

УДК 621.314

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И СГЛАЖИВАЮЩИХ
ФИЛЬТРОВ В ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ**

Рудаков И.О., студент гр. ЭРБ-241, II курс
Научный руководитель: Черникова Т.М., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева,
г. Кемерово

Надёжность функционирования современных электронных аппаратов во многом определяется стабильностью напряжения питания. В большинстве электрических сетей энергетическая передача происходит в виде переменного тока, но значительная часть электронных систем требует питания постоянным напряжением. В результате возникает необходимость преобразования переменного напряжения в постоянное.

В направлении решения этой задачи применяются выпрямители, преобразующие переменное напряжения в пульсирующее, и сглаживающие фильтры, предназначенные для снижения уровня пульсаций. Такие устройства зачастую используются в источниках вторичного электропитания, используемых в радиоэлектронике, вычислительной технике и системах промышленной автоматизации [1].

Целью данной работы является анализ принципов функционирования выпрямительных схем и методов сглаживания пульсаций выходного напряжения.

Выпрямительное устройство представляет собой электрическую схему, предназначенную для преобразования переменного тока в постоянный. В современных схемах выпрямления в качестве основных элементов используются полупроводниковые диоды (рис. 1), обладающие свойством проводить электрический ток преимущественно в одном направлении [2].

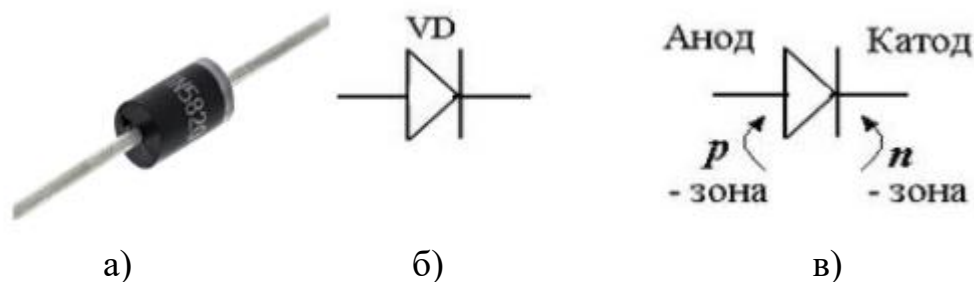


Рис. 1 Внешний вид (а), графическое обозначение (б), схема диода (в)

Одним из наиболее простых вариантов является однополупериодная схема выпрямления (рис. 2). В такой схеме используется один диод, который пропускает ток только в течение положительной полуволны входного напряжения. В момент отрицательной полуволны диод закрывается, и ток через нагрузку не протекает. В результате на выходе формируется напряжение постоянной полярности, имеющее выраженный пульсирующий характер [3].

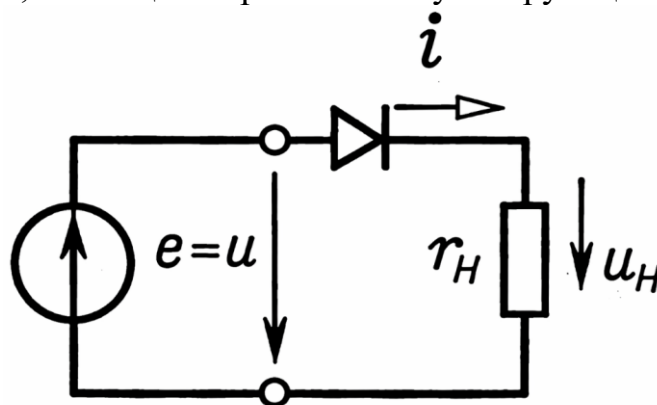


Рис. 2. Однополупериодная схема выпрямления

Среднее значение выходного напряжения для однополупериодной схемы:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_m}{\pi}$$

Коэффициент пульсаций (1-й гармоники):

$$q = \frac{U_{\text{пульс}}}{U_{\text{ср}}} \approx 1,21$$

Основным недостатком однополупериодного выпрямителя является значительный уровень пульсаций выходного напряжения (рис. 3) и недостаточно эффективное использование входной энергии. Для повышения эффективности преобразования используются двухполупериодные схемы выпрямления [4].

