

---

# Лекция №1

**02.09.20**

---

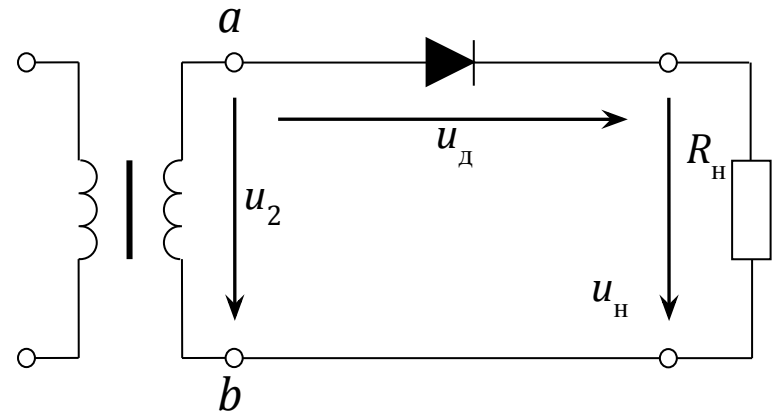
---

# 2. Неуправляемые выпрямители

- 
- 2.1. Однополупериодный выпрямитель
  - 2.2. Мостовой выпрямитель
  - 2.3. Применение фильтров

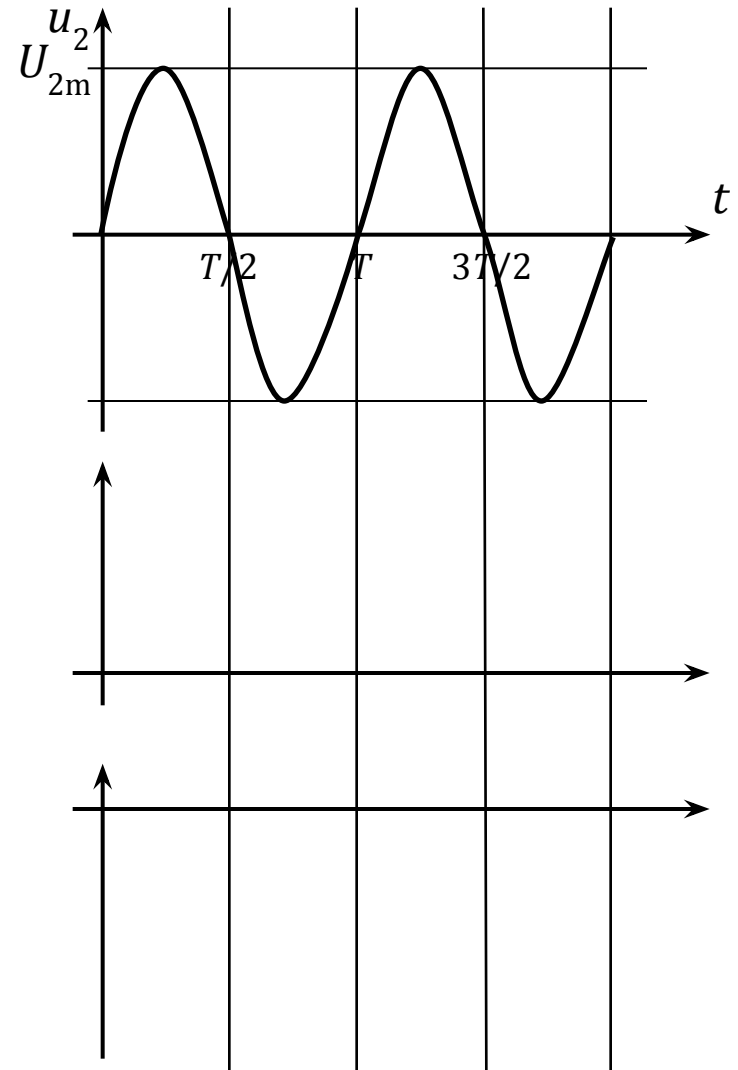
## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- Однополупериодный и мостовой выпрямители используют для преобразования синусоидального напряжения в постоянное (его называют выпрямленным).
- Существуют однофазные и трехфазные выпрямители.
- Однополупериодный выпрямитель состоит из трансформатора, диода и сопротивления нагрузки.
- Диод будем считать идеальным: прямое сопротивление диода равно нулю, а обратное сопротивление диода бесконечно велико.



## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

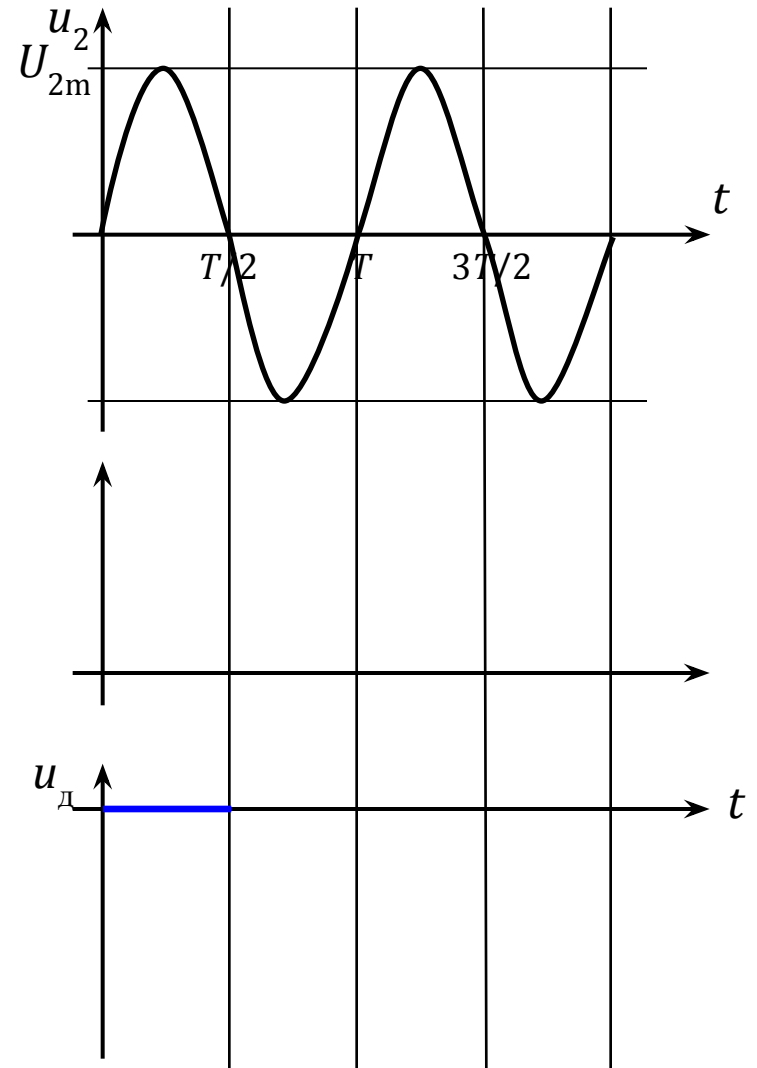
- Анализ работы выпрямителя удобно проводить с помощью осциллограмм (временных диаграмм).
- Напряжение на вторичной обмотке трансформатора:
$$u_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t)$$
- По осциллограмме видно, что напряжение меняет знак в течение периода. Удобнее проводить анализ двух промежутков времени отдельно.



## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- $0 < t < T/2$
- В этом промежутке времени напряжение  $u_2 > 0$ , то есть  $\phi_a > \phi_b$ .
- Диод будет смещен в прямом направлении, то есть открыт.
- В цепи будет протекать ток.
- Сопротивление идеального диода равно нулю,  $r_{д.пр} = 0$ .
- Напряжение на диоде по закону Ома также равно нулю:

