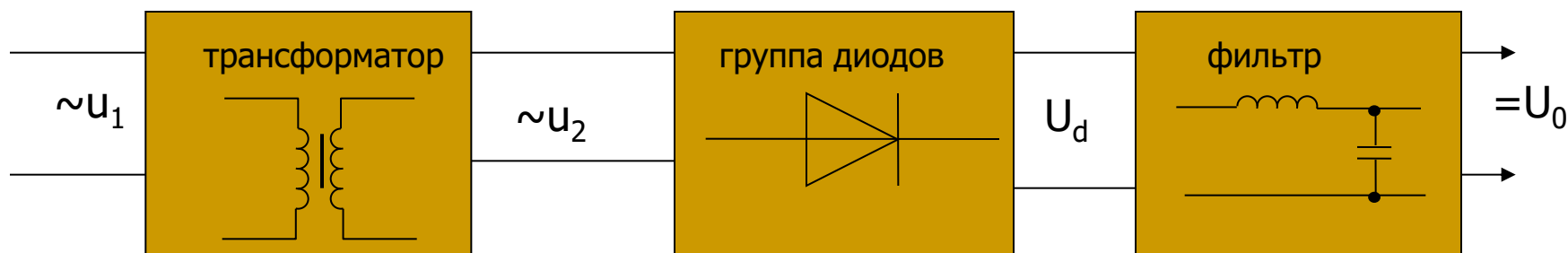


# Лекция 2

## Выпрямители

- Выпрямитель – это устройство для преобразования переменного тока в постоянный

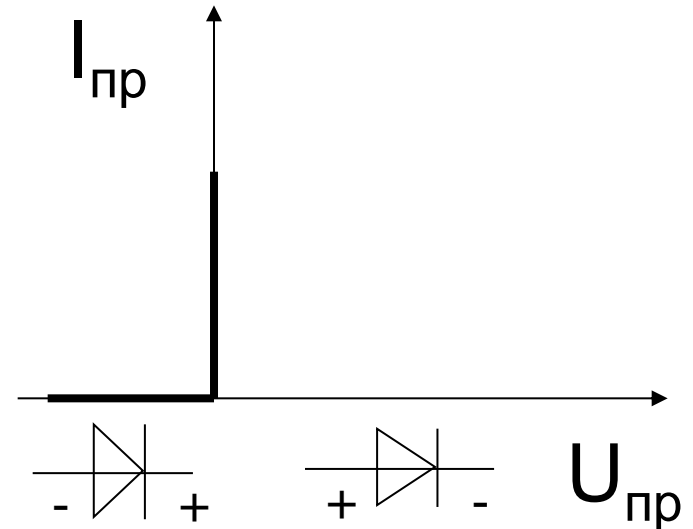
