

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине

«ЭЛЕКТРОНИКА»

«Расчет однофазного стабилизированного источника питания»

для студентов специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»
специализации «Электроснабжение железных дорог»

Составитель: Лабунский Л.С.

Самара
2020 г.

Методические указания по выполнению расчётно-графической работы «Расчёт однофазного стабилизированного источника питания» по дисциплине «Электроника» для студентов специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» специализации «Электроснабжение железных дорог». - Самара : СамГУПС, 2020. - 23 с.

Утверждены на заседании кафедры _____, протокол №_____.

Печатается по решению редакционно-издательского совета университета.

Приведены задания и методические указания по выполнению расчётно-графической работы для студентов по рассматриваемой дисциплине.

В содержание работы входят расчеты стабилизаторов, выпрямителей с ёмкостным сглаживающим фильтром и упрощенный расчёт маломощного силового трансформатора. Расчёт выпрямителей выполняется на ЭВМ.

В методических указаниях содержатся основные сведения о принципиальных схемах источников питания и способах их расчёта. Даны рекомендации по выбору элементов схем. Приведены справочные данные электронных компонентов и их условные графические изображения.

Составитель: Лабунский Леонид Сергеевич

Рецензенты: к.т.н., доцент Гаранин Максим Алексеевич,
СамГУПС

Ст. редактор: Шими́на И.А.

Подписано в печать _____ 2020 г. Формат 60x84 1/16
Бумага писчая. Усл. п.л. 2. Электронное издание. Заказ №

© Самарский государственный университет путей сообщения, 2020

ВВЕДЕНИЕ

На железнодорожном транспорте широкое применение находят аналоговые и импульсные устройства электронной техники. Они предназначены для организации оперативно-технической проводной и радиосвязи, для построения систем контроля и управления движением поездов и электроснабжением нетяговых потребителей. Питание таких устройств осуществляется от сети переменного тока - однофазной 220 В или трёхфазной 380 В через источники питания, служащие для преобразования величины, выпрямления и стабилизации напряжения. Источники питания строятся по различным схемам, от которых в первую очередь, требуется обеспечение стабильного выходного напряжения с низким уровнем пульсаций. Кроме этого, они должны быть надёжными и обеспечивать приемлемый коэффициент полезного действия.

В настоящее время схемотехника источников питания постоянно усложняется. Разработаны импульсные источники с выпрямителем на входе и преобразовательным трансформатором, работающим на ультразвуковой частоте. Однако классические схемы источников питания с трансформатором на частоту 50 Гц все еще успешно применяются для нужд автоматики и телемеханики (СЦБ) и в системах управления электроснабжением.

Цель расчётно-графической работы - обобщение и углубление теоретических знаний студентов в области расчёта и анализа работы электронных схем, развитие самостоятельных навыков по выбору электронных компонентов, расчёту характеристик и энергетических показателей источников питания.

Объектом исследования в расчётно-графической работе является однофазный трёхканальный (на три выходных напряжения) источник питания, подключаемый к однофазной сети переменного тока 220 В, содержащий трансформатор с одной первичной и тремя вторичными обмотками, три выпрямителя на полупроводниковых диодах с ёмкостными сглаживающими фильтрами и два стабилизатора выходного напряжения (в первом и втором каналах).

Выполнение расчётно-графической работы предусматривает решение студентом следующих задач:

- * закрепление знаний о свойствах и параметрах полупроводниковых приборов - диодов, транзисторов, стабилитронов, интегральных микросхем;
- * выяснение того, как отдельные простые схемы при определенном соединении образуют более сложное устройство, в котором каждая схема вносит свой вклад в реализацию функций всего устройства;
- * приобретение навыков работы с прикладными компьютерными программами и со справочной литературой.

Задание на расчётно-графическую работу

Исходные данные для расчёта одноканального источника питания представлены в таблице 1. Вариант определяется по предпоследней и последней цифре номера студенческого билета.

По данным варианта необходимо:

Выбрать схему стабилизатора для одного канала источника питания.

Зарисовать расчетную схему источника питания, содержащего выпрямитель со стабилизатором.

Выбрать типовую микросхему серии 142 и рассчитать входное напряжение, входной ток и уровень пульсаций напряжения на входе $U_{вх1}$, $I_{вх1}$, $K'_{п1}$ стабилизатора.

5. Выбрать тип сердечника трансформатора и рассчитать с помощью ЭВМ выпрямитель.

6. По результатам расчетов выпрямителя выбрать тип диодов для выпрямителя и стандартные значения емкостей электролитических конденсаторов сглаживающего фильтра. Выбрать тип и рабочее напряжение электролитических конденсаторов.

7. По результатам расчёта на ЭВМ построить внешние характеристики выпрямителей и временную диаграмму работы ($U_{вх1}$).

Таблица 1

Исходные данные

по последней цифре шифра										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_{d1} , В	5	6	9	-12	-15	20	24	27	12	15
I_{d1} , А	2,5	2	1,3	1,1	0,8	1	0,6	0,5	1,2	1
по предпоследней цифре шифра										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{п1}$, % (U_{d1})	0,25	0,2	0,3	0,4	0,35	0,8	0,7	0,6	0,45	0,5

Оформление расчётно-графической работы

Расчётно-графическая работа состоит из расчётной и графической частей. Расчётная часть оформляется на одной стороне листа формата А4 в редакторе WORD. Графическая часть оформляется на миллиметровой бумаге формата А4 и включает в себя расчетную схему источника питания, временные диаграммы работы, графики внешних характеристик выпрямителей. Принципиальная электрическая схема источника питания со спецификацией элементов выполняется на листе миллиметровой бумаги формата А3. Допускается выполнение схем в любом графическом редакторе.

Все разделы пояснительной записки должны иметь название и нумероваться арабскими цифрами (1, 2, 3 и т.д.). Подразделы также должны иметь название и нумероваться в пределах каждого раздела двумя цифрами (1.1; 1.2... 3.1; 3.2).

Схемы, графики, таблицы должны иметь сквозную нумерацию и располагаться сразу после ссылки на них в тексте работы или на следующей отдельной странице и иметь название.

Отмеченные при проверке преподавателем ошибки должны быть исправлены аккуратно на обратной стороне предыдущего листа.

Структура расчетно-пояснительной записки

Титульный лист.

Задание.

Содержание.

Введение.

1. Описание работы источника питания.

2. Выбор элементов схемы и расчёт стабилизатора напряжения. Расчёт стабилизатора, выбор микросхемы.
 3. Расчёт выпрямителя с емкостным фильтром. Построение внешней характеристики и временная диаграмма работы.
 4. Выбор диодов и электролитических конденсаторов выпрямителей.
 5. Расчёт параметров трансформатора.
 6. Определение коэффициента полезного действия.
- Список использованной литературы.

