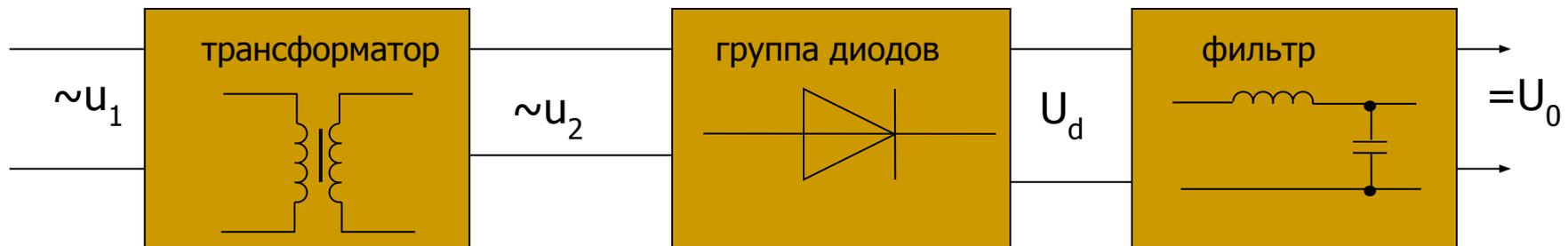


Лекция 2

Выпрямители

- Выпрямитель – это устройство для преобразования переменного тока в постоянный

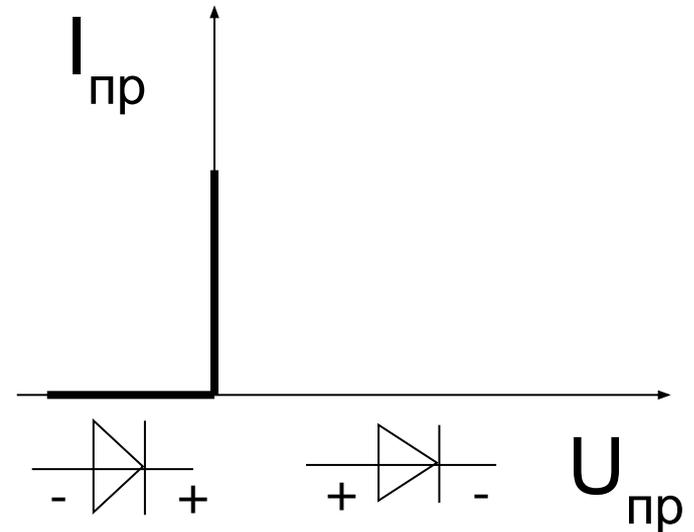
Общая структура выпрямителей



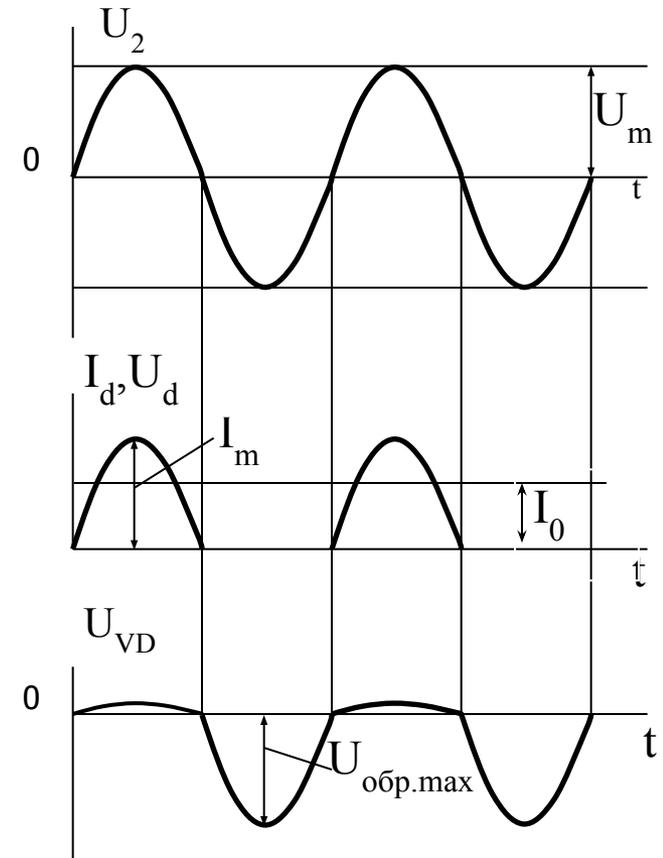
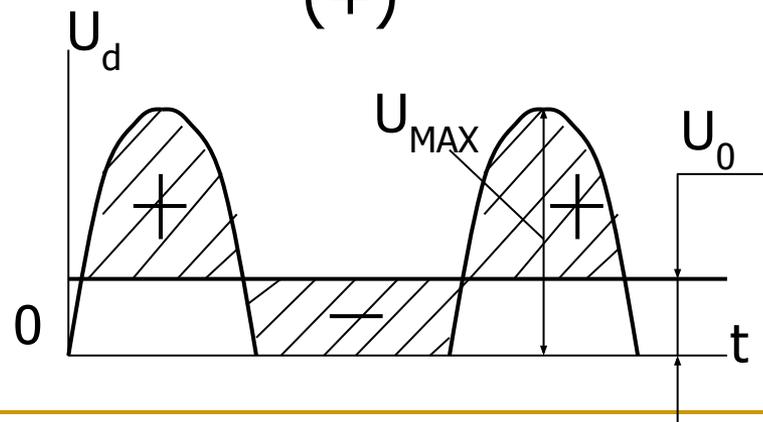
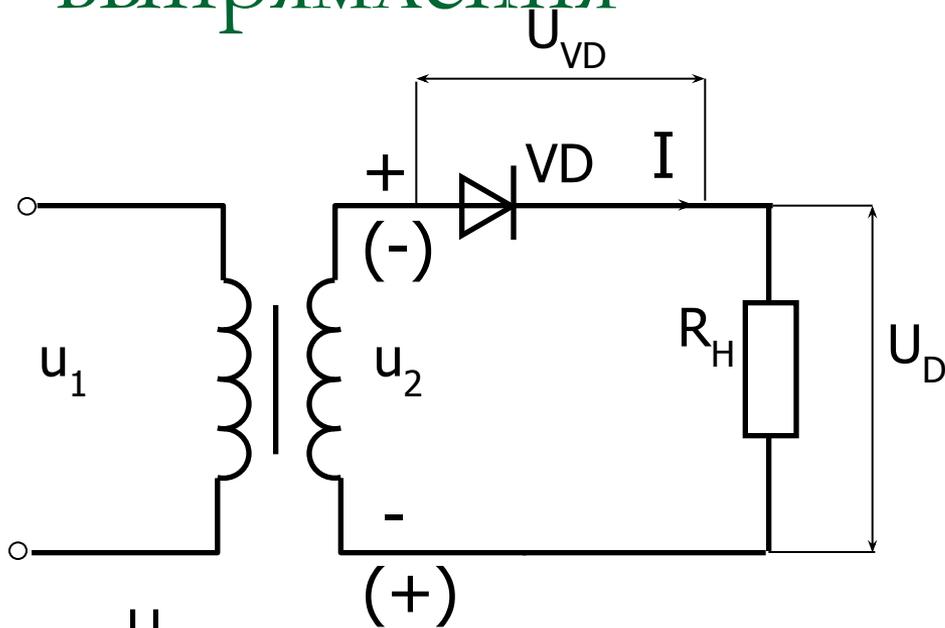
- Трансформатор доводит напряжение до номинала
- Группа диодов выпрямляет переменное напряжение
- Фильтр улучшает качество выпрямления

