

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. Савелов

**УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

ПОСОБИЕ

к выполнению лабораторных работ

*для студентов V курсов
специальности 160903
всех форм обучения*

Москва – 2011

Рецензент: д.т.н., проф. Решетов С. А.

Пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Устройства электроснабжения воздушных судов»- М.: МГТУ ГА, 2011

Данное пособие издается в соответствии с учебным планом для
студентов V курса дневного и заочного обучения специальности 160903.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 2010 г. и
методического совета по специальности 2010 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРАНСФОРМАТОРНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Цель работы

Изучить процесс коммутации диодов в трансформаторно-выпрямительных устройствах. Исследовать влияние различных факторов на угол коммутации диодов выпрямителя и величину выпрямленного напряжения.

1. Основные положения

В самолетных системах электроснабжения широко используется преобразование переменного тока в постоянный с помощью силовых полупроводниковых диодов (вентилей). Такое преобразование осуществляется в трансформаторно-выпрямительных блоках (ТВБ) или выпрямительных устройствах типа ВУ, в бесконтактных генераторах постоянного тока, а также в преобразователях частоты с промежуточным звеном постоянного тока. ТВБ и ВУ являются основными источниками постоянного тока на воздушных судах, первичная система электроснабжения которых выполнена на переменном токе. Обычно ТВБ и ВУ содержат трансформатор, выпрямитель, фильтры. Трансформатор служит для преобразования напряжений и числа фаз. Число вторичных фаз трансформатора выбирается кратным числу первичных фаз. С увеличением числа вторичных фаз уменьшается амплитуда пульсации выпрямленного напряжения и увеличивается частота пульсации, тем самым облегчается фильтрация выходного напряжения. Фильтр служит для уменьшения переменных составляющих в выходном напряжении.

Рассмотрим работу выпрямителя с m – фазным трансформатором, у которого отсутствуют потоки рассеяния, а активные сопротивления обмоток равны нулю. Схема такого выпрямителя приведена на рис.1.1. Дроссель L служит для сглаживания пульсации выпрямленного тока. Он запасает энергию, когда мгновенное значение напряжения на выходе вентилей превышает среднее значение напряжения на нагрузке и отдает энергию, когда напряжение на вентилеях становится меньше напряжения на нагрузке. Запас энергии в дросселе

равен $W = L \cdot \frac{I_d^2}{2}$, поэтому при заданном токе нагрузки для обеспечения

режима непрерывного тока индуктивность дросселя L должна превышать некоторое значение, называемое критическим ($L_{кр}$).

Пусть $L > L_{кр}$, тогда ток дросселя I_d в любой момент времени больше нуля. ЭДС, наводимые в фазах вторичной обмотки трансформатора равны

$$e_{2i} = E_{2m} \cdot \cos \omega t, \dots, e_{2l} = E_{2m} \cdot \cos \left(\omega t - (i-1) \cdot \frac{2\pi}{m} \right),$$

где i – номер фазы вторичной обмотки; m – число фаз.

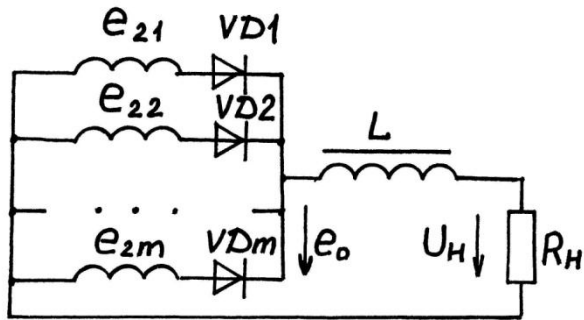


Рис.1.1

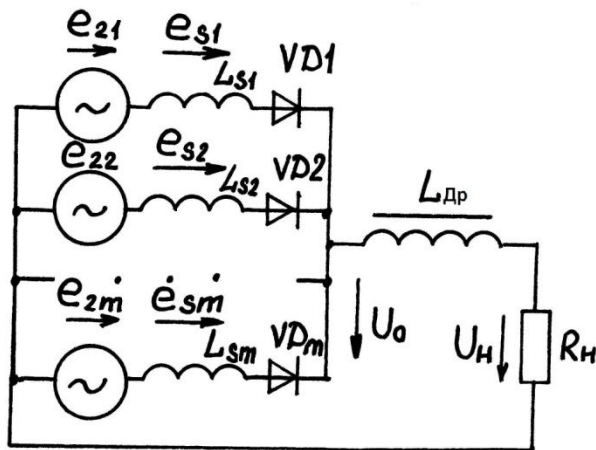


Рис.1.3

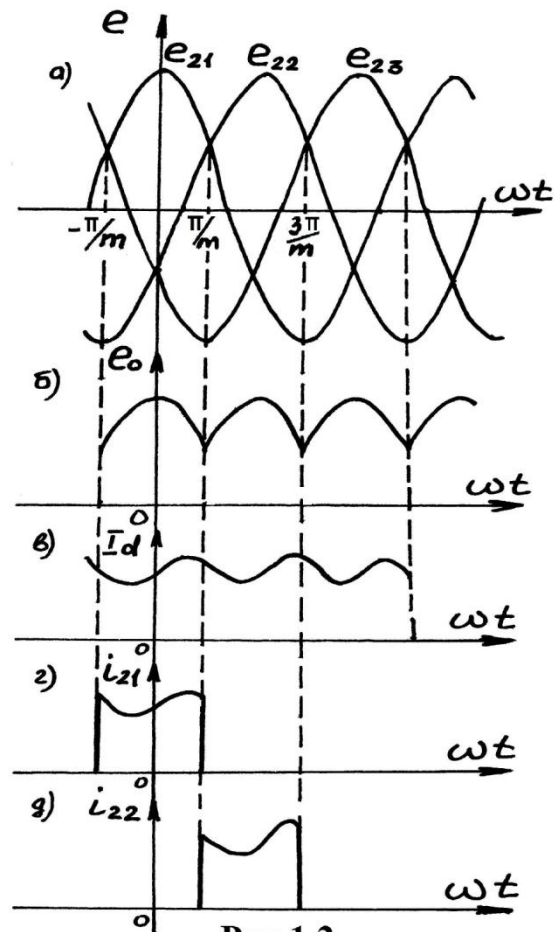


Рис.1.2

Пусть в момент $t=0$ ЭДС e_{21} имеет максимальное значение равно E_{2m} (рис.1.2а). Падение напряжения на открытом идеальном вентиле равно нулю, поэтому $e_0=E_{2m}$. Так как напряжение E_{2m} больше, чем ЭДС любой из фаз в этот момент времени, то все вентили, кроме первого, в этот момент закрыты, и ток I_d проходит по первой фазе вторичной обмотки и через вентиль VD1 целиком.

Такое состояние схемы, когда напряжение на катодах всех вентилях, кроме первого, больше напряжения на анодах, характерно не только для момента $t=0$, но и для всего интервала $-\pi/m < t < \pi/m$, на котором ЭДС e_{21} больше каждой из остальных (рис.1.2а).

На интервале $\pi/m < t < 3\pi/m$ ЭДС второй фазы e_{22} становится больше каждой из остальных, вентиль VD1 закрывается, открывается вентиль VD2 и выпрямленный ток проходит целиком по второй фазе (рис.1.2д). Затем в работу включается третья фаза, а вторая закрывается и т.д.

Таким образом, в выпрямителе с идеальными трансформатором и вентилями в любой момент времени открыта только та из фаз вторичной обмотки, ЭДС которой больше ЭДС каждой из остальных.

В течение одного периода выпрямленного напряжения $T = \frac{2\pi}{\omega}$ по очереди включаются все m фаз вторичной обмотки и, следовательно, длительность работы каждой из фаз равна T/m .

Выпрямленное напряжение e_0 по форме повторяет огибающую ЭДС всех фаз (рис.1.2б). Таким образом, для выпрямленного напряжения имеем:

$$e_0 = e_{2i}$$

$$\text{при } \left[(i-1) \cdot \frac{2\pi}{m} - \frac{\pi}{m} \right] < \omega t < \left[(i-1) \cdot \frac{2\pi}{m} + \frac{\pi}{m} \right].$$

Период основной гармоники выпрямленного напряжения в m раз меньше периода выпрямленного напряжения.

Напряжение на вентиле i -ой фазы:

$$e_{di} = e_{2i} - e_0.$$

Максимальное обратное напряжение на вентиле будет при отрицательных значениях ЭДС e_{2i} (рис.1.2а).

При четном числе фаз выпрямленного напряжения минимум e_{2i} и максимум e_0 совпадают во времени и для пикового значения обратного напряжения $E_{обр.m}$ получим:

$$E_{обр.m} = |e_{2i \max}| + |e_{0 \max}| = 2 \cdot E_{2m}.$$

При нечетном числе фаз минимум e_{2i} совпадает во времени с минимумом e_0 и пиковое значение обратного напряжения получается меньше, чем $2 \cdot E_{2m}$. Так, для $m=3$ имеем:

$$E_{обр.m} = \sqrt{3} \cdot E_{2m}.$$

Основными соотношениями, характеризующими идеализированный выпрямитель, являются: среднее выпрямленное напряжение ($E_{B.cp}$) и коэффициент пульсации k -ой гармоники.

$$K_{mk} = \frac{E_{mk}}{E_{B.cp}},$$

где E_{mk} – амплитуда k -й гармоники.

Разложив выпрямленное напряжение в ряд Фурье на периоде основной гармоники выпрямленного напряжения $2\pi/m$, получим:

$$E_{B.cp} = \left(\frac{m}{2\pi} \right) \cdot \int_{-\pi/m}^{\pi/m} E_{2m} \cdot \cos(\omega t) d\omega t = E_{2m} \cdot \left(\frac{m}{\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m} \right) = E_2 \cdot B(m)$$

и

$$E_{mk} = \left(\frac{m}{\pi}\right) \cdot \int_{-\pi/m}^{\pi/m} E_{2m} \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(km \omega t) d\omega t =$$

$$= 2 \cdot E_{2m} \cdot \left(\frac{m}{\pi}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) / \left[(km)^2 - 1\right]$$

где $E_2 = 0.707 \cdot E_{2m}$ – действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора;

$$B(m) = \sqrt{2} \frac{m}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) – \text{коэффициент, зависящий только от } m \text{ и}$$

определяющий использование обмоток трансформатора по напряжению, равный: 0.9; 1.17 для $m=2; 3$.

Отсюда

$$K_{nk} = \frac{2}{[(km)^2 - 1]}.$$

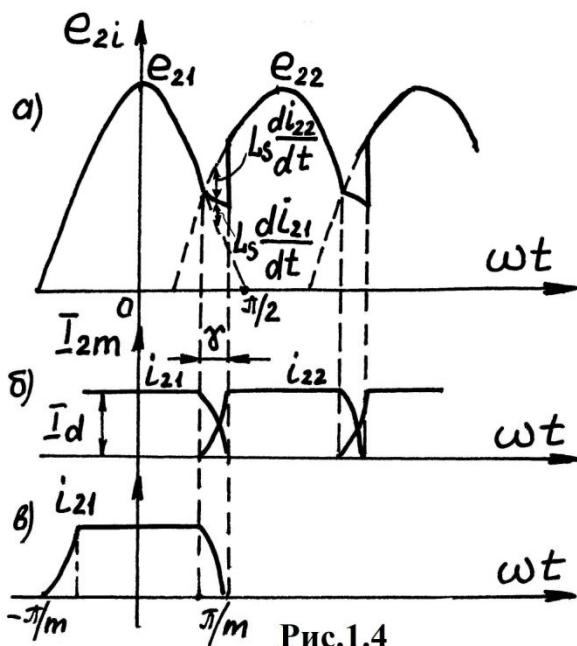


Рис.1.4

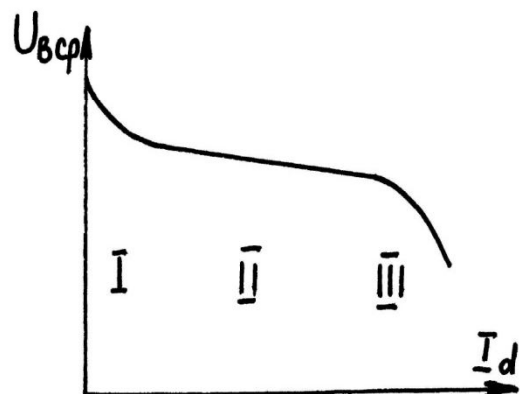


Рис.1.5

Все полученные соотношения справедливы для идеализированной схемы трансформаторно-выпрямительного устройства. На практике обмотки имеют омическое сопротивление и, кроме того, они обладают рассеянием. Вентили в открытом состоянии также обладают некоторым сопротивлением. Все эти факторы усложняют процесс коммутации вентилях и влияют на величину выпрямленного напряжения. Рассмотрим влияние реактивных сопротивлений, создаваемых индуктивностями рассеяния трансформатора L_s , на примере схемы рис.1.3, где e_{2i} – ЭДС i -ой фазы вторичной обмотки трансформатора; e_{si} –

ЭДС, обусловленная индуктивностью рассеяния i -ой фазы. Положим, что $L_{др}$ велико, и ток через нагрузку постоянен. Процесс коммутации тока с вентиля 1 на вентиль 2 начинается с момента $\omega t = \frac{\pi}{m}$, т.е. когда ЭДС 1-й фазы e_{21} , уменьшаясь, становится равной возрастающей ЭДС 2-й фазы e_{22} . В схеме без L_S ток первой фазы i_{21} скачком спадает, а ток второй фазы i_{22} скачком возникает (рис.1.2г; 1.2д). В схеме с индуктивностями в цепях вторичных обмоток скачкообразные изменения токов невозможны. Поэтому при $\omega t > \pi/m$ ток i_{21} плавно спадает, а ток i_{22} плавно нарастает (рис.1.4б, 1.4в). Для этого интервала времени

$$I_d = i_{21} + i_{22}.$$

Уравнение ЭДС для контура коммутации (e_{21} , L_S , L_S , e_{22}) имеет вид:

$$e_{21} + e_{s1} - e_{22} - e_{s2} = 0,$$

$$\text{где: } e_{s1} = -L_S \frac{di_{21}}{dt}; \quad e_{s2} = -L_S \frac{di_{22}}{dt},$$

