

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

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

Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования

А.А. Савелов

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

Часть II

*для студентов III–IV курсов
направлений 25.03.02 и 25.05.05
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2021

УДК 629.7.064.5
ББК 0562
С12

Рецензент:

Халютин С.П. – д-р техн. наук, профессор

Савелов А.А.

С12 Системы электроснабжения воздушных судов [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. Часть II / А.А. Савелов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 52 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Системы электроснабжения воздушных судов» по учебному плану для студентов III–IV курсов направлений 25.03.02 и 25.05.05 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 10.03.2021 г. и методического совета 16.03.2021 г.

УДК 629.7.064.5
ББК 0562

В авторской редакции

Подписано в печать 20.05.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 3,25 Усл. печ. л. 3,02

Заказ № 737/0330-УМП01 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского

125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2021

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТА ТУ-154

Цель работы

Целью работы является изучение типовой структуры системы электроснабжения переменного трехфазного тока постоянной частоты напряжением 208/120В самолета Ту-154 (система СПЗСЗП40).

1. Основные положения

Основная первичная система электроснабжения СПЗСЗП40 (рис.1.1) предназначена для питания электрифицированных систем самолета и отдельных приемников, а также для обеспечения электроэнергией систем электроснабжения (вторичных) переменного тока 36В, 27В и постоянного тока 27В. Система состоит из трех однотипных независимых каналов (по числу маршевых двигателей), что обеспечивает ей высокую живучесть.

Основные технические данные системы следующие:

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 _____ 08/120 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%

Диапазон изменения фазного напряжения на приемниках электрической энергии лежит в пределах (120 ... 108) В, что обусловлено дополнительным падением напряжения в распределительной сети.

Структурная схема канала системы представлена на рис.1.2. Частота вращения авиационного двигателя (АД) может меняться в пределах $\omega_{a \max} / \omega_{a \min} = 2 \dots 2,5$, 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 (ППЧВ), который поддерживает постоянной частоту вращения ротора генератора переменного тока независимо от режима работы авиационного двигателя.

На самолете Ту-154 применяется пневматический привод типа ППО-40, его структурная схема приведена на рис.1.3. Для этого привода характерно наличие дифференциального механизма 1 (планетарного редуктора), т.е. устройства, позволяющего получить результирующее движение ω_r (ω_r - частота вращения генератора 5) как сумму или разность составляющих движений ω_a и $\omega_{пр}$ (ω_a - частота вращения АД, $\omega_{пр}$ - частота вращения турбины). 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 откомпрессора АД так, чтобы $\omega_r = \omega_a + \omega_{пр} = \text{const}$. Сигналы управления для регулирования $\omega_{пр}$ формируются устройством управления 4.

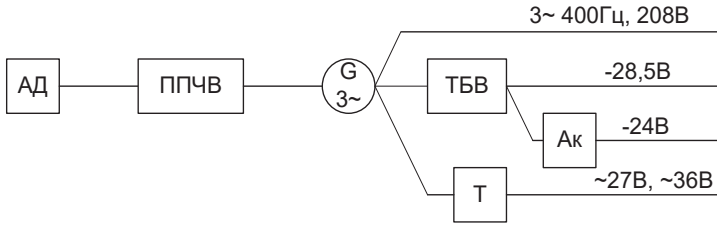


Рис.1.1. Структурная схема системы электроснабжения самолета ТУ-154. АД - авиационный двигатель; ППЧВ - привод постоянной частоты вращения; G - генератор; ТБВ - трансформаторно-выпрямительный блок; Ак - аккумуляторная батарея; Т - трансформатор.

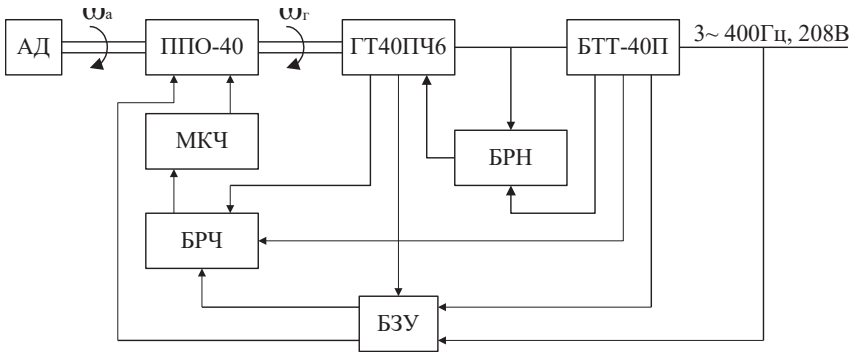


Рис.1.2. Структурная схема канала генерирования

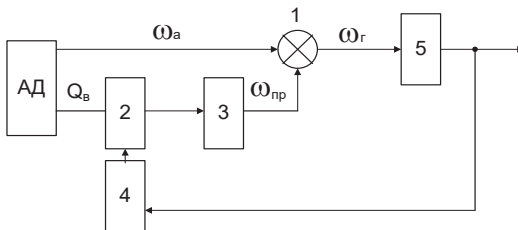


Рис.1.3. Структурная схема привода ППО-40

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. 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 (G) типа ГТ40ПЧ6. Этот генератор представляет собой каскадную схему, состоящую из трех машин: основного генератора (Г), возбудителя (В) и магнитоэлектрического подвозбудителя (ПВ), рис. 1.4.

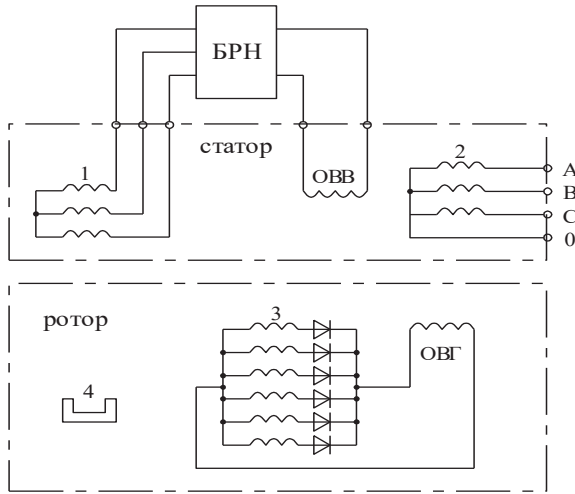


Рис. 1.4. Электрическая схема генератора ГТ-40ПЧ6

Трехфазная рабочая обмотка 2 генератора соединена в звезду с выведенной силовой нейтралью. Обмотка возбуждения генератора (ОВГ) питается от шестифазной обмотки 3 переменного тока возбудителя через блок кремниевых диодов (он расположен на роторе G). Для автономного возбудителя генератора на одном с ним валу размещены постоянные магниты 4 подвозбудителя.

От рабочей обмотки подвозбудителя 1 осуществляется питание обмотки возбуждения возбудителя (ОВВ) через регулятор напряжения (БРН). Регулятор напряжения изменяет величину тока ОВВ, регулируя тем самым напряжение G. Такая схема построения G позволяет сделать генератор бесконтактным, полностью автономным и значительно уменьшить мощность регулятора

напряжения, т. к. регулятор воздействует на сравнительно маломощную цепь ОВВ.

Поскольку магнитоэлектрический подвозбудитель не подвержен влиянию каких либо 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 G, что необходимо для надежной работы аппаратов защиты.

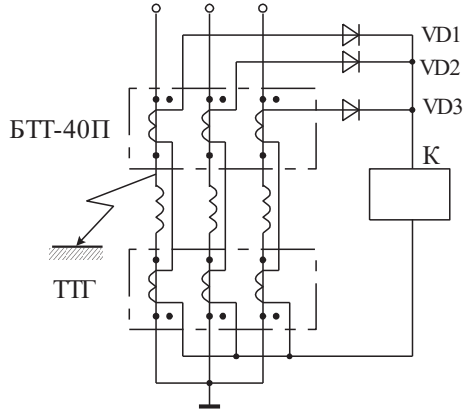


Рис.1.5. Принципиальная электрическая схема дифференциальной защиты.

Для защиты G 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. 1.5). Главным требованием, предъявляемым к защите от КЗ, является быстродействие. 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 внутри защищаемого участка (участок между трансформаторами тока) токи равны друг другу и находятся в одной фазе. В этом случае в обмотках БТТ-40П и ТТГ индуцируются одинаковые по величине и по фазе напряжения, которые уравниваются друг друга. Реле обесточено. При возникновении КЗ векторы токов каждого из фазных проводов на концах защищаемого участка резко отличаются друг от друга, равновесие напряжений нарушается, и реле К срабатывает, отключая генератор.

Блок БТТ-40П также обеспечивает 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, рис. 1. предназначен для поддержания напряжения переменного тока генераторов ГТ40ПЧ6 в заданных пределах и для равномерной нагрузки их реактивным током при параллельной работе в системе электроснабжения.

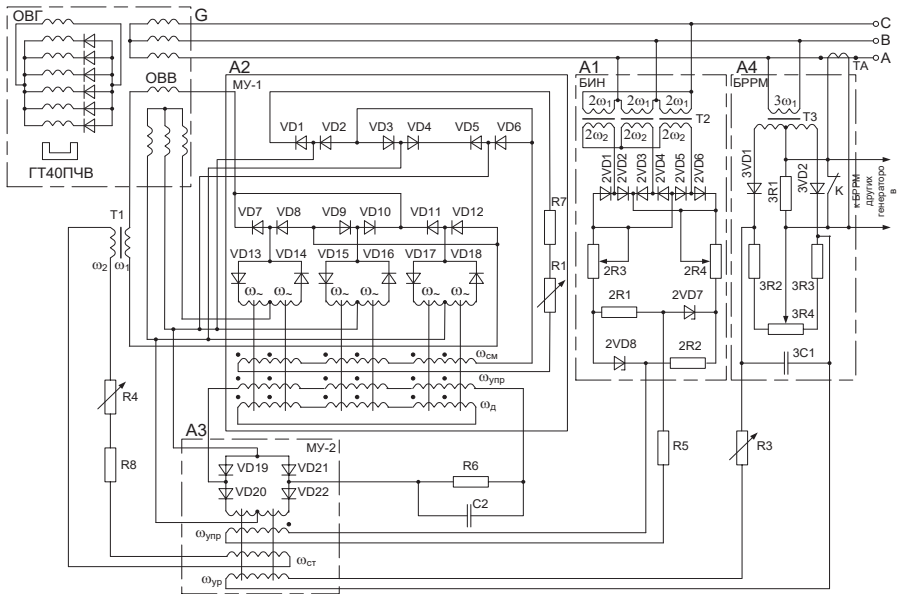


Рис. 1.6. Принципиальная схема блока БРН-208М7Б

Основные технические данные БРН: точность регулирования напряжения в пределах (201,8 ... 210) В; подстроечный потенциометр позволяет изменять уровень напряжения на ± 6 В. Регулирование напряжения генератора осуществляется блоком БРН, в состав которого входит блок измерения напряжения БИН (А1) и два магнитных усилителя МУ-1 (А2) и МУ-2 (А3), включенные в системе регулирования последовательно (рис. 1.6).

