

ЭЛЕКТРОПРИВОД АСИНХРОННЫЙ  
ГЛУБОКОРЕГУЛИРУЕМЫЙ  
КОМПЛЕКТНЫЙ  
«РАЗМЕР 2М-5-21»

---

---

---

---

---

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ  
ИДАФ.655174.002 ТО

В связи с постоянной работой по совершенствованию изделия, повышающей его надежность и улучшающей условия эксплуатации, в конструкцию могут быть внесены незначительные изменения, не отраженные в настоящем издании.

## ВВЕДЕНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Настоящее техническое описание (ТО) предназначено для изучения электропривода асинхронного глубокорегулируемого комплектного "Размер 2М-5-2I" и содержит основные сведения, необходимые для обеспечения правильной его эксплуатации.

Изложение материалов в ТО рассчитано на инженерно-технический персонал и ведется на основе иллюстративных материалов: структурных и функциональных схем, временных диаграмм, таблиц, в соответствии с конкретными особенностями отдельных блоков; сигналы и функциональные группы по обозначениям совпадают с принятыми на принципиальных схемах.

## НАЗНАЧЕНИЕ

Электропривод асинхронный глубокорегулируемый комплектный "Размер 2М-5-2I" ИДАФ.655I74.002 (в дальнейшем именуемый электропривод) предназначен для работы в системах автоматического регулирования частоты вращения электродвигателей двух механизмов подачи и электродвигателя шпинделя токарных станков с ЧПУ.

Условия, при которых обеспечивается нормальный режим работы электропривода:

- 1) диапазон рабочих температур 274-308 К (I-35 °C);
- 2) верхнее значение влажности воздуха 80 % при 298 К (25 °C);
- 3) рабочее значение атмосферного давления - от 86,6 до 106,7 кПа (650-800 мм рт.ст.);
- 4) вибрация в диапазоне частот I - 35 Гц - с амплитудой 0,1 мм.

Питание электропривода производится от трехфазной промышленной сети переменного тока с напряжением 380 В частотой 50 Гц. Сеть должна обеспечивать возможность заземления электрооборудования.

Электропривод сохраняет работоспособность при:

- 1) отклонениях напряжения питающей сети от номинального значения от 10 до минус 15 %;
- 2) отклонениях частоты питающей сети от I до минус I % от номинального значения.

Мощность, потребляемая электроприводом, не более 20 кВт.

## Электроприводы подачи

Типоразмеры и основные параметры электроприводов подачи приведены в табл. I.

Электропривод обеспечивает работу в четырех квадрантах.

Управляющее постоянное напряжение меняется от минус 10 до 10 В. Амплитуда пульсаций не более 2 %.

Входное сопротивление для управляющего напряжения не менее 2 кОм.

Информация о положении вала двигателя представлена прямыми и инверсными импульсными сигналами:

основными  $\sin$  и  $\overline{\sin}$ , смещенными  $\cos$  и  $\overline{\cos}$  и сигналами нуль-метки НМ и  $\overline{\text{НМ}}$ .

Уровень лог. "I" импульсных сигналов от 9 до 13 В, лог. "0" - от 0 до 1,5 В при сопротивлении нагрузки приемника сигнала 820 Ом.

Фазовый угол между основным ( $\sin$ ) и смещенным ( $\cos$ ) сигналами равен  $(90 \pm 10)^\circ$ .

Форма сигналов приведена на рис. I.

Количество периодов импульсных сигналов за один оборот вала двигателя:

- 1) 2000 при дискретности  $\Delta=1,25\delta$  или 1000 при  $-\Delta=2,5\delta$  для сигналов  $\sin$ ,  $\overline{\sin}$ ,  $\cos$ ,  $\overline{\cos}$ , где  $\delta = 10^{-4}$  оборота вала двигателя;
- 2) 2 - для сигналов НМ и  $\overline{\text{НМ}}$ .

Сквозность сигналов  $\sin$ ,  $\overline{\sin}$ ,  $\cos$ ,  $\overline{\cos}$  равна  $2 \pm 0,1$ , сигнала НМ -  $500 \pm 100$ .

Точность измерения углового положения вала двигателя находится в интервале от  $10\delta$  до минус  $10\delta$ .

Электропривод обеспечивает стабильность точностных характеристик при изменении нагрузки, изменении направления вращения двигателя, изменении температуры окружающей среды.

У замкнутого по положению электропривода:

- 1) амплитуда колебаний вала двигателя на нулевой частоте вращения при постоянном моменте нагрузки, соответствующем 0,4  $M_{до}$ , не более  $\pm 4$ ;
- 2) угол отклонения вала двигателя при набросе или сбросе момента нагрузки, соответствующего 0,4  $M_{до}$ , не превышает  $20 \pm 2\delta$ ;
- 3) диапазон регулирования частоты вращения - от 0 до  $n_{max}$ ;

Наименование параметра	Типоразмер электропривода, Н·м					
	7-17	23	35	47-70		
1. Машина асинхронная на базе электродвигателя	4АХ90Л4	4АХ100Л4	4АП12М4	4АП32М4		
2. Момент инерции ротора двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot 10^{-2}$	0,56	1,12	1,75	4,0		
3. Длительный момент на частоте вращения, равной нулю, $M_{до}$ , Н·м для двигателей с принудительной вентиляцией для двигателей без принудительной вентиляции	20 <sub>-10</sub> % 7 <sub>-10</sub> %	30 <sub>-10</sub> % 17 <sub>-10</sub> %	40 <sub>-10</sub> % 21 <sub>-10</sub> %	80 <sub>-10</sub> % 47 <sub>-10</sub> %		
4. Номинальное напряжение двигателя, В	220/380	220/380	380/660	220/380	380/660	380/660
5. Кратность максимального момента при переходных процессах $\frac{M_{\max}}{M_{до}}$ в диапазоне частоты вращения от $n_{\max}$ до $0,5 n_{\max}$ от $0,5 n_{\max}$ до 0	1,0 2,0	1,0 1,6	1,0 2,5	1,0 1,2	1,0 2,0	0,5 1,0
6. Максимальная частота вращения, $n_{\max}$ , $\text{мин}^{-1}$	$1500 \pm 10$ %	$1500 \pm 10$ %	$1000 \pm 10$ %	$1500 \pm 10$ %	$1000 \pm 10$ %	$1000 \pm 10$ %

Примечания: 1. Момент инерции ротора – справочная величина. 2. Длительный момент  $M_{до}$  проверяется при периодических испытаниях.

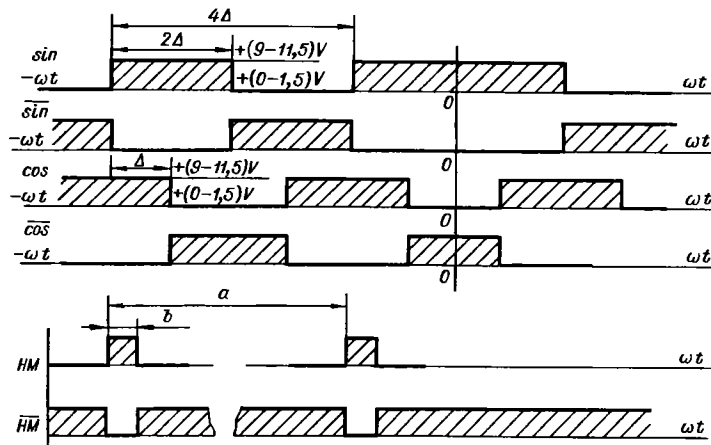


Рис. 1. Диаграмма импульсных сигналов о положении вала двигателя:

$a = I/2$  оборота двигателя;  $b = I/1000$  оборота двигателя;  $\Delta = 1,25 \delta$  или  $2,5 \delta$  в зависимости от исполнения блока ФПИ

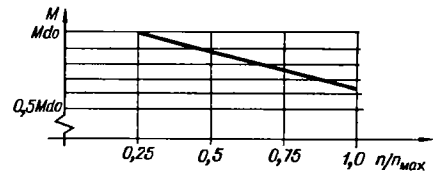


Рис. 2. Механическая характеристика двигателей подачи в длительном режиме

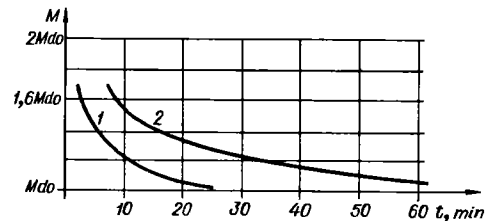


Рис. 3. Механическая характеристика двигателей подачи в кратковременном режиме:

1 – 4АХБ2П90Л4; 2 – 4АХБ2П100Л4

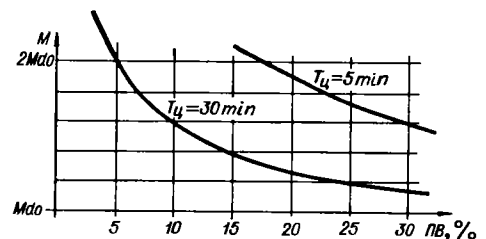


Рис. 4. Механическая характеристика двигателей подачи в повторно-кратковременном режиме:

$T_{ц}$  – длительность цикла

4) минимальный коэффициент усиления (добротность регулируемого по частоте вращения привода)  $30 \text{ с}^{-1}$  при частоте квантования в контуре положения УЧПУ не менее 100 Гц;

5) электропривод обеспечивает продолжительный режим работы с нагрузкой  $0,9 M_{до}$ ;

6) характеристики длительного, кратковременного и повторно-кратковременного режимов работы двигателей приведены на рис. 2 – 4.

Шаг сочленяемого с двигателем шарикового ходового винта станка должен быть 5 или 10 мм. Сочленение должно быть безлюфтовым.

Основные параметры электропривода приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Машина асинхронная на базе электродвигателя	Номинальный момент, Н·м	Мощность при номинальной частоте вращения, 1500 мин <sup>-1</sup> , кВт, не менее	Максимальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Момент инерции ротора электродвигателя, кг·м <sup>2</sup> ·10 <sup>-2</sup>
4АБ2П I32M4	72	II	4500 <sub>-2</sub> %	4,0

Примечания: 1. Значение мощности обеспечивается при номинальном напряжении сети.  
2. На максимальной частоте вращения допускается снижение мощности на 20 %.

Электропривод обеспечивает работу в четырех квадрантах.

Управляющее постоянное напряжение меняется от минус 10 до 10 В. Амплитуда пульсаций не более 2 %.

Входное сопротивление для управляющего напряжения 4,74 кОм.

Диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя от 45 до 4500 мин<sup>-1</sup>.

Время восстановления номинальной частоты вращения при ступенчатом приложении нагрузки от холостого хода до 8,25 кВт не более 1 с.

В системе автоматического регулирования частоты вращения длительный момент и мощность составляют 75 % допустимого значения.

Полоса пропускания замкнутого по скорости электропривода при частоте вращения 1000 мин<sup>-1</sup> при отсутствии дополнительного момента инерции не менее 20 Гц.

Встроенная информационная электроника обеспечивает выдачу следующих сигналов:

- 1) контактного сигнала индикации нулевой частоты вращения V<sub>o1</sub> и V<sub>o2</sub>;
- 2) контактного сигнала достижения заданной частоты вращения V<sub>z1</sub> и V<sub>z2</sub>;
- 3) контактного сигнала "Момент ограничен" Mo1 и Mo2;
- 4) контактных сигналов "Главный привод включен" ППВ1, ППВ2, "Приводы подачи включены" ППВ1, ППВ2.

При нагрузке, превышающей максимальный момент M<sub>макс</sub> для приводов подачи или номинальный момент M<sub>н</sub> для главного привода, электропривод отключается за время не более 1,0 с.

При отключении питающей сети электроприводы тормозятся с максимальным темпом до полной остановки двигателей.

Электропривод имеет систему контроля перегрева электродвигателей.

Длина кабелей связи, соединяющих части электропривода с оборудованием станка и между собой должна быть не более 30 м.

Показатели надежности:

- 1) наработка на отказ T<sub>о</sub> - 1000 ч;
- 2) средний срок службы T<sub>сл</sub> - 12 лет;
- 3) средний ресурс T<sub>р ср</sub> - 40000 ч.

На рис. 5 - 10 даны габаритные и установочные размеры шкафа электропреобразователей, асинхронных машин, приборного щитка и блока трансформаторов.

### СОСТАВ И КОНСТРУКЦИЯ

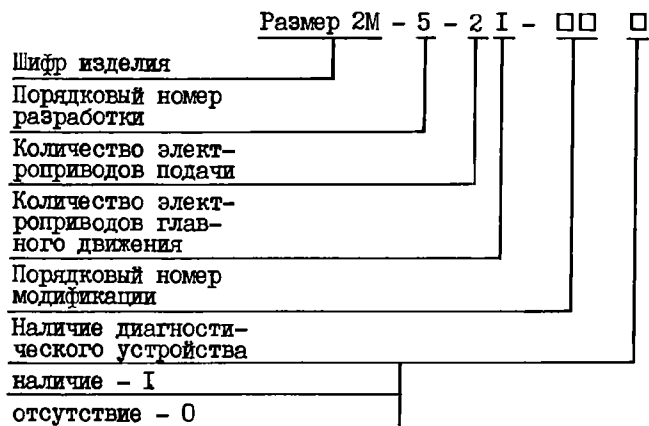
Электропривод состоит из следующих конструктивно законченных устройств:

- 1) шкафа электропреобразователей ЭП5;
- 2) трех асинхронных машин со встроенными датчиками положения и температуры и вентиляторами;
- 3) щитка приборного ЩП1 с приборами для индикации абсолютного значения частоты вращения двигателя шпинделя, относительных значений моментов нагрузки двигателей шпинделя и подачи, сигналов индикации внутреннего состояния электропривода;
- 4) блока трансформаторов БТ12 для питания вентиляторов асинхронных машин.

Состав и компоновка шкафа электропреобразователей ЭП5 показаны на схеме принципиальной и соединений ПНИ.656357.002 ЭЗ; состав машин МА5 - на схеме ПНИ.525000.001 ЭЗ, машины МА6 - на схеме ПНИ.525000.002 ЭЗ.

Электропривод может иметь различные исполнения, кодируемые трехзначным числом.

Расшифровка структуры кода исполнения электропривода



Шкаф электропреобразователей имеет встроенную систему вентиляции с нижним забором охлаждающего воздуха, продувом электронных блоков и выбросом воздуха в нижней части шкафа.

В состав диагностического устройства входят сигнатурный анализатор СА7 (схема ПНИ.656126.007 ЭЗ) и измерительный щуп ИШ5 (схема ПНИ.656115.001 ЭЗ).

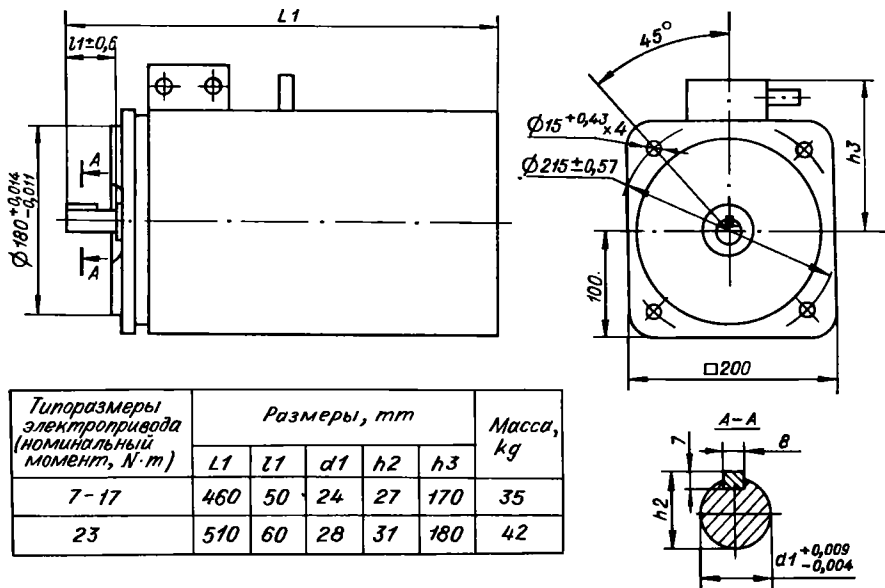
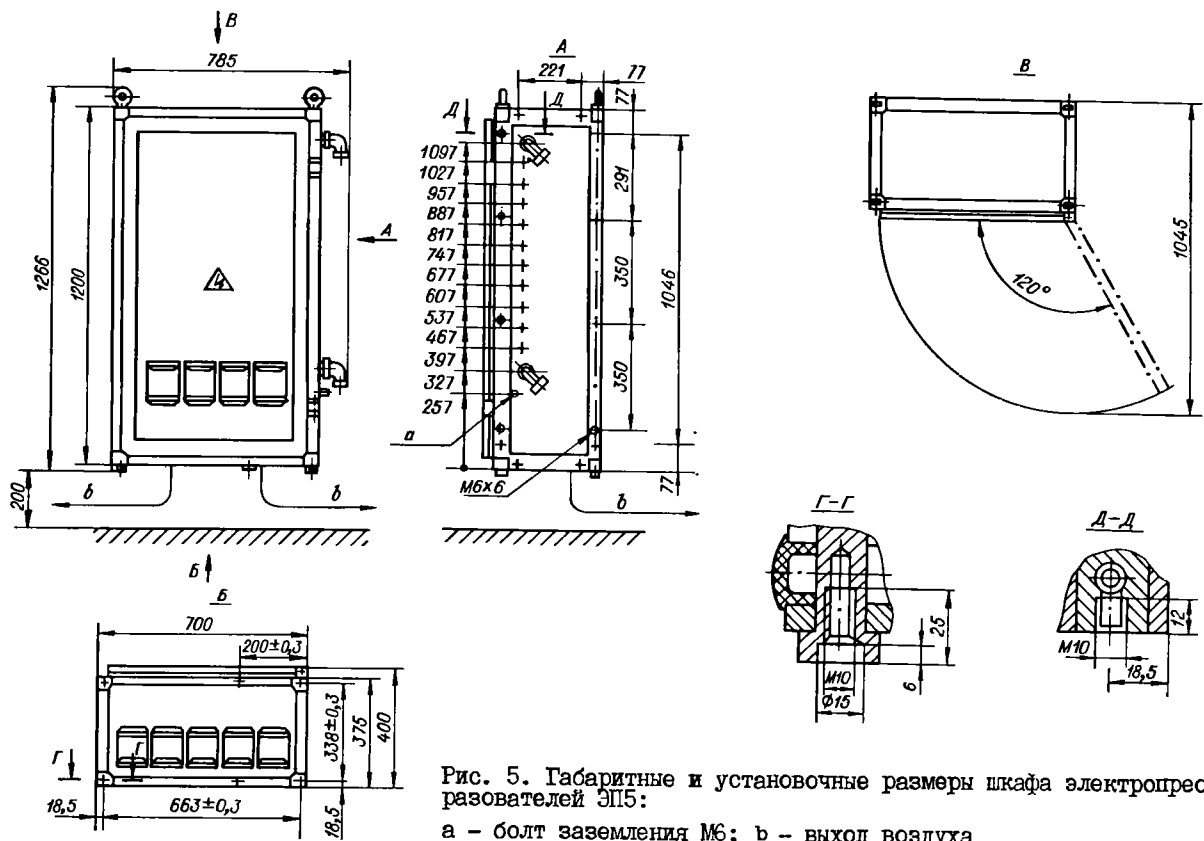


Рис. 6. Габаритные и установочные размеры асинхронных машин приводов подачи

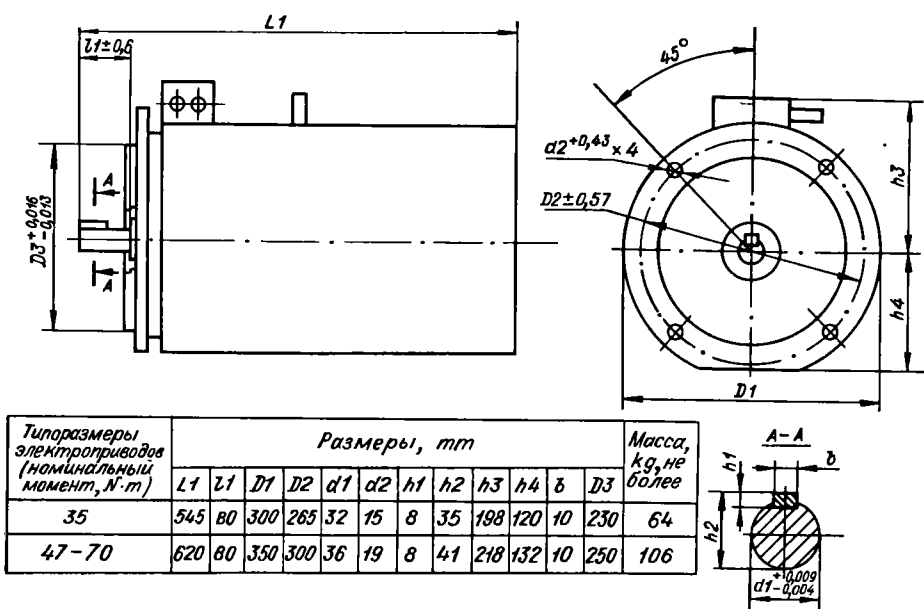


Рис. 7. Габаритные и установочные размеры асинхронных машин приводов подачи

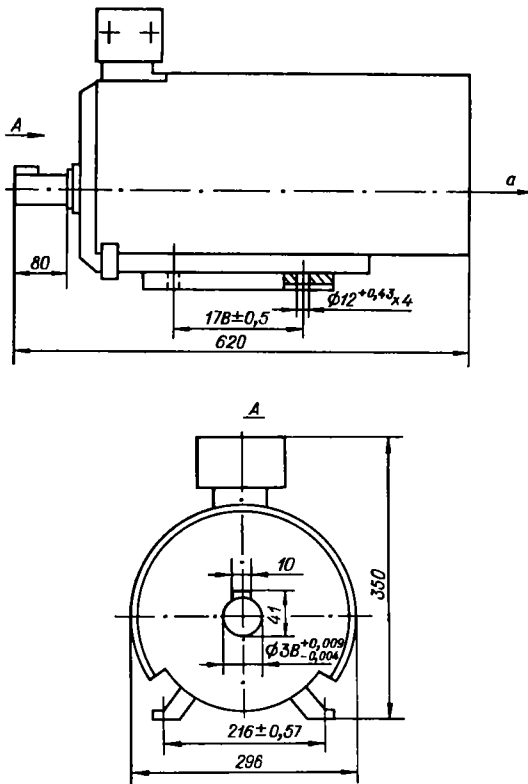


Рис. 8. Габаритные и установочные размеры асинхронной машины главного привода:

а - выход воздуха

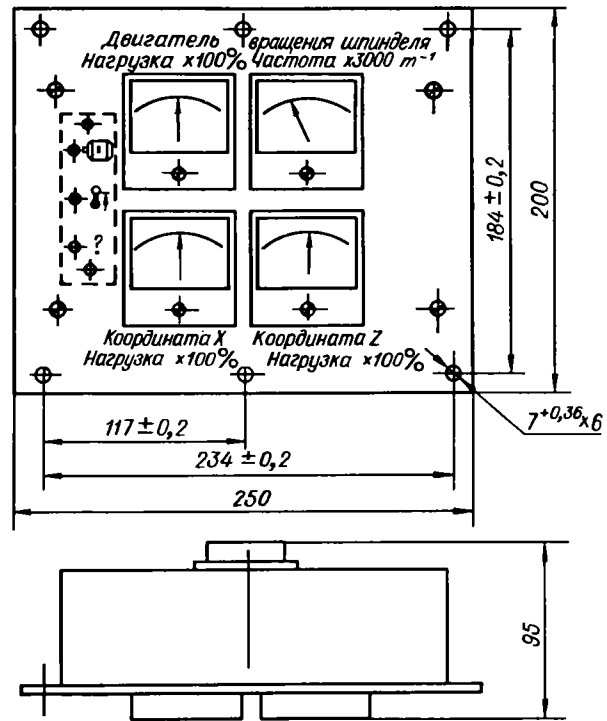


Рис. 9. Габаритные и установочные размеры приборного щитка ШПІІ

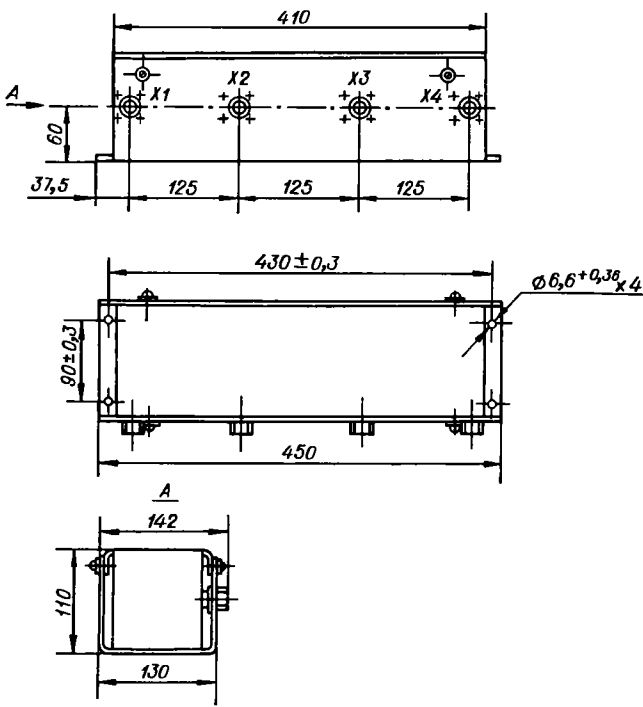


Рис. 10. Габаритные и установочные размеры блока трансформаторов БТ12:  
 X1...X4 - разъемы 2РМ18Б7

## УСТРОЙСТВО И РАБОТА

### Принцип работы электропривода

Электропривод реализован в соответствии с частотно-токовым способом управления. Схема регулятора положения с использованием электропривода подачи приведена на рис. 11.

Асинхронный двигатель М с короткозамкнутым ротором снабжен датчиком положения ДП1 и датчиком температуры ДТ; управление двигателем осуществляется путем задания в его статорные обмотки трехфазной системы токов, создающих в двигателе вращающееся магнитное поле, от взаимодействия которого с током короткозамкнутой обмотки ротора возникает вращающий электромагнитный момент.

Трехфазная система токов формируется транзисторным инвертором с отрицательной обратной связью по выходному току, которая от датчиков тока замыкается через блок регулятора тока РТ8. Его входные

сигналы ТзА и ТзВ определяют амплитуду, фазу и частоту фазных токов асинхронного двигателя М и зависят от величины и знака рассогласования между заданной и фактической частотами вращения ротора двигателя, от абсолютного значения частоты вращения и величины напряжения в силовой цепи инвертора, от температуры обмоток двигателя.

Преобразователи-формирователи необходимых зависимостей между перечисленными параметрами объединены в блоке регулятора скорости РСЗ. На его входы подаются сигнал задания частоты вращения V, импульсный  $\omega_{вр}$  и аналоговый АС сигналы фактической частоты вращения, сигналы задания установки потока (тока возбуждения)  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ , сигналы опорных (несущих) частот.

Сигналы частот вращения  $\omega_{вр}$  и АС и импульсные сигналы перемещения  $\sin$ ,  $\cos$  и НМ формируются из выходного сигнала датчика положения - фазовращателя ФВ67-12-0,16 в блоке преобразования фазы в импульсы ФИИ; сигналы  $\sin$ ,  $\cos$  и НМ могут быть использованы для замыкания контура пути в устройствах числового программного управления УЧПУ, имеющих входы от импульсных датчиков положения.

При анализе процесса регулирования принято трехфазную магнитную систему асинхронного двигателя представлять в виде двухфазной системы, магнитные оси d и q которой взаимно перпендикулярны. Ток статора представляют как вектор, проекция которого на ось d - ток намагничивания, а на ось q - приведенное значение тока ротора (активный ток).

Согласно частотно-токовому способу для управления моментом, развиваемым асинхронным двигателем, необходимо следующее:

1) сформировать задание тока намагничивания (возбуждения) и пропорциональную ему составляющую тока статора;

2) сформировать задание тока ротора  $U_q$  и пропорциональную ему составляющую тока статора;

3) сформировать составляющую частоты токов статора, равную частоте скольжения и определяемую величиной  $\frac{U_q}{U_d} [1 + \alpha (t - t_0)]$ ,

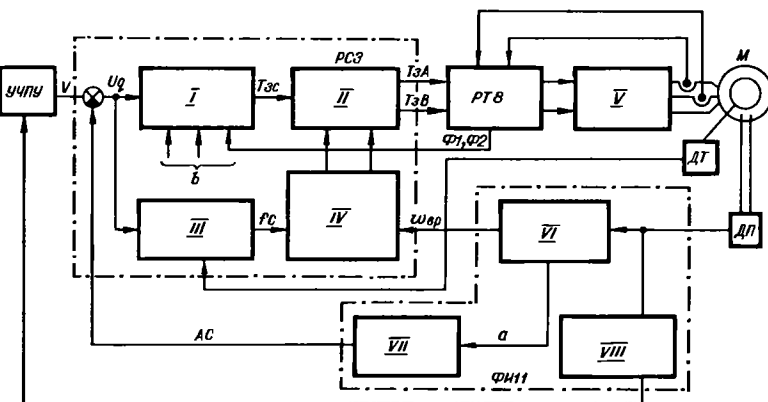


Рис. 11. Структурная схема асинхронного электропривода подачи с частотно-токовым управлением:

I - формирователь амплитуды и фазы тока статора; II - формирователь задания фазных токов; III - формирователь частоты скольжения; IV - сумматор частот и формирователь импульсных сигналов; V - транзисторный инвертор; VI - формирователь частоты вращения; VII - цифроаналоговый преобразователь; VIII - формирователь импульсных сигналов перемещения; РТ8 - трехфазный регулятор тока; а - код; б - сигналы опорных частот

где  $\alpha$  - температурный коэффициент полезного сопротивления обмотки ротора;  
 $t$  - температура обмотки электродвигателя;  
 $t_0$  - уставка, равная 20 °C;  
 4) сформировать сигнал задания тока статора Тэс, амплитуда которого равна

$$\sqrt{K_1 U_d^2 + K_2 U_q^2}, \text{ а фаза } \varphi = \arctg \frac{K_2 U_q}{K_1 U_d},$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты пропорциональности;  
 5) сформировать задание по амплитуде, фазе и частоте фазных токов асинхронного двигателя.

