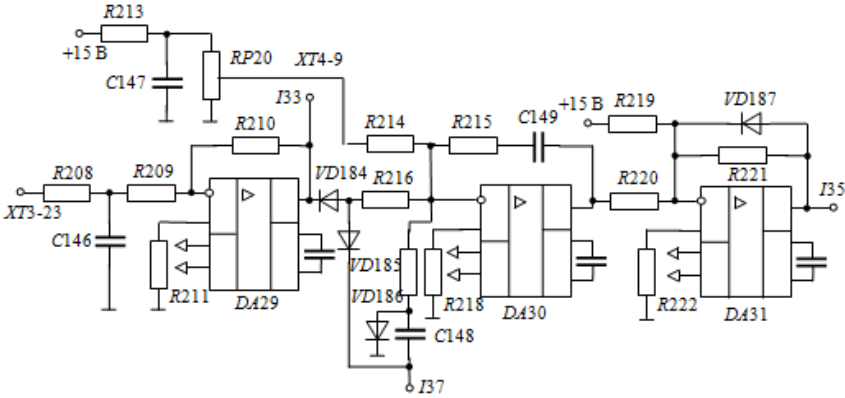


Рис. 11. Принципиальная схема регулятора тока возбуждения

Регулятор тока возбуждения реализует пропорционально-интегральный закон регулирования, выполнен на усилителе *DA30* и имеет 4 входа. Усилитель *DA29* усиливает сигнал тока, который принимается от шунта, включенного последовательно в цепь обмотки возбуждения. Схема *DA31* работает в качестве сумматора двух напряжений, причем одно получается на выходе усилителя *DA30*, а другое равно +15 В и подается через резистор *R219*. Таким образом, рабочая точка перемещается в отрицательную область потому, что положительный сигнал на выходе усилителя *DA31* блокирован диодом *VD187*. Если выход усилителя *DA31* положителен, управляющие импульсы не вырабатываются, то есть компаратор *DA26* не переключается. Вернемся к рассмотрению работы схемы *DA30*. Через *RP20* подается задание тока возбуждения, которое положительно. На выходе *DA30* происходит интегрирование этого напряжения с отрицательным знаком, а на выходе *DA31* оно становится положительным, что приводит к смещению фазы управляющих импульсов, поступающих на тиристоры, и к росту тока возбуждения. Это продолжается до тех пор, пока напряжение на выходе усилителя *DA29* не сравняется по абсолютному значению с заданным напряжением плюс падение напряжения на открытом диоде *VD184*. Таким образом, устанавливается ток возбуждения, который зависит от задания тока. Настройка осуществляется потенциометром *RP20*. Все это верно, если напряжение в точке *B7* постоянно и до такой степени положи-

тельно, что $VD185$ запирается. В точке $B7$ наблюдается сигнал с датчика модуля якорного напряжения.

Необходимо знать, что с увеличением якорного напряжения по абсолютному значению, напряжение в точке $B7$ становится более отрицательным. Итак, когда напряжение в $B7$ станет настолько отрицательным, что отпирается диод $VD185$, на выходе $DA30$ получается положительный рост напряжения, на выходе $DA31$ он отрицателен, а это равно уменьшению тока возбуждения, увеличению скорости вращения двигателя, и таким образом, установлению нового динамического равновесия в зависимости от задания скорости. Здесь необходимо отметить, что напряжение якоря изменяется в очень малых границах и этого достаточно для осуществления управления током возбуждения во второй зоне регулирования. Для улучшения динамики сигнал $B7$ дифференцируется при помощи $C148$, причем в переходном процессе усиление увеличивается. Диод $VD186$ ограничивает положительные скачки напряжения на конденсаторе $C148$ до $0,7$ В. С выхода усилителя $DA29$ ($B3$), через $X74-9$ получается сигнал исчезновения тока в обмотке возбуждения, при недопустимом уменьшении тока возбуждения.

2.8. Датчик напряжения

Необходимость информации о напряжении на якоре двигателя связана с особенностью построения двухзонной системы регулирования скорости двигателя. Принципиальная схема датчика напряжения и блока выделения модуля этого напряжения представлена на рис. 12.

Первая ступень представляет собой дифференциальный усилитель с коэффициентом усиления меньше единицы, выполненная на операционном усилителе $DA21$. При помощи переменного резистора $RP2$ настраивается коэффициент усиления так, что при достижении номинального якорного напряжения вступал в работу регулятор напряжения, а при повышении числа оборотов двигателя выше номинального значения напряжение на якоре оставалось постоянным, Потенциометром $RP1$ выравниваются коэффициенты усиления по инвертирующему и неинвертирующему входам усилителя $DA21$.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

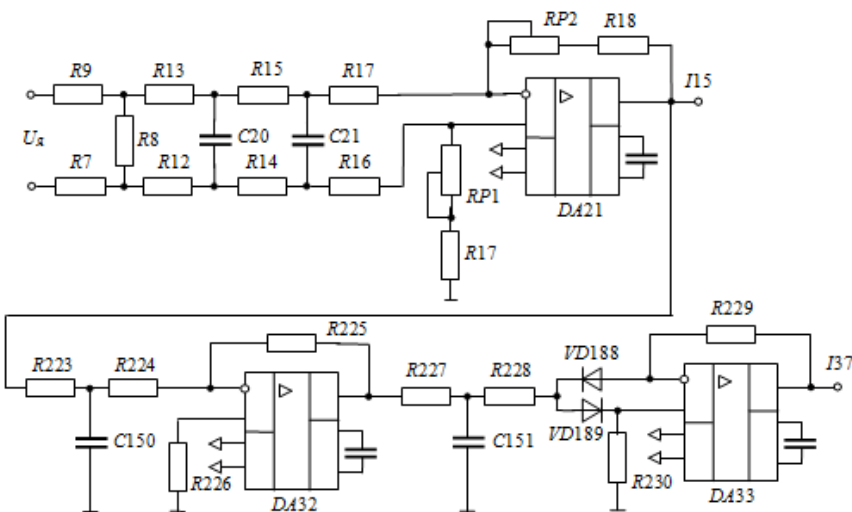


Рис. 12. Принципиальная схема датчика напряжения

Инвертирующий усилитель построен на базе операционного усилителя $DA32$, который содержит во входной цепи апериодический фильтр на резисторах $R223$, $R224$ и конденсаторе $C150$, и имеет коэффициент усиления больше единицы. С выхода $DA32$ через второй фильтр сигнал поступает на выпрямитель, выполненный на усилителе $DA33$ и диодах $VD188$, $VD189$. На выходе усилителя $DA33$ получаем сигнал, пропорциональный модулю якорного напряжения с отрицательным знаком.

2.9. Регулятор скорости

Задача регулятора скорости, после получения сигнала заданной скорости, сравнить ее с действительной, и в зависимости от мгновенной разницы выработать сигнал соответствующей амплитуды и полярности. Это сигнал задания для регулятора тока, который должен определить, какой из двух комплектов выпрямителей якорного напряжения должен включиться в работу. За выходным напряжением регулятора скорости осуществляется слежение с помощью узла токоограничения, этот узел не допускает превышения выходного напряжения по абсолютной величине более 11,5 В.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

Задача регулятора скорости, после получения сигнала заданной скорости, сравнить ее с действительной, и в зависимости от мгновенной разницы выработать сигнал соответствующей амплитуды и полярности. Это сигнал задания для регулятора тока, который должен определить, какой из двух комплектов выпрямителей якорного напряжения должен включиться в работу. За выходным напряжением регулятора скорости осуществляется слежение с помощью узла токоограничения, этот узел не допускает превышения выходного напряжения по абсолютной величине более 11,5 В.

