

24 Однофазные выпрямители

Для электроснабжения используется переменный ток, однако для работы электронных устройств требуется постоянный. Преобразование переменного тока в постоянный называют выпрямлением. Для выпрямления используют диоды – приборы, пропускающие ток в одном направлении и не пропускающие в противоположном.

Простейшим выпрямителем является одиночный диод VD (вентиль диодный). Рисунок 58 показывает, как положительные полуволны напряжения источника переменного тока проходят к потребителю R , а отрицательные не проходят.

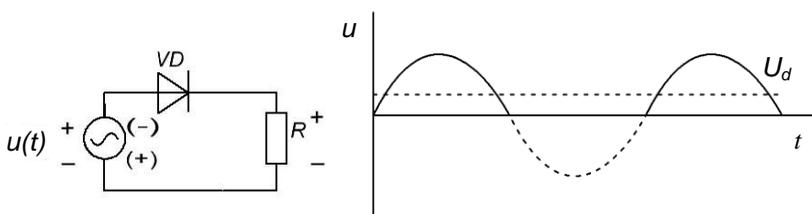


Рисунок 58 – Однополупериодная схема выпрямления

Выпрямленное таким образом напряжение представляет собой последовательность положительных полусинусоидальных импульсов с интервалами между ними. Оно характеризуется постоянной составляющей, т. е. средним значением (показано штриховой линией, как будто импульсы размазали ровным слоем); это значение U_d (англ. *direct current* – постоянный ток) может быть измерено вольтметром постоянного тока. Также выпрямленное напряжение характеризуется переменной составляющей – своим отклонением от среднего значения, это отклонение называется пульсацией. Качество выпрямленного напряжения оценивается коэффициентом пульсаций – отношением амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения к постоянной составляющей. Эта амплитуда может быть приближённо определена из осциллограммы, однако её удобнее с небольшой погрешностью (превышением) определить как показание вольтметра переменного тока U_{\sim} , умноженное на $\sqrt{2}$.

Получим $q \approx U_{\sim} \sqrt{2} / U_d$.

Показателем использования переменного напряжения при выпрямлении может служить отношение постоянной составляющей выпрямленного напряжения к действующему значению переменного напряжения источника U , которое может быть измерено вольтметром переменного тока; это отношение равно U_d / U .

Диод для схемы выпрямления выбирают по допустимой средней силе тока и допустимому значению обратного напряжения. Средняя сила тока через диод может быть определена как частное от деления постоянной составляющей напряжения на сопротивление потребителя $I_d = U_d / R$; обратное напряжение равно амплитуде напряжения источника переменного тока. Диод следует выбирать с запасом.

Чем больше коэффициент пульсаций, тем выпрямленное напряжение хуже, а чем меньше – лучше. Пульсации можно уменьшить, если применить фильтр – устройство, пропускающее постоянный ток, и задерживающее переменный. Простейшим фильтром является конденсатор C , подключённый параллельно потребителю. При нарастании напряжения он заряжается, накапливая в себе энергию, а при уменьшении разряжается, отдавая накопленную энергию потребителю. При этом провалы между импульсами частично закрываются; постоянная составляющая выпрямленного напряжения U_d увеличивается, а переменная U_{\sim} уменьшается, что видно из рисунка 59.

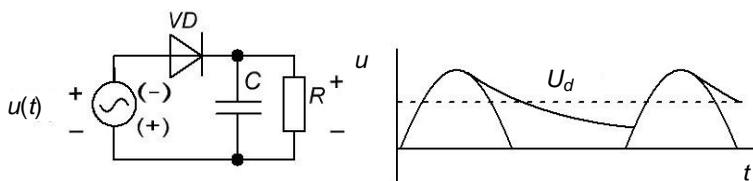


Рисунок 59 – Сглаживание пульсаций фильтром-конденсатором

Эффективность фильтра оценивается коэффициентом фильтрации, который равен отношению коэффициента пульсаций в схеме без фильтра к коэффициенту пульсаций в схеме с фильтром; $s = q_{\text{без}} / q_c$.

Следует понимать, что с применением конденсатора возрастает нагрузка на диод. Ток через диод идёт только при зарядке конденсатора, поэтому длительность импульсов тока уменьшается, а

амплитуда многократно возрастает. Увеличивается также средняя сила тока из-за возрастания постоянной составляющей выпрямленного напряжения, а обратное напряжение на диоде приближается к удвоенной амплитуде напряжения источника переменного тока.

Описанный выше выпрямитель называется однополупериодным, потому что использует только половину периода переменного напряжения, только положительные полуволны, а отрицательные обрезает. Он практически не применяется из-за своих недостатков:

- 1) большой коэффициент пульсации;
- 2) малое значение постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_d по сравнению с напряжением на входе выпрямителя U ;
- 3) наличие постоянного подмагничивания сердечника трансформатора, являющегося источником переменного тока.