Функциональная схема преобразователя, реализующего эти операции, приведена на рис. 12.

Сигнал Тэс - сумма двух векторов, модули которых пропорциональны сигналам  $U_d$  и  $U_q$ , а оси взаимно перпендикулярны. Векторное суммирование эквивалентно суммированию с помощью операционного усилителя сигналов синусоидальной формы несущей частоты  $\omega = 2\pi \cdot 2000 \text{ с}^{-1}$  ( $\sin \omega t$  и  $\cos \omega t$ ), амплитуды которых соответственно пропорциональны  $U_d$  и  $U_q$ , а фаза  $\varphi$  зависит от их полярности и отношения  $\frac{U_q}{U_d}$ .

Частота тока статора равна алгебраической сумме двух частот, одна из которых пропорциональна частоте вращения ротора  $Pf_{вр}$ , где  $P$  - число пар полюсов асинхронного двигателя, а вторая - частота скольжения  $f_c$ , которая вводится со знаком плюс, когда двигатель должен развивать движущий момент, и со знаком минус, когда двигатель тормозится. В статике знак, с которым учитывается частота скольжения, определяется знаком возмущающего момента со стороны ротора двигателя и противоположен ему для создания компенсирующего момента.

Частота скольжения в асинхронной машине выполняет функцию разложения фазного тока на составляющие: ток возбуждения (намагничивания) и ток, который трансформируется в роторе и создает вращающий момент. Синхронное регулирование сигнала

лом  $U_q$  частоты скольжения и составляющей фазного тока, пропорциональной току ротора, обеспечивает разложение фазного тока на составляющие, заданные сигналами  $U_d$  и  $U_q$ .

При изменении температуры обмотки ротора частота скольжения должна пропорционально изменяться.

В режимах работы с ослаблением потока (уменьшением тока возбуждения) частота скольжения должна зависеть от отношения сигналов  $\frac{U_q}{U_d}$ ,

момент при этом будет изменяться пропорционально  $U_d$ .

Из схемотехнических требований частота токов статора  $Pf_{вр} \pm f_c$  алгебраически суммируется с несущей частотой  $f$ , знак определяется направлением вращения ротора. Кроме того, импульсные сигналы частоты  $f \pm (Pf_{вр} \pm f_c)$  сдвигаются по фазе на  $\frac{2\pi}{3}$  для того чтобы перейти к трехфазной системе, в которой осуществляется задание фазных токов двигателя.

Формирователь частоты скольжения ФЧС, представляющий собой время-импульсное делительное устройство, в котором  $U_q$  - делимое, а сигнал

$$\text{опорного напряжения } U_0 = \frac{K_4 U_d}{1 + \alpha(t - t_0)} - \text{ делитель,}$$

позволяет получить сигнал  $K_5 f_c$ , информационным параметром которого является величина отклонения от 0,5 отношения длительности импульса к периоду. Используя этот сигнал и сигналы стробов (несущих частот), в импульсно-фазовом преобразователе выделяется частота скольжения  $f_c$ .

В области частот вращения, близких к 1500 мин<sup>-1</sup> для двигателей на напряжение 220/380 В и близких к 860 мин<sup>-1</sup> для двигателей на напряжение 380/660 В, амплитудное значение линейного напряжения на двигателе, включенном в звезду, становится близким к напряжению звена постоянного

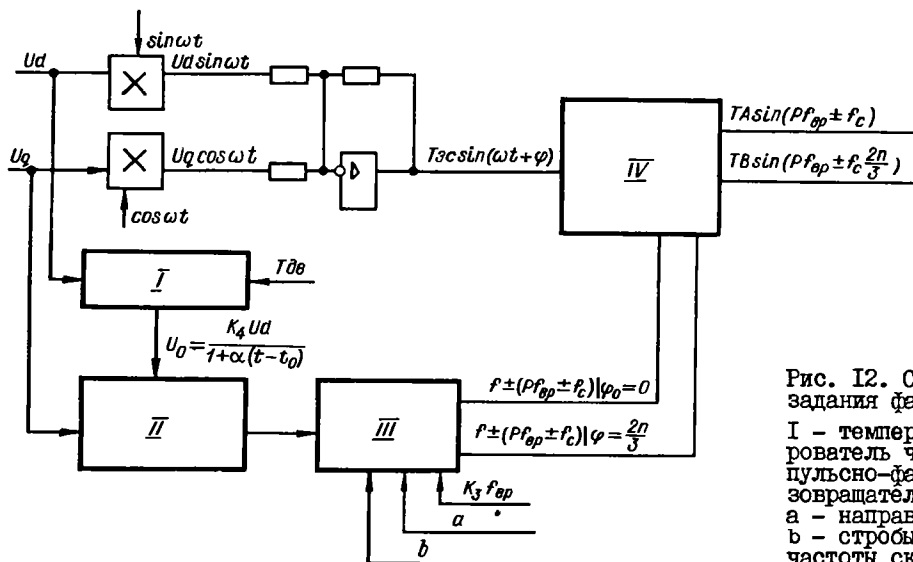


Рис. 12. Схема формирования сигналов задания фазных токов:

I - температурный корректор; II - формирователь частоты скольжения; III - импульсно-фазовый преобразователь; IV - фазовращатель и частотный преобразователь;  $a$  - направление вращения ротора;  $b$  - стробы (несущие частоты для учета частоты скольжения)



тока, поэтому регулирование в области больших частот вращения должно сопровождаться пропорциональным снижением потока. Необходимость в снижении потока возникает также при снижениях напряжения в сети переменного тока.

Электропривод главного движения реализуется на базе асинхронного двигателя 4АБ2П132М4, управление которым осуществляется также в соответствии с частотно-токовым способом. Для получения мощности 11 кВт фазные обмотки двигателя защищены от индивидуальных однофазных мостовых инверторов.

В цепь сигнала задания частоты вращения введен задачник интенсивности, который совместно с ПИ-регулятором выполнен в блоке автоматики главного привода АГ5, сигналы задания величины и частоты фазных токов формируются в блоке задачника токов ЭТ4. Импульсный  $\omega$ вр и аналоговый АС сигналы фактической частоты вращения формируются в блоке измерителя скорости ИС4.

При напряжении 380 В в питающей сети в диапазоне частот вращения от 0 до 1500 мин<sup>-1</sup> регулирование электропривода ведется при постоянстве вращающего момента, а в диапазоне 1500–4500 мин<sup>-1</sup> – примерно с постоянной мощностью.

#### Силовая цепь электропривода

Источник постоянного напряжения (звено постоянного тока) (рис. 13) состоит из блока силового выпрямителя ВС5, LC – фильтра (дроссели L1...L6, конденсаторы С3...С116 в блоке конденсаторов БК41); к сети переменного тока источник подключается через пускатель К3 типа ПМЛ.

Выпрямитель на диодах V1...V6 для вторичного источника питания ИП36 подключается к сети переменного тока (разъему СЕТЬ шкафа) через предохранители F1...F3 блока защиты БЗ2. Такое включение обеспечивает начальный контроль работоспособности блоков управления без подключения силовой цепи инверторов, а также возможность отключения инверторов от сети переменного тока.

Для исключения бросков тока при включении пускателя К3 конденсаторы С3...С116 в течение 4–7 с заряжаются через контакты реле К1 и ограничительные резисторы R6...R8, а контакты пускателя К3.2...К3.4 замыкаются после отключения реле К1.

Конденсаторы С1, С2 фильтра выпрямителя вторичного источника питания ИП36 и С3...С116 фильтра звена постоянного тока связаны через диоды V7, V8 блока БЗ2, что позволяет выравнивать напряжение на последовательно соединенных группах конденсаторов с помощью блока ИП36 и обеспечить питание этого блока при снятии напряжения в сети переменного тока за счет энергии звена постоянного тока.

В аварийных режимах, связанных с замыканием выходных цепей инверторов на корпус, цепь тока замыкается через диоды V1...V4 и конденсатор С117 на время до срабатывания защиты по току инвертора.

В электроприводе предусмотрены следующие виды защиты:

от перегрузки по току инвертора; инвертора от перенапряжений; от угонной скорости; двигателей от перегрева; от превышения вращающего момента; от перегрева при исчезновении вентиляции; привода и механизмов при отключении напряжения питающей сети.

В электроприводе реализованы следующие виды контроля:

функционационирования датчиков тока; источника питания фазовращателя (датчика положения); источников вторичного напряжения по уровню напряжений и по допустимому значению токов нагрузки; источника питания ключей инвертора.

Сигнализация о срабатывании элементов контроля индивидуальная или групповая и реализована на светодиодах, расположенных на печатных платах блоков или на плате индикации приборного щитка ЩП1 (схема ППИ.656514.001 ЭЗ).

### УСТРОЙСТВО И РАБОТА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

#### Транзисторный инвертор

Преобразование постоянного напряжения в регулируемое по частоте и амплитуде трехфазную систему токов для питания асинхронного двигателя осуществляется транзисторным инвертором. Силовая часть инвертора выполнена по мостовой схеме на транзисторных переключателях тока, управление которыми осуществляется замкнутым по току нагрузкой регулятором тока. Переключатели тока поочередно подключают вывод обмотки асинхронного двигателя к положительному либо отрицательному полюсу звена постоянного тока. Переключатели тока защищены от импульсных перегрузок и по максимальному значению тока.

#### Регулятор тока

Функциональная схема регулятора тока приведена на рис. 14. На рисунке сигналы и функциональные группы обозначены символами, принятыми для фазы А; условно примем, что источник звена постоянного тока имеет среднюю точку и индуктивная нагрузка включена между общей точкой токовых прерывателей П1, П2 и средней точкой источника, а сигнал задания тока  $I_{\Sigma A}$  равен нулю.

Нуль-орган АН1 может находиться только в одном из двух устойчивых состояний, например таком, что замкнут прерыватель П1. Ток  $I_{\Sigma A}$  в нагрузке изменяется как показано на диаграммах рис. 15 для интервала  $t_1-t_2$ ; трансформатор тока ТТ4 совместно со схемой измерения тока формируют сигнал тока  $I_{\Sigma A}$  фазы А, среднее значение которого в масштабе 1:90 соответствует току  $I_{\Sigma A}$ , а форма сигнала приведена на диаграмме рис. 15.

Фазовращатель АТ1, выполненный в виде фильтра второго порядка, вносит в сигнал  $I_{\Sigma A}$  некоторое смещение по фазе и подавляет высокочастотные пульсации, а своим выходным сигналом  $I_{\Sigma A}'$  в момент времени  $t_2$  (перехода синусоиды  $I_{\Sigma A}'$  через нуль) переключает нуль-орган АН1; далее процессы повторяются.

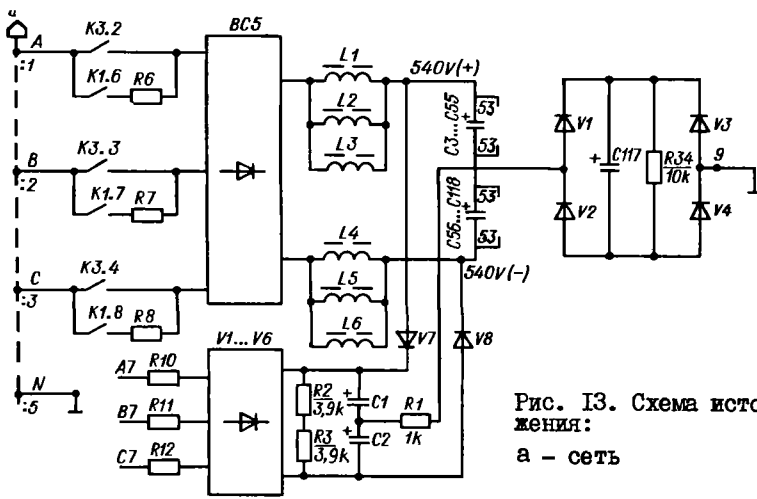


Рис. 13. Схема источника постоянного напряжения:  
а - сеть

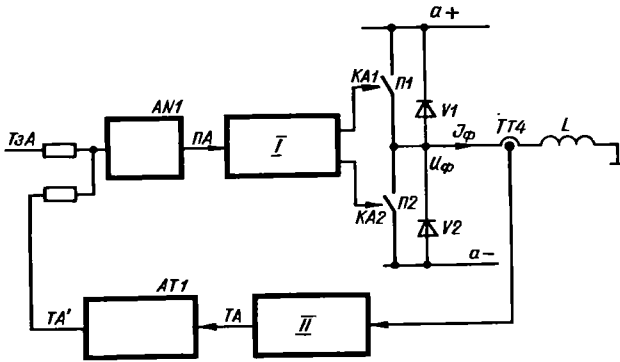


Рис. 14. Функциональная схема регулятора тока:  
I - схема управления; II - схема измерения тока;  
а - шина; AN1 - нуль-орган; AT1 - фазовращатель

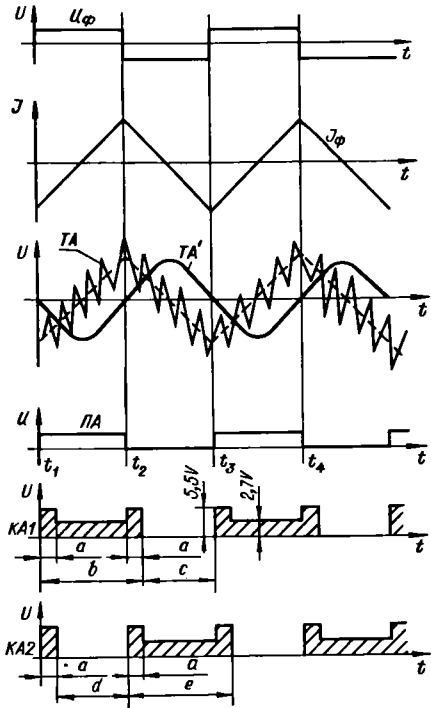


Рис. 15. Диаграмма сигналов регулятора тока:  
а - пауза; б - отключенное состояние П2;  
с - включенное состояние П2; д - включенное состояние П1; е - отключенное состояние П1

Приведенный на рис. 14 регулятор тока - это своеобразный автогенератор, частота генерации которого определяется частотой (около 3 кГц), на которой фазовращатель АТ1 создает фазовый сдвиг в 90 электрических градусов.

Пульсации тока  $I_{\phi}$  с частотой генерации ограничены и определяются напряжением на выходе звена постоянного тока и индуктивностью рассеяния обмотки двигателя.

Для входных сигналов ТзА с частотой, низкой по сравнению с частотой генерации, обратная связь в рассмотренном контуре отрицательная, благодаря чему поддерживается пропорциональность между сигналом ТзА и средним значением тока  $I_{\phi}$ ; пульсирующая составляющая тока  $I_{\phi}$  практически постоянна.

Для исключения сквозных токов по плечу моста переключение осуществляется в следующей последо-

вательности: размыкается замкнутый прерыватель - выдержка времени - замыкается разомкнутый прерыватель. Управление прерывателя П1 и П2 с соблюдением указанной последовательности выполняют формирователи сигналов управления КА1, КА2 (КВ1, КВ2, КС1, КС2) в блоке регулятора тока. Уровни сигналов КА1, КА2 для управления прерывателями с оптронами на входе указаны на рис. 15.

Прерыватели П1 и П2 шунтированы возвратными диодами V1, V2 для создания цепи для тока через индуктивность при размыкании прерывателя.

Трехфазный регулятор тока привода подачи состоит из двух рассмотренных регуляторов (в фазах А и В) и третьего, отличающегося от них отсутствием трансформатора тока ТТ4, схемы измерения тока и фазовращателя АТ1. Регулятор в фазе С управляется инверсным сигналом с выхода нуль-органа АН3,

на входе которого сравниваются сигналы суммы  $T_{3A}+T_{3B}$  и суммы  $T_{A'}+T_{B'}$  (в симметричной трехфазной схеме включения и питания нагрузки без нулевого провода сумма двух фазных токов равна третьему).

Трехфазный регулятор тока главного привода содержит три независимых регулятора тока, силовой элемент которых выполнен по однофазной мостовой схеме.

#### Датчик тока

Измерение тока в фазе осуществляется с помощью датчика тока, построенного по принципу магнитного компаратора (рис. 16). Магнитное поле, созданное измеряемым током (фазным током двигателя), компенсируется полем тока, протекающего по компенсационной обмотке  $W_k$  трансформатора тока ТТ4. При равенстве ампер-витков намагничивания и компенсационных ток в обмотке  $W_k$  в масштабе 1:90 пропорционален измеряемому току. Компенсационный ток создает падение напряжения на измерительном резисторе  $R_6 \parallel R_2$ , которое используется как выходной сигнал датчика тока. Величина напряжения на измерительном резисторе пропорциональна измеряемому току, а полярность этого напряжения зависит от направления тока.

Компенсационный ток формируется импульсным усилителем мощности на транзисторах, управление которыми осуществляется по производной от э.д.с. самоиндукции на обмотке  $W_k$ .

Э.д.с. зависит не только от изменения тока в обмотке, но и от изменения величины индуктивности обмотки и ее производной. Индуктивность максимальна, когда результирующий магнитный поток в сердечнике равен нулю, и минимальна, когда сердечник насыщен. Если при компенсации происходит процесс перехода из одной области насыщения (условно положительных значений индукции) в другую область насыщения, то в средней точке индуктивного делителя, образованного индуктивностями дросселя и компенсационной обмотки, возникают пульсации напряжения, которые выделяются дифференцирующей RC - цепью и вызывают переключения компаратора. Выходной сигнал компаратора через схему управления и импульсный усилитель мощности изменяет направление пульсирующей составляющей

компенсирующего тока; следующее переключение произойдет при подходе к области насыщения сердечника, и таким образом в схеме поддерживаются колебания с частотой около 30 кГц. Длительность полупериодов автоматически устанавливается такой, что постоянная составляющая тока в обмотке создает ампер-витки, равные ампер-виткам измеряемого тока.

Если по какой-либо причине суммарные ампер-витки намагничивания выводят сердечник далеко в область насыщения, и процесс идет в сторону их возрастания, то он будет продолжаться до тех пор, пока падение напряжения на измерительном резисторе от компенсирующего тока не вызовет пробоя стабилизатора  $V_1$ , подключенного ко входу компаратора (на рис. 16 не показан). Ток через стабилизатор вызовет переключение компаратора и произойдет смена направления перематывания, которое будет продолжаться до равенства ампер-витков намагничивания и компенсационных, то есть до возникновения устойчивых высокочастотных колебаний.

Датчик тока имеет коэффициент передачи от измеряемого тока к выходному сигналу, равный 0,1 В/А в диапазоне токов от 60 А до минус 60 А. При токах, превышающих 60 А, устанавливаются колебания с частотой 1,5 кГц; частота колебаний в этом режиме определяется индуктивностью дросселя, напряжением питания усилителя мощности и напряжением пробоя стабилизатора  $V_1$ .

#### Трехфазный регулятор тока привода подачи

На рис. 17 приведена функциональная схема инвертора, силовая часть которого выполнена по трехфазной мостовой схеме, а управление прерывателями осуществляется от трехфазного регулятора тока (блок РТ8).

В блоке размещены схемы трех регуляторов и двух датчиков тока. Сигналы задания тока и обратной связи по току фазы С получают суммированием соответствующих сигналов фаз А и В, а результат сравнения при управлении полумостом фазы С инвертируется (в симметричной трехфазной цепи вектор тока третьей фазы равен сумме двух других и имеет противоположное направление).

На диаграммах рис. 18 приведены эпюры мгновенных значений фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$  на выходе инвертора, пульсации фазных токов  $I_{фA}$ .

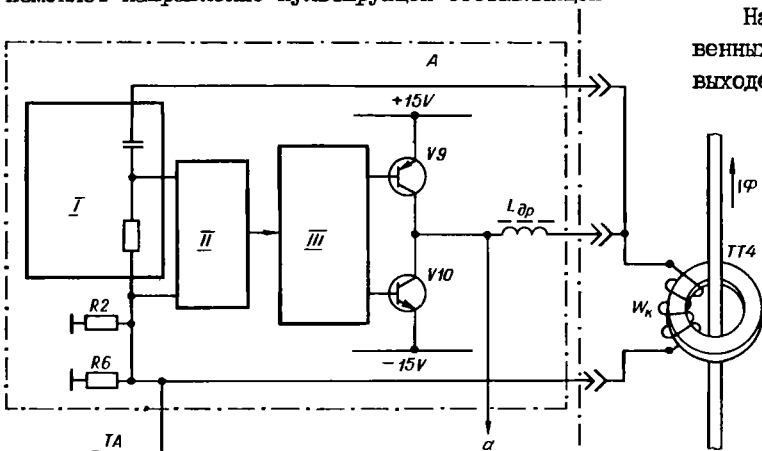


Рис. 16. Функциональная схема датчика тока:

I - дифференцирующая цепь; II - компаратор; III - схема управления; А - импульсный усилитель; а - на схему контроля функционирования

ИФВ, ИФС, соответствующих им пульсирующих составляющих в сигналах ТА, ТА', ТВ, ТВ' и промежуточных сигналов управления полумостами ПА, ПВ, ПС на выходе нуль-органов АН1...АН3 (частота сигналов около 3 кГц). Пульсирующая составляющая фазного тока накладывается на основную, заданную сигналами ТзА и ТзВ; амплитудное значение пульсации не более 1,5 А.

В сигналах управления прерывателями инвертора (рис. 17) исключены состояния, вызывающие одновременное подключение выводов обмотки двигателя к одному полюсу звена постоянного тока. В контрольном режиме коммутация прерывателей инвертора осуществляется принудительно сигналами Ак, Вк и Ск, обратная связь регулятора по току при этом разомкнута.

Наибольшая мощность на транзисторах прерывателя выделяется в моменты коммутации. Для защиты транзисторов в схеме формирования сигналов управления введено ограничение по минимальной длительности выключенного состояния (не менее 55 мкс), длительность включенного состояния не менее 25 мкс, длительность паузы между моментами отключения одного прерывателя и включением другого 15 мкс.

Приемником сигналов управления силовыми ключами КА1, КА2 (КВ1, КВ2, КС1, КС2) являются излучающие диоды оптопар в блоках ключа силового КС12. Излучающие диоды включены параллельно и встречно относительно друг друга и оба подключены к выходам источников сигналов КА1 и КА2. Прерыватель П1, связанный с шиной 540 В (+), включен, если  $\overline{КА1} \cdot \overline{КА2} = 1$ , а П2 - если  $\overline{КА1} \cdot КА2 = 1$ ; при  $\overline{КА1} \cdot КА2 = 1$  оба прерывателя разомкнуты.

Состояние сигналов КА1, КА2, КВ1, КВ2, КС1, КС2 зависит от внешних управляющих сигналов: сигнала установки при включении питания Уст.0, сигнала аварийного токового отключения инвертора АТ, сигнала запрета управления инверторами приводов подачи ЗУИП, а также от сигнала функционирования датчиков тока ФДТ. При отключении входных цепей сигналов Уст.0, АТ от источника минус 15 В или при появлении лог. "1" на входе сигнала ЗУИП, или при возникновении состояния лог. "0" в сигнале ФДТ сигналы управления силовыми ключами КА1, КА2, КВ1, КВ2, КС1, КС2 блокируются. Состояние лог. "0" сигнала ФДТ свидетельствует об отключениях режимов работы датчиков тока от допустимых или о наличии тока более 60 А в контролируемой цепи. В обоих случаях частота генерации в схеме датчика тока становится менее 20 кГц и по этому признаку частотный дискриминатор в схеме контроля функционирования датчика тока формирует сигнал ФДТ (лог. "0"). Это состояние индицируется светодиодом V23, который подключен к триггеру ЗА.

Свечение светодиода V23 свидетельствует о неисправности датчиков тока, а в сочетании со свечением соответствующего светодиода в блоке контроля токов КТ7 - о перегрузке инвертора по току.

Начальное состояние триггера ЗА устанавливается при включении питающих напряжений сигналом Уст.0.

### Трехфазный регулятор тока главного привода

На рис. 19 приведена функциональная схема инвертора главного привода. Питание каждой фазной обмотки электродвигателя осуществляется от однофазного мостового инвертора; управление инверторами осуществляется индивидуальными, не связанными между собой, регуляторами тока, размещенными в блоке РТ9.

Независимое регулирование тока в каждой фазной обмотке электродвигателя позволяет получить на нагрузке большую мощность. Необходимая симметрия по амплитуде и фазе в трехфазной системе токов обеспечивается сигналами задания и точностью датчиков и регуляторов тока.

В однофазном инверторе одновременно коммутируются прерыватели П1 и П2 разных блоков КС12. Управление прерывателями в обоих блоках КС12 осуществляется от одного источника сигнала КА1, КА2 (КВ1, КВ2, КС1, КС2), необходимая цепь прохождения сигналов обеспечивается включением соответствующих входов блока КС12 (управляющий ток задается в два последовательно соединенных излучающих диода оптопар схем управления U1 и U2 разных блоков КС12).

Для упрощения схемы контроля токов в полумостах инверторов их силовые выводы включены как показано на рис. 19.

### Ключ силовой КС12

В блоке КС12 реализован транзисторный полумост для инвертора, который обеспечивает коммутацию токов до 25 А при напряжении питания до 675 В.

Полумост содержит два силовых прерывателя с индивидуальными схемами управления U1 и U2 (рис. 20).

Силовые прерыватели выполнены на транзисторах КТ839А, включенных по схеме Дарлингтона. Каждый прерыватель содержит четыре параллельно включенных транзистора, которые управляются эмиттерным током двух входных транзисторов того же типа.

Через диод V13 замыкается отрицательная обратная связь по напряжению насыщения (рис. 20), поэтому транзисторы прерывателей работают в активной области, что обеспечивает оптимальные показатели по быстродействию и тепловым потерям. Статические падения напряжений на силовых транзисторах не превышают 3,5 В при токе 20 А.

