

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

Кафедра защиты информации

***ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
И ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №9, 10***

Практикум для студентов специальностей
1-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»,
1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2009

УДК 621.39(075.8)

ББК 32.88я73

Ф94

Авторы-составители:

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

Функциональные устройства и электропитание систем телекоммуникаций. Лаб. работы №9, 10 : практ. для студ. спец. 1-45 01 03 «Сети телекоммуникаций», 1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях» всех форм обуч. /сост. В. В. Климович [и др.]. – Минск : БГУИР, 2009. – 32 с.: ил.

ISBN 978-985-488-398-4

Издание содержит описания двух лабораторных работ по исследованию различных однофазных выпрямителей. Каждая работа включает методические указания, краткие теоретические сведения, описание лабораторной установки, задание на исследование, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы.

УДК 621.39(075.8)

ББК 32.88я73

ISBN 978-985-488-398-4

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

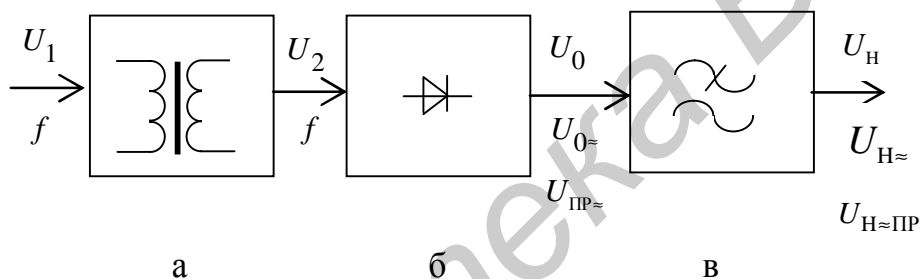
Лабораторная работа №9
ОДНОФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ С РАЗЛИЧНЫМИ СГЛАЖИВАЮЩИМИ
ФИЛЬТРАМИ

9.1 Цель работы

Изучение особенностей работы различных выпрямителей, питающихся от однофазной сети переменного тока, и исследование эффективности сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения с помощью фильтров, распространенных на практике.

9.2 Краткие теоретические сведения

Типовая структурная схема выпрямителя (устройства преобразования переменного тока в постоянный) представлена на рисунке 9.1.



а – трансформатор; б – вентильное звено; в – сглаживающий
фильтр

Рисунок 9.1 – Структурная схема выпрямителя

Трансформатор обеспечивает получение требуемого напряжения U_n на выходе выпрямителя при заданном действующем значении U_1 напряжения сети, а также устраняет непосредственную связь цепей выпрямленного тока с питающей сетью (гальваническую связь), что обязательно при заземленной нагрузке.

Вентильное звено (ВЗ), состоящее из одного или нескольких соединенных определенным способом вентилях, осуществляет выпрямление переменного тока, т.е. пропускание его только в одном направлении. Пульсирующему току одного направления на выходе ВЗ соответствуют среднее (постоянное) напряжение U_0 и некоторые флуктуации напряжения относительно его среднего значения. Интенсивность этих флуктуаций, называемых в технике электропитания пульсациями, может быть охарактеризована по-разному, в частности, их сред-

неквадратическим (действующим) значением $U_{0\approx}$, напряжением $U_{\text{ПР}\approx}$ половины размаха пульсаций и т.п.

Во многих случаях интенсивность пульсаций на выходе ВЗ имеет недопустимую для нагрузки выпрямителя величину. Для ее уменьшения применяют *сглаживающие фильтры (СФ)*. СФ должен по возможности беспрепятственно пропускать постоянный ток и существенно подавлять пульсацию. При эффективной работе СФ для постоянного напряжения $U_{\text{Н}}$ и напряжения пульсаций $U_{\text{Н}\approx}$ на выходе фильтра справедливы соотношения $U_{\text{Н}} = U_0$; $U_{\text{Н}\approx} \ll U_0$.

В силу периодичности переменного напряжения сети выпрямленное напряжение $U_0(t)$ на выходе ВЗ m -фазного выпрямителя содержит периодическую пульсацию и может быть представлено в виде

$$U_0(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{0km} \cos(km\omega t), \quad (9.1)$$

где

$$U_{0km} = \frac{m}{\pi} + \int_{-\pi/m}^{\pi/m} \sum_{k=1}^{\infty} U_{0km} \cos(km\omega t) d\omega t - \quad (9.2)$$

амплитуда k -й гармонической составляющей в разложении пульсаций в ряд Фурье по косинусоидальным функциям.

При $m \geq 2$ амплитуда гармонических составляющих описывается выражением

$$U_{0km} = \frac{2U_0}{(k \cdot m)^2 - 1}, \quad (9.3)$$

где ω – круговая (угловая) частота переменного тока питающей сети, рад/с.

Содержание переменной составляющей в выпрямленном напряжении можно охарактеризовать с помощью так называемого *коэффициента пульсаций*, который для k -й её гармоники ($k = 1, 2, \dots$) определяется по формуле

$$K_{\text{П}k} = \frac{U_{0km}}{U_0} = \frac{2}{(k \cdot m)^2 - 1}. \quad (9.4)$$

Часто для оценки качества постоянного напряжения на выходе выпрямителя используют коэффициент пульсаций $K_{\text{П}1}$ по первой ($k = 1$), наиболее интенсивной гармонике. Как следует из формулы (9.4),

$$K_{\text{П}1} = \frac{U_{0km}}{U_0} = \frac{2}{(m)^2 - 1}, \quad m \geq 2. \quad (9.5)$$

Коэффициент пульсаций $K_{\text{П}}$ может определяться с использованием различных мер интенсивности, в частности, среднеквадратического (действующего)

значения $U_{0\approx}$ или полуразмаха $U_{\text{ПР}\approx}$ пульсаций:

$$K_{\text{П}} = U_{0\approx} / U_0, \quad (9.6)$$

$$K_{\text{П}} = U_{\text{ПР}\approx} / U_0. \quad (9.7)$$

Эффективность подавления пульсаций удобно охарактеризовать отношением коэффициента пульсаций на входе фильтра к коэффициенту пульсаций на его выходе. При использовании для определения коэффициентов пульсаций формулы (9.6) указанное отношение, называемое *коэффициентом сглаживания* q , запишется в виде

$$q = \frac{K_{\text{П}\approx}}{K_{\text{ПН}}} = \left(\frac{U_{0\approx}}{U_0} \right) / \left(\frac{U_{\text{Н}\approx}}{U_{\text{Н}}} \right) = \left(\frac{U_{0\approx}}{U_{\text{Н}\approx}} \right) / \left(\frac{U_{\text{Н}}}{U_0} \right), \quad (9.8)$$

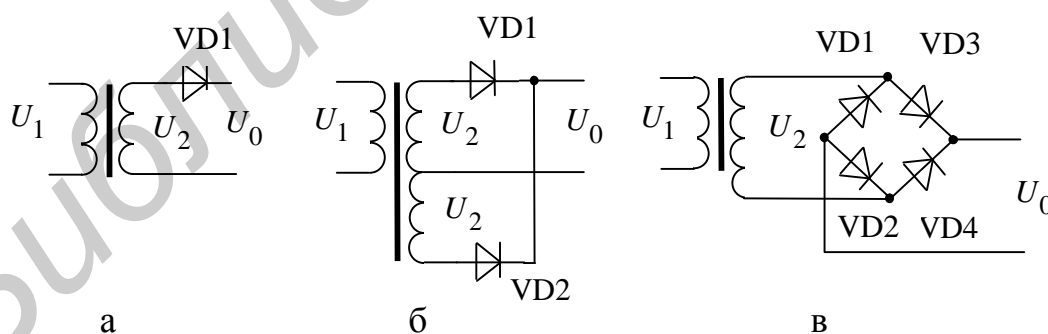
где $K_{\text{ПН}} = U_{\text{Н}\approx} / U_{\text{Н}}$ – коэффициент пульсаций напряжения на выходе фильтра (на нагрузке).

Если потери постоянного напряжения в СФ невелики, т. е. $U_{\text{Н}} \approx U_0$, то коэффициент сглаживания можно определить по приближенной формуле:

$$q = U_{0\approx} / U_{\text{Н}\approx}. \quad (9.9)$$

Выражение (9.9) позволяет формально трактовать коэффициент сглаживания СФ как коэффициент деления входного напряжения пульсаций $U_{0\approx}$ между фильтром и нагрузкой, на которую поступает лишь часть $U_{\text{Н}\approx}$ от напряжения $U_{0\approx}$. Пользуясь этим выражением, можно легко находить приближенные соотношения для анализа эффективности многих сглаживающих фильтров.

Наиболее распространенные *схемы выпрямителей*, питающихся от однофазной сети переменного тока, приведены на рисунке 9.2.



а – однополупериодная; б – двухполупериодная со средней точкой;
в – мостовая (схема Герца)

Рисунок 9.2 – Схемы выпрямителей, питающихся от однофазной сети переменного тока

На рисунке 9.3 показаны виды нагрузок, на которые эти выпрямители обычно работают на практике.

