

4. Нерегулируемые (неуправляемые) выпрямители

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное. Основное назначение выпрямителя заключается в сохранении направления тока в нагрузке при изменении полярности приложенного напряжения. Выпрямитель можно рассматривать как один из типов инверторов напряжения. Обобщенная структурная схема нерегулируемого выпрямителя приведена на рис. 4.1.

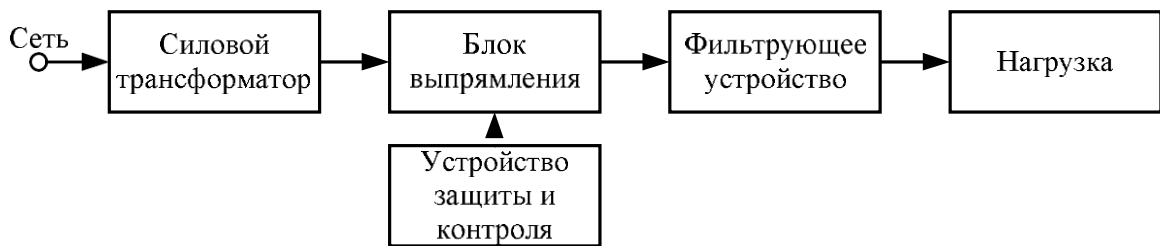


Рисунок 4.1. Структурная схема нерегулируемого (неуправляемого) выпрямителя

В состав выпрямителя могут входить: силовой трансформатор, блок выпрямления и фильтрующее устройство.

Силовой трансформатор выполняет следующие функции: преобразует значение напряжения сети, обеспечивает гальваническую изоляцию нагрузки от силовой сети, преобразует количество фаз силовой сети. В импульсных источниках питания функции трансформатора обычно выполняет высокочастотный инвертор.

Блок выпрямления является основным звеном выпрямителя, обеспечивая однонаправленное протекание тока в нагрузке. В качестве вентилях могут использоваться электровакуумные, газоразрядные или полупроводниковые приборы, обладающие односторонней электропроводностью (диоды, тиристоры, транзисторы и др.). Идеальные вентиляльные элементы должны пропускать ток только в одном (прямом) направлении. Реальные вентиляльные элементы отличаются от идеальных тем, что они пропускают некоторый ток в обратном направлении и имеют падение напряжения при протекании прямого тока. Это сказывается на снижении КПД вентиляльного блока и снижении эффективности выпрямителя в целом.

Фильтрующее устройство используется для ослабления пульсаций выходного напряжения. В качестве фильтрующего устройства обычно используются ФНЧ, выполненные на пассивных RLC -элементах или с применением активных элементов (транзисторов, операционных усилителей и пр.). Качество фильтрующего устройства оценивают по его способности увеличивать коэффициент фильтрации $k_{\text{ф}}$, равный отношению коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра

$$k_{\text{ф}} = \frac{k_{\text{п.вх}}}{k_{\text{п.вых}}}.$$

Кроме основных узлов, в состав выпрямителя могут входить различные

вспомогательные элементы и узлы, предназначенные для повышения его надежности: узлы контроля и автоматики, узлы защиты и др., например, узлы автоматического переключения напряжения питающей сети 110...220 В.

Нерегулируемые выпрямители используются:

- для питания электронных устройств не критичных к колебаниям питающего напряжения и уровню пульсаций;
- как функциональные силовые узлы стабилизированных источников питания, в том числе достаточно сложных и дорогих.

Для классификации выпрямителей используют различные признаки: количество выпрямленных полуволн (полупериодов) напряжения, число фаз силовой сети, схему блока выпрямления, тип сглаживающего фильтра, наличие трансформатора и др.

По количеству выпрямленных полуволн различают однополупериодные и двухполупериодные выпрямители.