Для ограничения импульсов обратного тока через возвратные диоды V24, V32 в схеме питания силовых ключей имеются магнитосвязанные дроссели L1.1 и L1.2, шунтированные резисторами через развязывающие диоды V25, V33. При этом включение

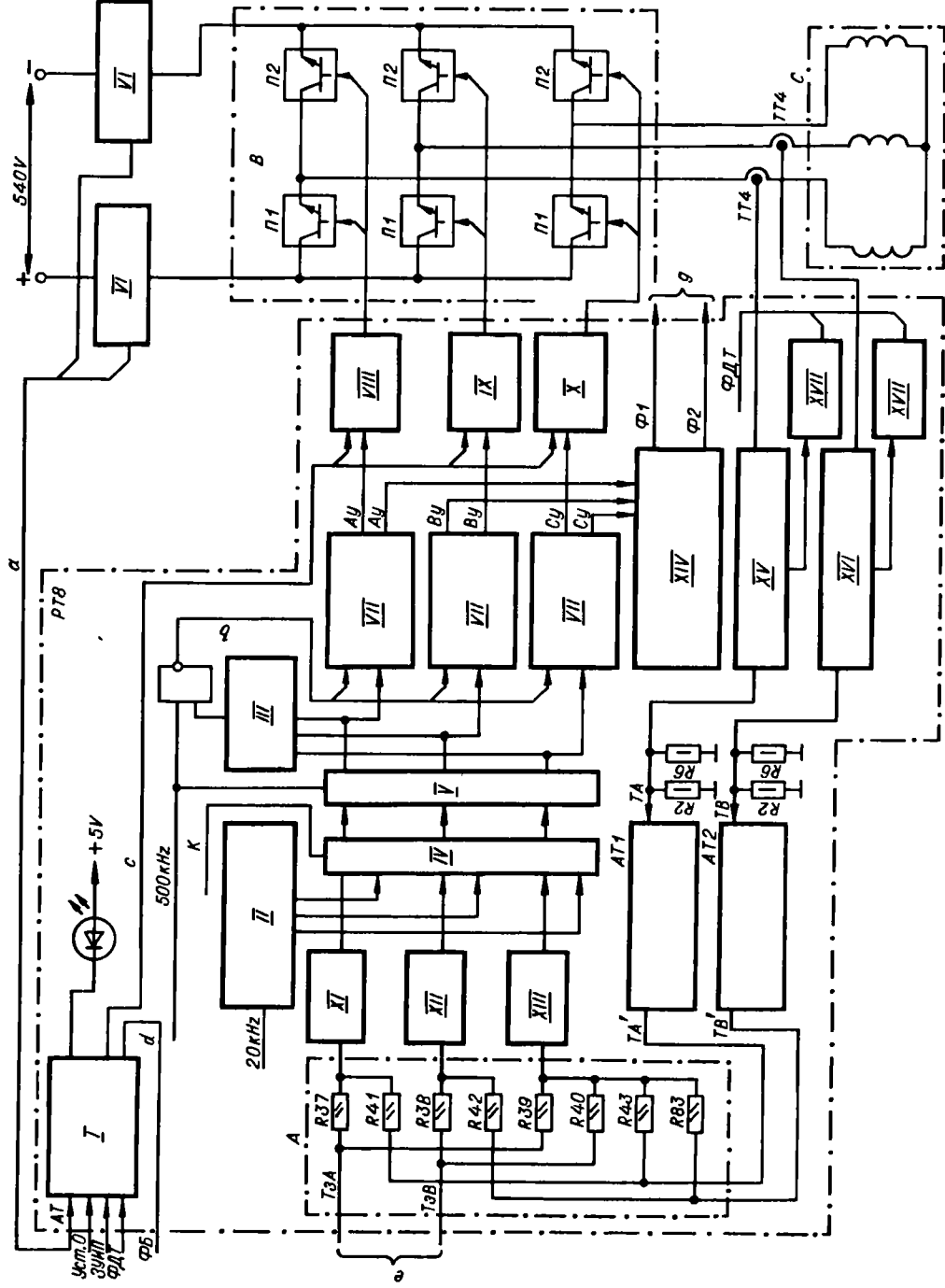


Рис. 17. Функциональная схема трехфазного регулятора тока привода подачи:

I - схема блокировки управления; II - трехфазный формирователь тестовых сигналов; III - дешифратор кодов "111", "000"; IV - схема выбора режима; V - схема синхронизации; VI - схема контроля тока; VII - схемы формирования сигналов; VIII - выходные элементы (фаза A); IX - выходные элементы (фаза B); X - выходные элементы (фаза C); XI - нуль-орган (фаза A); XII - нуль-орган (фаза B); XIII - нуль-орган (фаза C); XIV - схема контроля напряжения на фазах электродвигателя и задание

уставки потока; XV - импульсный усилитель датчика тока фазы A; XVI - импульсный усилитель датчика тока фазы B; XVII - схемы контроля; A - схема сравнения; B - инвертор; C - нагрузка; K - сигнал контрольного режима; а - из блока КТ7; б - сигнал защиты информации; с - блокировка управления преобразователем; д - из блока РС3; е - из блока РС3; г - в блок РС3; АТ1 - фазовращатель (фаза A); АТ2 - фазовращатель (фаза B)

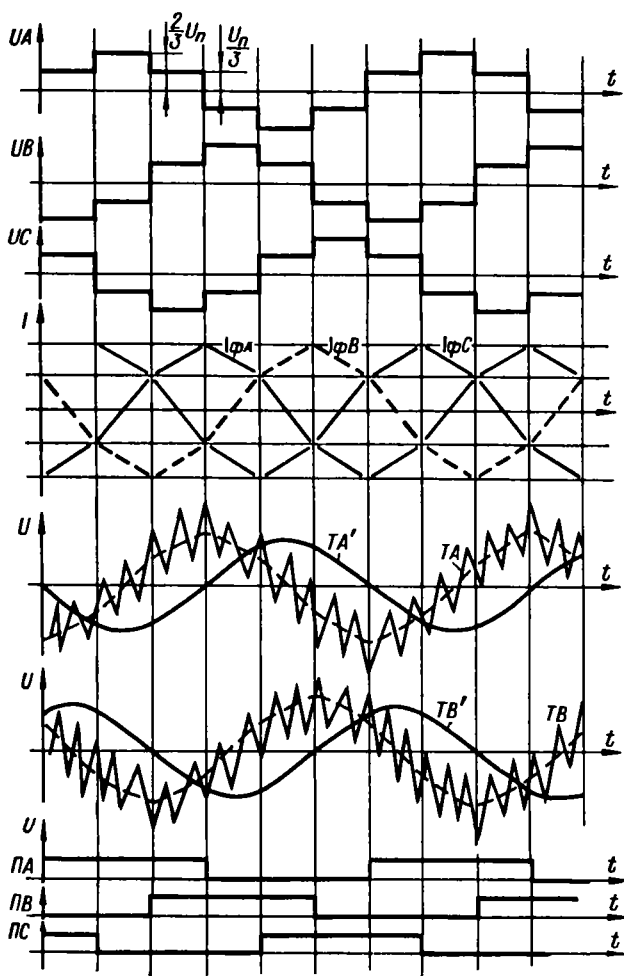


Рис. 18. Диаграммы сигналов трехфазного регулятора тока

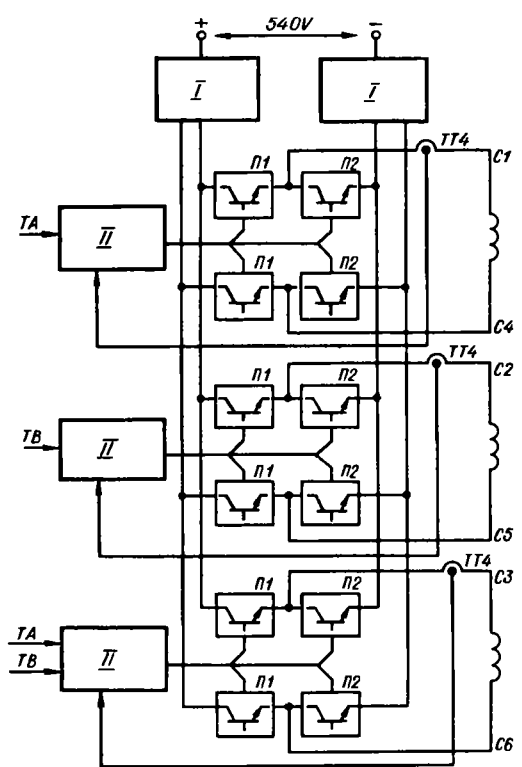


Рис. 19. Функциональная схема трехфазного регулятора тока главного привода:

I - схема контроля тока; II - регулятор тока

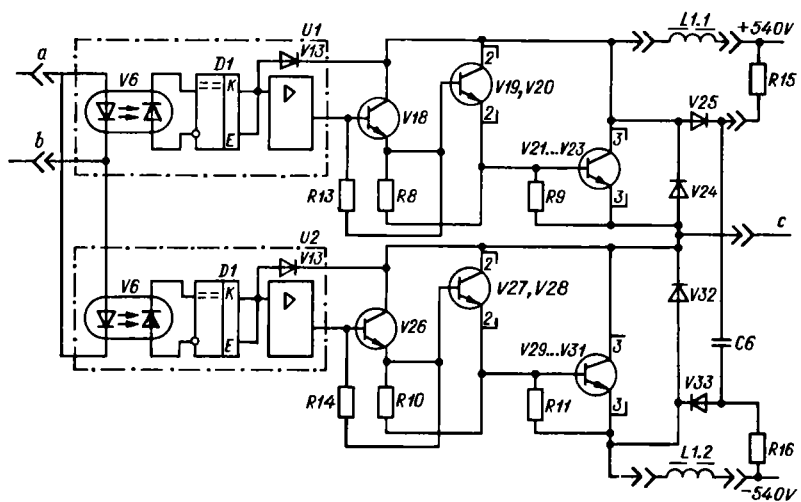


Рис. 20. Функциональная схема полу-моста инвертора:

a - вход I; b - вход 2; c - выход;  
U1, U2 - схемы управления

транзисторов V18...V23 происходит при отсутствии тока в дросселе L.1; скорость нарастания тока рассасывания заряда диода V32 ограничена индуктивностью величиной  $3,5L$ , где  $L$  — индуктивность одной катушки дросселя, равная  $33 \text{ мкГн}$ . При отключении транзисторов ток, протекающий через дроссель, замыкается через диод V25, резистор R15 и конденсатор C6. Время спада тока в дросселе L1.1 не превышает  $50 \text{ мкс}$ . Конденсатор C6 защищает транзисторы от перенапряжений, обусловленных индуктивностями соединительных проводников и резисторов R15, R16. Аналогичные процессы происходят при включении и отключении транзисторов V26...V31.

Управление состояниями ВКЛЮЧЕНО и ОТКЛЮЧЕНО прерывателей производится с помощью идентичных схем управления U1 и U2, которые состоят из последовательно включенных диодной оптотары V6, компаратора D1 и усилителя на транзисторах V8, V11, V12, V15...V17. Схемы управления размещены на откидной печатной плате.

Диодная оптотара обеспечивает гальваническую развязку силовых цепей и цепей управления. При токе  $I_5 \text{ мА}$  через входной, излучающий диод оптотары, смещенный в прямом направлении, на выходе оптотары возникает ток, создающий во входной цепи компаратора D1 на нагрузке  $I \text{ кОм}$  напряжение около  $75 \text{ мВ}$ .

На входе компаратора D1 для защиты от помех включены равные по сопротивлению резисторы R1, R2 и R3, R4. При входном сигнале, большем напряжения смещения (около  $10 \text{ мВ}$ ), на выходе D1:2 формируется сигнал положительной полярности, который через усилитель на транзисторах V8, V11, V12, V15...V17 открывает силовые транзисторы; при входных сигналах, меньших напряжения смещения транзисторы V20...V23 заперты за счет обратного смещения перехода база-эмиттер напряжением минус  $4,5 \text{ В}$ .

Для контроля состояний ВКЛЮЧЕНО и ОТКЛЮЧЕНО силовых транзисторов их коллекторы через диод V14, резистор R7 и светодиод V10 подключены к цепи  $7 \text{ В}$ . Если силовые транзисторы находятся в состоянии ВКЛЮЧЕНО, по этой цепи протекает ток и вызывает свечение светодиода V10; при переключении транзисторов с частотой работы инвертора яркость свечения уменьшается.

Напряжения  $7 \text{ В}$  и минус  $7 \text{ В}$  для питания схем управления получают двухполупериодным выпрямлением (диоды V2...V5, конденсаторы C4, C5) переменного напряжения прямоугольной формы частотой около  $800 \text{ Гц}$  и амплитудой  $I_5 \text{ В}$ .

Уровень выходного сигнала компаратора D1, достаточный для задания необходимого базового тока транзисторов V18...V20 (V26...V31), формируется, если компаратор D1 подключен к дополнительному источнику напряжения  $8,5 \text{ В}$  (диод V1, конденсатор C1).

В трехфазном мостовом инверторе привода подается сигнал о величине тока, протекающего в цепи  $540 \text{ В}(+)$  или  $540 \text{ В}(-)$ , снимается с соответствующего шунта R18...R21 в блоке защиты БЗ2. Полученный сигнал сравнивается в блоке контроля токов КТ7 с уставкой максимально допустимого значения тока и при токе через шунт, превышающем это значение, формируется сигнал аварийного токового отключения инвертора АТ. Сигналом АТ через блок регулятора тока РТ8 все прерыватели соответствующего инвертора устанавливаются в состояние ОТКЛЮЧЕНО.

Схема измерения тока гальванически развязана от цепей блоков управления инверторами посредством трансформатора Т1 в блоке БЗ2 и диодных оптотар V13, V14 в блоке КТ7.

В инверторе главного привода полумосты по силовой цепи объединены так, что образуют 2 группы по 3 полумоста, ток контролируется в каждой цепи  $540 \text{ В}(+)$  и  $540 \text{ В}(-)$  каждой группы, а выходной сигнал АТ формируется общим.

#### Блок контроля токов КТ7

Схемы измерения токов и сравнения с уставками в цепях  $540 \text{ В}(+)$  и  $540 \text{ В}(-)$  одинаковы по структуре и содержат шунты R14, R16, R18, R20 (R15, R17, R19, R21), расположенные в блоке БЗ2, генератор токов уставки GН1 (GН2), компараторы UN1...UN4 (UN5...UN8). Из выходных сигналов компараторов через диодную оптотару V13 или V14 оптронным изолятором UN1 по схеме ИЛИ формируются сигналы АТ.

Питание групп измерителей тока осуществляется гальванически развязанными источниками напряжения U1 или U2, выполненными по схеме двухполупериодного выпрямителя со средней точкой и емкостным фильтром на выходе. Средняя точка источника (вывод 7 или вывод 10 трансформатора Т1 в блоке БЗ2) соединена с соответствующей шиной  $540 \text{ В}(+)$  или  $540 \text{ В}(-)$ .

Генератор токов уставки выполнен на транзисторной сборке D1. Транзисторы сборки соединены по схеме "токового зеркала" (рис. 21).

Сущность "токового зеркала" заключается в том, что при идентичности параметров транзисторов VT2 и VT3, коллекторный ток J1(+) транзисто-

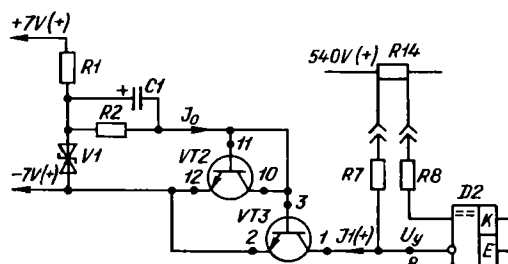


Рис. 21. Схема "токового зеркала"

ра VT3 равен току  $J_0$ , задаваемому в транзистор VT2. Ток через транзистор VT2 задается цепочкой R2, C1 от параметрического стабилизатора на стабилитроне V1. Во время нарастания напряжения 7 В(+) через транзистор VT2 протекает ток заряда конденсатора C1, который превышает номинальное значение  $J_0$  и обеспечивает установку исходного состояния компараторов тока. В установившемся режиме ток  $J_0$  (ток  $J1(+)$  соответственно) определяется резистором R2 и предназначен для создания напряжения уставки  $U_y$  за счет падения напряжения от тока  $J1(+)$  на резисторе R7 компаратора тока.

Ток  $J1(+)$  замыкается по цепи 540 В(+) - R7 - VT3 - минус 7 В. Для получения токов уставки  $J2(+)$ ,  $J3(+)$ ,  $J4(+)$  параллельно переходу база-эмиттер VT3 подключаются переходы база-эмиттер транзисторов VT5, VT4 и VT1 транзисторной сборки.

Компараторы D2 типа K554CA3B в схемах компараторов тока UN1...UN8 управляются разностью напряжения  $U_{ш}$  на шунте от тока в соответствующей цепи инвертора и напряжения  $U_y$  на резисторе R7 от тока уставки. Компараторы D2 оквачены цепью нелинейной положительной обратной связи через резистор R9 и диод V7, фиксирующей аварийное состояние в цепях инвертора ( $U_{ш} \geq U_y$ ), так что последующее изменение соотношения напряжений на обратное ( $U_{ш} \leq U_y$ ) не вызывает изменения состояния компаратора. Установка компаратора в начальное состояние, соответствующее состоянию  $U_{ш} \leq U_y$ , осуществляется подачей питающих напряжений.

Аварийное состояние индицируется светодио-дом V6, обозначение которого на плате состоит из порядкового номера инвертора (1, 2, 3 или 4) и обозначения полярности цепи "+" или "-", например, "2+".

Напряжение  $U_y$  устанавливается равным 150 мВ (соответствует току 40 А), допустимое отклонение от 5 до минус 5 %.

В контрольном режиме с помощью переключателя S1 или S2 напряжение  $U_y$  может быть уменьшено примерно в два раза. Это позволяет проверить функционирование цепи защиты путем пуска или торможения двигателя.

Оптранный изолятор сигнала AT содержит две диодные оптопары V13 и V14, излучающие диоды которых соединены с соответствующими выходными цепями двух или одного компараторов тока, а диоды - приемники подключены к компараторам D3, D4, входные цепи которых с целью защиты от помех выполнены симметричными по входному сопротивлению. Выходные транзисторы компараторов D3 и D4 соединены последовательно и при аварийном токе по цепям 540 В(+) или 540 В(-) разрывают цепь от источника минус 15 В к нагрузке.

В нормальном режиме через излучающий диод оптопары протекает ток, который в приемной цепи

создает напряжение, большее напряжения смещения, и выходные транзисторы компараторов открыты. При аварийном отключении ток, заданный через резистор R11 (R12) в излучающий диод, замыкается через выход компаратора D2, поэтому ко входу компараторов D3 или D4 приложено напряжение смещения, близкое к 22 мВ (падение напряжения на резисторах R13, R14 или R15, R16, заданное от источников 15 В и минус 15 В с помощью резисторов R17, R18 или R19, R20).

### Измеритель напряжения на нагрузке инвертора

При формировании токов двигателя, изменяющихся по амплитуде от нуля до максимального значения, по мере возрастания частоты вращения у сигналов на выходе нуль-органов регуляторов тока изменяется скважность, поэтому сигналы могут использоваться для получения информации о соотношении напряжений на выходе звена постоянного тока и на нагрузке. Уставкой предельного значения скважности выбирается такое соотношение напряжений, при котором в нагрузке формируется требуемое максимальное значение темпа изменения тока. Сигнал о работе инвертора в зоне, близкой к установленному значению скважности, используется для формирования такого значения потока (тока возбуждения) двигателя, при котором выдерживается допустимое соотношение между напряжениями.

Формирователи AU1...AU3 (рис. 22) сигнала напряжения, эквивалентного фазному напряжению  $U_{дв}$  двигателя, из импульсов управления полумостами инвертора  $A_y$ ,  $B_y$ ,  $C_y$  формируют сигналы в виде напряжений, изменяющихся относительно уровня минус 5 В от нуля до минус 10 В. Эти сигналы имеют частоту, близкую к удвоенной частоте вращения, синусоидальную форму и образуют трехфазную систему (рис. 23).

$$\text{При изменении отношения } Q = \frac{t_{\text{имп}}}{T} \cdot 100 \%,$$

где  $t_{\text{имп}}$  и  $T$  - соответственно длительности импульса и периода сигнала  $A_y$  ( $B_y$ ,  $C_y$ ), от 50 до 100 % значения напряжения выходных сигналов формирователей AU1...AU3, фиксируемые по минимуму  $U_{\min}$  и максимуму  $U_{\max}$  изменяются от минус 5 В соответственно до 0 В и минус 10 В (рис. 23). Делители на резисторах R67...R72 в блоке РТ8 или на резисторах R69...R72 в блоке РТ9, включенные относительно 0 В и минус 10 В, смещают характеристики сигналов  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  на выходе выпрямителя соответственно в область меньших и больших значений. Из выходных сигналов делителей усилитель разностного сигнала на своих выходах формирует сигналы управления током возбуждения  $\Phi 1$  и  $\Phi 2$ . На рис. 24 приведены диаграммы сигналов измерителя напряжения в главном приводе, а на рис. 25 - в приводе подачи.

Диаграммы сигналов  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$ ,  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$  в функции частоты вращения приведены на рис. 26. С



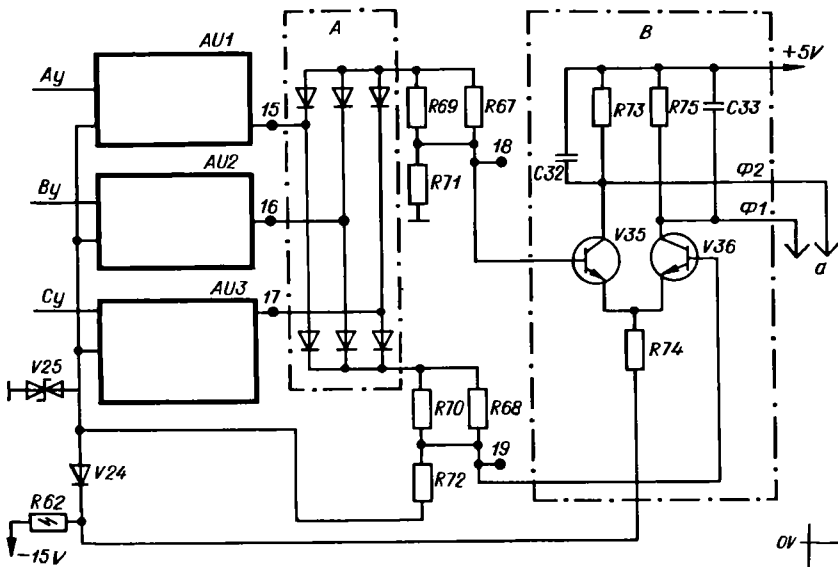


Рис. 22. Функциональная схема измерителя напряжения на нагрузке инвертора:

A - выпрямитель; B - усилитель разностного сигнала; AU1 - формирователь сигналов  $U_{дв}$  (фаза A); AU2 - формирователь сигналов  $U_{дв}$  (фаза B); AU3 - формирователь сигналов  $U_{дв}$  (фаза C); а - в блок РСЗ(ЗТ4)

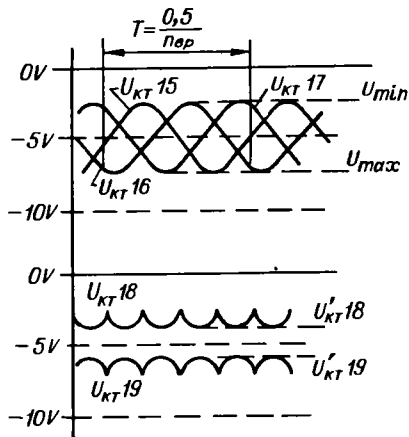


Рис. 23. Диаграмма сигналов в контрольных точках I7...I9 на выходе формирователей

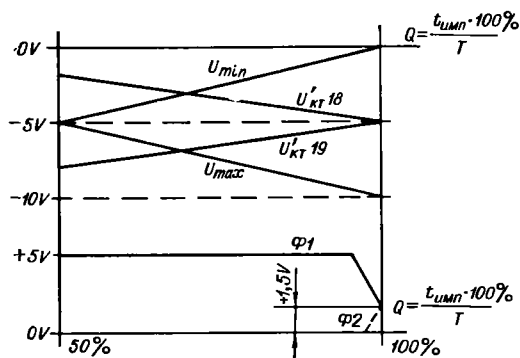


Рис. 24. Диаграммы сигналов измерителя напряжений в главном приводе

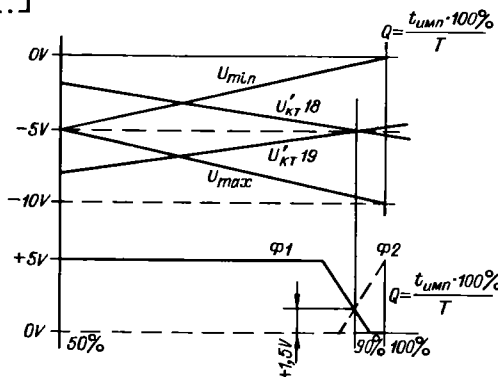


Рис. 25. Диаграммы сигналов измерителя напряжений в приводе подачи

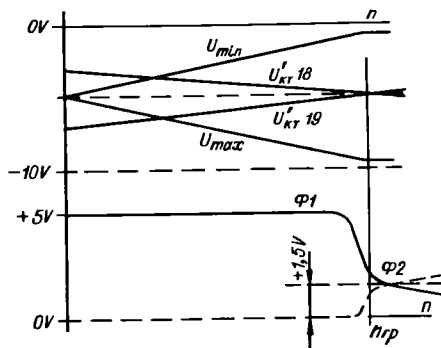


Рис. 26. Диаграммы сигналов  $U_{max}$ ,  $U_{min}$ ,  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$  в функции частоты вращения:  $n_{гр}$  - граничная частота

### Защита инверторов от перенапряжений

Напряжение звена постоянного тока (на выходе конденсаторов С3...С108 блока БК4I) при торможении двигателей может превышать значение выпрямленного напряжения. Это превышение напряжения тем больше, чем сильнее отличается сумма мощностей потерь в двигателях, потерь в инверторах и потребляемой мощности источников вторичного питания от мощности, развиваемой двигателями при их торможении. В электроприводе мощности выравниваются путем подключения балластных резисторов R4...R13 и R14...R23 блока БК4I к конденсаторам

СЗ...СП16; подключение осуществляется через ключ разрядный КР9, который управляется сигналом разряда конденсаторов РК. Сигналом РК прерыватели П1 и П2 блока КР9 переводятся в состояние ВКЛЮЧЕНО, если напряжение достигает 650 В, и в состояние ОТКЛЮЧЕНО, если напряжение становится менее 625 В. Сигнал РК формируется в блоке источника питания ИП36.

Суммарная номинальная мощность балластных резисторов R4...R13 и R14...R23 значительно меньше выделяемой на них мощности от разрядного тока, поэтому допускается лишь кратковременное включение прерывателей. Балластные резисторы размещены в канале вентиляции и контролируются по температуре корпуса. Сигнал от датчика температуры (терморезисторы R32, R33) при перегреве балластных резисторов выдается в блок автоматики и питания датчиков АП5 и вызывает отключение силовых цепей электропривода от сети переменного тока.

### Ключ разрядный КР9

Блок КР9 содержит два прерывателя с индивидуальными схемами управления U1 и U2 (рис. 27) и обеспечивает коммутацию токов до 25 А.

Прерыватели выполнены на транзисторах КТ839А, включенных по схеме Дарлингтона.

Через диод V13 замыкается отрицательная обратная связь по напряжению насыщения, поэтому транзисторы прерывателей работают в активной области, что обеспечивает оптимальные показатели по быстродействию и тепловым потерям. В области насыщения через диод V13 и силовые транзисторы отводится избыточный ток управления транзисторами V18, V19 (V25, V26).

Управление состояниями ВКЛЮЧЕНО и ОТКЛЮЧЕНО прерывателей производится с помощью идентичных схем управления U1 и U2, которые состоят из последовательно включенных диодной оптопары V6, компаратора D1 и усилителя на транзисторах V8, V11, V12, V15...V17. Схемы управления размещены на отдельной печатной плате.

Диодная оптопара обеспечивает гальваническую развязку силовых цепей и цепей управления.

При токе I5 mA через входной, излучающий диод оптопары, смещенный в прямом направлении, на выходе оптопары возникает ток, создающий во входной цепи компаратора на нагрузке I кОм напряжение около 75 мВ.

На входе компаратора D1 с целью защиты от помех включены равные по сопротивлению резисторы R1, R2 и R3, R4. При входном сигнале, большем напряжения смещения (около 2I мВ) на выходе D1:2 формируется сигнал положительной полярности, который через усилитель на транзисторах V8, V11, V12, V15...V17 открывает силовые транзисторы; при входных сигналах, меньших напряжения смещения, транзисторы V18...V23 (V25...V30) заперты за счет обратного смещения перехода база-эмиттер напряжением минус 4,5 В.

Провода силовых цепей и балластных резисторов обладают индуктивностью. Для исключения перенапряжений на силовых транзисторах при переходе в состояние ОТКЛЮЧЕНО переход коллектор-эмиттер шунтирован цепочкой диод V24 - конденсатор C6 (диод V31 - конденсатор C7). При включении прерывателя конденсатор C6(C7) разряжается через резистор R10(R13).

Для контроля состояний ВКЛЮЧЕНО и ОТКЛЮЧЕНО силовых транзисторов их коллекторы через диод V14, резистор R7 и светодиод V10 подключены к цепи 7 В. Если силовые транзисторы находятся в состоянии ВКЛЮЧЕНО, по этой цепи протекает ток и вызывает свечение диода V10.

Источник питания схем управления и компаратора D1 аналогичен источнику блока КС12.

### Регулятор скорости РС3

Блок РС3 используется в приводе подачи и предназначен:

1) для сравнения аналоговых сигналов заданной и фактической частоты вращения и формирования сигнала задания момента на валу двигателя (промежуточного сигнала);

2) для формирования сигналов T3A, T3B задания токов фаз А и В;

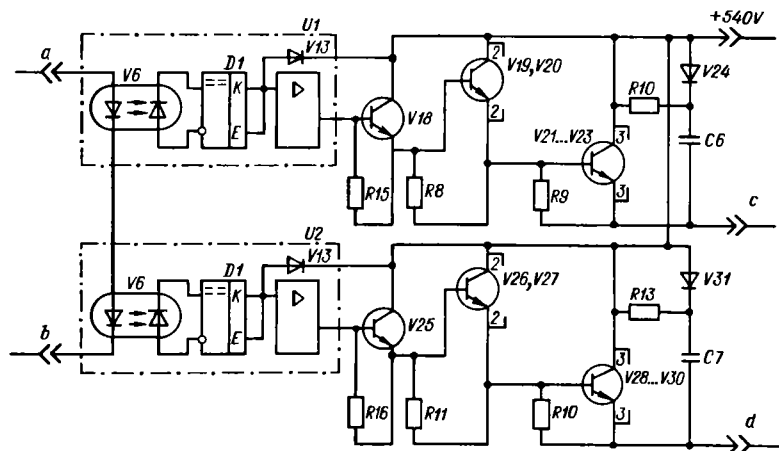


Рис. 27. Функциональная схема разрядного ключа КР9:  
а - вход I; б - вход 2; с - выход I;  
д - выход 2; U1, U2 - индивидуальные схемы управления

3) для формирования сигнала перегрева двигателя ЦД;

4) для формирования сигнала М, пропорционального моменту на валу двигателя;

5) для контроля функционирования контура регулирования частоты вращения.

Функциональная схема блока приведена на рис. 28. Сравнение сигналов заданной  $V$  и фактической АСЧ частоты вращения, выделение сигнала ошибки (разности) между ними осуществляется усилителем регулятора скорости УРС, выполненным по схеме ПИ-регулятора на основе операционного усилителя D1. Постоянная времени ПИ-регулятора выбрана такой, что при отработке двигателем скачкообразного изменения сигнала заданной частоты вращения  $V$  перерегулирование составляет не более 15%; перерегулирование уменьшается при сопряжении двигателя с нагрузкой за счет увеличения момента инерции, приведенного к валу двигателя.

Выходной сигнал ПИ-регулятора является сигналом задания момента  $U_q$  и ограничен на уровне 5 В, что соответствует заданию максимального момента; этот же сигнал поступает на вольтметр приборного щитка ШПД для индикации в относительных единицах величины нагрузочного момента на двигатель. Отклонению стрелки вольтметра до цифры 1 соответствует номинальное значение момента.

Сигнал запрета управления приводом подачи ЗУП позволяет разорвать цепь сигнала  $V$  в аварийных режимах или при необходимости отключить приводы подачи. Сигналом запрета управления инвертором приводов подачи ЗУИП исключается интегральная составляющая в сигнале  $U_q$  путем шунтирования конденсатора  $C_9$  транзистором  $V_5$ , что предотвращает накопление заряда (из-за неидеальности усилителя D1), который бы создавал возмущение при включении привода подачи.

Нулевые цепи источников сигналов заданной, фактической частот вращения и УРС всех приводов подачи объединены (цепь ОРС) и подключены к шине 0 В в одной точке блока КЦБ. Такое подключение уменьшает влияние разности потенциалов в нулевых цепях на вход УРС.

Сигнал задания тока статора  $T_{эс}$  получают как сумму двух гармонических составляющих  $\sin \text{IФВ}$  и  $\cos \text{IФВ}$ , амплитуда первой составляющей пропорциональна току возбуждения (поток) асинхронного двигателя и регулируется сигналами Ф1 и Ф2; амплитуда второй составляющей пропорциональна току ротора, задается сигналом  $U_q$  и определяет (совместно с частотой скольжения) величину и направление момента, развиваемого асинхронным двигателем. При суммировании синусоидальных сигналов с разностью фаз  $\frac{\pi}{2}$  получают результирующий сигнал, амплитуда которого равна  $\sqrt{A_B^2 + A_P^2}$ , а фаза равна  $\arctg \frac{A_P}{A_B}$ .

