

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра защиты информации

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И
ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

В 4-х частях

Часть 4

В. В. Климович, Г. Г. Машара, Н. И. Шатило

СТАБИЛИЗАТОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

*Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
в качестве учебно-методического пособия
для специальностей 1-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»,
1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях», направлений
специальности 1-45 01 01-02 «Инфокоммуникационные технологии
(сети телекоммуникаций)» и 1-45 01 01-05 «Инфокоммуникационные
технологии (системы распределения мультимедийной информации)»*

Минск БГУИР 2014

УДК 621.391:621.311(076.5)
ББК 32.811я73+32.88-4я73
Ф94

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра телекоммуникационных систем учреждения образования
«Высший государственный колледж связи» (протокол №5 от 22.01.2014);

заведующий лабораторией микроэлектроники, механики и сенсорики
государственного научного учреждения «Институт физики имени
Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси»,
доктор технических наук, профессор Н. И. Мухуров;

доцент кафедры радиотехнических устройств учреждения образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент В. Т. Крушев

Функциональные устройства и электропитание систем телекомму-
Ф94 никаций. Лабораторный практикум. В 4 ч. Ч. 4 : Стабилизаторы и преоб-
разователи : учеб.-метод. пособие / В. В. Климович, Г. Г. Машара,
Н. И. Шатило. – Минск : БГУИР, 2014. – 72 с. : ил.

ISBN 978-985-543-067-5 (ч. 4).

Данное издание включает описания 4 лабораторных работ по дисциплине
«Функциональные устройства и электропитание систем телекоммуникаций», в кото-
рых изучаются принципы работы и основные характеристики стабилизаторов
постоянного напряжения и тока с непрерывным и импульсным регулированием,
преобразователей постоянного напряжения, бестрансформаторных импульсных источ-
ников питания. Каждая работа содержит краткие теоретические сведения по изучае-
мому разделу дисциплины, принципиальную схему устройства, подлежащего исследо-
ванию, задания на проведение экспериментальных исследований, а также перечень
контрольных вопросов.

Часть 1-я издана в БГУИР в 2012 году.

Часть 2-я издана в БГУИР в 2014 году.

Часть 3-я издана в БГУИР в 2014 году.

УДК 621.391:621.311(076.5)

ББК 32.811я73+32.88-4я73

ISBN 978-985-543-067-5 (ч. 4)
ISBN 978-985-488-700-5

© Климович В. В., Машара Г. Г., Шатило Н. И., 2014
© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники», 2014

Лабораторная работа №18

СТАБИЛИЗАТОРЫ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Цель работы – изучить устройство и принцип действия параметрических и компенсационных стабилизаторов напряжения и тока с непрерывным регулированием. Усвоить методы измерения их основных характеристик. Исследовать экспериментально характеристики и режимы работы стабилизаторов напряжения и тока.

18.1 Краткие теоретические сведения

Качество работы электронных устройств во многом определяется постоянством питающих их напряжения и тока. Основными причинами изменения напряжения (тока) питания являются непостоянство напряжения первичного источника питания, сопротивления нагрузки, температура окружающей среды.

Напряжение промышленных сетей переменного тока в соответствии с ГОСТ 13109–97 может отклоняться от номинального значения в пределах (–15...+5 %). Для нормального функционирования устройств связи изменения напряжения (тока) электропитания не должны превышать 0,1...5 % номинального значения.

Поддержание напряжения (или тока) на выходе электропитающих установок с заданной степенью точности при действии различных дестабилизирующих факторов осуществляется с помощью специальных устройств – стабилизаторов напряжения (или тока).

Стабилизаторы автоматически подавляют как медленные, так и быстрые изменения питающего напряжения (тока) и, таким образом, осуществляют наряду со стабилизацией сглаживание пульсаций напряжения (тока).

Основными дестабилизирующими факторами при постоянстве температуры окружающей среды $T_{\text{ср}}$ являются изменения величины входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ или тока $I_{\text{Н}}$ нагрузки. Поэтому напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ на выходе стабилизатора можно трактовать как функцию входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и тока нагрузки $I_{\text{Н}}$:

$$U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}, I_{\text{Н}}). \quad (18.1)$$

Полный дифференциал этой функции в предположении независимости переменных $U_{\text{ВХ}}$ и $I_{\text{Н}}$ записывается в виде

$$dU_{\text{ВЫХ}} = \left(\frac{\partial U_{\text{ВЫХ}}}{\partial U_{\text{ВХ}}} \right) dU_{\text{ВХ}} + \left(\frac{\partial U_{\text{ВЫХ}}}{\partial I_{\text{Н}}} \right) dI_{\text{Н}}. \quad (18.2)$$

Разделив обе части равенства (18.2) на $U_{\text{ВЫХ}}$, а также умножив первое слагаемое правой части на $U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}}$, а второе слагаемое – на $I_{\text{Н}}/I_{\text{Н}}$, получим

$$\frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = \left(\frac{\partial U_{\text{ВЫХ}}}{\partial U_{\text{ВХ}}} \right) \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} + \left(\frac{\partial U_{\text{ВЫХ}}}{\partial I_{\text{Н}}} \right) \cdot \frac{dI_{\text{Н}}}{I_{\text{Н}}} \cdot \frac{I_{\text{Н}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \quad (18.3)$$

Если положить $I_{\text{Н}} = \text{const}$, т. е. $\partial I_{\text{Н}} = 0$, то, пользуясь последним соотношением, можно относительное приращение $dU_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ}}$ напряжения на выходе стабилизатора выразить через относительное приращение $dU_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}}$ напряжения на входе в виде

$$dU_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ}} = (1/K_{\text{СТУ}}) \cdot dU_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}}, \quad (18.4)$$

где $K_{\text{СТУ}}$ – коэффициент стабилизации стабилизатора напряжения по входному напряжению, равный

$$K_{\text{СТУ}} = (\partial U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}}) / (\partial U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ}}). \quad (18.5)$$

Коэффициент стабилизации $K_{\text{СТУ}}$ показывает, во сколько раз при неизменном токе нагрузки $I_{\text{Н}} = \text{const}$ напряжение на выходе стабилизатора изменяется меньше, чем на входе. Чем больше значение $K_{\text{СТУ}}$, тем качество стабилизатора напряжения выше.

Если в соотношении (18.3) считать постоянным входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$ ($\partial U_{\text{ВХ}} = 0$), то получается

$$dU_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ}} = \xi \cdot dI_{\text{Н}}/I_{\text{Н}}, \quad (18.6)$$

$$\text{где } \xi = (\partial U_{\text{ВЫХ}}/\partial I_{\text{Н}}) / (U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{Н}}) = R_{iU} / R_{\text{Н}}. \quad (18.7)$$

Здесь $R_{iU} = \partial U_{\text{ВЫХ}}/\partial I_{\text{Н}}$ – внутреннее (выходное) сопротивление стабилизатора напряжения;

$R_{\text{Н}} = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки.

Отношение внутреннего сопротивления стабилизатора напряжения к сопротивлению его нагрузки $\xi = R_{iU} / R_{\text{Н}}$ определяет, во сколько раз относительное изменение выходного напряжения $dU_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ}}$ меньше вызвавшего его относительного изменения тока нагрузки $dI_{\text{Н}}/I_{\text{Н}}$ при постоянном входном напряжении $U_{\text{ВХ}} = \text{const}$. Чем меньше это отношение, тем меньше влияет изменение тока нагрузки на величину выходного напряжения.

Таким образом, коэффициент стабилизации $K_{\text{СТУ}}$ и внутреннее (выходное) сопротивление R_{iU} являются основными показателями качества работы стабилизатора напряжения.

В рассмотренных соотношениях, определяющих $K_{\text{СТУ}}$ и R_{iU} , фигурируют бесконечно малые приращения напряжения и тока. Пользуясь линейным приближением зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}, I_{\text{Н}})$, значения $K_{\text{СТУ}}$ и R_{iU} на практике можно определять через конечные приращения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$, $\Delta U_{\text{ВХ}}$ и $\Delta I_{\text{Н}}$ по формулам

$$K_{\text{СТУ}} = \left(\frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right) / \left(\frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \right) \quad (\text{при } I_{\text{Н}} = \text{const}), \quad (18.8)$$

$$R_{iU} = |\Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{Н}}| \quad (\text{при } U_{\text{ВХ}} = \text{const}) . \quad (18.9)$$

В последнем соотношении применен знак модуля, поскольку приращения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ и $\Delta I_{\text{Н}}$ имеют противоположные знаки.

Качество работы стабилизатора напряжения иногда характеризуют величиной относительной нестабильности δ его выходного напряжения (статической ошибкой), равной отношению максимально возможного приращения выходного напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}_{\text{max}}}$ к номинальному значению напряжения $U_{\text{ВЫХ}_{\text{НОМ}}}$. Величина δ определяется в процентах:

$$\delta = |\Delta U_{\text{ВЫХ}_{\text{max}}} / U_{\text{ВЫХ}_{\text{НОМ}}}| \cdot 100 \% . \quad (18.10)$$

Для стабилизаторов тока ток нагрузки $I_{\text{Н}}$ можно рассматривать как функцию входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ и сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$:

$$I_{\text{Н}} = f(U_{\text{ВХ}}, R_{\text{Н}}) . \quad (18.11)$$

Для стабилизатора тока можно определить следующие основные параметры:

– коэффициент стабилизации тока по входному напряжению $K_{\text{СТИ}}$ при постоянном сопротивлении нагрузки:

$$K_{\text{СТИ}} = (\Delta U_{\text{ВХ}} / U_{\text{ВХ}}) / (\Delta I_{\text{Н}} / I_{\text{Н}}) \quad \text{при } R_{\text{Н}} = \text{const} ; \quad (18.12)$$

– внутреннее (выходное) сопротивление R_{iI} стабилизатора тока:

$$R_{iI} = |\Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{Н}}| \quad \text{при } U_{\text{ВХ}} = \text{const} . \quad (18.13)$$

При этом оказывается, что

$$\Delta I_{\text{Н}} / I_{\text{Н}} = (R_{\text{Н}} / R_{iI}) / (\Delta R_{\text{Н}} / R_{\text{Н}}) \quad \text{при } U_{\text{ВХ}} = \text{const} . \quad (18.14)$$

Последнее выражение показывает, что относительное изменение тока нагрузки $\Delta I_{\text{Н}} / I_{\text{Н}}$ при неизменном напряжении питания $|U_{\text{ВХ}} = \text{const}$ во столько раз меньше относительного изменения сопротивления нагрузки $\Delta R_{\text{Н}} / R_{\text{Н}}$, во сколько сопротивление нагрузки меньше внутреннего сопротивления R_{iI} стабилизатора тока.

Таким образом, чем больше R_{iI} при заданном сопротивлении $R_{\text{Н}}$ нагрузки, тем выше качество стабилизации тока (сравните со случаем стабилизации напряжения!).

Важной характеристикой стабилизаторов напряжения и тока является их коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_{\text{Н}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{P_{\text{Н}}}{P_{\text{П}} + P_{\text{Н}}} , \quad (18.15)$$

где $P_{\text{Н}} = U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{Н}}$ – мощность, отдаваемая в нагрузку;

$P_{\text{П}}$ – мощность, рассеиваемая в элементах стабилизатора, т. е. мощность потерь электрической энергии.

Помимо рассмотренных характеристик для оценки работы стабилизаторов напряжения и тока могут использоваться и некоторые другие показатели качества.

К таким показателям относятся:

– коэффициент сглаживания K_{Ci} пульсаций с частотами в пределах от f_{\min} до f_{\max} , который для стабилизатора постоянного напряжения определяется по формуле

$$K_{Ci} = (U_{ВХi} / U_{ВХ}) / (U_{ВЫХi} / U_{ВЫХ}), \quad (18.16)$$

где $U_{ВХi}$ и $U_{ВЫХi}$ – средние квадратические или амплитудные значения i -й гармонической составляющей пульсаций напряжения на входе и выходе стабилизатора;

$U_{ВХ}$ и $U_{ВЫХ}$ – постоянные составляющие напряжения на входе и выходе;

– температурный коэффициент γ стабилизатора, который для стабилизатора напряжения равен

$$\gamma = \Delta U_{ВЫХ} / \Delta T \text{ при } U_{ВХ} = \text{const}, I_{Н} = \text{const}, \quad (18.17)$$

где $\Delta U_{ВЫХ}$ – изменение выходного напряжения;

ΔT – изменение температуры окружающей среды.

Важными качествами стабилизаторов тока (напряжения) являются их масса, габариты, стоимость, надежность, простота изготовления, настройки и эксплуатации, электромагнитная совместимость с питаемыми устройствами.

Каждый стабилизатор характеризуется также параметрами режима эксплуатации. Так, например, для стабилизатора напряжения такими параметрами могут служить:

– диапазон возможного регулирования выходного напряжения $U_{ВЫХ_{\min}} \dots U_{ВЫХ_{\max}}$;

– максимально допустимый ток нагрузки $I_{Н_{\max}}$;

– диапазон допустимых изменений входного напряжения $U_{ВХ_{\min}} \dots U_{ВХ_{\max}}$.

Существуют два основных способа стабилизации напряжения или тока электропитания: параметрический и компенсационный.

Работа параметрических стабилизаторов напряжения (тока) основана на использовании элементов с нелинейной вольт-амперной характеристикой (рисунок 18.1). Элемент с вольт-амперной характеристикой (ВАХ), показанной на рисунке 18.1, а, обеспечивает малое изменение напряжения ΔU на своих зажимах при значительном изменении ΔI протекающего по нему тока. Такой элемент может быть использован для стабилизации напряжения на параллельно включенном с ним сопротивлении нагрузки (рисунок 18.3). Для элемента с ВАХ, приведенной на рисунке 18.1, б, характерно незначительное изменение величины тока, протекающего через элемент, при изменении напряжения на элементе в широких пределах ΔU . Такой элемент, например, так называемый

бареттер можно использовать для стабилизации тока в последовательно соединенном с ним сопротивлении нагрузки.

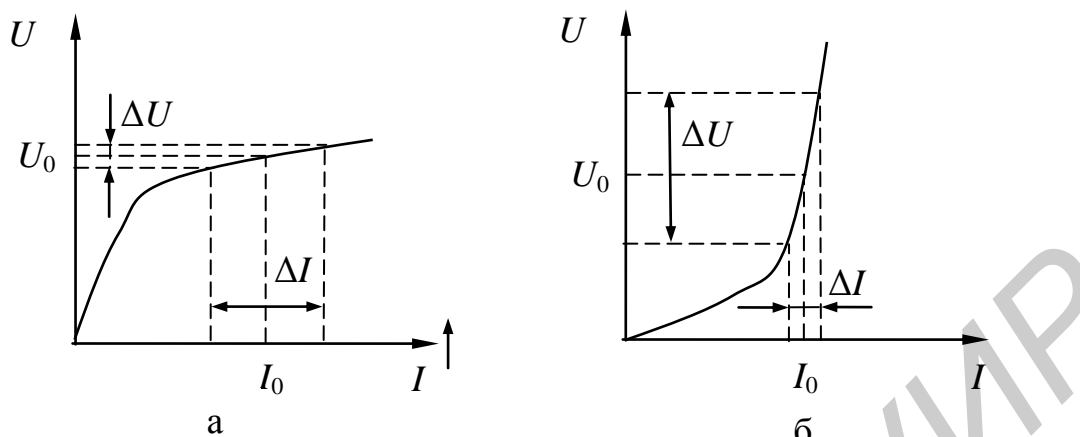
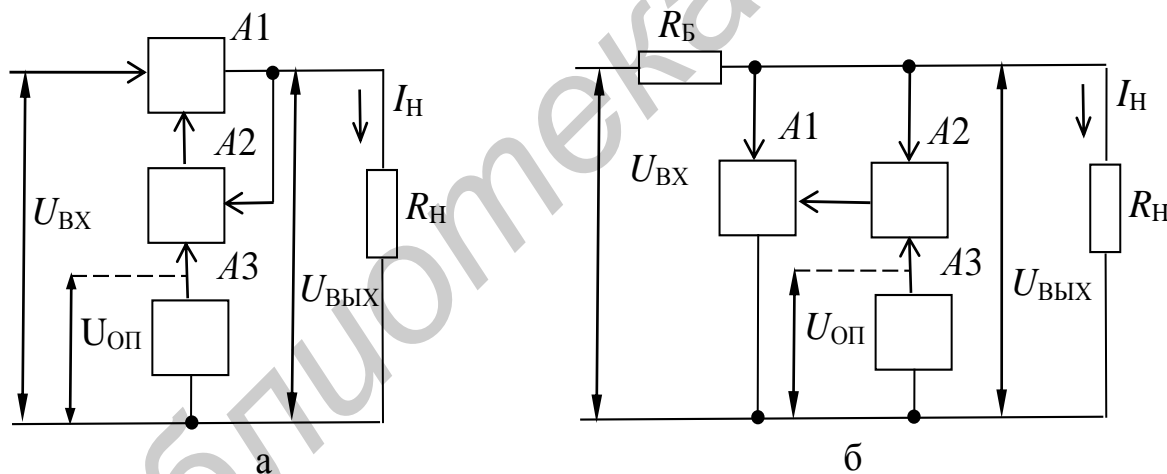


Рисунок 18.1 – Вольт-амперные характеристики стабилизаторов

Компенсационные стабилизаторы напряжения и тока по принципу работы подразделяются на два основных типа: непрерывного и ключевого действия.

Стабилизаторы напряжения непрерывного действия (рисунок 18.2.), исследуемые в данной лабораторной работе, представляют собой линейные системы непрерывного автоматического регулирования с отрицательной обратной связью.



а – последовательный стабилизатор; б – параллельный стабилизатор:

A1 – регулирующий элемент (РЭ); A2 – блок сравнения и усиления постоянного тока (БСиУПТ); A3 – источник опорного напряжения (ИОН)

Рисунок 18.2 – Структурные схемы компенсационных стабилизаторов напряжения непрерывного действия

Основными их функциональными узлами являются: регулирующий элемент (РЭ), с помощью которого уровень выходного напряжения поддерживается неизменным; блок сравнения и усиления постоянного тока (БСиУПТ); источник опорного (эталонного) напряжения (ИОН).

В рабочем режиме выходное напряжение стабилизатора или часть его

сравнивается с напряжением опорного источника. Сигнал рассогласования, полученный в результате сравнения, усиливается и подается на РЭ. В зависимости от уровня усиливаемого сигнала рассогласования внутреннее сопротивление РЭ меняется таким образом, что напряжение на выходе стабилизатора остается постоянным с определенной степенью точности.

По способу включения РЭ по отношению к сопротивлению нагрузки и источнику входного напряжения стабилизаторы подразделяются на последовательные (рисунок 18.2, а) и параллельные (рисунок 18.2, б). В параллельных стабилизаторах к упомянутым функциональным узлам добавляется балластное сопротивление R_B .

На практике наиболее широкое распространение получили стабилизаторы с последовательным РЭ как обладающие высокими стабилизирующими свойствами и сравнительно высоким КПД (до 70 %). В таких стабилизаторах регулирующий элемент включен последовательно с нагрузкой и к нему приложено напряжение, равное разности входного и выходного напряжений (рисунок 18.2, а). При коротком замыкании нагрузки все напряжение источника прикладывается к регулируемому элементу и на нем выделяется максимальная мощность. При холостом ходе регулирующий элемент работает при малых токах, что без принятия специальных мер приводит к повышению выходного напряжения. Поэтому в стабилизаторах с последовательным включением РЭ необходима защита по току и напряжению.

Простейшая схема стабилизатора напряжения без использования усилительных приборов представлена на рисунке 18.3, а.

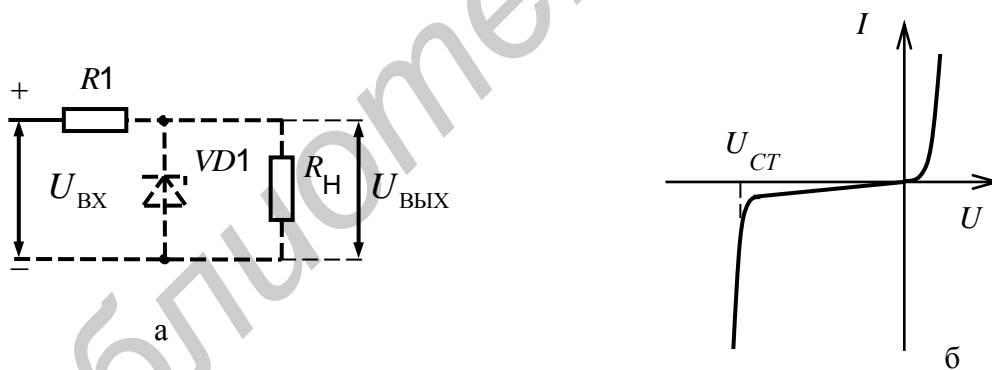


Рисунок 18.3 – Принципиальная схема простейшего параметрического стабилизатора напряжения (а) и вольт-амперная характеристика стабилитрона (б)

Эта схема соответствует структуре параллельных стабилизаторов, хотя регулирующий и усилительные элементы отсутствуют, а стабилитрон $VD1$ совмещает функции опорного и регулирующего элементов. Стабилитрон подбирают по величине выходного напряжения ($U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ}}$), а его ток задается резистором $R1$.

Принцип работы стабилизатора заключается в том, что при включении стабилитрона в обратном направлении (см. рисунок 18.3, а) при определенных напряжениях начинается электрический пробой, характеризуемый тем, что в

области пробоя при данной температуре изменение тока в определенных пределах практически не меняет напряжение пробоя $U_{СТ}$ (рисунок 18.3, б). Если в этом режиме ограничить при помощи резистора ток пробоя таким образом, чтобы мощность, выделяемая в стабилитроне, не превосходила заданный предел, дальше которого начинается тепловой пробой и необратимое разрушение $p-n$ -перехода, то состояние пробоя может продолжаться бесконечно долго (десятки тысяч часов). Указанный процесс является обратимым и может повторяться множество раз при выключении и включении стабилитрона.

