

КОМПЛЕКТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ПОДАЧИ ТИПА «МЕЗОМАТИК-К»

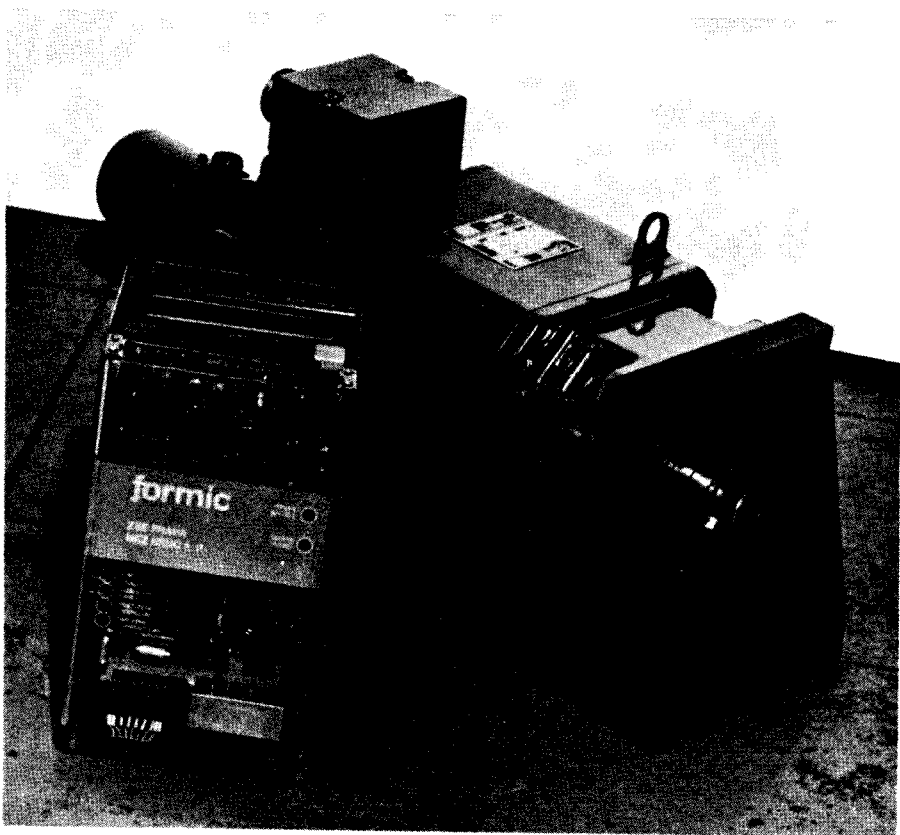


Рис. 8.1. Общий вид электропривода
«Мезоматик-К»

Электроприводы типа «Мезоматик-К» производства ЧССР (рис. 8.1) разработаны взамен приводов «Мезоматик-А» и предназначены для электроприводов подачи металлорежущих станков. Конструктивно преобразователь выполнен в виде модулей на одну или две координаты. Типоразмеры привода охватывают диапазон моментов от 3,5 Нм до 35 Нм.

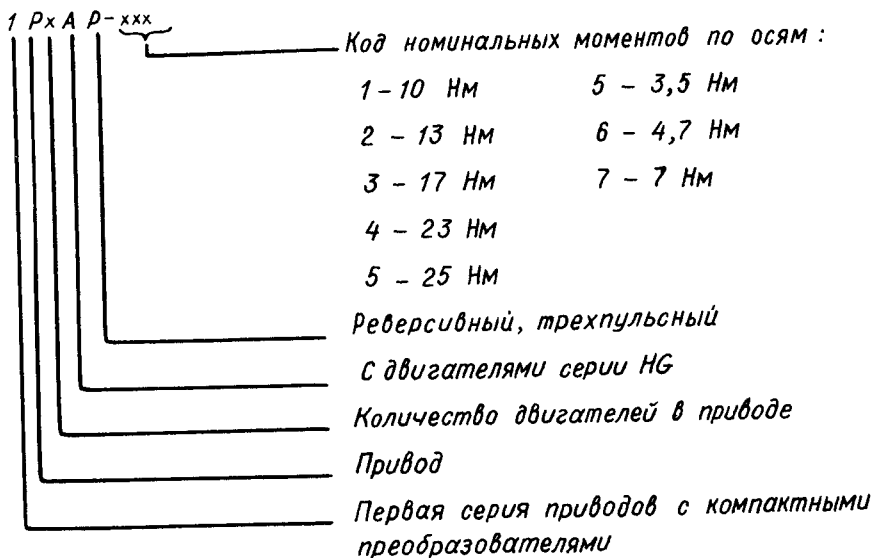
В комплект привода входят:

- тиристорный преобразователь К1Т1-РЗ на одну координату или К2Т3-Р33 на две координаты;
- высокомоментный электродвигатель постоянного тока типа НГ со встроенными тахогенератором, резольвером, электромагнитным тормозом и термодатчиком;
- силовой трансформатор типа TVU, общий независимо от числа координат;
- уравнивательные дроссели типа LJE;
- коммутационные дроссели типа LTE. В случае одиокоординатного исполнения коммутационный дроссель не поставляется;
- фильтр для подавления помех типа С1;
- портативный диагностический прибор типа ДТР-01, поставляемый по специальному заказу.

Все остальные характеристики привода соответствуют требованиям международной организации «Интерэлектро».

При многокоординатном исполнении привод может комплектоваться двигателями с различными номинальными моментами.

Типовое обозначение электропривода



Описание работы преобразователя

Преобразователь выполнен по одноконтурной схеме регулирования только с регулятором скорости. Характерной особенностью привода является работа в зоне прерывистых токов при нагрузке вплоть до номинального тока во всем диапазоне частот вращения, что исключает влияние электромагнитной постоянной времени и как следствие позволяет создать простую одноконтурную схему без регулятора тока. Управление приводом согласованное нелинейное в зоне рабочих частот вращения и раздельное в зоне ускоренных перемещений. Предусмотрено адаптивное управление коэффициентом усиления контура скорости на низких скоростях, что обеспечивает хорошие динамические свойства привода. Введение электронных защит исключает выход из строя элементов преобразователя в аварийных ситуациях.

Блок-схема привода приведена на рис. 8.2, где ДУ1, ДУ2 — дифференциальные усилители сигналов задания и обратной связи; РС — регулятор скорости; АР — адаптивный регулятор; СИФУ — система импульсно-фазового управления; ИНВ — инвертор; БНТО — блок нелинейного токоограничения; НЧФ — защита от неправильного чередования фаз; ВФ — защита от выпадания фазы; ППН — защита от понижения питающего напряжения; ПЕР — защита от перегрузки; ТП — тиристор-

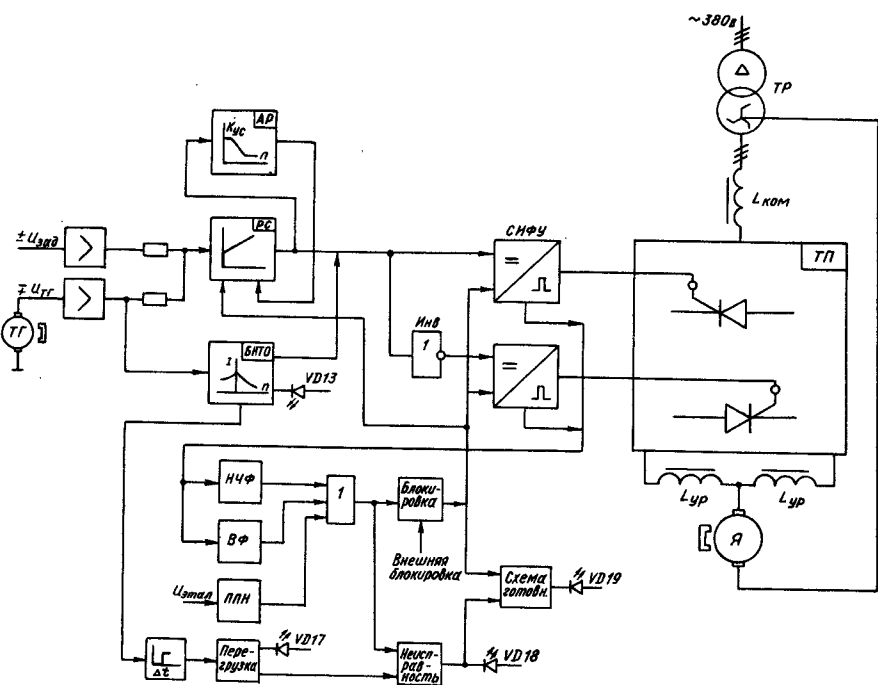


Рис. 8.2. Блок-схема электропривода «Мезоматник-К»

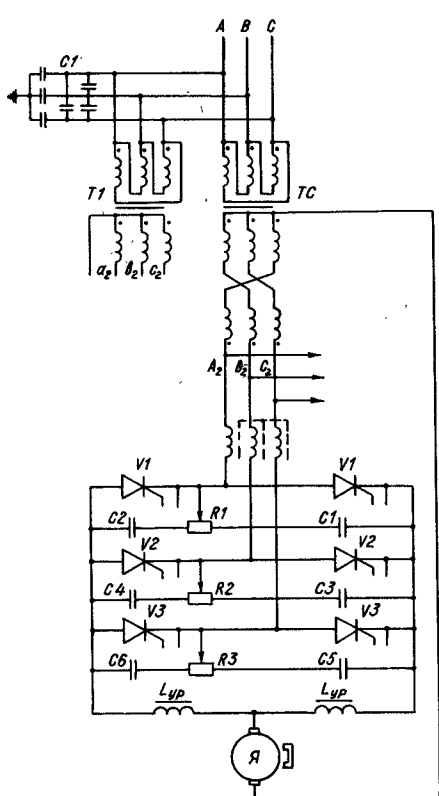


Рис. 8.3. Силовая схема

двигателей SHAT, применяемых в приводе «Мезоматик-А». Это четырехполюсные двигатели с возбуждением от ферритовых магнитов, магнитная цепь статора шихтованная, они имеют квадратную форму, степень защиты IP44. Все выводы двигателя выполнены на разъемных соединениях.

Силовой трансформатор включен по схеме «треугольник—зигзаг», что позволяет исключить поток вынужденного намагничивания и как следствие — экономия стали магнитопровода.

Трансформатор Т1, обмотки которого включены по схеме «треугольник—звезда», предназначен для питания стабилизированного источника питания и синхронизации работы системы импульсно-фазового управления (СИФУ).

На рис. 8.4 приведены векторные диаграммы напряжений трансформаторов ТС и Т1, из которых видно, что напряжение синхронизации СИФУ отстает от силового питающего напряжения на 30 эл. град.

ный преобразователь; ТР — силовой трансформатор; $L_{ком}$ — коммутационный дроссель; $L_{ур}$ — уравнивательный дроссель; Я — электродвигатель; Ф — сетевой фильтр; ТГ — тахогенератор; Т — электромагнитный тормоз; Р — резольвер; БП — блок питания.

Прежде чем приступить к подробному описанию принципиальной схемы преобразователя, сделаем важное замечание: в преобразователе принято независимое полатное обозначение элементов схем, всегда начинающееся с номера один, поэтому в общей схеме имеются одинаковые обозначения операционных усилителей, сопротивлений, конденсаторов, диодов и т. д. Следует быть внимательным при изучении и наладке привода.