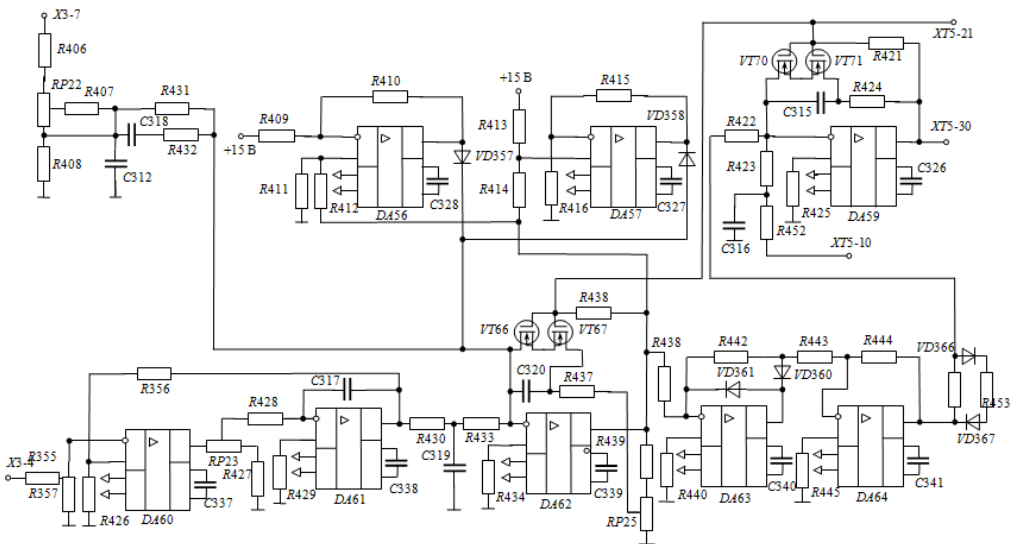


Рис. 13. Принципиальная схема блока регуляторов скорости двигателя

VT77 и резистора R436, которыми управляет узел «Работа». Когда на клемму X3-21 подается напряжение +15 В, ключ открыт, конденсатор C320 закорочен, уменьшается коэффициент усиления регулятора скорости, так как он становится пропорциональным. В этом случае нет разрешения на работу тиристорного преобразователя. Здесь необходимо уточнить, что разрешение на работу дается тогда, когда логический комплекс защиты дает сиг-

нал исправности преобразователя, то есть имеется готовность к работе, что индицируется соответствующим светодиодом. В тоже время подается разрешение приступить к работе. В начале работы на клеммы Х75-21 транзисторов подается напряжение минус 30 В транзисторным ключом V742, при этом они запираются, конденсатор С320 не шунтируется и регулятор скорости начинает работать нормально.

2.10. Узел токоограничения

Узел токоограничения (рис. 13) построен на двух интегральных усилителях DA56 и DA57. При нулевом напряжении на выходе регулятора скорости выходное напряжение усилителя DA56 отрицательное, а усилителя DA57— положительное.

В этом случае диоды VD357 и VD358 заперты, и отсутствует сигнал токоограничения. Общая точка этих двух диодов, представляющая выход узла токоограничения, подсоединена непосредственно, то есть без резистора, к инвертирующему входу регулятора скорости DA62. Пусть напряжение на выходе регулятора скорости (входное для рассматриваемого узла) растет в положительном направлении. На выходе усилителя DA56 напряжение также растет в положительном направлении, при котором запирающее напряжение диода VD357 уменьшается. Напряжение на выходе DA57 тоже увеличивается в положительном направлении до насыщения усилителя и диод VD358 надежно заперт. Схема рассчитана таким образом, что при достижении напряжения на выходе регулятора скорости +11,5 В диод VD357 отпирается и подается сигнал токоограничения. Напряжение на выходе регулятора скорости, ввиду огромного коэффициента усиления по соответствующему входу, мгновенно уменьшается, запирается VD357, и все повторяется сначала. На практике уровень выходного напряжения регулятора скорости ограничивается +11,5 В, причем с помощью осциллографа можно наблюдать за высокочастотными колебаниями с амплитудой до 200 мВ. При отрицательном напряжении на выходе регулятора скорости действие схемы аналогично, тогда VD357 остается запертым, а отпирается VD358.

2.11. Модуль задания тока

Этот узел представляет собой точный выпрямитель, выпол-

ненный на двух операционных усилителях $DA63$ и $DA64$ (рис. 13). У точного выпрямителя отсутствует пороговое напряжения отпирания диодов, характерное для обыкновенного выпрямителя. Необходимость в выпрямителе объясняется тем, что напряжение, пропорциональное действительному значению якорного тока, должно быть всегда отрицательным. Чтобы существовала отрицательная обратная связь по току на входе регулятора тока, напряжение задания тока должно быть всегда положительным.

Усилитель $DA63$ инвертирует только положительные входные сигналы, при отрицательных сигналах диод $VD361$ отпирается, а $VD360$ запирается. Второй операционный усилитель $DA64$ работает как сумматор с двумя входами. На первом входе усиливается напряжение, поступающее с выхода регулятора скорости, причем коэффициент равен 1. На втором входе усиливается напряжение с выхода усилителя $DA63$, причем коэффициент равен 2.

Предположим, что с выхода регулятора скорости поступает положительное напряжение $+2$ В. В общей точке резисторов $R442$ и $R443$ получается отрицательное напряжение минус 2 В. Если нет суммирования на входе $DA64$, на его выходе получается $+4$ В, но через $R441$ подается $+2$ В, которое суммируется на входе и устанавливается напряжение $+2$ В. При отрицательном сигнале регулятора скорости, равном минус 2 В), на входе усилителя $DA64$ оно суммируется с нулевым напряжением, и на его выходе снова появится напряжение $+2$ В.

2.12. Регулятор тока

Регулятор тока якоря двигателя имеет пропорционально-интегральный закон и выполнен на одном операционном усилителе $DA59$ (см. рис. 13).

Входные сигналы представляют задающее напряжение, определяющее требуемый ток, и напряжение, пропорциональное действительному значению тока, которое поступает с мостового выпрямителя выходного напряжения трансформаторов тока, включенных в две фазы напряжений, питающих силовой выпрямитель.

В точке $X75-10$ наблюдается выпрямленное напряжение с амплитудой, пропорциональной действительному току якоря.

Во входной цепи задания тока достигается переменный ко-

эффицент усиления посредством цепи, состоящей из диодов $VD366$, $VD367$ и резисторов $R453$ и $R446$. При малых заданиях тока коэффициент определяется резистором $R446$, а когда его амплитуда станет достаточной для отпираания диодов $VD366$ и $VD367$, то коэффициент передачи увеличивается, благодаря параллельному включению резистора $R453$.

Транзисторный ключ, выполненный на МОП-транзисторах $VT70$, $VT71$ и резисторе $R421$, прекращает или возобновляет работу регулятора тока, причем управление ключом осуществляется одновременно с общим управлением регулятора скорости.

Узел ограничения момента выполнен на транзисторном ключе $VT69$ (см. схему на лицевой панели стенда). При подаче на $R450$ напряжения $+15$ В транзистор насыщается, при этом $R448$ соединяется с «землей», образуется делитель в цепи задания тока, а это приводит к уменьшению тока двигателя и соответственно его момента. В коллекторную цепь $VT69$ включена катушка реле, которая при замыкании контакта дает сигнал «Работа» с пониженным вращающим моментом двигателя.

2.13. Задатчик интенсивности

Задатчик интенсивности определяет темп изменения скорости двигателя при его разгоне или торможении, то есть практически задает ускорение двигателя. Для этого ступенчатый характер изменения задающего напряжения с помощью схемы задатчика интенсивности преобразуется в линейно нарастающее с регулируемым темпом. Принципиальная схема задатчика интенсивности приведена на рис. 13, он реализован на операционных усилителях, первый из которых $DA60$ выполняет функции компаратора, а второй $DA61$ — интегратора.

Если на вход задатчика подается ступенчатое напряжение, то компаратор формирует на своем выходе напряжение насыщения, знак которого зависит от знака входного напряжения. Часть выходного напряжения компаратора $DA60$ через потенциометр $RP23$ подается на вход интегратора $DA61$, постоянная времени которого определяется резистором $R428$ и конденсатором $C317$. Напряжение на выходе интегратора начинает изменяться по линейному закону, причем скорость изменения напряжения можно регулировать потенциометром $RP23$. При выравнивании амплитуды и знака входного напряжения с выходным напряжением инте-



Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

гратора компаратор будет колебаться относительно нулевого выходного напряжения. При этом дальнейшие изменения выходного напряжения интегратора прекращаются и оно остается равным входному напряжению.

Комплектный электропривод «Кемтор» имеет достаточно сложную схему защиты от различных аварийных режимов работы. Ознакомиться с принципиальной схемой блока защиты можно по схеме, имеющейся на передней панели лабораторного стенда.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под термином «угол запаздывания открывания тиристора»?

2. Поясните принцип функционирования двухзонной системы регулирования скорости в первой и во второй зонах.

3. Назовите преимущества и недостатки раздельного способа управления комплектами реверсивного тиристорного преобразователя.

