

**Федеральное агентство по образованию  
Пермский государственный технический университет  
Кафедра электрификации и автоматизации горных предприятий**

Утверждено  
на заседании кафедры  
15 марта 2006 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
РЕВЕРСИВНОГО ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Методическое руководство к лабораторной работе для студентов  
всех специальностей ГНФ всех форм обучения

Пермь 2006

Исследование характеристик реверсивного тиристорного преобразователя. Метод. руководство по курсу «Элементы систем автоматики» для студентов специальности ЭАГП. Сост.: Васильев Б.В., Аристов Е.В., Хузин Р.А. Пермский государственный технический университет, Пермь, 2006

Отражены особенности построения и работы реверсивных тиристорных преобразователей постоянного тока с согласованным и отдельным управлением. Приводятся основные теоретические положения, программа лабораторной работы и контрольные вопросы.

## Реверсивные тиристорные преобразователи постоянного тока

Цель работы:

1. Изучение принципов построения и особенностей работы реверсивных тиристорных преобразователей (ТП) постоянного тока с согласованным и отдельным управлением,
2. Ознакомление с конструктивным исполнением и исследование характеристик реверсивного ТП с отдельным управлением.
3. Ознакомление с конструктивным исполнением и экспериментальные исследования реверсивного ТП с согласованным управлением и отдельным управлением.

Пожелания:

1. Внимательно разобраться с особенностями обоих типов реверсивных тиристорных преобразователей и областями их применения.
2. Научиться объяснять работу преобразователя при реверсе, переводе из выпрямительного режима в инверторный и обратно, причём как по силовой схеме, так и системе импульсно-фазового управления, а также переключениям логического устройства.

### Основные теоретические положения

Реверсивным называется преобразователь, через который выпрямленный ток может протекать в обоих направлениях. Так как тиристоры пропускают ток только в одном направлении, то для изменения направления тока приходится использовать два комплекта тиристоров, каждый из которых работает в своём направлении. Двухкомплектные преобразователи выполняются по встречно-параллельной и перекрестной схемам. Во встречно-параллельной схеме (рис. 1) оба комплекта тиристоров питаются от общей обмотки трансформатора, причём обе тиристорные группы включены встречно-параллельно друг другу. В перекрестной схеме (рис. 2) каждая тиристорная группа (комплект) питается от отдельной обмотки.

Встречно-параллельные и перекрестные схемы преобразователей могут быть простыми и сложными. В качестве выпрямительной схемы может быть как трехфазная нулевая, так и мостовая Ларионова. Соединение выпрямителей применяется параллельным и последовательным в зависимости от напряжения и тока преобразователя.

В двухкомплектных реверсивных преобразователях используют отдельное и совместное управление тиристорными группами (комплектами). В преобразователях с совместным управлением в силовой схеме между выпрямителями устанавливают уравнивающие реакторы (рис. 1), а при отдельном управлении они не требуются.

Отдельное управление принципиально отличается от совместного тем, что управляющие импульсы СИФУ подаются только на

работающий комплект (группу) тиристоров, другая группа (противоположной полярности) оказывается в это время запертой. Одновременная работа вентильных групп запрещена.

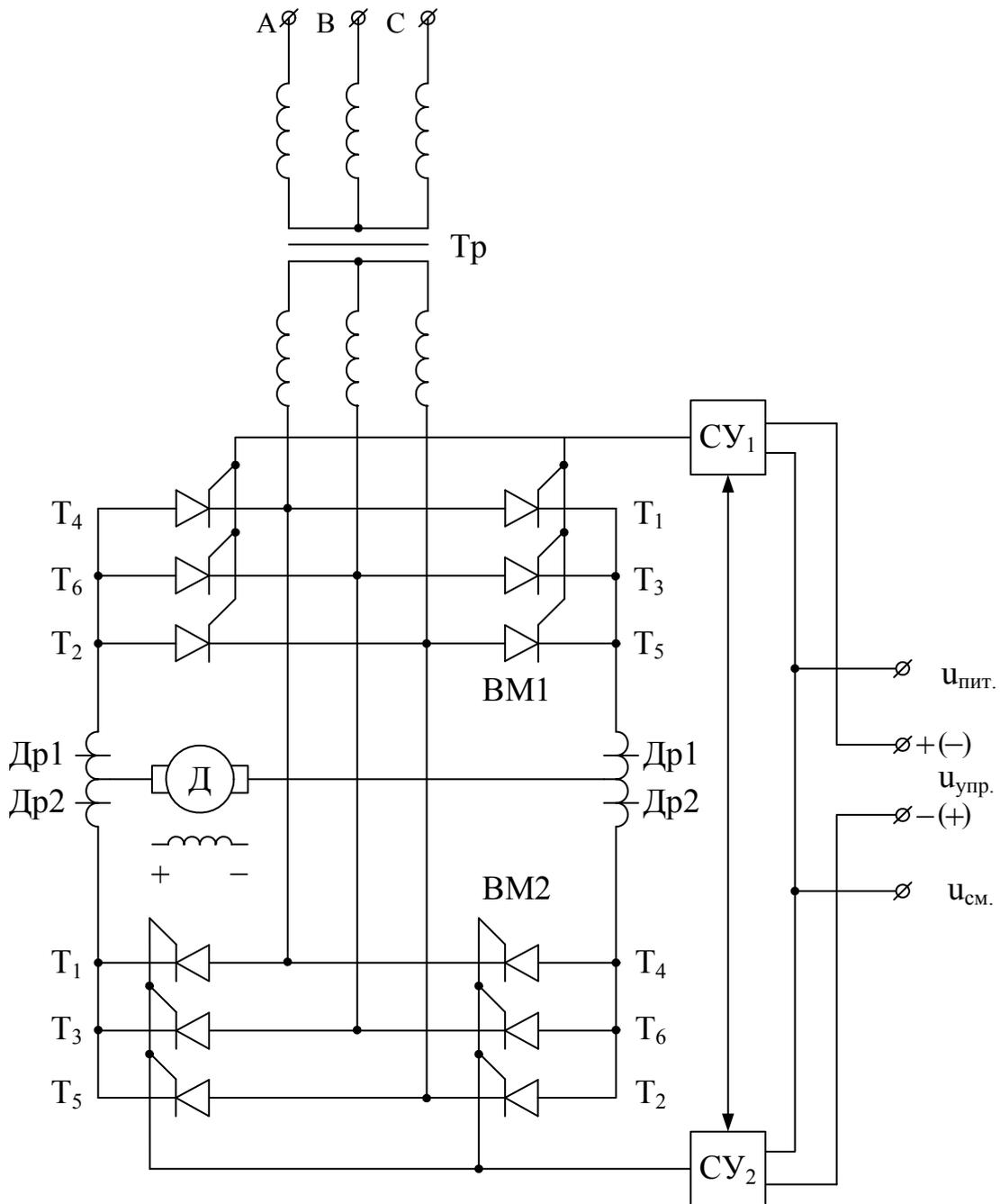


Рис. 1. Встречно-параллельная силовая схема реверсивного тиристорного преобразователя

