

Выпрямители

Общие сведения о выпрямителях и выпрямительных диодах

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования энергии источника переменного тока, в постоянный ток, при этом переменное разнополярное напряжение преобразуется в пульсирующее однополярное.

Такое преобразование можно осуществлять с помощью включенных по определенной схеме одного или нескольких вентилях, прибором с односторонней проводимостью, для выпрямителей, в качестве вентилях можно использовать электровакуумные кенотроны, ионные (газотроны) и п/п диоды, обеспечивающие протекание тока только в одном направлении. Наибольшее распространение получили п/п диоды. По сравнению с кенотронами и газотронами – они имеют меньшие габариты и большой срок службы и механическую прочность, потребляемую малую мощность.

Недостатком является сильная зависимость параметров от температуры.

Предельная рабочая температура для германиевых диодов – 70°C , для кремниевых – 120°C .

Основными параметрами диодов являются - допустимое обратное напряжение ($U_{\text{обр.мах}}$) и максимально допустимый прямой ток ($I_{\text{д.доп}}$).

Этот параметр связан с максимально допустимой мощностью, выделяемой на диоде.

$$P_{\text{д.мах}} = I_{\text{д.доп}} \cdot U_{\text{д.мах}},$$

Где $U_{\text{д.мах}}$ – падение напряжения на открытом диоде, при протекании тока $I_{\text{д.доп}}$, оно составляет для германиевых диодов примерно $0,4 - 0,6 \text{ В}$, а для кремниевых $1 - 1,2 \text{ В}$.

По значению $I_{\text{д.доп}}$ – п/п диоды подразделяются:

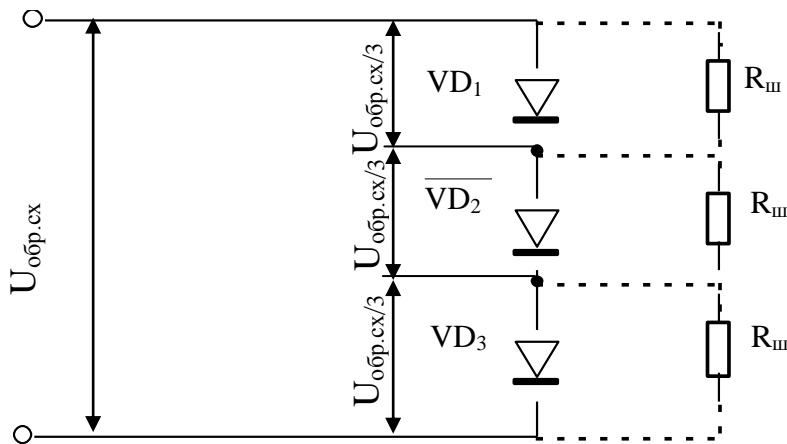
- маломощные; $I_{\text{д.доп}} \leq 0,3 \text{ А}$;
- средней мощности; $I_{\text{д.доп}} < 10 \text{ А}$;
- мощные $I_{\text{д.доп}} \geq 10 \text{ А}$.

Способы включения вентиляей

А) последовательное

Б) параллельное

А) Если обратное напряжение в схеме выпрямителя $U_{обр.сх.}$ превышает $U_{обр.сх.}$ данного типа диода, то для обеспечения надежной работы выпрямителя можно использовать последовательное соединение вентиляей.



В этом случае, при одинаковых обратных сопротивлениях вентиляей, напряжение $U_{обр.сх.}$ распределяется поровну между отдельными вентилями.

