

Вторичные источники питания

Вопросы лекции:

1. Структурная схема полупроводникового выпрямителя
2. Схемы и основные соотношения однофазных и трехфазных выпрямителей

1. Структурная схема полупроводникового выпрямителя

Полупроводниковые выпрямители — это вентильные полупроводниковые преобразователи электроэнергии, осуществляющие выпрямление переменного тока. Их еще называют вторичными источниками питания.

Необходимость этих преобразователей вызвана тем, что в системах электроснабжения с первичным источником переменного тока для некоторых потребителей требуется постоянный ток.

Полупроводниковый выпрямитель состоит из следующих основных узлов (рис. 1):

- 1) трансформатора Т;
- 2) блока вентильных элементов В;
- 3) выходного электрического фильтра Ф;
- 4) системы управления тиристорами СУ, регулятора тока РТ, регулятора напряжения РН.

Трансформатор служит для обеспечения требуемого номинала выходного напряжения, а также для гальванической развязки входной и выходной цепей.

Применяются однофазные (в выпрямителях малой мощности) и трехфазные трансформаторы (в выпрямителях средней и большой мощностей).

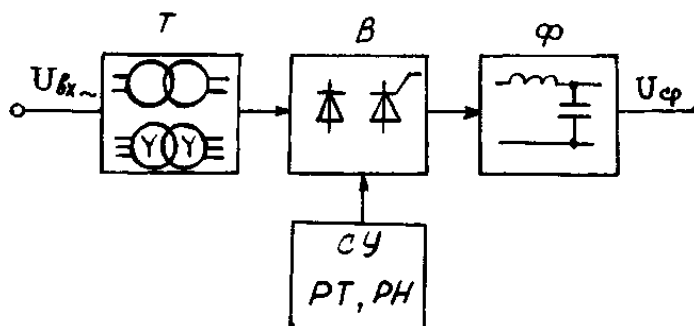


Рисунок 1. Структурная схема выпрямителя

Блок вентильных элементов осуществляет непосредственное преобразование переменного тока в постоянный.

В неуправляемых выпрямителях он выполняется на полупроводниковых диодах. В управляемых выпрямителях – на тиристорах.

Электрический фильтр служит для сглаживания пульсаций выходного напряжения. Он состоит из реактивных элементов (конденсаторов и индуктивностей), соединенных по различным схемам таким образом, чтобы с малым ослаблением пропускать постоянную составляющую и значительно ослабить переменную составляющую выпрямленного напряжения.

В управляемых выпрямителях применяются система управления тиристорами, регулятор тока или регулятор напряжения.

Рассмотрим однофазные, трехфазные и многофазные схемы неуправляемых диодных выпрямителей, у которых отсутствуют управляющие или регулирующие элементы.

В данной лекции используются дидактические материалы (цветные слайды), поясняющие работу и характеристики выпрямителей.

2. Схемы и основные соотношения в однофазных и трехфазных выпрямителях

2.1. Однофазный однополупериодный выпрямитель

Самой простой является схема преобразования выпрямителя с одним полупроводниковым диодом (рис. 2).

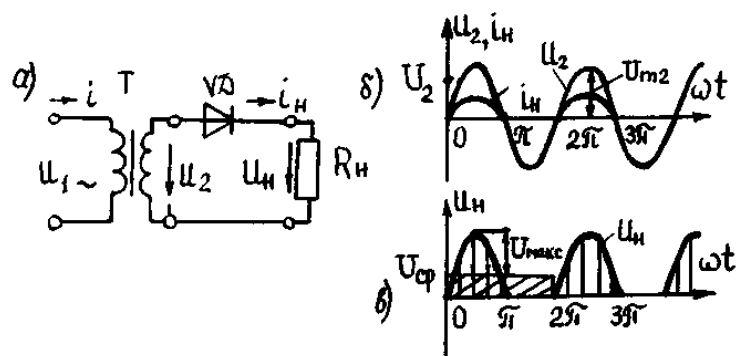


Рисунок 2. Однофазный однополупериодный выпрямитель:

а – схема; б – диаграмма напряжения на выходе трансформатора;

в – диаграмма выпрямленного напряжения u_H на нагрузке

На первичную обмотку трансформатора Т от сети подается синусоидальное напряжение. Во вторичную обмотку трансформатора будет также трансформироваться синусоидальное напряжение (рис. 2,б)

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t ,$$

где u_2 – мгновенное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора;

$$U_2 = \frac{U_{m2}}{\sqrt{2}} \text{ – действующее значение.}$$

В моменты, соответствующие $0 < \omega t < \pi$; $2\pi < \omega t < 3\pi$;..., к аноду диода VD прикладывается положительное напряжение относительно катода и диод находится в проводящем состоянии. В результате напряжение u_2 оказывается приложенным к нагрузочному резистору R_H , через который будет протекать ток нагрузки i_H (рис. 2,б).

При чисто активной нагрузке ток и напряжение совпадают по фазе. Следовательно, на резисторе R_H будет пульсирующее напряжение u_H только одной полярности (рис. 2,в). При этом не учитывается малый обратный ток диода (рассматривается идеальный диод) в моменты времени, когда к диоду приложено обратное напряжение u_2 отрицательной полярности.