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 $U_{вых} = U_{вх} - 2U_{ст}$, где: $U_{вх}$ - напряжение на входе моста; $U_{ст}$ - напряжение на стабилитроне. Зависимость напряжения на выходе моста от напряжения на входе представлена на рис. 1.7. Уровень напряжения генератора

регулируется сопротивлениями $2R_3$, $2R_4$, включенными в цепь питания измерительного моста.

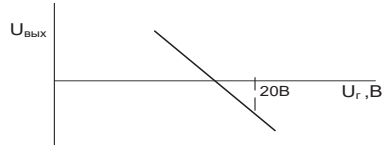


Рис.1.7. Характеристика измерительного моста БРН

Магнитный усилитель МУ-2, кроме управляющей обмотки, имеет стабилизирующую $W_{ст}$ и уравнительную $W_{ур}$ обмотки. В диагональ моста включена обмотка управления $W_{упр}$ магнитного усилителя МУ-2. Магнитный усилитель МУ-2, кроме управляющей обмотки, имеет стабилизирующую $W_{ст}$ и уравнительную $W_{ур}$ 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. Магнитодвижущая сила (МДС) обмотки управления и стабилизирующей обмотки направлены встречно, поэтому трансформатор Т1 и стабилизирующая обмотка выполняют роль гибкой отрицательной обратной связи.

Уравнительная обмотка $W_{ур}$ предназначена для выравнивания реактивных мощностей параллельно работающих синхронных генераторов. Напряжение на уравнительную обмотку подается со схемы распределения реактивной мощности БРПМ (А4). Ток в уравнительной обмотке пропорционален разности реактивного тока генератора и среднего значения реактивного тока всех генераторов, работающих параллельно.

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. Выпрямители VD13 ... VD18 обеспечивают обратную связь усилителя МУ-1, а VD7 ... VD12 выпрямляют выходное напряжение усилителя. 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.

1.2. Блок регулирования частоты (БРЧ).

Блок БРЧ-62БМ, рис.1.8 предназначен для поддержания стабильности частоты и для равномерного распределения активной мощности параллельно работающих генераторов.

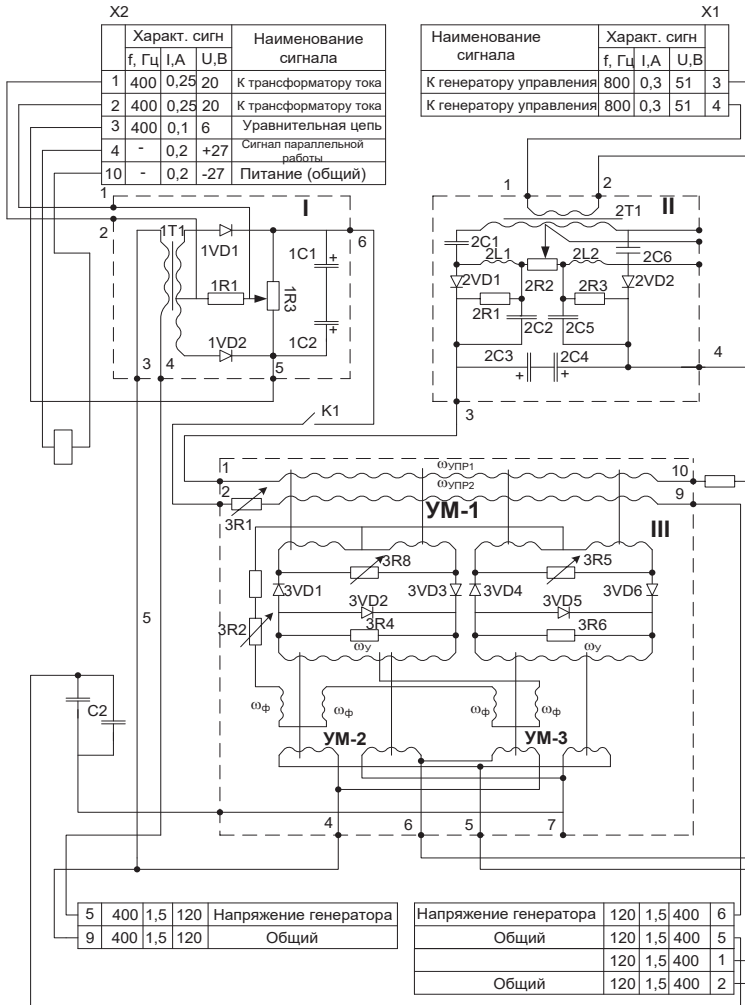


Рис.1.8. Принципиальная электрическая схема блока БРЧ-62БМ

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 состоит из трех функциональных блоков:

- 1) блока измерения активной мощности БИАМ-1М (I);
- 2) блока измерения частоты БИЧ-1М (II);

3) блока магнитного усилителя БУМ-1М (Ш).

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.

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° (рис.1.9). Направление тока на выходе блока определяется потенциалами точек 3 и 4 (рис.1.8).

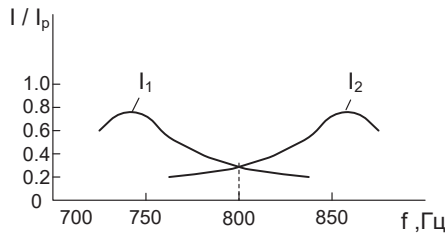


Рис.1.9. Характеристики резонансных контуров БИЧ-1М

При уменьшении частоты потенциал точки 3 выше потенциала точки 4, и выпрямленный ток протекает по обмотке управления магнитного усилителя Ш от точки 1 к точке 10. Аналогично протекают процессы при повышении частоты; только в этом случае потенциал точки 4 будет выше, чем потенциал точки 3, и ток в обмотке управления магнитного усилителя Ш изменит свое направление. Симметрия контуров достигается подрегулированием резонансных токов сопротивлением 2R2. Конденсаторы 2C2, 2C5 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 общие обмотки 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 добиваются, чтобы напряжение выхода второго каскада при отсутствии сигналов было равно нулю, а зависимость выходного напряжения от 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.1.10), 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.

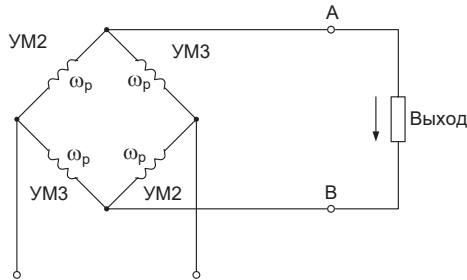


Рис.1.10. Схема соединения рабочих обмоток магнитных усилителей блока БУМ-1М

Питание магнитных усилителей осуществляется: УМ2 и УМ3 - от фазного напряжения генератора; УМ1 - через трансформаторную обмотку W_T от магнитных усилителей УМ2 и УМ3. Сопротивлением $3R_2$ 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;

д) условия параллельной работы генераторов.

Полная схема БЗУ довольно сложна, поэтому в данной работе приведена упрощенная функциональная схема блока (рис. 1.11). Рассмотрим работу БЗУ в различных режимах.

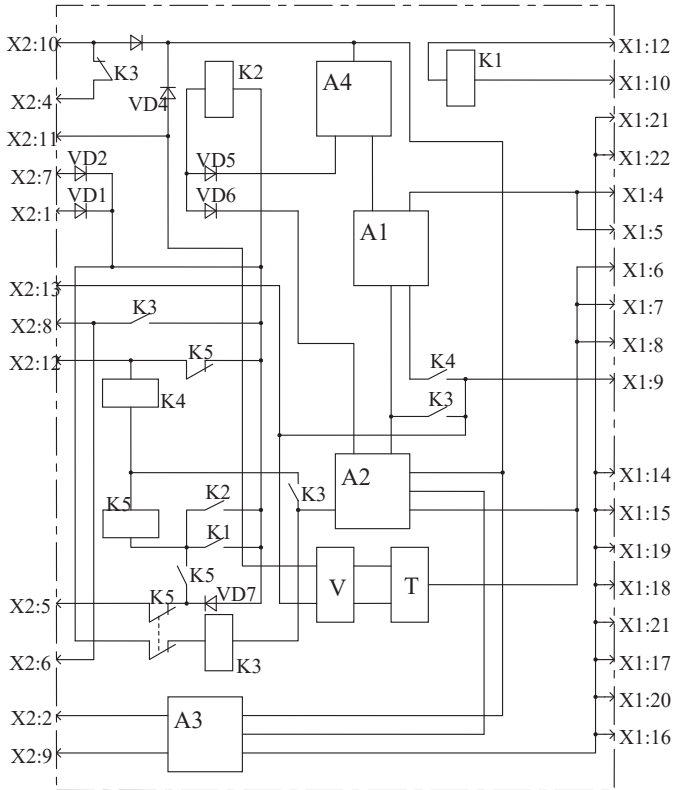


Рис.1.11 Принципиальная электрическая схема блока БЗУ

1) Включение генератора на нагрузку,

Выключателем генератора подается питание на штырь X2:1 – основное, на X2:7 – резервное. Через разделительные диоды VD1, VD2, исключаящие 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 К4 срабатывает и "минусом" питания через свои нормально-разомкнутые контакты 1,3 и через контакты блока А1 (блока защиты по частоте) включает бесконтактное реле выдержки времени А4. Таким образом, после включения выключателя генератора разгоняется турбина привода постоянной частоты вращения, возбуждается генератор и начинается отсчет времени реле А4.

Если за время, меньшее чем выдержка времени реле А4, турбина выйдет на режим по оборотам (частота генератора достигнет величины (372 ... 380) Гц), реле в блоке защиты по частоте (А1) отключит реле выдержки времени и подаст "минус" питания в блок защиты по напряжению (А2). В блоке А2 включается бесконтактное реле выдержки времени. Реле времени в блоке А2 ведет отсчет времени. Если за время, меньшее чем выдержка времени реле в блоке А2, напряжение генератора достигнет (175...185) В, реле блока А2 отключит реле выдержки времени и включит "минусом" питание реле включения нагрузки КЗ, которое, срабатывая, контактами 9,8 выдаст 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 КЗ 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. 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 выше указанных 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.