Однокаскадным параметрическим стабилизаторам свойственны сравнительно большие относительные не-

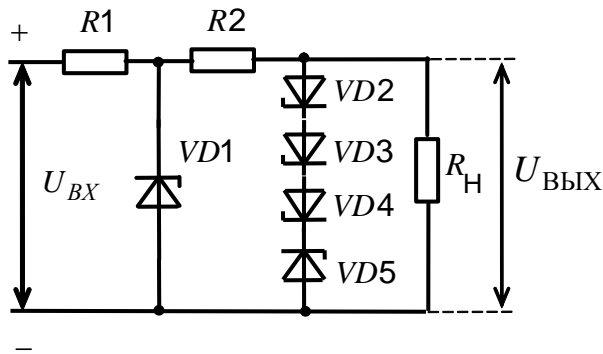


Рисунок 18.4 – Двухкаскадный параметрический стабилизатор напряжения

относительные неустойчивости, как следствие сравнительно больших выходных сопротивлений, определяемых дифференциальным сопротивлением стабилитрона r_D ($R_{ВЫХ} \approx r_D$), и малых коэффициентов стабилизации. Простой способ повысить коэффициент стабилизации при прочих равных условиях состоит в использовании каскадных схем (рисунок 18.4). Идея таких схем очевидна, поскольку вход-

ное напряжение второго каскада стабилизировано первым каскадом. Второй термокомпенсированный каскад стабилизатора собран на резисторе $R2$ и стабилитронах $VD2 - VD5$.

Для стабилитрона, как и для всякого полупроводникового прибора, характерна зависимость параметров от температуры окружающей среды. С изменением температуры сдвигается вольт-амперная характеристика стабилитрона, что приводит к изменению величины падения напряжения на нем. Эти изменения напряжения оцениваются температурным коэффициентом напряжения (ТКН).

Известно, что при обратном включении и напряжении стабилизации менее 7 В ТКН имеет отрицательное значение, а при напряжении стабилизации более 7 В – положительное. При прямом включении все стабилитроны имеют отрицательное значение ТКН [1].

Поэтому для получения прецизионных стабилизированных напряжений используют различное включение стабилитронов (см. рисунок 18.4).

Параметрические стабилизаторы напряжения используются главным образом в качестве источников опорного напряжения для более мощных транзисторных стабилизаторов напряжения и тока или в качестве источника питания для слаботочных схем, например цепей смещения.

Простейший однокаскадный компенсационный стабилизатор напряжения на транзисторе (рисунок 18.5) не имеет преимуществ перед параметрическим стабилизатором (за исключением выходной мощности).

Эта схема является практически эмиттерным повторителем, где функции регулирования и сравнения выполняет транзистор $VT1$. Потенциал базы стабилизирован опорным диодом $VD1$ и равен $U_{СТ}$, а напряжение коллекторного питания ($U_{ВХ}$) меняется в определенных пределах.

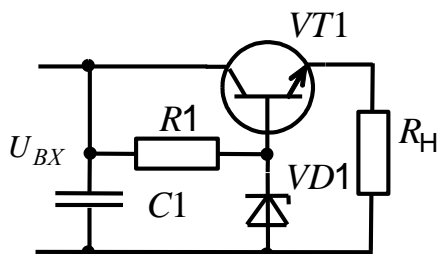


Рисунок 18.5 – Простейший компенсационный стабилизатор напряжения

Типовая схема компенсационного стабилизатора напряжения, реализуемого в интегральном исполнении, представлена на рисунке 18.6. Регулирующий элемент выполнен на транзисторах $VT3$ и $VT4$, включенных по схеме Дарлингтона. Опорный источник напряжения образован транзистором $VT2$ и стабилитроном $VD1$.

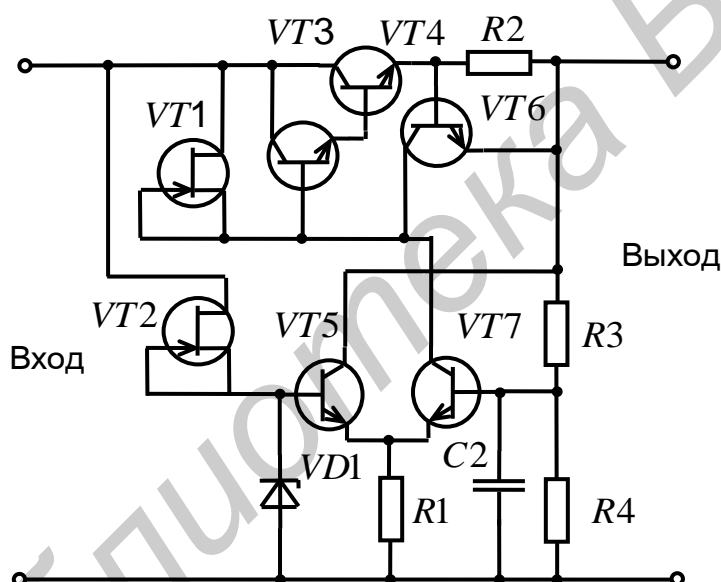


Рисунок 18.6 – Типовая схема компенсационного стабилизатора напряжения

Использование в качестве балластного сопротивления полевого транзистора $VT2$ повышает стабильность тока, протекающего через стабилитрон $VD1$, и тем самым – стабильность напряжения опорного источника $U_{СТ}$. Блок сравнения и усиления выполнен в виде дифференциального каскада на транзисторах $VT5$ и $VT7$. Полевой транзистор $VT1$ повышает сопротивление нагрузки в цепи коллектора $VT5$, что увеличивает коэффициент передачи в цепи обратной связи и стабильность выходного напряжения стабилизатора. Выходное напряжение поступает на вход блока сравнения и усиления через делитель напряже-

ния на резисторах R_3 и R_4 . Выходное напряжение зависит от соотношения сопротивлений указанных резисторов:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ}}(1 + R_3/R_4). \quad (18.18)$$

Схема защиты от короткого замыкания по выходу содержит резистор R_2 и транзистор VT_6 . Когда ток нагрузки, равный току в резисторе R_2 , станет равным значению, при котором напряжение на резисторе достигнет порога открывания транзистора VT_6 (для кремниевого транзистора это приблизительно 0,5 В), последний откроется и часть тока коллектора транзистора VT_5 потечет в этот транзистор, уменьшая ток регулируемого элемента. Таким образом, ток нагрузки ограничивается значением

$$I_{\text{Н max}} \approx 0,5/R_2. \quad (18.19)$$

18.2 Описание лабораторной установки

Электрическая принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 18.7.

Напряжение сети 230 В частотой 50 Гц через переключатель SA_1 «Сеть» и плавкий предохранитель FU_1 поступает на вход лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) T_1 , выход которого подключен к сетевому понижающему трансформатору T_2 . Наличие напряжения на лабораторной установке контролируется индикатором HL .

Вторичная обмотка сетевого понижающего трансформатора T_2 соединена к двухполупериодному мостовому выпрямителю на элементах $VD_1...VD_4$, C_1 . Значение постоянного напряжения на выходе выпрямителя измеряется вольтметром постоянного тока PV_1 . Значение тока, потребляемого стабилизаторами, измеряется миллиамперметром постоянного тока PA_1 .

Подключение стабилизаторов к выпрямителю и нагрузке осуществляется переключателем SA_2 «Стабилизатор», положения которого соответствуют следующим схемам включения:

«ПСН1» – однокаскадный параметрический стабилизатор напряжения;

«ПСН2» – двухкаскадный параметрический стабилизатор напряжения;

«КСН» – компенсационный стабилизатор напряжения;

«КСТ» – компенсационный стабилизатор тока.

Однокаскадный параметрический стабилизатор напряжения ПСН1 состоит из балластного резистора R_1 и последовательно соединенных полупроводниковых стабилитронов $VD_7...VD_{10}$. Нагрузкой стабилизатора ПСН1 являются последовательно соединенные резисторы $R_{12}...R_{15}$, R_{18} , R_{19} .

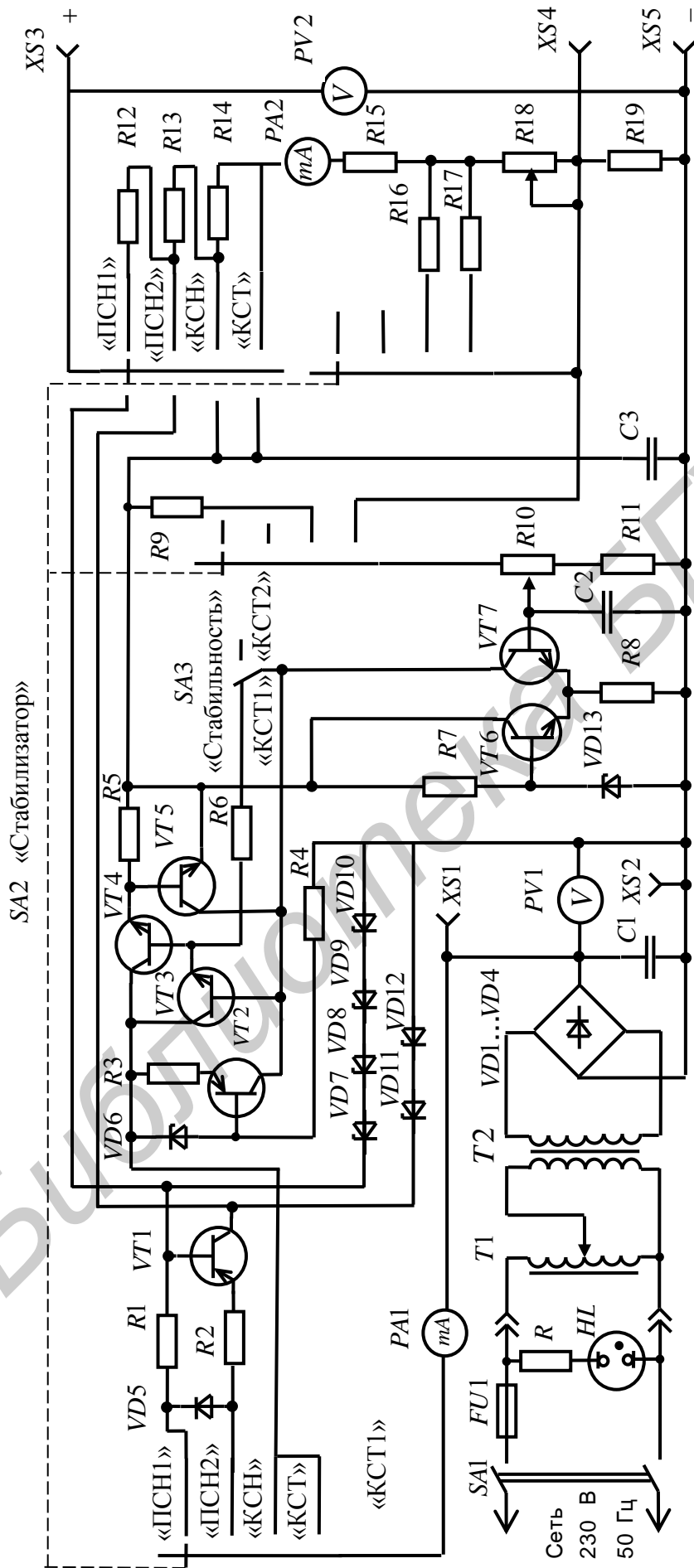


Рисунок 18.7 – Лабораторная установка для исследования стабилизаторов напряжения и тока с непрерывным регулированием. Схема электрическая принципиальная

Двухкаскадный параметрический стабилизатор напряжения ПСН2 построен на основе стабилизатора тока, состоящего из балластного резистора R_2 , токостабилизирующего транзистора VT_1 и последовательно соединенных стабилитронов VD_{11} , VD_{12} . Стабилизатор напряжения ПСН1 используется при этом в качестве источника опорного напряжения для токостабилизирующего транзистора VT_1 . Питание стабилизатора ПСН1 в этом случае осуществляется через диод VD_5 . Нагрузкой стабилизатора ПСН2 являются последовательно соединенные резисторы $R_{13} \dots R_{15}$, R_{18} , R_{19} .

Компенсационный стабилизатор напряжения КСН построен на транзисторах $VT_2 \dots VT_7$ по схеме с последовательным включением регулирующего элемента. В качестве регулирующего элемента используется составной транзистор, образованный транзисторами одного типа проводимости VT_3 , VT_4 .

Сравнение и усиление сигнала рассогласования осуществляется дифференциальным каскадом на транзисторах VT_6 , VT_7 . Напряжение на базе транзистора VT_6 стабилизировано стабилитроном VD_{13} , питание которого осуществляется выходным напряжением стабилизатора через резистор R_7 .

На базу транзистора VT_7 поступает выходное напряжение стабилизатора через делитель на резисторах $R_9 \dots R_{11}$. Полученный в результате сравнения сигнал рассогласования усиливается транзистором VT_7 и поступает на базу транзистора VT_3 .

Сигнал рассогласования изменяет сопротивление регулирующих транзисторов VT_3 , VT_4 , в результате чего изменяется падение напряжения на них, выходное напряжение стабилизатора устанавливается на определенном уровне и поддерживается практически постоянным при изменениях входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Выходное напряжение стабилизатора напряжения можно регулировать в определенных пределах переменным резистором R_{10} «Регулировка».

Точность поддержания выходного напряжения стабилизатора зависит от величины коэффициента передачи цепи обратной связи, определяемой усилительными свойствами транзисторов VT_6 , VT_7 дифференциального каскада и регулирующих транзисторов VT_3 , VT_4 . Для повышения коэффициента передачи цепи обратной связи и стабильности выходного напряжения питание усилительного транзистора VT_7 осуществляется через стабилизатор тока, построенный на элементах VD_6 , VT_2 , R_3 , R_4 .

Стабильность выходного напряжения компенсационного стабилизатора можно ступенчато изменять, изменяя коэффициент передачи цепи обратной связи переключателем SA_3 «Стабильность». В режиме «КСТ1» переход база – эмиттер транзистора VT_3 шунтирован низкоомным резистором R_6 и стабильность выходного напряжения определяется в основном усилительными свойствами транзистора VT_4 . Режим «КСТ2» характеризуется повышенной стабильностью выходного напряжения, определяемой усилительными свойствами обоих транзисторов VT_3 , VT_4 .

Элементы VT_5 , R_5 образуют быстродействующую электронную схему ограничения тока и защиты транзисторов VT_3 , VT_4 от перегрузок.

Конденсатор $C3$ уменьшает пульсации выходного напряжения. Конденсатор $C2$ устраняет самовозбуждения стабилизатора напряжения и паразитную генерацию на высоких частотах.

Нагрузкой компенсационного стабилизатора напряжения являются последовательно соединенные резисторы $R14$, $R15$, $R18$, $R19$. При этом параллельно переменному резистору $R18$ подключается постоянный резистор $R16$.

Компенсационный стабилизатор тока (КСТ) построен на основе компенсационного стабилизатора напряжения. Перевод компенсационного стабилизатора из режима стабилизации напряжения на нагрузку в режим стабилизации тока нагрузки достигается подключением делителя смещения на резисторах $R10$, $R11$ к измерительному резистору $R19$, соединенному последовательно с нагрузкой. В результате компенсационный стабилизатор переходит в режим стабилизации напряжения на измерительном резисторе $R19$. Так как сопротивление измерительного резистора $R19$ постоянно, ток, протекающий через резистор $R19$ и последовательно соединенную с ним нагрузку, также постоянен. Величину тока стабилизации можно регулировать в определенных пределах переменным резистором $R10$ «Регулировка».

Нагрузкой исследуемых стабилизаторов является резистивный делитель, состоящий из постоянных резисторов $R12...R17$, $R19$ и переменного резистора $R18$. Переменным резистором $R18$ «Нагрузка» устанавливается ток нагрузки стабилизаторов напряжения ПСН1, ПСН2, КСН и напряжение нагрузки стабилизатора тока КСТ.

Значение тока нагрузки стабилизаторов измеряется миллиамперметром постоянного тока $PA2$. Значение напряжения на нагрузке измеряется вольтметром постоянного тока $PV2$.

Контрольные гнезда $XS1$ - $XS2$, $XS3$ - $XS4$, $XS4$ - $XS5$ предназначены для визуального контроля и измерения сигналов на входе и выходе стабилизаторов посредством осциллографа.

18.3 Задание на исследование

1 Исследовать нестабильность выходного напряжения параметрических стабилизаторов напряжения. Построить графические зависимости $U_H = f(U_{BX})$ и определить коэффициенты стабилизации по напряжению.

2 Исследовать нагрузочную характеристику параметрических стабилизаторов напряжения. Построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее (выходное) сопротивление.

3 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке параметрических стабилизаторов напряжения.

4 Исследовать нестабильность выходного напряжения компенсационного стабилизатора напряжения в двух режимах стабилизации. Построить графические зависимости $U_H = f(U_{BX})$ и определить коэффициенты стабилизации по напряжению.

5 Исследовать нагрузочную характеристику компенсационного стабилизатора напряжения в двух режимах стабилизации. Построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее (выходное) сопротивление.

6 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке компенсационного стабилизатора напряжения в двух режимах стабилизации.

7 Исследовать нестабильность тока нагрузки компенсационного стабилизатора тока в двух режимах стабилизации. Построить графические зависимости $I_H = f(U_{ВХ})$ и определить коэффициенты стабилизации по току.

8 Исследовать нагрузочную характеристику компенсационного стабилизатора тока в двух режимах стабилизации. Построить графические зависимости $I_H = f(R_H)$ и определить внутреннее (выходное) сопротивление.

9 Определить КПД и коэффициент пульсаций тока нагрузки компенсационного стабилизатора тока в двух режимах стабилизации.

18.4 Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами управления и регулирования и с используемыми контрольно-измерительными приборами.

Доложить преподавателю о готовности выполнения работы.

С разрешения преподавателя установить минимальное выходное напряжения ЛАТРа, повернув регулятор против часовой стрелки до упора, и включить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Включить осциллограф и электронный вольтметр.

18.5 Порядок выполнения работы

18.5.1 Исследовать нестабильности выходного напряжения параметрических стабилизаторов напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «ПСН1». Резистор «НАГРУЗКА» установить на максимальное значение сопротивления нагрузки. К контрольным гнездам XS3-XS5 подсоединить электронный вольтметр.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение в диапазоне 10...50 В с шагом 5...10 В, контролируя его вольтметром PV1. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить напряжение на нагрузке вольтметром PV2 или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 18.1.

Установить переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» в положение «ПСН2» и повторить указанные выше операции и измерения.

Результаты измерений занести таблицу 18.1.

Таблица 18.1 – Нестабильность выходного напряжения параметрических стабилизаторов напряжения

Переключатель «Стабилизатор»	Параметр	Значения параметров					
		10	20	30	40	45	50
ПСН1	$U_{ВХ}, В$						
	$U_{Н}, В$						
	$\Delta U_{Н}, В$						
ПСН2	$K_{СТU}$						
	$U_{Н}, В$						
	$\Delta U_{Н}, В$						
	$K_{СТU}$						

По данным таблицы 18.1 построить графические зависимости $U_{Н} = f(U_{ВХ})$. Определить диапазон стабилизации и на участке стабилизации рассчитать коэффициенты стабилизации напряжения по формуле

$$K_{СТU} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ}) / (\Delta U_{Н} / U_{Н}), \quad (18.20)$$

где $\Delta U_{ВХ}, \Delta U_{Н}$ – разность между соседними измеренными значениями входного напряжения и напряжения на нагрузке соответственно.

18.5.2 Исследовать нагрузочные характеристики параметрических стабилизаторов напряжения.

Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру $PV1$. Положения остальных переключателей и ручек управления – по пункту 18.5.1.

Резистором «НАГРУЗКА» изменять величину сопротивления нагрузки от максимального до минимального, контролируя при этом изменения тока нагрузки по миллиамперметру $PA2$. При каждом фиксированном значении тока нагрузки с шагом 4 мА измерить величину постоянного напряжения на нагрузке вольтметром $PV2$ или электронным вольтметром.

Результаты измерений занести в таблицу 18.2.

Установить переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» в положение «ПСН2» и повторить указанные выше операции и измерения.

Результаты измерений занести в таблицу 18.2.

По данным таблицы 18.2 построить графические зависимости $U_{Н} = f(I_{Н})$ и на линейном участке характеристики определить внутреннее (выходное) сопротивление стабилизаторов напряжения по формуле

$$R_{ВЫХ} = \Delta U_{Н} / \Delta I_{Н}, \quad (18.21)$$

где $\Delta U_{Н}, \Delta I_{Н}$ – разность между соседними измеренными значениями напряжения и тока нагрузки соответственно.

Рассчитанные значения выходного сопротивления стабилизаторов напряжения занести в соответствующие графы таблицы 18.2.

Таблица 18.2 – Нагрузочная характеристика параметрических стабилизаторов напряжения

Переключатель «Стабилизатор»	Параметр	Значения параметров					$R_{\text{ВЫХ}}$, Ом
ПСН1	$I_{\text{Н}}$, мА	8	12	16	20	24	
	$U_{\text{Н}}$, В						
ПСН2	$I_{\text{Н}}$, мА	8	12	16	20	24	
	$U_{\text{Н}}$, В						

18.5.3 Определить КПД и коэффициент пульсаций параметрических стабилизаторов напряжения.

Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру $PV1$. Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «ПСН1».

Резистором «НАГРУЗКА» установить ток нагрузки 16 мА и определить КПД стабилизатора напряжения η по формуле

$$\eta_{\text{ПСН1}} = \frac{P_{\text{Н}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{Н}} \cdot I_{\text{Н}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}} \quad (18.22)$$

Входная мощность и мощность нагрузки определяется по показаниям приборов $PV1$, $PA1$ и $PV2$, $PA2$ соответственно.

К контрольным гнездам $XS3$ - $XS5$ подсоединить входные щупы осциллографа и на токе нагрузки 16 мА определить значение напряжения пульсаций как полуразмах изображения сигнала на экране по формуле

$$U_{\text{НПР}} = (m/2) \cdot k, \quad (18.23)$$

где m – количество клеток по вертикали, занимаемых изображением сигнала на экране осциллографа;

k – чувствительность осциллографа по оси «Y», В/дел.

Рассчитать коэффициент пульсаций напряжения по формуле

$$K_{\text{ПНПСН1}} = \frac{U_{\text{НПР}}}{U_{\text{Н}}} \quad (18.24)$$

Установить переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» в положение «ПСН2» и повторить указанные выше операции и измерения.