1. РАБОТА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Источник питания радиоэлектронной аппаратуры содержит трансформатор с вторичной обмоткой. К вторичной обмотке подключен выпрямитель и сглаживающий фильтр. Для поддержания неизменного напряжения в нагрузке в источник питания может устанавливаться стабилизатор. Структурная схема источника питания представлена на рис. 1.

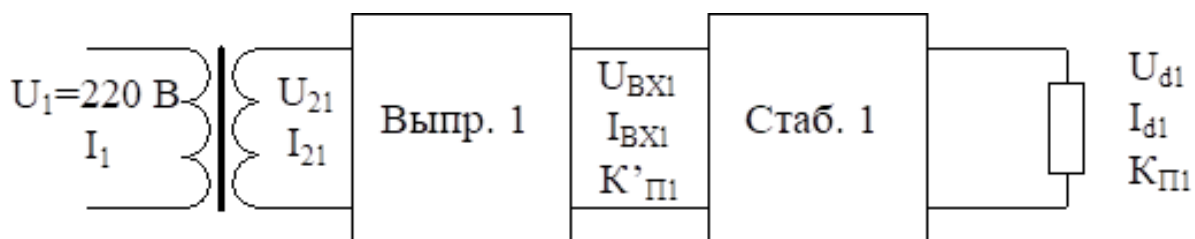


Рис. 1. Структурная схема источника питания

Основными величинами, характеризующими эксплуатационные свойства источников питания, являются:

- величина выходного напряжения U_d и тока I_d ;
- коэффициент пульсаций K_n - отношение амплитуды пульсаций выходного напряжения к среднему значению напряжения (постоянной составляющей).
- внешняя характеристика - зависимость напряжения в нагрузке от тока нагрузки $U_d = f(I_d)$;
- коэффициент полезного действия η .

Расчёт схемы источника питания производится «от нагрузки», то есть сначала рассчитывают стабилизатор, затем выпрямитель и трансформатор.

2. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ И РАСЧЕТ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Стабилизаторами напряжения называются устройства, автоматически поддерживающие постоянство напряжения на стороне потребителя с заданной степенью точности. По принципу действия стабилизаторы подразделяются на параметрические и компенсационные.

Для стабилизации напряжения постоянного тока используются нелинейные элементы, напряжение на которых мало зависит от тока, протекающего через них. В качестве таких элементов применяются кремниевые стабилитроны. Для подбора необходимого напряжения стабилитроны можно включать последовательно. Если ток нагрузки превышает максимально допустимый ток

стабилитрона, применяется усилитель тока на одном или нескольких транзисторах.

Расчет стабилизатора, выбор микросхемы

В настоящее время широкое распространение получили микросхемы - интегральные стабилизаторы напряжения. Источники питания на их основе отличаются малым числом дополнительных деталей, невысокой стоимостью и хорошими техническими характеристиками. Это микросхемы серий 142, К142 и КР142 и аналогичные зарубежные 78xx. В состав серий входят стабилизаторы с регулирующим элементом, включенным в плюсовой провод и с фиксированным выходным напряжением. Параметры некоторых из них приведены в таблице 2, более подробные сведения можно найти в [9, 10].

Таблица 2

Основные электрические параметры микросхем - стабилизаторов серии 142

Микросхема	Имп. аналог	$U_{вх}, В$ (min...max)	$U_{вых}, В$	$I_{вых\ max}, А$	$K_{сгл1}$
КР142ЕН5А		7,5...15	5	3	100
КР142ЕН5Б		8,5...15	6	3	100
КР142ЕН5В	78S05	7,5...15	5	2	100
КР142ЕН5Г	78S06	8,5...15	6	2	100
КР142ЕН8А	78S09	11,5...35	9	1,5	32
КР142ЕН8Б	78S12	14,5...35	12	1,5	32
КР142ЕН8В	78S15	17,5...35	15	1,5	32
КР142ЕН8Г	7809	11,5...35	9	1	32
КР142ЕН8Д	7812	14,5...35	12	1	32
КР142ЕН8Е	7815	17,5...35	15	1	32
К142ЕН9А		23...45	20	1,5	32
К142ЕН9Б	78S24	27...45	24	1,5	32
К142ЕН9В		30...45	27	1,5	32

Для стабилизации напряжения отрицательной полярности применяются микросхемы серий 79Lxx (ток до 0,1 А), 79xx (ток до 1 А) и 79xxКС (ток до 1,5 А). Параметры некоторых из них приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные электрические параметры микросхем – стабилизаторов серий 79xx и 79xxКС (для отрицательной полярности)

Микросхема	$U_{вх}, В$ (min...max)	$U_{вых}, В$	$I_{вых\ max}, А$	$K_{сгл1}$
7905	7,5...15	5	1	50
7912	14,5...35	12	1	32
7915	17,5...35	15	1	32
7918	21,5...40	18	1	30
7924	27,5...40	24	1	30
7912КС	14,5...35	12	1,5	32
7915КС	17,5...35	15	1,5	32

Расчетная схема стабилизатора на микросхеме, который рекомендуется применить в первом канале проектируемого источника питания, представлена на рис. 2, а, б.

Исходными данными для расчета являются: напряжение на выходе стабилизатора U_{d1} , ток нагрузки I_{d1} , коэффициент пульсаций напряжения $K_{п1}$.

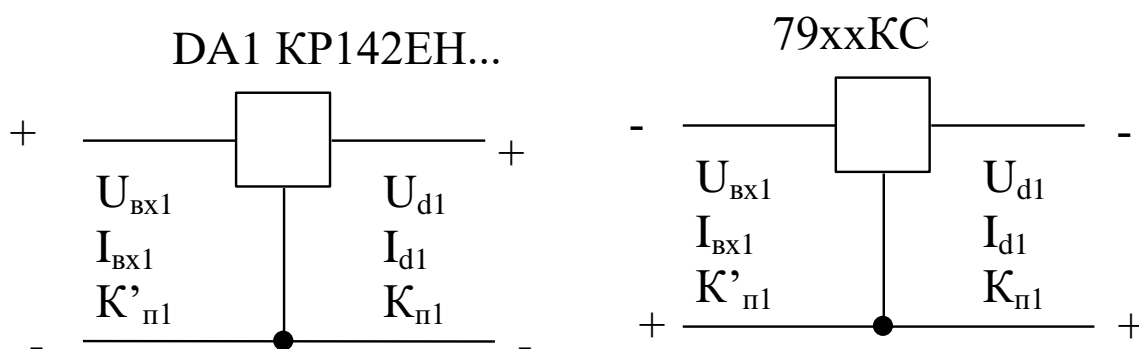


Рис. 2. Расчетная схема стабилизатора на микросхеме:
а – для положительной полярности U_{d1} ; б – для отрицательной полярности

Порядок расчета стабилизатора следующий:

- по заданному напряжению U_{d1} выбирается микросхема (или несколько микросхем) с соответствующим выходным напряжением;