Обозначение плат следующее:

А-01 — регулятор;

А-02 — генератор;

А-03, А-04 — источники питания;

МТ — тиристорный модуль.

Силовая схема (рис. 8.3) преобразователя выполнена по реверсивной трехпульсной однополупериодной схеме выпрямления.

Нагрузкой преобразователя является высокомоментный электродвигатель постоянного тока типа НГ с возбуждением от постоянных магнитов. Двигатели типа НГ принципиально отличаются от серии

На входе силового трансформатора для исключения влияния сетевых помех предусмотрен конденсаторный фильтр.

Коммутационные трехфазные дроссели исключают влияние приводов друг на друга в случае многокоординатного исполнения при работе от одного общего силового трансформатора.

Уравнительные однофазные дроссели ограничивают величину уравнительных токов, протекающих в силовой части, минуя цепь двигателя.

Силовые тиристоры защищены от перенапряжений параллельными RC-цепочками.

Встроенный в двигатель электромагнитный тормоз с напряжением питания 24 В предназначен только для работы в аварийных ситуациях.

Следует помнить, что номинальный момент двигателя постоянного тока при питании от трехпульсной схемы выпрямления уменьшается в $K=I_{cp}/I_{эф} = 1,14$ раза по сравнению с питанием от гладкого напряжения.

Регулятор скорости выполнен в виде пропорционально-интегрального регулятора и реализован на операционном усилителе Е5 (рис. 8.5).

Предусмотрено два одинаковых входа для подключения задающего напряжения, посредством операционных усилителей (ОУ) Е4 и Е4*, конструктивно расположенных в одной микросхеме, а также фильтров R60, R62, C7, R63 и R61, R64, C8, R65 и один вход для сигнала обратной связи по частоте вращения через ОУ Е1 и резистор R66.

Воздействие входов задающего сигнала на частоту вращения суммируется, поэтому второй вход может быть задействован (при необходимости) для подключения каких-либо внешних воздействий.

Каждый вход обеспечивает как асимметричное, так и дифференциальное подключение задающего напряжения. Дифференциальное подключение предпочтительнее, т. к. обеспечивает подавление синфазной составляющей помехи, наводимой в общем проводе при длинных цепях. Величина задающего напряжения для максимальной частоты вращения составляет ± 10 В.

Для подключения обратной связи по скорости на входе ОУ Е1 предусмотрено

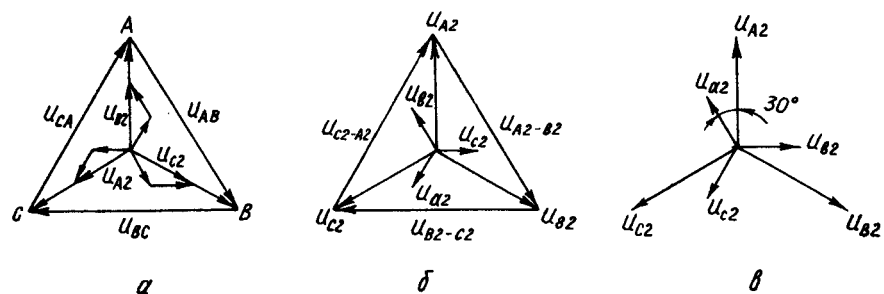


Рис. 8.4. Векторные диаграммы:

a — силовой трансформатор; *б* — трансформатор синхронизации; *в* — фазировка синхронизирующего напряжения относительно напряжения на тиристорах

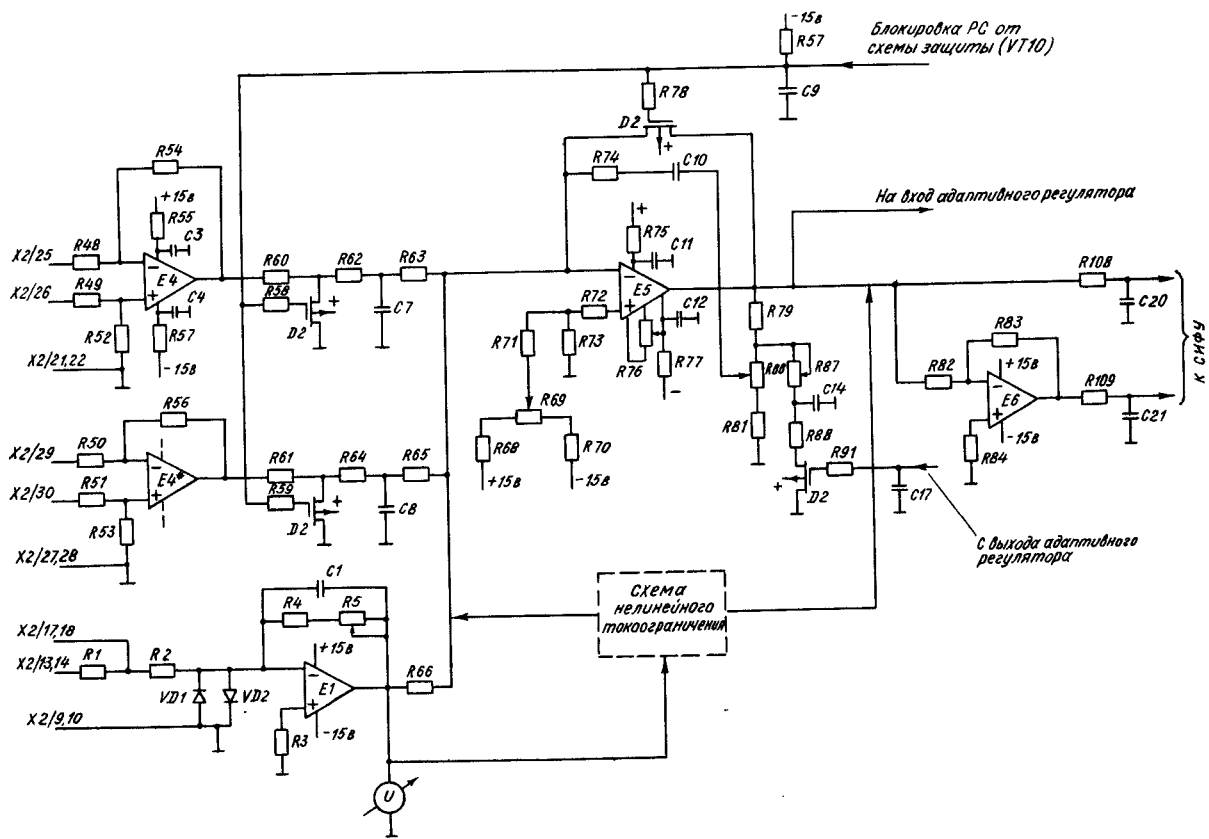


Рис. 8.5. Регулятор скорости

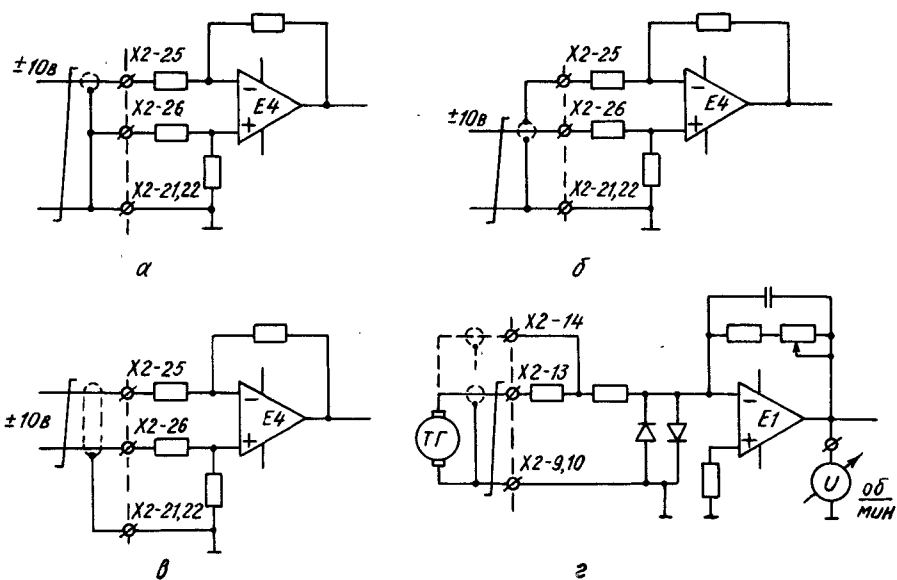


Рис. 8.6. Схемы подключения задающего напряжения:

а и б — асимметричное подключение для направлений вращения по и против часовой стрелки соответственно; в — дифференциальное подключение; г — подключение тахогенератора

два вывода: через резисторы R1 и R2 для тахогенератора с постоянной $K = 20 \text{ В}/1000 \text{ мин}^{-1}$ и через резистор R2 для тахогенераторов, имеющих на максимальной частоте вращения выходное напряжение менее 10 В.

Точная настройка максимальной частоты вращения осуществляется потенциометром R5, грубая — перепайкой резистора R4. Конденсатор C1 предназначен для фильтрации выходного напряжения ОУ E1, величина которого на максимальной скорости должна быть $\pm 10 \text{ В}$. К выходу E1 можно подключить внешнее измерительное устройство с внутренним сопротивлением не менее 10 кОм.

Схемы подключения входных сигналов задания и обратной связи приведены на рис. 8.6.

Выходное напряжение регулятора скорости (PC), управляющее каналами СИФУ, снимается для прямого канала с фильтра R108, C20 и для инверсного канала — через инвертор на ОУ E6 и фильтр R109, C21.

Предусмотрена блокировка PC и каналов задания ключами на полевых транзисторах, что обеспечивает нулевые начальные условия интегрирования.

Балансировка регулятора выполняется потенциометром R76 в цепи питания ОУ E5, а также дополнительно смещением на неинвертирующем входе при помощи потенциометра R69.

Им же устанавливается нулевая начальная скорость.

Передаточная функция PC имеет вид:

$$W(p) = -\frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = -K_{\text{рег}} \frac{1+pT_{\text{ос}}}{pT_{\text{и}}} - K_{\text{рег}} \cdot K_0 \frac{1+pT_{\text{ос}}}{pT_{\text{ос}}},$$

где $K_{\text{рег}} = \frac{R79+R80+R81}{R80^*+R81}$ — регулируемая часть коэффициента усиления ($R80^*$ — сопротивление части потенциометра $R80$ от движка до вывода, подключенного к общей точке питания); $K_0 = R74/R66$ — нерегулируемая часть коэффициента усиления; $T_{\text{ос}} = R74 \cdot C10$ — постоянная времени цепи обратной связи; $T_{\text{и}} = R66 \cdot C10$ — постоянная времени цепи интегрирования.

Реакция РС на скачок входного напряжения показана на рис. 8.7. Настройка регулятора производится подбором постоянной времени $T_{\text{и}}$ путем изменения величины конденсатора $C10$, а также изменением коэффициента передачи потенциометром $R80$. Для обеспечения постоянства величины $T_{\text{ос}}$ при изменении $C10$ необходимо также изменять величину резистора $R74$.

Параллельно потенциометру $R80$ и резистору $R81$ включена цепочка из потенциометра $R87$ и резистора $R88$, управляемая ключом на полевом транзисторе $D2$. Эта цепь работает в зоне адаптации, потенциометром $R87$ устанавливается коэффициент передачи на низких скоростях.