или

$$L_S \cdot \left(\frac{di_{21}}{dt} - \frac{di_{22}}{dt} \right) = e_{21} - e_{22}.$$

$$\text{Т.к. } I_d = \text{const, то } \frac{di_{21}}{dt} = -\frac{di_{22}}{dt} \text{ и } \frac{di_{21}}{dt} = \frac{e_{21} - e_{22}}{2L_S}.$$

С учетом принятого начала координат (рис.1.4а)

$$e_{21} = E_{21} \cdot \cos \omega t$$

$$e_{22} = E_{22} \cdot \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{m} \right).$$

Обычно $E_{21} = E_{22} = E$, поэтому

$$\frac{di_{21}}{dt} = \left(-\frac{E}{L_S} \right) \cdot \sin \left(\frac{\pi}{m} \right) \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{m} \right).$$

Интегрируя, получим:

$$i_{21} = \left(\frac{E}{\omega L_S} \right) \cdot \sin \left(\frac{\pi}{m} \right) \cdot \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{m} \right).$$

Для момента начала коммутации $\omega t = \frac{\pi}{m}$

$$i_{21} = \left(\frac{E}{\omega L_S} \right) \cdot \sin \left(\frac{\pi}{m} \right) = I_d.$$

Для момента конца коммутации $\omega t = \frac{\pi}{m} + \gamma$, где γ – угол коммутации:

$$i_{22} = I_d - i_{21} = I_d$$

или

$$I_d = \left(\frac{E}{\omega L_S} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) - \left(\frac{E}{\omega L_S} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) \cdot \cos \gamma,$$

откуда

$$\cos \gamma = 1 - \frac{I_d \cdot \omega \cdot L_S}{E \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)}.$$

При $\omega t > \frac{\pi}{m} + \gamma$ перекрытие фаз заканчивается. По второй фазе

проходит весь ток I_d , который мы полагаем неизменным. Падение напряжения на индуктивности рассеяния этой фазы становится равным нулю, а выпрямленное напряжение равным ЭДС e_{22} , значения которой оно достигает скачком (рис.1.4а).

В течение интервала перекрытия фаз выпрямленное напряжение меньше ЭДС e_{22} на величину падения напряжения $L_S \cdot (di_{22}/dt)$ и больше ЭДС e_{21} на $L_S \cdot (di_{21}/dt)$. Поскольку производные токов i_{21} и i_{22} равны между собой по абсолютному значению, выпрямленное напряжение равно $U_0 = 0.5 \cdot (e_{21} + e_{22})$.

Таким образом, в процессе коммутации выпрямленное напряжение равно не максимальному, а среднему значению ЭДС коммутирующихся фаз, т.е. происходит уменьшение действующего значения выпрямленного напряжения.

Среднее значение выпрямленного напряжения за время одного такта определяется выражением:

$$U_{B.c.p} = \left(\frac{m}{2\pi} \right) \int_0^{2\pi/m} u d\omega t = E \cdot \left(\frac{m}{\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) \cdot \left[\frac{1 - \left(I_d \cdot \omega \cdot L_S \cdot \frac{m}{\pi} \right)}{2 \cdot E \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)} \right].$$

Последнее уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$U_{B.c.p} = E \cdot \left(\frac{m}{\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right) - \left(I_d \cdot \omega \cdot L_S \cdot \frac{m}{2\pi} \right) = E_0 - R_{S0} \cdot I_d,$$

$$\text{где } E_0 = E \cdot \left(\frac{m}{\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{m}\right);$$

$$R_{S0} = \left(\frac{m}{2\pi} \right) \cdot \omega \cdot L_S.$$

Фактически уменьшение выходного напряжения по мере увеличения тока

нагрузки происходит также за счет падения напряжения на активных сопротивлениях диодов, обмотках трансформаторов, фильтрах. Поэтому можно записать:

$$U_{Bcp} = E_0 - (R_{S0} + R_W + R_{\Phi}) \cdot I_d + \Delta U_D,$$

где: R_W , R_{Φ} – активные сопротивления обмоток трансформатора и фильтров соответственно; ΔU_D – падение напряжения на диодах.

Это выражение представляет собой уравнение внешней характеристики трансформаторно-выпрямительного блока (рис.1.5). Данное уравнение справедливо, если $L > L_{кр}$, в противном случае, ток дросселя становится прерывистым, а выпрямленное напряжение оказывается большим, чем следует из уравнения (участок I внешней характеристики – малые значения тока нагрузки I_d). Кроме того, при больших значениях токов нагрузки угол коммутации γ может возрасти настолько, что включенными одновременно могут оказаться три и более вентиля. В этом случае уравнение также несправедливо, а внешняя характеристика с ростом тока нагрузки спадает более круто (участок III внешней характеристики).

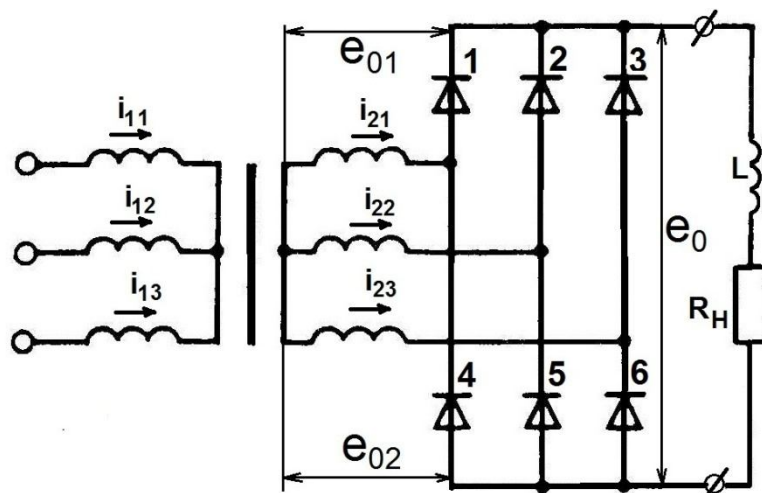


Рис.1.6

Большое распространение в выпрямительных устройствах получила схема трехфазного двухполупериодного выпрямителя – схема Ларионова (рис.1.6). Схема Ларионова строится на трехфазном трансформаторе и содержит шесть вентиля. Вентили 1, 2, 3 образуют один трехфазный выпрямитель с выходным напряжением e_{01} , являющимся огибающей положительных значений ЭДС всех трех фаз (рис.1.7а). Вентили 4, 5, 6 образуют второй трехфазный выпрямитель построенный на тех же обмотках трансформатора и создающий выпрямленное напряжение e_{02} . Это напряжение является огибающей отрицательных значений ЭДС всех фаз, т.к. вторая группа вентилях подсоединена к обмоткам катодами, а не анодами. Эти два выпрямителя имеют общую точку – среднюю точку вторичных обмоток и, таким образом, соединены последовательно. Их общее выходное напряжение:

$$e_0 = e_{01} + e_{02}.$$

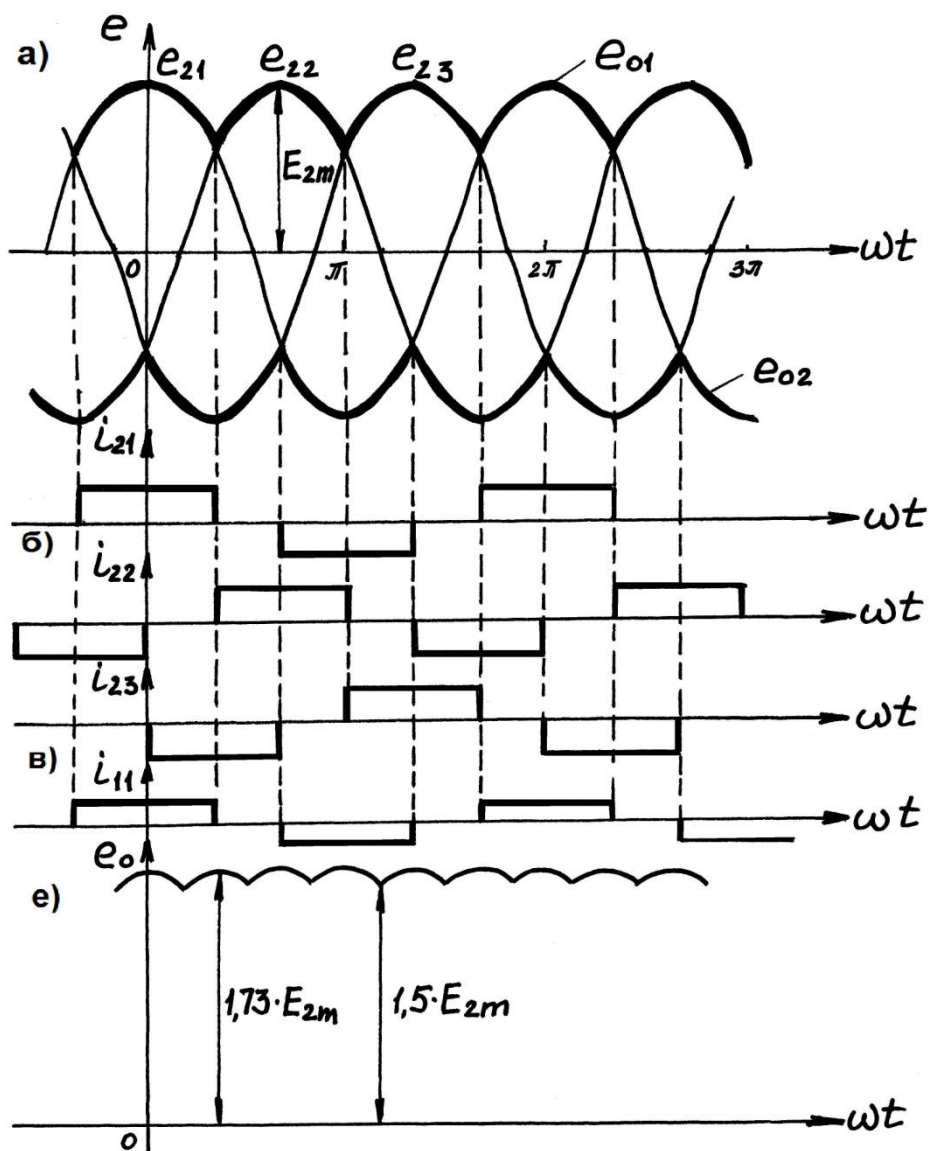


Рис.1.7

На выходе складываются только постоянные составляющие и четные гармоники пульсации. Нечетные гармоники в двух выпрямителях получаются в противофазе и при сложении компенсируются. Поэтому схема Ларионова имеет на выходе шестифазные пульсации (рис.1.7е), коэффициент пульсаций $K_{\Gamma}=0.06$.

Графики токов в фазах показаны на рис.1.7б. Ток вторичных обмоток не содержит постоянной составляющей, поэтому в схеме Ларионова нет вынужденного подмагничивания, а токи первичной обмотки повторяют по фазе соответствующие им токи вторичной обмотки (рис.1.7в).

2. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис.1.8) состоит из трехфазного трансформатора (Т1), выпрямительной схемы Ларионова (VD1...VD6), трех дросселей (L_{SA} , L_{SB} , L_{SC}), имитирующих индуктивности рассеяния трансформатора, двух шунтов, переключателя, нагрузки и контрольно-измерительном аппаратуре.

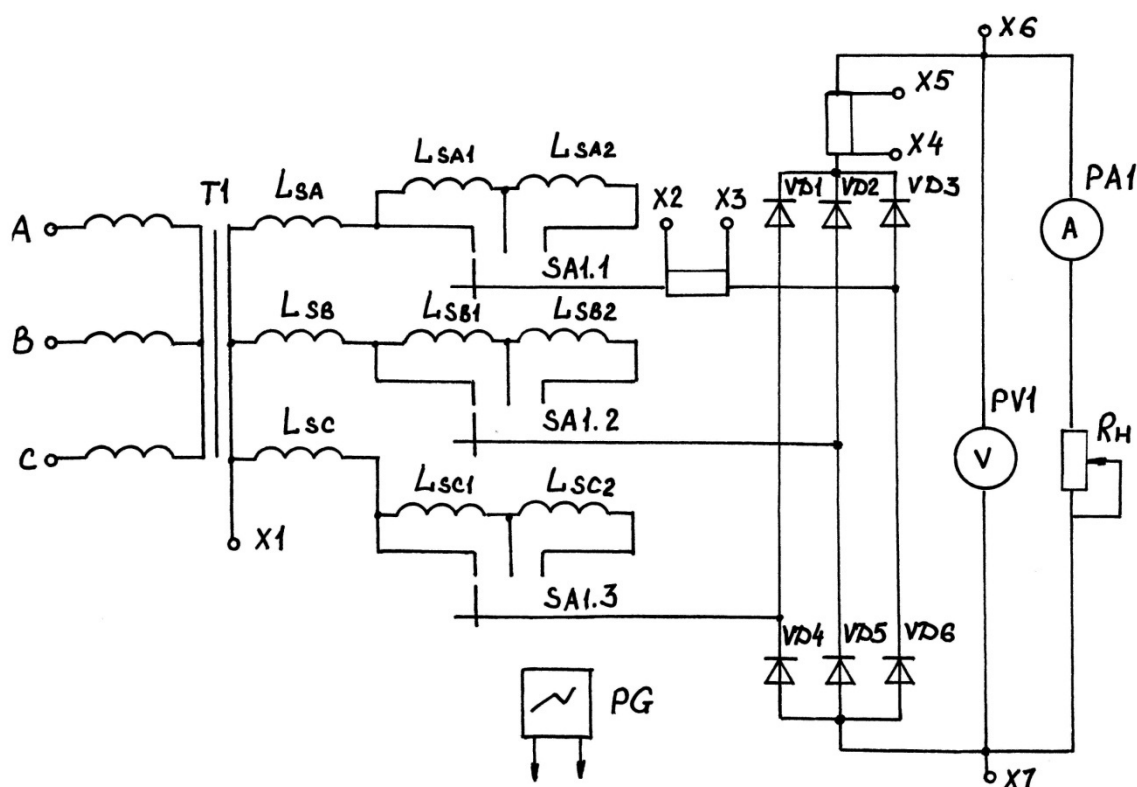


Рис.1.8

С помощью переключателя SA1 можно изменять величину индуктивного сопротивления рассеяния обмоток трансформатора. Для подключения осциллографа (PG) на лицевой панели стенда выведены контрольные точки X1...X7. Угол коммутации измеряют с помощью осциллографа, наблюдая осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке или тока в одной из фаз вторичной обмотки трансформатора. Максимальное значение выпрямленного тока не должно превышать 5А.