По числу фаз питающего напряжения различают однофазные, двухфазные, трехфазные и шестифазные выпрямители. При этом под числом фаз питающего напряжения понимают число питающих напряжений с отличными друг от друга начальными фазами. Так, например, если для работы выпрямителя требуется одно единственное питающее напряжение, то такой выпрямитель будет однофазным. Если же для работы выпрямителя требуются два питающих напряжения, сдвинутых друг относительно друга на какой-либо угол (чаще всего на 180°), то такой выпрямитель называют двухфазным. Аналогично, если для работы выпрямителя требуются три питающих напряжения, сдвинутые друг относительно друга на угол, равный 120° , то такой выпрямитель называют трехфазным. Шестифазные выпрямители состоят из двух групп трехфазных выпрямителей, питаемых противофазными напряжениями трехфазной сети.

По схеме вентильного блока различают выпрямители с параллельным, последовательным и мостовым включением однофазных выпрямителей.

4.2. Однофазные выпрямители

Однополупериодный выпрямитель.

Схема однополупериодного выпрямителя приведена на рис. 4.2, а. Выпрямитель пропускает на выход только одну полуволну питающего напряжения, как показано на рис. 4.3, а. Однофазные выпрямители применяются, в основном, при мощности в нагрузке до 10...25 Вт в случаях, когда не требуется малый коэффициент пульсаций. Достоинства схемы: простота конструкции (минимальное число элементов) и малая стоимость. Недостатки: низкая частота пульсаций, равная частоте питающей сети; плохое использование сглаживающего фильтра и трансформатора, подмагничивание его магнитопровода постоянным током.

Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой вторичной обмотки трансформатора

Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой вторичной

обмотки трансформатора приведена на рис. 4.2, б и представляет собой параллельное соединение двух однофазных выпрямителей, питаемых от двух половин вторичной обмотки w_2 и w'_2 . С помощью этих полуобмоток создаются два противофазных питающих напряжения. Этот выпрямитель характеризуется лучшим использованием трансформатора и фильтра, повышенной частотой пульсаций (вдвое превышающей частоту сети), возможностью использования диодов с общим катодом или анодом, что является очень удобным при установке обоих диодов на общий радиатор. К недостатку схемы можно отнести обязательное наличие средней точки у вторичной обмотки трансформатора. Выпрямитель применяется чаще всего при мощностях до 100 Вт.