Как уже отмечалось, в структуре привода отсутствует регулятор тока, что связано с его работой в зоне прерывистых токов. Из теории электропривода известно, что наклон внешних характеристик преобразователя в режиме прерывистых токов резко возрастает (рис. 8.8), что можно интерпретировать возрастанием во много раз активного сопротивления преобразователя и как следствие — стремлением к нулю электромагнитной постоянной времени $T_{\Sigma} = L_{\Sigma}/R_{\Sigma}$. Это же явление можно объяснить и другим способом, рассмотрев реакцию привода на скачок задания в режиме прерывистого тока. Если скачком изменить задающее напряжение $U_{\text{зад}}$, то не позже чем в следующем полупериоде питающего напряжения установится новый режим преобразователя, так как к следующему импульсу управления ток в силовой цепи будет равен нулю. Характер реакции преобразователя аналогичен случаю активной нагрузки,

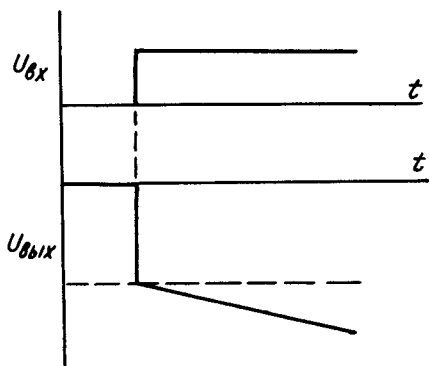


Рис.8.7. Реакция РС на скачок задающего напряжения

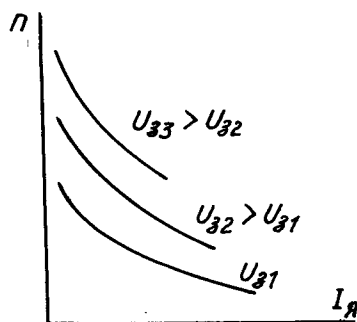


Рис. 8.8. Внешняя характеристика привода

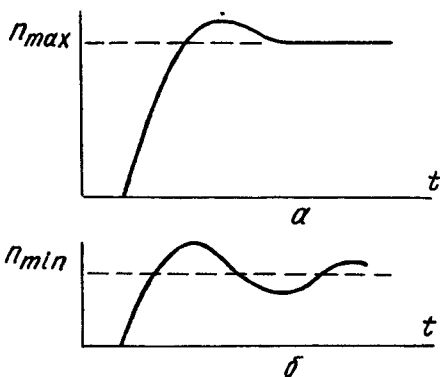


Рис. 8.9. Переходные процессы скорости:
 а — при пуске на максимальную частоту вращения; б — то же на минимальную

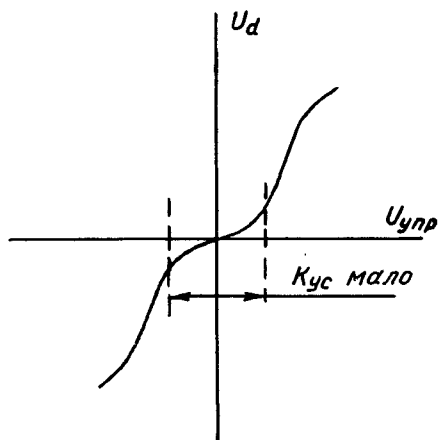


Рис. 8.10. Регулировочная характеристика

т. е. можно говорить об исчезновении электромагнитной постоянной времени и исключить в приводе регулятор тока.

Адаптивный регулятор

Настроенный на высокой частоте вращения электропривод при переходе на низкие скорости вновь будет иметь перерегулирование и колебательность (рис. 8.9). Это связано с тем, что регулировочная характеристика преобразователя при согласовании комплектов клапанов при углах $\alpha_{нач} > 90^\circ$ и работе при прерывистых токах носит нелинейный характер, причем коэффициент усиления преобразователя на низких скоростях резко падает (рис. 8.10).

Для изменения коэффициента усиления РС в функции частоты вращения в системе управления приводом введен адаптивный регулятор (АР).

В настоящее время (рис. 8.11) адаптивное изменение коэффициента усиления РС обеспечивается за счет нелинейности характеристик последовательно включенных пар диодов VD20—VD24, VD21—VD25, VD22—VD26 и VD23—VD27. При малой частоте вращения, т. е. при малом выходном сигнале РС, пары диодов имеют большое сопротивление, регулируемая часть коэффициента усиления определяется соотношением
$$K_{пер} = \frac{R97 + R80 + R81}{R80^* + R81}$$
 и имеет максимальную величину. По мере роста скорости растет выходное напряжение РС и последовательно открываются (в зависимости от полярности) диоды VD20 или VD24, затем VD21 или VD25 и т. д., подключая к резистору R97 параллельно включенные R98, R99 и R100. Коэффициент уси-

ления постепенно падает до постоянного минимального значения на высоких скоростях, определяемого параллельным сопротивлением резисторов R97—R100 и положением движка потенциометра R80.

В приводах выпуска 1985 — начала 1986 года адаптивный регулятор выполнен на основе широтно-импульсной модуляции.

Блок нелинейного токоограничения обеспечивает ограничение тока якоря в функции частоты вращения в соответствии с коммутационной кривой ВМД.

Ток, протекающий в якоре двигателя, определяется разностью напряжения преобразователя и противо-ЭДС двигателя и сопротивлением якорной цепи. Пренебрегая падением напряжения от перекрытия анодных токов на вторичной обмотке силового трансформатора и вентилях, можно записать

$$I_{\text{я}} = \frac{U \cdot E}{R_{\text{я}}} = \frac{U d_o \cos \alpha - C_e \cdot n}{R_{\text{я}}},$$

где $U d_o$ — выходное напряжение неуправляемого выпрямителя ($\delta=0$); δ — угол запаздывания зажигания вентиляей; C_e — коэффициент ЭДС двигателя; n — частота вращения; $R_{\text{я}}$ — сопротивление якорной цепи.

Если считать, что $R_{\text{я}} = \text{const}$, то на основании информации о частоте вращения двигателя, снимаемой с тахогенератора и пропорциональной величине ЭДС двигателя, можно определить минимально допустимый угол управления α , ограничив тем

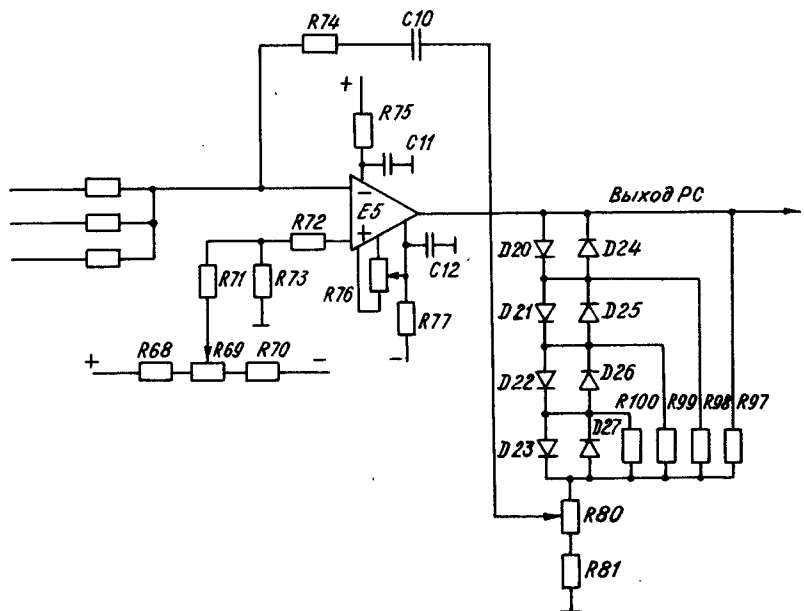


Рис. 8.11. Адаптивный регулятор на нелинейных диодных цепочках

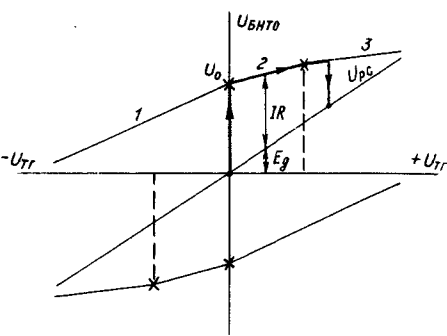


Рис. 8.12 Зависимость $U_{\text{БНТО}} = f(U_{\text{ТГ}})$

имеется начальное напряжение $\pm U_0$. Величина этого напряжения регулируется потенциометром R14.

При вращении двигателя в зависимости от полярности напряжения тахогенератора через диоды VD8, VD9 или VD7, VD10 ко входу ОУ E2 и E2* через цепи R7 или R6, R10, R9, R8 подается входное напряжение, которое формирует характеристику БНТО.

На участке 1 (рис. 8.12) наклон характеристики определяется соотношением $R20/R7$, на участке 2 — отношением $R20/(R6+R8+R9)$ и на участке 3 — отношением $\frac{R10}{R6+R10} \cdot \frac{R20}{R8+R9}$. Изменение наклона при переходе от участка 2 к участку 3 объясняется открытием диодной цепочки VD3—VD6.

Для удобства объяснения работы БНТО полярность выходных характеристик E2 и E2* на рис. 8.12 изменена на противоположную.

При нормальном режиме, когда напряжение на выходе регулятора скорости меньше напряжения БНТО, т. е. $U_{\text{РС}} < U_{\text{БНТО}}$, диоды VD11 и VD12 открыты, цепи РС и БНТО разьединены и токоограничение не работает.

Если в переходных режимах возникает ситуация, когда $U_{\text{РС}} > U_{\text{БНТО}}$, то в зависимости от полярности закрывается один из диодов, VD11 или VD12, и схема токоограничения по цепям транзисторов VT3, VT1 от источника +15 В или VT4, VT2 от источника —15 В соответственно ограничивает напряжение на выходе РС и, следовательно, величину тока якоря двигателя.

Жирными линиями на рис. 8.12 показана работа БНТО в процессе пуска. В выпрямительном режиме величина $E_{\text{дв}}$, соответствующая напряжению $U_{\text{РС}}$, уравновешивается разностью между напряжением выпрямителя $U_{\text{в}}$ и падением напряжения $I_{\text{я}}R_{\text{я}}$, т. е. $E_{\text{дв}} = U_{\text{в}} - I_{\text{я}}R_{\text{я}}$. Видно, что обеспечивается обратная зависимость допустимого тока от частоты вращения двигателя.

На операционном усилителе E3, транзисторе VT5 и светодиоде VD13 выполнена сигнализация работы блока токоограничения. Сигнал с VD5 поступает в схему защиты от длительной перегрузки.

самым величину напряжения U , подводимого к двигателю, и следовательно величину тока.

На рис. 8.12 приведена зависимость выходного напряжения БНТО в функции напряжения тахогенератора $U_{\text{БНТО}} = f(U_{\text{ТГ}})$ во всех четырех квадрантах работы привода. Здесь же показана статическая характеристика регулятора скорости.

Принципиальная схема узла БНТО приведена на рис. 8.13.