Рассмотрим основные параметры, характеризующие технико-экономические показатели диодных схем выпрямления.

Постоянная составляющая выпрямленного напряжения или его среднее значение

$$u_{cp.} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,45 U_2 .$$

Среднее значение выпрямленного напряжения может быть представлено высотой прямоугольника (косая штриховка) с основанием, равным периоду 2π , и площадью, равной площади, ограниченной полуволной выпрямленного напряжения u_n (прямая штриховка на рис. 2,в).

В схеме выпрямления с одним диодом используется только положительный полупериод вторичного напряжения трансформатора, то есть число импульсов тока в нагрузке за период изменения напряжения u_2 равно одному.

Поэтому коэффициент использования напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{\text{ср}}/U_2 = 0,45$ в данной схеме невысокий.

Важными параметрами, характеризующими схемы выпрямления, являются пульсация напряжения и коэффициент пульсаций.

Пульсация напряжения – это процесс периодического или случайного изменения напряжения постоянного тока относительно среднего уровня в установившемся режиме.

Коэффициент пульсаций $\kappa_{\text{п}}$ – это величина, равная отношению наибольшего мгновенного значения переменной составляющей пульсирующего напряжения $U_{\text{макс}}$ (рис. 2,в) к его номинальному значению, т.е. к $U_{\text{ср}}$.

Коэффициент для рассмотренной схемы

$$\kappa_{\text{п}} = U_{\text{макс}}/U_{\text{ср}} = 1,57$$

имеет сравнительно большое значение.

Из принципа действия схемы выпрямления с одним диодом следует, что во вторичной обмотке трансформатора вследствие односторонней проводимости диода будет протекать однонаправленный пульсирующий ток i_n (рис. 2,в), содержащий постоянную подмагничивающую составляющую, увеличивающую степень насыщения трансформатора. В результате возникает необходимость в завышении расчетной мощности, массы и габаритов трансформатора.

На практике схема однофазного однополупериодного выпрямления из-за низких технико-экономических показателей широкого применения не получила.

2.2. Однофазный мостовой выпрямитель

Однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления (рис. 3,а) состоит из четырех диодов, собранных в виде моста. В одну диагональ 1-2 моста подается напряжение со вторичной обмотки трансформатора, а в

другую диагональ 3-4 включена нагрузка. Такое включение диодов позволяет использовать оба полупериода синусоидального напряжения трансформатора.

В первую половину периода два диода $VD1$ и $VD4$, в противоположных плечах моста, проводят ток i_{12} , а другие два диода $VD2$ и $VD3$ заперты. Вторую половину периода два других диода $VD3$ и $VD2$ проводят ток i_{21} , первые два диода $VD1$ $VD4$ заперты.

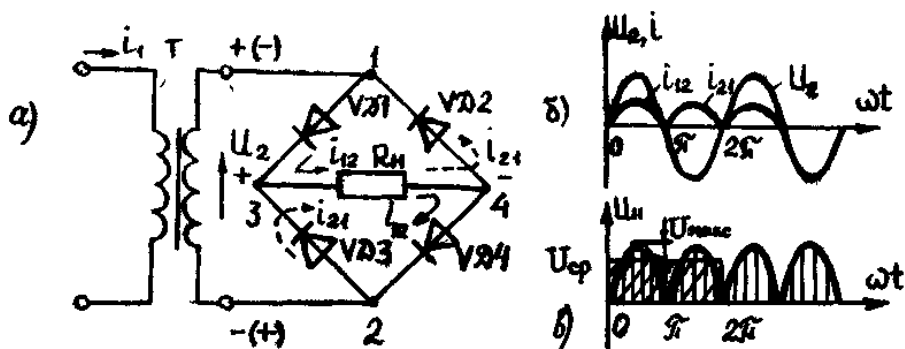


Рисунок 3. Однофазный мостовой выпрямитель:

а – схема; б, в – временные диаграммы

Таким образом, на катодной группе диодов будет всегда положительный потенциал “+”, а на анодной – отрицательный “-”. Временные диаграммы, поясняющие работу мостовой схемы, приведены на рис. 3,б,в.

Среднее значение выпрямленного напряжения (рис. 3,в)

$$U_{\text{cp}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9 U_2$$

увеличивается в два раза по сравнению с однополупериодной схемой выпрямления. Коэффициент использования напряжения вторичной обмотки трансформатора $U_{\text{cp}}/U_2 = 0,9$ также удваивается.

Коэффициент пульсаций $K_{\text{п}} = U_{\text{макс}}/U_{\text{cp}} = 0,67$, определенный графически (рис. 3,в), почти в два раза меньше, чем в однополупериодной схеме.

Частота пульсаций импульсов тока в нагрузке в два раза выше частоты питающей сети.

Мостовая однофазная схема находит широкое применение в выпрямителях мощностью до 1 кВт систем электроснабжения, а также в качестве оперативных источников питания постоянным током элементов автоматики.