3. Задание к работе

- 1). Изучить схему лабораторной установки.
- 2). Снять зависимости $\gamma = f(I_d)$ для трех значений индуктивностей рассеяния трансформатора.
- 3). Измерить ЭДС фазы E (точки X1, X2) в режиме холостого хода. Пользуясь выражением для $\cos\gamma$ и данными предыдущего опыта, определить величину L_S для одного из положений переключателя SA1.
- 4). Измерить величину L_S прибором и сопоставить результаты измерений и расчета.
- 5). Снять осциллограмму тока вторичной фазы трансформатора (точки X2, X3).

6). Снять осциллограмму напряжения на нагрузке при I_{dmax} и L_{Smax} (точки X6, X7).

7). Снять внешние характеристики выпрямителя $U=f(I_d)$ для трех значений L_S . Результаты всех измерений занести в таблицу

таблица

I_d, A	
$\gamma, \text{рад}$	
U, B	

4. Содержание отчета

- 1). Краткие теоретические сведения, схема лабораторной установки.
- 2). Таблицы значений измерений, использованных для построения графиков.
- 3). Графики $\gamma = f(I_d)$; $U = f(I_d)$.
- 4). Осциллограммы напряжения на нагрузке и тока во вторичной обмотке трансформатора.
- 5). Результаты вычислений и измерений L_S .
- 6). Выводы согласно пунктам задания.

5. Контрольные вопросы

- 1). Что такое коммутация диодов выпрямителей?
- 2). От чего зависит угол коммутации?
- 3). Как влияет коммутация диодов выпрямителя на внешнюю характеристику трансформаторно-выпрямительного блока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКА РЕГУЛИРОВАНИЯ, ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ БРЗУ 115В

Цель работы

Целью работы является изучение функций, устройства и алгоритмов блока регулирования защиты и управления каналом генерирования СЭС переменного тока.

1. Основные положения

Блок БРЗУ 115В предназначен для регулирования напряжения, защиты и управления каналом в системах генерирования трехфазного переменного тока стабильной частоты с бесщеточным генератором и встроенным трехфазным

подвозбудителем, имеющими выведенные нейтрали. Блок обеспечивает автоматическое подключение генератора к бортовой шине, контроль качества электрической энергии в канале генерирования и диагностирование состояния канала. Блок может работать в системах как с гидроприводами, так и с пневмоприводами.

Регулятор напряжения блока поддерживает номинальный уровень фазного напряжения в канале генерирования 117 В. Статическая погрешность регулирования при всех условиях эксплуатации не превышает 4 В, т. е. фазное напряжение находится в пределах (115... 119) В. Модуляция напряжения в установившемся режиме работы не более 3, 5 В. Регулятор может обеспечить равномерную загрузку реактивной мощностью генератора при параллельной работе. Для этого в блоке БРЗУ 115В есть дополнительные клеммы, к которым может подключаться блок управления параллельно работающими генераторами (БУПР).

1.1. Блок обеспечивает следующие функции управления:

а) выдачу сигнала на включение электромагнита воздушной заслонки в системах с пневмоприводом при выполнении следующих условий:

- включен выключатель нагрузки канала (ВКн);
- снят запрет $n \downarrow \text{дв}$ (сигнал $n \downarrow \text{дв}$ - обороты авиадвигателя понижены);

б) снятие сигнала на включение электромагнита воздушной заслонки (сигнал ПРВ) в системах с пневмоприводом при выполнении одного из следующих условий:

- выключен выключатель ВКн;
- подан запрет $n \downarrow \text{дв}$;
- сработала любая из защит (отключение необратимое), кроме защиты от сильного снижения частоты;

в) включение возбуждения генератора (сигнал Вг) при выполнении следующих условий:

- включен выключатель ВКн;
- снят запрет $n \downarrow \text{дв}$;
- частота вращения генератора (f) лежит в пределах, соответствующих частоте переменного напряжения генератора $(385 \pm 5) < f < (415 \pm 5) \text{Гц}$;

г) отключение возбуждения генератора при выполнении одного из следующих условий:

- выключен выключатель ВКн;
- подан запрет $n \downarrow \text{дв}$;
- сработала любая из необратимых защит;
- сработала обратимая защита от сильного снижения частоты ($f \downarrow \downarrow$);

д) выдача сигнала на включение контактора генератора при выполнении следующих условий:

- включено возбуждение генератора;

-напряжение генератора во всех фазах $(111 \pm 3) < U_r < (126 \pm 3) \text{ В}$;

е) снятие сигнала на включение контактора генератора при выполнении одного из условий:

-выключен выключатель ВКн;

-выключено возбуждение генератора одной из защит;

ж) выдача сигнала на расцепление привода от двигателя в системах с гидроприводом или интегральным приводом - генератором при срабатывании защиты от сильного повышения частоты (разнос);

з) снятие сигнала на расцепление привода от двигателя при снижении частоты его вращения ниже уровня срабатывания защиты от сильного снижения частоты;

и) выдача сигнала "готовность" (Г) при положительном результате встроенной системы контроля (ВСК) с последующим подхватом любым из сигналов Кн (сигнал включения контактора нагрузки генератора), ЗКн (сигнал запрета включения контактора нагрузки) , Вг или δКн (сигнал блок-контактов контактора нагрузки).

1.2. Блок обеспечивает следующие виды защит:

а) от коротких замыканий в генераторе или его фидере;

б) от повышения напряжения ($U \uparrow$) в любой из фаз выше уровня $(126 \pm 3) \text{ В}$ с обратозависимой вольт-секундной характеристикой, со следующими значениями выдержки времени при однофазном повышении напряжения:

132В - $(0.5 \dots 6.0) \text{ с}$; 140В - $(0.2 \dots 1.4) \text{ с}$; 150В - $(0.1 \dots 0.8) \text{ с}$.

Наибольшая выдержка времени $(6 \pm 0.9) \text{ с}$;

в) от снижения напряжения ($U \downarrow$) в любой из фаз ниже уровня $(104 \pm 3) \text{ В}$ с выдержкой времени $(6 \pm 0.9) \text{ с}$;

г) от отклонения частоты ($f \downarrow \uparrow$): $f > (425 \pm 5) \text{ Гц}$ или $f < (375 \pm 5) \text{ Гц}$ с выдержкой времени $(6 \pm 0.9) \text{ с}$;

д) обратимая защита от сильного снижения частоты в вертолетной системе ниже $(355 \pm 5) \text{ Гц}$ ($f \downarrow \downarrow$) с выдержкой времени $(6 \pm 0.9) \text{ с}$;

е) от сильного повышения частоты ($f \uparrow \uparrow$) (разнос) выше уровня $(465 \dots 480) \text{ Гц}$ без выдержки времени;

ж) обратимая защита от сильного снижения частоты ($f \downarrow \downarrow$) (останов) ниже уровня $(320 \dots 335) \text{ Гц}$ без выдержки времени;

з) от работы при полностью открытом регуляторе напряжения блока и от нулевой последовательности в напряжении генератора более $(3 \pm 1.5) \text{ В}$ с выдержкой времени $(6 \pm 0.9) \text{ с}$;

Алгоритм перечисленных функций управления и защиты имеет следующий вид:

-управление приводом

$$ПРВ = ВКн \cdot \left[f \uparrow \uparrow \cdot ГП + \overline{ГП} \cdot \overline{(n \downarrow \downarrow \delta v \cdot \bar{H} + СПРВ)} \right] \cdot \bar{O} \quad (2.1)$$

Здесь V_{Kn} – логическая переменная, принимающая значение $V_{Kn}=1$, если выключатель канала генерирования находится в положении «включено».

Пневмопривод может отбирать воздух от авиадвигателя, если скорость турбины последнего не менее определенной величины, в противном случае отбор воздуха от авиадвигателя запрещен. С этой целью в уравнение вводится переменная «обороты двигателя понижены» - $n \downarrow ДВ = 1$. Если обороты в норме, то $\overline{n \downarrow ДВ} = 1$.

Так как блок БРЗУ 115В должен обеспечивать работу систем с гидроприводом и пневмоприводом, причем функционирование должно быть различным, то в блок подается соответствующий различающий сигнал ГП (при работе с гидроприводом $ГП=1$). При нормальной работе канала с гидроприводом сигнал ПРВ=0. При чрезмерном повышении частоты ($f \uparrow \uparrow = 1$) ПРВ=1, и этот сигнал поступает на муфту расцепления, которая расцепляет гидропривод от вала авиадвигателя. В системах с пневмоприводом значение сигнала ПРВ=1 соответствует открытию воздушной заслонки. Воздушная заслонка закрывается при возникновении неисправности в канале ($H=1$) или нормальном отключении канала. При имитировании неисправностей встроенным самоконтролем пневмопривод также не отключается благодаря специальному сигналу СПРВ (во время контроля СПРВ=1). С момента включения БРЗУ и до окончания процессов в его источнике питания, формируется кратковременный сигнал обнуления ($O=1$). По этому сигналу все триггерные и счетные элементы блока устанавливаются в исходное состояние, что исключает, ложную работу логики во время переходного режима блока питания;

-включение возбуждения генератора:

$$V_{Г} = V_{Kn} \cdot \overline{n \downarrow ДВ} \cdot \overline{H} \cdot \overline{СПИ} \cdot (\overline{f \downarrow \uparrow} + \overline{f \downarrow \downarrow} \cdot V_{Г}) \cdot \overline{O}. \quad (2.2)$$

Включение возбуждения производится при отсутствии сигнала $f \downarrow \uparrow$ (частота не в норме $f \downarrow \uparrow = 1$). Отключение возбуждения генератора производится при срабатывании любой из защит H или при чрезмерном снижении частоты $f \downarrow \downarrow$ (при этом $f \downarrow \downarrow = f \downarrow \uparrow = 1$), причем отключение возбуждения является необратимым в случае срабатывания любой из защит H . При чрезмерном снижении частоты ($f \downarrow \downarrow = 1$) действие защиты обратимо, возбуждение будет включено вновь как только частота войдет в заданные пределы т.е. $f \downarrow \uparrow = 0$.

Перед включением канала генерирования встроенная система контроля ВСК осуществляет проверку всех измерителей БРЗУ, в том числе и измерителя частоты. При подаче сигнала проверки измерителей ($СПИ=1$) они должны установиться в нормальное состояние. После снятия стимулов возбуждение включается только после измерения частоты;

-формирование сигнала неисправности (H):

$$H = \overline{O} \cdot \overline{3H} \cdot (K3 + f \uparrow\uparrow + t + H) \quad (2.3)$$

При возникновении короткого замыкания (КЗ) или $f \uparrow\uparrow$ сигнал неисправности формируется без выдержки времени. Все остальные защиты срабатывают с задержкой (сигнал t). Необратимость действия защит обеспечивает слагаемые H в уравнении (2.3). Сигнал $3H$ приходит в логику H из схемы ВСК для сброса памяти неисправности после ее имитации; сигнал на выходе выдержки времени:

$$t = V_{\Gamma} \cdot (U \downarrow + U \uparrow + f \downarrow\uparrow + ДУ) \cdot [V_{\Gamma}(U \downarrow + U \uparrow + f \downarrow\uparrow + ДУ)]^{\tau} \quad (2.4)$$

$ДУ$ - сигнал диагностирующего устройства. Оно предназначено для того, чтобы отличить обрывы и КЗ в зоне "генератор-фидер" от ложных срабатываний защиты $U \uparrow$ и $U \downarrow$. В логическом уравнении τ - время задержки срабатывания защиты. Запись $y = x^{\tau}$ означает, что y примет значение x через время τ ;

-команда на включение контактора генератора:

$$K_{\text{н}} = V_{K_{\text{н}}} \cdot V_{\Gamma} \cdot \overline{3K_{\text{н}}} \cdot \overline{O} \cdot [ВСК(\overline{\delta}_{K_{01}} \cdot \overline{\delta}_{K_{02}} + K_{\text{нп}}) + K_{\text{н}} + 3K_{\text{н}}] \quad (2.5)$$

Включение контактора генератора происходит при выполнении следующих условий: выключатель канала $V_{K_{\text{н}}}$ включен, стабилизатор блока питания БРЗУ вышел на режим ($\overline{O} = 1$); включено возбуждение генератора и отсутствует внешний запрет $3K_{\text{н}}$ (данный сигнал может вводиться, если при питании потребителей от аэродромного источника преимущество отдается аэродромному источнику или в других случаях); закончился с положительным результатом цикл ВСК и не сработал ни один из измерительных органов защит; отсутствуют сигналы $\delta_{K_{01}}$ и $\delta_{K_{02}}$ с блок-контактов контакторов объединения (для систем с включающимися контакторами нагрузки и объединения бортов), или есть команда ($K_{\text{нп}}$) на включение парного канала (для систем с переключающимися контакторами внутри борта и включающимися контакторами объединения бортов).

После выдачи команды на $K_{\text{н}}$ сигналы ВСК, $\delta_{K_{01,2}}$ и $K_{\text{нп}}$ блокируются.

