

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1.1. Источник вторичного электропитания

Для получения электрической энергии нужного вида приходится преобразовывать энергию переменного тока в энергию постоянного тока с помощью выпрямителей, энергию постоянного тока – в энергию переменного тока с помощью инверторов. Выпрямители и инверторы являются источниками вторичного электропитания.

В пособии рассмотрен источник вторичного электропитания, преобразующий энергию переменного тока в энергию постоянного тока. Такие источники вторичного электропитания (ИВЭ) необходимы для питания различных установок электронной аппаратуры (двигателей постоянного тока, различных усилителей, зарядных устройств и т.д.).

Выпрямлением называют процесс преобразования переменного тока в постоянный ток с помощью выпрямительных устройств, обладающих односторонней проводимостью. Выпрямительные устройства состоят из основных блоков: трансформатора, электрического вентиля, сглаживающего фильтра и стабилизатора напряжения.

Современные электронные полупроводниковые устройства в дискретном и, особенно, в микросхеменном исполнении предъявляют очень жесткие требования к качеству потребляемой энергии, которая должна быть высокостабильной.

Выпрямительные ИВЭ классифицируются по ряду признаков:

- 1) по способу управления напряжением: неуправляемые (диодные), управляемые (тиристорные);
- 2) по числу фаз питающего переменного напряжения: однофазные, трехфазные;
- 3) по форме выпрямленного напряжения: однополупериодные, двухполупериодные (мостовой, от средней точки трансформатора).

Однофазные маломощные выпрямительные устройства применяются для питания потребителей постоянного тока мощностью от 1 Вт до 1 кВт. Соответственно источник питания называется маломощным источником вторичного электропитания (МИВЭ).

Основные блоки МИВЭ

Структурная схема устройства МИВЭ представлена на рис. 1.1.

На входе трансформатор (Тр) изменяет переменное напряжение U_c до требуемого значения U_2 , т.е. согласует входное напряжение с

нагрузкой и осуществляет электрическую развязку источника выпрямленного напряжения и нагрузочного устройства.

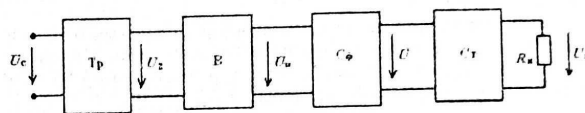


Рис. 1.1. Структурная схема МИВЭ

После трансформатора стоит вентиляльная диодная группа (В), где U_2 преобразуется в пульсирующее напряжение U_n . Количество вентилялей зависит от схемы выпрямителя.

В выпрямленном напряжении U_n , помимо постоянной составляющей, присутствует переменная, которая с помощью сглаживающего фильтра (C_ϕ) снижается до требуемого уровня U и имеет очень маленькие пульсации.

Стабилизатор напряжения (Ст) поддерживает неизменным напряжение U_n в нагрузочном устройстве R_n .

В зависимости от условий работы некоторые блоки могут отсутствовать (трансформатор, стабилизатор).

1.2. Выпрямители (электрические вентиля)

Для выпрямления однофазного переменного напряжения применяются два типа выпрямителей: однополупериодный и двухполупериодный.

Однополупериодный выпрямитель

Схема однополупериодного выпрямителя представлена на рис. 1.2.

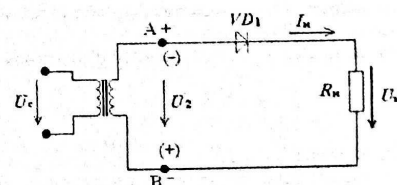


Рис. 1.2. Схема однополупериодного выпрямителя

«Проектирование малоомощного источника вторичного электропитания»

Считается, что трансформатор и выпрямительный диод идеальны, т.е. у трансформатора активное сопротивление обмоток равно нулю, у диода $R_{пр} = 0$ и $R_{обр} = \infty$.

Рассмотрим временные диаграммы однополупериодного выпрямителя (рис. 1.3). В интервале времени от 0 до $T/2$ диод VD_1 открыт ($\varphi_A > \varphi_B$), в нагрузку течет ток I_n . В интервале времени от $T/2$ до T диод закрыт ($\varphi_A < \varphi_B$), к диоду приложено U_{2max} .

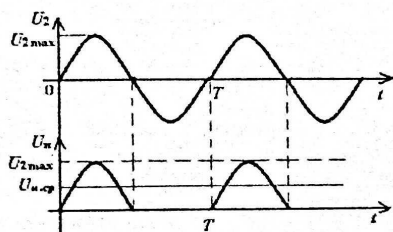


Рис. 1.3. Временные диаграммы однополупериодного выпрямителя

Ток и напряжение в нагрузке имеют пульсирующий характер и как следствие значительно отличаются от постоянных составляющих.

Основные параметры однополупериодного выпрямителя

Диод в выпрямителях является основным элементом и во многом определяет основные параметры выпрямителей:

- 1) $U_{н.ср}$ и $I_{н.ср}$ – средние значения выпрямленного напряжения и тока в нагрузочном устройстве
- 2) мощность нагрузочного устройства $P_{н.ср} = U_{н.ср} I_{н.ср}$;
- 3) амплитуда основной гармоники $U_{осн.г}$;
- 4) коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$p = \frac{U_{осн.г}}{U_{н.ср}};$$

- 5) КПД выпрямителя;

- 6) Обратное максимальное напряжение на запертом диоде $U_{обр. max}$.

Определим среднее значение выпрямленного напряжения и тока в нагрузке:

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot U_2 \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,45 U_2.$$

В однополупериодном выпрямителе теряется больше половины входного напряжения!

Входное напряжение (напряжение на вторичной обмотке трансформатора)

$$U_2 = \frac{\pi U_{н.ср}}{\sqrt{2}} \approx 2,22 U_{н.ср}.$$

Среднее значение выпрямленного тока, средневыврямленный ток равен току через диод:

$$I_{н.ср} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi R_n} = I_{пр.д}.$$

Частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сетевого напряжения:

$$f_n = f_{осн}.$$

Выпрямленное напряжение имеет несинусоидальную форму сигнала, поэтому может быть разложено в ряд Фурье:

$$U_n = U_{н.ср} \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos \omega t + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 3\omega t + \dots \right).$$

Так как частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сети, то при расчете коэффициента пульсаций берут напряжение основной первой гармоники:

$$p = \frac{U_{осн.г}}{U_{н.ср}} = \frac{U_{н.ср} \frac{\pi}{2}}{U_{н.ср}} = \frac{\pi}{2} = 1,57.$$

Так как $p = 1,57$ – очень большой коэффициент пульсаций, то это является недостатком схемы.

Обратное максимальное напряжение на запертом диоде равно амплитуде входного напряжения:

$$U_{обр. max} = \sqrt{2} \cdot U_2.$$

«Проектирование мало мощного источника вторичного электропитания»

При выборе выпрямительных диодов используются максимально допустимые параметры: ток прямой максимально допустимый и напряжение обратное максимально допустимое: $I_{пр\ max}$, $U_{обр\ max}$.

Двухполупериодный мостовой выпрямитель

Мостовая схема диодов подключена ко вторичной обмотке трансформатора (рис. 1.4), каждая пара диодов работает поочередно: VD_1 VD_3 и VD_2 VD_4 . Рассмотрим временные диаграммы (рис. 1.5).