18.5.4 Исследовать нестабильность выходного напряжения компенсационного стабилизатора напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «КСН». Резистор «НАГРУЗКА» установить на минимальное значение сопротивления нагрузки. Переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» поставить в положение «КСТ1». Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру $PV1$. К контрольным гнездам $XS3$ - $XS5$ подсоединить электронный вольтметр. Ручкой потенциометра «РЕГУЛИРОВКА» установить выходное напряжение стабилизатора в пределах 18...36 В по вольтметру $PV2$.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение и провести измерения по методике, изложенной в пункте 18.5.1.

Результаты измерений занести в таблицу 18.3.

Таблица 18.3 – Нестабильность выходного напряжения компенсационного стабилизатора напряжения

Переключатель «Стабильность»	Параметр	Значения параметров					
		10	20	30	40	45	50
КСТ1	$U_H, В$						
	$\Delta U_H, В$						
	$K_{СТ1}U$						
КСТ2	$U_H, В$						
	$\Delta U_H, В$						
	$K_{СТ2}U$						

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше операции и вычисления.

Результаты измерений занести в таблицу 18.3.

По данным таблицы 18.3 построить графические зависимости $U_H = f(U_{ВХ})$. Определить диапазон стабилизации и на участке стабилизации рассчитать коэффициенты стабилизации по напряжению по формуле (18.20).

18.5.5 Исследовать нагрузочную характеристику компенсационного стабилизатора напряжения.

Резистор «НАГРУЗКА» установить на максимальное значение сопротивления нагрузки. Положение остальных переключателей и ручек управления – по пункту 18.5.4.

Резистором «НАГРУЗКА» изменять величину сопротивления нагрузки от максимального значения до минимального, контролируя при этом изменения тока нагрузки по миллиамперметру PA2. При каждом фиксированном значении тока нагрузки с шагом 20...40 мА измерить величину постоянного напряжения на нагрузке вольтметром PV2 или электронным вольтметром.

Результаты измерений занести в таблицу 18.4.

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше в пунктах 18.5.4, 18.5.5 операции и вычисления.

Результаты измерений занести в таблицу 18.4.

По данным таблицы 18.4 построить графические зависимости $U_H = f(U_{ВХ})$ и рассчитать внутреннее (выходное) сопротивление стабилизатора напряжения по формуле (18.21).

Рассчитанные значения выходного сопротивления занести в соответствующие графы таблицы 18.4.

18.5.6 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения компенсационного стабилизатора напряжения.

Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру *PV1*.

Таблица 18.4 – Нагрузочная характеристика компенсационного стабилизатора напряжения

Переключатель «Стабильность»	Параметр	Значения параметров				$R_{\text{ВЫХ}}$, Ом
КСТ1	$I_{\text{Н}}$, мА					
	$U_{\text{Н}}$, В					
КСТ2	$I_{\text{Н}}$, мА					
	$U_{\text{Н}}$, В					

Резистор «НАГРУЗКА» установить на минимальное значение сопротивления нагрузки. Переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» поставить в положение «КСТ1». Потенциометром «РЕГУЛИРОВКА» поочередно установить минимальное и максимальное напряжение на нагрузке по вольтметру *PV2*. Определить в этих режимах КПД компенсационного стабилизатора напряжения и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке по методике, изложенной в пункте 18.5.3, и формулам (18.22)...(18.24).

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше в пункте 18.5.6 операции и вычисления.

18.5.7 Исследовать нестабильность тока нагрузки компенсационного стабилизатора тока.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «КСТ». Резистор «НАГРУЗКА» установить на максимальное значение сопротивления нагрузки. Переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» поставить в положение «КСТ1». Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру *PV1*. Потенциометром «РЕГУЛИРОВКА» установить ток нагрузки в пределах 80...150 мА по миллиамперметру *PA2*. К контрольным гнездам *XS4-XS5* подсоединить электронный вольтметр.

ЛАТРОм изменять входное напряжение в диапазоне 10...50 В с шагом 5...10 В, контролируя его вольтметром *PV1*. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить электронным вольтметром напряжение $U_{\text{ИЗМ}}$ на измерительном резисторе *R19*.

Результаты измерений занести в таблицу 18.5.

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше в пункте 18.5.7 операции и вычисления.

Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 18.5.

По данным таблицы 18.5 определить ток нагрузки компенсационного стабилизатора тока в миллиамперах по формуле

$$I_{\text{Н}} = \frac{U_{\text{ИЗМ}}}{R_{19}} = \frac{U_{\text{ИЗМ}}}{0,027}, \quad (18.25)$$

где $U_{\text{ИЗМ}}$ – напряжение на измерительном резисторе *R19*, В;

$R_{19}=0,027$ кОм – значение сопротивления измерительного резистора.

Результаты вычислений занести в таблицу 18.5.

Таблица 18.5 – Нестабильность тока нагрузки компенсационного стабилизатора тока

Переключатель «Стабилизатор»	Параметр	Значения параметров					
		10	20	30	40	45	50
КСТ1	$U_{ВХ}$, В						
	$U_{ИЗМ}$, В						
	$\Delta U_{ИЗМ}$, В						
	I_H , мА						
	ΔI_H , мА						
	$K_{СТ1I}$						
КСТ2	$U_{ИЗМ}$, В						
	$\Delta U_{ИЗМ}$, В						
	I_H , мА						
	ΔI_H , мА						
	$K_{СТ2I}$						

По данным таблицы 18.5 построить графические зависимости $I_H = f(U_{ВХ})$. Определить диапазон стабилизации на участке стабилизации и рассчитать коэффициенты стабилизации по току по формуле

$$K_{СТI} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ}) / (\Delta I_H / I_H), \quad (18.26)$$

где $\Delta U_{ВХ}$, ΔI_H – разность между соседними измеренными значениями входного напряжения и тока нагрузки соответственно.

18.5.8 Исследовать нагрузочную характеристику компенсационного стабилизатора тока.

Переключатели и ручки управления установить по пункту 18.5.7. Резистором «НАГРУЗКА» изменять величину сопротивления нагрузки от максимального до минимального. При каждом фиксированном положении резистора «НАГРУЗКА» измерить напряжение на измерительном резисторе R_{19} электронным вольтметром и напряжение на нагрузке вольтметром $PV2$.

Результаты измерений занести в таблицу 18.6.

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше в пункте 18.5.8 операции и вычисления.

Результаты измерений занести в таблицу 18.6.

По данным таблицы 18.6 определить ток нагрузки по формуле (18.25) и сопротивление нагрузки по формуле

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = 27 \frac{U_H}{U_{ИЗМ}}. \quad (18.27)$$

Результаты расчетов занести в таблицу 18.6.

Таблица 18.6 – Нагрузочная характеристика компенсационного стабилизатора тока

Переключатель «Стабильность»	Параметр	Значения параметров			$R_{\text{ВЫХ}}$, кОм
КСТ1	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{ИЗМ}}$, В				
	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$R_{\text{Н}}$, Ом				
КСТ2	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{ИЗМ}}$, В				
	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$R_{\text{Н}}$, Ом				

По результатам расчетов построить графические зависимости $I_{\text{Н}} = f(R_{\text{Н}})$ и рассчитать внутреннее (выходное) сопротивление компенсационного стабилизатора тока по формуле (18.21).

Рассчитанные значения выходного сопротивления занести в соответствующие графы таблицы 18.6.

18.5.9 Определить КПД и коэффициент пульсаций тока нагрузки компенсационного стабилизатора тока.

Переключатели и ручки управления установить по пункту 18.5.7. К контрольным гнездам XS3-XS5 подсоединить входные щупы осциллографа. Потенциометром «РЕГУЛИРОВКА» поочередно установить минимальное и максимальное значение тока нагрузки по миллиамперметру PA2. Определить в этих режимах КПД компенсационного стабилизатора тока и коэффициент пульсаций тока (напряжения) в нагрузке по методике, изложенной в пункте 18.5.3, и формулам (18.22)...(18.24).

Установить переключатель «СТАБИЛЬНОСТЬ» в положение «КСТ2» и повторить указанные выше в пункте 18.5.9 операции и вычисления .

18.6 Завершение работы

Резистор «НАГРУЗКА» установить на максимальное значение сопротивления.

Доложить преподавателю о завершении работы и показать результаты измерений.

С разрешения преподавателя отключить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Отсоединить от лабораторной установки входные щупы осциллографа и электронного вольтметра и отключить их.

18.7 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей, указанные в подразделе 18.5.
- 5 Зарисованные осциллограммы пульсаций выходного напряжения стабилизаторов.
- 6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

18.8 Контрольные вопросы

- 1 Что такое стабилизатор напряжения и чем он отличается от стабилизатора тока?
- 2 Каковы основные критерии качества стабилизатора?
- 3 В чем заключается разница между стабилизацией и сглаживанием напряжения (тока)?
- 4 На какие виды подразделяются стабилизаторы по принципу действия?
- 5 В чем заключается принцип работы однокаскадной схемы параметрического стабилизатора напряжения и каковы его недостатки?
- 6 Что такое термокомпенсация стабилизатора?
- 7 В чем заключается принцип работы компенсационных стабилизаторов напряжения и тока?
- 8 Для чего в качестве регулирующего элемента стабилизатора применяют составной транзистор?
- 9 В чем заключается влияние изменения сопротивления нагрузки на эффект стабилизации напряжения (тока)?

Лабораторная работа №19

СТАБИЛИЗАТОРЫ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Цель работы – изучить устройство и принцип действия компенсационных стабилизаторов напряжения и тока с импульсным регулированием. Усвоить методы измерения их основных характеристик. Исследовать экспериментально характеристики и режимы работы импульсных стабилизаторов напряжения и тока.

19.1 Краткие теоретические сведения

Импульсные стабилизаторы напряжения находят все большее применение в связи с существенно большим коэффициентом полезного действия (КПД) по сравнению со стабилизаторами непрерывного действия.

Типовая структурная схема импульсного стабилизатора постоянного напряжения представлена на рисунке 19.1.

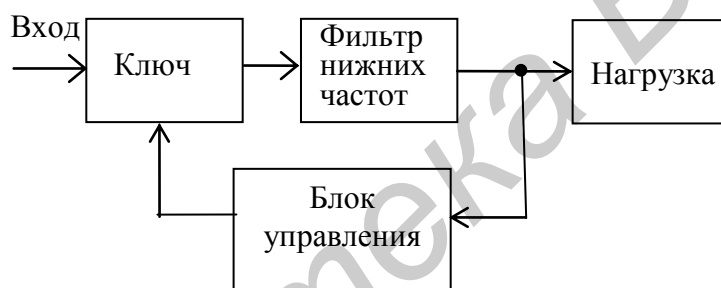


Рисунок 19.1 – Типовая структурная схема импульсного стабилизатора постоянного напряжения

Стабилизация выходного напряжения на нагрузке будет происходить при выполнении условия

$$U_{ВХ} \cdot I_{ВХ} \cdot t_{И} = U_{Н} \cdot I_{Н} (T - t_{И}), \quad (19.1)$$

где $U_{ВХ}, I_{ВХ}$ – входные напряжение и ток;

$U_{Н}, I_{Н}$ – напряжение и ток нагрузки;

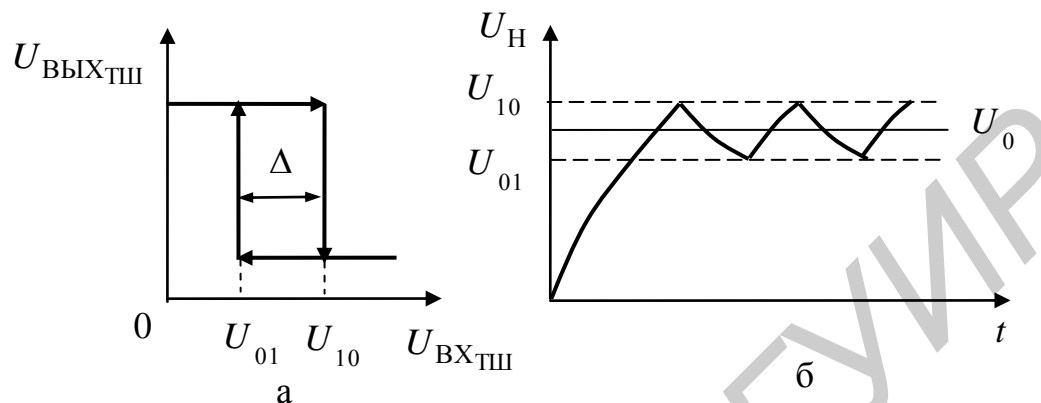
$t_{И}$ – интервал времени, в течение которого ключ открыт;

$T - t_{И}$ – интервал времени, в течение которого ключ закрыт.

Формула (19.1) определяет, что энергия, поступающая в схему при открытом состоянии ключа, равна энергии, расходуемой на нагрузке при закрытом ключе. При изменении входных параметров либо параметров нагрузки схема регулирует соотношение $t_{И}/(T - t_{И})$ таким образом, чтобы напряжение на нагрузке сохранялось постоянным.

В зависимости от способа реализации блока управления различают релейные стабилизаторы, стабилизаторы с частотно-импульсными модуляторами (ЧИМ) и стабилизаторы с широтно-импульсными модуляторами (ШИМ).

В релейных стабилизаторах используют следящий триггер (триггер Шмитта), у которого уровень переключения зависит от направления изменения входного напряжения (рисунок 19.2, а).



а – амплитудная характеристика триггера Шмитта;
 б – временные диаграммы работы релейного стабилизатора
 Рисунок 19.2 – Принцип действия релейного стабилизатора

Вход триггера Шмитта соединен с нагрузкой, а выход – с ключом. В момент подачи входного напряжения напряжение на нагрузке равно нулю и высокий уровень на выходе триггера (рисунок 19.2, а) замыкает ключ и напряжение на нагрузке начинает нарастать (рисунок 19.2, б). В момент достижения этим напряжением уровня U_{10} триггер Шмитта переключается и размыкает ключ. Энергия, накопленная в фильтре нижних частот, расходуется на нагрузке и напряжение на последней падает. В момент достижения этим напряжением уровня U_{01} триггер Шмитта замыкает ключ. Далее эти процессы периодически повторяются.

В установившемся режиме постоянная составляющая напряжения на нагрузке U_0 будет равна

$$U_0 = U_{01} + \Delta/2, \quad (19.2)$$

где Δ – гистерезис амплитудной характеристики триггера Шмитта.

При изменении входного напряжения либо напряжения на нагрузке схема регулирует длительность замкнутого состояния ключа таким образом, чтобы поддерживалось равенство (19.2).

Размах пульсаций на нагрузке определяется значением гистерезиса Δ .

Для уменьшения пульсаций можно включить разностный усилитель между нагрузкой и входом триггера Шмитта.

Стабилизатор с ЧИМ содержит в блоке управления преобразователь «напряжение-частота» с фиксированной длительностью импульса, подключенный входом к нагрузке, а выходом – к ключу.

В установившемся режиме напряжение на нагрузке $U_{Н}$ равно

$$U_H = U_{ВХ} \frac{t_{И}}{T} = U_{ВХ} \cdot t_{И} \cdot f, \quad (19.3)$$

где $U_{ВХ}$ – входное напряжение стабилизатора;

$t_{И}$ – длительность импульса на выходе преобразователя «напряжение-частота» (время замкнутого состояния ключа);

f – частота следования импульсов в преобразователе «напряжение-частота».

Из выражения (19.3) следует, что функция преобразования преобразователя «напряжение-частота» φ должна иметь вид $f = \varphi(1/U_H)$.

В этом случае, например, при увеличении тока нагрузки снижается напряжение U_H на нагрузке и частота следования импульсов f возрастает. Энергия, поступающая на нагрузку, увеличивается, и напряжение U_H возвращается к номинальному значению. При снижении тока нагрузки все происходит наоборот.

Стабилизатор с ШИМ содержит в блоке управления преобразователь «напряжение-время» с фиксированным периодом следования импульсов T и изменяющейся длительностью импульса $t_{И}$. Функция преобразования φ преобразователя «напряжение-время» имеет вид $f = \varphi(1/t_{И})$.

Принцип работы таких стабилизаторов аналогичен работе стабилизаторов с ЧИМ.

Преимущество стабилизаторов с ШИМ заключается в том, что они работают на фиксированной частоте. Это снижает требования к фильтрам нижних частот для достижения необходимого уровня пульсаций.

У релейных стабилизаторов и стабилизаторов с ЧИМ при больших диапазонах изменения нагрузки частота следования импульсов также изменяется в большом диапазоне, что значительно осложняет фильтрацию сигналов управления. Поэтому эти типы стабилизаторов используются при небольших изменениях тока нагрузки.

19.2 Описание лабораторной установки

Электрические принципиальные схемы лабораторной установки приведены на рисунках 19.3, 19.4, 19.5 и на лицевой панели установки.

Напряжение сети 230 В частотой 50 Гц через переключатель SA1 «Сеть» и плавкий предохранитель FU1 поступает на вход лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) T1, выход которого подключен к сетевому понижающему трансформатору T2. Наличие напряжения на лабораторной установке контролируется индикатором HL1.

Вторичная обмотка сетевого понижающего трансформатора T2 подсоединена к мостовому выпрямителю на элементах VD1...VD4. Значение постоянного напряжения на выходе выпрямителя измеряется вольтметром постоянного

тока $PV1$. Значение тока, потребляемого импульсным стабилизатором напряжения, измеряется амперметром постоянного тока $PA1$.

Выбор типа импульсного стабилизатора осуществляется переключателем $SA2$ «Стабилизатор», положения которого соответствуют следующим схемам включения:

РЕЛ – импульсный релейный стабилизатор постоянного напряжения;

ЧИМ – импульсный стабилизатор постоянного напряжения с частотно-импульсной модуляцией;

ШИМ – импульсный стабилизатор постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией.

В качестве нагрузки стабилизатора используется составной транзисторный каскад, образованный транзисторами $VT13$, $VT14$. Резисторы $R21...R23$ образуют делитель напряжения смещения транзисторного каскада. Изменение тока, потребляемого транзисторным каскадом, осуществляется изменением напряжения смещения на базе транзистора $VT13$ с помощью резистора $R22$ «Нагрузка». Резистор $R24$ – токостабилизирующий.

Индуктивно-емкостный фильтр $L1$, $C7$ сглаживает броски тока в нагрузке при импульсных перепадах входного напряжения и уменьшает пульсации напряжения на нагрузке. Разрядный диод $VD8$, включенный в обратном направлении, обеспечивает разряд ЭДС самоиндукции дросселя $L1$ во время закрытого состояния ключевых транзисторов $VT5$, $VT6$ и возврат электромагнитной энергии дросселя в нагрузку.

Элементы $VT7$, $R10$ образуют быстродействующую электронную схему ограничения тока и защиты ключевых транзисторов $VT5$, $VT6$ от перегрузок.

Выходное напряжение импульсного релейного стабилизатора можно регулировать в определенных пределах переменным резистором $R19$ «Регулировка».

Значение тока нагрузки измеряется амперметром постоянного тока $PA2$. Значение напряжения на нагрузке измеряется вольтметром постоянного тока $PV2$.

Контрольные гнезда $XS1...XS8$ предназначены для визуального контроля и измерения напряжения на различных участках импульсного стабилизатора посредством осциллографа. При этом на контрольные гнезда выведены следующие контрольные напряжения схемы:

$XS1$ - $XS2$ – входное напряжение питания стабилизатора;

$XS3$ - $XS4$ – управляющее напряжение на входе транзисторного реле;

$XS5$ - $XS6$ – импульсное напряжение на выходе транзисторного ключа;

$XS7$ - $XS8$ – выходное напряжение на нагрузке.

Импульсный релейный стабилизатор постоянного напряжения (рисунок 19.3) построен на транзисторах $VT2...VT6$, $VT11$, $VT12$ по схеме с последовательным включением регулирующего элемента. В качестве регулирующего элемента используется составной транзистор, образованный транзисторами одного типа проводимости $VT5$, $VT6$, работающими в ключевом режиме.

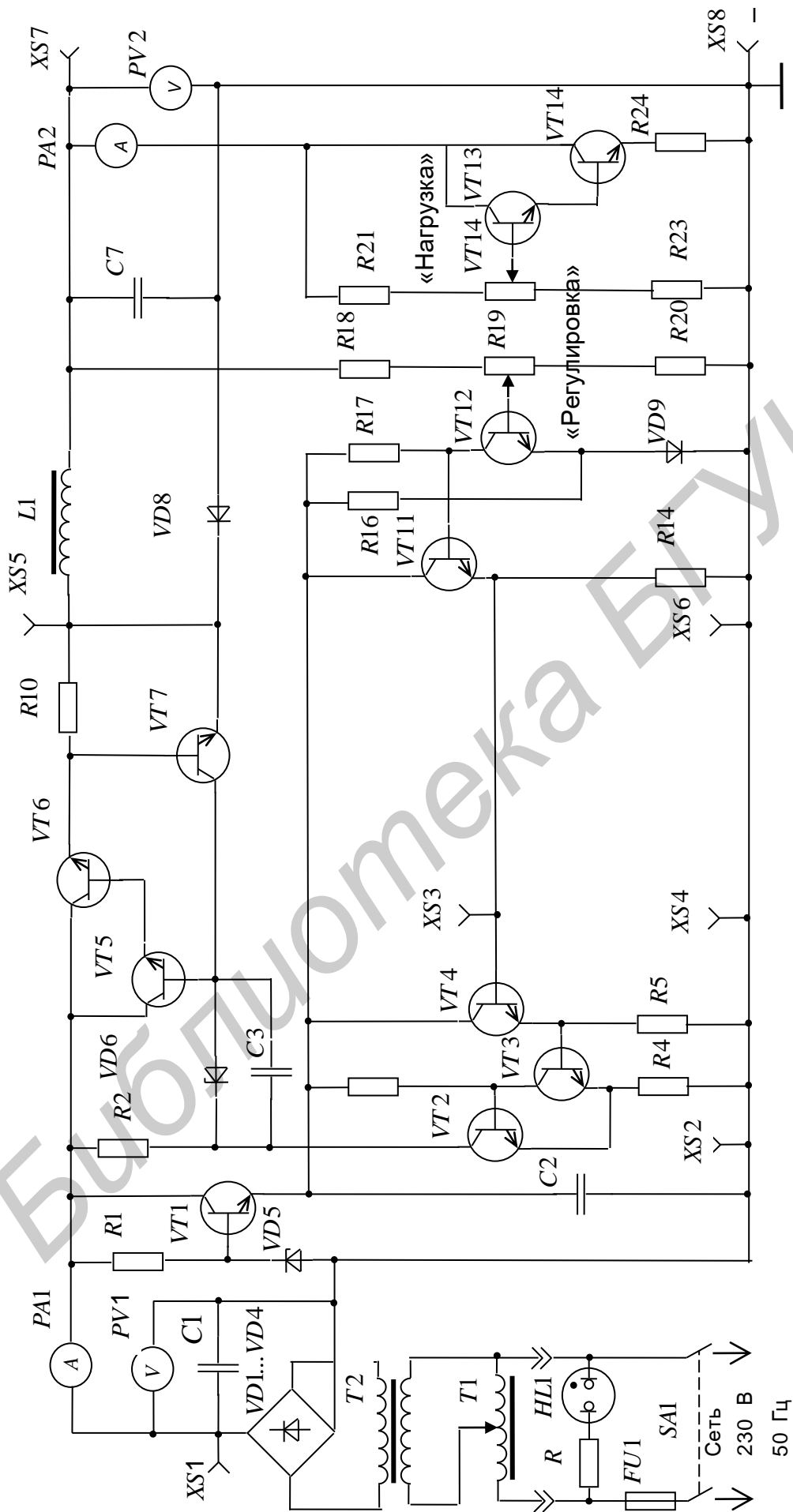


Рисунок 19.3 – Импульсный релейный стабилизатор постоянного напряжения.
Схема электрическая принципиальная

Управление ключом осуществляется транзисторным реле, построенным по схеме следящего триггера (триггера Шмитта) на транзисторах $VT2 \dots VT4$.