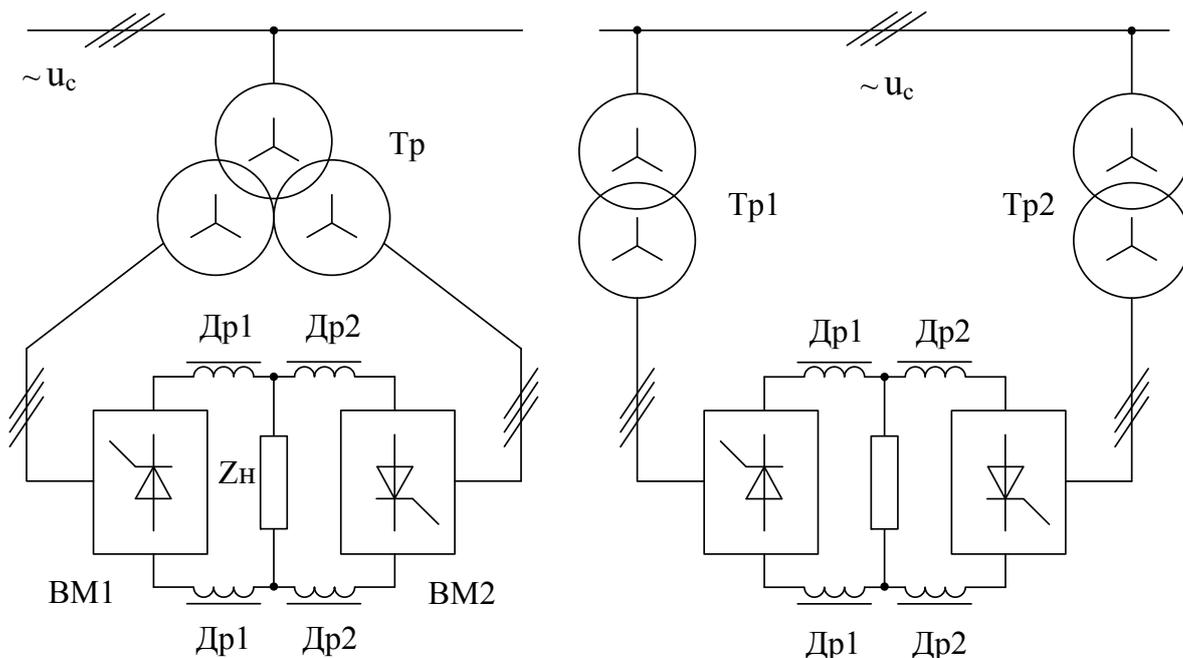


Рис. 2. Перекрестные силовые схемы реверсивных тиристорных преобразователей

В связи с изложенным, условия предотвращения аварийных режимов преобразователя при раздельном управлении следующие:

- недопустима одновременная подача отпирающих импульсов на оба комплекта тиристоров;
- запрет включения одного комплекта при наличии тока в другом;
- запрет снятия отпирающих импульсов с работающего комплекта тиристоров.

Реализация условий запрета подачи импульсов на тот или иной комплект тиристоров осуществляется посредством логического переключающего устройства (ЛПУ), представляющего собой схему релейного действия с дискретными входными и выходными величинами.

Раздельное управление может быть реализовано различными способами:

1. Переключением комплектов в функции знака управляющего сигнала, подаваемого на вход системы управления (ЛПУ не разрешает переключение до момента равенства тока нагрузки  $I_d=0$ ). Этот способ наиболее прост и применим при питании пассивных цепей нагрузки, например, обмотки возбуждения эл. машины.

2. Переключением комплектов в случае, если  $i_1=i_2=0$  и изменилась полярность сигнала ошибки  $\Delta U_y$  на входе системы автоматического регулирования, где  $\Delta U_y = (U_{ynp} - U_y)$  - разница в сигналах управляющего и отрицательной обратной связи. Этот способ может рассматриваться как классический пример использования раздельного управления ТП при питании двигателей постоянного тока.

3. Переключением комплектов в случае, если отсутствует ток  $i_d$  преобразователя, изменилась полярность сигнала ошибки  $\Delta U_y$ , как и в

предыдущем случае, и известно предшествующее состояние запрета включения вентиляльных групп, что возможно при наличии элемента памяти в ЛПУ.

Есть и другие более сложные способы управления, которые встречаются редко и поэтому нами не рассматриваются.

При совместном управлении на оба комплекта выпрямителя подаются управляющие импульсы. При этом один из мостов (рис.1) работает в выпрямительном режиме, а другой в это время подготовлен к работе в инверторном режиме. Схема полярности напряжения на выходе преобразователя изменяет выполняемую функцию комплектов вентиля на обратную. Переход в работе с выпрямителя на инвертор происходит автоматически и практически мгновенно.

Вентильная группа, подготовленная к работе в инверторном режиме, вступает в действие тогда, когда, например, встречная э.д.с. нагрузки по каким-либо причинам становится больше выходного напряжения преобразователя, это возможно при подкручивании двигателя механизмом нагрузки или сбросе напряжения управления преобразователем. При этом параллельный работавший в выпрямительном режиме комплект вентиля запирается встречной э.д.с. нагрузки.

Совместное управление вентильными комплектами возможно как при встречно-параллельной, так и перекрестной схемах.

При совместном управлении, даже если средние выпрямленные напряжения выпрямителя и инвертора одинаковы, мгновенные напряжения не равны, и для ограничения уравнительного тока на требуемом уровне необходимо в контур между выпрямителем и инвертором включить токоограничивающие реакторы. Примеры включения таких реакторов для мостовых схем выпрямления представлены на рис. 1 и 8. В перекрестной схеме имеется один контур уравнительных токов, а во встречно-параллельной и Н-схеме - по два контура.

В промежутки времени  $t_0 - t_1$ , ;  $t_2 - t_3$  и т.д. вследствие неодновременного включения тиристорных выпрямительной и инверторной групп, присоединенных к одной фазе питающего напряжения, возникают уравнительное напряжение  $U_{yp}$ , представляющие собой разность фазных напряжений, и протекает уравнительный ток  $i_{yp}$ . Если принять, что контур уравнительного тока имеет только индуктивное сопротивление, то ток  $i_{yp}$  достигает максимума в момент перехода напряжения через нуль и станет равным нулю в момент времени  $t_1$  (или  $t_3, t_5$  и т.д.), когда площадь ограниченная кривой  $U_{yp}$  под осью абсцисс, станет равной площади, ограниченной кривой над осью абсцисс.

При углах  $\alpha_e$  и  $\beta_u < 60^\circ$  уравнительный ток имеет прерывистый характер, а в кривой уравнительного напряжения есть нулевые участки (в отрезки времени  $t_1-t_2, t_3-t_4$  и т.д.) при  $\alpha_e = \beta_u = 60^\circ$  и более уравнительный ток становится гранично-непрерывным.