4. Какие основные элементы содержит функциональная схема комплектного преобразователя «Кемтор»?

5. Как формируется пилообразное напряжение СИФУ, синхронизируемое с фазным силовым напряжением?

6. Какие регуляторы используются в замкнутой системе управления двухзонного электропривода?

7. Как выполнено ограничение тока якоря двигателя в динамических режимах работы ?

8. Каким образом осуществляется переход двигателя во вторую зону регулирования скорости?

9. Как осуществляется нагружение испытуемого двигателя при снятии механических характеристик в лабораторном стенде?

10. Что понимается под термином «комплектный преобразователь»?

11. Каким образом осуществляется измерение тока якоря двигателя ?

12. Каким способом осуществляется измерение напряжения на якоре двигателя ?

13. Чем определяется диапазон регулирования скорости двигателя во второй зоне?

14. Каким образом можно увидеть переходной процесс по основному возмущающему воздействию?



ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Б.Онищенко, М.И. Аксенов, В.П.Грехов, А.И. Нитиевская (под общ. ред. Г.Б.Онищенко): Автоматизированный электропривод промышленных установок.— М. : РАСХН, 2001.
2. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов — М. : Издательский центр «Академия», 2004.
3. Тиристорный преобразователь «Кемтор»: техническое описание и инструкция по эксплуатации. — Электроимпекс.

**ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОСТОЯННОГО ТОКА МОДЕЛИ «КЕМТОК»**



1. ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью практической работы является изучение принципа работы и схемотехники аналоговой системы регулирования скорости по функциональной и принципиальной схемам комплектного электропривода постоянного тока «Кемток» с тиристорным преобразователем.

2. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКТНОГО ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА «КЕМТОК»

2.1. Функциональная схема и силовой тиристорный преобразователь

Тиристорный преобразователь «КЕМТОК» является комплектующим изделием и представляет собой двухкоординатный тиристорный электропривод, предназначенный для механизмов подач металлорежущих станков с ЧПУ токарной группы.

Тиристорный электропривод включает в себя два управляемых тиристорных выпрямителя (по одному на каждую координату), два шунта обратной связи по току якоря RS и электронный блок, обеспечивающий управление тиристорами, стабилизатор питающих напряжений, регуляторы скорости и тока, защиту и сигнализацию (общие для обеих координат), преобразователи выходных сигналов. Силовой тиристорный выпрямитель для каждой координаты представляет собой два трехфазных нулевых выпрямителя, подключенных к якорю двигателя M встречно через уравнивательные дроссели [1].

Функциональная схема преобразователя представлена на рис. 1, она состоит из следующих блоков:

- 1 — регулятор скорости;
- 2 — узел динамического токоограничения;
- 3 — регулятор тока;
- 4 — блок уравнивательного тока;
- 5 — система импульсно-фазового управления (СИФУ);
- 6 — корректирующая цепь;
- 7 — блок формирования кривой токоограничения;
- 8 — блок питания схемы управления;
- 9 — комплекс защит и сигнализаций;
- 10 — силовой трансформатор.

Для построения системы регулирования скорости используется классическая двухконтурная система с подчиненным регулированием координат и обратными связями по току якоря и скорости двигателя [2].

Динамическое токоограничение выполняется в функции скорости двигателя и осуществляется путем ограничения выходного напряжения регулятора скорости в соответствии с коммутационной кривой двигателя.

Фазовое управление тиристорами выпрямителя осуще-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

ствлено по вертикальному принципу с линейным (пилообразным) опорным напряжением, состоит оно из трех одинаковых каналов. Предусмотрена возможность регулировки начального тока якоря.

Комплекс защит и сигнализаций 9 предназначен для более удобного введения электропривода в эксплуатацию и обеспечивает безаварийную работу. При срабатывании какой-либо из защит немедленно блокируется подача управляющих импульсов к тиристорам.

С помощью беспотенциальных контактов реле формируется выходной сигнал «готовность» (RD).

Комплектный преобразователь имеет следующие виды защит:

- защита от исчезновения фазы, неправильного чередования фаз, падения напряжения питания или пилообразного напряжения СИФУ – CP ;
- защита от обрыва в цепи тахогенератора и превышения максимальной скорости – TG ;
- защита от перегрузки двигателя во время работы – OL .

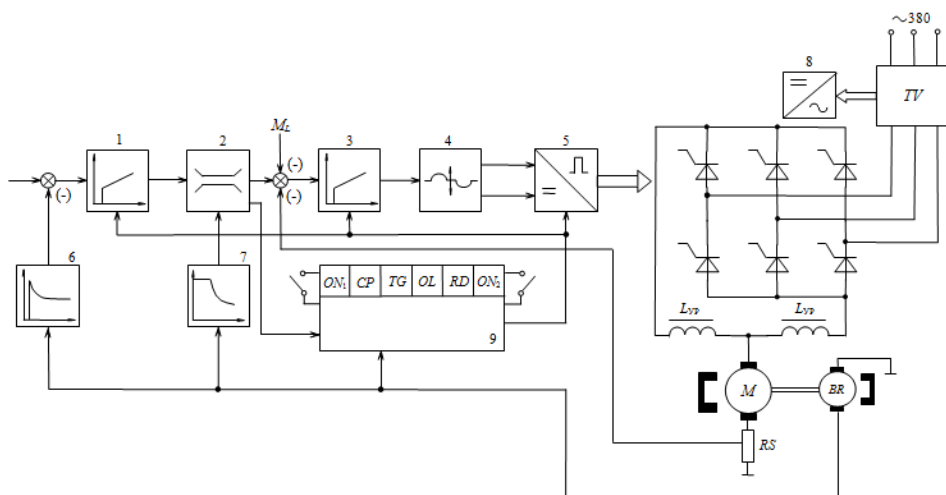


Рис. 1. Функциональная схема электропривода «Кемток»

Приведем более подробное описание тиристорного преобразователя (ТП) комплектного привода [3].

Тиристорный преобразователь для одной координаты выполнен по трехфазной нулевой реверсивной схеме и содержит

два встречно-параллельно включенных комплекта тиристоров (рис. 2). Для ограничения уравнивающих токов между комплектами тиристоров установлены уравнивающие реакторы $L1.1$ и $L1.2$, к средней точке соединения которых подключен электродвигатель M .

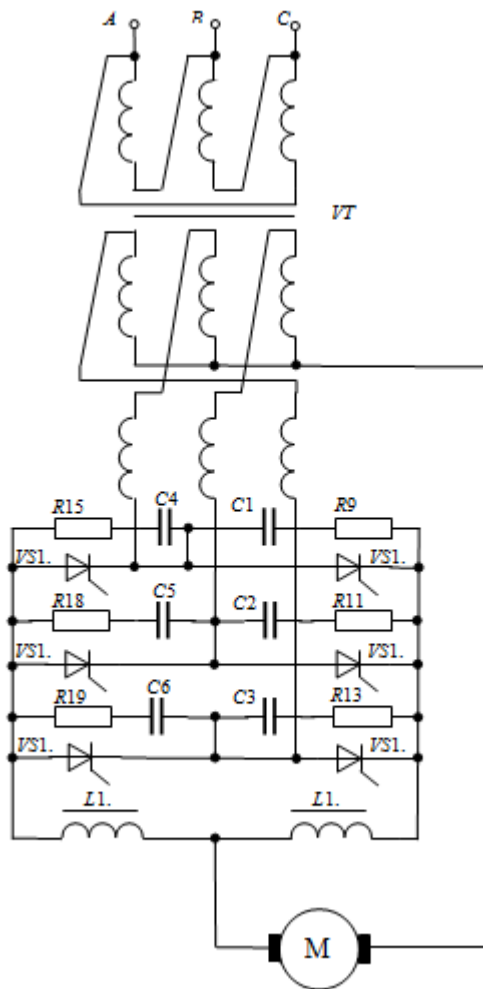


Рис. 2. Силовая схема реверсивного тиристорного преобразователя

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

цепочки, которые предохраняют тиристор от перенапряжения, $C_1R_9, C_2R_{11}, C_3R_{13}, C_4R_{15}, C_5R_{18}, C_6R_{19}$.

