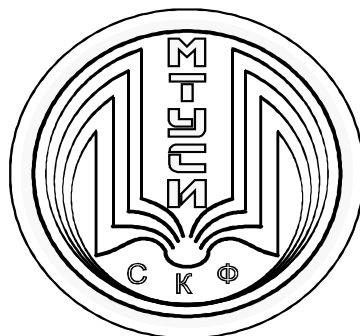


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ»



Кафедра: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗВЕННОГО ДВУХКАНАЛЬНОГО
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ

*Руководство по выполнению
лабораторной работы*

Ростов-на-Дону
2019 г.

В.В. Ершов

Исследование двухзвенного двухканального полупроводникового
преобразователя постоянного напряжения

Руководство по выполнению лабораторной работы

В руководстве рассмотрены особенности процессов в преобразователях постоянного напряжения различных типов. При этом больший акцент сделан на двухзвенном преобразователе, позволяющем реализовать принцип многоканальности значений выходных напряжений устройства. Руководство предназначено для выполнения экспериментальных исследований двухзвенного двухканального полупроводникового преобразователя постоянного напряжения для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Рассмотрено и одобрено на заседании
кафедры ИТСС
Протокол № 1 от 26.08.2019 г.

Лабораторная работа № 8

Исследование двухзвенного двухканального полупроводникового преобразователя постоянного напряжения

Цель работы: 1. Углубить и закрепить теоретические знания по устройству и принципу действия полупроводниковых преобразователей постоянного напряжения.

2. Научить студентов основам экспериментальных исследований двухзвенных преобразователей постоянного напряжения и методике определения основных эксплуатационных показателей и характеристик таких преобразователей.

1 Задачи экспериментального исследования

1. Уяснить механизм протекания электромагнитных процессов в двухзвенных полупроводниковых преобразователях постоянного напряжения.

2. Уяснить методику экспериментального исследования преобразователей постоянного напряжения.

3. Оформить бланк отчета и защитить полученные в ходе экспериментальных исследований результаты.

2 Основные сведения из теории

На практике часто возникает задача преобразования постоянного напряжения одного номинала в постоянное напряжение другого номинала. Решается эта задача с применением устройств, называемых преобразователями постоянного напряжения (ППН).

Практическая необходимость в этих устройствах возникает тогда, когда в качестве первичных источников питания применяются аккумуляторы, гальванические элементы,

термогенераторы, атомные и солнечные батареи, т.е. источники, чаще всего используемые для питания нестационарной аппаратуры. При этом первичный источник имеет выходное напряжение одного номинала, а для работы приемников требуется напряжение другого или других номиналов.

В этом случае требуемые номиналы напряжений можно получить от нескольких источников постоянного напряжения или от одного источника через гасящие резисторы и резисторы - делители напряжения. Неприемлемость этих способов очевидна из-за малого КПД, больших габаритов и массы. Эти причины и вызвали появление различных преобразователей постоянного напряжения (тока) - электромашинных (умформеров), вибрационных и полупроводниковых.

В настоящее время полупроводниковые преобразователи практически вытеснили электромашинные и вибрационные из-за своих малых габаритов и массы, большого срока службы, высокого КПД (до 85...90%), высокой надежности, большой механической прочности и ряда других преимуществ. К недостаткам полупроводниковых преобразователей следует отнести подверженность влиянию температуры окружающей среды. Тем не менее, в системах электропитания предприятий связи преимущественное применение находят именно полупроводниковые преобразователи постоянного напряжения в постоянное. Поэтому рассмотрим более подробно различные типы этих преобразователей.

Под полупроводниковыми преобразователями постоянного напряжения понимаются преобразователи электроэнергии, осуществляющие изменение постоянного напряжения. Иными словами, к этой группе преобразователей относятся такие устройства, которые преобразуют постоянное напряжение одного номинала в постоянное напряжение другого номинала.

Все полупроводниковые преобразователи постоянного напряжения по способу преобразования энергии делятся на непосредственные и двухзвенные.

Непосредственным называется такой преобразователь, в котором осуществляется однократное без дополнительных манипуляций преобразование постоянного напряжения одного значения в постоянное напряжение другого значения. В зависимости от функционального назначения непосредственные преобразователи постоянного напряжения (НППН) выполняются одно - и многотактными. Последние обеспечивают получение на выходе преобразователя большой мощности.