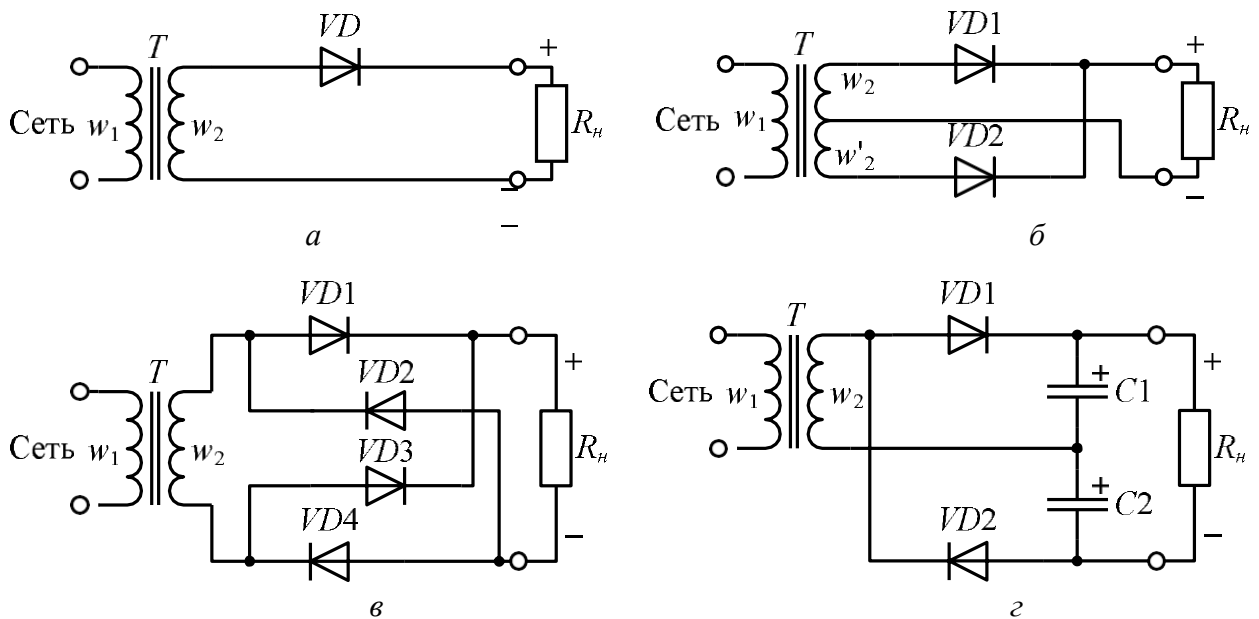


Рисунок 4.2. Схемы нерегулируемых выпрямителей, питаемых от однофазной сети: однополупериодный – а), двухфазный двухполупериодный – б), мостовой – в); симметричный с удвоением напряжения – г)

Формы выходного напряжения нерегулируемых выпрямителей, питаемых от однофазной сети при резистивной нагрузке без фильтра (рис. 4.2) приведены на рис. 4.3.

Мостовой выпрямитель (рис. 4.2, в) является двухполупериодным выпрямителем, питаемым от однофазной сети. В отличие от предыдущей схемы его можно использовать для выпрямления напряжения сети и без трансформатора. Достоинства выпрямителей, выполненных по этой схеме – повышенная частота пульсаций, меньшее обратное напряжение на выпрямляющих диодах, трансформатор используется наиболее полно. К его недостаткам относится удвоенное число выпрямительных диодов и невозможность установки однотипных диодов на общем радиаторе без электроизоляционных прокладок. Из-за увеличенного падения напряжения на выпрямительных диодах такие выпрямители редко используются при выпрямлении низких напряжений (меньше 5 В). Схема применяется при

мощностях в нагрузке до 1 кВт и более.

4.3. Выпрямители с умножением напряжения

Выпрямители с умножением напряжения применяются в основном для питания маломощных устройств, требующих повышенного напряжения питания и потребляющих ток в единицы-десятки миллиампер (рентгеновских трубок, варикапных матриц, электронных ламп, электроннолучевых трубок и т.д.). Такие выпрямители часто называют *умножителями напряжения*. Наибольшее распространение получили схемы удвоения и утроения напряжения.

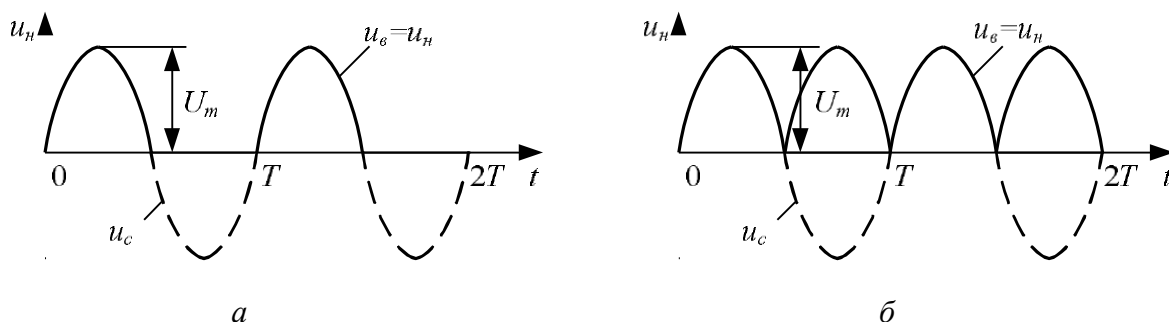


Рисунок 4.3. Формы напряжений на входе и выходе однополупериодного – а) и двухполупериодного – б) выпрямителя

Симметричный выпрямитель с удвоением напряжения (рис. 4.2, з) представляет собой последовательное соединение двух однофазных однополупериодных выпрямителей. Такой выпрямитель часто называют *полумостовым*. Он применяется в основном для питания маломощных устройств, требующих повышенного напряжения питания и потребляющих ток в несколько единиц или десятков миллиампер (например, рентгеновские трубки, варикапные матрицы, электронные лампы и электроннолучевые трубки).

