

## КОМПЛЕКТНЫЕ ПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

### ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ТИПА ЭТС

Предназначен для механизмов подачи металлорежущих станков. Диапазон регулирования 10 000:1, количество координат 1.

Выполняется на базе НПЧ и двухфазного синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.

Тип двигателя 4СФ2П с номинальным моментом от 47 до 170 Н·м, при токе до 58 А. Обмотки на статоре расположены под углом 90°, причем они не имеют общей точки, т.е. гальванически развязаны. Применение двухфазного двигателя (вместо традиционного трехфазного) позволяет существенно упростить силовую часть и устройство управления преобразователем.

Двигатель содержит встроенный комплексный датчик ПДФ-9 и встроенный тормоз.

Датчик ПДФ содержит:

- бесконтактный тахогенератор постоянного тока (BR);
- фотоимпульсный датчик углового положения ротора (ДПР);
- фотоимпульсный датчик угла поворота ротора (ДУПР).

Бесконтактный тахогенератор выполняется на основе датчика Холла. Конструктивно такая машина представляет синхронную машину с возбуждением от постоянных магнитов. Якорные обмотки включены на токовые цепи датчиков Холла. Датчики закреплены на статоре. Выходные цепи ДХ соединяются последовательно, образуя два общих выхода. Количество ДХ кратно числу фаз обмотки переменного тока.

Выходное напряжение с ДХ:  $U_{ДХ_{вых}} \cong C \cdot B_m \cdot i \cdot \sin \beta$ ,

где С – постоянная, характеризующая материал датчика. Так в тахогенераторе типа ПХЭ используется материал самарий-кобальт.

$i$  – ток через датчик;

$\beta$  – угол;

$B_T$  – амплитудное значение магнитной индукции в зазоре.

Магнитная индукция в воздушном зазоре:  $B_i = B_T \cdot \sin \omega \cdot t$

$\omega = \omega_p \cdot p$  – частота изменения индукции;

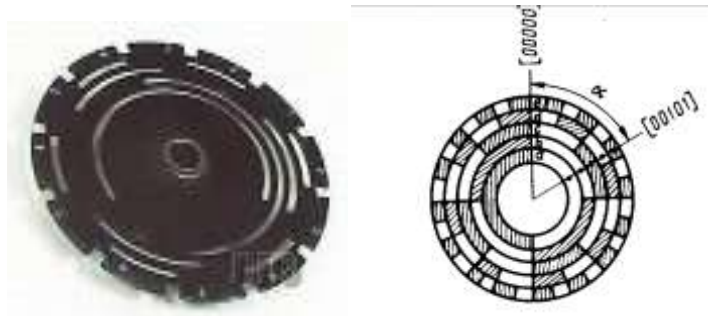
$\omega_p$  – скорость вращения ротора тахогенератора;

$p$  – число пар полюсов тахогенератора.

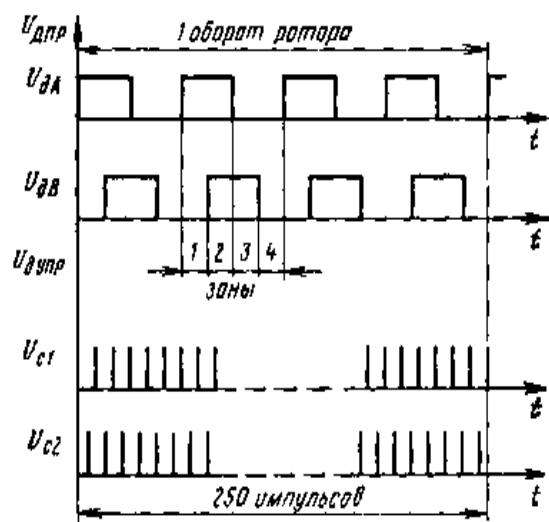
Бесконтактный (гальваномагнитный) тахогенератор имеет уровень пульсаций выходного сигнала не более 6%.

В основе датчиков ДУПР и ДПР лежит кодовый диск, который закреплен на валу двигателя. Диск разбивается на концентрические окружности, по числу разрядов кода. При повороте диска считывающее устройство фиксирует код, соответствующий углу поворота. Заштрихованные области выполняют светопроводящими, а незаштрихованные – светопроводящим. Диск освещается источником света (в данном случае светодиодом АОЛ107) По другую сторону диска расположены фотодиоды ФД256. данный датчик является аналогово-цифровым преобразователем (АЦП).

#### **Кодирующий диск для пятиразрядного двоичного кода**



## Выходные сигналы датчиков ДПР и ДУПР



Датчик ДПР служит для получения информации о положении ротора относительно осей фазных обмоток статора. На выходе ДПР формируются две последовательности импульсов шириной  $180^\circ$ , сдвинутых между собой на  $90^\circ$  и синхронизированных с фазными ЭДС статорных обмоток.

Датчик ДУПР необходим для построения контура положения в следящих электроприводах, а также для формирования гармонических сигналов для тока и ЭДС. На выходе ДУПР формируются две последовательности высокочастотных импульсов (250 импульсов на оборот вала ротора), смещенных одна относительно другой на  $90^\circ$ , что позволяет получить информацию о направлении вращения ротора.

Тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью (НПЧ) имеет естественную коммутацию тока, обеспечивает однократное преобразование энергии и дает возможность для осуществления двухсторонней передачи энергии между питающей сетью и валом электродвигателя (без дополнительных схемных решений).

Постоянная времени НПЧ:  $T_{\text{НПЧ}} = T_c + \tau_f + \tau_o$ .

$T_c$  – постоянная времени сети;  $\tau_f$  – дрейф частоты сигнала управления;

$\tau_o$  – бестоковая пауза при переключении вентильной группы с отдельным управлением.

$$\tau_f \leq \frac{T_c}{m}, \quad \tau_o \leq \frac{T_c}{m}$$

$$T_{\text{НПЧ}} = T_c + \frac{T_c}{m} + \frac{T_c}{m} = 0,02 + \frac{0,02}{3} + \frac{0,02}{3} = 0,033 \text{ с} \Rightarrow f_{\text{НПЧ}} = \frac{1}{T_{\text{НПЧ}}} = \frac{1}{0,033} = 30 \text{ Гц}$$