Принцип действия НППН основан на ключевом режиме работы транзистора (при мощности нагрузки до 1 кВт) или тиристора ($1\text{кВт} < P \leq 100\text{ кВт}$), которые периодически прерывают цепь подачи постоянного напряжения U_1 в нагрузку (рисунок 1). Выходное напряжение регулируется изменением длительности выходных импульсов $t_{и}$ (см. рисунок 1,б) при неизменном периоде их следования T . Среднее значение выходного напряжения преобразователя определяется из выражения

$$U_{н.ср} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{и}} u_I dt = U_1 \frac{t_{и}}{T}, \quad (1)$$

где $\frac{t_{и}}{T} = K_3$ - коэффициент заполнения.

Из полученного соотношения следует, что при постоянных значениях U_1 и T величина выходного напряжения НППН $U_{н.ср}$ пропорциональна длительности импульса $t_{и}$. Следовательно, выходное напряжение регулируется от нуля (при $t_{и} = 0$) до U_1 (при $t_{и} = T$).

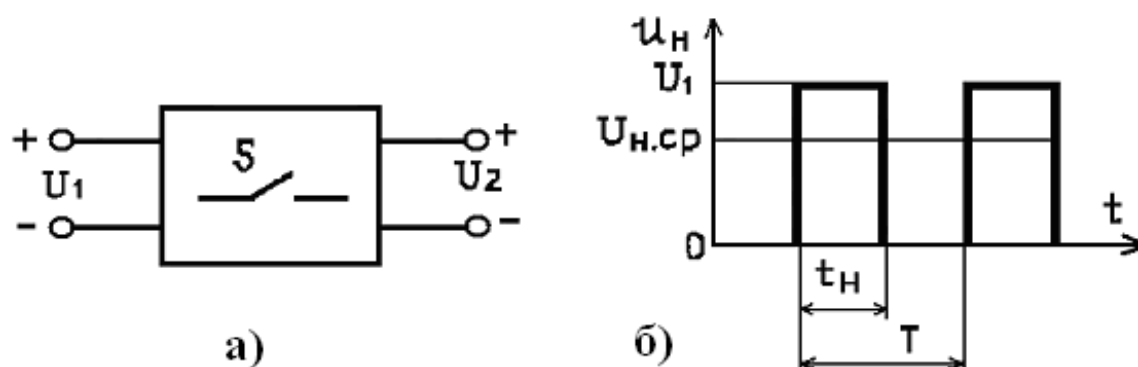


Рисунок 1 - Схема (а) и временная диаграмма (б) непосредственного преобразователя постоянного напряжения

В двухзвенном (ДППН) преобразователе осуществляется сначала инвертирование постоянного тока, а затем выпрямление переменного тока. Упрощенно цикл преобразования можно представить структурной схемой (рисунок 8.2).

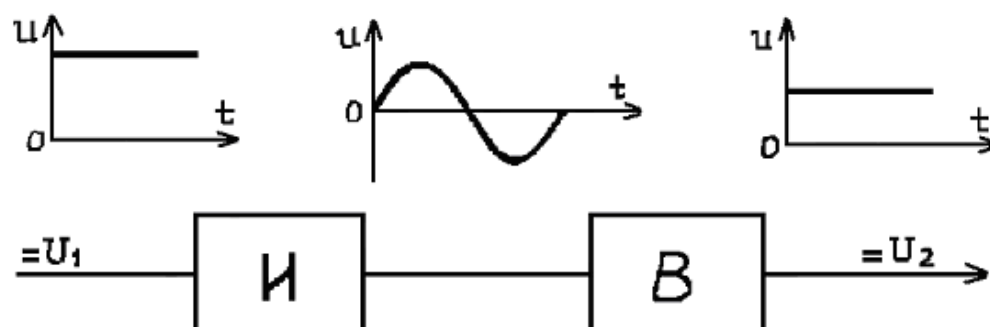


Рисунок 2 - Структурная схема простейшего двухзвенного преобразователя постоянного напряжения

Как непосредственные, так и двухзвенные преобразователи постоянного напряжения находят широкое применение в технике. Транзисторные НППН используются в качестве импульсных стабилизаторов постоянного напряжения в различных модификациях в общепромышленных установках и специальной аппаратуре с выходной мощностью до 1 кВт. Тиристорные НППН рассчитаны на большую (до 100 кВт) мощность и используются в большей степени в регулируемом электроприводе постоянного тока.