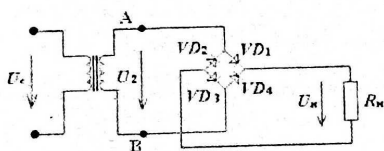


Рис. 1.4. Двухполупериодный мостовой выпрямитель

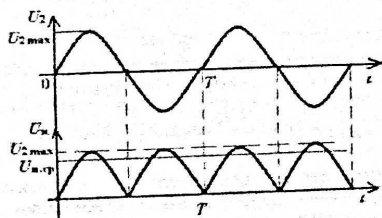


Рис. 1.5. Временные диаграммы мостового выпрямителя

В интервале времени от 0 до $T/2$ открыты VD_1 VD_3 , закрыты VD_2 VD_4 , в нагрузку течет ток I_n ; в интервале времени от $T/2$ до T закрыты VD_1 VD_3 , открыты VD_2 VD_4 , в нагрузку течет ток I_n ; частота пульсаций выпрямленного напряжения в 2 раза больше сетевой частоты:

$$f_n = 2f_c = 100 \text{ Гц.}$$

Основные параметры мостового выпрямителя

1. Средневыпрямленное напряжение

$$U_{н\ ср} = \frac{2U_{2\ max}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,9U_2.$$

2. Средневыпрямленный ток

$$I_{н\ ср} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi R_n}.$$

3. Прямой ток диода

$$I_{пр\ д} = \frac{1}{2} I_{н\ ср}.$$

4. Коэффициент пульсаций

$$p = \frac{U_{осн\ г}}{U_{н\ ср}} = \frac{U_{н\ ср} \cdot \frac{2}{3}}{U_{н\ ср}} \approx 0,67.$$

Максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов имеет такое же значение, что и в однополупериодном выпрямителе, так как по отношению к входу они включены параллельно:

$$U_{2\ max} = \sqrt{2} \cdot U_2;$$

$$U_{обр\ max} = \pi U_{н\ ср}; \quad U_{обр\ max} = \sqrt{2} \cdot U_2.$$

Основной недостаток – большое количество диодов.

В настоящее время выпускаются полупроводниковые выпрямительные блоки по мостовой схеме КЦ402, КЦ403 и др.

1.3. Сглаживающие фильтры

На выходе выпрямителя получается пульсирующее постоянное напряжение. Для многих электронных устройств коэффициент пульсации питающего напряжения p не должен превышать $10^{-2} \dots 10^{-3}$. Поэтому для уменьшения пульсаций применяются сглаживающие фильтры.

Фильтры выполняются обычно на реактивных элементах: конденсаторах и дросселях. Здесь используются реактивные свойства этих элементов: при последовательном включении – дроссель имеет

«Проектирование малоомощного источника вторичного электропитания»

большое сопротивление переменному току; при параллельном включении – конденсатор имеет малое сопротивление переменному току. Особенностью фильтров является то, что емкость фильтра лучше сглаживает пульсации при малых токах нагрузки, а индуктивный фильтр, наоборот, при больших токах. Емкостной фильтр включается всегда параллельно нагрузке (рис. 1.6).

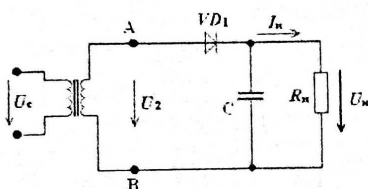


Рис. 1.6. Схема однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром

Принцип сглаживания сводится к следующему (рис. 1.7): в первый полупериод (от 0 до $T/2$), когда потенциал точки A выше потенциала точки B, диод VD1 открыт и конденсатор заряжается через низкое внутреннее сопротивление диода до $U_{2\max}$. Во второй полупериод (от $T/2$ до T), когда потенциал точки A ниже напряжения на конденсаторе, диод закрыт и конденсатор разряжается через нагрузочный резистор R_n до тех пор, пока потенциал точки A не окажется выше напряжения на конденсаторе.

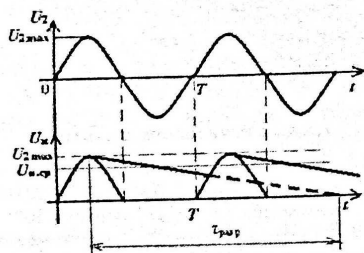


Рис. 1.7. Временные диаграммы напряжения однополупериодного выпрямителя с емкостным фильтром

Напряжение на запертом диоде будет определяться по второму закону Кирхгофа:

$$U_{\text{обр max}} = U_c + U_{2\max},$$

причем конденсатор заряжается до значения $U_{2\max}$. Значит для однополупериодного выпрямителя

$$U_{\text{обр max}} = 2U_{2\max} = 2\sqrt{2} \cdot U_2;$$

для двухполупериодного выпрямителя

$$U_{\text{обр max}} = U_{2\max} = \sqrt{2} \cdot U_2.$$

Средневыпрямленное напряжение выпрямителей с фильтром определяется по формуле

$$U_{\text{н ср}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{1 + p}.$$

Схема двухполупериодного мостового выпрямителя с емкостным фильтром представлена на рис. 1.8.

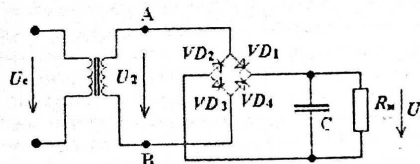


Рис. 1.8. Схема мостового выпрямителя с емкостным фильтром

Из анализа временных диаграмм (рис. 1.7, 1.9) видно, что с изменением емкости конденсатора C будет изменяться значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения. При этом чем меньше разрядится конденсатор, тем меньше будут пульсации в выпрямленном токе I_n .

«Проектирование мало мощного источника вторичного электропитания»

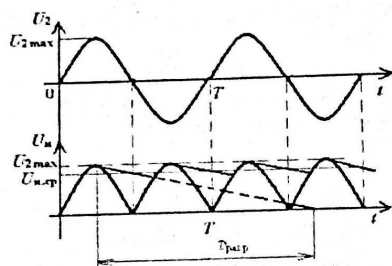


Рис. 1.9. Временные диаграммы мостового выпрямителя с емкостным фильтром

Постоянная времени разрядки конденсатора $\tau_{\text{разр}} = CR_n$.
Если $\tau_{\text{разр}} \gg T$, то коэффициент пульсаций для однополупериодной схемы

$$p \leq \frac{1}{2f_c \tau} = \frac{1}{2f_c R_n C};$$

для двухполупериодной схемы

$$p \leq \frac{1}{4f_c \tau} = \frac{1}{4f_c R_n C},$$

где f_c – частота сетевого напряжения.

Для выбора конденсатора необходимо рассчитать его емкость C и рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$. В случае малых пульсаций: для однополупериодного выпрямителя

$$C \geq \frac{1}{2f_c p R_n};$$

для двухполупериодного выпрямителя

$$C \geq \frac{1}{4f_c p R_n}.$$

Рабочее напряжение конденсатора рассчитывается с 30 %-ным запасом:

$$U_{\text{раб}} \geq 1,3U_{2\text{max}}.$$

Необходимо учитывать, что выпускаемые конденсаторы имеют допуск по величине емкости $\pm 12\%$ от номинального значения.

