

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. А. Савельев

НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2009

УДК 62-8(075.8)
ББК 31.291я73
С13

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 10.12.2007 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук *Т. В. Алферова*

С13

Савельев, В. А.

Наладка и диагностика автоматизированного электропривода : лаборатор. практикум по одному. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / В. А. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 28 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит теоретические сведения, задание и программу проведения лабораторной работы по разделу «Системы управления электроприводов постоянного тока» дисциплины «Наладка и диагностика автоматизированного электропривода».

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-8(075.8)
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

Введение

Высокая степень автоматизация станков с ЧПУ, возможность выполнения на одном станке различных технологических операций и широкая номенклатура обрабатываемых деталей определили необходимость установки в этих станках регулируемых электроприводов, характеризующихся большим диапазоном регулирования, стабильностью регулировочных и механических характеристик при изменении напряжения питания, температуры окружающей среды и момента нагрузки, высоким быстродействием при управляющем и возмущающем воздействии, равномерностью перемещений исполнительных органов, включая самые малые скорости. Значительная стоимость и большая загрузка станков с ЧПУ обусловили повышенные требования к надежности их работы и в первую очередь надежности систем управления и приводов.

Требования, предъявляемые к приводам, обусловлены необходимостью обеспечения максимальной производительности и высокой точности обработки, реализации широкого круга технологических режимов, конструктивными возможностями станка и режущего инструмента. Эти требования зависят не столько от принадлежности станка к какой-либо группе, сколько от того, для механизма какого движения предназначен привод (главного движения, подачи или вспомогательного), так как именно это определяет мощность, способ регулирования частоты вращения, диапазоны скоростей, плавность регулирования, требования к динамическим параметрам, жесткости и стабильности характеристик.

Наладка систем управления электроприводов постоянного тока подразумевает выполнение ряда стандартных операций. Однако, чтобы четко представлять последствия действий, выполняемых в ходе наладочных работ необходимо, прежде всего, подробно ознакомиться с устройством, принципом действия и рекомендациям по эксплуатации конкретного электропривода.

Настоящее методическое пособие на примере комплектного тиристорного электропривода ЭТУ2-2...Д рассматривает устройство, принцип действия и методику проведения наладочных работ системы управления. При работе с пособием рекомендуется пользоваться набором оригинальных принципиальных схем, прилагаемым к техническому описанию и инструкции по эксплуатации рассматриваемых электроприводов.

1. Цель работы

1. Подробное изучение устройства и принципа действия системы управления комплектным тиристорным электроприводом типа ЭТУ.

2. Изучение типовой методики проведения работ по наладке систем управления комплектных тиристорных электроприводов постоянного тока.

2. Указания мер безопасности

1. К выполнению практической части лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие специальный технический инструктаж и изучившие техническое описание и инструкцию по эксплуатации.

2. Электродвигатель, блок управления, сглаживающий и сетевой реакторы, трансформатор, а также контрольно-измерительная аппаратура должны быть заземлены.

3. Категорически запрещается вставлять и вынимать панели управления под напряжением. Любые действия, связанные с внесением схемных изменений, должны производиться только после отключения электропривода от питающей сети.

4. Приступать к выполнению практической части лабораторной работы студенты могут только с разрешения преподавателя.

3. Техническое описание системы управления

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) обеспечивает формирование по вертикальному принципу синхронизированной сетью m -фазной системы управляющих импульсов, подаваемых в цепи управления тиристорами, и изменение фазы этих импульсов в функции напряжения управления, поступающего из системы регулирования. В дополнение к этим функциям система управления реверсивным тиристорным преобразователем обеспечивает раздельное управление комплектами вентиляей, переключая управляющие импульсы с одного комплекта на другой для изменения направления выпрямленного тока.

Функциональная схема СИФУ комплектного тиристорного электропривода ЭТУ2-2...Д изображена на рис.1.

СИФУ состоит из следующих основных узлов:

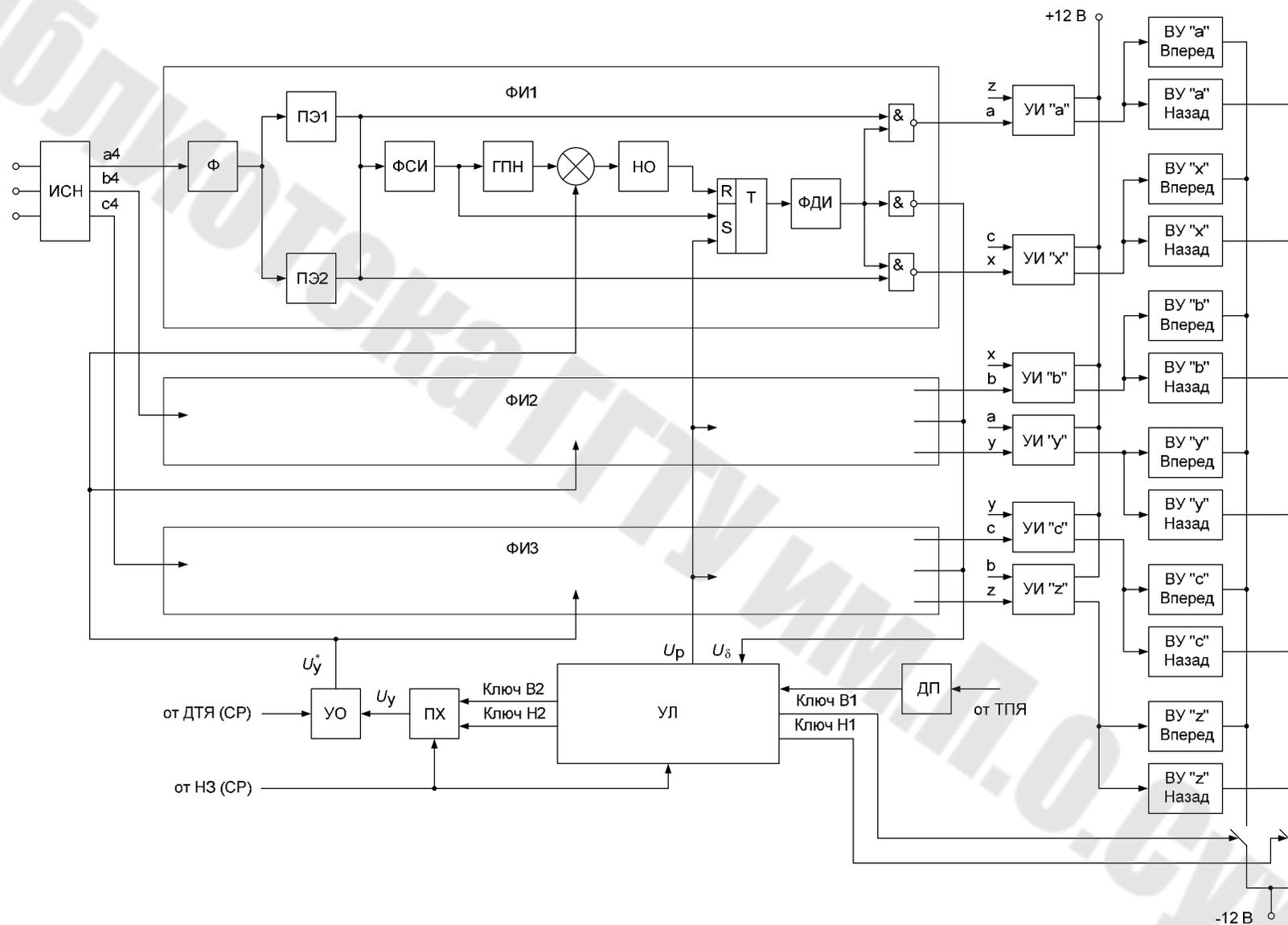


Рис.1. Функциональная схема системы импульсно-фазового управления

- источника синхронизирующего напряжения ИСН (трансформатора синхронизации);
- формирователей импульсов ФИ1...ФИ3;
- усилителей импульсов УИ;
- устройств ввода УВ (импульсных трансформаторов);
- управляющего органа УО;
- переключателя характеристик ПХ;
- устройства логики УЛ;
- датчика проводимости ДП вентиляей.