Допущение

- Вентиль идеальный: $U_{\text{пр}} = 0$, $I_{\text{обр}} = 0$.
- При сколь угодно малом приложенном прямом напряжении в идеальном вентиле возникает прямой ток.
- При любых обратных напряжениях диод обладает бесконечно большим сопротивлением и обратного тока нет.



Однофазная однополупериодная схема выпрямления



- Поскольку диод идеален (потерь нет), то в первом полупериоде все напряжение вторичной обмотки трансформатора приложено к нагрузке R_n . График выпрямленного напряжения повторяет положительную полусинусоиду графика напряжения u_2 .
- Через нагрузку, диод и вторичную обмотку трансформатора протекает ток I .
- Во время второго полупериода напряжения u_2 диод закрыт и к нему приложено обратное напряжение $U_{обр}$.

Основные расчетные соотношения

- Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$k = \frac{U_{01}}{U_0}$$

где U_{01} - амплитуда основной (первой) гармоники при разложении в ряд Фурье.

U_0 - среднее значение выпрямленного напряжения

$$k = 1,57$$

- Среднее значение выпрямленного напряжения и тока определяется с помощью коэффициентов ряда Фурье

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_2 d(\omega t), \quad I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_2 d(\omega t)$$

$$u_2 = U_{2m} \sin \omega t \quad i_2 = I_{2m} \sin \omega t$$

$$U_0 = \frac{U_{2m}}{\pi} \quad I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}$$

$$U_{\text{обр. max}} = \sqrt{2} U_2$$

Недостатки однофазной однополупериодной схемы выпрямления

- Большой коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения
 - Большие масса и габариты трансформатора (вынужденное подмагничивание магнитопровода трансформатора)
-

Однофазная двухполупериодная схема выпрямления (с нулевым выводом)

