

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

---

**Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования  
А.А. Савелов**

# **СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

**ПОСОБИЕ  
по выполнению лабораторных работ**

*для студентов  
направления 162500 (25.03.02)  
всех форм обучения*

**Москва - 2015**

ББК 0562

С12

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю.П. Артеменко

Савелов А.А.

С12 Системы электроснабжения воздушных судов: пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2015. - 64 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Системы электроснабжения воздушных судов» по Учебному плану направления 162500 (25.03.02) для студентов всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 02.02.15 г. и методического совета 25.02.15 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N1 ИЗУЧЕНИЕ КОММУТАЦИОННОЙ И ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

### Цель работы

Целью работы является изучение принципа действия, конструкции и электрических схем коммутационной и защитной аппаратуры самолетных систем; снятие ампер-секундных характеристик аппаратов максимальной токовой защиты, вольт-секундной характеристики автомата защиты от перенапряжения, измерение параметров срабатывания дифференциально-минимального реле.

### 1. Основные положения

Коммутационными называются электрические аппараты, предназначенные для коммутации электрической цепи и проведения тока, т. е. для переключения и отключений цепей, находящихся под напряжением. К коммутационным аппаратам относятся *выключатели, предохранители, предохранители-выключатели (автоматы защиты), электромагнитные реле и контакторы*. По способу приведения в действие коммутационная аппаратура делится на две группы: прямого и дистанционного действия.

Аппаратура прямого действия - *кнопки, выключатели, переключатели, путевые выключатели* - предназначена для управления в цепях небольшой мощности токами до 35 А. Переключение в аппаратах прямого действия происходит практически мгновенно (в течение 0,01 с) независимо от перемещения органов управления за счет использования упругости пружинных передач. Это позволяет уменьшить искрение между контактами и получить аппараты малых габаритов и массы.

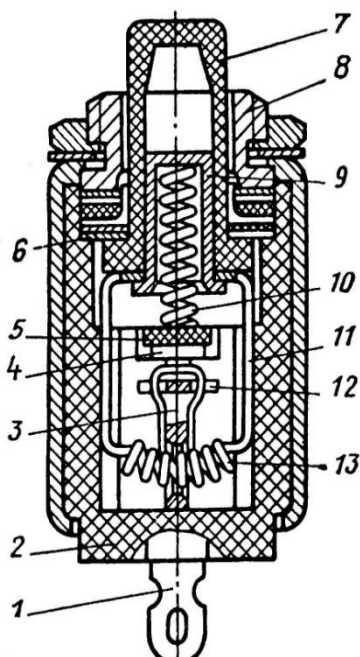


Рис.1.1

Кнопки (кнопочные выключатели) являются простейшими коммутационными аппаратами, приводимыми в действие нажатием или вытягиванием детали, передающей усилие оператора, и служащими для кратковременного включения и отключения электрических цепей. Кнопки серии КН (в пыле и влагозащищенном исполнении) выпускаются однополюсные нормально-разомкнутые (КНР) и нормально-замкнутые (КНЗ), а также двухполюсные (2КНР и 2КНЗ соответственно)

На рис 1.1 показана однополюсная нормально-разомкнутая кнопка КНР, состоящая из пластмассового корпуса 2, в котором расположены неподвижные 4 и подвижные 12 контакты, пластины 1 и 3, изоляционные и уплотнительные детали (5, 6, 9).

При нажатии на головку кнопки 7 вилка 11 перемещает вниз концы винтовой пружины 13. В момент

изменения ее прогиба на обратный, пластина 3 поднимается вверх, контакты замыкаются. При отпускании кнопки 7 возвратная пружина 10 поднимает вилку 11, контакты размыкаются. Для крепления кнопки служит гайка 8.

*Выключатели и переключатели* служат для замыкания и размыкания электрических цепей на длительное время.

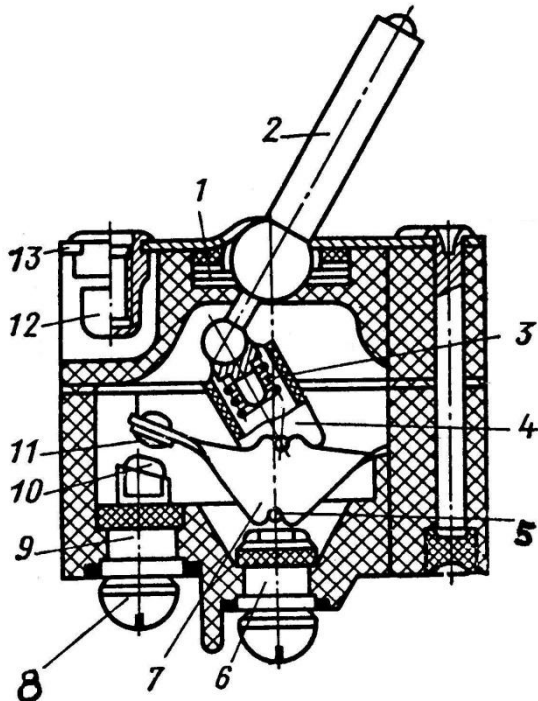


Рис.1.2

Современные самолетные выключатели герметичны; переключение в них осуществляется по принципу "сламывающегося рычага". Наиболее распространены выключатели двух видов: серии ВГ для цепей постоянного тока напряжением до 30 В и серии В-200 для цепей переменного тока напряжением до 220 В. Обе серии аналогичны по принципу действия. На рис.1.2 представлена конструкция выключателя ВГ-15. В его пластмассовый корпус 1 заформован зажим 9 с неподвижным контактом 10 и зажим 6 с осью 5, на которую насажена латунная качалка 7 с подвижным контактом 11. Нижний шарик ручки 2 через пластмассовый подпятник управляется пластмассовым стаканом 4.

Если повернуть ручку влево, стакан 4 повернется вправо. При этом пружина 3 сжимается. Как только ось стакана окажется по другую сторону вертикальной оси аппарата, пружина мгновенно расправляется и размыкает контакты.

Выключатели серии ВГ многообразны по схеме и способу переключения, числу управляемых цепей. Эти особенности отражены в маркировке аппаратов: В - выключатель, П - переключатель, Г - герметичный. Далее: Н - нажимной, П - перекидной. Цифры 2 или 3 впереди букв указывают на число переключаемых цепей. Цифры в конце маркировки означают максимально допустимый ток. Например: ВГ-15 - выключатель однополюсный герметичный на максимально допустимый ток 15 А; 2ППГ-45 - двухцепной переключатель перекидной герметичный на 45 А. Герметичные выключатели переменного тока выпускаются в виде одно, двух и трехполюсных выключателей (В-200, 2В.200, 3В-200) и таких же переключателей (ПП-200, 2ПП-200, 3ПП-200).

*Путевые выключатели и переключатели* изменяют свое состояние при заданных положениях перемещающихся относительно них подвижных частей механизмов и предназначены для автоматической программной коммутации цепей. Их устанавливают в качестве концевых ограничителей положения механизмов, а также в цепях сигнализации и блокировки положения органов управления. Широкое применение нашли путевые микровыключатели серии Д. Микровыключатель (рис. 2.3) имеет четыре неподвижных контакта 8, которые

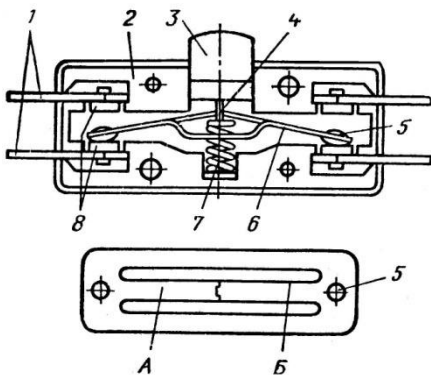


Рис.1.3

приклепаны к клеммам 1, вставленным в прорези пластмассового корпуса 2 и подвижную систему с двумя серебряными контактами 5, приклепанными к плоской бронзовой пружине 6, внутри которой выштампованы два лепестка А и Б. В их зазор вставляется штырь 4. В свободном состоянии кнопки 3 обеспечивается замыкание нижней пары контактов. При нажатии на кнопку лепестки А и Б прогибаются вниз. Когда они окажутся ниже плоскости пружины 6, последняя скачком прогибается в противоположную сторону, вызывая замыкание второй (верхней) пары контактов. При отпускании кнопки под воздействием возвратной пружины 7 контакты приходят в исходное положение. Благодаря двум местам разрыва тока уменьшается электрическая дуга, и микровыключатели этого типа имеют меньшие габариты.

Аппараты дистанционного действия - это электромагнитные устройства, с якорем которых связаны контакты. В зависимости от номинального значения коммутируемого тока различают *контакторы* с  $I_{ном}=(25...600)$  А и *коммутационные реле* с  $I_{ном}=(5...10)$  А. Все коммутационные аппараты, предназначенные для управления цепями как постоянного, так и переменного тока, имеют обмотку, питающуюся постоянным током. Принцип действия реле и контакторов одинаков. На летательных аппаратах применяют контакторы серий К, КМ, КП - втяжного и клапанного типа, длительного и кратковременного действия, а также малогабаритные контакторы и реле типов ТКЕ, ТКД, ТКС, ТКТ, СПЕ и др.

Маркировка унифицированных коммутационных реле и контакторов отражает их назначение и конструкцию: 1-я буква показывает максимальное напряжение, на которое рассчитана обмотка: Т - тридцать, С - сто, Д - двести вольт; 2-я буква указывает назначение аппарата: К - коммутационное реле или контактор, В - реле времени, Т - токовое реле, П - обмотка включается на переменный ток, 3-я буква означает: Е - единицы, Д - десятки, С - сотни, Т - тысячи ампер коммутируемого тока, число которых показывает цифра, стоящая на четвертом месте (4-й знак). Пятый и 6-й знаки характеризуют кинематику аппарата: О - открытые контакты, П - переключаемые контакты. Следующие затем цифры означают число коммутируемых цепей. Седьмой знак отражает режим работы аппарата: Д - длительный, К - кратковременный, И - импульсный. Восьмой знак отражает особенности исполнения: Т - теплостойкое, Г - герметичное, Д - всеклиматическое. Например, ТКЕ520ДГ расшифровывается как аппарат, обмотка которого рассчитана на 30 В, а контакты - на 5 А, имеющий 2 включающих контакта, реле рассчитано на длительный режим работы, исполнение герметичное.



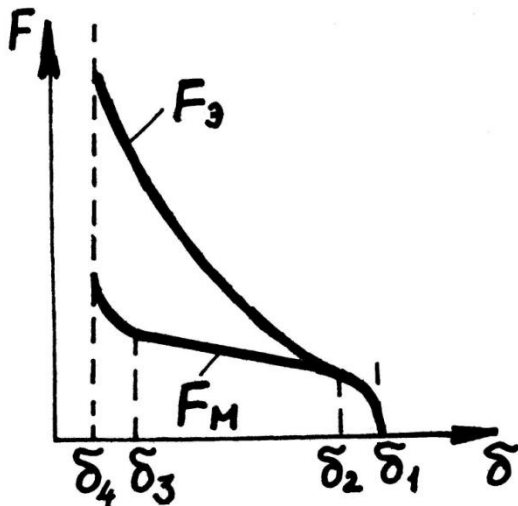


Рис.1.6

На рис. 1.6 приведены механическая характеристика рассмотренного реле  $F_M = f(\delta)$  и тяговая характеристика электромагнита  $F_3 = f(\delta)$  при напряжении включения  $U_B$ .

Когда обмотка обесточена (воздушный зазор  $\delta_1$ ), усилие  $F_B$ , создаваемое возвратной пружиной, частично уравнивается упругостью  $F_T$  токопроводящей пластины подвижного контакта, играющей роль буферной пружины ( $F_M = F_B - F_T$ ). При включении обмотки зазор  $\delta$  начинает уменьшаться, при этом увеличивается  $F_M$ , т.к.

возвратная пружина растягивается и ослабляет влияние буферной. В момент разрыва

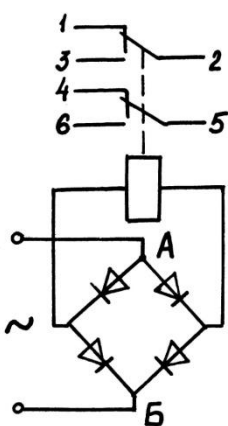
контактов (точка  $\delta_2$ ) прекращается воздействие  $F_T$ . На участке ( $\delta_2 - \delta_3$ ) имеет место равенство  $F_M = F_B$ . При зазоре  $\delta_3$  контакты замыкаются, снова начинается прогиб токопроводящей пластины. На участке ( $\delta_3 - \delta_4$ ) усилие  $F_T$  совладевает с  $F_B$ . Ход якоря на участке ( $\delta_3 - \delta_4$ ) называется ходом сопровождения и необходим для создания контактного воздействия притирания контактов. Буферная пружина исключает появление "дребезга" контактов, т.е. отскакивания подвижных контактов от неподвижных в момент удара при их замыкании.

Наиболее совершенными электромагнитными коммутационными аппаратами являются реле ТПЕ22ПОДГБ и СПЕ22ПОДГБ (рис.1.7) с двумя переключающими контактными группами, приводимыми в движение электромагнитом постоянного тока клапанного типа, обмотка которого

включена в диагональ диодного блока по схеме двухполупериодного выпрямления. В целях повышения надежности контактная система выполнена в виде отдельного герметичного модуля с размещением катушек вне этого модуля. Реле имеют одинаковую конструкцию и различаются обмоточными данными и диодными блоками.

Контакты электромагнитных устройств, применяемых в авиации, изготавливаются из металлокерамики и серебра или его сплавов - материалов, не подвергающихся коррозии, обладающих высокой электро и теплопроводностью, достаточной износостойкостью и дугостойкостью. Для снижения износа контактов, работающих на больших высотах, весь аппарат или

ТПЕ22ПОДГБ



СПЕ22ПОДГБ

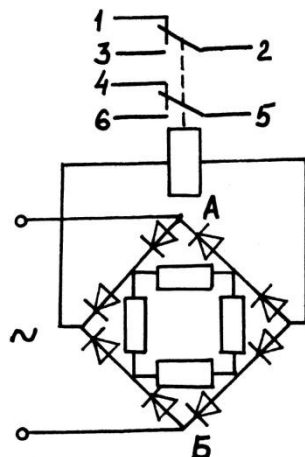


Рис.1.7

не подвергающихся коррозии, обладающих высокой электро и теплопроводностью, достаточной износостойкостью и дугостойкостью. Для снижения износа контактов, работающих на больших высотах, весь аппарат или

его контактный узел помещают в герметичную оболочку, внутри которой сохраняется давление, близкое к атмосферному (на уровне земли). При разрыве тока внутреннее давление повышается за счет температуры дуги. Это способствует ее гашению.

*Коммутационная аппаратура*, служащая для автоматического отключения источников и приемников электроэнергии и участков сети с целью предотвращения возможности их отказов и сохранения работоспособности всей остальной системы электроснабжения при возникновении в ней аварийных ситуаций, носит название защитной аппаратуры. Под аварийными ситуациями понимаются недопустимые токовые перегрузки, недопустимые повышения и понижения напряжения. При их возникновении необходимо защищать генераторы, их фидеры, а также бортовые сети. Для защиты сетей от коротких замыканий широко применяются плавкие предохранители и тепловые автоматы защиты.

Плавкие предохранители - простейшие аппараты максимально-токовой защиты. В самолетном оборудовании применяют четыре типа предохранителей:

1) неинерционные типа ПВ и СП. Плавкая вставка изготавливается из медной и серебряной проволоки или цинковой пластинки;

2) тугоплавкие ТП - на токи от 200 А до 900 А. Плавкий элемент - медная пластинка особого профиля с участком ослабленного сечения - заключена в асбоцементную камеру;

3) инерционные ИП. Чувствительный элемент - образованный пайкой узел из плавкого элемента, системы скоб, натянутой пружины и медной пластины, служащей инерционным элементом.

При превышении допустимого тока медная пластина нагревается так, что плавится припой и пружина, оттягивая скобы, разрывает цепь тока. При коротких замыканиях или больших перегрузках перегорает плавкая вставка. Ампер-секундная характеристика (рис.1.8) инерционного предохранителя состоит из двух частей: 1 - инерционной и 2 - безинерционной. Кривая 3 представляет собой пусковую характеристику электродвигателя, для защиты которого применяются инерционные предохранители. Недостатком предохранителей типа ТП и ИП является отсутствие индикации срабатывания;

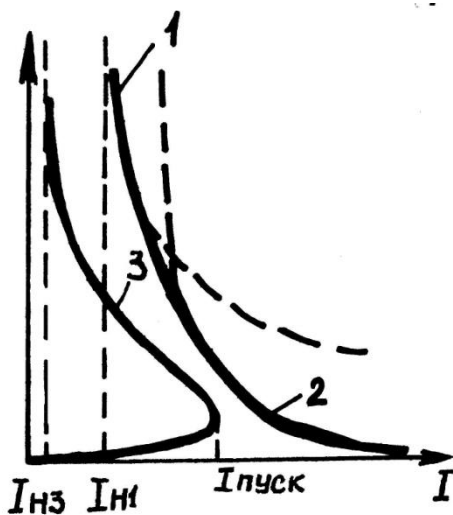


Рис.1.8

4) малоинерционные плавкие предохранители типа ПМ. Имеют индикацию срабатывания. Для токов от 2 А до 50 А плавкая вставка сменная;



предохранители на токи от 75 А до 150 А напоминают по конструкции предохранители ИП.

На рис.1.9 изображен предохранитель ПМ2-50. Он состоит из верхнего 1 и нижнего 2 корпуса. Контактные ножи 3 посредством прокладок 7 скрепляют верхний и нижний корпуса. На контактных ножах закреплены плавкая вставка 4

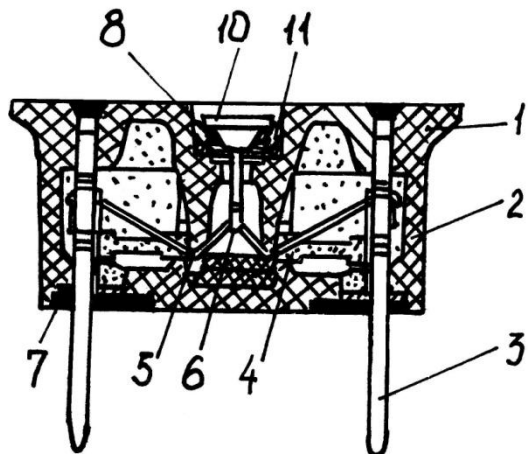


Рис.1.9

и удерживающая проволока 5 узла индикации, состоящего из кнопки 10, пружины 8 и деталей уплотнения 11. При протекании тока перегрузки через предохранитель происходит перегорание плавкой вставки 4, после чего перегорает проволока 5, удерживающая указатель 6. Освобожденный указатель под действием пружины 8 поднимается над корпусом до упора крючка указателя, чем и осуществляется индикация срабатывания

*Плавкие предохранители* просты по конструкции, имеют малые габариты, дешевы. Их недостатки – одноразовость

применения, зависимость времени срабатывания от температуры окружающей среды, большой разброс параметров предохранителей одной серии, непостоянство характеристик в процессе продолжительной эксплуатации.

*Автоматы защиты* объединяют в одной конструкции выключатель и защитное устройство, заменяющее предохранитель. Чувствительным элементом является биметаллическая пластина, по которой проходит ток защищаемой цепи. Если ток больше допустимого, пластина прогибается,

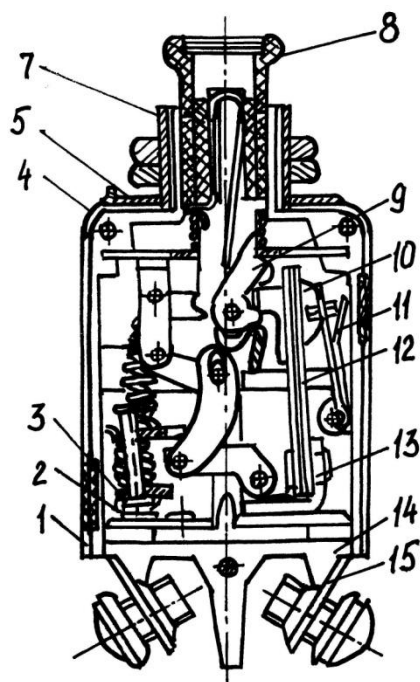


Рис.1.10

нажимает на узел расцепления и отключает цепь. По виду кинематической связи биметаллической пластины с контактами, размыкающими цепь, различают *тепловые автоматы защиты без свободного расцепления* (типа АЗС, АЗСГ, АЗФ1, АЗЗ) и *автоматы защиты со свободным расцеплением* (типа АЗР, АЗРГ, АЗК).

В качестве примера на рис 6.10 представлен однополюсный кнопочный автомат защиты АЗК1М со свободным расцеплением. Автомат состоит из корпуса 1, в котором расположены : основание 14 с закрепленными на нем неподвижными контактами 2 и биметаллической пластиной 12 с термокомпенсатором 13, а также механизм включения 9 с подвижными контактами 3 и кнопкой 8. Все сборочные единицы расположены в

двух половинках корпуса, которые соединены заклепкой 4, втулкой 7 и крышкой 5. Автомат имеет два вывода 15 с узлом крепления проводов. Механизм свободного расцепления, состоящий из защелки 11 и собачки 10, не позволяет принудительно коммутировать цепь в аварийной ситуации. При отключении автомата на кнопке ясно различимо белое кольцо.

Автоматы типа АЗК1М предназначены для защиты бортовых цепей постоянного и переменного тока и выпускаются на токи (1...80) А. Трехполюсные автоматы АЗКЗ - на токи до 50 А. Автоматы типов АЗС, АЗР, АЗК имеют зависимые ампер-секундные характеристики.

Герметизированные тепловые автоматы защиты типов АЗСГ, АЗРГ на токи (20...50) А имеют зависимую ампер-секундную характеристику с отсечкой по току. Защита цепей от перегрузок осуществляется этими автоматами с помощью биметаллического чувствительного элемента. Для защиты от коротких замыканий имеется электромагнитный расцепитель, представляющий собой миниатюрный электромагнит, срабатывающий мгновенно при больших токах. В автоматах серии АЗРГ используются термокомпенсаторы, позволяющие уменьшить влияние изменения температуры окружающей среды на характеристики автомата. К основным недостаткам биметаллических автоматов относится нестабильность их характеристик в процессе эксплуатации.

В системах электроснабжения постоянного тока предусмотрены защиты генераторов и их фидеров от снижения напряжения (от обратного тока), от включения генератора с неправильной полярностью, от повышения напряжения и от коротких замыканий.