3.1. Формирователь импульсов

Принципиальная схема формирователя импульсов представлена на рис.2.

Формирователь импульсов состоит из следующих узлов (см. рис.1 и рис.2):

- фильтра Ф, состоящего из элементов R1, R2, R19, C1;
- двух пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2, собранных на транзисторах VT1...VT4;
- формирователя синхронизирующих импульсов ФСИ, реализованного на микросхеме DD1;
- генератора пилообразного напряжения ГПН, включающего элементы R9...R12, C2, VT6, DA1.1;
- нуля-органа НО, собранного на микросхеме DA1.2;
- RS-триггера Т на микросхеме DD2;
- формирователя длительности импульсов ФДИ, собранного на элементах R15, R17, C4, VT8, VD7.

Диаграммы, поясняющие работу формирователя импульсов, приведены на рис.3. По вертикальной оси даны диаграммы напряжений на элементах схемы, а в скобках указаны точки элементов, например, «к» - коллектор и т.п. Канал фазового управления работает следующим образом.

Исходя из требования помехозащищённости по каналу синхронизации для надёжной работы ТП при наличии искажений и коммутационных провалов в кривой питающего напряжения, возникающих вследствие работы ТП и других нагрузок, исключаяющей появление ложных управляющих импульсов или их пропуск в формировании, в цепь синхронизации каждого формирователя импульсов включается