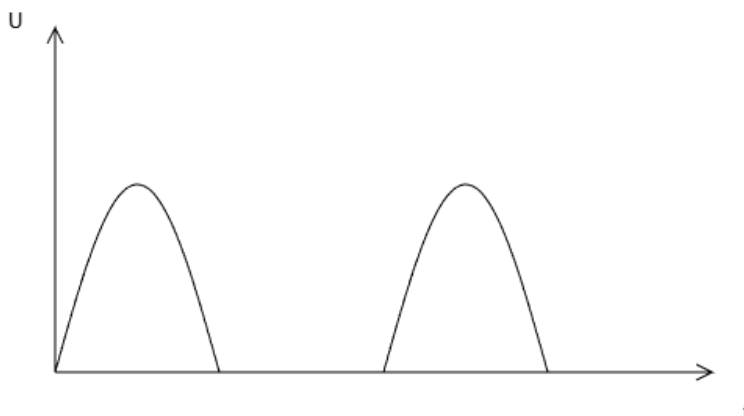


Рис. 3. График пульсации напряжения однополупериодного выпрямителя

Наибольшее распространение получила мостовая схема на четырех диодах (рис. 4). Ее особенность заключается в том, что ток через нагрузку проходит в одном направлении на протяжении обоих полупериодов сетевого напряжения. Благодаря этому частота пульсаций увеличивается, а их амплитуда уменьшается [1].

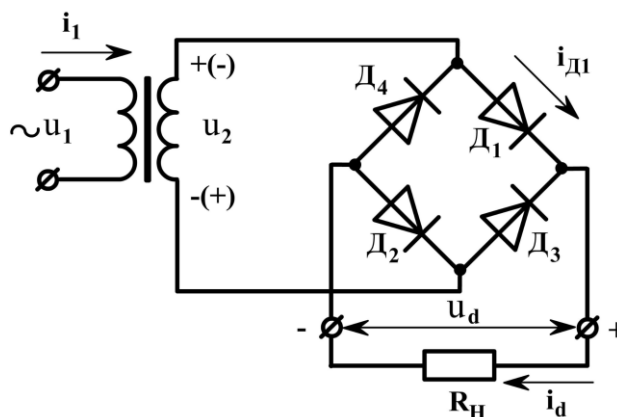


Рис. 4. Мостовая схема на четырех диодах

Среднее значение выходного напряжения для двухполупериодной схемы:

$$U_{\text{ср}} = \frac{2U_m}{\pi}.$$

Частота пульсаций:

$$f_{\text{пульс}} = 2f_{\text{сети}} \text{ (при } 50\text{Гц} \rightarrow 100\text{Гц)}.$$

Коэффициент пульсаций: $q \approx 0,48$ – значительно меньше, чем у однополупериодной.

Несмотря на повышение эффективности выпрямления, выходное напряжение после диодного выпрямителя всё ещё содержит пульсации (рис. 5). Наличие таких пульсаций может негативно отражаться на работе чувствительных электронных схем, поэтому в источниках питания применяются сглаживающие фильтры [1].

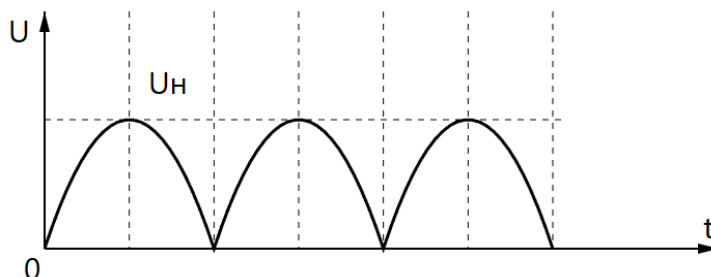


Рис. 5. График пульсации напряжения мостового выпрямителя

Коэффициент пульсаций на выходе фильтра:

$$K_p = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{cp}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент сглаживания:

$$S = \frac{K_{p\text{ вх}}}{K_{p\text{ вых}}}.$$

Одним из наиболее распространенных типов является ёмкостный фильтр. Он представляет собой электролитический конденсатор, подключенный параллельно нагрузке. При увеличении входного напряжения конденсатор заряжается до максимального значения, а при его уменьшении постепенно разряжается через нагрузку, поддерживая напряжение на относительно стабильном уровне (рис. 6).

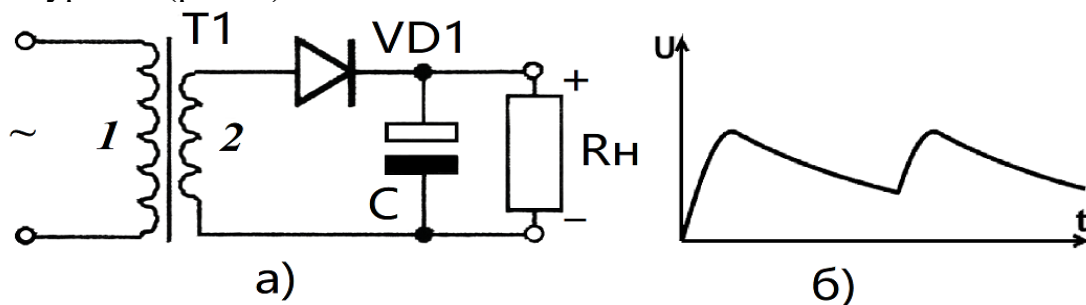


Рис. 6. Схема однополупериодного выпрямителя со сглаживающим С-фильтром (а), график выходного напряжения со сглаживающим С-фильтром (б)

Ёмкость конденсатора выбирается из условия допустимой пульсации:

$$C = \frac{I_H}{2f \cdot \Delta U},$$

где: I_H – ток нагрузки; f – частота пульсаций; ΔU – допустимое падение напряжения между пиками.