Защита от обратного тока и включения с неправильной полярностью осуществляется с помощью *дифференциально - минимального реле* (ДМР), которое выполняет также операции управления и сигнализации о включении и отключении генератора. Применяется несколько модификаций этих аппаратов: ДМР-200ВУ, ДМР-400Д, ДМР-400Т, ДМР-600Т и др. (Цифры в маркировке обозначают максимальную величину рабочего тока аппарата: 200 А, 400 А, 600 А, 800 А). По принципу действия все модификации ДМР одинаковы, аналогичны по конструкции и имеют незначительные отличия в схемах.

В качестве примера рассмотрим ДМР-400Д, которое выполняет следующие функции:

- автоматически подключает генератор к сети при наличии нагрузки (и отсутствии напряжения в сети), когда его напряжение достигнет значения (12...16) В;
- автоматически подключает генератор к бортовой сети, когда его напряжение превысит напряжение сети на (0.3...0.7) В;
- предотвращает подключение к сети генератора с неправильной полярностью;
- автоматически отключает генератор от сети при обратном токе (15...35) А.

Основными элементами ДМР являются: управляющее (дифференциальное) реле, контактор и вспомогательные реле.

Дифференциальное реле относится к типу *поляризованных*. Срабатывание или не срабатывание поляризованных реле, в отличие от обычных реле, зависит от направления тока в его обмотках, для чего в реле вводится опорное магнитное поле.

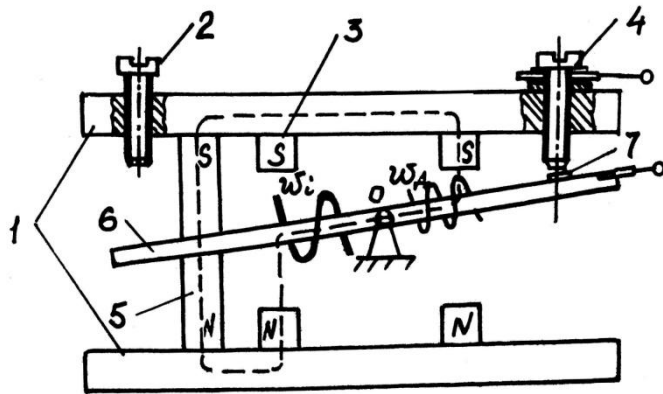


Рис.1.11

Постоянные магниты 5 в виде стоек (рис.1.11) заключены между двумя стальными пластинами 1, к которым крепятся полюсные наконечники 3. Между наконечниками расположена стальная пластина – якорь 6, которая свободно проходит внутри обмоток - дифференциальной  $W_d$  и токовой  $W_i$  и способна поворачиваться вокруг оси  $o$ . В обесточенном состоянии обмоток

якорь занимает одно из двух возможных положений. При прохождении тока в обмотках якорь намагничивается, становится полярным, взаимодействует с полюсными наконечниками, чем и определяется его положение. На рисунке показано одно из них, когда контакты 7 замкнуты. Если направление тока в обмотках изменится, изменится полярность якоря, и контакты 7 разомкнутся. Упорным винтом 2 устанавливается разность напряжений на обмотке  $W_d$ , при которой замыкаются контакты управляющего реле, а винтом 4 регулируется обратный ток, при протекании которого контакты реле размыкаются.

Принципиальная электрическая схема ДМР-400Д представлена на рис 1.12. Генератор соединяется с сетью по цепи: "+" генератора - зажим "Ген" - контакты  $K1$  - обмотка  $W_i$  - зажим "Бат" - "+" сети. В исходном положении

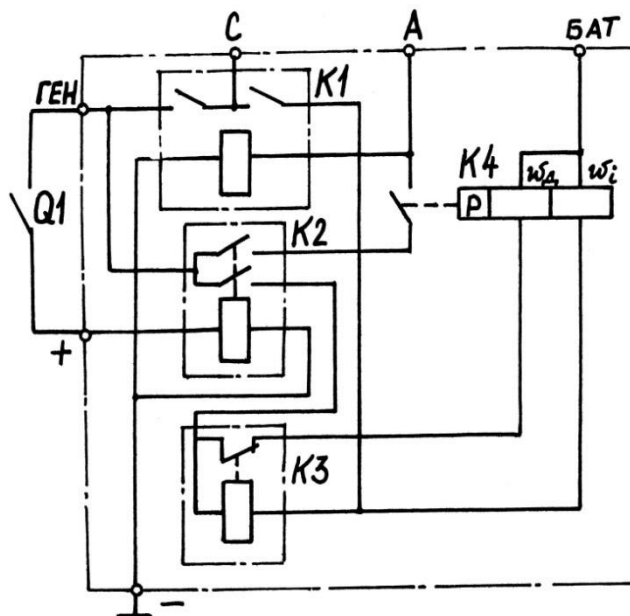


Рис.1.12

контакты контактора К1 разомкнуты. При помощи выключателя Q1, расположенного в кабине пилота, напряжение генератора подводится к обмотке включающего реле К2 (ТКЕ1Р2). Когда напряжение достигнет (12...14) В, реле К2 замкнет свои контакты в цепи обмотки блокировочного реле К3 (ТКЕ210Б) и обмотки Wд дифференциального реле К4. В результате они оказываются включенным на разность напряжения сети и генератора ( $\Delta U = U_c - U_r$ ). Большая величина  $\Delta U$  в начале работы генератора опасна для обмотки Wд. Если эта разность превышает (12...18) В, реле К3 срабатывает и своими контактами отключает обмотку Wд. То же происходит и в том случае, когда полярности сети и генератора окажутся разными, т.к. при этом возрастает  $\Delta U$ . Если разность напряжений сети и генератора снизится до 4 В, реле К3 отключится и своими контактами включит обмотку Wд.

Когда напряжение  $U_r$  станет больше  $U_c$  на (0,3...0,7) В, МДС обмотки Wд окажется достаточной для включения контактов дифференциального реле К4. При этом замыкается цепь обмотки контактора К1, который своими контактами подключает генератор к сети и шунтирует Wд. Через токовую обмотку Wи протекает ток нагрузки генератора в сеть. Обмотка Wи создает МДС, направление которой способствует удержанию контактов поляризованного реле в замкнутом состоянии.

Если напряжение генератора станет меньше, чем  $U_c$ , из сети в генератор потечет обратный ток и направление МДС в обмотке Wи изменится. При  $I_{обр} = (15...35)$  А якорь изменит свое положение, разрывая контакты К4. Контакт К1 обесточится и отключит генератор от сети. Зажим "С" служит для подключения сигнальной лампы, которая погасает при включении контактора К1, сигнализируя о подключении генератора к сети,

*Защита генераторов постоянного тока от повышения напряжения* осуществляется аппаратами типа АЗП. Исследуемый в данной работе *аппарат защиты от перенапряжения АЗП-8М* имеет в качестве чувствительного элемента электромагнитное реле напряжения типа РЗД - реле замедленного действия (реле К4 на рис.1.13). Наличие выдержки времени исключает ложное срабатывание защиты при кратковременных повышениях напряжения, возникающих при отключении нагрузки генератора. Выдержка времени срабатывания у такого реле достигается воздушным демпфером. Реле К4 включено параллельно обмотке возбуждения Wв генератора G1. При увеличении напряжения генератора свыше (30...32) В реле К4 срабатывает и включает промежуточное реле К2, которое своими контактами подает питание на контактор К1. Его контакты производят следующие операции: отключают обмотку возбуждения Wв от угольного столба и подключают к ней добавочный резистор R3 (для гашения поля возбуждения); разрывают цепь питания контактора ДМР, отключающего генератор от сети. Контакты реле К3 отключают уравнительную обмотку неисправного генератора от уравнительной шины. Контакт К1 типа КНК (контактор с нажимной кнопкой) специальный:

после срабатывания он запирается защелкой и может быть включен только нажатием на кнопку, расположенную на передней стенке коробки автомата.

Эксплуатация коммутационной и защитной аппаратуры производится по техническому ресурсу. Коммутационная и защитная аппаратура разборке, регулировке и ремонту не подлежит. При замене отказавших элементов необходимо устанавливать аппаратуру только с теми же номинальными данными, что и у отказавшей.

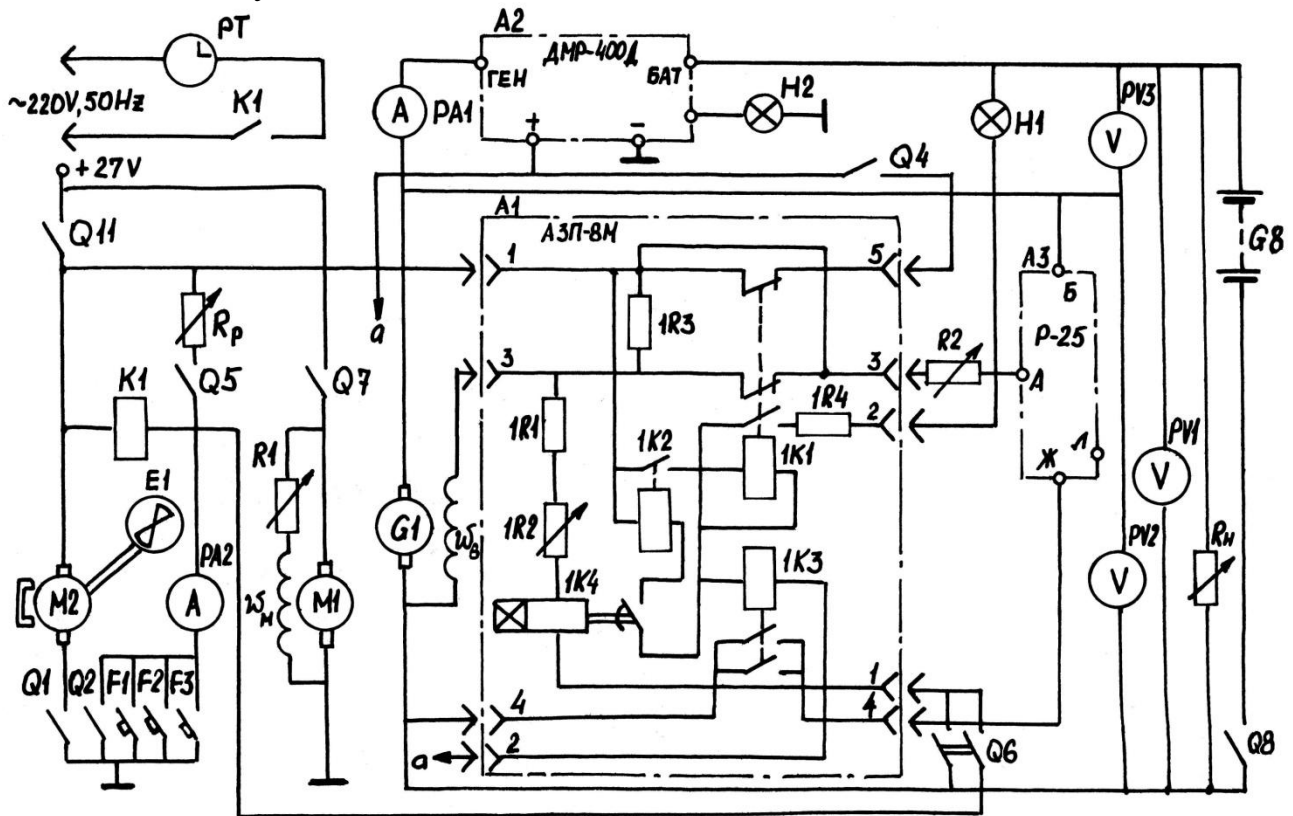


Рис.1.13

## 2. Описание лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки представлена на рис. 1.13. В состав установки входят:

- генератор постоянного тока G1, приводимый двигателем M1;
- автомат защиты от перенапряжений АЗП-8М 4-й серии;
- дифференциально-минимальное реле ДМР-400Д,
- регулятор напряжения P-25;
- тепловые автоматы защиты F1, F2, F3 соответственно АЗСГК-2, АЗРГ-2, АЗК1-2;
- электросекундомер РТ, вентилятор E1, приводимый двигателем M2;
- регулировочные реостаты R1, R2, Rp; выключатели Q1...Q12;
- измерительные приборы, сигнальные лампы H1, H2

## 3.Задание к работе

1). Изучить конструкцию и принцип действия коммутационной и защитной аппаратуры.

2). Снять ампер-секундные характеристики тепловых автоматов защиты без подогрева и с предварительным подогревом.

3). Проверить работоспособность расцепителя автомата АЗР. Сравнить работу АЗС и АЗР, для чего сразу после срабатывания автоматов кратковременно включить их повторно.

4). Снять вольт-секундную характеристику АЗП.

5). Снять характеристики ДМР.

#### 4. Порядок проведения работы

1). Включить вилку секундомера в розетку 220 В, 50 Гц. Все выключатели, кроме Q5, должны находиться в положении "Откл".

2). Порядок снятия ампер-секундных характеристик тепловых автоматов защиты без предварительного подогрева:

выключатель Q11(Питание 27В), Q2 поставить в положение "Вкл";

с помощью реостата R<sub>p</sub> установить минимальный ток перегрузки 2А;

выключатель Q2 поставить в положение "Откл";

электросекундомер РТ привести в исходное состояние;

включить автомат защиты F1, при этом включается секундомер, амперметр РА2 показывает ток перегрузки автомата;

после срабатывания F1 записать показания секундомера и привести его в исходное состояние;

не изменяя положения реостата, произвести измерения времени срабатывания автоматов F2 и F3,

включить выключатель Q1. При этом начинает вращаться вентилятор Е1, с помощью которого необходимо охладить автоматы F1...F3 в течение 1 мин

Измерения провести ( 5...6 ) раз, увеличивая ток перегрузки до 12А с шагом 2 А. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

3). Порядок снятия ампер-секундных характеристик тепловых автоматов защиты с предварительным подогревом.

Отличие от предыдущего опыта состоит в том, что перед снятием каждой точки ампер-секундных характеристик автоматов F1...F3 производится их предварительный подогрев минимальным током 2 А. Для этого необходимо:

включить выключатель Q11, Q2;

с помощью реостата R<sub>p</sub> установить минимальный ток перегрузки;

отключить выключатель Q2;

электросекундомер РТ привести в исходное состояние;

включить F1 и прогреть его минимальным током в течение 3 с;

отключить F1;

с помощью Q2 установить заданный ток перегрузки, а затем, обнулив секундомер, включить F1 и зафиксировать время срабатывания.

Проделать аналогичную операцию с автоматами F2 и F3.

Затем охладить три автомата.

Повторить эти операции для других значений токов перегрузки, увеличивая ток перегрузки до 12 А с шагом 2 А.

Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Без предварительного подогрева						С предварительным подогревом					
АЗСГК-2		АЗРГ-2		АЗК-1		АЗСГК-2		АЗРГ-2		АЗК-1	
I, А	t, с	I, А	t, с	I, А	t, с	I, А	t, с	I, А	t, с	I, А	t, с

По результатам измерений построить графики зависимостей  $t=f(I)$  для тепловых автоматов защиты без подогрева и с предварительным подогревом.

4). Порядок снятия вольт-секундной характеристики АЗП-8М:

включить выключатель Q7;

выключатель Q5 поставить в положение "Откл";

выключатель Q4 поставить в положение "Вкл";

с помощью реостата R2 установить перенапряжение генератора 45В;

выключатель Q6 поставить в положение "Вкл"; при этом включается секундомер РТ;

после срабатывания АЗП и загорания сигнальной лампы Н1 выключатель Q6 поставить в положение "Откл";

привести АЗП в исходное состояние нажатием кнопки на передней стенке его коробки;

привести в исходное состояние секундомер и с помощью реостата R2 установить следующее (меньшее) значение напряжения.

Измерения произвести ( 5...6 ) раз Результаты измерений занести в табл. 1.2.

Примечание. Напряжение устанавливать с учетом падения напряжения на внутреннем сопротивлении АЗП, равном 2 В.

Таблица 1.2

U,В	
t,с	

По результатам измерений построить график зависимости  $t = f ( U )$ .

5) Измерение характеристик ДМР-400Д.

Для измерения напряжения включения генератора G1 в обесточенную сеть Увкл необходимо выключатель Q7 поставить в положение "Вкл", выключатель реостата R1 (грубо) поставить в положение "Вкл" и, увеличивая напряжение с помощью реостата R2, добиться погасания сигнальной лампы Н2. Записать показания вольтметра PV2.

Для измерения разности напряжений генератора и сети  $\Delta U_{\text{вкл}}$ , при которой происходит подключение генератора к сети, необходимо выключатель Q8 поставить в положение "Вкл", подведя к сети напряжение аккумуляторной батареи GB. Вольтметр PV1 покажет напряжение сети. С помощью реостата R2 установить напряжение генератора выше напряжения сети. Разность напряжения генератора и сети измеряется с помощью вольтметра PV3. Необходимо записать его показания в момент погасания лампы H2.

Для определения величины обратного тока  $I_{\text{обр}}$ , при котором происходит отключение генератора от сети, необходимо с помощью реостата R2 снизить напряжение генератора ниже напряжения сети. При загорании лампы H2 записать показания амперметра PA1.

Примечание. Перед выполнением этого опыта необходимо с помощью выключателя Q12 изменить полярность подключения амперметра PA1.

### 5. Содержание отчета

- 1). Цель работы, краткие теоретические сведения.
- 2). Таблицы с результатами измерений.
- 3). Ампер-секундные и вольт-секундная характеристики аппаратов защиты.
- 4). Характеристики ДМР.
- 5). Выводы по работе
- 6). Ответы на контрольные вопросы.

### 6. Контрольные вопросы

- 1). Какие существуют способы уменьшения искрения между контактами коммутационной аппаратуры ?
- 2). Каково назначение буферной пружины в реле и контакторах ?
- 3). Какой вид имеет ампер-секундная характеристика автомата защиты с отсечкой по току ?
- 4). Как согласуются ампер-секундные характеристики аппарата защиты и приемника?
- 6). Чему равен ток в обмотке  $W_d$  поляризованного реле ДМР, когда генератор подключен к бортовой сети?
- 6). Что произойдет с ДМР-400Д, если на участке от клеммы "Бат" до замыкающего контакта контактора K1 (рис.1.12) произойдет короткое замыкание ?
- 7). Как обеспечивается селективность действия АЗП ?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

#### Цель работы

Целью работы является изучение принципа действия, конструкции и схем регуляторов напряжения. Исследование влияния различных факторов на переходный процесс в системе регулирования напряжения генератора постоянного тока. Изучение практических методов повышения устойчивости системы регулирования напряжения и исследование влияния стабилизирующих устройств на переходные процессы и статические характеристики системы.

#### 1. Основные положения

В системах электроснабжения постоянного тока с генераторами серии ГСР мощностью до 12000 Вт используются угольные регуляторы напряжения типа Р-25А, Р-25АМ, РН-180, РНК-180, а с генератором ГСР-18000 - регулятор РУГ-82. С современными бесконтактными генераторами серии ГСБК12(18) применяется электронный регулятор напряжения, которые входят в состав блока регулирования защиты и управления БРЗУ27В.

Принципиальные электрические схемы угольных регуляторов Р-25А и РУГ-82 приведены на рис.2.1 и рис.2.2. Угольный столб, имеющий сопротивление  $R_{yr}$ , соединяется последовательно с обмоткой возбуждения генератора  $W_b$ . Рабочая обмотка электромагнита регулятора  $W_p$  подключена на клеммы генератора  $G$ . Уравнительная обмотка  $W_o$  используется при параллельной работе генераторов для автоматического выравнивания нагрузок.

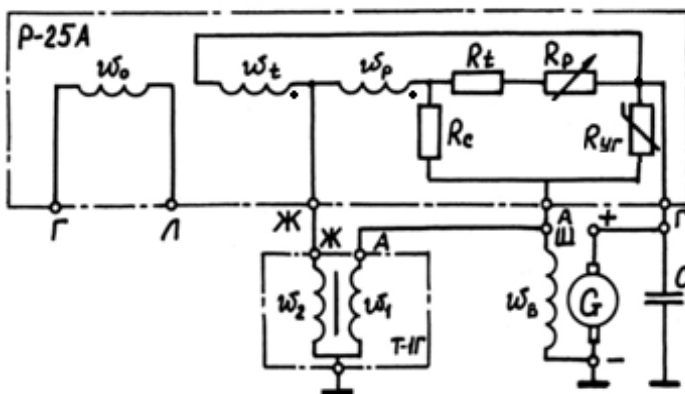


Рис.2.1

обмоткой  $W_p$  включается константовое сопротивление  $R_t$ , величина которого при изменении температуры практически не изменяется. Отношение величины сопротивления рабочей обмотки к величине сопротивления  $R_t$  выбирают примерно 1 : 5.

С помощью регулируемого сопротивления  $R_p$  (выполняемого для удобства выносным) осуществляется подстройка напряжения генератора в небольших пределах.

Для исключения влияния изменения температуры на напряжение настройки регулятора применяется температурная компенсация. С этой целью последовательно с рабочей

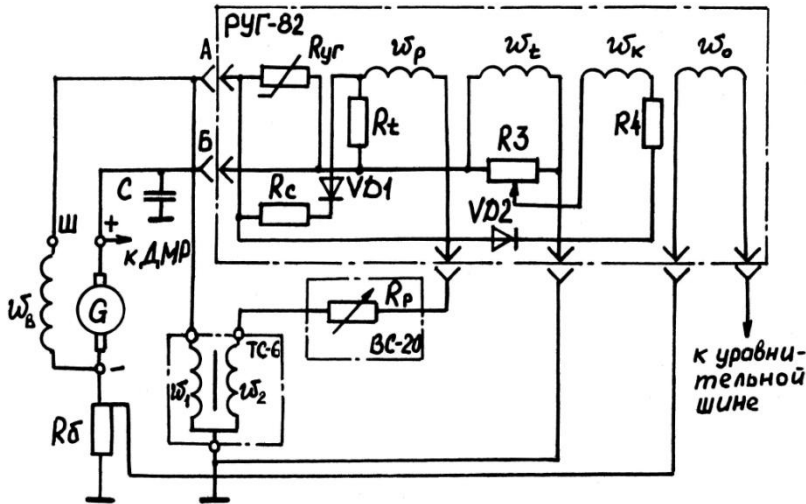


Рис.2.2

Кроме того, в схемах регуляторов имеется обмотка температурной компенсации  $W_t$ , включенная на зажимы генератора. МДС этой обмотки составляет примерно 10% величины МДС рабочей обмотки  $W_p$  и направлена встречно. Вследствие соответствующего

соотношения сопротивлений ( $R_t$  и обмотки  $W_p$ ), а также числа витков ( $W_p$  и  $W_t$ ) влияния изменения температуры взаимно компенсируются. Результирующая МДС остается примерно постоянной в широком диапазоне изменения температуры. Таким образом, удастся значительно увеличить точность работы регулятора.