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.

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 при отказе основных генераторов в диапазоне высот от 0 до 3000 м и на земле при отсутствии аэродромных источников электроэнергии.

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.

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

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. Блок БЧФ-208 предотвращает подключение бортсети к наземному источнику с неправильным чередованием фаз. Для контроля качества наземного источника электропитания на борт устанавливается блок БКНА115.

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.

4.2. Питание системы от внешнего источника электроэнергии.

- 1) Включить автомат защиты цепей управления переключением шин АЗСГК-10 (на стенде пронумерован №6)
- 2) На щитке управления стендом включить наземный источник питания (ШРАП-400).
- 3) На панели энергоузла переключатель сетей 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 I, Сеть II, Сеть III, ВСУ-РАП» в различные положения, убедиться по вольтметру в отсутствии 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.

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

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

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

4) Установить выключатель на щитке управления стендом в положение «Потреб.». Амперметр покажет ток. При работе генератора ВСУ на сеть и неработающих генераторах противообледенение отключается.

4.4. Имитация короткого замыкания сети

Исходное состояние: ВСУ запущен и подключен к сети.

1) На панели энергоузла переключатель вольтметра установить в положение «Сеть III» вольтметр и частотомер покажут соответственно 208 В и 400 Гц

2) Кратковременно нажать на кнопку «КЗ ВСУ», расположенную на щитке управления стендом, при проконтролировать подачу сигналов от трансформаторов тока.

3) Для повторного включения генератора ВСУ переключатель «ВСУ-РАП» на панели энергоузла поставить в нейтраль, а затем в положение «ВСУ». Генератор ВСУ подключается к сети, вольтметр и частотомер покажут соответственно: (202 ... 210) В и 400 Гц.

4.5. Работа генератора 1. Исходное состояние – все отключено

1) Включить наземный источник переменного тока. Выключатель «ВСУ-РАП» на панели энергоузла установить в положение «РАП»

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

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

4.6. Работа блока защиты и управления БЗУ-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) Запустить генератор 1, для чего выключить и вновь включить выключатель генератора 1.
- 7) Замерить ток в фазах генератора 1.
- 8) Выключатель включения генератора 1 на сеть установить в положение «Выкл.». Горит красная лампа сигнализации отключения генератора.

4.7. Работа автомата переключения шин

- 1) Включить автомат АЗСГК-2 защиты управления переключением шин навигационных потребителей.
- 2) Включить автомат АЗЗК-30 защиты питания навигационных потребителей.
- 3) Исходное состояние - есть напряжение в сетях I, II, III.
- 4) Выключатель на панели управления стендом установить в положение «Откл. сети». 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 №2 ИЗУЧЕНИЕ ВТОРИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТА Ту-154

Цель работы

Целью настоящей работы является изучение вторичной системы электроснабжения на примере самолета Ту-154.

1. Основные положения

Большинство приемников электрической энергии на самолете Ту-154 запитывается переменным током напряжения 208 В. Однако, в составе электрооборудования самолета имеется некоторая часть приемников, требующих для своего питания как переменный ток различных напряжений (115 В, 38 В, 27 В), так и постоянный ток напряжения 28,5 В. Поэтому на самолете, кроме основной системы электроснабжения, имеются дополнительные «вторичные» системы: трехфазного переменного тока 36 В, 400 Гц и постоянного тока 27 в.

1.1. Система электроснабжения постоянным током

Источником электроэнергии постоянного тока являются три выпрямительных устройства ВУ-6А, две аккумуляторные батареи 20НКБН-25 и стартер-генератор постоянного тока ГС12-ГО вспомогательной силовой установки. На земле сеть постоянного тока может быть подключена к аэродромному источнику через розетку ШРАП-500К.

Выпрямительные устройства получают питание с шин основной системы электроснабжения 208 В. Каждое ВУ-6А работает в комплекте с

дифференциально-минимальным реле ДМР-200ВУ. Регулирование напряжения в сети постоянного тока при питании от ВУ-6А не предусмотрено. Диапазон изменения напряжения на выходе устройства при изменении напряжения питания в пределах (200...210) В, частоты 400 Гц $\pm 5\%$ и нагрузки в пределах (20...200) А (10 ... 100)% лежит в пределах (25...30) В.

ВУ-6А, рис.2.1 состоит из трехфазного понижающего трансформатора, выпрямителя, фильтров и охлаждающего вентилятора. Первичная обмотка трансформатора соединена в «треугольник», а вторичная - в «звезду» и «треугольник», причем первичная обмотка имеет отпайки, что позволяет осуществлять ступенчатую регулировку выходного напряжения. Для лучшего использования трансформатора выпрямитель собран по двухполупериодной мостовой схеме.

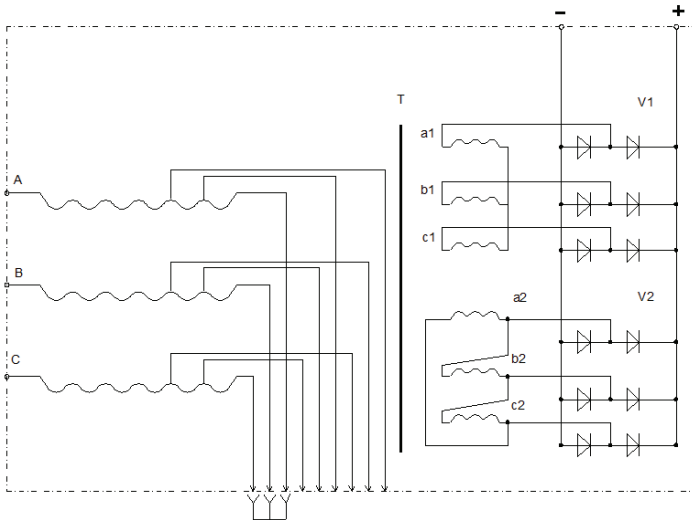


Рис.2.1 ВУ-6А

Важнейшими характеристиками выпрямительного устройства являются: частота пульсации выпрямленного напряжения и их относительная величина. Чем выше частота пульсации и чем меньше их величина, тем в большей степени выпрямленное напряжение приближается к постоянному. Для выполнения этих требований в некоторых типах выпрямительных устройств (ВУ-ЗБ) обмотки трансформатора соединяются специальным образом, например, трансформатор со схемой соединения $Y/Y, \Delta$ (рис. 2.1). В этом случае вторичная цепь трансформатора состоит из двух трехфазных систем. За счет сдвига вторичных напряжений в этих системах на 30° , можно получить при частоте питающего напряжения 400 Гц выпрямленный ток с 4800 пульсациями в секунду. Большая частота пульсации позволяет сделать более легким и компактным сглаживающий фильтр.

Поскольку диоды являются нелинейными элементами, то при их работе возникают гармоники тока, которые ухудшают качество электрической энергии

в первичной сети. Для уменьшения влияния диодов на качество электрической энергии в ВУ со стороны переменного тока устанавливают фильтр. При включении ВУ на параллельную работу распределение токов между ними определяется их внешними характеристиками

Выпрямительные устройства №1 и №2 (см. схему лабораторного стенда) включаются на бортсеть после включения генераторов основной системы электроснабжения переключателями «Выпрямительное устройство № 1 и № 2». После установки переключателя «ВСУ-АК-РАП» в положение «АК» реле К21 и К28 обесточатся и через свои нормально-замкнутые контакты включают контактор 4. Первичные обмотки трансформаторов ВУ-6А подключатся к первичной системе электроснабжения. Одновременно срабатывает реле 3, через контакты которого «плюс» бортсети поступает на включение ДМР-200ВУ, которое подключает ВУ-6А к сети, если их напряжение превышает напряжение сети постоянного тока на (0,2 ...1) В. С клеммы «С» ДМР-200ВУ сигнал поступит на обмотку реле 31, которое разорвет цепь питания лампы сигнализации «Сеть питается от аккумуляторов». Аккумуляторные батареи останутся подключенными к сети постоянного тока параллельно выпрямительным устройствам и встанут на подзарядку, а вся система электроснабжения постоянным током будет работать в основном полетном режиме. В нормальном режиме работают ВУ №1 и №2.

На самолете имеется также резервное выпрямительное устройство. Переключение сети постоянного тока 27 В с рабочих выпрямительных устройств ВУ-6А №1 или ВУ-6А №2 на резервное производится автоматически при коротких замыканиях в выпрямительном устройстве или его фидере, а также при понижении напряжения до 9,5 В и менее, т.е. при срабатывании ДМР-200ВУ на отключение. При этом «плюс» поступает на обмотку реле К32, которое, замкнув свои контакты, включит реле К4 или К5 (в зависимости от того, какое ДМР-200ВУ сработало на отключение). На земле включение резервного ВУ-6А блокируется реле К30, цепь питания управляющей обмотки которого запитывается при стоянке через концевой выключатель обжатого положения левой стойки шасси. С помощью переключателей «Выпрямительное устройство ВУ-6А №1 и №2» можно включить резервный ВУ-6А на бортсеть принудительно, установив его в положение «Резервный», а ВУ-6А №1 или №2 отключить. При этом напряжение +27 В подается с клемм переключателя через нормально-замкнутые контакты реле К28 и блокировочное реле К30 на включение контактора 4 и 5. На самолете устанавливаются две никель-кадмиевые аккумуляторные батареи 20НКБН-25 (НК - никель-кадмиевые; Б - безламельные; Н - намазные, 25 – емкость в А·ч).

Они имеют большой срок службы и большую удельную энергию, особенно при низких температурах. Аккумуляторные батареи используются при отказе основной системы электроснабжения для питания приемников первой категории и для запуска ВСУ на стоянке самолета при отсутствии в аэропорту источников питания. В нормальном режиме параллельно включенные аккумуляторы сглаживают пульсации в сети постоянного тока. Одновременное подключение внешнего источника питания и аккумуляторных

батареи к бортовой сети исключается блокировкой. Кроме того, исключается одновременное подключение к бортовой сети постоянного тока выпрямительных устройств ВУ-6А и источника аэродромного питания.

При подключении розетки ШРАП-500К и переключении переключателя на «РАП» «минус» бортовой сети через нормально-замкнутые контакты реле К22 (реле блокировки включения внешних источников на бортовую сеть с неправильной полярностью) поступит на обмотку реле К21. Реле К21, сработав, подает «плюс» на реле К24, которое включит контактор 23, подключающий бортовую сеть на напряжение внешнего источника. Кроме того, контакты реле К21 разрывают цепи включения аккумуляторных батарей и ВУ-6А №1 и №2 и резервного (с помощью реле К28), блокируя тем самым возможность их работы параллельно с внешним источником. Через контакты реле К28 включается реле К31, которое разорвет цепь питания сигнальной лампы «Сеть питается от аккумуляторов».