В первом полупериоде при положительном напряжении на аноде диода VD1 заряжается конденсатор C1, а во втором полупериоде проводит диод VD2 и конденсатор C2 заряжается напряжением противоположной полярности. Так как эти конденсаторы включены последовательно, то выходное напряжение почти удваивается. Конденсаторы C1 и C2 могут использоваться как элементы фильтра. Трансформатор в этой схеме используется так же полно, как и в мостовой. К достоинствам схемы можно отнести уменьшение вдвое выходного напряжения трансформатора, а к недостаткам – наличие двух конденсаторов C1 и C2.

Несимметричная схема удвоителя напряжения (рис. 4.4, а). Эта схема работает следующим образом. Положительный импульс напряжения, снимаемый с нижнего вывода вторичной обмотки трансформатора T , через диод VD1 заряжает конденсатор C1 до амплитудного значения U_{2m} . Во второй полупериод, когда напряжение на обмотке меняет полярность, VD1 запирается, а напряжение на C1, складывается с напряжением на обмотке U_2 и прикладывается к VD2. В результате C2 заряжается через VD2 практически до

удвоенного значения импульсного напряжения. Выходное напряжение, снимаемое с конденсатора, поступает на нагрузку. Достоинством схемы является то, что один из выводов вторичной обмотки трансформатора соединен с отрицательным полюсом нагрузки и его можно сделать общим (заземлить).

Несимметричная схема учетверителя напряжения (рис. 4.4, б) состоит из двух удвоителей, рассмотренных выше. Заряд конденсаторов $C1$ и $C2$ происходит так же, как в схеме рис. 4.4, а, за один период напряжения на вторичной обмотке T . За второй период заряжаются $C3$ и $C4$ до напряжения $2U_{2m}$. Таким образом, полный заряд всех конденсаторов происходит за два периода, при этом $C1$ заряжается до U_{2m} , а остальные – до $2U_{2m}$. Обратное напряжение на всех диодах равно $2U_{2m}$.