Амплитуда первой составляющей  $A_B = U_B \cdot \gamma(U_d) \cdot R_{70}$ , где  $U_B$  - амплитуда сигнала  $\sin \text{IФВ}$ , равная 8,4 В;  $\gamma(U_d)$  - эквивалентная проводимость Т-образной цепи (резистор  $R_{28}^*$ , полевые транзисторы D4.1 и D4.2), включенной на входе усилителя D14 и являющейся функцией сигнала  $U_d$ ;

$R_{70}$  - величина сопротивления обратной связи усилителя D14. Амплитуда второй составляющей  $A_P = U_q \cdot \frac{R_{70}}{R_{68}^*}$ , где  $R_{68}^*$  - величина сопротивления резистора  $R_{68}^*$ , зависящая от типа асинхронной машины. Суммирование таких гармонических составляющих эквивалентно векторному суммированию сигналов  $U_d$  и  $U_q$ . Регулирование составляющей  $A_B$  в функции сигнала  $U_d$ , представленного из схематических со-

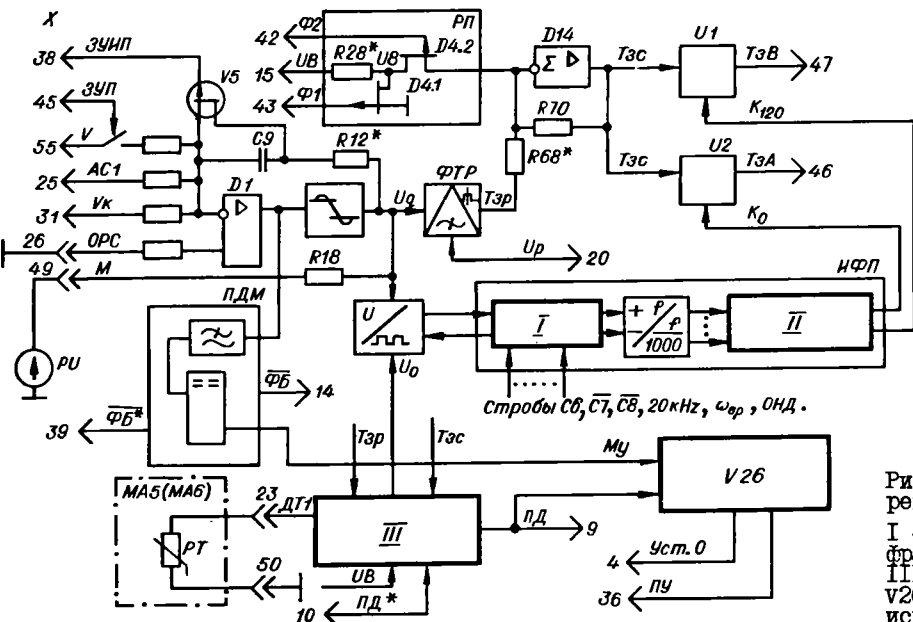


Рис. 28. Функциональная схема регулятора скорости РС3:  
I - синхронизатор; II - дешифратор-формирователь;  
III - температурный корректор;  
V26 - светодиод (индикация неисправности)

образений сигналами  $\Phi I$  и  $\Phi 2$ , осуществляется путем изменения сопротивления канала исток-сток полевых транзисторов D4.1 и D4.2; максимальное значение составляющей  $A_B$  соответствует состоянию  $\Phi I=5$  В,  $\Phi 2=0$  В (транзистор D4.1 заперт, транзистор D4.2 открыт), а минимальное значение составляющей -  $\Phi I=1$  В,  $\Phi 2=2$  В.

Вторую составляющую, сигнал задания тока ротора  $T_{\text{р}}$ , с амплитудой, равной  $U_q$ , получают с помощью формирователя токов ротора ФТР; ФТР выполнен по схеме модулятора с отрицательной обратной связью по амплитудному значению выходного сигнала, фаза сигнала  $T_{\text{р}}$  определяется полярностью сигнала  $U_q$ : при положительной полярности сигнала  $U_q$  фазы опорного сигнала  $U_p(\cos IQB)$  и выходного сигналов совпадают, а при отрицательной - противоположны.

Интегратор, выполненный на усилителе D6, выполняет роль компаратора напряжений на его входах и фильтра сигнала с выхода фазочувствительного выпрямителя ФЧВ (схема на элементах D8, D9, V12, R47...R53). Выходной сигнал интегратора воздействует на сопротивления каналов полевых транзисторов D5.1, D5.2, включенных в противоположные плечи моста сопротивлений и изменяет напряжение баланса моста таким образом, чтобы на выходе усилителя D7 амплитуда сигнала  $T_{\text{р}}$  была равна  $U_q$ .

Коэффициент преобразования опорных синусоидальных сигналов в составляющие  $A_B$  и  $A_p$  сигнала  $T_{\text{с}}$  зависит от типа, схемы включения и номинального напряжения асинхронного двигателя; номинальное значение коэффициента задается величинами резисторов R26\* и R68\*.

Сигналы задания фазных токов  $T_{\text{зА}}$ ,  $T_{\text{зВ}}$ , разность фаз которых равна  $\frac{2\pi}{3}$ , а величина изменяется по синусоидальному закону с частотой  $f_{\text{вр}} \pm f_c$ ,

где  $p$  - число пар полюсов асинхронного двигателя;

$f_{\text{вр}}$  - частота вращения ротора;

$f_c$  - частота скольжения,

получают с помощью фазовых детекторов U1 и U2 (рис. 28). На их входы подаются синусоидальный сигнал ( $T_{\text{с}}$ ) частоты 2 кГц и сигнал  $K_0$  ( $K_{I20}$ ), частота которого  $2 \text{ кГц} \pm (p f_{\text{вр}} \pm f_c)$ , а скважность равна 2.

Формирование сигнала  $T_{\text{зА}}$  ( $T_{\text{зВ}}$ ) в виде напряжения синусоидальной формы с частотой  $p f_{\text{вр}} \pm f_c$  поясняется функциональной схемой фазового детектора ФД и диаграммами, приведенными на рис. 29.

ФД состоит из фазочувствительного выпрямителя ФЧВ и активного фильтра низкой частоты. Сигнал  $T_{\text{с}}$  поступает на вход ФЧВ, одновременно сигнал  $K_0$  ( $K_{I20}$ ) управляет ключом ФЧВ, попеременно его открывая и закрывая, при этом на выходе ФЧВ формируется напряжение, постоянная составляющая которого меняется по синусоидаль-

ному закону с частотой  $p f_{\text{вр}} \pm f_c$ , а активный фильтр низкой частоты выделяет эту синусоиду, подавляя высокочастотные составляющие выходного сигнала ФЧВ. Отметим, что на диаграмме рис. 29 в сигнале  $T_{\text{зА}}$  ( $T_{\text{зВ}}$ ) не показан фазовый сдвиг, вносимый активным фильтром. Так как управляющие сигналы  $K_0$  и  $K_{I20}$  отличаются по фазе на  $120^\circ$ , то и выходные сигналы  $T_{\text{зА}}$  и  $T_{\text{зВ}}$  соответствующих ФД формируются сдвинутыми по фазе тоже на  $120^\circ$ .

Составляющая сигналов  $K_0$  и  $K_{I20}$ , содержащая частоту скольжения  $f_c$ , формируется в виде импульсов частотой  $f_c \pm f_c$ , где  $f_c=2$  кГц, путем преобразования сигнала  $U_q$  в широтно-импульсный сигнал ШИС и регулирования этим сигналом среднего количества дополнительных импульсов, суммируемых (или вычитаемых) с импульсами опорной частоты 2 МГц (строб С6). Указанные импульсы, в том числе и импульсы строба С6, проходят через делитель частоты импульсно-фазового преобразователя ИФП с коэффициентом деления 1000.

Схема преобразователя сигнала  $U_q$  в широтно-импульсный сигнал приведена на рис. 30.

Преобразователь сигнала  $U_q$  в ШИС представляет собой время-импульсный делитель напряжений и содержит интегратор D15, компаратор D16, триггер-синхронизатор ЗВ, устройство умножения напряжения на знак, состоящее из двухпозиционного переключателя на транзисторах V17, V18, операционного усилителя D17 с резисторами R84, R86.

При нулевом значении сигнала  $U_q$  в схеме устанавливаются колебания с частотой около 1,7 кГц и скважностью 2. При положительном значении сигнала  $U_q$  длительность импульса  $T$  увеличивается, а при отрицательном - уменьшается. Период колебаний  $T$  пропорционален соотношению  $\frac{4 \cdot R74 \cdot R77 \cdot C30}{R78}$ ,

где R74, R77, R78 - величины сопротивлений резисторов R74, R77, R78;

C30 - величина емкости конденсатора C30.

Величина напряжения  $U_0$  и отношение величин сопротивлений резисторов  $\frac{R77}{R78}$  определяют порог сра-

батывания компаратора D16, поэтому период колебаний  $T$  почти не зависит ни от напряжения  $U_0$ , ни от напряжения сигнала  $U_q$ .

Сигналы  $U_q$  и  $U_0$  связаны с длительностью импульса  $T$  соотношением  $\frac{U_q}{U_0} = \frac{T}{T} - 0,5$ , поэтому отклонение значения  $T$  от величины  $0,5T$  содержит информацию об отношении  $\frac{U_q}{U_0}$ .

Триггер ЗВ используется для синхронизации фронтов ШИС импульсами 10 кГц.

Регулирование среднего количества импульсов  $N_t$ , проходящих через делитель частоты ИФП и определяющих значения частоты выходного сигнала  $f_c \pm f_c$ , поясняется рис. 31.

Делитель частоты выполнен в виде реверсивного счетчика объемом 1000 бит. Частота выходного сигнала делителя  $f_{\text{вых}} = \frac{N_t}{1000T_0}$ , число импуль-

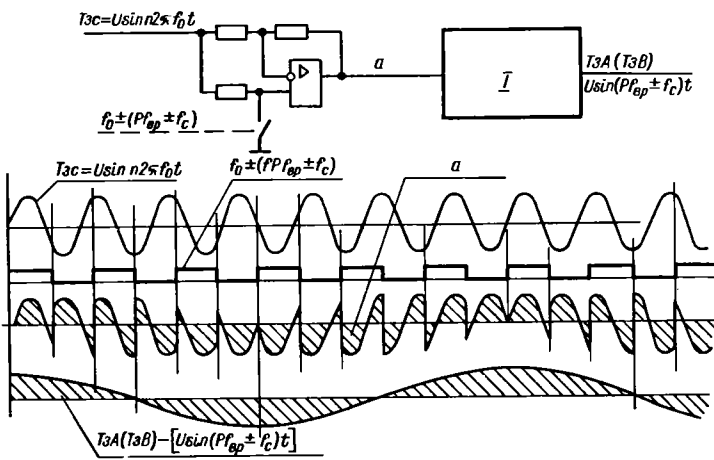


Рис. 29. Функциональная схема фазового детектора:

I - активный фильтр низкой частоты; а - выход ФЧВ

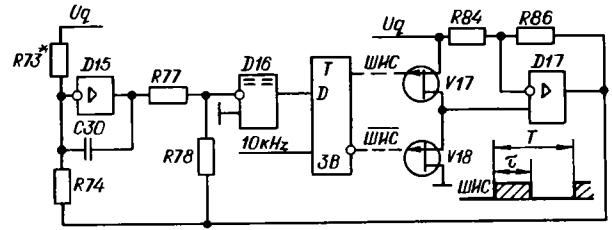
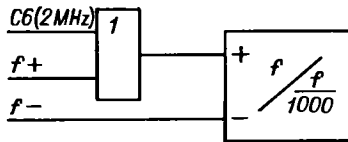


Рис. 30. Схема преобразователя сигнала  $U_q$  в широтно-импульсный сигнал



Значение частоты скольжения  $f_c$  должно корректироваться при изменении температуры двигателя в соответствии с выражением  $\frac{U_q}{U_d} [1 + \alpha(t - t_0)]$ ,

поэтому вход опорного напряжения  $U_0$  преобразователя используется как вход делителя для коррекции частоты скольжения в функции температуры, а также в режимах с регулированием потока. Напряжение  $U_0 = \frac{U_d \cdot K_4}{1 + \alpha(t - t_0)}$  формируется в схеме температурного корректора ТК (рис. 32).

Из сигнала  $T_{\omega c}$  вычитают сигнал  $T_{\omega r}$ , получают составляющую задания тока возбуждения  $T_{\omega v}$  в виде сигнала синусоидальной формы, пропускают этот сигнал через фазочувствительный выпрямитель и фильтр низкой частоты (элементы D10, D11, V13, V14, R56...R58, C25) и получают на выходе D11 постоянное напряжение, равное  $U_d$ .

Схема на усилителе D12 и резисторах R59...R63 реализует:

1) приведение экспоненциальной характеристики терморезистора, установленного в асинхронном двигателе, к функции вида  $\frac{K_4}{1 + \alpha(t - t_0)}$  на входе усилителя, где  $K_4$  - коэффициент, равный 0,62;

2) формирование результирующего напряжения

$$U_0 = 2,32 \cdot U_d \cdot \frac{K_4}{1 + \alpha(t - t_0)}$$

Перегреву двигателя  $t - t_0 = 100^\circ\text{C}$  соответствует изменение выходного напряжения от  $U_0$  до  $0,7 U_0$ ; номинальное значение напряжения  $U_d$  выбрано равным 1,65 В, а  $U_0$  - соответственно 2,36 В.

Конденсатор C26 включен для фильтрации помех, возникающих в цепи сигнала от датчика температуры ДТ1.

Составляющую  $Pf_{вр}$  сигнала  $K_0 (K_{I20})$  получают путем деления импульсного сигнала частоты вращения ротора  $\omega_{вр}$ . Этот сигнал подается по входам "С+I" или "С-I" делителя с помощью стро-ба С8 в моменты, когда импульсы стробов С6 и С7 отсутствуют.

Управление подключением импульсов  $\omega_{вр}$  ко входам "С+I" или "С-I" делителя осуществляется

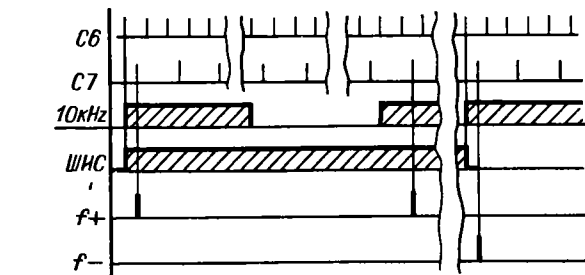


Рис. 31. Делитель частоты импульсно-фазового преобразователя и диаграммы его входных сигналов

сов:

$$N_T = \frac{T_0}{T_{C6}} + \left( \frac{\tilde{t}}{T_{IO \text{ кГц}}} - \frac{T - \tilde{t}}{T_{IO \text{ кГц}}} \right) = \frac{T_0}{T_{C6}} + \frac{2\tilde{t} - T}{T_{IO \text{ кГц}}}$$

где  $T_0$ ,  $T_{C6}$ ,  $T_{IO \text{ кГц}}$  - периоды повторения соответственно импульсов частоты 2 кГц, стро-ба С6 и частоты 10 кГц.

Импульсы частоты  $f_+$  формируются при единичном уровне сигнала ШИМС, их число определяется отношением  $\frac{\tilde{t}}{T_{IO \text{ кГц}}}$ , а импульсы  $f_-$  формируются

при нулевом уровне сигнала ШИМС, и их число определяется отношением  $\frac{T - \tilde{t}}{T_{IO \text{ кГц}}}$ .

$$\text{Таким образом, } f_{\text{вых}} = f_0^+ (f_+ - f_-) = f_0^+ f_c$$

При  $\tilde{t} = 0,5T$ , что соответствует нулевому значению сигнала  $U_q$ , частота  $f_{\text{вых}} = f_0$ , так как  $f_+$  и  $f_-$  равны; при отклонениях длительности  $\tilde{t}$  от значения  $0,5T$ , то есть при изменении  $U_q$ , частота  $f_{\text{вых}}$  будет изменяться на величину, пропорциональную изменению  $U_q$  - частоту скольжения  $f_c$ . Значение частоты скольжения  $f_c$  определяется выражением

$$f_c = \frac{U_q \cdot R74}{U_0 \cdot R73 \cdot T_{IO \text{ кГц}} \cdot 10^3} \text{ Гц.}$$

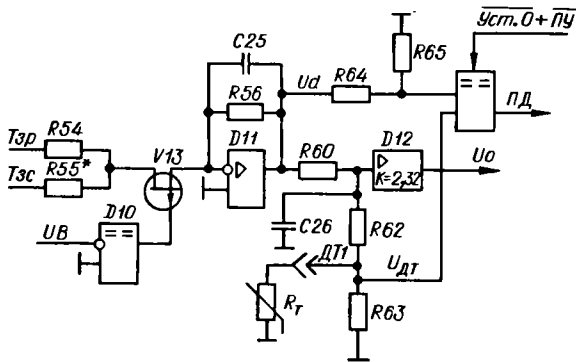


Рис. 32. Схема температурного корректора

сигналом отрицательного направления движения фазы выходного сигнала фазовращателя ОНД.

В блоке формируются следующие сигналы контроля: сигнал функционирования блока ФБ и сигнал перегрева двигателя ПД.

Сигнал ФБ формируется в функции от уровня напряжения на выходе усилителя D1 УРС. При нормальном функционировании электропривода в установившемся режиме уровень напряжения на выходе D1:10 не превышает 2,5 В при нагрузке двигателя моментом, не превышающим допустимое значение для соответствующей частоты вращения (ФБ в состоянии лог. "0"). При скачкообразном изменении напряжения задания частоты вращения или нагрузки усилитель может входить в насыщение (напряжение до 13–15 В) на время переходного процесса, которое не должно превышать 200 мс. Более длительное пребывание усилителя D1 в насыщении свидетельствует о перегрузке или о выходе из строя элементов контура регулирования частоты вращения, при этом через 200–600 мс формируется сигнал ФБ в виде логической единицы.

Сигнал ФБ формируется схемой двухпорогового компаратора на элементе D3 с RC-фильтром на входе.

Сигнал ПД (лог. "1") формируется компаратором D13, если соотношение  $\frac{U_d \cdot R_{65}}{U_{дт} \cdot (R_{64} + R_{65})}$  более или равно I,

что соответствует температуре обмоток двигателя, большей 150 °С. Компаратор выполнен с гистерезисом, обратное переключение происходит при подаче сигнала  $\overline{Уст.0} + ПУ$ .

Сигналы контроля индицируются светодиодом V26. Сигнал о неисправности контура регулирования частоты вращения передается на светодиод через триггер 2С, начальное состояние которого устанавливается или сигналом  $\overline{Уст.0}$ , или сигналом повторной установки ПУ

#### Задатчик токов ЗТ4

Блок ЗТ4 используется в схеме главного привода и реализует следующие функции:

1) формирование амплитуды, частоты и фазы сигналов задания токов ТзА, ТзВ фаз А и В соответственно;

2) формирование сигнала перегрева двигателя ПД;

3) контроль главного привода по превышению максимальной частоты вращения.

Схемы формирования сигналов ТзА, ТзВ и ПД идентичны схемам блока РС3. Исключение составляют схемы регулятора потока РП и температурного корректора ТК. В схеме РП резистор R14 ограничивает на уровне 1:2 диапазон изменения составляющей, пропорциональной току возбуждения. В схеме ТК изменением коэффициента передачи усилителя D11 (элементы V1, R15...R17) в функции величины выходного сигнала учитывается нелинейность кривой намагничивания магнитопровода двигателя.

Сигнал задания момента  $U_d$  формируется в блоке АП5 и ограничен на уровне 5 В, что соответствует 125 % номинального момента.

Главный привод, кроме обычных схем контроля, дополнен схемой контроля превышения максимальной частоты вращения. Этот контроль введен для исключения длительного вращения на частотах, превышающих  $6000 \text{ мин}^{-1}$  и опасных как для двигателя, так и механизма. Схема контроля приведена на рис. 33 и состоит из последовательно включенных схем смесителя, полосового фильтра и компаратора. Смеситель (микросхема KI55LAI1) из сигналов 2 кГц и  $K_0$  выделяет сигнал разностной частоты, абсолютное значение которой равно  $f_{вр} - f_c$ .

Фильтр с резонансной частотой от 160 до 240 Гц формирует на своем выходе синусоидальный сигнал, амплитуда которого при совпадении разностной частоты с резонансной достаточна для срабатывания компаратора. Выходной сигнал компаратора поступает на выход блока в качестве сигнала  $\overline{ФБ}$  и через триггер 2С на светодиод V26. Начальное состояние триггера 2С устанавливается или сигналом  $\overline{Уст.0}$ , или сигналом ПУ.

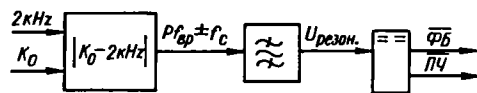


Рис. 33. Формирователь сигнала превышения максимальной частоты вращения

Блок автоматики и питания датчиков АП5

Блок АП5 реализует следующие функции:

1) формирование сигналов опорных частот 32 мГц, 500 кГц, 20 кГц, 2 кГц, стробов С6, С7, С8, сигнала зона нуль-метки ЗНМ;

2) формирование синусоидальных напряжений  $\sin I_{ФВ}(U_v), \cos I_{ФВ}(U_p)$  частотой 2 кГц и с разностью фаз  $\pi/2$ , которые используются для питания фазовращателей и в качестве опорных – в формирователе задания тока статора Тзс в блоках РС3 и ЗТ4;

3) логическую обработку диагностических сигналов от блоков электропривода, формирование циклов включения и отключения электропривода.

Функциональная схема блока АП5 приведена на рис. 34.

Генератор со стабилизацией частоты с помощью кварцевого резонатора формирует импульсы 32 МГц, из которых путем деления по частоте и логических преобразований промежуточных сигналов формируются сигналы стробов С6, С7, С8, опорных частот 500 кГц, 20 кГц, 2 кГц, сигнал зоны нуль-метки ЗНМ.

Формирователь эталонных синусоидальных сигналов ФЭСС выполнен в виде системы автоматического регулирования фазы (САРФ) на основе активного фильтра (рис. 35, 36). Активный RC - фильтр на операционных усилителях обеспечивает выделение первой гармоники из сигнала прямоугольной формы 2 кГц и ослабление других гармонических составляющих так, что коэффициент нелинейных искажений выходных синусоидальных сигналов не превышает 0,15 %.

Емкость конденсатора С7 и величина индуктивности L1 эквивалентной схемы фильтра определяют его резонансную частоту  $\omega_r \frac{2\pi}{T_r}$ ,

где  $T_r$  - период резонансной частоты. При совпадении периодов  $T_r$  и сигнала 2 кГц происходит максимальное усиление первой гармоники: коэффициент передачи на резонансной частоте (добротность)  $Q = \omega_r \cdot R_{I7} \cdot C_7$ . Индуктивность L1 имитируется цепью, образованной инвертором (R21-D2-R23), интегратором (R27-D3-C14) и эквивалентным сопротивлением цепи, включенной между выходом усилителя D3 и инвертирующим входом усилителя D1 (величина этого эквивалентного сопротивления зависит от напряжения на затворе V5). Ток, протекающий через это эквивалентное сопротивление, отстает по фазе от напряжения  $U_1$ , что равносильно включению индуктивности в обратной связи усилителя D1.

Фильтр представляет собой комплексное сопротивление и в зависимости от соотношения частот  $\omega_r$  и первой гармоники сигнала 2 кГц вносит некоторый фазовый сдвиг, причем, при совпадении частот вносимый фазовый сдвиг равен нулю и коэффициент передачи максимален. Это свойство активного фильтра используется для поддержания максимального коэффициента передачи путем точной фазовой синхронизации сигналов 2 кГц и  $U_1$ .

Синхронизацию сигналов 2 кГц и  $U_1$  обеспечивают элементы автоматической подстройки фазы АПФ. К ним относится (рис. 35) фазовый компаратор ФК, выполненный на D-триггере, фильтр низкой частоты ФНЧ, формирователь Ф и транзистор V5.

D-триггер определяет фазовые соотношения (опережение или отставание) между его входными сигналами (на входах D и C). Фильтр и элементы автоматической подстройки фазы образуют релейную систему автоматического регулирования фазы САРФ. Возникающие в САРФ колебания поддерживают

среднее значение разности фаз между сигналами 2 кГц и  $U_1$ , равное нулю, при весьма малых амплитудах отклонения фазы от нулевого значения. Перепады выходного напряжения триггера, возникающие в процессе работы САРФ, с помощью ФНЧ с постоянной времени  $\tau \gg \frac{1}{\omega_r}$  преобразуются в напряжение,

средний уровень которого зависит от скважности импульсов на выходе триггера. Это напряжение определяет величину сопротивления канала исток-сток транзистора V5, следовательно, воздействует на значение индуктивности L1, что эквивалентно воздействию на частоту настройки активного фильтра. Триггер включен так, что получаемое из-

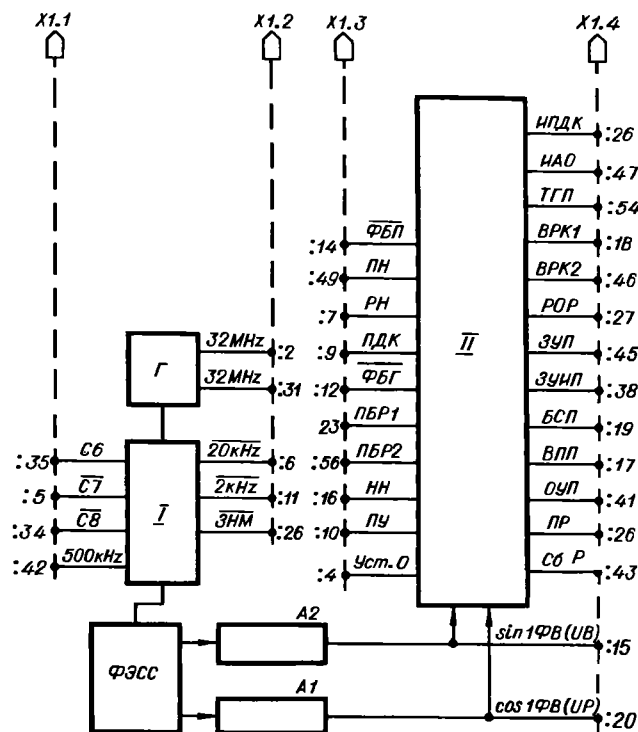


Рис. 34. Функциональная схема блока АП5: А1, А2 - усилители; I - формирователь; II - схема контроля и автоматики

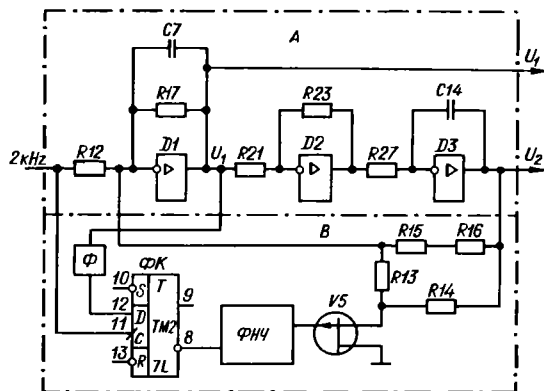


Рис. 35. Формирователь эталонных синусоидальных сигналов:

A - активный фильтр; B - элементы АПФ

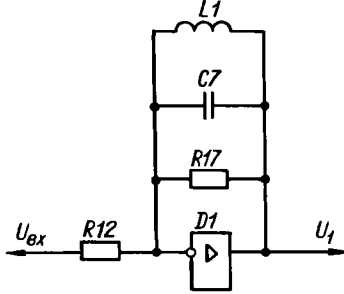


Рис. 36. Эквивалентная схема фильтра

менение напряжения на затворе полевого транзистора уменьшает разность фаз между 2 кГц и  $U_1$ . Формирователь  $\Phi$  преобразует синусоидальное напряжение в напряжение прямоугольной формы и служит для согласования уровней сигналов и увеличения чувствительности D-триггера по фазе. Рабочий фронт выходного сигнала  $\Phi$  формируется при переходе синусоиды через нуль от отрицательного значения к положительному.

Формирование второго напряжения  $U_2$  со сдвигом по фазе относительно  $U_1$  на  $\frac{\pi}{2}$  осуществляется усилителем D3, включенным по схеме RC-интегратора.

Коэффициенты передачи усилителей D2 и D3 равны единице.

Синусоидальные сигналы  $U_1$  и  $U_2$  усиливаются по мощности усилителями A1 и A2.

Постоянная времени фильтра ФНЧ равна 130 с, поэтому для сокращения времени выхода напряжения на затворе V5 в рабочую точку (около 3 В) конденсатор C6 (ПНИИ.656126.005 ЭЗ) в момент включения питания заряжается через резисторы R7 и R10. По мере роста напряжения на затворе V5 активный фильтр настраивается на резонансную частоту 2 кГц и фаза сигнала  $U_1$  приближается к опорной (отрицательный фронт сигнала 2 кГц); фазовый компаратор переключается и по входу 4 элемента 7L блокирует цепь заряда конденсатора C6 через резистор R10.

В блоке АП5 реализована схема автоматики с неизменяемой программой, обеспечивающая следующие функции:

1) прием и обработку сигнала оперативного управления приводами ОУП, сигнала включения приводов подачи ВПП, сигнала Сбр самоблокировки реле K1 и K2, находящихся в блоке БЗ2;

2) обработку диагностических сигналов функционирования блоков привода подачи ФБП (блоки РСЗ, РТ8) и блоков привода главного движения ФБГ (блоки ЭТ4, АГ5, РТ9), сигнала перегрева двигателей комплекта ЦДК (машины асинхронные МА5, МА6), сигналов перегрева балластных резисторов ПБР1, ПБР2 (резисторов в блоке БКА1), сигналов, контролирующих режим в сети переменного и постоянного тока - сигнала низкого напряжения НН, сигнала превышения напряжения ПН;

3) контроль по уровню синусоидальных напряжений  $\sin \text{IQB}(U_B)$ ,  $\cos \text{IQB}(U_p)$  и формирование сигнала функционирования источника питания фазовращателя ФИП;

4) формирование цикла подключения электропривода к сети переменного тока (управление реле K1 и K2 в блоке БЗ2 по цепям питания реле ПР и включения реле ВРК1 и ВРК2);

5) формирование сигнала повторной установки ПУ;

6) формирование сигналов запрета управления приводами подачи ЗУП, запрета управления инвертором приводов подачи ЗУИП, сигнала блокировки импульсных сигналов перемещения БСП и формирования последовательности их выдачи, реализующей циклы включения и отключения электропривода;

7) формирование сигнала торможения главного привода ТП;

8) формирование сигналов управления светодиодами индицирующими знаки  $\square$  - привод включен (сигнал Сбр, ИПВ), "?" - аварийное отключение (сигнал ИАО),  $\uparrow$  - перегрев двигателей (сигнал ИПДК);

9) индикацию отключений электропривода при неисправности источника питания фазовращателя (светодиод V34), при перегреве балластных резисторов (светодиод V32) и при снижении напряжения в питающей сети более чем на 20 % (светодиод V33);

10) возможность блокировки сигналов ФБП, ФБГ, ЦДК путем подачи сигнала режима наладки РН.

