

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**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2010

УДК 62.83.52(075.8)
ББК 31.291я73
С12

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 08.12.2008 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
О. Г. Широков

Савельев, В. А.
С12 Наладка и диагностика автоматизированного электропривода : лаборатор. практикум по
одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электропри-
воды» днев. и заоч. форм обучения / В. А. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. –
36 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное ме-
сто на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа:
<http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-887-9.

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

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

**УДК 62.83.52(075.8)
ББК 31.291я73**

ISBN 978-985-420-887-9

© Савельев В. А., 2010
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2010

Введение

Высокая степень автоматизации 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), т. к. 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 рекомендациями по эксплуатации конкретного электропривода.

Настоящий лабораторный практикум на примере комплектного тиристорного электропривода ЭТУ2-2...Д рассматривает устройство, принцип действия и методику проведения наладочных работ системы управления. При работе с изданием рекомендуется пользоваться набором оригинальных принципиальных схем, которые прилагаются к техническому описанию и инструкции по эксплуатации рассматриваемых электроприводов.

1. Цель работы

1. Подробное изучение устройства и принципа действия типовой системы регулирования комплектных тиристорных электроприводов типа ЭПУ, БТУ, ЭТУ, ЭТ.

2. Изучение типовой методики проведения работ по наладке систем регулирования 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 регулирования

Электроприводы *главного движения* предназначены для реверсивных и нереверсивных широкорегулируемых приводов с двухзонным и однозонным регулированием скорости, в том числе для механизмов главного движения станков с ЧПУ и других механизмов.

Электроприводы главного движения обеспечивают перегрузку по току до 2 и в зависимости от вида управления (по якорю, по полю двигателя, обратной связи и диапазона регулирования скорости двигателя) подразделяются на:

– ЭТУ2...Д – двухзонный, с обратной связью по скорости двигателя и диапазоном регулирования скорости двигателя до 1000;

– ЭТУ2...Е – однозонный (управление по якорю двигателя), с обратной связью по ЭДС, диапазоном регулирования скорости двигателя до 20;

– ЭТУ2...М – однозонный, с обратной связью по скорости двигателя, диапазоном регулирования скорости двигателя до 1000.

Электроприводы *подачи* ЭТУ2-2...П предназначены для реверсивных быстродействующих широкорегулируемых приводов с одно-

зонным регулированием скорости, в том числе для механизмов подачи станков с ЧПУ, промышленных манипуляторов и других механизмов. Данные электроприводы могут работать как внутренний контур в САУ с обратной связью (ОС) по положению с замыканием через систему ЧПУ. Обеспечивают перегрузку по моменту до 6 (для высокомоментных двигателей) и имеют диапазон регулирования до 10000 с обратной связью по скорости.

3.1. Система регулирования электропривода ЭТУ2-2...Д

3.1.1. Функциональная схема

ЭТУ2-2...Д – двухзонный электропривод с реверсом тока якоря и обратной связью по скорости, обеспечивает регулирование и стабилизацию скорости электродвигателя постоянного тока в диапазоне до 1000.

На рис. 1 приведена функциональная схема двухзонного электропривода ЭТУ2-2...Д.

Электропривод состоит из блока преобразователя БС3402...Д, электродвигателя постоянного тока М с обмоткой возбуждения ОВМ и со встроенным тахогенератором ВР, блока предохранителей $U1$, коммутационного реактора $L1$, блока ввода $U3$, задатчика скорости $R1$.

Силовая часть блока преобразователя БС3402...Д включает тиристорный преобразователь якоря (ТПЯ), выполненный по трехфазной мостовой реверсивной схеме, и тиристорный преобразователь возбуждения (ТПВ), выполненный по однофазной мостовой нереверсивной схеме.

Управление ТПЯ осуществляется от трехканальной системы управления, содержащей формирователи импульсов ФИ1...ФИ3.

С целью обеспечения высокого быстродействия и универсальности для реверсивного двухзонного электропривода принята схема с реверсом тока якоря и нереверсивным однофазным возбудителем. Система регулирования содержит канал регулирования напряжения якоря и канал регулирования потока и ЭДС двигателя.

Канал регулирования напряжения якоря выполнен по одноконтурной схеме с ПИ – регулятором скорости (РС). Для улучшения динамических характеристик электропривода на вход управляющего органа (УО) введена отрицательная обратная связь по току якоря двигателя, уровень которой можно изменять сменным сопротивлением $R97^*$.

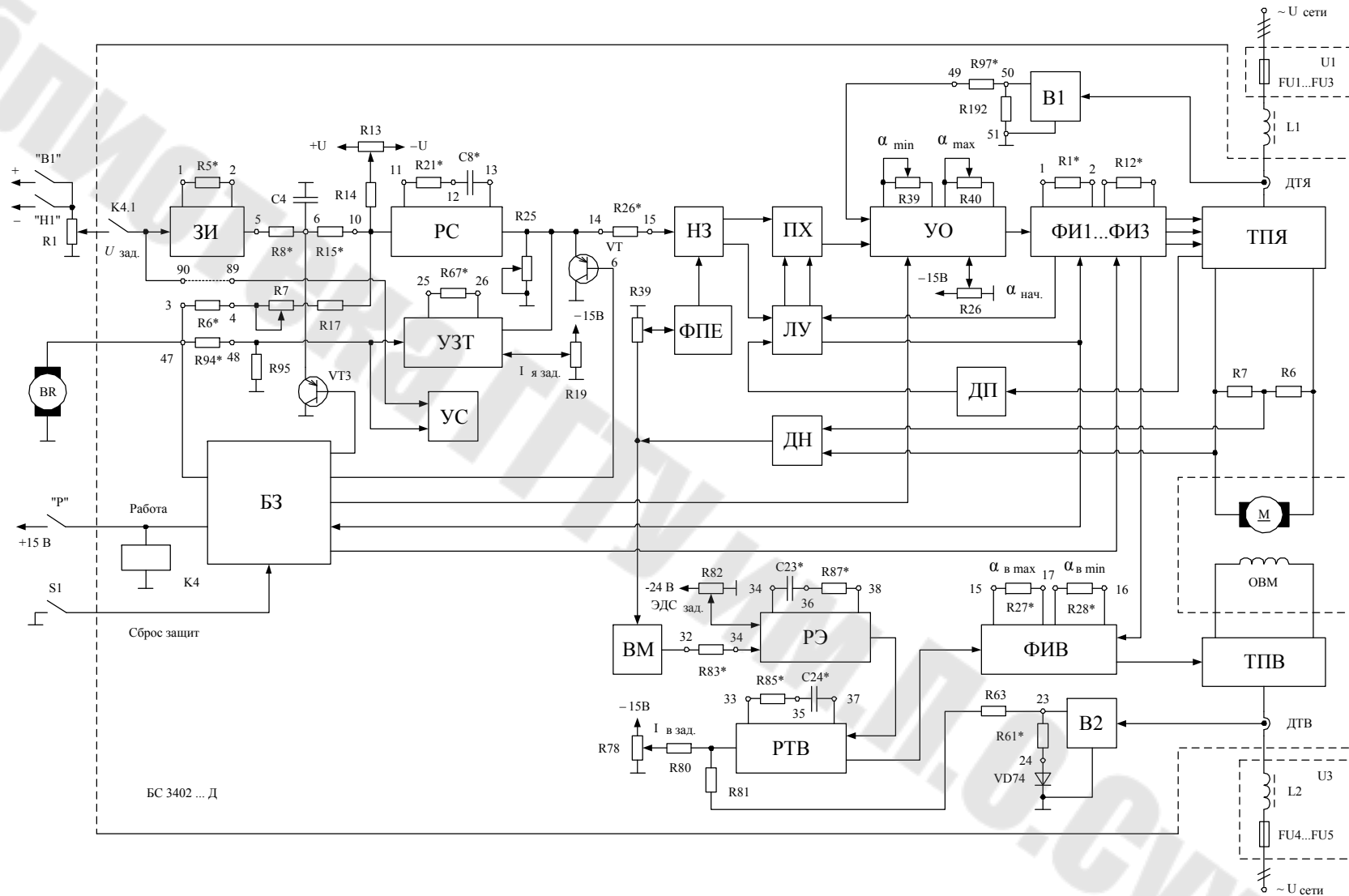


Рис. 1. Функциональная схема двухзонного электропривода ЭТУ2-2...Д

Управляющий орган служит для согласования выхода системы регулирования со входом системы управления и позволяет переменными сопротивлениями $R26$, $R39$, $R40$ установить соответственно начальный, максимальный и минимальный углы отпирания тиристорov.

Переключение импульсов управления между комплектами вентиля «Вперед» и «Назад» ТПЯ производится блоком логического устройства (ЛУ), которое работает в функции сигнала заданного направления тока с выхода нелинейного звена (НЗ) и сигнала, поступающего с датчика проводимости (ДП) вентиля.

Нелинейное звено и функциональный преобразователь ЭДС (ФПЭ) с резистором $R39$ образуют устройство линеаризации характеристик электропривода.

Коэффициент передачи НЗ обратно пропорционален коэффициенту передачи ТПЯ в режиме прерывистого тока. Коэффициент передачи ФПЭ имеет зависимость обратную регулировочной характеристике ТП в режиме непрерывного тока и компенсирует внутреннюю отрицательную обратную связь по ЭДС двигателя. С помощью устройства линеаризации осуществляется поддержание примерно одинакового коэффициента усиления линеаризованного таким образом преобразователя.

Для согласования реверсивного (двуполярного) сигнала на выходе НЗ с нереверсивной регулировочной характеристикой УО служит переключатель характеристик (ПХ), управляемый логическим устройством ЛУ (ключи «В» и «Н»).

Канал регулирования потока и ЭДС двигателя содержит датчик тока возбуждения – сопротивление $R78$, ПИ-регулятор тока возбуждения (РТВ), ПИ-регулятор ЭДС (РЭ) с датчиком ЭДС $R82$, формирователь импульсов возбуждения (ФИБ). Элементы коррекции РТВ $R85^*$, $C24^*$ и элементы коррекции РЭ $R87^*$, $C23^*$ можно менять в процессе наладки.