При остановленном двигателе, т. е. при $U_{\text{ТГ}} = 0$ под действием напряжений смещения соответственно через резисторы R16 и R17 на выходах ОУ E2 и E2*

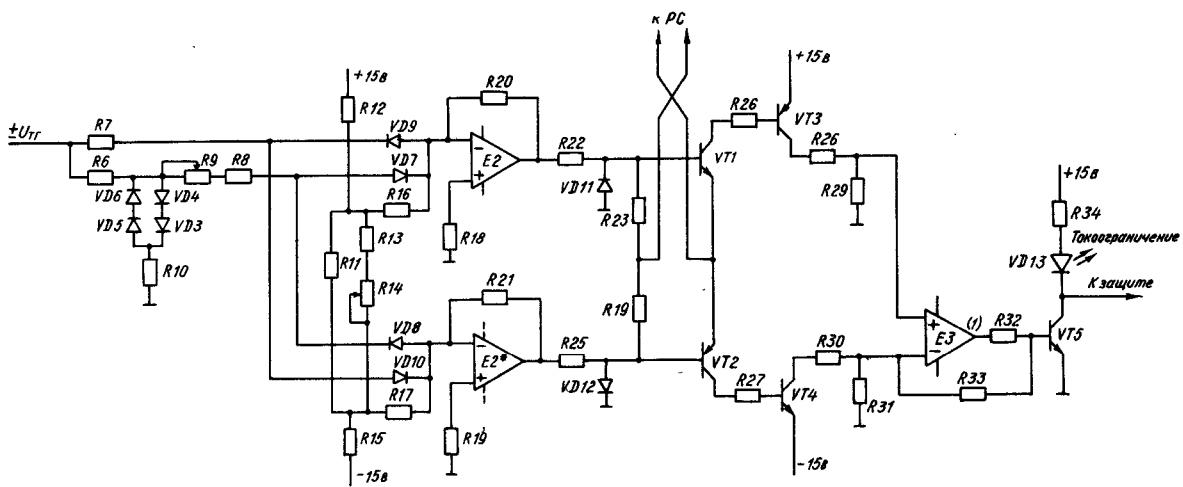


Рис. 8.13. Принципиальная схема БНТО

Система импульсно-фазового управления предназначена для формирования и синхронизации подачи управляющих импульсов на силовые тиристоры. Блок-схема СИФУ приведена на рис. 8.14. В состав СИФУ входят:

— три схемы синхронизации и формирования. Включают трансформатор синхронизации, фильтр нижних частот R1, R4, C1, R7, R10, C4, компараторы E1 и E2 (рис. 8.15 для канала фазы А);

— две схемы преобразователей напряжения — фаза. Включают схему И—НЕ (D7), генератор пилообразного напряжения (E9), компаратор (E8), формирователь (C31, VD22, D8). Схема преобразователя для катодной группы показана на рис. 8.16;

— шесть схем логики и силовых усилителей. Включают цепь логики, инверторы, схему И, выполненные на микросхемах D1—D6, и усилители на транзисторах VT1—VT6 (рис. 8.17 для канала фазы А).

Диаграмма работы СИФУ, поясняющая принцип его действия, показана на рис. 8.18.

Напряжение синусоидальной формы на выходе фильтра нижних частот U_{ϕ} отстает от напряжения синхронизации $U_{\text{синхр}}$ на 30 эл. град. Фильтр служит также для подавления высокочастотных помех. Напряжение U_{ϕ} подается на неинвертирующий вход компаратора E1 (E3, E5) и на инвертирующий вход компаратора E2 (E4, E6). За счет подачи на E1 и E2 разнополярных напряжений смещения фронты прямоугольных разнополярных напряжений на выходах E1 и E2 имеют небольшое перекрытие Δ . Выходные напряжения компараторов в точках 18—23 за счет диодов VD1—VD6 имеют однополярную положительную форму и подаются на входы логической части D1(12)—D6(12), реализующие следующие уравнения:

$$U_{D1(12)} = \overline{U_{19} \cdot U_{18}}; \quad U_{D2(12)} = \overline{U_{18} \cdot U_{20}}; \quad U_{D3(12)} = \overline{U_{20} \cdot U_{22}};$$

$$U_{D4(12)} = \overline{U_{22} \cdot U_{21}}; \quad U_{D5(12)} = \overline{U_{21} \cdot U_{23}}; \quad U_{D6(12)} = \overline{U_{23} \cdot U_{19}}.$$

Напряжения прямоугольной формы с выходов логической части поступают на инверторы D1(9)—D6(9) и на схемы запуска D7(7), VT11 и D7(9), VT12 генераторов пилообразного напряжения E9(1) и E9(7) соответственно. Выходные импульсы схем запуска ГПН формируются в соответствии с уравнениями:

$$U_{D7(7)} = U_{D2(12)} \cdot U_{D4(12)} \cdot U_{D6(12)} \quad \text{и} \quad U_{D7(9)} = \overline{U_{D1(12)} \cdot U_{D3(12)} \cdot U_{D5(12)}}.$$

Выходные напряжения ГПН E9(1) и E9(7) смещены друг относительно друга на 60 эл. град. и имеют максимальную амплитуду +10 В. Пилообразное напряжение, синхронизированное с частотой питающей сети, предназначено для преобразования задающего напряжения регулятора скорости U_{pc} в фазу управляющих импульсов для силовых тиристоров.

На входы компараторов схем преобразователей напряжения — фаза E7(6) и E8(6) подаются три напряжения: с выходов ГПН, регулятора скорости и смещения. Выходное напряжение компараторов будет иметь двухполярную прямоугольную форму и определяется следующими уравнениями:

$$E7(6) = K_{\text{yc}}(U_{\text{гпн}} + U_{\text{pc}} - U_{\text{см}}) \quad \text{и} \quad E8(6) = K_{\text{yc}}(U_{\text{гпн}} - U_{\text{pc}} - U_{\text{см}}).$$

Далее эти напряжения дифференцируются конденсаторами C30, C31 и формируются микросхемами D8.

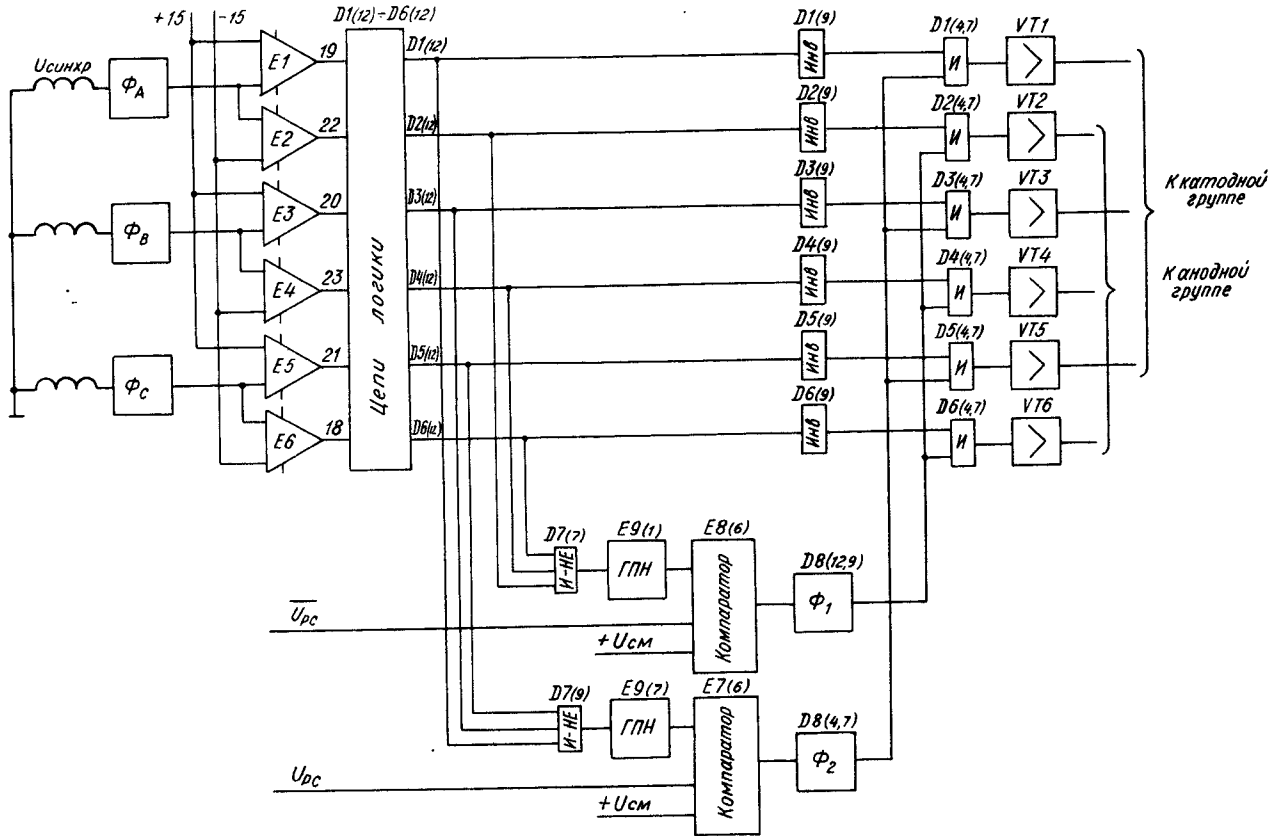


Рис. 8.14. Блок-схема СИФУ

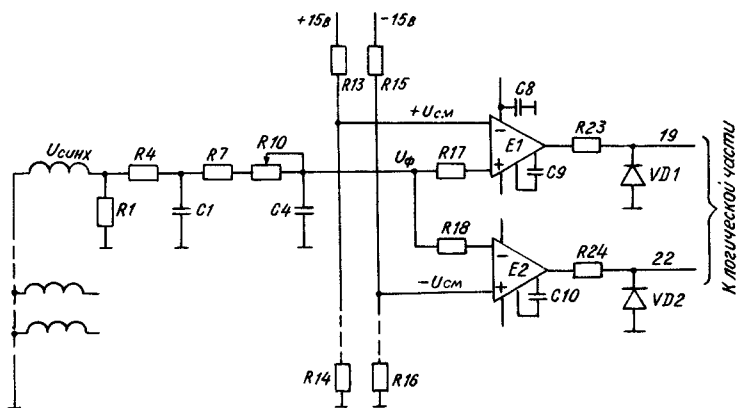
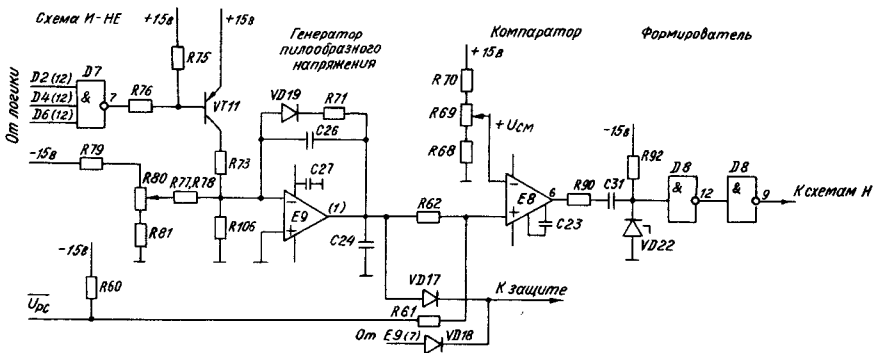


Рис. 8.15. Схема синхронизации и формирования прямоугольных напряжений



Включение усилителей осуществляется в соответствии со следующими логическими уравнениями:

Катодная группа

$$\begin{aligned} \text{Тиристор V1 } U_{D1(7)} &= \overline{U_{D1(12)}} \cdot U_{\Phi 2} = U_{19} \cdot U_{18} \cdot U_{D8(9)}. \\ \text{» V2 } U_{D3(7)} &= \overline{U_{D3(12)}} \cdot U_{\Phi 2} = U_{20} \cdot U_{22} \cdot U_{D8(9)}. \\ \text{» V3 } U_{D5(7)} &= \overline{U_{D5(12)}} \cdot U_{\Phi 2} = U_{21} \cdot U_{23} \cdot U_{D8(9)}. \end{aligned}$$

Анодная группа

$$\begin{aligned} \text{Тиристор V1 } U_{D2(7)} &= \overline{U_{D2(12)}} \cdot U_{\Phi 1} = U_{18} \cdot U_{20} \cdot U_{D8(7)}. \\ \text{» V2 } U_{D4(7)} &= \overline{U_{D4(12)}} \cdot U_{\Phi 1} = U_{22} \cdot U_{21} \cdot U_{D8(7)}. \\ \text{» V3 } U_{D6(7)} &= \overline{U_{D6(12)}} \cdot U_{\Phi 1} = U_{23} \cdot U_{19} \cdot U_{D8(7)}. \end{aligned}$$

Нагрузкой силовых усилителей VT1—VT6 являются импульсные трансформаторы. Выходные импульсы усилителей могут быть блокированы транзистором VT7, включенным в общую цепь питания.