На рисунке 9.4 изображены временные диаграммы для напряжений, действующих в одно- и двухполупериодных схемах при чисто активной нагрузке.

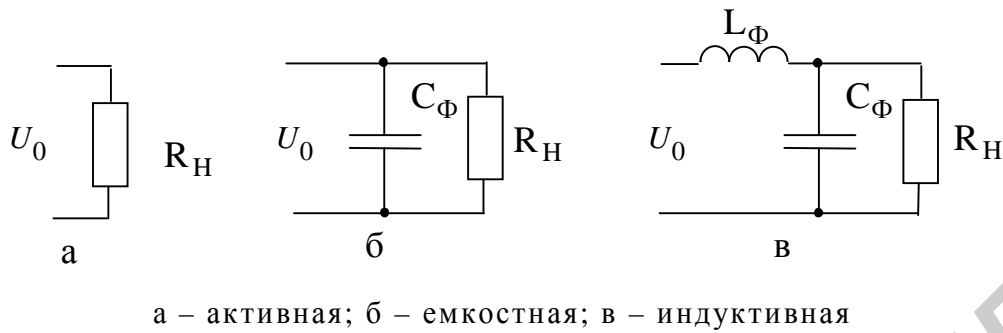


Рисунок 9.3 – Виды нагрузок выпрямителей однофазной сети переменного тока

Однополупериодный выпрямитель (рисунок 9.2, а) применяется в основном при работе на нагрузку емкостного характера, в редких случаях – на чисто активную нагрузку. Достоинствами данной схемы являются простота, минимальное число элементов, невысокая стоимость, возможность работы без трансформатора.

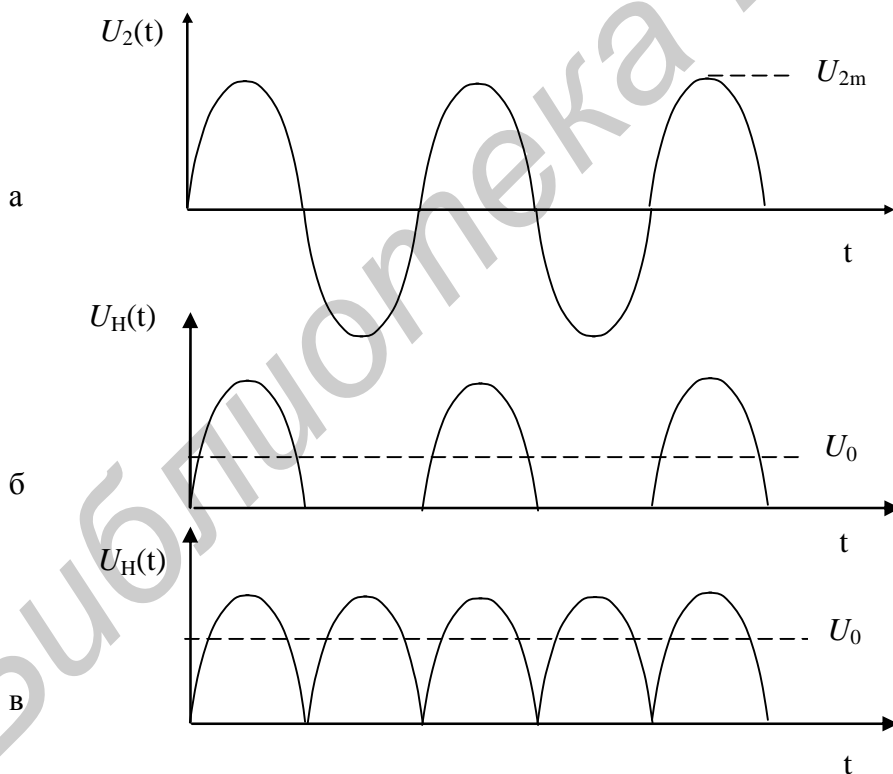


Рисунок 9.4 – Временные диаграммы напряжений $U_H(t)$ на активной нагрузке при однополупериодном (б) и двухполупериодном (в) выпрямлениях переменного напряжения $U_2(t)$ (а)

К существенным *недостаткам* схемы относятся высокий коэффициент пульсаций $K_{\text{пл}} \approx 1,57$; низкая частота пульсаций (первая ее гармоника имеет частоту, совпадающую с частотой напряжения, питающего выпрямитель); высокое обратное напряжение на вентиле $U_{\text{обр } m} = pU_0$; малоэффективное использование трансформатора, так как его габаритная мощность более чем в три раза превышает мощность, отдаваемую в нагрузку на постоянном токе; подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током.

Перечисленные недостатки являются причиной ограниченного применения однополупериодных выпрямителей на практике.

Двухполупериодная схема со средней точкой (рисунок 9.2, б) представляет собой два параллельно включенных однополупериодных выпрямителя, работающих поочередно через полпериода выпрямляемого напряжения. Используется в основном при нагрузке емкостного или индуктивного характера, при активной нагрузке применяется редко.

Основными *преимуществами* схемы по сравнению с однополупериодной являются меньший коэффициент пульсаций $K_{\text{пл}} \approx 0,67$; повышенная частота пульсаций (первая ее гармоника имеет частоту, вдвое большую частоты питающего напряжения); возможность использования вентиля с общим катодом или анодом (при кенотронных вентилях это позволяет питать накальные цепи от одного источника, а при использовании полупроводниковых диодов – применять общий радиатор).

Основными *недостатками* схемы являются усложненная (из-за наличия среднего отвода во вторичной обмотке) конструкция трансформатора и высокое обратное напряжение на вентилях, равное, как и в однополупериодной схеме, $U_{\text{обр } m} = pU_0$.

Мостовая схема (рисунок 9.2, в) обладает наилучшими технико-экономическими показателями из всех двухполупериодных схем выпрямителей, работающих от однофазной сети переменного тока. Применяется в основном при нагрузке с емкостной или индуктивной реакцией, реже – при активной нагрузке.

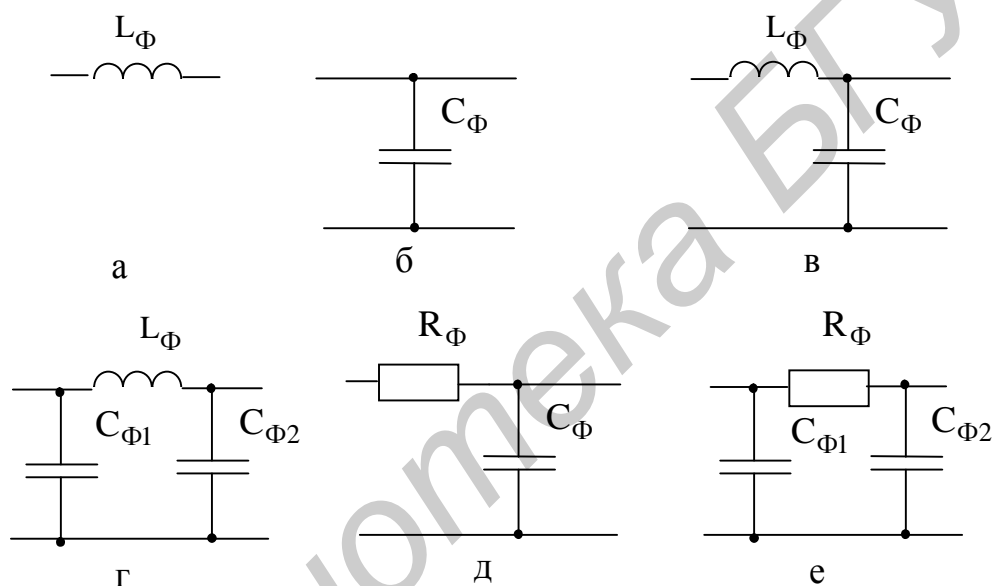
По сравнению с предыдущей мостовая схема не требует усложнения трансформатора, характеризуется лучшим его использованием, допускает работу без трансформатора, обеспечивает вдвое меньшее обратное напряжение на вентилях ($U_{\text{обр } m} = pU_0 / 2$).

К *недостаткам* схемы относятся: большое число вентилях, повышенное прямое падение напряжения на вентильном звене, невозможность питания цепей накала кенотронных вентилях от одного источника (нужны три накальные обмотки) и недопустимость установки полупроводниковых вентилях на одном радиаторе без изолирующих прокладок.

Основные схемы пассивных СФ приведены на рисунке 9.5.

Помимо необходимости обеспечивать заданный коэффициент сглаживания q от СФ требуют минимальных габаритов, веса и стоимости, высокого коэффициента полезного действия, отсутствия недопустимых перенапряжения на нагрузки и бросков тока в выпрямителе при включении и выключении источника питания или импульсном потреблении тока нагрузкой. Оптимизация СФ по совокупности перечисленных технико-экономических показателей является сложной и в общем случае не решенной задачей. Поэтому при проектировании СФ учитывают два основных критерия – критерий минимума стоимости и критерий минимума массогабаритных характеристик.

В простом L-фильтре в качестве индуктивности используют дроссель, в магнитопроводе которого для ослабления подмагничивания постоянным током нагрузки выпрямителя обычно специально вводится немагнитный зазор.