$$u_{д.пр} = i_{пр} \cdot r_{д.пр} = 0$$



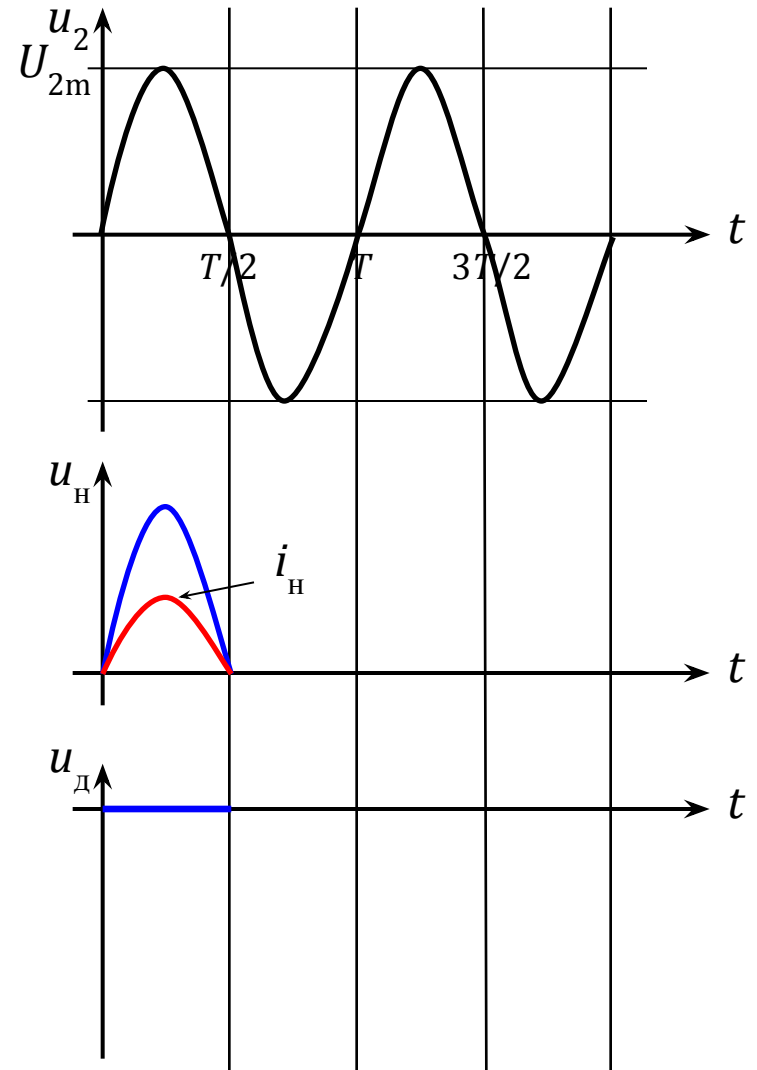
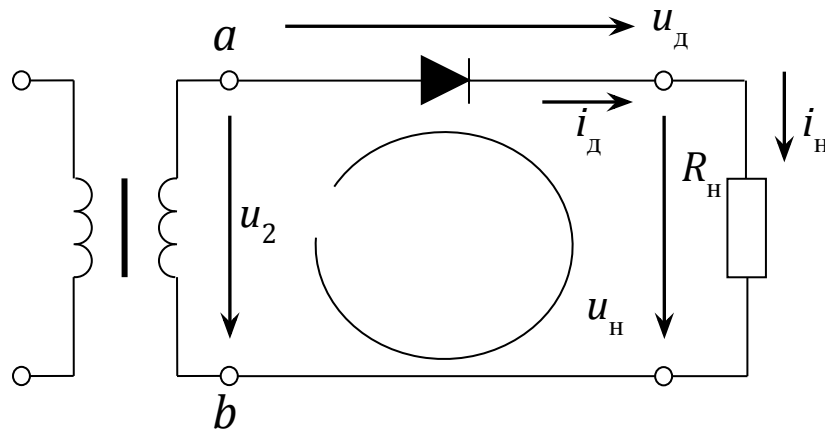
## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- Тогда по второму закону Кирхгофа можно записать:

$$u_2 = u_H + u_D \Rightarrow u_H = u_2$$

- Напряжение на нагрузке повторяет  $u_2$ .
- Ток в нагрузке по закону Ома:

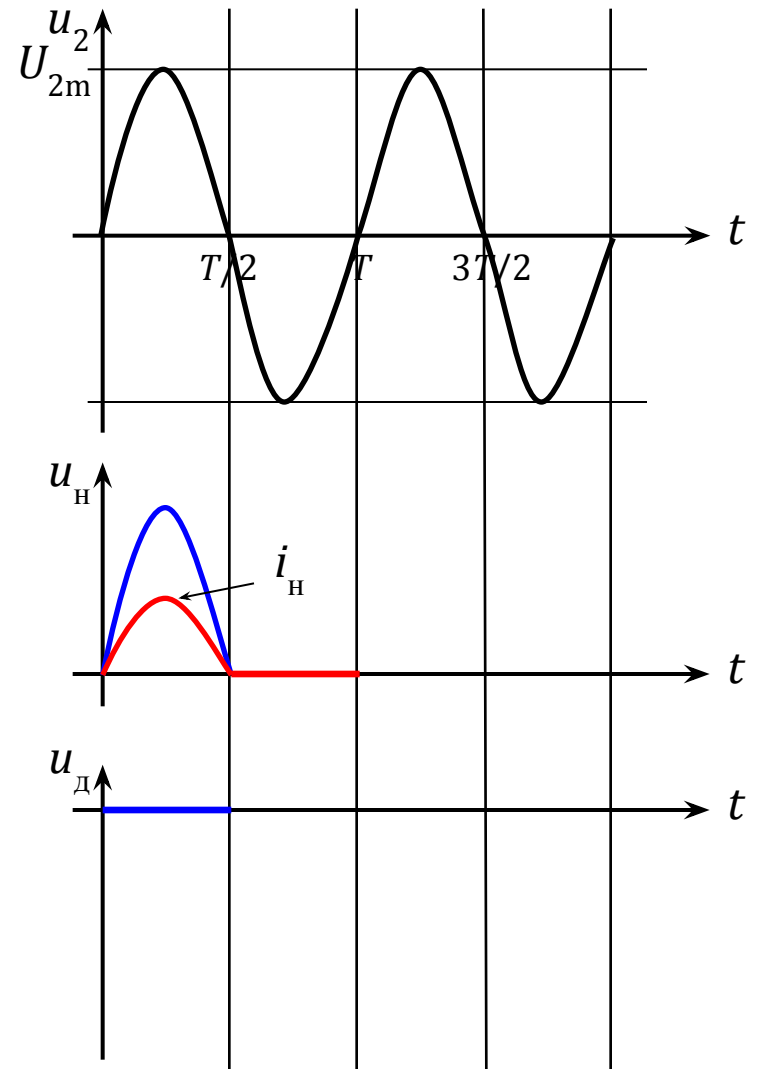
$$i_H = \frac{u_H}{R_H} = i_D$$



## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- $T/2 < t < T$
- В этом промежутке времени напряжение  $u_2 < 0$ , то есть  $\phi_a < \phi_b$ .
- Диод будет смещен в обратном направлении, то есть закрыт.
- Сопротивление идеального диода возрастает до бесконечности,  $r_{\text{д.обр}} = \infty$ .
- Диод будет представлять собой разрыв цепи, ток в ней протекать не будет.

$$i_d = i_n = 0$$



## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

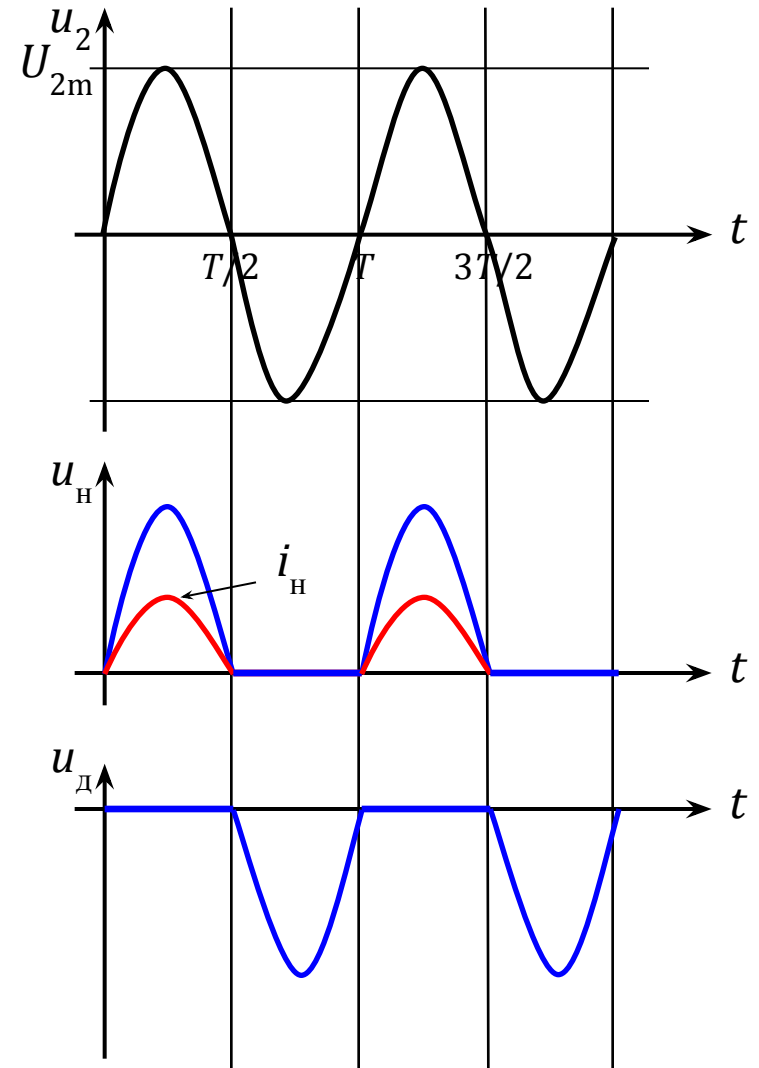
- По закону Ома напряжение в нагрузке также равно нулю:

$$u_H = i_H \cdot R_H = 0$$

- По второму закону Кирхгофа определяем напряжение на диоде.