Сигнал задания тока возбуждения ($I_{в.зад}$) с переменного сопротивления $R78$ через резистор $R80$ поступает на регулятор тока возбуждения. Сигнал отрицательной обратной связи по току возбуждения снимают с датчика тока (ДТВ) через сопротивления $R63$ и $R81$.

Управляющий сигнал с выхода РТВ поступает на формирователь импульсов возбуждения, где происходит его сравнение с пилообразным опорным напряжением, поступающим с одного из каналов фазового управления цепи якоря (с ФИ1).

Сопротивлениями $R27^*$ и $R28^*$ устанавливают соответственно максимальный и минимальный углы отпирания тиристоров возбuditеля.

На входе РЭ сравниваются сигнал задания ЭДС ($E_{зад}$) и сигнал отрицательной обратной связи по напряжению двигателя, поступающий с выхода ДН через выпрямитель В. Электропривод выполнен по зависимому от напряжения на якоре принципу регулирования скорости. Сопротивлением $R79$ на входе РТВ задается величина минимального тока возбуждения двигателя.

Блок защиты (БЗ) осуществляет блокировку сигнала на выходе РС, задающего сигнала на входе РС, управляющих импульсов. Блокировка задающего сигнала на входе РС осуществляется транзистором $VT3$ при превышении скоростью значения n_{max} . Управление транзистором $VT6$, включенным на выходе РС, осуществляется в функции скорости и состояния контактов в цепи «Работа». При равенстве нулю скорости двигателя и отключении «Р» происходит закорачивание выхода РС через открытый транзистор $VT6$.

3.1.2. Задатчик интенсивности

Задающий сигнал $U_{зад}$ с задатчика скорости $R1$ (рис. 1) поступает на вход регулятора скорости РС через задатчик интенсивности ЗИ разгона электропривода. Задатчик интенсивности (рис. 2) предназначен для формирования необходимого темпа нарастания сигнала задания скорости и позволяет регулировать длительность разгона и торможения электропривода в пределах 0,5–3 с.

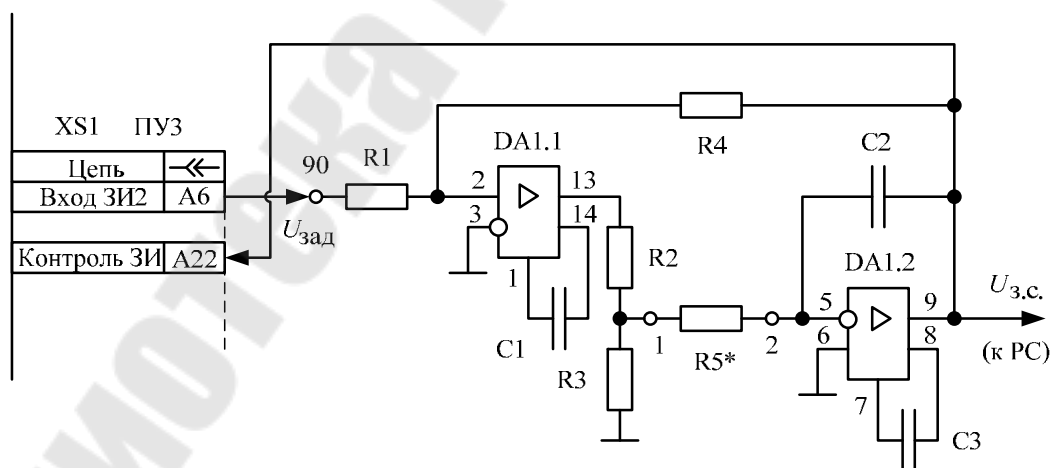


Рис. 2. Принципиальная схема задатчика интенсивности

Задатчик интенсивности выполнен на двух операционных усилителях $DA1.1$ и $DA1.2$, охваченных общей отрицательной обратной связью (сопротивление $R4$). При скачкообразном изменении задаю-

щего сигнала, поступающего через резистор $R1$ на прямой вход усилителя $DA1.1$, последний входит в насыщение. При этом напряжение задания скорости $U_{з.с}$ на выходе 9 усилителя $DA1.2$, включенного по схеме интегратора, линейно изменяется в соответствии с выражением

$$U_{з.с} = \frac{U_{\text{нас } DA1.1} \cdot \frac{R3}{R2 + R3}}{R5^* \cdot C2} \cdot t, \quad (1)$$

где $U_{\text{нас } DA1.1}$ – напряжение насыщения компаратора $DA1.1$; t – время, в течение которого напряжение $U_{з.с}$ достигнет величины напряжения $U_{\text{зад}}$.

Как видно из (1), скорость нарастания напряжения $U_{з.с}$ определяется емкостью конденсатора $C2$ и величиной сменного сопротивления $R5^*$, которое подбирается при наладке.

При равных величинах $R1$ и $R4$ коэффициент передачи по напряжению ЗИ равен 1. Следовательно, когда напряжение $U_{з.с}$ на выходе ЗИ достигнет величины напряжения $U_{\text{зад}}$ на его входе, усилитель $DA1.1$ выйдет из насыщения, обратная связь через сопротивление $R4$ замкнется, и далее будет поддерживаться равенство $U_{з.с} = U_{\text{зад}}$.

В линейном режиме работы для входных цепей регулятора скорости можно записать:

$$\frac{U_{з.с}}{R8^* + R15^*} \approx \frac{U_{о.с}}{R6^* + R7 + R17} = \frac{\omega \cdot k_{д.с}}{R6^* + R7 + R17}, \quad (2)$$

где $U_{о.с}$ – напряжение на выходе датчика скорости; ω – угловая скорость вращения вала двигателя; $k_{д.с}$ – коэффициент передачи датчика скорости.

Продифференцировав левые и правые части (1) и (2) и приравняв в полученных выражениях производные сигнала задания скорости $dU_{з.с}/dt$, получим

$$\frac{U_{\text{нас } DA1.1} \cdot \frac{R3}{R2 + R3}}{R5^* \cdot C2} = \frac{k_{д.с} \cdot (R8^* + R15^*)}{R6^* + R7 + R17} \cdot \frac{d\omega}{dt}.$$

Задаваясь величиной необходимого ускорения $d\omega/dt$ при разгоне привода, а также величинами сопротивлений и емкостью конденсатора $C2$, рассчитывают величину сопротивления $R5^*$.

Ускорение при разгоне и торможении двигателя должно быть выбрано так, чтобы при известном характере зависимости момента нагрузки M_c от скорости якорный ток I_a , определенный из выражения

$$c \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} - M_{\text{с}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt},$$

где c – конструктивная постоянная двигателя; Φ – магнитный поток; J_{Σ} – суммарный, приведенный к валу двигателя, момент инерции механизма, не превышал допустимого значения.

Вместо задающего сопротивления $R1$ вход задатчика интенсивности может подключаться к аналоговому выходу системы с ЧПУ.

3.1.3. Регулятор скорости

Пропорционально-интегрирующий регулятор скорости (рис. 3) выполнен на операционном усилителе DA2. На входе регулятора скорости суммируются сигнал задания скорости $U_{\text{з.с}}$, поступающий с задатчика интенсивности через сопротивления $R8^*$, $R15^*$, и сигнал отрицательной обратной связи по скорости, поступающий с тахогенератора через резисторы $R6^*$, $R7$, $R17$.

Уровень сигнала подбирается при наладке привода сменными сопротивлениями $R8^*$, $R15^*$, причем по величине сопротивления целесообразно устанавливать равными.

При работе регулятора скорости в линейном режиме (ненасыщен) напряжение в точке 13 ($U_{\text{р.с}}$) изменяется в соответствии с выражением

$$U_{\text{р.с}} = \left(\frac{U_{\text{з.с}}}{R8^* + R15^*} - \frac{\omega \cdot k_{\text{д.с}}}{R6^* + R7 + R17} \right) \cdot \frac{R21^* \cdot C8^* \cdot p + 1}{C8^* \cdot p}$$