Включение и выключение транзисторного реле осуществляется сигналом рассогласования, вырабатываемым схемой сравнения на транзисторе $VT12$, резисторах $R16, R17$, диоде $VD9$. Питание транзисторного реле и схемы сравнения осуществляется низковольтным напряжением от параметрического стабилизатора напряжения на элементах $R1, VD5, VT1, C2$.

Транзисторное реле имеет два устойчивых состояния. При включении напряжения сети транзистор $VT3$ открыт высоким уровнем напряжения с выхода схемы сравнения. В результате транзистор $VT3$ переходит в насыщенное состояние, а транзистор $VT2$ – в режим отсечки.

Высокий уровень напряжения с коллектора транзистора $VT2$ через форсирующую цепочку $VD6, C3$ переводит ключевые транзисторы $VT5, VT6$ в насыщенное состояние и через резистор $R10$, дроссель $L1$ протекает ток нагрузки и зарядный ток конденсатора $C7$. По мере заряда конденсатора $C7$ повышается выходное напряжение стабилизатора и напряжение на базе транзистора $VT12$. Это вызывает увеличение тока коллектора транзистора $VT12$ и снижение напряжения на его коллекторе. Это напряжение через эмиттерный повторитель на транзисторе $VT10$ поступает на вход транзисторного реле. При достижении напряжения отпущения транзистор $VT3$ переходит в режим отсечки. В результате открывается и переходит в режим насыщения высоковольтный транзистор $VT2$. Ключевые транзисторы $VT5, VT6$ закрываются и начинается разряд конденсатора $C7$ на нагрузку.

По мере разряда конденсатора $C7$ снижается напряжение на нагрузке и на базе транзистора $VT12$. Это сопровождается повышением напряжения на его коллекторе и на входе транзисторного реле. При достижении на входе последнего напряжения срабатывания транзистор $VT3$ переходит в режим насыщения, транзистор $VT2$ закрывается и ключевые транзисторы $VT5, VT6$ переходят в насыщенное состояние.

Таким образом, колебания напряжения на нагрузке приводят к периодическому открыванию и закрыванию ключевых транзисторов $VT5, VT6$. В результате выходное напряжение стабилизатора устанавливается на определенном уровне и поддерживается практически постоянным при изменениях входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Импульсный стабилизатор постоянного напряжения с частотно-импульсной модуляцией (рисунок 19.4) построен на основе импульсного релейного стабилизатора напряжения и содержит дополнительно частотно-импульсный модулятор. Этот модулятор выполнен по схеме симметричного автоколебательного RC -мультивибратора на транзисторах $VT9, VT10$. Питание мультивибратора осуществляется низковольтным напряжением от параметрического стабилизатора напряжения на элементах $R1, VD5, VT1, C2$.

Частотно-задающая цепь мультивибратора состоит из резисторов $R8, R13$, конденсаторов $C4, C6$. В процессе перезаряда конденсаторов транзисторы $VT9, VT10$ поочередно открываются и закрываются, переходя в состояние насыщения или в режим отсечки.

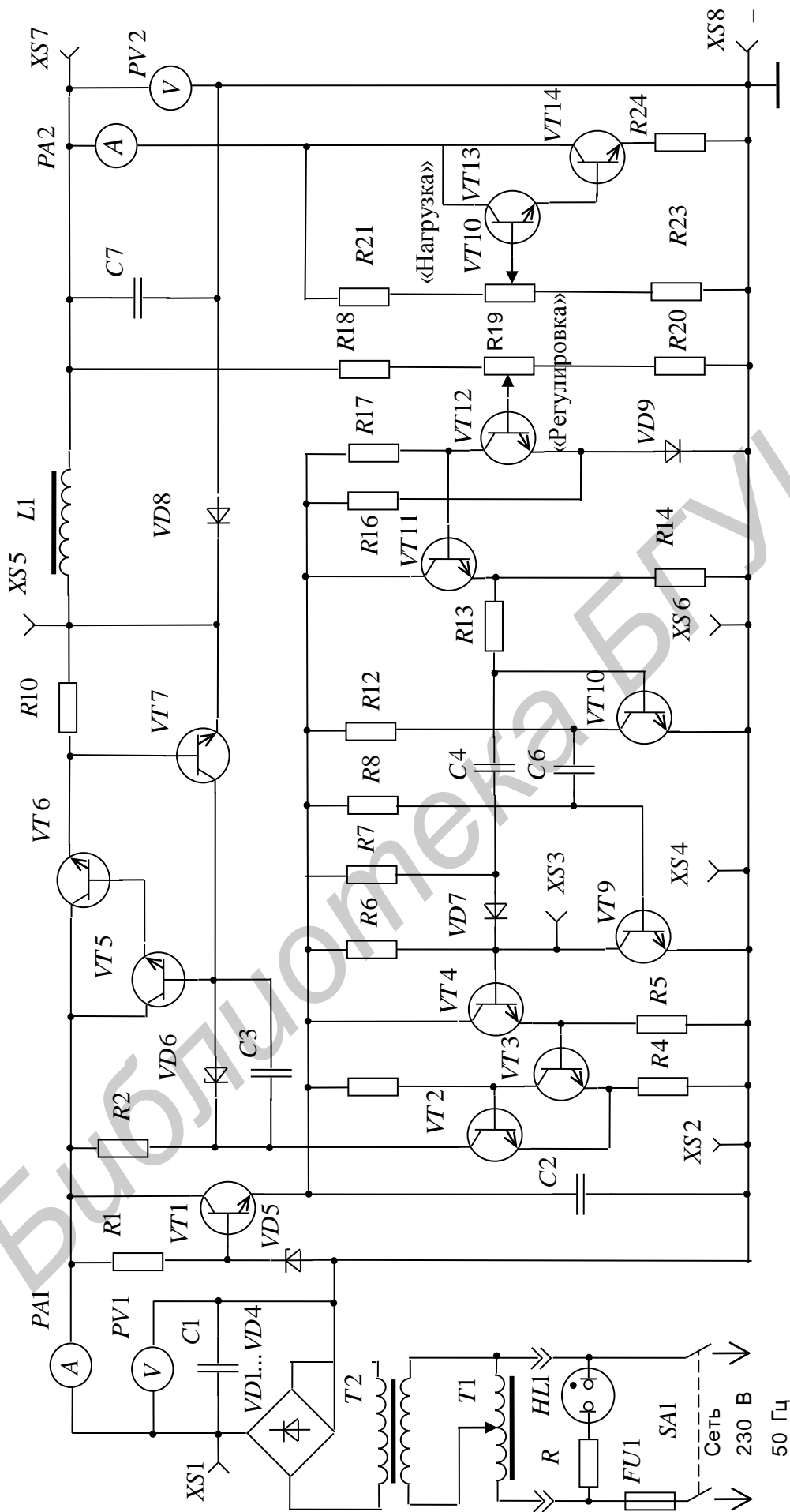


Рисунок 19.4 – Импульсный стабилизатор постоянного напряжения с частотно-импульсной модуляцией.
 Схема электрическая принципиальная

Длительность выходного импульса в схеме фиксированная и определяется постоянной разряда цепочки $R8C6$ через транзистор $VT10$, а интервал между импульсами – постоянной разряда цепочки $R13C4$ через диод $VD7$ и открытый транзистор $VT9$.

Частота генерации импульсов определяется постоянной времени цепей разряда конденсаторов $C4$ и $C6$:

$$f = \frac{1}{T1 + T2} \approx \frac{1}{0,7(C6 \cdot R8 + C4 \cdot R13)} . \quad (19.4)$$

При разряде конденсатора $C4$ на базу транзистора $VT10$ поступает отрицательный потенциал с конденсатора $C4 (-U_{C4})$ и положительный потенциал с эмиттера транзистора $VT11 (U_{Э11})$.

Переключение транзистора $VT10$ происходит в момент, когда напряжение на базе транзистора достигнет порога открывания транзистора $U_{Б0}$:

$$U_{Б0} = U_{Э11} - U_{C4} . \quad (19.5)$$

Поскольку порог открывания $U_{Б0}$ величина приблизительно постоянная, то при возрастании величины $U_{Э11}$ переключение $VT10$ произойдет при большем отрицательном значении U_{C4} , т. е. время разряда и интервал между импульсами уменьшится. Частота следования импульсов возрастает.

При уменьшении $U_{Э11}$ частота следования импульсов снижается. Выходные импульсы мультивибратора с коллектора транзистора $VT9$ осуществляют переключение транзисторного реле. Так, при поступлении импульса транзистор $VT3$ открывается, а транзистор $VT2$ закрывается и на его коллекторе устанавливается высокий уровень напряжения (силовые ключи открыты). При отсутствии импульса транзистор $VT3$ закрывается, а транзистор $VT2$ открывается и на его коллекторе устанавливается низкий уровень напряжения (силовые ключи закрыты).

Выходное напряжение стабилизатора устанавливается на определенном уровне и поддерживается практически постоянным при изменениях входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Выходное напряжение импульсного стабилизатора можно регулировать в определенных пределах переменным резистором $R19$ «Регулировка».

Импульсный стабилизатор постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией (рисунок 19.5) построен на основе импульсного релейного стабилизатора напряжения и содержит дополнительно генератор пилообразных импульсов постоянной частоты.

Генератор пилообразных импульсов выполнен по схеме симметричного RC -мультивибратора на транзисторах $VT9$, $VT10$. Питание мультивибратора, в частности, коллекторных и базовых цепей транзисторов осуществляется низковольтным напряжением от параметрического стабилизатора напряжения на элементах $R1$, $VD5$, $VT1$, $C2$.

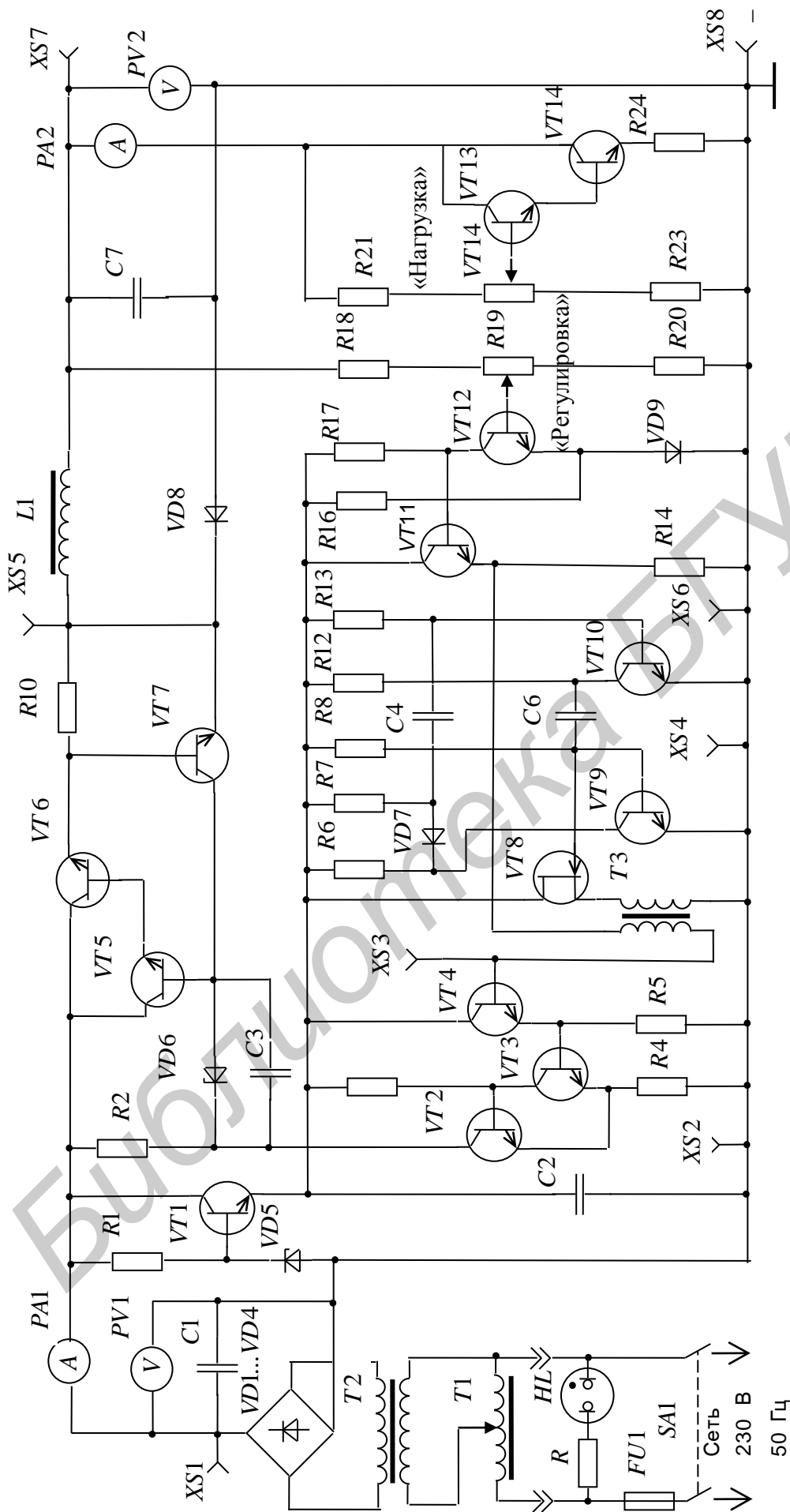


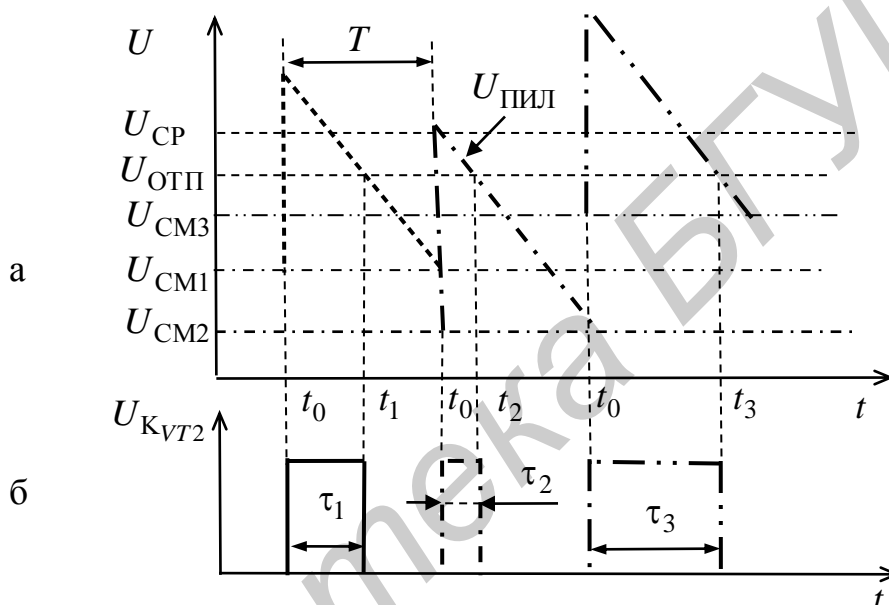
Рисунок 19.5 – Импульсный стабилизатор постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией.
 Схема электрическая принципиальная

Пилообразные импульсы с базы транзистора $VT9$ через истоковый повторитель на полевом транзисторе $VT8$ с трансформаторным выходом суммируются с сигналом рассогласования, вырабатываемым схемой сравнения на транзисторе $VT12$. Суммарное напряжение сигнала рассогласования и пилообразных импульсов осуществляет переключение транзисторного реле.

Генератор пилообразных импульсов и транзисторное реле образуют широтно-импульсный модулятор (ШИМ).

На рисунке 19.6 приведены диаграммы работы ШИМ.

Предположим, что в стационарном режиме работы импульсного стабилизатора на выходе схемы сравнения устанавливается определенный уровень напряжения сигнала рассогласования U_{CM1} (рисунок 19.6, а).



- а – суммарное напряжение на входе транзисторного реле:
 $U_{CM1}, U_{CM2}, U_{CM3}$ – сигналы рассогласования с выхода схемы сравнения; $U_{ПИЛ}$ – импульсное пилообразное напряжение;
 $U_{СР}, U_{ОТП}$ – напряжения срабатывания и отпусkania транзисторного реле соответственно;
- б – импульсное напряжение на выходе транзисторного реле

Рисунок 19.6 – Диаграммы напряжений широтно-импульсного модулятора

При поступлении пилообразного импульса в момент времени t_0 суммарное напряжение сигнала рассогласования U_{CM1} и пилообразного импульса $U_{ПИЛ}$ скачком возрастает до величины, превышающей напряжение срабатывания $U_{СР}$ транзисторного реле. Транзистор $VT3$ открывается, и на коллекторе

транзистора $VT2$ возникает высокий уровень напряжения (рисунок 19.6, б).

Напряжение пилообразного импульса постепенно уменьшается и в момент времени t_1 достигает напряжения отпускания транзисторного реле $U_{отп}$.

Транзистор $VT2$ открывается и на его коллекторе устанавливается низкий уровень напряжения (рисунок 19.6, б).

За время импульса τ_1 в конденсатор $C7$ поступает равно столько энергии, сколько расходуется в интервале между импульсами, и выходное напряжение остается постоянным.

При увеличении выходного напряжения стабилизатора сигнал рассогласования $U_{см2}$ и длительность выходного импульса τ_2 транзисторного реле уменьшаются (см. рисунок 19.6, б), что возвращает выходное напряжение стабилизатора к номинальному значению. При уменьшении выходного напряжения стабилизатора увеличивается напряжение сигнала рассогласования $U_{см3}$ и длительность включенного состояния транзисторного реле τ_3 возрастает (см. рисунок 19.6, б). При этом на выход стабилизатора поступает больше энергии, и его выходное напряжение возвращается к исходному уровню.

Аналогично работает ШИМ при изменениях входного напряжения.

Выходное напряжение импульсного стабилизатора можно регулировать в определенных пределах переменным резистором $R19$ «Регулировка».

19.3 Задание на исследование

1 Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсных стабилизаторов напряжения. Построить графические зависимости $U_H = f(U_{ВХ})$ и определить коэффициент стабилизации по напряжению.

2 Исследовать нагрузочную характеристику импульсных стабилизаторов напряжения. Построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее выходное сопротивление.

3 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке импульсных стабилизаторов напряжения.

4 Зарисовать осциллограммы напряжений и определить параметры импульсов на выходе транзисторного ключа стабилизаторов при различных значениях входного напряжения, выходного напряжения и тока нагрузки.

19.4 Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами управления и регулирования и с используемыми контрольно-измерительными приборами.

Доложить преподавателю о готовности выполнения работы.

С разрешения преподавателя установить минимальное выходное напряжение ЛАТРа, повернув регулятор против часовой стрелки до упора, и включить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Включить осциллограф и электронный вольтметр.

19.5 Порядок выполнения работы

19.5.1 Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсных стабилизаторов напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «РЕЛ». Регулятором ЛАТРа установить максимальные значения входного напряжения по вольтметру $PV1$. Ручкой потенциометра «РЕГУЛИРОВКА» установить выходное напряжение стабилизатора в пределах 16...18 В по вольтметру $PV2$. Ручкой резистора «НАГРУЗКА» установить ток нагрузки 1 А по амперметру $PA2$. К контрольным гнездам $XS7$ - $XS8$ подсоединить электронный вольтметр.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение от 50 В до нуля с шагом 10 В, контролируя его вольтметром $PV1$. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить напряжение на нагрузке вольтметром $PV2$ или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 19.1.

Таблица 19.1 – Нестабильность выходного напряжения импульсных стабилизаторов напряжения

Переключатель «Стабилизатор»	Параметр					
		10	20	30	40	50
«РЕЛ»	$U_H, В$					
	$\Delta U_H, В$					
	K_{CTU}					
«ЧИМ»	$U_H, В$					
	$\Delta U_H, В$					
	K_{CTU}					
«ШИМ»	$U_H, В$					
	$\Delta U_H, В$					
	K_{CTU}					

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить поочередно в положение «ЧИМ», «ШИМ» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше в пункте 19.5.1 операции и измерения. Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 19.1.

По данным таблицы 19.1 построить графические зависимости $U_H = f(U_{ВХ})$. Определить диапазон стабилизации и на участке стабилизации рассчитать коэффициенты стабилизации напряжения по формуле

$$K_{CTU} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ}) / (\Delta U_{Н} / U_{Н}), \quad (19.6)$$

где $\Delta U_{ВХ}$, $\Delta U_{Н}$ – разность между соседними измеренными значениями входного напряжения и напряжения на нагрузке соответственно.