Основным параметром, характеризующим эффективность работы электрического сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, равный отношению коэффициентов пульсаций на входе и выходе фильтра. При проектировании фильтров должны выполняться требования: минимальное падение напряжения на элементах фильтра, минимальные габариты и масса.

При использовании емкостного фильтра следует учитывать, что максимальное значение тока через диод определяется только внутренним сопротивлением этого элемента, поэтому ток может достигать значений больших, чем максимально допустимые значения прямого тока диода. Такой ток может вывести из строя диод. Чтобы избежать этого, к диоду последовательно включают добавочный резистор.

Если требуется более высокий коэффициент сглаживания, то используют более сложные фильтры LC или RC . Подключение индуктивной катушки к емкостному фильтру приведет к тому, что за счет падения напряжения на катушке значительно уменьшится доля переменной составляющей выпрямленного напряжения, а падение напряжения от постоянной составляющей практически будет равно нулю. Проблема только в одном: при использовании катушки индуктивности увеличиваются масса и габариты МПВЭ. Поэтому в МПВЭ вместо катушки индуктивности L_ϕ ставят резистор R_ϕ . Фильтрующее действие R_ϕ заключается в том, что при $X_c \ll R_n$ на R_ϕ происходит большее падение напряжения переменной составляющей выпрямленного напряжения, чем постоянной. В этом случае коэффициент сглаживания фильтра

$$S = \frac{\sqrt{R_\phi^2 + X_c^2}}{X_c} \cdot \frac{R_n}{R_n + R_\phi}.$$

Чтобы уменьшение постоянной составляющей было не очень большим, R_n и R_ϕ выбирают соизмеримыми:

«Проектирование мало мощного источника вторичного электропитания»

$$\frac{R_n}{R_n + R_\phi} \approx 0,5 \dots 0,9.$$

Если сглаживающий фильтр не позволяет уменьшить пульсации выпрямленного напряжения до нужного значения, то применяют каскадное включение фильтров. Тогда коэффициент сглаживания $S = S_1 S_2 S_3 \dots S_n$.

Внешние характеристики выпрямителей

Внешней характеристикой выпрямителя называют зависимость напряжения на нагрузочном устройстве от тока в нем.

В выпрямителе без фильтра (рис. 1.10, кривая 1) напряжение в нагрузке и ток связаны между собой соотношением:

$$U_n = U_{n, \text{хх}} - (R_d + R_{\text{тр}}) I_n,$$

где $U_{n, \text{хх}}$ — напряжение на выходе выпрямителя в режиме холостого хода, т.е. при $R_n = \infty$;

R_d — внутреннее сопротивление диода в открытом состоянии;

$R_{\text{тр}}$ — сопротивление обмотки трансформатора.

В выпрямителе с фильтром (рис. 1.10, прямая 2) выходное напряжение в режиме холостого хода будет больше, чем в выпрямителе без фильтра, и будет равняться амплитуде входного напряжения, так как в отсутствии нагрузки конденсатор заряжается до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки трансформатора.

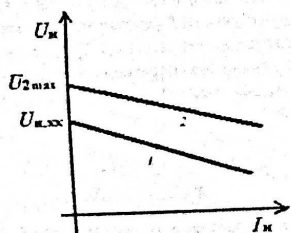


Рис. 1.10. Внешние характеристики выпрямителей

1.4. Параметрический стабилизатор напряжения

Во многих радиоэлектронных устройствах, где используются источники вторичного электропитания, обязательно предъявляются требования поддержания напряжения или тока на определенном неизменном уровне, независимо от возможных изменений входного напряжения и выходного тока. Для обеспечения этой задачи используют стабилизаторы напряжения или тока. В пособии рассматриваются параметрический стабилизатор напряжения на полупроводниковом стабилитроне. Параметрические стабилизаторы имеют простую конструкцию и высокую надежность, но низкий КПД.

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, напряжение $\Delta U_{\text{ст}}$ на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока $I_{\text{ст}}$ в заданном диапазоне, и который предназначен для стабилизации уровня напряжения в схеме.² Рассмотрим вольт-амперные характеристики (ВАХ) реального и идеального стабилитрона (рис. 1.11).

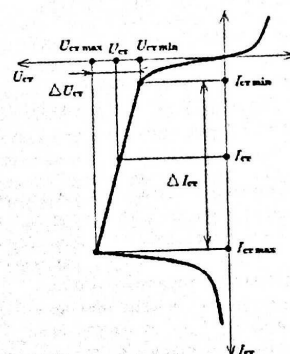


Рис. 1.11. Реальная ВАХ стабилитрона

Для предварительных расчетов используют идеальную вольт-амперную характеристику (рис. 1.12).

«Проектирование мало мощного источника вторичного электропитания»

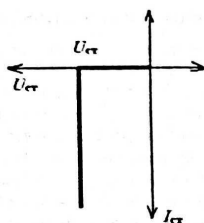


Рис. 1.12. Идеальная ВАХ стабилизатора

Основные параметры стабилизатора:

- 1) $U_{ст}$ – напряжение стабилизации;
- 2) дифференциальное сопротивление

$$R_{диф} = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст} = (0,5 \dots 100) \text{ Ом.}$$

Чем меньше $R_{диф}$, тем лучше осуществляется стабилизация;

- 3) $I_{ст\ min}$ – ток стабилизации минимальный;
- 4) $I_{ст\ max}$ – ток стабилизации максимальный.

Максимальный ток определяется отношением максимально допустимой мощности к $U_{ст}$:

$$I_{max} \approx P_{max} / U_{ст}.$$

В качестве стабилизаторов применяют кремниевые диоды, обладающие большой устойчивостью к тепловому пробую. Кремниевые стабилизаторы используют для стабилизации напряжений источников питания, а также для фиксации уровней напряжений в различных схемах, в автоматических потенциометрах и т.п.

Стабилизатор в схему стабилизации обычно включают так, чтобы $p-n$ -переход был смещен в обратном направлении.

Схема параметрического стабилизатора напряжений (рис. 1.13) состоит из балластного резистора $R_{бал}$ (для ограничения тока через стабилизатор) и стабилизатора, подключенного параллельно нагрузке, выполняющего основную функцию стабилизации.