При включении аэродромного питания контактор 23 выключается не сразу, а с выдержкой, на которую настроено реле К24, разрывающее цепь питания обмотки контактора 23, а именно: через (0,4... 0,5) с после того, как переключатель «РАП-АК-ВСУ» будет выведен из положения «РАП». Данная блокировка введена для обеспечения непрерывности питания бортовой сети при переходе от «РАП» к «ВСУ», так как промежуток времени переключения может оказаться достаточным, чтобы обесточить бортовую сеть и цепи самоблокировок реле в автоматической панели управления стартер-генератором АПД-30А, что не дает возможности включить стартер-генератор на питание бортовой сети.

Стартер-генератор ГС-12ТО предназначен для запуска вспомогательной силовой установки (ВСУ) на земле и в полете до высоты 3000 м. После запуска ВСУ он может использоваться как источник постоянного тока 27 В, причем ВУ-6А в этом случае отключается. Стартер-генератор работает в комплекте со следующей регулирующей и защитной аппаратурой: регулятором напряжения РН-180ТВ, дифференциально-минимальным реле ДМР-400Т, автоматом защиты от перенапряжения АЗП-8М IV серии. Кроме автоматической регулировки напряжения предусмотрено ручное регулирование напряжения стартер-генератора с помощью выносного сопротивления.

Для работы системы постоянного тока от стартер-генератора ВСУ (после запуска ВСУ) необходимо переключатель на панели энергоузла установить в положение «ВСУ». При превышении напряжения стартер-генератора над напряжением батареи на (0,2 ... 1)В ДМР-400Т выдает сигнал на обмотку реле К28, которое разрывает цепи включения ВУ-6А, и на реле К25, которое переключает амперметр на стартер-генератор ВСУ. В свою очередь, через контакты реле К28 подается «плюс» на обмотку реле К31, разрывающего цепь питания лампы сигнализации «Сеть питается от аккумуляторов». Переключатель «Прав.-сеть-лев.» должен быть установлен в положение «Сеть». После включения контактора 27 аккумуляторные батареи подключатся к бортовой сети параллельно стартер-генератору и встанут на подзарядку. При отключении стартер-генератора от сети обесточатся обмотки реле К28 и К31 и загорится лампа сигнализации «Сеть питается от аккумуляторов».

1.2. Система электроснабжения трехфазным переменным током 36В.

Энергия переменного трехфазного тока напряжения 208 В частоты 400 Гц преобразуется в энергию переменного трехфазного тока напряжения 36В той же частоты двумя трехфазными трансформаторами, один из которых является рабочим, а другой - резервным. Переключение сети 36 В с рабочего трансформатора на резервный осуществляется автоматически по сигналу блока защиты БЗТ-1 в случае неисправностей в первичной или во вторичной цепях рабочего трансформатора. Блок БЗТ-1 производит переключение при коротких замыканиях или обрывах в цепях первичной и вторичной обмоток рабочего трансформатора.

В блоке защиты трансформаторов БЗТ-1 применена релейно-усилительная схема. Чувствительными элементами этой схемы являются блоки измерения напряжений, которые реагируют на все виды симметричных и несимметричных аварий первичной и вторичной сетей трехфазного переменного тока. При авариях в первичной или во вторичной сетях в блоках измерения напряжений срабатывает реле, включающее реле времени, которое выдает сигнал с выдержкой времени, исключающей ложное срабатывание блока БЗТ-1, на реле К1 или К2 в зависимости от того, в какой сети произошла авария. Реле К1 и К2, сработав, подают напряжение +27 В на обмотки контакторов 15 и 18, переключающих сеть переменного трехфазного тока на питание от резервного трансформатора. При этом загорится лампа «Резервный трансформатор работает». На случай отказа БЗТ-1 в схеме управления имеется выключатель для принудительного переключения сети на резервный трансформатор.

Аварийным источником системы электроснабжения переменного тока 36В, 400 Гц является преобразователь ПТ-200Ц, который питается от аккумуляторной батареи. Преобразователь ПТ-200Ц запускается автоматически, если аварийные шины 36 В обесточатся. В этом случае включается контактор 10, который включает ПТ-200Ц. На самолетах поздних выпусков устанавливается статический трехфазный преобразователь ПТС-250. Для питания системы автоматического управления в аварийном случае используется преобразователь МА-100М.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой модель вторичной электроэнергетической системы самолета Ту-154, выполненную в виде стенда с нанесенной на него мнемосхемой и соответствующими выключателями, переключателями и показывающими приборами. В правой части стенда расположена панель управления стендом. Магистралы, участвующие в работе, в каждый отдельный момент выделяются подсветкой.

3. Задание к работе

- 1). Изучить вторичные системы электроснабжения 36 В, 400 Гц; 27 В;
- 2). Провести исследование вторичной системы электроснабжения в нормальном и аварийных режимах.
- 3). Составить упрощенную схему вторичной системы электроснабжения самолета Ту-154 по мнемосхеме стенда.

4. Выполнение работы

Перед проведением работы включить питание стенда. Выключатели, расположенные на панели управления стендом, установить в положения: «Панель авт.защ.лев.», «Авиагор.», «Шины 27В».

4.1. Исследование работы системы электроснабжения 36В, 400 Гц.

- 1). Включить автоматы защиты №33 34 основного и резервного трансформаторов;
- 2). Включить автомат защиты № 32 питания БЗТ-1;
- 3). Включить автоматы защиты №№ 30, 31 питания ПТ-200Ц и МА-100М;
- 4). Включить автомат защиты № 28 шины 36 В, 400 Гц при питании от ПТ-200Ц.
- 5). Выключатель «Трансф. рез.», расположенный на панели энергоузла, установить в положение «Выкл.».

Запитываются шины 208 В, 400 Гц; 36 В, 400 Гц - панель авт. защиты левой, 36 В, 400 Гц - шина в РК ВСУ; 36 В, 400 Гц - аварийная шина. Вольтметр, расположенный на панели энергоузла, покажет 36 В. В блок БЗТ-1 подается с основного трансформатора 208 В и 36 В, работает реле блокировки включения ПТ-200Ц.

4.1.1. Имитация неисправностей цепей 208 В, 400 Гц (условно имитируется обрыв всех трех фаз).

- 1). Переключатель, расположенный на панели управления стендом, установить в положение «Неисправность 208 В». При этом на панели энергоузла 36 В, 400 Гц загорится желтая лампочка, сигнализирующая о работе резервного трансформатора. Исчезнет 36 В и 208 В на входе в БЗТ. Включатся контакторы включения резервного трансформатора на сеть 208 В и на шину 36 В. Стрелка вольтметра качнется и снова установится на 36 В;

- 2). Переключатель «Неисправность 208 В» установить в положение «Выкл.», система вернется в исходное положение;

4.1.2. Имитация неисправности цепей 36В, 400 Гц на выходе основного трансформатора.

Выключить выключатель «Неисправность цепи 36 В». При этом блок защиты и управления БЗТ-1 выдаст сигнал на включение резервного трансформатора. Дальнейшее поведение системы описано в предыдущем разделе. Отличие заключается в блокировке защиты. При снятии неисправности защита останется заблокированной. Для снятия блокировки необходимо выключить и включить автомат защиты № 32 питания БЗТ-1.

4.1.3. Имитация неисправности резервного трансформатора.

- 1). Включить выключатель «Неисправность цепи 36 В»;
- 2). Включить выключатель «Неисправность резервного трансформатора». При этом реле блокировки включения ПТ-200Ц отпускает свои нормально-замкнутые контакты и при включенном выключателе «Авиагор.» подает сигналы на включение МА-100М и ПТ-200Ц.

4.1.4. Включение резервного трансформатора вручную.

Исходное состояние схемы одно из двух: а) включен основной трансформатор;

б) основной трансформатор не работает. Включить на панели энергоузла выключатели «Трансформатор резервн.» При этом на панели энергоузла загорится желтая лампочка «Резервн. трансформатор». Горит подсветка БЗТ-1; подсветка контактора включения резервного трансформатора на сеть 208 В, 400 Гц и шину 36 В, 400 Гц. Вольтметр 36 В, 400 Гц.

4.2. Исследование системы электроснабжения постоянного тока 27 В.

- 1). Переключатели, выключатели и кнопки управления системой «27 В» поставить в положение «Выкл.». Переключатели с нейтралью установить в нейтральное положение;
- 2). Включить автоматы защиты № 19, 20, 21, 22 питания ВУ-6А № 1, ВУ-6А №2 и ВУ-6А резервн.;
- 3). Включить автоматы защиты № 23, 24, 25 питания цепей управления всех выпрямительных устройств;
- 4). Включить автоматы защиты № 26, 27 цепей сигнализации питания сети от аккумулятора и цепи генератора ВСУ.

4.2.1. Питание системы от наземного источника.

- 1). Выключатель, расположенный на панели управления стендом, установить в положение «ШРАП-500К». При этом переключатель полярности «Обратная полярность - Верно», расположенный на панели управления стендом, должен находиться в положении «Верно». Загорается сигнализация ШРАП-500К на мнемосхеме;
- 2). Установить переключатель сетей на панели энергоузла в положение «РАП» - вольтметр покажет 27 В;
- 3). Переключатель «ВСУ-АК-РАП», расположенный на панели энергоузла, установить в положение «РАП», при этом запитается шина «27 В» в РК ВСУ-РАП, и вольтметр в положении «Сеть» покажет 24В. Загорится красная лампочка «Сеть питается от акк.», расположенная на панели энергоузла.
- 4). Аналогично п.п. 2, 3 произвести включение аккумулятора № 2.

4.2.2. Работа системы постоянного тока при запуске ВСУ.

Запуск можно произвести от аккумулятора или от наземного источника питания, подключенного к самолету через ШРАП-500К. Установить на панели управления стендом выключатель ВСУ в положение «Мал. газ», что имитирует выход ВСУ на режим малого газа. Установить переключатель на панели энергоузла «ВСУ-АК-РАП» в положение ВСУ. При этом, если сеть питалась от аккумуляторов, то произойдет погасание лампочки «Сеть пит. от акк.», расположенной на панели энергоузла. Вольтметр в положении «ВСУ» покажет 27 В.

4.2.3. Имитация отключения генератора ВСУ от сети при обратной полярности.