## Общая структура выпрямителей



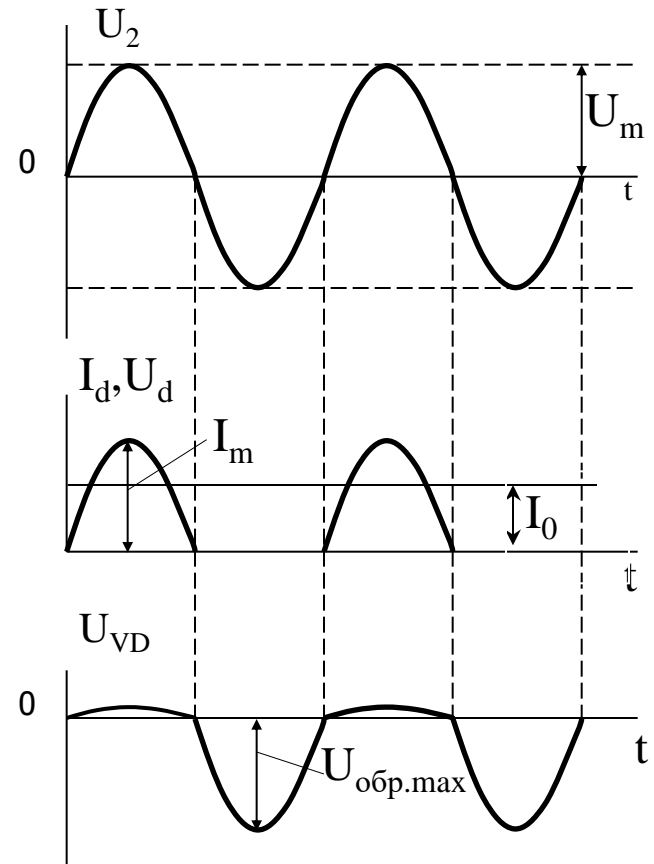
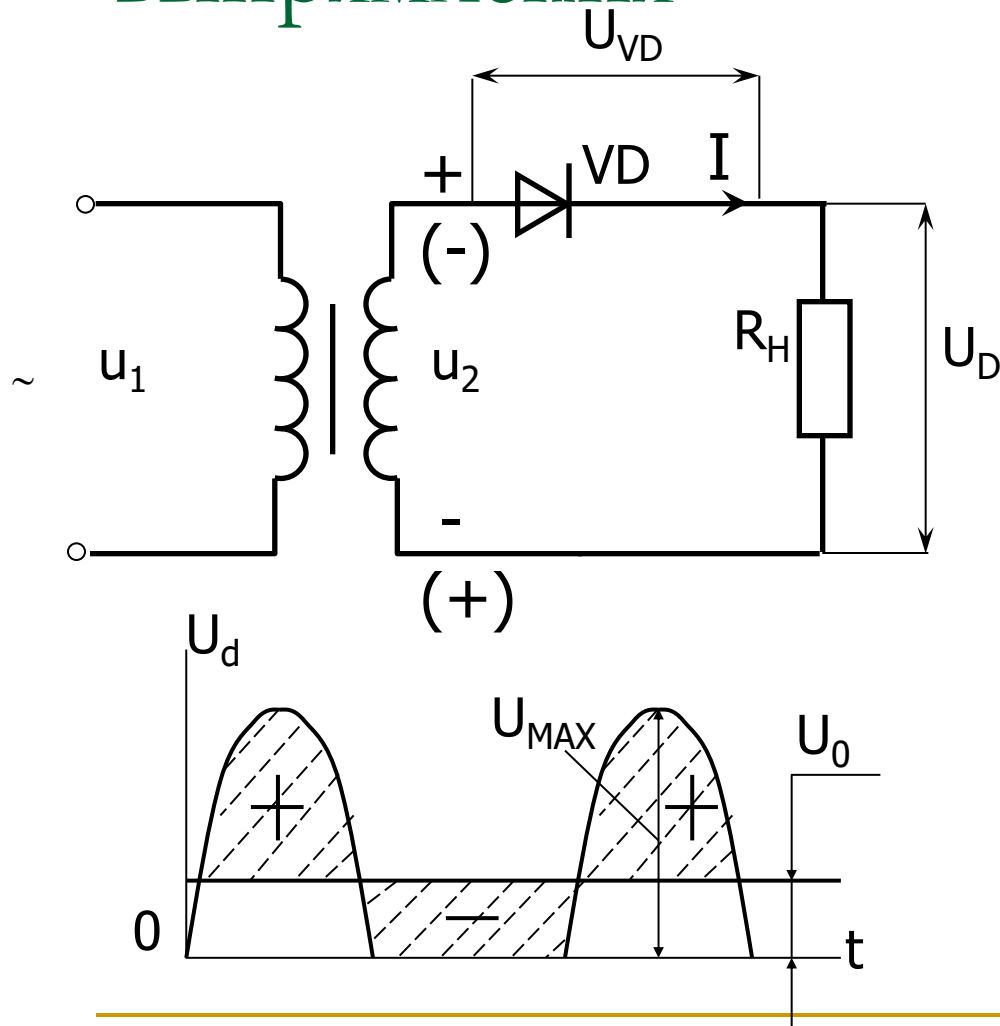
- Трансформатор доводит напряжение до номинала
- Группа диодов выпрямляет переменное напряжение
- Фильтр улучшает качество выпрямления