или

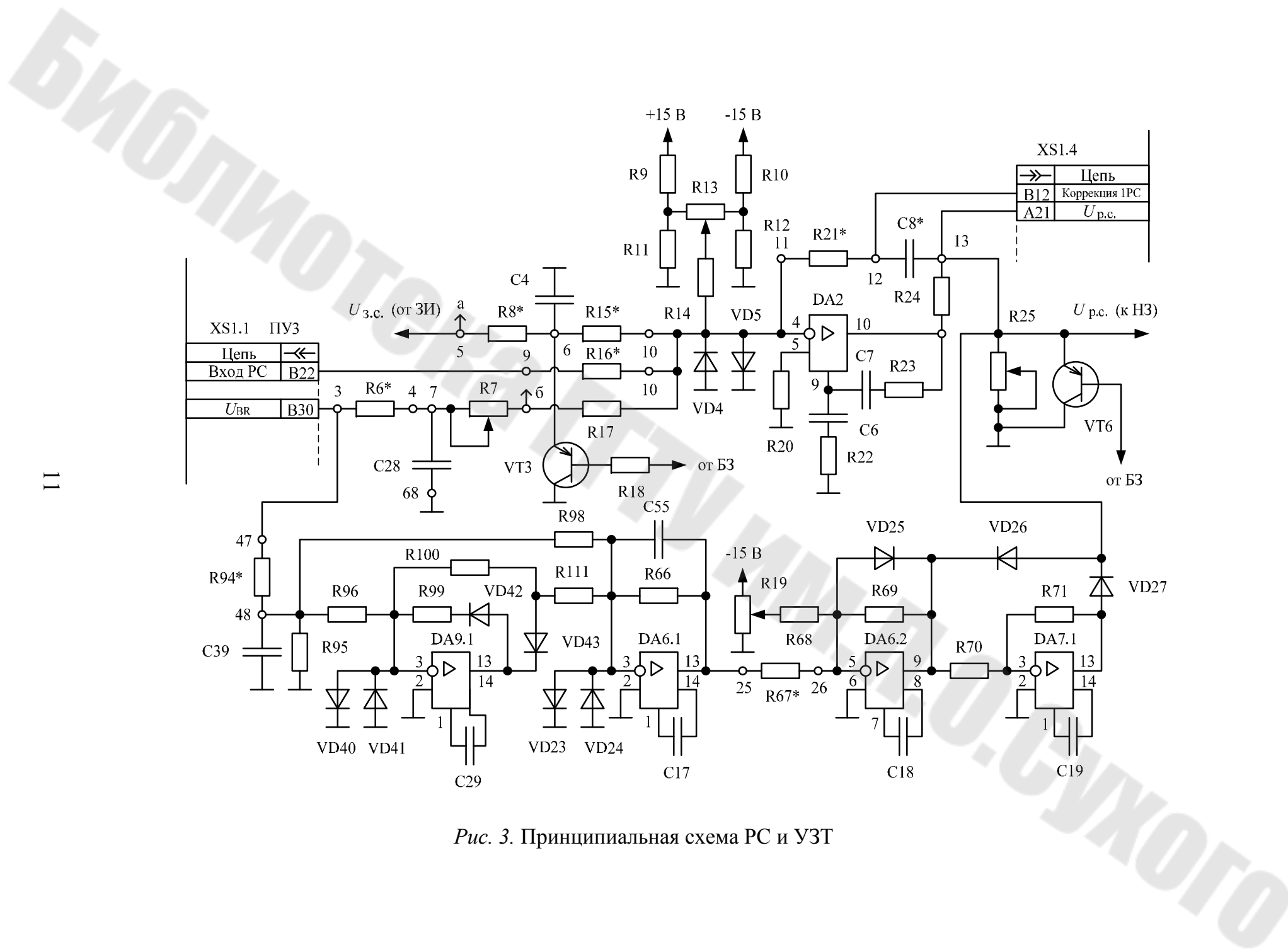
$$\begin{aligned} U_{\text{р.с}} &= \left(U_{\text{з.с}} - \frac{\omega \cdot k_{\text{д.с}} \cdot (R8^* + R15^*)}{R6^* + R7 + R17} \right) \cdot \frac{R21^* \cdot C8^* \cdot p + 1}{(R8^* + R15^*) \cdot C8^* \cdot p} = \\ &= (U_{\text{з.с}} - \omega \cdot k_{\text{о.с}}) \cdot W_{\text{р.с}}, \end{aligned}$$

откуда видно, что передаточная функция РС имеет вид:

$$W_{\text{р.с}}(p) = \frac{R21^* \cdot C8^* \cdot p + 1}{(R8^* + R15^*) \cdot C8^* \cdot p},$$

а величина коэффициента передачи канала обратной связи по скорости определяется как

$$k_{\text{о.с}} = \frac{k_{\text{д.с}} \cdot (R8^* + R15^*)}{R6^* + R7 + R17}.$$



11

Рис. 3. Принципиальная схема РС и УЗТ

Таким образом, необходимая величина $k_{o,c}$ устанавливается сменным резистором $R6^*$ (грубо) и переменным сопротивлением $R7$ (точно).

Для возможного изменения параметров коррекции регулятора скорости элементы $R21^*$, $C8^*$ установлены на лепестках. Вынесение точек «Коррекция РС» и « $U_{p,c}$ » на разъем блока дает возможность дистанционного изменения коррекции регулятора скорости.

С помощью переменного сопротивления $R13$ обеспечивается компенсация напряжения смещения операционного усилителя $DA2$ и, как следствие, установка нулевой скорости при нулевом значении сигнала задания $U_{з,c}$ и разблокированном выходе РС.

Включенные встречно-параллельно диоды $VD4$ и $VD5$ защищают вход РС от перенапряжения.

РС-цепочки $R23-C7$ и $R22-C6$ являются элементами коррекции АЧХ операционного усилителя $DA2$.

Сопротивление $R20$ введено для уменьшения изменения выходного напряжения РС под действием временных или температурных колебаний входных токов.

Сопротивление $R24$ ограничивает величину выходного тока усилителя $DA2$.

3.1.4. Ограничение тока якоря

В переходных режимах пуска и торможения, когда имеет место скачкообразное изменение напряжения задания скорости, в виду наличия момента инерции двигателя, напряжение обратной связи по скорости в течении некоторого времени будет существенно отличаться от напряжения задания. Следствием этого станет относительно высокое значение входного дифференциального напряжения регулятора скорости, и он окажется в режиме насыщения. Контур стабилизации скорости при этом окажется разомкнутым, и привод перейдет в режим стабилизации тока якоря.

Поскольку $U_{p,c}$ является задающим сигналом для контура тока, то максимальное значение тока якоря $I_{я\max}$ в режиме его стабилизации определяется величиной напряжения насыщения РС.

Для плавной регулировки задания на ток якоря используется делитель на резисторах $R24$, $R25$. В режиме токоограничения выходное напряжение усилителя $DA2$ достигает уровня насыщения. При напряжении питания ± 15 В напряжение насыщения усилителя имеет величину около $\pm 12,5$ В. Изменяя $R25$, можно регулировать выходное напряжение РС в режиме насыщения от 0 до 10 В. При этом сопротивление $R25$ никак не влияет на передаточную функцию РС в линейном режиме его работы.

Ограничение максимально допустимого тока также может выполняться от внешнего устройства. Для этого в приводе предусмотрена возможность подключения параллельно резистору $R25$ дополнительного сопротивления через контакт « $U_{p.c}$ » разъема блока.

При использовании в комплекте с преобразователем высокомоментных электродвигателей ограничение тока осуществляется узлом зависящего от скорости токоограничения, подключенным параллельно резистору $R25$.

3.1.5. Узел зависящего токоограничения

Узел зависящего токоограничения (УЗТ) служит для изменения уставки токоограничения в функции скорости. Это необходимо осуществлять для высокомоментных двигателей в соответствии с коммутационной характеристикой, которая приводится в паспорте двигателя. Принципиальная схема УЗТ приведена на рис. 3.

Действие УЗТ основано на том, что напряжение на резисторе $R25$ регулятора скорости в режиме токоограничения определяется величиной выходного напряжения усилителей $DA6.2$ ($DA7.1$) и падением напряжения на диодах $VD26$ ($VD27$), как элементов схемы с наиболее низким дифференциальным сопротивлением. При этом важно, чтобы величина падения напряжения на резисторе $R25$ была достаточной для открытия диодов $VD26$ ($VD27$), которые смещены в обратном направлении выходным напряжением усилителей $DA6.2$ ($DA7.1$).

На рис. 4 приведена статическая характеристика УЗТ, т. е. зависимость выходного напряжения усилителя $DA6.2$ от напряжения тахогенератора. Усилитель $DA7.1$ инвертирует выходное напряжение усилителя $DA6.2$. Для сравнения на рис. 4 показана типичная коммутационная кривая высокомоментного двигателя, приведенная к масштабу выходного напряжения регулятора скорости.

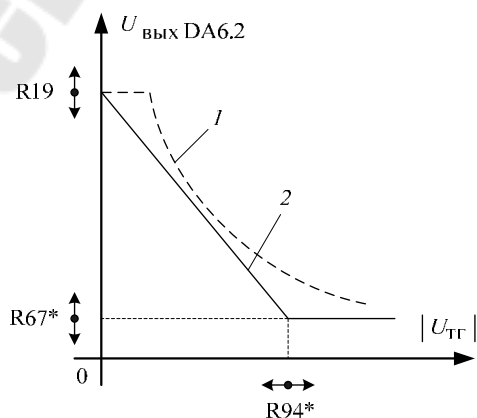


Рис. 4. Характеристика УЗТ:

1 – коммутационная кривая; 2 – реальная характеристика УЗТ

На характеристике УЗТ отмечены основные точки, которые можно изменять путем подбора сменных резисторов $R19$, $R67^*$ и $R94^*$ таким образом, чтобы достигалась наиболее близкая аппроксимация и в то же время, чтобы характеристика УЗТ (кривая токоограничения) не выходила за пределы коммутационной кривой.

Принцип действия УЗТ основан на ограничении (по модулю) выходного напряжения регулятора скорости. Узел выполнен на операционных усилителях $DA6.1$, $DA6.2$, $DA7.1$, $DA9.1$.

Реверсивный сигнал U_{BR} , пропорциональный скорости вращения вала двигателя, через делитель $R94^*$, $R95$ поступает на вход прецизионного двухполупериодного выпрямителя, выполненного на микросхемах $DA9.1$, $DA6.1$. Положительный сигнал с выхода $DA6.1$ через сопротивление $R67^*$ поступает на вход усилителя $DA6.2$.

Отрицательное напряжение смещения, подаваемое на вход $DA6.2$ через сопротивление $R68$, с потенциометра $R19$, определяет максимальное значение напряжения на выходе УЗТ и максимальную уставку токоограничения при постоянном потоке $\Phi = \text{const}$ и при полностью введенном сопротивлении $R25$.

На инвертирующем входе усилителя $DA6.2$ происходит сложение отрицательного напряжения смещения, поступающего через сопротивление $R68$, с положительным напряжением, поступающим с выпрямителя через сопротивление $R67^*$. По мере увеличения скорости вращения вала двигателя положительное напряжение на выходе $9 DA6.2$ уменьшается, а отрицательное напряжение на выходе $13 DA7.1$ увеличивается (уменьшается по модулю).

Поскольку потенциал катода диода $VD26$ становится меньше, а потенциал анода диода $VD27$ возрастает, то указанные диоды начнут отпираться при более низких значениях напряжения на выходе регулятора скорости. Например, если потенциал на выходе РС будет иметь положительную полярность и превысит примерно на $0,7$ В величину потенциала на катоде $VD26$, последний откроется, и напряжение на выходе регулятора скорости будет ограничено напряжением, поступающим с выхода $9 DA6.2$. При этом диод $VD27$ останется запертым. Таким образом, величина сменного сопротивления $R67^*$ определяет минимальное напряжение УЗТ при скорости $n > n_{\text{ном}}$ и $\Phi = \text{var}$.