Двухзвенные транзисторные преобразователи постоянного напряжения являются, как правило, составной частью вторичных

источников питания различной аппаратуры. Приведенная на рисунке 2 структурная схема может служить примером одноканального преобразователя постоянного напряжения. Однако для питания аппаратуры автоматики, радиотехники, вычислительных машин и других приемников часто требуется постоянное стабилизированное напряжение различных номиналов при наличии одного первичного источника постоянного напряжения. В связи с этим разрабатываются и широко используются многоканальные преобразователи. Для выполнения такого двукратного преобразования электроэнергии силовая часть ДППН должна содержать два последовательно соединенных силовых элемента - высокочастотный транзисторный инвертор (регулируемый или нерегулируемый) и высокочастотный выпрямитель со сглаживающим фильтром. При этом электрическая изоляция выходных цепей преобразователя друг от друга и от источника электроэнергии, а также обеспечение требуемых номинальных значений выходных напряжений осуществляются с помощью высокочастотного силового трансформатора. Многоканальные преобразователи постоянного напряжения имеют две или более (на практике 15...20) электрически изолированных цепей постоянного тока с разными уровнями выходных напряжений, одноканальные - одну выходную цепь постоянного тока, электрически изолированную от источника электроэнергии. Функциональная схема двухканального ДППН показана на рисунке 3. Для получения двух гальванически не связанных между собой и входом каналов преобразователя в состав последнего включен (между инвертором и выпрямителем каждого канала) трехобмоточный трансформатор. Выходное напряжение инвертора подается на первичную обмотку w_1 . Требуемая величина напряжения на выходе каждого канала (U_2 ; U_3) обеспечивается за счет определенного количества витков w_2 и w_3 в обмотках трансформатора. На практике, как правило, в состав такого преобразователя включают входной и выходной фильтры. Входной фильтр обеспечивает развязку между высокочастотным инвертором и источником питания преобразователя. Выходные

фильтры обеспечивают сглаживание пульсаций напряжения каждого канала.

Применение ДППН в источниках вторичного электропитания позволяет получить не только ряд необходимых вторичных напряжений из одного первичного, но и повысить стабильность вторичных напряжений по сравнению с первичным. Выходное напряжение существующих первичных источников электропитания в процессе эксплуатации меняется. У большинства из них колебания напряжения лежат в пределах $\pm(10...20)\%$. Допустимые колебания напряжения питания большинства ответственных приемников

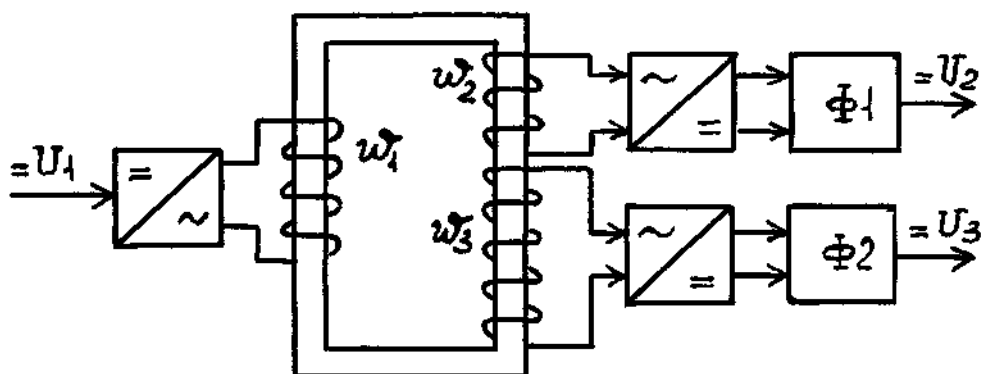


Рисунок 3 - Функциональная схема двухзвенного двухканального преобразователя постоянного напряжения

систем электропитания предприятий связи на порядок меньше и составляют $\pm(3...5)\%$, а отдельных (выходные каскады в аппаратуре связи) еще более чувствительных к изменению напряжения питания, и того меньше - всего $\pm(0,1...0,5)\%$.