# 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

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

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

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

$$U_{обр. max} = \sqrt{2} U_2$$

# 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)

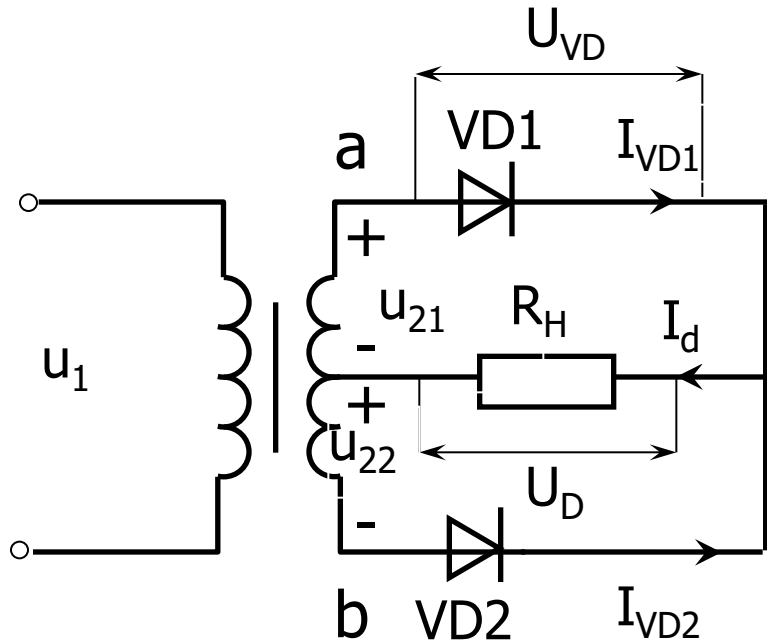
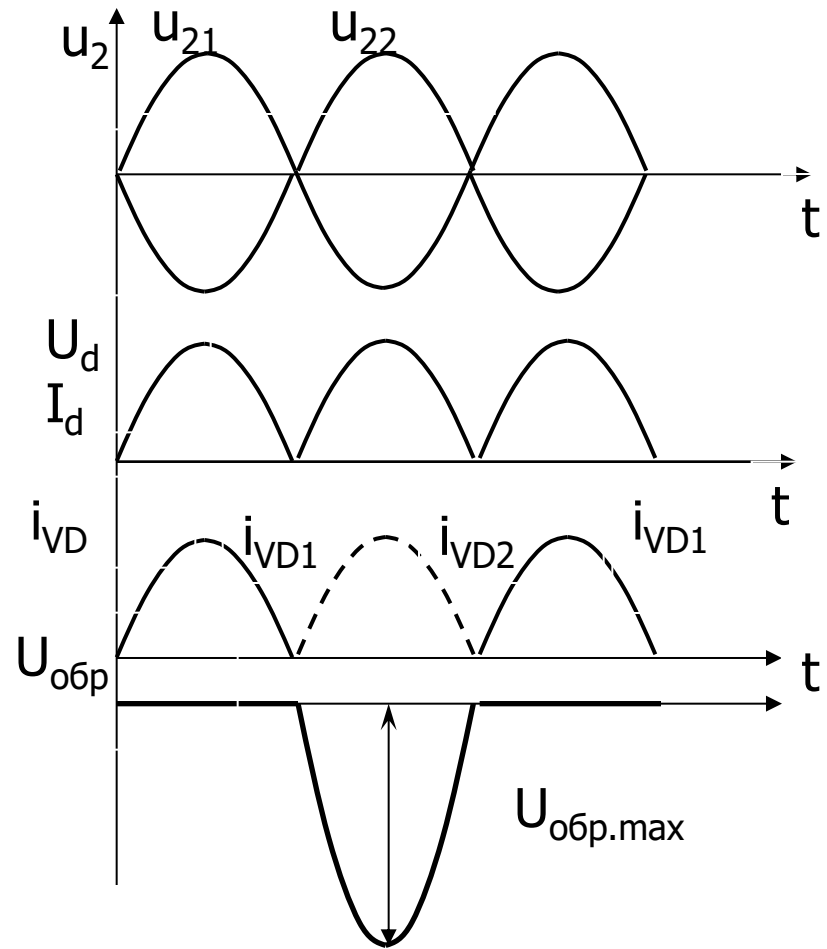


Схема соединения обмоток трансформатора такова, что одинаковые по величине напряжения на выводах вторичных обмоток относительно общей (нулевой) точки сдвинуты по фазе на  $180^\circ$



- 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 $U_{обр}$

- 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.