3.1.6. Узел соответствия

Узел соответствия (УС) предназначен для выявления соответствия скорости вращения вала двигателя заданному значению. Узел выполнен на операционных усилителях $DA5.1$, $DA5.2$ и транзисторе $VT18$ (рис. 4), а также реле К3 платы ПУ1.

На вход усилителя $DA5.1$ поступают два сигнала: сигнал задания скорости вращения и сигнал обратной связи по скорости.

Сигнал задания поступает со входа задатчика $R1$ через контакт $A6$ разъема $XS1.1$ платы ПУЗ и установленную на этой плате перемычку между точками 90 и 89 . Нормированный сигнал обратной связи по скорости поступает с делителя $R94^*$, $R95$.

При отсутствии задающего сигнала в приводе (скорость вращения вала двигателя равна нулю) транзистор $VT18$ закрыт положительным напряжением, поступающим на его базу с выпрямителя, выполненного на усилителе $DA5.2$.

При подаче сигнала задания схема не изменяет своего состояния до момента достижения приводом скорости вращения, соответствующей заданию. При достижении скоростью заданного значения сигнал на выходе выпрямителя $DA5.2$ снижается до нуля и транзистор $VT18$ открывается. При этом срабатывает реле $K3$, замыкая контакт, управляющий приводом подачи.

3.1.7. Нелинейное звено и функциональный преобразователь ЭДС

Принципиальная схема, отражающая основные особенности построения нелинейного звена (НЗ) и функционального преобразователя ЭДС (ФПЕ), приведена на рис. 5. Взаимодействие узлов основывается на уравнении якорной цепи двигателя постоянного тока:

$$U_d = E_{дв} + I_d \cdot R_{я.ц.}$$

В соответствии с этой зависимостью формируется управляющее напряжение для СИФУ:

$$U_y = K_{н.з} \cdot U_{рт} + K_E \cdot U_E,$$

состоящее из двух слагаемых, первое из которых пропорционально току якоря двигателя, а второе – ЭДС двигателя.

В режиме холостого хода двигателя $U_d = E_{дв}$, поэтому напряжение управления для СИФУ должно определяться только сигналом положительной обратной связи по ЭДС $U_y = K_E \cdot U_E$, а выходное напряжение регулятора тока должно быть равно нулю $U_{рт} = 0$.

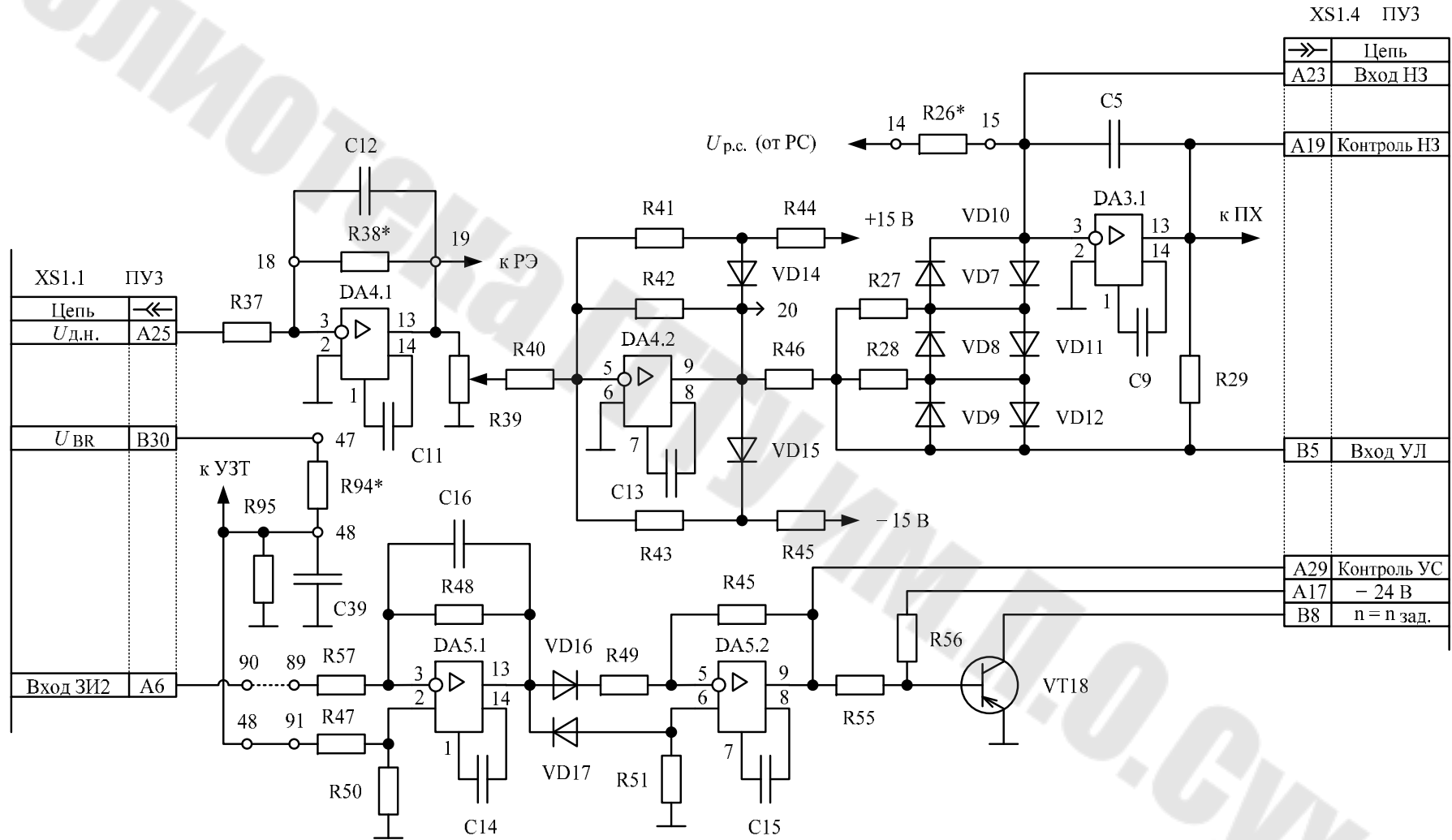


Рис. 5. Принципиальная схема НЗ, ФПЭ, УС

При появлении момента нагрузки на валу двигателя напряжение управления (по цепи – сигнал обратной связи по скорости, регулятор скорости, регулятор тока, нелинейное звено) возрастает на величину $K_{н.з} \cdot U_{р\tau}$, пропорциональную току якоря. Этим увеличением U_y компенсируется падение напряжения в якорной цепи $I_d \cdot R_{я.ц}$, а скорость вращения двигателя поддерживается постоянной с точностью до статической ошибки системы регулирования.

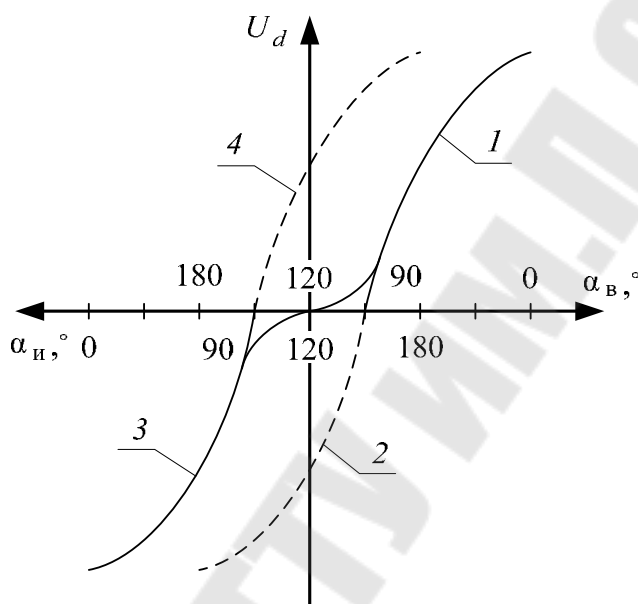


Рис. 6. Регулировочная характеристика ТП при $\alpha_{нач} = 120^\circ$:

- 1 – выпрямительный режим группы «В»; 2 – инверторный режим группы «В»; 3 – выпрямительный режим группы «Н»; 4 – инверторный режим группы «Н»

НЗ предназначено для улучшения динамических характеристик привода при работе в области прерывистых токов, где регулировочная характеристика тиристорного преобразователя имеет участок с малым коэффициентом передачи. Примерный вид регулировочной характеристики реверсивного тиристорного преобразователя с согласованием комплектов при $\alpha_{нач} = 120^\circ$ показан на рис. 6. Сплошная линия соответствует работе преобразователя в режиме прерывистого тока, штриховая – в режиме непрерывного тока. При ЭДС двигателя $E_{дв} = 0$ режим прерывистых токов находится в диапазоне углов $90^\circ < \alpha < 120^\circ$ и характеризуется низким коэффициентом передачи преобразователя, в области непрерывного тока при $\alpha < 90^\circ$ коэффициент передачи преобразователя возрастает.

НЗ имеет статическую характеристику (рис. 7), обратную регулировочной характеристике преобразователя в области прерывистого тока. Последовательное включение НЗ и преобразователя с взаимно-обратными характеристиками обеспечивает постоянство совместного коэффициента передачи $K_{н.з} \cdot K_{тп}$ в контуре тока при переходе из области прерывистого тока в область непрерывного. Этим достигается независимость динамических характеристик системы регулирования от режима работы якорной цепи.