- по заданному току I_{d1} проверяется, какая из выбранных микросхем более предпочтительна ($I_{ВЫХ} > I_{d1}$). Допустимо выбирать микросхему с наибольшим выходным током;

- для выбранной микросхемы из допустимых пределов входного напряжения выбирается входное напряжение стабилизатора U_{BX1} ;

- выбирается значение входного тока стабилизатора $I_{BX1}=I_{d1}$ или $I_{BX1} = I_{ВЫХ.МАХ}$ микросхемы. При $I_{BX1}=I_{d1}$ первый канал будет рассчитан без запаса на перегрузку, при $I_{BX1}=I_{ВЫХ. МАХ}$ – с запасом. Допускается выбрать любое из этих двух значений на усмотрение студента. Собственный входной ток микросхемы можно не учитывать, так как он весьма мал (около 1 мА);

- рассчитывается коэффициент пульсаций на входе стабилизатора с учетом коэффициента сглаживания микросхемы

$$K'_{п1}=K_{п1} \cdot K_{сгл1}.$$

Полученные значения U_{BX1} , I_{BX1} и $K'_{п1}$ будут использованы далее для расчета с помощью ЭВМ выпрямителя первого канала.

Пример расчёта стабилизатора.

Дано: $U_{d1} = 12$ В; $I_{d1} = 1,2$ А; $K_{п1} = 0,3\%$.

По заданному напряжению U_{d1} подходящими являются микросхемы КР142ЕН8Б и КР142ЕН8Д. Однако микросхема КР142ЕН8Д не подходит по выходному току ($I_{ВЫХ} < I_{d1}$). У микросхемы КР142ЕН8Б выходной ток 1,5 А ($I_{ВЫХ} > I_{d1}$), поэтому принимает решение использовать эту микросхему.

Входное напряжение микросхемы КР142ЕН8Б составляет 14,5...35 В. Выбираем $U_{BX1} \approx U_{d1} + 5$ В; то есть $U_{BX1} = 20$ В.

Выберем входной ток стабилизатора максимально допустимым для данного типа микросхемы $I_{BX1} = I_{ВЫХ.МАХ} = 1,5$ А.

Коэффициент пульсаций на входе стабилизатора с учетом коэффициента сглаживания микросхемы

$$K'_{п1} = K_{п1} \cdot K_{сгл1} = 0,3 \cdot 32 = 9,6\%.$$

Для расчёта выпрямителя первого канала на ЭВМ будут использованы следующие исходные величины:

$$U_{ВХ1} = 20 \text{ В}; I_{ВХ1} = 1,5 \text{ А}; K'_{п1} = 9,6\%.$$

3. РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ С ЕМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ

Краткие теоретические сведения.

Поскольку выпрямитель в современных маломощных источниках питания радиоэлектронной аппаратуры содержит емкостный фильтр для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения, рассмотрим работу выпрямителя на активно-емкостную нагрузку.

Схема однофазного мостового выпрямителя малой мощности, который рекомендуется применять, представлена на рис. 4, а временные диаграммы токов и напряжений на рис. 5.

Работа выпрямителя в установившемся режиме характеризуется двумя интервалами - интервалом заряда конденсатора, когда ЭДС вторичной обмотки трансформатора больше напряжения на конденсаторе C и через диоды проходит ток, и интервалом разряда конденсатора на сопротивление нагрузки, когда ЭДС вторичной обмотки трансформатора меньше напряжения на конденсаторе C и ток через диоды не проходит. Половину интервала, в течение которого через диоды протекает ток, принято называть углом отсечки θ .

Рассчитывать параметры выпрямителя следует с помощью ЭВМ. В программе выполняются действия последовательного приближения по величине угла отсечки θ до достижения им оптимального значения.