Информационное содержание состояний сигналов приведено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Обозначение сигнала	Информационное содержание состояний
БСП	Лог. "0" - импульсные сигналы перемещения $\sin$ , $\cos$ , НМ поступают на выход блока ФИП; Лог. "1" - импульсные сигналы перемещения $\sin$ , $\cos$ , НМ заблокированы
ВПП	Минус 15 В - команда на включение приводов подачи; разрыв цепи - команда на отключение проводов подачи
ВРК1 ВРК2	15 В - разрешение включения реле K1, K2 соответственно 9 В±20% - реле K1, K2 включены, минус 15 В или разрыв цепи - запрет включения реле K1, K2
ЗУИП ЗУП	Лог. "0" - разрешение управления инверторами приводов подач и приводами подач соответственно; Лог. "1" - запрет управления инверторами приводов подач и приводами подач соответственно
ИАО	Лог. "0" - приводы функционируют, диод "?" не светится; 2 В - аварийное отключение приводов, диод "?" светится
ИПДК	Лог. "0" - температура перегрева обмоток двигателя меньше 100 °С ±15 %; 2 В - температура перегрева больше 100 °С ±15 %



Обозначение сигнала	Информационное содержание состояний
НН	Минус 15 В - напряжение в цепи постоянного тока больше 420 В; разрыв цепи - напряжение в цепи постоянного тока меньше 420 В
ОУП	Минус 15 В - разрешение управления приводами; разрыв цепи - запрет управления приводами
ПБР1 ПБР2	0,5-2,5 В - температура балластных резисторов в блоке БК41 меньше 130 °С; 2,5-5 В - температура балластных резисторов больше 130 °С или обрыв цепи
ЦДК	Лог. "0" - температура перегрева обмоток двигателей менее 100 °С ±15 %; Лог. "1" - температура перегрева более 100 °С ±15 %
ПН	Минус 15 В - напряжение в цепи постоянного тока меньше 675 В; разрыв цепи - напряжение в цепи постоянного тока больше 675 В
ПР	Минус 15 В - разрешение включения реле К1, К2; разрыв цепи - запрет включения реле К1, К2
ПУ	Лог. "1" - выдается при переключении сигнала ОУП, длительность сигнала ПУ около 5 мс
РН	Минус 15 В - задание режима наладки; разрыв цепи - запрет режима наладки
РОР	Лог. "1" - разрешение отключения реле К2 (главный привод остановлен); Лог. "0" - запрет отключения реле К2 (главный привод функционирует)
Сбр	Минус 15 В - реле К2 включено; разрыв цепи - реле К2 отключено
ТПП	Лог. "0" - приводы подачи функционируют; Лог. "1" - приводы подачи переходят в режим торможения при отклонениях от нормы по цепям сигналов ЦДК, ФБГ, ПБР1, ПБР2, НН
Уст.0	Сигнал установки при включении питания выдается разрывом цепи минус 15 В
ФБГ ФП	Лог. "0" - нормальное функционирование блоков РС3, ЗТ4, РТ8, РТ9, АГ5; Лог. "1" - неисправность одного или нескольких из перечисленных блоков
ФП	Лог. "0" - отсутствует один или оба сигнала $\sin I_{ФВ}$ , $\cos I_{ФВ}$ , или уровень этих сигналов меньше 6 В; Лог. "1" - уровень сигналов $\sin I_{ФВ}$ , $\cos I_{ФВ}$ больше 6 В

Сигналы ВПП, Сбр, РН в схему вводятся через фильтры-формирователи, при этом задержка на включение 8 мс, на отключение - 15 мс.

Фильтры в цепи сигналов ПН, НН, Уст.0 обеспечивают защиту от высокочастотных помех, возникающих в цепях межблочных связей.

Алгоритмы функционирования схемы автоматики при различных начальных условиях приведены на рис. 37 - 41, уровни сигналов показаны условно.

Силовая цепь электропривода может быть подключена пускателем К3 блока БЗ2 к сети переменного тока, если выполняется условие  $\overline{НН} \cdot \overline{ЦДК} \cdot (\overline{ПБР1} + \overline{ПБР2}) \cdot \overline{ПН} \cdot \overline{ФБГ} \cdot \overline{ФП} \cdot \overline{РН} \cdot \overline{ФП} = 1$  (сигнал в контрольной точке 6). После включения источника питания (блок ИП36) сигналы ФБГ и ФП содержат информацию о частичном контроле функционирования блоков РС3, ЗТ4, РТ8, РТ9, АГ5 и достоверны после прохождения сигнала Уст.0, сигнал функционирования источника питания фазовращателя ФП формируется по уровню сигналов  $\sin I_{ФВ}$  и  $\cos I_{ФВ}$ , номинальное амплитудное значение которых 8,4 В устанавливается за 3-7 с.

После выполнения этого условия и наличия сигнала ОУП (минус 15 В) формируется цикл включения (рис. 37) реле К1, К2 и пускателя К3 в блоке БЗ2; задержка между фронтами сигналов ВРК1 и ВРК2 необходима для предварительного заряда ограниченным током конденсаторов С3...С116 в блоке БК41 перед включением пускателя К3 и для ограничения таким образом броска тока в силовой цепи переменного тока.

Отключение привода от сети переменного тока осуществляется съемом сигнала ОУП, при этом приводы подачи и главного движения переводятся в режим торможения с максимальным темпом; сигналы формируются при условиях и в последовательности, приведенной на рис. 38, где диаграмма цикла торможения главного привода ЦТП обобщает последовательность формирования сигналов в блоке АГ5 при торможении главного привода по сигналу ТПП.

На рис. 39 приведены диаграммы сигналов при включении и отключении приводов подачи.

Условие  $\overline{НН} + \overline{ФБГ} + \overline{ЦДК} + \overline{ПБР1} + \overline{ПБР2} + \overline{ФП} = 1$  определяет необходимость аварийного торможения приводов подачи и главного движения, сигналы формируются в последовательности, показанной на рис.40. Окончание цикла торможения главного привода ЦТП определяется наличием сигнала достижения нулевой частоты вращения двигателя шпинделя  $V_0$  и сигнала запрета управления инвертором главного привода ЗУИГ.

Если главный привод был остановлен до формирования сигнала ТПП, то отключение реле К2 и пускателя К3 в блоке БЗ2 произойдет по сигналу ЗУИП.

Цикл неуправляемого отключения (рис. 41) формируется по сигналу ПН.

Интервал между фронтами сигналов ВРК1 и ВРК2, ЗУП и ЗУИП формируется путем сравнения уров-

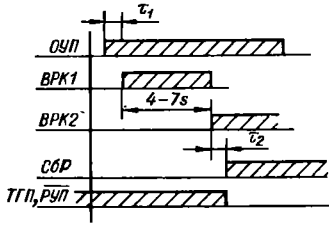


Рис. 37. Диаграмма цикла включения силовых цепей приводов:  
 $\tau_1$  - задержка в формирователе на элементе Д7, равная 200-300 мс;  $\tau_2$  - время включения реле К2 не более 30 мс

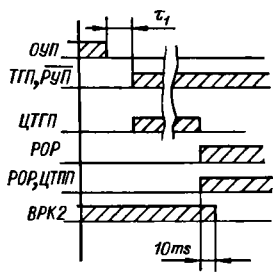


Рис. 38. Диаграмма цикла торможения приводов с последующим отключением силовых цепей:  
 ЦТП, ЦТПШ - циклы торможения главного привода и приводов подачи соответственно

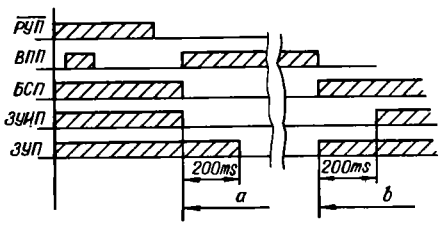


Рис. 39. Диаграммы сигналов при включении и отключении приводов подачи:  
 а - включение привода; б - отключение привода

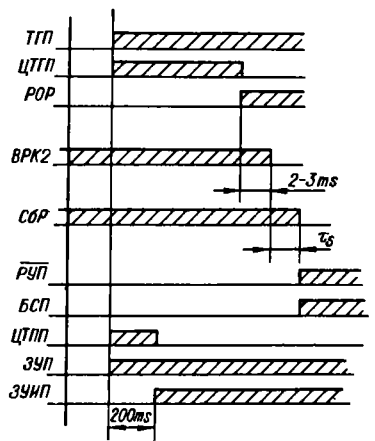


Рис. 40. Диаграмма цикла аварийного торможения приводов:  
 $\tau_5$  - время включения реле К2

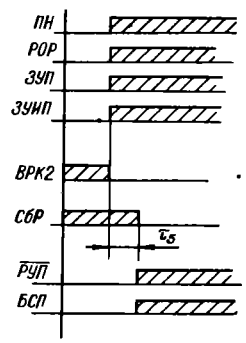


Рис. 41. Диаграмма цикла неуправляемого отключения

на напряжения на конденсаторах, подключенных ко входу 4 элементов Д9...Д11, с уставкой 2,5 В, заданной делителем на резисторах, включенных на входе 3 элементов Д9...Д11. Характер изменения сигналов показан на диаграмме рис. 42. Крутизна изменения напряжения на конденсаторе задается величинами резисторов в цепях заряда и разряда соответственно.

Формирователь на компараторе Д7 в цепи сигнала ОУП включен для ограничения максимальной частоты циклов подключения электропривода к сети переменного тока. Задержки на включение и отключение около 200-300 мс.

Сигнал ПУ формируется по отрицательному фронту сигнала на выходе компаратора Д7 (соответствует съему сигнала ОУП); длительность сигнала ПУ около 50 мс задана величинами элементов R96 и С36 и порогом чувствительности компаратора Д9 (делитель R99, R100).

В блоке АП5 сигнал ПУ не воздействует на элементы памяти в цепях сигналов, индицируемых светодиодами V32...V34, поэтому отключения электропривода по сигналам ФПШ, НН, ПЕР1 или ПЕР2 могут быть обнаружены.

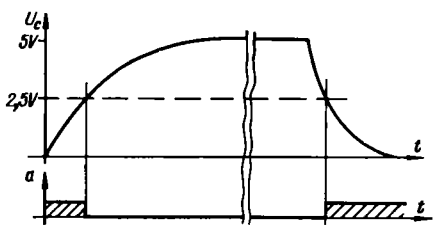


Рис. 42. Диаграмма формирования временных интервалов между фронтами сигналов ВРК1 и ВРК2, ЗУП и ЗУПШ:  
 а - выход Д9...Д11

Блок автоматики главного привода АГ5

Блок АГ5 реализует следующие функции:

Г) формирование сигнала задания момента  $U_q$  на валу двигателя шпинделя и ограничение уровня  $U_q$  по сигналу "Ограничить момент" Огр.М;

2) формирование сигнала, пропорционального моменту на валу двигателя шпинделя, MS;

3) формирование контактных сигналов "Главный привод включен" ППВ1 и ППВ2, "Приводы подачи включены" ППВ1 и ППВ2, "Момент ограничен" Мо1 и Мо2, контактных сигналов достижения нулевой частоты вращения двигателя шпинделя Vo1 и Vo2, достижения заданной частоты вращения двигателя шпинделя Vz1 и Vz2;

4) логическую обработку диагностических сигналов ФБГ - функционирование блоков РТ9, ЗТ4, АГ5 главного привода.

ПН - превышение напряжения, ТПН - торможение главного привода;

5) формирование сигналов в циклах включения и отключения главного привода;

6) формирование сигнала абсолютного значения частоты вращения двигателя шпинделя VSA.

Функциональная схема блока АГ5 приведена на рис. 43.

Сигнал задания частоты вращения электродвигателя координаты S (главного привода) VS на вход усилителя регулятора скорости УРС поступает через задатчик интенсивности ЗИ, с помощью которого уменьшаются ударные нагрузки на механизм главного привода при отработке скачкообразных изменений сигнала VS.

Начальное значение крутизны выходной характеристики ЗИ около 2,5 В/с; крутизна уменьшается, если приводом не обрабатывается заданный темп изменения частоты вращения. Сигнал на уменьшение крутизны формируется регулятором интенсивности, если выходной сигнал УРС больше 4 В.

Сравнение сигнала с выхода ЗИ и сигнала фактической частоты вращения AC1S, выделение сигнала ошибки (разности) между ними осуществляется УРС, выполненным по схеме ПИ-регулятора на основе

операционного усилителя D4. Постоянная времени ПИ-регулятора выбрана такой, чтобы с учетом момента инерции нагрузки, приведенного к валу двигателя, отсутствовало перерегулирование при отработке возмущающих воздействий по нагрузке. Конденсатор С12 включен для подавления оборотных пульсаций в сигнале AC1S.

Выходной сигнал ПИ-регулятора является сигналом задания момента Uq и ограничен на уровне 5 В, что соответствует 125 % от номинального момента; этот же сигнал поступает на вольтметр приборного щитка ПЩП для индикации в относительных единицах величины нагрузочного момента на двигатель. Отклонение стрелки вольтметра до цифры I соответствует нагрузке в 100 %.

Сигнал запрета управления главным приводом ЗУП позволяет разорвать цепь сигнала VS в аварийных режимах или при необходимости отключить главный привод. Сигналом запрета управления инвертором главного привода ЗУИГ исключается интегральная составляющая в сигнале Uq путем шунтирования конденсаторов С10, С11 транзистором V8, что предотвращает накопление заряда конденсаторами С10...С12 (из-за неидеальности усилителя D4 и смещений нуля на выходах ЗИ и в сигнале AC1S), который бы создавал возмущение при включении главного привода.

Контактный сигнал достижения заданной частоты вращения двигателя шпинделя Vz1 и Vz2 и сигнал Vo формируются, если разность между сигналами на выходе ЗИ и сигналом VS достаточно мала. Этот момент фиксируется компаратором D3 при переходе выходного сигнала усилителя D1 из состояния ограничения в колебательный режим.

Контроль функционирования главного привода как регулятора частоты вращения осуществляется по длительности состояния ограничения в выходном

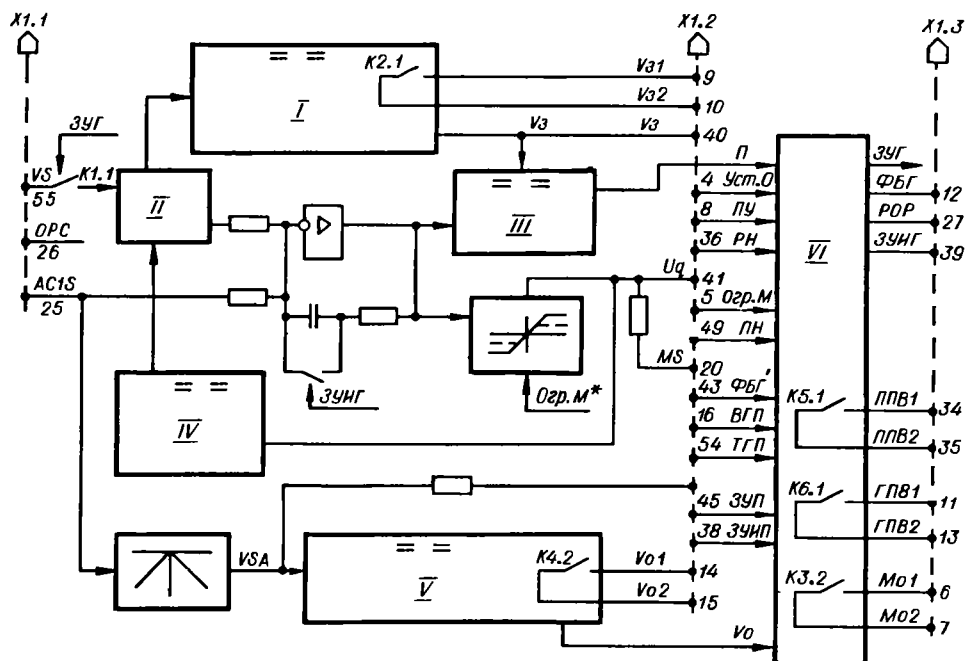


Рис. 43. Функциональная схема блока АГ5:  
 I - формирователь сигнала достижения заданной частоты вращения; II - задатчик интенсивности; III - формирователь сигнала перегрузки; IV - регулятор интенсивности; V - формирователь сигнала достижения нулевой частоты вращения; VI - схема контроля и автоматики главного привода  
 Примечание. Огр.М\* отличается от Огр.М уровнем напряжения.

сигнале усилителя D4 (уровень IO-15 В). Если развиваемый двигателем момент достаточен для поддержания заданного значения частоты вращения и блоки АГ5, ЗТ4, РТ9 и ИС4, инвертор S, двигатель и механизмы станка исправны, то среднее значение сигнала на выходе D4 не превышает 4 В. При перегрузке более чем на 25 % или неисправности блоков главного привода усилитель D4 переходит по выходному сигналу в состояние ограничения и при длительности этого состояния более 0,5 с компаратор D7 формирует сигнал перегрузки П.

Сигнал П не оказывает блокирующего воздействия, если задана команда "Ограничить момент" Отр.М или идет процесс отработки заданного изменения частоты вращения.

Сигнал П поступает на светодиод V27 через триггер ЗС, начальное состояние которого устанавливается сигналом Уст.0 или сигналом ПУ.

Для индикации частоты вращения двигателя двухполярный аналоговый сигнал частоты вращения двигателя шпинделя АС1S (из блока ИС4) преобразуется в сигнал абсолютного значения частоты вращения двигателя шпинделя VSA отрицательной полярности с помощью компаратора D8 и устройства умножения аналогового сигнала на знак, выполненного на усилителе D9, резисторах R53...R55, транзисторе V19.

Если сигнал АС1S отрицательной полярности, на выходе компаратора D8 напряжение IO В, транзистор V19 закрыт и усилитель D9 включен как повторитель с коэффициентом передачи, равным единице; при сигнале АС1S положительной полярности - на выходе компаратора D8 напряжение 0 В, транзистор V19 открыт и усилитель D9 включен как инвертор с коэффициентом передачи, равным единице.

Сигнал VSA поступает на вольтметр приборного щитка ШП для индикации (с учетом множителя  $\times 3000 \text{ мин}^{-1}$ ) абсолютного значения частоты вращения двигателя шпинделя.

Сигнал VSA используется так же для формирования контактного сигнала достижения нулевой частоты вращения двигателя шпинделя Vo1 и Vo2. При напряжении сигнала VSA, меньшем порога срабатывания компаратора D10, включается реле K4, и его контакт замыкается. Порог срабатывания компаратора D10 задан от источника минус 15 В делителем напряжения на резисторах R60 и R61 и выбран на уровне 0,9 % от максимальной частоты вращения (соответствует частоте вращения  $40 \text{ мин}^{-1}$ ). За счет положительной обратной связи с выхода элемента D10 на его вход (резистор R62, диод V20) реализуется компаратор с гистерезисной характеристикой, благодаря чему исключаются повторные срабатывания реле K4 при уровнях сигнала VSA, близких к напряжению порога срабатывания.

Схема контроля и автоматики обеспечивает:

1) снижение сигнала задания момента  $U_q$  при-

мерно в 5 раз по команде "Ограничить момент" и выдачу контактного сигнала "Момент ограничен" Mo1 и Mo2;

2) формирование сигнала функционирования блоков РТ9, ЗТ4, АГ5 главного привода ФБГ по результату анализа сигнала функционирования блоков РТ9 и ЗТ4 главного привода ФБГ и сигнала П блока АГ5;

3) формирование контактного сигнала "Главный привод включен" ППВ1 и ППВ2 по результату анализа сигналов ЗУИГ и ЗУГ и формирование контактного сигнала "Приводы подачи включены" ППВ1 и ППВ2 по результату анализа сигналов ЗУИП и ЗУП;

4) формирование сигнала разрешения отключения реле POP по результату анализа сигналов ТП, ПН, ФБГ;

5) формирование циклов включения и отключения главного привода по сигналу включения главного привода ВП;

6) возможность блокировки сигналов функционирования ФБГ и П путем подачи сигнала режима наладки РН;

7) светодиодную индикацию неисправности контура скорости главного привода по сигналу П.

Информационное содержание состояний сигналов приведено в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Обозначение сигнала	Информационное содержание состояний
Vz1 и V 2 (контакт)	Замкнут - фактическая частота вращения соответствует заданной Разомкнут - рассогласование между заданной и фактической частотой вращения
Vo1 Vo2 (контакт)	Замкнут - частота вращения меньше $40 \text{ мин}^{-1}$ Разомкнут - частота вращения больше $40 \text{ мин}^{-1}$
ВП	Минус 15 В - сигнал "Включить главный привод" Разрыв цепи - сигнал "Выключить главный привод"
ППВ1, ППВ2 (контакт)	Замкнут - главный привод включен Разомкнут - главный привод выключен
ЗУГ	Лог. "0" - разрешение управления главным приводом (сигнал VS подан на вход задатчика интенсивности; введена интегральная составляющая коэффициента передачи ПИ-регулятора) Лог. "1" - запрет управления главным приводом (сигнал VS отключен от входа задатчика интенсивности, исключена интегральная составляющая коэффициента передачи ПИ-регулятора)
ЗУИГ	Лог. "0" - главный привод функционирует, коммутация силовых ключей инвертора разрешена Лог. "1" - силовые ключи инвертора главного привода заблокированы

Обозначение сигнала	Информационное содержание состояний
ЗУИП	Лог. "0" - приводы подачи функционируют, коммутация силовых ключей инверторов разрешена Лог. "1" - силовые ключи инверторов приводов подачи заблокированы
ЗУП	Лог. "0" - разрешение управления приводами подачи (сигналы VX, VZ поданы на вход УРС) Лог. "1" - запрет управления приводами подачи
MoI, Mo2 (контакт)	Замкнут - момент ограничен Разомкнут - момент номинальный
ПН	Минус 15 В - напряжение в звене постоянного тока не превышает 675 В Разрыв цепи - напряжение больше 675 В
ПШВ1, ПШВ2 (контакт)	Замкнут - приводы подачи включены Разомкнут - приводы подачи заблокированы
ПУ	Сигнал повторной установки выдается уровнем лог. "1" при переключении в цепи сигнала ОУП
РН	Минус 15 В - режим наладки Разрыв цепи - режим "Работа"
POP	Лог. "0" - приводы функционируют, реле К2 блока БЗ2, управляющее силовым пускателем, отключать нельзя Лог. "1" - приводы неисправны, либо с блока АП5 снят сигнал ОУП, реле отключать разрешается
ТПП	Лог. "0" - разрешение работы главного привода Лог. "1" - команда торможения главного привода
Уст.0	Сигнал установки при включении питания выдается разрывом цепи от источника минус 15 В к нагрузке
ФБГ*	Лог. "0" - блоки РТ9 и ЗТ4 функционируют Лог. "1" - неисправность либо отсутствие блоков РТ9 или ЗТ4
ФБГ	Лог. "0" - блоки РТ9, ЗТ4, АГ5 главного привода функционируют, либо включен режим наладки РН Лог. "1" - один из блоков РТ9, ЗТ4, АГ5 неисправен либо не установлен на свое место

Схема автоматики начинает функционировать при подаче на блок напряжения питания и после прохождения сигнала Уст.0 из блока ИП36 или сигнала ПУ из блока АП5.

Сигналы Отр.М, ВП, РН вводятся в схему автоматики через фильтры-формирователи, при этом задержка на включение 8 мс, а на отключение - 15 мс.

Фильтры в цепи сигналов Уст.0, ПН обеспечивают защиту от высокочастотных помех в межблочных связях.

Алгоритмы функционирования схемы автоматики при различных начальных условиях поясняются на рис. 44 - 49, уровни сигналов показаны условно.

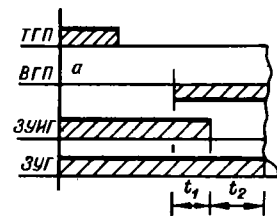


Рис. 44. Диаграмма цикла включения главного привода:

начальные условия: ФБГ - лог. "0", ПН - минус 15 В;  $t_1$  - задержка входного фильтра в цепи сигнала ВВП  $\approx 8$  мс;  $t_2$  - задержка на подготовку двигателя  $\approx 350$  мс; а - разрыв цепи

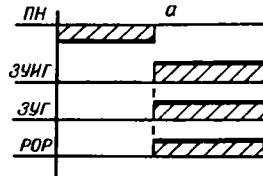


Рис. 45. Диаграмма цикла отключения главного привода при превышении напряжения:

начальные условия: ТПП, ФБГ - лог. "0", ВП - минус 15 В; а - разрыв цепи

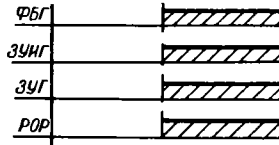


Рис. 46. Диаграмма цикла отключения главного привода при неисправности одного из блоков РТ9, ЗТ4, АГ5:

начальные условия: ТПП - лог. "0", ПН, ВП - минус 15 В

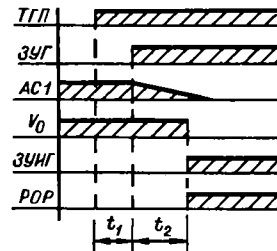


Рис. 47. Диаграмма цикла торможения главного привода с последующим отключением при неисправности приводов подачи:

начальные условия: ПН, ВП - минус 15 В, ФБГ - лог. "0";  $t_1$  - задержка на торможение приводов подачи  $\approx 70$  мс;  $t_2$  - время торможения главного привода

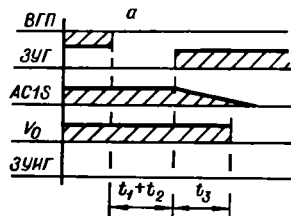


Рис. 48. Диаграмма цикла оперативного отключения главного привода:

начальные условия: ПН - минус 15 В, ФБГ, ТПП - лог. "0";  $t_1$  - задержка входного фильтра в цепи сигнала ВВП  $\approx 15$  мс;  $t_2$  - задержка на торможение приводов подачи  $\approx 70$  мс;  $t_3$  - время торможения главного привода; а - разрыв цепи

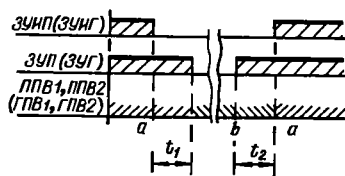


Рис. 49. Диаграмма цикла формирования контактных сигналов включения приводов:

$t_1$  – задержка на подготовку двигателя;  $t_2$  – время торможения привода; а – разомкнуты; б – замкнуты (в скобках даны обозначения для главного привода)

После включения источника питания (блок ИП36) и прохождения сигнала Уст.0 осуществляется частичный контроль функционирования блоков ЗТ4, РТ9, контура регулирования частоты вращения главного привода, и в блок АП5 выдается сигнал ФБГ.

В блоке АП5 после частичного контроля состояния электропривода и станка формируется команда включения пускателя в цепи 380 В (пускатель К3 в блоке Б32), при этом сигнал ТПП переходит в состояние лог."0" и главный привод подготавливается к работе.

По команде включения главного привода ВПП снимается запрет управления инвертором главного привода ЗУИГ, а затем с выдержкой времени около 350 мс (выдержка времени необходима для нарастания потока возбуждения в двигателе) снимается запрет управления главным приводом ЗУТ, после чего главный привод готов к обработке сигнала задания частоты вращения  $V_s$  (рис. 44).

Отключение главного привода может происходить различным образом в зависимости от того, чем отключение вызвано. Оно может произойти из-за нарушений в работе блоков управления или по команде.

Возможны следующие причины отключения главного привода:

1) по сигналу ПН – независимо от уровня сигнала ТПП одновременно накладываются ЗУИГ и ЗУТ и выдается сигнал РОР, в блоке АП5 формируется сигнал  $\overline{ВРК2}$ , и пускатель отключает привод от сети 380 В; приводы переходят в режим самоторможения (рис. 45);

2) при неисправности любого из блоков РТ9, ЗТ4, АП5 (сигнал ФБГ в состоянии лог."1") – независимо от уровня сигнала ТПП одновременно накладываются ЗУИГ и ЗУТ и выдается сигнал РОР, главный привод переходит в режим самоторможения; пускатель отключается после остановки с максимальным темпом приводов подачи и блокировки их инверторов (сигналы ЗУП и ЗУИП в состоянии лог."1") (рис. 46);

3) при неисправности блоков приводов подачи или перегреве балластных резисторов сигнал ТПП переходит в состояние лог."1", и по этому сигналу с задержкой около 70 мс формируется сигнал ЗУТ, главный привод тормозится полным моментом независимо от состояния сигнала Огр.М, после формирования сигнала достижения

нулевой частоты вращения  $\overline{V_0}$  накладывается ЗУИГ и выдается сигнал РОР (рис. 47);

4) по сигналу ВПП с задержкой около 70 мс формируется сигнал ЗУТ, главный привод тормозится полным моментом независимо от состояния сигнала Огр.М, после формирования сигнала  $\overline{V_0}$  накладывается ЗУИГ (рис. 48).

Отключение главного привода и приводов подачи от сети 380 В производится сигналом ОУП (разрыв цепи) через блок АП5. Если сигнал ОУП появился в момент отработки одним или несколькими приводами заданного значения частоты вращения, то приводы переводятся в режим торможения. Выключение пускателя произойдет при наличии сигналов  $\overline{V_0}$ , ЗУИП и ЗУИГ.

Контактные сигналы "Главный привод включен" ППВ1 и ППВ2 и "Приводы подачи включены" ППВ1 и ППВ2 формируются при наличии сигналов включения ВПП и ВПП и функционирования блоков управления приводами (рис. 49).

Включение реле К5 и К6 соответственно происходит при состоянии лог."0" в сигналах ЗУТ и ЗУП, а отключение – при переходе сигналов ЗУИГ и ЗУИП в состояние лог."1".

#### Пульт наладочный ПН8

Пульт ПН8 предназначен для автономного управления электроприводами в режиме регулятора частоты вращения и состоит из задатчиков частот вращения электродвигателей главного привода и приводов подачи и кнопок (тумблеров) для задания контактных сигналов.