В регуляторе РУГ-82 (рис.2.2) имеется корректирующая обмотка  $W_k$ , предназначенная для увеличения точности регулирования напряжения при малой частоте вращения (ниже 6000 об/мин) и большой нагрузке генератора. Принципиальная схема включения корректирующей обмотки приведена на рис.2.3. Последовательно с обмоткой включен селеновый вентиль  $VD2$  и ограничивающий ток резистор  $R_4$ . При малых сопротивлениях угольного столба основное падение напряжения в цепи возбуждения генератора приходится на обмотку возбуждения  $W_b$ , и потенциал точки А в этом режиме выше потенциала точки В. Протекающий по обмотке  $W_k$  ток в направлении от точки А к точке В создает в электромагните регулятора напряжения магнитный поток, направленный против потока рабочей обмотки  $W_p$ , поэтому суммарный магнитный поток уменьшается, вследствие чего увеличивается регулируемое напряжение.

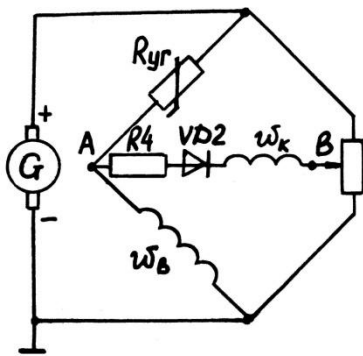


Рис.2.3

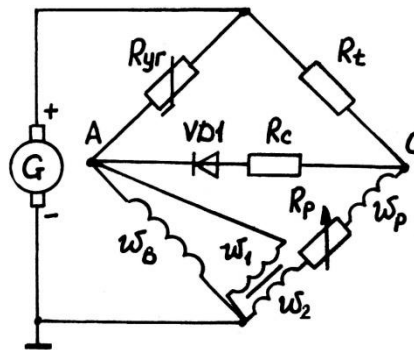


Рис.2.4

На устойчивость процесса регулирования напряжения генератора постоянного тока значительное влияние оказывают такие факторы, как частота вращения генератора и величина нагрузки, которые при нормальной работе генератора могут изменяться в широких пределах. Для повышения устойчивости системы регулирования напряжения в схему угольного регулятора вводится жесткая (стабилизирующее сопротивление) и гибкая (стабилизирующий трансформатор) обратные связи.

В регуляторах Р-25А и РУГ-В2 применяются оба вида обратной связи. В регуляторе Р-25АМ имеется только жесткая обратная связь - стабилизирующее сопротивление. Принципиальная схема включения стабилизирующих средств угольного регулятора напряжения дана на рис.2.4.

Жесткая обратная связь действует как в переходных, так и в установившихся режимах работы. При этом наряду с повышением устойчивости процесса ухудшается точность регулирования напряжения. Направление и величина тока, протекающего через стабилизирующее сопротивление  $R_c$ , зависит от потенциалов точек А и С. Параметры моста, в диагональ которого включено стабилизирующее сопротивление, подобраны так, что при средних значениях частоты вращения и нагрузки потенциалы точек А и С равны. При переходном процессе, например, при сбросе нагрузки, напряжение на генераторе повышается, увеличивается напряжение, приложенное к рабочей обмотке электромагнита  $W_p$ . Электромагнит регулятора начинает растягивать угольный столб, увеличивая его сопротивление  $R_{уг}$ . При этом потенциал точки А уменьшается, что приводит к увеличению тока, протекающего по стабилизирующему сопротивлению. Дополнительное падение напряжения от этого тока на сопротивлении  $R_t$  равносильно уменьшению напряжения, приложенного к обмотке  $W_p$ , что приводит к более медленному увеличению  $R_{уг}$ , способствуя уменьшению величины амплитуды колебаний напряжения.

В установившемся режиме работы генератора в зависимости от потенциалов точек А и С ток, протекающий через стабилизирующее сопротивление, либо увеличивает ток рабочей обмотки электромагнита  $W_p$  (при малой частоте вращения и большой нагрузке), либо вызывает дополнительное падение напряжения на сопротивлении температурной компенсации  $R_t$  (при высокой частоте вращения и малой нагрузке). Вследствие этого в первом случае напряжение генератора несколько снижается, во втором - увеличивается, т.е. появляется дополнительная статическая ошибка. Для исключения влияния стабилизирующего сопротивления в режимах, где расширения области устойчивости не требуется (при малых частотах вращения и больших нагрузках), последовательно с  $R_c$  включается диод VD1. В этом случае сопротивление угольного столба  $R_{уг}$  мало, потенциал точки А выше потенциала точки С, ток через стабилизирующее сопротивление не протекает.

Стабилизирующий трансформатор Т работает только при переходных процессах (гибкая обратная связь). При изменении напряжения на обмотке

возбуждения генератора  $W_B$  изменяется ток в первичной обмотке трансформатора  $W_1$ . Последний вызывает изменение магнитного потока в стали трансформатора, вследствие чего во вторичной обмотке  $W_2$  индуцируется ЭДС. Например, при повышении напряжения, когда регулятор уменьшает ток возбуждения генератора, ЭДС, индуцируемая во вторичной обмотке стабилизирующего трансформатора, совпадает с падением напряжения на рабочей обмотке  $W_p$ . Это равносильно тому, что рабочая обмотка регулятора  $W_p$  включена на несколько меньшее напряжение, чем действительное напряжение генератора. Вследствие этого уменьшается возможность перерегулирования напряжения. Подобная картина наблюдается и при резком включении нагрузки.

## 2. Описание лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема лабораторной установки изображена на рис.2.5. Авиационный генератор постоянного тока  $G$ , напряжение которого регулируется угольным регулятором напряжения  $P-27BT$ , нагружается с помощью реостата  $R_H$ , который подключается к генератору через контакты дифференциально-минимального реле ДМР-400Д.

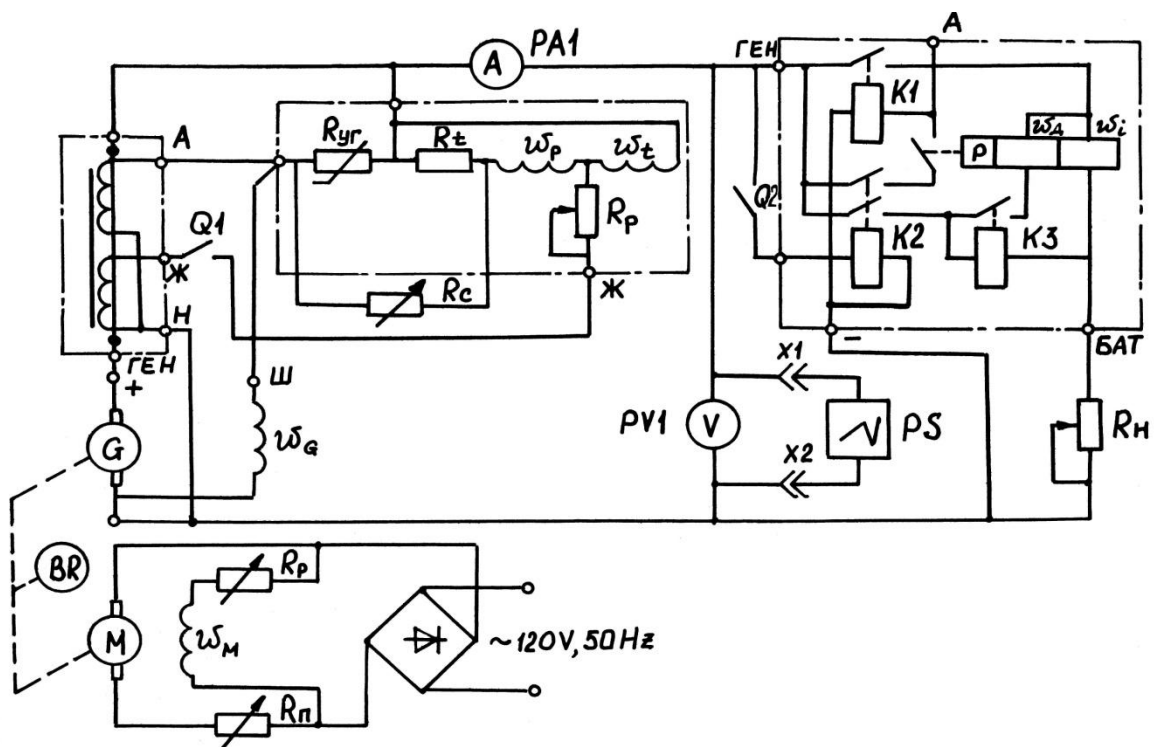


Рис.2.5

В схеме угольного регулятора напряжения стабилизирующее сопротивление отпаяно и вместо него подключен реостат  $R_c$ , с помощью которого можно изменять величину стабилизирующего сопротивления. Выключатель  $Q_2$  служит для включения генератора на нагрузку  $R_H$ ,  $Q_1$  - для подключения стабилизирующего трансформатора ТС-9. Генератор  $G$

приводится во вращение двигателем М. Реостат  $R_p$  предназначен для регулирования частоты вращения приводного двигателя.

Переходные процессы исследуются с помощью электронного осциллографа PS. На экране осциллографа трудно наблюдать кратковременные непериодические процессы, возникающие в системе регулирования напряжения при однократном включении и выключении нагрузки генератора. Для получения наглядного изображения переходного процесса на экране осциллографа необходимо момент включения нагрузки  $R_n$  строго синхронизировать с ходом электронного луча осциллографа, для чего использовать ждущий режим осциллографа. В результате изображение переходного процесса при многократной коммутации нагрузки возникает в одних и тех же точках экрана осциллографа. Наличие у экрана значительного послесвечения облегчает снятие осциллограммы.

Перед проведением исследований необходимо включить питание осциллографа PS и дать ему прогреться в течение (10..15) минут. Затем запустить приводной двигатель М с помощью пускового реостата  $R_p$ , установить частоту вращения генератора 5000 об/мин и при отключенных стабилизирующих средствах ( $R_c = \infty$ , выключатель Q1 в положении "Выкл" ) замкнуть выключатель Q2 и установить с помощью расположенных на стенде выключателей "Включение нагрузки" нагрузку генератора (15...20) А.

Примечание 1. Указанные выключатели служат для подключения к генератору ступеней реостата  $R_n$ . Их следует замыкать последовательно, начиная с первого, подбирая при этом необходимую величину возмущающего скачка нагрузки.

Затем, замыкая несколько раз выключатель Q2 и настраивая ручками вертикального и горизонтального усиления осциллограф, получить удобную для наблюдения картину переходного процесса. Отключить выключатель Q2.

Примечание 2. Во избежание повреждения экрана осциллографа максимальную яркость изображения устанавливать только на время снятия осциллограммы.

### 3. Задание к работе

1). Изучить схему лабораторной установки (рис.2.5) и методику исследований.

2). Исследовать влияние частоты вращения генератора на переходный процесс по напряжению при отключенных стабилизирующих средствах. Установив возмущающий скачок тока  $\Delta I = (15...20)$  А, зарисовать картину переходного процесса для трех значений частоты вращения генератора: 5000 об/мин, 6000 об/мин, 7000 об/мин.

3). Исследовать влияние величины стабилизирующего сопротивления на переходный процесс ( стабилизирующий трансформатор отключен ). Для этого, установив частоту вращения генератора 7000 об/мин и скачок тока  $\Delta I = (15...20)$

А, зарисовать картину переходного процесса для трех значений стабилизирующего сопротивления:  $R_c = 300 \text{ Ом}$ ,  $700 \text{ Ом}$ ,  $\infty$ .

4). Исследовать влияние на переходный процесс по напряжению стабилизирующего трансформатора. Установить частоту вращения генератора 7000 об/мин и скачок тока  $\Delta I = (15 \dots 20) \text{ А}$  при отключенном стабилизирующем сопротивлении ( $R_c = \infty$ ) и зарисовать переходный процесс при включенном (выключатель Q1 в положении "Вкл") и отключенном (Q1 в положении "Выкл") стабилизирующем трансформаторе.

5). Сравнить результаты исследований (п.п. 2...4) и сделать выводы.

6). Исследовать влияние стабилизирующего сопротивления на статическую характеристику системы регулирования напряжения. Отключив электронный осциллограф и подключив к сети цифровой вольтметр PV1, дать ему прогреться в течение (3...5) минут. Затем подключить выход вольтметра к точкам X1 и X2, установить частоту вращения генератора 6000 об/мин и снять зависимость напряжения генератора от тока нагрузки  $U = f(I_n)$  при различных значениях стабилизирующего сопротивления  $R_c$ . Ток

в пределах:  $I_n = (0 \dots 30) \text{ А}$ . Результаты измерений занести в табл. 2.1.

7). Построить графики зависимости  $U = f(I_n)$  при различных  $R_c$ .

#### 4. Содержание отчета

- 1). Цель работы, краткие теоретические сведения.
- 2). Принципиальные схемы регуляторов Р-25А и РУГ-82, схемы включения корректирующих и стабилизирующих средств регуляторов.
- 3). Осциллограммы переходных процессов.
- 4). Таблица результатов измерений.
- 5). Графики зависимостей  $U = f(I_n)$  при различных  $R_c$ .
- 6). Выводы.
- 7). Ответы на контрольные вопросы.

Таблица 2.1

$R_c = 300 \text{ Ом}$		$R_c = 700 \text{ Ом}$		$R_c = \infty \text{ Ом}$	
$I_n, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$I_n, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$I_n, \text{ А}$	$U, \text{ В}$

#### 5. Контрольные вопросы

- 1). Как можно увеличить (или уменьшить) уставку регулятора напряжения?
- 2). Поясните способы повышения точности стабилизации напряжения с помощью угольного регулятора.

- 3). Что такое настройка регулятора напряжения на положительный статизм?
- 4). Поясните назначение и принцип действия корректирующей обмотки.
- 5). Как и почему частота вращения генератора влияет на устойчивость системы регулирования напряжения ?
- 6). Как и почему устойчивость системы зависит от величины нагрузки генератора ?
- 7). Поясните назначение диодов VD1 и VD2 в схеме РУГ-82.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПЕРЕМЕННЫЙ**

#### **Цель работы**

Изучение конструкции электромашинных преобразователей постоянного тока в переменный, схем запуска преобразователей и регулирования их напряжения и частоты, экспериментальное определение характеристик электромашинных преобразователей.

#### **1. Основные положения**

Электромашинные преобразователи постоянного тока в переменный (ЭМП) используются в качестве источников переменного тока на воздушных судах, имеющих первичную систему электроснабжения постоянного тока, а на воздушных судах с первичной системой электроснабжения переменного тока они применяются в качестве аварийных источников электроэнергии. Питание ЭМП осуществляется в первом случае от бортовой сети постоянного тока, во втором – от аккумуляторной батареи.

Однофазные преобразователи типа ПО мощностью от 200 ВА до 6000 ВА преобразуют постоянное напряжение  $27\text{В} \pm 10\%$  в однофазное напряжение  $115\text{В} \pm 3\%$ ,  $400\text{Гц} \pm 5\%$ , трехфазные преобразователи типа ПТ мощностью до 1500 ВА в трехфазное напряжение  $36\text{В} \pm 3\%$ ,  $400\text{Гц} \pm 2\%$ ; комбинированные преобразователи типа ПТО – в трехфазное напряжение 36 В и однофазное 115 В.

ЭМП представляет собой агрегат, в корпусе которого находятся коллекторный двигатель постоянного тока и однофазный или трехфазный синхронный генератор с контактными кольцами, напрессованные на общий вал. Регуляторы напряжения и частоты, управляющая и защитная аппаратура размещены в коробке управления, смонтированной на корпусе агрегата.

Электромашинные преобразователи имеют очень низкий КПД (0.45...0,5) из-за двойного преобразования энергии и малый срок службы, ограниченный, в основном, сроком службы щеточно-коллекторного угла двигателя и

контактных колец генератора.

Для повышений надежности вторичных систем электроснабжения ЭМП обычно резервируются. В случае выхода из строя основного преобразователя переключение приемников на резервный осуществляется автоматически с помощью коробок переключения резерва КПР или аппаратов переключения преобразователей АПП.

Преобразователи мощностью до 1кВА запускаются непосредственно подключением к сети (прямой запуск), более мощные преобразователи с целью ограничения пускового тока подключаются по схеме двухступенчатого запуска (рис.3.1).

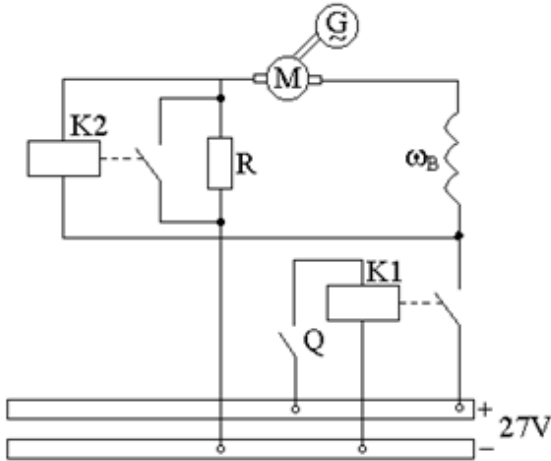


Рис.3.1

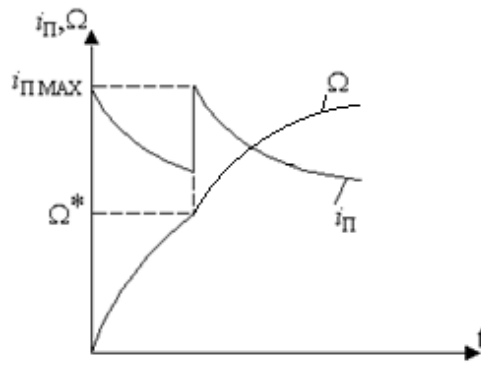


Рис.3.2

В этой схеме в цепь якоря двигателя М последовательно включен пусковой резистор R. Параллельно резистору R включены нормально разомкнутые контакты реле К2, обмотка которого подключена на зажимы двигателя. Для включения преобразователя необходимо замкнуть выключатель Q. При этом обмотка контактора К1 подключается к напряжению сети, контактор К1 срабатывает и своими контактами подключает цепь якоря двигателя М через пусковой резистор R на напряжение бортовой сети  $U_{\Pi}=27$  В. Практически мгновенно в цепи якоря двигателя возникает пусковой ток:

$$i_{\Pi} = \frac{U_{\Pi}}{R_a + R},$$

где  $R_a$  – сопротивление якорной цепи двигателя.

Под действием возникшего момента двигатель начинает вращаться, возрастает его ЭДС - пропорционально угловой скорости:

$$E = C_e \cdot \Omega,$$

где  $C_e$  – коэффициент пропорциональности.

При достижении угловой скорости  $\Omega^*$  напряжение на зажимах двигателя становится равным напряжению срабатывания  $(i_{\Pi} \cdot R_a + C_e \cdot \Omega^*)$  реле К2, которое, срабатывая, своими контактами закорачивает пусковой резистор R. В



этот момент появляется второй всплеск пускового тока. Характер изменения во времени пускового тока и угловой скорости двигателя показан на рис.3.2.

*Регулирование частоты тока преобразователей.* Частота переменного тока ЭМП определяется угловой скоростью ротора его двигателя:

$$f = p \cdot \Omega / 2 \cdot \pi,$$

где  $p$  – число пар полюсов двигателя.

Электродвигатели преобразователей обычно имеют смешанную систему возбуждения. Угловая скорость ротора двигателя зависит от величины напряжения питания  $U_n$ , МДС последовательной  $W_{\Pi}$  и управляющей  $W_y$  обмоток, а также от нагрузки генератора и определяется по формуле:

$$\Omega = \frac{U_{\Pi} - I_a \cdot R_a}{C \cdot (\Phi_{\Pi} + \Phi_y)},$$

где  $I_a$  – ток якоря двигателя;

$C$  – конструктивный параметр;

$\Phi_{\Pi}$  и  $\Phi_y$  – магнитные потоки, создаваемые обмотками  $W_{\Pi}$  и  $W_y$  двигателя.

Частота переменного тока ЭМП регулируется с заданной точностью путем изменения тока в управляющей обмотке  $W_y$  двигателя. Система стабилизации частоты состоит из измерительного органа, усилителя (магнитного или полупроводникового) и стабилизирующих средств. В качестве измерительных органов находят применение различного вида L-C контуры: с последовательным или параллельным включением L и C, дифференциальная схема с двумя резонансными контурами, либо более сложные схемы.

В качестве примера на рис.3.3 приведена схема регулирования частоты преобразователя ПО-6000. Последовательно с управляющей обмоткой возбуждения  $W_{yM}$  двигателя преобразователя M на переменное напряжение  $U_n$  генератора G включены рабочие обмотки  $W_p$  и обмотка обратной связи  $W_{oc}$  магнитного усилителя. С помощью диодного моста V1 осуществляется выпрямление тока в этой цепи, причем выпрямленный ток, проходя по рабочим обмоткам  $W_p$ , подмагничивает сердечник усилителя, создавая таким образом внутреннюю положительную обратную связь.

Кроме указанных, магнитный усилитель имеет еще четыре обмотки, обмотку начального подмагничивания  $W_{нп}$ , обмотку токовой коррекции  $W_k$ , демпферную обмотку  $W_d$  и обмотку управления  $W_y$ . Обмотка начального подмагничивания  $W_{нп}$  включена на постоянное напряжение  $U_{\Pi}$ , которым питается цепь якоря двигателя преобразователя, и создает МДС начального подмагничивания магнитного усилителя  $F_{нп}$ . Обмотка управления  $W_y$  включена последовательно с резонансным L-C контуром на напряжение  $U_n$  и размагничивает магнитный усилитель причем  $F_{нп} > F_y$  (рис.3.4.).