- 1). Выключатель на панели управления стендом установить в положение «Откл. ДМР-400Т-обр. полярность»;
- 2.) Переключатель «ВСУ-АК-РАП» установить в положение «ВСУ». При этом подключение генератора ВСУ к шине РК не произойдет;
- 3). Выключить выключатель «Откл. ДМР-400Т-обр. полярность». На вольтметре в положении «ВСУ» появится 27 В.

4.4.4. Имитация отключения ДМР-400Т по обратному току.

Исходное состояние: выключатель ВСУ - в положении «Мал. газ», переключатель «ВСУ-АК-РАП» - в положении «ВСУ», включен выключатель «Откл. ДМР-400Т по обратному току». При этом вольтметр при установке переключателя в положение «ВСУ» покажет 23 В, и ДМР-400Т отключит сеть от генератора ВСУ.

4.4.5. Работа автомата защиты от перенапряжения (АЗП-ЗМ).

- 1). Исходное положение ГС-12ТО подключен к шине +27 В в РК ВСУ-РАП;
- 2). Нажать кнопку «Откл. АЗП» на панели управления стендом. При этом погаснет вся сигнализация генератора ВСУ и ДМР-400Т;
- 3). Переключатель «ВСУ-АК-РАП» установить в нейтральное положение;
- 4). Нажать кнопку «КМК-М АЗП», расположенную на панели управления стендом. Схема возвращается в исходное состояние. Можно производить повторный запуск генератора ВСУ;

4.4.6. Работа выпрямительных устройств ВУ-6А.

- 1). Включить на панели управления стендом выключатели «Панель автоматов защиты лев.», «Панель автоматов защиты прав.»;
- 2). Включить на панели энергоузла выключатель «ВУ № 1». В этом случае при наличии напряжения на шинах 208 В, 400 Гц левой панели автоматов защиты ВУ-6А через ДМР подключится к шине +27 В. В случае питания сети постоянного тока от аккумуляторов сработает реле включения сигнализации работы от аккумулятора и загорится лампочка «Сеть от акк.», расположенная на панели энергоузла;
- 3). Аналогично включить «ВУ № 2.»

4.4.7. Проверка работы резервного выпрямительного устройства.

- 1). Переключатель наземной проверки резервного ВУ («Прав.-сеть-лев.», расположенный на панели энергоузла, установить в положение «Прав.» ВУ резервный питается от шины 208 В, 400 Гц правой панели автоматов защиты. Вольтметр при установке в положение «Сеть» покажет 27 В;
- 2). Переключатель установить в положение «Лев.». ВУ рез. питается от шины 208 В, 400 Гц левой панели автоматов защиты. Вольтметр при установке переключателя в положение «Сеть» покажет 27 В.

4.4.8. Имитация неисправности в канале ВУ №1 (отключение ДМР I канала)

- 1). Исходное состояние - сеть «27 В» левой панели автоматов защиты питается от ВУ № 1;
- 2). Переключатель, расположенный на панели управления стендом, установить в положение «Откл. ДМР-200 ВУ I канала». При этом ДМР ВУ № 1 отключает его от сети 27 В левой панели автоматов защиты. На панели энергоузла загорается зеленая лампочка «ВУ резервн. работает». Включается контактор подключения ВУ резервного к шине 208 В левой панели автоматов защиты ВУ рез. через ДМР-200 ВУ подключается к шине «+27 В» левой панели автоматов защиты. При работе на шину 27 В только ВУ №1 в случае его отказа загорается лампочка «Сеть от акк.»;

3). Переключатель на панели установить в положение «Резервн.». сигнализация «ВУ № 1» погаснет. На сеть 27 В работает ВУ резервн. Вольтметр в положении «Сеть» покажет 27 В;

4). Аналогично проделать п.п. 1... 3 для ВУ № 2.

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать упрощенную структурную схему вторичных систем электроснабжения самолета Ту-154 (системы =27 В и ~36 В). Выводы.

6. Контрольные вопросы

1). Почему источник аэродромного питания отключается от бортсети с выдержкой времени?

2). Возможна ли совместная работа ВУ-6А с ГС-12ТО или наземным источником, что для этого предусмотрено?

3). В каком случае преобразователь ПТ-200Ц подключается к бортсети?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПЕРЕМЕННЫЙ

Цель работы

Изучение конструкции электромашинных преобразователей постоянного тока в переменный, схем запуска преобразователей и регулирования 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 повышения 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 резерва 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).

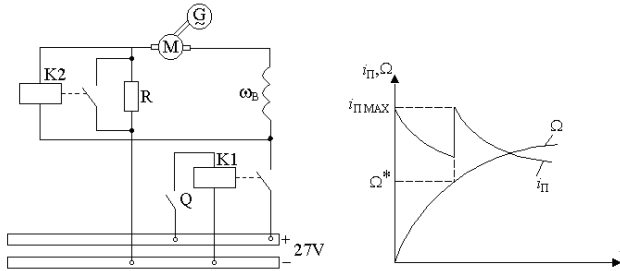


Рис.3.1 Схема запуска преобразователя и зависимости тока и угловой скорости преобразователя при пуске

В этой схеме в цепь якоря двигателя М последовательно включен пусковой резистор R. Параллельно резистору R включены нормально разомкнутые контакты реле K2, обмотка которого подключена на зажимы двигателя. Для включения преобразователя необходимо замкнуть выключатель Q. При этом обмотка контактора K1 подключается к напряжению сети, контактор K1 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 Ω^* напряжение на зажимах двигателя становится равным напряжению срабатывания $U_{cp} = (i_{\Pi} \cdot R_a + C_e \cdot \Omega^*)$, реле K2, 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.3.1.

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_{Π} 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;

Φ_{Π} и Φ_y – магнитные потоки, создаваемые обмотками W_{Π} 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.3.2 приведена схема регулирования частоты преобразователя ПО-6000.

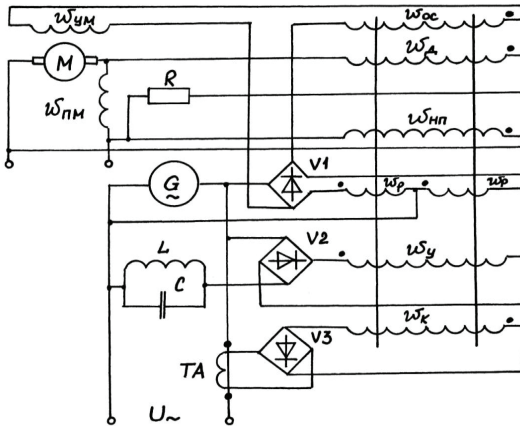


Рис.3.2. Схема регулирования частоты преобразователя ПО-6000

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 обмоток, 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 $U_{П}$, 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_{\sim} и размагничивает магнитный усилитель причем $F_{НП} > F_Y$ (рис.3.3.). 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 усилителя i_Y от частоты приведены на рис.3.3.

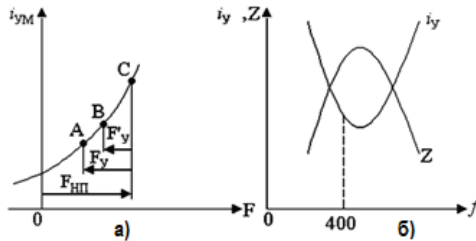


Рис.3.3. Характеристики магнитного усилителя и резонансного контура

Рабочая точка усилителя «А» (рис.3.3) лежит на нисходящей ветви зависимости тока i_{yM} (тока в 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 $W_{НП}$ остается неизменной, МДС обмотки W_Y уменьшится до величины $F_{Y'}$, вследствие чего разность $(F_{НП} - F_{Y'})$ увеличится, рабочая точка на характеристике магнитного усилителя сдвинется вправо (точка В). Ток в управляющей обмотке возбуждения двигателя i_{yM} 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 $U_{П}$, помимо уменьшения МДС управляющей обмотки F_Y , увеличится МДС обмотки начального подмагничивания $F_{НП}$. Как видно из рис.3.2, это будет способствовать увеличению тока в обмотке W_{yM} и снижению частоты. Таким образом, обмотка $W_{НП}$ осуществляет коррекцию частоты по уровню напряжения источника постоянного тока

Помимо обмотки отрицательной обратной связи W_{OC} для повышения устойчивости работы системы служат демпфирующая обмотка W_D и обмотка токовой коррекции W_K . Обмотка W_D создает МДС, направленную в сторону подмагничивания магнитного усилителя.

При увеличении частоты, МДС обмотки управления уменьшается на величину ΔF_Y (магнитный усилитель подмагничивается), ток в обмотке W_{yM}

увеличивается. Увеличение тока i_{UM} приводит к увеличению противо ЭДС двигателя, вследствие чего ток в цепи якоря уменьшится, что приведет к уменьшению МДС демпфирующей обмотки на величину ΔF_d , а это вызовет уменьшение степени намагниченности усилителя. Таким образом, эффективность действия W_y снижается, что приводит (при правильном подборе числа витков W_d) к уменьшению перерегулирования в системе. Однако, время переходного процесса и статическая ошибка регулирования увеличивается.

Обмотка токовой коррекции W_K размагничивает магнитный усилитель. С ростом нагрузки генератора частота тока падает, но МДС обмотки W_K увеличивается, что приводит к уменьшению степени намагниченности усилителя, ток i_{UM} уменьшается, а частота тока растет, т.е. осуществляется коррекция частоты по току нагрузки в цепи переменного тока. Обмотки W_d и W_K 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.3.4) состоит из угольного регулятора напряжения, электромагнитного стабилизатора TS, магнитного усилителя.

Угольный столб регулятора R_y включен последовательно с обмоткой возбуждения генератора W_{BG} , рабочая обмотка электромагнита регулятора W_{py} – на выход магнитного усилителя (рабочие обмотки W_p) через выпрямительный мостик VI. Обмотки W_p питаются от синхронного генератора G напряжением $U_.$ Как и в предыдущей схеме, магнитный усилитель выполнен с самоподмагничиванием. 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_{HP} создается постоянная, эталонная МДС, размагничивающая магнитный усилитель.

Питается обмотка W_{HP} от электромагнитного стабилизатора напряжения TS, 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.3.4, а):

$$U_{ВЫХ} = U_2 - U_K = const$$

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.3.4,б).