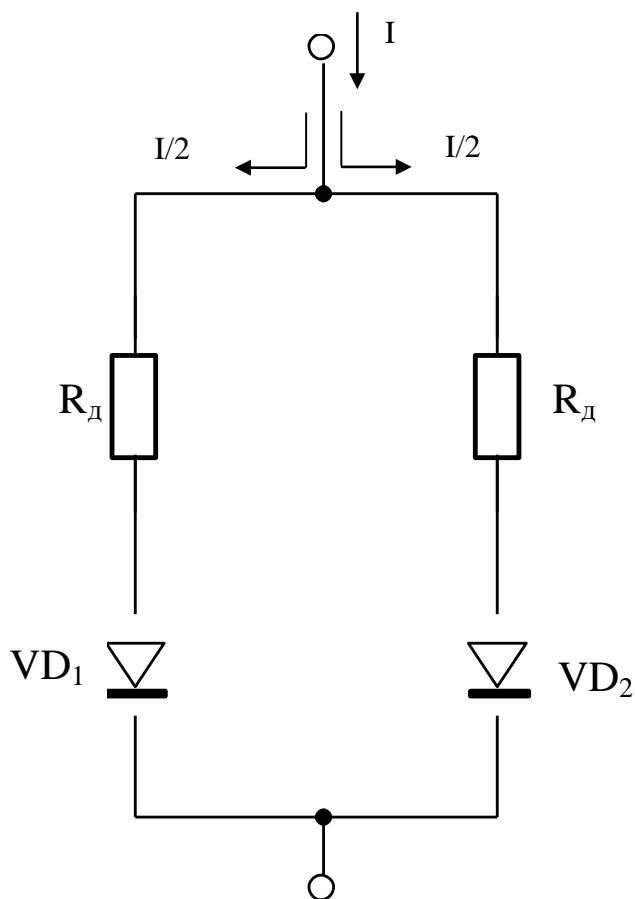
Например, если имеется 3 последовательных вентиля, то обратное напряжение, приложенное к каждому из них $= U_{обр.сх.}/3$.

При разбросе значений обратных сопротивлений, что характерно для п/п диодов, обратное напряжение, приложенное к каждому из диодов различное.

Наибольшее обратное напряжение падает на диоде с наибольшим обратным сопротивлением. И может превысить $U_{обр.сх.}$ для данного типа диодов.

Для равномерного распределения обратного напряжения между последовательно включенными диодами, каждая из них шунтирует резисторы $R_{ш}$, сопротивления которых на порядок меньше обратного сопротивления данного типа диодов.

Б) Для выпрямления токов больше $I_{д.доп.}$ можно использовать параллельное включение вентиляей.



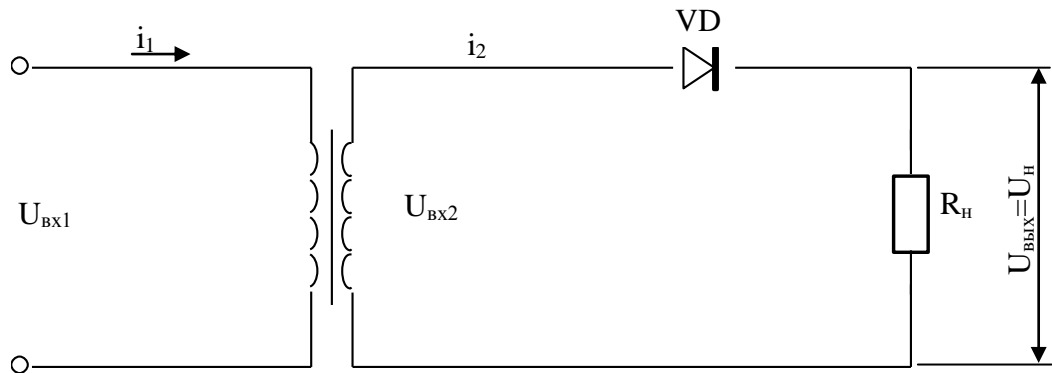
Выпрямленный ток распределяется параллельно между 2мя вентилями, если их прямые сопротивления $r_{пр}$ равны. При параллельном включении п/п диодов, необходимо учитывать разброс сопротивлений $r_{пр}$. Наибольший ток протекает через диод с меньшим прямым сопротивлением. Для равномерного распределения токов последовательно включают небольшое добавочное сопротивление R_d .