Сопротивление резонансного контура зависит от частоты тока, генерируемого преобразователем. Контур настраивается на частоту (460...480) Гц. Зависимости сопротивления резонансного контура  $Z$  и тока управляющей обмотки

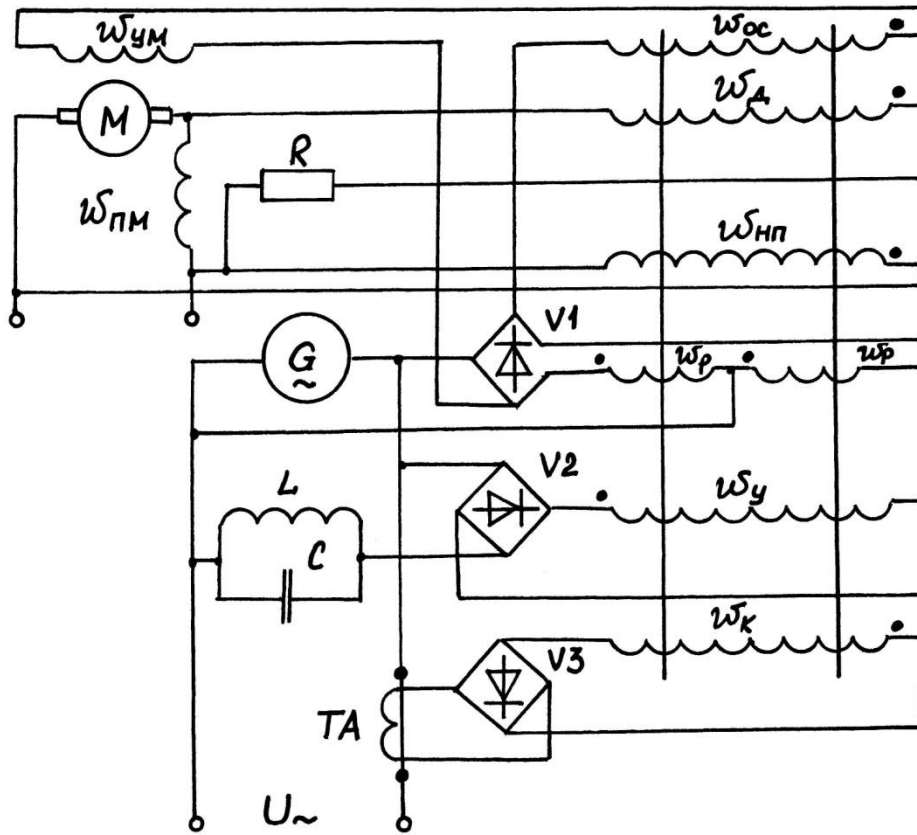


Рис.3.3

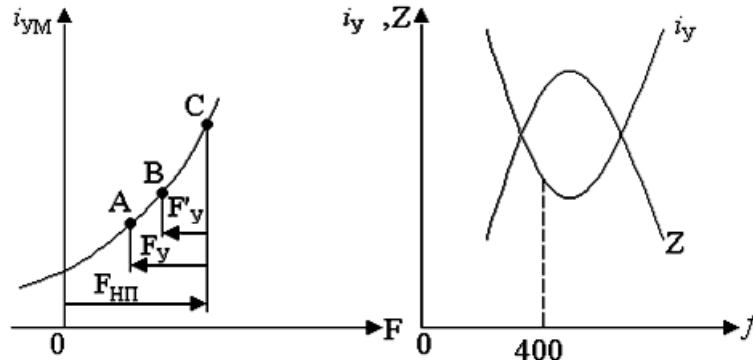


Рис.3.4

Рис.3.5

обмотки усилителя  $i_Y$  от частоты приведены на рис.3.5.

Рабочая точка усилителя А (рис.3.4) лежит на нисходящей ветви зависимости тока  $i_{UM}$  (управляющей обмотке двигателя). МДС обмоток начального подмагничивания и управляющей подобраны так, чтобы при номинальном режиме работы точка А располагалась на середине прямолинейного участка характеристики магнитного усилителя. При увеличении частоты, например, при сбросе нагрузки, МДС обмотки  $W_{HП}$

остается неизменной, МДС обмотки  $W_y$  уменьшится до величины  $F_y'$ , вследствие чего разность  $(F_{\text{НП}} - F_y')$  увеличится, рабочая точка на характеристике магнитного усилителя сдвинется вправо (точка В). Ток в управляющей обмотке возбуждения двигателя  $i_{\text{УМ}}$  возрастет, частота его вращения, а вместе с ней и частота тока, уменьшатся. Аналогичным образом схема работает и при уменьшении частоты.

При увеличении частоты по другой причине, например, из-за увеличения напряжения на зажимах двигателя  $U_{\text{П}}$ , помимо уменьшения МДС управляющей обмотки  $F_y$  увеличится МДС обмотки начального подмагничивания  $F_{\text{НП}}$ . Как видно из рис.3.4, это будет способствовать увеличению тока в обмотке  $W_{\text{УМ}}$  и снижению частоты. Таким образом, обмотка  $W_{\text{НП}}$  осуществляет коррекцию частоты по уровню напряжения источника постоянного тока

Помимо обмотки отрицательной обратной связи  $W_{\text{ОС}}$  для повышения устойчивости работы системы служат демпфирующая обмотка  $W_{\text{Д}}$  и обмотка токовой коррекции  $W_{\text{К}}$ . Обмотка  $W_{\text{Д}}$  создает МДС, направленную в сторону подмагничивания магнитного усилителя.

При увеличении частоты МДС обмотки управления уменьшается на величину  $\Delta F_y$  (магнитный усилитель подмагничивается), ток в обмотке  $W_{\text{УМ}}$  увеличивается. Увеличение тока  $i_{\text{УМ}}$  приводит к увеличению противо-ЭДС двигателя, вследствие чего ток в цепи якоря уменьшится что приведет к уменьшению МДС демпфирующей обмотки на величину  $\Delta F_{\text{Д}}$ , а это вызовет уменьшение степени намагниченности усилителя. Таким образом, эффективность действия  $W_y$  снижается, что приводит (при правильном подборе числа витков  $W_{\text{Д}}$ ) к уменьшению перерегулирования в системе. Однако время переходного процесса и статическая ошибка регулирования увеличивается.

Обмотка токовой коррекции  $W_{\text{К}}$  размагничивает магнитный усилитель. С ростом нагрузки генератора частота тока падает, но МДС обмотки  $W_{\text{К}}$  увеличивается, что приводит к уменьшению степени намагниченности усилителя, ток  $i_{\text{УМ}}$  уменьшается, а частота тока растет, т.е. осуществляется коррекция частоты по току нагрузки в цепи переменного тока. Обмотки  $W_{\text{Д}}$  и  $W_{\text{К}}$  служат для улучшения переходных процессов, в установившемся режиме их МДС уравнивают друг друга.

*Регулирование напряжения преобразователей.* Стабилизация напряжения однофазных ЭМП осуществляется изменением тока возбуждения генератора преобразователя. Схема регулирования напряжения ПО-6000 (рис.3.6) состоит из угольного регулятора напряжения, электромагнитного стабилизатора TS, магнитного усилителя.

Угольный столб регулятора  $R_y$  включен последовательно с обмоткой возбуждения генератора  $W_{\text{ВГ}}$ , рабочая обмотка электромагнита регулятора  $W_{\text{РУ}}$  – на выход магнитного усилителя (рабочие обмотки  $W_{\text{Р}}$ ) через выпрямительный мостик VI. Обмотки  $W_{\text{Р}}$  питаются от синхронного генератора G напряжением  $U_{\sim}$ . Как и в предыдущей схеме, магнитный усилитель выполнен с самоподмагничиванием.

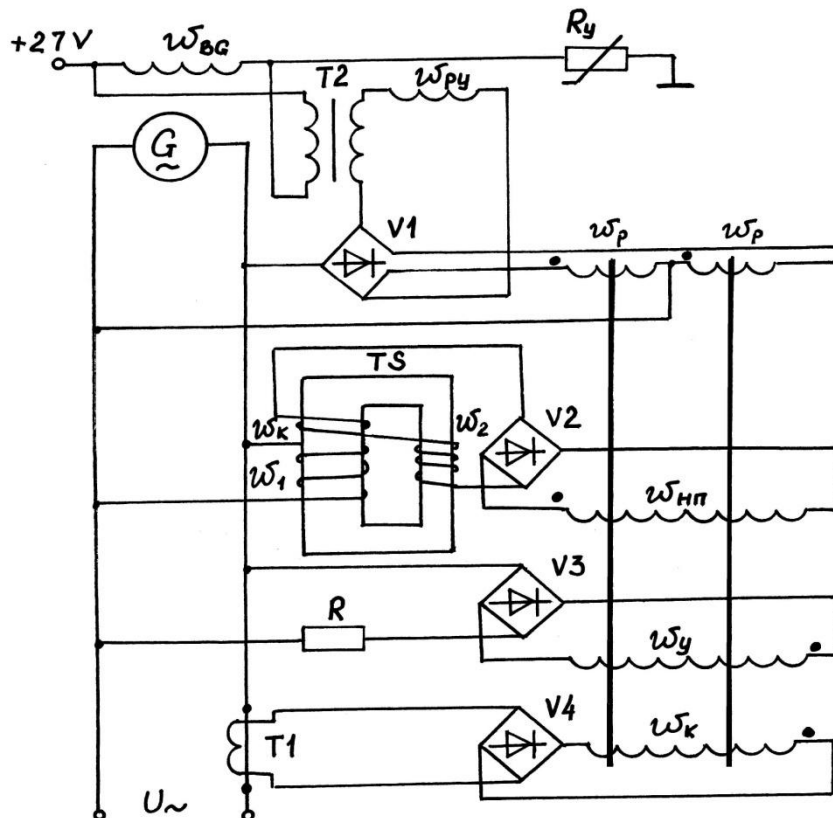


Рис.3.6

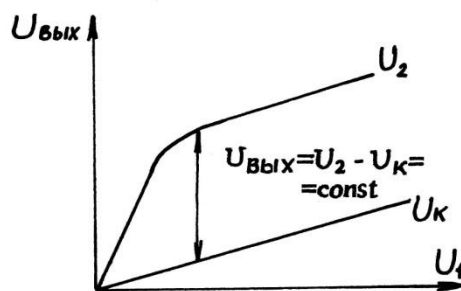


Рис.3.7

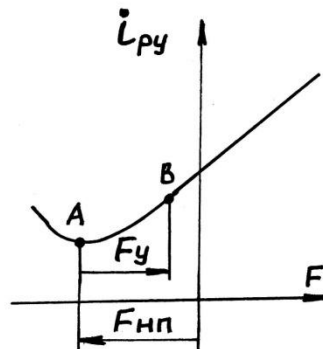


Рис.3.8

Кроме обмоток  $W_p$  в создании магнитного потока усилителя участвуют еще три обмотки: обмотка начального подмагничивания, управляющая обмотка  $W_y$ , обмотка токовой коррекции  $W_k$ . С помощью обмотки начального подмагничивания  $W_{НП}$  создается постоянная, эталонная МДС, размагничивающая магнитный усилитель. Питается обмотка  $W_{НП}$  от электромагнитного стабилизатора напряжения TS (рис.3.6), который состоит из двухстержневого сердечника, на котором находятся три обмотки: первичная  $W_1$  и компенсационная  $W_k$  на ненасыщенном стержне (с большим сечением); вторичная  $W_2$  – на насыщенном стержне (с меньшим сечением). Первичная обмотка  $W_1$  включена на напряжение генератора, МДС в ней и в обмотке  $W_k$  изменяется пропорционально этому напряжению. Напряжение на зажимах  $W_2$  изменяется в значительно меньшей степени из-за насыщения сердечника. Обмотки  $W_2$  и  $W_k$  включены встречно. Таким образом, на выходе TS

получается постоянное напряжение (рис.3.7):

$$U_{ВЫХ} = U_2 - U_K = const .$$

Управляющая обмотка  $W_y$ , включенная на напряжение генератора через выпрямительный мостик  $V3$ , подмагничивает усилитель, т.е. действует навстречу обмотке  $W_{HP}$ .

При возрастании напряжения на зажимах генератора растет ток в управляющей обмотке  $W_y$ , степень насыщения магнитного усилителя возрастает (рис.3.8). Выходной ток усилителя увеличивается, угольный столбик растягивается, сопротивление его увеличивается, напряжение генератора уменьшается. Аналогичным образом схема действует и при снижении напряжения.

Обмотка токовой коррекции подключена к трансформатору  $T1$  через диодный мостик  $V4$  и действует при изменении нагрузки преобразователя. При увеличении тока нагрузки преобразователя ток в обмотке  $W_K$  возрастает. Т.к. МДС обмотки  $W_K$  действует в сторону размагничивания магнитного усилителя, то с ее ростом ток обмотки электромагнита угольного регулятора уменьшается, угольный столбик сжимается, напряжение растет, чем компенсируется его снижение вследствие роста тока нагрузки.

Стабилизирующий трансформатор  $T2$ , первичная обмотка которого включена на обмотку возбуждения генератора  $G$ , а вторичная в цепь обмотки электромагнита регулятора, выполняет роль гибкой обратной связи и расширяет область устойчивой работы системы.

Наличие у электромашинных преобразователей естественных взаимных связей процессов регулирования частоты и напряжения позволяет упростить конструкцию и уменьшить массу регуляторов напряжения и частоты. Эти связи проявляются в том, что ЭДС генератора преобразователя пропорциональна частоте вращения двигателя и, следовательно, частоте тока:

$$E = C_2 \cdot \Phi \cdot \Omega = C_3 \cdot \Phi \cdot f ,$$

где  $C_2$  и  $C_3$  – коэффициенты пропорциональности.

Для стабилизации частоты тока и напряжения на зажимах генератора преобразователя может быть применен перекрестный способ регулирования, сущность которого заключается в том, что регулятор частоты тока воздействует на корректирующую обмотку возбуждения генератора, а регулятор напряжения – на управляющую обмотку электродвигателя.

Принципиальная электрическая схема системы перекрестного регулирования частоты тока и напряжения преобразователя ПО-750А приведена на рис.3.9. Конструктивной особенностью генератора преобразователя является то, что он имеет две обмотки возбуждения, расположенные на статоре. Одна из них ( $W_{BG}$ ), включена последовательно с обмоткой якоря электродвигателя и создает основную часть магнитного потока генератора. Другая обмотка ( $W_{KG}$ ) является корректирующей и подключена к регулятору частоты тока.

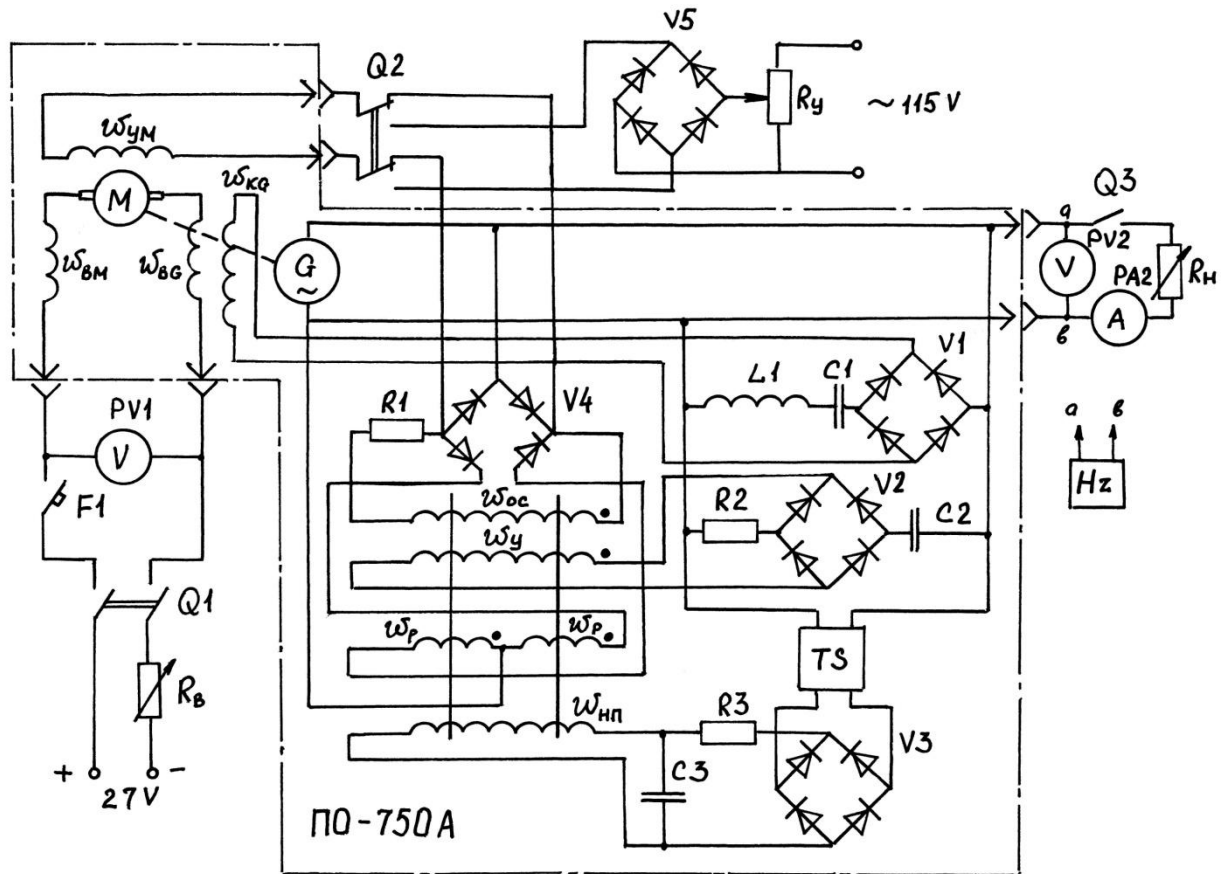


Рис.3.9

Конструктивной особенностью генератора преобразователя является то, что он имеет две обмотки возбуждения, расположенные на статоре. Одна из них ( $W_{BG}$ ), включена последовательно с обмоткой якоря электродвигателя и создает основную часть магнитного потока генератора. Другая обмотка ( $W_{KG}$ ) является корректирующей и подключена к регулятору частоты тока. С учетом этого для напряжения на зажимах генератора справедливо выражение:

$$U_G = C_2 \cdot \Omega \cdot (\Phi_{BG}(I_a) + \Phi_{KG}(f)) - I_G \cdot Z_G,$$

где:  $\Phi_{BG}$  и  $\Phi_{KG}$  – составляющие магнитного потока, создаваемого последовательной и корректирующей обмоткой генератора;  $Z_G$  и  $I_G$  – полное сопротивление и действующее значение тока якоря генератора.

В качестве регулятора частоты в преобразователе использован резонансный контур, состоящий из дросселя  $L1$  и конденсатора  $C1$ . Контур настроен на частоту  $f_{рез} \approx 1.2 \cdot f_{ном}$  благодаря чему ток в обмотке  $W_{KG}$  изменяется по линейному закону. При увеличении частоты тока генератора происходит пропорциональное изменение напряжения на его зажимах, что, в свою очередь,

приводит к увеличению мощности нагрузки генератора  $S_H = \frac{U_G^2}{Z_G}$  и его

тормозного (для двигателя преобразователя) момента  $M = M(P_H, \Omega)$ . А это приводит к уменьшению частоты вращения ротора двигателя и к увеличению тока в последовательной обмотке возбуждения генератора.

Основным достоинством перекрестного способа регулирования частоты является простота его реализации, недостатком относительно невысокая точность стабилизации частоты вследствие малой чувствительности регулятора.

Регулятор напряжения генератора преобразователя состоит из электромагнитного стабилизатора TS, магнитного усилителя и конденсатора C2. Исполнительным органом регулятора является рабочая обмотка  $W_p$  магнитного усилителя. Магнитный усилитель регулятора напряжения за счет положительной обратной связи работает в импульсном режиме. Настройка магнитного усилителя осуществляется путем подбора величины сопротивления R1 в цепи обмотки обратной связи  $W_{oc}$ . Обмотка начального подмагничивания  $W_{нп}$  создает в сердечниках постоянную размагничивающую МДС, которая направлена встречно МДС рабочей  $W_p$  и управляющей  $W_y$  обмоток. Рабочая характеристика магнитного усилителя аналогична характеристике рис.3.8.

Увеличение напряжения на зажимах генератора приводит к увеличению МДС обмотки  $W_y$  и, следовательно, к увеличению среднего значения тока  $I_{ym}$  в обмотке управления электродвигателя  $W_{ym}$ . Частота вращения ротора двигателя уменьшается, что приводит к уменьшению ЭДС на зажимах генератора. Конденсатор C2 является элементом жесткой отрицательной обратной связи по частоте тока генератора.

## 2. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рис.3.9. Кроме преобразователя ПО-750А на схеме показаны измерительные приборы: вольтметры PV1, PV2, амперметр PA2; электронный частотомер PF; регулировочные реостаты  $R_y$ ,  $R_B$ ; нагрузочный реостат  $R_H$ ; автомат защиты F1(Питание); выключатели Q1(По-750), Q2 (РН-7), Q3 (Нагрузка).

## 3. Порядок выполнения работы

1). Включить преобразователь. Для этого необходимо включить автомат F1, затем выключатель Q1. Выключатели Q2 и Q3 должны находиться в положении "Выкл". С помощью реостата  $R_y$  при холостом ходе преобразователя установить номинальное переменное напряжение  $U_2=115В$ .

2). Включить выключатель Q3. Снять зависимости напряжения и частоты переменного тока от величины тока нагрузки при постоянном напряжении питания:  $U_2=f(I_2)$ ,  $f_2=f(I_2)$  при  $U_1=27В=const$ :

а) с включенным регулятором напряжения (Q2 в положении "Вкл.");

б) с выключенным регулятором напряжения.

Ток  $I_2$  изменять от 0 до  $I_{ном}$  с помощью реостата  $R_H$ . Данные занести в таблицу 3.1.

4) Установить значение  $R_H$ , соответствующее номинальному току нагрузки  $I_{ном}=5 А$  при включенном регуляторе напряжения и  $U_1=27В$ . Затем Q2 поставить в положение "Выкл", с помощью  $R_y$  установить напряжение 115в.

Снять зависимости напряжения и частоты переменного тока от величины питающего напряжения при постоянном значении сопротивления нагрузки  $U_2=f(U_1)$ ,  $f_2=f(U_1)$  при  $R_H=R_{НОМ}=\text{const}$ :

- а) с выключенным регулятором напряжения;
- б) с включенным регулятором напряжения.

Напряжение  $U_1$  изменять от 24В до 30В с помощью реостата  $R_B$ . Результаты измерений занести в таблицу 3.2. По данным табл.3.1 и 3.2 построить рабочие и эксплуатационные характеристики преобразователя.