Для контроля фактических значений частоты вращения и статического момента нагрузки электродвигателей координат X, Z, S в разъемах пульта предусмотрены гнезда, к которым подведены выходы источников аналоговых сигналов скорости АСКХ и АСКZ, сигнала абсолютного значения частоты вращения двигателя шпинделя VSA, сигналов, пропорциональных моменту на валу двигателя, МХ, МZ, MS.

Конструктивно пульт состоит из панели с установленными на ней аппаратами управления, розетками КОНТРОЛЬ (X1) и РАБОТА (X2) разъемов типа 2РМ30Б32Г1В1. Пульт устанавливается над кассетой с блоками управления, размещенной на двери шкафа электропреобразователей. Соответствующий режим управления электроприводом обеспечивается подключением разъема жгута проводов, подходящего к пульта, к розеткам КОНТРОЛЬ или РАБОТА.

В режиме КОНТРОЛЬ от пульта могут быть заданы следующие команды:

- 1) оперативного управления приводами ОУП;
- 2) включения главного привода ВПП и включения приводов подачи ВПП;
- 3) "Ограничить момент" Огр.М;
- 4) режим наладки РН;
- 5) частоты вращения F и S и направления

вращения +F, -F, +S, -S электродвигателей приводов подачи и главного привода.

В режиме РАБОТА сигналы ОУП, ВП, ВПП, Огр.М поступают в схему электроприводов также через пульт, что обеспечивается установкой соответствующих перемычек в разьеме X2.

Сигнал готовности привода ПП выдается в схему электроавтоматики станка через пульт только в режиме РАБОТА.

Задатчик частоты вращения электродвигателей подачи содержит переключатель S1.1(F) ступеней, токоограничивающие резисторы R1...R5, R11...R14 и делитель напряжения двух младших ступеней R21, R22. Сигнал с выхода задатчика через переключатель S9(X/Z) выбора координат и гнезда 5, 6 разъемов XI и X2 поступает на контрольные входы задания частоты вращения усилителей регуляторов скорости УРС приводов. Включение направления вращения двигателя выбранной координаты производится кнопками S2(-F) или S10(+F), которые подключают задатчик частоты вращения к источнику напряжения 15 В или минус 15 В блока ИП36. Выход задатчика частоты вращения подключается к контрольным входам УРС независимо от режима управления приводами КОНТРОЛЬ или РАБОТА. Такое подключение позволяет осуществлять контроль величины коэффициента усиления контура положения привода подачи.

Задатчик частоты вращения электродвигателя главного привода содержит переключатель S1.2(S) ступеней, токоограничивающие резисторы R6...R10, R16...R19 и делитель R15, R20 напряжения младшей ступени. Выбор направления вращения электродвигателя производится тумблером S3(+S/-S), который подключает задатчик частоты вращения к напряжению 15 В или минус 15 В. Выход задатчика частоты вращения подключается ко входу задатчика интенсивности в блоке АП5 только в режиме КОНТРОЛЬ, что обеспечивается соединением выхода задатчика частоты вращения только с контактом 4 разьема XI пульта ПН8.

Сигналом РН в блоке АП5 блокируются цепи защиты от неисправностей блоков электропривода. В этом случае может быть выполнен контроль функционирования одной координаты без подключения всех или одного из блоков другой координаты.

Сигнал Огр.М выдается установкой тумблера S6 в положение M0 и используется для ограничения момента на валу электродвигателя главного привода.

#### Блок преобразования фазы в импульсы ФИП

Блок преобразования фазы в импульсы ФИП предназначен для выделения приращения фазового сдвига выходного напряжения измерительных преобразователей ПИ (индуктивных фазовращателей ФВ) и преобразования величины приращения в сигналы перемещения и скорости.

Выходные сигналы - выходные синусоидальное напряжение фазовращателя амплитудой 3-20 В, номинальной частотой 2 кГц. Фазовый сдвиг выходного напряжения фазовращателя относительно питающего напряжения частотой 2 кГц, принимаемого за опорное, пропорционален текущему положению ротора фазовращателя.

Выходные сигналы перемещения следующие:

1) две серии импульсов с разностью фаз  $90^\circ$  (sin, cos). Взаимное положение импульсов серий определяется направлением перемещения, а количество изменений (фронтов) сигналов определяется величиной перемещения;

2) количество дискрет углового перемещения  $\Delta$  (рис. 1) за один электрический оборот фазовращателя (0,5 оборота двигателя), соответствующий изменению фазы выходного сигнала ФВ на  $360^\circ$ , равно 2000 или 4000 в зависимости от исполнения блока;

3) сигнал нуль-метки НМ выдается один раз за электрический оборот ФВ и имеет фиксированный фазовый сдвиг (примерно 1/250 электрического оборота ФВ) относительно питающего напряжения ФВ. Ширина нуль-метки равна 1/500 электрического оборота ФВ, что соответствует четырем или восьми дискретам перемещения в зависимости от исполнения блока. Максимальная скорость перемещения, до которой выдается сигнал нуль-метки, соответствует приращению фазы выходного сигнала ФВ не более 1/500 периода питающего напряжения за период выходного сигнала фазовращателя и равна примерно двум оборотам в секунду. Погрешность выдачи сигнала НМ пропорциональна скорости перемещения и при указанной максимальной скорости составляет до 1/1000 оборота двигателя; длительность сигнала НМ при этом минимальна и равна 500 мкс;

4) сигналы sin, cos и нуль-метки НМ выдаются каждый в прямом и инверсном виде: лог. "1" с уровнем от 9 до 13 В и лог. "0" с уровнем от 0 до 1,5 В при сопротивлении нагрузки приемника сигнала 820 Ом.

Выходные сигналы частоты вращения следующие:

1) аналоговый сигнал фактического значения частоты вращения АС1 формируется из промежуточных (внутренних) сигналов перемещения, полученных непосредственно после преобразования приращения фазового сдвига в код. Количество таких дискрет за один электрический оборот ФВ равно 16000. Максимальное значение выходного аналогового сигнала частоты вращения 9,6 В, что соответствует 511 дискретам кода частоты вращения или примерно  $31,9 \text{ с}^{-1}$ . Величина дискреты кода частоты вращения равна 18,8 мВ;

2) импульсный сигнал частоты вращения ротора  $\omega_{р}$  - 1000 импульсов за один электрический оборот ФВ; уровни импульсного сигнала совпадают

по величине с уровнями сигналов микросхем серии К155;

3) сигнал отрицательного направления движения фазы выходного сигнала фазовращателя ОНД используется совместно с сигналом  $\omega_{вр}$  и имеет те же уровни выходного сигнала.

Фазовый сдвиг выходного напряжения ФВ относительно питающего напряжения пропорционален углу поворота ротора ФВ относительно исходного положения, при котором эти фазы совпадали. Приращение фазы выходного сигнала ФВ за период измерения выходного сигнала пропорционально приращению угла поворота за это же время. Способ формирования сигналов приращения перемещения в блоке ФИИ заключается в измерении приращения фазы выходного сигнала ФВ за период его повторения.

На рис. 50 показано изменение фазы и периода выходного сигнала ФВ при вращении его ротора.

Текущий (накопленный) фазовый сдвиг представляет собой сумму приращений фазы  $\Delta\varphi$  в данном и предыдущих периодах повторения выходного сигнала. Например, для второго периода  $T_{в2}$  текущая фаза:

$$\varphi_2 = \Delta\varphi_1 + \varphi_2 \frac{\Delta T_1}{T_{п}} \cdot 2\pi + \frac{\Delta T_2}{T_{п}} \cdot 2\pi = \frac{2\pi}{T_{п}} (\Delta T_1 + \Delta T_2),$$

где  $\Delta T_1, \Delta T_2 \dots \Delta T_i$  - приращение временного сдвига, равное разности между периодом питающего напряжения и периодом выходного сигнала;

$T_{п}$  - период повторения напряжения питания ФВ.

Текущему фазовому сдвигу  $\varphi$ , который измеряется один раз за период в указанные моменты времени, соответствует временной сдвиг  $T_i$ . Фазовый сдвиг, пропорциональный углу поворота ротора ФВ, в свою очередь, пропорционален перемещению механизма станка, то есть временной сдвиг  $T_i$  в определенном масштабе указывает величину перемещения механизма от исходного положения.

Из рис. 50 видно, что, например, временной сдвиг  $T_2$  для второго периода равен:

$$T_2 = T_{в1} + T_{в2} - 2T_{п} = (T_{в1} - T_{п}) + (T_{в2} - T_{п}) = \Delta T_1 + \Delta T_2.$$

Временной сдвиг  $T_2$  состоит из приращений временного сдвига за первый и второй периоды выходного сигнала, каждое приращение равно разности между периодами выходного сигнала и питающего напряжения. Таким образом, полное приращение можно получить, измеряя и суммируя соответствующие приращения  $\Delta T_i$ , которые пропорциональны соответствующим приращениям фазы и перемещения.

В блоке ФИИ производится измерение разности периодов выходного сигнала и питающего напряжения:  $\Delta T_i = T_{вi} - T_{п}$ , которая, как видно из изложенного выше, пропорциональна перемещению в течение времени  $T_{вi}$ . На рис. 50 показан случай  $T_{вi} > T_{п}$ , что соответствует изменению фазы выходного сигнала в сторону отставания и одному направлению движения. При другом направлении движения фаза меняется в сторону опережения, при этом  $T_{вi} < T_{п}$ .

При отсутствии движения  $T_{вi} = T_{п}$ , а  $\Delta T_i = 0$ . Из рис. 50 видно, что при движении  $T_{вi} \neq T_{п}$ , то есть в общем случае мгновенная частота выходного сигнала  $f_{вi} = \frac{1}{T_{вi}}$  не равна частоте питания

$f_{п} = \frac{1}{T_{п}}$  ФВ. Величина перемещения за период повторения выходного сигнала ФВ характеризует скорость перемещения.

Упрощенная структурная схема измерителя приращения перемещения за период повторения выходного сигнала ФВ показана на рис. 51. Частота питания ФВ получается из частоты  $f_{г}$  задающего генератора ЗГ путем деления ее в  $N$  раз. Для измерения перемещения служит счетчик перемещения с таким же коэффициентом деления (объемом)  $N$ , который заполняется частотой  $f_{г}$  в течение периода частоты  $f_{в}$  выходного сигнала ФВ; период  $f_{г}$  соответствует одной дискрете перемещения. При отсутствии движений ( $f_{г} = f_{п}$ ) счетчик перемещения за время  $T_{в} = T_{п}$  успевает заполниться и вернуться в исходное (нулевое) состояние. Код перемещения на выходе счетчика в этот момент равен нулю. При вращении ротора ФВ в одну сторону, например, при  $f_{в} < f_{п}$  ( $T_{в} > T_{п}$ ) счетчик перемещения успевает переполниться и, следовательно, сосчитать дополнительное количество импульсов, пропор-

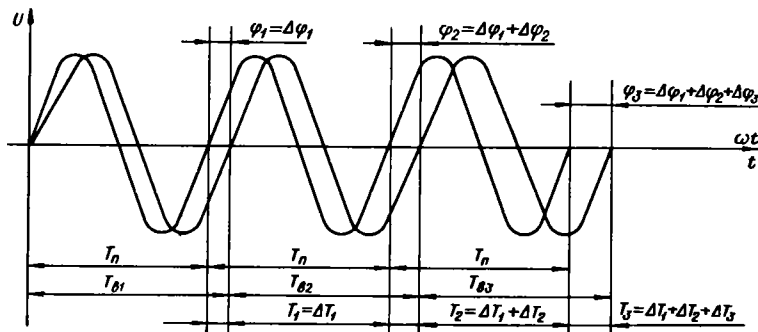


Рис. 50. Диаграмма изменения фазы и периода выходного сигнала фазовращателя при вращении ротора



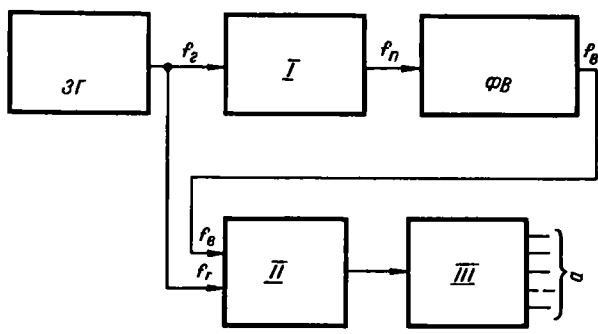


Рис. 51. Блок-схема измерителя приращения перемещения:  
 I - делитель (счетчик)  $N:I$ ; II - схема управления;  
 III - счетчик перемещений объемом  $N$ ; ЗГ - задающий генератор; ФВ - фазовращатель; а - код перемещения

циональное разности периодов  $\Delta T = T_B - T_P$  (перемещению за время  $T_B$ ). При другом направлении вращения ротора ФВ, то есть при  $f_B > f_P$  ( $T_B < T_P$ ) счетчик перемещения за время  $T_B$  не успевает заполниться и, следовательно, не досчитывает количество импульсов, пропорциональное разности  $\Delta T = T_P - T_B$ .

В первом случае на выходе счетчика перемещения в момент окончания измерения получается прямой код перемещения, а во втором случае - дополнительный до объема счетчика  $N$ .

Поскольку устройство измеряет путь в виде приращений, то есть перемещений за период выходного сигнала, для возможности последующего получения полного пути требуется производить измерение перемещения в каждом периоде выходного сигнала ФВ, иначе в пропущенных периодах приращения перемещения будут утеряны. При каждом следующем измерении счетчик перемещений начинает работать с исходного состояния. Для приведения его в это состояние, а также для выдачи получившегося кода перемещения требуется время, превышающее период входной частоты  $f_T$  счетчика перемещения. Так как частота  $f_T$  определяет разрешающую способность устройства, то ее приходится выбирать высокой, и указанные операции невозможно выполнить до прихода первого импульса следующего периода измерения, поэтому во избежание снижения разрешающей способности устройства используются два счетчика перемещения, работающие поочередно.

Счетчики должны работать таким образом, чтобы не потерять ни одного импульса  $f_T$  входной частоты в момент остановки первого счетчика и пуска второго (на границе соседних периодов  $f_B$ ), для исключения накопления погрешности измерения. Поскольку фаза сигнала ФВ (граница периода  $f_B$ ) может изменяться непрерывно по отношению к импульсам частоты  $f_T$ , то для обеспечения правильной работы счетчиков фазу сигнала ФВ необходимо синхронизировать частотой  $f_T$  таким образом (рис. 52), чтобы разрешение (сигналы  $P_1, P_2$ ) и запрет работы счетчиков перемещения приходились

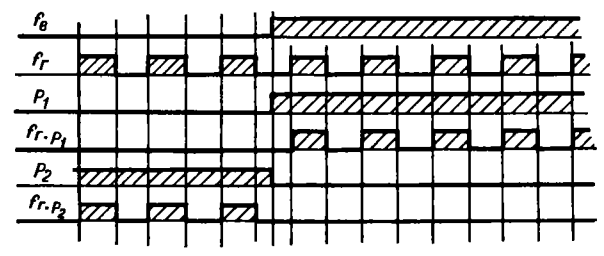


Рис. 52. Диаграммы заполнения счетчиков перемещения

на паузу между импульсами частоты  $f_T$  с тем, чтобы не вызвать появления ложного или укороченного импульса (сигналы  $f_T \cdot P_1, f_T \cdot P_2$ ) на входе счетчиков.

При синхронизации, когда граница (фронт)  $f_B$  попадает на фронт импульса  $f_T$  сигнал разрешения  $P_1$  или  $P_2$  может появиться в данном или в следующем периоде  $f_T$ . Это может привести к увеличению периода измерения (длительности сигнала  $P_1$  или  $P_2$ ) и измеренного перемещения в данном периоде  $f_B$  на одну дискрету перемещения, но при этом соседний или один из следующих периодов укоротится на такую же величину, то есть покажет уменьшение перемещения на одну дискрету. Здесь имеет место неоднозначность измерения в одну дискрету, обычная для квантования непрерывных величин, однако накопление погрешности в этом случае не происходит по указанной выше причине.

Функциональная схема блока показана на рис. 53. Задающий кварцевый генератор ЗГ, делитель частоты и схема получения сдвинутых между собой на  $90^\circ$  синусоидальных сигналов питания фазовращателя расположены в блоке АП5.

Синусоидальный сигнал  $f_B$  с выхода фазовращателя поступает на вход формирователя непрерывной фазы ФФН. Назначение ФФН - получение сигнала прямоугольной формы из синусоидального для дальнейшего использования в работе цифровых схем. Формирователь состоит из двух интегральных компараторов с большим коэффициентом усиления, один из которых ( $D_6$ ) переключается в момент перехода входного сигнала через нуль, а второй ( $D_7$ ) - при некотором отрицательном напряжении. Сигналы с выходов компараторов поступают на R-S - входы триггера. Из-за различия уровней срабатывания формирователей нулевые уровни выходных сигналов компараторов разнесены во времени, что позволяет исключить на выходе триггера "дребезг" сигнала (повторное срабатывание) из-за возможных помех на входе формирователя.

При этом первый формирователь является основным, сигнал на выходе которого определяет начало и конец работы счетчиков перемещения. Второй формирователь является вспомогательным и служит для возврата триггера в исходное состояние. Поскольку основной формирователь срабатывает при нулевом уровне сигнала, момент начала и окончания



работы счетчиков практически не зависит от амплитуды входного сигнала формирователя.

Формирователь имеет вход сигнала разрешения сигнатурного контроля РСК. Сигналы сигнатурного контроля  $\overline{\text{ФК1}}$  и  $\overline{\text{ФК2}}$ , заменяющие рабочие сигналы, подаются с блока сигнатурного контроля СА7. При этом сигнал РСК отключает компараторы (устанавливает на выходах компараторов лог."1") с помощью управляющих транзисторов.

Формирователь импульсов счетчиков перемещения ФСП служит для синхронизации сигнала с выхода ФН сигналом  $f_{\Gamma}$  (32 МГц) задающего генератора и получения сигналов управления e1, e2, Pe1 Pe2.

Сигнал с выхода ФН делится на два (делителем 2:1) для получения сигналов разрешения работы счетчиков, затем синхронизируется частотой 32 МГц на последовательно включенных D-триггерах и через вентили коммутирует (разрешает или запрещает) частоту заполнения счетчиков  $f_{\Gamma}$  (32 МГц).

Формирователь стробов ФС служит для получения серии синхронизирующих сигналов (стробов), привязанных по времени к положительному фронту сигнала ФН и используемых для начальной установки, записи и других операций в элементах памяти блока.

Серия стробов формируется в начале каждого периода выходного сигнала ФН (в течение, примерно 2 мкс) и состоит из трех (С3-С5) разнесенных во времени импульсов.

Стробы формируются на сдвиговом регистре, а последний из стробов дополнительно синхронизируется на быстродействующих триггерах для уменьшения задержек.

Счетчики перемещения Сч1, Сч2 - двоичные, поскольку выход в двоичном коде необходим для работы последующих частей схемы (ПКИ и ЦАП), но переполнение счетчиков должно происходить при количестве счетных импульсов, кратном 10 (16000), исходя из требуемой величины дискреты перемещения, поэтому в двоичном счетчике объемом  $2^{14} = 16384$  выполняется начальная установка числа 384, что приводит его к объему 16000. Для обеспечения требуемого быстродействия первая часть счетчика - делитель 4:1 - выполнена на быстродействующих триггерах. Счетчик выдает сигнал положительного ПНД или отрицательного ОНД направления движения.

В качестве указанного сигнала используется выход старшего разряда счетчика, так как он показывает наличие (ПНД) или отсутствие (ОНД) переполнения при условии, что перемещение за период не превышает половины объема счетчика (указанное условие всегда удовлетворяется).

Коммутатор кодов счетчиков служит для коммутации кода первого или второго счетчика перемещения в другие части схемы. Так, во время счета импульсов первым счетчиком на выход ком-

мутатора выдается полученный в предыдущем периоде код второго счетчика и сигнал ОНД, хранящийся в памяти в течение периода. В случае отрицательного направления движения коммутатор инвертирует указанный скомутированный код (то есть выдает обратный двоичный код) для получения затем дополнительного кода. При этом первая ступень схемы выполняет коммутацию кода, а вторая - инверсию в требуемых случаях.

Регистр-счетчик перемещения РП хранит полученный код перемещения в течение периода выходной частоты ФВ. Кроме того, в случае отрицательного направления движения он обеспечивает получение дополнительного кода путем прибавления "1" к записанному в регистре значению обратного кода.

Преобразователь кода в количество импульсов ПКИ преобразует полученный за период выходного сигнала ФВ код перемещения в количество импульсов и выдает их в течение всего следующего периода. Формирование кода перемещения в число-импульсном виде обеспечивает оптимальное согласование блока ФПИ с устройством ЧПУ, рассчитанным на применение импульсного датчика. Параметры схемы преобразователя выбраны таким образом, чтобы последний успевал выдавать все импульсы перемещения за период выходной частоты ФВ даже в случае укорочения последнего ( $T_{\text{в}} < T_{\text{п}}$ ) при максимальной скорости перемещения. Преобразователь выполнен на счетчиках с переменным коэффициентом деления (двоичных число-импульсных умножителях) К155ИЕ8. Микросхема К155ИЕ8 выделяет из входной последовательности количество импульсов, равное  $\frac{n}{64}$ , где 64 - объем счетчика, а  $n = 0-63$  - код,

поданный на управляющие входы счетчика, то есть из каждых 64 импульсов входной последовательности на выход выдается  $n$  импульсов. Каждый 64 импульс появляется на выходе переноса микросхемы и может использоваться как входная последовательность импульсов следующей микросхемы, что позволяет включать их каскадно для получения требуемого коэффициента умножения входной последовательности (на величину, меньшую единицы).

Микросхемы выполнены таким образом, что их выходные импульсы не совпадают по времени, что позволяет суммировать их по схеме "ИЛИ" при каскадном включении микросхем.

Преобразователь ПКИ выполнен на двух, последовательно включенных микросхемах, что дает общий объем счетчика, равный  $64 \times 64 = 4096$ . Требуемый объем преобразователя - 2048 - достигается использованием отдельного счетчика на микросхеме К155ИЕ8, который заканчивает цикл работы преобразователя после 32 импульсов переноса первого каскада преобразователя. Запуск и остановка преобразователя выполняются с помощью управляющего высокочастотного триггера.

Входная последовательность импульсов для преобразователя получается на отдельном делите-

ле 64:35 (умножителе с  $n = 35$ ). Частота, равная  $35 \cdot 8$  МГц, выбрана из условия, чтобы преобразователь гарантированно закончил цикл счета 2048 импульсов за время, несколько меньшее 0,5 мс (меньшее длительности самого короткого периода выходного сигнала ФВ).

Для обеспечения однозначного определения неисправной микросхемы в режиме сигнатурного контроля преобразователя цепь обратной связи разрывается сигналом РСК.

Преобразователь по принципу своей работы не может выдавать импульсы абсолютно равномерно во времени, то есть выходные импульсы могут иметь разрежения и сгущения в диапазоне 2:1, что повышает мгновенную частоту выходных сигналов для устройства ЧПУ. Для сглаживания неравномерности на выходе преобразователя включен делитель 4:1, а количество импульсов, выдаваемое преобразователем, увеличено в четыре раза путем соответствующей подачи кода на управляющие входы преобразователя. Цикл работы делителя совпадает с циклом работы преобразователя, то есть в конце цикла делитель возвращается в исходное состояние. Сигнал направления движения остается неизменным в течение всего цикла работы преобразователя и делителя 4:1 и может меняться только в паузах между этими циклами (периодами выходного сигнала ФВ). Длительность паузы зависит от скорости и направления движения и может быть от 4 до 10 % периода частоты питания ФВ.

Формирование серии сдвинутых сигналов  $\sin$  и  $\cos$ , содержащих информацию о величине и направлении перемещения, выполняется формирователем ФСК.

Формирователь выполнен на основе реверсивного двоичного счетчика на микросхемах К155ИЕ7, на вход которого приходят сигналы перемещения с выхода делителя 4:1, а управление счетчиком (сложение, вычитание) производится сигналами направления движения. Один из выходных сигналов перемещения ( $\sin$ ) получается непосредственно с выхода счетчика, а другой сигнал ( $\cos$ ) сдвигается на одну дискрету перемещения отдельной схемой, использующей выходы двух рядов счетчика. Для исключения помех, возникающих в этой схеме в моменты переключения выходов счетчиков, сигналы  $\sin$  и  $\cos$  синхронизируются задержанными на сдвиге регистре сигналами перемещения. Используемый объем счетчика, в зависимости от исполнения блока, набирается перемычками, коммутирующими выходы счетчика, и равен 32:1 или 16:1. Это необходимо для получения одинаковой дискреты перемещения (1,25 мкм) при разном, приведенном к валу двигателя, перемещении. При этом деление электрического оборота ФВ выполняется соответственно на 2000 и 4000 дискрет (увеличение относительно дискреты скорости в восемь и четыре раза).

Формирователь нуль-метки ФНМ выполнен на D-триггере и определяет момент совпадения фронта

выходного сигнала ФН с зоной нуль-метки - сигналом определенной длительности, выходящим с частотой питания ФВ и находящимся в определенной фазе относительно нее, что обеспечивает выходные характеристики сигнала НМ. Наличие сигнала нуль-метки индицируется светодиодом V3.

Усилители выходных прямых и инверсных сигналов  $\sin$ ,  $\cos$  и НМ выдают уровни выходных сигналов, требуемые устройством ЧПУ [лог."0" - от 0 до 1,5 В, лог."1" - от 9 до 13 В при сопротивлении нагрузки 820 Ом]. Выходные каскады усилителей выполнены по схеме эмиттерных повторителей на комплементарной паре транзисторов.

Для схемы управления электроприводом требуется импульсный сигнал  $\bar{\omega}_{вр}$  частоты вращения ротора, представляющий собой в определенном масштабе импульсы перемещения, и сигнал направления движения. Необходимое при этом количество импульсов сигнала  $\bar{\omega}_{вр}$  равно 1000 дискрет на один электрический оборот ФВ, поэтому сигнал  $\bar{\omega}_{вр}$  берется с выхода реверсивного счетчика после деления 16:1 и не зависит от исполнения блока.

Для правильной выдачи импульсов  $\bar{\omega}_{вр}$  при изменении направления на каждом импульсе необходимо при одном (положительном) направлении движения выдавать импульс на положительном фронте сигнала с выхода счетчика, а при другом (отрицательном) направлении движения - на отрицательном фронте указанного сигнала.

Формирование указанных импульсов  $\bar{\omega}_{вр}$  в формирователе ( $\Phi_{\omega}$ ) выполняется путем совпадения прямого и задержанного инверсного сигналов и наоборот. Полученные импульсы коммутируются на выход сигналом направления движения.

Цифроаналоговый преобразователь ЦАП преобразует цифровой код перемещения за период выходной частоты ФВ в напряжение, величина и знак которого характеризует величину и знак скорости вращения ротора ФВ.

Код скорости на вход ЦАП поступает с выхода регистра-счетчика перемещения, а сигнал направления скорости - из коммутатора КМ.

Схема ЦАП состоит из собственно микросхемы десятиразрядного ЦАП К572ПА1А с выходным операционным усилителем и коммутатора опорного напряжения ЦАП.

Микросхема ЦАП преобразует код скорости в ток, а выходной усилитель с отрицательной обратной связью преобразует ток в напряжение. Сопротивление обратной связи находится в микросхеме ЦАП.

Источник опорного напряжения 9,6 В выполнен на операционных усилителях (OU) с отрицательной обратной связью, включенных по схеме инвертирующего усилителя. Эталонном для получения опорного напряжения является стабилизированное напряжение питания плюс 5 В. Коэффициент передачи OU выбран

таким образом, чтобы получить на выходе опорное напряжение 9,6 В.

Коммутатор опорного напряжения выполнен на операционном усилителе с отрицательной обратной связью и с коэффициентом усиления 1. С помощью ключей на полевых транзисторах, управляемых сигналами направления движения, операционный усилитель включается инвертором или повторителем, то есть меняет на обратный или оставляет неизменным знак опорного напряжения 9,6 В, подаваемого с источника опорного напряжения.

Скоммутированное опорное напряжение подается на вход опорного напряжения ЦАП.

Цифровой код приращения перемещений, подаваемый на вход ЦАП в качестве кода скорости, измеряется за неодинаковые периоды времени ( $T_{в}/T_{п}$ ), зависящие от скорости и направления перемещения, что приводит к погрешности в измерении скорости, достигающей примерно 3 % на максимальной скорости перемещения. При движении в сторону отставания фазы  $T_{в} > T_{п}$ , поэтому код скорости завышен и – наоборот. Для исключения этой погрешности введена обратная связь с выхода усилителя ЦАП на вход операционного усилителя источника опорного напряжения.

Цикл работы блока начинается с момента перехода синусоидального сигнала ФВ через нуль от отрицательных значений к положительным, при этом запускается один из счетчиков перемещения, например, Сч1 из исходного состояния, установленного в предыдущем цикле. Одновременно запускается схема формирования стробов СЗ–С5.

Код приращения перемещения, полученный в последующем цикле работы блока из другого счетчика (Сч2), записывается стробом СЗ через коммутатор в регистр-счетчик перемещения РП.

Одновременно стробом СЗ записывается в триггер из Сч2 сигнал направления движения, производится установка нуля в делителе 4:1 и установка ПКИ в нулевое состояние.

Сигналом строба С4 к записанному в РП значению кода перемещения при необходимости прибавляется единица младшего разряда.

Сигналом строба С5 разрешается работа ПКИ и производится начальная установка счетчика Сч2.

Часть схем памяти блока (триггеры, счетчики, регистры) имеет собственную периодичность работы с периодом сигнала  $f_{в}$  и указанные сигналы установки (стробы СЗ–С5) при нормальной работе лишь подтверждают их состояние в конце цикла. Не имеет периодической установки лишь реверсивный счетчик формирователя ФСК, поскольку в нем хранится остаточное количество импульсов, не кратное дискрете перемещения.

В режиме сигнатурного контроля на все без исключения схемы памяти периодически подается начальная установка для обеспечения однозначности сигнатур.

Блок измерителя скорости ИС4 предназначен для выделения приращения фазового сдвига выходного напряжения измерительных преобразователей ПИ (индуктивных фазовращателей ФВ) и преобразования величины приращения в сигналы частоты вращения.

Входные сигналы – выходное синусоидальное напряжение фазовращателя амплитудой 3–20 В, номинальной частотой 2 кГц. Приращение фазового сдвига выходного напряжения фазовращателя за период выходного напряжения пропорционально скорости вращения ротора фазовращателя.