Однополупериодная схема выпрямления

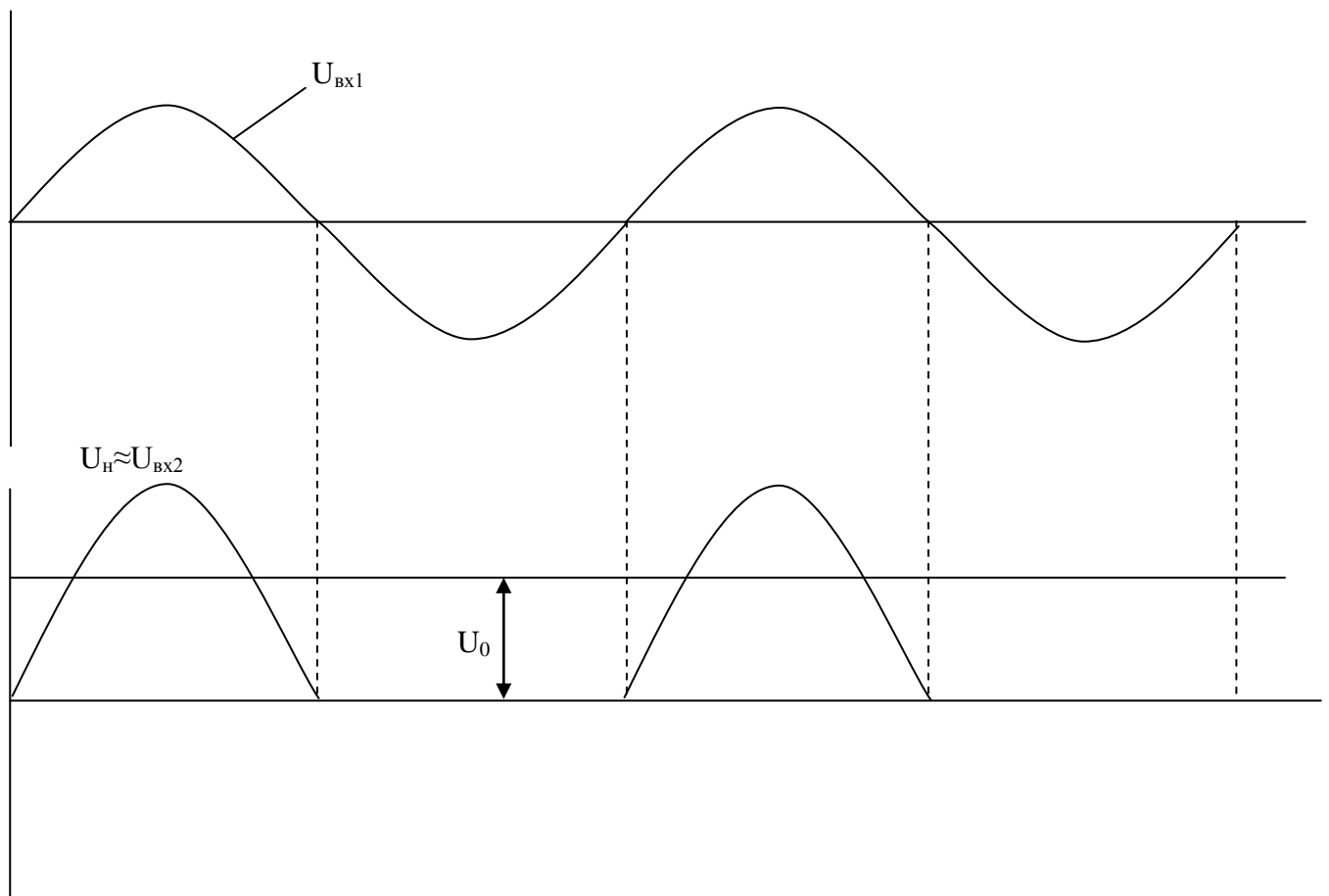
Схемы выпрямления разделяют на:

- однополупериодные;
- 2-х полупериодные со средней точкой трансформатора;
- мостовые;

Схемы с умножением напряжения.



Временная диаграмма работы выпрямителя



На первичную (входную обмотку трансформатора) поступает напряжение $U_{\text{вх1}}$ от сети переменного тока. Значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора $U_{\text{вх2}} = n \cdot U_{\text{вх1}}$, n – коэффициент трансформации.

Напряжение $U_{\text{вх2}}$ определяется заданным значением, выпрямленного напряжения, т.к. при открытом диоде, напряжение $U_{\text{вх2}}$ почти полностью прикладывается к нагрузке R_n , при этом предполагается, что прямое сопротивление открытого диода $r_{\text{пр}}$ много меньше R_n . В течение положительной полуволны, напряжение $U_{\text{вх2}}$ диод открыт, напряжение на нагрузке U_n равно по величине напряжению $U_{\text{вх2}}$ и совпадает с ним по форме. Через нагрузку протекает ток, мгновенное значение которого определяется из следующих формул:

При отрицательной полуволне напряжение $U_{\text{вх2}}$ диод закрыт и напряжение на нагрузке близко к 0, т.к. $R_n \ll R_{\text{об}}$ и напряжение $U_{\text{вх2}}$ полностью прикладывается к диоду.