Таблица 3.1

$I_2, A$		С включенным регулятором напряжения
$U_2, B$		
$f_2, Гц$		
$U_2, B$		С выключенным регулятором напряжения
$f_2, Гц$		

Таблица 3.2

$U_1, B$		С выключенным регулятором напряжения
$U_2, B$		
$f_2, Гц$		
$U_2, B$		С включенным регулятором напряжения
$f_2, Гц$		

#### 4. Содержание отчета

- 1). Схема запуска преобразователя.
- 2). Схема регулирования частоты и напряжения преобразователя ПО-750А.
- 3). Таблицы с результатами измерений.
- 4). Рабочие и эксплуатационные характеристики преобразователя.
- 5). Ответы на контрольные вопросы.
- 6). Выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

- 1). Как подбирается пусковой резистор в схеме запуска преобразователя?
- 2). Что является чувствительным органом в схемах регулирования частоты электромашинных преобразователей?
- 3). Какие схемы измерительных органов применяются в системах стабилизации напряжения преобразователей?
- 4). Чем обусловлено взаимное влияние процессов регулирования напряжения и частоты электромашинных преобразователей?
- 5). В чем заключается сущность перекрестного регулирования напряжения и частоты преобразователей?
- 6). Поясните принцип действия и назначение электромагнитного стабилизатора напряжения.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТА ТУ-154

### Цель работы

Целью настоящей работы является изучение типовой структуры системы электроснабжения переменным трехфазным током постоянной частоты напряжением 208/120В самолета Ту-154 (система СПЗСЗП40).

### 1. Основные положения

Основная первичная система электроснабжения СПЗСЗП40 (рис.4.1) предназначена для питания электрифицированных систем самолета и отдельных приемников, а также для обеспечения электроэнергией систем электроснабжения (вторичных) переменного тока 36 В, 27 В и постоянного тока 27 В. На рис.4.1 обозначены: АД - авиационный двигатель; ППЧВ - привод постоянной частоты вращения; G - синхронный генератор; ТБВ - трансформаторно-выпрямительный блок; Ак - аккумуляторная батарея; Т - трансформатор.

Система состоит из трех однотипных независимых каналов (по числу маршевых двигателей), что обеспечивает ей высокую живучесть. Основные технические данные:

номинальная мощность системы	_____	120 кВА;
номинальная мощность одного канала	_____	40 кВА;
максимальная мощность одного канала	_____	50 кВА;
допустимая перегрузка канала в течение 5 с	_____	80 кВА;
номинальный ток одного канала	_____	111 А;
напряжение системы в точке регулирования	_____	208/120 В ± 2%;
частота переменного тока системы	_____	400 Гц ± 2%;
число фаз	_____	3;
коэффициент мощности (отстающий)	_____	(0,8...1);
напряжение питания цепей управления	_____	27 В ± 10%

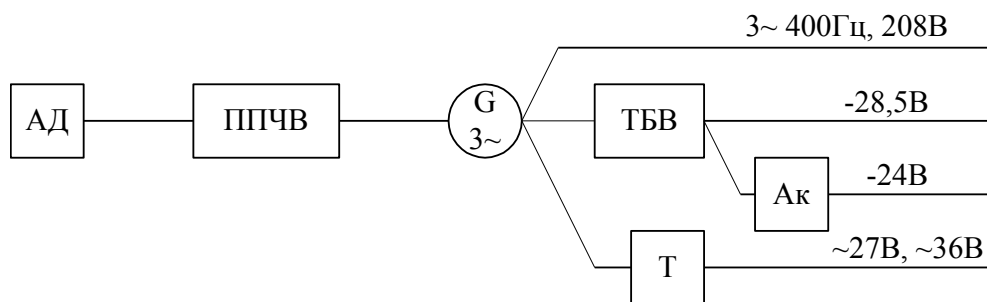


Рис.4.1

Структурная схема канала системы представлена на рис. 4.2. Частота вращения авиационного двигателя может меняться в пределах  $\omega_{a \max}/\omega_{a \min}=2...2,5$ , в то время как частота переменного тока в системе должна быть 400 Гц ± 2%, поэтому генератор получает механическую энергию от авиационного двигателя через привод постоянной частоты вращения, который поддерживает

постоянной частоту вращения ротора генератора переменного тока независимо от режима работы авиационного двигателя.

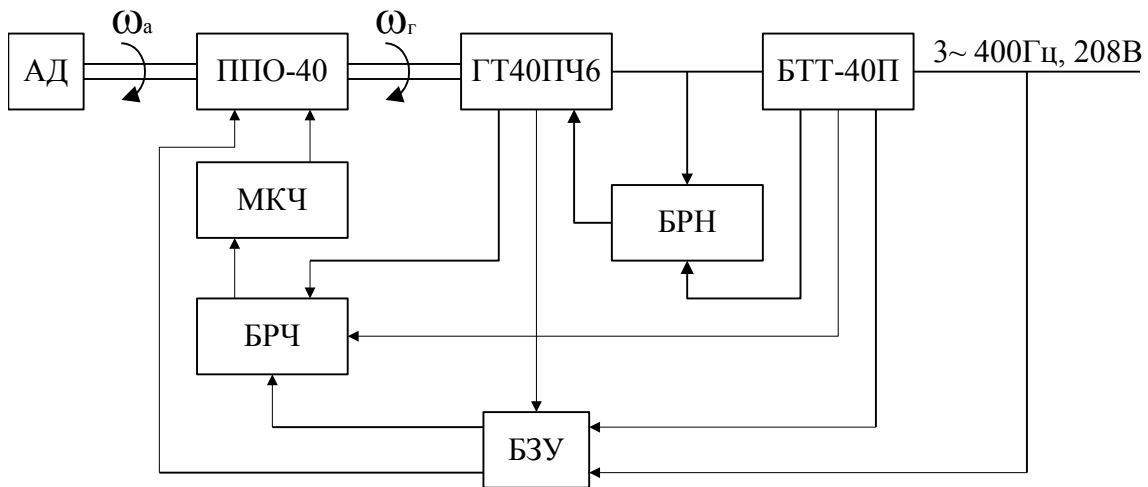


Рис.4.2

На самолете Ту-154 применяется пневматический привод типа ППО-40, его структурная схема приведена на рис.4.3, где:  $\omega_r$  - частота вращения генератора (5);  $\omega_a$  - частота вращения АД;  $\omega_{пр}$  - частота вращения турбины. Для этого привода характерно наличие дифференциального механизма 1 (планетарного редуктора), т.е. устройства, позволяющего получить результирующее движение  $\omega_r$  как сумму или разность составляющих движений  $\omega_a$  и  $\omega_{пр}$ .

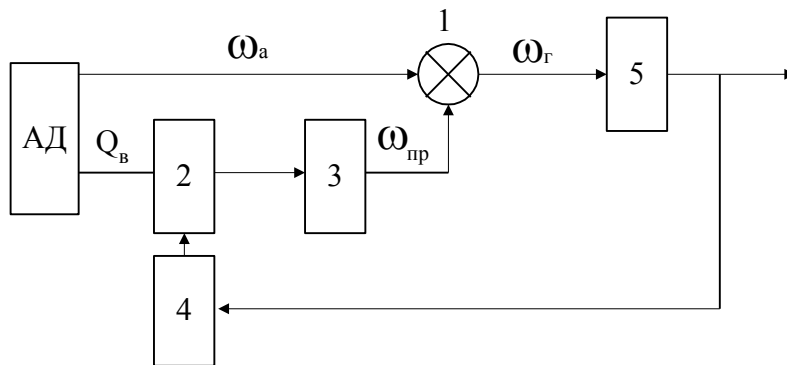


Рис.4.3

Один из входных валов суммирующего редуктора 1 жестко соединен с редуктором АД, второй приводится во вращение воздушной турбиной 2 через понижающий редуктор 3. Регулирование угловой скорости турбины 2 осуществляется путем изменения расхода воздуха  $Q_v$ , отбираемого от компрессора АД так, чтобы  $\omega_r = \omega_a + \omega_{пр} = \text{const}$ . Таким образом, в приводе с дифференциальным механизмом трансформации энергии в промежуточную подвергается не весь поток энергии, а лишь часть ее, поэтому они имеют, по сравнению с простыми приводами, более высокий КПД. Сигналы управления для регулирования  $\omega_{пр}$  формируются устройством управления 4.

Большим достоинством привода генератора от воздушных турбин является возможность охлаждения генератора воздухом, отработанным в воздушной турбине. При расширении воздуха в воздушной турбине температура его значительно снижается, и он может быть использован для охлаждения. Недостатком пневматических приводов является малая жесткость механической характеристики.

В качестве источников электроэнергии в системе СПЗСЗП40 используются синхронные генераторы типа ГТ40ПЧ6. Этот генератор представляет собой каскадную схему, состоящую из трех машин: основного генератора, возбuditеля и магнитоэлектрического подвозбудителя (рис.4.4).

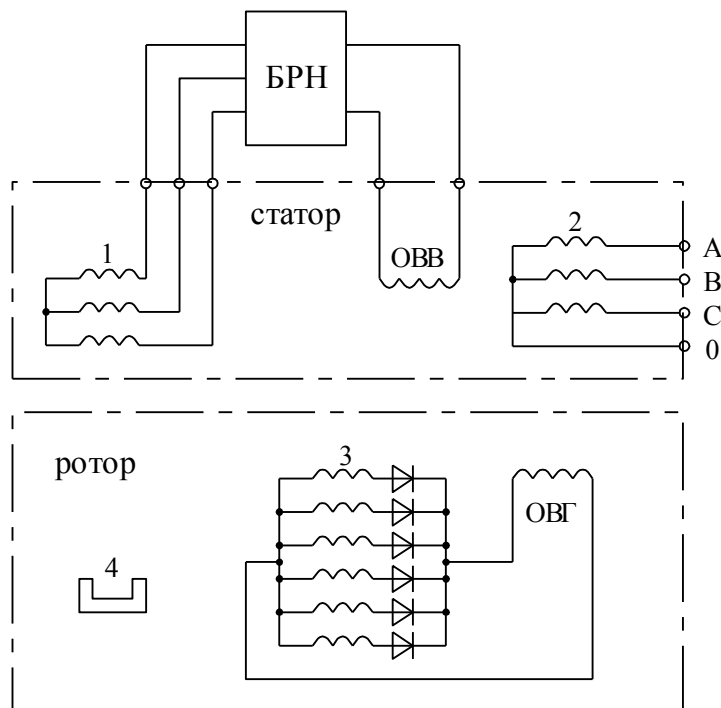


Рис.4.4

Трехфазная рабочая обмотка 2 генератора соединена в звезду с выведенной силовой нейтралью. Обмотка возбуждения генератора (ОВГ) питается от шестифазной обмотки 3 переменного тока возбuditеля через блок кремниевых диодов (он расположен на роторе генератора). Для автономного возбуждения генератора на одном с ним валу размещены постоянные магниты 4 подвозбудителя. От статорной обмотки подвозбудителя 1 осуществляется питание обмотки возбуждения возбuditеля (ОВВ) через регулятор напряжения (БРН). Регулятор напряжения изменяет величину тока ОВВ, регулируя тем самым напряжение генератора. Такая схема построения позволяет сделать генератор бесконтактным, значительно уменьшить мощность регулятора напряжения, т.к. регулятор воздействует на сравнительно маломощную цепь ОВВ и сделать генератор полностью автономным.

Поскольку магнитоэлектрический подвозбудитель не подвержен влиянию каких бы то ни было аварийных режимов в основном генераторе или в системе,

то производимая им энергия используется для питания цепей защиты и управления в случае отказа системы 27 В. Наличие отдельного подвозбудителя также обеспечивает большую кратность токов короткого замыкания генератора, что необходимо для надежной работы аппаратов защиты.

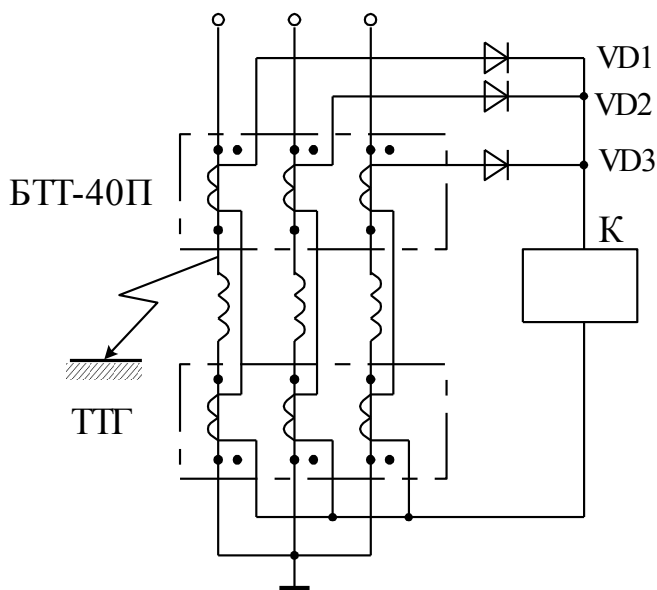


Рис.4.5

Для защиты генератора от КЗ внутри генератора, а также на его фидере в каждую фазу генератора включен трансформатор тока (ТТГ). Эти трансформаторы совместно с трансформаторами тока блока БТТ-40П образуют дифференциальную защиту генератора и его фидера от КЗ (рис. 4.5).

Главным требованием, предъявляемым к защите от КЗ, является быстрдействие. Дифференциальная защита позволяет выполнить это требование, кроме того, она обладает хорошей селективностью (т.е. свойством отключать только поврежденный участок).

Трансформаторы БТТ-40П и ТТГ, установленные в одной и той же фазе, включены встречно друг другу и составляют последовательную цепь с выпрямителем (VD1...VD3) и реле. При отсутствии КЗ на концах каждого фазного провода защищаемого участка (участок между трансформаторами тока) токи равны друг другу и находятся в одной фазе. В этом случае в обмотках БТТ-40П и ТТГ индуктируются одинаковые по величине и по фазе напряжения, которые уравниваются друг друга. Реле обесточено.

При возникновении КЗ между трансформаторами тока, векторы токов на концах защищаемого участка резко отличаются друг от друга, равновесие напряжений нарушается, и реле К срабатывает, отключая генератор.

Блок БТТ-40П также может обеспечивать при параллельной работе питание датчиков распределения активной и реактивной мощности. На самолете Ту-154 параллельная работа генераторов не предусмотрена.

Помимо генератора, привода, БТТ-40П в канал генерирования входят:

блок регулирования напряжения (БРН-208М7Б), блок регулирования частоты (БРЧ-62 БМ), блок защиты и управления (БЗУ-376СП), электромеханизм коррекции частоты (МКЧ-62ТВ), исполнительная коммутационная аппаратура.

### *1.1. Блок регулирования напряжения (БРН).*

Блок регулирования напряжения БРН-208М7Б предназначен для поддержания напряжения переменного тока генераторов ГТ40ПЧ6 в заданных пределах и для равномерной нагрузки их реактивным током при параллельной работе в системе электроснабжения. Основные технические данные БРН:

- точность регулирования напряжения в пределах (201,8 ... 210) В;
- подстроечный потенциометр позволяет изменять уровень напряжения на  $\pm 6$  В.

В состав БРН входит блок измерения напряжения БИН (А1) и два магнитных усилителя МУ-1 (А2) и МУ-2 (А3), включенные в системе регулирования последовательно (рис. 4.6).

Блок измерения напряжения БИН питается от линейного напряжения генератора через трансформатор Т2 и трехфазный выпрямитель 2VD1 ... 2VD6. Выпрямленное напряжение поступает на измерительную мостовую схему, в два плеча которой включены стабилитроны 2VD7 и 2VD8, в другие два плеча - сопротивления 2R1 и 2R2. Для данной мостовой схемы в режиме отсутствия нагрузки  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} - 2U_{\text{ст}}$ ,

- где:  $U_{\text{вх}}$  - напряжение на входе моста;  $U_{\text{ст}}$  - напряжение на стабилитроне.

Зависимость напряжения на выходе моста от напряжения на входе представлена на рис.4.7. В диагональ моста включена обмотка управления  $W_{\text{упр}}$  магнитного усилителя МУ-2. Магнитный усилитель МУ-2, кроме управляющей обмотки, имеет стабилизирующую  $W_{\text{ст}}$  и уравнивательную  $W_{\text{ур}}$  обмотки. На стабилизирующую обмотку подается напряжение со вторичной обмотки стабилизирующего трансформатора Т1, по первичной обмотке которого протекает ток возбуждения. Стабилизирующий трансформатор работает только в переходных режимах, и напряжение на его вторичной обмотке пропорционально скорости изменения тока возбуждения возбудителя. МДС обмотки управления и стабилизирующей обмотки направлены встречно, поэтому трансформатор Т1 и стабилизирующая обмотка выполняют роль гибкой отрицательной обратной связи.

Уравнивательная обмотка  $W_{\text{ур}}$  предназначена для выравнивания реактивных мощностей параллельно работающих синхронных генераторов. Напряжение на уравнивательную обмотку подается со схемы распределения реактивной мощности БРРМ (А4). Ток в уравнивательной обмотке пропорционален разности реактивных токов генераторов, работающих параллельно. На самолете Ту-154 блок БРРМ не задействован.

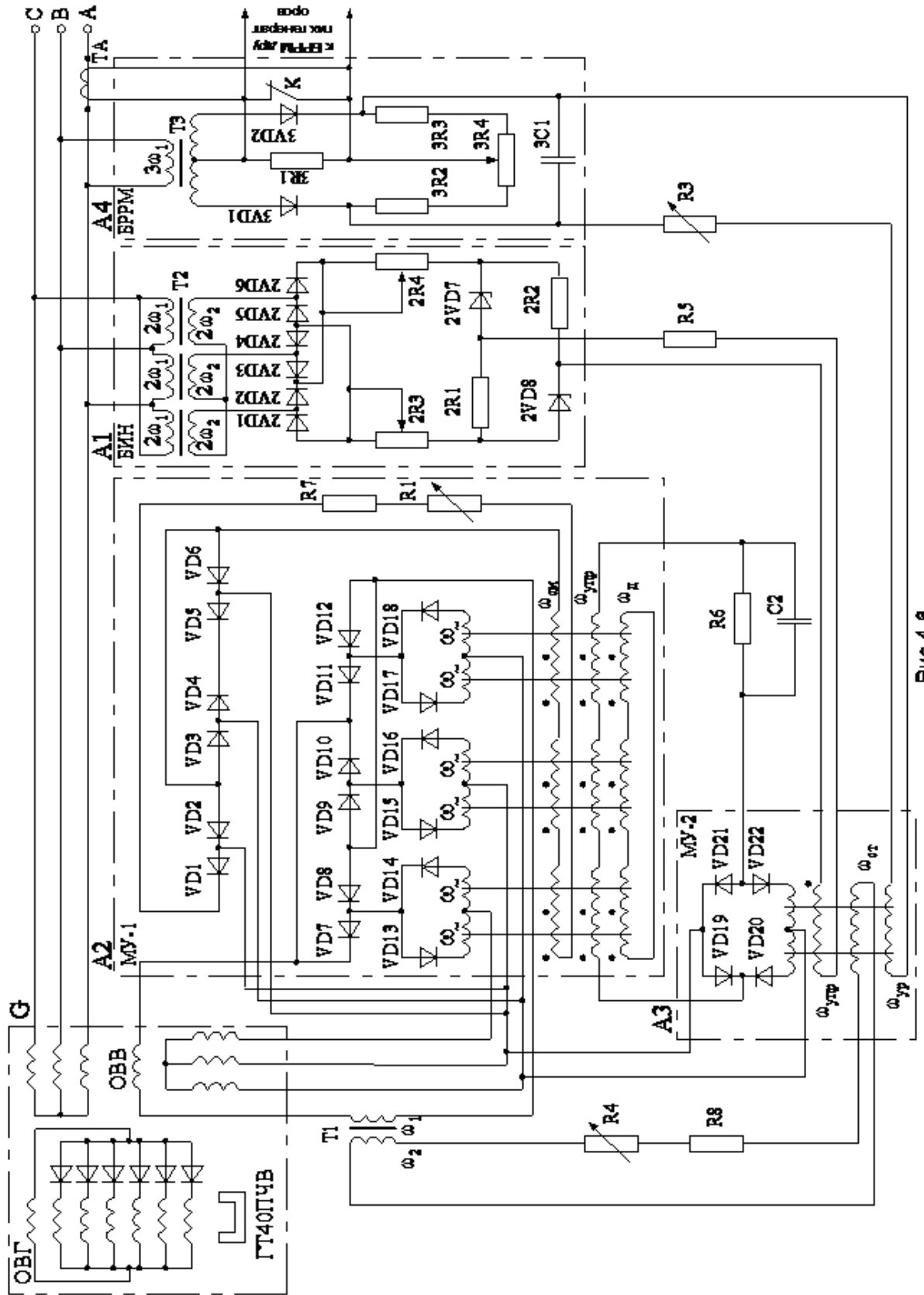


Рис. 4.8

Выходное напряжение магнитного усилителя МУ-2 поступает через сопротивление  $R_6$  на обмотку управления  $W_{упр}$  магнитного усилителя МУ-1, который питается также от подвозбудителя. Нагрузкой МУ-1 является обмотка возбуждения ОВВ, подключенная через выпрямитель VD7...VD12. Выпрямители VD13 ...VD18 обеспечивают обратную связь усилителя МУ-1.

Усилитель МУ-1 кроме управляющей обмотки, имеет обмотку смещения  $W_{см}$  и демпферную обмотку  $W_{д}$ . Демпферная обмотка предназначена для предотвращения возможности появления автоколебаний напряжения генератора. Ее роль сводится, главным образом, к уменьшению коэффициента усиления МУ-1 в переходном режиме, что значительно улучшает переходный процесс. Обмотка  $W_{см}$  необходима для выбора рабочей точки на характеристике МУ-1. Она позволяет согласовать характеристики МУ-1 и МУ-2.

Уровень напряжения генератора регулируется сопротивлениями 2R3, 2R4, включенными в цепь питания измерительного моста.

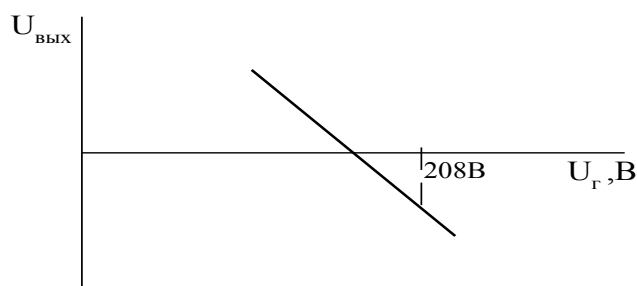


Рис.4.7

### 1.2. Блок регулирования частоты (БРЧ).

Блок БРЧ-62БМ предназначен для поддержания стабильности частоты тока генератора и для равномерного распределения активной мощности между генераторами при параллельной работе.