Выходные сигналы частоты вращения следующие:

1) аналоговый сигнал фактического значения частоты вращения АС1 формируется из промежуточных (внутренних) сигналов перемещения, полученных непосредственно после преобразования приращения фазового сдвига в код. Количество таких дискрет перемещения за один электрический оборот ФВ равно 8000. Максимальный уровень выходного аналогового сигнала частоты вращения 9,6 В, что соответствует 1023 дискретам частоты вращения или примерно  $127,6 \text{ с}^{-1}$  (одна дискрета равна 9,4 мВ). Частоте вращения  $6000 \text{ мин}^{-1}$  соответствует аналоговый сигнал, равный 7,5 В;

2) импульсный сигнал  $\omega_{вр}$  – 1000 импульсов за один электрический оборот ФВ. Уровни сигнала  $\omega_{вр}$  совпадают по величине с уровнями сигналов микросхем серии К155;

3) сигнал ОНЦ используется совместно с сигналом  $\omega_{вр}$  и имеет те же уровни выходного сигнала.

Способ получения сигналов АС и  $\omega_{вр}$  в блоке ИС4 аналогичен способу получения сигналов скорости в блоке ФИИ.

Функциональная схема блока показана на рис. 54. Она отличается от функциональной схемы блока ФИИ тем, что в ней отсутствуют схема формирователя сигналов  $\sin$ ,  $\cos$ , усилители выходного сигнала и схема формирователя нуля-метки, а также есть различия в формировании некоторых других сигналов.

В схеме формирователя импульсов счетчиков перемещения в качестве синхронизирующей частоты в блоке ИС4 используется частота 16 МГц вместо частоты 32 МГц в блоке ФИИ.

Двоичные счетчики перемещения в блоке ИС4 объемом 8192 (вместо 16384 в блоке ФИИ) начальной установкой кода 192 приводятся к объему 8000.

Для образования кода, соответствующего перемещению, используется 10 младших разрядов счетчиков перемещения (в блоке ФИИ используется 9 разрядов). Количество разрядов коммутатора кодов счетчиков и регистра счетчика перемещения соответственно увеличено на единицу.



На вход преобразователя кода в количестве импульсов поступает десятиразрядный код по шинам  $b_1...b_{10}$  в отличие от девятиразрядного кода в блоке ФИИ. Входная последовательность импульсов  $d$  для преобразователя получается на отдельном делителе 64:37 (вместо делителя 64:35 в блоке ФИИ). Для сглаживания неравномерности выходной частоты импульсов на выходе преобразователя включен делитель 2:1, а количество импульсов, выдаваемое преобразователем, увеличено в 2 раза путем соответствующей подачи кода на управляющие входы преобразователя.

Цифроаналоговый преобразователь выполнен аналогично схеме блока ФИИ, за исключением того, что на вход его поступает десятиразрядный код, и выходная дискрета ЦАП соответственно равна 9,4 мВ (в блоке ФИИ выходная дискрета равна 18,8 мВ).

### Сигнатурный анализатор СА7

Сигнатурный анализатор СА7 предназначен для контроля функционирования и поиска неисправностей в цифровой части блоков электропривода, а также для контроля измерителя перемещений и индикации величины перемещения. При поиске неисправностей в цифровой части блоков электропривода блок СА7 используется совместно с измерительным щупом ИЩ5.

В режиме сигнатурного анализа СА уровни входных и выходных сигналов блока соответствуют уровням логического "0" и "1" микросхем ТТЛ серии К155.

Входной информационный сигнал ВЩ вводится с выхода щупа ИЩ5 при подключении его к контролируемой цепи.

Выходные тестовые сигналы в режиме СА:

1) для блоков ФИИ и ИС4 – фазы контрольные  $\overline{ФК1}$ ,  $\overline{ФК2}$ , сигнал опорной частоты ОЧС; сигнал блокировки импульсных сигналов перемещения БСП, сигнал зона нуль-метки  $\overline{ЗНМ}$ ;

2) для блока АП5 сигнал ОЧС;

3) для блоков РС3 и ЗТ4 – сигнал скольжения СС; стробы  $\overline{С6}$ ,  $\overline{С7}$ ,  $\overline{С8}$ , импульсный сигнал частоты вращения ротора  $\overline{ωвр.}$ ; сигнал  $\overline{20}$  кГц; сигнал отрицательного направления движения ОНД;

4) для блоков РТ8 и РТ9 – сигнал ОЧС;  $\overline{20}$  кГц; 500 кГц, сигнал запрета управления инвертором привода подачи ЗУИП, сигнал контроля К, сигнал аварийного токового отключения инвертора АТ;

5) для блоков ФИИ, ИС4, АП5, РС3, ЗТ4, РТ8, РТ9 – сигнал начальной установки при сигнатурном контроле НУ, разрешение сигнатурного контроля  $\overline{РСК}$ .

Тестовые сигналы обозначены аналогично входным сигналам проверяемого блока, но отличаются по частоте в несколько раз, например, частота сигнала  $\overline{20}$  кГц равна 100 Гц.

Частота повторения сигнатуры 3,1 Гц.

Частота стробирования входной информации (разрешающая способность при измерении сигнатур) 800 кГц.

Сигнатура индицируется в виде четырехразрядного шестнадцатеричного кода цифровыми индикаторами типа АЛС314А.

В режиме измерителя перемещений ИП на вход блока подаются основные и смещенные импульсные сигналы перемещения  $\overline{\sin}$ ,  $\overline{\sin}$ ,  $\overline{\cos}$ ,  $\overline{\cos}$  и сигналы  $\overline{HM}$ ,  $\overline{HM}$ .

Указанные сигналы имеют уровни лог. "1" от 9 до 13 В и лог. "0" от 0 до 1,5 В и поступают из блока ФИИ проверяемой координаты.

Величина перемещения индицируется в виде четырехразрядного десятичного кода; максимальная величина перемещения – 9999 дискрет (дискрета перемещения составляет 1:8000 или 1:4000 оборота вала двигателя и зависит от исполнения блока ФИИ).

Сигнал на выходе элемента при работе последнего представляет собой последовательность нулей и единиц различной длительности, поэтому если на входы логического элемента подать определенные тестовые последовательности, то на выходе элемента появится строго определенная последовательность нулей и единиц, зависящая от исходных последовательностей и логической функции элемента. При любой неисправности элемента выходная последовательность изменится.

Метод сигнатурного анализа заключается в измерении дискретно во времени длительности каждого "0" и "1" в последовательности большой длины за ограниченный промежуток времени с преобразованием результата измерения по определенному закону в параллельный четырехразрядный шестнадцатеричный код (сигнатуру), характеризующий данную последовательность.

Сравнивая сигнатуру выходного сигнала проверяемого элемента с эталонной (снятой на исправном элементе), можно сделать заключение о правильности работы проверяемого элемента.

Упрощенная схема формирования и индикации сигнатуры контролируемого цифрового сигнала показана на рис. 55.

После сигнала начальной установки НУ на один вход сумматора поступает выходной сигнал проверяемой микросхемы, на остальные входы сумматора поступают сигналы обратной связи с определенных разрядов сдвигового регистра, которые суммируются по модулю "2" с сигналом от проверяемой микросхемы. Результат поступает на информационный вход сдвигового регистра и продвигается по разрядам сдвигового регистра синхροимпульсами. Период повторения синхροимпульсов меньше или равен длительности состояния "0" или "1" на информационном входе сдвигового регистра для обеспечения записи всех состояний "0" и "1"

указанного сигнала. Для однозначности записи синхросигнал не совпадает с моментом изменения сигнала на входе сдвигового регистра.

Период синхросигнала представляет при этом дискрету измерения длительности нулей и единиц проверяемого сигнала.

Сумматор по модулю "2" выдает на выход единицу при нечетном количестве единиц на его входах и нуль - при четном. После нулевой начальной

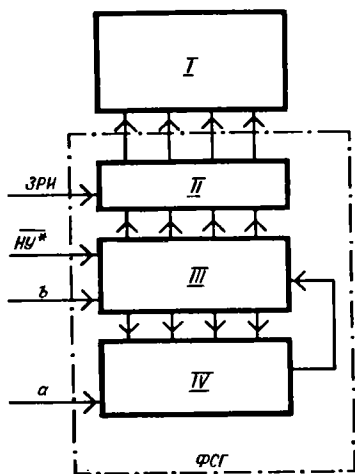


Рис. 55. Блок-схема формирования и индикации сигнатуры контролируемого цифрового сигнала:

I - четырехразрядный индикатор шестнадцатеричного кода; II - регистр индикации; III - сдвиговый регистр 16 разрядов; IV - сумматор по модулю "2"; а - сигнал от проверяемой микросхемы; б - синхроимпульс 800 кГц; ЗРИ - сигнал записи в регистр индикации; ФСГ - формирователь сигнатуры

установки сдвигового регистра по обратным связям на вход сумматора поступают нули, поэтому единицы и нули входной последовательности поступают на вход сдвигового регистра без изменения до тех пор, пока первая единица не запишется в ячейку, с которой берется обратная связь. Начиная с этого момента, сигнал на выходе сумматора (записываемый в сдвиговый регистр) будет определяться суммой по модулю "2" входного сигнала с сигналами обратной связи, поэтому на входе сдвигового регистра последовательность импульсов зависит как от поступающей входной последовательности, так и от текущего состояния регистра, которое, благодаря обратной связи, отразило характер предыдущей последовательности.

Несмотря на то, что после шестнадцати импульсов сдвига содержимое регистра начинает выдвигаться из него, информация о характере всей предыдущей последовательности не теряется.

Обратные связи на сумматор заведены с разрядов: 7, 9, 12, 16, что обеспечивает при шестнадцатиразрядном сдвиговом регистре погрешность меньше  $2^{-16}$  (0,002 %).

После прохождения входной последовательности оставшаяся в сдвиговом регистре информация (сиг-

натура) переписывается в регистр индикации, что позволяет производить многократное измерение входной последовательности.

Цикл работы устройства начинается с момента сигнала начальной установки НУ (рис. 56) и заканчивается записью полученной сигнатуры в регистр индикации сигналом ЗРИ - запись в регистр индикации. После этого цикл повторяется. Период повторения синхросигнала должен быть больше максимально возможной суммарной задержки тестового сигнала в проверяемом блоке, в схеме формирования тестовых сигналов и в формирователе сигнатуры ФСГ.

Для контроля с помощью сигнатур схема цифровой части проверяемого блока должна удовлетворять следующим требованиям:

1) иметь вход начальной установки всех элементов памяти;

2) иметь возможность разрыва цепей обратных связей. Иначе при неисправности какого-либо элемента будут неправильными сигнатуры всех других элементов, входящих в эту цепь, что не позволит однозначно определить неисправный элемент.

Интервал между двумя моментами выдачи сигнала НМ может быть использован как эталонный для контроля функционирования измерителя перемещений в блоке ФИИ.

Сигнал НМ формируется дважды за один оборот вала двигателя, и его получают путем фиксации совпадения фазы выходного сигнала датчика угла (фазовращателя) с интервалом, заданным сигналом ЗРМ. Фаза сигнала ЗРМ постоянна относительно синусоидальных сигналов возбуждения фазовращателя  $\sin I\Phi_B$ ,  $\cos I\Phi_B$  и поэтому сигнал НМ соответствует определенному положению вала двигателя.

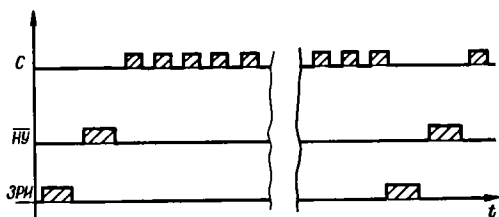


Рис. 56. Диаграмма формирования цикла сигнатурного контроля

Интервал между двумя фронтами сигнала НМ кратен 2000 дискрет. Величина, полученная путем счета сигналов  $\sin$ ,  $\bar{\sin}$ ,  $\cos$ ,  $\bar{\cos}$ , сформированных в этом интервале, должна быть также кратной 2000.

На рис. 57 приведена схема прохождения сигналов в режиме СА.

Тестовые и управляющие (НУ, ЗРИ и синхроимпульсы) сигналы на проверяемый блок и схему формирования и индикации сигнатур выдает схема формирования тестовых и управляющих сигналов.

Выбор необходимой комбинации тестовых сигналов осуществляется путем подачи из проверяемого блока статического кода по входам сигналов выбора блока ВВ1...ВВ5 в соответствии с табл. 5.



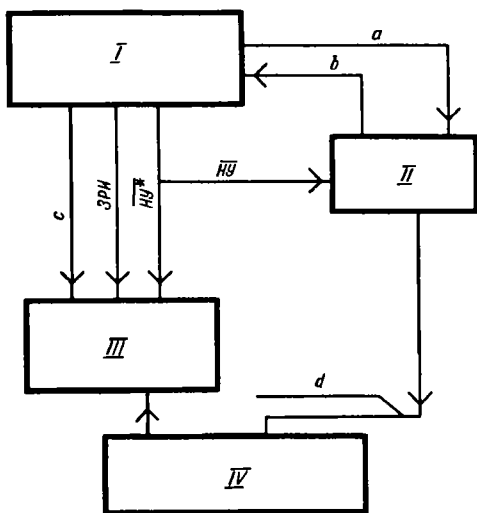


Рис. 57. Схема связей проверяемого блока при сигнатурном контроле:

I - схема формирования тестовых и управляющих сигналов; II - проверяемый блок; III - схема формирования и индикации сигнатур; IV - буферный усилитель измерительного щупа; а - тестовые сигналы; б - код выбора блока; с - синхронизирующий импульс; д - сигнал с проверяемой микросхемы

Таблица 5

Сигнал	Номера контактов	Шифр блока				
		РТ8, РТ9	ФМII	РС3, ЗТ4	ИС4	АП5
ВБ1	2I	I	0	0	0	0
ВБ2	24	0	0	0	0	I
ВБ3	5I	0	0	I	0	0
ВБ4	52	0	I	0	I	0
ВБ5	28	0	I	0	0	0

Код из проверяемого блока выдается в блок СА7 при подключении блоков к разъемам переходника главного БПГ.

Входная последовательность через буферный усилитель специального измерительного щупа ИЩ5 поступает с выхода проверяемой микросхемы на вход схемы формирования и индикации сигнатуры. Если измеренная и эталонная сигнатуры не совпадают, то необходимо проверить сигнатуры на входах микросхемы. Неисправной считается микросхема, которая при правильных сигнатурах на входах имеет неправильную сигнатуру на выходе.

Функциональная схема блока СА7 приведена на рис. 58. Выходные сигналы блока формируются из ряда опорных частот, полученных на выходах счетчика кодовой развертки из сигналов 3,2 МГц задающего генератора ЗГ. Выходные тестовые сигналы на контактах разъема блока СА7 существуют при наличии одного из соответствующих сигналов разрешения РРТ8, РФМII, РРС3, РИС4 из схемы дешифратора кода выбора блока ДВБ.

СКР выполнен на двоичных счетчиках I6:1 типа KI55ME5.

Из блока СА7 выдается статический сигнал разрешения сигнатурного контроля РСК, которым в частности разрываются обратные связи в цифровых схемах контролируемого блока.

Сигнал начальной установки НУ предназначен для установки элементов памяти в контролируемом блоке в исходное состояние и выдается с частотой повторения сигнатур 3,1 Гц в начале каждого цикла. Внутри блока СА7 используется сигнал НУ\* для установки элементов в исходное состояние, в частности для установки сдвигового регистра в ФСТ в нулевое состояние, из него же путем сдвига на двух триггерах формируется сигнал НУ, что позволяет получать сигнатуры собственных сигналов блока СА7, частота которых меньше 800 кГц.

Для контроля блоков РС3 и ЗТ4 формируются сигналы СС, стробы С6, С7, С8 формирователем стробов ФСТ, сигналы ωвр и ОНД - формирователем направления движения ФНД и сигнал 20 кГц. Если сигнал формируется на схемах совпадения из выходных сигналов от СКР, то он выдается на выход через триггер-синхронизатор для исключения возможных помех на фронтах сигналов от СКР.

Для контроля блоков РТ8 и РТ9 формируются сигналы 20 кГц, ОЧС, 500 кГц, ЗУИП, К, АГ.

Для контроля блоков ФМII и ИС4 формируются сигналы ФК1 и ФК2, предназначенные для имитации сигнала непрерывной фазы ФН, сигнал ОЧС частотой 200 кГц, который используется вместо сигнала опорной частоты 32 МГц и сигнал ЗНМ.

Знак и величина перемещения имитируются длительностью периода сигналов ФК1 и ФК2, при этом первые два периода сигнала ФК1 (ФК2) эквивалентны заданию перемещения в положительном направлении на 384 дискреты за период, а следующие два периода - перемещению в отрицательном направлении на ту же величину; затем четырехпериодный цикл повторяется.

Сдвиговый регистр СР преобразует последовательность импульсов, поступающую по входу ВЩ от измерительного щупа в код сигнатуры. Сдвиговый регистр содержит микросхему KI55ИП2 сумматора по модулю "2", на входы которой поступают сигнал от измерительного щупа, а также сигналы обратной связи с четырех промежуточных выходов сдвигового регистра, выполненного на микросхемах KI55ИП3.

На информационный вход сдвигового регистра подается сигнал с выхода сумматора, а на тактирующий (сдвигающий) вход - строб 800 кГц.

В конце периода получения сигнатуры сигналом ЗРИ информация из сдвигового регистра переписывается в регистр индикации, выполненный на микросхемах KI55ИП3, после чего сигналом НУ\* сдвиговый регистр обнуляется и начинается новый цикл формирования сигнатуры.

В режиме измерителя перемещений ИП, который задается установкой переключателя S2 в положение ВНИЗ, импульсные сигналы перемещения sin, sin,

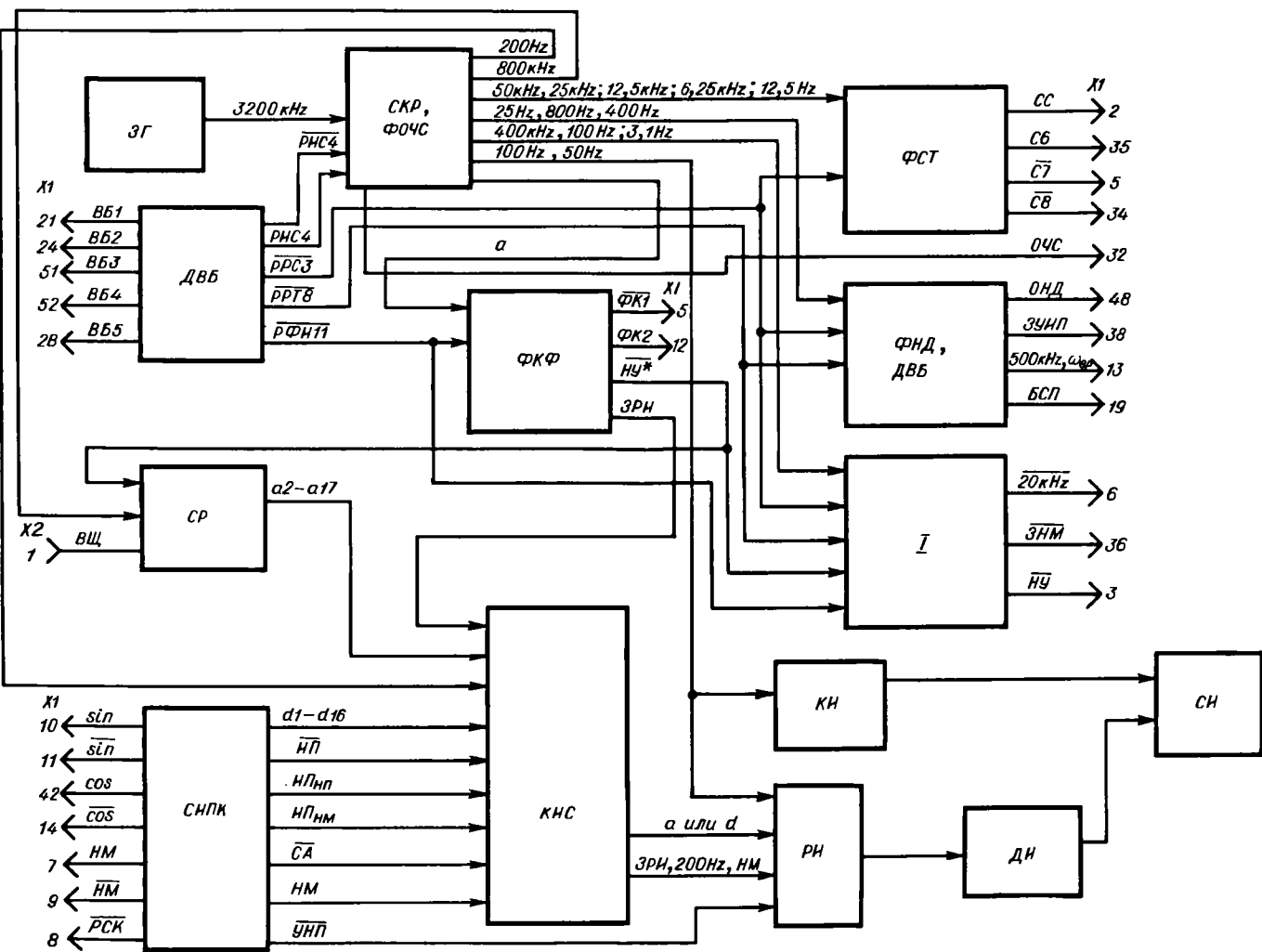


Рис. 58. Функциональная схема сигнатурного анализатора СА7:

I - формирователь сигналов 20 кГц, ЗНМ, НУ; ЗГ - задающий генератор 3200 кГц; СКР - счетчик кодовой развертки; ФОЧС - формирователь ФЧС; ФСТ - формирователь стробов; ДВБ - дешифратор выбора блока; ФКФ - формирователь контрольных фаз; ФНД - формирователь направления движения; СП - сдвиговый регистр; СИПК - счетчик импульсов перемещения координаты; КИС - коммутатор индицируемых сигналов; КИ - коммутатор индикации; РИ - регистр индикации; СИ - схема индикации; ДИ - дешифратор индикации; а - сигналы управления ФКФ

$\cos$ ,  $\overline{\cos}$  через делители напряжения (для согласования по уровню), шинные формирователи типа К589АП6 и одновибраторы типа К155АП1 поступают на счетчик импульсов перемещения координаты СИПК. СИПК выполнен реверсивным, направление счета определяется путем анализа совпадений импульсных сигналов перемещения и сигналов с выходов одновибраторов. Диаграммы сигналов на счетных входах первого счетчика СИПК приведены на рис. 59. Логические уравнения счетных импульсов вращения: для положительного направления  $\sin \cdot \overline{\cos} + \overline{\sin} \cdot \cos + \cos \cdot \overline{\sin} + \overline{\cos} \cdot \sin$ , для отрицательного направления  $\sin \cdot \overline{\cos} + \overline{\sin} \cdot \overline{\cos} + \cos \cdot \overline{\sin} + \overline{\cos} \cdot \sin$ .

СИПК устанавливается в начальное состояние сигналом, сформированным по совпадению сигнала НМ и сигнала условного нуля привода УНП, который задается нажатием кнопки S1. Сигналы НМ и  $\overline{НМ}$

предварительно формируются по уровню аналогично импульсным сигналам перемещения.

Код с выходов СИПК на индикацию может выдаваться непрерывно и дискретно, в моменты времени, определяемые сигналом НМ. Режим непрерывной индикации получают установкой переключателя S3 в положение ВНИЗ, а индикации по сигналу НМ - в положение ВВЕРХ.

В режиме непрерывной индикации перемещения блок СА7 может быть использован как циклический измеритель перемещения с объемом 9999 дискрет. Перемещение большей величины вычисляется по формуле  $(10000N+K) A_0/4000$  или  $(10000N+K) A_0/8000$ , где N - число циклов переполнения счетчика;

K - код, индицируемый в точке останова;  
 $A_0$  - величина перемещения, приведенная к одному обороту вала двигателя.

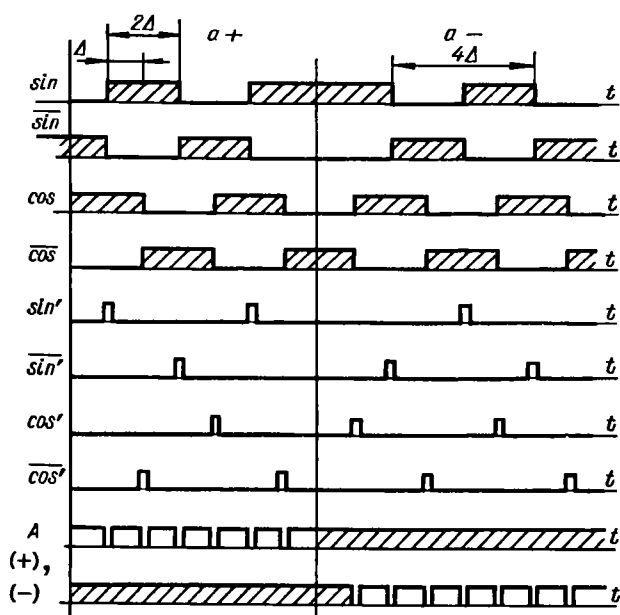


Рис. 59. Диаграммы сигналов на счетных входах первого счетчика импульсов перемещения:

$\Delta = 1:8000$  или  $1:4000$  оборота двигателя и зависит от исполнения блока ФИП; А - счетные импульсы; а - вращение

В режиме индикации по сигналу НМ при перемещении механизма код должен изменяться на величину, кратную 2000 дискрет. Этот режим используется для контроля блока ФИП и позволяет выявить дефекты, связанные с выдачей избыточного или меньшего числа импульсных сигналов перемещения.

Код сигнатуры с выхода сдвигового регистра СР и код перемещения с выходов СИПК в регистр индикации ИИ поступают через коммутатор индицируемых сигналов КИС, выполненный по схеме "монтажное ИЛИ" на микросхемах типа К155ЛП8 (с тремя состояниями).

ИИ предназначен для хранения и выдачи по тетрадам кода сигнатуры или перемещения и состоит из регистра на микросхемах типа К155ИР13 и коммутатора на микросхемах типа К155КП2. Запись кода в ИИ в режиме СА осуществляется сигналом ЗФИ, а в режиме ИП - по сигналу НМ или сигналом частотой 200 Гц. Коммутатор ИИ управляется сигналами 100 Гц и 50 Гц, с помощью которых выделяются четыре временных интервала (по числу десятичных разрядов ИИ).

Схема индикации СИ выполнена на цифровых индикаторах типа АЛС314А на излучающих диодах, управление которыми осуществляется через двухступенчатый дешифратор. Первой ступенью-дешифратором-демультиплексором 4-16 типа К155ИД3 - формируется позиционный инверсный код, из которого второй ступенью на элементах И-НЕ серии К155 формируется код управления излучающими диодами; одноименные диоды подключены к одной выходной цепи дешифратора. Цепь тока через диоды, на анод которых подано питание, замыкается через один из замкнутых ключей коммутатора индикаторов ИИ. Ключи

ИИ выполнены на транзисторах КТ817А и управляются синхронно с интервалом выдачи из ИИ соответствующего разряда кода, временной интервал формируется из сигналов 100 Гц и 50 Гц сдвоенным дешифратором-демультиплексором 2-4 типа К155ИД4. Среднее значение тока через каждый диод равно его номинальному току, что соответствует нормальной яркости свечения.

#### Щуп измерительный ИЩ5

Щуп измерительный ИЩ5 предназначен для съема и передачи в блок СА7 сигналов при контроле функционирования блоков электропривода, а также для контроля уровней этих сигналов на соответствие требованиям к входным и выходным сигналам микросхем серии ТТИ.

Входной сигнал из проверяемого блока передается на выход щупа через эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторах V3 и V4 разного типа проводимости (для компенсации порогового напряжения эмиттер-база транзисторов). Резисторы R2 и R3 задают начальное смещение, равное 1,5 В на входе эмиттерного повторителя. Это начальное смещение введено для индикации возможного обрыва цепи проверяемого сигнала.

Резистор R1 и диоды V1, V2 защищают эмиттерный повторитель от выхода из строя при случайном подключении к цепям с напряжением до 15 В или минус 15 В.

Схема контроля сигнала по уровню позволяет обнаружить сигналы, у которых уровень лог. "0" больше 0,8 В, а уровень лог. "1" меньше 2,4 В. Уровни эталонных сигналов задаются от цепи 5 В делителем на резисторах R6, R7 и R8. Сравнение напряжений осуществляется компараторами D1, D2 типа К554СА3. Свечение светодиода V5 свидетельствует об отклонении одного уровня или обоих от граничных значений.

#### Источник питания ИП36

Источник питания ИП36 обеспечивает:

1) преобразование постоянного напряжения с выхода звена постоянного тока в стабилизированные напряжения 15 В, минус 15 В и 5 В;

2) генерирование переменного напряжения частотой около 800 Гц, которое используется как первичное в источниках питания схем управления в блоках КС12, КР9, КТ7 (сигнал питания ключей ПК);

3) формирование сигнала установки при включении питания Уст. 0;

4) измерение напряжения на выходе звена постоянного тока и формирование сигнала управления разрядным ключом РК, сигнала ИИ при превышении напряжения на выходе звена постоянного тока уровня 675 В, сигнала низкого напряжения ИИ;

5) выравнивание напряжения на последовательно соединенных конденсаторах звена постоянного тока;

6) контроль режима вентиляции шкафа электропреобразователей по температуре перегрева основания блока, выполненного в виде ребристого тепловода, расположенного в воздушном канале вентиляции.

Параметры источников стабилизированных напряжений приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Напряжение источника	Параметры	
	Максимальный ток нагрузки, А	Амплитуда пульсаций, мВ
5 В $\pm$ 5 %	10	50
15 В $\pm$ 10 %	3	200
минус 15 В $\pm$ 10 %	3	200

Источник переменного напряжения для питания силовых ключей рассчитан на ток нагрузки 4 А (эффективное значение) при амплитуде напряжения от 12,6 В до 15,4 В; частота выходного напряжения от 640 Гц до 960 Гц, напряжение смещения нуля не более 10 мВ.