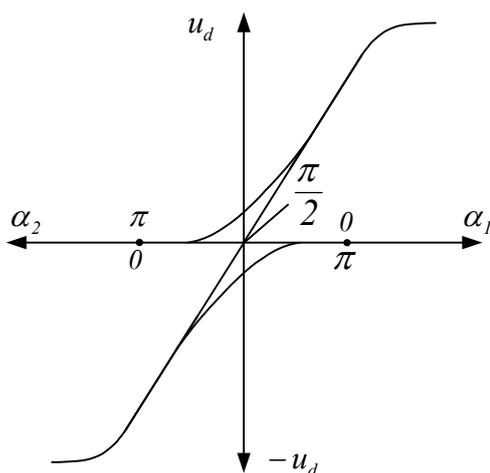


Рис. 4. Регулировочная характеристика реверсивного ТП при раздельном согласованном управлении комплектами

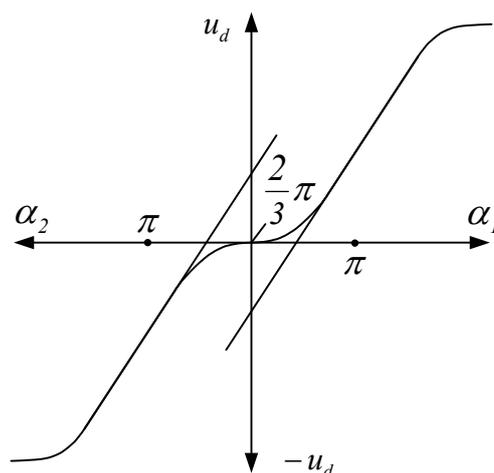


Рис. 5. Регулировочная характеристика реверсивного ТП при раздельном несогласованном управлении комплектами

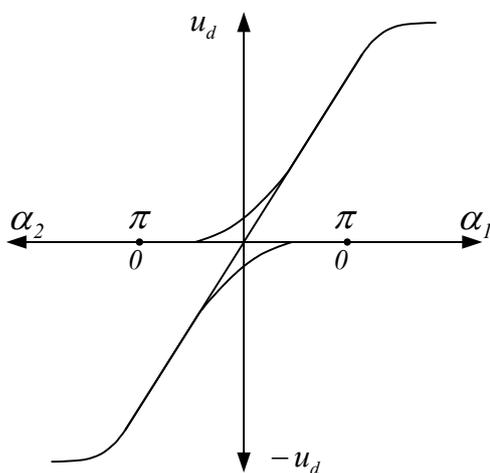


Рис. 6а. Регулировочная характеристика реверсивного ТП при согласованном управлении комплектами

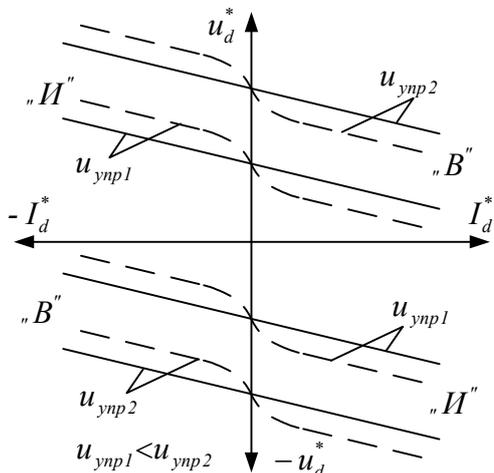


Рис. 6б. Внешние характеристики реверсивного ТП:  
 ---- - при раздельном управлении  
 - — - при согласованном управлении

Токоограничивающие реакторы включаются в контур уравнительного тока по одному или по два на группу (рис. 8), причём их индуктивность выбирается такой, чтобы уравнительный ток не превышал 10 % номинального тока нагрузки.

При раздельном, как и при согласованном управлении, встречные вентильные группы (комплекты) могут иметь индивидуальные системы фазового управления (при раздельном может быть одна СИФУ). В зависимости от их согласования будет меняться регулировочная характеристика преобразователя.

При согласовании регулировочных характеристик вентильных групп в  $90^\circ$  регулировочная характеристика получается такая, как показано на рис. 4.

При согласовании, например, в  $120^\circ$  регулировочная характеристика будет иметь вид, изображенный на рис. 5. При первом способе согласования регулировочных характеристик вентильных групп, называемом линейным, при котором  $\alpha + \beta = 180^\circ$ , регулировочные характеристики совпадают всюду, кроме области вблизи  $90^\circ$ , где появляется зона неоднозначности. Такая зона неоднозначности может быть нежелательной при работе с малыми выпрямленными напряжениями.

При втором способе согласования, называемом нелинейным, при котором  $\alpha + \beta > 180^\circ$ , регулировочные характеристики не совпадают и появляется зона неоднозначности (люфт) при переходе с группы, работающей в выпрямительном режиме, на группу, работающую в инверторном режиме, и наоборот. В системах с согласованным управлением выбором начального угла согласования добиваются возникновения уравнивающего тока, который замыкается внутри выпрямительной и инверторной групп вентилей, минуя контур нагрузки, и может быть установлен непрерывным или гранично-непрерывным. В этом случае даже при отсутствии тока нагрузки устраняется зона прерывистых токов и внешние характеристики становятся линейными. Каждый из способов управления комплектами вентилей обладает своими достоинствами и недостатками, поэтому применение того или иного варианта следует обосновывать в каждом конкретном случае. При раздельном управлении уменьшается вероятность опрокидывания инвертора вследствие меньшего времени работы тиристорной группы в этом режиме по сравнению с совместным управлением, уменьшаются потери электроэнергии в повышается к.п.д. из-за исключения уравнивающих токов. Однако при раздельном управлении регулировочные характеристики преобразователя обладают зоной нечувствительности при переходе с одного направления тока на другое, между моментом снятия импульсов с одной группы тиристоров и подачи их на другую присутствует бестоковая пауза, приводящая к ошибкам по скорости в системах регулирования электроприводов, возможен режим прерывистого тока при котором увеличиваются пульсации тока, а динамические параметры приводов существенно изменяются. Раздельное управление целесообразно применять в тех случаях, когда на реверс допустимо "мертвое" время порядка 5-10 мсек, что приемлемо для большого числа потребителей. Оно предъявляет высокие требования к надёжности устройств для блокирования управляющих импульсов. Сбои в работе блокирующих устройств и появление управляющих импульсов на нерабочем комплекте тиристоров приводит к внутреннему короткому замыканию в преобразователе, так как уравнивающий ток между мостами в этом случае ограничен только индуктивностью рассеяния обмоток трансформатора и достигает недопустимо большой величины. В современных преобразователях применяются высоконадёжные устройства для блокирования управляющих импульсов с очень малой вероятностью сбоя или отказа.