В энергосистемах переменного тока регулирование частоты осуществляется через грубый и точный каналы регулятора частоты вращения. В распределении активных мощностей принимает участие лишь точный канал регулятора, который соответствующим образом изменяет мощность привода постоянной частоты вращения (ППЧВ). Блок БРЧ-62БМ (рис.4.7) состоит из трех функциональных блоков:

- 1) блока измерения активной мощности БИАМ-1М (А1);
- 2) блока измерения частоты БИЧ-1М (А2);
- 3) блока магнитного усилителя БУМ-1М (А3).

В качестве исполнительного органа системы регулирования частоты и распределения активной мощности служит механизм коррекции МКЧ-62ТВ-2 серии, воздействующий на настройку привода постоянной частоты вращения

Блок БИАМ-1М представляет собой однополупериодный дискриминатор, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный активной составляющей тока нагрузки генератора.

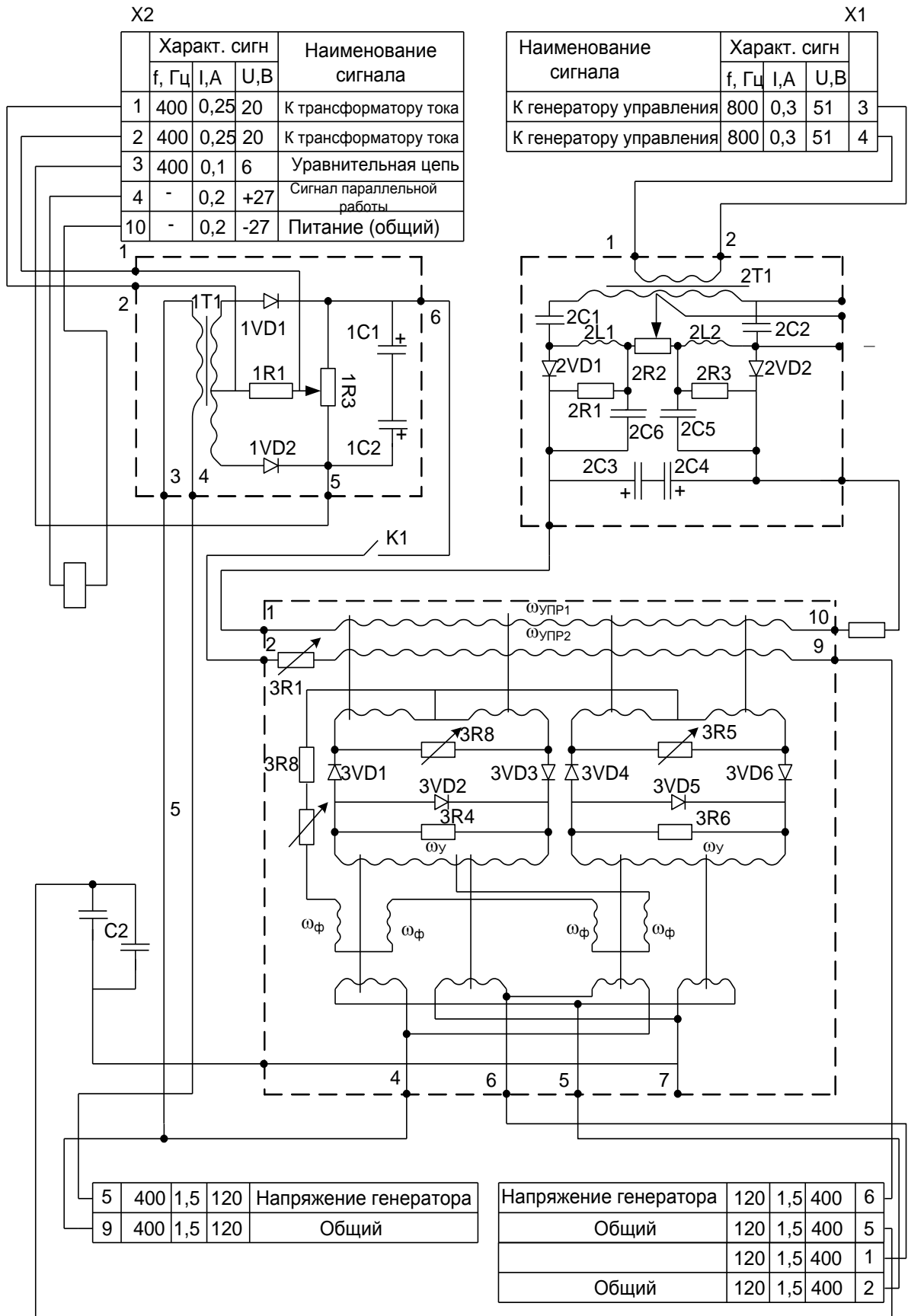


Рис.4.8



Нагрузкой блока служит обмотка управления  $\omega_{упр2}$  магнитного усилителя БУМ-1М (А3).

Блок БИЧ-1М представляет собой два резонансных контура, настроенных на резонансные частоты  $f_1=740$  Гц и  $f_2=860$  Гц. Резонансные контуры, состоящие из дросселей и конденсаторов, через трансформатор 2Т1 получают питание от подвозбудителя. Это позволяет уменьшить габариты резонансных контуров.

Резонансные контуры рассчитаны таким образом, что при номинальной частоте  $f_n=800$  Гц токи в контурах равны и сдвинуты друг относительно друга на  $180^\circ$  (рис.4.9). Направление тока на выходе блока определяется потенциалами точек 4 и 3 (рис.4.8). При уменьшении частоты потенциал точки 4 выше потенциала точки 3, и выпрямленный ток от точки 4 протекает по обмотке управления магнитного  $\omega_{упр1}$  усилителя А3. Аналогично протекают процессы при повышении частоты; только в этом случае потенциал точки 3 будет выше, чем потенциал точки 4, и ток в обмотке управления магнитного усилителя А3 изменит свое направление. Симметрия контуров достигается подрегулированием резонансных токов сопротивлением 2R2. Конденсаторы 2С2, 2С5 служат фильтрами однополупериодной схемы выпрямления.

Блок БУМ-1М - двухкаскадный усилитель. Первым каскадом является магнитный усилитель УМ1, вторым - магнитные усилители УМ2 и УМ3.

Магнитный усилитель УМ1 по соединению рабочих обмоток представляет собой два обычных магнитных усилителя с внутренней обратной связью, имеющих общую обмотку управления. Нагрузкой каждой пары рабочих обмоток являются обмотки управления магнитных усилителей второго каскада.

При отсутствии сигналов в обмотках управления магнитного усилителя УМ1 по его рабочим обмоткам протекает ток холостого хода. Регулируя сопротивлениями 3R3 и 3R5 коэффициент обратной связи магнитных усилителей, добиваются, чтобы напряжение выхода второго каскада при отсутствии сигналов было равно нулю, а зависимость выходного напряжения от

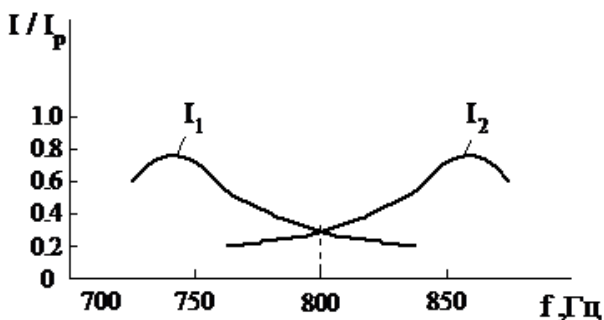


Рис.4.9

сигналов в обмотке управления укладывалась в заданные требования.

При появлении сигналов в обмотках управления магнитного усилителя УМ1 одна пара сердечников подмагничивается, другая размагничивается, и рабочие токи соответственно изменяются.

Следовательно, при одном и том же токе управления магнитного усилителя УМ1 токи управления магнитных

усилителей УМ2 и УМ3 различны. Рабочие обмотки усилителей УМ2, УМ3 соединены по мостовой схеме (рис.4.10), что обеспечивает при изменении их полных сопротивлений изменение тока нагрузки не только по величине, но и по

фазе. Величина тока выхода пропорциональна полным сопротивлениям рабочих обмоток магнитных усилителей УМ2 и УМ3, следовательно, зависит от величины и направления токов в обмотках управления магнитного усилителя УМ1.

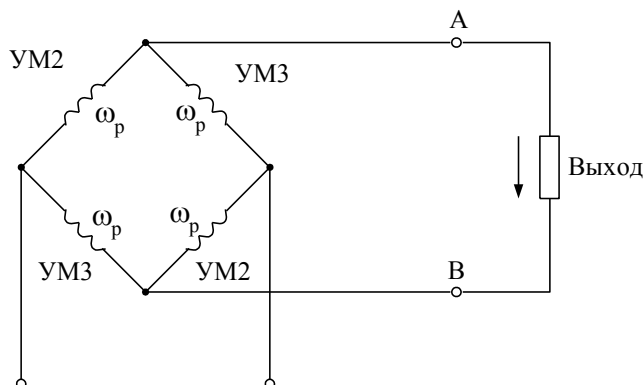


Рис.4.10.

Питание магнитных усилителей осуществляется: УМ2 и УМ3 - от фазного напряжения генератора; УМ1 - через трансформаторную обмотку  $W_T$  от магнитных усилителей УМ2 и УМ3.

Сопротивлением  $3R7$  регулируется максимальное значение напряжений на обмотке управления двигателя механизма коррекции частоты МКЧ-62ТВ – 2 серия. Сигнал на выходе обеспечивает вращение вала электромеханизма МКЧ-62ТВ – 2 серия, приводящее к уменьшению (увеличению) частоты вращения ППЧВ и, следовательно, частоты генератора.

### 1.3. Блок защиты и управления (БЗУ).

Блок защиты и управления обеспечивает:

- а) дистанционное включение и выключение генератора;
- б) автоматическое включение генератора на нагрузку при напряжении более (175...185) В и частоте более (372...380) Гц с выдачей светового сигнала;
- в) питание всех элементов защиты и управления генератора постоянным током напряжением (24...28) В при аварии самолетной сети постоянного тока и при напряжении сети переменного тока 208 В;
- г) необратимое отключение генератора от нагрузки, необратимое выключение возбуждения генератора, снятие питания с основного электромагнита привода постоянной частоты вращения и выдачу сигналов аварийного отключения при следующих авариях:
  - при повышении напряжения более (220... 230) В с выдержкой времени (0,4...0,7) с;
  - при снижении напряжения ниже (175 ... 185) В с выдержкой времени  $(4 \pm 0,6)$  с;

-при всех видах короткого замыкания внутри генератора или на его фидере;

-при снижении частоты ниже (372 ... 380) Гц или повышении выше (420 ... 480) Гц с выдержкой времени ( $6 \pm 0,9$ ) с.

Полная схема БЗУ довольно сложна, поэтому в данной работе приведена упрощенная функциональная схема блока (рис. 4.11).

Рассмотрим работу БЗУ в различных режимах.

1). *Включение генератора на нагрузку,*

Выключателем генератора подается питание на штырь X2:1 – основное, на X2:7 – резервное. Через разделительные диоды VD1, VD2, исключая влияние неисправности одной цепи на другую, "плюс" питания проходит:

- через нормально-замкнутые контакты 5,4 реле аварийного отключения K5 на включение цепи возбуждения генератора (X2:12);

- через диод, нормально-замкнутые контакты 7,8 реле K5 на основной электромагнит ППЧВ (X2:5);

- через нормально-замкнутые контакты реле K5 на обмотку реле включения нагрузки K3;

- через нормально-замкнутые контакты 5,4 реле K5 на реле K4.

Реле K4 срабатывает и "минусом" питания через свои нормально-разомкнутые контакты 1,3 и через контакты блока A1 (блока защиты по частоте) включает бесконтактное реле выдержки времени A4.

Таким образом, после включения выключателя генератора разгоняется турбина привода постоянной частоты вращения, возбуждается генератор и начинается отсчет времени реле A4.

Если за время, меньшее чем выдержка времени реле A4, турбина выйдет на режим по оборотам (частота генератора достигнет величины (372 ... 380) Гц), реле в блоке защиты по частоте (A1) отключит реле выдержки времени и подаст "минус" питания в блок защиты по напряжению (A2). В блоке A2 включается бесконтактное реле выдержки времени.

Реле времени в блоке A2 ведет отсчет времени. Если за время, меньшее чем выдержка времени реле в блоке A2, напряжение генератора достигнет (175...185) В, реле блока A2 отключит реле выдержки времени и включит "минусом" питание реле включения нагрузки K3, которое, срабатывая, контактами 9,8 выдает сигнал на включение контактора нагрузки, контактами 2,3 самоблокируется, контактами 5,6 обеспечивает после включения генератора на нагрузку независимость работы защиты по напряжению от защиты по частоте. Кроме того, реле K3 контактами 10,11 включает сигнальную лампу отключения генератора от нагрузки.

2). *Аварийное отключение генератора.*

При аварии в системе генератора, когда дальнейшая работа генератора может привести к опасной ситуации на самолете, блок БЗУ производит отключение генератора от нагрузки и синхронизирующих шин, выключение его возбуждения, выключение привода постоянной частоты вращения.

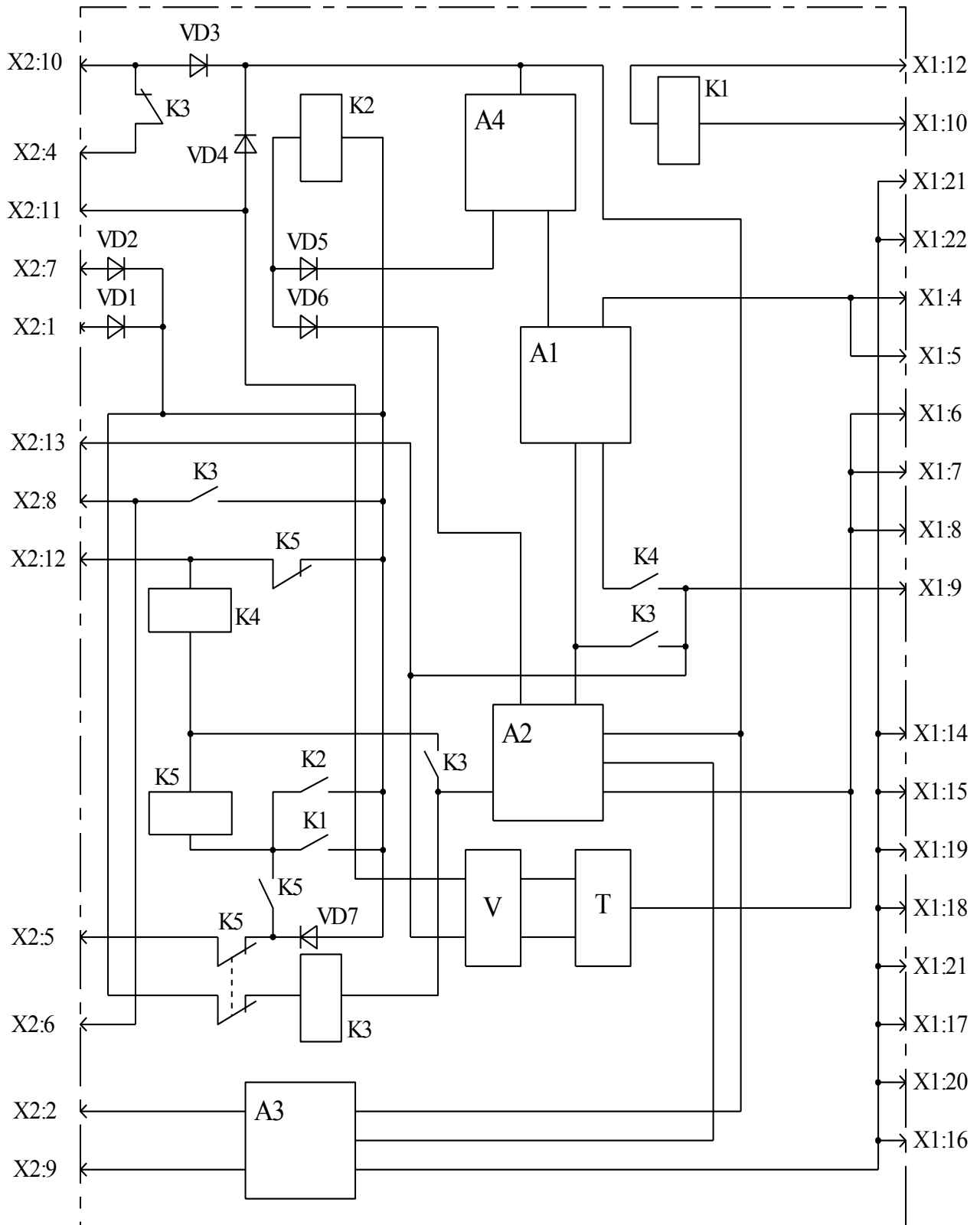


Рис.4.11

Аварийное выключение генератора производит реле аварийного отключения К5, которое выключается действием различных защит.

#### *2.1) Защита от работы при повышенном или пониженном напряжении.*

Защиту от работы системы при повышенном или пониженном напряжении осуществляет блок А2, состоящий из следующих элементов: входного трансформатора, выпрямительного моста, двух блоков измерения напряжения, бесконтактного реле выдержки времени.

Напряжение генератора понижается трансформатором, выпрямляется и подается на оба блока измерения напряжения. Один блок срабатывает при понижении напряжения генератора в пределах (175 ... 185) В, другой – при повышении напряжения в пределах (220 ... 230) В.

При снижении или повышении напряжения вышесказанных пределов блоки измерения напряжения включают реле выдержки времени. Если напряжение не восстанавливается за время выдержки реле, то реле времени через разделительный диод включает "минусом" питания обмотку реле К2.

Реле К2 включает контактами 2,3 реле аварийного отключения К5, которое, срабатывая, самоблокируется (контактами 8,9), отключает генератор от нагрузки (контактами 4,5), выключает основной электромагнит ППЧВ (контактами 7,8).

#### *2.2). Защита от работы при повышенной или пониженной частоте.*

Защиту осуществляет блок А1. В блоке А1 имеется резонансный контур, на дроссель которого включена цепь управления блока измерения напряжения, подобного блокам измерения напряжения А2.

При выходе из зоны допустимой частоты (372...380) Гц - (420...428) Гц напряжения на резонансном контуре недостаточно для срабатывания блока измерения напряжения, и он включает реле выдержки времени А4.

Если снижение или повышение частоты длится более выдержки времени реле, то оно включает реле А2 и производит аварийное отключение генератора, как было описано выше.

#### *2.3) Защита от работы при коротком замыкании.*

При коротком замыкании в зоне, охватываемой дифференциальной защитой, нарушается равновесие, и реле К1 срабатывает, включая реле аварийного отключения К5, которое производит отключение генератора как описано выше.

#### *1.4. Резервное питание.*

При аварии самолетной сети постоянного тока питание всех элементов защиты и управления генератора осуществляется от резервного источника питания, который питается напряжением трехфазного переменного тока частотой 400 Гц (X1:6, X1 :7, X1:8) и состоит из трансформатора и выпрямителей.

При разработке системы СПЗСЗП40 предусматривалась возможность параллельной работы генераторов, однако на практике параллельная работа генераторов не применялась, и в более поздней модификации этой системы электроснабжения возможность параллельной работы не предусмотрена, что позволило упростить управление, регулирование и защиту в системе.

Общая мощность системы обеспечивает питание всех основных приемников электроэнергии как при отказе одного генератора, так и при отказе двух генераторов.

Система СПЗСЗП40 включает в свой состав резервный источник питания – 4-й генератор переменного тока (такого же типа и такой же мощности, что и основные генераторы), установленный на вспомогательной силовой установке (ВСУ). Он используется для автономной работы в полете при отказе основных генераторов в диапазоне высот от 0 до 3000 м и на земле при отсутствии аэродромных источников электроэнергии.

#### *1.5. Переключение сетей генераторов.*

Основная система электроснабжения разделена на три сети по количеству каналов системы. В нормальном режиме каждый генератор работает на соответствующую сеть. В случае отказа одного из генераторов его сеть автоматически переключается на работающие генераторы.

Распределительная сеть основной системы электроснабжения радиальная (т.е. распределительные устройства (РУ) подключаются к центральному РУ параллельно) с тройным расщеплением фаз (по три провода в каждой фазе), что обеспечивает нормальную работу сети при отказе одного из трех проводов фазы. Магистральные линии сети имеют двухстороннюю защиту биметаллическими автоматами защиты типа АЗФМ с номиналами от 20 А до 50 А, а цепи генератора – автоматами типа АЗЗК на 100 А и 200 А.

Переключение сетей осуществляется таким образом, чтобы при возникновении отказов в канале генерирования обеспечить бесперебойное снабжение приемников 1-й категории (т.е. тех приемников электрической энергии, без которых невозможна посадка самолета) за счет других менее важных приемников, например, бытового оборудования.

При отключении или отказе любого генератора блок БЗУ соответствующего канала выдает сигнал на переключение сетей генераторов.

В результате обесточатся контакторы 10 или 16, 21\*, отключающие генератор от сети, и реле 18, через контакты которых, в зависимости от включения противообледенителя, управляются контакторы 11, 15, 17 переключения сети отказавшего генератора на сеть работающего генератора. Реле 19 управляет переключением сетей при включенных противообледенителях.

Если отказ одного генератора произошел при включенном противообледенителе, то через контакты 18 и включенное в этом случае реле 19 включается контактор 22, который отключает шины приемников бытового оборудования от сети III. При отказе одновременно двух любых генераторов

через контакты реле 18 срабатывает реле 20 и контактор 22, что также обеспечит отключение бытового оборудования. Кроме того, срабатывает контактор 15, который переключает сеть II (сеть противообледенителей) на питание от генератора ВСУ. Сети I и III переключаются в этом случае на работающий генератор контакторами 11 или 17, в зависимости от того, какие генераторы отказали. При отказе всех трех генераторов включается реле 31, отключаются противообледенители, контакторами 23 и 11 сети I и III подключаются к генератору ВСУ.

Шины навигационного оборудования, в нормальном режиме получающие питание от сети I автоматически переключаются на сеть III контактором 13, если сеть I обесточивается.

Управление контактором 13 автоматическое от аппарата переключения шин АПШ-3, который обеспечивает переключение шин при следующих авариях:

- при междуфазных коротких замыканиях;
- при трехфазных коротких замыканиях,
- при обрывах одной, двух или трех фаз;
- при отключении сети I от питания;
- при аварийном повышении напряжения.

Бортсеть самолета может быть запитана от наземного источника электрической энергии через специальный разъем аэродромного питания - ШРАП-400. В системе не предусмотрена совместная работа бортовых генераторов и наземного источника.