Приближённая оценка коэффициента сглаживания:

$$S = \frac{1}{2fRC}.$$

Кроме ёмкостных фильтров, применяются также индуктивные и комбинированные LC -фильтры (рис. 7). Индуктивный фильтр содержит дроссель, включенный последовательно с нагрузкой, что позволяет сглаживать изменения тока в цепи. LC -фильтры обеспечивают более эффективное подавление пульсаций благодаря совместному воздействию индуктивности и ёмкости [5].

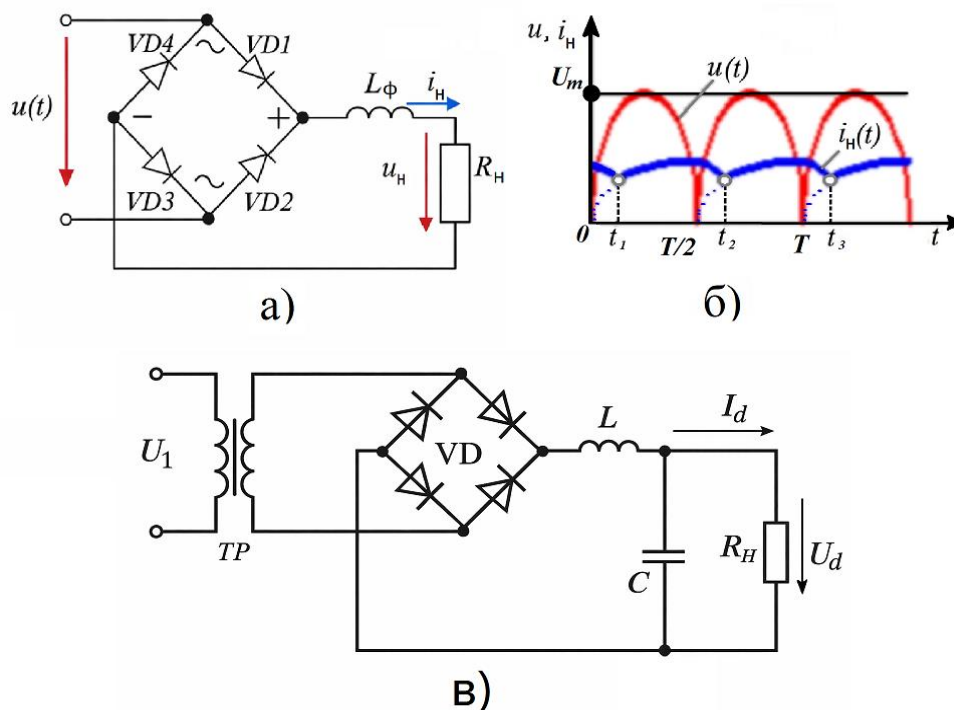


Рис. 7. Схема диодного моста со сглаживающим L -фильтром (а), график выходного напряжения со сглаживающим L -фильтром (б), схема диодного моста с комбинированным сглаживающим LC -фильтром (в)

Коэффициент сглаживания для LC -фильтра:

$$S_{LC} \approx \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot L \cdot C}.$$

Частота среза фильтра:

$$f_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Эффективное подавление пульсаций достигается при $f_{\text{пульс}} \gg f_{\text{ср}}$

Таким образом, применение выпрямительных схем совместно со сглаживающими фильтрами позволяет получать стабилизированное постоянное напряжение, необходимое для питания современной электронной аппаратуры [1,3].

Список литературы:

1. Букреев, С.С. Источники вторичного электропитания. / С.С. Букреев, В.А. Головацкий, Г.Н. Гулякович // М.: Радио и связь, 1983.—142 с. —URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=files/2021/10/11/Istochniki-vtorichnogo-elektropitanija-Spravocnoe.pdf> (дата обращения 17.03.2026г.)
2. Готра, З. Ю. Технология микроэлектронных устройств./ З. Ю. Готра // М.: Радио и связь, 1991. – 528 с. – URL : <https://djvu.online/file/W65PGmQs7mGBH?ysclid=mmuup7g6ls74248299> (дата обращения 17.03.2026г.)
3. Касаткин, А.С. Электротехника / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Академия, 2008.—544 с.
4. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей. // Г.И. Атабеков.— СПб: Лань, 2024.— 424 с.
5. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника. / В.И. Мелешин // М: Техносфера, 2005. – 632с.— URL: <https://djvu.online/file/J30k2kdKSN9o1?ysclid=mmuuptub7z99859925> (дата обращения 17.03.2026г.)