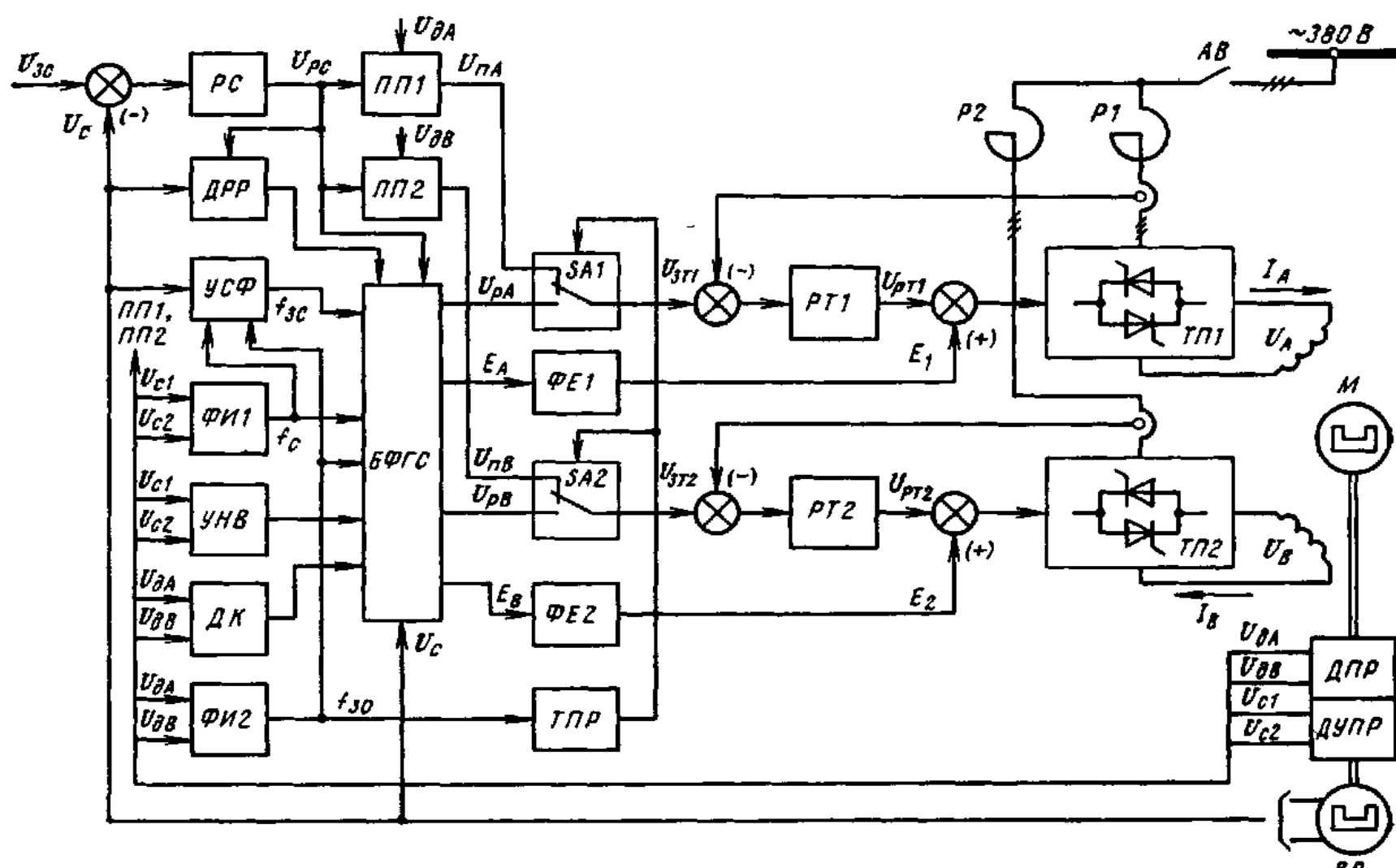
Данный преобразователь имеет естественную коммутацию тиристоров. К достоинствам такого преобразователя можно отнести:

- 1) Отсутствие звена постоянного тока, а следовательно и двойного преобразования энергии. Благодаря чему повышается КПД.
- 2) Возможность двухстороннего обмена энергией между нагрузкой и питающей сетью.

К недостаткам данного преобразователя относят

- 1) относительно низкий коэффициент мощности, обусловленный фазовым сдвигом основной гармоники тока и присутствием высших гармонических составляющих;
- 2) большое число вентилях в силовой части;
- 3) ограничение верхнего предела по частоте, связано с условиями коммутации тока в тиристорах.

Структурно НПЧ реализован на базе двух реверсивных тиристорных преобразователей ТП<sub>1</sub> и ТП<sub>2</sub>, каждый из которых выполнен по трехфазной мостовой схеме с отдельным управлением и подключен к соответствующей обмотке статора двигателя. Рассмотренное исполнение силовой части электропривода обеспечивает высокий КПД, сравнительно меньшую стоимость и хорошие массогабаритные показатели.



РС – регулятор скорости;

ПП<sub>1</sub>, ПП<sub>2</sub> – переключатели положения;

ДРР– дешифратор режимов работы (режимы двигательный или тормозной);

УСФ – узел сдвига фаз;

ФИ<sub>1</sub>, ФИ<sub>2</sub> – формирователь импульсов с датчика ДУПР;

УНВ – узел направления вращения (на выходе «0» или «1»)

ДК – дешифратор кодов;

БФСГ – блок формирования гармонических сигналов;

SA<sub>1</sub>, SA<sub>2</sub> – ключи;

ФЕ<sub>1</sub>, ФЕ<sub>2</sub> –функциональные преобразователи;

РТ<sub>1</sub>, РТ<sub>2</sub> – регуляторы тока.

ТПР – триггер пускового режима.

Система регулирования электропривода выполнена по двухконтурной структуре с ПИ-регулятором скорости (РС) и внутренним контуром тока с регуляторами РТ<sub>1</sub> и РТ<sub>2</sub> (по одному на каждую фазу). Такая структура позволяет реализовать частотно-токовый принцип управления с принудительной ориентацией токов в статорных обмотках двигателя относительно вращающегося ротора.

На входе регулятора РС происходит суммирование задающего напряжения  $U_{3c}$  и напряжения отрицательной обратной связи по скорости  $U_{oc}$  снимаемого с тахогенератора ВР. Напряжение  $U_{рс}$  на выходе РС определяет амплитуду задающих гармонических токовых сигналов на входах регуляторов РТ<sub>1</sub>, РТ<sub>2</sub>.

В структуре системы регулирования также предусмотрена компенсация ЭДС двигателя с помощью положительной обратной связи по скорости. Эта связь на схеме отражена в виде сигналов  $E_1$  и  $E_2$ , которые поступают с выхода функциональных преобразователей ЭДС ФЕ<sub>1</sub> и ФЕ<sub>2</sub> с арксинусной характеристикой на входы ТП<sub>1</sub> и ТП<sub>2</sub>, где происходит суммирование этих сигналов с выходными напряжениями  $U_{рт1}$  и  $U_{рт2}$ .

Функцию формирования гармонических сигналов осуществляет блок формирования гармонических сигналов (БФСГ). В основу работы БФСГ положен принцип пересчета импульсов от датчика ДУПР реверсивным счетчиком и преобразования с помощью ПЗУ

специально запрограммированных по синусоидальному и косинусоидальному законам, и ЦАП с одновременным умножением на опорный аналоговый сигнал. В качестве опорных сигналов служат напряжение  $U_{рс}$  (при формировании напряжения  $U_{РА}$  и  $U_{РВ}$  для регуляторов  $РТ_1$  и  $РТ_2$ ) и напряжение  $U_{ос}$  (при формировании сигналов  $E_A$  и  $E_B$  для преобразователей  $ФЕ_1$  и  $ФЕ_2$ ). Таким образом, на выходе БФГС формируются гармонические сигналы задания токов и ЭДС фазных обмоток.

Дешифратор кодов (ДК) по сигналам  $U_{дА}$  и  $U_{дВ}$  от датчика ДПР определяет положение ротора по зонам, равным  $1/4$  периода изменения этих сигналов ( $1/8$  оборота вала с учетом двух пар полюсов двигателя), и формирует на своем выходе для каждой из зон соответствующую кодовую информацию  $N_j$  ( $j=1, \dots, 4$ ). Эта информация в конце каждой из указанных зон, после нормирования по времени в узкие импульсы записи  $f_{зо}$  в формирователе  $ФИ_2$ , записывается в счетчик БФГС и тем самым осуществляется синхронизация работы БФГС с положением ротора двигателя.