В нижней части диаграммы рис. 8.18 показана привязка управляющих импульсов к силовому напряжению питания тиристорного преобразователя для одной фазы анодной и катодной групп.

Жирными линиями выделены напряжение преобразователя и ток якоря при нулевой начальной скорости.

Видно, что начальный ток якоря имеет пульсирующий характер, т. е. содержит переменную составляющую. Это благоприятно сказывается на уменьшении неравномерности вращения на малых скоростях в случае больших значений трения покоя. При больших значениях этого тока улучшаются динамические характеристики, но заметно увеличивается вибрация привода, поэтому следует принимать компромиссное значение.

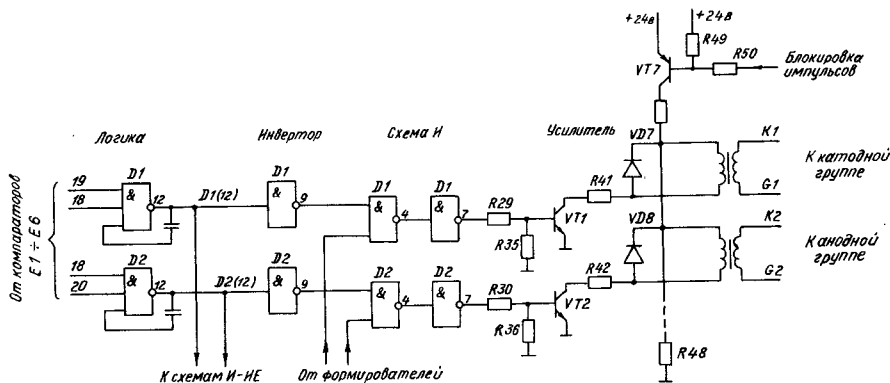


Рис. 8.17. Логика и силовые усилители

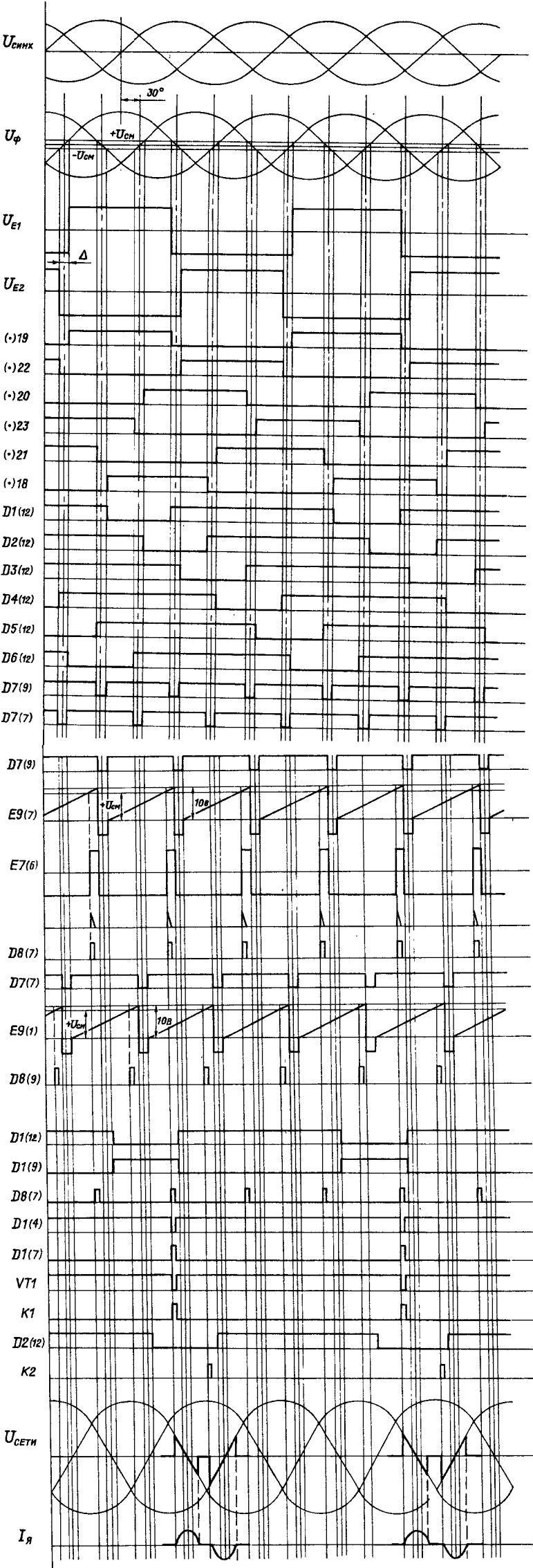


Рис. 8.18. Диаграмма работы СИФУ

Как видно из диаграммы рис. 8.18, при угле управления $\alpha_{нач}$ напряжение смещения на входах компараторов E8(6) и E7(6) по амплитуде больше половины напряжения пилообразной формы. Следовательно, уже при небольшом задающем напряжении (или U_{pc}) результирующее управляющее напряжение в инверторной группе превысит величину пилообразного напряжения, произойдет срыв генерации управляющих импульсов, т. е. переход от согласованного управления к раздельному.

Система защит преобразователя

В электроприводе «Мезоматик-К» предусмотрены следующие виды защит и диагностики:

- начальная установка при включении питания;
- блокировка регулятора скорости и СИФУ;
- защита от неправильного чередования фаз;
- защита от пропадания фазы;
- защита от понижения напряжения питания;
- защита от длительной перегрузки;
- индикация готовности, неисправности и перегрузки.

Принципиальная схема цепей защиты приведена на рис. 8.19.

При срабатывании защит снимается сигнал «Готовность», блокируются регулятор скорости и система импульсно-фазового управления, выдается сигнал «Неисправность».

Рассмотрим работу каждого вида защит и диагностики.

Начальная установка при включении питания осуществляется по двум цепям:

1. Формирование короткого отрицательного импульса начальной установки (НУ) за счет заряда конденсатора С33 для сброса триггеров неисправности (D10) и перегрузки (D1), а также установки триггера готовности (D11). Начальные состояния триггеров после включения показаны в кружках.

2. Блокировка импульсов СИФУ, регулятора скорости и снятие сигнала готовности на период завершения всех неуправляемых переходных процессов в преобразователе в момент включения питания (рис. 8.20). При включении питания на период заряда конденсатора С21 закрываются транзисторы VT8, VT7 — питания усилителя СИФУ, VT9 — сигнала готовности и VT10 — блокировки РС. По истечении выдержки времени все указанные транзисторы включаются.

Блокировка может быть также осуществлена внешним сигналом от электроавтоматики станка.

Защита от неправильного чередования фаз (НЧФ) поясняется диаграммой рис. 8.21. При правильной последовательности подключения фаз на входе синхронизации СИФУ короткий положительный импульс, сформированный цепочкой D9(12), С32; D9(9) и DD(4) от напряжения фазы +W на входе схемы И—НЕ D9(7), совпадает с нулевым потенциалом на втором входе и срабатывания защиты не происходит. При неправильном подключении (вместо фазы W подключена фаза V) на выходе схемы И—НЕ D9(7) формируется короткий отрицательный импульс, включающий триггер неисправности (D10). При этом сбрасывается триггер готовности (D11), блоки-