Отсюда вытекает необходимость стабилизации выходных напряжений преобразователя. Все многообразие встречающихся на практике стабилизированных двухзвенных высокочастотных преобразователей постоянного напряжения можно свести к трем типам схем:

1. Централизованная, когда эффект стабилизации достигается за счет регулятора, установленного в общем для всех каналов тракте преобразования.

2. Индивидуальная, когда эффект стабилизации достигается за счет регулятора индивидуального канала.

3. Комбинированная, представляющая собой объединение двух предыдущих схем.

3 Состав и описание схемы исследуемого преобразователя

Исследуемый двухзвенный преобразователь постоянного напряжения выполнен в виде сменного блока (рисунок 4), входящего в состав универсальной лабораторной установки.

Сменный блок включает:

- регулируемый источник постоянного напряжения;
- маломощный формирователь управляющих импульсов;
- импульсный усилитель мощности;
- два выпрямителя с емкостными сглаживающими фильтрами;
- цепь отрицательной обратной связи;
- схему защиты от перегрузки со звуковой и световой сигнализацией. Питание схемы ППН осуществляется от встроенного в блок источника постоянного напряжения. Выходное напряжение источника стабилизировано и регулируется в пределах от 7 вольт до 16 вольт. Источник защищен от кратковременной перегрузки. При перегрузке источника подается звуковой сигнал и мигает светодиод «Перегрузка».

Формирователь управляющих импульсов состоит из генератора пилообразного напряжения, компаратора и формирователя импульсов.

Длительность импульсов управления зависит от напряжения на правом входе компаратора (КТ2).

В нижнем положении тумблера S1 на указанный вход подается напряжение с переменного резистора «РЕГ.ВЫХ.», который позволяет регулировать вручную напряжение на выходах ППН.

В верхнем положении S1 вход компаратора подключен к

цепи обратной связи. В этом режиме напряжение на выходе ППН автоматически поддерживается постоянным, не регулируется и мало зависит от напряжения питания и сопротивления нагрузки. Частота следования управляющих импульсов 25 - 35 кГц.