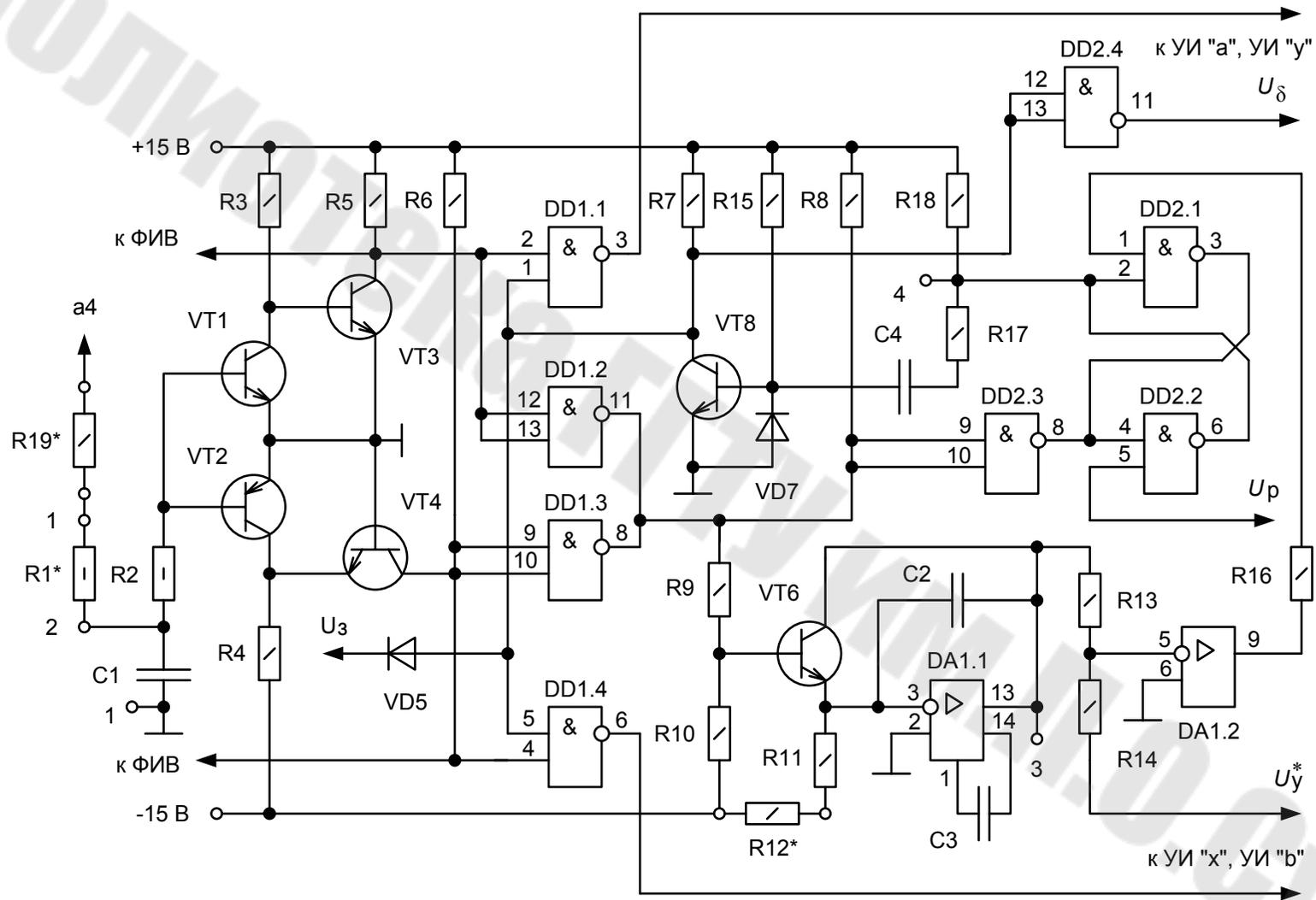


Рис. 2. Принципиальная схема формирователя импульсов

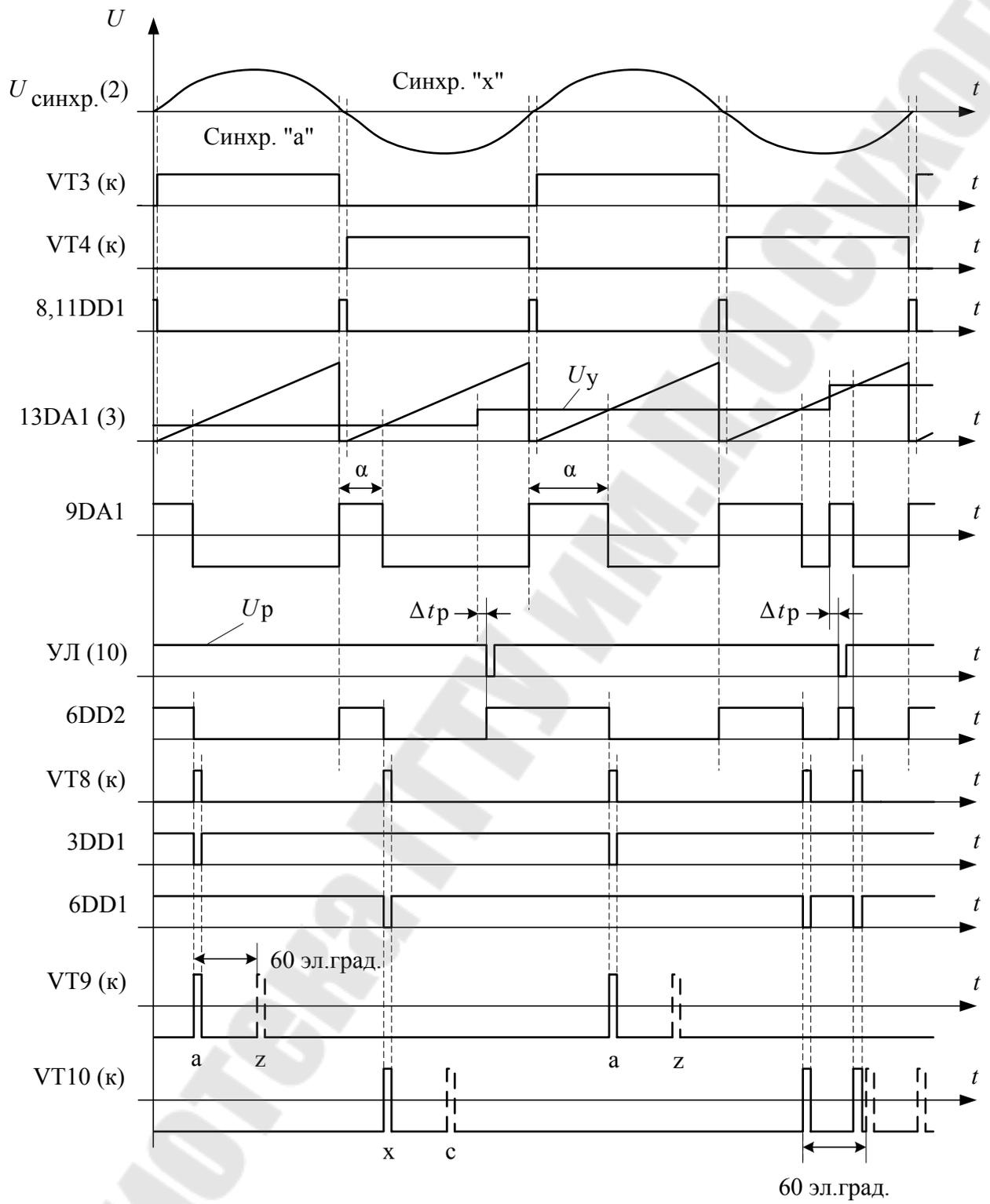


Рис.3. Диаграммы работы канала фазового управления

пассивный фильтр Φ , выделяющий первую гармонику напряжения сети.

Синусоидальное синхронизирующее напряжение $U_{\text{синх}}$, поступающее с одной из фаз а4, б4 или с4 вторичной обмотки трансформатора синхронизации, сдвигается фильтром Φ на угол 30 эл. градусов (подстройка угла сдвига осуществляется сопротивлениями R1 и R19).

3.1.1. Пороговые элементы

Сдвинутое с помощью фильтра синусоидальное синхронизирующее напряжение поступает на базы транзисторов VT1 (n-p-n) и VT2 (p-n-p) пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2 соответственно. Если в данный момент времени имеет место положительная полуволна синхронизирующего напряжения, и ее мгновенное значение превышает порог отпираания (около 0,4 В) транзистора VT1, то последний открывается. Транзистор VT3 (n-p-n) закрывается и напряжение на его коллекторе становится равным +15 В. При этом транзистор VT2 заперт, а транзистор VT4 (p-n-p) открыт. При помощи делителя R3, R6, соединенного с источниками питания -15 и +15 В соответственно, на коллекторе транзистора VT4 формируется напряжение близкое к нулю.

Если же полярность синхронизирующего напряжения отрицательная и по модулю превышает порог отпираания транзистора VT2, то последний оказывается открытым и запирает транзистор VT4. При этом с коллектора транзистора VT4 снимается напряжение +15 В, а с коллектора VT3 – 0 В.

Таким образом, с помощью двух разнополярных пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2 синхронизирующее напряжение преобразуется в прямоугольные противофазные напряжения (см. диаграммы «VT3(к)» и «VT4(к)», рис.3). Длительность этих напряжений определяет интервалы разрешения подачи импульсов на управляющие электроды тиристоров анодной и катодной группы, подключенных к данной фазе питающей сети. Для исключения одновременной подачи управляющих импульсов на тиристор анодной и катодной группы данной фазы длительность указанных прямоугольных сигналов составляет 176 эл. градусов.

3.1.2. Формирователь синхронизирующих импульсов

Когда мгновенное значение синхронизирующего напряжения на входах пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2 находится в пределах зоны их нечувствительности, обусловленной начальными напряжениями отпираания транзисторов (от -0,4 до +0,4 В), на выходах 8 и 11 элемента DD1 формируется синхроимпульс запуска генератора пилообразного опорного напряжения.

Этот синхроимпульс имеет уровень логической единицы и период следования, равный половине периода питающей сети. Для формирования данного синхроимпульса открытые коллекторы (выходы 8 и 11) элементов DD1.2 и DD1.3 соединены вместе и подключены к источнику положительного напряжения через сопротивление R8.

3.1.3. Генератор пилообразного напряжения

Синхроимпульс запуска генератора пилообразного напряжения управляет открыванием транзистора VT6. Переход коллектор-эмиттер последнего подключен параллельно конденсатору C2. Делитель напряжения R9, R10 необходим для надежного отпирания и запираания транзистора VT6.

Таким образом, при каждом переходе синхронизирующего напряжения через нуль на выходах 8 и 11 элемента DD1 формируется единичный синхроимпульс (см. диаграмму «8,11DD1», рис.3), который приводит к открыванию транзистора VT6 вплоть до его насыщения. При этом правая по схеме обкладка конденсатора через малое сопротивление перехода коллектор-эмиттер транзистора VT6 оказывается соединенной с левой обкладкой. Заряд конденсатора быстро уменьшается и в конце процесса разряда становится равным напряжению насыщения перехода коллектор-эмиттер транзистора VT6 (не более 0,4 В). Поскольку потенциал инвертирующего входа операционного усилителя DA1.1 практически равен потенциалу его неинвертирующего входа (0 В), то в конце процесса разряда конденсатора C2 напряжение на выходе 13 усилителя DA1.1 (выход генератора пилообразного опорного напряжения) оказывается не более 0,4 В.

При исчезновении синхроимпульса запуска с базы транзистора VT6 последний закрывается. Усилитель DA1.1 переходит в режим формирования переднего фронта пилообразного опорного напряжения (см. диаграмму «13DA1(3)», рис.3). По своей сути усилитель DA1.1 совместно с конденсатором C2 и задающими сопротивлениями R11 и R12 является интегратором. Сопротивления R11 и R12, соединенные с источником напряжения - 15 В, формируют величину постоянного тока заряда конденсатора C2. Заряд конденсатора постоянным током обеспечивает линейность «пилы» опорного напряжения на выходе усилителя DA1.1. Величину тока заряда конденсатора C2 регулируют сменным резистором R12 так, чтобы размах пилообразного опорного напряжения в контрольной точке 3 схемы составлял не менее 8 В.

С выхода генератора пилообразное опорное напряжение положительной полярности, через резистор R13 поступает на инвертирующий вход компаратора DA1.2. На этот же вход компаратора через сопротивление R14 с выхода управляющего органа (DA2.2) поступает сформированный сигнал управления. Момент превышения пилообразного опорного напряжения над напряжением управления фиксируется компаратором, который изменяет своё состояние на выходе 9 с $+U_{\text{НАС}}$ на $-U_{\text{НАС}}$ (см. диаграмму «9DA1», рис.3). Это прямоугольное напряжение через сопротивление R16 поступает на вход 1 RS-триггера DD2.1, DD2.2.

3.1.4. RS-триггер и формирователь длительности импульса

Открытый коллектор выхода 6 элемента DD2.2 RS-триггера, соединенный со входом 2 элемента DD2.1, нагружен сопротивлением R18, подключенным к напряжению $+15\text{В}$. С выхода 6 RS-триггера сигнал поступает на формирователь длительности импульса ФДИ, состоящий из транзистора VT8 с защитным диодом VD7, сопротивлений R15 и R17 и конденсатора C4.

Формирование управляющего импульса заключается в уменьшении его длительности. Если на выходе 6 RS-триггера присутствует уровень логической единицы и конденсатор C4 находится в заряженном состоянии (ток через него не протекает), на базу транзистора VT8 через сопротивление R15 поступает напряжение $+15\text{В}$. При этом на коллекторе транзистора VT8 имеет место напряжение близкое к нулю.