$$U_{VD1обр} = U_A - U_K = -U_{21} - U_{22} = -2U_{21},$$

$$т.к. r_{VD} \approx 0$$

# Основные расчетные соотношения

$$K_{\Pi} = 0,67$$

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

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

---

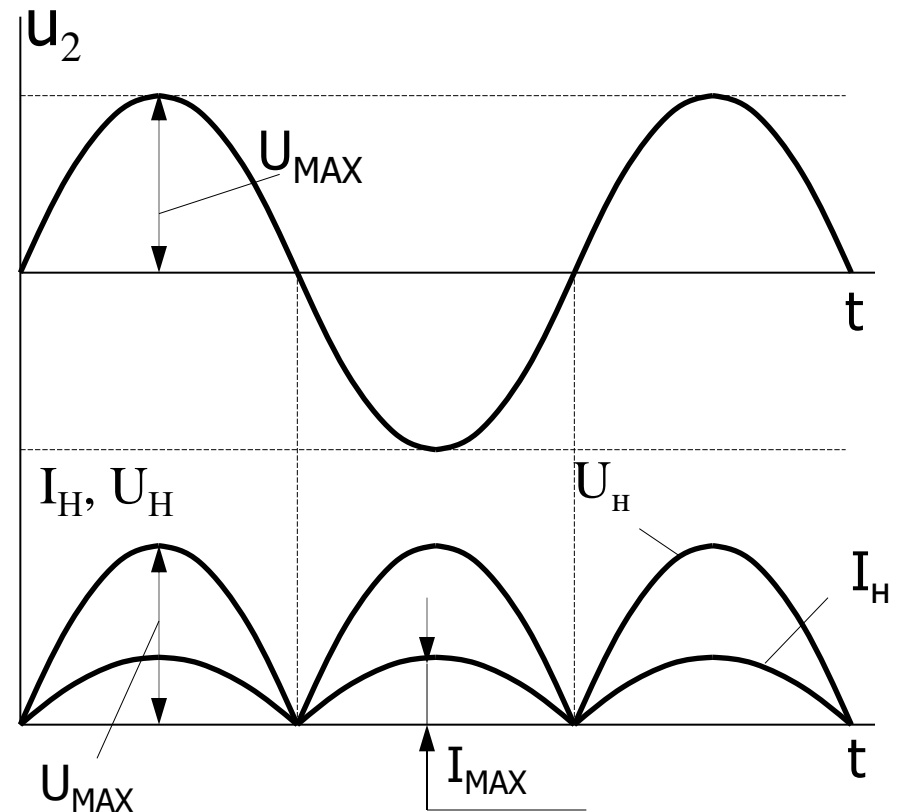
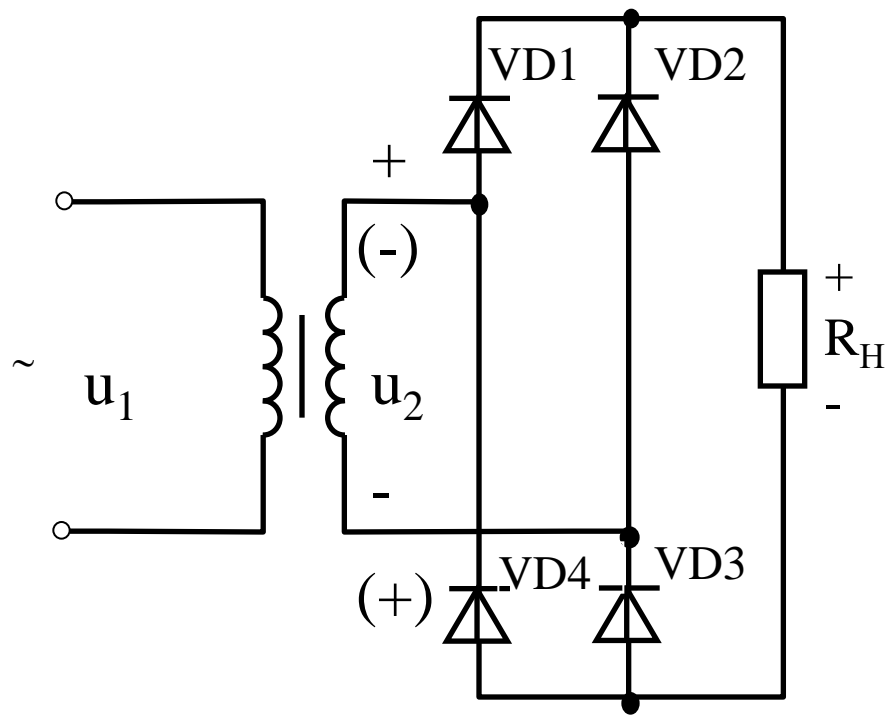
## Достоинства схемы

- 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<sub>н</sub>, VD3,-.
- Во второй полупериод ток протекает:  
(+), VD2, R<sub>н</sub>, VD4,(-).