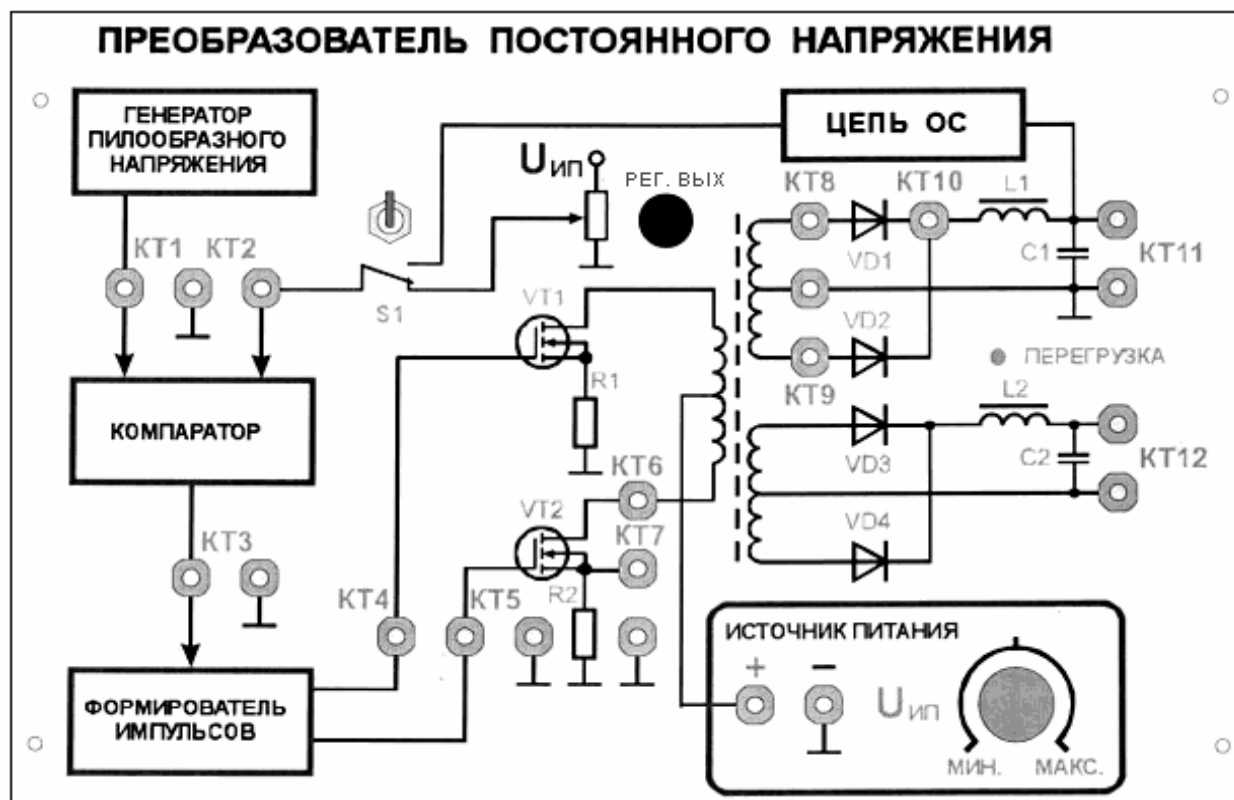


Рисунок 4 - Внешний вид сменного блока «Преобразователь постоянного напряжения»

Усилитель мощности собран по двухтактной схеме со средней точкой первичной обмотки трансформатора. В цепи истока ключевого транзистора VT2 установлен резистор R2 для осциллографирования формы протекающего через транзистор тока. Резистор R1 обеспечивает симметрию схемы.

Преобразователь имеет два выхода. Выход 1 (КТ11)-низкоомный, гальванически связанный с общим проводом « \perp ». В режиме ручной регулировки напряжение на выходе изменяется в пределах 1,5 В - 8,0 В. В режиме автоматической регулировки напряжение на выходе поддерживается примерно постоянным в пределах 3,8 В - 4,2 В.

Выход 2 (КТ12) - высокоомный, не связанный гальванически

с общим проводом « \perp ». Напряжение на выходе в значительной степени зависит от сопротивления нагрузки. При $R_{\text{нагрузки}} = \infty$ в режиме ручной регулировки напряжение на выходе изменяется в пределах 7 В - 40 В.

В качестве нагрузки преобразователя используется переменный резистор блока нагрузок (правая панель лабораторной установки).

Регулирование тока, протекающего через нагрузку, производится ручками « R_H грубо» и « R_H точно». Примерные пределы изменения R_H : от 1300 Ом в положении 1 переключателя « $R_{H.ГРУБО}$ » до 17 Ом в положении 11. В положении «Х.Х.» $R_H = \infty$.

Напряжение на резисторе нагрузки и ток, протекающий через резистор, контролируются вольтметром PV2 и миллиамперметром PA2.

Осциллограммы напряжений и токов в схеме ППН приведены на рисунке 5.

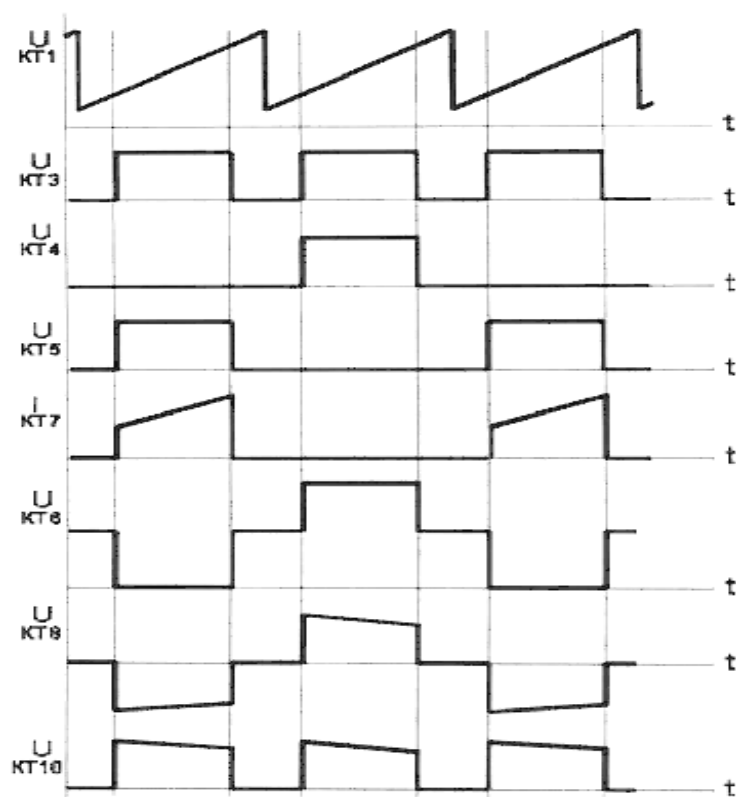


Рисунок 5 - Осциллограммы напряжений и токов в контрольных точках схемы преобразователя постоянного напряжения