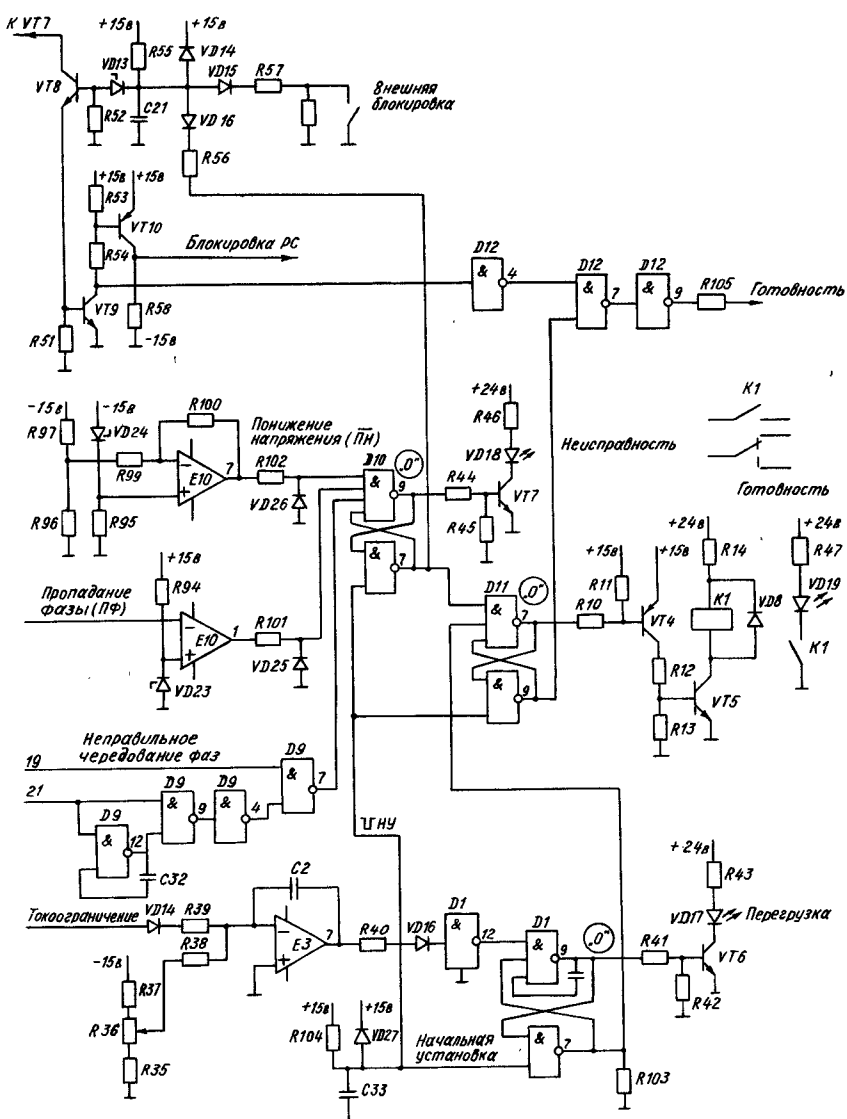


Рис. 8.19. Схема электронных защит

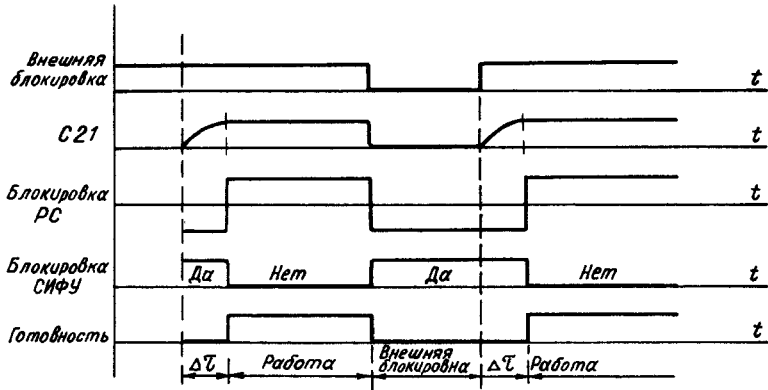


Рис. 8.20. Формирование сигналов готовности и блокировки

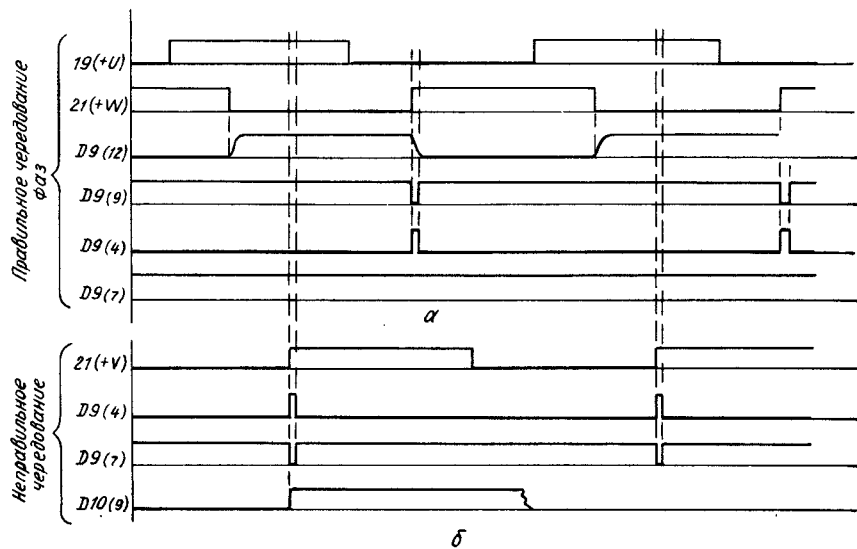


Рис. 8.21. Диаграмма работы защиты при правильном (а) и неправильном (б) чередовании фаз

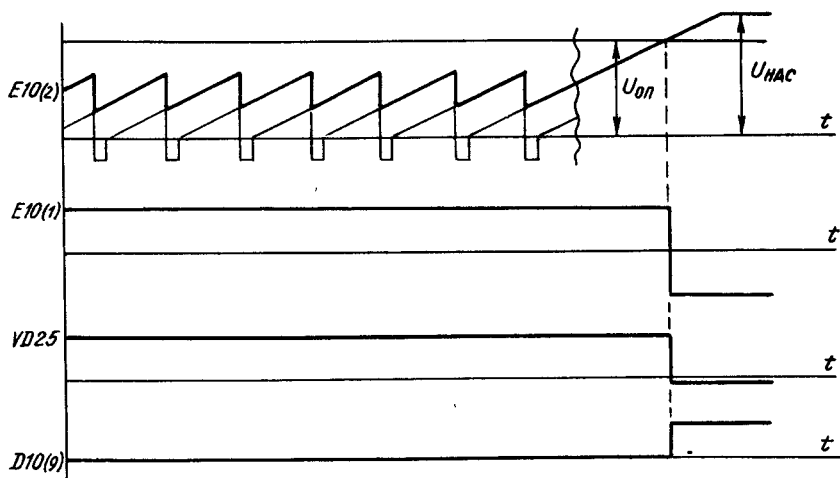


Рис. 8.22. Диаграмма работы защиты от пропадания фазы

руются РС и СИФУ, снимается сигнал «Готовность», включается сигнализация «Неисправность».

Защита от пропадания фазы (рис. 8.22). При пропадании одной из фаз силового питания напряжение на выходах генераторов пилообразного напряжения $E9(1)$ или $E9(7)$ схемы СИФУ растет до напряжения насыщения. Это напряжение через диодную сборку ИЛИ ($VD17, VD18$) поступает на инвертирующий вход ОУ $E10(1)$ схемы защиты. При превышении им величины смещения на неинвертирующем входе компаратор $E10(1)$ переключается, включая триггер неисправности ($D10$). Остальное — аналогично защите от неправильного чередования фаз. Эта защита регистрирует также повреждение цепей синхронизации, выход из строя транзисторов $VT11, VT12$ и ОУ $E9$ генератора пилообразного напряжения.

Защита от понижения питающего напряжения выполнена на ОУ $E10(7)$. Контролируется только отрицательное напряжение. При снижении напряжения стабилизированного источника питания ниже допустимого уровня схема сравнения, выполненная на резисторах $R97, R96, R95$ и стабилитроне $VD24$, переключит выходное напряжение компаратора $E10(7)$. Сработает триггер неисправности ($D10$). Остальное — аналогично.

Защита от длительной перегрузки (рис. 8.23). Как уже было рассмотрено при работе цепи токоограничения, переключается ОУ $E3(1)$, включается транзистор $VT5$ и загорается сигнализация «Токоограничение» ($VD13$). Коллектор транзистора $VT5$ схемы токоограничения подключен к неинвертирующему входу 6 ОУ $E3(7)$, представляющему собой генератор линейно нарастающего напряжения. Если время работы цепи токоограничения превышает величину уставки, регулируемой потенциометром $R36$, то происходит переключение инвертора $D1(12)$ и включение триггера перегруз-

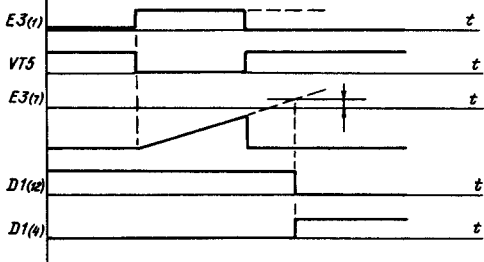


Рис. 8.23. Диаграмма работы защиты от длительной перегрузки

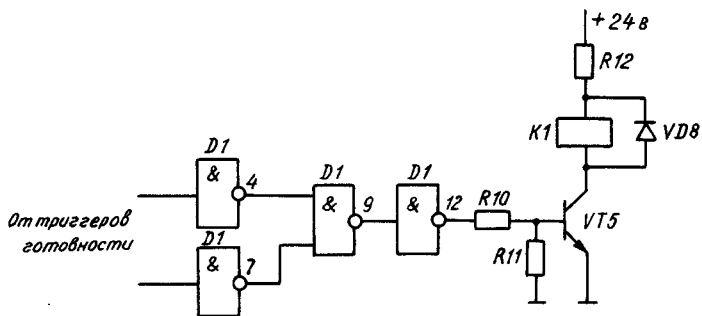


Рис. 8.24. Схема включения реле готовности для двухкоординатного привода

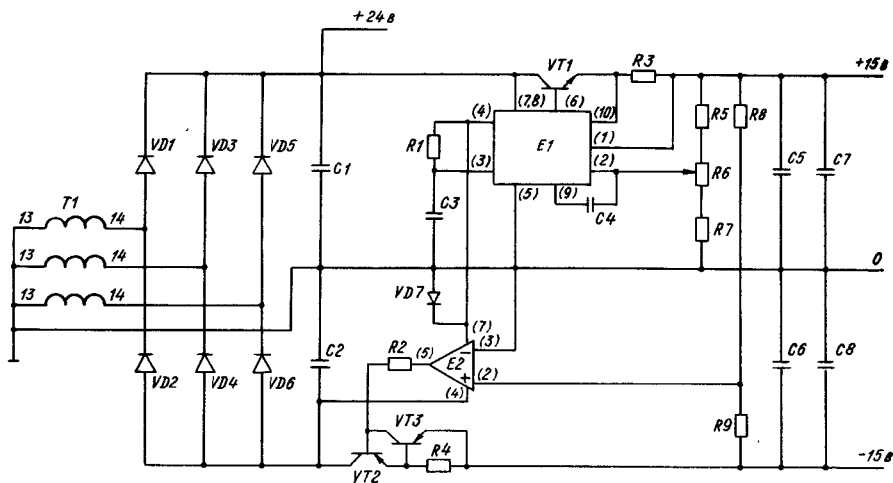


Рис. 8.25. Принципиальная схема источника питания

ки D1(9)—D1(7). Нулевой сигнал инверсного плеча триггера перегрузки выключает триггер готовности (D11).

В случае двухкоординатного исполнения электропривода включение реле готовности K1 выполняется по схеме, приведенной на рис. 8.24.

Источники питания. Питание схемы управления преобразователем осуществляется от стабилизированного источника питания с выходными напряжениями ± 15 В и нестабилизированным напряжением $+24$ В (рис. 8.25). Выходное напряжение стабилизированного источника регулируется потенциометром R6. Источник имеет внутреннюю защиту от перегрузки.

Выпрямитель источника и схема синхронизации СИФУ питаются от трехфазного трансформатора T1, обмотки которого включены по схеме «треугольник—звезда».

Методика наладки электропривода «Мезоматик-К» в регулируемом режиме

Несмотря на то что комплектные электроприводы серии «Мезоматик-К» на заводе-изготовителе «МЕЗ» (г. Брно, ЧССР) проходят тщательную наладку и настройку оптимального переходного процесса, при установке привода на конкретный механизм вновь необходимо проверить его работоспособность и провести необходимые регулировки, связанные с изменением приведенного к валу двигателя момента инерции механизма.

Кроме того, необходимо сфазировать обратную связь по частоте вращения, задать нужные направления вращения, отрегулировать величину начального тока якоря и др.