а – простой L-фильтр; б – простой C-фильтр; в – Г-образный однозвенный LC-фильтр; г – П-образный однозвенный LC-фильтр; д – Г-образный однозвенный RC-фильтр; е – П-образный однозвенный RC-фильтр

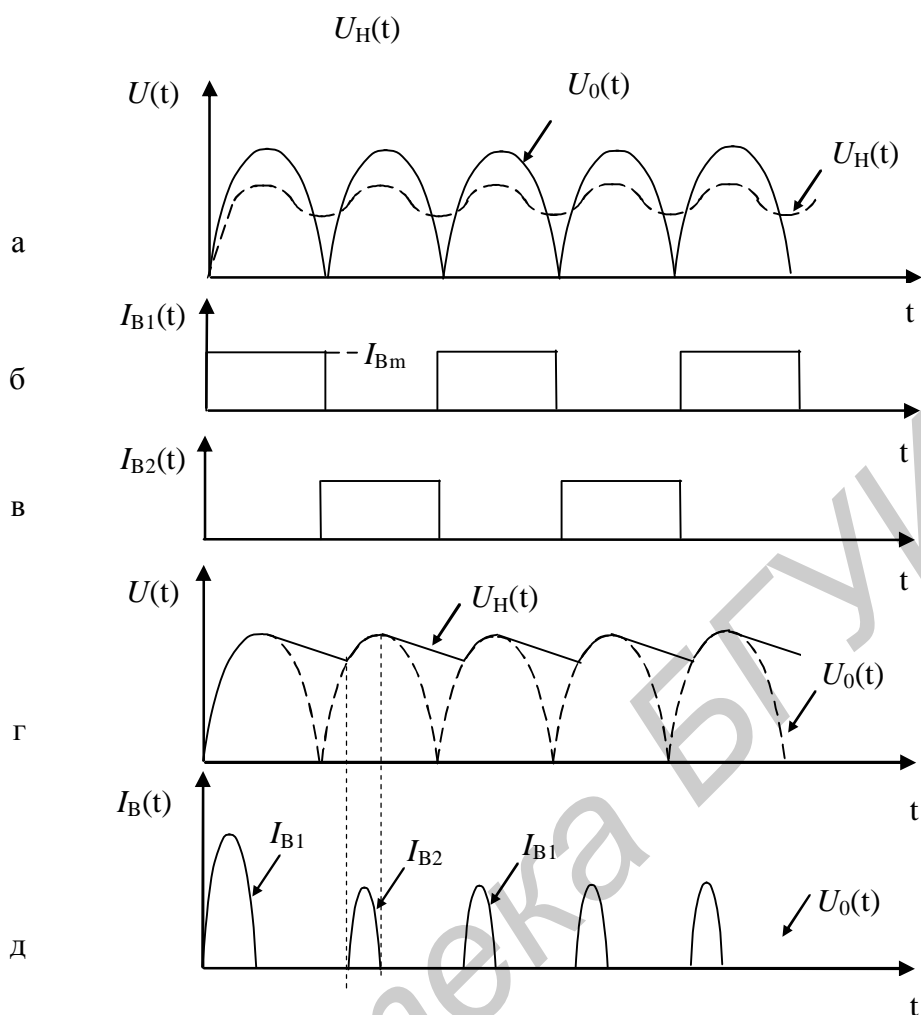
Рисунок 9.5 – Основные схемы пассивных сглаживающих фильтров

Сглаживающее действие фильтра на частоте $m\omega$ можно упрощенно трактовать как деление напряжения входной пульсации между большим (по переменному току) сопротивлением $m\omega L_\Phi$ дросселя и сопротивлением R_H нагрузки.

Тогда коэффициент сглаживания такого фильтра примерно равен

$$q_L \approx \sqrt{(m\omega L_\Phi)^2 + R_H^2} \approx m\omega L / R_H. \quad (9.10)$$

При $m\omega L_\Phi \gg R_H$ интенсивность пульсаций на нагрузке оказывается существенно меньше, чем на входе фильтра (рисунок 9.6, а).



а, б, в – диаграммы для L -фильтра; г, д – диаграммы для C -фильтра; $U_0(t)$ – напряжение на входе фильтра, $I_B(t)$ – ток в вентилях, $U_H(t)$ – напряжение на нагрузке

Рисунок 9.6 – Диаграммы работы простых сглаживающих фильтров при двухполупериодном выпрямлении

Предположение, что $m\omega L_\phi \gg R_H$, а также пренебрежение внутренним сопротивлением выпрямителя и активным сопротивлением дросселя обуславливают приближенность формулы (9.10).

Как видно из формулы (9.10), эффективность L -фильтра возрастает с увеличением числа m фаз выпрямителя и уменьшением сопротивления R_H нагрузки. Поэтому такие фильтры предпочтительно применять в многофазных выпрямителях при малых сопротивлениях и больших токах нагрузки.

Достоинства L -фильтра: простота, высокая надежность и большая проходная мощность.

Недостатки: большие габариты и масса (при значительных величинах требуемого коэффициента сглаживания), большая ЭДС самоиндукции при включении источника.

Сглаживающее действие простого C -фильтра (рисунок 9.5, б) обусловлено быстрым зарядом конденсатора через малое внутреннее сопротивление выпрямителя (рисунок 9.6, г).

Оценка эффективности данного фильтра проводится на основе анализа особенностей работы выпрямителя на нагрузку емкостного характера. В результате получим следующее выражение коэффициента сглаживания [1]:

$$q_C = 2r_\phi C_\phi / (m^2 - 1)H_m, \quad (9.11)$$

где r_ϕ – внутреннее сопротивление каждой фазы выпрямителя;

H_m – коэффициент, зависящий от частоты выпрямляемого напряжения, угла Q отсечки тока в вентилях (см. рисунок 9.6, г) и числа m импульсов тока в нагрузке за период выпрямленного напряжения.

Величина H_m определяется по имеющимся в справочниках графикам при расчете выпрямителя на нагрузку с емкостной реакцией [3].

Достоинства C -фильтра: простота конструкции, малые габариты и масса.

Основным *недостатком C -фильтра* является малая эффективность при больших токах нагрузки, т.к. для обеспечения медленного разряда конденсатора через малое сопротивление нагрузки требуется значительно увеличивать его емкость. Наиболее часто C -фильтр используется в однофазных выпрямителях малой мощности.

Для достижения высоких коэффициентов сглаживания с помощью простых L - и C -фильтров необходимо применять большие индуктивности и емкости, что приводит к существенному увеличению массы и габаритов выпрямителя. Выходом из этого положения является усложнение СФ.

Примером такого усложнения является однофазный Γ -образный LC -фильтр (рисунок 9.5, в). Пренебрегая обычно малым внутренним сопротивлением выпрямителя и активным сопротивлением дросселя и полагая, что

$$m\omega L_\phi \gg \frac{1}{m\omega C_\phi} \quad \text{и} \quad R_H \gg \frac{1}{m\omega C_\phi},$$

коэффициент сглаживания фильтра можно найти как коэффициент деления входной пульсации с помощью следующего приближенного соотношения:

$$q_{LC} \approx m\omega L_\phi / \frac{1}{m\omega C_\phi} \approx m^2 \omega^2 L_\phi C_\phi. \quad (9.12)$$

Если из равенств (9.10), (9.11) при заданном коэффициенте сглаживания непосредственно можно найти обеспечивающие его индуктивность или емкость, то из последнего соотношения определяется лишь произведение

$$L_{\phi} C_{\phi} = \frac{q_{LC}}{m^2 \omega^2}. \quad (9.13)$$

Для конкретизации величин L и C требуется привлечение какого-либо дополнительного условия, например согласования СФ с нагрузкой, т.е. выполнение равенства

$$r = \sqrt{L_{\phi}/C_{\phi}} = R_H, \quad (9.14)$$

где c – волновое сопротивление фильтра.

Достоинством данного фильтра является возможность получения высоких коэффициентов сглаживания при больших токах нагрузки.

К недостаткам фильтра относятся повышенная сложность (в сравнении с простейшими СФ), значительные габариты и масса.

Дополнение Г-образного LC-фильтра предшествующим ему емкостным фильтром приводит к созданию П-образного LC-фильтра (рисунок 9.5, г). Коэффициент сглаживания $q_{ПLC}$ такого фильтра равен (см. формулы (9.11) и (9.12))

$$q_{ПLC} = q_C \cdot q_{LC}. \quad (9.15)$$

Структурно подобны Г-образному и П-образному LC-фильтрам Г-образные и П-образные RC-фильтры (рисунок 9.5, д, е). Их коэффициенты сглаживания определяются следующими приближенными соотношениями:

$$q_{RC} \approx m \omega C_{\phi} R_{\Sigma}, \quad (9.16)$$

$$q_{ПRC} = q_C \cdot q_{RC}, \quad (9.17)$$

где $R_{\Sigma} = R_{\phi} \cdot R_H / (R_{\phi} + R_H)$ – эквивалентное сопротивление, учитывающее влияние сопротивления нагрузки R_H на сглаживающее действие фильтра.