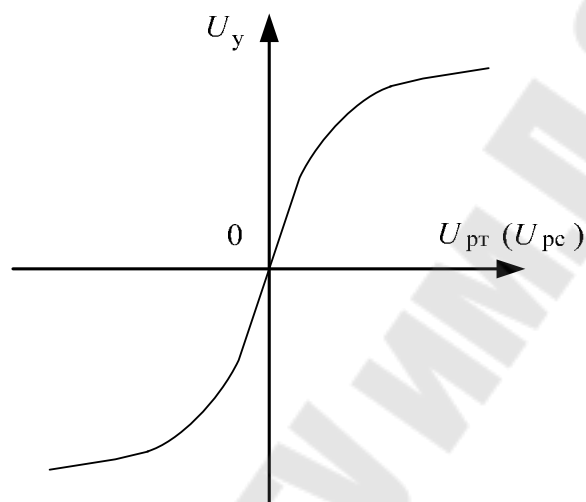


Рис. 7. Статическая передаточная характеристика НЗ

Схемная реализация НЗ выполнена путем включения в обратную связь усилителя $DA3.1$ цепочки, имеющей нелинейное сопротивление и состоящей из диодов $VD7$ – $VD12$ и резисторов $R27$ (270 кОм), $R28$ (27 кОм), $R29$ (3,3 кОм).

В области малых входных сигналов сопротивление цепи обратной связи определяется следующими последовательно включенными элементами: $VD7$ ($VD10$), $R27$, $R29$ и имеет максимальную величину. При увеличении входного сигнала последовательно вступают в действие сначала $VD8$ ($VD11$) и $R28$, затем $VD9$ ($VD12$). На последнем участке характеристики, где проводят три последовательно включенных диода, дифференциальное сопротивление цепи обратной связи определяется величиной резистора $R29$ и имеет минимальную величину.

При необходимости форму характеристики НЗ можно изменять резисторами $R27$, $R28$. С помощью сменного резистора $R26^*$ (4,7 кОм) изменяется масштаб характеристики по оси $U_{пр}$.

НЗ, кроме линейризации канала регулирования в контуре тока, выполняет функцию суммирования сигналов $U_{пр}$ и U_E . Причем, что-

бы нелинейность цепи обратной связи не влияла на коэффициент передачи по входу U_E , суммирование происходит не на инвертирующем входе усилителя $DA3.1$, а в точке соединения резистора $R29$ с нелинейной цепочкой.

Расчетная схема для пояснения принципа суммирования приведена на рис. 8. Символом $R_{н.3}$ обозначено нелинейное сопротивление цепочки обратной связи. Направления токов указаны для положительной полярности U_y и отрицательной полярности сигналов $U_{рт}$ и U_E . Такое соотношение полярностей соответствует выпрямительному режиму комплекта тиристоров «В». В соответствии с расчетной схемой определим зависимость напряжения управления от сигналов $U_{рт}$ и U_E .

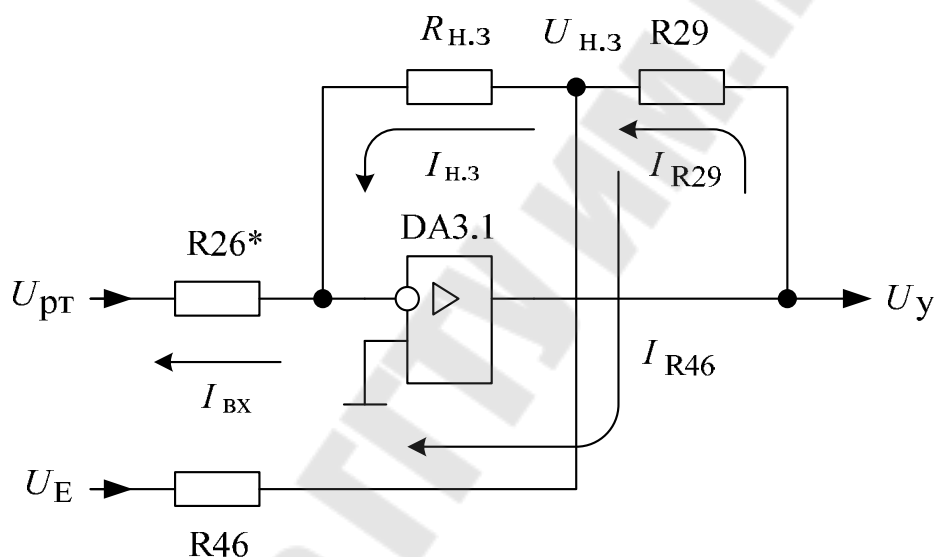


Рис. 8. Расчетная схема НЗ

Из условия равенства токов $I_{вх} = I_{н.3}$ на инвертирующем входе усилителя $DA3.1$ имеем

$$\frac{U_{н.3}}{R_{н.3}} = -\frac{U_{рт}}{R26*}.$$

Из условия равенства токов $I_{R29} = I_{н.3} + I_{R46}$ в точке $U_{н.3}$ имеем

$$\frac{U_y - U_{н.3}}{R29} = \frac{U_{н.3}}{R_{н.3}} + \frac{U_{н.3} - U_E}{R46}.$$

Исключая из приведенных соотношений промежуточную переменную $U_{н.3}$, получим

$$U_y = -U_E \cdot \frac{R29}{R46} - U_{рт} \cdot \left(\frac{R_{н.з} + R29}{R26^*} + \frac{R_{н.з}}{R26^*} \cdot \frac{R29}{R26^*} \right).$$

Принимая во внимание, что $R29/R46 \cong 0,3$ и $R29 \ll R_{н.з}$, для последнего соотношения получим

$$U_y = -0,3 \cdot U_E - 1,3 \cdot \frac{R_{н.з}}{R26^*} \cdot U_{рт} = -K_E \cdot U_E - K_{н.з} \cdot U_{рт}.$$

Знаки минус перед слагаемыми показывают, что полярность выходного напряжения U_y НЗ является инверсной по отношению к полярностям входных сигналов $U_{рт}$ и U_E . Кроме того, напряжение U_y имеет линейную зависимость от сигнала U_E и нелинейную от $U_{рт}$.

Функциональный преобразователь ЭДС предназначен для преобразования сигнала тахогенератора $U_{тг}$, пропорционального ЭДС двигателя, в сигнал U_E , который пропорционален ЭДС двигателя, приведенной ко входу СИФУ. Приведение ЭДС двигателя ко входу СИФУ осуществляется в связи с нелинейной регулировочной характеристикой тиристорного преобразователя, которая в режиме непрерывного тока описывается зависимостью

$$E_d = E_{d0} \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{U_y}{U_{оп\ max}}\right),$$

где E_d – величина ЭДС преобразователя, равная ЭДС двигателя; E_{d0} – максимальное значение выпрямленной ЭДС преобразователя; $U_{оп\ max}$ – размах «пилы» опорного напряжения системы управления.

Вид регулировочной характеристики реверсивного преобразователя при непрерывном токе показан на рис. 9. Для того, чтобы привести напряжение преобразователя (ЭДС двигателя) ко входу СИФУ, необходимо осуществить обратное преобразование:

$$U_y = \frac{U_{оп\ max}}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{E_d}{E_{d0}}\right).$$

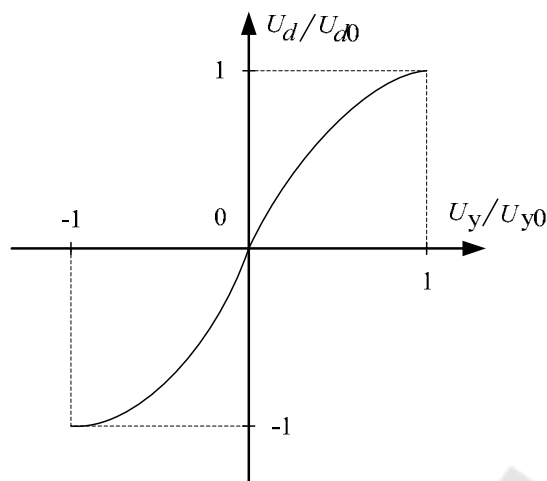


Рис. 9. Регулировочная характеристика реверсивного ТП при непрерывном токе

Такую зависимость должна обеспечивать статическая характеристика ФПЕ. Практически ФПЕ имеет характеристику, состоящую из двух участков, которая аппроксимирует арксинусную зависимость. На рис. 10 приведена реальная характеристика ФПЕ, здесь же для сравнения показана арксинусная зависимость.

Схемная реализация указанной характеристики достигается за счет включения в цепь обратной связи операционного усилителя DA4.2 (см. рис. 4) резисторов $R41$ (20 кОм), $R43$ (20 кОм), диодов $VD14$, $VD15$ и смещения их в прямом направлении через резисторы $R44$ (36 кОм), $R45$ (36 кОм) напряжением ± 15 В. Для пояснения принципа работы на рис. 11 приведена расчетная схема ФПЕ, отражающая направления протекания токов в цепях при напряжении тахогенератора отрицательной полярности. Сопротивление $R42$ (270 кОм) $\gg R41$ и $R43$ и поэтому в расчетной схеме не учитывается.

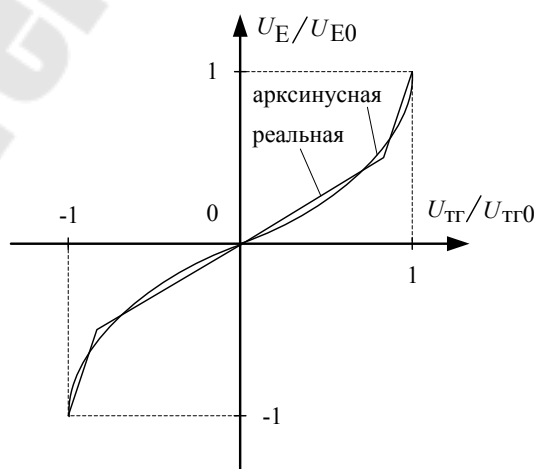


Рис. 10. Характеристика ФПЕ

Связь между входным и выходным напряжениями усилителя DA4.2 определим исходя из равенства токов $I_{\text{вх}} = I_{\text{ос1}} + I_{\text{ос2}}$ на инвертирующем входе операционного усилителя:

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R40} = \frac{U_A}{R41} + \frac{U_B}{R43} = \frac{U_{\text{вых}} + U_{VD14}}{R41} + \frac{U_{\text{вых}} - U_{VD15}}{R43}.$$

Первый участок характеристики ФПЕ соответствует такому диапазону изменения выходного напряжения усилителя DA4.2, в котором через оба диода VD14 и VD15 протекают токи I_{VD14} и I_{VD15} .