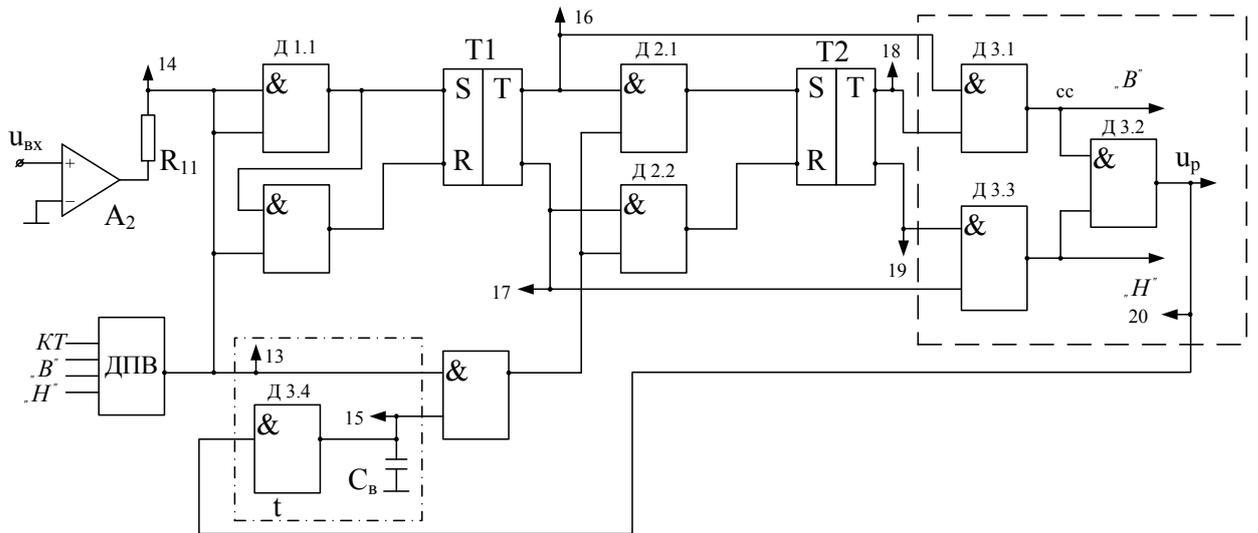


Рис. 7а. Схема логического переключающего устройства преобразователя ТЕР4-63/460Н

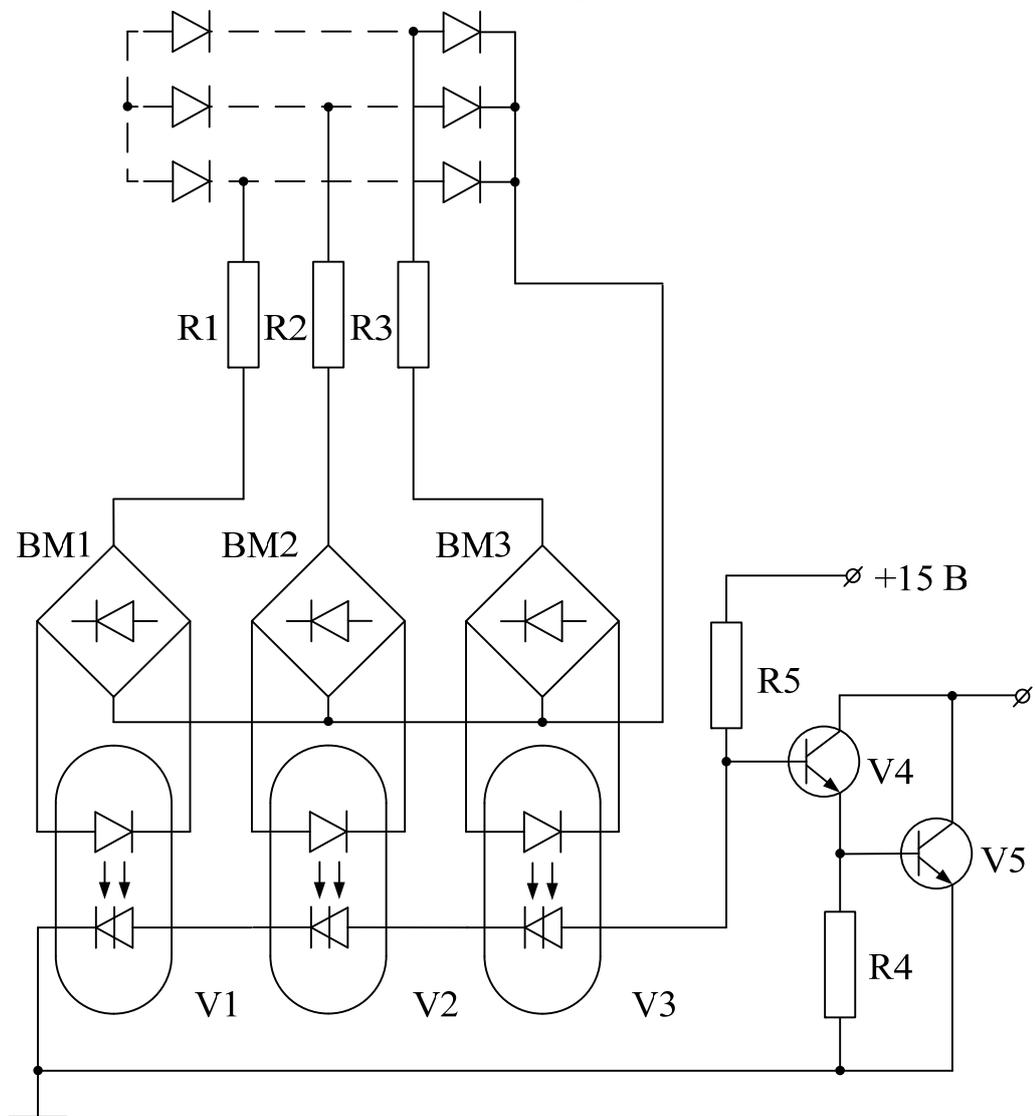


Рис.7б. Схема датчика проводимости вентилей

Согласованное управление позволяет получить наилучшие динамические показатели, позволяющие практически мгновенно переводить преобразователь из выпрямительного режима в инверторный. Значительно улучшается вид внешних характеристик (их жёсткость), они не имеют излома при переходе из выпрямительного режима в инверторный и наоборот. К недостаткам преобразователей с совместным управлением можно отнести сложность наладки, невозможность полного использования вентиляей в выпрямительном режиме, высокие требования в преобразователе к симметрии управляющих импульсов, недопустимость воздействия помех на тиристоры, ухудшение использования трансформатора и понижение коэффициента мощности.

Согласованное управление целесообразно применять в высокоточных электроприводах, где требуется быстрота изменения режимов работы преобразователя.