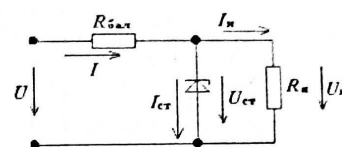


Рис. 1.13. Схема параметрического стабилизатора напряжения

Основные соотношения токов и напряжений в стабилизаторе определяются первым и вторым законами Кирхгофа для схемы (см. рис. 1.13):

$$\begin{aligned} I &= I_{ст} + I_{н}; \\ U &= I R_{бал} + U_{ст}; \\ U_{н} &= U_{ст}. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Принцип действия параметрического стабилизатора постоянного напряжения удобно объяснить с помощью рис. 1.14, на котором изображены ВАХ стабилизатора и «опрокинутая» ВАХ балластного резистора. Работа стабилизатора напряжения происходит следующим образом. При изменении напряжения U на входе стабилизатора, происходит соответствующее изменение тока I , следовательно, изменяются токи стабилизатора и нагрузки. Однако при изменении тока стабилизатора напряжение на нем изменится на очень малую величину в соответствии с ВАХ стабилизатора, т.е. почти не изменится. Согласно второму закону Кирхгофа при изменении входного напряжения, падение напряжения на балластном сопротивлении изменится пропорционально току и станет равным приращению входного напряжения. Другими словами, все приращение входного напряжения падает на балластном сопротивлении, а напряжение на стабилизаторе и на нагрузке почти не изменится. Запишем математически вышесказанное:

$$U \pm \Delta U = (I_{ст} + I_{н} \pm \Delta I_{ст}) R_{бал} + U_{ст}.$$

Принимая, $U = \text{var}$ и $R_{н} = \text{const}$, получаем $I_{н} = \text{const}$, при этом условие сохранения рабочей точки стабилизатора на участке AB вольт-амперной характеристики определяется по формуле

$$\pm \Delta U = \pm \Delta I_{ст} R_{бал}.$$

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

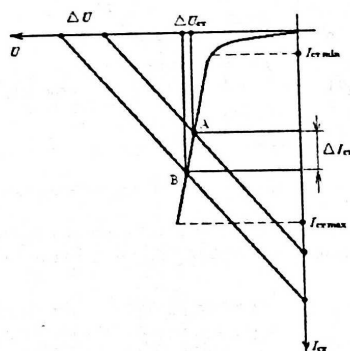


Рис. 1.14. Пояснение принципа действия стабилизатора напряжения

Из этого следует, что нормальная работа стабилитрона может быть обеспечена соответствующим выбором величины балластного сопротивления. Тогда, при изменении напряжения на входе стабилизатора, не нарушаются нормальные пределы стабилизации выходного напряжения U_n .

При стабилизации напряжения, принимая $I_n = \text{var}$, $R_n = \text{var}$ и $U = \text{const}$, на входе стабилизатора происходит перераспределение токов между нагрузкой и стабилитроном с сохранением неизменным напряжения на стабилитроне и на балластном сопротивлении в соответствии с уравнением

$$U = IR_{\text{баз}} + U_n = [(I_n \pm \Delta I_n) + (I_{\text{ст}} \pm \Delta I_{\text{ст}})]R_{\text{баз}} + U_n.$$

Для нормальной работы стабилизатора, при изменяющейся нагрузке, изменение тока не должно приводить к выходу тока стабилитрона за пределы максимального и минимального допустимых значений.

В пособии рассматривается методика расчета параметрического стабилизатора напряжения при условии $U = \text{var}$ и $R_n = \text{const}$.

Расчет стабилизатора сводится к выбору стабилитрона и величины $R_{\text{баз}}$. Из системы уравнений (1.1) получаем формулу для расчета $R_{\text{баз}}$:

$$R_{\text{баз}} = \frac{U_{\text{min}} - U_n}{I_{\text{ст min}} + I_n}. \quad (1.2)$$

Сопротивление резистора должно быть таким, чтобы ток стабилитрона был не менее $I_{\text{ст min}}$, т.е. не выходил за пределы рабочего участка AB вольт-амперной характеристики стабилитрона (рис. 1.14).

Балластное сопротивление определяет основные потери стабилизатора, поэтому параметрические стабилизаторы используют только в маломощных схемах.

Стабилитрон выбирается по параметрам из справочника:

- 1) $I_{\text{ст max}}$ — максимально допустимый ток стабилитрона;
- 2) $U_{\text{ст}}$ — напряжение стабилизации;
- 3) $I_{\text{ст min}}$ — минимальный ток стабилитрона.

Основные параметры стабилизатора.

1. Коэффициент стабилизации, равный отношению приращений входного и выходного напряжений:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}}.$$

Коэффициент стабилизации характеризует качество работы стабилизатора.

2. Выходное сопротивление стабилизатора

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{эф}}.$$

Для нахождения $K_{\text{ст}}$ и $R_{\text{вых}}$ рассматривается схема замещения стабилизатора (рис. 1.15) для приращений. Нелинейный элемент работает на участке стабилизации, где его сопротивление переменному току $R_{\text{эф}}$ является параметром стабилизатора.

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

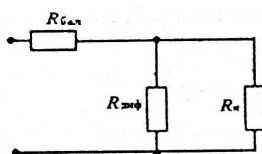


Рис. 1.15. Схема замещения параметрического стабилизатора напряжения

Дифференциальное сопротивление $R_{эф}$ определяется из уравнения

$$R_{эф} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}$$

Для схемы замещения получаем коэффициент стабилизации с учетом, что $R_{н} \gg R_{эф}$ и $R_{баз} \gg R_{эф}$:

$$K_{ст} = \frac{UR_{н\pi}}{U_{ст}R_{эф}}$$

Коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора напряжения $K_{ст} = 5 \dots 30$.

Для получения повышения стабилизированного напряжения применяют последовательное включение стабилитронов. Параллельное включение стабилитронов не допускается.

С целью увеличения коэффициента стабилизации возможно каскадное включение нескольких параметрических стабилизаторов напряжения.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛОМОЩНОГО ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Цель расчета

При заданных параметрах спроектировать маломощный источник вторичного электропитания, обеспечить постоянное напряжение и ток на нагрузочном устройстве.

Техническое задание

1. Ознакомиться с теоретическим введением.
2. По заданным параметрам рассчитать параметрический стабилизатор напряжения.
3. Выполнить графический расчет стабилизатора (на миллиметровой бумаге). Сравнить с аналитическим расчетом, сделать вывод.
4. Рассчитать коэффициент стабилизации (рассчитать и выбрать из справочника стабилитрон, резистор).
5. Рассчитать емкостной фильтр (рассчитать емкость конденсатора и выбрать конденсатор из справочника – конденсаторы общего назначения). Рассчитать коэффициент сглаживания фильтра.
6. Рассчитать и выбрать из справочника выпрямительный диод.
7. Составить спецификацию элементов схемы.
8. Начертить электрическую принципиальную схему разработанного МНВЭ. Элементы схем вычерчивать по ГОСТу.
9. Для групп ПМП. Смоделировать и отладить полученную схему в программе MULTISIM9 (Electronics Work Bench) и проверить правильность работы схемы (представить в отчете осциллограммы входного и выходного напряжения).

2.1. Методика и пример проектирования маломощного источника вторичного электропитания

Задание: обеспечить в нагрузке постоянное напряжение $U_n = 22$ В и ток $I_n = 20$ мА с коэффициентом пульсаций после сглаживающего фильтра $p \leq 0,19$; при изменении питающего напряжения $\Delta U_1 = \Delta U = 4$ В (колебания питающего напряжения). Расчет провести на примере МНВЭ с однополупериодным выпрямителем (рис. 2.1).