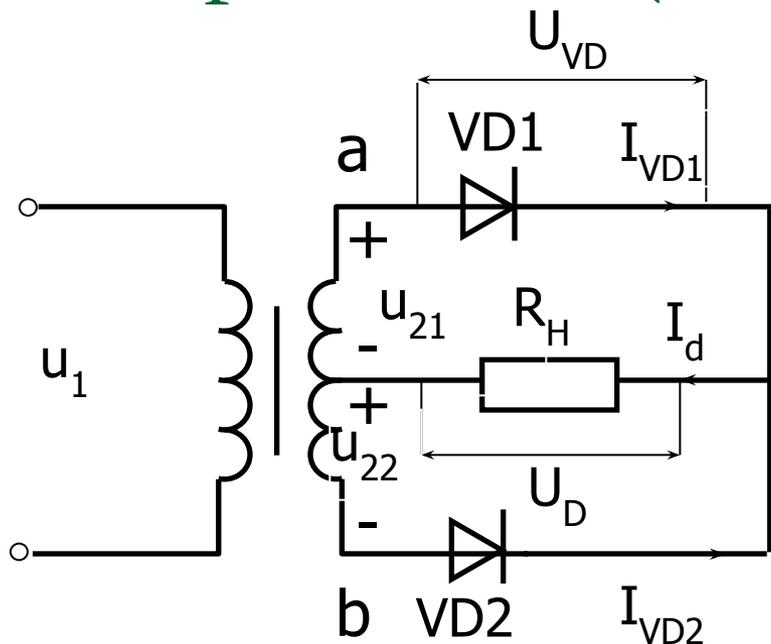
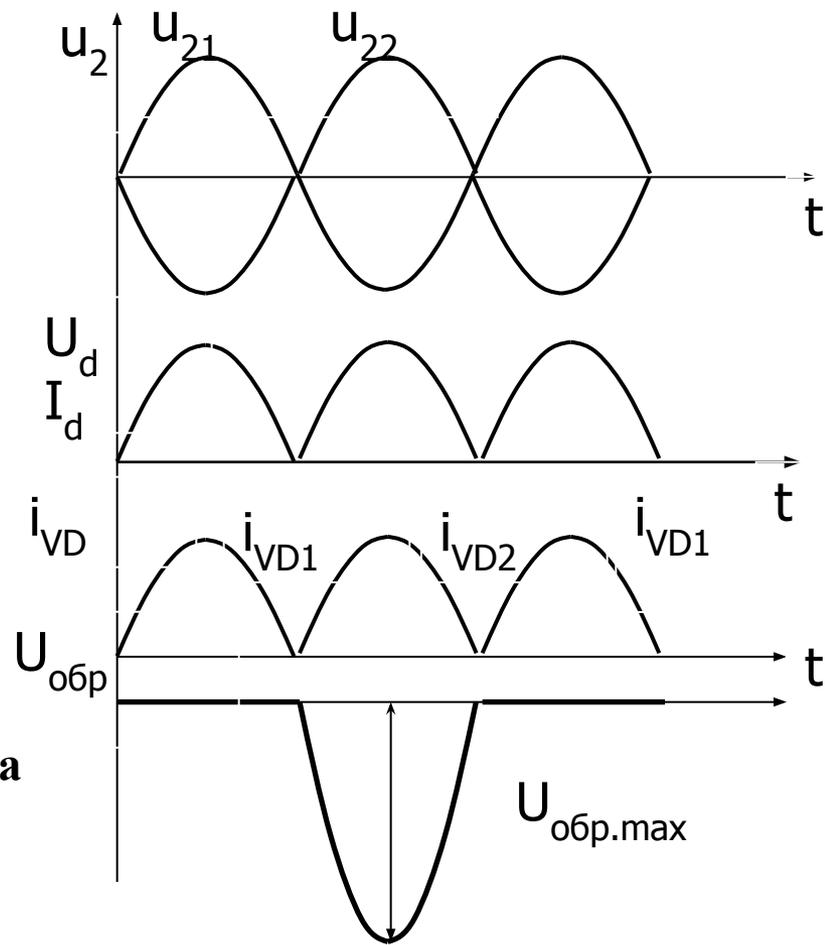


Схема соединения обмоток трансформатора такова, что одинаковые по величине напряжения на выводах вторичных обмоток относительно общей (нулевой) точки сдвинуты по фазе на 180°



- Первый полупериод: VD1 – открыт, ток протекает через VD1, нагрузку и верхнюю половину вторичной обмотки трансформатора; VD2 – закрыт.
- Второй полупериод: VD2 – открыт, ток протекает через VD2, нагрузку и нижнюю половину вторичной обмотки трансформатора; VD1 – закрыт.
- Через нагрузку протекает ток в одном и том же направлении в течение всего периода.

График $U_{\text{обр}}$

- Во второй полупериод закрыт диод VD1, так как находится под обратным напряжением равным разности потенциалов точек a и b и максимальное значение этой разности потенциалов равно удвоенному амплитудному значению напряжения одной из половин вторичной обмотки.