Рассчитанные значения коэффициента стабилизации по напряжению занести в соответствующие графы таблицы 19.1.

19.5.2 Исследовать нагрузочную характеристику импульсных стабилизаторов напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «РЕЛ». Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру $PV1$. Ручкой потенциометра «РЕГУЛИРОВКА» установить выходное напряжение стабилизатора 18 В по вольтметру $PV2$. К контрольным гнездам $XS7$ - $XS8$ подсоединить электронный вольтметр.

Ручкой резистора «НАГРУЗКА» изменять величину тока нагрузки от минимального до максимального значения, контролируя его амперметром $PA2$. При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину постоянного напряжения на нагрузке электронным вольтметром.

Результаты измерений занести в таблицу 19.2.

Таблица 19.2 – Нагрузочная характеристика импульсных стабилизаторов напряжения

Переключатель «Стабилизатор»	Параметр	Значения параметров			$R_{ВЫХ}$, Ом
«РЕЛ»	$I_{Н}$, А	0,2	0,6	1,0	
	$U_{Н}$, В				
«ЧИМ»	$I_{Н}$, А	0,2	0,6	1,0	
	$U_{Н}$, В				
«ШИМ»	$I_{Н}$, А	0,2	0,6	1,0	
	$U_{Н}$, В				

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить поочередно в положение «ЧИМ», «ШИМ» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше в пункте 19.5.2 операции и измерения. Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 19.2.

По данным таблицы 19.2 построить графические зависимости $U_{Н} = f(I_{Н})$ и на линейном участке характеристики определить внутреннее (выходное) сопротивление стабилизаторов напряжения по формуле

$$R_{ВЫХ} = \Delta U_{Н} / \Delta I_{Н}, \quad (19.7)$$

где $\Delta U_{Н}$, $\Delta I_{Н}$ – разность между соседними измеренными значениями напряжения и тока нагрузки соответственно.

Рассчитанные значения выходного сопротивления стабилизаторов напряжения занести в соответствующие графы таблицы 19.2.

19.5.3 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке импульсных стабилизаторов напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «РЕЛ». Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру $PV1$. Ручкой резистора «НАГРУЗКА» установить максимальный ток нагрузки по амперметру $PA2$. К контрольным гнездам $XS7$ - $XS8$ подсоединить входные щупы осциллографа.

Ручкой потенциометра «РЕГУЛИРОВКА» поочередно установить минимальное и максимальное напряжение на нагрузке в пределах 14...20 В по вольтметру $PV2$. Определить в этих режимах КПД импульсного релейного стабилизатора напряжения по формуле

$$\eta_{ПСН1} = \frac{P_H}{P_{ВХ}} = \frac{U_H \cdot I_H}{U_{ВХ} \cdot I_{ВХ}}. \quad (19.8)$$

Входная мощность и мощность нагрузки определяется по показаниям приборов $PV1$, $PA1$ и $PV2$, $PA2$ соответственно.

Одновременно с измерениями, проводимыми при определении КПД, определить значение пульсаций напряжения на нагрузке как полуразмах изображения сигнала на экране осциллографа по формуле:

$$U_{НПР} = (m/2) \cdot k, \quad (19.9)$$

где m – количество клеток по вертикали, занимаемых изображением сигнала на экране осциллографа;

k – чувствительность осциллографа по оси «Y», В/дел.

Рассчитать коэффициент пульсаций напряжения по формуле

$$K_{ПН} = U_{НПР} / U_H. \quad (19.10)$$

Показатели режима работы стабилизатора напряжения и полученные расчетные значения параметров занести в таблицу 19.3.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить поочередно в положение «ЧИМ», «ШИМ» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше в пункте 19.5.3 операции и измерения. Результаты измерений и расчетов занести в соответствующие графы таблицы 19.3.

Таблица 19.3 – Энергетические и сглаживающие параметры импульсных стабилизаторов напряжения

Переключатель «Стабилизатор»	Потенциометр «Регулировка»	Параметры					
		$U_{ВХ}$, В	$I_{ВХ}$, А	U_H , В	I_H , А	КПД	$K_{ПН}$
«РЕЛ»	минимум						
	максимум						
«ЧИМ»	минимум						
	максимум						
«ШИМ»	минимум						
	максимум						

19.5.4. Снять осциллограммы напряжения импульсных стабилизаторов напряжения.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить в положение «РЕЛ». К контрольным гнездам XS5-XS6 подсоединить входные щупы осциллографа. Осциллограммы напряжения на выходе транзисторного ключа зарисовать в следующих режимах работы импульсного релейного стабилизатора напряжения:

- а) $U_{ВХ} = 50 \text{ В}$, $U_{Н} = 20 \text{ В}$, $I_{Н} = 0,2 \text{ А}$;
- б) $U_{ВХ} = 50 \text{ В}$, $U_{Н} = 20 \text{ В}$, $I_{Н} = 1 \text{ А}$;
- в) $U_{ВХ} = 50 \text{ В}$, $U_{Н} = 15 \text{ В}$, $I_{Н} = I_{Н\text{max}}$;
- г) $U_{ВХ} = 30 \text{ В}$, $U_{Н} = 15 \text{ В}$, $I_{Н} = I_{Н\text{max}}$.

Режим работы стабилизатора напряжения устанавливать регулятором ЛАТРа, ручкой потенциометра «РЕГУЛИРОВКА», ручкой резистора «НАГРУЗКА» по показаниям приборов $PV1$, $PV2$, $PA2$ соответственно.

По осциллограммам на экране осциллографа определить амплитуду, длительность и частоту следования импульсов, а также построить их графическое изображение. На каждом графическом изображении указать режим работы стабилизатора напряжения и параметры импульсов.

Переключатель «СТАБИЛИЗАТОР» поставить поочередно в положение «ЧИМ», «ШИМ» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше операции.

19.6 Завершение работы

Ручкой резистора «НАГРУЗКА» установить минимальное значение тока нагрузки.

Установить минимальное выходное напряжение ЛАТРа, повернув регулятор против часовой стрелки до упора.

Доложить преподавателю о завершении работы и показать результаты измерений.

С разрешения преподавателя отключить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Отсоединить от лабораторной установки входные щупы осциллографа и электронного вольтметра и отключить их.

19.7 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей, указанные в подразделе 19.5.

5 Зарисованные осциллограммы пульсаций выходного напряжения стабилизаторов.

6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

19.8 Контрольные вопросы

1 Объясните преимущества и недостатки импульсных стабилизаторов по сравнению со стабилизаторами непрерывного действия.

2 Изобразите структурную схему релейного стабилизатора и поясните принцип его работы.

3 Изобразите структурную схему стабилизатора с ЧИМ и поясните принцип его работы.

4 Изобразите структурную схему стабилизатора с ШИМ и поясните принцип его работы.

5 Почему в релейном стабилизаторе обязательно применение триггера Шмитта?

6 Зачем в выходном LC-фильтре стабилизаторов используется обратно-включенный диод?

7 С какой целью в цепях управления транзисторных ключей используются форсирующие цепочки?

Лабораторная работа №20 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы – изучить устройство и принцип действия преобразователей постоянного напряжения. Усвоить методы измерения их основных характеристик. Исследовать экспериментально характеристики и режимы работы преобразователей постоянного напряжения.

20.1 Краткие теоретические сведения

Преобразователями постоянного напряжения называются устройства, преобразующие постоянное напряжение в переменное (инверторы) или постоянное напряжение одного номинала в постоянные напряжения других номиналов (конвертеры).

Преобразователи напряжения в настоящее время выполняются на полупроводниковых приборах: транзисторах или тиристорах. Основным преимуществом этих приборов по сравнению с другими устройствами преобразования постоянного напряжения (электрические машины, вибропреобразователи, умформеры) является повышенное значение КПД. Статические преобразователи напряжения на основе полупроводниковых приборов в отличие от динамических не содержат в своем составе подвижных вращающихся или вибрирующих элементов, бесшумны, имеют малые габариты и массу, высокую надежность в работе.

На рисунке 20.1 приведена структурная схема полупроводникового преобразователя постоянного напряжения.

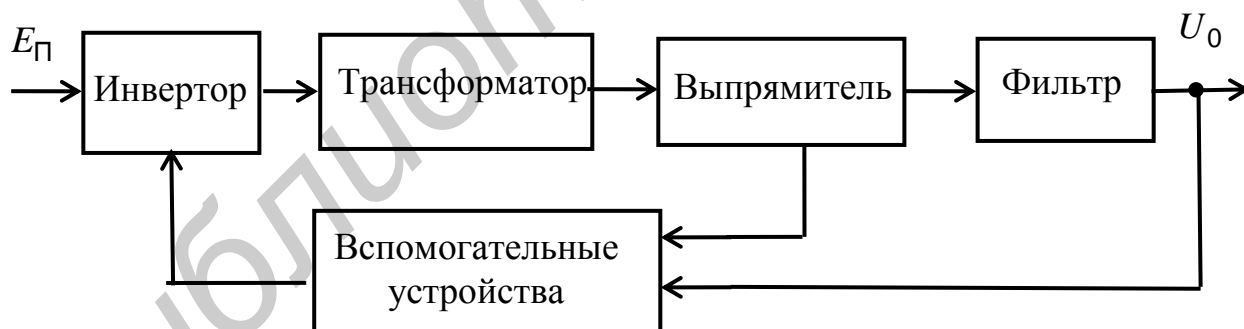


Рисунок 20.1 – Структурная схема полупроводникового преобразователя постоянного напряжения

Преобразователь напряжения включает в себя полупроводниковый инвертор, преобразующий постоянный электрический ток в переменный, трансформатор, повышающий или понижающий напряжение переменного тока до желаемой величины, выпрямитель, преобразующий переменный ток вновь в постоянный, фильтр, уменьшающий пульсации постоянного напряжения, ряд

вспомогательных устройств, служащих для регулировки и стабилизации выходного напряжения, защиты преобразователя в аварийных режимах работы.

Полупроводниковые приборы в преобразователе напряжения работают в режиме переключения. Такой режим позволяет относительно маломощным полупроводниковым прибором управлять достаточно большой мощностью в нагрузке.

Транзисторные преобразователи выполняются на небольшую выходную мощность (до нескольких киловольт-ампер). Преобразователи на большие мощности (десятки киловольт-ампер), работающие от сети постоянного тока с повышенным напряжением, выполняют на тиристорах.

По способу возбуждения колебаний различают преобразователи с самовозбуждением и независимым возбуждением. Преобразователи с самовозбуждением представляют собой релаксационные автогенераторы с трансформаторной положительной обратной связью. Преобразователи с независимым возбуждением состоят из задающего генератора и усилителя мощности. Задающим генератором в большинстве случаев является маломощный преобразователь с самовозбуждением. Транзисторные преобразователи с самовозбуждением применяют при мощности в нагрузке до нескольких десятков вольт-ампер, при большей мощности используют преобразователи с независимым возбуждением.

По принципу действия различают однотактные и двухтактные преобразователи постоянного напряжения. В однотактных преобразователях энергия из сети постоянного тока передается в нагрузку в течение одного из двух тактов работы преобразователя. Однотактные преобразователи применяют при мощности в нагрузке до нескольких вольт-ампер. Основным недостатком однотактных преобразователей является подмагничивание трансформатора постоянной составляющей тока, что приводит к увеличению размеров магнитопровода трансформатора и повышенным потерям в нем.

В двухтактных преобразователях рабочими являются оба такта, т. е. энергия из сети постоянного тока передается в нагрузку в течение обоих тактов работы преобразователя. В двухтактных преобразователях отсутствует подмагничивание магнитопровода трансформатора, и поэтому они получили наиболее широкое применение.

Для повышения КПД необходимо стремиться уменьшать потери во всех узлах преобразователя, поскольку они примерно одинаковые. Задача снижения потерь становится особенно актуальной с повышением частоты преобразования.

Потери мощности в транзисторе складываются из потерь в коллекторных цепях в режимах насыщения, отсечки и коммутации, а также в базовых цепях. С ростом частоты преобразования уменьшаются габариты и масса трансформатора, но увеличиваются коммутационные потери в полупроводниковых приборах, а также влияние помех преобразователя на работу других радиотехнических систем.

Источники электропитания, в которых применяются статические преобразователи напряжения, в технической литературе называются импульсными

блоками питания. Они нашли широкое применение в радио- и телевизионной аппаратуре, персональных ЭВМ, АТС.

Простейшие преобразователи являются одноктактными.

Способ передачи энергии в нагрузку в одноктактном преобразователе напряжения зависит от полярности подключения выпрямительного диода ко вторичной обмотке выходного трансформатора.

В преобразователе напряжения с обратным включением выпрямительного диода (рисунок 20.2) при открытом транзисторе VT к первичной обмотке трансформатора T приложено напряжение питания E_{Π} и во вторичную обмотку трансформируется положительный импульс напряжения, закрывающий диод VD . При этом конденсатор сглаживающего фильтра C_{Φ} и нагрузка R_{H} отключены от преобразователя. В первичной обмотке ток возрастает по экспоненциальному закону и в ней накапливается энергия:

$$W_{L1} = (L_1 \cdot i_K^2) / 2, \quad (20.1)$$

где L_1 – индуктивность первичной обмотки;

i_K – ток коллектора транзистора.

Когда транзистор VT закрывается, происходит скачкообразное изменение полярности напряжения на первичной обмотке трансформатора T , и во вторичную обмотку трансформируется отрицательный импульс напряжения, который через открытый диод VD заряжает конденсатор C_{Φ} . При этом накопленная в трансформаторе T электромагнитная энергия передается в нагрузку.

Когда транзистор VT снова открывается, а диод $VD1$ запирается, конденсатор C_{Φ} разряжается на нагрузку R_{H} .

В установившемся режиме постоянная составляющая напряжения на нагрузке U_0 описывается соотношением

$$U_0 = E_{\Pi} \cdot \Delta t_1 \sqrt{\frac{R_{\text{H}}}{2L_1 \cdot T}}, \quad (20.2)$$

где Δt_1 – длительность открытого состояния транзистора VT ;

T – период следования импульсов управления.

В преобразователе напряжения с прямым включением диода (рисунок 20.3) энергия передается в нагрузку R_{H} и сглаживающий конденсатор C_{Φ} при открытом транзисторе VT , а при закрытом состоянии последнего конденсатор C_{Φ} разряжается на нагрузку R_{H} .

Одноктактные преобразователи напряжения работают с подмагничиванием выходного трансформатора постоянной составляющей тока, что приводит к уменьшению коэффициента использования трансформатора, увеличению его габаритов.

Одноктактные преобразователи напряжения с обратным включением диода обеспечивают развязку и защиту выходного напряжения от помех по входным шинам питания, работают с простейшими емкостными фильтрами.

Однако такие преобразователи требуют применения трансформаторов с немагнитным зазором в магнитопроводе, т. к. трансформатор подмагничивается постоянной составляющей тока, значение которой возрастает с увеличением тока нагрузки.

Однотактные преобразователи напряжения с прямым включением диода требуют большего количества элементов для эффективной фильтрации выходного напряжения. У таких преобразователей постоянная составляющая намагничивающего тока невелика и не зависит от нагрузки, что позволяет выполнять магнитопровод трансформатора без зазора.

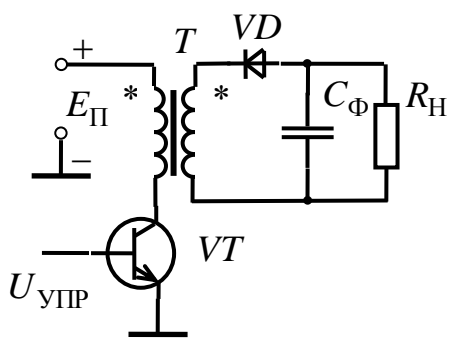


Рисунок 20.2 – Однотактный преобразователь с обратным включением диода

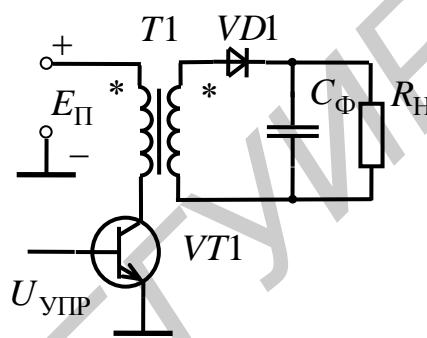


Рисунок 20.3 – Однотактный преобразователь с прямым включением диода

На форму генерируемых импульсов в преобразователях напряжения с самовозбуждением существенное влияние оказывает состояние магнитопровода выходного трансформатора. При насыщении магнитопровода его магнитная проницаемость резко уменьшается, что приводит к резкому уменьшению индуктивности трансформатора и увеличению тока коллектора транзистора. Кроме того, наводимое напряжение может иметь выброс, возникающий в момент запирающего транзистора. Амплитуда выброса зависит от индуктивности рассеяния, паразитной емкости трансформатора, скорости спада коллекторного тока. Этот выброс может в 3...4 раза превышать величину напряжения питания. В высокочастотных преобразователях существенное влияние оказывает паразитная емкость монтажа и индуктивность соединительных проводников. Это приводит к тому, что на фронтах импульсов возникают высокочастотные колебания частотой десятки мегагерц, амплитуда которых может превышать максимально допустимое напряжение для транзистора и является причиной его пробоя.

Пример схемной реализации самовозбуждающегося двухтактного преобразователя постоянного напряжения представлен на рисунке 20.4.

Электрические и магнитные процессы, происходящие в двухтактном транзисторном преобразователе напряжения, аналогичны процессам в однотактном преобразователе с тем отличием, что транзисторы $VT1$, $VT2$ включаются и выключаются поочередно. Когда один из транзисторов находится в открытом состоянии, другой в это время закрыт и наоборот.

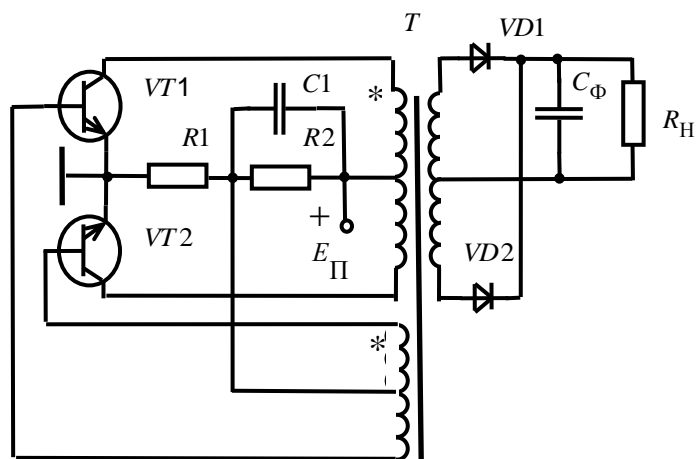


Рисунок 20.4 – Самовозбуждающийся двухтактный преобразователь постоянного напряжения с насыщающимся дросселем

При включении источника питания транзисторы $VT1$, $VT2$ открываются начальным напряжением смещения на их базах и через первичные полуобмотки трансформатора T протекают коллекторные токи транзисторов. Из-за неидентичности параметров транзисторов их начальные коллекторные токи различны, и больший ток в одной из полуобмоток создает нарастающий магнитный поток в магнитопроводе трансформатора T . Нарастающий магнитный поток индуцирует в обмотке обратной связи напряжение, прикладываемое к базам транзисторов $VT1$, $VT2$. Полярность напряжения обратной связи такова, что на базу транзистора с большим начальным током, например $VT1$, поступает положительное напряжение. Транзистор $VT1$ еще более открывается, и его коллекторный ток увеличивается. На базу транзистора с меньшим начальным током, например $VT2$, поступает отрицательное напряжение, уменьшающее его коллекторный ток. Противоположное изменение коллекторных токов увеличивает скорость нарастания магнитного потока в магнитопроводе трансформатора T и величину напряжения положительной обратной связи. В результате транзистор $VT1$ переходит в режим насыщения, а транзистор $VT2$ – в режим отсечки.

Ток коллектора транзистора $VT1$ линейно нарастает до момента, когда магнитопровод трансформатора T заходит в режим насыщения. Это приводит к резкому уменьшению индуктивности трансформатора и увеличению тока коллектора транзистора $VT1$.

При значении тока коллектора $I_{Km} = I_B \cdot h_{21э}$ транзистор переходит в активный режим и ток коллектора далее не изменяется. При этом напряжение положительной обратной связи, наведенное в полуобмотке обратной связи, падает практически до нуля. В результате уменьшается ток базы и ток коллектора транзистора $VT1$, что приводит к уменьшению магнитного потока в магнитопроводе трансформатора T . Уменьшающийся магнитный поток индуцирует в обмотке обратной связи напряжение противоположной полярности. На базу ранее открытого транзистора $VT1$ подается отрицательное запирающее напряжение, а на базу ранее закрытого транзистора $VT2$ поступает положительное

отпирающее напряжение. Коллекторные токи транзисторов $VT1$, $VT2$ противоположно изменяются. Это приводит к увеличению скорости изменения магнитного потока в магнитопроводе трансформатора T и напряжения положительной обратной связи. Этот регенеративный процесс происходит лавинообразно и заканчивается тем, что транзистор $VT1$ полностью закрывается, транзистор $VT2$ полностью открывается, а магнитопровод трансформатора T перемагничивается.

В дальнейшем эти процессы в схеме двухтактного преобразователя повторяются и транзисторы $VT1$ и $VT2$ поочередно подключают источник питания к первичным полуобмоткам трансформатора T , индуцируя в его обмотках переменное напряжение прямоугольной формы.

В двухтактном преобразователе к закрытому транзистору прикладывается сумма напряжения источника питания и ЭДС индукции, наводимой в отключенной половине первичной обмотки трансформатора, численно равная напряжению источника питания. Кроме того, наводимое напряжение может иметь выброс и высокочастотные колебания в момент выключения транзисторов, аналогично однократному преобразователю, что приводит к перегрузке транзисторов и увеличивает потери в преобразователе.