Перейдем к ознакомлению с конкретными тиристорными преобразователями, установленными в лаборатории. Агрегат тиристорный серии ТЕР4-63/460Н является комплектным устройством и предназначен для питания якорных цепей двигателей постоянного тока в станкостроительной и других отраслях промышленности. Он выполнен в незащищенном исполнении по реверсивной схеме с отдельным управлением и рассчитан на ток 63 А и выпрямленное напряжение 460 Вольт. Силовая схема преобразователя соответствует рис. 1 с той разницей, что в цепи выпрямленного тока отсутствуют уравнивающие реакторы, а вместо трансформатора установлены сетевые реакторы. В каждом плече выпрямительного моста установлено по одному тиристоры. В преобразователе используется одна система импульсно-фазового управления (СИФУ) комплектами тиристоров "Вперед" и "Назад".

Наибольший интерес в агрегате ТЕР4-63/460Н на данном этапе изучения преобразовательной техники представляет блок логики схема которого показана на рис. 7. Логическое переключающее устройство отдельного управления включает в себя нуль-орган (НО), триггер  $T_1$  заданного направления тока, триггер  $T_2$  истинного значения тока, схему совпадения состояний триггеров (СС), элемент отсчёта выдержки времени (ЭОВВ), датчик проводимости вентиляей (ДПВ). Блок логики работает следующим образом.

При изменении полярности напряжения на входе нуль-органа НО (которая может произойти из-за смены знака разности напряжения управления и напряжения пропорционального э.д.с. двигателя) поменяется сигнал на выходе НО. После исчезновения тока в силовой цепи на выходе датчика проводимости вентиляей ДПВ формируется сигнал "1" и при отсутствии управляющих импульсов ( $U_{бл.umn}=1$ ), триггер  $T_1$  перебрасывается в новое состояние. Схема совпадений СС фиксирует несоответствие состояний триггеров ( $U_p=0$ ). Сигналом  $U_p=0$  обеспечивается блокировка выдачи управляющих импульсов СИФУ а также запускается элемент отсчёта выдержки времени  $t$ . После отсчёта выдержки времени (примерно 1 мс)

формируется сигнал "1" на выходе элемента  $t$  и при отсутствии блокирующего сигнала ДПВ, триггер  $T_2$  перебрасывается в новое состояние.

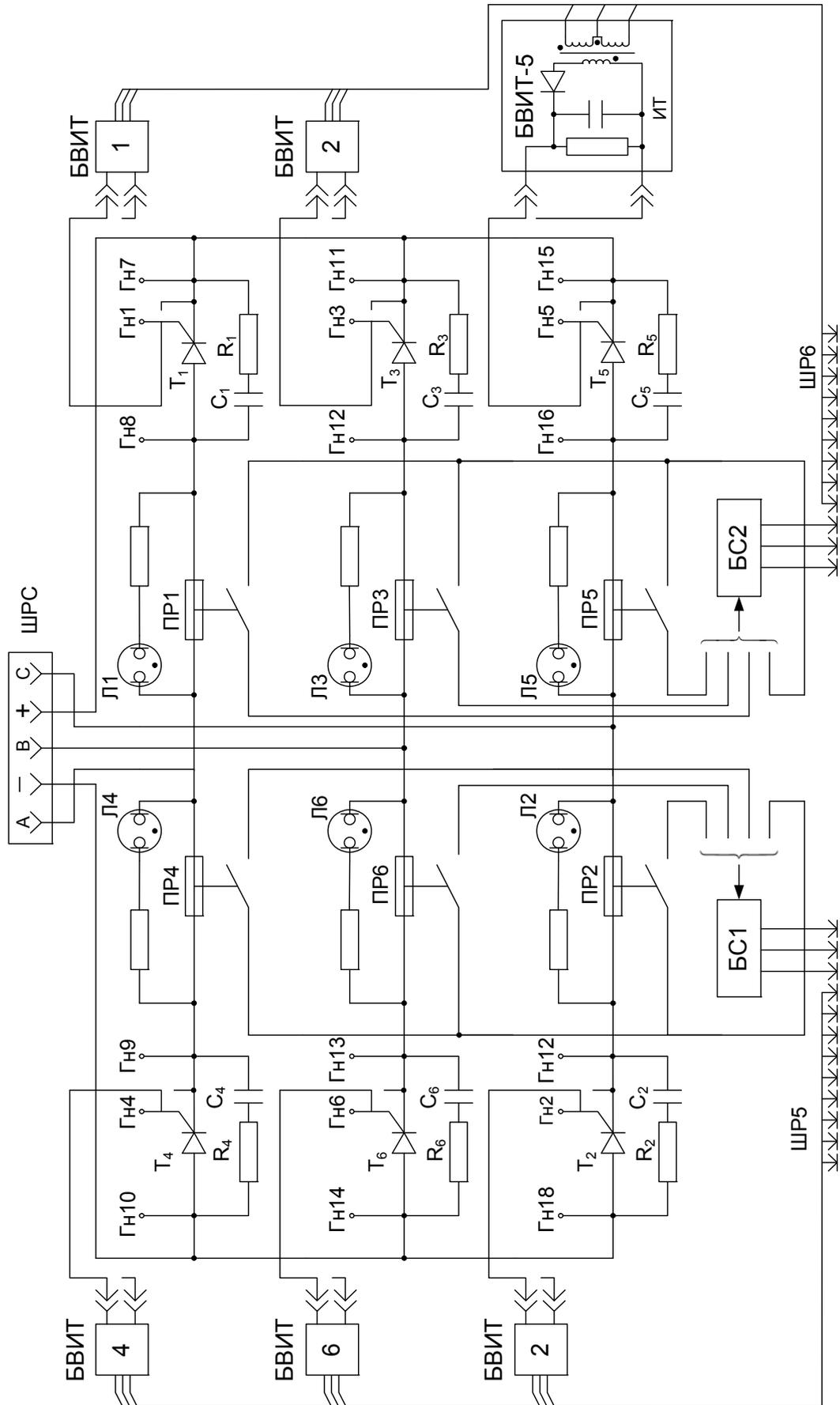


Рис 9. Электрическая принципиальная схема силового блока

Если во время отсчёта выдержки времени на выход НО поступает команда на включение в первоначальное положение, то триггер 1 возвращается в исходное состояние, соответствующее триггеру 2, и мгновенно разрешается выдача управляющих импульсов на тиристоры первоначально работающего комплекта. Это позволяет исключить потерю информации в системе регулирования тока нагрузки, уменьшить бестоковые паузы и обеспечить тем самым устойчивую работу преобразователя.

Нуль-орган выполнен на усилителе А2, триггер 1 - на микросхеме Д1, триггер 2 - на микросхеме Д2, а схема совпадения и элемент  $t$ - - на микросхеме Д3.

Датчик проводимости вентиля работает по принципу контроля напряжения на тиристорах и состоит из диодных мостов ВМ1-ВМ3, оптронов У1-У3, резисторов Р1-Р3 и нуля-органа (транзисторы У4 и У5).

При наличии напряжения на всех тиристорах вход нуля-органа (перехода эмиттер-база транзисторов У4, У5) шунтируется, в результате чего транзисторы У4, У5 закрываются и на выходе ДПВ формируется сигнал "1".