$$U_{VD1\text{обр}} = U_A - U_K = -U_{21} - U_{22} = -2U_{21},$$

$$\text{Т.К. } r_{VD} \approx 0$$

Основные расчетные соотношения

$$K_{II} = 0,67$$

$$U_0 = 0,9 \cdot U_2$$

$$U_{обр. \max} = 2\sqrt{2} \cdot U_2$$

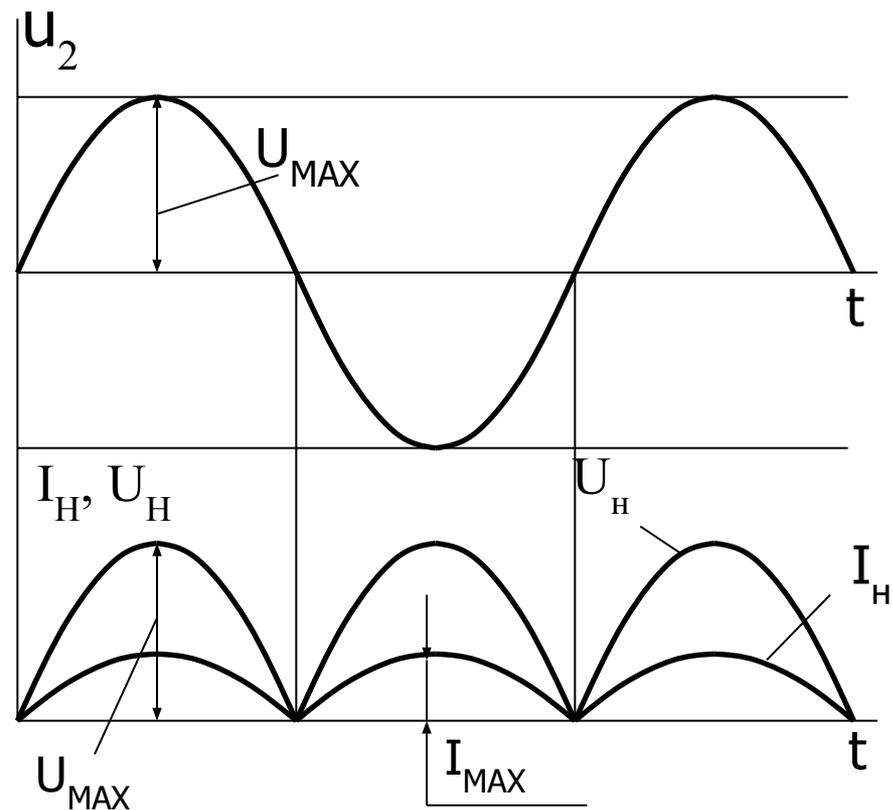
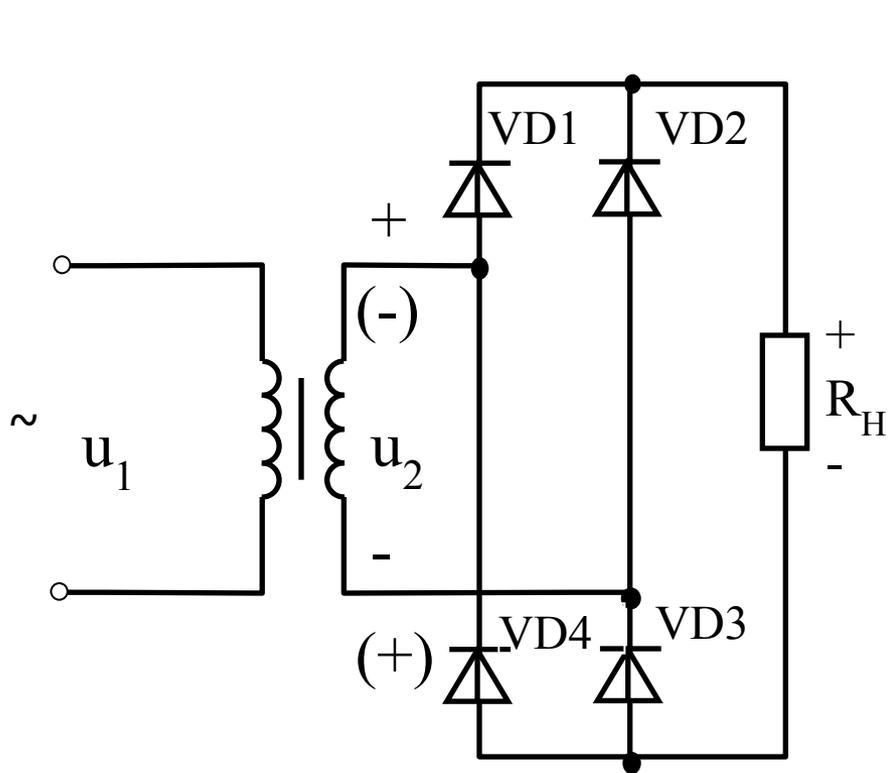
Достоинства схемы

- В 2 раза меньше коэффициент пульсаций;
- Меньше масса и габаритные размеры трансформатора из-за отсутствия подмагничивания магнитопровода.

Недостатки схемы

- Необходимость вывода средней точки вторичной обмотки трансформатора;
 - Наличие в схеме двух диодов вместо 1.
-

Однофазная мостовая схема выпрямления



- В первый полупериод ток протекает:
+, VD1, R_н, VD3,-.
- Во второй полупериод ток протекает:
(+), VD2, R_н, VD4,(-).

График $U_{обр}$

$$U_{VD2обр} = U_A - U_K = -U_2,$$

$$Т.К. r_{VD} \approx 0$$

Основные расчетные соотношения

$$K_{II} = 0,67$$

$$U_0 = 0,9 \cdot U_2$$

$$U_{обр. \max} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

Достоинства схемы

- Меньше амплитуда обратного напряжения;
- Ток в обмотке трансформатора синусоидальный (лучшее использование трансформатора).