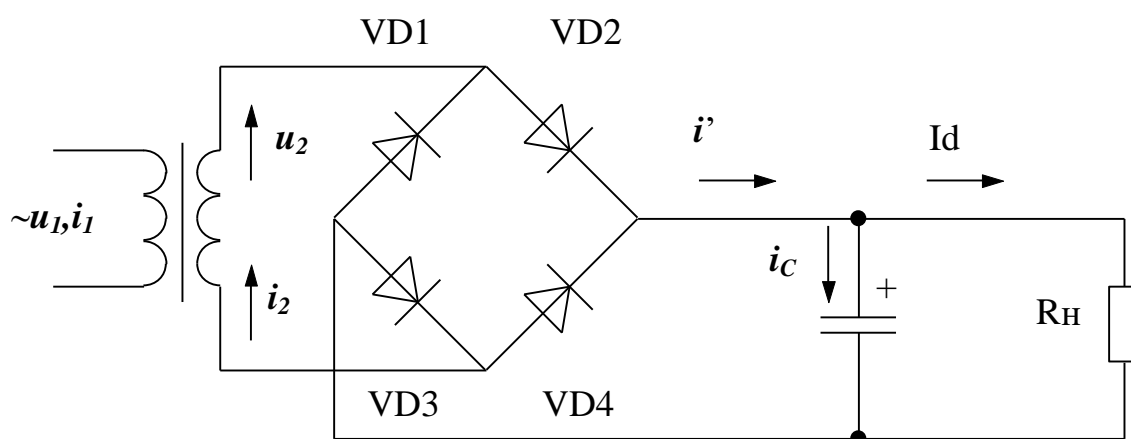


Рис. 4. Однофазный мостовой выпрямитель

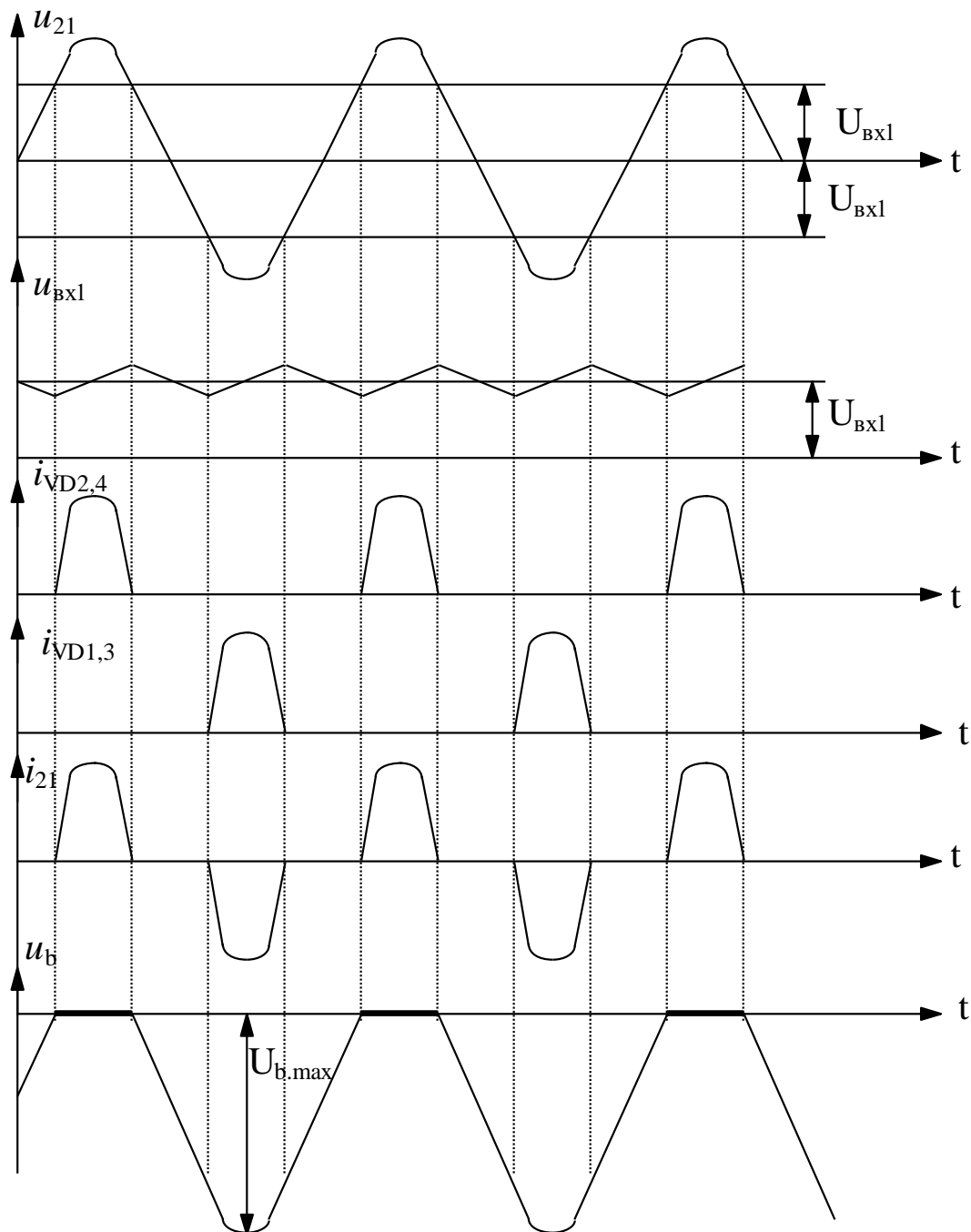


Рис. 5. Временные диаграммы работы выпрямителя с емкостным фильтром

Расчет выпрямителя с помощью ЭВМ

Для расчета выпрямителя следует воспользоваться программой расчета на ЭВМ. В диалоговом режиме программа запрашивает исходные данные:

ВВЕДИТЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

ТИП ВЫПРЯМИТЕЛЯ:

ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЙ - "1"

ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ - "2"

МОСТОВОЙ - "3"

С УДВОЕНИЕМ - "4" ? 3

ВЫПРЯМЛЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, В ? 20

ТОК НАГРУЗКИ, А ? 1,5

ТИП СЕРДЕЧНИКА:

ШЛ - "1", ОЛ - "2", ПЛ - "3" ? 1

КОЭФФИЦИЕНТ ПУЛЬСАЦИИ, % ? 9,6

Жирным шрифтом выделены данные, которые получены в результате расчета, произведенного в п. 2. (выпрямленное напряжение - U_{BX1} , ток нагрузки - I_{BX1} и коэффициент пульсации - $K'_{п1}$). Рекомендуется для трансформатора источника питания выбрать Ш-образный сердечник.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА:

НАПРЯЖЕНИЕ ОБМОТКИ 17.05849 В.

ТОК ОБМОТКИ 2.677 А.

ТОК ВЕНТИЛЯ: (ДИОДА)

МАКСИМАЛЬНЫЙ 5.991 А.

СРЕДНИЙ 0.75 А.

ЭФФЕКТИВНЫЙ 1.893 А.

ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА ФИЛЬТРА 2690.9 мкФ.

Результаты расчета следует записать. Затем следует рассчитать нагрузочную характеристику выпрямителя:

ДЛЯ РАСЧЕТА НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

(ХОЛОСТОГО ХОДА И ОТ 0.1 ДО 1.5 I_{BX1}) ВВЕДИТЕ

ЗНАЧЕНИЕ ТОКА. РАСЧЕТ ПРЕКРАЩАЕТСЯ ПРИ ВВОДЕ "999"

ТОК НАГРУЗКИ, А: НАПРЯЖЕНИЕ, В:

? 0 24.12

? .5 21.99

? 1 20.89

? 1.5 20.0

? 2 19.26

? 3

Н Е Л Ь 3 Я!!!

? 999

РАБОТА ЗАКОНЧЕНА.

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Краткие теоретические сведения.

Работа трансформатора основана на магнитном свойстве электрического тока. При подключении первичной обмотки к сети переменного тока частотой 50 Гц по этой обмотке протекает переменный ток, который создает вокруг ее витков и в сердечнике трансформатора переменное магнитное поле. Пронизывая витки вторичной обмотки, это поле индуцирует в них ЭДС. Соотношение количества витков первичной и вторичных обмоток определяет коэффициент трансформации, следовательно, получаемое напряжение на вторичной обмотке (выходное напряжение). Если количество витков вторичной обмотки больше, чем первичной, выходное напряжение трансформатора будет выше напряжения питающей сети, и такая обмотка называется повышающей. Если же вторичная обмотка содержит меньше витков, чем первичная, выходное напряжение будет ниже напряжения сети, а обмотка называется понижающей.

Трансформатор - это пассивный преобразователь энергии. Его коэффициент полезного действия всегда меньше единицы. Это означает, что мощность, потребляемая нагрузкой, всегда меньше, чем мощность, потребляемая нагруженным трансформатором от сети. Следовательно, в повышающих обмотках сила тока меньше, а в понижающих - больше, чем в сетевой (первичной) обмотке.

Чем больше сила тока в обмотках трансформатора, тем больше магнитный поток в его сердечнике, и тем больше должна быть толщина сердечника. Кроме этого, чем больше сила тока в обмотке, тем более толстым проводом она должна быть намотана, а это требует увеличения площади окна сердечника. Поэтому от мощности трансформатора зависят его габариты, и наоборот. Сердечник определенного размера пригоден для изготовления трансформатора только до определенной мощности, предельной для данных размеров сердечника. Эта предельная мощность называется габаритной мощностью трансформатора S_T .

Как и всякий преобразователь энергии, трансформатор характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) - отношением мощности, потребляемой нагрузкой трансформатора, к мощности, которую нагруженный трансформатор потребляет от сети. КПД маломощных трансформаторов промышленной частоты колеблется в пределах от 0,8 до 0,95. Более высокие значения КПД имеют трансформаторы большей мощности.