Агрегат тиристорный серии КТУ-230/200 ВР предназначен для питания якорных цепей двигателей постоянного тока, обмоток возбуждения электрических машин и др. Его техническая характеристика следующая: выходная мощность 540 кВт, диапазон изменения выходного напряжения 0-300 В; максимальный ток нагрузки 1600 А; коэффициент полезного действия 0,98, входной сигнал системы импульсно-фазового управления  $\pm 24$  В.

Силовая схема тиристорного преобразователя (рис. 8 и 9) представляет собой встречно-параллельное соединение трехфазных мостов выпрямления Ларионова, работающих в режиме согласованного управления. Питание мостов осуществляется от трансформатора с одной группой вторичных обмоток, а может осуществляться и от двух групп обмоток. Каждый выпрямительный мост обеспечивает питание цепи нагрузки током определенной полярности, при этом один мост работает в режиме выпрямления с углами управления  $\alpha$ , а другой - в режиме инвертирования с углами опережения  $\beta$ . При изменении напряжения у первого моста углы изменяются с  $\alpha$  на  $\beta$ , а у второго - с  $\beta$  на  $\alpha$ .

Из рис. 8 и 9 видно, что мощность преобразователя зависит от числа силовых блоков, включаемых в параллель. С целью равномерного распределения нагрузки между отдельными силовыми блоками (мостами) при её резких изменениях каждый силовой блок подключается к обоим шинам через индуктивные делители тока с индуктивностью 10 мкГн. С целью уменьшения воздействия помех от работы тиристорного преобразователя на систему подчиненного регулирования (элементы УБСР) и в определенной мере на СИФУ каждая фаза вторичной стороны трансформатора через отдельный конденсатор соединена с корпусом шкафа, т.е. с землей (рис.6). Последовательно с каждым тиристором для защиты от перегрузки включен предохранитель с соответствующей схемой сигнализации о его исправности (рис. 9).

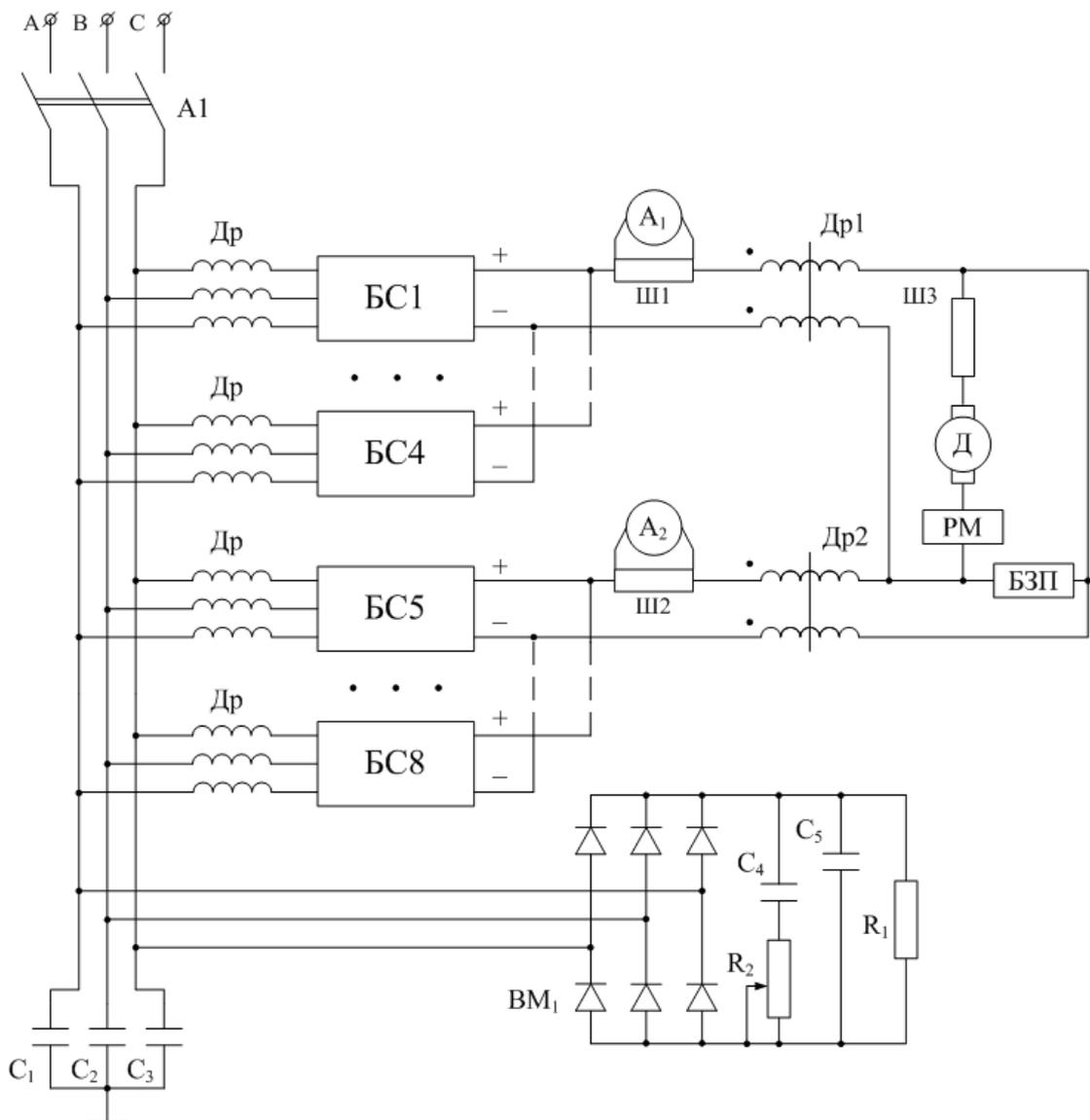


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема силовой части преобразователя