При снятии сигнала $3K_{\text{н}}$, после включения выключателя канала $V_{K_{\text{н}}}$, контактор включается без режима ВСК. Отключение $K_{\text{н}}$ происходит после выключения возбуждения;

-готовность к подключению генератора к нагрузке:

$$\Gamma = ВСК + K_{\text{н}} + \delta_{K_{\text{н}}} + 3K_{\text{н}} \cdot V_{\Gamma} \quad (2.6)$$

Формирование сигнала готовности (Γ) генератора к подключению на распределительные шины необходимо, если блок БРЗУ 115В используется в системе с включающимися контакторами объединения. Если перед включением контактора генератора проверяется отключение контактора объединения, то блок БРЗУ 115В должен выдать в блок коммутации шин, управляющий контакторами объединения, упреждающий сигнал о готовности включения на

нагрузку. По сигналу Г контактор (или контакторы) должен(ы) отключиться, разрешив тем самым включение контактора подключаемого генератора. Сигнал Г появляется при появлении сигнала ВСК, а после выдачи команды на контактор удерживается сигналом Кн или $\delta_{Кн}$. Необходимость в сигнале с блок-контактов контактора генератора обусловлена тем, что для исключения возможности несинхронных встреч при отключении канала включение контактора объединения должно начинаться лишь после отключения контактора генератора. При наличии сигнала ЗКн (например, при неисправности на шинах) должно быть запрещено подключение на шины не только своего генератора, но и других источников. Поэтому при наличии сигнала ЗКн ·Вг также выдается сигнал готовности.

1.3. Устройство блока БРЗУ 115 В0-2С.

Функциональная схема блока БРЗУ 115 В0-2С представлена на рис.2.1.

Блок является унифицированным. Он может работать в СЭС стабильной и нестабильной частоты с пневмоприводом, гидроприводом или гидролопаточным приводом, в системах с включающими или переключающими контакторами. Поэтому способы его подключения, в зависимости от системы генерирования, различны.

В системах с гидроприводом на вход Гп (X1:14Н) подается постоянное напряжение +27 В. При этом на выходе ПРВ (X1:11Н) появляется сигнал только при $f\uparrow\uparrow$ и держится до тех пор, пока частота вращения генератора не снизится до $f\downarrow\downarrow$ вследствие срабатывания муфты расцепления привода.

В системах с гидролопаточным приводом (ПГЛ) на вход Гп (X1:14Н) также подается +27 В, но для ограничения момента привода при срабатывании защит $f\uparrow\uparrow$ используется сигнал ПГЛ (X1:28В), который не снимается до отключения питания.

В системах с пневмоприводом вход Гп (X1:14Н) не задействуется, это приводит к тому, что на выходе ПРВ (X1:11Н) при нормальной работе блока постоянно присутствует сигнал +27 В, подаваемый на пусковую заслонку пневмопривода. Сигнал снимается только при появлении неисправностей или при нормальном останове, а также при выключении канала.

В вертолетных системах нестабильной частоты X1:35В заземляется, что приводит к запрету защит $f\downarrow$ и $f\uparrow\uparrow$, а защита $f\downarrow$ имеет уровень (355 ± 5) Гц или (350 ± 5) Гц, если еще заземлен X1:36В. Если, кроме X1:35В, заземлить и X1:33В, то запрещается и $f\downarrow$.

В системах, где резервирование каналов генерирования осуществляется с помощью переключающих контакторов, сигнал Г и выводы со вспомогательных контактов контакторов (X1:12Н, 3Н, 13Н, 4Н) не используются.

При использовании блока в канале с низкой точностью поддержания частоты вращения на вход Кнf (X1:27Н) вместо сигнала Кн с X1:47Н подается

Функциональная схема блока БРЗУ115В0 2с

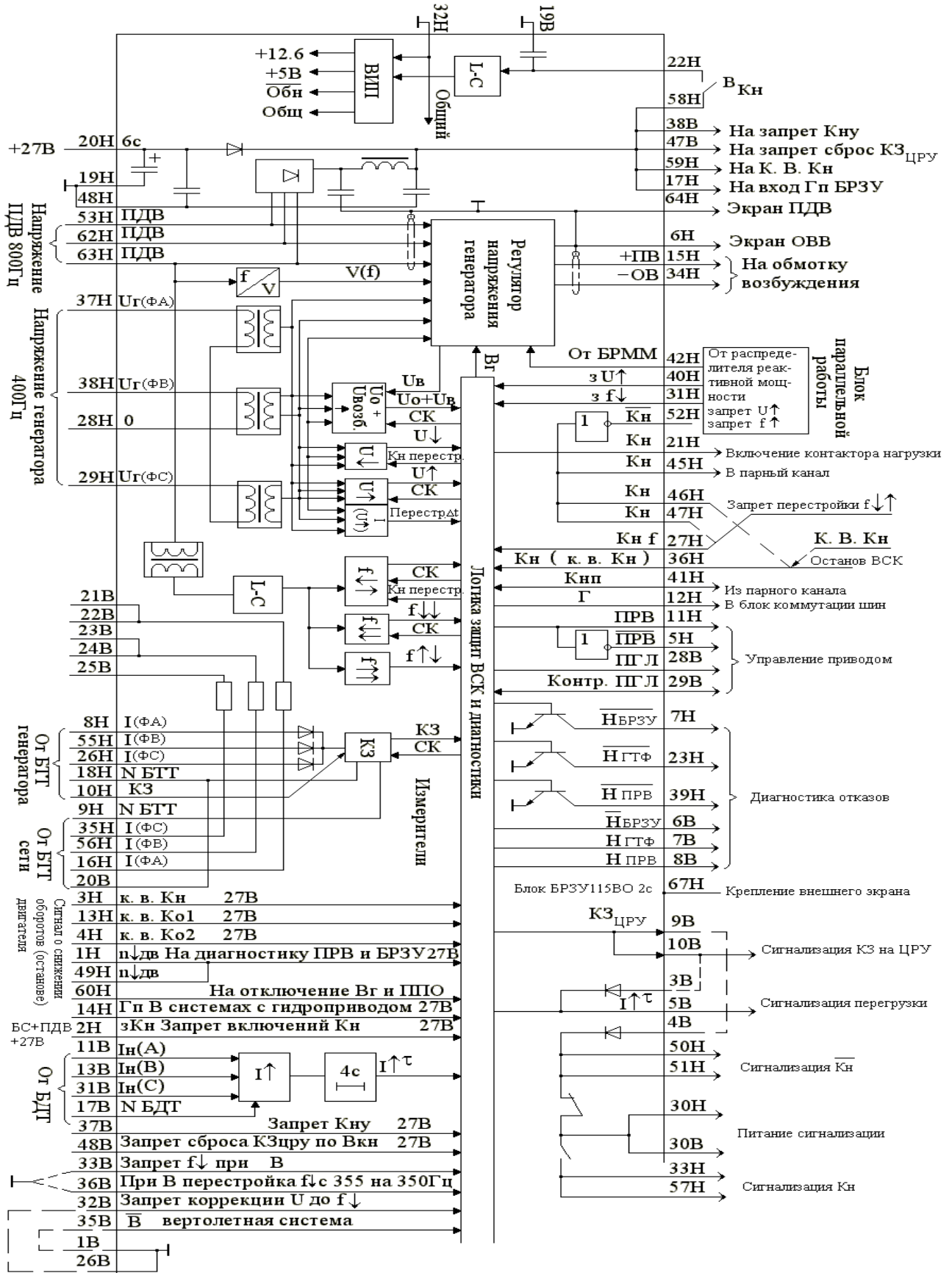


Рис. 2.1

сигнал +27 В постоянного тока, тем самым исключается более точная, по сравнению с уровнями защиты, проверка частоты перед подключением канала к нагрузке.

Контактор нагрузки, если он имеет вспомогательный контакт, может быть охвачен встроенным контролем. Для этого на X1:36Н блока вместо сигнала Кн(X1:46Н) подается сигнал со вспомогательного контакта контактора.

Если наряду с включающими контакторами объединения бортов используются переключающие контакторы нагрузки внутри борта, то на X1:41Н блока подается сигнал Кнп с парного канала. Это позволяет включить второй сигнал на борту, не требуя отключения контактора объединения бортов.

В системах без параллельной работы входы блока (X1:31Н, 40Н, 42Н) не задействуются.

В системах, где продольная дифференциальная токовая защита построена по принципу "сравнения напряжения", измерительный элемент блока подключается через X1:10Н, 9Н.

Если продольная дифференциальная защита построена по методу "циркуляции токов", то уравнивательные цепи защиты замыкаются через X1: 8Н, 55Н, 26Н, 18Н, 9Н, 35Н, 56Н, 16Н.

Сигналы: $\overline{H_{БРЗУ}}$ (неисправность БРЗУ), $\overline{H_{ГТФ}}$ (неисправность фидера), $\overline{H_{ПРВ}}$ (неисправность привода), выдаваемые через X1: 7Н, 23Н, 39Н, и диагностирующие отказы в одной из трех зон канала генерирования выходят из блока со схем с "открытым" коллектором транзистора и имеют низкий уровень (потенциал "земли") при наличии соответствующей неисправности. Сигналы $H_{БРЗУ}$, $H_{ГТФ}$, $H_{ПРВ}$, выдаваемые с X1:6В, 7В, 8В, имеют уровень +27 В и запоминаются при выключении Вкн. Сброс памяти осуществляется повторным включением Вкн.

Сигнал ЗКн может быть подан на X1: 2Н если в процессе работы есть необходимость в отключении генератора от основной нагрузки. При этом генератор остается возбужденным и может быть подключен на другие шины. При использовании сигнала ЗКн контактор нагрузки не может быть включен в зону дифференциальной защиты и не охватывается встроенным контролем.

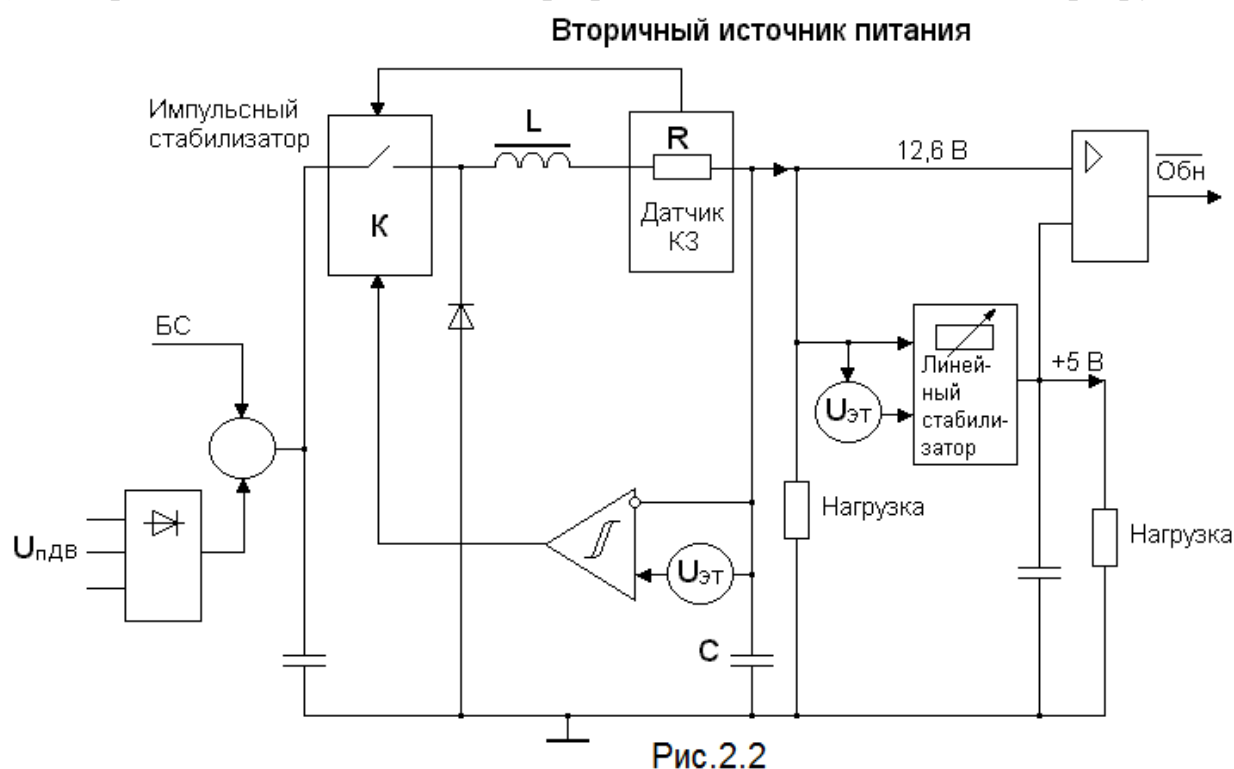
Основными элементами блока являются: встроенный источник питания ВИП, регулятор напряжения РНТ 115В, силовые трансформаторы, измерители защит по частоте, напряжению, токовой нагрузке генератора, платы логики, встроенного контроля и диагностики.

Вторичный источник питания (ВИП) через выключатель Вкн подключается к бортовой сети (БС) +27 В через контакт 20Н (рис.2.1). Кроме того, он подключен к подвозбудителю через выпрямитель и L-C фильтр. Развязка этих двух источников обеспечивается диодами. Благодаря такому

подключению ВИП, блок БРЗУ будет запитан даже при отсутствии напряжения в бортовой сети. ВИП предназначен для питания функциональных узлов блока постоянным стабилизированным напряжением 12,6 В и 5 В. Как видно из функциональной схемы (рис.2.2), ВИП представляет собой двухкаскадный стабилизатор: напряжение 12,6 В получается путем широтно-импульсной стабилизации входного напряжения, а напряжение 5 В (более точно) – путем линейного регулирования напряжения 12,6 В. Импульсный стабилизатор состоит из транзисторного ключа (К), управляемого компаратором, который сравнивает выходное напряжение с опорным. Непрерывность тока в нагрузке при широтно-импульсном регулировании обеспечивается L-С фильтром.