Принимая падение напряжений U_{VD14} и U_{VD15} на диодах VD14 и VD15 одинаковыми, получаем коэффициент передачи ФПЕ в первой зоне:

$$K_1 = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R41 \parallel R43}{R40} \cong 3,5.$$

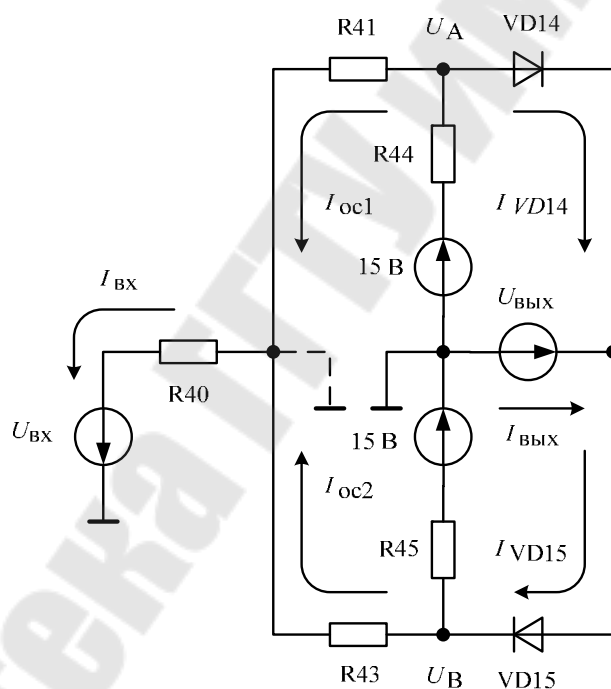


Рис. 11. Расчетная схема ФПЕ

Второй участок характеристики ФПЕ соответствует такому диапазону изменения выходного напряжения усилителя DA4.2, при котором ток через диод VD14 не протекает ($I_{VD14} = 0$). В этом случае напряжение на аноде запертого диода VD14 равно

$$U_A = 15 \cdot \frac{R41}{R41 + R44} \cong 5 \text{ В.}$$

Следовательно, при достижении выходным напряжением усилителя $DA4.2$ величины 5 В, ток через диод $VD14$ прекращается, и при дальнейшем увеличении выходного напряжения диод $VD14$ находится в непроводящем состоянии за счет смещения в обратном направлении. Величина выходного напряжения усилителя 5 В соответствует точке излома характеристики ФПЕ.

На втором участке характеристики при $U_{\text{ВЫХ}} > 5$ В приращение входного тока будет компенсироваться приращением тока $I_{\text{ос}2}$, а ток $I_{\text{ос}1}$ будет оставаться постоянным. Из равенства приращений токов $\Delta I_{\text{ВХ}} = \Delta I_{\text{ос}2}$ на инвертирующем входе усилителя $DA4.2$ находим дифференциальный коэффициент передачи на втором участке характеристики ФПЕ:

$$\frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{R40} = \frac{\Delta U_{\text{В}}}{R43} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{R43};$$

$$k_2 = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}} = \frac{R43}{R40} \cong 7.$$

Таким образом, арксинусная зависимость аппроксимируется отрезками двух прямых, наклоны которых отличаются в два раза, а точка сопряжения соответствует выходному напряжению усилителя $DA4.2$ $U_{\text{ВЫХ}} = 5$ В.

С помощью резистора $R39$ изменяется масштаб характеристики ФПЕ по оси $U_{\text{ТГ}}$. Этим достигается совмещение характеристики ФПЕ с реальной характеристикой тиристорного преобразователя, приведенной ко входу СИФУ. Совмещение производится в одной точке, соответствующей максимальной скорости вращения электродвигателя. Критерием совпадения характеристик в выбранной точке является равенство нулю среднего значения выходного напряжения РТ $U_{\text{РТ}} = 0$ в режиме холостого хода двигателя.

3.1.8. Регулятор тока возбуждения

Регулятор тока возбуждения (РТВ) предназначен для задания и поддержания на заданном уровне (стабилизации) тока возбуждения двигателя. Пропорционально-интегрирующий регулятор тока возбуждения выполнен на операционном усилителе $DA8.2$ (рис. 12). Задание тока возбуждения осуществляется резистором $R78$. Сигнал обратной связи по току возбуждения поступает через контакты $B29$ и $A31$ разъема $XS1.1$ панели ПУЗ на выпрямительный мост $VD22$ и далее через последовательно включенные сопротивления $R63$ и $R81$ на вход регулятора.

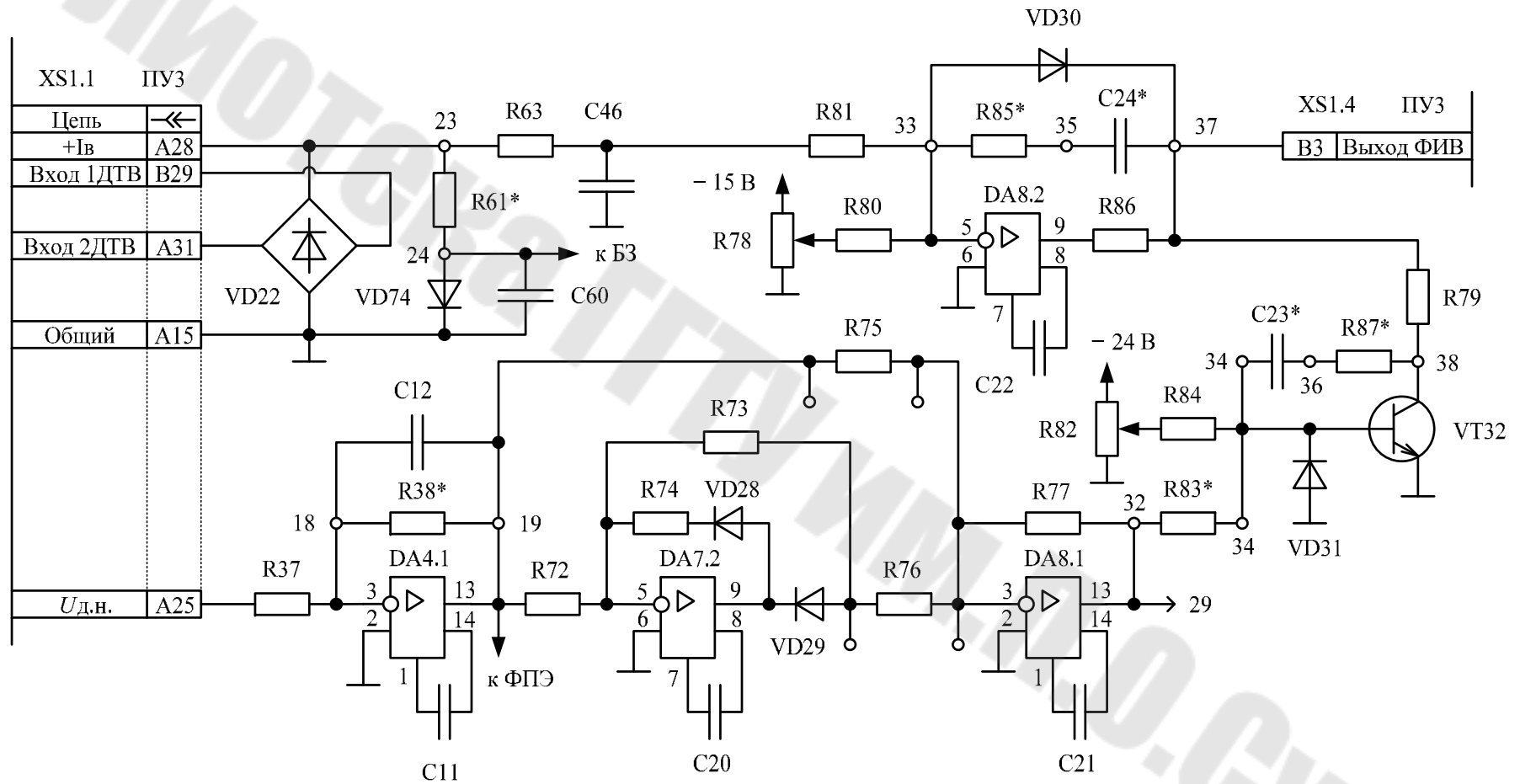


Рис. 12. Принципиальная схема РТВ и РЭ

В качестве датчика тока ДТВ (см. рис. 1) использован трансформатор тока Т4, включенный в разрыв одного из проводов сети переменного напряжения, питающего управляемый возбудитель ТПВ.

Сопроотивлением $R79$ производится установка минимального потока возбуждения при отсутствии задающего сигнала на входе $DA8.2$.

Параллельно выходу РТВ включен регулятор ЭДС (РЭ), выполненный на транзисторе $VT32$ и относящихся к нему элементах. Регулятор ЭДС обеспечивает постоянство ЭДС двигателя при регулировании скорости выше номинальной.

Задание ЭДС устанавливается с помощью сопротивления $R82$. Через сопротивление $R83^*$ на базу транзистора поступает сигнал с выпрямителя, выполненного на операционных усилителях $DA7.2$ и $DA8.1$. Задатчик ЭДС настраивается таким образом, чтобы при номинальной скорости двигателя транзистор $VT32$ начал открываться. Это ведет к снижению напряжения на выходе РТВ и, следовательно, к уменьшению тока обмотки возбуждения двигателя. С увеличением скорости происходит дальнейшее уменьшение тока возбуждения, таким образом ЭДС двигателя поддерживается постоянной.