При появлении нуля на выходе 6 RS-триггера начинается процесс перезаряда емкости C4 по цепи: $+15\text{В} - R15 - C4 - R17 - \text{выход } 6 \text{ DD2.2}$. При этом напряжение на базе транзистора VT8 уменьшается и последний закрывается. На коллекторе транзистора VT8 оказывается напряжение $+15\text{В}$, поступающее через резистор R7, т.е. импульс единичного уровня (см. диаграмму «VT8(к)», рис.3). Длительность этого импульса зависит от времени перезаряда конденсатора C4, регулируется цепочкой R17-C4 и должна составлять не более 10 эл. градусов.

С коллектора транзистора VT8 управляющие импульсы поступают на входы 1 и 5 элементов DD1.1 и DD1.4 соответственно. На входы 2 и 4 этих элементов поступают сигналы с выхода пороговых элементов ПЭ1 и ПЭ2. Таким образом, если на данную фазу выпрямительного моста поступает положительная полуволна питающего

напряжения элемент DD1.1 окажется открыт для прохождения управляющего импульса, и последний поступит на тиристор катодной группы данной фазы (см. диаграмму «3DD1», рис.3). Элемент DD1.4 при этом будет закрыт для управляющих импульсов. В случае присутствия на тиристорах отрицательной полуволны питающего напряжения элемент DD1.1 окажется закрыт, а управляющий импульс через элемент DD1.4 поступит на тиристор анодной группы данной фазы (см. диаграмму «6DD1», рис.3).

RS-триггер сохраняет свое состояние до тех пор, пока на его вход 4DD2.2, через инвертор с открытым коллектором DD2.3, с ФСИ (выходы 8 и 11 элементов DD1.2, DD1.3) не поступит синхроимпульс. Это синхроимпульс подготовит RS-триггер для выдачи очередного управляющего импульса. Триггер также может быть подготовлен к выдаче управляющего импульса сигналом U_p (пропадание и последующее появление напряжения разрешения выдачи импульсов), поступающим с выхода 6 элемента DD3.2 устройства логики (УЛ) на вход 5 элемента DD2.2 RS-триггера.

Развязывающий диод VD5, подключенный анодом к коллектору транзистора VT8, используется для связи СИФУ с выходом узла защит. При появлении на выходе узла защит сигнала логического нуля, диод VD5 оказывается смещен в прямом направлении положительным напряжением, поступающим через сопротивление R7. При этом диод VD5 шунтирует переход «коллектор-эмиттер» транзистора VT8, что приводит к снятию управляющих импульсов с выхода СИФУ.

К коллектору транзистора VT5 также подключен вход инвертора DD2.4, с выхода 11 которого снимается сигнал U_8 . Суммируясь с аналогичными сигналами формирователей ФИ2 и ФИ3 этот сигнал запрещает переключение логического устройства реверса в момент прохождения управляющего импульса.

3.1.5. Усилители импульсов

С выхода 3 элемента DD1.1, либо с выхода 6 элемента DD1.4 управляющие импульсы поступают на усилители импульсов УИ. Усилители собраны на транзисторах p-n-p типа VT9...VT14, сопротивлениях R1...R24, диодах VD3...VD8, VD15...VD26. Усилители предназначены для усиления мощности управляющих импульсов ФИ. Нагрузкой для УИ служат устройства ввода УВ. В качестве примера рассмотрим работу усилителя на транзисторе VT9 (рис.4).

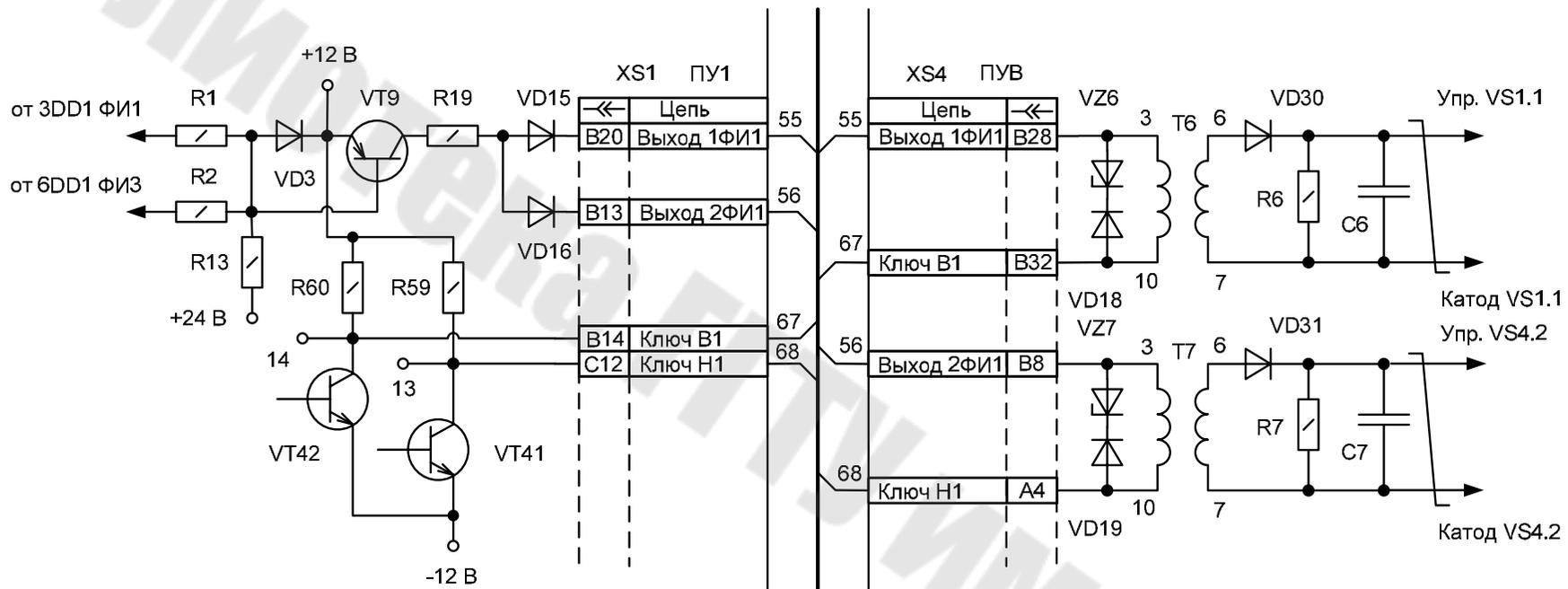


Рис.4. Фрагменты принципиальных схем панели управления ПУ1 и панели устройств ввода ПУВ

На базу транзистора, через сопротивление R1, поступает УИ нулевого уровня с выхода 3 элемента DD1.1 ФИ. Через резистор R13 на базу транзистора VT9 поступает напряжение +24В, необходимое для надежного запираания транзистора усилителя. Диод VD3 защищает транзистор от перегрузки обратным напряжением.

Кроме этого, через сопротивление R2 на базу приходит дополнительный УИ с соседнего ФИ. В режиме прерывистого тока возможна ситуация, когда в момент подачи первого УИ величина ЭДС якоря двигателя может быть больше величины мгновенного значения фазного напряжения сети, при таких условиях тиристор не сможет открыться. В таком случае, для надежного отпираания этого тиристора используют либо широкий УИ, либо сдвоенные узкие УИ, причем второй импульс следует через 60 эл. градусов за первым. Фактический угол отпираания тиристора оказывается несколько больше заданного. В свою очередь, первый УИ данного тиристора является дополнительным для другого тиристора.

При поступлении на базу VT9 УИ нулевого уровня потенциал базы снижается по отношению к потенциалу эмиттера за счет делителя R1(R2), R13. Ток от источника напряжения +12 В замыкается на «землю», через переход коллектор-эмиттер транзистора VT9, сопротивление R19, один из диодов VD15 или VD16, первичную обмотку импульсного трансформатора Т6 или Т7 платы устройств ввода ПУВ, один из транзисторов VT41 или VT42 устройства логики, находящийся в открытом состоянии и определяющий условное направление вращения «вперед» или «назад» и источник напряжения -12 В. Вводное устройство служит для гальванического разделения силовой цепи и цепи управления и состоит из разделительного трансформатора, защитных и развязывающих диодов, а также резистора, который шунтирует управляющий переход тиристора, повышая его помехоустойчивость.