4 Основные правила и меры безопасности при проведении лабораторных занятий

С точки зрения безопасности работ, проводимых в ходе экспериментальных исследований, следует знать, что лабораторные установки конструктивно смонтированы на универсальном лабораторном столе.

На лицевых панелях выгравированы схемы исследуемых устройств и расположены органы управления. В учебной аудитории размещено четыре универсальных лабораторных стола. Трехфазное и однофазное напряжения к лабораторным столам подается централизованно от автоматических выключателей. На схему каждой лабораторной установки напряжение подается через соответствующий выключатель.

При проведении лабораторных работ обязательным является выполнение следующих правил:

1. Перед началом эксперимента органы управления и индикации на лицевой панели данной лабораторной установки должны быть установлены в исходное положение.

2. Включение схемы лабораторной установки допускается только с разрешения руководителя занятия.

3. Запрещается прикасаться к токоведущим частям лабораторных установок, производить переключения, не оговоренные в руководстве к данной лабораторной работе.

4. В случае поражения электрическим током необходимо:

- немедленно отключить питание лабораторной установки, а также автоматический выключатель питания всех лабораторных столов;

- освободить пострадавшего от соприкосновения с электрической цепью, обеспечив предварительно собственную безопасность;

- доложить о случившемся руководителю занятия, вызвать медицинского работника и, не дожидаясь его прибытия, без промедления приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

5 Состав лабораторной установки

Универсальная лабораторная установка предназначена для экспериментального исследования двухзвенного преобразователя постоянного напряжения.

В состав лабораторной установки входит лабораторный пульт.

Лицевая панель лабораторного пульта состоит из трех составных частей: левой, центральной и правой. Левая и правая панели являются стационарными, а центральная вместе с установленными на ней элементами и платами является съемной.

На левой лицевой панели:

- выгравированы схемы трехфазного и однофазного трансформаторов с различными вариантами соединения вторичных цепей;

- размещены вольтметр PV1 и амперметр PA1. Вольтметр PV1 предназначен для измерения постоянного напряжения на входе исследуемого преобразователя. Амперметр PA1 в данной лабораторной работе не задействуется.

- установлены кнопки зеленого цвета ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ, ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ и красного цвета ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ-ВЫКЛ, ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВЫКЛ.

На центральной лицевой панели выгравирована схема исследуемого преобразователя постоянного напряжения и размещены описанные выше органы управления.

На правой лицевой панели:

- выгравированы схемы электрических сглаживающих фильтров;

- размещены вольтметр PV2 и амперметр PA2, предназначенные для измерения соответственно постоянного напряжения и тока на выходе исследуемого преобразователя;

- установлен выключатель СЕТЬ для подачи питающего напряжения на установку;

- установлены регуляторы величины сопротивления нагрузки $R_{Н.ГРУБО}$ и $R_{Н.ТОЧНО}$.

Приборы PV1, PA1 и PV2 имеют переключатели режима измерения для измерения переменных и постоянных напряжений и тока.

Пределы измерения приборов PV1, PA1 и PV2, PA2 переключаются автоматически в зависимости от режима измерения «переменный - постоянный» и типа подключаемого сменного блока.

6 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с работой преобразователя постоянного напряжения
 - 1.1. Подготовить установку к работе
 - 1.2. Собрать схему, приведенную на рисунке 8.6.