Максимально допустимое обратное напряжение $U_{\text{об.мах.}}$, выбранного типа диода должно превышать максимальное значение на вторичной обмотке.

$$U_{\text{об.мах.}} > U_{\text{вх2.мах.}} \approx U_{n.\text{мах.}} = \sqrt{2} U_{\text{вх2эф}}$$

Где $U_{\text{вх2эф}}$ – максимальное эффективное значение синусоидального напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

$U_{n.\text{мах.}}$ – максимальное напряжение на нагрузке.

Постоянная составляющая выходного напряжения $U_0 = U_{\text{вх2.мах.}}/\pi \approx U_{n.\text{мах.}}/\pi$

Напряжение на нагрузке выпрямителя является пульсирующим, для данного типа выпрямителя. Коэффициент пульсации

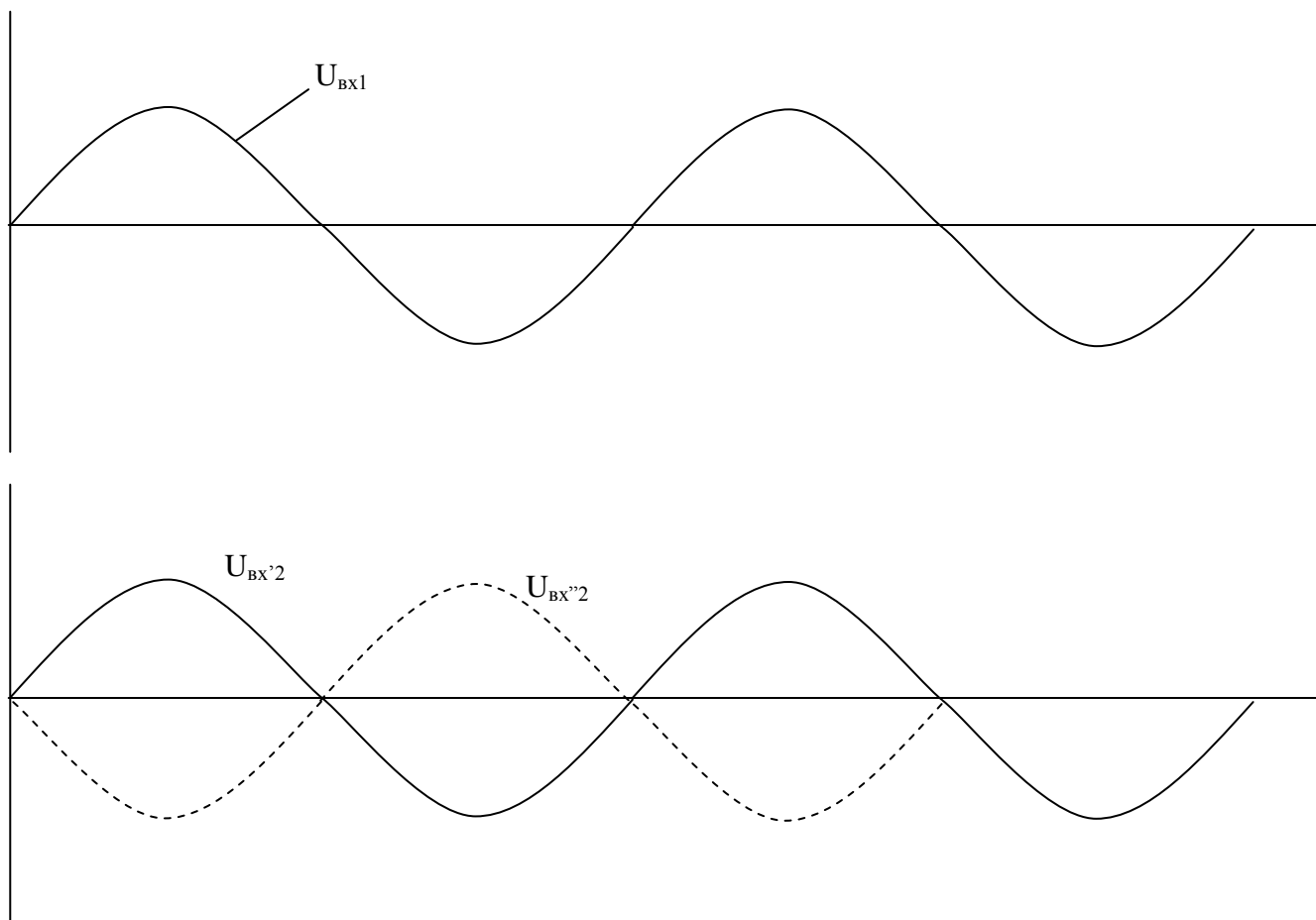
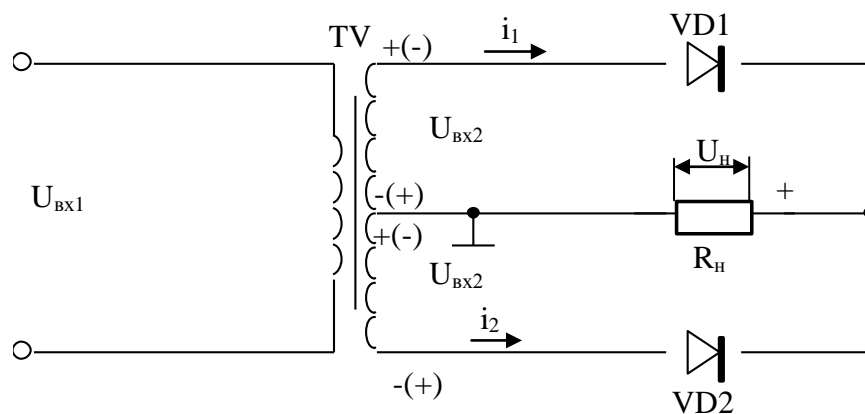
$$K_p = U_{1m}/U_0 = 1.57$$