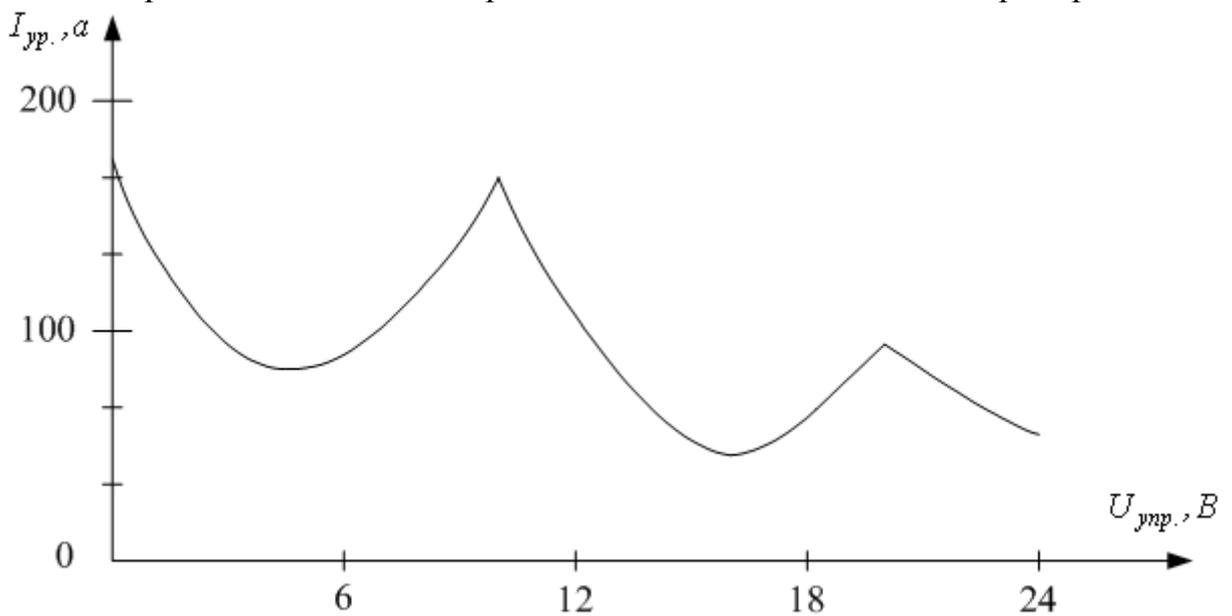


Рис. 10. Зависимость изменения уравнивающего тока преобразователя

При работе реверсивного преобразователя появляется дополнительный контур тока, кроме контура с цепью нагрузки, в который входят обмотки трансформатора и трехфазные мосты выпрямления. Под действием разности мгновенных значений э.д.с. на выходе встречно-включенных мостов в преобразователе может протекать уравнивающий ток, вызывающий дополнительные потери в тиристорах и обмотках трансформатора. На рис. 10 показана зависимость изменения уравнивающего тока преобразователя дифференциальное уравнение, описывающее процессы в контуре уравнивающего тока, имеет вид:

$$U_{yp} = L \frac{di_{yp}}{dt} + Ri_{yp} = U_1 + U_2,$$

где  $U_{yp}$  - мгновенное значение уравнивающего напряжения;

$L$  - полная индуктивность контура,  $i_{yp}$  - мгновенное значение уравнивающего тока;  $R$  - полное активное сопротивление контура;  $U_2$   $U_1$  - мгновенные значения напряжений первой в второй групп мостов преобразователя.

В связи с тем, что активное сопротивление контура уравнивающего тока мало по сравнению с индуктивным сопротивлением решение уравнения может быть представлено в виде:

$$i_{yp} = \frac{1}{L} \int U_{yp} \cdot dt$$

Ограничить величину пульсирующего уравнивающего тока можно только в случае прерывистого или гранично-непрерывного характера тока, что возможно при отсутствии в кривой  $U_{yp}$  постоянной составляющей напряжения, т.е.:

$$U_{yp.cп.} = U_{d1} + U_{d2} = 0,$$

где  $U_{d1}$   $U_{d2}$  - средние значения напряжений встречно включенных мостов;  $U_{yp.cп.}$  - среднее значение уравнивающего напряжения.

Поскольку мосты в контуре уравнивающего тока включены встречно-параллельно нагрузке, из уравнения для  $U_{yp.cп.}$  следует, что знаки выпрямленных напряжений должны быть противоположными ( $U_{d1} = - U_{d2}$ ). Для этого нужно, чтобы значение угла  $\alpha_1$  ( $\alpha_2$ ) было меньше  $90^\circ$ , а значение угла  $\alpha_2$  ( $\alpha_1$ ) – больше  $90^\circ$ .

Тогда будем иметь:

$$U_{10} \cdot \cos \alpha_1 + U_{20} \cos \alpha_2 = 0$$

или:

$$2 \cos \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2} \cdot \cos \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{2} = 0.$$

Это равенство будет выполнено, если  $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$ .

Это уравнение является условием согласования управления встречно включенными мостами реверсивного преобразователя.

При  $\alpha_1 + \alpha_2 < 180^\circ$  ( $U_{d2} < U_{d1}$ ) в контуре уравнивающего тока полагается нескомпенсированная постоянная составляющая напряжения, от действия

которой уравнивающий ток уже не будет ограничиваться уравнивающим реактором.

При  $\alpha_1 + \alpha_2 > 180^\circ$  ( $U_{d2} > U_{d1}$ ) непрерывный уравнивающий ток не может появиться, так как нескомпенсированная постоянная составляющая напряжения дополнительно подпитывает тиристоры.

Несколько слов о защите преобразователя от перенапряжений.

Наиболее типичными видами перенапряжений, которые могут воздействовать на элементы тиристорных преобразователей, являются коммутационные периодические перенапряжения при запираании тиристоров, а также перенапряжения при разрыве цепи выпрямленного тока, при включении или отключении ненагруженного трансформатора. Эти перенапряжения опасны для тиристорных преобразователей из-за высокой чувствительности к ним тиристоров и низкого уровня допустимых прямого и обратного напряжений.

Причиной коммутационных периодических перенапряжений является большая скорость спада обратного тока, обусловленного эффектом накопления в р-п переходах носителей тока и их рассасывания. Скорость уменьшения обратного тока достигает сотен ампер в микросекунду. Величина коммутационных перенапряжений зависит главным образом от индуктивности цепи коммутации и скорости спада обратного тока, для уменьшения коммутационных перенапряжений применяются Р-С цепочки (рис. 9).

Перенапряжения при разрыве цепи выпрямленного тока зависят от скорости спада тока. Перенапряжения при включении и отключении ненагруженного трансформатора обусловлены броском или спадом намагничивающего тока, а также наличием емкостных связей между обмотками и зависят от момента включения (отключения). Величина перенапряжений уменьшается подключением конденсаторов соединенных на треугольник через сопротивления к вторичным (а иногда и первичным) обмоткам трансформатора. Однако при использовании данной схемы получают относительно большие потери электроэнергии, поэтому чаще применяется схема с выпрямительным мостом и электролитическим конденсатором (рис. 8).

### Порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления  $\oplus$  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 11 и рис. 12).
4. Переключатели блоков дросселей 342 установите в положение «3 Гн».