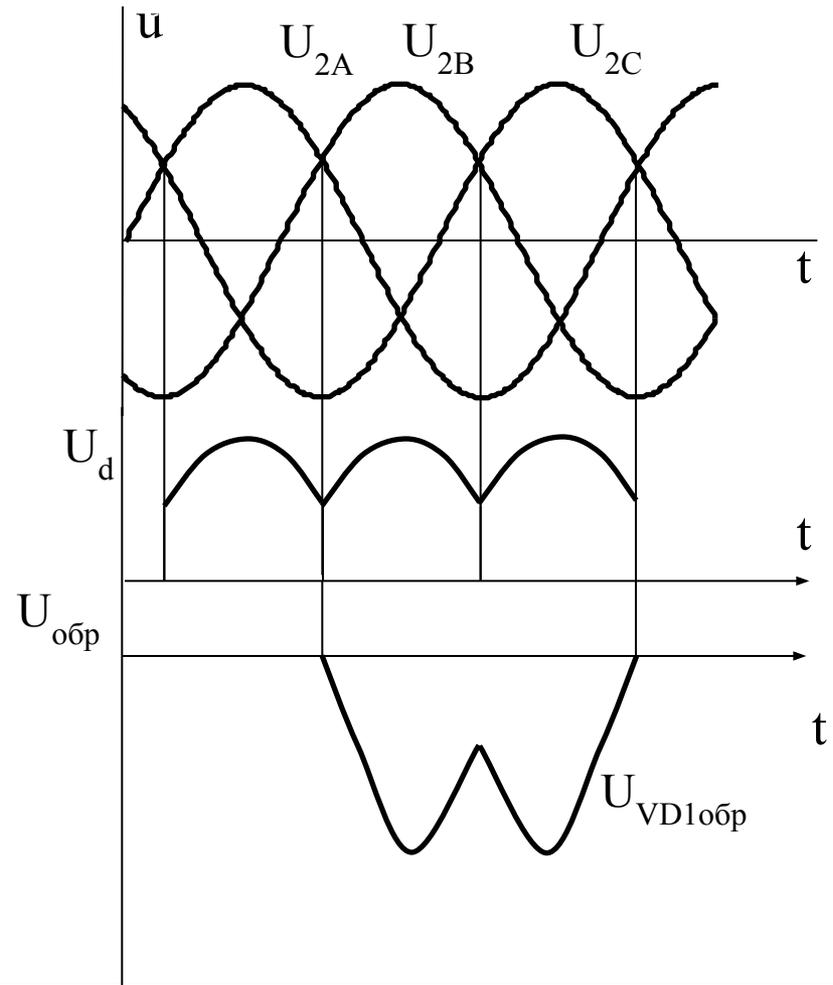
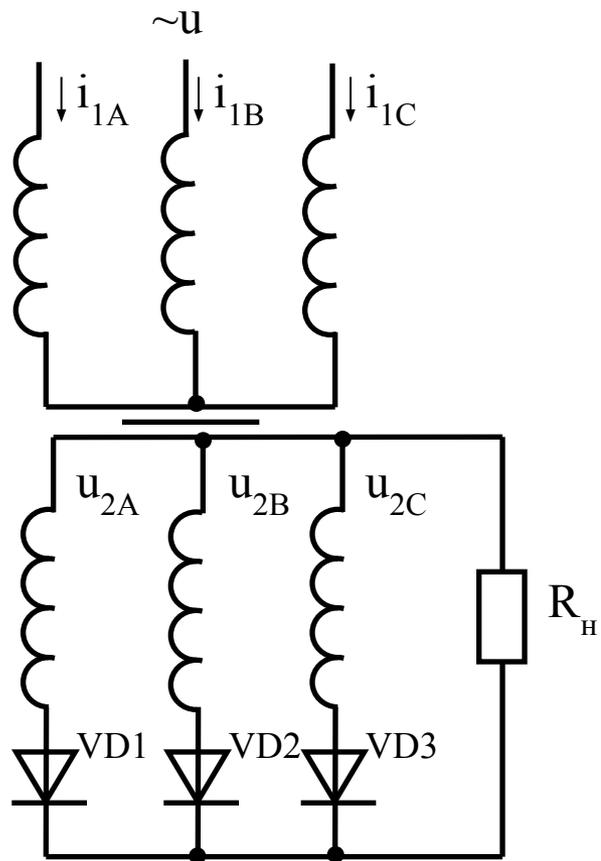
Недостатки схемы

- Использование 4 диодов;
 - Больше потерь.
-

Трехфазные выпрямители

- Применяются обычно при больших мощностях, возможность получения выпрямленного напряжения высокого качества.
-

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом



-
- В данном выпрямителе в любой произвольно выбранный момент времени открыт тот диод, анод которого находится под наибольшим положительным потенциалом.
 - Два других диода будут закрыты, так как наибольший потенциал открытого диода окажется запирающим для двух других.
 - VD1, VD2, VD3 – работают поочередно в течение $1/3$ периода
-