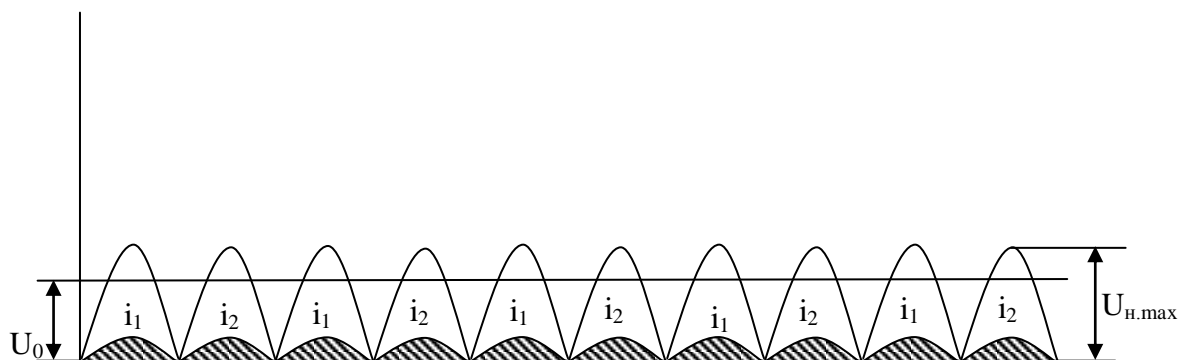
Однопериодный выпрямитель обычно используется в тех случаях, когда нагрузкой являются цепи малой мощности, но высокого напряжения. Например, высоковольтные цепи ЭЛТ. Основным недостатком однополупериодного выпрямителя является высокий уровень пульсации на выходе, и подмагничивание сердечника трансформатора постоянным током.

Двухполупериодный выпрямитель с выводом от средней точки трансформатора

Двухполупериодная схема выпрямителя, представляет соединение двух однополупериодных выпрямителей, работающих на общую нагрузку.

Трансформатор 2-х полупериодного выпрямителя должен иметь вывод от середины вторичной обмотки, которая обычно заземляется.





В течение положительного полупериода синусоидального входного напряжения, U_{vx1} переменный потенциал верхнего вывода вторичной обмотки трансформатора положителен относительно заземленной средней точки и совпадает по фазе с напряжением U_{vx1} , а потенциал нижнего вывода отрицателен и изменяется в противофазе с U_{vx1} .