Упрощенный расчет однофазного трансформатора

В разделе 3 с помощью ЭВМ рассчитаны выпрямители, работающие на активно-емкостную нагрузку. Программа вычисляет напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_2 , к которому подключен выпрямитель, и ток I_2 этой обмотки.

Номинальную мощность вторичных обмоток вычисляют по формуле

$$\Sigma S_2 = U_{21} \cdot I_{21}.$$

Типовая мощность трансформатора

$$S_T = \frac{S_2}{\eta_{TP}},$$

где η_{TP} - КПД трансформатора, который определяется по номограмме на рис. 9.

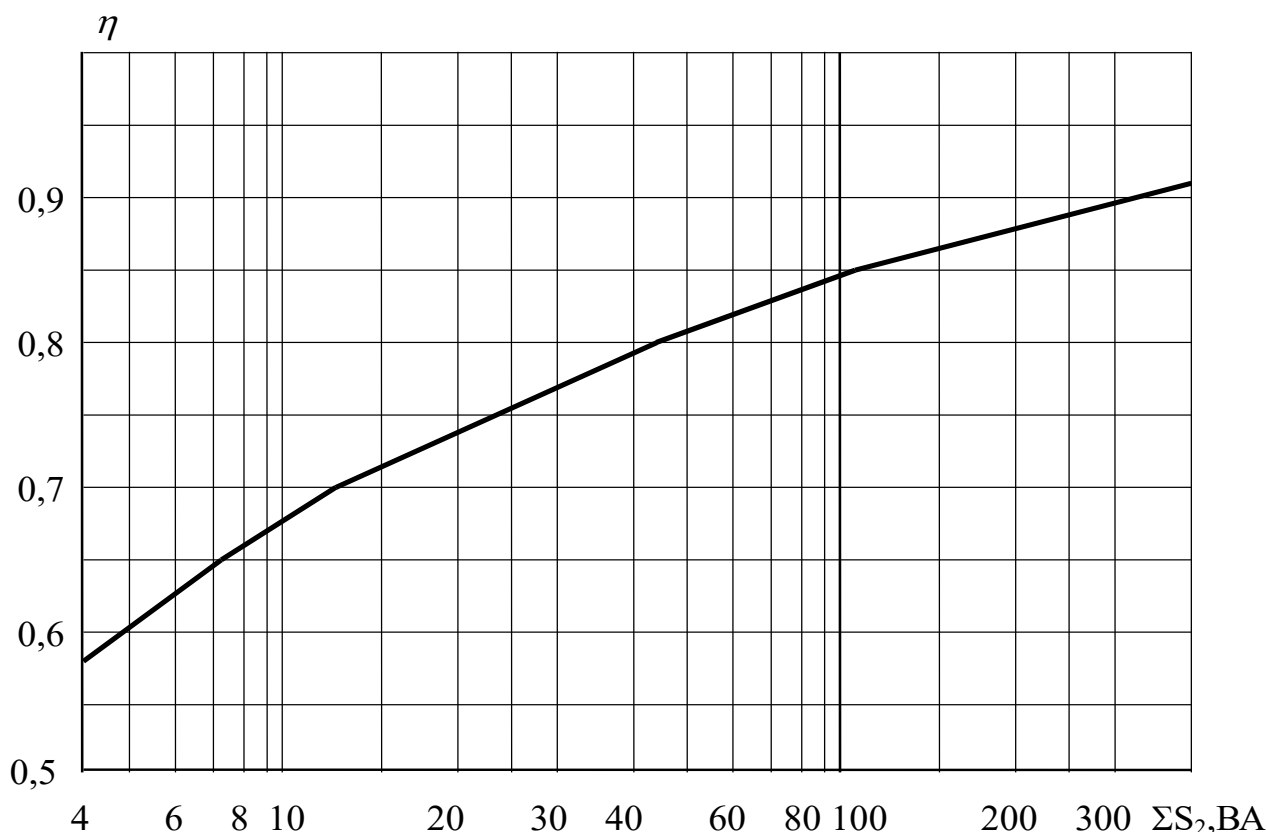


Рис. 9. Зависимость КПД от мощности вторичных обмоток трансформатора

Следует заметить, что при определении КПД трансформатора по номограмме типовая мощность трансформатора получится завышенной, что положительно скажется на его режиме работы (температурном режиме нагруженного трансформатора), но несколько увеличит вес, так как придется взять более мощный и тяжелый магнитопровод.

По таблице 4 выбирают типоразмер магнитопровода со значением S_T не менее вычисленного по формуле. При оформлении расчётно-графической работы в текст пояснительной записки вставляется выписка из таблицы 4 с выбранными параметрами трансформатора.

Пример выбора трансформатора.

Типоразмер магнитопровода	A, мм	H, мм	c, мм	h, мм	$S_{ст}$, см ²	S_T , В·А	$E^{(1)}$, В	ΔU	$J_{ср}$, А/м ²	G, кг
УШ35х52	123	106	22	61,5	17,0	220	0,43	0,05	1,7	3,8

Число витков вторичной обмотки трансформатора определяют по формуле:

$$w_2 = U_2 \frac{1 + \Delta U}{E^{(1)}},$$

где ΔU – относительное падение напряжения на обмотках;

$E^{(1)}$ – число вольт на один виток обмотки трансформатора с магнитопроводом выбранного типоразмера.

Следовательно, получится:

$$w_{21} = U_{21} \frac{1 + \Delta U}{E^{(1)}}; \quad w_{22} = U_{22} \frac{1 + \Delta U}{E^{(1)}}; \quad w_{23} = U_{23} \frac{1 + \Delta U}{E^{(1)}}.$$

Таблица 4

Параметры некоторых Ш-образных магнитопроводов

Типоразмер магнитопровода	A, мм	H, мм	c, мм	h, мм	$S_{ст}$, см ²	S_T , В·А	$E^{(1)}$, В	ΔU	$J_{ср}$, А/м ²	G, кг
УШ 16х16	56	48	10	28	2,3	4	0,06	0,3	3,9	0,31
УШ 16х24					3,45	6	0,07	0,29	3,7	0,35
УШ 16х32					4,6	9	0,1	0,28	3,5	0,4
УШ 19х19	67	57,5	12	33,5	3,26	10	0,09	0,27	3,3	0,41
УШ 19х28					4,79	15	0,1	0,26	3,1	0,5
УШ 19х38					6,52	22	0,15	0,25	2,9	0,6
УШ22х22	78	67	14	39	4,4	24	0,12	0,25	2,7	0,64
УШ22х33					6,6	36	0,17	0,19	2,5	0,96
УШ22х44					8,8	55	0,22	0,15	2,3	1,3
УШ26х26	94	81	17	47	6,0	60	0,18	0,13	2,5	1,1
УШ26х39					9,0	80	0,25	0,1	2,3	1,7
УШ26х52					12,0	100	0,32	0,08	2,1	2,2
УШ30х30	106	91	19	53	8,0	100	0,22	0,09	2,2	1,6
УШ30х45					12,0	120	0,35	0,06	2,0	2,4

УШ30x60					16,0	160	0,45	0,04	1,8	3,2
УШ35x35	123	106	22	61,5	11,0	170	0,29	0,07	1,9	2,6
УШ35x52					17,0	220	0,43	0,05	1,7	3,8
УШ35x70					22,0	270	0,59	0,03	1,5	5,1
УШ40x40	144	124	26	72	14,0	280	0,36	0,05	1,6	3,8
УШ40x60					22,0	320	0,55	0,04	1,4	5,6
УШ40x80					29,0	380	0,71	0,03	1,2	7,5

Число витков первичной обмотки

$$w_1 = \frac{U_{сему}}{E^{(1)}},$$

где $U_{сему} = 220$ В.