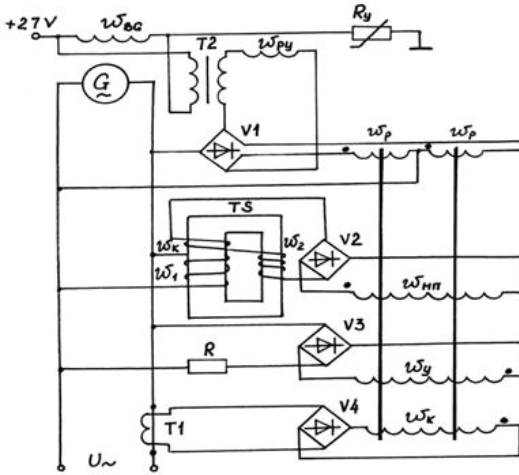
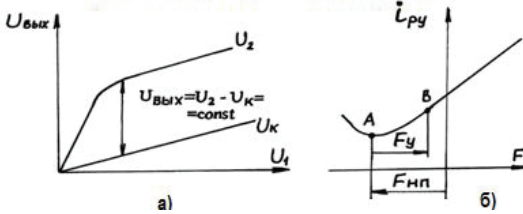


Рис.3.4. Схема регулирования напряжения



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:

и его тормозного (для двигателя преобразователя) момента $M=M(P_{н},\Omega)$. 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.3.4, б.

Увеличение напряжения на зажимах генератора приводит к увеличению МДС обмотки W_y и, следовательно, к увеличению среднего значения тока $I_{ум}$ в обмотке управления электродвигателя $W_{ум}$. 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.3.5. 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_n ; автомат защиты F1; выключатели Q1, Q2, Q3.

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 6А с шагом 1А с помощью реостата R_n . Данные занести в таблицу 3.1.

4) Установить значение R_n , соответствующее номинальному току нагрузки $I_{ном}=6$ 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 , А		С включенным регулятором напряжения
U_2 , В		
f_2 , Гц		
U_2 , В		С выключенным регулятором напряжения
f_2 , Гц		

Таблица 3.2

U_1 , В		С выключенным регулятором напряжения
U_2 , В		
f_2 , Гц		
U_2 , В		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 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 28.5В 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.

На самолетах гражданской авиации устанавливаются 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.4.1.

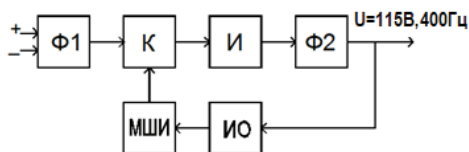


Рис.4.1. Структурная схема статического преобразователя

Основными элементами преобразователя являются: конвертор (К), инвертор (И) модулятор ширины импульсов (МШИ) измерительный орган выходного напряжения преобразователя (ИО) и фильтры – входной (Ф1) и выходной (Ф2).

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.4.2). Транзисторы работают в ключевом режиме и включаются попарно: VT1, VT4 и VT3, VT2. 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 запираании пары транзисторов ток индуктивного элемента будет протекать через соответствующие диоды за счет возникающей ЭДС самоиндукции.

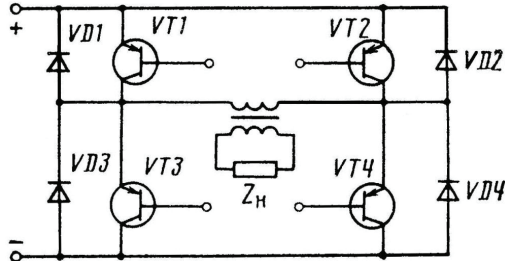


Рис.4.2. Схема инвертора

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.4.3). Величина задержки характеризуется коэффициентом заполнения импульса выходного напряжения:

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

где T – период изменения напряжения.

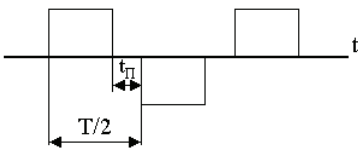


Рис.4.3. Форма импульса инвертора

Изменяя q , можно минимизировать K_n и, тем самым, уменьшить массогабаритные показатели выходного фильтра (Φ_2), который выделяет первую гармонику выходного сигнала инвертора. На практике задержка t_n выбирается равной 60° ($q=0.66$).

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 (Φ_1) 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 конвертеров, сдвинув фазу выходного сигнала одного из них на угол $\pi/2$ (рис.4.4).

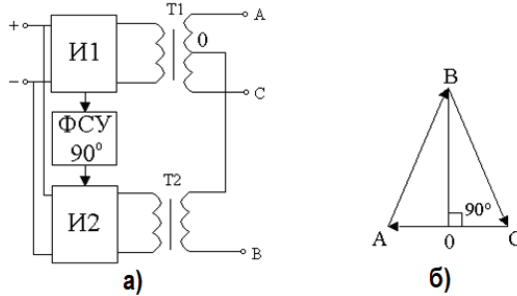


Рис.4.4. Схема Скотта (а) и её векторная диаграмма (б)

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° выполняется с помощью магнитного усилителя.

Рассмотрим более подробно работу основных узлов трехфазного преобразователя ПТС-250. Преобразователь состоит из следующих блоков (рис.4.5):

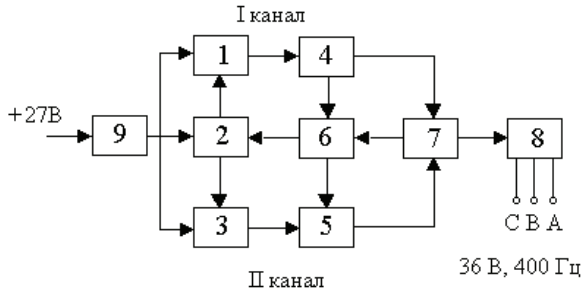


Рис.4.5. Структурная схема преобразователя

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° 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.

Упрощенная принципиальная схема конвертора (вольтдобавочного регулятора) и схемы управления им представлена на рис.4.6.

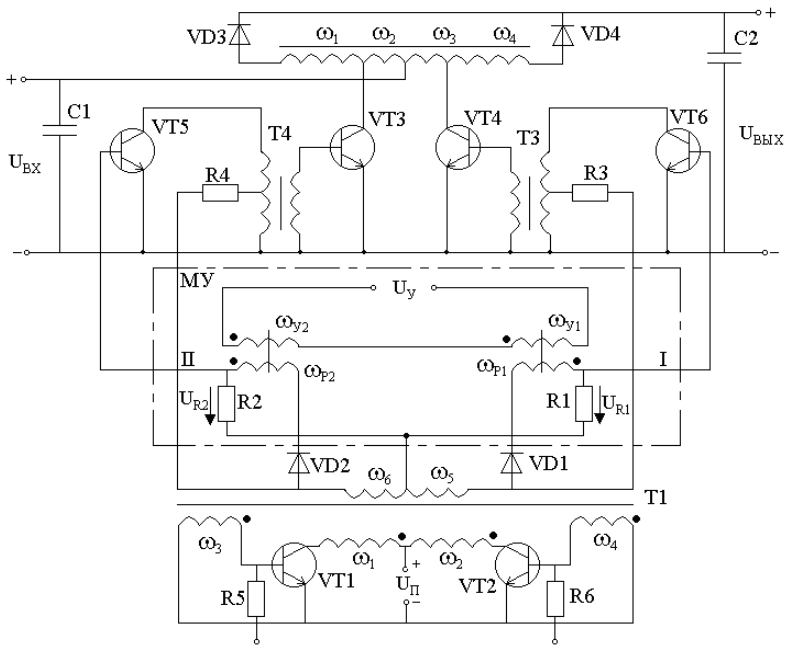


Рис.4.6. Схема конвертора

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.4.7, а).

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,

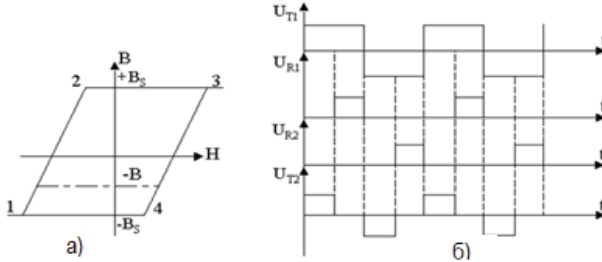


Рис.4.7. Характеристика сердечника (а), диаграмма напряжений на обмотке трансформатора (б)

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 Т1 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 Т1; 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.4.7,а). Так как ток протекает от начала обмотки W_1 (обозначенного точкой), то в ней и во всех других обмотках Т1 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.4.7.а).

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 ≈ 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 Т1. 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.4.7.а). При достижении в сердечнике трансформатора индукции насыщения снова происходит переключение транзисторов. Период переключения транзисторов будет полностью определяться временем перемагничивания сердечников:

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

Форма напряжения на обмотке трансформатора (U_{T1}) приведена на рис.4.7,б. 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:

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

Т.к. $W_1=W_2=W_3=W_4$, то $U_{\text{вых}}=3 \cdot U_{\text{вх}}$. К напряжению $U_{\text{вх}}$ 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 $U_{\text{вх}}$. Среднее значение напряжения за период равно:

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

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

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.4.6), 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.4.8, где U_{AC} – линейное напряжение на выходе преобразователя, U_y – напряжение на выходе измерительного органа.

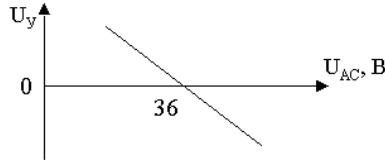


Рис.4.8. Характеристика измерительного органа

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.4.7,а). 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.4.7,б. Аналогичные процессы будут происходить на дросселе II со сдвигом на 180° .

Напряжения, снимаемые с резисторов R1 и R2 включают соответственно транзисторы VT5 и VT6. Осциллограмма напряжении U_{T2} на обмотках трансформатора T2 дана на рис.4.7, б. При увеличении выходного напряжения преобразователя, индукция B будет уменьшаться, t_n – возрастать, следовательно, q будет уменьшаться, что приведет к уменьшению выходного напряжения преобразователя. При снижении напряжения процессы протекают в обратном порядке.

На рис.4.9 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° ($q=0.66$).

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 ± 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-С контур.



Рис.4.9. Структурная схема инвертора

При необходимости более высокой стабильности частоты вместо L-С 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 (дрессель 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 частот 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° 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°. Для получения синхронизирующих импульсов, сдвинутых на 120°, 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°. Этими импульсами осуществляется синхронизация мультивибратора 4. На рис.4.10 приведены осциллограммы в контрольных точках лабораторной установки, иллюстрирующие работу схемы управления инвертора.

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° . В качестве фазосдвигающего устройства используется магнитный усилитель.