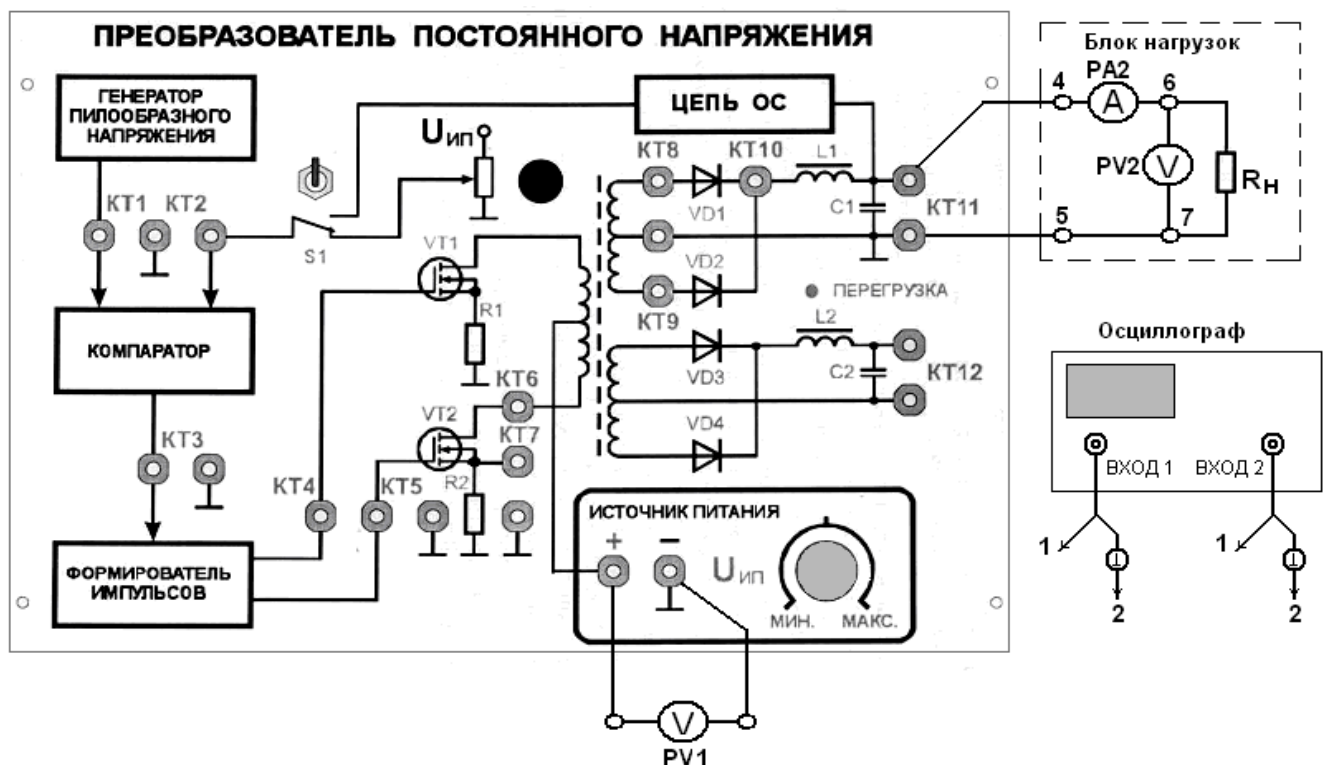


Рисунок 6. Схема соединения элементов лабораторной установки

- 1.3. Переключатель S1 установить в нижнее положение.
 - 1.3.1. Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.
 - 1.3.2. Переключатель « R_n грубо» установить в положение «11».

4.4. Вычислить $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$ для каждого значения $U_{\text{ВЫХ}}$ и занести в таблицу 3.

4.5. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=f(U_{\text{ПИТ}})$ в тех же координатных осях, что и в п. 3.

4.6. Сравнить полученные результаты. Сделать выводы.

5. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме ручной регулировки выходного напряжения.

5.1. Переключатель S1 установить в нижнее положение.

5.2. Переключатель «R_н грубо» установить в положение «11».

5.3. Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

5.4. Постепенно увеличивать R_н. Для этого регулятор «R_н грубо» переключать от положения «11» до положения «X.X.». Заполнить таблицу 4.

5.5. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=f(R_{\text{н}})$.

Таблица 4

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя «R _н грубо»									
		11									X.X
U _{ВЫХ} , В	PV2										
I _{ВЫХ} , МА	РА2										
R _н =U _{ВЫХ} /I _{ВЫХ}	вычислить										
U _{ВЫХ} /U _{ВЫХ.МАКС} , В	вычислить										

6. Определить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме автоматической регулировки выходного напряжения.

6.1. Переключатель S1 установить в верхнее положение.

6.2. Переключатель «R_н грубо» установить в положение «11».