#### *Формирование фазового сдвига между током и ЭДС.*

Необходимость формирования фазового сдвига обусловлена двумя причинами:

1. Так как ротор синхронного двигателя имеет явнополюсную конструкцию, для увеличения результирующего электромагнитного момента двигателя  $M$  за счет его реактивной составляющей  $M_p$  нужно в двигательном режиме обеспечивать отстающий фазовый сдвиг  $\psi$  токов статора по отношению к ЭДС холостого хода.

2. С целью улучшения условий коммутации тиристорных преобразователей необходимо уменьшать угол  $\psi$  при больших значениях скорости двигателя (при частотах выше 25–30 Гц), когда на формирование токов в обмотках начинает оказывать сильное влияние частота питающей сети.

Выполнение этих требований обеспечивает узел сдвига фаз (УСФ) по сигналам  $U_{ос}$ ,  $f_c$  и  $f_{зо}$  путем формирования синхронизирующего сигнала  $U_{зс}$  для блока БФГС. До определенной скорости двигателя угол поддерживается постоянным, а затем начинает уменьшаться пропорционально увеличению скорости.

#### *Работа схемы:*

Устройство управления электроприводом обеспечивает его работу в двух режимах: пусковом и рабочем, отличающихся формой задающих напряжений на входах регуляторов  $РТ_1$  и  $РТ_2$ . В пусковом режиме из-за отсутствия информации в момент трогания о точном положении ротора, сигналы  $U_{зТ1}$  и  $U_{зТ2}$  формируются прямоугольной формы путем преобразования однополярного напряжения  $U_{рс}$  в разнополярные напряжения  $U_{ПА}$  и  $U_{ПВ}$  с помощью переключателей  $ПП_1$  и  $ПП_2$ . Переключение последних синхронизировано с импульсными сигналами  $U_{дА}$  и  $U_{дВ}$  датчика ДПР.

В рабочем режиме сигналы  $U_{зТ1}$  и  $U_{зТ2}$  имеют синусоидальную форму, которую обеспечивает блок БФГС. Режим работы выбирается триггером пускового режима (ТПР), который управляет ключами  $SA_1$  и  $SA_2$ , подключающими ко входам  $РТ_1$  и  $РТ_2$  выходы  $ПП_1$  и  $ПП_2$  либо выходы БФГС. При первоначальном включении цепей управления триггер ТПР устанавливается в положение, соответствующее пусковому режиму. При начавшемся вращении ротора в момент первого изменения уровня любого из двух сигналов ( $U_{дА}$  или  $U_{дВ}$ ), снимаемых с датчика ДПР (максимально через  $1/8$  оборота двигателя), триггер ТПР, воздействуя на ключи  $SA_1$  и  $SA_2$ , заставит управляющее устройство перейти из работы в пусковом режиме на работу в рабочем режиме.

Данная схема ЭП с частотно-токовым управлением обеспечивает плавное регулирование скорости и работу ЭП во всех четырех квадрантах, аналогично ЭП постоянного тока.



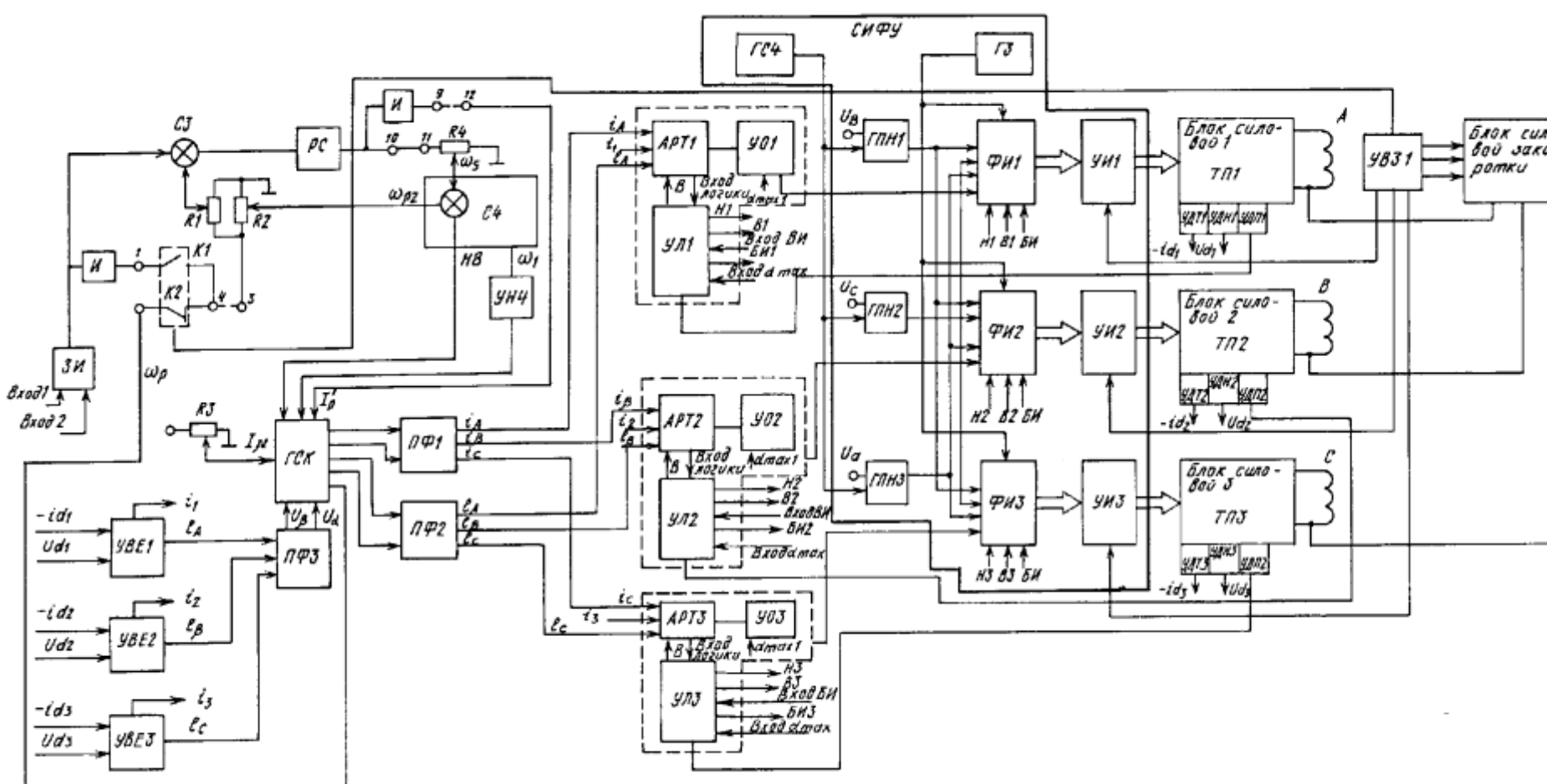
Электроприводы тиристорные асинхронные серии ЭТА1-03 предназначены для использования в различных производственных механизмах, в том числе в ряде кузнечно-прессовых механизмов. Электроприводы регулируемые реверсивные, выполненные на базе преобразователей частоты с непосредственной связью и трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 15-400 кВт.