Основные расчетные соотношения

$$K_{II} = 0,25$$

$$U_0 = 1,17 \cdot U_{2\phi}$$

$$U_{обр. max} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_2$$

$$f_n = 3 \cdot f_c$$

Недостаток: вынужденное
подмагничивание магнитопровода

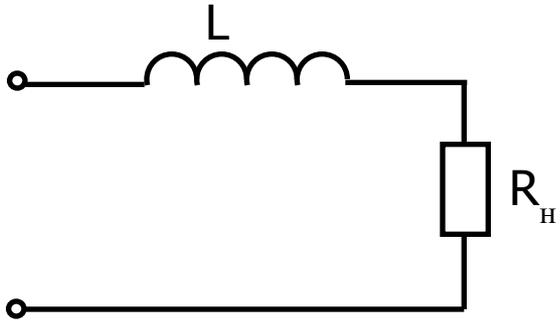
Фильтрация выпрямленного напряжения

- Фильтрация (сглаживание) – повышение качества выпрямленного напряжения, уменьшение пульсаций.
 - Фильтры бывают:
 - 1) Пассивные (на реактивных элементах L и C);
 - 2) Активные (с применением электронных приборов).
-

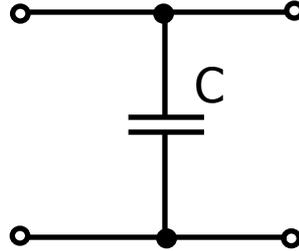
Пассивные фильтры

- Принцип действия основан на различии сопротивлений реактивных элементов постоянной и переменной составляющим.
-