\*Примечание: Все обозначения даны в соответствии со схемой, приведенной на лабораторном стенде.

Блок БЧФ-208 предотвращает подключение бортсети к наземному источнику с неправильным чередованием фаз.

## **2. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка представляет собой модель самолетной электроэнергетической системы, выполненную в виде стенда, передняя часть которого закрывается фальшпанелью с нанесенной на нее мнемосхемой, которая отражает функциональную схему системы электроснабжения самолета Ту-154. На этой же части стенда расположена панель энергоузла с соответствующими выключателями, переключателями, показывающими приборами. В правой части стенда расположена панель управления стендом, которая служит для включения стенда, а также для имитации различных режимов работы СЭС. Магистралы, участвующие в работе, в каждый отдельный момент выделяются подсветкой.

## **3. Задание к работе**

1. Изучить систему электроснабжения самолета Ту-154 переменным током 208В, 400 Гц.

2. Исследовать работу первичной системы электроснабжения:
- а) при питании от наземного источника электроэнергии;
  - б) при включении основных генераторов или генератора ВСУ на нагрузку;
  - в) при аварийных режимах.

#### 4. Выполнение работы

##### 4.1. Подготовка стенда к работе

1). Переключатели, АЗС, выключатели и кнопки, расположенные на щите управления стендом и на панели энергоузла, установить в положение «Выключено».

2). Переключатели с нейтралью установить в нейтральное положение. Включить питание стенда, при этом загорается лампочка, сигнализирующая о наличии питания.

Примечание. На стенде вторичной системы электроснабжения на пульте управления стендом должен быть включен выключатель питания стенда и ВСУ.

##### 4.2. Питание системы от внешнего источника электроэнергии.

1). Включить автомат защиты цепей управления переключением шин АЗСГК-10 (на стенде он обозначен № 6).

2). Включить на пульте управления стендом наземный источник питания (ШРАП-400).

3). На панели энергоузла переключатель «Сеть» 208 В, 400 Гц установить в положение «РАП». Поочередно устанавливая переключатель вольтметра в положения АВ, ВС, АС, по вольтметру и частотомеру определить линейные напряжения и частоту наземного источника питания и записать эти показания.

Устанавливая переключатель вольтметра «Сеть II, Сеть III» в различные положения, убедиться по вольтметру в наличии напряжения в сетях.

\*Примечание: При проверке на земле включить выключатель «Проверка противообледенителей и бытового оборудования на земле».

4) Включить АЗЗ-100 и АЗЗК-200 защиты сетей I, II, III (№1,16,17,18).

5). На панели энергоузла переключатель «ВСУ-РАП» поставить в положение «РАП».

6). Устанавливая переключатели вольтметра в положение «Сеть I», «Сеть II», «Сеть III» в положения АВ, ВС, АС, убедиться в наличии напряжения и частоты и записать показания приборов.

7) Для имитации включения под нагрузку выключатель на щитке управления стендом установить в положение «Потреб.». Включить выключатель блокировки амперметра (№15).

Устанавливая переключатель фаз амперметра, расположенный на панели энергоузла, в положения фаз А, В, С, замерить ток по амперметру.

8). Для проверки работы блока чередования фаз БЧФ-208 переключатель «ВСУ-РАП» установить в нейтральное положение. На щитке управления стендом переключатель установить в положение «Перепут. фаз». На панели



энергоузла переключатель вольтметра установить в положение «Сеть III». Переключатель «ВСУ-РАП» переключить в положение «РАП» - при этом вольтметр покажет «0», т.е. наземный источник питания с неправильным чередованием фаз не должен подключаться к сети III. Установить переключатель в положение «Верно». Вольтметр покажет 208 В.

#### *4.3. Включение на сеть генератора ВСУ*

1). Включить автомат защиты цепей управления переключением шин АЗСГК-10

2). Включить автомат АЗСГ-2 (№ 5) защиты цепей сигнализации отключения генератора ВСУ.

3). Выключатель «Проверка п/о и быт. обор. на земле» установить в положение «Выключен».

4). На панели энергоузла переключатель «ВСУ-РАП» установить в положение «ВСУ». Переключатель вольтметра установить в положение «Сеть III» - вольтметр покажет 208 В, частотомер - 400 Гц.

5). Выполнить п.7 предыдущего задания. Амперметр покажет ток. При работе генератора ВСУ на сеть и неработающих генераторах противообледенение отключается.

#### *4.4. Работа генератора 1*

1). Включить наземный источник переменного тока. Выключатель «ВСУ-РАП» на панели энергоузла установить в положение «РАП». Включить автомат защиты цепей управления переключением шин АЗСГК-10.

2). Выключатели противообледенителей предкрылков и проверки противообледенителей и бытового оборудования на земле установить в положение «Выключено».

3). Выключатель, расположенный на щитке управления стендом, установить в положение «Запуск 1 дв.».

4). На панели энергоузла переключатель вольтметра установить в положение «Сеть I».

5). Выключить автомат АЗСГК-2 (№2) защиты сигнализации отключения генератора 1, при этом горит красная лампочка сигнализации отключения генератора 1.

6). Включить автомат АЗСГК-10 (№8) защиты цепи управления генератором 1, включить АЗСГК-5 (№11) защиты цепи резервного питания.

7). Выключателем, расположенным на панели энергоузла, включить генератор 1 на сеть. Через некоторое время генератор подключится к сети I, о чем свидетельствует наличие напряжения и частоты на приборах, установленных на панели энергоузла, и погасание красной лампочки, сигнализирующей об отключении генератора 1.

8). Выключить автомат АЗСГК-10 защиты цепи управления генератором 1, генератор должен продолжать работу.

9). Включить аналогично генераторы 2 и 3.

Примечание. Генераторы 2 и 3 включаются на стенде без имитации задержки.

#### *4.5. Работа блока защиты и управления ВЗУ-376СП*

Исходное состояние - включен генератор 1.

1). Переключатель, расположенный на щитке управления стендом, установить в положение «>Hz ном.», что имитирует повышение частоты до (420...428) Гц. Через некоторый промежуток времени, соответствующий выдержке времени блока БЗУ, произойдет отключение генератора, о чем сигнализирует загорание красной лампочки «Отключение генератора 1» на панели энергоузла, вольтметр и частотомер покажут «0».

2). Вернуть переключатель в положение «Hz ном». На панели энергоузла выключить и вновь включить выключатель генератора 1, при этом генератор вновь подключится к сети. Лампочка сигнализации отключения генератора 1 погаснет.

3). Аналогично проверить отключение генератора 1 при понижении частоты, установив переключатель в положение «<Hz ном.».

4). Аналогично п.п. 1...3 произвести соответствующую манипуляцию по отключению генератора 1 при увеличении и уменьшении напряжения.

5). Для отключения генератора по сигналу короткого замыкания нажать кнопку «КЗ 1 ген.», расположенную на щитке управления стендом, что имитирует сигнал короткого замыкания в сети 208 В или в генераторе. Произойдет отключение генератора 1.

6). Выключить и вновь включить выключатель генератора 1.

7). Замерить ток в фазах генератора 1, выполнив пункт 4.2.7.

8). Выключатель включения генератора 1 на сеть установить в положение «Выкл.». Горит красная лампа сигнализации отключения генератора.

#### *4.6. Работа автомата переключения шин*

1). Включить автомат АЗСГК-2 (№7) защиты управления переключением шин навигационных потребителей.

2). Включить автомат АЗЗК-30 (№14) защиты питания навигационных потребителей. Включить АЗЗ-100 и АЗЗК-200 защиты сетей I, II, III.

3). Исходное состояние: включены генераторы 1,2,3 - есть напряжение в сетях I, II, III.

4). Выключатель на панели управления стендом установить в положение «Откл. сети I». При этом загорается желтая лампочка «Навигационные шины от сети III».

5). Выключатель «Откл. сети I» установить в положение «Выкл.». Выключить и снова включить АЗСГК-2 защиты цепи управления переключателем шин навигационных потребителей, при этом навигационные шины подключаются к сети I, погаснет лампочка «Навигационные шины от сети III».

## 5. Содержание отчета

- 1). Структурная схема канала генерирования.
- 2). Упрощенные схемы БРН, БРЧ, БЗУ и краткое описание их работы.
- 3). Выводы согласно пунктам задания.
- 4). Ответы на контрольные вопросы.

## 6. Контрольные вопросы

- 1). Возможна ли длительная работа генератора при напряжении на его зажимах 190 В?
- 2). Каково назначение стабилизирующего трансформатора в БРН?
- 3). Почему магнитные усилители в БРН и измерительные цепи в БРЧ получают питание от подвозбудителя генератора?
- 4). Какой элемент БЗУ производит аварийное отключение генератора и что при этом отключается?
- 5). На что воздействует исполнительный орган регулятора частоты?
- 6). Предусмотрена ли совместная работа трех генераторов ГТ40ПЧ6 и генератора переменного тока ВСУ?
- 7). Будет ли получать питание шина навигационных потребителей при отказе генераторов 1 и 2?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПТС-250

### Цель работы

Целью работы является изучение принципа действия, устройства и характеристик статических преобразователей.

### 1. Основные положения

Статический преобразователь представляет собой полупроводниковый преобразователь постоянного напряжения 28.5 В в переменный однофазный ток напряжением 115 В, частотой 400 Гц или в переменный трехфазный ток с линейным напряжением 36 В, частотой 400 Гц. В системах электроснабжения, где первичная система является системой постоянного тока, преобразователь служит для получения переменного тока. В системах переменного тока преобразователь используется как аварийный источник переменного тока при отказе основной системы электроснабжения.

В настоящее время выпускаются и устанавливаются на самолетах гражданской авиации следующие статические преобразователи: ПОС-25, ПОС-125, ПОС-800, ПОС-1000, ПТС-250, ПТС-500, ПТС-800.

Наименование преобразователя расшифровывается следующим образом:  
П – преобразователь; О - однофазный; Т- трехфазный; С - статический;

25, 125, 800 и т.д. – выходная мощность в ВА.

Структурная схема однофазного статического преобразователя представлена на рис.5.1.

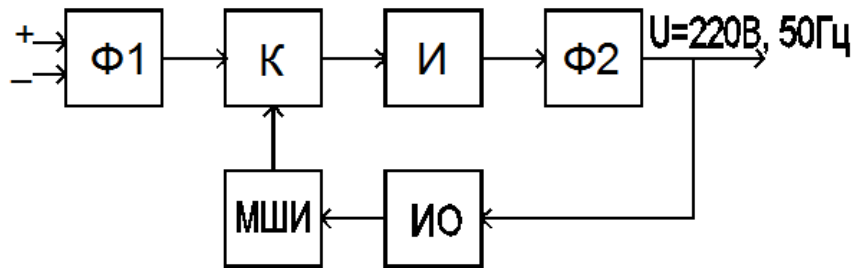


Рис.5.1

Основными элементами преобразователя являются: конвертор (К), инвертор (И) модулятор ширины импульсов (МШИ) измерительный орган выходного напряжения преобразователя (ИО) и фильтры – входной (Фвх) и выходной (Фвых).

Конвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения (20...30)В в постоянное напряжение (50...70)В. Регулируя величину выходного напряжения конвертора, можно поддерживать неизменным выходное напряжение преобразователя (115В или 36В). Эту функцию автоматически выполняет регулятор напряжения преобразователя, который помимо конвертора, включает в состав так же МШИ и ИО.

Инвертор служит для преобразования постоянного напряжения в переменное с частотой 400 Гц и выполняется по мостовой схеме (рис.5.2). Транзисторы работают в ключевом режиме и включаются попарно: VT1, VT4 и VT3, VT2.

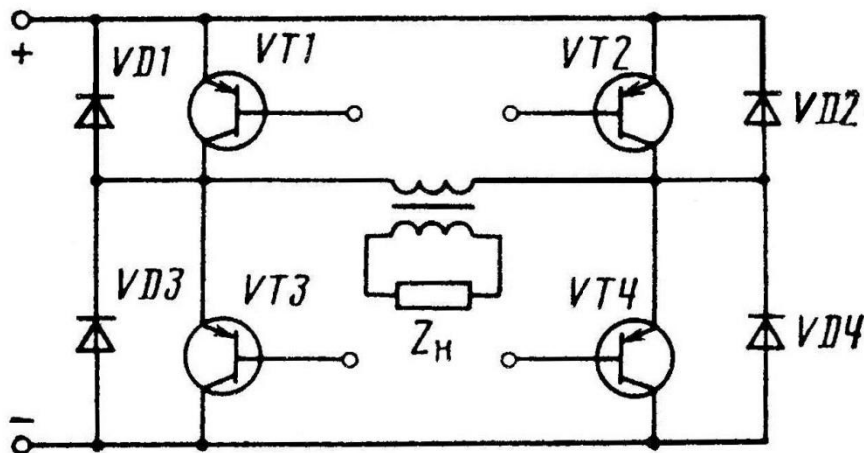


Рис.5.2

В результате ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора, меняет свое направление каждые полпериода, и в выходной обмотке трансформатора будут наводиться двухполярные импульсы прямоугольной

формы. Транзисторы инвертора зашунтированы диодами VD1...VD4, которые обеспечивают протекание тока при подключении активно-индуктивной нагрузки. В этом случае при практически мгновенном запираии пары транзисторов ток индуктивного элемента будет протекать через соответствующие диоды за счет возникающей ЭДС самоиндукции.

Степень приближения формы кривой напряжения к синусоидальной характеризуется коэффициентом нелинейных искажений:

$$K_n = \sqrt{\left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} - 1,$$

где  $U_n$  – действующее значение несинусоидального напряжения;

$U_1$  – действующее значение первой гармоники этого напряжения.

Для напряжения прямоугольной формы  $K_n=0.484$ . Для приближения формы сигнала к синусоидальной и уменьшения коэффициента нелинейных искажений переключение пар транзисторов инвертора осуществляется с задержкой  $t_n$  (рис. 5.3). Величина задержки характеризуется коэффициентом заполнения импульса выходного напряжения:

$$q = (T - 2 \cdot t_n) \cdot T,$$

где  $T$  – период изменения напряжения.

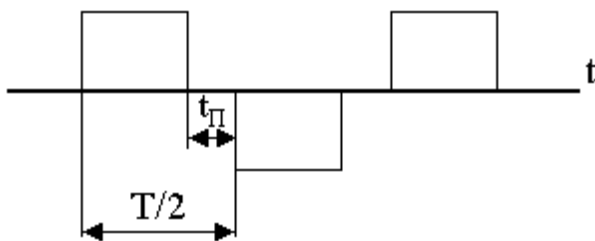


Рис.5.3

Изменяя  $q$ , можно минимизировать  $K_n$  и, тем самым, уменьшить массогабаритные показатели выходного фильтра (Фвых), который выделяет первую гармонику выходного сигнала инвертора.

На практике задержка  $t_n$  выбирается равной  $60^\circ$  ( $q=0.66$ ). В этом случае  $K_n=0.312$  и близок к оптимальному значению, при этом полностью подавляется третья гармоника и упрощается схема управления транзисторами инвертора.

В качестве фильтров используются L-C фильтры. Входной фильтр (Фвх) служит для подавления импульсных помех, которые возникают при ключевом режиме работы транзисторов преобразователя.

В трехфазных статических преобразователях необходимо иметь три одинаковых напряжения со сдвигом на  $120$  электрических градусов. Этого можно было бы достигнуть, используя три однофазных преобразователя и сдвигая их напряжения на треть периода. Однако более рационально, с точки зрения числа элементов и надежности, построить трехфазную систему по схеме Скотта из двух однофазных конверторов, сдвинув фазу выходного сигнала одного из них на угол  $\pi/2$  (рис.5.4, 5.5).

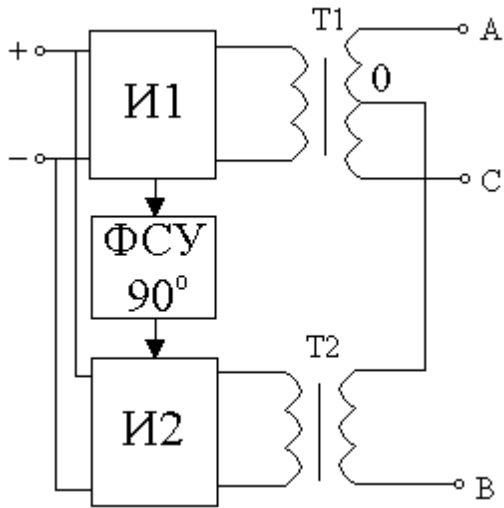


Рис.5.4

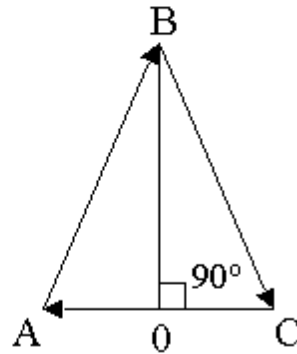


Рис.5.5

С помощью соединения обмоток двух трансформаторов Т1 и Т2 из двухфазной системы получается трехфазная. Причем число витков вторичных обмоток трансформаторов Т1 и Т2 выбирается таким образом, чтобы получить:

$$U_{AC} = 2 \cdot \frac{U_{OB}}{\sqrt{3}}.$$

Фазовый сдвиг на  $90^\circ$  выполняется с помощью магнитного усилителя.

Рассмотрим более подробно работу основных узлов трехфазного преобразователя ПТС-250. Преобразователь состоит из следующих блоков (рис.5.6):

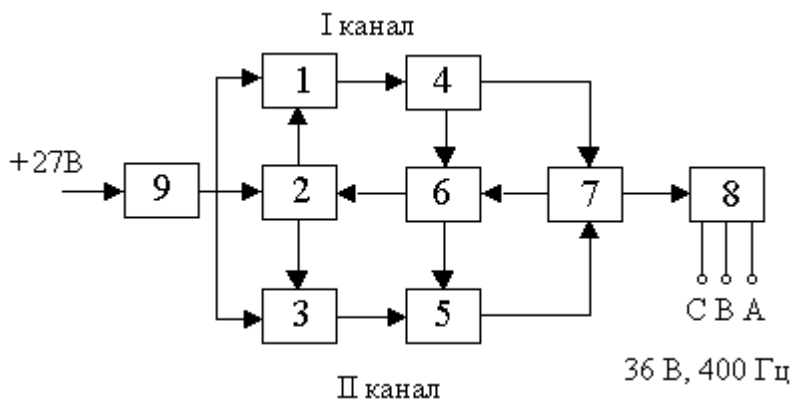


Рис.5.6

На рисунке обозначены:

- 1, 3 – вольтдобавочные регуляторы (конвертеры);
- 2 – блок управления вольтдобавочными регуляторами;
- 4, 5 – силовые инверторы с блоками управления;
- 6 – измерительный орган вольтдобавочных регуляторов и нормализатор (для автоконтроля);
- 7 – трансформаторно-фильтрующее устройство;

8, 9 – входной и выходной фильтры радиопомех.

Из схемы преобразователя видно, что преобразование идет по двум каналам, каждый из которых содержит вольтдобавочный регулятор напряжения и инверторную часть со схемой управления. Объединение каналов на выходе преобразователя осуществляет выходной трансформаторно-фильтровый узел. С помощью канала I формируется напряжение  $U_{AC}$ , а с помощью канала II – вспомогательное напряжение  $U_{OB}$ . Фазовый сдвиг напряжения  $U_{OB}$  на  $90^\circ$  осуществляется с помощью магнитного усилителя, расположенного в блоке 6.

В выходные цепи преобразователя включены датчики токовой защиты, воздействующие при перегрузке на схемы управления инверторов, при этом снижается выходное напряжение инвертора, что ограничивает его выходной ток. В преобразователе имеется защита от перенапряжений в питающей сети.

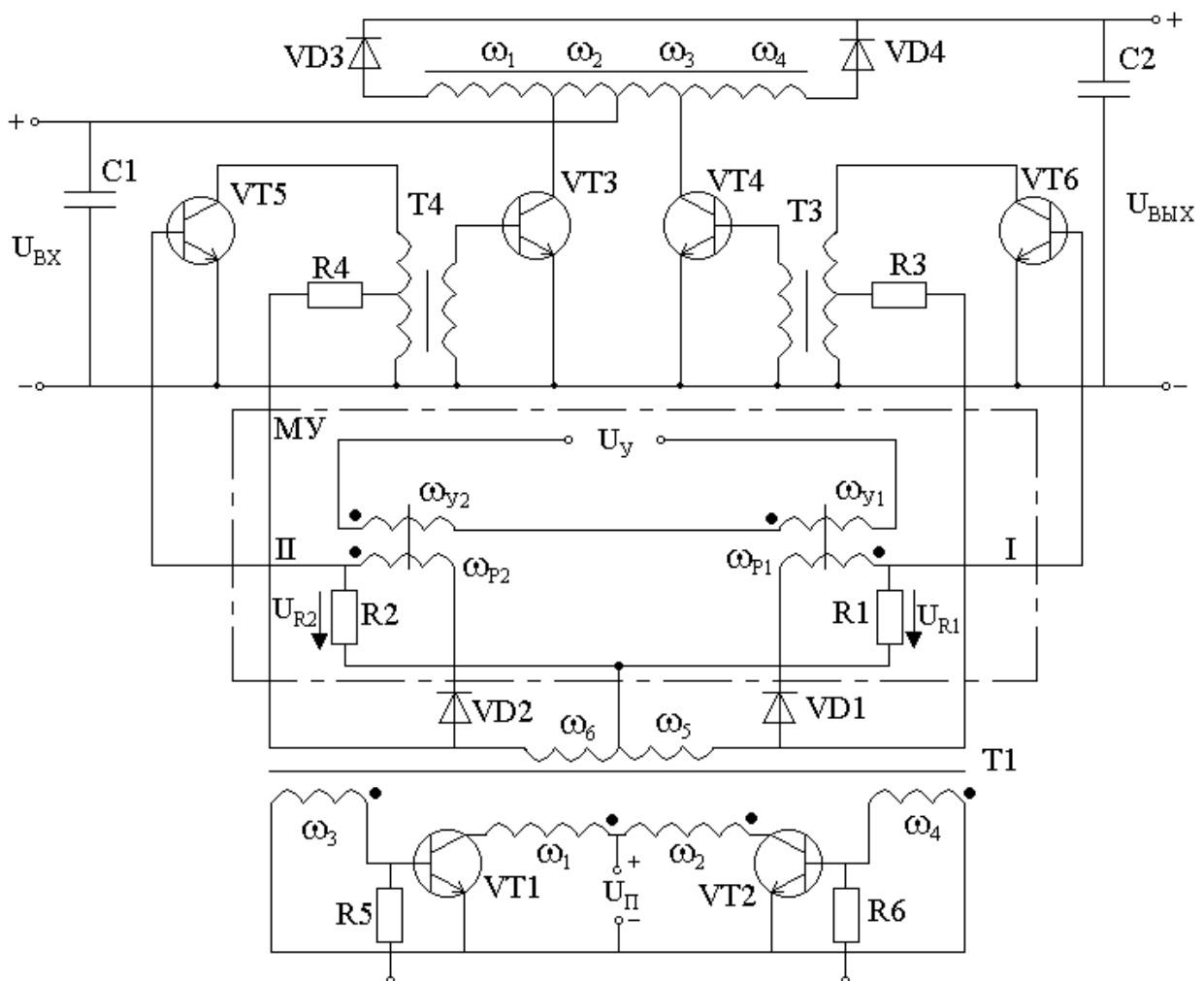


Рис.5.7

Упрощенная принципиальная схема конвертора (вольтдобавочного регулятора) и схемы управления им представлена на рис.5.7. В состав схемы управления входит мультивибратор на транзисторах VT1 и VT2 и магнитный усилитель МУ. Схема управления формирует импульсы включающие и

выключающие транзисторы инвертора VT3...VT6. Трансформатор мультивибратора намотан на тороидальном сердечнике из пермаллоя, имеющего прямоугольную петлю гистерезиса (рис.5.8).