3.2. Устройство логики

Устройство логики УЛ осуществляет управление силовыми комплектами вентиля преобразователя и выполняет следующими функциями:

- выбор нужного комплекта вентиля в зависимости от знака входного сигнала $U_{НЗ}$ путем включения соответствующих ключей направления работы («Вперед» или «Назад»);

- переключение комплектов тиристорov преобразователя на бес-токовом интервале, что достигается введением блокировки в ЛУ по сигналу датчика проводимости тиристорov;
- формирование задержки в момент снятия импульсов с работавшего ранее комплекта и подачи их на комплект, вступающий в работу.
- Функциональная схема ЛУ представлена на рис.5 и включает в себя:
 - нуль-органы DA1.1, DA1.2;
 - триггер DD1.2, DD1.3 заданного направления тока ТЗН;
 - триггер DD2.2, DD2.3 истинного направления тока ТИН;
 - элементы DD1.1, DD1.4, DD2.1, DD2.4 совпадения на входах триггеров ТЗН и ТИН;
 - элементы DD3.1...DD3.3 совпадения на выходах триггеров;
 - элементы DD3.4, C10, R41 отсчета выдержки времени на переключение;
 - общие транзисторные ключи КН, КВ.

Работа логического устройства в электроприводе поясняется диаграммами напряжений, приведенными на рис.6 (по вертикали обозначены напряжения на элементах схемы, а в скобках - точки этих элементов).

Регулирующий сигнал с промежуточного выхода нелинейного звена НЗ поступает на инвертирующий вход нуль-органа, при этом отрицательный сигнал устанавливает нуль-орган в состояние логической единицы, а положительный - в состояние логического нуля.

Если ток в тиристорных комплектах отсутствует, то на коллекторе транзистора VT27 (см. диаграмму «VT27(к)», рис.6) датчиком проводимости ДП вентиляев обусловлен сигнал логической единицы. Если при этом отсутствуют управляющие импульсы на выходах ФИ1...ФИ3 (сигнал $U\delta$ имеет уровень логической единицы), то элементы совпадения DD1.1, DD1.4 (см. диаграммы «3DD1» и «11DD1», рис.6) разрешают прохождение сигналов нуль-органа на ТЗН (см. диаграммы «6DD1(6)» и «8DD1(7)», рис.6). Элементы совпадения DD2.1, DD2.4 (см. диаграммы «3DD2» и «11DD2», рис.6) при наличии на их общем входе сигнала логической единицы переводят ТИН (см. диаграммы «6DD2(8)» и «8DD2(9)», рис.6) в положение, соответствующее ТЗН. Выходы триггеров подключены к элементам совпадения DD3.1, DD3.3 (см. диаграммы «3DD3» и «8DD3», рис.6), которые управляют общими транзисторными ключами КН, КВ.