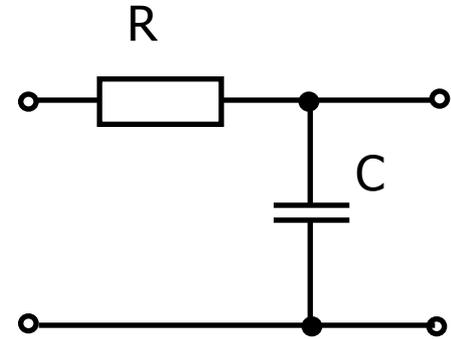
1



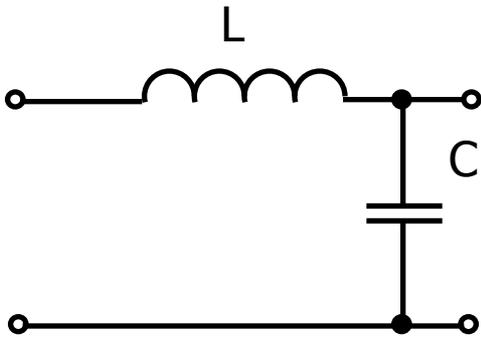
2



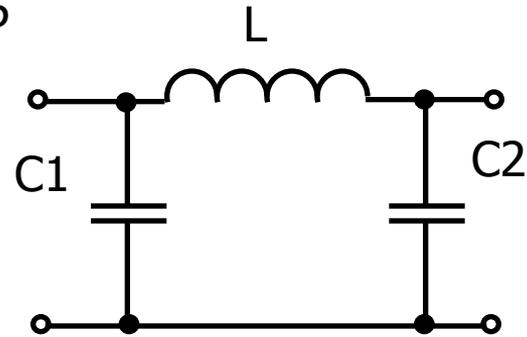
3



4

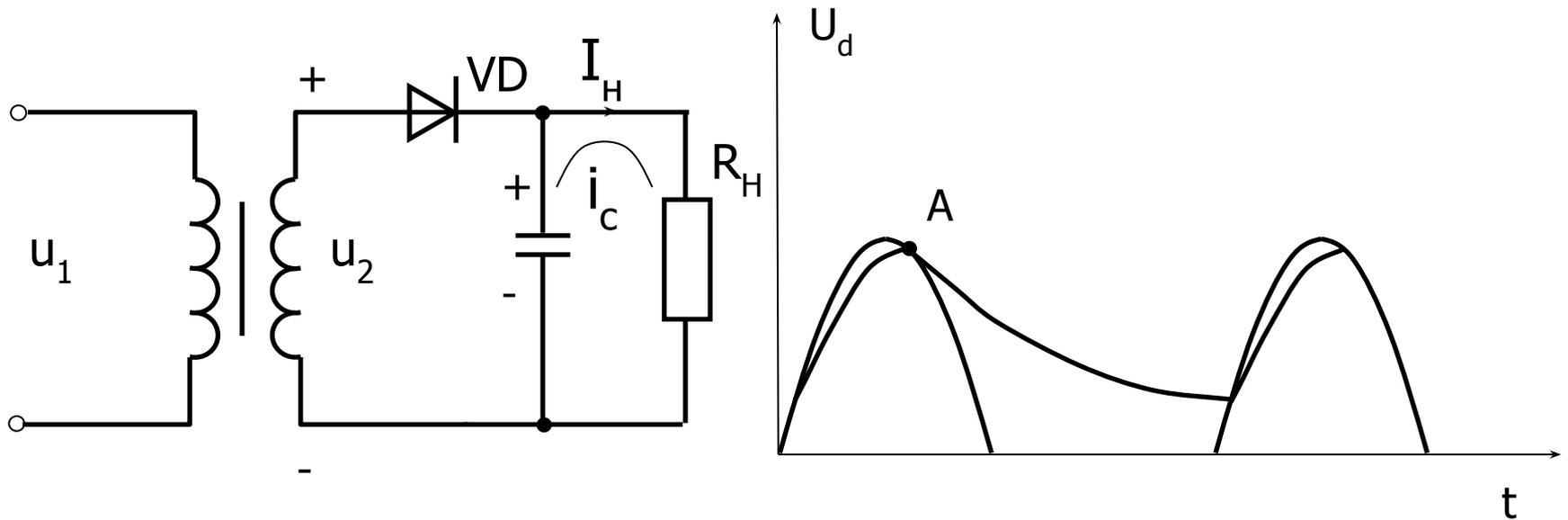


5



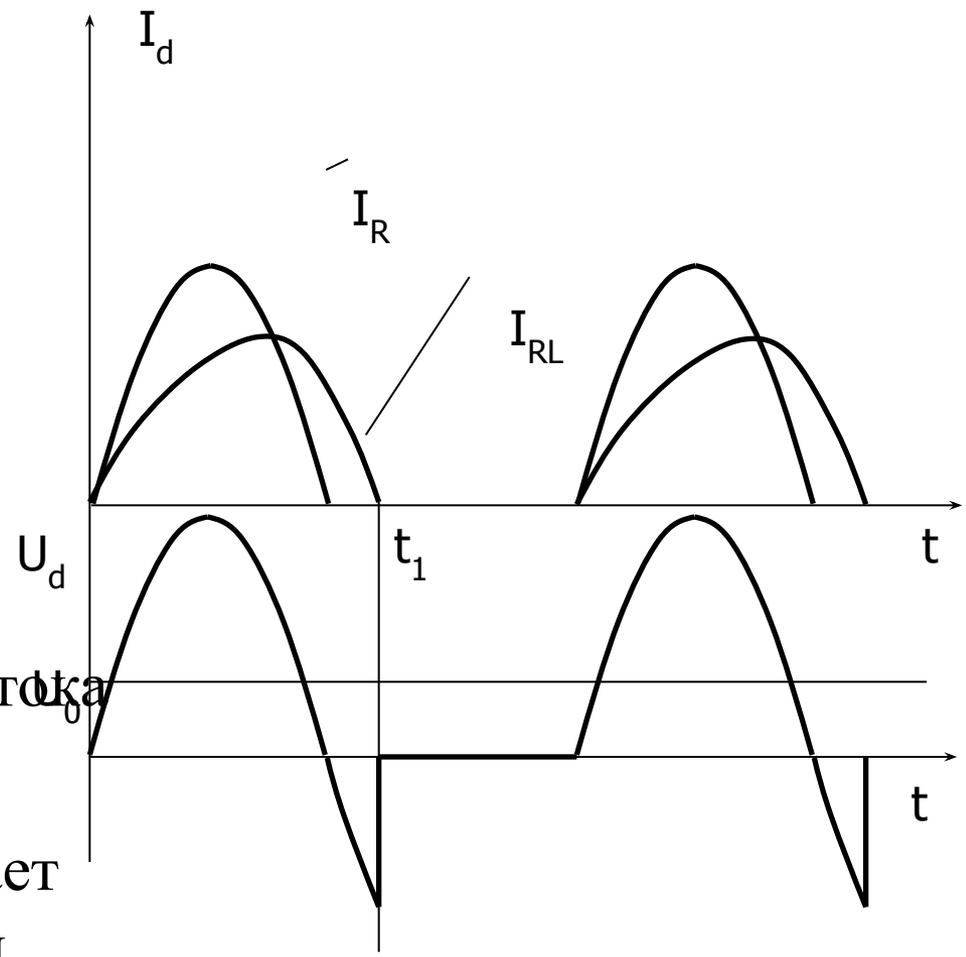
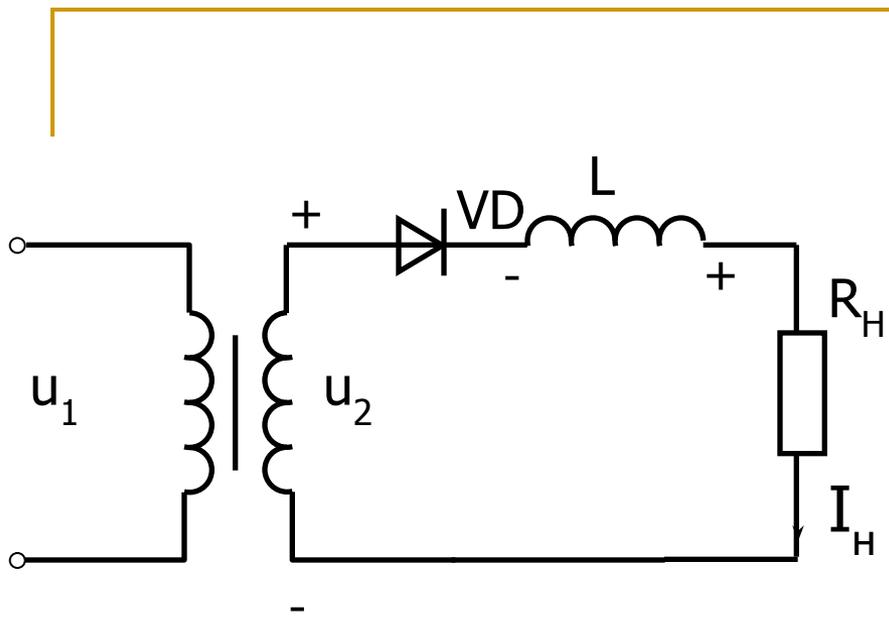
-
- 1 – L – фильтр (дополнительное сопротивление переменному току);
 - 2 – C-фильтр (замыкает переменную составляющую);
 - 3 - RC- фильтр (переменная составляющая замыкается на C и дополнительно теряется на R);
 - 4 - Г-образный LC-фильтр;
 - 5 – П-образный фильтр.
-