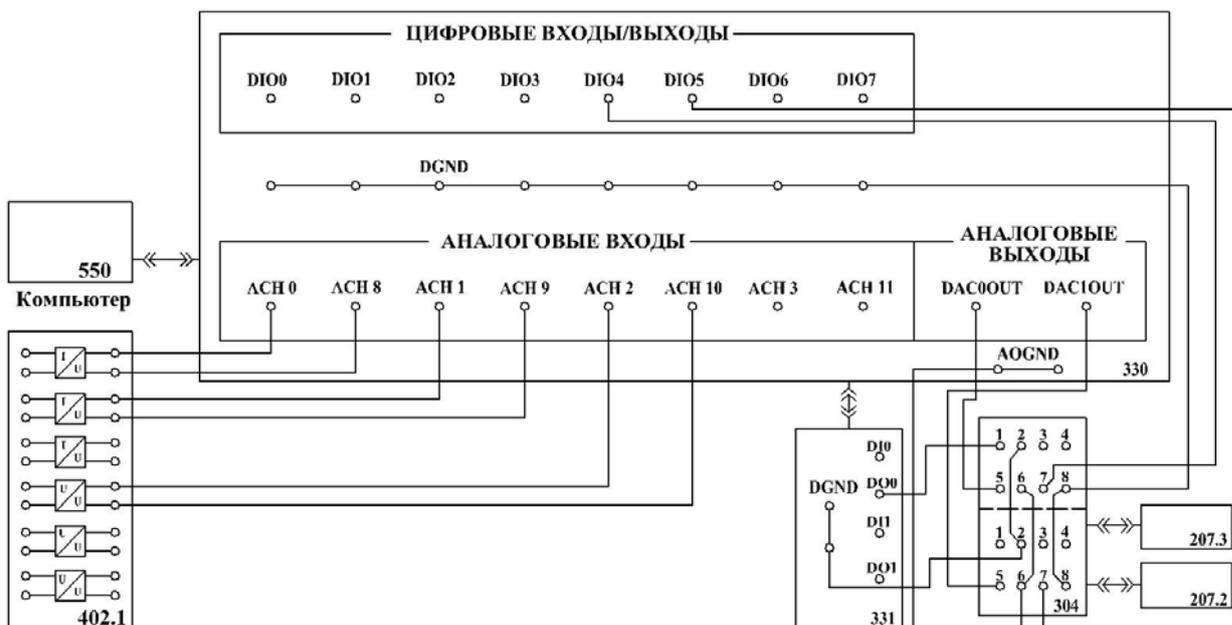


Рис. 12. Схема соединения измерительных цепей стенда

5. Переключатели номинальных фазных напряжений вторичных полуобмоток трансформатора 333.2 установите в положение «73 В».
6. Регулировочную рукоятку автотрансформатора 318.1 установите в крайне против часовой стрелки положение.
7. Тумблеры делителей напряжения коннектора 330 установите в положение «1:1».
8. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер, войдите в каталог с программным обеспечением учебного комплекса и запустите прикладную программу «Реверсивный преобразователь.exe».
9. Включите выключатели «Сеть» тиристорных преобразователей 207.2 и 207.3, блоков мультиметров P1(.1 и .2), P2(.1 и .2), указателя частоты вращения 506.2, блока датчиков тока и напряжения 402.1, регулировочного автотрансформатора 318.1, блока ввода-вывода цифровых сигналов 331.
10. Нажмите кнопку «Управление» на лицевой панели преобразователя 207.2, переключив его в режим автоматического управления. Аналогично поступите с преобразователем 207.3.
11. Нажмите кнопку «3Ф ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» на лицевой панели преобразователя 207.2 и удерживайте ее до тех пор, пока не загорится расположенный рядом с ней светодиод. Аналогично поступите с преобразователем 207.3.
12. Включите источник 201.2. О наличии фазных напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

1. Задайте параметры управления преобразователем, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку. В открывшемся окне выберите вариант управления комплектами совместный. Установите угол управления для преобразователей равным  $90^\circ$  ( $\alpha + \beta = 180^\circ$ ) Последнюю операцию выполняйте, вращая виртуальную рукоятку и одновременно наблюдая на цифровом индикаторе соответствующего преобразователя текущее значение начального угла управления.
2. В этом же окне установите скорость изменения напряжения управления 1000 В/с.
3. Закройте окно параметров управления.
4. Запустите управление преобразователем, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку или выбрав нужный пункт из главного меню программы.
5. Вращая виртуальную регулировочную рукоятку «Напряжение управления» понаблюдайте за изменением тока и напряжения схемы на дисплеях блоков мультиметров P1, P2, виртуальных цифровых индикаторах и виртуальном осциллографе, а также за изменением частоты и направления вращения двигателя M1 по указателю 506.2. Измените момент сопротивления на валу двигателя M1 изменив напряжение автотрансформатора 318.1, повторите наблюдения. **Следите чтобы ток преобразователей не превышал 1 А.**
6. Изменяя напряжение управления снимите регулировочную характеристику  $U_d = f(\alpha_{упр})$  замеры занесите в таблицу 1.

Таблица 1.

$\alpha_0 =$ , $\beta_0 =$ тип управления:				
$U_{упр.}, В$	$\alpha$ , град.	$\beta$ , град.	$U_d, В$	$I_d, А$
-10				
-9				
-8				
-7				
-6				
-5				
-4				
-3				
-2				
-1				
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7				
8				
9				
10				

7. Остановите управление тиристорными преобразователями, нажав соответствующую виртуальную кнопку. Импульсы управления с преобразователей снимутся.
8. Выберите другой режим управления (раздельное управление), углы управления не менять. Повторите работу по пунктам 3 – 7.

### **Опыт №2. Несогласованное управление**

9. Задайте углы управления  $\alpha$  и  $\beta$  большими чем  $90^\circ$ , например  $\alpha + \beta = 220^\circ$ . Повторите опыты по пунктам 3 – 8. В результате вы должны получить четыре таблицы типа таблицы 1. **Следите, чтобы уравнительный ток не превышал 1 А.**
10. По данным таблиц 1 постройте регулировочные характеристики преобразователя при различных углах управления. А также внешние характеристики для какого-нибудь одного режима.

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется отдельно каждым студентом и должен содержать следующие пункты:

1. Краткие теоретические сведения
2. Силовую схему преобразователя.
3. Регулировочные характеристики преобразователя, полученные в ходе эксперимента.
4. Внешнюю характеристику преобразователя.
5. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Нарисуйте силовую схему реверсивного перекрестного преобразователя, построенного на базе трехфазной нулевой схемы с последовательным соединением двух выпрямителей.
2. Сравните по основным показателям (характеристикам, быстродействию, надёжности в работе и т.д.) реверсивные преобразователи с раздельным и согласованным управлением.
3. Перечислите возможные причины опрокидывания инвертора.
4. Покажите по принципиальной схеме преобразователя возможные пути протекания уравнительных токов.
5. Нарисуйте диаграммы работы логического переключающего устройства и поясните их.

6. По каким причинам у реверсивного преобразователя с согласованным управлением внешняя характеристика более жёсткая и области малых токов, чем при отдельном управлении?
7. Какие защитные устройства применяются в реверсивных преобразователях?
8. Каким образом наращивается мощность в преобразователях, рассчитанных на большие напряжения и токи?

### **Литература**

1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами. Под ред. В. И. Круповича.- М.: Энергоиздат, 1982.
2. Справочник по преобразовательной технике. Под ред. И. М. Чиженко.- Киев: Техника, 1978.
3. Руденко В.С. и др. Преобразовательная техника.- Киев: Высшая школа, 1983.