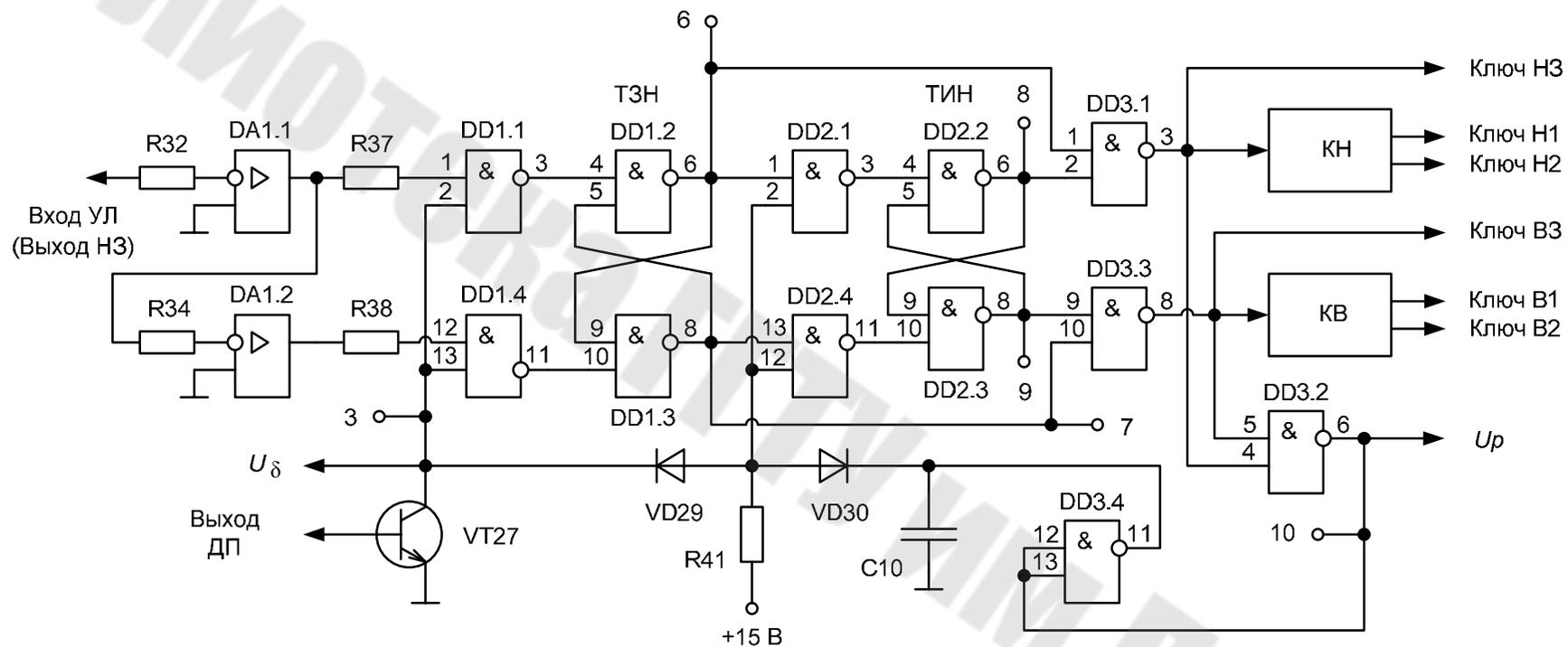


Рис.5. Функциональная схема устройства логики УЛ

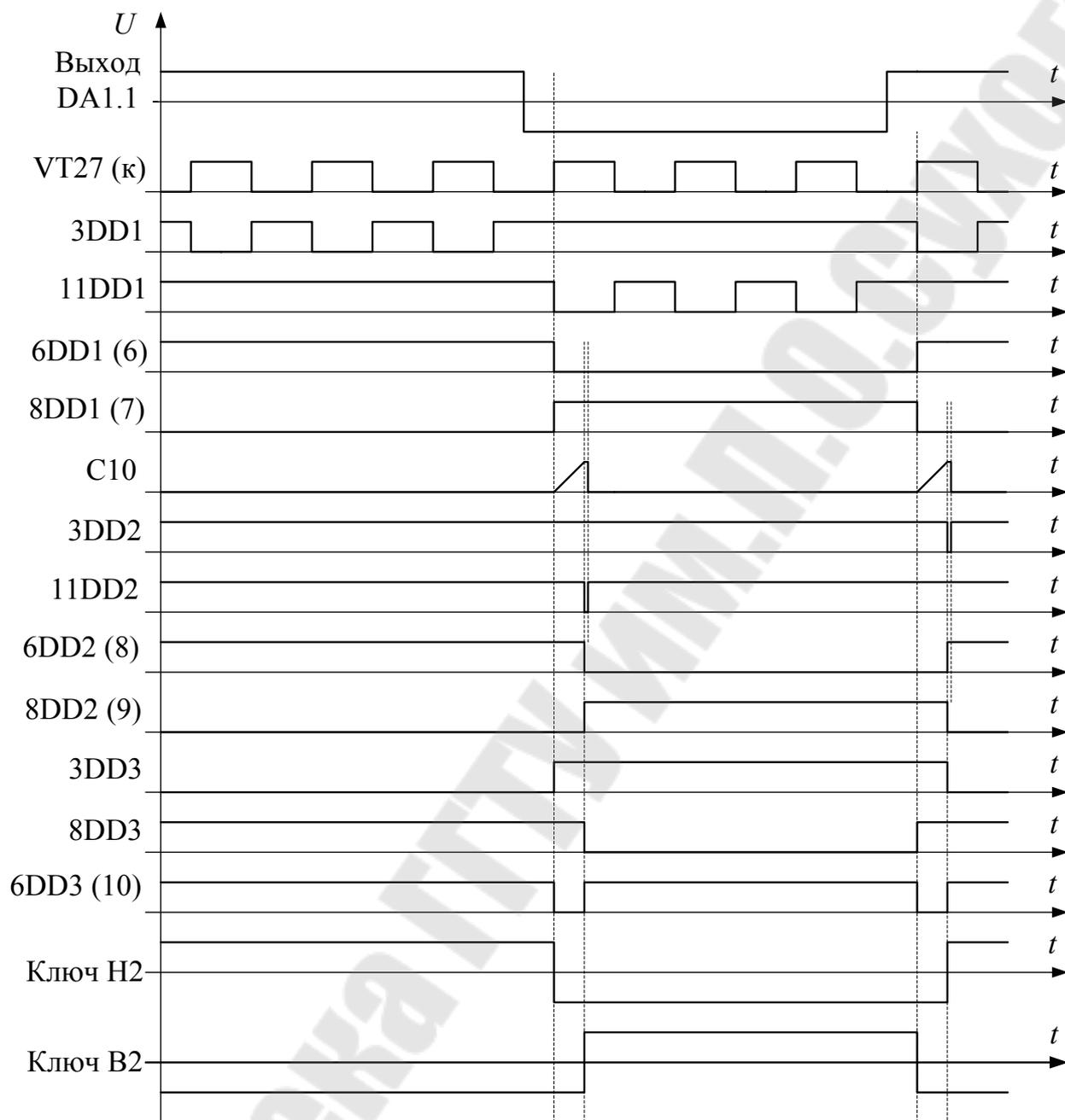


Рис.6. Диаграммы работы устройства логики

Последние, в свою очередь, управляют тремя парами ключей: Н1, В1; Н2, В2; Н3, В3. Ключи Н1, В1 разрешают выдачу управляющих импульсов на комплекты тиристоров «Назад» и «Вперед». Ключи Н2, В2 осуществляют управление переключателем характеристик на входе управляющего органа СИФУ. Ключи Н3, В3 осуществляют переключение в цепи обратной связи по току.

При наличии тока в силовой цепи с датчика проводимости вентиля ДП на базу транзистора VT27 поступает сигнал логической

единицы, запрещающий прохождение сигнала с выхода нуль-органа на вход ТЗН до исчезновения тока на вентилях. Аналогичная ситуация имеет место при наличии управляющих импульсов на выходах ФИ1...ФИ3 ($U\delta$ имеет значение логического нуля). При этом ТЗН и ТИН остаются в первоначальном состоянии, т.е. находятся в положении выбранного направления.

При реверсировании сигнала на выходе НЗ, реверсируется сигнал на выходе нуль-органа. Ток в силовой цепи начинает спадать и, как только он достигает нуля, ДП устанавливает на коллекторе транзистора VT27 сигнал логической единицы, разрешающий нуль-органу через элементы совпадения DD1.1, DD1.4 перевести ТЗН в новое состояние. Поскольку в данный момент диод VD30 через открытый коллектор элемента DD3.4 соединен с «землей», то элементы совпадения DD2.1 и DD2.4 закрыты и ТИН сохраняет свое состояние. Элементы совпадения DD3.1 и DD3.3 устанавливаются в состояние логической единицы по выходу. Ключ, бывший в работе выключается.

Одновременно с этим на выходе DD3.2 сигнал U_p разрешения выдачи импульсов принимает значение логического нуля и запрещает выдачу импульсов формирователями ФИ1...ФИ3. Начинается отсчет выдержки времени на приведение триггеров в новое состояние. На выходе 11 элемента DD3.4 появляется сигнал логической единицы. Конденсатор C10 начинает заряжаться от источника +15 В через сопротивление R41 и открытый диод VD30. Как только напряжение на конденсаторе C10 достигает уровня логической единицы элементы совпадения DD2.1 и DD2.4 переводят ТИН в положение, соответствующее ТЗН. При этом в работу вступает новый ключ. На выходе DD3.2 появляется сигнал логической единицы, разрешающий формирование управляющих импульсов в ФИ.

Таким образом, после быстрого снятия импульсов с ранее работавшего канала, для надежности, осуществляется кратковременная задержка выдачи управляющих импульсов по каналу нового направления тока. Это исключает аварийное включение тиристоров из-за ограниченной (конечной) чувствительности ДП.

Если во время отсчета выдержки на вход нуль-органа поступит команда на включение в первоначальное положение, то ТЗП возвращается в прежнее состояние, соответствующее ТИП, и сразу разрешает выдачу управляющих импульсов на тиристоры первоначально выбранного комплекта.

На принципиальной электрической схеме платы ПУ1 ключи КВ и КН выполнены соответственно на транзисторах V39, V42 и V38, V41.

Узел ЛУ в нереверсивных электроприводах не устанавливается.

3.3. Переключатель характеристик и управляющий орган

Переключатель характеристик ПХ (рис.7) служит для согласования однополярной регулировочной характеристики СИФУ с реверсивным сигналом на выходе нелинейного звена НЗ системы регулирования. Переключатель выполнен на операционном усилителе DA3.2 и транзисторных ключах VT13. Управление работой ПХ осуществляется сигналами «Ключ Н2» и «Ключ В2», поступающими с устройства логики.

Если в открытом состоянии находится верхний по схеме транзистор, то схема представляет собой неинвертирующий усилитель и при условии, что R32 равно R33, а R30 равно R34, коэффициент передачи ПХ равен +1.

Если в открытом состоянии находится нижний по схеме транзистор, а верхний при этом закрыт, то при условии равенства R33 и R31 коэффициент передачи ПХ составит -1 (схема инвертирующего усилителя).

Управляющий орган УО (см. рис.7) совместно с ПХ служит для согласования выхода системы регулирования со входами формирователей импульсов ФИ1...ФИ3 СИФУ, а также для установки углов $\alpha_{нач.}$, α_{max} , α_{min} . Управляющий орган выполнен на операционном усилителе DA2.2.

Начальный угол регулирования $\alpha_{нач.}$ устанавливается примерно равным 120 эл. градусов переменным резистором R26 при нулевых сигналах на «Входе УО». Углы α_{min} и α_{max} устанавливают переменными сопротивлениями R40 и R39 соответственно.

Максимальный угол управления α_{max} выбирается из условия устойчивости инверторного режима. Он зависит от угла коммутации γ и угла запаса δ , соответствующего времени восстановления запирающих свойств тиристоров и учитывающего наибольшее возможное значение асимметрии импульсов, и поэтому ограничивается значением $\alpha_{max} = \pi - (\gamma + \delta)$.

На практике $\alpha_{max} = 150...170$ эл. градусов.