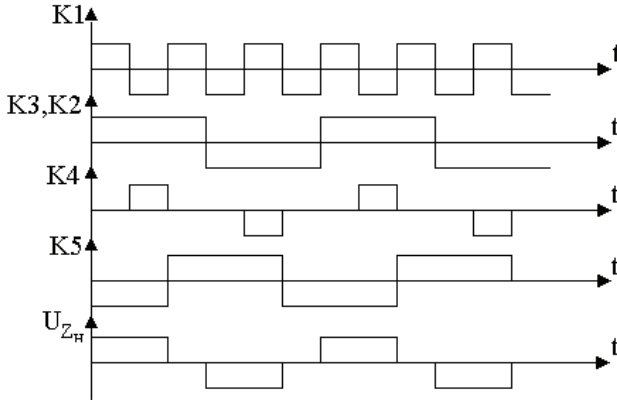


Рис.4.10. Осциллограммы в контрольных точках

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 $U_{\text{п}}$ 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 $U_{\text{с}}=f(I_{\text{н}})$, $f=f(I_{\text{н}})$, $U_{\text{с}}=f(U_{\text{п}})$, $f=f(U_{\text{п}})$.
- 5). Графики этих зависимостей.
- 6). Выводы, ответы на контрольные вопросы.

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° в выходном сигнале инвертора?
- 9). Поясните принцип действия защиты от перегрузки по току.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы

- 1). Ознакомление с устройством и принципом действия источников бесперебойного электропитания на базе статических преобразователей.
- 2). Экспериментальное исследование основных элементов статического преобразователя: конвертора, однофазного инвертора.

1. Краткие теоретические сведения

Источники бесперебойного электропитания широко применяются при организации электроснабжения электрических приемников особой группы первой категории. Они обеспечивают электропитание при отказах основных источников за счет энергии, накопленной в аккумуляторной батарее.

Структурная схема однофазного статического преобразователя и схема инвертора приведены на рис. 4.1. 4.2 лабораторной работы №4.

Транзисторы инвертора работают в ключевом режиме и включаются попарно, как показано на диаграмме Рис.5.1: VT1, VT4 и VT2, VT3. В результате ток первичной обмотки трансформатора меняет свое направление каждые полупериода, и в выходной обмотке трансформатора будут наводиться

двухполярные импульсы, форма которых будет повторять диаграмму на рис.5.1.

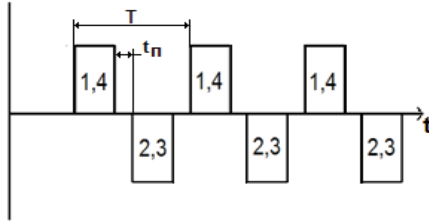


Рис.5.1. Диаграмма работы транзисторов

Последовательность включения пар транзисторов, а также длительность их включенного состояния определяются импульсами управления, которые подаются на базы транзисторов от независимой схемы управления. Инверторы с таким способом управления силовыми транзисторами принято называть инверторами с независимым возбуждением.

Из диаграммы рис.5.1 видно, что после закрытия пары транзисторов и перед открытием очередной пары выдерживается пауза (t_n). Если установить $t_n = 0$, то вследствие инерционности процесса закрытия транзисторов в коммутационный период все четыре транзистора будут открыты, а источник питания замкнут накоротку через транзисторы, которые при этом перегреваются. Поэтому схему управления транзисторами проектируют таким образом, чтобы $t_n > 0$. Переключающие импульсы тока на базы транзисторов должны подаваться от источников, гальванически не связанных между собой, что обеспечивается применением специальных драйверных схем. Транзисторы инверторов шунтируются диодами VD1-VD4, которые обеспечивают протекание тока при подключении активно-индуктивной нагрузки.

Для получения синусоидального напряжения на выходе преобразователя после инвертора устанавливаются LC фильтры – Ф2. С целью улучшения кривой напряжения и уменьшения массы фильтров преобразователя оптимизируют величину t_n инвертора. Степень приближения формы кривой к синусоидальной характеризуется коэффициентом нелинейных искажений K_H :

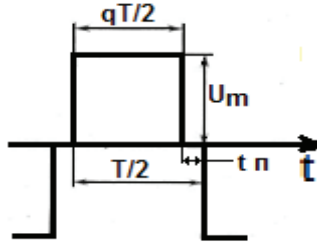
$$K_H = \sqrt{(U_H / U_1)^2 - 1},$$

где: U_H — действующее значение несинусоидальной кривой напряжения на выходе инвертора; U_1 — действующее значение ее первой гармоники. Для чисто синусоидального сигнала $K_H=0$, чем меньше K_H , тем меньше масса фильтра Ф2. Действующее значение выходного напряжения инвертора:

$$U_H = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_H^2 dt},$$

Для прямоугольной формы напряжения ($t_n = 0$) $K_H=0.484$. В общем случае $t_n \neq 0$ и для таких сигналов (Рис.5.2) вводится понятие *коэффициент заполнения*

импульса выходного напряжения (q) $q=(T-2t_{\text{п}})/T$, где T — период изменения напряжения.



5.2. Форма импульса инвертора

При введении паузы $t_{\text{п}}$ $U_{\text{H}} = m\sqrt{q}$;

$$1 = \frac{4\cos\left[\frac{(1-q)\pi}{2}\right]}{\pi\sqrt{2}} m,$$

и, следовательно

$$K_{\text{H}} = \sqrt{\frac{\pi^2 q}{8\cos^2[(1-q)\pi/2]} - 1}.$$

Анализ зависимости K_{H} от q показывает, что минимальное значение $K_{\text{H}}=0,27$ получается при ширине импульса $q=0,74$ (пауза $43,4^\circ$). Учитывая, что при ширине импульса $q=0,66$ (пауза 60°) $K_{\text{H}}=0,312$ и мало отличается от минимального значения, используют инверторы с $q=0,66$, так как при этом полностью исключается третья гармоника, а пятая и седьмая ослабляются, что значительно облегчает фильтрацию.

Приближение формы кривой выходного напряжения инвертора к синусоидальной в мостовой схеме может быть достигнуто и при многократной коммутации транзисторов во время полупериода основной частоты. Если при этом интервалы проводимости транзисторов VT1 и VT4 (VT2 и VT3) мостовой схемы в течение полупериода изменять по синусоидальному закону (рис.5.3), то при числе импульсов, равном девяти, кривая выходного напряжения будет содержать высшие гармоники, начиная с восемнадцатой.

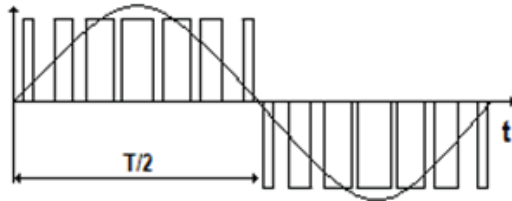


Рис.5.3. Многократная коммутация транзисторов инвертора за период выходной частоты

При таком техническом решении масса фильтра снижается, но усложняется схема системы управления. Так как потери при коммутации

транзисторов пропорциональны числу коммутаций, то КПД инверторов по мере возрастания повторяемости импульсов снижается.

При изменении нагрузки инверторов и напряжения питающей сети выходное напряжение инвертора будет изменяться в широких пределах. Поэтому для стабилизации напряжения инверторов применяют регуляторы напряжения, которые в соответствии с характером воздействия на инвертор можно разделить на два класса: регуляторы, осуществляющие амплитудное регулирование напряжения без изменения формы кривой выходного напряжения, т. е. стабилизирующие его одновременно по действующему, среднему и амплитудному значениям; регуляторы, осуществляющие широтное регулирование, стабилизирующие одно из значений выходного напряжения (среднее, действующее или амплитудное) при изменении формы кривой.

Напряжение инвертора без изменения формы кривой в большинстве случаев стабилизируется путем включения на вход инвертора (И) конвертора (К). Силовая часть регулируемого конвертора (рис.5.4) состоит из транзисторов VT1 и VT2, диаграмма управления которыми похожа на рис.5.1.

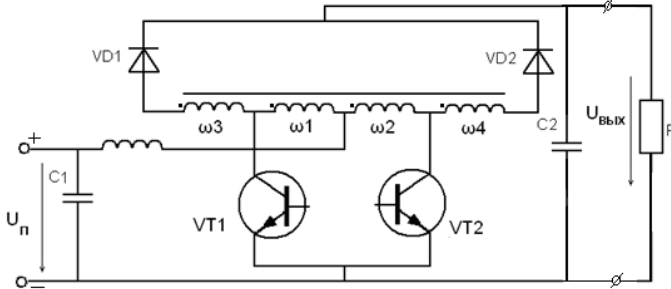


Рис.5.4. Принципиальная схема двухтактного конвертора

Силовые транзисторы управляются таким образом, что оказываются поочередно открытыми в течение части полупериода $qT/2$ (T - период управляющих импульсов). Когда открыт один из транзисторов, например VT1, ток протекает через обмотку ω_1 трансформатора. При этом напряжение на выходе инвертора

$$U_{\text{вых}} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_4}{\omega_1} U_{\text{п}},$$

В случае, если $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$, то $U_{\text{вых}} = 3U_{\text{п}}$. К напряжению $U_{\text{п}}$ добавляется ЭДС, наводимая в обмотках ω_2 и ω_4 . В оставшуюся часть полупериода $(1-q)T/2$ оба транзистора закрыты и напряжение на выходе будет равно напряжению на входе $U_{\text{п}}$. Среднее значение напряжения за период

$$U_{\text{вых ср}} = \frac{2}{T} \left(3U_{\text{п}} \frac{T}{2} \right) + U_{\text{п}} (1-q) \frac{T}{2} = (1+2q) U_{\text{п}}.$$

Изменяя коэффициент заполнения q , можно регулировать выходное напряжение конвертора от $U_{\text{п}}$ до $3U_{\text{п}}$. Конденсаторы на выходе и входе сглаживают пульсации напряжения, а дроссель сглаживает пульсации тока,

потребляемого конвертором. Регулирует величину q управляющих импульсов конвертора МШИ по сигналу от измерительного органа ИО.

Схема стабилизации напряжения преобразователя работает следующим образом, рис.4.1. Допустим, что к преобразователю подключили дополнительную нагрузку, тогда из-за дополнительного падения напряжения на фильтре $\Phi 2$ и транзисторах инвертора напряжение на выходе преобразователя уменьшится. Это снижение напряжения зафиксирует ИО и выдаст сигнал в МШИ, вследствие чего МШИ увеличит q . Напряжение на выходе конвертора повысится, а, следовательно, повысится напряжение на выходе инвертора и преобразователя, т.е. восстановится до исходного значения.

2. Описание схем моделирования

В работе исследуются две схемы: модель инвертора (рис.5.5) и модель конвертора (рис.5.6), обе схемы набраны в программной среде Multisim 10.