3.2. Расчет параметров и настройка регуляторов электропривода ЭТУ2-2...Д¹

3.2.1. Расчет параметров элементов входных цепей регулятора скорости

По известной крутизне тахогенератора и максимальной скорости вращения n_{\max} (об/мин) двигателя определяют максимальное напряжение тахогенератора:

$$U_{\text{т.г max}} = S_{\text{т.г}} \cdot n_{\max}, \text{ В,}$$

где $S_{\text{т.г}}$ – крутизна тахогенератора, В (об/мин).

Суммарное сопротивление в цепи тахогенератора (см. рис. 3)

$$R_{\Sigma \text{т.г}} = R6^* + R7 + R17 = \frac{U_{\text{т.г max}}}{U_{\text{з.с max}}} \cdot (R8^* + R15^*), \text{ кОм,}$$

где $U_{\text{з.с max}}$ – значение сигнала задания скорости, соответствующее максимальной скорости двигателя.

¹ Приведена методика расчета, изложенная в техническом описании электроприводов ЭТУ2-2.

Рекомендованные значения: $U_{3.c \max} = 10 \text{ В}$; $R8^* = R15^* = 3,3 \text{ кОм}$.
Сопротивление резистора $R6^*$

$$R6^* = R_{\Sigma \text{т.г}} - \frac{1}{2} \cdot R7 - R17, \text{ кОм},$$

где величина $1/2 \cdot R7$ принята из-за необходимости обеспечить запас регулирования коэффициента передачи обратной связи по скорости, а величина сопротивления $R17 = 2,7 \text{ кОм}$.

3.2.2. Расчет параметров якорной цепи привода

Номинальный фазный ток трансформатора

$$I_{\text{ф. ном}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{л}}}, \text{ А},$$

где S – полная мощность трансформатора, $\text{В} \cdot \text{А}$; $U_{2\text{л}}$ – линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В .

Активное сопротивление фазы обмотки трансформатора, определенное по результатам опыта короткого замыкания

$$R_{\text{ф}} = \frac{P_{\text{к.з}}}{3 \cdot I_{\text{к.з}}^2}, \text{ Ом},$$

где $P_{\text{к.з}}$ – мощность короткого замыкания трансформатора, Вт ;
 $I_{\text{к.з}} = I_{\text{ф. ном}}$ – ток короткого замыкания трансформатора, А .

Для электроприводов, выполненных по реакторной схеме, фазное сопротивление $R_{\text{ф}}$ равно сопротивлению реактора.

Полное сопротивление фазы обмотки трансформатора

$$Z_{\text{ф}} = \frac{U_{2\text{л}} \cdot u_{\text{к}} \text{ \%}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{ф. ном}}}, \text{ Ом},$$

где $u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания (для трансформаторов ТС и ТСТ находится в пределах 2–6 % от номинального), %.

Индуктивность фазы обмотки трансформатора

$$L_{\text{ф}} = \frac{\sqrt{Z_{\text{ф}}^2 - R_{\text{ф}}^2}}{\omega_0}, \text{ Гн},$$

где $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_c$ – круговая частота напряжения сети.

Для электроприводов, выполненных по реакторной схеме, фазная индуктивность L_{ϕ} равна индуктивности реактора.

Сопротивление якорной цепи привода²

$$R_{\text{я.ц}} = R_{\text{я.д}} + R_{\text{д.п}} + R_{\text{др}} + 2 \cdot R_{\phi} + \frac{m \cdot \omega_0 \cdot L_{\phi}}{\pi},$$

где $R_{\text{я.д}}$ и $R_{\text{д.п}}$ – соответственно сопротивления якорной обмотки и обмотки добавочных полюсов (из справочных данных на двигатель); $R_{\text{др}}$ – сопротивление дросселя в цепи выпрямленного тока (в приводах главного движения дроссель отсутствует); m – число фаз эквивалентной схемы замещения преобразователя (пульсность).

Индуктивность якорной цепи привода

$$L_{\text{я.ц}} = L_{\text{дв}} + L_{\text{др}} + 2 \cdot L_{\phi},$$

где $L_{\text{др}}$ – индуктивность дросселя в цепи выпрямленного тока (в приводах главного движения дроссель отсутствует).

3.2.3. Расчет постоянных времени и коэффициентов передачи преобразователя

Номинальная угловая скорость вращения вала двигателя

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{60}, \text{ с}^{-1}.$$

Произведение конструктивной постоянной времени двигателя на номинальный поток возбуждения

$$c \cdot \Phi_{\text{НОМ}} = \frac{(U_{\text{я.НОМ}} - I_{\text{я.НОМ}} \cdot (R_{\text{я.д}} + R_{\text{д.п}}))}{\omega_{\text{НОМ}}}, \text{ В} \cdot \text{с},$$

где $U_{\text{я.НОМ}}$ и $I_{\text{я.НОМ}}$ – номинальные значения напряжения и тока якоря двигателя.

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $J_{\text{дв}}$ – момент инерции якоря двигателя; $J_{\text{мех}}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции механизма.

² Здесь и далее все активные сопротивления должны быть приведены к рабочей температуре.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{R_{я.ц} \cdot J_{\Sigma}}{(c \cdot \Phi_{НОМ})^2}, \text{ с.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи привода

$$T_{я} = \frac{L_{я.ц}}{R_{я.ц}}, \text{ с.}$$

Коэффициент передачи нелинейного звена

$$k_{н.з} = \frac{R_{29}}{R_{26}^*} = \frac{3,3 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 0,33.$$

ЭДС якоря двигателя при номинальной скорости

$$E_{я.НОМ} = 0,9 \cdot U_{я.НОМ}, \text{ В.}$$

Коэффициент передачи канала обратной связи, равный отношению напряжения тахогенератора к ЭДС двигателя, для заданной скорости, например, номинальной

$$k_{о.с}^* = \frac{S_{т.г} \cdot n_{НОМ}}{E_{я.НОМ}}.$$

Максимальное значение выпрямленной ЭДС преобразователя, собранного по трехфазной мостовой схеме

$$E_{d0} = 2,34 \cdot U_{2\phi}, \text{ В,}$$

где $U_{2\phi}$ – действующее значение фазного напряжения, питающего преобразователь.

Динамический коэффициент передачи тиристорного преобразователя в режиме непрерывного тока (для наилучшего режима)

$$k_{т.п} = \left. \frac{\partial e_d}{\partial u_y} \right|_{u_y = U_{y.нач}} = E_{d0} \cdot \frac{\pi}{U_{оп\ max}} \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot U_{y.нач}}{U_{оп\ max}} \right),$$

где $U_{оп\ max}$ – размах пилообразного опорного напряжения (рекомендованное значение 8–9 В), В; $U_{y.нач}$ – начальное значение напряжения управления (принимается равным 0 В, что соответствует $\alpha_{нач} = 90^\circ$), В.

Коэффициент передачи управляющего органа

$$k_{y.o} = \frac{R35}{R30} = \frac{27 \cdot 10^3}{27 \cdot 10^3} = 1,$$

где $R35$ и $R30$ – сопротивления, установленные на плате ПУ1.

3.2.4. Расчет параметров элементов цепей обратных связей регуляторов

Величина сопротивления в цепи обратной связи регулятора скорости

$$R21^* = \frac{1,65 \cdot T_9 \cdot T_m \cdot \omega_p^2 \cdot R_{\Sigma_{т.г}}}{k_{н.з} \cdot k_{o.c}^* \cdot k_{т.п} \cdot k_{y.o}}, \text{ кОм},$$

где ω_p – резонансная частота привода (граница полосы пропускания), рекомендуется принимать $\omega_p = 100 - 130 \text{ с}^{-1}$.

Емкость конденсатора в цепи обратной связи регулятора скорости

$$C8^* = \frac{T_{p.c}}{R21^*} = \frac{2 \cdot D \cdot 10^3}{R21^* \cdot \omega_p}, \text{ мкФ},$$

где $T_{p.c}$ – постоянная времени регулятора скорости, с; $D = \frac{n_{\max}}{n_{\text{ном}}}$ – диапазон изменения потока.

Сопротивление в цепи обратной связи по току (см. рис. 1)

$$R97^* = \frac{27 \cdot k_{т.п} \cdot k_{y.o} \cdot k_{д.т}}{(R_{я.д} + R_{д.п} + R_{др}) \cdot (1,43 \cdot \omega_p \cdot T_9 + 1)}, \text{ кОм},$$

где $k_{д.т} = \frac{U_{д.т}}{I_{я.ном}}$ – коэффициент передачи датчика тока; $U_{д.т}$ – падение напряжения на сопротивлении $R102^*$ (при номинальном токе должно составлять 2–3 В).

Величина сопротивления $R102^*$ выбирается в зависимости от номинального тока привода: при токе 25 А – 100 Ом; 50 А – 47 Ом; 100 А – 24 Ом.

Следует учесть, что значения устанавливаемых элементов, полученных расчетным путем, не могут учесть таких факторов, как разброс параметров трансформатора, двигателя, дросселя, механизма, соединительных проводов, контактов, отклонений от номинальных значений параметров элементов, установленных на платах, погрешностей при наладке и т. д. Поэтому более точным способом является экспериментальный.

3.2.5. Экспериментальное определение постоянных времени

Значение электромеханической постоянной времени T_M привода определяют по диаграммам скорости и тока. Для этого производят пуск двигателя на холостом ходу ($I_c \approx 0$) на заданную скорость с приблизительно прямоугольной диаграммой тока якоря.

Считая, что при таком пуске имеет место равноускоренное движение, и переходя от момента к току двигателя, уравнение движения привода можно представить как

$$I_{\text{п}} = I_{\text{я}} - I_{\text{с}} = \frac{J_{\Sigma}}{(c \cdot \Phi_{\text{НОМ}})^2} \cdot \frac{E_{\text{я}}}{t_{\text{п}}},$$

где $I_{\text{п}}$ – величина среднего значения пускового (динамического) тока; $t_{\text{п}}$ – время пуска до установившейся скорости.