Максимальное расчетное значение тока первичной обмотки

$$I_1 = \frac{S_T}{U_{сему}}.$$

По допустимому значению средней плотности тока J_{cp} в обмотках трансформатора с магнитопроводом выбранного типоразмера и по вычисленным значениям I_1 , I_{21} определяют диаметры проводов обмоток d_1 , d_{21} , по формулам:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{J_{cp}}}; \quad d_{21} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{21}}{J_{cp}}}.$$

где J_{cp} - плотность тока в обмотках трансформатора (см. таблицу 4).

5. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Коэффициентом полезного действия (КПД) источника питания называется отношение активной мощности, выделяющейся в нагрузке P_H к мощности, поступающей из питающей сети $P_{вх}$.

Мощность, выделяющаяся в нагрузке:

$$P_H = U_{d1} \cdot I_{d1}.$$

Некоторая часть активной мощности, поступающая из сети, теряется в трансформаторе ($\Delta P_{тр}$), в вентилях ($\Delta P_{в}$), в сглаживающем фильтре ($\Delta P_{ф}$) и в стабилизаторе ($\Delta P_{ст}$). Поэтому мощность, поступающая из питающей сети:

$$P_{вх} = P_H + \Sigma \Delta P;$$

где $\Sigma \Delta P$ - общие потери мощности.

Потери в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta P_{тр} = S_T \cdot (1 - \eta_{тр}),$$

где $\eta_{тр}$ - кпд трансформатора;

S_T - габаритная мощность трансформатора.

Потери в вентилях рассчитываются для каждого их трёх выпрямителей:

$$\Delta P_{в} = I_a \cdot U_{пр.ср} \cdot N,$$

где I_a - средний ток в вентиле (из результатов расчёта на ЭВМ);

$U_{пр.ср}$ - прямое падение напряжения на вентиле (из таблицы приложения 3 для выбранного диода или блока);

N - число последовательно включенных вентилях выпрямителя. $N = 1$ для однополупериодного выпрямителя и для двухполупериодного выпрямителя; $N = 2$ для мостового выпрямителя и для выпрямителя с удвоением напряжения.

Общие потери в вентилях: $\Sigma \Delta P_{\text{в}} = \Delta P_{\text{в1}}$.

Потери в сглаживающем фильтре при емкостном фильтре можно не учитывать.

Потери в стабилизаторе первого канала:

$$\Delta P_{\text{ст1}} = (U_{\text{вх1}} - U_{\text{д1}}) \cdot I_{\text{вх1}},$$

где $U_{\text{вх1}}$ - напряжение на входе первого стабилизатора;

$I_{\text{вх1}}$ - входной ток первого стабилизатора;

$U_{\text{д1}}$ - напряжение в нагрузке первого канала источника питания.

Общие потери в стабилизаторах: $\Sigma \Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{ст1}}$.

Таким образом, общие потери мощности:

$$\Sigma \Delta P = \Sigma \Delta P_{\text{тр}} + \Sigma \Delta P_{\text{в}} + \Sigma \Delta P_{\text{ст}}.$$

Теперь рассчитывается КПД источника питания:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{н}} + \Sigma \Delta P}.$$

Вопросы к защите расчетно-графической работы

1. Структурная схема источника питания с трансформатором на входе. Назначение элементов схемы.

2. Нарисуйте схему однополупериодного однофазного выпрямителя с активной нагрузкой и его временную диаграмму работы. Чему равно выходное напряжение такого выпрямителя? Как изменится выходное напряжение выпрямителя при подключении параллельно нагрузке конденсатора?

3. Нарисуйте схему двухполупериодного однофазного выпрямителя с общим проводом с активной нагрузкой и его временную диаграмму работы. Чему равно выходное напряжение такого выпрямителя? Как изменится выходное напряжение выпрямителя при подключении параллельно нагрузке конденсатора?

4. Нарисуйте схему мостового однофазного выпрямителя с активной нагрузкой и его временную диаграмму работы. Чему равно выходное напряжение такого выпрямителя? Как изменится выходное напряжение выпрямителя при подключении параллельно нагрузке конденсатора?

5. Работа выпрямителя на емкостный фильтр. Временная диаграмма работы. Внешняя характеристика.

6. Нарисуйте схему выпрямителя с удвоением напряжения. Объясните работу схемы.

7. Для чего в источниках питания применяется стабилизатор напряжения? Приведите схему стабилизатора на стабилитроне и транзисторе.

8. Объясните порядок расчета стабилизатора на микросхеме.

9. Объясните порядок расчета стабилизатора на стабилитроне и транзисторе.

10. Для чего в источниках питания применяется сглаживающий фильтр? Что такое коэффициент сглаживания?

11. Как определить КПД источника питания?

12. Как выбрать тип диода для выпрямителя?

13. Как выбрать транзистор для стабилизатора?

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.1

Параметры полупроводниковых стабилитронов

Тип	$U_{ст}$ (В)	$I_{ст.мин}$ (мА)	$I_{ст.макс}$ (мА)	$r_{ст}$ (Ом)
Д814А	8	3	40	6
Д814Б	9	3	36	10
Д814В	10	3	32	12
Д814Г	11	3	29	15
Д814Д	13	3	24	18
Д815А	5,6	50	1400	0,6
Д815Б	6,8	50	1150	0,8
Д815В	8,2	50	950	1,0
Д815Г	10	25	800	1,8
Д815Д	12	25	650	2,0
Д815Е	15	25	550	2,5
Д815Ж	18	25	450	3,0
Д816А	22	10	230	7,0
Д816Б	27	10	180	8,0
Д816В	33	10	150	10
Д816Г	39	10	130	12
Д816Д	47	10	110	15
Д817А	56	5	90	35
Д817Б	68	5	75	40
Д817В	82	5	60	45
Д817Г	100	5	50	50
КС133А	3,3	3	81	65
КС139А	3,9	3	70	60
КС147А	4,7	3	58	56
КС156А	5,6	3	55	46
КС168А	6,8	3	45	28
КС175Ж	7,5	0,5	17	40
КС182Ж	8,2	0,5	15	40
КС191Ж	9,1	0,5	14	40
КС210Ж	10	0,5	13	40
КС211Ж	11	0,5	12	40
КС212Ж	12	0,5	11	40
КС213Ж	13	0,5	10	40
КС215Ж	15	0,5	8,3	70
КС216Ж	16	0,5	7,3	70
КС218Ж	18	0,5	6,9	70
КС220Ж	20	0,5	6,2	70
КС222Ж	22	0,5	5,7	70
КС224Ж	24	0,5	5,2	70
КС482А	8,2	1	96	25
КС510А	10	1	79	25
КС512А	12	1	67	25
КС515А	15	1	53	25
КС518А	18	1	45	25