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

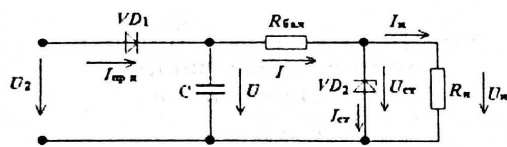


Рис. 2.1. Электрическая принципиальная схема МНВЭ

Из инженерной практики известно, что напряжение $U = (1,5...2)U_n$. Следовательно, можно найти напряжение на входе стабилизатора:

$$U = 2U_n = 2 \cdot 22 = 44 \text{ В.}$$

Так как напряжение подается переменное, то находим $U_{2\min}$ и $U_{2\max}$ по формулам:

$$U_{\min} = U - \Delta U - p\Delta U = 44 - 4 - 0,19 \cdot 4 = 39,24 \text{ В;}$$

$$U_{\max} = U + \Delta U + p\Delta U = 44 + 4 + 0,19 \cdot 4 = 48,76 \text{ В.}$$

Рассчитаем параметрический стабилизатор напряжения (рис. 2.2).

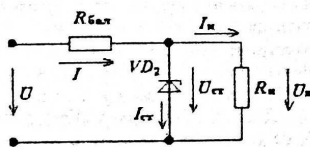


Рис. 2.2. Схема параметрического стабилизатора напряжения

Аналитический расчет балластного сопротивления проводится по формуле (1.2).

Для определения $R_{бэл}$ необходимо знать $I_{ст\min}$, который определяется по формуле

$$I_{ст\min} \leq (10...15)\% I_n;$$

$$I_{ст\min} \leq 0,1 \times 20 \text{ мА} = 2 \text{ мА.}$$

Стабилитроны имеют номиналы токов $I_{ст\min}$: 0,1; 0,25; 0,5; 1; 3; 5; 10 мА, поэтому выбираем $I_{ст\min} = 1 \text{ мА}$.

$$R_{бэл}^{2\text{м}} = \frac{39,24 - 22}{0,001 + 0,02} = 821 \text{ Ом.}$$

Для выбора стабилитрона необходимо знать основные параметры:

- 1) напряжение стабилизации $U_{ст}$;
- 2) максимальный ток стабилизации $I_{ст\max}$;
- 3) минимальный ток стабилизации $I_{ст\min}$.

Из условия задачи определяем напряжение стабилизации:

$$U_{ст} = U_n = 22 \text{ В.}$$

Рассчитаем максимальный ток стабилизации:

$$I_{ст\max} = \frac{U_{\max} - U_n}{R_{бэл}} - I_n = \frac{48,76 - 22}{821} - 0,02 = 0,013 \text{ А.}$$

Предельно допустимый ток выбирается с запасом:

$$I'_{ст\max} \geq 1,3 I_{ст\max}$$

где 1,3 – коэффициент запаса.

$$I'_{ст\max} \geq 1,3 I_{ст\max} \geq 16 \text{ мА.}$$

Выбираем стабилитрон типа 2С522А и выписываем параметры этого стабилитрона:

$$I_{ст\min} = 1 \text{ мА}$$

$$I_{ст\max} = 37 \text{ мА}$$

$$U_{ст\min} = 19,8 \text{ В}$$

$$U_{ст} = 22 \text{ В}$$

$$U_{ст\max} = 24,2 \text{ В}$$

$$R_{диф} = 25 \text{ Ом.}$$

Определяем номинальное значение тока стабилизации $I_{ст}$, которое соответствует $U_{ст}$:

$$I_{ст} = \frac{I_{ст\max} + I_{ст\min}}{2} = \frac{37 + 1}{2} = 19 \text{ мА.}$$

«Проектирование малоомощного источника вторичного электропитания»

2.2. Графический метод расчета стабилизатора

Алгоритм построения и расчета балластного сопротивления.

1. Строим ВАХ стабилизатора (рис. 2.3). Для этого отмечаем характерные для построения точки стабилизатора:

$$A - (U_{ст\ min}; I_{ст\ min});$$

$$B - (U_{ст\ max}; I_{ст\ max}).$$

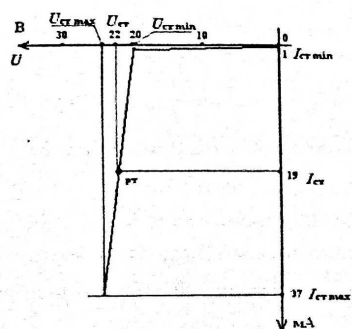


Рис. 2.3. ВАХ стабилизатора

Если используются два стабилизатора или более, то строим суммарную ВАХ.

2. Строим ВАХ R_n . Так как R_n и стабилизатор соединены параллельно, то ВАХ R_n будет иметь вид прямой, проходящей из 0 и точки $(U_n; I_n)$ (рис. 2.4).

3. Строим суммарную ВАХ (стабилизатор + R_n) (рис. 2.5).

4. Строим «опрокинутую» ВАХ $R_{бал}$ по точкам из уравнения

$$U_{min} = U_{ст\ min} + IR_{бал}$$

— первая точка при $I = 0$, т.е. $U = U_{min}$;

— вторая точка A' (см. рис. 2.5).

Проведем прямую через точки U_{min} и точку A' суммарной ВАХ до пересечения с осью тока, получим ток короткого замыкания $I_{кз}$ (см. рис. 2.5).

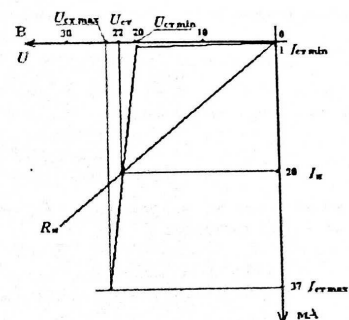


Рис. 2.4. ВАХ стабилизатора и ВАХ R_n

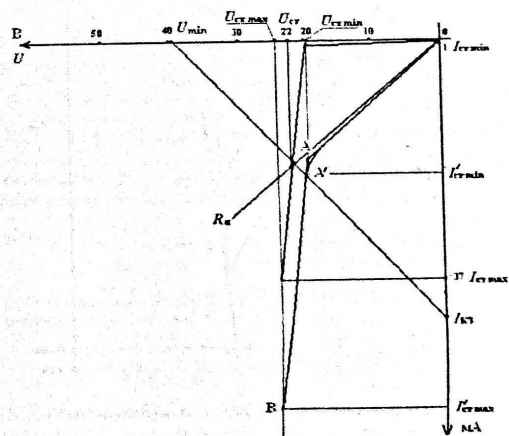


Рис. 2.5. Суммарная ВАХ стабилизатора и R_n

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

Рассчитаем графическое балластное сопротивление:

$$R_{\text{бал}}^{\text{гр}} = \frac{U_{\text{min}}}{I_{\text{кз}}} = \frac{39,24}{0,047} = 835 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем балластное сопротивление:

$$R_{\text{бал}} = \frac{R_{\text{бал}}^{\text{ан}} + R_{\text{бал}}^{\text{гр}}}{2} = \frac{821 + 835}{2} = 828 \text{ Ом.}$$

Рассчитанные аналитическое и графическое $R_{\text{бал}}$ могут не совпасть. Возможны ошибки, связанные:

- 1) с округлениями;
- 2) с неточностями графического метода.

Ошибка не должна превышать 25 %. В нашем случае ошибка составляет 1,7 %.