Диапазон регулирования скорости 1:10.

Электроприводы имеют: задатчик интенсивности разгона и торможения электропривода; узел контроля соответствия скорости электропривода заданной, разрешающий включение электропривода вспомогательных механизмов.

Электропривод ЭТА1-03 выполнен на базе трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя и трехфазно-трехфазного шестипульсного преобразователя частоты, реализующего частотно-токовый способ управления. Силовая схема преобразователя частоты содержит три реверсивных тиристорных преобразователя постоянного тока с отдельным управлением комплектами, работающих в режиме источников тока. Статорные обмотки электродвигателя А, В, С гальванически развязаны, и каждая из них питается от своего преобразователя.

Функциональная схема электропривода серии ЭТА1-03



На входы адаптивных регуляторов тока (АРТ1, АРТ2, АРТ3) преобразователей подаются сформированные системой регулирования электропривода по амплитуде, частоте и фазе задающие синусоидальные токи, сдвинутые между собой на 120 эл.град. Отработка реверсивными тиристорными преобразователями заданных синусоидальных сигналов токов обеспечивается за счет отрицательных обратных связей по току, заведенных на входы адаптивных регуляторов тока АРТ.

В каждом реверсивном тиристорном преобразователе положительную полуволну тока проводит один тиристорный комплект (мост), отрицательную - другой.

Переключение тиристорных комплектов осуществляется логическими устройствами (УЛ1, УЛ2, УЛ3) в моменты перехода токов через нуль, для чего входы логических устройств (УЛ1, УЛ2, УЛ3) подключены к выходам преобразователя фаз ПФ1, а блокировочные входы - к выходам соответствующих датчиков проводимости.

На входы СИФУ, кроме сигналов с выходов регуляторов токов, заведены положительные связи по напряжению (ЭДС), обеспечивающие компенсацию возрастающей с ростом частоты ЭДС электродвигателя.

Система управления электроприводом выполнена по двухконтурной системе с ПИ-регулятором скорости и внутренними контурами регулирования тока. Входы ПИ-регулятора скорости подключены к выходам задатчика интенсивности (ЗИ) и обратного координатного преобразователя (ОКП), входящего в состав ГСК и формирующего из гармонических сигналов, снимаемых с датчиков ЭДС электродвигателя, аналоговый сигнал положительной или отрицательной полярности в зависимости от направления вращения поля (скорости) и пропорциональный ЭДС (скорости) электродвигателя.

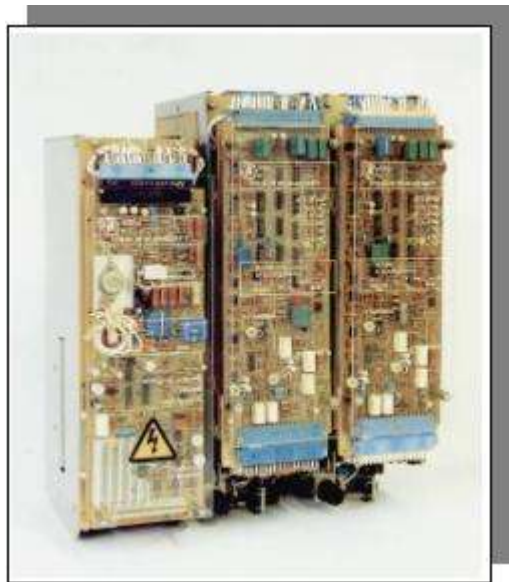
Регулятор скорости формирует на выходе аналоговый сигнал задания частоты скольжения, пропорционально которому задается приведенный к статору тока ротора. Сигнал задания частоты скольжения поступает на вход узла суммирования (С4), где он суммируется или вычитается в зависимости от режима работы электродвигателя (двигательный или тормозной) с аналоговым сигналом, пропорциональным частоте вращения ротора электродвигателя и снимаемым с выхода ОКП.

Направление вращения вектора поля статора (прямое или обратное чередование питающих двигатель синусоидальных токов) задается в зависимости от знака аналогового сигнала частоты узлом логики (входит в состав С4). Одному знаку соответствует прямое чередование питающих обмотки электродвигателя синусоидальных токов, другому - обратное чередование фаз.

Электропривод имеет защиты: максимально-токовую, время-токовую, защиту от перегрева силовых блоков, реакторов и электродвигателя, защиту от неправильного чередования фаз питающей сети, от недопустимого снижения напряжения питающей сети, от исчезновения напряжений источников питания.

Все защиты имеют сигнализацию срабатывания и воздействуют на общий триггер защит. При срабатывании любой из защит общий триггер изменит свое первоначальное состояние; сигнал с его выхода подается на входы управляющих органов СИФУ.

## ТРАНЗИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭПБ2



Электроприводы транзисторные вентильные серии ЭПБ2 предназначены для использования в качестве широкорегулируемых быстродействующих реверсивных приводов механизмов подачи металлорежущих станков, исполнительных механизмов промышленных

роботов и других механизмов. Предусмотрены исполнения для одновременного независимого управления от одного до пяти электродвигателей.

Электроприводы выполняются на напряжение 380, 400В с возможностью непосредственного подключения к сети. При напряжении сети 220, 230, 415, 500 В электроприводы комплектуются дополнительно согласующим трансформатором или автотрансформатором.

Блоки питания имеют два исполнения по номинальному току – на 10 и 32 А.

Блоки регулирования имеют три исполнения – на 8, 16, 25 А.

Диапазон регулирования привода 10 000:1.

Полоса пропускания частот замкнутого контура регулирования скорости не менее 100 Гц.

Электропривод выполнен на базе трехфазного синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов и транзисторного инвертора напряжения, управляемого в функции положения ротора по схеме вентильного двигателя.

Вентильный двигатель имеет следующие преимущества по сравнению с другими машинами:

- бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания;
- большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более);
- высокое быстродействие;
- наивысшие энергетические показатели (кпд и  $\cos\phi$ ). Показатели кпд вентильных двигателей превышают 90% и очень мало меняются при изменении нагрузки двигателя по мощности и при колебаниях напряжения питающей сети, в то время как у асинхронных электродвигателей максимальный кпд составляет не более 86% и зависит от изменений нагрузки.
- минимальное значение токов холостого хода и рабочих токов, что позволяет достаточно точно измерять нагрузку на привод и оптимизировать режим работы;
- имеют практически неограниченный диапазон регулирования частоты вращения (1:10000 и более) и возможность регулирования частоты вращения по различным законам;
- у вентильных двигателей более простая схема преобразователя по сравнению с асинхронным частотно регулируемым электроприводом;
- низкий перегрев вентильного электродвигателя увеличивает срок службы электропривода, поскольку увеличивается ресурс изоляционных материалов, работающих при более низких температурах. Этот же фактор позволяет электроприводу работать в нестандартных режимах с возможными перегрузками;
- минимальные массогабаритные показатели при прочих равных условиях;
- значительный срок службы (наработка на отказ составляет 10000 ч и более), надежность. Ресурс электродвигателя и всего агрегата увеличивается также за счет возможности оптимизации режимов работы по скорости и нагрузке.