График  $U_{обр}$

$$U_{VD2обр} = U_A - U_K = -U_2,$$

$$т.к. r_{VD} \approx 0$$

# Основные расчетные соотношения

$$K_{\Pi} = 0,67$$

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

$$U_{обр. max} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

## Достоинства схемы

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

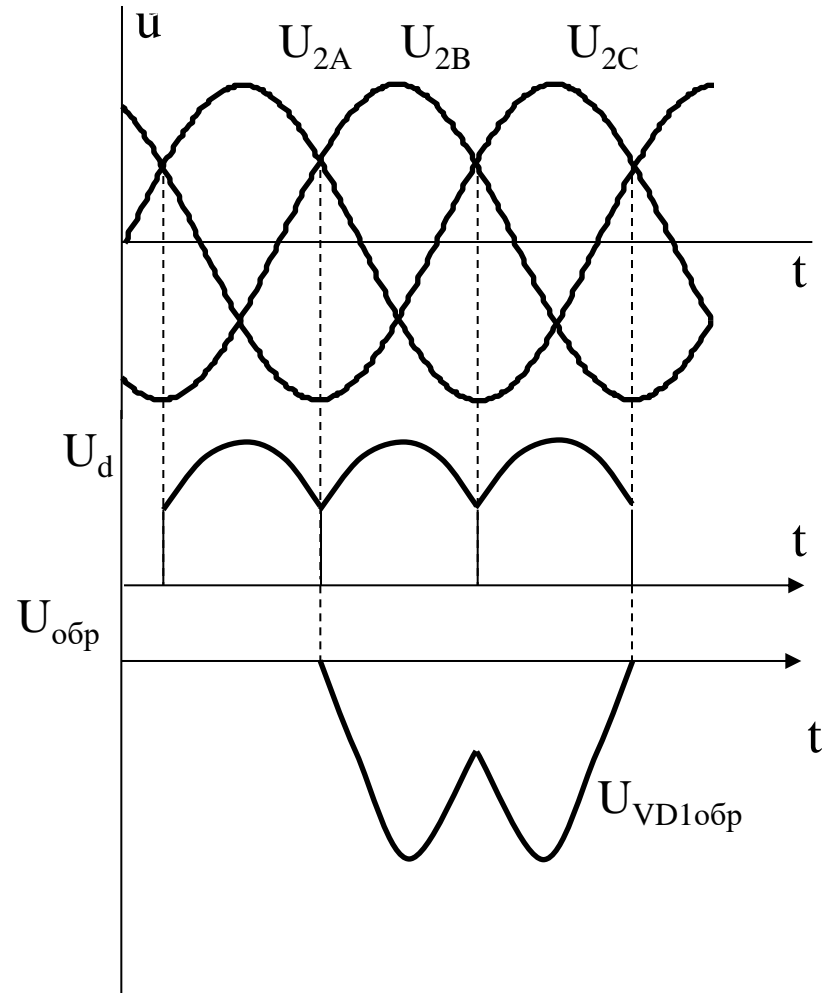
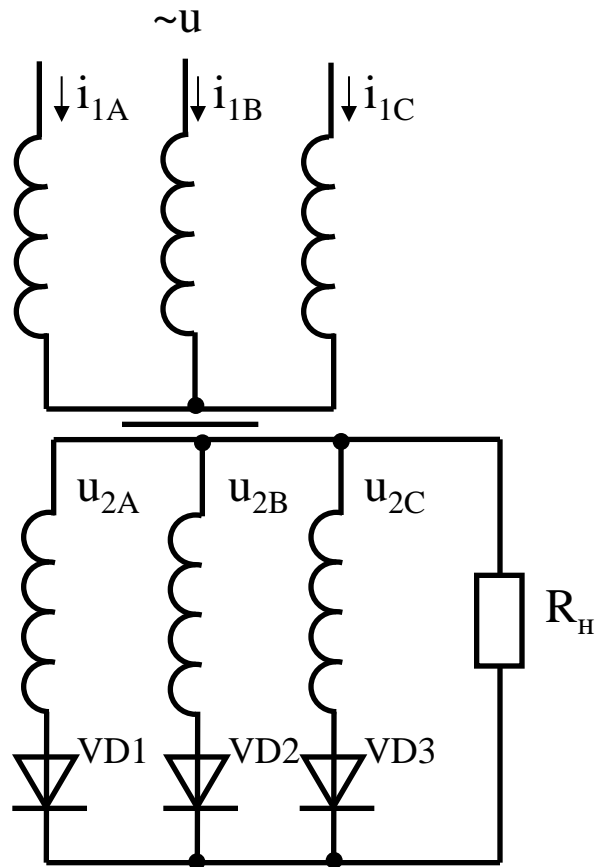
## Недостатки схемы