На практике применяются реверсивные схемы ТП, которые фактически состоят их двух нереверсивных ТП, поэтому их часто называют двухкомплектными ТП. Тиристорный преобразователь, используемый в рассматриваемом комплектном электроприводе, является именно двухкомплектным реверсивным ТП с нулевым проводом, при этом комплекты преобразователя включены встречно-параллельно по отношению к нагрузке. При таком включении преобразователей появляется возможность изменения направления тока в якоре двигателя и, тем самым, осуществляется работа двигателя постоянного тока (ДПТ) во всех четырех квадрантах механической характеристики.

Питание тиристорного преобразователя от сети происходит через согласующий силовой трансформатор T , вторичная обмотка которого включена по схеме «зигзаг» для исключения подмагничивания сердечника трансформатора.

В электроприводе «Кемток» используется несогласованный способ совместного управления комплектами тиристоров. При совместном способе управляющие импульсы подаются одновременно на оба комплекта тиристоров анодный и катодный (рис. 2). В свою очередь совместное управление может быть согласованным, когда углы отпирания анодного комплекта тиристоров — α_1 и катодного комплекта тиристоров — α_2 связаны между собой выражением

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi \quad (1)$$

и несогласованным, когда

$$\alpha_1 + \alpha_2 > \pi, \quad (2)$$

где α_1 — угол отпирания анодного комплекта тиристоров, работающего в выпрямительном режиме;

α_2 — угол отпирания катодного комплекта тиристоров, работающего в инверторном режиме.

При согласованном управлении углы управления обоими комплектами тиристоров изменяются в зависимости от управляющего напряжения таким образом, что выходные выпрямленные ЭДС комплектов имеют одинаковые средние значения. При этом один комплект тиристоров работает в выпрямительном

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

режиме, другой — в инверторном. Для средних выпрямленных ЭДС на выходе комплектов тиристоров можно записать

для анодного комплекта:

$$E_{d1} = E_{\alpha 0} \cos \alpha 1; \quad (3)$$

для катодного комплекта:

$$E_{d2} = E_{\alpha 0} \cos \alpha 2, \quad (4)$$

где $E_{\alpha 0}$ — максимальное значение выпрямленной ЭДС;
 $\alpha 1$ — угол отпирания тиристоров анодного комплекта, отсчитываемый от момента естественной коммутации (анодный комплект работает, например, в выпрямительном режиме);

$\alpha 2$ — угол отпирания тиристоров катодного комплекта, отсчитываемый от момента естественной коммутации (катодный комплект работает в инверторном режиме).

Если для комплекта тиристоров, работающего в инверторном режиме, ввести понятие угла опережения $\beta 2 = 180 - \alpha 2$, то закон согласованного управления комплектами тиристоров примет вид $\alpha 1 = \beta 2$. При таком способе управления выполняется равенство $|E_{d1}| = |E_{d2}|$.

При несогласованном управлении $\alpha 1 > \beta 2$ и $|E_{d1}| < |E_{d2}|$, при нулевом уровне сигнала управления $\alpha 1 = \alpha 2 = (\pi/2) + (d/2)$ оба комплекта тиристоров смещены в инверторный режим. Причем, применительно к рассматриваемому случаю, средний потенциал на общем аноде анодного комплекта ниже среднего потенциала на общем катоде катодного комплекта. В этом случае исключается протекание выпрямленного тока короткого замыкания через уравнивательные дроссели, данный ток отсутствует и при согласованном управлении, когда $|E_{d1}| = |E_{d2}|$. В связи с тем, что мгновенные значения выпрямленных ЭДС выпрямительного и инверторного комплектов тиристоров не равны друг другу через них, минуя якорь двигателя, протекает так называемый уравнивательный ток. Так как уравнивательный ток является переменным, то для его ограничения используют уравнивательные дроссели $L1.1$ и $L1.2$ (рис. 2).

Наибольший уравнивающий ток имеет место при согласованном управлении, когда он приобретает форму гранично-непрерывного. Нарушение согласованного управления за счет неточности установки или дрейфа параметров системы управления, когда, применительно к рассматриваемому случаю $|E_{d1}| > |E_{d2}|$ приведет к появлению непрерывного выпрямленного тока, который не может быть ограничен дросселями $L1.1$ и $L1.2$. Для исключения этого случая, строго согласованное управление практически не применяют, устанавливая некоторый угол смещения $d/2$, который должен перекрыть возможный разброс параметров. Чем больше $d/2$, тем меньше уравнивающий ток, однако, при этом возрастает нелинейность характеристики управления ТП. Использование согласованного управления группами ТП позволяет устранить режим прерывистых токов, за счет чего улучшается линейность механических характеристик ДПТ в режиме малых нагрузок.

В тиристорном преобразователе «Кемток» с целью уменьшения индуктивности уравнивающих дросселей, а, следовательно, их габаритов, применяется несогласованное управление комплектами тиристоров.

2.2. Система импульсно-фазового управления

При рассмотрении работы ТП предполагалось, что тиристоры должны открываться в требуемые моменты времени, определяемые управляющим сигналом на входе системы управления ТП. Наибольшее распространение нашли преобразователи с системами импульсно-фазового управления (СИФУ), в которых тиристоры включаются в моменты, соответствующие углу α , отсчитываемому от точки естественного открывания. От угла запаздывания отпирания тиристоров α относительно момента естественной коммутации, который часто называют углом управления или включения, зависит выходное напряжение ТП, определяющее, в свою очередь, скорость вращения ДПТ. В СИФУ ТП распространены два способа управления углом α : линейный и косинусный, оба из которых построены по вертикальному принципу управления.

Система импульсно-фазового управления, применяемая в преобразователе «Кемток», построена по вертикальному принципу с линейно изменяющимся опорным напряжением, ее принципиальная схема приведена на рис. 3.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

Управление каждой координатой состоит из трех одинаковых каналов, соответствующих фазам напряжения (R , S , T) силового трансформатора питания. Каждый канал включает: апериодический фильтр в виде RC -цепочки, предназначенный для задержки напряжения синхронизации на 30 эл. градусов, и двух компараторов, которые приводят в действие генератор линейного изменяющегося напряжения, общий для обеих координат, двух компараторов с соответствующими транзисторными ключами для формирования управляющих импульсов, поступающих к тиристорному преобразователю.

Рассмотрим далее подробно только один канал СИФУ, предназначенный для фазы R преобразователя координаты X . Он включает в себя интегральные схемы $DA3...DA7$ и транзисторы $VT1...VT5$ (рис. 3).

От делителя, находящегося на плате «Управление тиристорами», поступает часть напряжения фазы R через клемму 9 разъема 3 ($XT3-20$). Это напряжение сдвигается по фазе с помощью цепочки $RP1$, $C31$ на 30 эл. градусов (1,8 мс) и подается на входы компараторов $DA3$ и $DA4$. Фазовый сдвиг напряжения регулируется потенциометром $RP1$. На рис. 4 приведены диаграммы напряжений на элементах СИФУ, на которых виден фазовый сдвиг напряжения U_{C31}

На входы компараторов подается также постоянное опорное напряжение, получаемое от делителей на резисторах $R137$, $R138$, $R139$, $R140$. Для компаратора $DA3$, который переключается при положительном полупериоде синусоидального напряжения, опорное напряжение равно приблизительно +300 мВ и подается на его неинвертирующий вход, а для компаратора $DA4$, переключающегося при отрицательном полупериоде напряжения, опорное напряжение (-300 мВ) поступает на инвертирующий вход. Выравнивание опорных напряжений по абсолютной величине производится посредством потенциометра $RP7$.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