2.3. Трехфазный мостовой выпрямитель

Трехфазная двухполупериодная схема выпрямления (рис. 4,а) была предложена А.Н.Ларионовым (1923 г.). В этой схеме к каждому началу (a , b или c) вторичной обмотки трансформатора подключены два диода: один анодом, другой катодом. Катоды четной группы диодов ($VD2$, $VD4$, $VD6$) объединяются в один узел, на котором имеет место положительный потенциал “+”. Аноды нечетной группы диодов ($VD1$, $VD3$, $VD5$) образуют узел с отрицательным потенциалом “-”. Между этими узлами подключена нагрузка (R_H).

Подключение двух диодов в каждой фазе обеспечивает использование при выпрямлении положительного и отрицательного полупериодов напряжения вторичной обмотки трансформатора, то есть двухполупериодное выпрямление.

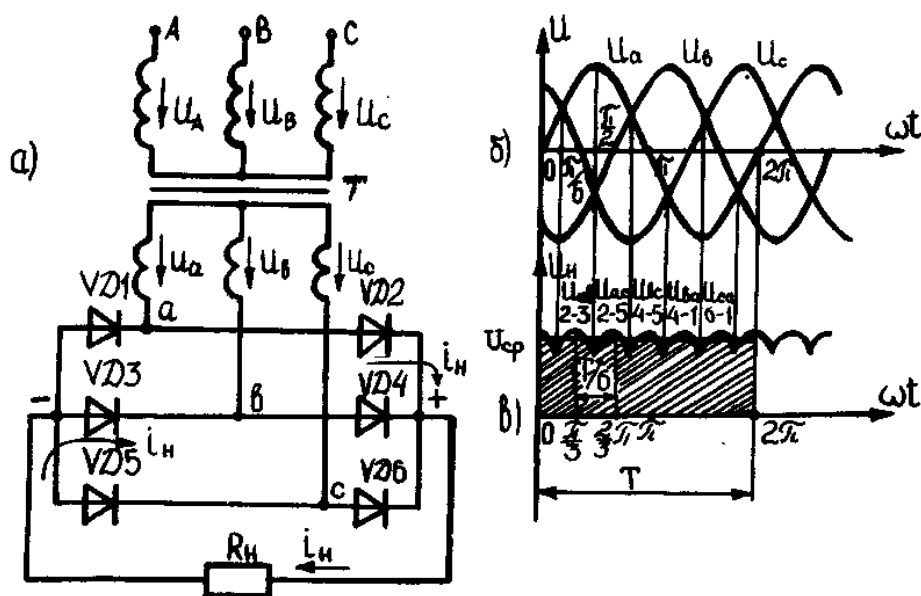


Рисунок 4. Трехфазный мостовой выпрямитель:

а – схема; б, в – временные диаграммы

При наличии трехфазного напряжения на вторичной обмотке трансформатора (рис. 4,б) в каждый данный момент времени к сопротивлению нагрузки R_H прикладывается линейное напряжение трехфазного трансформатора через два открытых диода (один из них в четной группе, другой – в нечетной). При этом ток проводит тот диод четной группы, к аноду которого

приложен наибольший положительный потенциал, а из нечетной группы – к катоду которого приложен наибольший отрицательный потенциал.

Прикладываемое к нагрузке линейное напряжение и номера открытых диодов в этот момент времени показаны на диаграмме рис. 4,в.

Например, на отрезке $\pi/6 < \omega t < \pi/2$ приложено к нагрузке линейное напряжение $u_{ав}$ и пропускают ток диоды $VD2$ и $VD3$.

Среднее значение выпрямленного напряжения (рис.2.3,в) определяется путем интегрирования линейного напряжения $u_n = \sqrt{3}\sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ на вторичной обмотке трансформатора для интервала повторяемости выпрямленного напряжения, равного $\pi/3$:

$$U_{\text{ср}} = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sqrt{6}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 = 2,34U_2$$

Коэффициент использования напряжения вторичной обмотки трансформатора существенно повышаются, а коэффициент пульсаций значительно уменьшается:

$$U_{\text{ср}}/U_2 = 2,34 \quad \text{и} \quad K_{\text{п}} = U_{\text{макс}}/U_{\text{ср}} = 0,057$$

Частота пульсаций также повышается $f_{\text{п}} = 6f_{\text{с}}$, что облегчает сглаживание пульсаций.

Трехфазный мостовой выпрямитель находит широкое применение в системах электроснабжения и системах самовозбуждения синхронных генераторов.

2.4 Многомостовой шестифазный выпрямитель

Многомостовая схема шестифазного выпрямителя (рис. 5,а) применяется для уменьшения коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения. Она состоит из двух трехфазных мостовых схем, выходы которых включены параллельно нагрузке. Первый трансформатор $T1$ включен по схеме “звезда/звезда”, второй – “звезда/треугольник”. При этом векторная диаграмма линейных напряжений вторичной обмотки второго трансформатора по отношению первого трансформатора $T1$ сдвинуты на угол, равный