RC-фильтры имеют малые массу и габариты, низкую стоимость. Однако в таких фильтрах сравнительно велики потери мощности в резисторе R_{ϕ} и падение напряжения на нем. Поэтому величина R_{ϕ} обычно не превышает (0,1 – 0,25) R_H . При этом сглаживающее действие фильтра не может быть значительным. Применяются RC-фильтры в маломощных выпрямителях при слабых токах нагрузки.

Как LC-, так и RC-фильтры могут быть многозвенными. При этом общий коэффициент сглаживания фильтра определяется произведением коэффициентов

сглаживания входящих в него звеньев. Оптимизация многозвенного LC -фильтра при фиксированных суммарных индуктивности и емкости показывает, что наибольший коэффициент сглаживания фильтра достигается при одинаковых параметрах его звеньев.

Многозвенные СФ применяются при необходимости существенного подавления пульсаций.

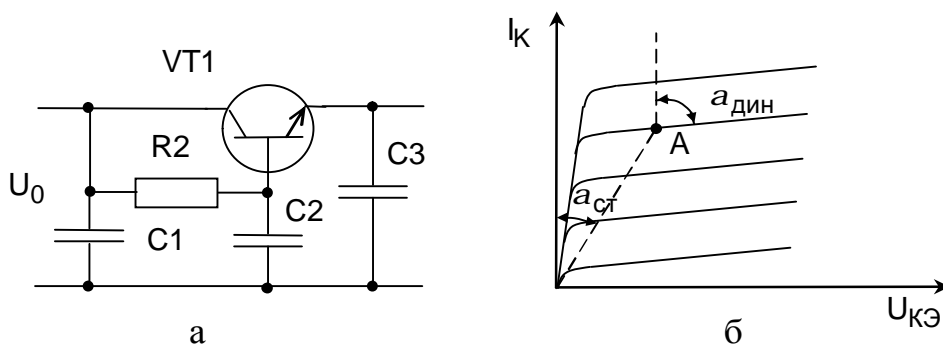
Из *пассивных* фильтров наиболее широкое применение находят LC -фильтры. Однако их применение ограничено рядом недостатков: большой длительностью переходных процессов в динамических режимах, большими габаритами и массой, зависимостью коэффициента сглаживания от постоянного тока нагрузки. Кроме того, магнитное поле рассеяния дросселей часто является источником помех для питаемых устройств.

От перечисленных недостатков свободны *активные* сглаживающие фильтры, построенные с использованием электронных ламп или транзисторов. Существует ряд модификаций схем активных СФ. В качестве примера можно привести схему транзисторного активного фильтра с последовательным (по отношению к нагрузке) включением транзистора (рисунок 9.7). Можно усмотреть определенную аналогию между этим фильтром и Π -образным пассивным LC -фильтром, полагая, что дроссель последнего заменяется транзистором, имеющим большое сопротивление «эмиттер–коллектор» по переменному току и малое – по постоянному.

Различие этих сопротивлений легко уяснить, рассмотрев рабочую точку А, соответствующую режиму работы транзистора на коллекторных характеристиках (рисунок 9.7, б): сопротивление транзистора постоянному току пропорционально $tg a_{ст}$ и невелико ($a_{ст} \ll p/2$). Сопротивление же переменному току пропорционально $tg a_{дин}$ и значительно, т. к. $a_{дин} \approx \pi/2$.

Резистор R2 служит для установки нужного режима по постоянному току (задает ток в базу транзистора). Цепь R2C2, имеющая большую постоянную времени, поддерживает неизменными потенциал и ток эмиттера.

Коллекторный ток транзистора также остается примерно постоянным, поэтому пульсации напряжения на нагрузке ослабляются.



а – принципиальная схема активного фильтра;
 б – коллекторные характеристики биполярного транзистора

Рисунок 9.7– Активный сглаживающий фильтр

Достоинствами активных фильтров являются малые габариты, а также возможность фильтрации медленных пульсаций (вплоть до стабилизации напряжения).

Недостатками активных СФ являются сложность конструкции, повышенная стоимость, чувствительность к коротким замыканиям нагрузки, трудность обеспечения больших нагрузочных токов.

9.3 Описание лабораторной установки

Электрическая принципиальная схема лабораторной установки для исследования однофазных схем выпрямления с различными сглаживающими фильтрами приведена на рисунке 9.8.

Напряжение сети 230 В, 50 Гц через тумблер SA1 СЕТЬ и плавкий предохранитель FU1 поступает на сетевой понижающий трансформатор Т1. Наличие напряжения на лабораторной установке контролируется индикатором НЛ.

Вторичная обмотка сетевого трансформатора Т1 состоит из двух полуобмоток со средней точкой, что позволяет исследовать различные схемы выпрямления: однополупериодную, двухполупериодную со средней точкой и двухполупериодную мостовую. Эффективное значение переменного напряжения, поступающего на схемы выпрямления, измеряется вольтметром PV1.

Схемы выпрямления переменного напряжения построены на основе двухполупериодного мостового выпрямителя, состоящего из диодов VD1...VD4. Переход от одной схемы выпрямления к другой осуществляется переключателем SA2 ВЫПРЯМИТЕЛЬ путем подключения вторичной обмотки сетевого трансформатора к различным участкам мостового выпрямителя.

Положения переключателя SA2 ВЫПРЯМИТЕЛЬ соответствуют следующим схемам выпрямления:

- 1 – однополупериодная схема выпрямления;
- 2с – двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой;
- 2м – двухполупериодная мостовая схема выпрямления.

Схемы выпрямления имеют один общий выход, к которому подсоединены входы семи сглаживающих фильтров: С, R, RC, L, LC, VT, VTC. В режиме «Lin» схемы выпрямления работают без сглаживающих фильтров.

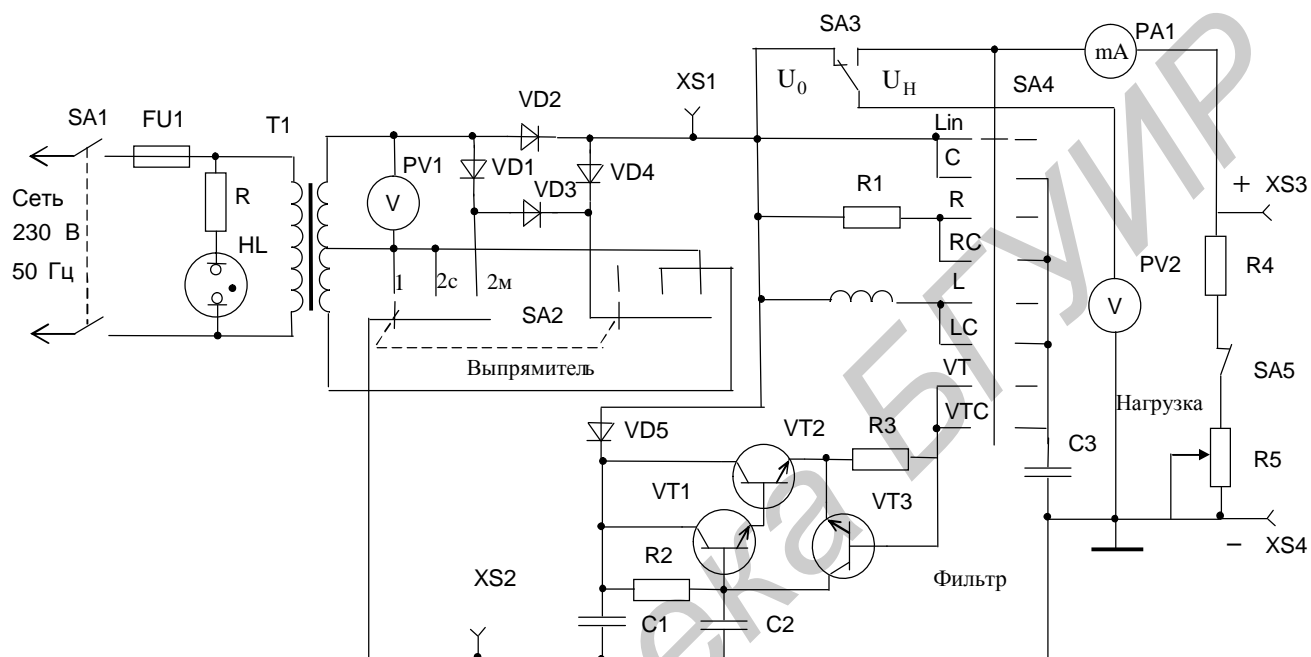


Рисунок 9.8 – Лабораторная установка. Схема электрическая принципиальная

Активный фильтр построен на транзисторах VT1, VT2. Элементы VD5, C1, R2 предназначены для задания рабочего режима транзисторов фильтра по постоянному току. Резистор R2 и конденсатор C2 образуют вспомогательный пассивный RC-фильтр. Резистор R3 и транзистор VT3 образуют быстродействующую электронную защиту активного фильтра от перегрузок по току.