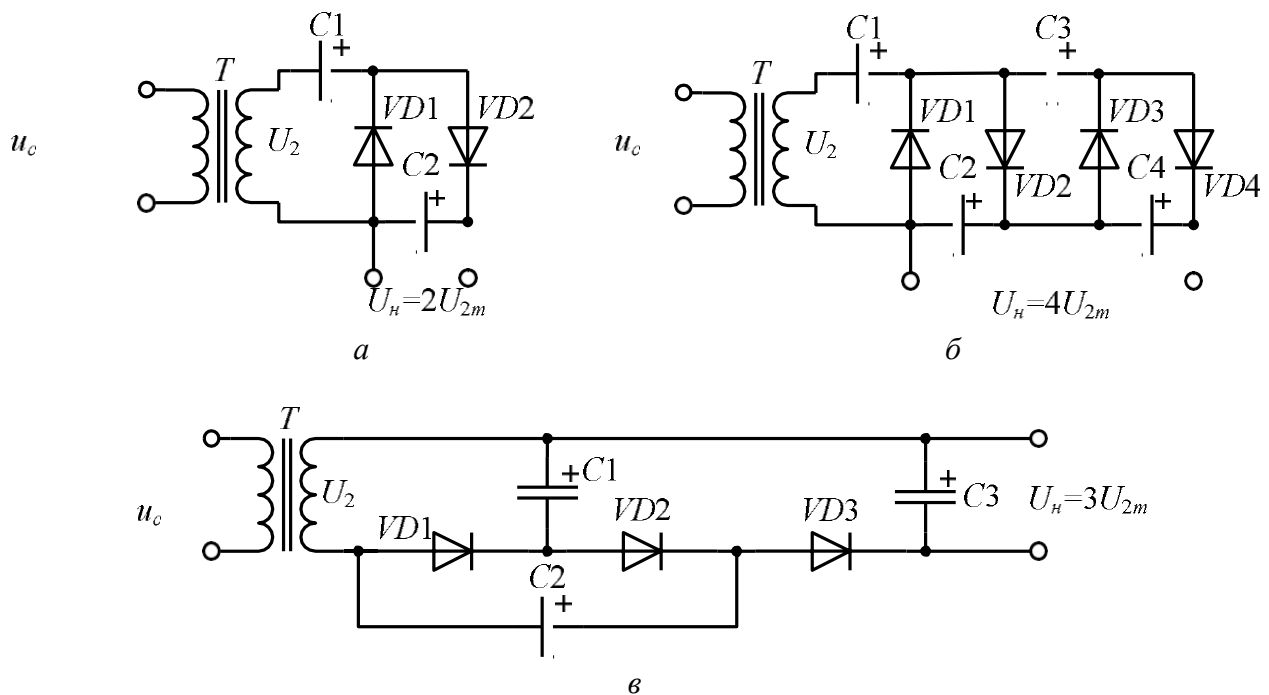


Рисунок 4.4. Несимметричные схемы выпрямителей с умножением напряжения: удвоитель – а); учетверитель – б); утроитель – в)

Несимметричная схема утроителя напряжения (рис. 4.4, в). Отличительной особенностью этой схемы является то, что каждый последующий конденсатор заряжается до напряжения, пропорционального его номеру. Заряд конденсатора $C1$, производится через диод $VD1$ до напряжения U_{2m} . Во втором полупериоде напряжение на обмотке U_{2m} складывается с напряжением на $C1$ и через VD заряжает $C2$ до $2U_{2m}$. В третий полупериод напряжение на обмотке $2U_{2m}$ складывается с напряжением на $C2$ и через $VD3$ заряжает $C3$ до $3U_{2m}$.

Количество звеньев в этой схеме можно увеличивать, однако время выхода выпрямителя в установившийся режим также увеличивается.

Емкость конденсаторов в схемах умножения напряжения зависит от тока

нагрузки I_H , частоты питающего напряжения f_c и допустимой амплитуды пульсаций ΔU_H

$$C = \frac{\gamma I_H}{f_c \Delta U_H},$$

где γ – коэффициент, зависящий от вида схемы умножения и числа звеньев (для схемы рис. 4.4, а, б: $\gamma = \frac{n_3^2 + n_3}{2}$, для схемы рис. 4.4, в: $\gamma = 1$); n_3 – число звеньев умножителя.

4.4. Трехфазные выпрямители

Первичные обмотки трехфазных трансформаторов T могут включаться по схеме звезды или треугольника, а вторичные обмотки включены по схеме звезды.

Схема трехфазного выпрямителя с отводом от нулевой точки вторичных обмоток (рис. 4.5, а). На рис. 4.6, а приведены временные диаграммы напряжений для этой схемы при резистивной нагрузке без фильтра.