Ниже приводится рекомендуемая последовательность работ при введении привода в эксплуатацию:

1. Выполнить монтаж внешних соединений в соответствии с рис. 8.26 и комплектностью поставки привода.
2. Провести внешний осмотр всех компонентов электропривода, проверить надежность контактных и разъемных соединений.
3. Проверить при необходимости сопротивление изоляции силовых цепей (при отключенном преобразователе).
4. Подать напряжение на катушку встроенного электромагнитного тормоза, растормозив двигатель.
5. Отключить все автоматические выключатели, снять внешний разъем X2 и внутренний ленточный переход X1—X3.
6. Проверить правильность чередования напряжения синхронизации, для чего:
 - 6.1. Отключить двигатель от силовых клемм преобразователя 4,5.
 - 6.2. Подать напряжение синхронизации U, V, W и проверить наличие прямого чередования фаз.
7. Проверить правильность чередования фаз силового напряжения питания, для чего:
 - 7.1. Включить силовое напряжение питания A, B, C и произвести замеры напряжений между напряжениями синхронизации и фазами силового напряжения. При

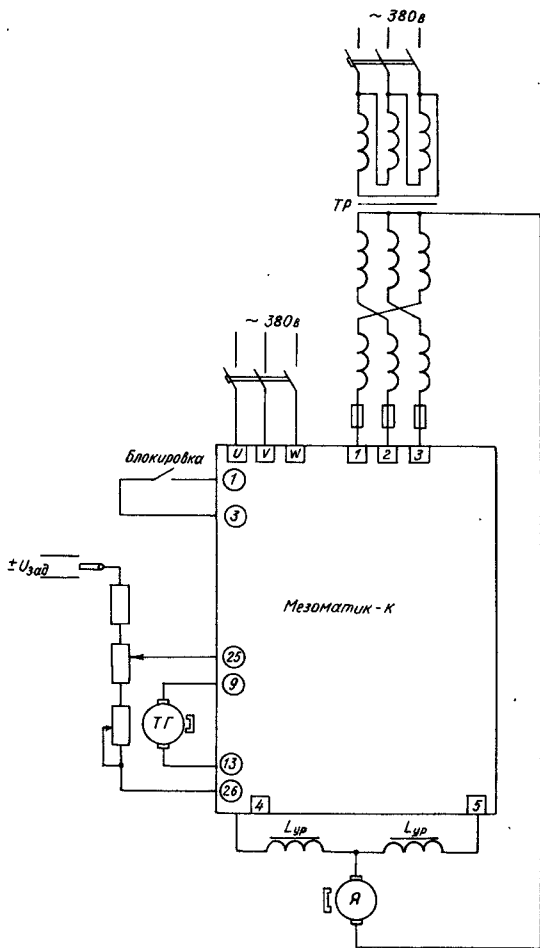


Рис. 8.26. Схема подключения электропривода

правильном подключении первичной обмотки силового трансформатора напряжение между точками А—U, В—V, С—W должно равняться нулю.

7.2. Убедиться, что между любыми другими парами зажимов имеется линейное напряжение питающей сети, равное 380 В.

7.3. Измерить напряжения между одноименными фазами на входе преобразователя и вторичных обмотках силового трансформатора. При правильном подключении напряжения между точками а—1, б—2, с—3 должны быть равными нулю.

7.4. Убедиться, что между любыми другими парами зажимов существует линейное напряжение вторичной обмотки силового трансформатора, равное 450 В.

Примечания: 1. При включении электропривода сначала необходимо по-

давать напряжение синхронизации, а потом силовое питание. При выключении привода следует соблюдать обратную последовательность. 2. Могут быть использованы и иные методы проверки правильности чередования фаз, например осциллографом, фазоуказателем и др.

8. Проверить плату источников питания и синхронизации, для чего:

8.1. Отключить силовое питание.

8.2. Включить силовое напряжение синхронизации U, V, W и провести следующие измерения:

8.2.1. Величины синхронизирующего трехфазного напряжения в точках X4/4, X4/5 и X4/6 вторичной обмотки трансформатора T1 относительно нулевой точки X4/1. Величина напряжения 9,5 В.

8.2.2. Напряжение питания цепей блокировки и сигнализации, а также выходных усилителей СИФУ $+24 \text{ В} \pm 20\%$. Точка измерения X4/7 относительно X4/8.

8.2.3. Стабилизированное напряжение питания $+15 \text{ В}$ в точке X4/3 и -15 В в точке X4/2 относительно нулевой точки X4/1. Выходное напряжение источника регулируется потенциометром R6 по каналу $+15 \text{ В} \pm 0,2\%$. Отрицательное напряжение -15 В непосредственно не регулируется, являясь ведомым по отношению к $+15 \text{ В}$.

9. Проверить работу системы импульсно-фазового управления СИФУ (плата генератора А-02), для чего:

9.1. Подключить разъем X2 и восстановить ленточный переход X1—X3.

9.2. Закоротить конденсатор C10 в цепи обратной связи регулятора скорости ОУ E5, сделав его пропорциональным.

9.3. Установить нулевое задающее напряжение на входе преобразователя и деблокировать привод.

9.4. Проверить величины входных напряжений СИФУ в точках X3/4 и X3/5 соответственно прямого и инверсного каналов. Напряжения должны быть равными нулю. Если на управляющих входах СИФУ имеется отличное от нуля напряжение, то следует проверить правильность монтажных соединений, а также правильность функционирования платы «Регулятор» (см. п. 10.). Обнаруженную неисправность устранить.

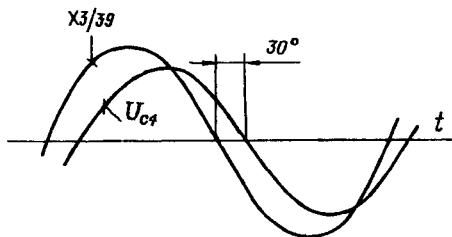


Рис. 8.27. Фазировка синхронизирующего напряжения

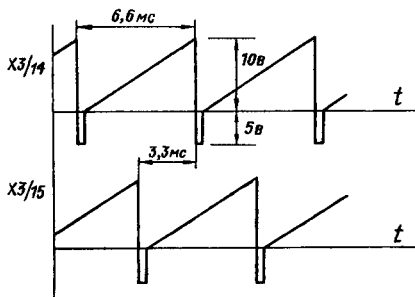


Рис. 8.28. Форма пилообразных напряжений

9.5. Проверить и при необходимости потенциометрами R10 (канал U), R11 (канал V) и R12 (канал W) отрегулировать величину фазового сдвига между синхронизирующими напряжениями (X3/39, X3/41 и X3/40) и выходными напряжениями фильтров (конденсаторы C4, C5 и C6), равную 30 эл. град. (рис. 8.27).

9.6. Проверить наличие и форму напряжений пилообразной формы в точках X3/14 и X3/15 (рис. 8.33).

Напряжения пилообразной формы для анодной и катодной групп СИФУ должны быть смещены относительно друг друга на 180° (относительно периода $U_{ГПН}$) и на 60 эл. град. относительно одной из фаз силового питающего напряжения (см. рис. 8.23).

При необходимости потенциометрами R87 и R80 выставить положительные амплитуды напряжений равными 10 В.

9.7. Установить начальное значение угла управления $\alpha_{нач} \approx 125-130^\circ$. Настройку рекомендуется производить по ширине положительных импульсов на выходах компараторов ГПН в контрольных точках X3/16 и X3/17.

9.7.1. Потенциометрами напряжений смещения R69 и R66 при нулевом задающем напряжении установить ширину положительных импульсов на выходах компараторов равной 1,4 мс, что соответствует требуемой величине $\alpha_{нач}$. Следует учесть, что эта регулировка является предварительной, так как окончательная настройка выполняется по величине и форме начального тока якоря и рассматривается в дальнейшем.

9.8. Проверить наличие и форму выходных импульсов СИФУ. Амплитуда импульсов должна быть не менее 20 В при нагрузке 300 мА, а ширина не менее 150 мс.

Выходное напряжение вторичной обмотки импульсного трансформатора составляет 2—4 В в зависимости от индивидуальных характеристик тиристорov.

Если управляющие выходные импульсы отсутствуют, то следует проверить работоспособность СИФУ по всему тракту схемы в соответствии с рис. 8.18.

9.9 Проверить работу схемы СИФУ при изменении величины задающего напряжения.

При положительном напряжении на входе СИФУ выходные импульсы компараторов одного канала будут плавно сужаться от величины 1,4 мс до пропадания, а другого канала — расширяться до величины 5,2 мс.

При отрицательном напряжении на входе происходят обратные процессы.

Следует помнить, что при регулировании смещается только передний фронт импульса, его задний фронт строго фиксирован (рис. 8.29).

10. Проверить работу регулятора скорости и входных фильтров (плата регулятора А-01), для чего:

10.1. В приводах, имеющих блок адаптации, работающий по принципу ШИМ, произвести ее блокирование путем подачи напряжения +15 В (точка X1/5) на выход компаратора E9 (точка X1/28).

10.2. Убедиться в работоспособности цепи блокировки привода.

10.2.1. Внешним сигналом в точке X1/22 заблокировать регулятор скорости, отпаять перемычку с конденсатора C10.

10.2.2. Подать на вход привода U_R задающее напряжение величиной 10 В и убедиться, что напряжение на выходе РС равно нулю. Медленное увеличение выходного напряжения говорит о том, что цепь блокировки не работает.

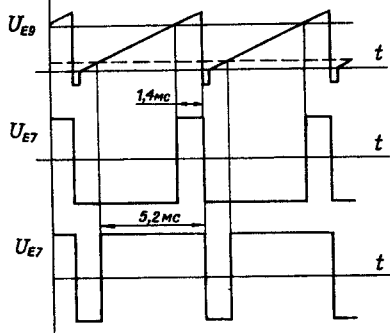


Рис. 8.29. Пределы регулировки длительности импульсов компараторов

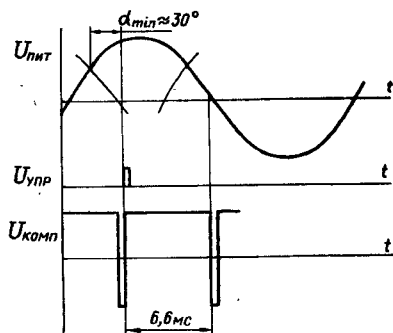


Рис. 8.30. Установка минимального угла регулирования

10.3. Деблокировать привод и подать на его вход небольшое задающее напряжение величиной 0,5—1,0 В. Наблюдать медленное увеличение выходного напряжения РС до насыщения.

10.4. Убедиться, что выходное напряжение РС меняет полярность при реверсе задающего напряжения.

10.5. Провести балансировку выходного напряжения РС.

10.5.1. Переключить переключкой конденсатор С10 в цепи обратной связи регулятора скорости.

10.5.2. Подключить цепь обратной связи по частоте вращения.

10.5.3. Установить нулевое задающее напряжение.

10.5.4. Деблокировать привод и потенциометрами R69 и R76 балансировать регулятор.

Величина выходного напряжения должна быть ≤ 10 мВ.

Настройка осуществляется методом последовательного приближения к нулю путем установления минимального напряжения на инвертирующем входе ОУ E6 (R69), затем на инвертирующем входе (R76) и т. д.

10.6. Проверить функционирование регулятора скорости при многократном реверсе задающего напряжения величиной $\pm 0,5$ В.

При наблюдении будут гореть светодиоды VD17 (Перегрузка) и VD13 (Токоограничение).

10.7. Потенциометром R80 выставить коэффициент передачи РС на «большой» частоте вращения, равный $K \approx 5$, для чего на управляющий вход привода подать задающее напряжение $U_R \approx 0,6$ В, получив на выходе $U_{PC} \approx 3$ В $\pm 20\%$.

Одновременно проверить работу цепи регулировки коэффициента усиления

10.8. Проверить функционирование инвертора ОУ E6.