Переключателем SA4 ФИЛЬТР выходы фильтров подсоединяются к нагрузке, состоящей из постоянного (R4) и переменного (R5) резисторов. Переменным резистором R5 НАГРУЗКА осуществляется установка тока нагрузки. Включение и отключение нагрузки производится тумблером SA5. Значение постоянного напряжения V_0 на выходе схем выпрямления и значение постоянного напряжения V_H на нагрузке измеряется вольтметром PV2 путем подключения его тумблером SA3. Значение тока нагрузки измеряется миллиамперметром постоянного тока PA1.

Контрольные гнезда XS1–XS2, XS3–XS4 предназначены для визуального контроля и измерения сигналов на выходе схем выпрямления и на нагрузке посредством осциллографа.

9.4 Задание на исследование

1 Исследовать нагрузочные характеристики однополупериодной, двухполупериодной со средней точкой и двухполупериодной мостовой схем выпрямления с различными сглаживающими фильтрами.

2 Построить графические зависимости выходного напряжения и коэффициента пульсаций от тока нагрузки для заданных схем выпрямления с различными сглаживающими фильтрами.

3 Определить коэффициенты сглаживания фильтров при различных схемах выпрямления.

4 Зарисовать осциллограммы переменного напряжения пульсаций на нагрузке для заданных схем выпрямления и различных сглаживающих фильтров, определить величину и частоту напряжения пульсаций.

9.5 Порядок выполнения работы

9.5.1 Подготовка к работе

Изучить описание лабораторной установки, ознакомиться на макете с органами её 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.

9.5.2 Исследование нагрузочной характеристики однополупериодной схемы выпрямления

Переключатель ВЫПРЯМИТЕЛЬ поставить в положение «1», переключатель ФИЛЬТР – в положение «Lin». Тумблером SA3 подключить вольтметр PV2 к нагрузке, тумблером SA5 включить нагрузку. Резистором НАГРУЗКА установить максимальное значение тока нагрузки по миллиамперметру PA1. К контрольным гнездам XS3–XS4 подсоединить входные щупы осциллографа.

Резистором НАГРУЗКА изменять величину тока нагрузки от максимального $I_{H \max}$ до нулевого значения с шагом $0,25I_{H \max}$, контролируя его миллиамперметром РА1. Нулевое значение тока достигается отключением нагрузки тумблером SA5.

При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину постоянного напряжения на нагрузке вольтметром PV2 и определить значения переменного напряжения пульсаций с помощью осциллографа.

Значение переменного напряжения пульсаций определяется как полуразмах изображения сигнала на экране осциллографа по формуле

$$U_{\text{НПР}} = k \frac{m}{2}, \quad (9.18)$$

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

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

Результаты измерений занести в таблицу 9.1.

Повторить операции и измерения по п. 9.5.2 при положениях переключателя ФИЛЬТР – С, R, RC, L, LC, VT, VTC соответственно и дополнить таблицу 9.1 результатами измерений для каждого из указанных положений переключателя.

9.5.3 Расчет коэффициента пульсаций

По данным таблицы 9.1 рассчитать коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке для различных фильтров по формуле

$$K_{\text{ПН}} = \frac{U_{\text{НПР}}}{U_{\text{H}}} \quad (9.19)$$

и построить графические зависимости

$$U_{\text{H}} = f(I_{\text{H}}), \quad K_{\text{ПН}} = f(I_{\text{H}}).$$

9.5.4 Расчет коэффициента сглаживания

На максимальном токе для каждого фильтра определить коэффициент сглаживания фильтра по формуле

$$q = \frac{U_{\text{ОПР}}}{U_0} \bigg/ \frac{U_{\text{НПР}}}{U_{\text{H}}}, \quad (9.20)$$

где U_0 , $U_{\text{ОПР}}$ – значения постоянного напряжения и переменного напряжения пульсаций на выходе схемы выпрямления соответственно.

Для измерения напряжений U_0 и $U_{0ПР}$ подключить вольтметр PV2 к выходу схемы выпрямления тумблером SA3. К контрольным гнездам XS1–XS2 подсоединить входные щупы осциллографа. Величина переменного напряжения пульсаций на выходе схемы выпрямления определяется как полуразмах изображения сигнала на экране осциллографа по формуле (9.1).

Результаты вычислений занести в соответствующие графы таблицы 9.1.

9.5.5 Снятие осциллограмм

При максимальном токе для каждого фильтра зарисовать осциллограмму переменного напряжения пульсаций на нагрузке. По осциллограмме на экране осциллографа определить величину и частоту напряжения пульсаций.

9.5.6 Исследование нагрузочной характеристики двухполупериодной схемы выпрямления со средней точкой

Переключатель ВЫПРЯМИТЕЛЬ поставить в положение «2с».

Повторить операции, описанные в пп. 9.5.2, 9.5.3. Результаты измерений занести в таблицу, аналогичную таблице 9.1, и повторить операции и вычисления пп. 9.5.3 – 9.5.5.

9.5.7 Исследование нагрузочной характеристики двухполупериодной мостовой схемы выпрямления

Переключатель ВЫПРЯМИТЕЛЬ поставить в положение «2м».

Провести операции и измерения по пп. 9.5.2, 9.5.3. Результаты измерений занести в таблицу, аналогичную таблице 9.1 и повторить операции и вычисления пп. 9.5.3 – 9.5.5.

9.5.8 Завершение работы

Резистором НАГРУЗКА установить минимальное значение тока нагрузки.

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 отключить осциллограф.

Таблица 9.1 – Нагрузочная характеристика однополупериодной схемы выпрямления

Фильтр	Показатель	Результаты измерений				Коэффициент сглаживания, ρ
Lin	I_H , мА					
	U_H , В					
	$U_{H.пр}$, В					
	$K_{пн}$					

9.6 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей $U_H = f(I_H)$, $K_{пн} = f(I_H)$ для всех исследованных схем выпрямителей при чисто активной нагрузке и применении различных сглаживающих фильтров.
- 5 Зарисованные осциллограммы пульсаций выходного напряжения выпрямителей.
- 6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

9.7 Контрольные вопросы

- 1 Схемы, принцип работы и сравнительная характеристика однополупериодного, двухполупериодного со средней точкой и мостового выпрямителей, работающих от однофазной сети переменного тока.
- 2 Особенности работы выпрямителей на активную, емкостную и индуктивную нагрузки.
- 3 Нагрузочная характеристика выпрямителя. Определение по нагрузочной характеристике его внутреннего сопротивления и величины ЭДС постоянного тока в схеме замещения выпрямителя.
- 4 Определение и смысл коэффициента пульсаций и коэффициента сглаживания для устройств электропитания.
- 5 Классификация сглаживающих фильтров, требования к ним.
- 6 Простые индуктивные фильтры, их достоинства, недостатки и область применения.
- 7 Простые емкостные фильтры, их достоинства, недостатки и область применения.
- 8 Принцип построения и общая характеристика LC- и RC-фильтров.
- 9 Активные сглаживающие фильтры, их принципиальные схемы, достоинства, недостатки, область применения.

Лабораторная работа №10
ОДНОФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ С УМНОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

10.1 Цель работы

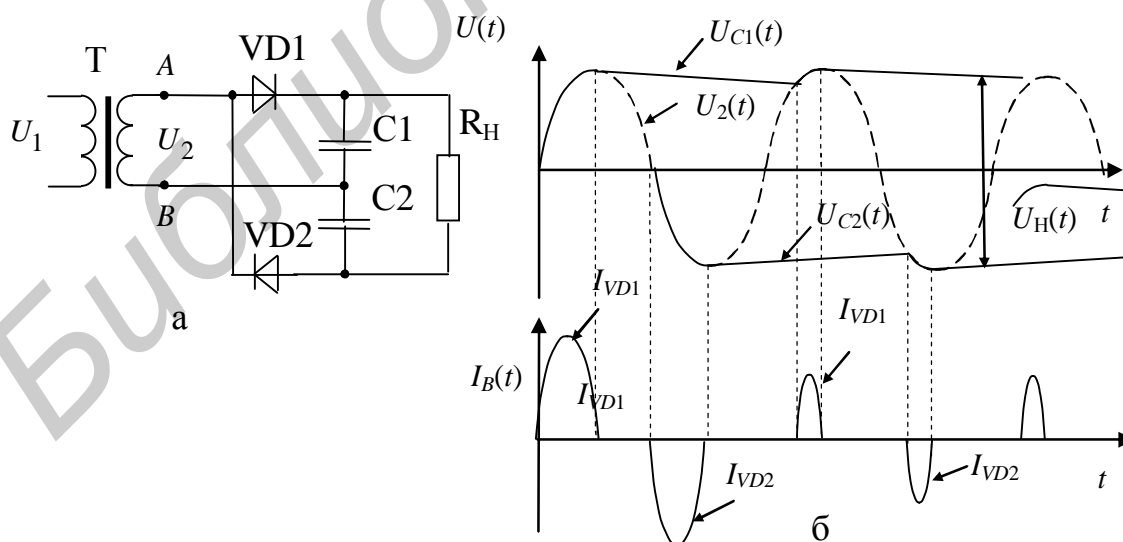
Изучение принципов работы однофазных выпрямительных схем с умножением напряжения и экспериментальное исследование основных характеристик выпрямительных устройств с удвоением и утроением напряжения.