- 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

$$K_{\Pi} = 0,25$$

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

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

$$f_n = 3 \cdot f_c$$

Недостаток: вынужденное  
подмагничивание магнитопровода

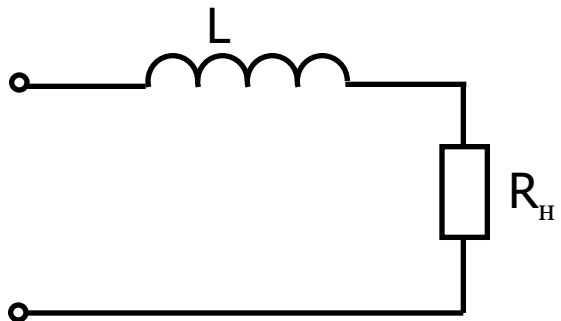
# Фильтрация выпрямленного напряжения

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

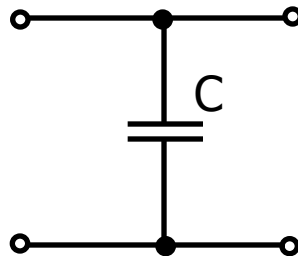
# Пассивные фильтры

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

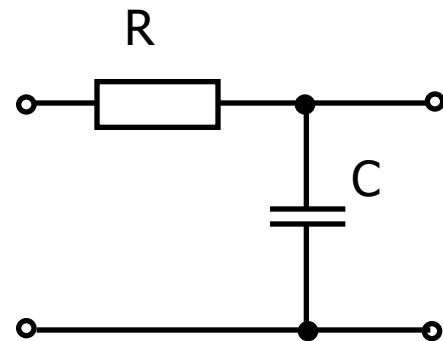
1



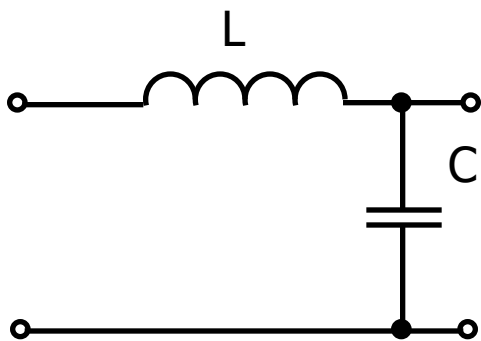
2



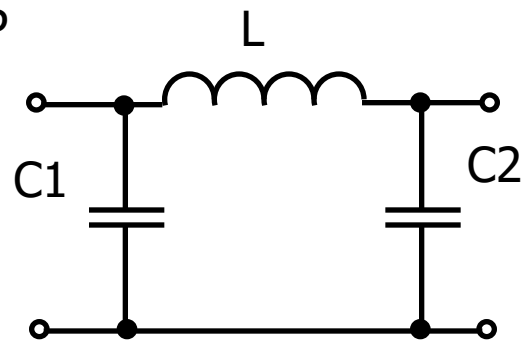
3



4

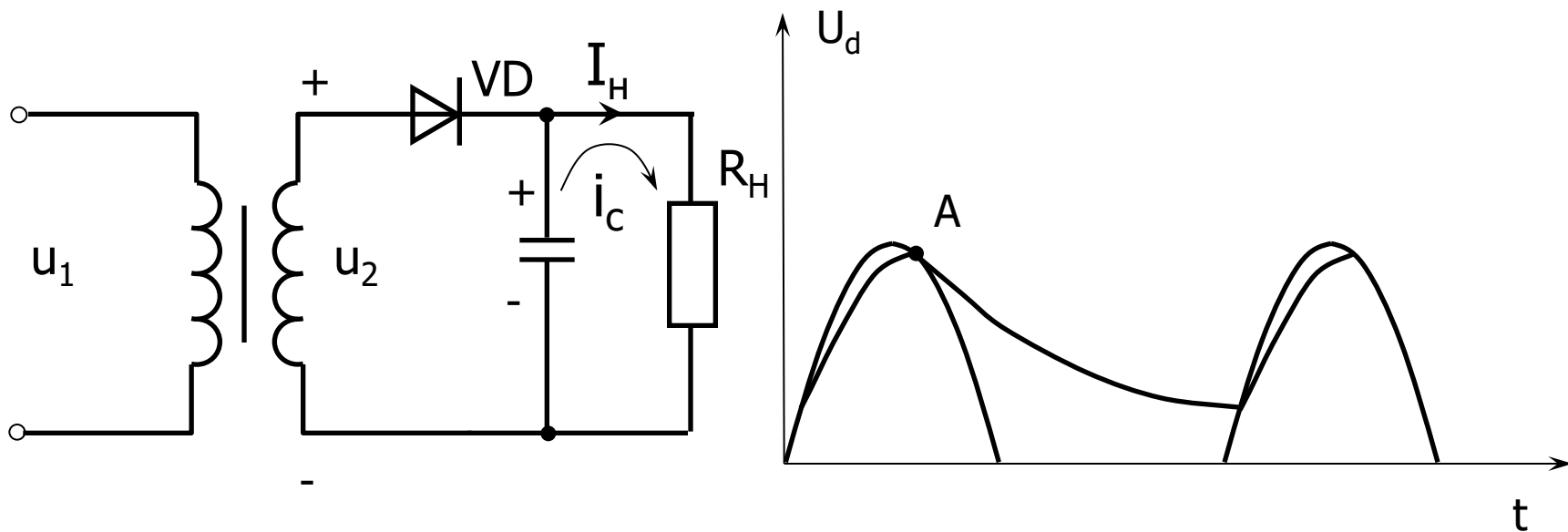


5



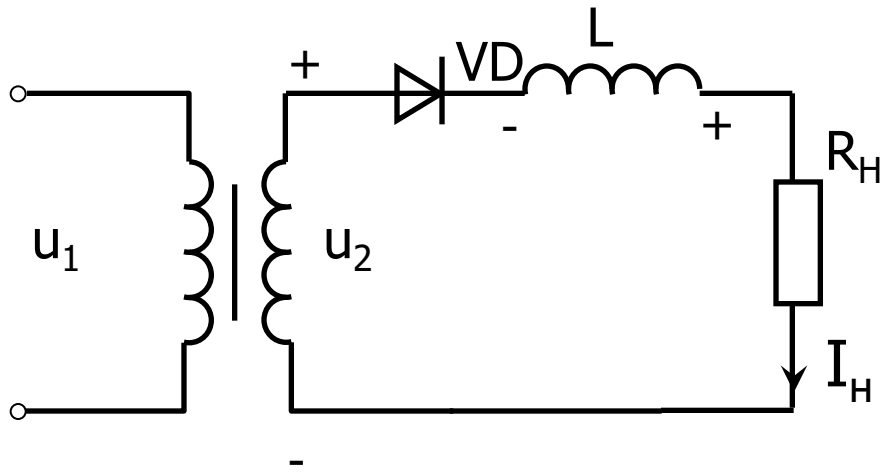
- 1 – L – фильтр (дополнительное сопротивление переменному току);
- 2 – C-фильтр (замыкает переменную составляющую);
- 3 - RC- фильтр (переменная составляющая замыкается на C и дополнительно теряется на R);
- 4 - Г-образный LC-фильтр;
- 5 – П-образный фильтр.