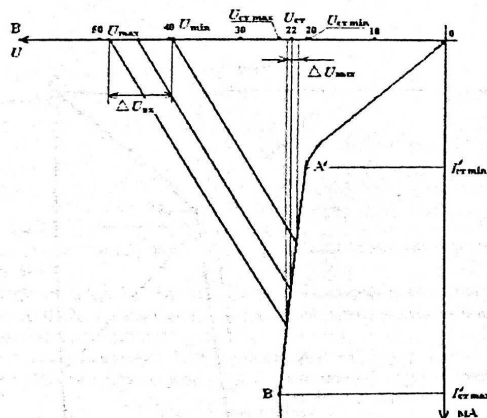


Рис. 2.6. Определение изменение выходного напряжения МНВЭ

При определении номинала сопротивления резистора значение выбирают в меньшую сторону. Из ряда Е-24 (ГОСТ 2825-67) выби-

раем номинал сопротивления 820 Ом тип ОПВ (Электротехника и электроника, 2000. С. 416)

Рассчитаем мощность, рассеивающуюся на резисторе:

$$P = R_{\text{бал}} I^2 = 828 \cdot 0,057^2 = 2,7 \text{ Вт.}$$

Мощность выбирается в соответствии с ГОСТ 24013-80. Выбираем резистор ОПВ-5Вт-820Е.

Рассчитаем коэффициент стабилизации стабилизатора напряжения:

$$K_{\text{ст}} = \frac{U_{\text{ст}} R_{\text{бал}}}{U R_{\text{эф}}} = \frac{22 \cdot 820}{44 \cdot 25} = 16,4.$$

Изменение выходного напряжения определяется из графика (рис. 2.6): $\Delta U_{\text{вых}} = 23 - 21 = 2 \text{ В.}$

2.3. Расчет сглаживающего фильтра

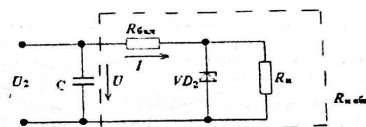


Рис. 2.7. Схема стабилизатора со сглаживающим фильтром

Рассчитаем емкость фильтра $C_{\text{ф}}$ (рис. 2.7) для наихудшего случая. Найдем сопротивление нагрузки для фильтра $R_{\text{н.общ}}$:

$$R_{\text{н.общ}} = \frac{R_{\text{н}} R_{\text{эф}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{эф}}} + R_{\text{бал}} = \frac{25 \cdot 1100}{25 + 1100} + 820 = 844 \text{ Ом.}$$

Зная $R_{\text{н.общ}}$, найдем емкость фильтра по формуле (для однополупериодного выпрямителя)

$$C_{\text{ф}} \geq \frac{1}{2 f_c p R_{\text{н.общ}}} = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 844} = 62 \text{ мкФ.}$$

Конденсатор выбирается по емкости и рабочему напряжению:

$$U_{\text{раб}} \geq (1,3 \dots 2) U = 2 \cdot 44 = 88 \text{ В,}$$

где (1,3...2) — коэффициент запаса.

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

Определив параметры конденсатора, выбираем его тип по справочнику, номинал из ряда Е24 (Электротехника и электроника, 2000. С. 421; Справочник по конденсаторам, 1983).

Так как $C_\phi \geq 62 \text{ мкФ}$ и $U_{\text{об}} \geq 88 \text{ В}$, то по справочнику выбираем конденсатор типа К50-24 с номинальными параметрами $C_\phi = 100 \text{ мкФ}$ и $U_{\text{об}} = 100 \text{ В}$.

2.4. Расчет выпрямителя

Схема МПВЭ представлена на рис. 2.8.

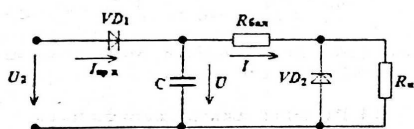


Рис. 2.8. Схема МПВЭ

Для определения необходимого выпрямительного диода нужно рассчитать два основных параметра:

- 1) допустимый прямой постоянный ток $I_{\text{пр макс}}$;
- 2) допустимое обратное максимальное напряжение $U_{\text{обр макс}}$.

Воспользуемся формулами для однополупериодного выпрямителя:

$$I_{\text{пр макс доп}} \geq (1,3 \dots 2) I_{\text{н ср}};$$

$$U_{\text{обр макс доп}} \geq (1,3 \dots 2) 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U,$$

Где $I_{\text{пр макс доп}} = I_{\text{н ср}} = I_{\text{ст макс}}$.

$$I_{\text{ст макс}} = I_{\text{ст макс}} + I_{\text{н}} = 57 \text{ мА}.$$

$$I_{\text{пр макс доп}} \geq 1,3 \cdot 57 = 74 \text{ мА (коэффициент запаса 1,3)};$$

$$U_{\text{обр макс доп}} \geq 2 \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 44 = 248 \text{ В (коэффициент запаса 2)}.$$

По справочнику выбираем выпрямительный диод типа КД102А с параметрами:

$$I_{\text{пр макс доп}} = 100 \text{ мА};$$

$$U_{\text{обр макс доп}} = 250 \text{ В}.$$

В соответствии с заданием (п. 7) составляем спецификацию.

Наименование	Обозначение	Тип	Количество	Примечание
Диод выпрямительный	VD ₁	КД102А	1	
Конденсатор	C	К50-24	1	Напряжение 100 В Емкость 100 мкФ
Резистор	R _{сбл}	ОПВ-5-820Е	1	
Стабилитрон	VD ₂	2С522	1	

В соответствии с заданием (п. 8) чертим электрическую принципиальную схему (рис. 2.9).

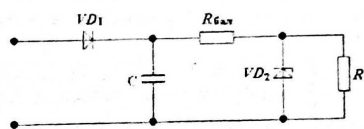


Рис. 2.9. Электрическая принципиальная схема разработанного МПВЭ

В соответствии с заданием (п. 9) собираем схему в программе Electronics Work Bench 5.12. Приборы должны показывать заданные условия значения с минимальной погрешностью.

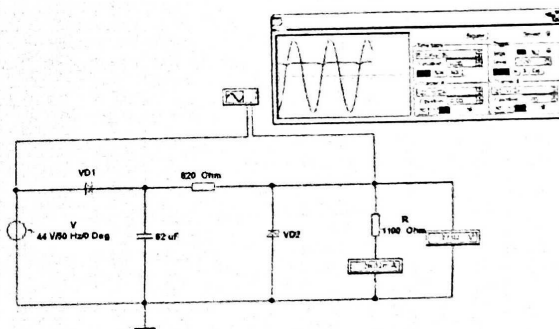


Рис. 2.10. Схема разработанного МПВЭ

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

Библиографический список

Полупроводниковые приборы: Диоды выпрямительные, стабилизаторы, тиристоры: Справ. / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1988. 528 с.

Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций: Учебник для высш. и сред. учеб. заведений. СПб.: КОРОНА принт; М.: Бинном-Пресс, 2006. 416 с.

Справочник по конденсаторам / М.Н. Дьяконов, В.И. Карабанов, В.И. Присняков и др.; Под ред. И.И. Четвертакова и В.Ф. Смирнова. М.: Радио и связь, 1983. 576 с.

Фишер Дж. Э., Гетланд Х.Б. Электроника: от теории к практике. М.: Энергия, 1980. 400 с. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1023).