10.2 Краткие теоретические сведения

Выпрямительные схемы с умножением напряжения применяются для питания высоковольтных маломощных потребителей постоянного напряжения, таких как электронно-лучевые трубки и фотоэлектронные умножители.

Однофазные схемы умножения бывают однополупериодными и двухполупериодными.

Принцип работы мостовой выпрямительной схемы с удвоением напряжения (схемы Латура) заключается в следующем (рисунок 10.1, а). В два плеча выпрямительного моста включены вентили VD1 и VD2, а в два других плеча – конденсаторы C1 и C2. При положительном потенциале точки А по отношению к точке В открыт вентиль VD1 и конденсатор C1 заряжается. Ток в этот полупериод переменного напряжения протекает через вторичную обмотку трансформатора, диод VD1 и конденсатор C1.



а – принципиальная схема; б – временные диаграммы работы

Рисунок 10.1 – Двухполупериодное устройство удвоения напряжения (схема Латура)

В следующий полупериод при противоположном направлении переменной ЭДС (при положительном потенциале точки В по отношению к точке А) заряжается конденсатор С2. Ток заряда конденсатора С2 протекает через вторичную обмотку, конденсатор С2, диод VD2. Конденсаторы С1 и С2 по отношению к сопротивлению нагрузки R_H соединены последовательно. Поэтому напряжение на нагрузке $U_0(t)$ в каждый момент времени t равно сумме напряжений $U_{C1}(t)$ и $U_{C2}(t)$ на этих конденсаторах.

Разряд конденсаторов происходит в основном через сопротивление нагрузки. Небольшая часть тока разряда протекает по цепям утечки и через обратные сопротивления вентиляй. Так как напряжение на конденсаторах $U_{C1}(t)$ и $U_{C2}(t)$ сдвинуты по фазе на половину периода, то суммарное напряжение $U_0(t)$ изменяется с удвоенной частотой, т.е. в этой схеме частота f_{Π} первой гармоники выпрямленного напряжения равна удвоенной частоте f_C сети ($f_{\Pi} = 2f_C$). Флуктуации напряжения на выходе выпрямителя характеризуются коэффициентом пульсаций

$$K_{\Pi} = U_{\approx} / U_0 ,$$

где U_{\approx} – некоторая мера переменной составляющей выпрямленного напряжения;

U_0 – постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

В качестве меры переменной составляющей напряжения на выходе выпрямителя могут служить действующее значение пульсаций, амплитуда первой наиболее интенсивной гармоники пульсаций, напряжение полуразмаха пульсаций, т.е. половина разности между максимумом и минимумом пульсаций.

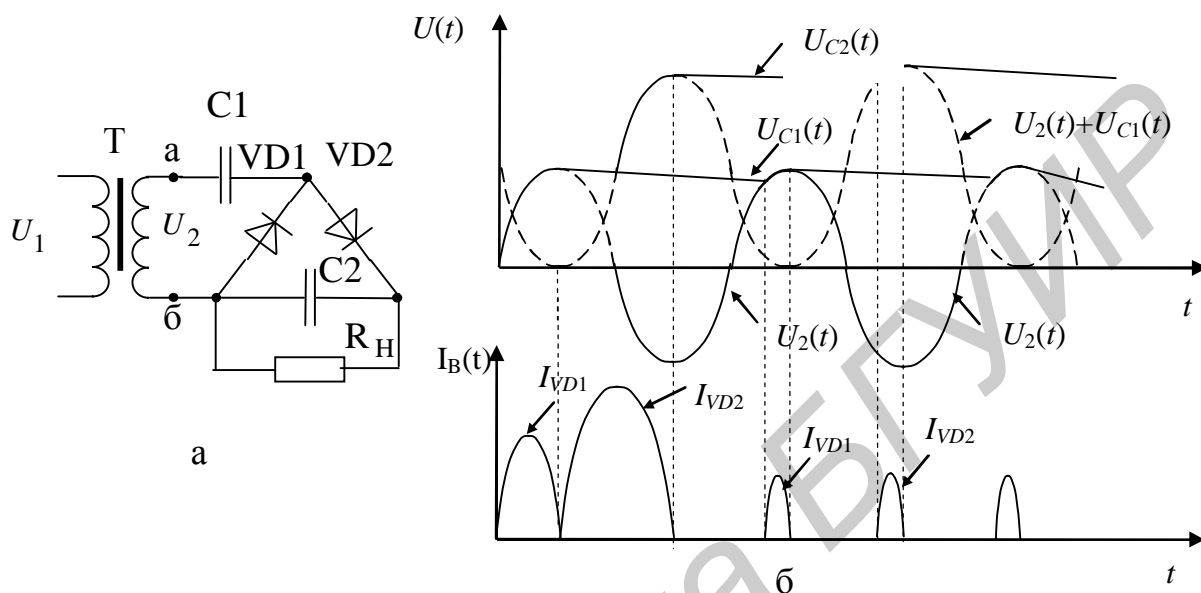
При оценке коэффициента пульсаций в данной работе в качестве U_{\approx} используется напряжение полуразмаха пульсаций $U_{\Pi P}$.

Величина коэффициента пульсаций при постоянной нагрузке обратно пропорциональна величине емкости конденсаторов. Конденсаторы С1 и С2 должны иметь достаточно большую емкость, чтобы в интервалах между их подзарядками напряжение на выходе выпрямителя уменьшилось незначительно.

Однополупериодная схема удвоения напряжения (рисунок 10.2, а) работает следующим образом. В первый полупериод напряжения $U_2(t)$ потенциал в точке В превышает потенциал в точке А, клапан VD1 открыт и конденсатор С1 заряжается так же, как в схемах с емкостной реакцией нагрузки, т.е. с отсечкой тока вентиля. В следующий полупериод, когда полярность напряжения изменяется на противоположную, напряжения $U_2(t)$ и $U_{C1}(t)$ суммируются и на сопротивлении нагрузки возникает пульсирующее напряжение (рисунок 10.2, б). Описание процесса упрощено тем, что зарядка и разрядка конденсаторов

рассматриваются отдельно. На самом деле в некоторой части периода наряду с зарядным током через вентиль VD1 протекает также ток нагрузки.

Для упрощения рассуждений, как и ранее, допускается, что ток нагрузки намного меньше зарядного тока. Описанный процесс повторяется каждый период.

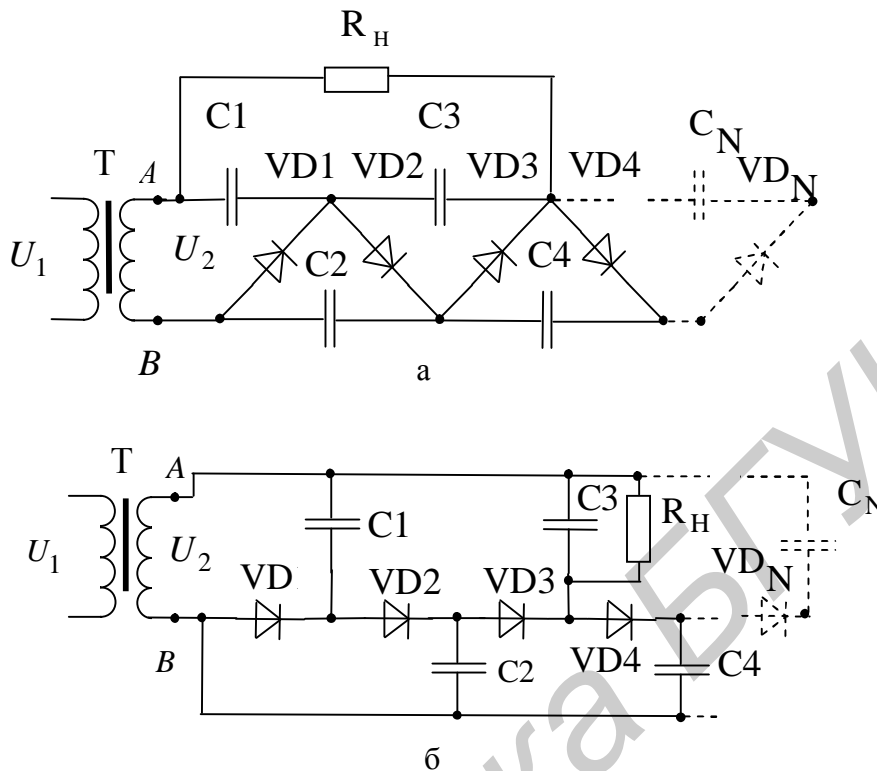


а – принципиальная схема; б – временные диаграммы работы
Рисунок 10.2 – Однополупериодное устройство удвоения напряжения

Однофазные схемы выпрямителя с многократным умножением напряжения приведены на рисунке 10.3.