# Емкостный фильтр



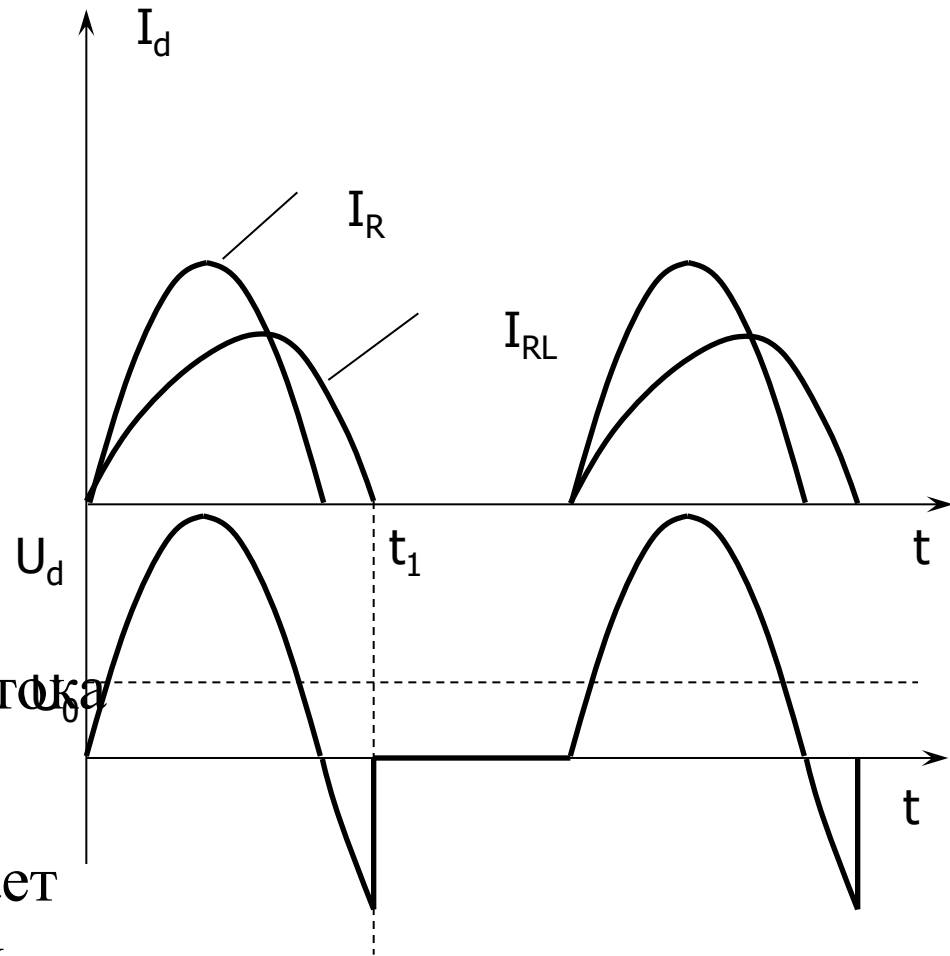
# Индуктивный фильтр

- 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.

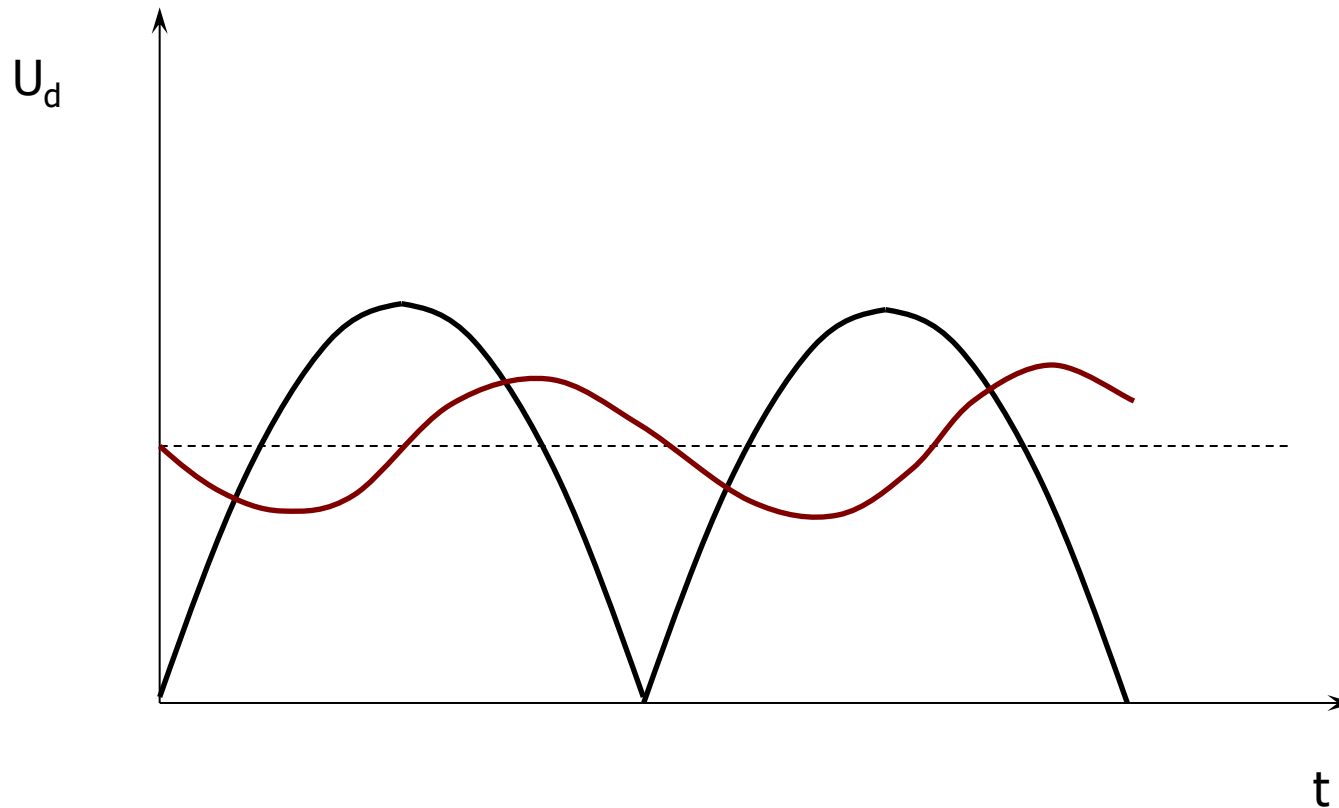
ЭДС самоиндукции поддерживает ток вентиля до  $t_1$ , потом энергия перерасходовалась и больше не может поддерживать ток



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

**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.