Необходимость использования второй (отрицательной) полуволны переменного тока привела к созданию двухполупериодных выпрямителей. До середины 20 века диоды были в дефиците, потому что это были ламповые диоды – кенотроны. Тогда получила распространение схема выпрямления с двумя диодами и двумя источниками (полуобмотками трансформатора), называемая схемой с нулевой точкой (рисунок 60). В ней используются положительные полуволны от верхнего источника, проходящие через диод $VD1$, и отрицательные полуволны от нижнего источника, которые переворачиваются и проходят через диод $VD2$. Промежутки между импульсами исчезают, постоянная составляющая U_d увеличивается в два раза, а переменная U_{\sim} уменьшается. Если подключить конденсатор C параллельно потребителю, пульсации эффективно сглаживаются (показано экспоненциальной линией), что приводит к ещё большему значению U_d и уменьшению U_{\sim} .

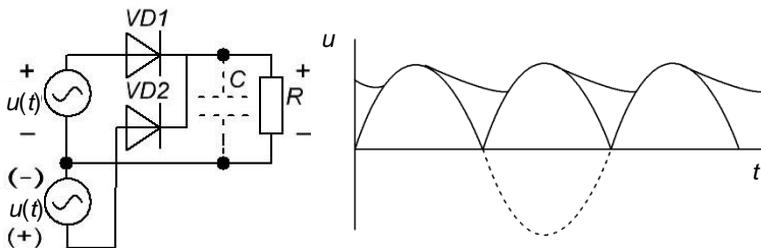


Рисунок 60 – Двухполупериодная схема выпрямителя с нулевой точкой

В этой схеме токовая нагрузка на диод меньше в два раза по сравнению с однополупериодной, т. к. через каждый диод проходит только половина тока потребителя. Зато в два раза возрастает обратное напряжение на каждом диоде из-за применения двух источников.

В середине XX века произошла полупроводниковая революция, в результате которой на смену ламповым пришли дешёвые малогабаритные полупроводниковые диоды. Основной схемой выпрямления стала мостовая, изображённая на рисунке 61. В ней использованы 4 диода. Положительные полуволны от источника переменного тока проходят через диоды VD1 и VD4, а отрицательные – через VD2 и VD3. В этой схеме сила тока через каждый диод также составляет половину от силы тока потребителя, а вот обратное напряжение на каждом диоде гораздо меньше. Так как диоды включены попарно-последовательно, то обратное напряжение, прикладываемое к ним в непроводящий полупериод, делится пополам и на каждом диоде не превышает амплитуды напряжения источника питания. Недостатком является увеличение потерь в диодах из-за большего количества (диоды не идеальны).

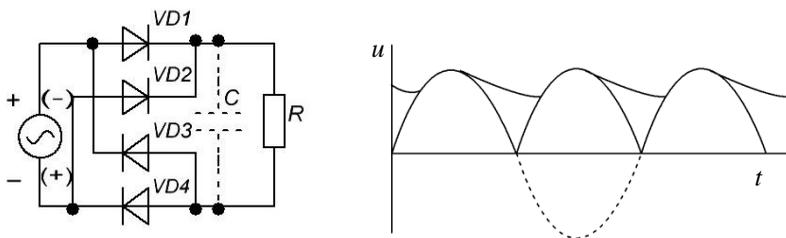


Рисунок 61 – Двухполупериодная мостовая схема выпрямления

Результаты исследования схем выпрямления сводятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты исследования различных схем выпрямления

Схема выпрямления	Фильтр	$U_d, \text{В}$	$\frac{U_d}{U}$	$U_-, \text{В}$	$U_- \sqrt{2}, \text{В}$	q	s
Однополупериодная	Без						
	С						
Двухполупериодная с нулевой точкой	Без						
	С						
Двухполупериодная мостовая	Без						
	С						

Примечание – Напряжение источника переменного тока $U = \underline{\quad}$ В; сопротивление $R = \underline{\quad}$ кОм; ёмкость $C = \underline{\quad}$ мкФ.

После проведения исследований может показаться, что при подключении конденсатора мы получили бесплатный источник добавочной энергии (некий аналог вечного двигателя); ведь с ним постоянная составляющая выпрямленного напряжения превышает действующее значение переменного напряжения источника; $U_d / U > 1$. Однако никакого нарушения закона сохранения энергии здесь не происходит; ток источника (трансформатора питающего выпрямитель) становится резко несинусоидальным; в нём появляются высшие гармоники, энергия которых передаётся через выпрямитель потребителю. Эти гармоники ухудшают работу трансформатора, увеличивают потери энергии в его сердечнике и обмотках.