Диод VD1 открывается под прямым напряжением и проводит ток $i_1 \approx U_{vx2}/R_n = U_{vx2}/2R_n$, а диод VD2 под обратным напряжением, тока не пропускает.

U_{vx2} – напряжение вторичной обмотки.

Максимальное обратное напряжение, прикладываемое к закрытому диоду определяется максимальным напряжением между верхними и нижними выводами вторичной обмотки $U_{vx2.max}$ и не должно превышать $U_{об.max}$ данного типа диодов.

$U_{об.max} \geq U_{vx2.max} = 2 U_{н.max}$.

$U_{н.max}$ – максимальное значение напряжения на нагрузке в отрицательный полупериод входного напряжения U_{vx1} . Полярность потенциалов на концах вторичной обмотки меняются на противоположную. Диод VD1 закрывается, VD2 – открывается, и проводит ток $i_2 \approx U_{vx2}/R_n = U_{vx2}/2 R_n$

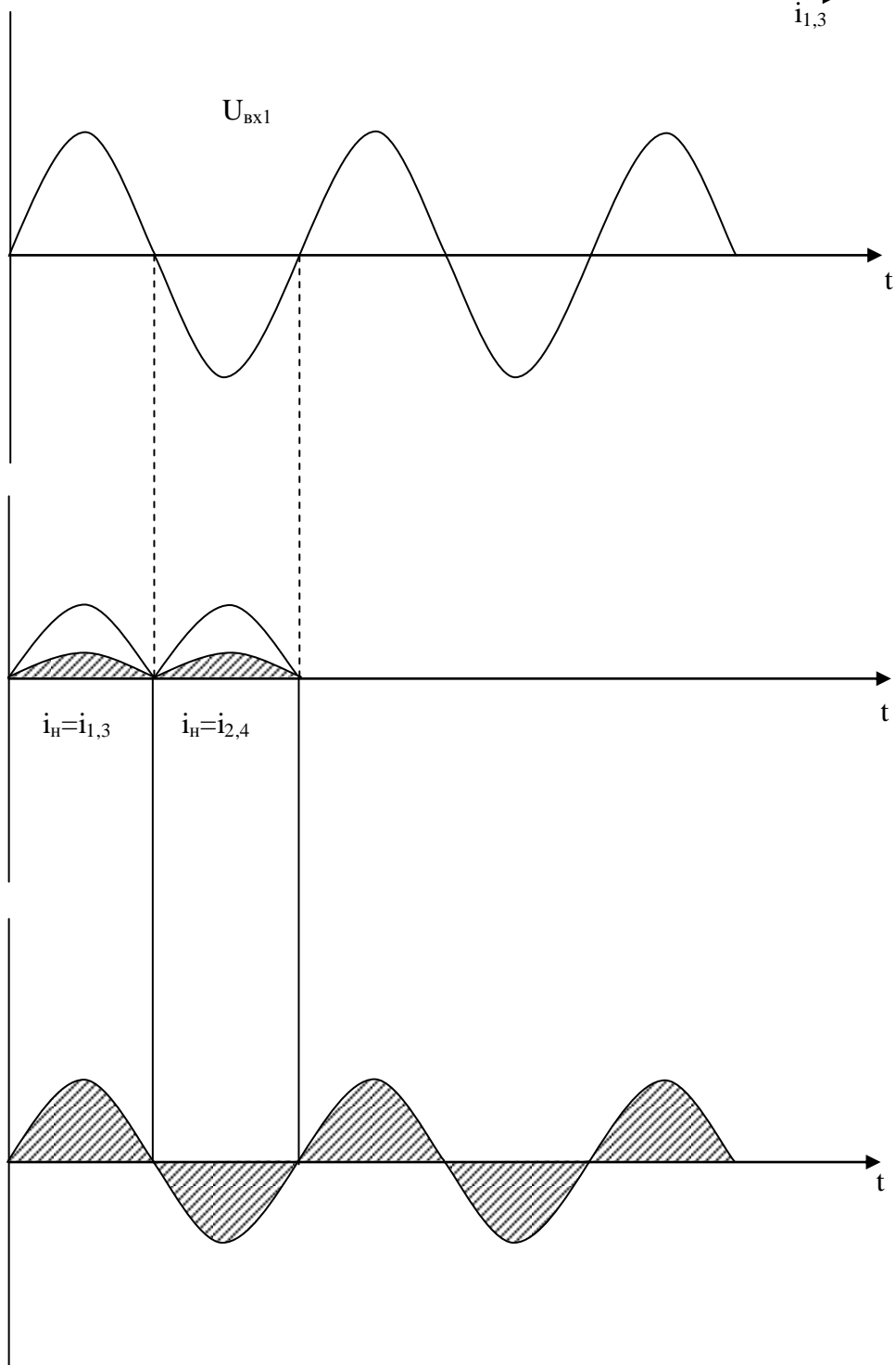
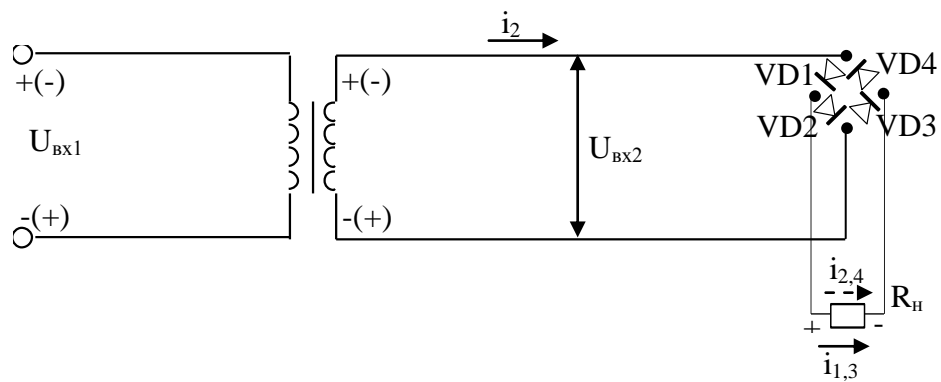
Токи i_1 и i_2 протекают через нагрузку R_n в одном направлении, поэтому временная диаграмма $U_n = (i_1 + i_2) R_n$ представляет собой пульсирующее напряжение, достигающее максимального значения $U_{н.max}$ 2 раза за период.