Учитывая, что на холостом ходу напряжение якоря $U_{\text{я.0}}$ примерно равно ЭДС $E_{\text{я}}$, можно определить электромеханическую постоянную времени:

$$T_M = \frac{I_{\text{п}} \cdot R_{\text{н}} \cdot t_{\text{п}}}{U_{\text{я.0}}}, \text{ с.}$$

Для экспериментального определения величины сопротивления $R_{\text{н}}$ необходимо с помощью нагрузочного устройства создать номинальный ток двигателя, тогда

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{я.0}} - U_{\text{я.}I_{\text{НОМ}}}}{I_{\text{НОМ}}}, \text{ Ом,}$$

где $U_{\text{я.}I_{\text{НОМ}}}$ – напряжение на якоре двигателя при номинальном токе якоря.

Электромагнитную постоянную времени $T_{\text{я}}$ находят, создав при помощи нагрузочного устройства двигателя гранично-непрерывный ток нагрузки с амплитудой I_m , тогда

$$T_{\text{я}} = \frac{0,19 \cdot U_{2\text{л}}}{\omega_0 \cdot I_m \cdot R_{\text{н}}}, \text{ с.}$$

Коэффициент обратной связи по току определяют как

$$k_{\text{о.с}} = \frac{\Delta U_{\text{т.г}}}{\Delta E_{\text{я}}} = \frac{U_{\text{т.г}}}{0,9 \cdot U_{\text{я}}},$$

измеряя $U_{т.г}$ и $U_{я}$ на холостом ходу двигателя для заданной скорости, например, максимальной.

По определенным экспериментально параметрам $T_{м}$, $T_{я}$, $R_{н}$, $k_{о.с}$ рассчитывают величины $R21^*$, $C8^*$ и $R97^*$.

4. Порядок выполнения работы

1. Подать отдельным автоматом напряжения питания на систему управления и цепь возбуждения. При этом на плате управления ПУ3 должны загореться светодиоды: $VD34$ – «Система управления включена»; $VD52$ – « Σ »; $VD70$ – «Исчезновение силовой сети».

Проконтролировать ток возбудителя и, при необходимости, отрегулировать его сопротивлением $R78$ на плате ПУ3.

2. Подать напряжение питания на силовую часть. При этом на плате ПУ3 должны погаснуть светодиоды $VD52$ и $VD70$.

Установить на выходе задатчика скорости сигнал $U_{зад} = 0$.

3. Подать сигнал «Работа». При правильной полярности подключения тахогенератора скорость двигателя останется равной нулю. При неправильной полярности – скорость начнет возрастать до максимального значения. В последнем случае необходимо отключить привод и поменять полярность подключения тахогенератора.

4. Подключить потенциальный вход осциллографа к выходу датчика тока (контрольная точка 50), а корпусной вход – к общей точке 51 (см. рис. 1) платы ПУ3.

Зафиксировать на экране осциллографа наличие тока в якорной цепи двигателя. Если на осциллограмме тока якоря наблюдаются значительные выбросы, имеют место «рывки» двигателя, то необходимо подстроить начальный угол отпираания тиристорov $\alpha_{нач}$ резистором $R26$ на плате ПУ1.

Осциллограмму тока привести в отчете.

5. Обеспечить максимальную скорость привода при максимальном задающем сигнале $U_{зад} = 10$ В резисторами в цепи тахогенератора $R6^*$ и $R7$. При этом напряжение в контрольной точке 25 (УЗТ) должно составлять около 10 В. При необходимости это значение корректируется сопротивлением $R94$.

Предварительно наладочным задатчиком скорости установить напряжение на якоре двигателя ориентировочно 150 В для исполнения привода, рассчитанного на 230 В, или 350 В – для исполнения на 460 В. Контролируя ток якоря амперметром и по осциллографу осуществить реверс двигателя.

Соппротивлением $R39$ (ФПЭ) платы ПУЗ необходимо добиться приблизительно прямоугольной формы тока якоря в режимах реверса при зашунтированном сопротивлении $R5^*$ (исключается влияние ЗИ).

Осциллограмму тока якоря двигателя при реверсе привести в отчете.

6. Установить по двигателю требуемый ток отсечки (для электродвигателей 4ПФ – $(1,5-2,0) \cdot I_{я.ном}$) сопротивлением $R25$ платы ПУЗ, контролируя сигнал с датчика тока якоря осциллографом в режиме реверса на скоростях, несколько меньших номинальной. Например, для исполнения, рассчитанного на 460 В, реверсировать двигатель при $U_я = 350$ В.

Задатчиком скорости плавно разгонять двигатель. Для исполнения на 230 В, при напряжении на якоре 220 В должно начаться снижение тока возбуждения (переход во вторую зону регулирования).

Для исполнения на 460 В снижение тока возбуждения должно начаться при 390–400 В. При необходимости, отрегулировать переход во вторую зону сопротивлением $R82$ (РЭ) платы ПУЗ. Скорость двигателя при этом будет близка к номинальной.

7. Разогнать двигатель до скорости примерно $2 \cdot n_{ном}$ и, переключив осциллограф в точку 13, проконтролировать форму напряжения на выходе регулятора скорости РС в режиме реверса.

При необходимости, добиться снижения напряжения на выходе РС сопротивлением $R19$ платы ПУЗ (регулируется момент вступления УЗТ в работу).

Осциллограмму напряжения на выходе регулятора скорости привести в отчете.

8. Установить задатчик скорости в положение «0» и отрегулировать «настройку нуля» сопротивлением $R13$, добиваясь исключения самохода двигателя.

Снять шунтирующую перемычку с сопротивления $R5^*$ платы ПУЗ и установить требуемый темп разгона привода, подбирая величину сопротивления $R5^*$ в пределах до 470 кОм.

Параметры корректирующих элементов ($C8^*$, $R21^*$, $R97^*$) подбираются из условий оптимизации переходных процессов электропривода как показано в п. 3.2.4. При этом увеличение сопротивления $R97^*$ приводит к возрастанию токовой отсечки, и наоборот.

Увеличение сопротивления $R21^*$ до 100–200 кОм повышает быстродействие системы регулирования там, где требуется повышенное быстродействие главного привода.

При наличии в двигателе встроенного терморезистора переключку 61-44 на плате ПУЗ следует снять.

5. Содержание отчета

В отчете необходимо привести наименование и цель работы, чертежи принципиальных схем наиболее значимых элементов системы регулирования, результаты расчета параметров элементов системы регулирования для выданного преподавателем варианта, осциллограммы сигналов, указанные в п. 5 работы. Сделать выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Дайте описание узлов функциональной схемы электропривода ЭТУ2-2...Д. Кратко опишите назначение регулировочных элементов.
2. Для чего необходимо и как осуществляется ограничение тока якоря двигателя в режимах пуска, торможения и реверса?
3. Объяснить необходимость применения узла зависимого токоограничения. Пояснить назначение сменных и подстроечных элементов УЗТ.
4. Поясните принцип линеаризации характеристик ТПЯ с применением НЗ и ФПЭ.
5. Как правильно выполнить настройку ФПЭ и НЗ?
6. Объяснить, каким образом обеспечивается постоянство ускорения при использовании задатчика интенсивности. Как рассчитать его параметры?
7. Как обеспечить необходимый коэффициент передачи канала обратной связи за счет входных сопротивлений регулятора (установка необходимого диапазона скорости)?
8. Пояснить назначение элементов обвязки регулятора скорости и методику настройки контура скорости.
9. Чем объясняется наличие узла соответствия в приводе с индексом «Д» и отсутствие этого узла в приводе с индексом «П»? Как он действует?
10. Каким образом осуществляется регулирование тока возбуждения в первой и во второй зонах? Как правильно выполнить настройку потенциометров $R78$, $R82$ (рис. 12)? Для чего необходимы резисторы $R83^*$, $R38^*$, $R61^*$?
11. Из чего складывается сопротивление якорной цепи привода? Опишите физический смысл составляющих. Будут ли отличаться сопротивления в режимах непрерывного и прерывистого тока?

12. Объясните, как определить параметры элементов обратных связей РТВ и РЭ?

13. Пояснить принцип действия системы регулирования на примере пуска привода на максимальную скорость.

14. Объяснить, как произвести экспериментальное определение постоянных времени привода.

15. Как влияют величины сопротивлений R_{97}^* и R_{21}^* на работу привода? Почему?

16. Описать порядок операций при настройке системы регулирования.

17. Как влияет наличие положительной обратной связи по ЭДС (ФПЭ) на учет влияния внутренней обратной связи по ЭДС двигателя?

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.

6. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Ленинград : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Цель работы	4
2. Указания мер безопасности	4
3. Техническое описание системы регулирования	4
3.1. Система регулирования электропривода ЭТУ2-2... Д.....	5
3.1.1. Функциональная схема	5
3.1.2. Задатчик интенсивности	8
3.1.3. Регулятор скорости.....	10
3.1.4. Ограничение тока якоря.....	12
3.1.5. Узел зависимого токоограничения	13
3.1.6. Узел соответствия.....	14
3.1.7. Нелинейное звено и функциональный преобразователь ЭДС.....	15
3.1.8. Регулятор тока возбуждения	23
3.2. Расчет параметров и настройка регуляторов электропривода ЭТУ2-2... Д	25
3.2.1. Расчет параметров элементов входных цепей регулятора скорости	25
3.2.2. Расчет параметров якорной цепи привода	26
3.2.3. Расчет постоянных времени и коэффициентов передачи преобразователя.....	27
3.2.4. Расчет параметров элементов цепей обратных связей регуляторов	29
3.2.5. Экспериментальное определение постоянных времени	30
4. Порядок выполнения работы	31
5. Содержание отчета.....	33
6. Контрольные вопросы.....	33
Литература	35

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

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**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *В. В. Вороник*
Компьютерная верстка *М. В. Аникеенко*

Подписано в печать 13.01.10.

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

Ризография. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,16.

Изд. № 170.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.