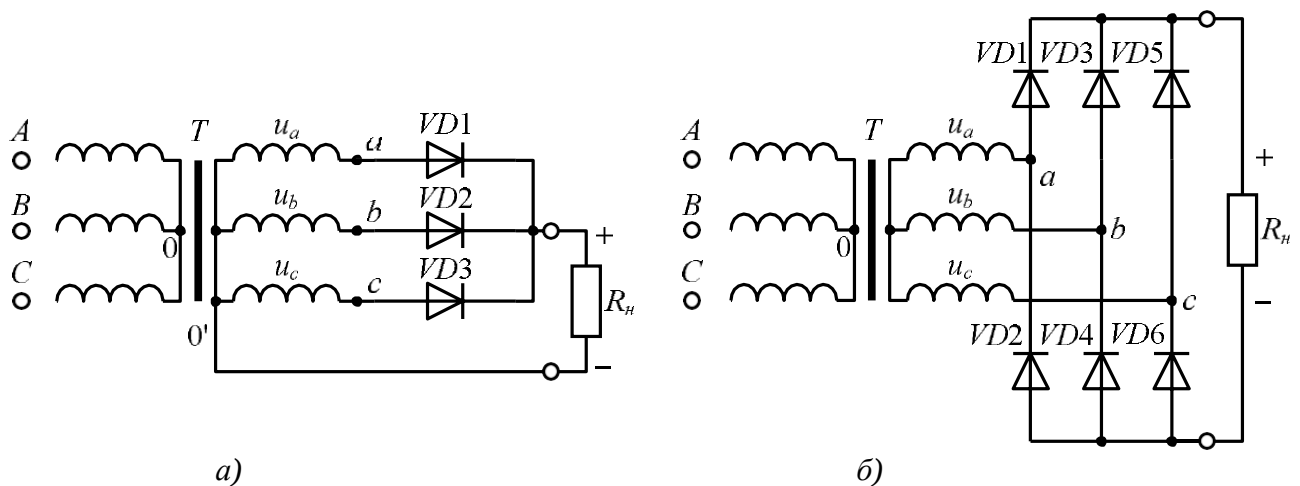


Рисунок 4.5. Схемы трехфазных выпрямителей: с отводом от нулевой точки – а), мостовой – б)

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения составляет $k_{\Pi} = 25\%$, в то время как для двухполупериодного однофазного выпрямителя он составляет 67%, при этом частота пульсаций в три раза выше частоты питающей сети. Все это значительно облегчает фильтрацию выпрямленного напряжения, а в ряде случаев позволяет вообще обойтись без фильтра.

К недостаткам такой схемы следует отнести плохое использование трансформатора, который работает с подмагничиванием постоянным током, и повышенное обратное напряжение на выпрямительных диодах.

Мостовая схема трехфазного выпрямителя (схема Ларионова) приведена на рис. 4.5, б. В этой схеме включены шесть диодов, которые

выпрямляют как положительные, так и отрицательные полуволны трехфазного напряжения. При этом в любой произвольный момент времени ток проводят два диода, у которых на аноде наибольшее положительное напряжение, а на катоде – наибольшее отрицательное. Графики токов и напряжений для трехфазной мостовой схемы приведены на рис. 4.6, б.