Постоянная составляющая выходного напряжения 2-х полупериодного напряжения будет определяться $U_0 = U_{vx2}/\pi = 2 U_{н}/\pi$

Коэффициент пульсации 2-х полупериодного выпрямителя со средней точки, меньше чем у однополупериодного и равен 0,67.

В 2х полупериодной схеме выпрямителя, магнитные потоки в сердечнике трансформатора обусловлены постоянными составляющими тока вторичных полуобмоток. Направлены встречно и взаимно компенсируются, поэтому в 2х полупериодной схеме отсутствует подмагничивание сердечника трансформатора, постоянной составляющей, которая характерна для трансформаторов однополупериодной схемы – это позволяет использовать в 2х полупериодной схеме трансформатор меньших размеров и массы.

Мостовая схема выпрямителя



В нем вторичная обмотка трансформатора подключается к одной из диагоналей моста, собранного из 4 диодов.

В течении положительного полупериода входного напряжения диоды VD1 и VD3 открыты, а диоды VD2 и VD4 – закрыты. Протекает ток $i_{1,3} = \frac{U_{\text{вх}2}}{R_{\text{н}} + 2r_{\text{дн}}} \approx \frac{U_{\text{вх}2}}{R_{\text{н}}}$

В течении отрицательного полупериода диоды VD2 и VD4 – открыты, а VD1 и VD3 – закрыты и протекает ток $i_{2,4} = \frac{U_{\text{вх}2}}{R_{\text{н}}} = i_{1,3}$ и совпадает с напряжением тока $i_{1,3}$.

Максимальное напряжение на нагрузке не должно превышать $U_{\text{обр. max}}$ выбранного типа диода $U_{\text{обр. max}} > U_{\text{н. max}}$.

Остальные соотношения между параметрами мостовой и двухполупериодной схем совпадают. Постоянная составляющая $U_0 = 2U_{\text{в}}/\pi$.