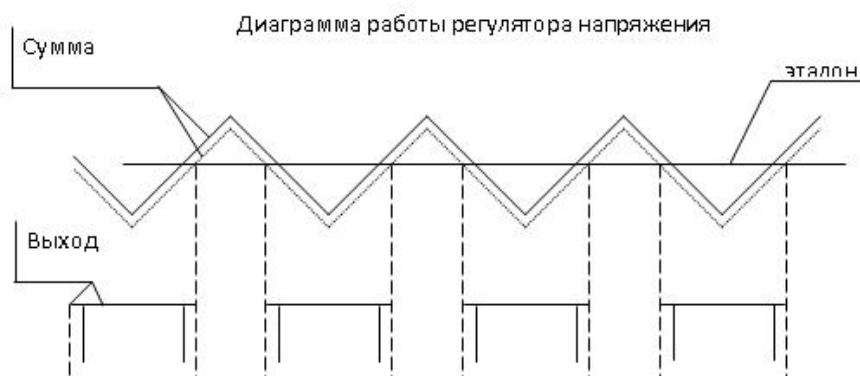
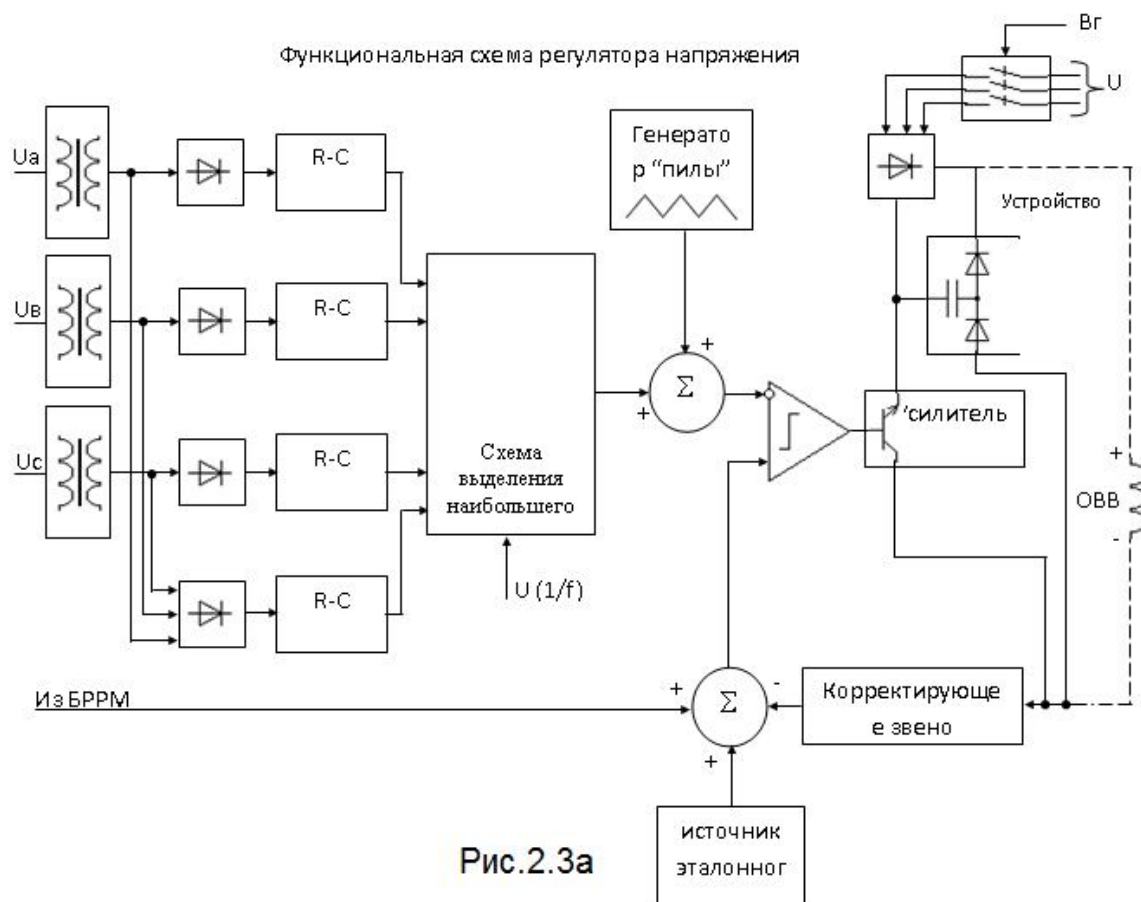
Контроль уровня напряжения обоих источников импульсного и линейного стабилизаторов производится с помощью специальной схемы, которая в процессе выхода ВИП на режим выдает сигнал (0), обнуляющий схемы памяти БРЗУ.

ВИП имеет защиту от перегрузки по току и коротких замыканий (датчик КЗ), которая отключает стабилизатор при возникновении токовых перегрузок.



Регулятор напряжения поддерживает в заданных пределах среднее по трем фазам напряжение в симметричных режимах и ограничивает наибольшее из фазных напряжений в аварийных несимметричных режимах работы системы генерирования.

Функциональная схема регулятора напряжения представлена на рис.2.3а. Фазные напряжения генератора с помощью трансформаторов понижаются до



уровня 30 В, выпрямляются, фильтруются и поступают на схему выделения наибольшего напряжения. Сюда же поступает сигнал, пропорциональный среднему значению напряжения трех фаз, а также сигнал, пропорциональный снижению частоты $U(1/f)$. Схема выделяет наибольший из перечисленных сигналов и выдает его на сумматор, где он суммируется с пилообразным напряжением:

в полнофазном режиме при нормальной частоте наибольший сигнал - напряжение, среднее по трем фазам;

в неполнофазном режиме наибольший сигнал - напряжение в одной из фаз;

при снижении частоты наибольший сигнал - напряжение, пропорциональное снижению частоты.

Сумма сигналов поступает на вход компаратора, где сравнивается с опорным напряжением. Полученный таким образом широтно-модулированный сигнал (рис.2.3б) после усиления идет на управление током возбуждения возбудителя. На рис.2.3б пунктиром показано изменение сигнала на выходе компаратора при снижении напряжения генератора. Таким образом, скважность управляющих импульсов изменяется с изменением напряжения генератора.

В несимметричных режимах, когда хотя бы один из сигналов, пропорциональный фазному напряжению становится больше сигнала, пропорционального напряжению, среднему по трем фазам, регулятор работает в режиме ограничения фазного напряжения.

В режиме снижения частоты, когда сигнал, пропорциональный снижению частоты, становится больше сигнала, пропорционального напряжению, среднему по трем фазам, регулятор работает при напряжении, пропорциональном частоте, что обеспечивает ограничение мощности при работе с гидролопаточными приводами в режимах КЗ в сети.

Эталонное напряжение, подаваемое на компаратор, представляет собой сумму трех сигналов: собственно эталонного сигнала, сигнала с распределителя реактивной мощности БРРМ (при наличии параллельной работы) и сигнала с корректирующего звена, обеспечивающего требуемое качество переходных процессов в системе регулирования.

Питание обмотки возбуждения возбудителя (ОВВ) осуществляется выпрямленным напряжением подвозбудителя, подключение которого к регулятору напряжения производится по внешнему сигналу Вг.

Измеритель защиты по частоте (рис.2.4) питается от подвозбудителя (Упдв). Принцип измерения основан на сравнении эталонных напряжений с напряжением, пропорциональным частоте входного сигнала. Измеряемый сигнал после трансформатора и фильтра поступает на вход формирователя импульсов (Ф). На выходе формирователя получают импульсы с крутыми фронтами. Этими импульсами запускается эталонный одновибратор.

Сигнал с одновибратора используется не только в блоке частоты, но и выдается в блок защиты сети в схему ограничения напряжения. После фильтрации с помощью R-C фильтра последовательности импульсов, поступающей с одновибратора, получается напряжение, пропорциональное частоте. Это напряжение и эталонные напряжения поступают на входы компараторов. Срабатывание компараторов происходит при достижении частотой заданного значения.

Функциональная схема измерителя защиты по частоте

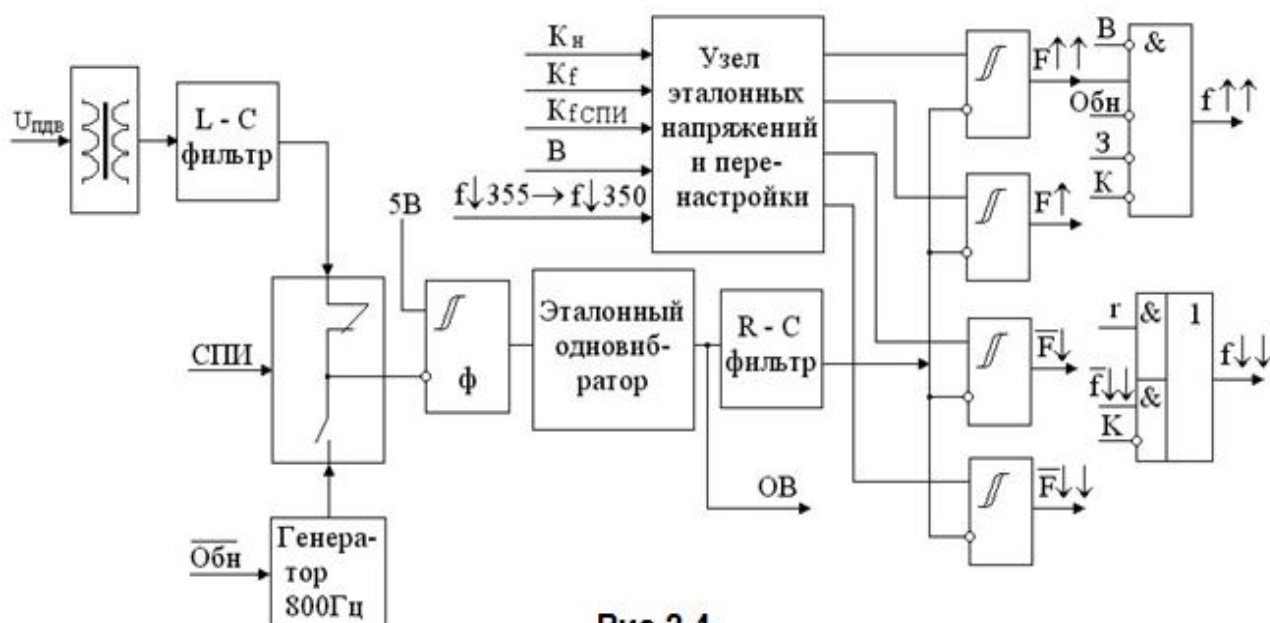


Рис.2.4

Эталонные напряжения формируются с помощью резисторных делителей, перестраиваемых с помощью ключей в зависимости от значения входных сигналов K_n , K_f , $K_{fспи}$, V и $(f \downarrow 355, f \downarrow 350)$. Сигналы K_f и $K_{fспи}$ используются при контроле частотных защит.

В режиме диагностирования по сигналу проверки измерителей (СПИ) вход формирователя импульсов переключается с $U_{пдв}$ на сигнал эталонного генератора с частотой 800 Гц.

Измеритель защиты по напряжению реагирует на напряжение в каждой из фаз. Напряжение генератора (рис.2.5) подается в измеритель с понижающих разделительных трансформаторов. Напряжение каждой из фаз выпрямляется и фильтруется R-C фильтром. Затем оно выдается в схемы выделения наибольшего и наименьшего значений. Эти значения напряжения сравниваются: каждое на своем компараторе с эталонным значением. На выходе компараторов получают сигналы $U \downarrow$ и $U \uparrow$, которые, наряду с сигналами с других защит, запускают выдержку времени. Сигнал t с выхода выдержки времени используется для отключения канала.

На рис.2.6 приведена принципиальная схема измерителя фазных напряжений. Напряжения фаз выпрямляются с помощью диодов $VD1 \dots VD3$ и нормализуются по уровню с помощью резистивных делителей $R6 \dots R11$. На одно плечо дифференциального усилителя (база $VT2$ для измерителя повышенного напряжения или база $VT9$ для измерителя пониженного напряжения) подается эталонное напряжение от резистивного делителя $R1, R2$ или $R16, R18$. На другое плечо дифференциального усилителя, которое состоит

из трех параллельно включенных транзисторов VT3...VT5 (или VT6...VT8), подаются напряжения фаз.