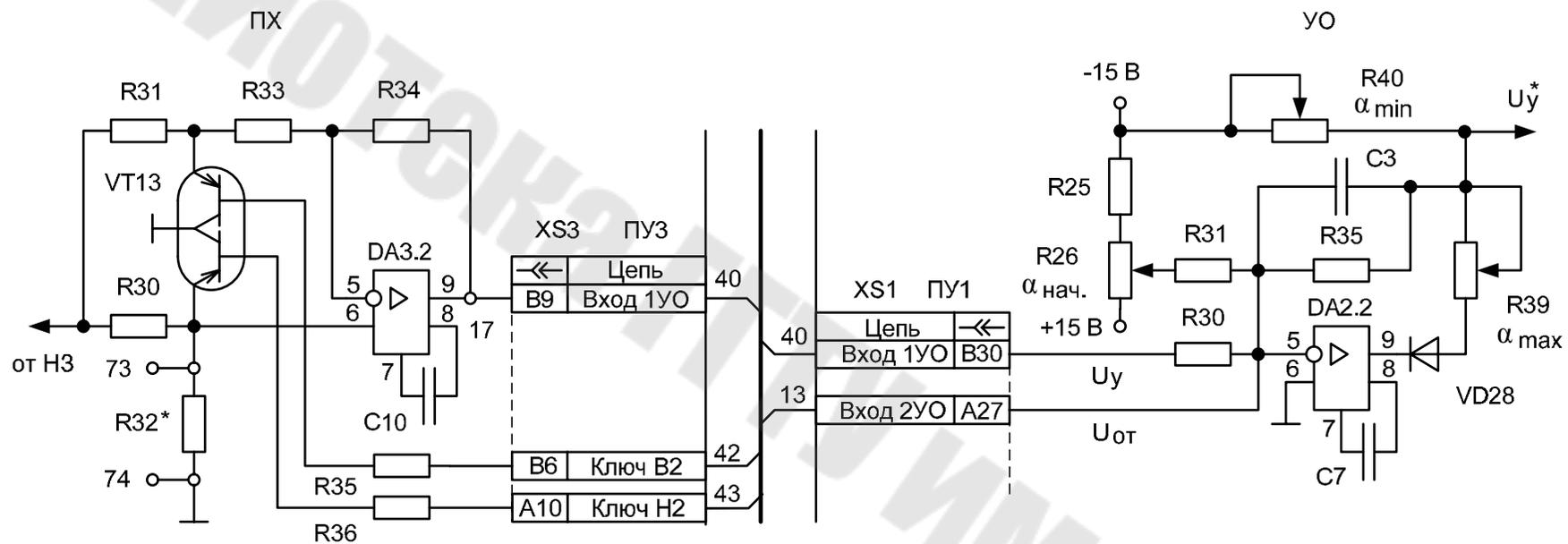


Рис. 7. Принципиальные схемы переключателя характеристик ПХ и управляющего органа УО

Минимальный угол управления α_{\min} определяет максимальное выпрямленное напряжение. В реверсивных схемах минимальное значение угла управления в большинстве случаев ограничено значением угла в инверторном режиме $\alpha_{\min} = \gamma + \delta$.

На практике $\alpha_{\min} = 15 \dots 30$ эл. градусов.

4. Расчет параметров сменных элементов системы управления

4.1. Расчет сопротивления R1 фазосдвигающего фильтра

Фильтры Ф, установленные на входе каждого формирователя импульсов ФИ1...ФИЗ, должны осуществлять сдвиг синхронизирующих синусоидальных напряжений a_4, b_4, c_4 , поступающих со вторичных обмоток трансформатора синхронизации Т5 на угол φ , равный 30 эл. градусов. Используемый фильтр представляет собой пассивный RC-фильтр первого порядка. Угол φ между синхронизирующим напряжением a_4 на входе фильтра и напряжением на конденсаторе С1 определяется как

$$\varphi = 90 - \arctg \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C1 \cdot (R1 + R19)}, \quad (1)$$

где f – частота напряжения синхронизации.

Задаваясь значениями емкости С1 и сопротивления R19 можно определить искомое значение сопротивления R1.

4.2. Расчет сопротивления R12 генератора пилообразного напряжения

Величина сопротивления R12 (см. рис.2) определяет значение тока заряда конденсатора С2 ГПН, и следовательно величину напряжения в конце процесса заряда.

Напряжение на выходе усилителя DA1.2 ГПН определяется выражением

$$U_3 = - \frac{(-U_{\pi})}{(R11 + R12) \cdot C2} \cdot t, \quad (2)$$

где t – время заряда конденсатора С2, т.е. время соответствующее половине периода напряжения питающей сети.

Задаваясь необходимым значением размаха напряжения U_3 на выходе ГПН, а также значениями сопротивления R11 и емкости С2, указан-

ными в спецификации можно определить искомую величину сопротивления R12.

4.3. Расчет сопротивлений R39, R40 управляющего органа

В режиме ограничения минимального угла управления α_{\min} напряжение на выходе УО определяется выражением

$$U_{y \min}^* = \frac{\alpha_{\min} \cdot U_{\text{оп.маx}}}{180}, \quad (3)$$

где $U_{\text{оп.маx}}$ - размах пилообразного опорного напряжения на выходе ГПН (контрольная точка 3, рис.2), соответствующий интервалу 180 эл. градусов.

В этом случае ОУ DA2.2 будет находиться в режиме положительного насыщения и диод VD28 будет заперт. Напряжение на выходе УО будет определяться делителем R40, R35, подключенным с одной стороны к источнику питания -15 В, а с другой – к общему проводу (т.к. дифференциальное напряжение ОУ DA2.2 примерно равно нулю), т.е.

$$U_{y \min}^* = \frac{R35}{R35 + R40} \cdot (-U_{\text{п}}). \quad (4)$$

Таким образом, задаваясь значением сопротивления R35 можно найти необходимую величину сопротивления R40

$$R40 = \frac{R35 \cdot 180 \cdot (-U_{\text{п}})}{\alpha_{\min} \cdot U_{\text{оп.маx}}} - R35, \text{ Ом.} \quad (5)$$

В режиме ограничения максимального угла управления α_{\max} напряжение на выходе УО определяется выражением

$$U_{y \max}^* = \frac{\alpha_{\max} \cdot U_{\text{оп.маx}}}{180}. \quad (6)$$

Операционный усилитель DA2.2 будет находиться в режиме отрицательного насыщения и диод VD28 будет открыт. При этом в первом приближении можно считать, что сопротивление R39 будет под-

ключено параллельно сопротивлению R40. Таким образом, напряжение на выходе УО будет определяться аналогично случаю рассмотренному выше, т.е.

$$U_{y \max}^* = \frac{R35}{R35 + \frac{R40 \cdot R39}{R40 + R39}} \cdot (-U_{\text{п}}). \quad (7)$$

При этом, задаваясь значением сопротивления R35 и рассчитанным выше значением сопротивления R40, можно найти значение сопротивления R40. Для более точного нахождения величины сопротивления R40 необходимо учесть то, что напряжение насыщения ОУ всегда несколько меньше напряжения его питания. В схемах УО преобразователей БТУ и ЭПУ1М на выходе ОУ DA2.2 вместо диода установлен биполярный транзистор, что упрощает расчет и повышает его точность.

4.4. Расчет сопротивления R32 переключателя характеристик

Выбор сопротивления R32 рассмотрен в п.3.3.

5. Общий порядок операций при наладке системы управления.

При наладке конкретного преобразователя необходимо придерживаться указаний руководства по эксплуатации.

- выполнить проверку напряжений питания;
- произвести коррекцию нуля операционных усилителей, входящих в состав системы управления;
- произвести фазировку системы управления;
- настроить фазосдвигающие фильтры;
- установить необходимые величины углов $\alpha_{\text{НАЧ}}$, $\alpha_{\text{МАХ}}$, $\alpha_{\text{МИН}}$;
- проверить смещение импульсов в инвертор при срабатывании защиты;
- проверить симметрию управляющих импульсов;
- проверить наличие импульсов на усилителях импульсов, параметры импульсов должны соответствовать приведенным в техническом описании;
- проверить наличие импульсов и правильность их чередования на управляющих электродах тиристорного моста (на каждом тиристоре должны присутствовать два импульса со сдвигом в 60 эл. градусов и с периодом повторяемости 360 эл. градусов);

- проверить чувствительность датчика проводимости;
- проверить работу устройства логики.