Тип	$U_{\text{ст}}$ (В)	$I_{\text{ст.мин}}$ (мА)	$I_{\text{ст.макс}}$ (мА)	$r_{\text{ст}}$ (Ом)
КС522А	22	1	37	25
2С524А	24	1	33	30
КС527А	27	1	30	40
2С530А	30	1	27	45
КС533А	33	3	17	40
2С536А	36	1	23	50
КС551А	51	1	14,6	200
КС591А	91	1	8,8	400
КС600А	100	1	8,1	450
КС620А	120	5	42	150
КС630А	130	5	38	180
КС650А	150	2,5	33	255
КС680А	180	2,5	28	330

Таблица П1.2

Параметры транзисторов

Тип	$I_{\text{к.макс}}$, А	$U_{\text{кэ макс}}$, В	$h_{21Э}$	$U_{\text{кэ нас}}$, В
п-р-п				
КТ815А	1,5	40	40...70	0,6
КТ815Б	1,5	50	40...70	0,6
КТ815В	1,5	70	40...70	0,6
КТ815Г	1,5	100	30...70	0,6
КТ704А	2,5	500	10...100	5
КТ704Б	2,5	400	10...100	5
КТ704В	2,5	400	10...100	5
КТ817А	3	40	30	0,6
КТ817Б	3	45	30	0,6
КТ817В	3	60	30	0,6
КТ817Г	3	100	30	0,6
КТ805А	5	160	15	2,5
КТ805Б	5	135	15	5
р-п-р				
КТ814А	1,5	40	40	0,6
КТ814Б	1,5	50	40	0,6
КТ814В	1,5	70	40	0,6
КТ814Г	1,5	100	30	0,6
КТ816А	3	40	25	0,6
КТ816Б	3	45	25	0,6
КТ816В	3	60	25	0,6
КТ816Г	3	100	25	0,6
КТ837А	7,5	70	10...40	2,5
КТ837Б	7,5	70	20...80	2,5
КТ837В	7,5	70	50...150	2,5
КТ837Г	7,5	55	10...40	0,5
КТ837Д	7,5	55	20...80	0,5
КТ837Е	7,5	55	50...150	0,5
КТ837Ж	7,5	40	10...40	2,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Номинальные сопротивления резисторов стандартизованы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825-67 установлено шесть рядов: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96 и Е192. Цифра после буквы Е указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале.

Наиболее часто применяется ряд Е24. Номинальные значения декады ряда Е24 представлены в табл. П2.1. Значения десятков и сотен Ом, кОм и МОм получаются умножением номинального значения на 10^n , где $n=0;1;2;3...$

Таблица П2.1

1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1
5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П3.1

Параметры полупроводниковых диодов

Тип	$I_{пр.ср.}$ (А)	$I_{пр.и}$ (А)	$U_{обр.}$ (В)	$U_{пр.ср.}$ (В)
МД217	0,1	8	800	1,0
МД218	0,1	8	1000	1,0
МД218А	0,1	8	1200	1,1
МД226	0,3	2,5	300	1,0
МД226А	0,3	2,5	200	1,0
МД226Е	0,3	2,5	150	1,0
Д237А	0,3	5	200	1,0
Д237Б	0,3	5	400	1,0
Д237В	0,1	5	600	1,0
Д237Е	0,4	5	200	1,0
Д237Ж	0,4	5	400	1,0
Д242	10	30	100	1,25
Д242А	10	30	100	1,0
Д242Б	5	15	100	1,5
Д243	10	30	200	1,25
Д243А	10	30	200	1,0
Д243Б	5	15	200	1,5
Д245	10	30	300	1,25
Д245А	10	30	300	1,0
Д245Б	5	15	300	1,5
Д246	10	30	400	1,25
Д246А	10	30	400	1,0
Д246Б	5	15	400	1,5
Д247	10	30	500	1,25
Д247Б	10	30	500	1,5
Д248Б	5	15	600	1,5
КД102А	0,1	2	250	1
КД102Б	0,1	2	300	1
КД105Б	0,3	15	400	1
КД105В	0,3	15	600	1
КД105Г	0,3	15	800	1
КД202А	5	9	50	0,9
КД202В	5	9	100	0,9
КД202Д	5	9	200	0,9

Тип	$I_{\text{пр.ср}} (A)$	$I_{\text{пр.и}} (A)$	$U_{\text{обр.}} (B)$	$U_{\text{пр.ср}} (B)$
КД202Ж	5	9	300	0,9
КД202К	5	9	400	0,9
КД202М	5	9	500	0,9
КД202Р	5	9	600	0,9
КД208А	1,5	6	100	1,0
КД209А	0,7	6	400	1,0
КД209Б	0,5	6	600	1,0
КД209В	0,5	6	800	1,0

Таблица ПЗ.2

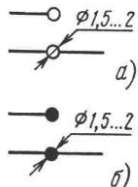
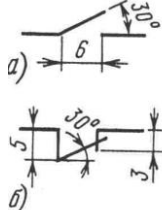
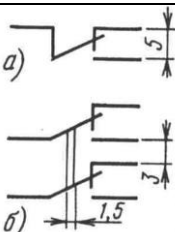
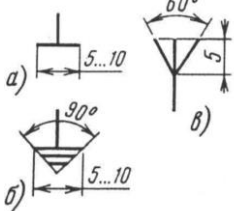
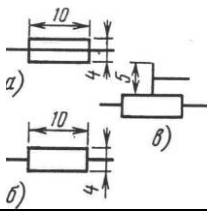
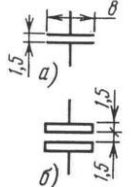
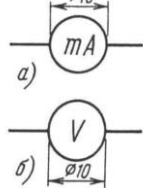
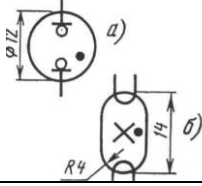
Параметры полупроводниковых диодных блоков (мостовой выпрямитель)