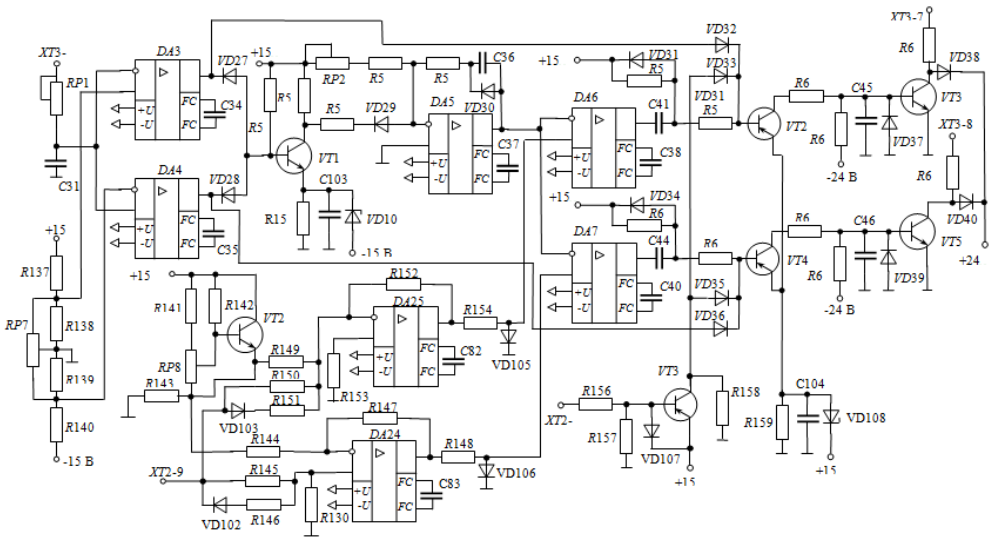


Рис. 3. Принципиальная схема одного канала СИФУ

На выходах компараторов $DA3$ и $DA4$ формируются прямоугольные импульсы напряжения с амплитудами -15 В и $+15$ В (рис. 4). Отрицательная часть выходного напряжения компараторов подается посредством диодов $VD27$ и $VD28$ к базе транзисторного ключа $VT1$, в результате чего на его коллекторе формируются короткие импульсы напряжения частотой

100 Гц (U_{VT1} на рис. 4). Когда транзистор $VT1$ заперт, на инвертирующий вход усилителя $DA5$ через резисторы $RP2$, $R56$ подается напряжение $+15$ В. Усилитель $DA5$ начинает интегрировать это напряжение с постоянной времени, определяемой резисторами $RP2$, $R56$ и конденсатором $C36$. До момента достижения максимального выходного напряжения интегратора транзистор $VT1$ отпирается посредством диодов $VD27$, $VD28$ и его эмиттер приобретает напряжение, равное минус 9 В ($VD104$, $R155$). Это напряжение подается на инвертирующий вход $DA5$ через резистор $R55$, величина которого на два порядка меньше суммы сопротивлений $RP2$, $R56$. В результате этого через диод $VD29$ усилитель $DA5$ начинает интегрировать отрицательное напряжение до тех пор, пока на выходное напряжение усилителя $DA5$ становится достаточным для отпираания диода $VD30$, шунтирующего конденсатор $C36$, и включения отрицательной обратной связи

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

через резистор $R57$.

Таким образом, формируется линейное изменяющееся (пилообразное) напряжение, синхронизированное с напряжением фазы R (U_{D45} на рис. 4). Величина его амплитуды регулируется посредством потенциометра $RP2 \approx -9$ В. Пилообразное напряжение, подаваемое на неинвертирующие входы компараторов $DA6$ и $DA7$, является для них опорным. На другие входы компараторов поступает постоянное отрицательное напряжение с выходов соответствующих суммирующих усилителей $DA24$ и $DA25$ управляющего органа. Посредством транзистора $VT27$, выполняющего функции эмиттерного повторителя, подается постоянный положительный уровень напряжения на инвертирующие входы усилителей $DA24$ и $DA25$.

При появлении сигнала регулятора тока происходит противоположное изменение уровней напряжения на выходах усилителей $DA24$ и $DA25$. Так, например, при положительном напряжении регулятора тока на выходе суммирующего усилителя $DA24$ получается уменьшение, а для усилителя $DA25$ — повышение (по абсолютной величине) выходного напряжения. При входном сигнале определенной величины, приводящем к отпиранию диода $VD103$, коэффициент усиления $DA25$ возрастает, при этом быстрее изменяется напряжение на выходе. Такое изменение уровней выходных напряжений усилителей $DA24$ и $DA25$, приложенных к входам компараторов $DA6$ и $DA7$, является причиной изменения момента их переключения (U_{DA6} , U_{DA7} на рис. 4). В рассматриваемом случае момент переключения $DA6$ опережает, а $DA7$ задерживается. Аналогичные изменения и в других двух каналах вызывают более раннее отпирание тиристоров катодной группы и задержку в отпирании тиристоров анодной группы. При сигнале выше определенной величины, равной $U_{\gamma} \geq 3,3$ В, с платы «Регуляторы и логика» задержка переключения компаратора $DA7$ и аналогичных каналов такова, что тиристоры анодной группы перестают отпираться. Ток протекает только через тиристоры катодной группы.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

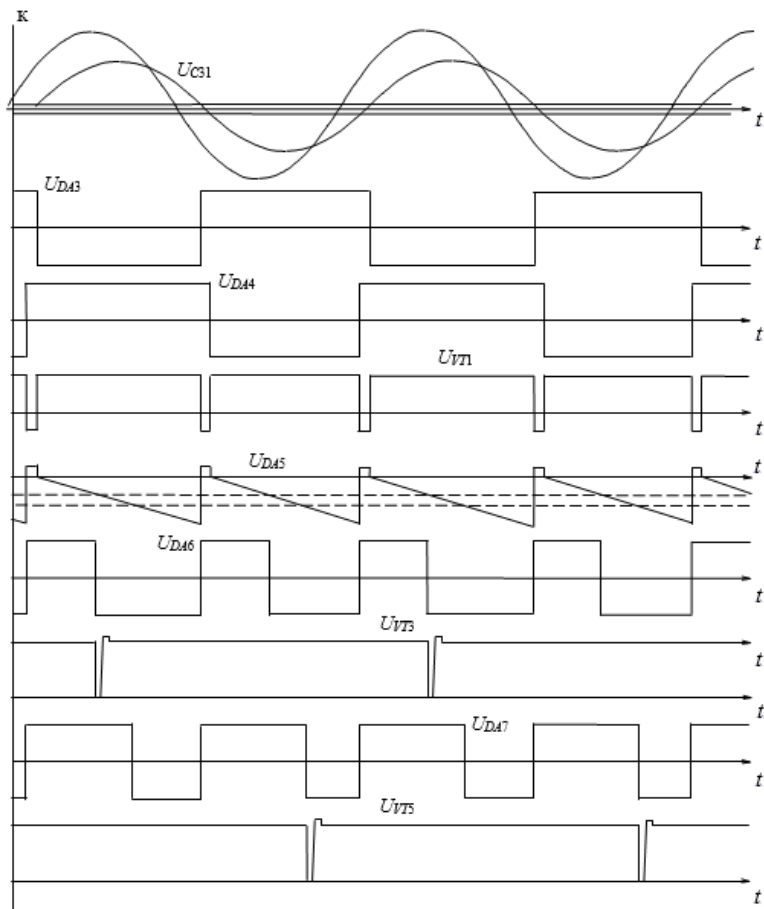


Рис. 4. Диаграмма напряжений на элементах СИФУ

При отсутствии сигнала регулятора тока, который находится на плате «Регулятор и логика», когда на клемме разъема ХТ2-9 напряжение равно нулю, на выходах усилителей $DA24$ и $DA25$ обеспечиваются одинаковые напряжения ≈ -6 В, величина которых регулируется посредством потенциометра $RP8$. В этом случае они в момент равенства с пилообразным напряжением вызывают одновременно переключение компараторов $DA6$ и $DA7$ для обоих полупериодов. Такие же процессы совершаются и в двух других каналах фазового управления, поэтому тиристоры анодной и катодной группы силового выпрямителя отпираются с одним

и тем же углом. Это приводит к появлению тока через двигатель. Уменьшение абсолютной величины напряжения на выходах $DA24$ и $DA25$ приводит к более раннему отпираанию тиристоров и к большему значению начального уравнивающего тока

Отрицательное напряжение с выхода регулятора тока приводит к противоположному изменению: уровень выходного напряжения усилителя $DA24$ увеличивается, а уровень $DA25$ — уменьшается (по абсолютной величине). Компаратор $DA6$ отстает, а $DA7$ — опережает с переключением; тиристоры анодной группы отпираются раньше, а катодной группы — позже, то есть, ток якоря двигателя меняет свое направление, соответственно изменяется и направление вращения двигателя. При сигнале $U_f \leq 3,3$ В ток двигателя протекает только через тиристоры анодной группы.

Формирование управляющих импульсов для тиристоров выполняется с помощью дифференцирующих цепей, установленных после компараторов. В частности, на выходе компаратора $DA6$ установлена дифференцирующая цепочка $C41$, $R58$. Отрицательные импульсы через резистор $R59$ являются отпирающими для транзисторного ключа $VT2$. Насыщение транзистора $VT2$ в этом случае происходит при отсутствии положительного напряжения на анодах диодов $VD32$ и $VD33$. Импульсы, формируемые транзистором $VT2$, отпирают другой транзисторный ключ $VT3$, в коллекторную цепь которого включена первичная обмотка импульсного трансформатора, находящегося на плате «Управление тиристором». Вторичная обмотка присоединена к управляющему электроду тиристора.