10.9. При насыщении РС проверить величину минимального угла регулирования $\alpha_{min} \approx 30$ эл. град. Наблюдение можно осуществлять по длительности положительного

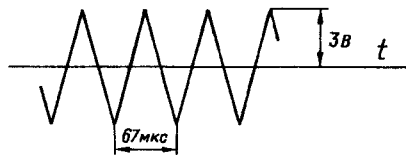


Рис. 8.31. Форма треугольного напряжения

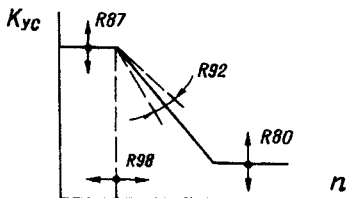


Рис. 8.32. Регулировки схемы АР

выходного импульса компаратора СИФУ или непосредственно привязывая импульсы управления тиристорами к силовому напряжению питания (рис. 8.30).

10.10. При необходимости проверить функционирование других входов регулятора скорости.

11. Проверить работу и настроить схему нелинейного токоограничения, для чего:

11.1. Отключить тахогенератор и на вход цепи обратной связи X2/13 подключить второй задатчик напряжения.

11.2. Деблокировать привод.

11.3. На входе обратной связи X2/13 установить нулевое напряжение, а на входе задающего напряжения X2/25 $U_R = +10 \text{ В} \pm 5\%$. Потенциометром R14 выставить на выходе регулятора скорости РС напряжение, равное $-5,6 \text{ В}$.

Эта регулировка устанавливает ограничение максимальной величины тока якоря при нулевой скорости.

11.4. На вход задающего напряжения подать $U_R \approx +10 \text{ В}$, задатчиком на входе обратной связи установить на выходе ОУ Е1 (точка X2/17) напряжение $+5 \text{ В} \pm 5\%$ и потенциометром R9 выставить на выходе РС напряжение $-3,2 \text{ В}$.

Эта регулировка устанавливает ограничение тока якоря в режиме пуска.

11.5. На вход задающего напряжения подать $U_R = +10 \text{ В}$, задатчиком на входе обратной связи установить на выходе ОУ Е1 напряжение $-5 \text{ В} \pm 5\%$ и изменением величины сопротивления резистора R7 выставить на выходе РС напряжение $-6,4 \text{ В}$.

Эта регулировка устанавливает ограничение тока якоря в режиме торможения.

11.6. Проверить работоспособность схемы токоограничения при обратных полярностях напряжений на входах задающего сигнала и сигнала обратной связи, повторив измерения по пп. 11.3—11.5. Выходное напряжение регулятора скорости Е5 не должно отличаться по величине более чем на $\pm 0,1 \text{ В}$ и иметь противоположную полярность.

Примечание. Кривая нелинейного токоограничения настроена на заводе-изготовителе в соответствии с коммутационной кривой конкретного двигателя, поэтому производить какие-либо регулировки при введении привода в эксплуатацию не рекомендуется.

12. Провести настройку схемы адаптивного регулятора, для чего:

12.1. Закоротить конденсатор С10, сделав регулятор скорости пропорциональным.

12.2. Деблокировать привод.

12.3. Проверить функционирование генератора напряжения треугольной формы. Напряжение в точке X1/30 должно иметь амплитуду $-3 \text{ В} \pm 20\%$ и частоту $15 \text{ кГц} \pm 20\%$ (рис. 8.31).

Примечание. В электроприводах, поставляемых с 1986 года, схема адаптивного регулятора по методу ШИМ заменена на схему с нелинейными диодными цепями, не требующими регулировки.

12.4. При заблокированной цепи адаптации установить требуемый коэффициент усиления регулятора скорости (потенциометр R80).

12.5. Убрать перемычку X1/5—X1/28, блокирующую цепь адаптации.

12.6. Подать на вход привода задающее напряжение $U_R \approx 100 \text{ мВ}$ и потенциометром R98 добиться перехода прямоугольного напряжения ОУ E9 в отрицательный уровень -12 В , т. е. срыва генерации.

Эта регулировка устанавливает начало работы широтно-импульсной модуляции (рис. 8.32).

12.7. Установить на входе привода задающее напряжение, равное $U_R \approx 500 \text{ мВ}$, и потенциометром R92 добиться перехода прямоугольного напряжения ОУ E9 в положительный уровень $+12 \text{ В}$, т. е. срыва генерации. Эта регулировка устанавливает конечную точку работы ШИМ.

В связи с взаимным влиянием регулировок потенциометрами R98 и R92 друг на друга настройку работы схемы адаптации проводить методом постепенного приближения, трижды повторив регулировки по пп. 12.6 и 12.7.

12.8. Подать на вход привода задающее напряжение $U_R \approx 50 \text{ мВ}$ и потенциометром R87 установить требуемый коэффициент усиления РС при малой частоте вращения, обычно $K \approx 20$.

13. Отрегулировать величину начального тока якоря электродвигателя при нулевой частоте вращения, для чего:

13.1. Подключить двигатель к преобразователю.

13.2. Установить нулевое задающее напряжение.

13.3. Деблокировать привод.

13.4. Потенциометрами R80 (инверсный канал) и R87 (прямой канал) в цепях смещения ГПН СИФУ установить в анодной и катодной цепях преобразователя равные по величине токи таким образом, чтобы длительность паузы несколько превышала длительность протекания тока (рис. 8.33).

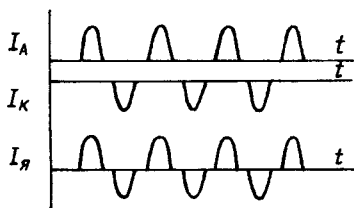


Рис. 8.33. Начальная форма токов

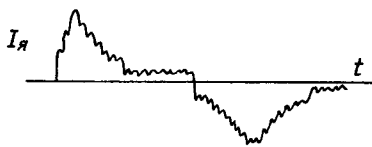


Рис. 8.34. Переходный процесс тока при пуске и реверсе

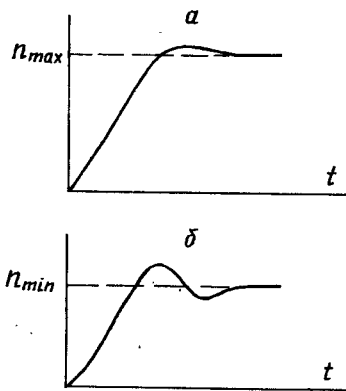


Рис. 8.35. Оптимальный характер переходного процесса скорости:
 а — при n_{max} ; б — при n_{min}

13.5. Потенциометрами R10, R11 и R12 при необходимости подстроить одинаковость импульсов.

Следует иметь в виду, что чем больше величина начального тока якоря, тем лучше динамические характеристики привода, но больше вибрации, поэтому находят компромиссное решение.

14. Выполнить фазировку обратной связи по скорости, для чего:

14.1. Отключить тахогенератор.

14.2. Закоротить конденсатор C10 в цепи обратной связи РС.

14.3. Подать минимальное положительное задающее напряжение.

14.4. При вращающемся двигателе определить полярность напряжения на отключенном конце тахогенератора, которая должна иметь инверсное значение. При неправильной полярности поменять местами выводы тахогенератора.

14.5. Подключить тахогенератор и снять перемычку с конденсатора C10.

15. Проверить отсутствие дрейфа при нулевой частоте вращения, для чего:

15.1. Установить нулевое задающее напряжение.

15.2. Если наблюдается вращение вала со скоростью, большей 0,1 об/мин, потенциометрами R69 и R76 остановить двигатель.

16. Плавно разогнать двигатель до максимальной частоты вращения при обоих направлениях вращения, убедиться в его нормальной работе.

17. Проверить и при необходимости установить масштаб частоты вращения. Грубая установка выполняется переключением выводов X2/13 и X2/14 подключения тахогенератора, а также изменением величин резисторов R1 и R4. Точная подстройка в пределах $\pm 20\%$ осуществляется потенциометром R5 в цепи обратной связи ОУ Е1.

18. Проверить работу цепей защиты:

18.1. От неправильного чередования фаз путем подключения питания цепей синхронизации с неправильной последовательностью фаз, например V—U—W.

При этом снимается сигнал «Готовность», блокируются СИФУ и регулятор скорости, загорается светодиод «Неисправность» VD18.

Для восстановления работоспособности привода необходимо его выключить и включить снова с правильной последовательностью фаз питания цепей синхронизации.

18.2. От выпадания фазы путем отключения одной из фаз питания. Работа защиты аналогична.

18.3. От пропавания пилообразного напряжения путем закорачивания резисторов R75 или R82 во входных цепях ГПН. Работа защиты аналогична.

18.4. От неисправности цепи стабилизированного источника питания ± 15 В путем закорачивания резистора R7 в цепи регулировки источника питания. Работа защиты аналогична.

18.5. От длительной перегрузки по току путем закорачивания транзистора VT5 цепи сигнализации работы токоограничения. Через выдержку времени около 120 мс $\pm 10\%$ снимается сигнал готовности, блокируется привод и загорается светодиод VD17 — «Перегрузка».

19. Проверить работу цепей сигнализации: VD13 — «Токоограничение», VD17 — «Перегрузка», VD18 — «Неисправность», VD19 — «Готовность».

20. Проверить действие внешней блокировки привода путем замыкания и размыкания выводов X2/3,4 и X2/1,2.

21. Осуществляя реверсы двигателя на максимальной частоте вращения, убедиться в правильности работы схемы нелинейного токоограничения, для чего:

21.1. Установить шунт в цепь якоря двигателя и подключить к нему осциллограф.

21.2. Наблюдать кривую тока якоря (рис. 8.34). При необходимости потенциометрами R14 и R9 выполнить регулировки.

22. Проверить и при необходимости настроить переходный процесс по частоте вращения.

Оптимальный характер переходного процесса настраивается на заводе-изготовителе путем компенсации электромеханической постоянной времени $T_{эм}$ подбором соответствующей величины времени интегрирования регулятора скорости $T_H = R66 \cdot C10$, а также регулировки коэффициента передачи потенциометром R88 на малой частоте вращения и R80 на большой. Незначительная подстройка может быть выполнена заказчиком. Следует помнить, что при изменении величины конденсатора C10 необходимо изменять также величину резистора R74, сохраняя постоянную времени $T_{ос} = R74 \cdot C10$ неизменной.

Рекомендуемый характер переходных процессов показан на рис. 8.35.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимин Е. Н., Кацевич В. Л., Козырев С. К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. М.: Энергоиздат, 1981. 192 с.
2. Сен П. Тиристорные электроприводы постоянного тока / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1985. 232 с.
3. Шёнфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы. / Пер. с нем. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. 464 с.
4. Чернов Е. А., Кузьмин В. П., Синичкин С. Г. Электроприводы подачи станков с ЧПУ: Справочное пособие. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. 271 с.
5. Электроприводы и электродвигатели для ГПМ и ГПС: Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 104 с.
6. Барский В. А. Раздельное управление реверсивными тиристорными преобразователями. М.: Энергия, 1973. 112 с.
7. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Приводы с частотно-токовым управлением. М.: Энергия, 1974. 168 с.
8. Эксплуатационная документация на электроприводы подачи типа «Мезоматик-К», «Кемток», «Кемек», ЭПБ1, «Размер 2М-5-21», на приводы главного движения типа «Мезоматик-V», «Кемтор».
9. Эксплуатационная документация на устройство ЧПУ типа 2С42.
10. Фрер Ф., Ортенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. М.: Энергия, 1973. 423 с.