Емкостный фильтр



Индуктивный фильтр

- Переменная составляющая выпрямленного тока создает в магнитопроводе дросселя магнитный поток, индуцирующий в его обмотке противо-ЭДС, которая препятствует изменению тока в цепи.
- Уменьшение амплитуды переменной составляющей выпрямленного тока вызывает уменьшение пульсаций напряжения на нагрузке



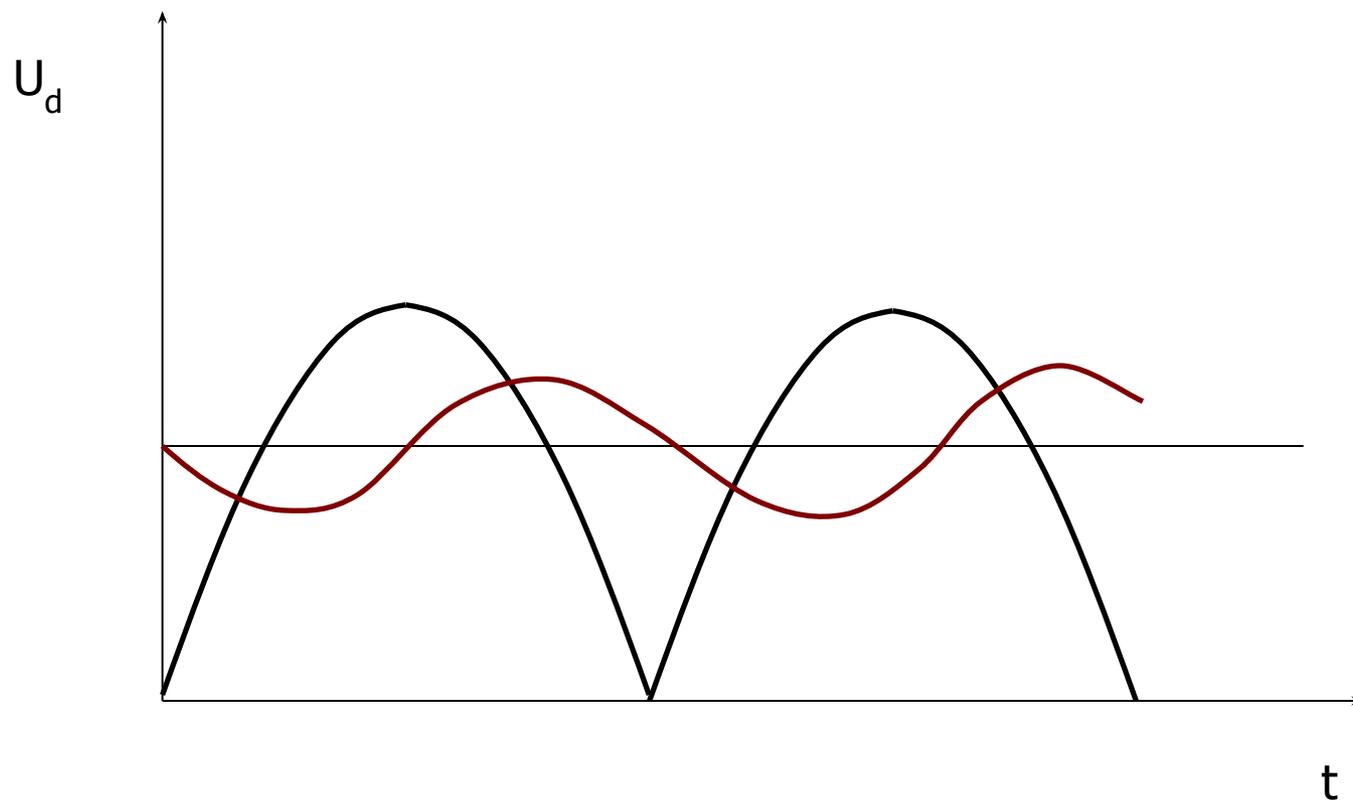
Из-за противо-ЭДС нарастание тока меньше.

ЭДС самоиндукции поддерживает ток вентиля до t_1 , потом энергия перерасходовалась и больше не может поддерживать ток

$$U_0^{RL} < U_0^R$$

L-фильтр в однофазной однополупериодной схеме не используется

Индуктивный фильтр в однофазной двухполупериодной схеме выпрямления



Внешняя характеристика выпрямителя

$$U_d = U_{d0} - (r_a + r_{np}) \cdot I_d$$

- где r_a - сопротивление обмоток трансформатора;
- r_{np} - сопротивление вентиля в прямом направлении
- $U_{d0} = \frac{2}{\pi} E_{2m}$ - среднее значение выпрямленного напряжения при хх.