Синхронные двигатели серий ДВУ и 2ДВУ имеют возбуждение от постоянных магнитов (в ДВУ – феррит стронция, в 2ДВУ – редкоземельные материалы), пристроенный комплексный датчик (КД) типа ПДФ-9 (с бесконтактным тахогенератором ВР, датчиком положения ротора ДПР и импульсным датчиком пути); конструкция двигателей предусматривает возможность встройки электромагнитного тормоза.

#### *Двигатель вентильный ДВУ 165 ST1*



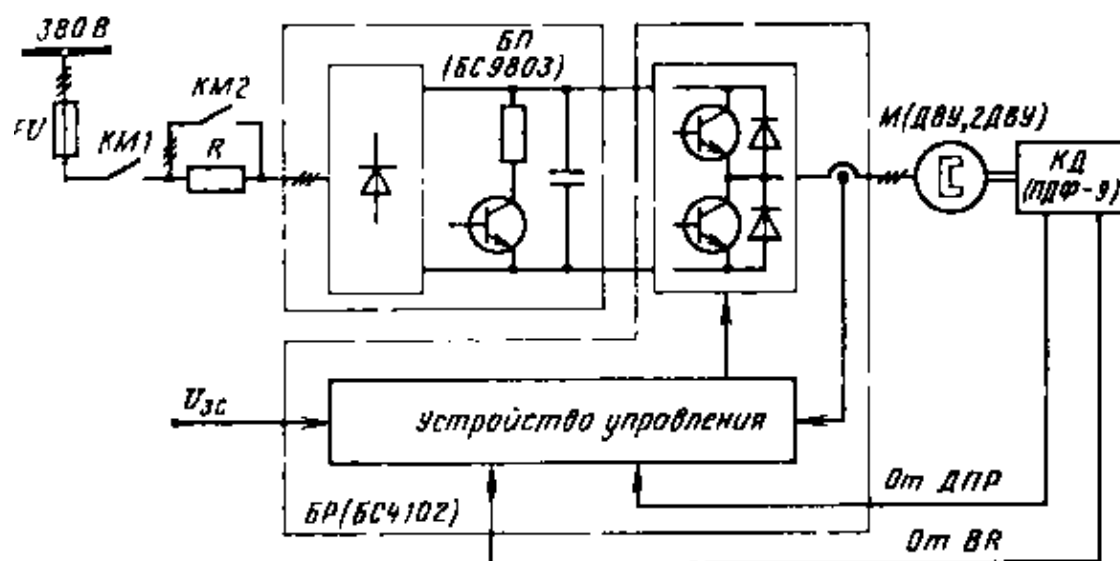
ДВУ –  $M=7...35 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $M_{\text{макс}}/M_{\text{ном}}=5$  (!);  $n_{\text{макс}}=1500...2500 \text{ об/мин}$

2ДВУ –  $M=0,13...70 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $n_{\text{макс}}=6000...1500 \text{ об/мин}$ .

В двигателях серии 5ДВМ применены более термостабильные отечественные постоянные магниты из материала “железо-неодим-бор” со специальными легирующими добавками, которые способствуют повышению коэрцитивной силы и сохранению работоспособности магнитов при нагреве до  $+170 \text{ }^\circ\text{C}$  и пятикратном от номинального кратковременном значении момента и тока якоря. Последнее обстоятельство также способствует снижению расхода дорогостоящих магнитных материалов (уменьшение толщины магнитов в 1,5 раза) и улучшению массогабаритных показателей.

Двигатели 5ДВМ имеют класс изоляции Р, снабжены датчиками температурной защиты (терморезисторы в лобовых частях обмотки), имеют встроенные бесконтактные тахогенераторы и фотоэлектрические датчики положения ротора. Показатель надежности – средняя наработка на отказ – 10000 часов. Средний уровень шума в режиме холостого хода не превышает 82 дБ для двигателей 5ДВМ115 и 72 дБ – для меньших габаритов.

Функциональная схема электропривода ЭПБ2

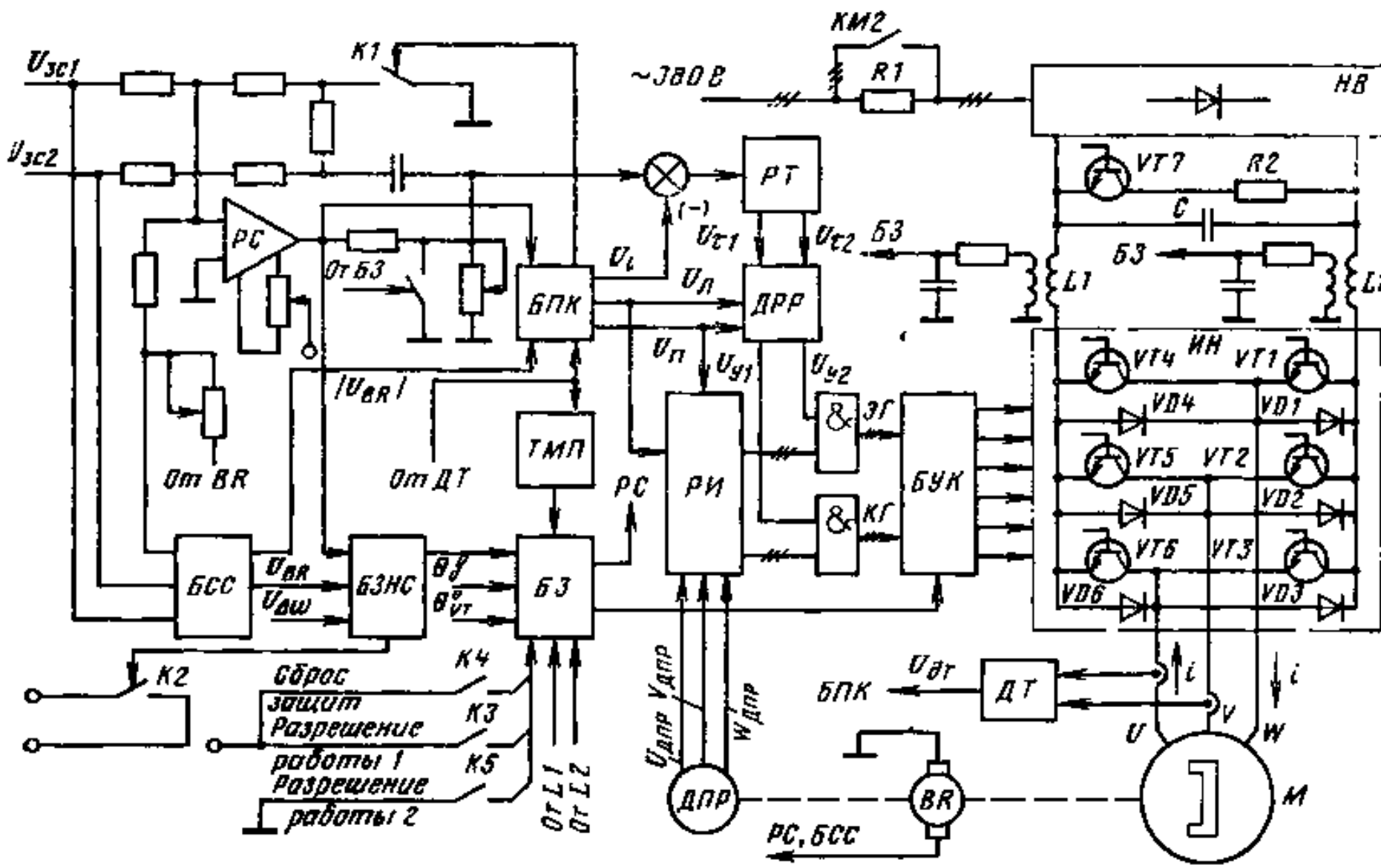


В состав электропривода блочного исполнения входят:

- общий блок питания (БП) типа БС9803;
- блоки регулирования (БР) типа БС4102;
- двигатели (М) типа ДВУ; или 2ДВУ (до трех по количеству координат);
- предохранители (FU);
- магнитные пускатели (KM1 и KM2).