В схеме первого типа (рисунок 10.3, а) в первый полупериод конденсатор C1 заряжается через вентиль VD1 до напряжения $U_{C1} \approx U_{2m}$, где U_{2m} – амплитуда сигнала на вторичной обмотке трансформатора U_2 . В следующий полупериод конденсатор C2 заряжается суммарным напряжением $U_{2m} + U_{C1}$ и напряжение на нем достигает значения $U_{C2} \approx U_{2m} + U_{C1} \approx 2U_{2m}$. В третий полупериод происходит повторная зарядка конденсатора C1 через вентиль VD1, а конденсатор C2 разряжается через вентиль VD3 на конденсатор C3, заряжая его до напряжения $U_{C3} \approx U_{C2} \approx 2U_{2m}$. В последующий полупериод конденсатор C2 заряжается через вентиль VD2, а конденсатор C2 через вентиль VD4 заряжает конденсатор C4 до напряжения $U_{C4} \approx U_{C3} \approx 2U_{2m}$. Далее процесс повторяется. В установившемся режиме напряжение на конденсаторе C1 равно $U_{C1} \approx U_{2m}$, а на конденсаторах C2, C3...CN равно $U_C \approx 2U_{2m}$. Выходное напряжение зависит от места подключения нагрузки. В схеме первого типа (рисунок 10.3, а) напря-

жение на нагрузке будет равно $U_H \approx U_{C1} + U_{C3} \approx 3U_{2m}$. Для умножения напряжения в четыре раза нагрузку следует подключить к последовательно включенным конденсаторам C2 и C4.



а – схема первого типа; б – схема второго типа

Рисунок 10.3 – Схемы выпрямителей с многократным умножением напряжения

В схеме второго типа (рисунок 10.3, б) процессы зарядки конденсаторов происходят аналогично описанным выше.

В первый полупериод заряжается конденсатор C1 через вентиль VD1, во второй – конденсатор C2 суммарным напряжением $U_{2m} + U_{C1}$, в третий – конденсатор C1 через вентиль VD1 и конденсатор C3 через вентиль VD3 суммарным напряжением $U_{2m} + U_{C2}$ и т.д.

В данной схеме напряжение на каждом последующем конденсаторе на U_{2m} больше, чем на предыдущем, поэтому каждый последующий конденсатор должен быть рассчитан на более высокое рабочее напряжение, что является недостатком схемы.

Нагрузка подключается параллельно конденсатору и напряжение на ней равно $U_H \approx nU_{2m}$, где n – порядковый номер конденсатора.

В общем случае для умножения в K раз требуется K вентиля и конденсаторов. При этом напряжение на нагрузке достигает номинального значения

спустя K периодов выпрямленного тока. В установившемся режиме в течение одного полупериода заряжаются конденсаторы с нечетными номерами, а в течение другого – с четными номерами. Пульсация выпрямленного напряжения происходит с частотой $f_H = f_C$, а величина пульсаций определяется емкостью конденсаторов и сопротивлением нагрузки R_H .

10.3 Описание лабораторной установки

Электрическая принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 10.3.

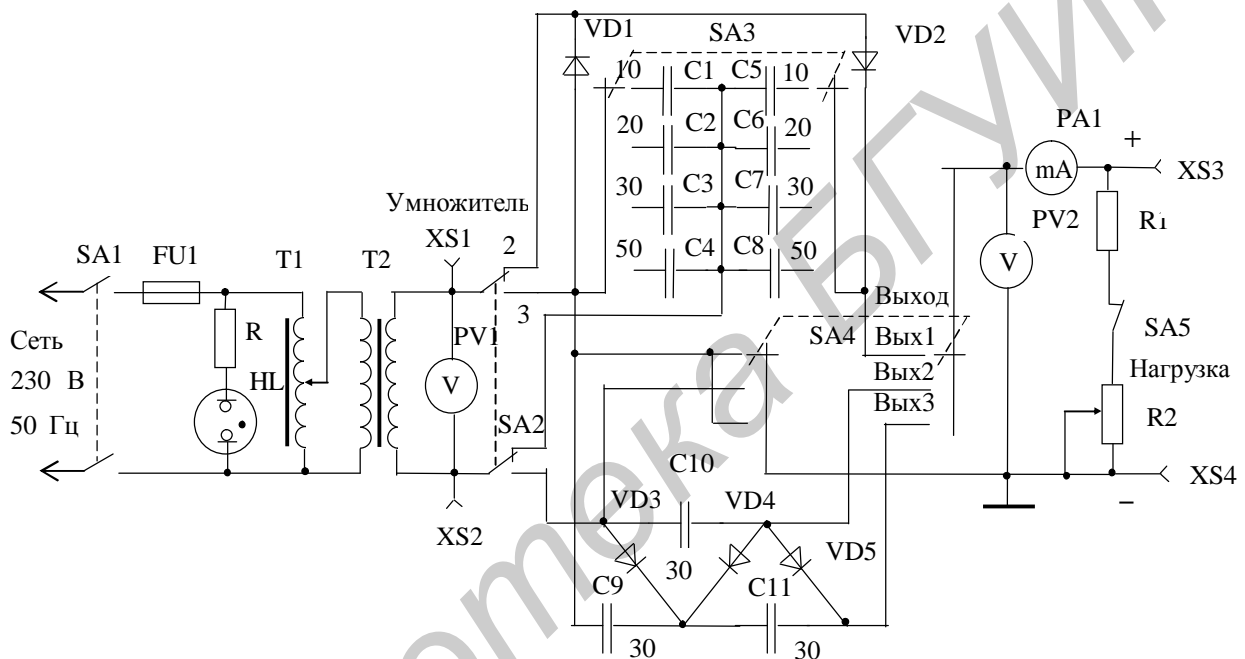


Рисунок 10.4 – Лабораторная установка для исследования выпрямителей с умножением напряжения.
Схема электрическая принципиальная

Напряжение сети 230 В, 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 HL.

Устройства умножения подключаются к вторичной обмотке сетевого трансформатора T2 с помощью переключателя SA2 УМНОЖИТЕЛЬ. Среднеквадратическое (эффективное) значение переменного напряжения на входах устройств умножения измеряется вольтметром PV1.

Устройство удвоения напряжения построено на основе двухполупериод-

ной мостовой схемы выпрямления (схемы Латура) и состоит из диодов VD1, VD2 и конденсаторов C1...C8 различной емкости. Переключателем SA3 ЕМКОСТЬ в плечи моста попарно включаются конденсаторы одинаковой емкости, образуя четыре однотипные схемы с различными электрическими параметрами. Устройство удвоения напряжения имеет один выход «Вых. 1».

Устройство утроения напряжения построено на основе однополупериодной последовательной схемы выпрямления и состоит из диодов VD3...VD5 и конденсаторов C9...C11. Это устройство имеет два выхода «Вых. 2» и «Вых. 3» с коэффициентом умножения 2 и 3 соответственно.

Выходы устройств умножения переключателем SA4 ВЫХОД подсоединяются к нагрузке, состоящей из постоянного R1 и переменного R2 резисторов. Переменным резистором R2 НАГРУЗКА осуществляется установка тока нагрузки. Включение и отключение нагрузки производится тумблером SA5.

Значение выходного напряжения устройств умножения измеряется вольтметром постоянного тока PV2, а значение тока нагрузки – миллиамперметром постоянного тока PA1.

Контрольные гнезда XS1–XS2, XS3–XS4 предназначены для визуального контроля и измерения сигналов на входе и выходе устройств умножения напряжения посредством осциллографа.

10.4 Задание на исследование

1 Исследовать передаточную характеристику устройства удвоения напряжения (схема Латура) при различных значениях емкостей конденсаторов в двух режимах работы: холостой ход и нагрузка.

2 Исследовать нагрузочную характеристику устройства удвоения напряжения (схема Латура) при различных значениях емкостей конденсаторов.

3 Исследовать передаточную характеристику устройства утроения напряжения на различных выходах в двух режимах работы: холостой ход и нагрузка.

4 Исследовать нагрузочную характеристику устройства утроения напряжения на двух выходах.

5 Построить графические зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ устройств умножения напряжения.

6 Построить графические зависимости выходного напряжения и коэффициента пульсаций устройств умножения от тока нагрузки.

7 Определить выходное сопротивление устройств умножения напряжения.

8 Для устройства удвоения напряжения построить графические зависимости выходного сопротивления и коэффициента пульсаций от величины емкости конденсаторов.

9 Зарисовать осциллограммы напряжения пульсаций устройств умножения и определить величину и частоту напряжения пульсаций.

10.5 Порядок выполнения работы

10.5.1 Подготовка к работе

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

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

Доложить преподавателю о готовности к выполнению работы.

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

Включить осциллограф.

10.5.2 Исследование передаточной характеристики устройства удвоения напряжения (схема Латура)

Тумблер УМНОЖИТЕЛЬ поставить в положение 2, переключатель ЕМКОСТЬ – в положение 10, переключатель ВЫХОД – в положение «Вых.1». Резистором НАГРУЗКА установить максимальное значение тока нагрузки.

Регулятором ЛАТРа изменять входное напряжение в диапазоне 0...35 В с шагом 5 В, контролируя его вольтметром PV1. При каждом фиксированном значении входного напряжения измерить выходное напряжение устройства умножения вольтметром PV2. Измерения проводить в двух режимах работы умножителя: холостой ход и нагрузка, переключая соответственно тумблер SA5.