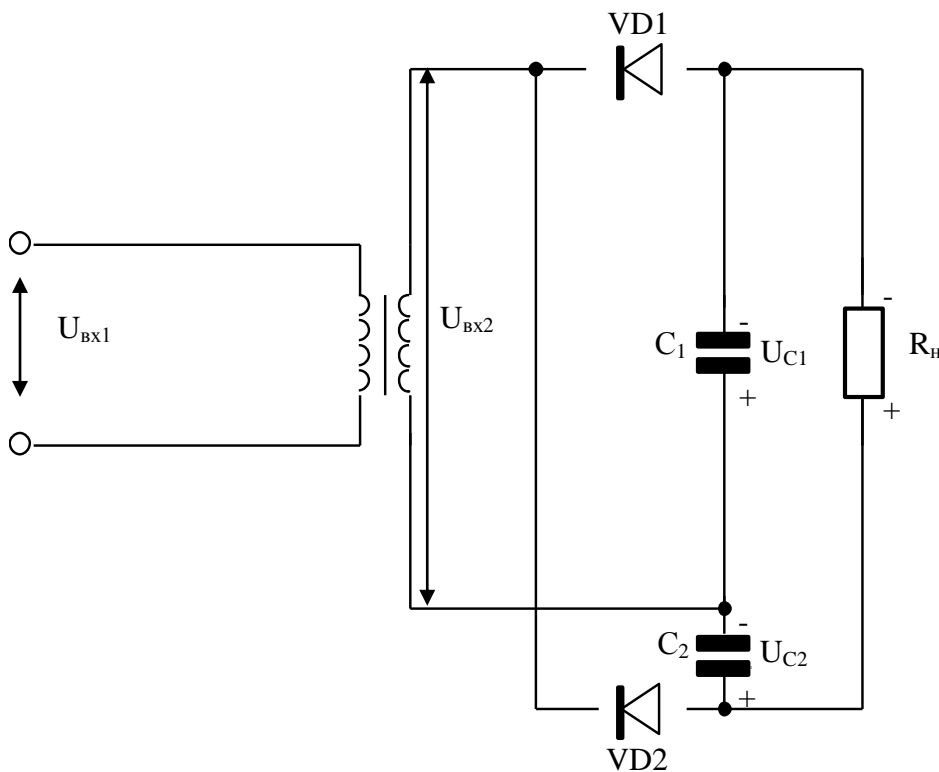
Коэффициент пульсации $K_c = 0,67$.

Мостовая схема имеет следующие преимущества перед схемой со средней точкой:

1. меньшие габариты и вес;
2. вдвое меньше напряжение между выводами вторичной обмотки для получения заданного выпрямленного напряжения.
3. вдвое меньше напряжение на вентиле.

Недостатком является большое количество вентиляей.

Выпрямители с умножением напряжения

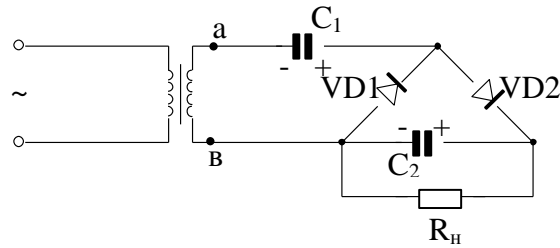


Вначале положительного полупериода входным напряжением U_{BX2} диод $VD1$ открыт, а диод $VD2$ закрыт. Конденсатор C_1 быстро заряжается через открытый диод $VD1$ до значения $U_{BX2, \max}$. В момент времени t_1 когда входное напряжение становится больше напряжения на конденсаторе C_1 , диод $VD1$ закрыт и конденсатор C_1 стремится разрядиться через нагрузку R_H .

Вначале отрицательного полупериода входное напряжение U_{BX2} открывает диод $VD2$, а $VD1$ остается закрытым. Конденсатор C_2 быстро заряжается через диод $VD2$ до значения $U_{BX2, \max}$. в момент времени t_2 диод $VD2$ закрыт и конденсатор C_2 начинает разряжаться через нагрузку R_H . $U_{C1} \approx U_{BX2, \max}$, $U_{C2} \approx U_{BX2, \max}$.

Напряжение на нагрузке равно сумме напряжений на конденсаторах $U_H = U_{C1} + U_{C2} \approx 2U_{BX2, \max}$.

Несимметричная схема удвоения напряжения



В течении отрицательного полупериода напряжения вторичной обмотки вентиль VD_1 открыт, а VD_2 закрыт. Конденсатор заряжается через открытый вентиль VD_1 до амплитудного значения. В следующем положительный полупериод открывается вентиль VD_2 .

Конденсатор C_2 заряжается через открытый вентиль VD_2 до удвоенного амплитудного значения.