6.3. Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

6.4. Постепенно увеличивать R_н. Для этого регулятор «R_н грубо» переключать от положения «11» до положения «X.X.». Заполнить таблицу 5.

6.5. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}}=f(R_{\text{н}})$ в тех же координатных осях, что и в п. 5.

6.6. Сравнить полученные результаты. Сделать выводы

Таблица 5

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя «R _н грубо»									
		11									XX
U _{ВЫХ} , В	PV2										
I _{ВЫХ} , МА	РА2										
R _н =U _{ВЫХ} /I _{ВЫХ}	вычислить										
U _{ВЫХ} /U _{ВЫХ.МАКС} , В	вычислить										

7. Изучить свойства высокоомного выхода ППН.

7.1. Вход блока нагрузок (гнезда 4-5 отключить от КТ11 и подключить к КТ12).

7.2. Переключатель «R_н грубо» установить в положение «Х.Х.».

7.2.1. Переключатель S1 установить в нижнее положение.

7.2.2. Установить максимальное напряжение на выходе источника питания.

7.2.3. Переменным резистором «РЕГ.ВЫХ.» изменять длительность управляющих импульсов, наблюдаемых в КТ3. Наблюдать изменение напряжения на выходе ППН в КТ12. Записать минимальное и максимальное напряжения на выходе ППН.

7.2.4. Установить максимальное напряжение на выходе ППН.

7.2.5. Постепенно уменьшать R_н с помощью переключателя «R_н грубо» и регулятора «R_н точно». Получить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме ручной регулировки выходного напряжения. Заполнить таблицу 6.

Таблица 6

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя «R _н грубо»									
		XX									
U _{ВЫХ} , В	PV2										
I _{ВЫХ} , МА	РА2										
R _н =U _{ВЫХ} /I _{ВЫХ}	вычислить										
U _{ВЫХ} /U _{ВЫХ.МАКС} , В	вычислить										

7.2.6. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}} = f(R_{\text{н}})$. Сравнить с результатами, полученными в п. 5. Сделать выводы.

7.3. Переключатель « R_H грубо» установить в положение «Х.Х.».

7.3.1. Переключатель S1 установить в верхнее положение.

7.3.2. Постепенно уменьшать R_H с помощью переключателя « R_H грубо» и регулятора « R_H точно». Получить зависимость между напряжением на выходе ППН и сопротивлением нагрузки в режиме автоматической регулировки выходного напряжения. Заполнить таблицу 7.

Таблица 7

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Положение переключателя « R_H грубо»									
		ХХ									
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$	PV2										
$I_{\text{ВЫХ}}, \text{мА}$	РА2										
$R_H = U_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВЫХ}}$	вычислить										
$U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}}, \text{В}$	вычислить										

7.3.3. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВЫХ.МАКС}} = f(R_H)$ в тех же координатных осях, что и в п. 7.1. Сделать выводы.

8. Доложить преподавателю об окончании экспериментальных исследований. Представить преподавателю результаты выполненного исследования и лабораторную установку в работоспособном состоянии.

9. На центральной лицевой панели выключить источник постоянного напряжения.

10. На правой лицевой панели выключить выключатель СЕТЬ.

11. Разобрать схему испытаний. Аккуратно свернуть и убрать проводники.

12. Отключить осциллограф.

13. Подготовить бланк лабораторной работы к защите.

7 Содержание отчета

1. Функциональная схема двухзвенного двухканального преобразователя постоянного напряжения (рисунок 3)

2. Таблицы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 с результатами измерений и вычислений.
3. Выводы по результатам исследований.

8 Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация преобразователей постоянного напряжения.
2. Принцип действия и области применения непосредственного преобразователя постоянного напряжения.
3. Структурная схема, принцип действия и области применения двухзвенных преобразователей постоянного напряжения.
4. Изобразить функциональную схему двухзвенного трехканального преобразователя постоянного напряжения.
5. Какое влияние оказывает на величину выходного напряжения каждого канала ДППН изменение частоты преобразования?

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушуев В.М., Деминский В.А., Захаров Л.Ф. и др. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: Учебное пособие для вузов – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.- 384 с.
2. Бокуняев А.А. и др. Электропитание устройств связи. Под ред. Козляева Ю.Д.-М.: Радио и связь, 1998. 328 с.