Запрет для включения транзистора $VT2$ существует в следующих двух случаях:

1. когда компаратор $DA3$ имеет на своем выходе положительное напряжение, т. е. при отрицательном полупериоде питающего напряжения;
2. когда не подан сигнал разрешения работы (+24 В) с платы «Регуляторы» через контакт разъема $X72-10$ на транзистор $VT28$ (см. принципиальную схему, расположенную на стенде).

Аналогично работают и остальные каналы СИФУ.

Сигнал о наличии пилообразных опорных напряжений поступает на контакт 8 разъема $X72$ через диоды $VD41$, $VD66$ и $VD91$ соответственно с выходов генераторов пилообразного напряжения $DA5$, $DA12$ и $DA19$.

2.3. Регуляторы тока и скорости

На плате «Регуляторы и логика» расположены регуляторы тока и скорости для приводов обеих координат.

Рассмотрим схемы регуляторов для одной координаты, причем все упомянутое относится и к регуляторам второй координаты. Принципиальная схема регуляторов для одной координаты приведена на рис. 5. На схеме представлены следующие элементы:

Регулятор скорости, представляющий ПИ-регулятор, реализован на интегральном операционном усилителе $DA51$.

Динамическое токоограничение выполнено на операционных усилителях $DA56$ и $DA57$.

Регулятор тока, представляющий ПИ-регулятор, реализован на интегральном операционном усилителе $DA52$.

Корректирующее звено в цепи обратной связи по току выполнено на конденсаторе $C151$ и резисторе $R258$.

Узел формирования функции динамического токоограничения реализован на интегральном усилителе $DA55$.

На интегральной схеме $DA50$ реализован дифференциальный усилитель с коэффициентом усиления, равным единице. Входы усилителя выведены на контакты разъема $X2-1$ и $X2-2$. Посредством усилителя $DA50$

реализуется симметричный вход для управляющего напряжения U_y , если оно изолировано от информационной земли. Управляющее напряжение можно подавать и несимметрично, заземляя источник U_y . Таким способом U_y поступает прямо на вход регулятора скорости.

Отрицательная обратная связь по скорости осуществляется через тахогенератор, установленный на якоре двигателя. Выходное напряжение тахогенератора изменяется пропорционально изменению скорости вращения якоря двигателя. Это напряжение подается на контакт разъема $X2-5$ относительно $X2-4$ (земля). Напряжение тахогенератора достаточно высокое, чтобы подавать его непосредственно на вход усилителя, реализующего регулятор скорости. Поэтому через делитель на резисторах $R254$, $RP15$, $R255$, $R256$ берется его часть и подается через $R257$ на вход для сигнала обратной связи регулятора скорости; цепочка $C151$ и $R258$ образует корректирующую цепь. Через нее обеспечивается большая глубина обратной связи при быстрых изменениях скорости двигателя. Конденсатор $C150$ является фильтрующим и слу-

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

жит для уменьшения влияния пульсаций напряжения тахогенератора.

Параметры регуляторов скорости определяются величинами элементов в обратной связи операционного усилителя $DA51$: резистором $R263$, конденсатором $C152$ и резистивным делителем $R264$, $RP17$, $R265$. Посредством потенциометра $RP17$ плавно изменяется коэффициент передачи регулятора скорости.

С помощью диодов $VD151...VD154$ реализована нелинейность коэффициента передачи регулятора, так как величина коэффициента передачи регулятора при наличии диодов будет зависеть от величины входного сигнала. При слабых сигналах коэффициент определяется резисторами $R264$, $RP17$ и $R265$. При больших сигналах падение напряжения на резисторе $R264$ получается достаточно большим и последовательно включенные диоды $VD151$, $VD153$ — для положительного выходного напряжения и диоды $VD152$, $VD154$ — для отрицательного напряжения отпираются. Таким способом напряжение на $R264$ фиксируется на уровне около 1,3 В и коэффициент передачи регулятора становится меньше.

Транзисторы $V760$ и $V761$ представляют собой МОП-транзисторы с встроенным M -каналом и образуют электронный ключ. Когда не подан входной сигнал «Работа» (OM), МОП-транзисторы открыты и регулятор скорости имеет пропорциональный коэффициент передачи, который намного меньше единицы. В этом случае происходит разряд конденсатора $C152$ в цепи обратной связи регулятора скорости, что необходимо для получения нулевых начальных условий при пуске привода.

При подаче входного сигнала «Работа» МОП-транзисторы $V760$ и $V761$ запираются, и регулятор скорости работает нормально. Чтобы отпереть транзисторы $V760$ и $V761$, на их затворы подается напряжение +15 В, а чтобы запереть — напряжение минус 30 В.

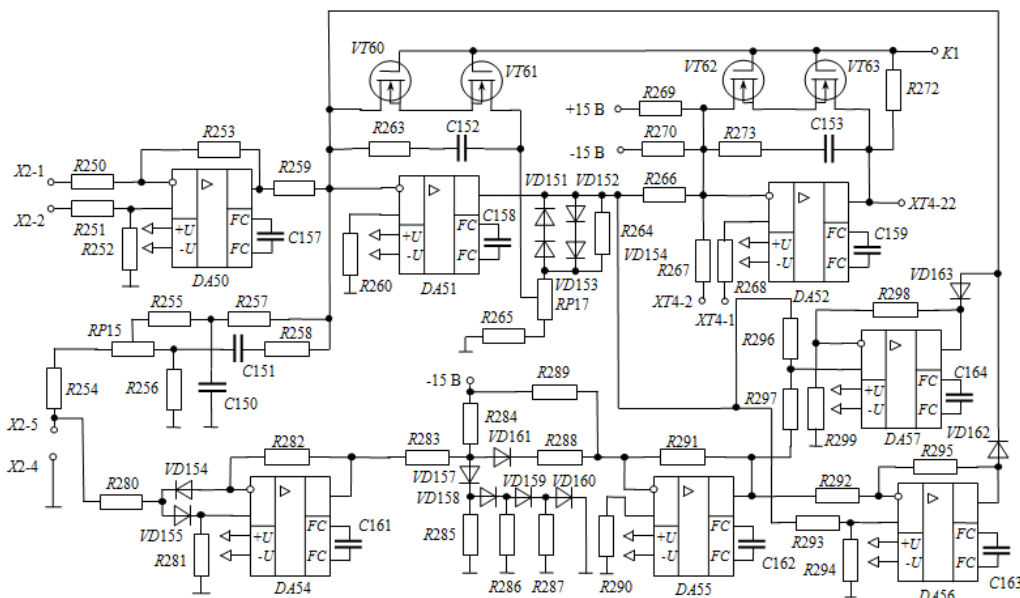


Рис. 5. Принципиальная схема блока регуляторов одной координаты электропривода «Кемток»

Выходное напряжение регулятора скорости является заданием для регулятора тока, реализованного на интегральном операционном усилителе $DA52$. Этот регулятор также является пропорционально-интегральным. Сигнал отрицательной обратной связи по току с шунта RS подается дифференциально (рис. 6) на вход регулятора тока. Таким способом исключается влияние падения напряжения на связывающих проводах и контактных сопротивлениях. Так, сигнал обратной связи по току является пропорциональным току через двигатель и зависит только от его величины. Глубина обратной связи определяется сопротивлением $R267$. Резистор $R271$ и транзисторы $VT62$ и $VT63$ выполняют те же функции, как $R261$ и $VT160$ и $VT61$ регулятора скорости. Выходное напряжение регулятора тока поступает на вход платы СИФУ.

Напряжение тахогенератора подается и на выпрямительный узел (рис. 5), реализованный на интегральном усилителе $DA54$ и диодах $VD154$ и $VD155$.