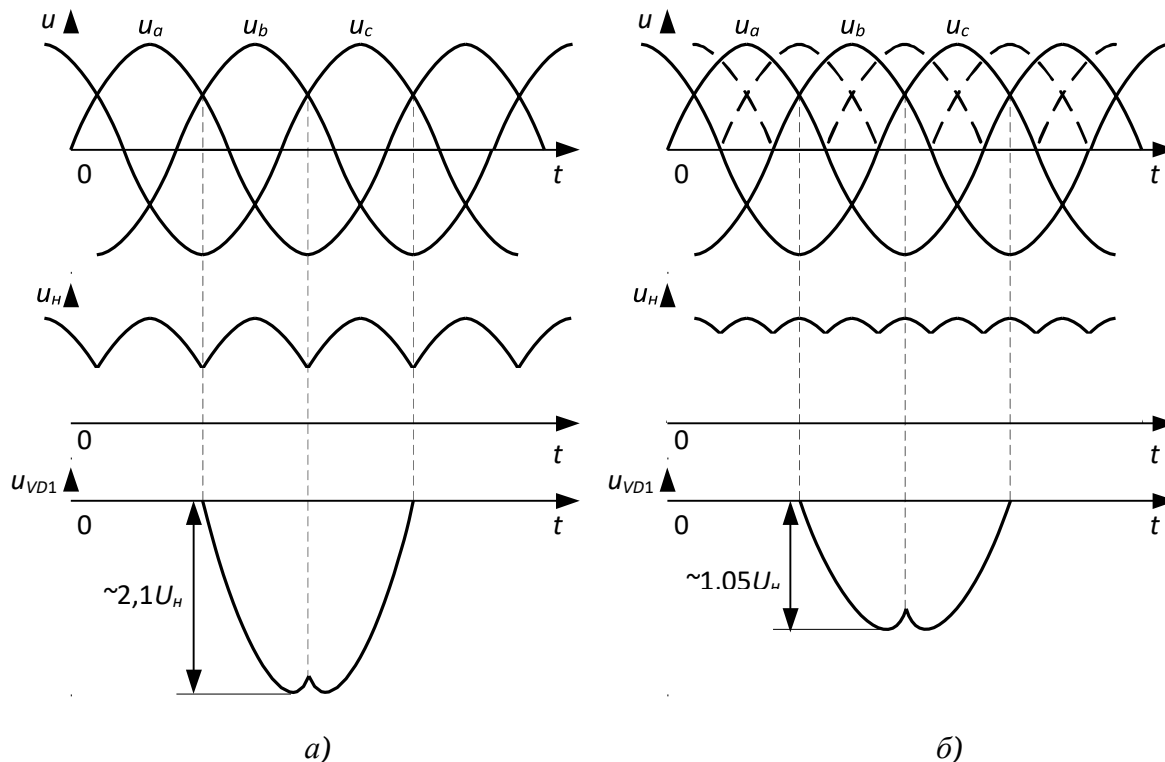


Рисунок 4.6. Формы напряжений в трехфазных выпрямителях: с отводом от нулевой точки – а), мостовом – б)

К достоинствам схемы Ларионова относятся: отсутствие подмагничивания сердечника трансформатора постоянным током, вдвое меньшее (по сравнению с предыдущей схемой) обратное напряжение, малый коэффициент пульсаций (равный 5,7%) и вдвое увеличенная частота пульсаций $f_{\Pi} = 6 f_c$. Все это позволяет зачастую не использовать выходной фильтр.

Для сравнения рассмотренных схем выпрямителей в таблице 4.1 приведены основные параметры выпрямителей при работе на резистивную нагрузку без фильтра. В этой таблице приняты следующие обозначения основных характеристик:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} - \text{коэффициент трансформации,}$$

где U_1 – действующее значение напряжения на первичной обмотке, U_2 – действующее значение напряжения на вторичной обмотке, w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток соответственно,

$$U_H = n_d U_{\Pi p} + U_B - \text{расчетное значение напряжения на нагрузке,}$$

где n_d – число последовательно включенных диодов, U_B – среднее значение

выпрямленного напряжения; $U_{\text{пр}}$ – прямое падение напряжения на диоде;

f_c – частота питающей сети,

$k_{\Pi} = \frac{U_{\Pi m}}{U_H}$ – коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения,

где $U_{\Pi m}$ – амплитуда напряжения с частотой пульсаций на выходе выпрямителя.

Таблица 4.1 Основные характеристики схем выпрямителей при работе на резистивную нагрузку

Характеристика	Тип выпрямителя			
	Однофазный со средней точкой	Однофазный мостовой	Трехфазный с нулевой точкой	Трехфазный мостовой
Действующее напряжение вторичной обмотки (фазное), U_2	$2,11 U_H$	$1,11 U_H$	$0,855 U_H$	$0,43 U_H$
Действующий ток вторичной обмотки, I_2	$0,785 I_H$	$1,11 I_H$	$0,58 I_H$	$0,82 I_H$
Действующий ток первичной обмотки, I_1	$1,11 I_H/n$	$1,11 I_H/n$	$0,48 I_H/n$	$0,82 I_H/n$
Расчетная мощность трансформатора, $P_{\text{тр}}$	$1,48 P_H$	$1,23 P_H$	$1,35 P_H$	$1,045 P_H$
Обратное напряжение на диоде, $U_{\text{обр}}$	$3,14 U_H$	$1,57 U_H$	$2,1 U_H$	$1,05 U_H$
Среднее значение тока диода, $I_{\text{д.ср.}}$	$0,5 I_H$	$0,5 I_H$	$0,33 I_H$	$0,33 I_H$
Действующее значение тока диода, $I_{\text{д}}$	$0,785 I_H$	$0,785 I_H$	$0,587 I_H$	$0,58 I_H$
Амплитудное значение тока диода, $I_{\text{дт}}$	$1,57 I_H$	$1,57 I_H$	$1,21 I_H$	$1,05 I_H$
Частота основной гармоники пульсации	$2 f_c$	$2 f_c$	$3 f_c$	$6 f_c$
Коэффициент пульсаций выходного напряжения, k_{Π}	0,67	0,67	0,25	0,057