Сигнал установки при включении питания Уст.0 выдается отключением на 200–300 мс цепей нагрузки сигнала от источника минус 15 В, максимальный ток нагрузки не более 50 мА.

Диаграммы состояния сигналов НН, ПН, РК в функции от напряжения на выходе звена постоянного тока приведены на рис. 60.

В формирователе сигнала НН при напряжении до 420 В, а в формирователе сигнала ПН – свыше 675 В, транзисторный ключ, включенный между источником минус 15 В и нагрузкой, находится в непроводящем состоянии, что эквивалентно разрыву цепи.

Блок ИП36 – элемент системы защиты от случайного включения блоков управления в разъем, не предназначенный для этого типа блоков. В этой ситуации цепь блокировки БИ соединяется с шиной 0 В и создаются условия, исключающие нормальное функционирование блока ИП36, поэтому выходные напряжения не формируются.

Контрольный режим, при котором схема защиты источника отключена, задается разрывом цепи блокировки защиты БЗ; в рабочем режиме цепь БЗ соединяется с 0 В.

Для собственных нужд в блоке ИП36 имеются следующие источники:

1) задающий генератор, выполненный по схеме мультивибратора на операционном усилителе, формирующий двухполярный импульсный сигнал Г прямоугольной формы и пилообразное напряжение частотой около 4 кГц;

2) два источника эталонного напряжения  $U_{ЭТ}$  ( $U_{ЭТ} = 1,3 \text{ В} \pm 1\%$ ).

Конструктивно блок ИП36 выполнен в виде модуля, несущим элементом которого является

ребристый тепловод. На тепловоде смонтировано П-образное основание, с внешней стороны которого размещены печатные платы ПЛ176, ПС78, П36. В объемной части блока размещены транзисторы V9, V10 высоковольтного модулятора, диоды V11...V19 выпрямителя, трансформаторы Т2, Т3, дроссели L3...L5 фильтров и конденсаторы С4...С7 фильтров и ряд других элементов.

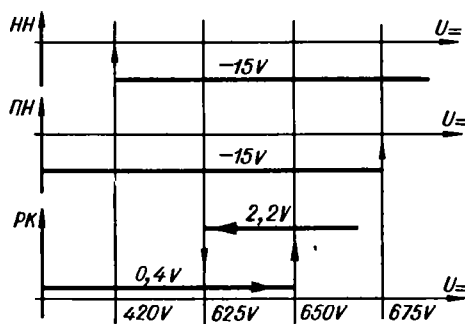


Рис. 60. Диаграммы состояния сигналов НН, ПН, РК в функции от напряжения

На плате ПЛ176 размещены элементы, относящиеся к управлению и защите транзисторов V9, V10 высоковольтного модулятора.

Плата ПС78 содержит низковольтные элементы стабилизаторов 15 В, минус 15 В и 5 В, схему контроля высокого напряжения, схему контроля температуры.

На плате П36 расположены элементы схемы защиты, схемы запуска источника, выпрямитель источника оперативного напряжения, источник питания силовых ключей.

Питание блока ИП36 осуществляется от источника с номинальным напряжением 270 В, минус 270 В, оперативные цепи питаются переменным напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Структурная схема блока ИП36 приведена на рис. 61.

Стабилизатор 15 В выполнен на базе полумостового статического преобразователя постоянного напряжения в постоянное с широтно-импульсной стабилизацией действующего значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора Т2.

В состав стабилизатора входят широтно-импульсный регулятор ШИР, счетный триггер, схема управления ключами, высоковольтный модулятор на транзисторах V9 и V10, двухполупериодный выпрямитель на диодах V14...V17 с LC-фильтрами на выходе, выходное напряжение которых используется для питания нагрузки.

ПИ – регулятор ШИР выделяет сигнал рассогласования  $U_p$  между средним напряжением с выхода трансформатора Т2 и эталонным  $U_{ЭТ}$ ; сигналы  $U_p$  в свою очередь сравниваются с опорным пилообразным напряжением  $U_n$  задающего генератора, и в результате сравнения формируется импульсный сигнал, длительность которого пропорциональна среднему

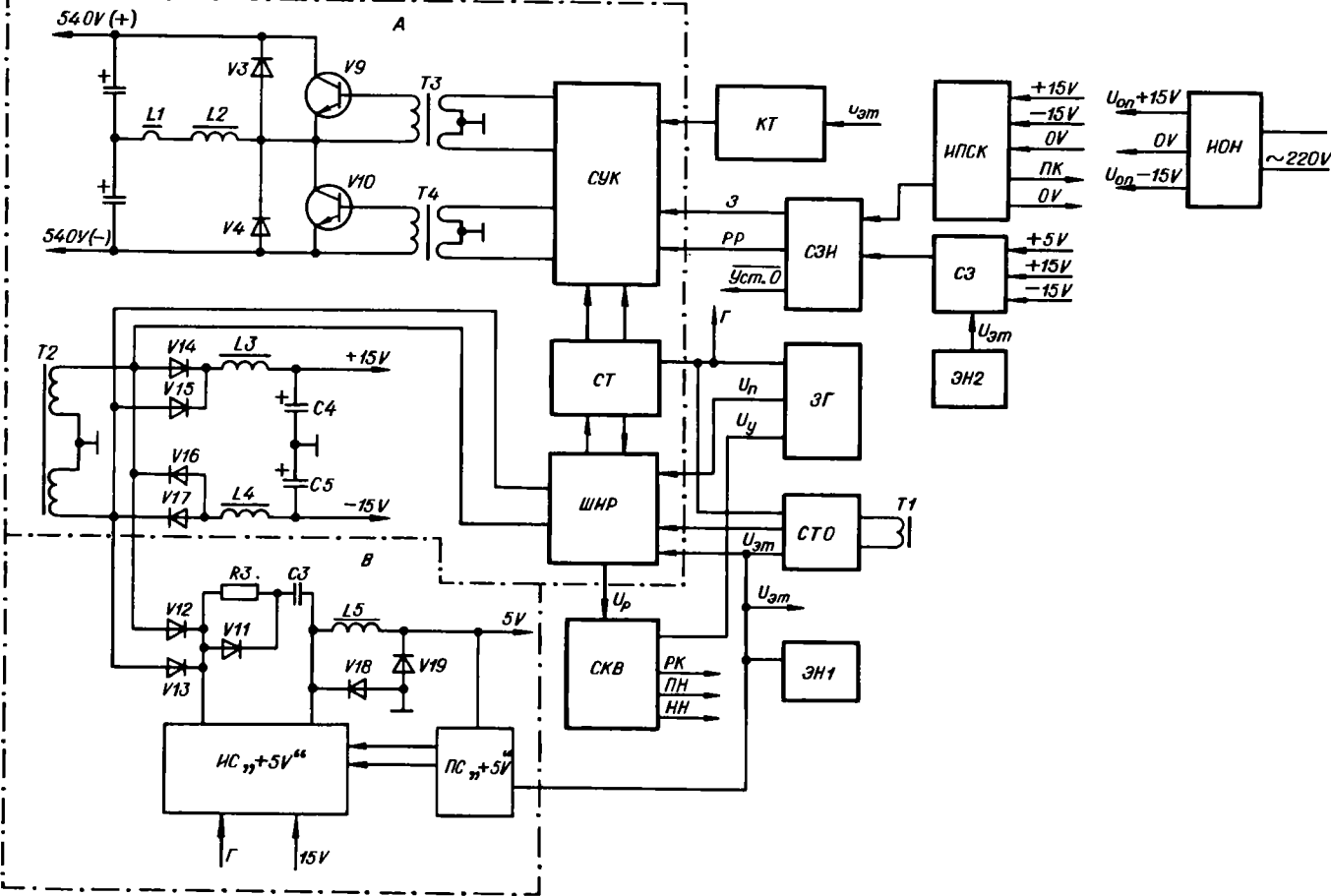


Рис. 61. Структурная схема блока ИПЗ6:

А - стабилизатор 15 В; В - стабилизатор +5 В; ЗГ - задающий генератор; ИОН - источник оперативного напряжения; ИПСК - источник питания силовых ключей; ИС +5 В - импульсный стабилизатор +5 В; КТ - контроль температуры; ПС +5 В - параллельный стабилизатор +5 В; СЗ - схема защиты; СЗН - схема запуска источника; СКВ - схема контроля высокого напряжения; СТ - счетный триггер; СТО - схема токоограничения; СУК - схема управления ключами; ШИР - широко-импульсный регулятор; ЭН1 - эталон напряжения стабилизаторов; ЭН2 - эталон напряжения защиты

напряжению на выходе трансформатора. Выходной импульсный сигнал ШИР через триггер и схему управления ключами передается на управление транзисторами V9 и V10 высоковольтного модулятора. Первичная обмотка трансформатора T2 включена между средней точкой емкостного делителя (конденсаторы C1 и C2 в блоке БК41) и общей точкой ключей на транзисторах V9 и V10, силовые выводы которых соединены с шинами 540 В (+) и 540 В (-) выпрямителя в блоке БЗ2. При таком включении нагрузки можно сформировать на ней двухполярные импульсы амплитудой 270 В; длительность положительных и отрицательных импульсов синхронно регулируется таким образом, чтобы среднее напряжение на вторичных обмотках трансформатора T2 было равно 15 В.

Транзисторы V9 и V10 высоковольтного модулятора защищены от перегрузок на фронтах коммутируемых импульсов с помощью элементов формирования траектории переключения L1, L2, C1, C2, V1, V2, R1, R2. При включении транзистора V9 (V10) темп изменения тока ограничен индуктивностью дросселя L1 (L2), а при отключении транзисторы шунтируют-

ся конденсатором C2, поэтому в момент коммутации произведение тока через транзистор на напряжение на транзисторе не превышает допустимой величины. Для исключения перенапряжений на переходах коллектор-эмиттер из-за индуктивного характера нагрузки транзисторы V9, V10 шунтированы возвратными диодами V3, V4. Обратное напряжение на переходах база-эмиттер ограничено с помощью стабилитронов V6, V8.

ШИ-регулятор ШИР выполнен на операционном усилителе D1, выходной сигнал рассогласования  $U_p$  которого определяется разностью эталонного напряжения  $U_{эТ}$ , равного 1,3 В, и напряжения, пропорционального среднему значению напряжения на выходе трансформатора T2, которое получают с помощью двухполупериодного выпрямителя на диодах V1, V2 и RC-фильтра. Для выравнивания постоянных времени заряда и разряда конденсатора C1 фильтра включены диод V5 и резисторы R1, R4. Делитель на резисторах R5 и R6 необходим для согласования по уровню выходного напряжения фильтра с эталонным напряжением.

Темп нарастания напряжения на нагрузке при включении источника задается по входу напряжения  $U_{ЭТ}$  цепочкой из резисторов R8, R10, диода V6 и конденсатора C2; постоянная времени этой цепи около 22 мс. Управление темпом нарастания напряжений исключает перенапряжения в LC-фильтрах цепей I5 В и минус I5 В.

Сигнал рассогласования  $U_p$  сравнивается с опорным пилообразным напряжением  $U_{П}$ , в результате сравнения компаратор D2 формирует сигнал в виде соотношения интервалов проводящего и непроводящего состояний выходного транзистора компаратора, с помощью которого из выходных сигналов симметричного триггера на транзисторах V12, V16 с запоминающими конденсаторами C6, C7 формируются импульсы включения транзисторов V9, V10 высоковольтного модулятора; длительность этих импульсов определяется длительностью проводящего состояния выходного транзистора компаратора D2 (рис. 62).

Триггер на транзисторах V12, V16 получает питание от задающего генератора в виде импульсов положительной полярности. За время импульса происходит заряд одного из конденсаторов C6 или C7. Заряженный конденсатор в следующем интервале удерживает связанный с ним транзистор в запертом состоянии и тем самым переключает ток в другой конденсатор. Выходные сигналы триггера в контрольных точках 5 и 6 приведены на рис. 62; отрицательные фронты формируются отрицательными фронтами напряжения, питающего триггер.

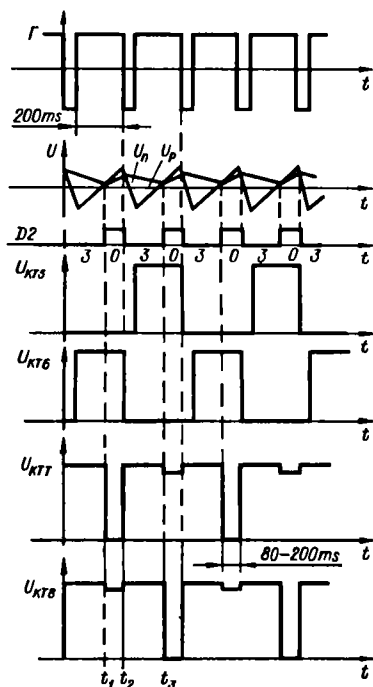


Рис. 62. Диаграмма сигналов широтно-импульсного регулятора: D2 - выход D2

Импульсы включения (отключения) транзисторов V9, V10 высоковольтного модулятора получаются с помощью трансформаторов T3, T4 в момент протекания тока через обмотку. В интервале  $t_1-t_2$  (рис. 62) открыты ключи на транзисторах V10, V20 платы ПС78 и ток от источника I5 В через транзисторы V19, V20 протекает по обмотке трансформатора T3; в интервале  $t_2-t_3$ , после запертия транзистора V20, трансформатор T3 размагничивается током через транзистор V22, который открыт э.д.с. самоиндукции на обмотке трансформатора T3. В это же время транзистор V9 высоковольтного модулятора заперт отрицательным напряжением на переходе база-эмиттер. Процессы управления транзистором V10 высоковольтного модулятора формируются аналогично с помощью ключей на транзисторах V15, V21, V23.

Для исключения нестабильности на фронтах импульсов включения (отключения) введена положительная обратная связь с выхода ключей V10, V15 через диоды V9, V14 и резистор R17 на вход балансировки NC компаратора D2. По этому входу фиксируется переход выходного транзистора компаратора D2 в открытое состояние в момент, когда  $U_{П}$  ставится больше  $U_p$ .

Транзистор V19 является элементом в системе защиты источника, его базовый ток задается через транзистор V25, который управляется в рабочем режиме сигналом З из схемы защиты (плата ПЗ6), а в контрольном - током, заданным через резисторы R41 и R42, при этом цепь сигнала БЗ должна быть отключена от цепи 0 В. В рабочем режиме при срабатывании защиты ток в цепи сигнала З прерывается, транзистор V19 закрывается и управление транзисторами V9, V10 высоковольтного модулятора прекращается.

Стабилизатор I5 В снабжен схемой защиты от токовых перегрузок в цепях первичной обмотки трансформатора T2 и в цепях управления ключами высоковольтного модулятора. Ток в первичной обмотке трансформатора T2 измеряется с помощью трансформатора T1, нагруженного на резистор R48 платы ПС78. Отказы транзисторов V20, V21 платы ПС78, или V9, V10 высоковольтного модулятора, или трансформаторов T3, T4, которые приводят к увеличению тока в эмиттере транзистора V19 более 0,7 А, выявляются с помощью измерительного резистора R30.

Сигналы, пропорциональные измеренному значению тока, подаются на компараторы D4 и D5, где сравниваются с уставками, заданными от источника эталонного напряжения  $U_{ЭТ}$  делителями на резисторах R53 и R50, R54 и R51. Уставка в 120 мВ соответствует току 3,5 А в первичной обмотке трансформатора T1; компаратор D4 реагирует на импульсы положительной полярности, а компаратор D5 - отрицательной. Выходные транзисторы компараторов соединены последовательно и через транзис-

тор V7 прерывают формирование импульсов включение транзисторов V9, V10 высоковольтного модулятора.

Компараторы охвачены цепью положительной обратной связи через схему на транзисторе V31. Стробирование компараторов по входу Н импульсами отрицательной полярности от задающего генератора в сочетании с положительной обратной связью гарантирует формирование импульсов при срабатывании компараторов с длительностью, не менее длительности импульса от задающего генератора, что достаточно для срыва генерации импульсов управления в стабилизаторе I5 В.

Стабилизированные напряжения 5 В получают с помощью импульсного и параллельного стабилизаторов 5 В.

Источником нестабилизированного напряжения служит трансформатор Т2 и выпрямитель на диодах V12, V13; нагрузка подключается через последовательно соединенные регулирующий элемент РЭ импульсного стабилизатора (транзисторы V45...V47) и дроссель L5. Регулирующий элемент РЭ (транзистор V52) параллельного стабилизатора подключен к выходу дросселя L5 параллельно нагрузке и управляется сигналом разности между заданным уровнем стабилизированного напряжения и напряжением на нагрузке, а также в функции тока через РЭ.

В импульсном стабилизаторе 5 В РЭ (транзисторы V45...V47) управляется ключом на транзисторе V44, на вход которого подаются импульсы включения (отключения) РЭ и сигнал разрешения функционирования стабилизатора 5 В с выхода компаратора D11. Если напряжение на выходе стабилизатора I5 В становится более 13,5 В, компаратор D11 формирует этот сигнал в виде разрыва цепи, фиксирующей нулевой потенциал базы транзистора V44 относительно эмиттера.

Диаграммы, поясняющие процесс управления РЭ импульсного стабилизатора, приведены на рис. 63. При включении РЭ ключ на транзисторе V44 управляется импульсом положительной полярности в сигнале Г от задающего генератора по цепи через резистор R92. Длительность импульса включения определяется уровнем сигнала от измерительного резистора R110, контролирующего величину тока через РЭ параллельного стабилизатора 5 В. Во время импульса включения РЭ импульсного стабилизатора к дросселю L5 прикладывается импульсное напряжение  $U_L$ , и в дросселе L5 развивается ток, величина которого равна сумме тока нагрузки и допустимого (3,5 А) тока через параллельный стабилизатор. При токе, большем допустимого, на входе D12:3 формируется отрицательный фронт, свидетельствующий о переключении компаратора D12, блокировке базы транзистора V44 и переводе РЭ в состояние ОТКЛЮЧЕНО; ток в дросселе с этого момента начинает уменьшаться. Уставка, определяющая величину допустимого тока через параллельный стабилизатор, задана падением

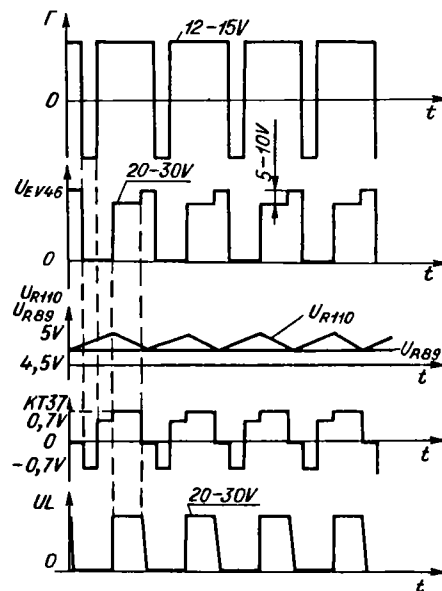


Рис. 63. Диаграмма сигналов импульсного стабилизатора

напряжения на резисторе R89; а с помощью резисторов R91, R93 и диода V40 вводится в компараторе D12 положительная обратная связь при переключениях компаратора. Во время действия отрицательного импульса сигнала Г по входу D12:8 снимается блокировка базы транзистора V44 компаратором D12.

Транзисторы V45...V47 РЭ защищены от перепадов напряжений цепочкой из элементов V11, C3, R3, подключенных параллельно РЭ.

В параллельном стабилизаторе 5 В разностный сигнал между эталонным напряжением и напряжением на нагрузке выделяется операционным усилителем D13 и через эмиттерный повторитель на транзисторах V50, V51 воздействует на регулирующий элемент (транзистор V52), который шунтирует часть тока, создающую избыточное напряжение на нагрузке.

В установившемся режиме в РЭ параллельного стабилизатора существует ток, среднее значение которого около 2 А.

Если напряжение на нагрузке меньше заданного, транзисторы V50...V52 заперты.

Для получения аperiodического переходного процесса на нагрузке при включении источника эталонное напряжение подается через интегрирующую цепь R100, C27.

Источник переменного напряжения для питания силовых ключей выполнен по схеме мультивибратора с помощью компаратора D4 с ключевым усилителем мощности на транзисторах V26...V31. Делитель напряжения на резисторах R44 и R43, включенных в цепь положительной обратной связи мультивибратора, формирует величину знакопеременного порога переключения компаратора D4; постоянная времени цепи R46 - C7, включенной в цепь отрицательной обратной связи, и величина порога переключения определяет частоту колебаний мультивибратора. Для уменьшения сквозных токов при переключениях

выходных ключей (транзисторы V28...V31) управление ими осуществляется через формирование паузы; при формировании положительных фронтов длительность паузы определяется постоянной времени цепи R49 - C10, а отрицательных фронтов - цепи C10 - R50, диоды V24, V25 включены для развязки цепей перезаряда конденсатора C10.

Контроль частоты переключения осуществляется по уровню напряжения на конденсаторе C12; сигнал неисправности выдается с коллектора транзистора V38 в виде потенциала, близкого к нулю.

Для контроля высокого напряжения используется выпрямленное напряжение обратной связи  $U_{ос}$ , которое подается на пик-детектор, выполненный на элементах V38, R75, R76, R78...R81, C21. На конденсаторе C21 выделяется напряжение, пропорциональное амплитуде напряжения на вторичной обмотке трансформатора T2, то есть пропорциональное напряжению звена постоянного тока. Напряжение выходов делителя R76, R78...R80 сравнивается на компараторах D8...D10 с напряжением эталона  $U_{эт}$ , таким образом формируются сигналы НМ, ПН, РК.

Оперативные напряжения  $U_{оп} + 15В$ ,  $U_{оп} - 15В$  получают с помощью трансформатора T5, выпрямителя на диодах V41...V44 платы П36 и фильтра на конденсаторах C6, C7. С момента начала функционирования стабилизатора 15 В цепи оперативного напряжения подключаются к источникам 15 В и минус 15 В через схему перехвата на диодах V39, V40.

Переход база-эмиттер транзистора V35 используется в качестве датчика температуры. Транзистор V35 размещен на теплоотводе параллельного стабилизатора, который крепится к основанию блока, что позволяет фиксировать перегрев основания блока выше 80 °С, вызванный или отказом вентиляции шкафа или неисправностями в силовой части блока ИП36.

Падение напряжения на переходе база-эмиттер транзистора V35 сравнивается с установкой, заданной по входу 4 компаратора D7 от источника  $U_{эт}$  делителем на резисторах R68 и R65, R66. При равенстве напряжений на входах 3 и 4 выходной транзистор компаратора D7 открывается, и замыкается цепь положительной обратной связи через резистор R71, фиксирующая это состояние компаратора.

Нулевой уровень сигнала на выходе компаратора D7 при срабатывании тепловой защиты блокирует через транзистор V25 управление транзисторами V9, V10 высоковольтного модулятора. Состояние перегрева индицируется светодиодом V36 платы ПС78.

Блок ИП36 начинает функционировать после снижения температуры основания блока и после повторной подачи на блок напряжений 220 В и  $U=540 В$ .

Схемой запуска источника формируются следующие сигналы:

- 1) разрешение работы источника РР;
- 2) защита З;
- 3) установка при включении питания Уст. 0.

Несимметричный триггер на транзисторах V3, V4 формирует в КТИ сигнал с положительным фронтом в момент достижения напряжением в цепи  $U_{оп} + 15В$  уровня 10 В. Этот сигнал открывает транзистор V5 и снимает блокировку схемы управления ключами высоковольтного модулятора сигналом РР по цепи эмиттера транзистора V24.

Запуск источника исключается при подсоединении выхода несимметричного триггера к 0 В по цепи сигнала БИ.

Положительным фронтом сигнала в КТИ через дифференцирующую цепь C2-R8 производится начальная установка несимметричного триггера защиты на транзисторах V12, V13 и запускается одновибратор, выполненный на операционном усилителе D1. Импульс длительностью 200-300 мс с выхода D1:10 используется для блокировки компараторов защиты А 1, А 4 на время запуска источника, а также для формирования сигнала Уст. 0.

Сигнал защиты З снимается с выхода триггера защиты и определяет базовый ток транзистора V25. После установки триггера защиты транзистор V25 открывается и разрешает управление ключами высоковольтного модулятора. Прерывание управления может произойти по сигналу от схемы защиты, поданному на базу транзистора V12 триггера защиты. Переключение триггера при прерывании управления (при срабатывании схемы защиты по одному из параметров) индицируется светодиодом V11. Для повторного запуска источника необходимо снять и подать вновь питающие напряжения.

В блоке ИП36 обеспечиваются следующие виды защит:

- 1) защита по минимальному уровню напряжений 5 В ( $U_{мин} + 5 В$ ), минус 15 В ( $U_{мин} - 15 В$ );
- 2) защита по максимальному уровню напряжения 5 В ( $U_{макс} + 5 В$ ), 15 В ( $U_{макс} + 15 В$ );
- 3) защита от токовых нагрузок в цепях первичной обмотки трансформатора T2.

Кроме того, в блоке контролируется функционирование источника переменного напряжения для питания силовых ключей.

Для повышения надежности защиты в блоке ИП36 применены два источника эталонного напряжения  $U_{эт}$ : на плате ПС78 для стабилизаторов 15 В и 5 В и на плате П36 для схемы защиты, при этом обеспечивается контроль и самих источников  $U_{эт}$ .

Схема источника  $U_{эт}$  приведена на рис. 64, обозначения V32...V34, R58...R64 соответствуют обозначениям элементов на плате ПС78, а обозначения VT1...VT4 и их выводов I...I4 - обозначениям транзисторов в сборке КР198НТ1Б.

На транзисторах VT1...VT3 реализуется традиционная схема термокомпенсированного источника опорного напряжения на биполярных транзисторах. Эмиттерные повторители на транзисторах VT4 и V31 не изменяют сущности схемы, потому что потенциалы их баз и эмиттеров одинаковы; включение этих



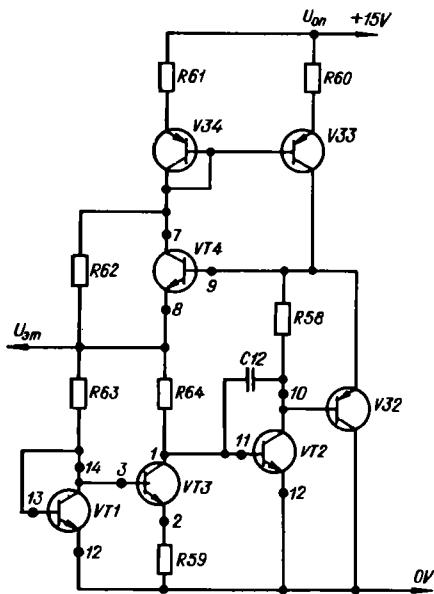


Рис. 64. Схема источника эталонного напряжения

транзисторов позволило увеличить нагрузочную способность источника. Транзисторы  $V_{33}$  и  $V_{34}$  включены по схеме, эквивалентной схеме "токового зеркала" и представляют собой генераторы тока. Конденсатор  $C_{12}$  - корректирующий.

Падение напряжения на переходе база-эмиттер транзистора  $VT_1$  используется в качестве первичного источника напряжения 0,6 В. Выбором величин резисторов  $R_{59} = R_{63} = 0,1$   $R_{64}$  обеспечивается требуемая величина напряжения  $U_{\text{ЭТ}} = 1,3$  В.

Защита по минимальному и максимальному уровню стабилизированных напряжений осуществляется

путем сравнения с помощью компараторов уровней уставки от эталонного напряжения  $U_{\text{ЭТ}}$  и уровней, заданных через резистивные делители напряжений соответствующих цепей. При срабатывании компаратора его выходной транзистор задает на базу транзистора  $V_{12}$  триггера защиты потенциал, близкий к нулю, и вызывает его переключение.

Схема контроля функционирования источника переменного напряжения для питания силовых ключей воздействует аналогично на транзистор  $V_{12}$  триггера защиты.

Защита от токовых перегрузок воздействует на тот же триггер защиты косвенно, через защиту по минимальным уровням напряжений.

Необходимость выравнивания напряжения на последовательно соединенных группах конденсаторов  $C_{3...C_{58}}$  и  $C_{59...C_{116}}$  обусловлена возможной разницей суммарных емкостей групп, которая приведет к обратному пропорциональному распределению напряжений на конденсаторах (превышению допустимых для конденсатора напряжений).

В установившемся процессе работы блока ИП36 импульсы управления транзисторами  $V_9, V_{10}$  высоковольтного модулятора становятся симметричными по длительности и должны отдавать в нагрузку равные порции энергии, следовательно, амплитуда этих импульсов также должна быть одинакова. Это эквивалентно включению между шинами 540 В (+) и 540 В (-) одинаковых, последовательно соединенных нагрузочных элементов, средняя точка которых соединена по постоянному току со средней точкой групп конденсаторов через малое активное сопротивление первичной обмотки трансформатора  $T_2$ , то есть эквивалентно включению делителя с равными сопротивлениями в плечах.

# О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение . . . . .	I
Назначение . . . . .	I
Технические данные . . . . .	I
Состав и конструкция . . . . .	3
Устройство и работа . . . . .	6
Принцип работы электропривода . . . . .	6
Силовая цепь электропривода . . . . .	8
Защита и контроль . . . . .	8
Устройство и работа составных частей . . . . .	8
Тр-инвисторный инвертор . . . . .	8
Регулятор тока . . . . .	8
Датчик тока . . . . .	10
Трехфазный регулятор тока привода подачи . . . . .	10
Трехфазный регулятор тока главного привода . . . . .	11
Ключ силовой КС12 . . . . .	11
Защита инверторов по току . . . . .	14
Блок контроля токов КТ7 . . . . .	14
Измеритель напряжения на нагрузке инвертора . . . . .	15
Защита инверторов от перенапряжений . . . . .	16
Ключ разрядный КР9 . . . . .	17
Регулятор скорости РС3 . . . . .	17
Задатчик токов ЗТ4 . . . . .	21
Блок автоматики и питания датчиков АП5 . . . . .	21
Блок автоматики главного привода АГ5 . . . . .	25
Пульт наладочный ПН8 . . . . .	29
Блок преобразования фазы в импульсы ФИ1 . . . . .	30
Блок измерителя скорости ИС4 . . . . .	36
Сигнатурный анализатор СА7 . . . . .	38
Щуп измерительный ИЩ5 . . . . .	42
Источник питания ИП36 . . . . .	42