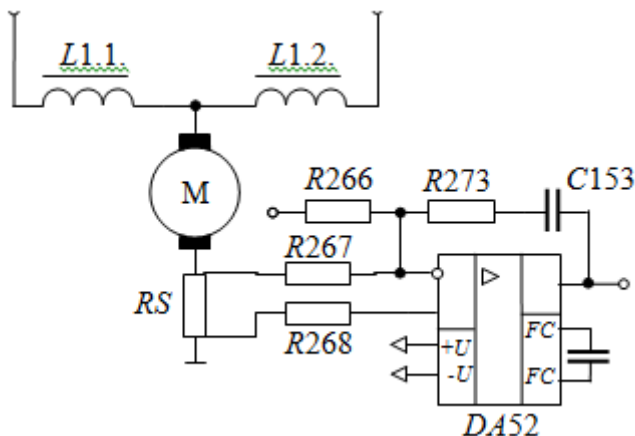


Рис. 6. Принципиальная схема измерения тока якоря

Коэффициент передачи этого узла равен $1/4$ и определяется следующим образом: при отрицательном входном напряжении диод $VD155$ заперт, а диод $VD154$ открыт, коэффициент усилителя равен $K = \frac{R282}{R280}$; для положительного входного напряжения диод

$VD155$ открыт, а диод $VD154$ заперт, коэффициент усилителя равен $K = \frac{R281}{R280 + R281}$. В этом случае пренебрегаем падением

напряжения на открытом диоде. Узел настроен таким образом, что его выходное напряжение должно быть $+5$ В при скорости вращения двигателя $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ независимо от направления вращения, а тахогенератор имеет коэффициент передачи $0,02 \text{ В} \cdot \text{мин}^{-1}$.

Выпрямленное и пропорционально уменьшенное напряжение тахогенератора необходимо для схемы динамического токоограничения, работающей в функции скорости. Схема динамического токоограничения функционирует на принципе ограничения выходного напряжения регулятора скорости в соответствии с коммутационной кривой двигателя. Этот узел реализован на инте-

гральных усилителях $DA55$, $DA56$ и $DA57$.

Резисторы $R283$, $R285$, $R286$, $R287$ и диоды $VD157$, $VD158$, $VD159$ и $VD160$ образуют делитель с нелинейным коэффициентом передачи. Резистор $R284$ создает порог напряжения, при котором делитель не работает. Выходное напряжение на $DA55$ изменяется в зависимости от скорости двигателя по следующему графику (рис. 7).

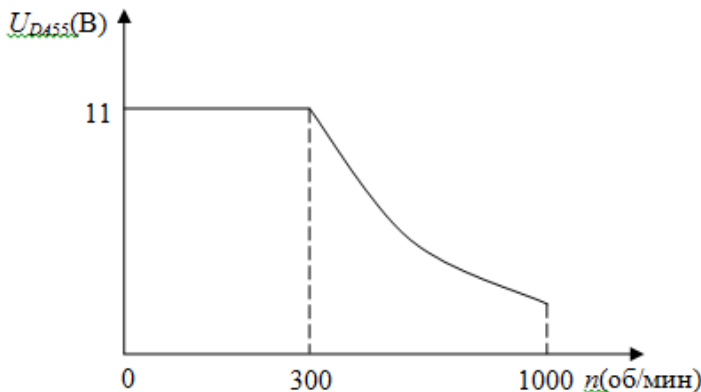


Рис.7. Коммутационная кривая высокомоментного двигателя

По этому закону ограничивается и выходное напряжение регулятора скорости в режимах «Пуск», «Стоп», «Реверс».

Ограничение выходного напряжения регулятора скорости осуществляется операционными усилителями $DA56$ при положительном и $DA57$ при отрицательном напряжении.

Когда выходное напряжение регулятора скорости равно нулю, на выходе $DA56$ напряжение равно минус 11 В, диод $VD162$ заперт, напряжение выхода $DA57$ +11 В, диод $VD163$ также заперт.

Рассмотрим логику работы динамического токоограничения при подаче команды «Пуск», максимальной скорости и холостом ходе, в этом случае нагрузка на валу двигателя определяется инерционным моментом.

Привод включен и $U_y = 0$, т. е. скорость двигателя равна нулю, а напряжение на выходе регулятора скорости также приблизительно равно нулю. При подаче скачком напряжения $U_y =$

10 В, выходное напряжение регулятора возрастает по модулю и стремится стать максимально отрицательным. Когда оно достигает величины 11 В, его возрастание останавливается, потому что этого напряжения достаточно, чтобы получить на выходе усилителя DA57 напряжение около 0,6 В. При этом диод VD163 отпирается и таким образом выходное напряжение усилителя DA57 подается на инвертирующий вход усилителя DA51. Начинает действовать активная отрицательная обратная связь.

Большое напряжение с выхода усилителя DA51 подается на регулятор тока DA52 и с его выхода на вход СИФУ. В результате протекает большой ток по цепи якоря двигателя. Двигатель начинает увеличивать свою скорость, а напряжение выхода усилителя DA55 изменяется по зависимости, показанной на рис. 7. Подаваемое на вход усилителя DA57 напряжение вызывает ограничение выходного напряжения усилителя DA51 по такой же зависимости. При подаче задающего напряжения $U_y = -10$ В, схема токоограничения работает аналогично. В этом случае активная отрицательная обратная связь осуществляется посредством усилителя DA56. Процессы аналогичны и тогда, когда подается команда «Стоп», команда «Реверс» или резко изменяется нагрузка двигателя.

2.4. Блок логики

Блок «Логика» является общим для приводов двух координат. Посредством комплекса защит и сигнализаций обеспечивается удобный ввод в эксплуатацию и безаварийная работа электропривода. Принципиальная схема блока приведена на рис. 8. Посредством входов $OM(X2-6$ и $X3-6)$ и релейного выхода $K1(X2-7$ и $X2-8)$ осуществляется связь блока с центральным пультом управления (ЦПУ) станка.

Блок «Логика» имеет несколько узлов:

- узел ON представляет два одинаковых узла, посредством которых дается разрешение на работу каждой координаты по отдельности;
- защита и сигнализация OL ;
- защита и сигнализация TG ;
- защита и сигнализация CP ;
- узел RD (готов).

Блок «Логика» следит также и за правильным осуществлением электрических связей в приводе.

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

Рассмотрим функционирование блока «Логики» при следующих условиях (рис. 8):

- все электрические связи выполнены правильно;
- на входы блоков OM_1 и OM_2 не подано разрешение на работу.

При включении питающего напряжения начинает действовать сигнализация RD — загорается светодиод $ИН 200$ и релейный контакт $K1$ замыкается. Это результат насыщения транзистора $VT74$. Остальные сигнализации OM_1 , OM_2 , OL , TG , и CP не включены.

Разрешение на работу подается на входы OM_1 и OM_2 от ЦПУ посредством релейного контакта или вручную ключом .

Узел $OM1$ построен из транзисторов $VT68$, $VT69$, $VT70$, $VT71$ и $VT72$. Когда не дано разрешение на работу (контакт открыт), состояние транзисторов следующее: $VT68$, $VT70$ и $VT71$ заперты, а $VT69$ и $VT72$ насыщены. Потенциал коллектора транзистора $VT72$ около $+15$ В. Это положительное напряжение обеспечивает надежное отпирание МОП-транзисторов $VT60$, $VT61$, $VT62$ и $VT63$ (по линии C). Таким образом, регуляторы скорости и тока работают с очень маленьким коэффициентом передачи. Поэтому их выходное напряжение близко к нулю даже при большом входном сигнале. Напряжение коллектора $VT72$ подается к СИФУ и запрещает подачу управляющих импульсов к тиристорам координаты X .

Замыкание контакта K дает разрешение на работу. В этом случае $VT68$ насыщается. Посредством диода $VD186$ запирается транзистор $VT75$, который до этого момента был насыщенным. Транзистор $VT69$ запирается, а конденсатор $C172$ начинает заряжаться. Когда напряжение становится достаточным для отпирания, транзистор $VT70$ отпирается и насыщается, а светодиод $ИН222$ загорается — работает сигнализация $OM1$. Насыщение транзистора $VT70$ вызывает насыщение транзистора $VT71$ и запирает транзистор $VT72$. Напряжение коллектора $VT71$ становится равным $+24$ В и это разрешает подачу управляющих импульсов к тиристорам.

На коллекторе транзистора $VT72$ появляется напряжение минус 30 В, что обеспечивает запирает МОП транзисторов и нормальную работу регуляторов. Все сказанное для узла OM_1 остается в силе и для узла OM_2 .