Результаты измерений занести в таблицу 10.1.

Повторить указанные выше операции и измерения при положениях переключателя ЕМКОСТЬ – 20, 30, 50.

Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 10.1.

Таблица 10.1 – Передаточная характеристика устройства удвоения напряжения

Емкость, мкФ	Показатель	$U_{вх}, В$			
		5	15	25	35
10	$U_{xx}, В$				
	$U_H, В$				
20	$U_{xx}, В$				
	$U_H, В$				
30	$U_{xx}, В$				
	$U_H, В$				
50	$U_{xx}, В$				
	$U_H, В$				

10.5.3 Исследование нагрузочной характеристики устройства удвоения напряжения (схема Латура)

Положение тумблера УМНОЖИТЕЛЬ, переключателей ЕМКОСТЬ и ВЫХОД по п. 10.5.2.

Регулятором ЛАТРа установить максимальное значение входного напряжения по вольтметру PV1. Тумблером SA5 включить нагрузку, резистором НАГРУЗКА установить максимальное значение тока нагрузки I_{Hmax} . К контрольным гнездам XS3–XS4 подсоединить входные щупы осциллографа.

Резистором НАГРУЗКА изменять величину тока нагрузки от максимального значения до нулевого с шагом $0,25I_{Hmax}$, контролируя ее миллиамперметром PA1. Нулевое значение тока достигается при отключении нагрузки тумблером SA5.

При каждом фиксированном значении тока нагрузки измерить величину постоянного напряжения на нагрузке вольтметром PV2 и определить значение переменного напряжения пульсаций с помощью осциллографа.

Значение переменного напряжения пульсаций определяется как полуразмах изображения сигнала на экране осциллографа по формуле

$$U_{НПР} = k \frac{m}{2}, \quad (10.1)$$

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

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

Результаты измерений занести в таблицу 10.2.

Повторить операции и измерения при положениях переключателя ЕМКОСТЬ – 20, 30, 50.

Результаты измерений занести в соответствующие графы таблицы 10.2.

Таблица 10.2 – Нагрузочная характеристика устройства удвоения напряжения

Емкость, мкФ	Результаты измерений				$R_{\text{ВЫХ.}}$ Ом
	Показатель	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3	
10	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{пр}}$, В				
	$K_{\text{п}}$				
20	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{пр}}$, В				
	$K_{\text{п}}$				
30	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{пр}}$, В				
	$K_{\text{п}}$				
50	$I_{\text{Н}}$, мА				
	$U_{\text{Н}}$, В				
	$U_{\text{пр}}$, В				
	$K_{\text{п}}$				

10.5.4 Исследование передаточной характеристики устройства удвоения напряжения

Тумблер УМНОЖИТЕЛЬ поставить в положение 3, переключатель ВЫХОД – в положение «Вых. 2», резистор НАГРУЗКА – на максимальное значение тока нагрузки.

Провести измерения по методике, описанной в п. 10.5.2.

Результаты измерений занести в графу «Вых. 2» таблицы 10.3.

Установить переключатель ВЫХОД в положение «Вых. 3».

Повторить предыдущие измерения.

Результаты измерений занести в графу «Вых. 3» таблицы 10.3.

По данным таблиц 10.1, 10.3 построить графические зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$.

10.5.5 Исследование нагрузочной характеристики устройства

устроения напряжения

Тумблер УМНОЖИТЕЛЬ поставить в положение 3, переключатель ВЫХОД – в положение «Вых. 2», резистор НАГРУЗКА – на максимальное значение тока нагрузки.

Провести измерения по методике, описанной в п. 10.5.2.

Результаты измерений занести в графу «Вых. 2» таблицы 10.4.

Установить переключатель ВЫХОД в положение «Вых. 3».

Повторить предыдущие измерения. Результаты измерений занести в графу «Вых. 3» таблицы 10.4.

Таблица 10.3 – Передаточная характеристика устройства устроения напряжения

Емкость, мкФ		Показатель	$U_{ВХ}, В$			
			5	15	25	35
30	Вых. 2	$U_{ХХ}, В$				
		$U_{Н}, В$				
	Вых. 3	$U_{ХХ}, В$				
		$U_{Н}, В$				

Таблица 10.4 – Нагрузочная характеристика устройства устроения напряжения

Емкость, мкФ		Показатель	Результаты измерений				$R_{ВЫХ.}, Ом$
			Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3	Измерение 4	
30	Вых. 2	$I_{Н}, МА$					
		$U_{Н}, В$					
		$U_{пр}, В$					
		$K_{п}$					
	Вых. 3	$I_{Н}, МА$					
		$U_{Н}, В$					
		$U_{пр}, В$					
		$K_{п}$					

10.5.6 Определение параметров устройств напряжения

По данным таблиц 10.2, 10.4 рассчитать коэффициент пульсаций устройств умножения напряжения по формуле

$$K_{\text{пн}} = \frac{U_{\text{нпр}}}{U_{\text{н}}} \quad (10.2)$$

и построить графические зависимости

$$U_{\text{н}} = f(I_{\text{н}}), \quad K_{\text{пн}} = f(I_{\text{н}}).$$

Сравнительные графики зависимости коэффициента пульсаций от тока нагрузки устройств умножения построить для емкости 30 мкФ.

По нагрузочным характеристикам на линейном участке рассчитать внутреннее выходное сопротивление устройств умножения напряжения, используя формулу

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{н}}}, \quad (10.3)$$

где $\Delta U_{\text{н}}$, $\Delta I_{\text{н}}$ – разности между соседними измеренными значениями напряжения на нагрузке и тока нагрузки соответственно.

Расчетные значения выходного сопротивления устройств умножения напряжения занести в соответствующие графы таблиц 10.2 и 10.4.

По данным таблицы 10.2 на максимальном токе нагрузки для устройства удвоения напряжения построить графические зависимости

$$R_{\text{вых}} = f(C); \quad K_{\text{пн}} = f(C).$$

Зарисовать осциллограммы напряжения пульсаций устройств умножения для емкости 30 мкФ при максимальном входном напряжении и максимальном токе нагрузки. По осциллограммам на экране осциллографа определить величину и частоту напряжения пульсаций.

10.5.7 Завершение работы

Резистором 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 отключить осциллограф.

10.6 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема лабораторной установки.
- 3 Таблицы с результатами измерений и расчетов.
- 4 Графики зависимостей $U_H = f(I_H)$, $K_{\text{пн}} = f(I_H)$, $R_{\text{вых}} = f(C)$, $K_{\text{пн}} = f(C)$ для всех исследованных схем выпрямителей с умножением напряжения.
- 5 Зарисованные осциллограммы пульсаций выходного напряжения выпрямителей.
- 6 Краткая характеристика результатов работы и выводы по ней.

10.7 Контрольные вопросы

- 1 Принцип работы выпрямительной схемы с удвоением напряжения (схемы Латура).
- 2 Соотношение между U_2 и обратным напряжением на вентиле в схеме Латура.
- 3 Применение выпрямительных схем с умножением напряжения.
- 4 Принцип работы каскадной выпрямительной схемы с утроением напряжения.
- 5 Соотношение между U_2 и обратными напряжениями на вентилях в схеме с утроением напряжения.
- 6 Зависимость величины выходного напряжения в выпрямительных устройствах с умножением напряжения от емкости конденсаторов.
- 7 Соотношение между частотой питающей сети и частотой пульсаций в выпрямительных схемах с умножением напряжения.

Литература

- 1 Березин, О. К. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / О. К. Березин, В. Г. Костиков, В. А. Шахнов. – М. : Три Л., 2000.
- 2 Иванов-Цыганов, А. И. Электропреобразовательные устройства РЭС / А. И. Иванов-Цыганов. – М. : Высш. шк., 1999.
- 3 Китаев, В. Е. Расчет источников электропитания устройств связи / В. Е. Китаев, А. А. Бокуняев, М. Ф. Калканов. – М.: Радио и связь, 1983.

Содержание

Лабораторная работа №9. Однофазные выпрямители с различными сглаживающими фильтрами	3
9.1 Цель работы	3
9.2 Краткие теоретические сведения	3
9.3 Описание лабораторной установки	13
9.4 Задание на исследование	15
9.5 Порядок выполнения работы	15
9.6 Содержание отчета	18
9.7 Контрольные вопросы	18
Лабораторная работа №10. Однофазные выпрямители с умножением напряжения	19
10.1 Цель работы	19
10.2 Краткие теоретические сведения	19
10.3 Описание лабораторной установки	23
10.4 Задание на исследование	24
10.5 Порядок выполнения работы	25
10.6 Содержание отчета	30
10.7 Контрольные вопросы	30
Литература	30

Учебное издание

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
И ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ №9, 10**

Практикум для студентов специальностей
1-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»,
1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»
всех форм обучения

Авторы-составители:

Климович Владимир Викторович
Машара Георгий Георгиевич
Шатило Николай Иванович
Рошупкин Яков Викторович

Редактор Г. С. Корбут
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 01.07.2009.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,9.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,98.
Заказ 7.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6