Частота преобразования в двухтактном преобразователе с самовозбуждением зависит от питающего напряжения, тока нагрузки, параметров транзисторов и трансформатора и в общем виде определяется формулой

$$f = \frac{E_{\Pi} - U_{\text{кЭН}}}{4w_1 \cdot B_S \cdot S_C \cdot K_C}, \quad (20.3)$$

где E_{Π} – напряжение питания;

$U_{\text{кЭН}}$ – напряжение насыщения коллектор – эмиттер транзистора;

w_1 – число витков первичной полуобмотки;

B_S, S_C, K_C – индукция насыщения, площадь поперечного сечения и коэффициент заполнения сталью магнитопровода трансформатора соответственно.

При повышенных мощностях в нагрузке используются тиристорные преобразователи. В тиристорном преобразователе в качестве ключевых элементов используют тиристоры. Тиристор является не полностью управляемым полупроводниковым прибором. Для выключения тиристора необходимо уменьшить его анодный ток до значения, меньшего тока удержания, а к электродам анод – катод приложить отрицательное (обратное) напряжение на время, достаточное для восстановления управляемости тиристора. Вследствие этого в схемах тиристорных преобразователей напряжением обязательным является наличие реактивных коммутирующих индуктивно-емкостных элементов, предназначенных для запираания тиристоров.

По способу подключения коммутирующего конденсатора к нагрузке тиристорные преобразователи разделяют на параллельные (с нулевым выводом), последовательные или последовательно параллельные.

Схема параллельного двухтактного тиристорного преобразователя постоянного напряжения приведена на рисунке 20.5.

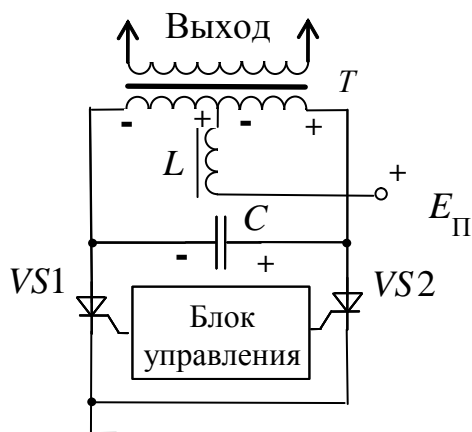


Рисунок 20.5 – Двухтактный тиристорный преобразователь постоянного напряжения

От блока управления на управляющие электроды тиристоров поступают импульсы, сдвинутые относительно друг друга на половину периода. Предположим, что открылся тиристор $VS1$. К левой первичной полуобмотке трансформатора T приложено напряжение $U_{1л} \approx E_{\Pi}$ и по ней будет протекать ток. Полярность напряжений на полуобмотках при этом показана на рисунке 20.5. Конденсатор C через дроссель L и правую полуобмотку зарядится до напряжения $U_C = E_{\Pi} + U_{1пр} \approx 2E_{\Pi}$. Здесь $U_{1пр} = U_{1л}$ – напряжение на

правой первичной полуобмотке трансформатора T . Когда открывается тиристор $VS2$, к аноду тиристора $VS1$ прикладывается запирающее напряжение от конденсатора C и ток в тиристоре $VS1$ начинает уменьшаться. При снижении анодного тока до значения, меньшего тока удержания, тиристор $VS1$ закрывается.

При запираии тиристора $VS1$ начинается перезаряд конденсатора C от источника питания через дроссель L и левую полуобмотку трансформатора T . В итоге конденсатор C зарядится до того же значения, что и в предыдущем такте, но противоположной полярности. При подаче следующего отпирающего сигнала на тиристор $VS1$ напряжение на конденсаторе C закроет тиристор $VS2$, и снова начнется перезаряд этого конденсатора.

Таким образом на конденсаторе C формируется знакопеременное напряжение, прикладываемое к первичной обмотке трансформатора T .

Емкость коммутирующего конденсатора C выбирается таким образом, чтобы время его разряда $t_{\text{выкл}}$ было больше, чем паспортное время восстановления тиристора, иначе тиристор не будет выключаться.

Величина и форма выходного напряжения тиристорного преобразователя зависят от величины и характера нагрузки.

При малой нагрузке, близкой к режиму холостого хода, форма напряжения на нагрузке приближается к треугольной, а время $t_{\text{выкл}}$ максимально. Напряжение на нагрузке в режиме холостого хода может в несколько раз превышать напряжение источника питания, и возникает опасность перенапряжения в схеме.

С увеличением нагрузки кривая выходного напряжения приобретает форму экспоненты. Увеличение тока нагрузки вызывает более быстрый спад

напряжения на коммутирующем конденсаторе и, следовательно, уменьшение времени $t_{\text{ВЫКЛ}}$.

При больших токах нагрузки форма выходного напряжения приближается к прямоугольной и сопровождается дальнейшим уменьшением $t_{\text{ВЫКЛ}}$. Среднее квадратическое значение выходного напряжения при этом приближается к напряжению источника питания.

20.2 Описание лабораторной установки

Питание преобразователей напряжения осуществляется стабилизированным напряжением от низковольтного источника, схема которого приведена на рисунке 20.6.

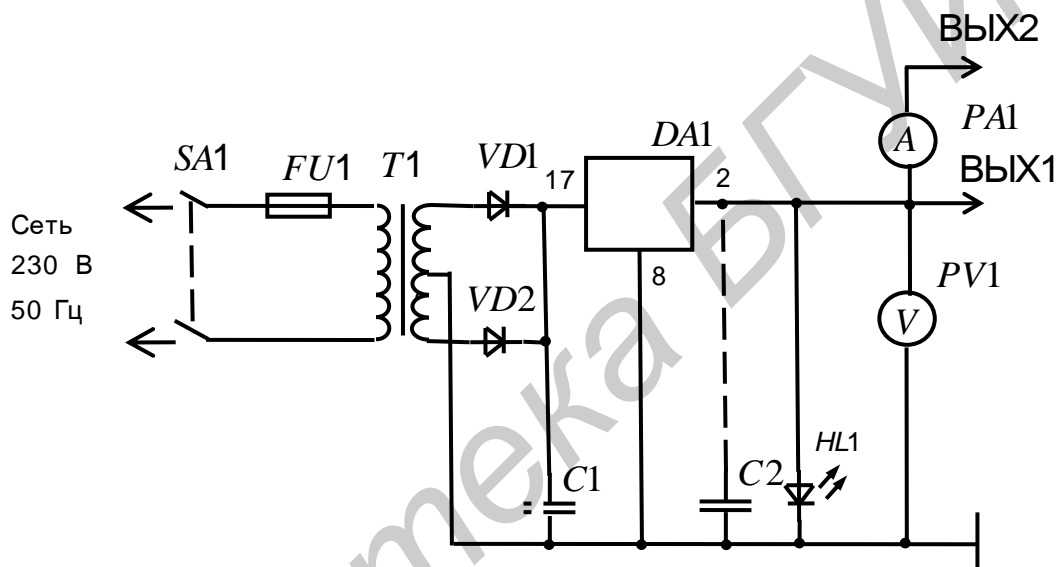


Рисунок 20.6 – Источник питания лабораторной установки

Напряжение сети 230 В частотой 50 Гц через переключатель $SA1$ «Сеть» и плавкий предохранитель $FU1$ поступает на первичную обмотку понижающего трансформатора $T1$. Вторичная обмотка трансформатора $T1$ подсоединена к выпрямителю со средней точкой на элементах $VD1$, $VD2$, $C1$.

Выпрямленное напряжение поступает на вход низковольтного интегрального стабилизатора $DA1$ с выходным емкостным фильтром на конденсаторе $C2$. Наличие напряжения на выходе интегрального стабилизатора контролируется индикатором $HL1$. Значение напряжения измеряется вольтметром постоянного тока $PV1$. Значение тока, потребляемого преобразователями напряжения, измеряется миллиамперметром постоянного тока $PA1$.

Электрическая принципиальная схема всей лабораторной установки приведена на лицевой панели. Для повышения наглядности на рисунках 20.7, 20.8, 20.9 представлены электрические схемы для исследования отдельных видов преобразователей, получаемые из общей схемы путем соответствующей коммутации.

Требуемая схема преобразователя напряжения выбирается с помощью переключателя SA2 «Преобразователь», положения которого соответствуют следующим схемам включения:

1 *VT* – однотактный транзисторный преобразователь постоянного напряжения;

2 *VT* – двухтактный транзисторный преобразователь постоянного напряжения;

VS – двухтактный тиристорный преобразователь постоянного напряжения.

Нагрузкой инверторов является выходной импульсный трансформатор *T2*, содержащий первичную обмотку, вторичную обмотку со средней точкой и обмотку обратной связи.

Вторичная обмотка трансформатора *T2* (см. рисунок 20.7) подсоединена к выходному двухполупериодному выпрямителю со средней точкой на элементах *VD7*, *VD8*, *C9*. Выходной выпрямитель нагружен на резистивный делитель, состоящий из постоянного *R12* и переменного *R13* резисторов. С помощью переменного резистора *R13* «Нагрузка» осуществляется установка тока нагрузки преобразователей напряжения.

Значение тока нагрузки измеряется миллиамперметром постоянного тока *PA2*. Значение напряжения на нагрузке измеряется вольтметром постоянного тока *PV2*.

Контрольные гнезда *XS1...XS6* предназначены для визуального контроля и измерения напряжения на различных участках схем преобразователей напряжения. При этом на контрольные гнезда выведены следующие контрольные напряжения схем:

XS1-XS4 – напряжение обратной связи двухтактного транзисторного преобразователя напряжения;

XS2-XS4, *XS3-XS4* – напряжение на выходе ключевых элементов преобразователей напряжения;

XS2-XS3 – напряжение на первичной обмотке выходного трансформатора *T2*;

XS5-XS6 – выходное напряжение на нагрузке.

Однотактный транзисторный преобразователь постоянного напряжения с самовозбуждением (см. рисунок 20.7) представляет собой релаксационный автогенератор на транзисторе *VT6* с трансформаторной положительной обратной связью.

Питание коллекторной цепи транзистора *VT6* осуществляется от источника питания через первичную обмотку трансформатора *T2*. Напряжение смещения на базу транзистора *VT6* поступает через делитель напряжения, состоящий из последовательно соединенных резисторов *R10*, *R11*, и обмотку обратной связи выходного трансформатора *T2*. Диод *VD6* обеспечивает защиту и постоянство входного сопротивления транзистора *VT6* при различной полярности напряжения на его базе.

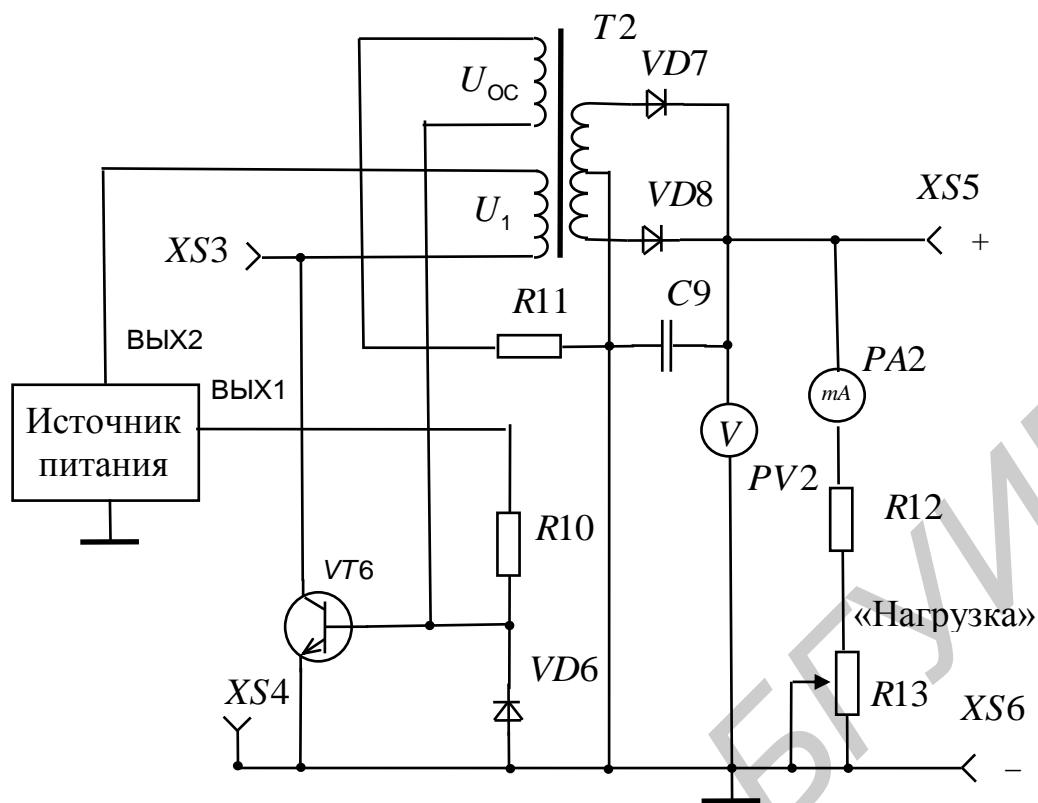


Рисунок 20.7 – Лабораторная установка для исследования однотактного транзисторного преобразователя постоянного напряжения.
Схема электрическая принципиальная

При включении источника питания транзистор $VT6$ открывается начальным напряжением смещения на базе и через коллектор и первичную полуобмотку выходного трансформатора $T2$ протекает начальный ток транзистора $VT6$. Этот ток вызывает магнитный поток в магнитопроводе выходного трансформатора $T2$ и индуцирует в обмотке обратной связи напряжение положительной полярности, что вызывает увеличение токов в транзисторе $VT6$ и нарастание магнитного потока в магнитопроводе трансформатора $T2$. Этот процесс происходит лавинообразно, в результате чего транзистор $VT6$ полностью открывается и переходит в режим насыщения. Ток коллектора транзистора начинает нарастать. Когда ток коллектора транзистора $VT6$ достигает значения $I_{Km} = I_B \cdot h_{21Э}$, транзистор переходит в активный режим и ток коллектора далее не изменяется.

Нарастание магнитного потока в магнитопроводе трансформатора $T2$ прекращается, напряжение положительной полярности, наведенное в обмотке обратной связи трансформатора $T2$, падает до нуля. Полярность напряжения на первичной обмотке и обмотке обратной связи скачком изменяется на противоположное и ток в транзисторе $VT6$ лавинообразно уменьшается.

Когда транзистор $VT6$ полностью закроется, дальнейшее снижение тока коллектора прекратится, как и снижение магнитного потока в магнитопроводе трансформатора $T2$. Запирающее напряжение отрицательной полярности, наведенное в обмотке обратной связи трансформатора $T2$, падает до нуля. В резуль-

тате транзистор $VT6$ открывается начальным напряжением смещения на его базе, выходит из режима отсечки, и его коллекторный ток увеличивается.

Увеличивающийся коллекторный ток транзистора $VT6$ вызывает нарастание магнитного потока в магнитопроводе трансформатора $T2$, и цикл генерации импульса повторяется.

Выходное напряжение U_H , длительность импульса $t_{И}$ и паузы $t_{П}$ в однотактном преобразователе с самовозбуждением определяются по формулам:

$$U_H = E_{П} \left(\frac{I_{Km} \cdot w_1}{2I_H \cdot w_2} \right), \quad (20.4)$$

$$t_{И} = I_{Km} \cdot L_1 / E_{П}, \quad (20.5)$$

$$t_{П} = I_{Km} \cdot L_2 \cdot w_1 / (U_H \cdot w_2), \quad (20.6)$$

где w_1, w_2, L_1, L_2 – количество витков и индуктивность первичной и вторичной обмоток трансформатора соответственно.

Достоинством однотактного преобразователя напряжения является его простота, а также присущее схемам преобразователей с самовозбуждением свойство автоматической защиты транзисторов при коротком замыкании нагрузки, которое приводит к срыву колебаний, но повреждение транзисторов при этом не происходит.

Двухтактный транзисторный преобразователь постоянного напряжения с самовозбуждением (см. рисунок 20.8) представляет собой магнитно-транзисторный автогенератор с резонансным контуром в цепи положительной обратной связи.

Принцип работы этой схемы аналогичен работе схемы, изображенной на рисунке 20.4. Однако наличие в цепи обратной связи последовательного резонансного контура $L2C3$ вносит особенности в работу двухтактного преобразователя напряжения.

При работе преобразователя в последовательном резонансном $L2C3$ -контуре под действием прямоугольных импульсов, поступающих с обмотки обратной связи трансформатора $T2$, возникает резонанс напряжений. Вследствие этого в цепи баз транзисторов $VT1, VT6$ протекает переменный синусоидальный ток, амплитуда которого определяется добротностью резонансного контура. Изменение полярности тока вызывает переключение транзисторов $VT1, VT6$. Переключение транзисторов происходит в момент времени, когда ток в резонансном контуре снижается до величины, при которой ранее открытый транзистор выходит из режима насыщения, что сопровождается лавинообразным процессом переключения транзисторов.

Частота переключения f транзисторов $VT1, VT6$ задается параметрами $L2C3$ -контура:

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{L_2 \cdot C_3}). \quad (20.7)$$

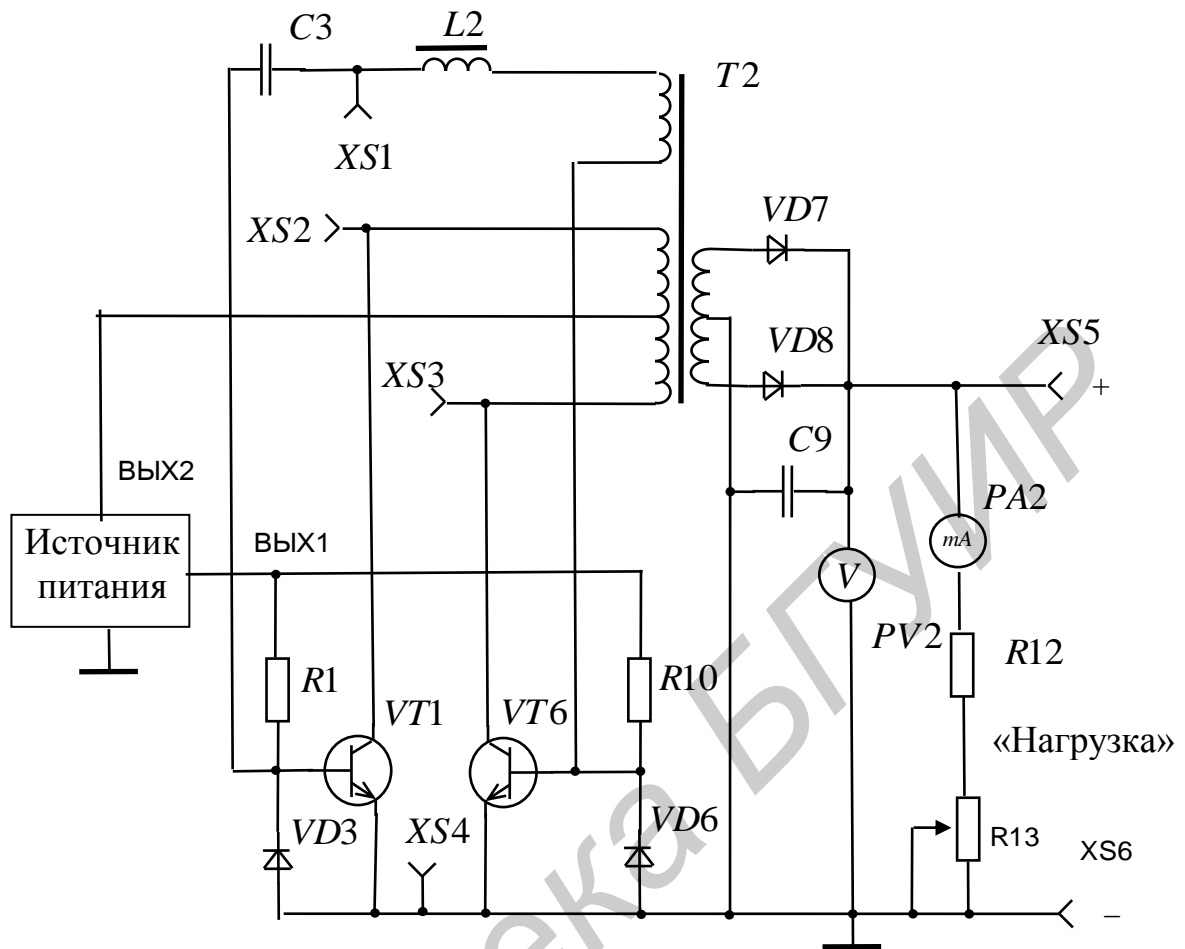


Рисунок 20.8 – Лабораторная установка для исследования двухтактного транзисторного преобразователя постоянного напряжения.

Схема электрическая принципиальная

При условии, что индуктивность дросселя $L2$ много больше индуктивности обмотки обратной связи частота импульсов не зависит от параметров трансформатора $T2$, напряжения питания и тока нагрузки. Трансформатор $T2$ при этом работает в линейной области намагничивания без насыщения магнитопровода, что устраняет выброс напряжения в генерируемых импульсах, позволяет уменьшить массу и габариты трансформатора, повысить КПД преобразователя.

Схема параллельного двухтактного тиристорного преобразователя постоянного напряжения приведена на рисунке 20.9.

Преобразователь напряжения содержит тиристоры $VS1$, $VS2$, аноды которых через отсекающие диоды $VD4$, $VD5$ подсоединены к первичной обмотке трансформатора $T2$. Питание анодных цепей тиристоров $VS1$, $VS2$ осуществляется от источника питания через дроссель $L1$, включенный в среднюю точку первичной обмотки трансформатора $T2$.