Сигнализация RD построена на транзисторе $VT74$. На диодах $VD197$, $VD198$, $VD199$ и резисторе $R364$ реализована логическая схема «И». Транзистор $VT74$ насыщен только тогда,

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов

когда на три входа логической схемы поданы логические единицы, т. е. сигнализация RD работает, когда ни одна из защит (TG , OL и CP) не действует. Наличие сигнала RD («Готов») выражено в низком уровне коллектора $VT74$ и позволяет принятие разрешения на работу двух координат. Срабатывание какой-либо защиты ведет к отмене готовности к работе, выраженное в запирании транзистора $VT74$. Полученное высокое напряжение коллектора $VT74$ ведет к запирающему диода $VD229$, а, следовательно, к насыщению транзисторов $VT69$ и $VT81$ и к выключению ON_1 и ON_2 . Таким образом, запрещается работа электроприводов двух координат при срабатывании защит.

Остальные защиты и сигнализации: TG , OL , CP , и RD являются общими для двух координат.

Защита TG предохраняет электропривод от превышения максимальной скорости двигателя и от обрыва обратной связи по скорости. Интегральная схема $DA68$ работает как компаратор и как триггер. Порог компаратора $+5,6$ В задается делителем на резисторах $R356$, $R357$ и $R358$. $R359$; на резисторах $R360$, $R361$ и диоде $VD193$ реализуется цепь положительной обратной связи, которая определяет триггерные свойства схемы. В исходном состоянии усилитель $DA68$ насыщен и его выходное напряжение равно приблизительно минус 13 В. Если транзистор $VT73$ заперт, диод $VD193$ также заперт и положительная обратная связь не действует. На диодах $VD153$, $VD156$, $VD170$, $VD171$ (диоды $VD156$, $VD170$, $VD171$ показаны на схеме, находящейся на лицевой панели стенда) реализована диодная логическая схема «ИЛИ», связанная с неинвертирующим входом усилителя $DA68$ через резистор $R355$. Таким образом, компаратор можно переключить от выходных напряжений усилителей $DA53$ или $DA54$, $DA59$ или $DA60$. Превышение максимальной скорости двигателя любой координаты ведет к увеличению напряжения, приложенного к $R155$, выше порога срабатывания компаратора $DA68$. При этом компаратор $DA68$ срабатывает, изменяет знак выходного напряжения с отрицательного на положительный. Транзистор $VT73$ насыщается, а светодиод $VH196$ (сигнализации TG) загорается.

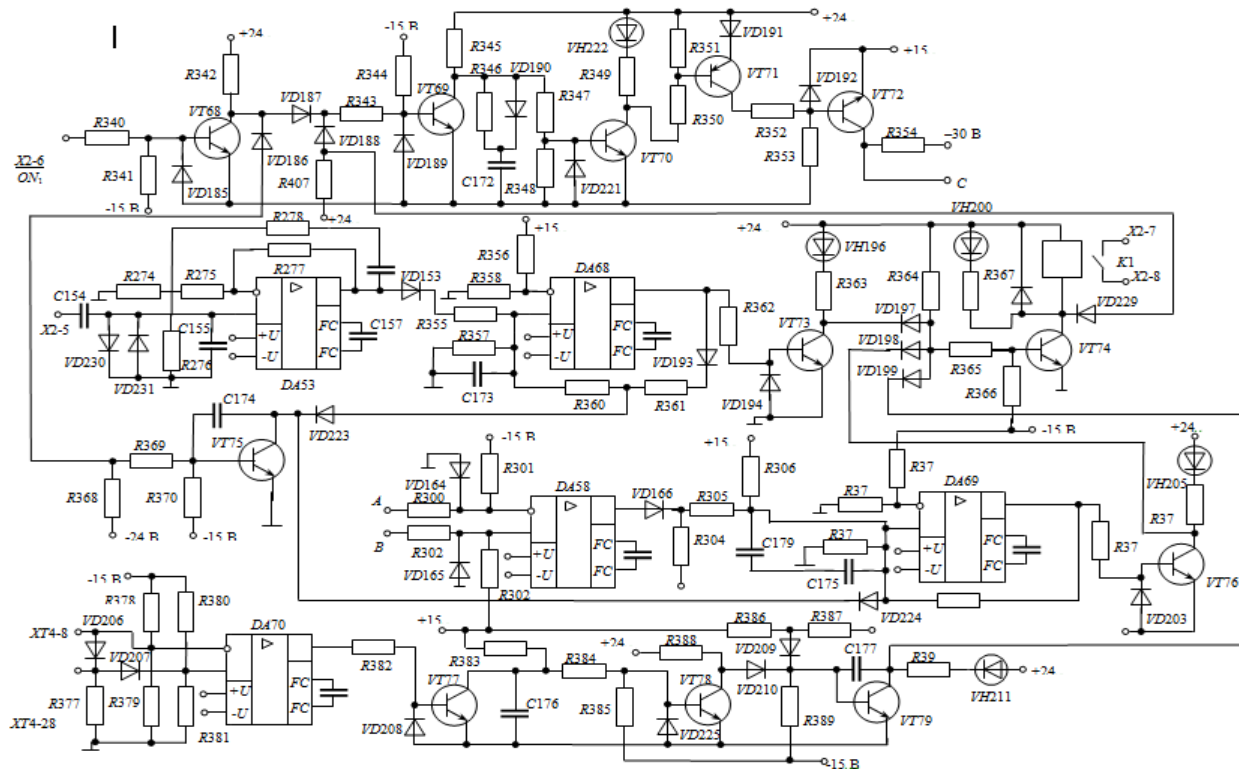


Рис. 8. Принципиальная схема блока логики и защиты



Полученный низкий уровень коллектора $V773$ ведет к запиранию транзистора $V774$ и снятию сигнала RD . Это со своей стороны выключает OM_1 и OM_2 . В СИФУ подается запрет на управление тиристорами силовыми выпрямителями двух координат. Двигатели остаются без питающего напряжения и их скорость уменьшается. Напряжение на $R155$ также уменьшается. Когда оно станет меньше порогового напряжения, компаратор не устанавливается в своем исходном состоянии, проявляется триггерное действие схемы. Это результат наличия положительной обратной связи. Цепь этой обратной связи рассчитана так, чтобы на неинвертирующий вход усилителя $DA68$ подавалась часть положительного выходного напряжения, которая больше порога срабатывания. Поэтому после устранения внешней причины, вызвавшей переключения компаратора, он не возвращается в исходное состояние. Схема запоминает появление аварийной ситуации. Для восстановления нормального состояния компаратора $DA68$ необходимо, чтобы напряжение неинвертирующего входа было меньше порогового, что осуществляется посредством включения транзистора $V775$. Для этого необходимо, чтобы $V768$ и $V780$ были заперты, т. е. выключить разрешение на работу двух координат.

По описанному уже способу действует защита и при превышении максимальной скорости двигателя координаты Z . В этом случае напряжение в точке $\bar{59}$ возрастает над пороговым напряжением компаратора $DA68$. Схема компаратора переключается и вновь выключается работа приводов двух координат.

Защита TG срабатывает и тогда, когда происходит обрыв обратной связи по скорости. Наличие этой связи для координаты X контролируется блоком, реализованным на усилителе $DA53$, а для координаты Z — $DA60$. Эти блоки представляют собой RC -генераторы.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под термином «угол запаздывания открывания тиристора»?
2. Поясните принцип согласованного управления комплектами реверсивного тиристорного преобразователя.
3. Назовите преимущества и недостатки несогласованного совместного управления комплектами реверсивного тиристорного преобразователя.
4. Какие основные элементы содержит функциональная схема комплектного преобразователя «Кемток»?
5. Как формируется пилообразное напряжение СИФУ, синхронизируемое с фазным силовым напряжением?
6. Какие регуляторы используются в замкнутой системе управления тиристорными приводами?
7. Как выполнено ограничение тока якоря двигателя в динамических режимах работы?
8. Какие виды защит обеспечивает комплектный преобразователь «Кемток»?
9. Как осуществляется нагружение испытуемого двигателя при снятии механических характеристик на лабораторном стенде?
10. Что понимается под термином «комплектный преобразователь»?
11. Каким образом осуществляется измерение тока якоря двигателя?



ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Б.Онищенко, М.И. Аксенов, В.П.Грехов, А.И.Нитиевская (под общ. ред. Г.Б.Онищенко): Автоматизированный электропривод промышленных установок. — М. : РАСХН, 2001.
2. *Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/ М П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов — М. : Издательский центр «Академия», 2004.*
3. Тиристорный преобразователь «Кемток»: техническое описание и инструкция по эксплуатации. — Электроимпекс.