6. Порядок выполнения работы

1. Внимательно ознакомиться с устройством и принципом действия системы управления комплектного тиристорного преобразователя ЭТУ2-2...Д.

2. Пользуясь изложенными выше рекомендациями и спецификацией, приведенной в техническом описании рассматриваемого электропривода, рассчитать значения сопротивлений R1 фильтра Ф, R2 генератора пилообразного напряжения, R39 и R40 управляющего органа и R32 переключателя характеристик, необходимых для настройки системы управления.

3. Установить рассчитанные значения элементов и подать напряжение на систему управления.

4. Проконтролировать, а при необходимости скорректировать величины стабилизированных напряжений +15 В, -15 В, +5 В с точностью не хуже $\pm 0,1$ В (желательно использовать вольтметр с цифровой индикацией и входным сопротивлением не менее 1 МОм).

Обратить внимание на симметрию напряжений +15 В и -15 В, т. к. несимметрия этих напряжений влияет на характеристики ОУ.

При помощи осциллографа проконтролировать величину пульсаций указанных напряжений. Она не должна превышать 5 мВ.

Проконтролировать наличие нестабилизированных напряжений +24 В и - 24 В.

5. При помощи осциллографа проверить фазировку вторичных напряжений a4, b4, c4 трансформатора Т5 синхронизации системы управления. При этом необходимо иметь в виду, что основной схемой соединения обмоток силового трансформатора является «звезда-звезда-12». Однако для силового трансформатора возможно изменение схемы соединения обмоток на «звезда-треугольник», при этом целесообразно произвести переключение обмоток трансформатора синхронизации Т5 на схему «треугольник-звезда» с сохранением величины напряжений, прикладываемых к каждой из первичных обмоток.

6. При помощи осциллографа или фазометра проверить фазовый сдвиг, вносимый фильтрами на входе формирователей импульсов. Для этого один канал фазометра подключить к выходу a4 вторичной обмотки трансформатора синхронизации Т5 (контакт В19 разъема

XS1 платы ПУ1). Второй канал фазометра подключить к точке 2 сопротивления R1 (контакт С22 разъема XS1 платы ПУ1) относительно общего провода (контрольная точка 1 платы ПУ1). Убедиться в том, что вносимый фильтром сдвиг составляет 30 эл. градусов, а при необходимости его подстроить путем подбора сопротивления R1 или R19. Аналогичным образом проверить фазовый сдвиг, вносимый фильтрами в каналах ФИ2 и ФИ3.

7. Подключить осциллографа к контрольной точке 4 ФИ. Изменяя напряжение управления на входе УО убедиться в наличии ограничения угла управления на уровне $\alpha_{\max} = 160$ эл. градусов и на уровне $\alpha_{\min} = 10$ эл. градусов. В случае необходимости произвести корректировку указанных углов сопротивлениями R39 и R40 соответственно. Подав на вход УО нулевой сигнал управления сопротивлением R26 установить начальный угол управления $\alpha_{\text{нач.}} = 120$ эл. градусов.

8. Подключить осциллограф к контрольной точке 3 канала ФИ1 и проконтролировать наличие пилообразного напряжения. Размах опорного напряжения должен составлять не менее 8 В, период - 0,01 с. В случае необходимости установить требуемое значение размаха сменным резистором R12. Установить такой же размах пилообразных опорных напряжений в каналах ФИ2 и ФИ3. Подключить осциллограф к контрольной точке 2 панели ПУ1. Расстояние между соседними импульсами должно быть одинаковым и составлять 60 эл. градусов.

9. Подключить осциллограф параллельно сопротивлению R19 усилителя импульсов (см. рис.4). Убедиться в наличии сдвоенных двуполярных управляющих импульсов длительностью не более 10 эл. градусов.

10. При помощи осциллографа проверить работу устройства логики и датчика проводимости в контрольных точках 3, 6...10 (см. рис.5).

7. Содержание отчета

В отчете необходимо привести наименование и цель работы, чертежи принципиальных схем наиболее значимых элементов системы управления, результаты предварительных расчетов элементов системы управления, осциллограммы сигналов по каждому пункту работы. Сделать выводы по работе.

8. Контрольные вопросы

1. Каковы назначение и состав системы управления ТП якорной цепи электропривода ЭПУ?
2. Как осуществляется синхронизация системы управления ТП якорной цепи?
3. В чем заключается правильный выбор группы соединения обмоток трансформатора синхронизации? Ответ пояснить векторными диаграммами напряжений.
4. В чем состоит функция фильтров в канале синхронизации и как осуществить их правильную настройку?
5. Приведите временные диаграммы напряжений питающей сети, вторичной обмотки трансформатора синхронизации (контрольная точка 1 см. рис.2), а также напряжения на выходе фильтра (контрольная точка 2 см. рис.2).
6. Опишите для чего предназначен и как функционирует переключатель характеристик?
7. Для чего необходимо выполнять ограничение углов отпирания клапанов ТП? Как выбираются величины начального, минимального и максимального углов управления?
8. Опишите принцип действия устройства ограничения углов управления системы управления ТП якорной цепи электропривода ЭТУ (управляющий орган).
9. Опишите функции, выполняемые каналами фазового управления.
10. Опишите назначение внешних элементов, подключаемых к микросборкам DA1...DA3 ячейки №123А.
11. Приведите временные диаграммы напряжений в контрольных точках канала фазового управления (см. рис.2).
12. Расскажите, каким образом происходит выбор группы (комплекта) клапанов на которые подаются управляющие импульсы.
13. Для чего необходимо формировать сдвоенные импульсы и как это делается в системе управления преобразователя ЭТУ?
14. Для чего и каким образом производится укорочение управляющих импульсов? Чем определяется длительность этих импульсов?
15. Опишите общий порядок операций, выполняемых при наладке системы управления ТП электропривода ЭТУ.
16. В чем заключается операция «симметрирования» системы управления? Какие факторы могут влиять на симметрию управляющих импульсов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроприводы тиристорные унифицированные трехфазные типа ЭТУ2-2...Д УХЛ4 (04): Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГЕВ.654515.002 ТО.
2. Электроприводы тиристорные унифицированные трехфазные типа ЭТУ2-2...П УХЛ4 (04): Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГЕВ.654515.003 ТО.
3. Электроприводы тиристорные унифицированные трехфазные типа ЭПУ1-2...Д УХЛ4 (04): Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГЕВ.654515.004 ТО.
4. Устройство управления БТУ3001 и электроприводы: Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОЛХ.463.276. ОБК.468.54. Издание 08.
5. Электроприводы комплектные типа ЭТУ3601Д: Техническое описание и инструкция по эксплуатации ИГЕВ.656442.027 ТО.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Цель работы	4
2. Указания мер безопасности	4
3. Техническое описание системы управления.....	4
3.1. Формирователь импульсов	6
3.1.1. Пороговые элементы	9
3.1.2. Формирователь синхронизирующих импульсов	9
3.1.3. Генератор пилообразного напряжения.....	10
3.1.4. RS-триггер и формирователь длительности импульса	11
3.1.5. Усилители импульсов	12
3.2. Устройство логики	14
3.3. Переключатель характеристик и управляющий орган.....	19
4. Расчет параметров сменных элементов системы управления.....	21
4.1. Расчет сопротивления R1 фазосдвигающего фильтра	21
4.2. Расчет сопротивления R12 генератора пилообразного напряжения	21
4.3. Расчет сопротивлений R39, R40 управляющего органа.....	22
4.4. Расчет сопротивления R32 переключателя характеристик	23
5. Общий порядок операций при наладке системы управления.	23
6. Порядок выполнения работы	24
7. Содержание отчета.....	25
8. Контрольные вопросы.....	26

Савельев Вадим Алексеевич

**НАЛАДКА И ДИАГНОСТИКА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**Лабораторный практикум
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано в печать 03.06.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,74.

Изд. № 193.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.