Функциональная схема электропривода ЭПБ



РС- регулятор скорости;

БПК – блок переключателей осуществляет переключение  $K_1$ , тем самым управляет коррекцией РС;

РТ – релейный регулятор тока;

ДРР –дешифратор режимов работы; определяет необходимый режим работы;

ДТ – датчик тока, состоит из двух трансформаторов;

БСС- блок согласования сигналов; согласует сигнал с тахогенератора, выделяет модуль сигнала и формирует сигнал ошибки по скорости;

БЗ – блок защиты;

БЗНС- блок защиты от несоответствия скорости заданному значению;

ТМП – тепловая модель преобразователя;

РИ – распределитель импульсов;

БУК – блок управления ключами.

Силовая часть состоит из синхронного двигателя (М), инвертора напряжения (ИН), неуправляемого выпрямителя (НВ), выполненного по мостовой схеме, двухобмоточных реакторов ( $L_1$  и  $L_2$ ), емкостно-фильтра (С), пусковых резисторов ( $R_1$ ) и контактов контактора  $KM_2$ .

Инвертор напряжения ИН, собранный на шести транзисторах  $VT_1...VT_6$  и шести обратных диодах  $VD_1...VD_6$ .

ИН выполняет две функции:

1. коммутирует ток в фазных обмотках двигателя М (то, что делает коллектор в двигателе постоянного тока);
2. регулирует значение тока (поддерживает на заданном уровне) в межкоммутационный период за счет периодического замыкания и размыкания транзисторных ключей.

При этом возможны те же три режима работы, что и в электроприводе ЭШИМ1:

1. режим, когда открыты два ключа (один в эмиттерной, другой в коллекторной группе);
2. режим, когда открыт один ключ одной из групп;
3. режим, когда все ключи закрыты.

В звене постоянного тока рабочие обмотки реакторов  $L_1$  и  $L_2$  предназначены для замедления темпа нарастания тока при коротких замыканиях, а измерительные обмотки – для передачи информации (через С-фильтры) о токе блоку защиты (БЗ).

Конденсатор С выполняет роль фильтра, а также в нем запасается энергия во время рекуперативного торможения синхронного двигателя.

Для ограничения напряжения на конденсаторе в этом режиме предусмотрен узел сброса энергии, состоящий из резистора R2 и транзистора VT7.

Для ограничения зарядного тока конденсатора в первый момент при подключении электропривода к сети применены резисторы  $R_1$ , которые после включения электропривода закорачиваются контактами  $KM_2$ .

### **Коммутация фаз**

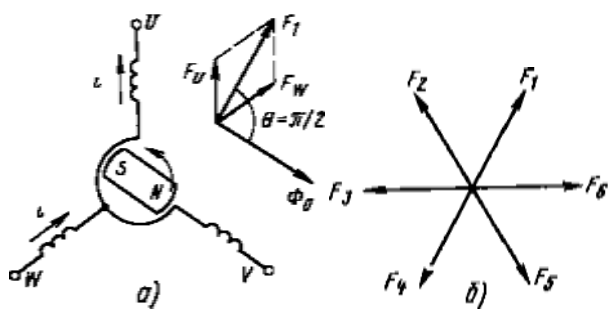
Электромагнитный момент синхронной машины определяют в соответствии с уравнением

$$M = M_{\max} \sin\Theta,$$

где  $M_{\max}$  – максимальный момент, зависящий от тока статора;

$\Theta$  – угол между результирующим вектором намагничивающей силы статора  $F$  и вектором основного магнитного потока ротора  $\Phi_0$ .

Для лучшего использования синхронной машины по току (т.е. для получения наибольшего момента при любом токе статора) необходимо, чтобы угол  $\Theta$  был бы как можно ближе к значению  $+\pi/2$  в двигательном режиме или  $-\pi/2$  в тормозном режиме.



*Векторные диаграммы синхронного двигателя а – при протекании тока от фазы W к фазе U,*

*б – положение результирующего вектора намагничивающей силы для различных комбинаций ключей*

При каждой коммутации фаз (смене комбинаций открытого состояния транзисторов) вектор  $F_1$  поворачивается на угол  $\pi/3$ , а угол поворота ротора  $\alpha$  изменяется плавно.

Поэтому угол  $\Theta$  является функцией угла поворота ротора:

$$\Theta_n = \frac{(n+1) \cdot \pi}{3} - \alpha,$$

где  $n$  – номер комбинации ключей ( $n=1-6$ ).

Для обеспечения максимального среднего момента машины угол  $\Theta_n$  должен изменяться в двигательном режиме от  $2\pi/3$  до  $\pi/3$ , а в тормозном режиме от  $-\pi/3$  до  $-2\pi/3$ .

Таким образом, коммутация фаз должна происходить при вполне определенных углах поворота ротора, что и осуществляется с помощью датчика положения ротора (ДПР).

*Система регулирования электропривода* представляет собой двухконтурную структуру: внешний – контур скорости с ПИ-регулятором (РС), внутренний – контур тока с релейно-временным регулятором (РТ).

*Регулятор РС* обеспечивает поддержание скорости (а следовательно, и ЭДС) на заданном уровне. Наличие двух входов РС дает возможность подключать электропривод к устройству ЧПУ и независимому датчику скорости.

В регуляторе РС (как и в электроприводе ЭШИМ1) происходит «зонная коррекция» параметров при достижении скорости  $\omega_{\max}/3$ .

При малых значениях скорости  $\omega < \omega_{\max}/3$  контакт реле  $K_1$  замкнут.

При средних и больших значениях скорости  $\omega \gg \omega_{\max}/3$  происходит размыкание контакта  $K_1$ , в результате чего коэффициент усиления уменьшается, а постоянная времени РС увеличивается.

Такая коррекция параметров РС необходима для уменьшения полосы пропускания электропривода из-за большой амплитуды пульсаций в напряжении тахогенератора при повышенных значениях скорости.

При высоком быстродействии КРТ электропривод будет обрабатывать и различные помехи, прежде всего пульсации напряжения тахогенератора.

*Регулятор тока* обеспечивает поддержание тока (а следовательно и момента) двигателя на уровне, определяемом напряжением на выходе регулятора РС.

Здесь также, как и в ЭШИМ1, для обеспечения условия  $i = \text{const}$ . Необходимо: в двигательном и тормозном (при малых значениях скорости) режимах чередовать режимы Р2 и Р1; в тормозном (при больших значениях скорости) – режимы Р1 и Р0.

Необходимый режим определяет дешифратор режимов работы (ДРР) после обработки сигналов.