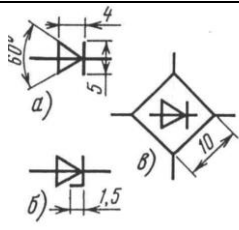
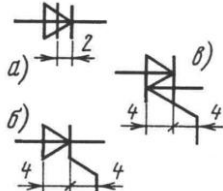
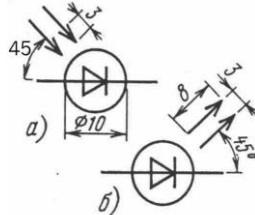
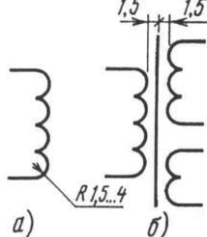
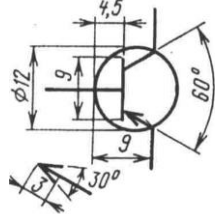
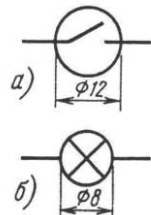
Тип	$I_{\text{пр.ср}} (A)$	$I_{\text{пр.и}} (A)$	$U_{\text{обр.}} (B)$	$U_{\text{пр.ср.}} (B)$
КЦ402А	1,0	5	600	1,2
КЦ402Б	1,0	5	500	1,2
КЦ402В	1,0	5	400	1,2
КЦ402Г	1,0	5	300	1,2
КЦ402Д	1,0	5	200	1,2
КЦ402Е	1,0	5	100	1,2
КЦ402Ж	0,6	5	600	1,2
КЦ402И	0,6	5	500	1,2
КЦ403А	1,0	5	600	1,2
КЦ403Б	1,0	5	500	1,2
КЦ403В	1,0	5	400	1,2
КЦ403Г	1,0	5	300	1,2
КЦ403Д	1,0	5	200	1,2
КЦ403Е	1,0	5	100	1,2
КЦ403Ж	0,6	5	600	1,2
КЦ403И	0,6	5	500	1,2
КЦ404А	1,0	5	600	1,2
КЦ404Б	1,0	5	500	1,2
КЦ404В	1,0	5	400	1,2
КЦ404Г	1,0	5	300	1,2
КЦ404Д	1,0	5	200	1,2
КЦ404Е	1,0	5	100	1,2
КЦ404Ж	0,6	5	600	1,2
КЦ404И	0,6	5	500	1,2
КЦ405А	1,0	5	600	1,2
КЦ405Б	1,0	5	500	1,2
КЦ405В	1,0	5	400	1,2
КЦ405Г	1,0	5	300	1,2
КЦ405Д	1,0	5	200	1,2
КЦ405Е	1,0	5	100	1,2
КЦ405Ж	0,6	5	600	1,2
КЦ405И	0,6	5	500	1,2
КЦ407А	0,5	3	500	2,5
КЦ410А	3	45	50	1,2
КЦ410Б	3	45	100	1,2
КЦ410В	3	45	200	1,2
КЦ412А	1	15	50	1,2
КЦ412Б	1	15	100	1,2
КЦ412В	1	15	200	1,2

Конденсаторы с оксидным диэлектриком

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допустимая амплитуда напряжения переменной составляющей, %
K50 - 6	6,3	5; 10; 20; 50; 100; 200; 500	20...25
	10	5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000	5...25
	16	1; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000	5...25
	25	1; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000	5...25
	50	1; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 4000	5...20
	100	1; 5; 10; 20	10...15
	160	1; 5; 10; 20	10
K50 - 7	160	20; 30; 50; 100; 200; 500	5...15
	250	10; 20; 30; 50; 100; 200	5...15
	300	5; 10; 20; 30; 50; 100; 200	3...10
	350	5; 10; 20; 30; 50; 100	3...10
	450	5; 10; 20; 30; 50; 100	3...10
K50 - 18	6,3	100000; 220000;	13...15
	10	100000	11...15
	16	22000; 68000; 100000	6...9
	25	15000; 33000; 100000	6...8
	50	4700; 10000; 15000; 22000	5...6
	80	4700; 10000; 15000	4...5
	100	2200; 4700; 10000	4...6
K50 - 20	6,3	10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000	10...16
	16	2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000	10...16
	25	2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000	10...16
	50	1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000	3...16
	100	1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200	10
	160	2; 5; 10; 20; 50; 100; 200	10
	250	20; 50	10
	300	2; 5; 10; 20; 50	10
	350	2; 5; 10; 20	10
	450	2; 5; 10; 20	10

Условные графические обозначения электронных элементов

Условное графическое обозначение	Наименование элемента
1	2
	Контакт соединения разборного (а) и неразборного (б)
	Выключатель с одной группой замыкающих (а) или размыкающих (б) контактов
	Переключатель с одной (а) и с двумя (б) группами переключающих контактов
	Общий провод (а), заземление (б), антенна (в)
	Предохранитель (а), постоянный резистор (б), подстроечный резистор (в)
	Конденсатор постоянной емкости (а), оксидный неполярный конденсатор (б)
	Стрелочный индикатор: миллиамперметр (а) и вольтметр (б)
	Неоновая индикаторная (а) и люминесцентная осветительная (б) лампы

1	2
	<p>Полупроводниковый диод (а), стабилитрон (б) и диодный мост (в)</p>
	<p>Динистор (а), тиристор (б), симистор (в)</p>
	<p>Фотодиод (а), светодиод (б)</p>
	<p>Катушка индуктивности (а), трансформатор (б)</p>
	<p>Биполярный транзистор</p>
	<p>Геркон (а), лампа накаливания (б)</p>

Библиографический список

1. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
2. Либерман Ф.Я. Электроника на железнодорожном транспорте: Учебное пособие для вузов ж.д.транспорта.- М.: Транспорт, 1987.- 288 с.
3. Сидоров И.Н. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. Справочник.- М.: Радио и связь, 1985.- 276 с.
4. Сидоров И.Н., Скорняков С.В. Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Справочник.- М.: Радио и связь, 1994.- 320 с.
5. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А.Зайцев и др.; Под ред. Н.Н. Горюнова.- М.: Энергоиздат, 1982.- 744 с.
6. Диоды: Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев.- М.: Радио и связь, 1990.- 656 с.
7. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник/А.А.Зайцев, А.И.Миркин, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова - М.: Радио и связь, 1989.- 640 с.
8. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / К.М. Брежнева, Е.И. Гантман, Т.И. Давыдова и др.; Под ред. Б.Л. Перельмана. - М.: Радио и связь, 1981.- 656 с.
9. Щербина А., Благий С. Микросхемные стабилизаторы серий 142, К142, КР142.-Радио, 1990, №8, с.89-90; №9, с.73-74.
10. Булычев А.Л. и др. Аналоговые интегральные схемы: Справочник / А.Л. Булычев, В.И. Галкин, В.А. Прохоренко.- 2-е изд.-Минск: Беларусь, 1993.- 382 с.
11. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов и др.; Под ред. Э.Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
12. Ревич Ю.В. Занимательная электроника. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 720 с.