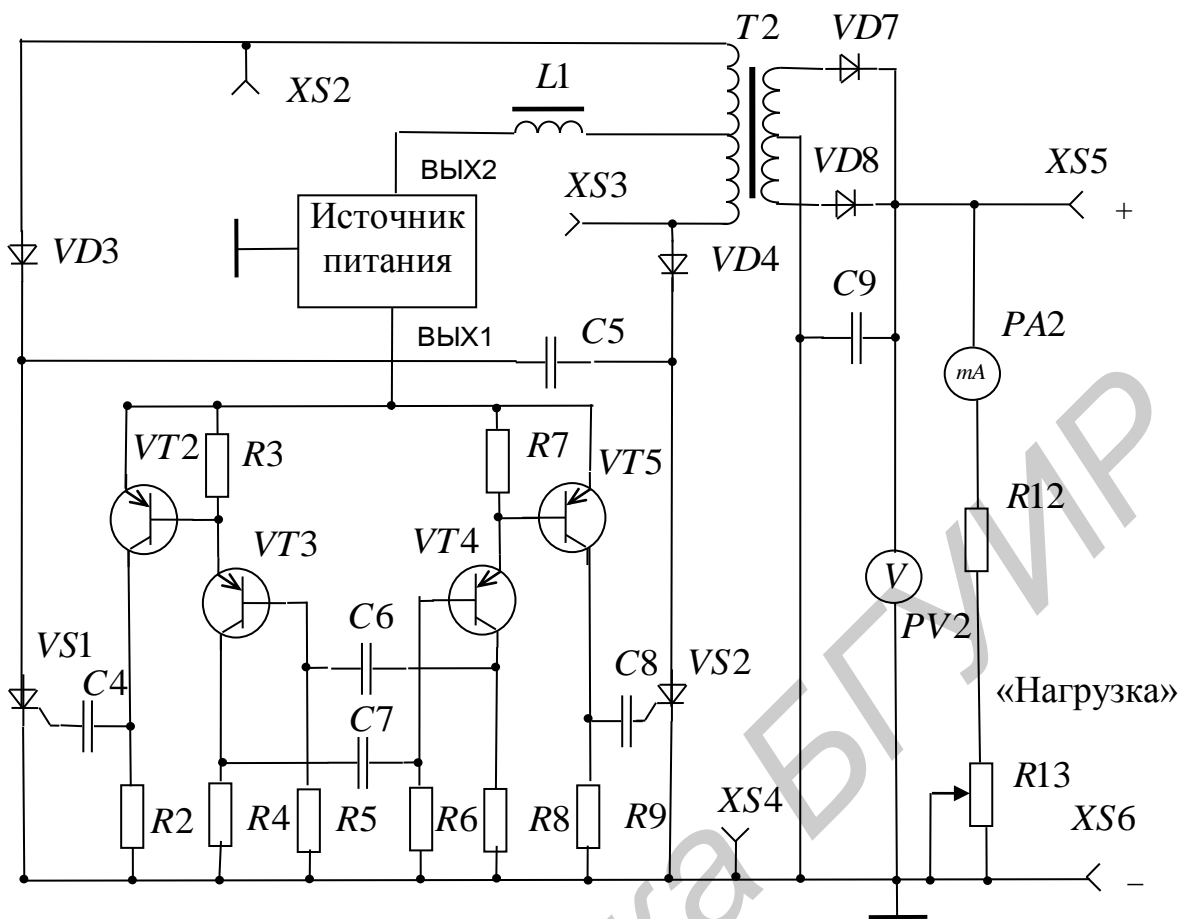


Рисунок 20.9 – Лабораторная установка для исследования двухтактного тиристорного преобразователя постоянного напряжения.
 Схема электрическая принципиальная

Управление тиристорами, их включение осуществляется управляющими импульсами от задающего генератора. Задающий генератор выполнен по схеме симметричного RC -мультивибратора на транзисторах $VT3$, $VT4$. Частотно-задающая цепь мультивибратора состоит из резисторов $R5$, $R6$ и конденсаторов $C6$, $C7$. В процессе перезаряда конденсаторов транзисторы $VT3$, $VT4$ поочередно открываются и закрываются, переходя в состояние насыщения или режим отсечки, в результате чего через них протекают прямоугольные импульсы тока.

Частота генерации импульсов мультивибратора определяется постоянной времени цепей разряда конденсаторов:

$$f = \frac{1}{0,7(C_6 \cdot R_5 + C_7 \cdot R_6)}. \quad (20.8)$$

Прямоугольные импульсы напряжения, снимаемые с эмиттерных резисторов $R3$, $R7$, усиливаются импульсными усилителями на транзисторах $VT2$, $VT5$. Усиленные по мощности импульсы напряжения с коллекторов транзисторов $VT2$, $VT5$ через дифференцирующие емкости $C4$, $C8$ поступают на управляющие электроды тиристоров $VS1$, $VS2$, осуществляя поочередное их включение.

Выключение тиристоров осуществляется коммутирующим конденсатором $C5$, подключенным к анодам тиристоров $VS1$, $VS2$. Отсекающие диоды $VD4$, $VD5$ устраниают разряд конденсатора $C5$ на первичную обмотку трансформатора $T2$, что позволяет применять коммутирующий конденсатор небольшой емкости.

20.3 Задание на исследование

1 Исследовать нагрузочную характеристику преобразователей постоянного напряжения. Построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее выходное сопротивление.

2 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке преобразователей постоянного напряжения.

3 Зарисовать осциллограммы напряжений и определить параметры импульсов в контрольных точках преобразователей постоянного напряжения при различных значениях тока нагрузки.

20.4 Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами управления и регулирования и с используемыми контрольно-измерительными приборами.

Доложить преподавателю о готовности к выполнению работы.

С разрешения преподавателя включить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Включить осциллограф.

20.5 Порядок выполнения работы

20.5.1 Исследовать нагрузочную характеристику преобразователей постоянного напряжения.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить в положение «1VT». Ручкой резистора «НАГРУЗКА» изменять величину тока нагрузки от минимального до максимального значения, контролируя его миллиамперметром $PA2$. При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину постоянного напряжения на нагрузке вольтметром $PV2$.

Результаты измерений занести в таблицу 20.1.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить поочередно в положение «2VT», «VS» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше операции и измерения. Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 20.1.

Таблица 20.1 – Нагрузочная характеристика преобразователей постоянного напряжения

Преобразователь	Параметр	Значения параметров					$R_{\text{ВЫХ}}, \text{Ом}$
		10	20	30	40	50	
1VT	$I_{\text{Н}}, \text{мА}$	10	20	30	40	50	
	$U_{\text{Н}}, \text{В}$						
2VT	$I_{\text{Н}}, \text{мА}$	10	20	30	40	50	
	$U_{\text{Н}}, \text{В}$						
VS	$I_{\text{Н}}, \text{мА}$	10	20	30	40	50	
	$U_{\text{Н}}, \text{В}$						

По данным таблицы 20.1 для каждого преобразователя напряжения построить графическую зависимость $U_{\text{Н}} = f(I_{\text{Н}})$ и для максимального тока нагрузки определить внутреннее (выходное) сопротивление преобразователя по формуле

$$R_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{Н}} / \Delta I_{\text{Н}}, \quad (20.9)$$

где $\Delta U_{\text{Н}}$, $\Delta I_{\text{Н}}$ – разность между соседними измеренными значениями напряжения и тока нагрузки соответственно.

Рассчитанные значения выходного сопротивления преобразователей напряжения занести в соответствующие графы таблицы 20.1.

20.5.2 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке преобразователей постоянного напряжения.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить в положение «1VT». Ручкой резистора «НАГРУЗКА» установить максимальный ток нагрузки по миллиамперметру PA2. К контрольным гнездам XS5-XS6 подсоединить входные щупы осциллографа.

Определить КПД преобразователя напряжения по формуле

$$\eta = \frac{P_{\text{Н}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{Н}} \cdot I_{\text{Н}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}}. \quad (20.10)$$

Входная мощность и мощность нагрузки определяются по показаниям приборов PV1, PA1 и PV2, PA2 соответственно.

Одновременно с измерениями, проводимыми при определении КПД, определить значение пульсаций напряжения на нагрузке как полуразмах изображения сигнала на экране осциллографа по формуле

$$U_{\text{НПР}} = (m/2) \cdot k, \quad (20.11)$$

где m – количество клеток по вертикали, занимаемых изображением сигнала на экране осциллографа;

k – чувствительность осциллографа по оси «Y», В/дел.

Рассчитать коэффициент пульсаций напряжения по формуле

$$K_{\text{ПН}} = U_{\text{НПР}} / U_{\text{Н}}. \quad (20.12)$$

Показатели режима работы стабилизатора напряжения и полученные расчетные значения параметров занести в таблицу 20.2.

Таблица 20.2 – Энергетические и сглаживающие параметры преобразователей постоянного напряжения

Преобразователь	Параметры						
	$U_{ВХ}$, В	$I_{ВХ}$, А	$U_{Н}$, В	$I_{Н}$, А	$U_{НПР}$	КПД	$K_{ПН}$
1VT							
2VT							
VS							

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить поочередно в положение «2VT», «VS» и повторить для каждого положения переключателя указанные выше операции и измерения. Результаты измерений и расчетные значения параметров занести в соответствующие графы таблицы 20.2.

20.5.3 Снять осциллограммы напряжения преобразователей постоянного напряжения.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить в положение «1VT». К контрольным гнездам XS3-XS4 подсоединить входные щупы осциллографа. Ручкой резистора «НАГРУЗКА» поочередно установить максимальное и минимальное значения тока нагрузки по миллиамперметру PA2.

По осциллограммам на экране осциллографа в каждом режиме работы преобразователя определить частоту следования импульсов и построить их графическое изображение. На каждом графическом изображении указать режим работы преобразователя напряжения по показаниям приборов PV2, PA2 и частоту импульсов.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить в положение «2VT». Ручкой резистора «НАГРУЗКА» поочередно установить минимальное и максимальное значение тока нагрузки по миллиамперметру PA2. К контрольным гнездам XS1-XS4; XS2-XS4; XS3-XS4 поочередно подсоединить входные щупы осциллографа в каждом режиме работы преобразователя напряжения.

По осциллограммам на экране осциллографа определить частоту следования импульсов и построить их графическое изображение. На каждом графическом изображении указать режим работы преобразователя напряжения по показаниям приборов PV2, PA2 и частоту импульсов.

Переключатель «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» поставить в положение «VS». Ручкой резистора «НАГРУЗКА» поочередно установить минимальное и максимальное значение тока нагрузки по миллиамперметру PA2. К контрольным гнездам XS2-XS4; XS3-XS4 поочередно подсоединить входные щупы осциллографа в каждом режиме работы преобразователя напряжения.

По осциллограммам на экране осциллографа определить частоту следования импульсов и построить их графическое изображение. На каждом графическом изображении указать режим работы преобразователя напряжения по показаниям приборов PV2, PA2 и частоту импульсов.

20.6 Завершение работы

Ручкой резистора «НАГРУЗКА» установить минимальное значение тока нагрузки.

Доложить преподавателю о выполнении работы и показать результаты измерений.

С разрешения преподавателя отключить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

Отсоединить от лабораторной установки входные щупы осциллографа и отключить его.

20.7 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей, указанные в подразделе 20.5.
- 5 Зарисованные осциллограммы напряжений, указанные в пункте 20.5.3.
- 6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

20.8 Контрольные вопросы

1 Как можно классифицировать преобразователи постоянного напряжения?

2 Объясните принцип действия преобразователя постоянного напряжения в переменное.

3 Объясните принцип действия преобразователя постоянного напряжения в постоянное.

4 Объясните принцип действия однотактного преобразователя с обратным включением диода.

5 Объясните принцип действия однотактного преобразователя с прямым включением диода.

6 Каков принцип действия автогенераторного двухтактного транзисторного преобразователя напряжения?

7 В чем заключаются преимущества автогенераторного двухтактного транзисторного преобразователя напряжения с резонансным контуром?

8 Каков принцип действия двухтактного тиристорного преобразователя напряжения?

9 Чем обусловлена необходимость использования реактивных элементов в тиристорных преобразователях напряжения?

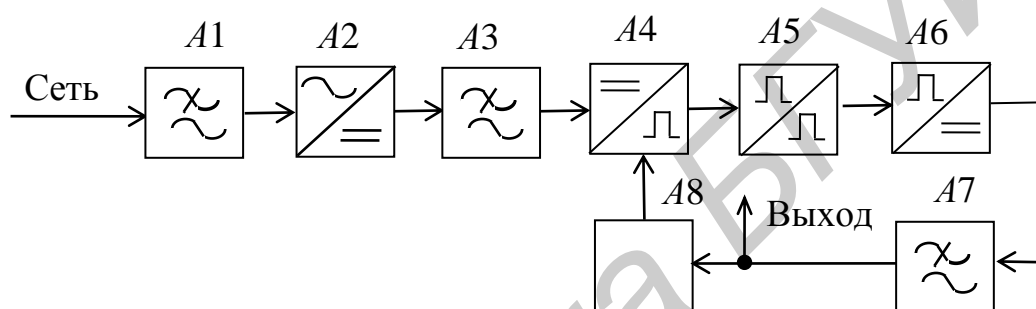
Лабораторная работа №21

БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Цель работы – изучить устройство и принцип действия бестрансформаторных импульсных источников питания. Усвоить методы измерения их основных характеристик. Исследовать экспериментально характеристики и режимы работы бестрансформаторных импульсных источников питания.

21.1 Краткие теоретические сведения

Структурная схема типового бестрансформаторного импульсного источника питания изображена на рисунке 21.1.



$A1$ – сетевой фильтр; $A2$ – низкочастотный выпрямитель;
 $A3$ – сглаживающий фильтр 1; $A4$ – инвертор; $A5$ – высокочастотный трансформатор; $A6$ – высокочастотный выпрямитель;
 $A7$ – сглаживающий фильтр 2; $A8$ – блок управления

Рисунок 21.1 – Структурная схема типового бестрансформаторного импульсного источника питания

Сетевое напряжение поступает на низкочастотный выпрямитель $A2$ через сетевой фильтр $A1$, предназначенный для подавления высокочастотных и импульсных помех в сети. Этот фильтр исключает также проникновение помех от инвертора $A4$ в питающую сеть. Выходное напряжение низкочастотного выпрямителя $A2$, сглаженное сглаживающим фильтром $A3$, питает инвертор $A4$, преобразующий постоянное напряжение в импульсное. Высокочастотный трансформатор $A5$ масштабирует импульсное напряжение, которое затем выпрямляется высокочастотным выпрямителем $A6$ и через сглаживающий фильтр 2 $A7$ поступает на выход источника питания.

Блок управления $A8$ устанавливает значение и стабилизирует выходное напряжение источника. В блоке управления, как правило, реализуется широтно-импульсный метод стабилизации выходного напряжения. При уменьшении выходного напряжения длительность управляющего импульса на втором входе инвертора возрастает, поэтому энергия, накапливающаяся в первичной обмотке

высокочастотного трансформатора *A5*, также возрастает. Эта энергия передается на выход источника и выходное напряжение возвращается к номинальному значению. При увеличении выходного напряжения процессы проходят в обратном порядке.

Высокочастотный трансформатор *A5* обеспечивает гальваническую развязку выходного напряжения источника от сети. Поскольку трансформатор *A5* работает на частотах в десятки и сотни килогерц, его масса и габариты на несколько порядков меньше, чем у трансформаторов, работающих на частоте сети, при одинаковой выходной мощности.

Бестрансформаторные импульсные источники питания отличаются друг от друга схемной реализацией отдельных блоков.

Пример принципиальной схемы источника питания компьютера АТ представлен на рисунке 21.2 [4].

Входная цепь источника питания состоит из токоограничительного резистора *TR101*, предохранителя *FU101*, сетевого заградительного фильтра синфазных и дифференциальных помех, образованного дросселем *L101* и конденсаторами *C101*, *C103*, *C104*. Кроме подавления помех сетевой фильтр выполняет функцию питания при кратковременных сбоях питающего напряжения.

Напряжение первичной электросети через входную цепь поступает на высоковольтный мостовой диодный выпрямитель *VD101*. Конденсаторы *C100*, *C102* и резисторы *R102*, *R103* – элементы высоковольтного низкочастотного фильтра. Резисторы *R102*, *R103* обеспечивают быстрый разряд конденсаторов *C100*, *C102* после отключения питающей сети.

Высоковольтный инвертор выполнен по схеме полумостового двухтактного усилителя мощности на транзисторах *VT101*, *VT102*, соединенных последовательно по постоянному току. Делители напряжения на резисторах *R106*, *R107* и *R108*, *R111* устанавливают режим работы транзисторов с отсечкой тока при отсутствии на входе управляющих импульсов.

Резисторы *R109*, *R110* предназначены для уменьшения пускового тока транзисторов *VT101*, *VT102*. Диоды *VD102*, *VD103* защищают транзисторы *VT101*, *VT102* от выбросов напряжения в переходных процессах, а также создают пути частичного возврата энергии, запасенной в выходном импульсном трансформаторе, в источник первичного питания.

Нагрузкой импульсного преобразователя является импульсный трансформатор *T102*. К первичной обмотке импульсного трансформатора *T102* подсоединена демпфирующая цепь на элементах *C108*, *R104*, устраняющая паразитные высокочастотные колебания в моменты переключения транзисторов *VT101*, *VT102*. Конденсатор *C107* устраняет постоянную составляющую тока и уменьшает насыщение сердечника трансформатора *T102* при асимметрии намагничивающих токов.

Инвертор работает под управлением импульсов напряжения, поступающих с обмоток управления трансформатора $T101$. Импульсы напряжения с обмоток управления трансформатора $T101$ поступают на базы транзисторов $VT101$, $VT102$ через форсирующую цепь на элементах $R105$, $VD104$, $C109$ и $R112$, $VD105$, $C110$ соответственно, обеспечивающую быстрое открывание и закрывание транзисторов в процессе переключения.

При поступлении управляющих импульсов транзисторы $VT101$ и $VT102$ поочередно открываются на время действия импульса и попеременно подключают первичную обмотку импульсного трансформатора $T102$ параллельно конденсатору $C100$ или конденсатору $C102$, имеющим противоположные потенциалы. Если баланс циклов открывания и закрывания транзисторов $VT101$ и $VT102$ соблюдается, то перемагничивание сердечника трансформатора $T102$ происходит симметрично. Напряжение в точке соединения конденсаторов $C100$, $C102$ в этих условиях сохраняется постоянным на уровне, равном половине напряжения питания. На выходе инвертора формируется последовательность мощных симметричных прямоугольных импульсов противоположной полярности амплитудой порядка 150 В.

Модулированные по длительности импульсы, управляющие работой импульсного преобразователя, генерируются широтно-импульсным модулятором (ШИМ) на микросхеме $DA201$. ШИМ содержит в своем составе следующие основные узлы: источник опорного напряжения, генератор пилообразного напряжения стабильной амплитуды, схемы сравнения (усилители ошибки), ШИМ-компаратор, компаратор «пауза», логические схемы обработки сигнала, схему предварительного усиления.

На вывод 12 микросхемы $DA201$ подается напряжение с выхода +12 В источника питания через фильтрующую цепь $VD211$, $R240$, $C203$. ШИМ сохраняет работоспособность при изменении питающего напряжения в диапазоне 7...40 В. При подаче напряжения питания начинают работать источник опорного напряжения и генератор пилообразного напряжения. Опорное напряжение составляет +5 В и выведено на вывод 14 микросхемы $DA201$.

Рабочий диапазон частот генератора пилообразного напряжения ШИМ, применяемых в импульсных источниках питания, составляет 1...300 кГц. Частота генерации определяется номиналами внешних элементов, присоединяемых к выводам 5, 6 микросхемы, и рассчитывается по формуле

$$f = \frac{1}{R_{216} \cdot C_{207}}. \quad (21.1)$$

Максимальное значение пилообразного напряжения составляет 3,2 В. На первый вход схемы сравнения (вывод 2) поступает опорное напряжение с вывода 14 микросхемы $DA201$ через резистивный делитель $R209$, $R212$. На второй вход схемы сравнения (вывод 1) поступает суммарное напряжение выходов +5 В, +12 В через сумматор на резисторах $R222$, $R223$, $R225$... $R228$. Полученное разностное напряжение поступает на первый вход ШИМ-компаратора, на второй вход которого подано пилообразное напряжение генератора.

Результирующий дискретный сигнал с выхода ШИМ-компаратора поступает на схемы логической обработки.

После логической обработки результирующего сигнала формируются две параллельные чередующиеся последовательности управляющих импульсов, длительность которых пропорциональна напряжению на выходах источника питания. Частота следования импульсов в каждой из последовательностей в два раза ниже частоты пилообразного напряжения.

Импульсы положительной полярности двух последовательностей разнесены во времени, интервалы их действия не пересекаются.

При колебаниях разностного напряжения, вызванных изменениями нагрузки на выходах источника питания, происходит сдвиг переднего фронта импульсов, в результате чего длительность управляющих импульсов изменяется. При увеличении разностного напряжения длительность управляющих импульсов уменьшается, при уменьшении – увеличивается.

Две последовательности импульсов с выходов ШИМ поступают на каскад управления, построенного по схеме двухтактного усилителя мощности на транзисторах $VT201$, $VT202$. Эмиттеры транзисторов $VT201$, $VT202$ объединены, а коллекторной нагрузкой транзисторов являются первичные полуобмотки трансформатора $T101$. Питание транзисторов $VT201$, $VT202$ осуществляется с выхода $+12$ В через токоограничивающую цепочку $R207$, $VD201$. Диод $VD201$ предназначен для снижения влияния импульсных сигналов, возникающих в обмотках трансформатора $T101$, на работу ШИМ по цепи питания.

Делители напряжения на резисторах $R206$, $R205$ и $R208$, $R217$ формируют начальное смещение в цепи базы транзисторов $VT201$, $VT202$ соответственно. Эмиттеры транзисторов $VT201$, $VT202$ через два последовательно соединенных диода $VD203$, $VD204$ подключены к общему проводу вторичной цепи питания. Параллельно диодам установлен электролитический конденсатор $C204$. Такое соединение элементов соответствует схеме с общим эмиттером.

При переключениях транзисторов $VT201$, $VT202$ в первичных полуобмотках трансформатора $T101$ протекают противоположные по направлению токи. В результате этого во вторичных обмотках управления трансформатора $T101$ индуцируются противоположные по знаку импульсные напряжения, управляющие работой транзисторов $VT101$, $VT102$ импульсного преобразователя.

Диоды $VD202$, $VD205$ уменьшают амплитуду паразитных колебаний, обусловленных индуктивностями обмоток трансформатора $T101$, в моменты переключения транзисторов.

Выходной высокочастотный выпрямитель предназначен для выпрямления импульсного высокочастотного напряжения и получения на выходе разнополярных постоянных напряжений ± 5 В и ± 12 В.