Измеритель защиты по напряжению

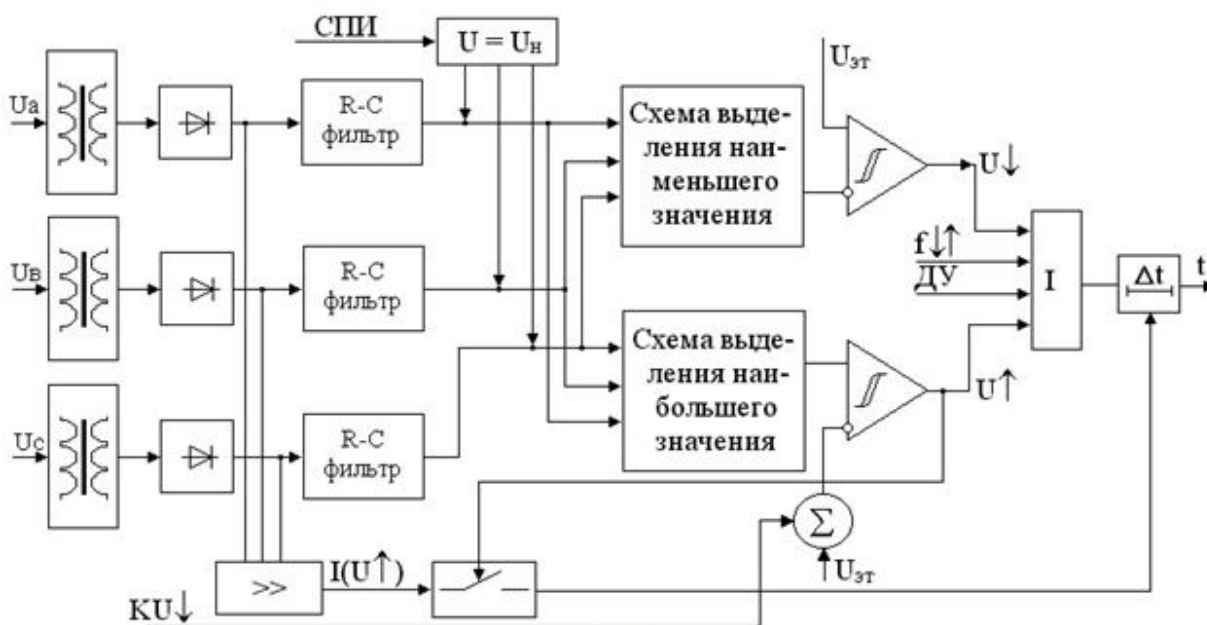


Рис.2.5

Рассмотрим работу измерителя при повышении напряжения. При

Принципиальная схема измерителей фазных напряжений

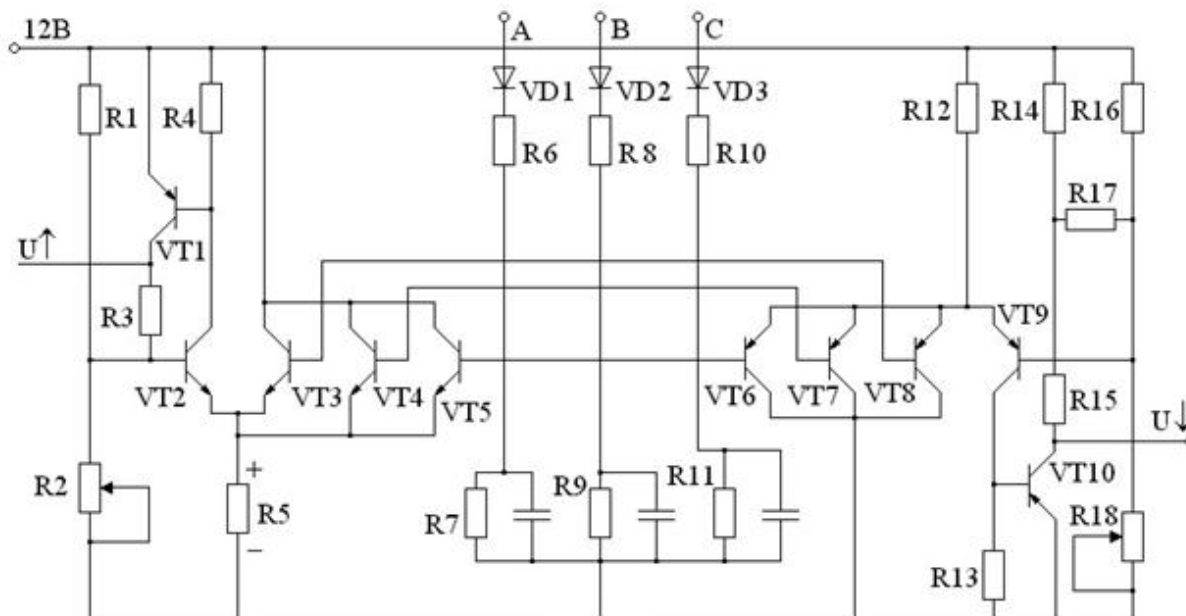
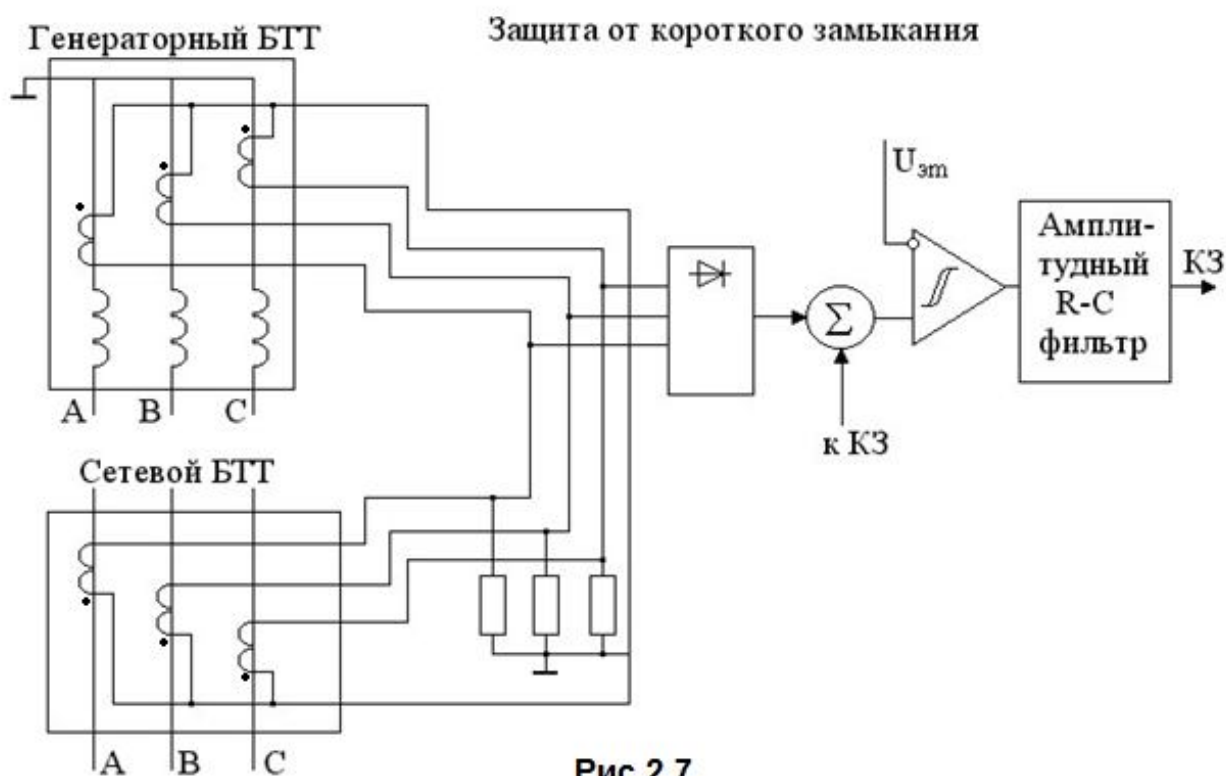


Рис.2.6

нормальных условиях транзистор VT2 открыт, а VT3...VT5 закрыты. При напряжении в любой из фаз выше потенциала базы VT2 соответствующий транзистор открывается и вследствие увеличения тока через R5 транзистор VT2 закрывается. При этом потенциал базы транзистора VT1 будет возрастать, что приведет к его запирающему и, следовательно, к более быстрому запирающему VT2, т.е. транзистор VT1 создает положительную обратную связь, вследствие чего характеристика измерителя будет иметь релейный характер. Сигнал о повышении напряжения снимается с резистора R3.

Если выдержка времени запущена сигналом $U\uparrow$ (рис.2.5), то ее значение уменьшается пропорционально степени повышения напряжения по сигналу $I(U\uparrow)$ от источника тока, управляемого напряжением.

Для диагностирования отказов на вход измерителей по сигналу СПИ после отключения возбуждения подается напряжение, равное номинальному. При контроле в измеритель подается стимул $K U\uparrow$, по которому сначала появляется сигнал $U\uparrow$, а затем после отключения возбуждения - сигнал $U\downarrow$.



Защита от короткого замыкания представляет собой дифференциальную продольную токовую защиту, охватывающую статорные обмотки генератора и его фидера. Функциональная схема защиты показана на рис.2.7. Защита включает в себя два блока трансформаторов тока (БТТ), один из которых расположен в генераторе, а другой - на его фидере вблизи ЦРУ. Обмотки трансформаторов, расположенных на одноименных фазах, включены встречно.

Если на защищаемом участке нет короткого замыкания, то э.д.с. во вторичных обмотках трансформаторов равны, а их разность, которая выделяется на резисторе, равна нулю. При возникновении короткого замыкания на фидере или в обмотках генератора, э.д.с. трансформаторов будут отличаться по величине и по фазе и на резисторе появится напряжение, пропорциональное разности токов в начале и в конце защищаемого участка.

Сигнал, пропорциональный разности сравниваемых токов, выпрямляется и поступает на компаратор. Если входной сигнал превышает заданный уровень, то компаратор срабатывает и сигнал с его выхода, пройдя через R-C фильтр, обеспечивающий помехозащищенность, поступает в блок логики. На сумматор может также подаваться сигнал контроля защиты (ККЗ).

Встроенный самоконтроль (ВСК) осуществляется автоматически каждый раз после включения канала, причем разрешение на включение контактора генератора выдается лишь при отсутствии неисправности в системе.

Цикл ВСК начинается сразу после включения выключателя канала. Пока блок питания не вышел на режим, им выдается сигнал обнуления. После выхода на режим источника питания, сигнал обнуления снимается и схемой ВСК выдается сигнал проверки измерителей (СПИ). Сигнал СПИ необходим для выявления ложных срабатываний измерителей напряжения и частоты блока БРЗУ 115В. По сигналу СПИ на входы измерителей частоты и напряжения подаются сигналы, соответствующие нормальным значениям измеряемых параметров. Чтобы при сигнале СПИ не произошло ложного включения возбуждения генератора, сигнал Вг блокируется (см. уравнение 2.2). После проверки отсутствия ложных срабатываний измерителей и прежде чем снять сигнал СПИ, выдается стимул $K_{f_{спи}}$, устанавливающий измеритель частоты в положение "частота не в норме". Это необходимо для того, чтобы избежать включения Вг без проверки частоты.

Сигнал СПИ входит слагаемым в логическое уравнение, описывающее неисправность блока Н_{БРЗУ}.

$$N_{БРЗУ} = 0 + СПИ + Гп \cdot ПРВ + \dots$$

Если по сигналу СПИ измерители не отпустят или по сигналу $K_{f_{спи}}$ не появится сигнал $f^{\uparrow\downarrow}$, то сигнал СПИ не будет снят, и, следовательно, останется сигнал Н_{БРЗУ}.

После снятия сигналов СПИ и $K_{f_{спи}}$ проверяется частота вращения генератора.

Если уже проверенный измеритель частоты фиксирует, что частота не в норме, то появляется сигнал неисправности привода.

$$N_{ПРВ} = \overline{N_{БРЗУ}} \cdot \overline{Вг} \cdot \overline{Н} \cdot n \downarrow дв \cdot f \downarrow \uparrow + \dots$$

Если частота в норме, включается возбуждение Вг. Не включение Вг при

нормальной частоте свидетельствует о неисправности БРЗУ.

$$H_{\text{БРЗУ}} = \dots + \overline{H} \cdot \overline{n \downarrow \text{дв} \cdot f \downarrow \uparrow} \cdot \overline{Вг} + \dots$$

Если возбуждение включилось, снова проверяется отсутствие сигналов на выходе измерителей напряжения уже в отсутствие сигнала СПИ. Причем, чтобы избежать ложных срабатываний защиты, измерение сигналов производится через некоторое время $\tau=1\text{с}$.

На этом этапе может быть зафиксирован отказ любого из трех блоков: $H_{\text{ПРВ}}$ – неисправность привода, если $f \downarrow \uparrow = 1$; $H_{\text{БРЗУ}}$ – неисправность блока при возникновении сигнала H ;

$H_{\text{ГТФ}}$ - отказ в генераторе или его фидере. Последний сигнал может быть вызван тремя причинами:

коротким замыканием, подтверждаемым снижением напряжения хотя бы в одной фазе;

неполнофазным режимом, сопровождающимся снижением напряжения в оборванной фазе и сигналом ДУ о наличии нулевой последовательности;

снижением напряжения по вине генератора, сопровождаемым сигналами ДУ о наибольшем токе возбуждения, выдаваемом регулятором.

Неисправность блока БРЗУ, фиксируемая на этом этапе, означает снижение или повышение напряжения по вине регулятора в блоке БРЗУ.

Если неисправности отсутствуют, то через 1с выдается сигнал на срабатывании защиты от повышения напряжения $K U \uparrow$. Одновременно с сигналом $K U \uparrow$ выдается сигнал СПРБ, что обеспечивает неотключение пневмопривода во время контроля (см. уравнение 2.1).

Если защита исправна, происходит отключение возбуждения генератора, при этом его напряжение снижается и происходит проверка срабатывания защиты $U \downarrow$. Затем ВСК подает контрольные сигналы для проверки защиты от КЗ.

Если развозбуждение генератора не происходит или не срабатывает защита $U \downarrow$, или защита от КЗ, то фиксируется сигнал $H_{\text{БРЗУ}}$. В противном случае ВСК включает запрет сигнала неисправности (H), снимает все стимулирующие сигналы, параметры качества электроэнергии устанавливаются в норму, ВСК включает контактор генератора K_n , а сам цикл ВСК заканчивается.

2. Описание лабораторной установки и указания к выполнению работы

Лабораторный стенд выполнен на основе устройства УИКНАРЗУ 115В. Устройство УИКНАРЗУ 115В предназначено для проверки характеристик блоков БРЗУ 115В 2с, БРН120Т5 3с, БРЗУ115ВА 2с, БРЗУ115ВО в замкнутой и разомкнутой схемах регулирования напряжения. Устройство применяется при приемосдаточных и периодических испытаниях на предприятии-изготовителе,

а также при проверке работоспособности блоков в условиях эксплуатационных предприятий гражданской авиации.

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рис.2.8.

Устройство УИКНАРЗУ представляет собой полунатурную модель бесконтактного синхронного генератора типа ГТ (ГТ40П48, ГТ30НЖ412 и т.п.). Устройство вырабатывает трехфазное напряжение переменного тока частотой (400 ± 8) Гц в диапазоне $(63 \dots 150)$ В, что позволяет проверять регуляторы напряжения и защиты от понижения и повышения напряжения. Устройство имитирует работу подвозбудителя генератора, причем частота подвозбудителя может изменяться в пределах $(620 \dots 960)$ Гц, что также позволяет проверять частотные защиты блоков БРЗУ. В устройстве УИКНАРЗУ возбудитель синхронного генератора моделируется активно-индуктивным сопротивлением, параметры которого L_f , $R_{вв}$ соответствуют аналогичным параметрам генератора ГТ. Регулятор напряжения проверяемого блока нагружен на это сопротивление, вследствие чего ток, протекающий через сопротивление, будет равен току возбуждения возбудителя ($i_{вв}$). Этот ток снимается с помощью шунта $R_{ш}$ и подается на вход аналоговой модели генератора (АМ СГ), на выходе которой формируется сигнал, пропорциональный амплитудному значению фазового напряжения, генератора (U_m). Для формирования мгновенных значений трехфазного напряжения синхронного генератора служат три блока перемножителей и три усилителя мощности. Перемножители реализуют следующие соотношения:

$$U_a = U_m \sin \omega t;$$

$$U_b = U_m \sin(\omega t - 2\pi/3);$$

$$U_c = U_m \sin(\omega t + 2\pi/3).$$

Синусоидальные напряжения, сдвинутые по фазе на 120° , формируются трехфазным генератором Г. Этот же генератор управляет частотой статического преобразователя частоты ПТС-500, моделируя тем самым подвозбудитель синхронного генератора. Устройство имеет модель активно индуктивной нагрузки Z_A , Z_B , Z_C . Коммутируя нагрузку, можно проверять динамические характеристики регулятора напряжения.