### **Защиты и блокировки:**

Электроприводы имеют следующие виды защит:

- при перегрузках и коротких замыканиях источника питания цепей управления;
- при внутренних неисправностях блока питания;
- при потере фазы сети;
- при недопустимом отклонении напряжения сети;
- от превышения напряжения в звене постоянного тока;
- при неисправности узла сброса энергии;
- от перегрева блока ввода;
- максимально-токовую защиту при внутренних коротких замыканиях и замыканиях на землю;
- времятоковую при кратковременных перегрузках блоков регулирования;
- при выходе из строя датчика тока в блоке регулирования;
- при выходе из строя датчика положения ротора двигателя или обрыва цепей его подключения к блоку регулирования;
- от перегрева двигателя;
- от перегрева преобразователя;

- от несоответствия скорости электропривода заданной (в том числе при обрыве цепи датчика скорости);
- от превышения максимальной скорости электропривода. Каждая защита снабжена индивидуальной сигнализацией.

*Максимально токовая защита* осуществляется посредством сигналов, снимаемых с измерительных обмоток реакторов L1 и L 2 и подаваемых через RC-цепи на два входа блока защиты (БЗ). Срабатывание двух триггеров в блоке БЗ говорит о наличии сквозных токов через противоположные ключи инвертора ИН; срабатывание одного триггера – о наличии замыкания на землю.

*Времятоковая защита* осуществляется с помощью блока ТМП, представляющего собой тепловую модель преобразователя. Этот блок, получая информацию с датчика тока, определяет средние потери мощности в преобразователе. Температурная защита от перегрева двигателя и инвертора выполнена с помощью терморезисторов, встроенных в двигатель и радиатор транзисторных ключей эмиттерной группы. Напряжение с выхода ТМП, а также напряжения, зависящие от температуры нагрева двигателя и радиатора транзисторных ключей, поступают в блок БЗ.

*Защиту от несоответствия скорости заданному значению* обеспечивает блок БЗНС. Этот блок, получая сигналы с выхода блоков РС и БСС, обеспечивает отключение электропривода в следующих случаях: при возрастании ошибки по скорости выше допустимой; в результате неисправности преобразователя или двигателя; выхода двигателя на предельную характеристику или обрыва цепи тахогенератора. Выход БЗНС управляет работой ключа К2 и блока БЗ. При отсутствии ошибки по скорости или наличии производной скорости, направленной в сторону уменьшения этой ошибки, контакт К2 замкнут, а сигнал на входе БЗ равен «0».

При срабатывании максимально токовой защиты или защиты от несоответствия скорости блок БЗ выдает мгновенный запрет на прохождение управляющих сигналов в блоке БУК и шунтирует (блокирует) выход регулятора РС. При срабатывании времятоковой или температурной защиты происходит мгновенное снятие сигнала «Готовность к работе», в устройство ЧПУ поступает команда на отвод режущего инструмента и с выдержкой времени 5-7 с происходит отключение электропривода (с блокированием выхода РС и наложением запрета на блок БУК).

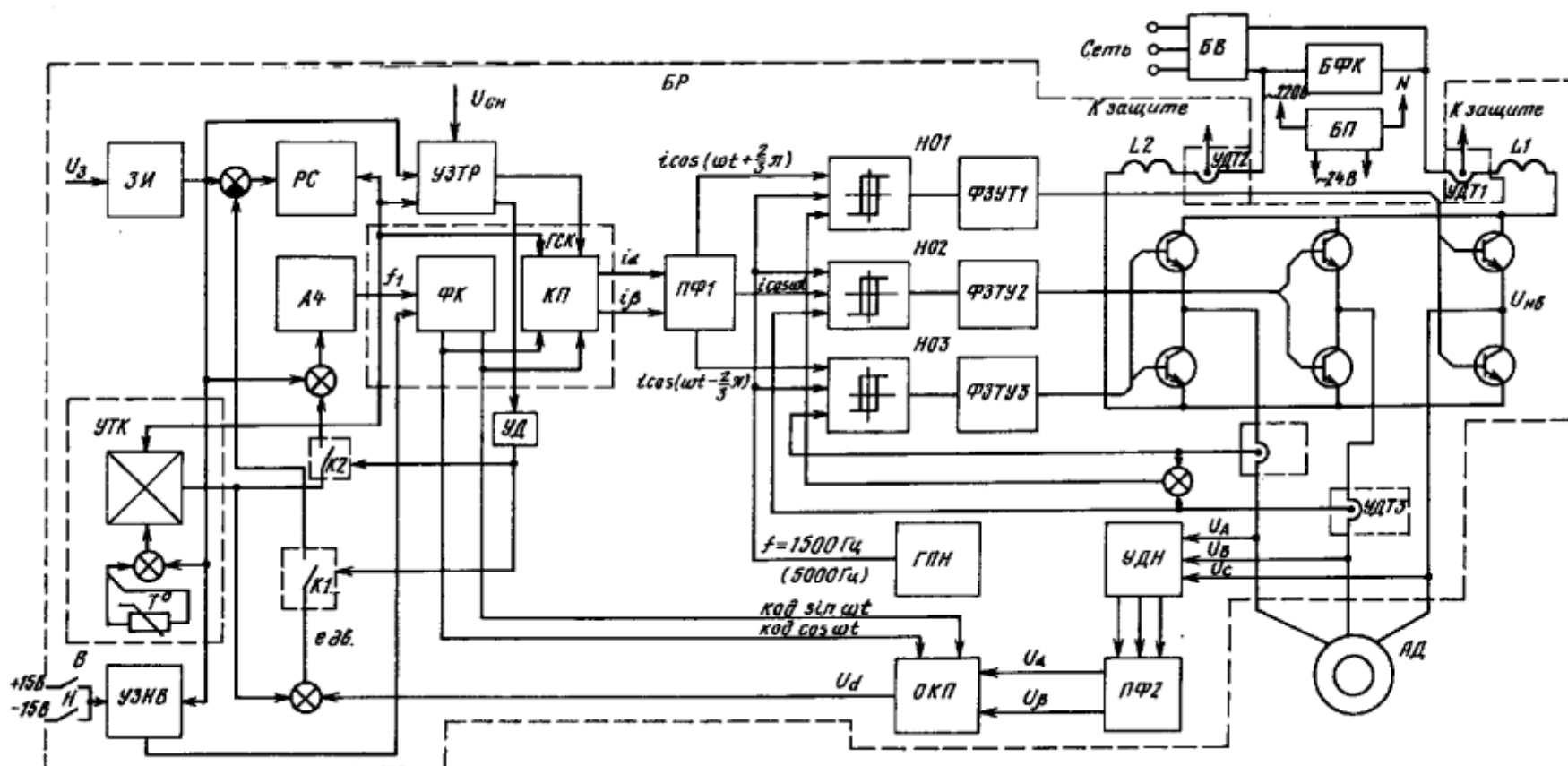
Электропривод имеет также блокировки, обеспечивающие: подачу напряжения на силовую часть схемы после появления напряжения питания цепей управления и снятие напряжения с силовой части после исчезновения напряжения питания цепей управления; автоматический разряд конденсатора С и динамическое торможение привода при исчезновении напряжения питания, блокирование выхода РС и блока БУК при снятии сигнала «Разрешение работы 1» (размыкание контакта К3) после окончания электрического торможения; мгновенное блокирование выхода РС и блока БУК при снятии сигнала «Разрешение работы 2» (размыкание контакта К5).