Выходной выпрямитель содержит четыре однотипные выпрямительные схемы, попарно соединенные с соответствующими вторичными обмотками импульсного трансформатора $T102$. Все выпрямители выполнены по двухполупериодной схеме выпрямления со средней точкой.

В выпрямителе выхода +5 В применена диодная сборка *VD210*, состоящая из двух диодов Шоттки, для уменьшения прямого падения напряжения и времени восстановления обратного сопротивления. В выходах +12 В, –5 В, –12 В используются высокочастотные выпрямительные диоды *VD209.1*, *VD209.2*, *VD214*, *VD215*, *VD212*, *VD213* соответственно.

Демпфирующие цепочки *R241*, *C211*, *R242*, *C212*, *R243*, *C213* уменьшают интенсивность импульсных помех, создаваемых источником при работе.

В каждом из выходов применена практически одинаковая схема фильтрации выпрямленного напряжения с помощью *LC*-фильтров. Фильтр выхода +5 В двухзвенный, включает в себя Г- и П-образные фильтры *L201.1*, *C214*, *L202*, *C215*. Фильтры выходов +12 В, –5 В, –12 В – однозвенные, Г-образные *L201.2*, *L203*, *C216*, *L201.3*, *L204*, *C217*, *L201.4*, *L205*, *C218* соответственно.

Непосредственная стабилизация выходного напряжения осуществляется по выходам +5 В и +12 В. Напряжения выходов +5 В, +12 В поступают на резистивный сумматор *R222*, *R223*, *R225...R228* и оттуда на микросхему *DA201*. Стабилизация напряжений на выходах –5 В, –12 В осуществляется косвенно через реактор *L201*, входящий в состав сглаживающего *LC*-фильтра на выходе высокочастотного выпрямителя.

Реактор *L201* содержит четыре обмотки *L201.1...L201.4*, выполненные на одном магнитопроводе. Благодаря единому магнитопроводу между обмотками реактора *L201* существует практически 100%-я магнитная связь. Так, если произойдет увеличение токовой нагрузки на выходах с отрицательным напряжением, это вызовет увеличение потока магнитной индукции в реакторе *L201* от обмоток *L201.3*, *L201.4* и увеличение напряжения противоЭДС в обмотках *L201.1*, *L201.2*. Произойдет некоторое снижение напряжения на выходах +5 В, +12 В. ШИМ отреагирует на это воздействие увеличением длительности управляющих импульсов. Напряжение на выходах +5 В, +12 В повысится до номинального значения, повысится также напряжение и на выходах –5 В, –12 В. Резисторы *R244...R247* являются нагрузочными для режима холостого хода.

Цепи защиты и контроля предназначены для предотвращения повреждения и выхода из строя источника питания в аварийных режимах и индикации его исправной работы. Защита источника питания срабатывает в следующих аварийных режимах работы:

- чрезмерное увеличение тока через транзисторы импульсного преобразователя;
- короткое замыкание на выходах –5 В, –12 В.

Чрезмерное увеличение тока через транзисторы *VT101*, *VT102* импульсного преобразователя происходит при резком увеличении питающего сетевого напряжения, а также при коротком замыкании на выходах +5 В, +12 В. Защита от чрезмерного тока реализована с помощью маломощного однополупериодного выпрямителя (*R202*, *R203*, *VD206*, *C202*), питающегося от дополнительной низковольтной обмотки трансформатора *T101*. Выходное напряжение выпрямителя через резистор *R210* подается на вывод 16 ШИМ *DA201*.

Резкое увеличение тока через транзисторы $VT101$, $VT102$ при перегрузках сопровождается резким увеличением импульсного тока через отвод обмотки управления трансформатора $T101$ и напряжения на дополнительной обмотке. Вследствие этого выходное напряжение однополупериодного выпрямителя повышается и блокирует формирование управляющих импульсов в ШИМ. Работа источника питания возобновляется после устранения перегрузки и повторного включения питающего напряжения.

Защита от коротких замыканий на выходах -5 В, -12 В реализована с помощью цепи $R234$, $R233$, $R224$, $R213$, $VD207$, $VT203$, $C209$. Питание транзистора $VT203$ осуществляется опорным напряжением с вывода 14 ШИМ $DA201$. При исправной работе источника питания транзистор $VT203$ открыт суммарным отрицательным напряжением на его эмиттере, и на его коллекторе устанавливается низкий уровень напряжения. Если одно из отрицательных напряжений резко уменьшается, то транзистор $VT203$ закрывается и по цепи $R213$, $VD207$, $R214$ начинает протекать ток большей величины. Увеличение падения напряжения на резисторе $R214$ вызывает срабатывание компаратора «пауза», уменьшающего длительность управляющих импульсов и соответственно уменьшающего выходное напряжение. Конденсатор $C209$ позволяет сохранить работоспособность источника питания при кратковременных замыканиях на выходах -5 В, -12 В.

Схема формирователя сигнала «Питание в норме» реализована на триггере Шмитта, собранного на транзисторах $VT205$, $VT206$. В установившемся режиме после завершения переходных процессов транзистор $VT204$ закрыт низким положительным уровнем напряжения на его базе. В закрытом состоянии транзистора $VT204$ осуществляется заряд конденсатора $C210$ через резистор $R229$ с выхода $+5$ В источника питания. Спустя некоторое время напряжение заряда на конденсаторе $C210$ достигает уровня достаточного, чтобы через делитель $R238$, $R239$ установить триггер Шмитта в состояние, при котором на коллекторе транзистора $VT206$ появляется высокий уровень напряжения.

В аварийном режиме источника питания транзистор $VT204$ открывается положительным напряжением с вывода 3 ШИМ через резистор $R231$. Конденсатор $C210$ при этом разряжается через резистор $R230$ и открытый транзистор $VT204$. Напряжение на делителе $R238$, $R239$ снижается до уровня, при котором в результате срабатывания триггера Шмитта на коллекторе транзистора $VT206$ устанавливается низкий уровень напряжения. Диод $VD206$ ускоряет разряд конденсатора задержки $C210$ при перезапусках источника питания

21.2 Описание лабораторной установки

В работе исследуется бестрансформаторный импульсный источник РС/АТ питания системных блоков персональных компьютеров.

Основные параметры импульсного источника АТ: выходная мощность – 200 Вт, выходы $+5$ В, 20 А; $+12$ В, 8 А; -5 В, 500 мА; -12 В, 500 мА.

В работе исследуются параметры импульсного источника по выходам $+5$ В, $+12$ В.

Функциональная схема лабораторной установки для исследования импульсного источника РС/АТ приведена на рисунке 21.3.

Напряжение сети 230 В частотой 50 Гц через переключатель SA1 «Сеть» и плавкий предохранитель FU1 поступает на вход лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) T1. Наличие напряжения на лабораторной установке контролируется индикатором HL1.

Выходное напряжение ЛАТРа через переключатель SA2 «Стабилизатор» и миллиамперметр переменного тока PA1 поступает на сетевой фильтр импульсного источника питания. Эффективное значение переменного напряжения, поступающего на источник питания, измеряется вольтметром переменного тока PV1.

Выходы +5 В и +12 В источника питания переключателем SA3 «Выход» подсоединяются к нагрузке, в качестве которой используется составной транзисторный каскад, образованный транзисторами VT1...VT3 одного типа проводимости. Резисторы R1...R5 образуют делитель напряжения смещения транзисторного каскада. Изменение тока, потребляемого транзисторами, осуществляется изменением напряжения смещения на базе транзистора VT1 с помощью резистора R1 «Нагрузка». С помощью резисторов R4 и R5 устанавливается максимальный ток нагрузки 2 А на выходах +5 В и +12 В соответственно. Резисторы R6 и R7 – токостабилизирующие.

Значение тока нагрузки измеряется амперметром постоянного тока PA2. Значение напряжения на нагрузке измеряется вольтметром постоянного тока PV2.

Контрольные гнезда XS1...XS7 предназначены для визуального контроля и измерения напряжения на различных участках источника питания посредством осциллографа. При этом на контрольные гнезда выведены следующие контрольные напряжения схемы:

- XS1-XS3 – выходное импульсное напряжение ШИМ;
- XS2-XS3 – пилообразное напряжение ШИМ;
- XS4-XS5 – выходное напряжение импульсного трансформатора;
- XS6-XS7 – выходное напряжение на нагрузке.

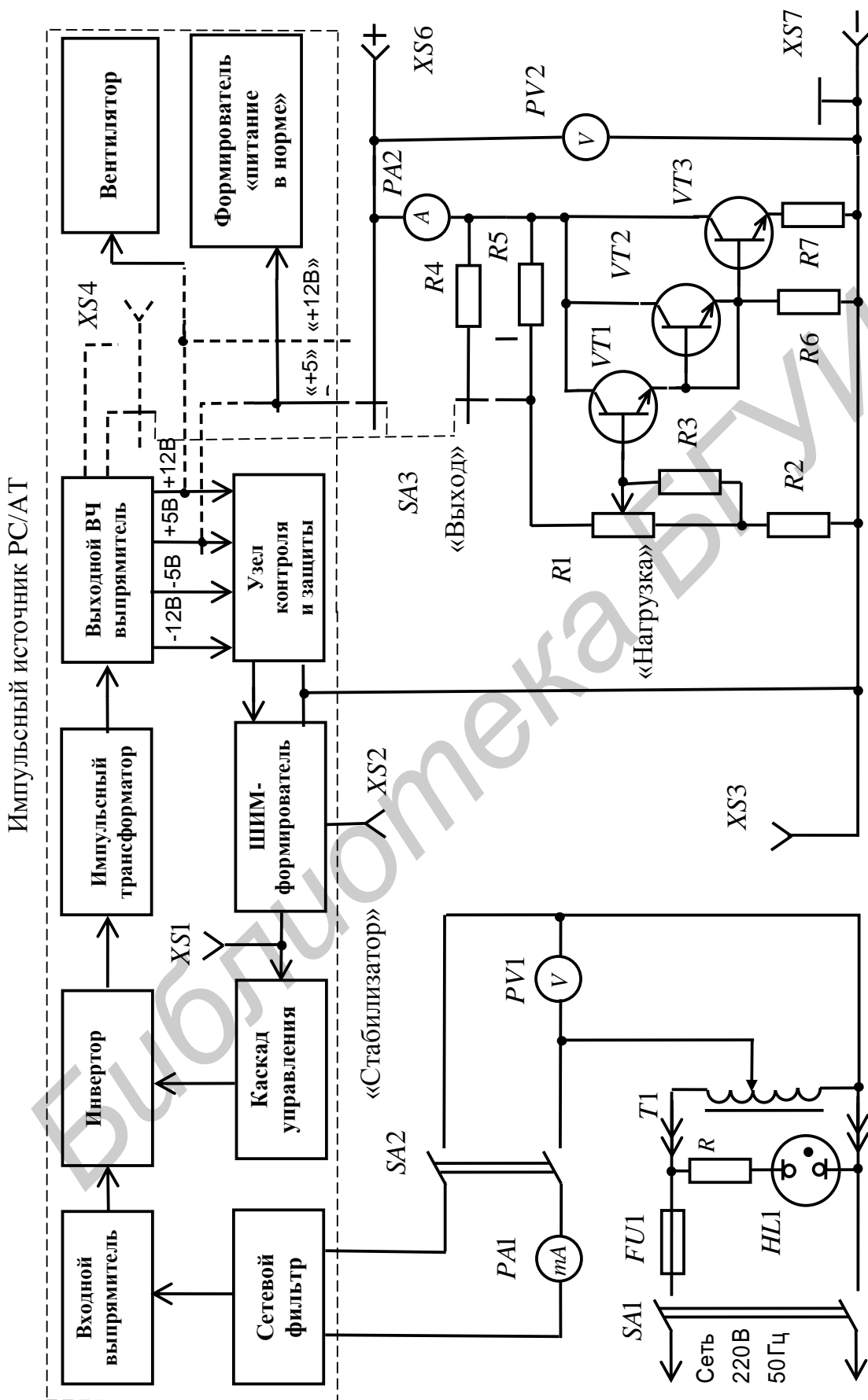


Рисунок 21.3 – Лабораторная установка для исследования безтрансформаторного импульсного источника питания. Схема электрическая функциональная

21.3 Задание на исследование

1 Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсного источника. Построить графические зависимости $U_H = f(U_{ВХ})$ и определить коэффициенты стабилизации по напряжению.

2 Исследовать нагрузочную характеристику импульсного источника. Построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее выходное сопротивление.

3 Определить КПД и коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке импульсного источника.

4 Зарисовать осциллограммы напряжений и определить параметры импульсов в контрольных точках импульсного источника при различных значениях питающего напряжения и тока нагрузки.

21.4 Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами управления и регулирования и с используемыми контрольно-измерительными приборами.

Доложить преподавателю о готовности выполнения работы.

С разрешения преподавателя включить лабораторную установку тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели. Регулятором ЛАТРа установить номинальное напряжение питания 220 В по вольтметру $PV1$ на лицевой панели установки. Резистор «НАГРУЗКА» установить на минимальное значение тока нагрузки.

Тумблером «СТАБИЛИЗАТОР» на лицевой панели установки включить импульсный источник.

Включить осциллограф и электронный вольтметр.

21.5 Порядок выполнения работы

21.5.1 Исследовать нестабильность выходного напряжения импульсного источника.

Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». Резистором «НАГРУЗКА» установить максимальное значение тока нагрузки 2 А по амперметру $PA2$. К контрольным гнездам $XS6-XS7$ подсоединить электронный вольтметр.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение в диапазоне 200...240 В с шагом 20 В, контролируя его вольтметром $PV1$. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить напряжение на нагрузке вольтметром $PV2$ или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 21.1.

Таблица 21.1 – Нестабильность выходного напряжения импульсного источника

Переключатель «ВЫХОД»	Параметр	Значения параметров		
		200	220	240
+5В	$U_{ВХ}, В$			
	$U_{Н}, В$			
	$\Delta U_{Н}, В$			
+12В	$K_{СТU}$			
	$U_{ВХ}, В$			
	$U_{Н}, В$			
	$\Delta U_{Н}, В$			
	$K_{СТU}$			

Повторить изложенные выше операции и измерения при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В». Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 21.1.

По данным таблицы 21.1 построить графические зависимости $U_{Н} = f(U_{ВХ})$. Рассчитать коэффициенты стабилизации напряжения по формуле

$$K_{СТU} = (\Delta U_{ВХ} / U_{ВХ}) / (\Delta U_{Н} / U_{Н}), \quad (21.2)$$

где $\Delta U_{ВХ}, \Delta U_{Н}$ – разность между соседними измеренными значениями входного напряжения и напряжения на нагрузке соответственно.

За номинальное напряжение принимается $U_{ВХ} = 220 В$ и соответствующие ему выходные напряжения источника.

Коэффициенты стабилизации определить при понижении и повышении входного напряжения от номинального.

21.5.2 Исследовать нагрузочную характеристику импульсного источника.

Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». К контрольным гнездам XS6-XS7 подсоединить электронный вольтметр. Регулятором ЛАТРа установить номинальное напряжение питания 220 В по вольтметру PV1.

Резистором «НАГРУЗКА» изменять величину тока нагрузки от минимального до максимального с шагом 0,4...0,6 А, контролируя его значения по амперметру PA2. При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину напряжения на нагрузке вольтметром PV2 или электронным вольтметром. Результаты измерений занести в таблицу 21.2.

Таблица 21.2 – Нагрузочная характеристика импульсного источника

Переключатель «ВЫХОД»	Параметр	Значения параметров					$R_{ВЫХ}, Ом$
		0,1	0,6	1,0	1,6	2,0	
+5В	$I_{Н}, А$						
	$U_{Н}, В$						
+12	$I_{Н}, А$						
	$U_{Н}, В$						

Повторить изложенные выше операции и измерения при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В». Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 21.2.

По данным таблицы 21.2 построить графические зависимости $U_H = f(I_H)$ и определить внутреннее (выходное) сопротивление стабилизаторов напряжения по формуле

$$R_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_H / \Delta I_H, \quad (21.3)$$

где ΔU_H , ΔI_H – разность между соседними измеренными значениями напряжения и тока нагрузки соответственно.

Рассчитанные значения выходного сопротивления занести в соответствующие графы таблицы 21.2.

21.5.3 Определить КПД и коэффициент пульсаций импульсного источника.

Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». Регулятором ЛАТРа установить номинальное напряжение питания 220 В по вольтметру *PV1*. Регулятором «НАГРУЗКА» установить максимальное значение тока нагрузки 2 А по амперметру *PA2*.

Определить КПД источника напряжения η по формуле

$$\eta = \frac{P_H}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_H \cdot I_H}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}}. \quad (21.4)$$

Входная мощность и мощность нагрузки определяется по показаниям приборов *PV1*, *PA1* и *PV2*, *PA2* соответственно.

К контрольным гнездам *XS6-XS7* подсоединить входные щупы осциллографа и определить величину напряжения пульсаций как полуразмах изображения сигнала на экране по формуле

$$U_{\text{НПР}} = (m/2) \cdot k, \quad (21.5)$$

где m – количество клеток по вертикали, занимаемых изображением сигнала на экране осциллографа;

k – чувствительность осциллографа по оси «Y», В/дел.

Рассчитать коэффициент пульсаций напряжения по формуле

$$K_{\text{ПН}} = U_{\text{НПР}} / U_H. \quad (21.6)$$

Результаты вычислений занести в таблицу 21.3.

Таблица 21.3 – Энергетические и сглаживающие параметры импульсного источника

Переключатель «ВЫХОД»	Параметры					
	$U_{\text{ВХ}}$, В	$I_{\text{ВХ}}$, А	U_H , В	I_H , А	КПД	$K_{\text{ПН}}$
«+5 В»						
«+12 В»						

Повторить изложенные выше операции и вычисления при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В».

Результаты вычислений занести в соответствующие графы таблицы 21.3.

21.5.3 Снять осциллограммы напряжения импульсного источника.

Переключатель «ВЫХОД» поставить в положение «+5 В». При номинальном входном напряжении 220 В и токе нагрузки 2 А зарисовать осциллограммы напряжений ШИМ-формирователя в контрольных точках XS1, XS2, для чего входные щупы осциллографа поочередно подсоединить к гнездам XS1-XS3; XS2-XS3. По осциллограммам на экране осциллографа определить частоту следования импульсов.

Зарисовать осциллограмму напряжения на выходе импульсного трансформатора в контрольной точке XS4, для чего входные щупы осциллографа подсоединить к гнездам XS4-XS5.

Осциллограмму напряжения в контрольной точке XS4 зарисовать в следующих режимах работы импульсного источника:

а) $U_{ВХ} = 220 \text{ В}$, $I_{Н} = 0,2 \text{ А}$;

б) $U_{ВХ} = 220 \text{ В}$, $I_{Н} = 2 \text{ А}$;

в) $U_{ВХ} = 200 \text{ В}$, $I_{Н} = 2 \text{ А}$;

г) $U_{ВХ} = 240 \text{ В}$, $I_{Н} = 2 \text{ А}$.

По осциллограммам на экране осциллографа определить амплитуду и длительность импульсов, а также построить их графическое изображение. На каждом графическом изображении указать режим работы источника питания.

Повторить изложенные выше операции при положении переключателя «ВЫХОД» – «+12 В».

21.6. Завершение работы

Регулятором ЛАТРа установить номинальное напряжение питания 220 В. Резистором «НАГРУЗКА» установить минимальное значение тока нагрузки.

Доложить преподавателю о завершении работы и показать результаты измерений.

С разрешения преподавателя отключить импульсный источник тумблером «СТАБИЛИЗАТОР» и лабораторную установку тумблером «СЕТЬ».

Отсоединить от лабораторной установки входные щупы осциллографа и электронного вольтметра и отключить их.

21.7 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Функциональная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей, указанные в подразделе 21.5.
- 5 Зарисованные осциллограммы в указанных в пункте 21.5.3 контрольных точках.
- 6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

21.8 Контрольные вопросы

- 1 Объясните преимущества и недостатки бестрансформаторных источников питания по сравнению с трансформаторными источниками.
- 2 Изобразите типовую структурную схему бестрансформаторного источника питания и поясните ее принцип действия.
- 3 Какие инверторы напряжения используются в бестрансформаторных источниках питания?
- 4 Чем обусловлена необходимость использования сетевых фильтров в бестрансформаторных источниках питания?
- 5 Объясните особенности вентилях, используемых в бестрансформаторных источниках.
- 6 С какой целью в выпрямителях бестрансформаторных источников питания используются реакторы?
- 7 Какой принцип стабилизации выходного напряжения используется в бестрансформаторных источниках?
- 8 Как реализуется защита от перегрузок по току в бестрансформаторных источниках?
- 9 Зачем во входной цепи бестрансформаторных источников используется терморезистор?

Литература

- 1 Иванов-Цыганов, А. И. Электропреобразовательные устройства РЭС / А. И. Иванов-Цыганов. – М. : Высш. школа, 1991.
- 2 Березин, О. К. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О. К. Березин, В. Г. Костиков, В. А. Шахнов. – М. : Три Л., 2000.
- 3 Китаев, В. Е. Расчет источников электропитания устройств связи / В. Е. Китаев, А. А. Бокуняев, М. Ф. Калканов. – М. : Радио и связь, 1983.
- 4 Кучеров, Д. П. Источники питания ПК и периферии / Д. П. Кучеров. – СПб. : Наука и техника, 2005.

Библиотека БГУИР

Содержание

Лабораторная работа №18. Стабилизаторы постоянного напряжения и тока с непрерывным регулированием.....	3
Лабораторная работа №19. Стабилизаторы постоянного напряжения и тока с импульсным регулированием.....	23
Лабораторная работа №20 Преобразователи постоянного напряжения.....	39
Лабораторная работа №21 Бестрансформаторный импульсный источник питания.....	56

Библиотека БГУИР

Учебное издание

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ
СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

В 4-х частях

Часть 4

**Климович Владимир Викторович
Машара Георгий Георгиевич
Шатило Николай Иванович**

СТАБИЛИЗАТОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Луцикова*

Подписано в печать 19.11.2014. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Гаймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,3. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 100 экз. Заказ 201.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
ЛП №02330/264 от 14.04.2014.
220013, Минск, П. Бровки, 6