Электротехника и электроника: Учеб. для вузов: В 3 кн. / Э.В. Кузнецов, О.М. Князьков, О.В. Николаева и др.; Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Энергоатомиздат, 2000. Кн. 3. 432 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Типы стабилизаторов

Таблица П 1

Типы стабилизаторов	Параметры					
	$U_{cт.в}$ В	$U_{cт.н.в}$ В	$U_{cт.м.в}$ В	$I_{cт.н.м.а}$ мА	$I_{cт.м.а}$ мА	$R_{в.в.}$ Ом
КС139А	3,9	3,51	4,29	3	70	60
КС139Г	3,9	3,5	4,3	1	32	150
КС407Б	3,9	3,7	4,1	1	83	23
КС407В	4,7	4,4	5	1	68	19
КС447А	4,7	4,23	5,17	3	190	18
2СМ147Б	4,7	4,1	5,2	3	21	45
2С102А	5,1	4,84	5,36	3	58	17
КС407Г	5,1	4,8	5,4	1	89	17
2С151Г1	5,1	4,8	5,4	1	10	180
2С156А	5,6	5	6,16	3	55	46
2С156Б	5,6	5	6,4	3	18	45
2С156В	5,6	5,3	5,9	1	20	30
КС456А	5,6	5	6,16	3	167	7
2СМ156Б	5,6	5	6,4	3	18	45
КС162А	6,2	5,8	6,6	3	50	35
КС162В	6,2	5,66	6,76	3	22	35
2С162В1	6,2	5,89	6,51	1	34	15
2С162В1	6,2	5,58	6,82	1	34	25
2С111А	6,2	5,66	6,76	3	22	35
2С111Б	6,8	6,24	7,38	3	20	28
КС168А	6,8	6,12	7,48	3	45	28
КС168В	6,8	6,3	7,3	3	20	28
2С168Б	6,8	6	7,5	3	15	15
КС407Д	6,8	6,4	7,2	1	42	4,5
КС170А	7	6,43	7,59	3	20	20
2С170А	7	6,43	7,59	3	20	18
2С111В	7	6,43	7,59	3	20	18
2С112А	7,5	6,82	8,21	3	18	16
КС175А	7,5	6,82	8,21	3	18	16
КС175Ж	7,5	7,1	7,9	0,5	17	40
2С175А	7,5	6,82	8,21	3	18	16
2С175Ж	7,5	7,1	7,9	0,5	20	20
Д814А	8	7	8,5	3	40	15
2С180А	8	7	8,5	3	15	8
Д808	8	7	8,5	3	33	12
2С112Б	8,2	7,5	8,95	3	17	14
КС182А	8,2	7,6	8,8	3	17	14
КС182Ж	8,2	7,4	9	0,5	15	40

«Проектирование маломощного источника вторичного электропитания»

Окончание табл. П.1

Типы стабилизаторов	Параметры						$R_{\text{вых. Ом}}$	$P_{\text{max. мВт}}$
	$U_{\text{н. В}}$	$U_{\text{ст. мин. В}}$	$U_{\text{ст. макс. В}}$	$I_{\text{ст. мин. мА}}$	$I_{\text{ст. макс. мА}}$			
Д809	9	8	9,5	3	29	10	280	
Д814Б	9	8,5	10	3	36	10	340	
2С190А	9	8	9,5	3	13	12	125	
Д810	10	9	10,5	3	26	25	280	
Д814В	10	9	10,5	3	32	12	340	
КС210Ж	10	9	11	0,5	15	40	125	
2С510А	10	9	11	1	79	25	1000	
Д811	11	10	12	3	23	15	280	
КС211Ж	11	10,4	11,6	0,5	14	40	125	
Д814Г	11	10	12	3	29	15	340	
2С516Б	11	10	12	3	29	15	340	
КС508А	12	11,4	12,7	0,25	23	11,5	500	
КС212Ж	12	10,8	13,2	0,5	11	40	125	
2С212В	12	11,4	12,6	0,5	12	24	150	
2С212Ж	12	11,4	12,6	0,5	13	40	150	
КС512А	12	10,8	13,2	1	67	25	1000	
Д813	13	11,5	14	3	20	18	280	
Д814Д	13	11,5	14	3	24	18	340	
КС213Ж	13	12,2	13,7	0,5	10	40	150	
2С213Ж	13	12,3	13,7	0,5	12	40	150	
2С213Б	13	11,9	14,2	3	10	25	150	
КС508Б	15	15,6	16	0,25	18	16	500	
2С515А	15	13,5	16,5	1	53	25	1000	
КС509А	15	13,8	15,6	0,5	42	15	1300	
КС508Г	18	16,8	19,1	0,25	15	21	500	
2С518А	18	16,2	19,8	1	45	25	1000	
КС509Б	18	16,8	19,1	0,5	35	20	1300	
КС509В	20	18,8	21,2	0,5	31	24	1300	
2С220Ж	20	19	21	0,5	7,5	40	100	
КС520В	20	19	21	3	22	120	500	
2С522А	22	19,8	24,2	1	37	25	1000	
КС522А	22	19,8	24,2	1	37	25	1000	
Д816А	22	19,6	24,2	10	230	7	5000	
2С224Ж	24	22,8	25,2	0,5	6,3	70	150	
КС508Д	24	22,8	25,2	0,25	11	33	500	
2С524А	24	22,8	25,2	1	33	30	1000	
2С527А	27	24,3	29,7	1	30	40	1000	
КС527А	27	24,3	29,7	1	30	40	1000	
Д816Б	27	24,2	29,5	10	180	8	5000	
2С530А	30	28,5	31,5	1	27	45	1000	
КС533А	33	30	36	3	17	40	640	
Д816В	33	29,5	36	10	150	10	5000	
2С533А	33	30	36	3	17	40	640	

Приложение 2. Типы конденсаторов общего назначения

Таблица П.2

Тип	Емкость С, мкФ	Напряжение $U_{\text{н. В}}$	Тип	Емкость С, мкФ	Напряжение $U_{\text{н. В}}$
К 50-3А	2, 5, 10	12	К 50-29	47, 100, 220, 470	6,3
	2, 5	25		100, 220, 470	16
	1	50		10, 22, 47, 100, 220	25
	1, 2	100		4,7, 10, 22, 47, 100	63
К 50-3Б	20, 50	6	К 50-31	2,2, 4,7, 10, 22, 47	100
	10, 20	12		1, 2, 2, 4,7, 10	160
	5, 10	25		47, 100, 220, 470, 1000	6,3
	2, 10	50		22, 47, 100, 220, 470	16
К 50-12	1, 2, 5	100	К 50-9	10, 22, 47, 100, 220	25
	2	160		10, 22, 47, 100, 220	40
	10, 20, 50, 100, 200	6,3		4,7, 10, 22, 47, 100	63
	5, 20, 50, 100	12		2,2, 4,7, 10, 22	100
К 50-20	2, 5, 10, 20, 50	25	К 50-15	1, 2, 2, 4,7, 10	160
	1, 2	50		4,7	300
	1, 2, 5, 10	100		0,5, 1, 2, 5, 10, 20	3
	1, 5	160		0,5, 1, 5, 10, 20	6
К 50-28	20, 50, 100, 200	6,3	К 50-6	68, 150, 220, 330, 680	6,3
	10, 20, 50, 100	16		47, 100, 220, 470, 680	16
	5, 10, 20, 50	25		33, 47, 100, 220, 330	25
	5, 10, 20	50		10, 22, 47, 100	50
К 50-24	5, 10	100	К 50-28	4,7, 15, 33, 47	100
	2, 5	160		4,7, 10, 22, 33	160
	2, 5	160		2,2, 4,7, 10, 22	250
	2, 5, 1000, 2000	16		47	250
К 50-24	2, 500, 1000, 2000	25	К 50-28	4,7, 10, 22, 33, 47	300
	1, 2, 2000	50		10, 22	450
	1, 100, 200	100		50, 100, 200, 500	6,3
	220, 470, 1000, 2200, 4700, 10000	6,3		10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000	10
К 50-24	47, 100, 470, 1000, 2200, 4700, 10000	16	К 50-28	1, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 500, 1000	16
	22, 47, 100, 220, 470, 1000, 2200, 4700, 10000	25		1, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500	25
	100, 150, 330, 1000, 2200	40		1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200	50
	10, 22, 47, 100, 220, 470, 1000, 2200	63		1, 2, 5, 10, 20	100