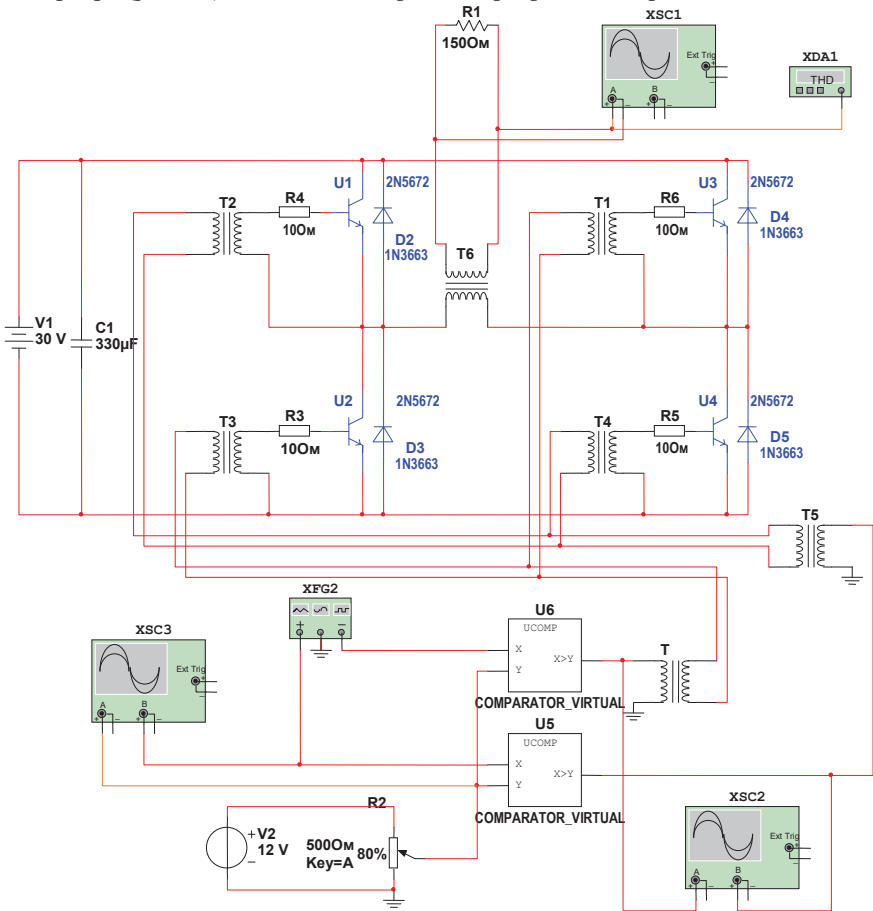


Рис.5.5. Модель инвертора

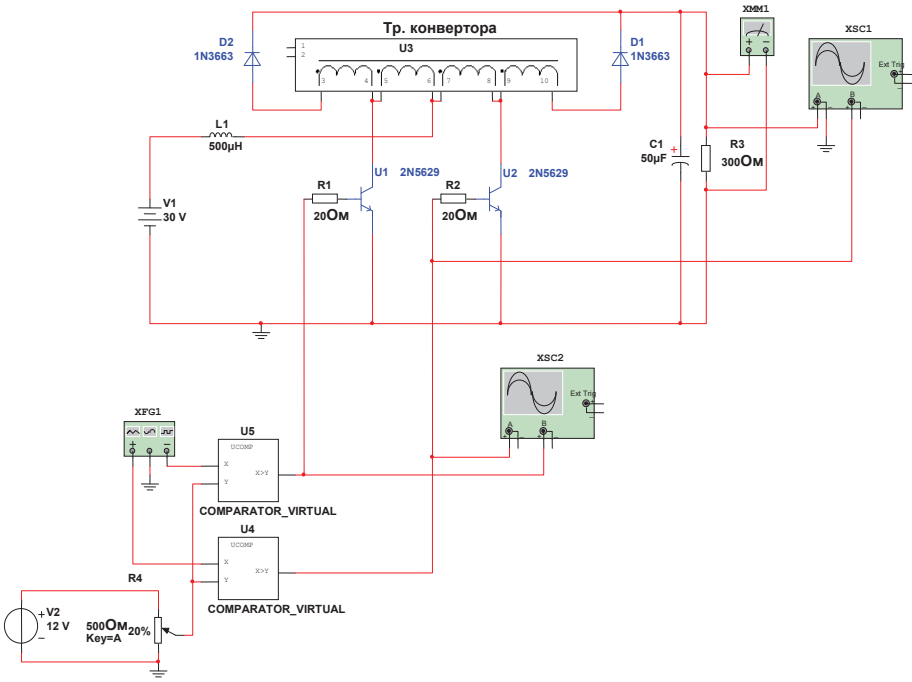


Рис.5.6. Модель конвертора

Схема на рис.5.5 состоит из инвертора на транзисторах U1-U4 , формирователя управляющих импульсов (МШИ) и контрольно-измерительных приборов. МШИ включает в свой состав: источник опорного напряжения V2, программируемый потенциометр R2, генератор пилообразного напряжения XFG2, два компаратора U5, U6 и два трансформатора T5, T (для переворота фазы на 180⁰).

Потенциометр R2 является интерактивным элементом и позволяет изменять процессе моделирования опорное напряжение, подаваемое на вход компаратора, и как следствие, изменять q управляющих импульсов инвертора. Для изменения величины сопротивления необходимо установить указатель мыши в область R2 и, нажав левую кнопку мыши, переместить ползунок потенциометра. Положение ползунка 100% соответствует q=1. На вход Y компаратора подается постоянное напряжение, на вход X пилообразное напряжение с амплитудой 12В, частотой 400Гц, причем пилообразные напряжения на компараторы U5, U6 подаются в противофазе. Когда сигнал на входе X больше, чем сигнал на входе Y, на выходе формируется постоянный потенциал. При увеличении напряжения на входе Y продолжительность выходных импульсов будет возрастать.

Нагрузка к инвертору R1 подключается через трансформатор T6. Осциллограф XSC3 позволяет наблюдать форму сигналов на входе

компаратора U5, а XSC2 - сигналы на выходах компараторов. Осциллограф XSC1 контролирует напряжение на выходе инвертора. К выходу также подключен измеритель нелинейных искажений XDA1.

Схема конвертора включает модулятор ширины импульсов МШИ, собранный на элементах: V2-источник постоянного напряжения; R4-интерактивный элемент; XFG1-генератор пилообразного напряжения; U4, U5-компараторы. Схема МШИ конвертора работает аналогично схеме МШИ инвертора. Многообмоточный трансформатор U3 имеет 4 одинаковые обмотки, соединенные последовательно. Осциллограф XSC2 контролирует сигналы управления силовыми транзисторами U1, U2. Осциллограф XSC1 подключен к выходу конвертора, нагруженному на сопротивление 300 Ом. Выходное напряжение конвертора контролируется вольтметром ХММ1.

3. Программа работы

1). Провести моделирование режимов работы инвертора с помощью программного эмулятора электронных схем Multisim 10. Снять и построить зависимости:

- коэффициента нелинейных искажений от величины q ;
- напряжения на выходе инвертора от сопротивления нагрузки 70-1000 Ом;
- зарисовать форму выходного напряжения для $q=0.9$ и $q=0.2$.

2). Провести моделирование режимов работы конвертора. Снять и построить зависимость напряжения на выходе конвертора от величины q .

4. Порядок работы

1). Ознакомьтесь с программой моделирования Multisim.

2). Запустите среду моделирования Multisim и откройте файл «Инвертор» из директории указанной преподавателем.

3). Проверьте соответствие схемы моделирования схеме, приведенной на рис.5.5, при необходимости внесите соответствующие коррективы. Номинальное сопротивление нагрузки инвертора 150 Ом.

4). Для номинального значения сопротивления нагрузки измерьте значения коэффициента нелинейных искажений выходного напряжения инвертора для значений q равных 0-1 с шагом 5%. Величину q задавать с помощью резистора R2.

Примечание. Для изменения какого либо параметра элемента необходимо установить указатель «мыши» на элемент и нажать правую кнопку мыши, в открывшемся меню выбрать подменю «свойства» и установить требуемые параметры. Установку параметров проводить при отключенном положении выключателя моделирования.

Для изменения параметра виртуального потенциометра R2 (R4) необходимо подвести указатель «мыши» к потенциометру, откроется ползунок потенциометра, установить указатель «мыши» на ползунок и, нажав левую кнопку мыши, перемещать ползунок.

5). Установите $q=0.7$, изменяя сопротивление нагрузки инвертора от 70 Ом до 1000 Ом, построить зависимость выходного напряжения инвертора от сопротивления нагрузки.

6). Для номинального значения сопротивления нагрузки зарисовать форму выходного напряжения для $q=0.9$ и $q=0.2$.

7). Запустите среду моделирования Multisim и откройте файл «Конвертор» из директории, указанной преподавателем.

8). Проверьте соответствие схемы моделирования схеме, приведенной на рис.5.6, при необходимости внесите соответствующие коррективы.

9). Снимите зависимость выходного напряжения конвертора для значений q равных 0-1 с шагом 5%. Величину q задавать с помощью резистора R4.

5. Содержание отчета

- 1). Цель работы
- 2). Электрические схемы моделирования инвертора, конвертора.
- 3). Таблицы измерений.
- 4). Построенные зависимости.
- 5). Выводы по работе.
- 6). Ответы на контрольные вопросы.

6. Контрольные вопросы

- 1). Опишите способ стабилизации выходного напряжения статического преобразователя.
- 2). Как влияет величина t_n инвертора на коэффициент нелинейных искажений?
- 3). Каково назначение диодов инвертора?
- 4). Как изменится максимальное напряжение конвертора, если число витков обмоток W_3 и W_4 будет в 2 раза больше, чем число витков обмоток W_1 и W_2 ?

Литература

1. Системы электроснабжения воздушных судов/ под ред. Халютин С.П.-М.: ВУНЦ ВВС, 2010.
2. Синдеев И.М. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов. - М.: Транспорт, 1990.

Содержание

1. Лабораторная работа № 1. Изучение первичной системы электроснабжения самолета Ту-154.....3
2. Лабораторная работа №2. Изучение вторичной системы электроснабжения самолета Ту-154.....19
3. Лабораторная работа №3. Изучение и исследование электромашинных преобразователей постоянного тока в переменный.....27
4. Лабораторная работа №4. Изучение и исследование авиационного статического преобразователя ПТС-250.....36
5. Лабораторная работа № 5. Исследование статических преобразователей электроэнергии.....45