### ***Электроприводы транзисторные частотно-регулируемые серии ЭПА***

Электроприводы реверсивные бездатчиковые транзисторные частотно-регулируемые серии ЭПА1-02 предназначены для регулирования частоты вращения стандартных асинхронных электродвигателей мощностью до 7,5 кВт на номинальную частоту 50 Гц и электрошпинделей на номинальную частоту до 300 Гц в различных производственных механизмах. Предусмотрены исполнения для одновременного независимого управления одним, двумя или тремя электродвигателями.

Электропривод выполнен на базе транзисторного преобразователя частоты с частотно-токовым способом управления имеют следующую характеристики:

- регулирование частоты вращения двигателей вниз от номинальной производится с поддержанием постоянства момента, вверх от номинальной - с постоянством напряжения и переменной частотой;
- диапазон регулирования частоты вращения двигателя вниз от номинальной 1:15;
- диапазон регулирования частоты вращения вверх от номинальной до 1:4 для стандартных электродвигателей, до 1:1,5 для электршпинделей;
- допустимая перегрузка блоков регулирования 1,2 от номинального тока в течении 10 с.



Транзисторный преобразователь частоты содержит:

блок ввода БВ, включающий в себя неуправляемый выпрямитель и узел сброса энергии торможения электродвигателя;

блок фильтрующих конденсаторов БФК;

блок питания БП, предназначенный для преобразования переменного напряжения 220 В частоты 50, 60 Гц в источник стабилизированного переменного напряжения 24 В и частоты 10 кГц;

блок регулирования БР, состоящий из инвертора, выполненного на шести транзисторных ключах, защитном дросселе Др1 и Др2.

Система управления электроприводом выполнена по двухконтурной схеме и содержит контур с интегральным регулятором скорости, замкнутый по Э.Д.С двигателя, а также контур тока с тремя нуль-органами (Н01...Н03).

На входах нуль-органов происходит сравнение синусоидальных сигналов задания тока фаз двигателя, сдвинутых друг относительно друга на 120 эл.градусов, с сигналами датчиков тока, соответствующих истинным значениям тока.

Формирователи зон управления ФЗУТ1 - ФЗУТ3 осуществляют выдержку времени между переключениями силовых транзисторных ключей инвертора, что необходимо для разряда электромагнитной энергии, запасенной в дросселях Др1 и Др2, и подготовку их к очередной коммутации.

Сигнал задания скорости подается на вход задатчика интенсивности (ЗИ), откуда поступает на вход регулятора скорости (РС). Сюда же поступает сигнал обратной связи по Э.Д.С двигателя с обратного координатного преобразователя (ОКП).

Предусмотрено также в начальный момент пуска электродвигателя с целью обеспечения наибольшего пускового тока и момента трогания отключение обратной связи по ЭДС ключом К1, который управляется сигналом с узла дифференцирования УД. Обратный координатный преобразователь предназначен для преобразования двухфазных синусоидальных сигналов частоты тока статора в постоянный сигнал, значение которого пропорционально проекции результирующего вектора напряжения на зажимах двигателя на ось координат, совпадающую по направлению с вектором ЭДС двигателя.

На входы ОКП подается через преобразователь фаз (ПФ2) сигналы с узла датчика напряжения (УДН) и кодовые сигналы функций синуса и косинуса с формирователя кода (ФК).

На выходе (ОКП) в установившемся режиме имеется гладкий сигнал без пульсаций, пропорциональный основной гармонике питающего двигателя напряжения.

При смене направления вращения меняется чередование синусоидальных напряжений на клеммах двигателя, и сигнал на выходе обратного координатного преобразователя также меняет знак, который остается в то же время противоположным знаком сигнала на выходе задатчика интенсивности.

*Регулятор скорости* (РС) формирует на выходе сигнал задания, который подается на вход координатного преобразователя (КП), а также на вход узла температурной коррекции (УТК).

Падение напряжения в активных сопротивлениях фаз двигателя зависит от тока нагрузки, от величины тока и температуры обмоток двигателя. Компенсацию погрешности от этих двух параметров в сигнале обратной связи с выхода обратного координатного преобразователя осуществляет узел температурной коррекции (УТК), представляющий собой блок аналогового перемножения двух сигналов; с терморезистора, установленного внутри двигателя, и с выхода регулятора скорости.

Сигнал, равный разности сигналов с обратного координатного преобразователя и узла температурной коррекции и близкий к истинному значению ЭДС двигателя, поступает непосредственно на вход регулятора скорости. Сигнал с выхода узла температурной коррекции подается на вход преобразователя аналог-частота (АЧ), где суммируется с сигналом задания частоты вращения ротора двигателя, осуществляя тем самым компенсацию погрешности по частоте вращения из-за влияния активных сопротивлений фаз двигателя в начальный момент разгона электродвигателя, когда обратная связь по Э.Д.С двигателя отключается, отключается и добавка по частоте вращения ключом К2, что уменьшает величину перерегулирования при разгоне электропривода в области малых частот вращения. Импульсный сигнал  $f_1$ , пропорциональный частоте вращения поля статора, преобразуется в узле формирования кода (ФК) в систему из двух гармонических сигналов (синуса и косинуса).

Координатный преобразователь КП по заданным значениям сигналов реактивного тока (с узла УЗТР) и активного тока (с выхода регулятора скорости РС) осуществляет формирование заданных значений синусоидальных токов фаз в двухфазной системе координат, сдвинутых друг относительно друга на 90 эл. градусов.

В узле преобразования фаз (ПФ1) они преобразуются в трехфазную систему токов, сдвинутых друг относительно друга на 120 эл. градусов и затем подаются на входы нуль-органов (Н01 и Н03), где сравниваются с сигналами истинных значений токов фаз, поступающих с датчиков тока.

Сигнал задания частоты вращения вектора поля статора формируется на входе преобразователя аналог-частота АЧ из двух сигналов: сигнала с выхода задатчика интенсивности ЗИ и сигнала с выхода регулятора скорости, поступающего на вход сумматора через узел температурной коррекции (УТК). В двигательном режиме они складываются, а в тормозном выключаются.

Направление вращения электродвигателя задается уровнем логического сигнала с узла задания направления вращения (УЗНВ) в функции знаков сигналов задающего напряжения и задатчика интенсивности. Смена режима работы электропривода происходит при смене знака сигнала с выхода регулятора скорости. При этом происходит поворот вектора активной составляющей тока фаз статора двигателя на 180 эл. градусов, и двигатель начинает тормозиться, отдавая энергию торможения в балластный резистор.

Система управления электроприводом выполнена двухзонной. При работе в первой зоне ЭДС асинхронного двигателя меньше напряжения на выходе блока питания БП. При этом действует обратная связь по ЭДС двигателя и регулятор скорости не находится в насыщении, что позволяет реализовать закон регулирования частоты вращения с  $M = \text{const}$ .

При работе во второй зоне (частота вращения двигателя выше номинальной) регулятор скорости переходит в насыщение, что соответствует размыканию обратной связи по ЭДС и двигатель работает практически в режиме  $U = \text{const}$  и  $f = \text{var}$ . Механические характеристики электропривода соответствуют характеристикам двигателя для заданного напряжения и заданной частоты. При этом значение критического момента снижается практически пропорционально квадрату возрастания частоты.