«Проектирование малоомощного источника вторичного электропитания»

Окончание табл. П 2

Тип	Емкость С, мкФ	Напря- жение $U_{раб.}$, В	Тип	Емкость С, мкФ	Напря- жение $U_{раб.}$, В
	4,7; 10; 22; 47; 100; 220	100		1; 2; 5; 10; 20	160
	2,2; 4,7; 10; 22; 47; 100, 220	160	K50-16	20; 30; 50; 100; 200; 500	6,3
K 50-27	2200; 4700	6,3		10; 20; 30; 50; 100	10
	1000; 2200	16		100; 200; 500; 1000	16
	470; 1000; 2200	25		100; 200; 500; 1000	25
	220; 470; 1000	63		30; 50; 100; 200; 500	50
	100	100		0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30	100
	22; 47	160		1; 2; 5; 10	160
	4,7; 10; 22; 47	300		5000	16
	2,2; 4,7; 10; 22	350		2000; 5000; 10000	25
	2,2; 4,7; 10; 22	450		1000; 2000	50
50-6	2000; 4000	10	K 50-12	2000; 5000	6,3
	2000; 4000	16		2000	12
	1000; 2000; 4000	25		1000; 2000; 5000	25
	500; 1000; 2000	50		100; 200	160
K 50-7	100; 200; 500	160	K 50-20	50; 100; 200	160
	50; 100; 200	250		50	250
	50; 100; 200	300		30; 50	300
	50; 100	350		20	350
	20; 50; 100	450		10; 20	450
K 50-22	2200; 4700; 6800; 10000; 15000; 22000	6,3	K 50-28	100; 150; 220	250
	1500; 3300; 4700; 6800; 10000; 15000	10		100; 150; 220	300
	1000; 2200; 3300; 4700; 6800; 10000	16		47	450
	680; 1500; 2200; 3300; 4700; 6800	25	K 50-32	1000	16
	220; 470; 680; 1000; 1500; 2200	50		100; 220; 330; 470; 1000; 2200	250
	100; 150; 220; 330; 470; 680	100		47; 100; 220; 1000; 3300; 4700	350
	47; 68; 100; 150; 220; 330; 470	160		47; 100; 220; 330; 470	450
K 50-27	220; 470	250		2200; 3300; 4700	160
	100; 220	350			
	100; 220	450			

Приложение 3. Типы выпрямительных диодов

Таблица П 3

Тип диода	Предельные параметры		
	Ток прямой посто- янный, мА	Постоянное обрат- ное напряжение, В	Средняя рассеива- емая мощность, мВт
Д2Б	16	10	16
Д2В	25	30	25
Д2Г, Д2Д	16	50	16
Д2Е, Д2И	16	100	16
Д2Ж	8	150	8
МДЗ, ДММЗ	12	15	
Д7А	300	50	
Д7Б	300	100	
Д7В	300	150	
Д7Г	300	200	
Д7Д	300	300	
Д7Е	300	350	
Д7Ж	300	400	
Д9Б	40	10	
Д9В	20	30	
Д9Г, Д9Д, Д9И, Д9К, Д9М	30	30	
Д9Е	20	50	
Д9Ж, Д9Л	15	100	
Д10, Д10А, Д10Б	16	10	
Д101, Д101А	30	75	
Д102, Д102А	30	50	
Д103, Д103А	30	30	
Д104, Д104А	30	100	
Д105, Д105А	30	75	
Д106, Д106А	30	50	
Д206	100	100	
Д207	100	200	
Д208	100	300	
Д209	100	400	
Д210	100	500	
Д211	100	600	
Д223	50	50	
Д223А	50	100	
Д223Б	50	150	

«Проектирование мало мощного источника вторичного электропитания»

Окончание табл. П.3

Тип диода	Предельные параметры		
	Ток прямой постоянный, мА	Постоянное обратное напряжение, В	Средняя рассеиваемая мощность, мВт
МД226	300	400	—
Д226	300	400	—
Д226А	300	300	—
Д226Е	300	200	—
Д229А	400	200	—
2Д102А, КД102А	100	250	—
2Д102Б, КД102Б	100	300	—
КД104А	10	300	—
КД105Б	300	400	—
КД106А	300	100	750
ГД107А	20	15	—
ГД107Б	20	20	—
2Д108А	100	800	150
КД109А	300	100	—
КД109Б	300	300	—
АД110А	10	30	—
АД112А	300	50	—
ГД113А	15	115	—
2Д115А	30	100	—
КД116А-1	25	100	24
КД116Б-1	100	50	7,5
2Д118А-1	300	200	—
2Д120А	300	100	—
КД221А	700	100	—
КД221Б	500	200	—
Тип диодного моста	Ток прямой постоянный одного диода, мА	Постоянное обратное напряжение, В	Средняя рассеиваемая мощность, мВт
КП401А	400	500	—
КП401Г	500	500	—
КП407А	500	400	—
КДС413-415	10	20	16
КДС523БМ	20	50	—
КДС526А	20	15	50

Приложение 4. Задание

Схема выпрямителя выдается преподавателем – однополупериодный, мостовой.

Таблица П.4

Вариант	$U_{ср}$, В	ΔU , В	ρ	$I_{ср}$, мА
1	13	1,3	0,14	10
2	10	1	0,12	5
3	8	0,8	0,01	20
4	15	1,5	0,015	32
5	10	1	0,1	30
6	20	1,5	0,1	10
7	18	2	0,01	12
8	20	1,5	0,05	10
9	22	2	0,06	15
10	24	2	0,05	30
11	33	4	0,07	30
12	27	3	0,06	40
13	5,6	0,5	0,03	10
14	5,1	1	0,04	40
15	6,8	0,7	0,02	20
16	7	1	0,04	32
17	7,5	1	0,09	30
18	4,7	2	0,2	15
19	6,2	1	0,08	30
20	9	2	0,06	32
21	3,9	0,4	0,1	25
22	8,2	3	0,02	5
23	11	1	0,04	15
24	12	1	0,12	14
25	12	1,5	0,14	6