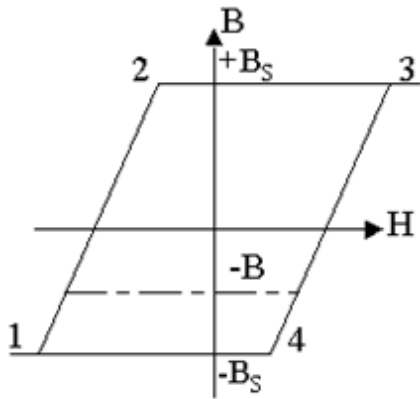


Рис.5.8

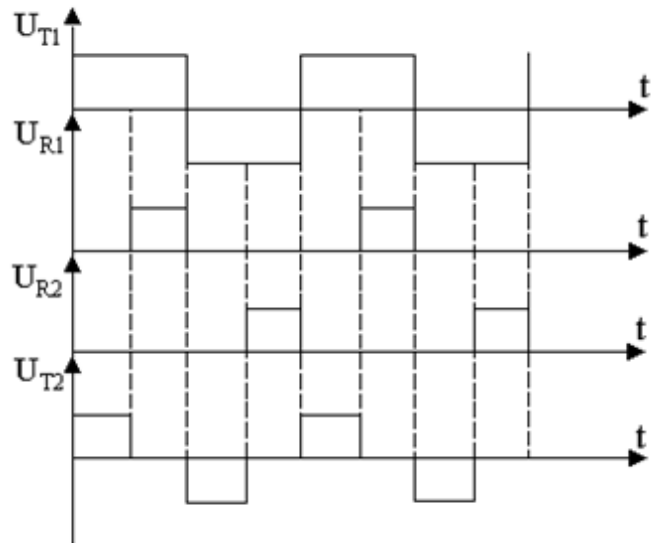


Рис.5.9

При подключении источника постоянного тока из-за неодинаковых параметров транзисторов VT1 и VT2 в одной из обмоток  $W_1$  или  $W_2$  потечет ток больший, чем в другой. Пусть в рассматриваемый момент больше открыт VT1 и его коллекторный ток  $I_{K1}$  больше тока коллектора VT2, т.е.  $I_{K1} > I_{K2}$ .

Тогда по обмоткам  $W_1$  или  $W_2$  начинают протекать встречно направленные токи, и под влиянием результирующей МДС

$$F_H = W_1 \cdot I_{K1} - W_2 \cdot I_{K2} = W(I_{K1} - I_{K2}), \text{ где } W_1 = W_2 = W,$$

индукция в сердечнике начинает изменяться, и во всех обмотках T1 возникают синфазные ЭДС:

$$e_n = -W_n \cdot S \cdot dB / dt,$$

где  $n$  – номер обмотки;  $W_n$  – число витков в данной обмотке;  $S$  – сечение сердечника T1;  $B$  – индукция в сердечнике.

Положим для определенности, что в момент подключения источника сердечник был размагничен и его индукция равна  $-B_s$  (точка 1 на кривой размагничивания, рис.5.8). Так как ток протекает от начала обмотки  $W_1$  (обозначенного точкой), то в ней и во всех других обмотках T1 положительный потенциал возникает на начале обмотки. При этом напряжение на обмотке  $W_3$  начнет отпирать VT1, а напряжение на обмотке  $W_4$  – запирает VT2. Это приведет к увеличению  $I_{K1}$  и уменьшению  $I_{K2}$ . МДС увеличится, возрастут ЭДС, т.е. начнется лавинный процесс, который приведет к полному отпиранию VT1 и запираанию VT2. После того, как транзистор VT1 откроется полностью, всё напряжение питания окажется приложенным к первичной обмотке трансформатора  $W_1$  и индукция в сердечнике будет изменяться от  $-B_s$  до  $+B_s$  (участок 1-2 на рис.5.8).



Когда индукция в сердечнике достигает значения насыщения  $+B_s$ , ЭДС в обмотках трансформатора становятся равными нулю. Транзистор VT1 начнет закрываться (т.к. потенциал его базы  $\approx 0$ ), и ток  $I_{K1}$  будет уменьшаться. Это приводит к изменению знака производной  $dB/dt$  и, следовательно, к изменению полярности ЭДС, наводимых в обмотках трансформатора T1. Транзистор VT1 закроется, а транзистор VT2 откроется. Все напряжение питания ( $U_n$ ) будет приложено к первичной обмотке трансформатора  $W_2$ , МДС которой вызовет изменение индукции от  $+B_s$  до  $-B_s$  (участок 3-4, рис.5.8). При достижении в сердечнике трансформатора индукции насыщения снова происходит переключение транзисторов. Период переключения транзисторов будет полностью определяться временем перемангничивания сердечников:

$$T_{пер} = \frac{4 \cdot B_s \cdot W_1 \cdot S}{U_n}; \quad f = \frac{1}{T_{пер}} = \frac{U_n}{4 \cdot B_s \cdot W_1 \cdot S}.$$

Форма напряжения на обмотке трансформатора ( $U_{T1}$ ) приведена на рис.5.9. Частоту мультивибратора можно синхронизировать также и от внешнего генератора колебаний. Для этого на базы VT1 и VT2 поочередно могут подаваться запирающие импульсы с частотой большей, чем собственная частота мультивибратора, в этом случае переключение будет производиться с частотой запирающих импульсов, и индукция не будет достигать индукции насыщения.

Конвертор преобразователя состоит из двух силовых транзисторов VT3 и VT4; трансформатора T2; двух вспомогательных транзисторов VT5 и VT6, служащих для запираания силовых транзисторов, вспомогательных трансформаторов T3, T4.

Силовые транзисторы управляются таким образом, что оказываются поочередно открытыми в течение части полупериода ( $q \cdot T/2$ ), где  $T$  – период управляющих импульсов. Когда открыт один из транзисторов например VT3, ток протекает через обмотку  $W_2$  трансформатора T2. При этом напряжение на выходе конвертора будет равно:

$$U_{вых} = (W_2 + W_3 + W_4) \cdot \frac{U_{ex}}{W_1}.$$

Т.к.  $W_1=W_2=W_3=W_4$ , то  $U_{вых}=3 \cdot U_{вх}$ . К напряжению  $U_{вх}$  добавляются ЭДС, наводимые в обмотках  $W_3$  и  $W_4$ . В оставшуюся часть полупериода  $(1-q) \cdot T/2$  оба транзистора закрыты, и напряжение на выходе будет равно напряжению на входе  $U_{вх}$ .

Среднее значение напряжения за период равно:

$$U_{ВЫХср} = \left( 3 \cdot U_{ВХ} \cdot q \cdot \frac{T}{2} + U_{ВХ} \cdot (1-q) \cdot \frac{T}{2} \right) = (1 + 2 \cdot q) \cdot U_{ВХ}.$$

Изменяя коэффициент заполнения  $q$ , можно регулировать выходное напряжение конвертора от  $U_{вх}$  до  $3 \cdot U_{вх}$ . Конденсаторы на выходе и входе

сглаживают пульсации напряжения, а дроссель сглаживает пульсации тока, потребляемого конвертером.

Транзисторы VT3 и VT4 открываются положительными импульсами, подаваемыми через резисторы на отпайки трансформаторов T3 и T4. Для запираания силовых транзисторов служат транзисторы VT5 и VT6. При подаче положительного импульса на базу одного из этих транзисторов он открывается и шунтирует обмотку трансформатора. В результате напряжение на вторичной обмотке этого трансформатора снижается до нуля, и силовой транзистор закрывается. Импульсы на открытие силовых транзисторов поступают с обмоток  $W_5$  и  $W_6$  трансформатора мультивибратора, а импульсы на закрытие с нагрузочных резисторов R1 и R2 магнитного усилителя ( $U_{R1}$  и  $U_{R2}$ ).

Магнитный усилитель собран из двух дросселей (I и II), ферромагнитные сердечники которых имеют тороидальную форму. В качестве материала сердечников используется пермаллой, имеющий прямоугольную петлю гистерезиса. Дроссели работают в режиме ключа, выполняя функции бесконтактного реле. Как видно из схемы (рис.5.7), к каждой рабочей обмотке  $W_p$  напряжение питания оказывается приложенным только в течение того полупериода, когда полярность напряжения соответствует проводимости включенных последовательно с этой обмоткой диодов. Этот полупериод для дросселя принято называть рабочим. Пусть напряжение приложено к рабочей обмотке  $W_{p1}$ . В нерабочий полупериод, который принято называть управляющим, диодом VD1 обмотка  $W_{p1}$  была отключена, и изменение магнитного состояния сердечника дросселя I происходило только под влиянием МДС обмотки управления  $W_{y1}$ , которая включена на выход измерительного органа напряжения. Характеристика измерительного органа представлена на рис.5.10, где  $U_{AC}$  – линейное напряжение на выходе преобразователя,  $U_y$  – напряжение на выходе измерительного органа.

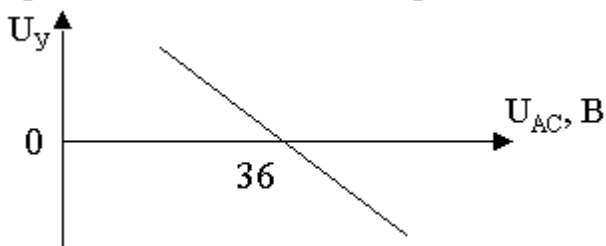


Рис.5.10

Так как МДС обмотки управления  $W_{y1}$  размагничивает дроссель, то естественно, чем больше напряжение преобразователя  $U_{AC}$ , тем больше будет размагничен дроссель I перед началом рабочего полупериода и тем дольше будет

перемагничиваться дроссель в рабочую часть полупериода. Допустим что к началу рабочего полупериода индукция в дросселе I стала равной  $-B$  (рис.5.8). Пока индукция не достигнет значения насыщения ( $+B_s$ ) сопротивление обмотки остается практически бесконечным и напряжение на резисторе R1 равно  $U_{R1} \approx 0$ . Когда индукция в дросселе достигнет величины насыщения  $B_s$ , сопротивление обмотки  $W_{p1}$  практически становится равным нулю, и с этого момента все напряжение питания прикладывается к R1. Осциллограммы изменения напряжения на R1 приведены на рис.5.9. Аналогичные процессы будут происходить на дросселе II со сдвигом на  $180^\circ$ .

Напряжения, снимаемые с резисторов R1 и R2 включают соответственно транзисторы VT5 и VT6. Осциллограмма напряжения  $U_{T2}$  на обмотках трансформатора T2 дана на рис.5.9. При увеличении выходного напряжения преобразователя, как следует из рис.5.10, индукция В будет уменьшаться,  $t_n$  – возрастать, следовательно,  $q$  будет уменьшаться, что приведет к уменьшению выходного напряжения преобразователя. При снижении напряжения процессы протекают в обратном порядке.

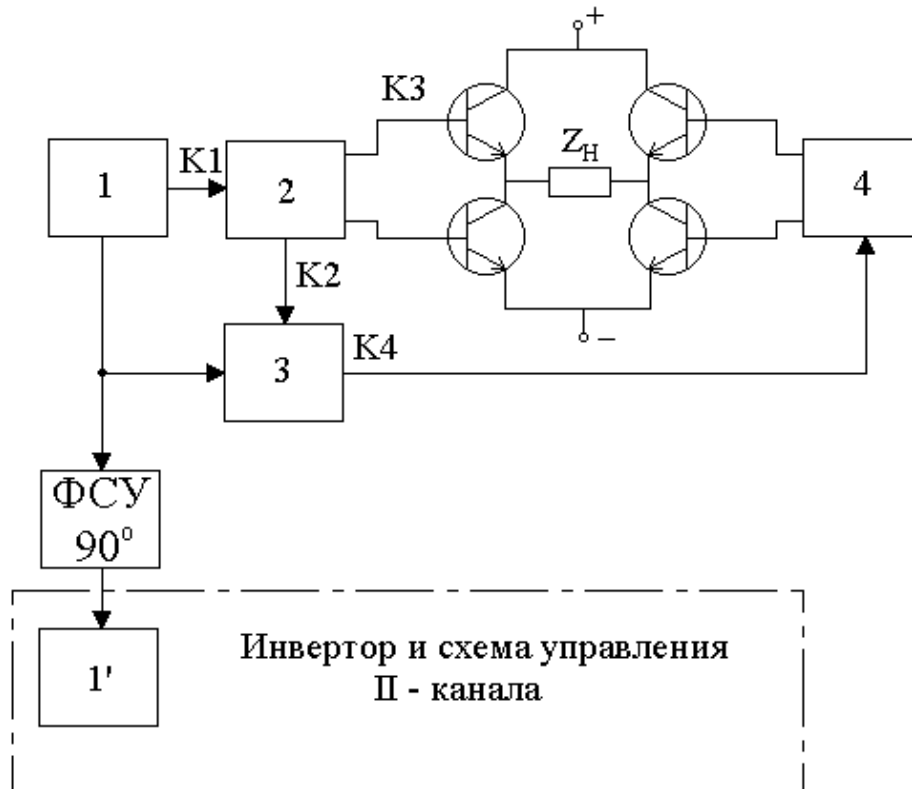


Рис.5.11

На рис.5.11 представлена структурная схема инвертора и его схема управления. Силовые транзисторы VT1...VT4 включаются таким образом, чтобы форма выходных импульсов в обмотке трансформатора соответствовала форме импульсов на рис.5.3. Величина  $t_n$  выбрана равной  $60^\circ$  ( $q=0.66$ ).

Для управления транзисторами инвертора служит схема управления, основными элементами которой являются мультивибраторы (1,2...4). На мультивибраторе I построен задающий генератор, вырабатывающий прямоугольные импульсы с частотой  $(1200 \pm 24)$  Гц. Эти импульсы являются опорными для всех остальных узлов преобразователя, и их стабильность определяет стабильность выходной частоты преобразователя. Для повышения стабильности частоты между базами транзисторов мультивибратора включен L-C контур. При необходимости более высокой стабильности частоты  $(1200 \pm 24)$  Гц вместо L-C контура может, включаться кварцевый резонатор. Опорная частота поступает на ведомый мультивибратор 2 (ведомым называется генератор, колебания которого синхронизируются от внешнего источника

частоты). Синхронизирующие импульсы поступают на базы транзисторов второго мультивибратора через элемент задержки (дроссель насыщения). Его параметры подобраны таким образом, что он пропускает каждый третий импульс, поступающий на его вход. В результате частота импульсов второго мультивибратора (2) устанавливается равной 400Гц, т.е. он осуществляет деление опорной частоты на 3. Сигналы прямоугольной формы с выхода мультивибратора поступают на базы транзисторов силового инвертора VT1 и VT2 в противофазе.

Для того, чтобы обеспечить паузу в  $60^\circ$  в выходном напряжении инвертора, его транзисторы VT3 и VT4 управляются импульсами от мультивибратора 4, причем фаза этих импульсов сдвинута относительно импульсов мультивибратора 2 на  $120^\circ$ . Для получения синхронизирующих импульсов, сдвинутых на  $120^\circ$ , используется сумматор 3. Он осуществляет вычитание импульсов задающего генератора 1 и мультивибратора 2. В результате на выходе сумматора 3 формируются импульсы с частотой 400 Гц, сдвинутые по фазе на  $120^\circ$ . Этими импульсами осуществляется синхронизация мультивибратора 4. На рис.5.12 приведены осциллограммы, иллюстрирующие работу схемы управления инвертора.

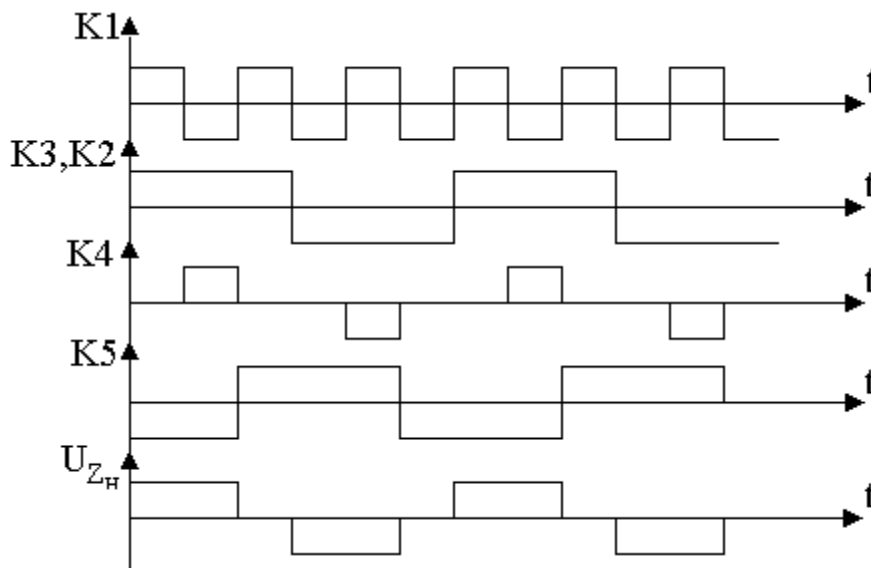


Рис.5.12

Инвертор и схема управления второго канала полностью аналогичны. Отличие заключается в том, что его первый мультивибратор является не ведущим, а ведомым. Он синхронизируется импульсами опорного мультивибратора (1) первого канала. Причем импульсы синхронизации сдвинуты по фазе относительно опорных на  $90^\circ$ . В качестве фазосдвигающего устройства используется магнитный усилитель.

Преобразователь ПТС-250 имеет защиту от перегрузки по току. При превышении выходным током величины порога установки защиты сигнал с датчика тока воздействует на цепи синхронизации мультивибраторов 4,

увеличивая время паузы (т.е. уменьшая  $q$ ). В результате среднее за период напряжение инвертора уменьшается, и ток перегрузки ограничивается.

## 2. Описание лабораторной установки

В лабораторную установку входят:

- преобразователь ПТС-250;
- электроизмерительные приборы, двухлучевой осциллограф;
- нагрузочные реостаты (R1);
- коммутационная аппаратура;
- частотомер.

Структурная схема лабораторной установки, а также точки подключения осциллографа представлены на мнемосхеме лабораторного стенда. Выключатель Q1 служит для включения преобразователя, Q2 – для подключения нагрузки.

## 3. Задание к работе

1). Изучить устройство и принцип действия статических преобразователей.

2). Снять осциллограммы сигналов в контрольных точках при номинальной нагрузке преобразователя. При снятии осциллограмм схемы управления инвертором первый луч осциллографа должен быть подключен к первому мультивибратору первого канала (опорному генератору), второй луч поочередно подключается к контрольным точкам мнемосхемы.

3). Снять зависимость  $t_n$  инвертора при изменении нагрузки от 0 до  $I_n$ . Зарисовать осциллограмму выходных импульсов конвертора для режима холостого хода и при номинальной нагрузке.

4). Снять характеристики преобразователя  $U_{\sim}=f(I_n)$ ,  $f=f(I_n)$  при номинальном напряжении питания  $U_{\Pi}=27.5$  В.

5). Снять эксплуатационные характеристики  $U_{\sim}=f(U_{\Pi})$ ,  $f=f(U_{\Pi})$  при номинальном сопротивлении нагрузки и изменении входного напряжения  $U_{\Pi}$  от 20 В до 30 В.

## 4. Содержание отчета

1). Цель работы, краткие теоретические сведения.

2). Структурные схемы ПТС-250, конвертора и его схемы управления.

3). Осциллограммы сигналов в контрольных точках со взаимными фазовыми сдвигами (относительно сигнала мультивибратора 1) и с указанием масштаба времени.

4). Таблицы результатов измерений зависимостей  $U_{\sim}=f(I_n)$ ,  $f=f(I_n)$ ,  $U_{\sim}=f(U_{\Pi})$ ,  $f=f(U_{\Pi})$ .

5). Графики этих зависимостей.

6). Выводы.

## 5. Контрольные вопросы

- 1). Как работает схема двухтактного магнитного мультивибратора?
- 2). Принцип действия фазосдвигающего устройства на магнитном усилителе.
- 3). Как работает конвертор?
- 4). Как работает силовой инвертор?
- 5). Как стабилизируется выходное напряжение преобразователя?
- 6). Как формируется трехфазное напряжение из двухфазной системы?
- 7). Объясните работу схемы управления инвертором.
- 8). Как формируется пауза в  $60^\circ$  в выходном сигнале инвертора?
- 9). Поясните принцип действия защиты от перегрузки по току.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Синдеев И.М. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов: М. Транспорт, 1990.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Изучение коммутационной и защитной аппаратуры.....	3
Лабораторная работа № 2. Исследование процессов автоматического регулирования напряжения генераторов постоянного тока .....	17
Лабораторная работа № 3. Изучение и исследование электромашинных преобразователей постоянного тока в переменный .....	23
Лабораторная работа № 4. Изучение первичной системы электроснабжения самолета Ту-154.....	33
Лабораторная работа № 5. Изучение и исследование авиационного статического преобразователя ПТС-250 .....	51

Для заметок

---

	Подписано в печать 12.03.15 г.	
Печать офсетная	Формат 60x84/16	3,51 уч.-изд. л.
3,72 усл.печ. л.	Заказ № 1969/	Тираж 100 экз.

---

*Московский государственный технический университет ГА*  
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20  
*Редакционно-издательский отдел*  
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а