Функциональная схема лабораторной установки

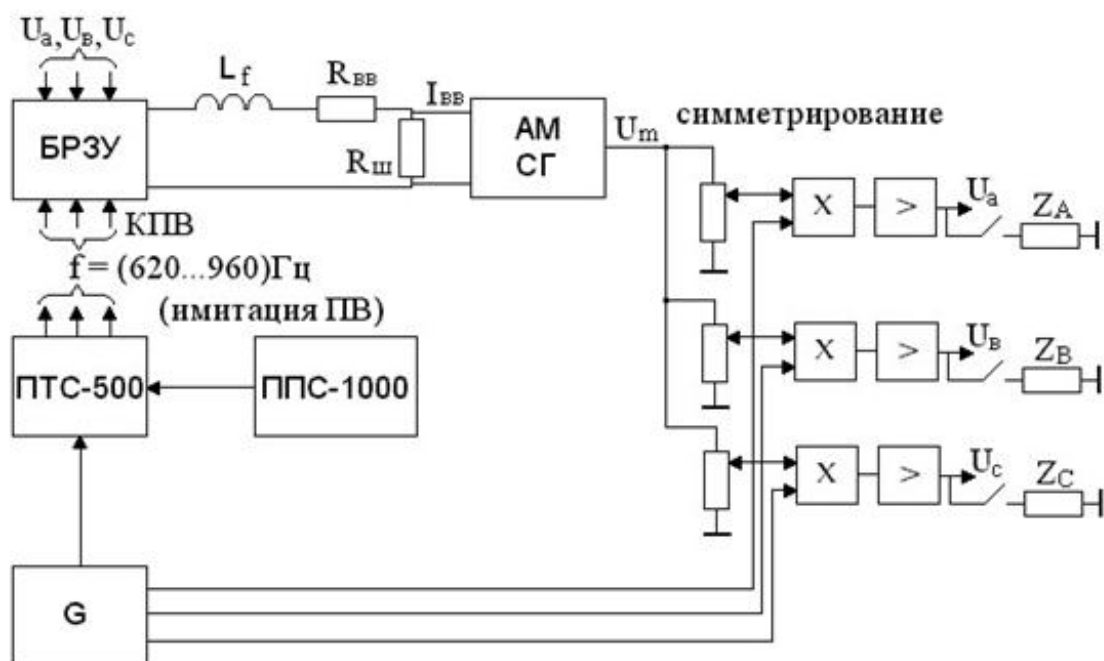


Рис.2.8

3. Порядок выполнения работы

4.1. Установить элементы управления в следующие положения:

ЗАМКН.-РАЗОМКН. - в положение РАЗОМКН.;

НАГРУЗКА ВКЛ.-ВЫКЛ. - в положение ВЫКЛ.;

НАГРУЗКА МОЩНОСТЬ - в положение $S_{ном}$.;

НАГРУЗКА $\cos(\varphi)$ - в положение 0,8;

ЧАСТОТА 620-740-800-940 - в положение 800;

ЧАСТОТА ПЕР.-ПОСТ. - в положение ПОСТ.;

ПАРАЛЛ. РАБОТА - в положение ВЫКЛ.;

А,В,С - в положение А;

сеть 220

БС

ФАЗА А, ФАЗА В, ФАЗА С, ПДВ - в выключенное положение.

4.2. Изменяя напряжение и частоту, определить уставки срабатывания защит $U\uparrow$, $U\downarrow$, $f\uparrow\downarrow$, $f\downarrow\downarrow$, $f\uparrow\uparrow$.

4.3. Определить номинальное напряжение, стабилизируемое регулятором напряжения в режиме холостого хода и под нагрузкой.

4.4. Построить вольт-секундную характеристику защиты $U\uparrow$.

4.5. Определить задержку отключения канала генерирования при $U\downarrow$, $f\uparrow\downarrow$, $f\downarrow\downarrow$, $f\uparrow\uparrow$.

Примечание: определение уставок срабатывания защит $U\downarrow$, $U\uparrow$, осуществляется

в разомкнутой системе регулирования. Определение уставок срабатывания защит $f\downarrow\uparrow$, $f\downarrow\downarrow$, $f\uparrow\uparrow$ производится в режиме "переменная частота" (ПЕР.). После срабатывания защит БРЗУ переводится в рабочее состояние переводом выключателя ЗАМКН.-РАЗОМКН. в положение ЗАМКН. и переключением выключателя ПДВ. Частота должна при этом находиться в режиме ПОСТ.

5. Содержание отчета

1. Краткие технические характеристики БРЗУ 115В, схема лабораторной установки.

3. Таблицы значений измерений, график для защиты $U\uparrow$: $t = f(U)$

3. Заключение о работоспособности проверяемого блока.

6. Контрольные вопросы

1. Назовите функции, выполняемые БРЗУ.

2. Опишите логические функции управления и защиты.

3. Опишите работу защиты при понижении напряжения в фазе С.

4. Объясните работу защиты при КЗ в фазе и генераторе.

5. Объясните назначение задержки в срабатывании защит.

6. Объясните работу регулятора напряжения при обрыве фазы А на входе регулятора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 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.

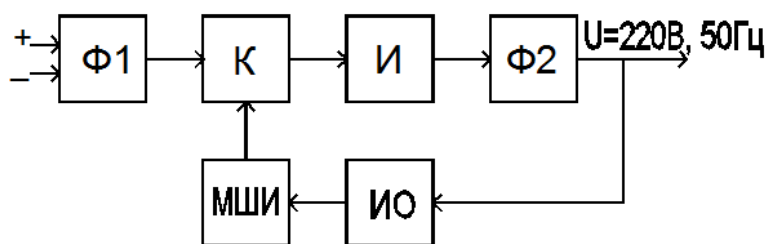


Рис.3.1 1

Структурная схема однофазного статического преобразователя приведена на Рис.3.1. Основными элементами однофазного преобразователя являются: конвертор К, инвертор И, входной (Ф1) и выходной (Ф2) фильтры, а также измерительный орган ИО и модулятор ширины управляющих импульсов МШИ.

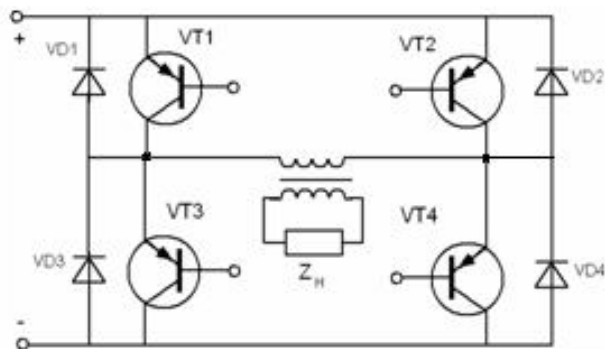


Рис.3.2

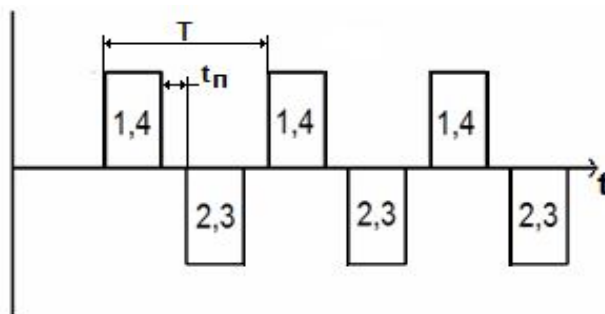


Рис.3.3

Конвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения аккумуляторной батареи в регулируемое постоянное напряжение. Изменяя выходное напряжение конвертора, можно поддерживать неизменным выходное напряжение преобразователя при изменении его тока нагрузки или входного напряжения. Эту функцию автоматически выполняет регулятор напряжения преобразователя, который включает в свой состав конвертор, МШИ и ИО.

Инвертор служит для преобразования постоянного напряжения в переменное частотой 50 Гц. Инвертор чаще всего выполняется по мостовой схеме (рис.3.2). Транзисторы работают в ключевом режиме и включаются попарно, как показано на диаграмме Рис.3.3: 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.3.3. 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.3.3 видно, что после закрытия пары транзисторов и перед открытием очередной пары выдерживается пауза ($t_{\text{п}}$). Если установить $t_{\text{п}}=0$, то вследствие инерционности процесса закрытия транзисторов в коммутационный период все четыре транзистора будут открыты, а источник питания замкнут накоротко через транзисторы, которые перегружаются, поэтому схему управления транзисторами проектируют таким образом, чтобы $t_{\text{п}}>0$.

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 $t_{\text{п}}$ инвертора.

Степень приближения формы кривой к синусоидальной характеризуется коэффициентом нелинейных искажений $K_{\text{Н}}$:

$$K_{\text{Н}} = \sqrt{(U_{\text{Н}}/U_1)^2 - 1},$$

где: $U_{\text{Н}}$ — действующее значение несинусоидальной кривой напряжения на выходе инвертора; U_1 — действующее значение ее первой гармоники. Для чисто синусоидального сигнала $K_{\text{Н}}=0$, чем меньше $K_{\text{Н}}$, тем меньше масса фильтра Ф2.

Действующее значение выходного напряжения инвертора:

$$U_{\text{Н}} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_{\text{Н}}^2 dt},$$

Для прямоугольной формы напряжения ($t_{\text{п}}=0$) $K_{\text{Н}}=0.484$.

В общем случае $t_{\text{п}} \neq 0$ и для таких сигналов (Рис.3.4) вводится понятие *коэффициент заполнения импульса выходного напряжения* (q) $q=(T-2t_{\text{п}})/T$, где T — период изменения напряжения.

При введении паузы $t_{\text{п}}$

$$U_{\text{Н}} = U_m \sqrt{q};$$

$$U_1 = \frac{4 \cos \left[\frac{(1-q)\pi}{2} \right]}{\pi \sqrt{2}} U_m,$$

и, следовательно

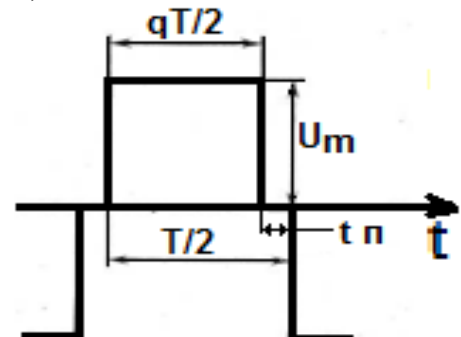


Рис.3.4

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

Анализ зависимости K_H от q показывает, что минимальное значение $K_H=0,27$ получается при ширине импульса $q=0,74$ (пауза $43,4^\circ$). Учитывая, что при ширине импульса $q=0,66$ (пауза 60°) $K_H=0,312$ 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.

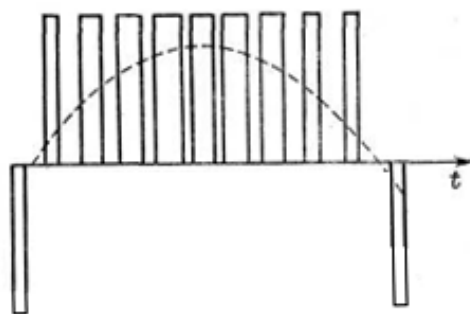


Рис.3.5

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.3.5), то при числе импульсов, равном девяти, кривая выходного напряжения будет содержать высшие гармоники, начиная с восемнадцатой. При таком техническом решении масса фильтра снижается, но сильно усложняется схема системы управления. Так как потери при коммутации транзисторов пропорциональны числу коммутаций, то к.п.д. 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) (рис.3.1) конвертора (К). Силовая часть регулируемого конвертора (рис.3.6) состоит из транзисторов VT1 и VT2, диаграмма управления которыми похожа на Рис.3.3.

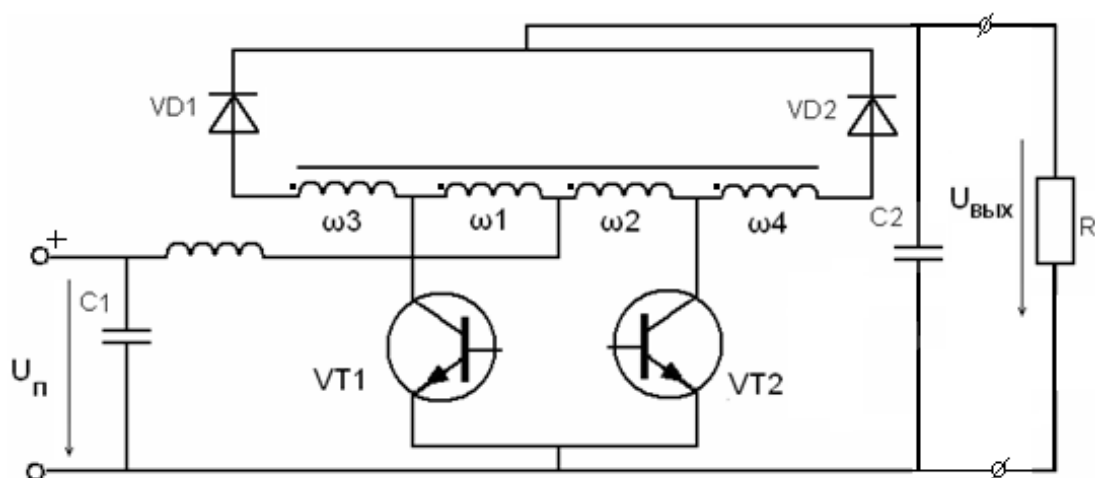


Рис.3.6

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

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_4}{\omega_1} U_{\text{П}},$$

так как $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4$, 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

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

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. 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.3.7) и модель конвертора (Рис.3.8), обе схемы набраны в программной среде Multisim 10. Схема на рис.3.7 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 180°). 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 XMM1.

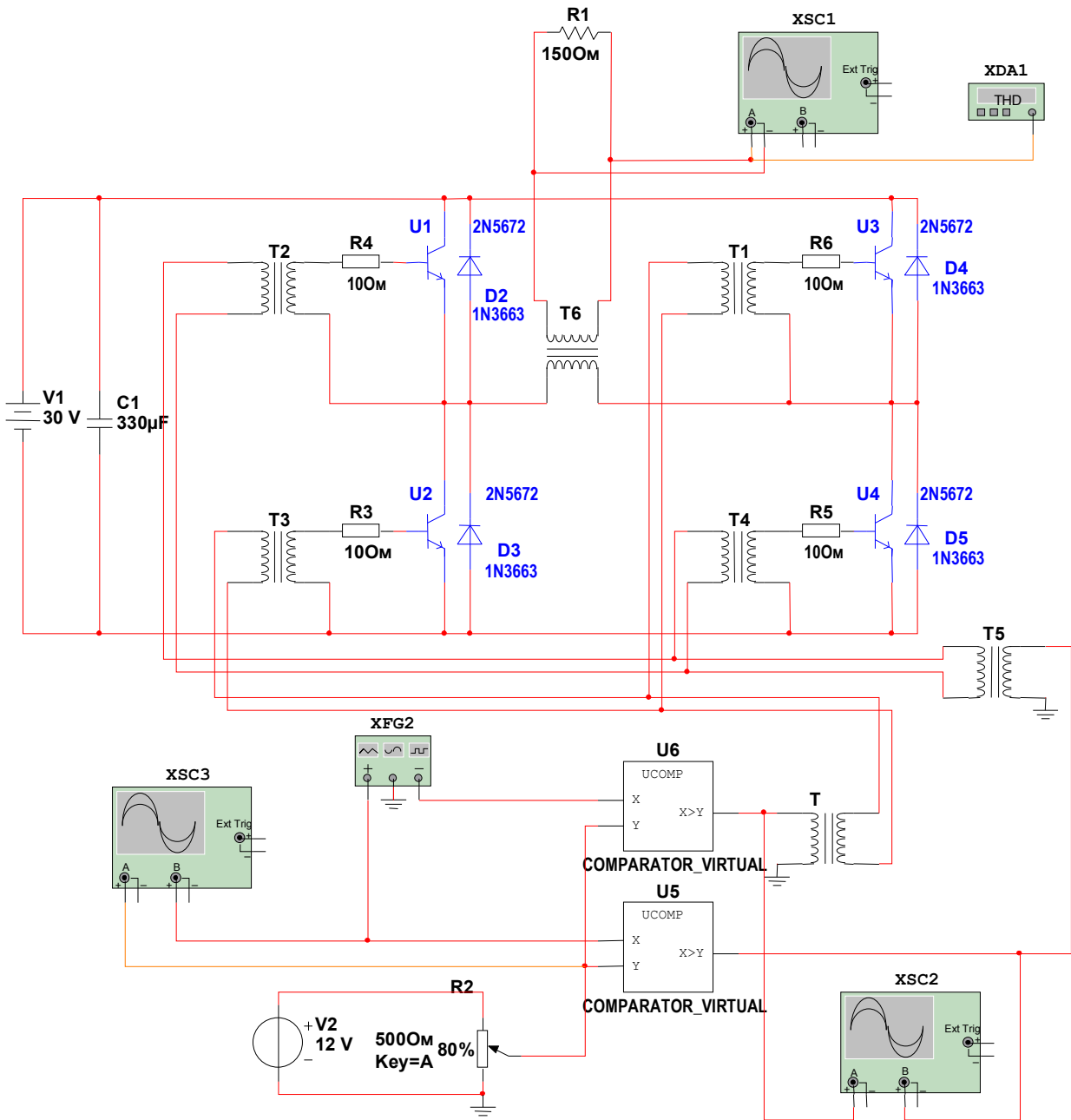


Рис.3.7

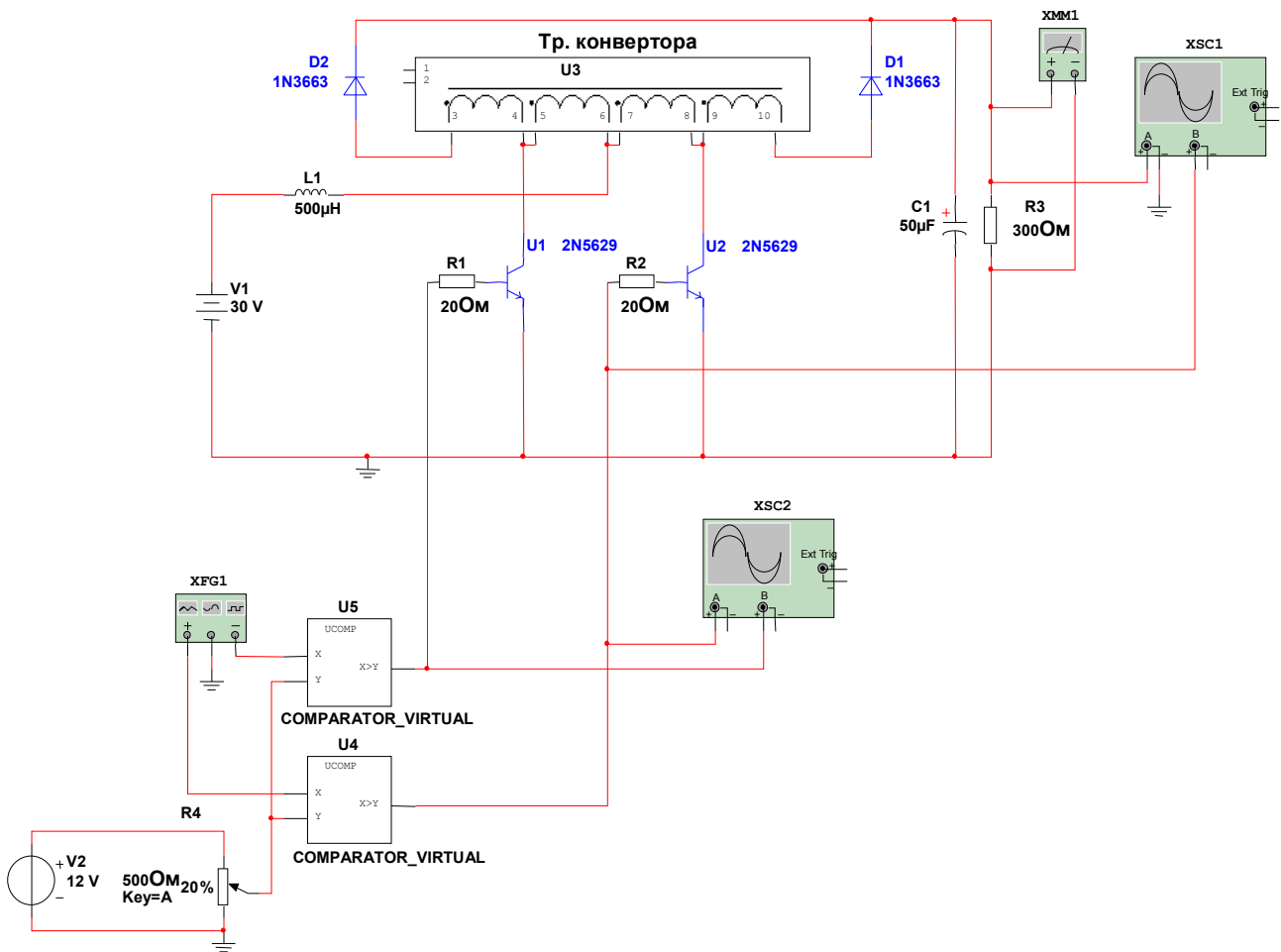


Рис.3.8.

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.3.7, 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.3.8, 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. Контрольные вопросы

1). Опишите способ стабилизации выходного напряжения статического преобразователя.

2). Как влияет величина $t_{п}$ 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 ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ ВТОРИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ САМОЛЕТА Ту-154

Цель работы

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

1. Основные положения

Основная масса 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

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

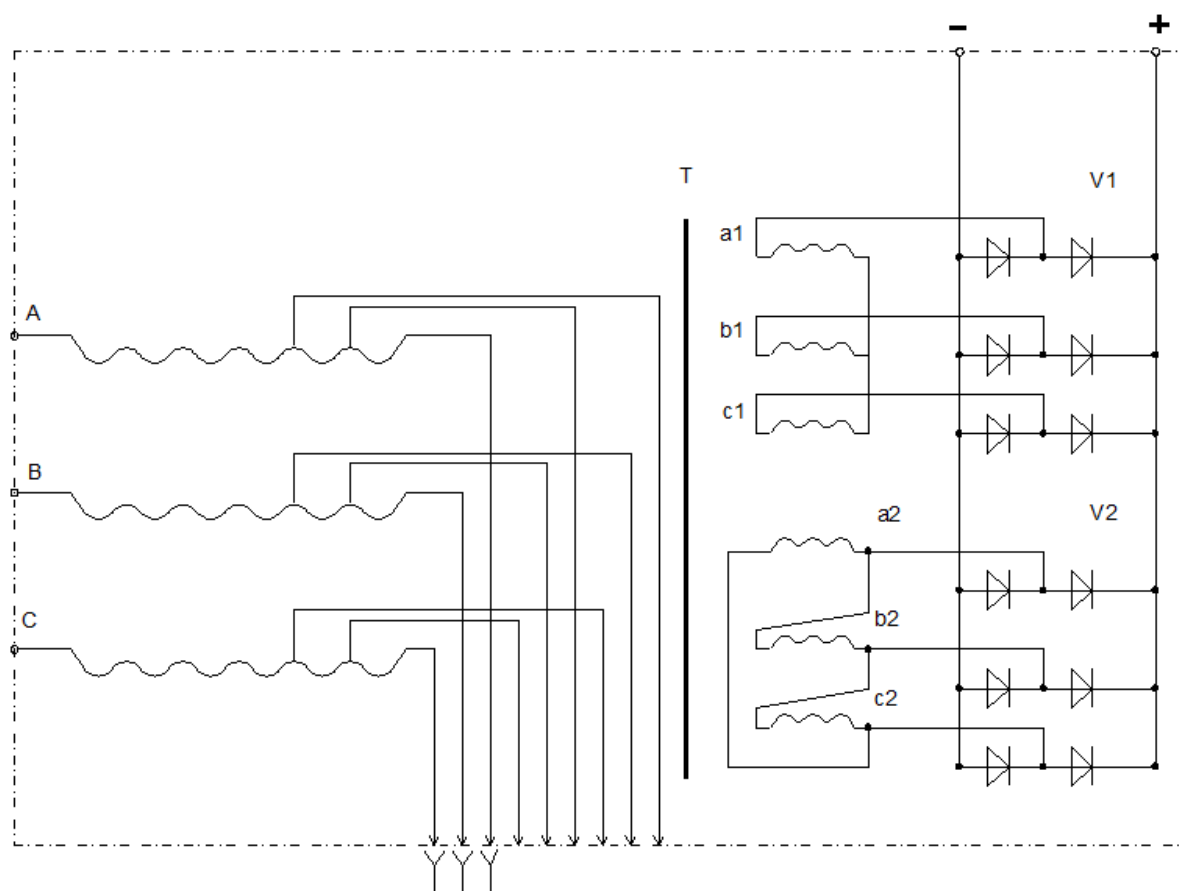


Рис.4.1

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,Δ (рис. 4.1). За счет сдвига вторичных напряжений 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 бортовую сеть 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 включат контактор 4. Первичные обмотки трансформаторов ВУ-6А подключатся к первичной системе электроснабжения. Одновременно срабатывает реле 3, через контакты которого «плюс» бортовой сети 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 бортовую сеть 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; В - 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 батарей к бортсети исключается блокировкой. Кроме того, исключается одновременное подключение к бортсети постоянного тока выпрямительных устройств ВУ-6А и источника аэродромного питания.

При подключении розетки ШРАП-500К и переключении переключателя на «РАП» «минус» бортсети через нормально-замкнутые контакты реле К22 (реле блокировки включения внешних источников на бортсеть с неправильной полярностью) поступит на обмотку реле К21. Реле К21, сработав, подает «плюс» на реле К24, которое включит контактор 23, подключающий бортсеть 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 бортсети при переходе от «РАП» к «ВСУ», так как промежуток времени переключения может оказаться достаточным, чтобы обесточить бортсеть и цепи самоблокировок реле в автоматической панели управления стартер-генератором АПД-30А, что не дает возможности включить стартер-генератор на питание бортсети.

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 ВЗТ-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, установил 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-3М).

- 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 структурную схему вторичных систем электроснабжения самолета Ту-154 (системы =27 В и ~36 В).

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?

ЛИТЕРАТУРА

1. Синдеев И.М. Савелов А.А. Системы электроснабжения воздушных судов: М. Транспорт, 1990.
2. Генделевич А.М. Электрооборудование самолетов Ту-154, Ту-154А. М.: Машиностроение, 1977.
3. Техническое описание блоков БРН-208М7Б, БРЧ-62БМ, БЗУ-376СП.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Исследование коммутационных процессов в трансформаторно-выпрямительных устройствах.....	3
Лабораторная работа № 2. Изучение и исследование блока регулирования, защиты и управления БРЗУ 115В.....	12
Лабораторная работа № 3. Исследование статических преобразователей электроэнергии.....	30
Лабораторная работа № 4. Изучение вторичной системы электроснабжения самолета Ту-154.....	39