$$u_2 = u_H + u_D \Rightarrow u_D = u_2$$

- В следующем полупериоде работа выпрямителя повторяет работу в промежутке  $0 < t < T/2$





## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- Для оценки качества выпрямления рассчитаем основные параметры однополупериодного выпрямителя.

- 1) Среднее выпрямленное напряжение (в нагрузке)  $U_{н.ср}$

$$U_{н.ср} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,45 \cdot U_2$$

- 2) Средний выпрямленный ток (в нагрузке)  $I_{н.ср}$

$$I_{н.ср.} = \frac{U_{н.ср.}}{R_n} = \frac{U_2 \sqrt{2} / \pi}{R_n} \approx 0,45 \frac{U_2}{R_n}$$

- 3) Среднее значение тока диода  $I_{д.ср}$

$$I_{д.ср.} = I_{н.ср.}$$

## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- Основные параметры однополупериодного выпрямителя.
- 4) Максимальное обратное напряжение (в диоде)  $U_{\text{обр.max}}$

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

- 5) Коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке  $p$

$$p = \frac{U_{m(1)}}{U_{\text{н ср}}} = \frac{(U_{\text{н max}} - U_{\text{н min}}) / 2}{U_{\text{н ср}}} = \frac{U_{2m} / 2}{U_{\text{н ср}}} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57$$

## §2.1. Однополупериодный выпрямитель

- Недостатки однополупериодного выпрямителя по сравнению с другими выпрямителями – большой коэффициент пульсаций, малые значения выпрямленного тока и напряжения.
- Основным преимуществом такого выпрямителя является его простота.
- При выборе диода для применения в однополупериодном выпрямителе необходимо знать среднее значение тока диода  $I_{д.ср}$  и максимальное обратное напряжение  $U_{обр.мах}$ .
- Для надежной работы необходимо, чтобы диод обладал по паспорту параметрами, на 30% превышающими требуемые для работы в выпрямителе.

$$I_{д(нач)} \geq 1,3 \cdot I_{д.ср.}$$

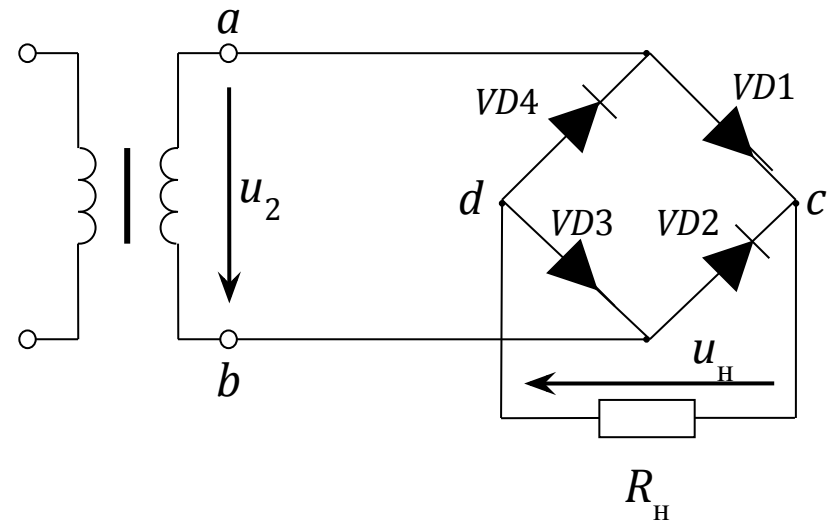
$$U_{обр(нач)} \geq 1,3 \cdot U_{обр.мах}$$

## §2.2. Мостовой выпрямитель

- Мостовой выпрямитель является одним из вариантов схемы двухполупериодного выпрямителя.
- Схема мостового выпрямителя состоит из трансформатора, к вторичной обмотке которого подключены 4 диода и сопротивление нагрузки. Диоды включены по мостовой схеме.

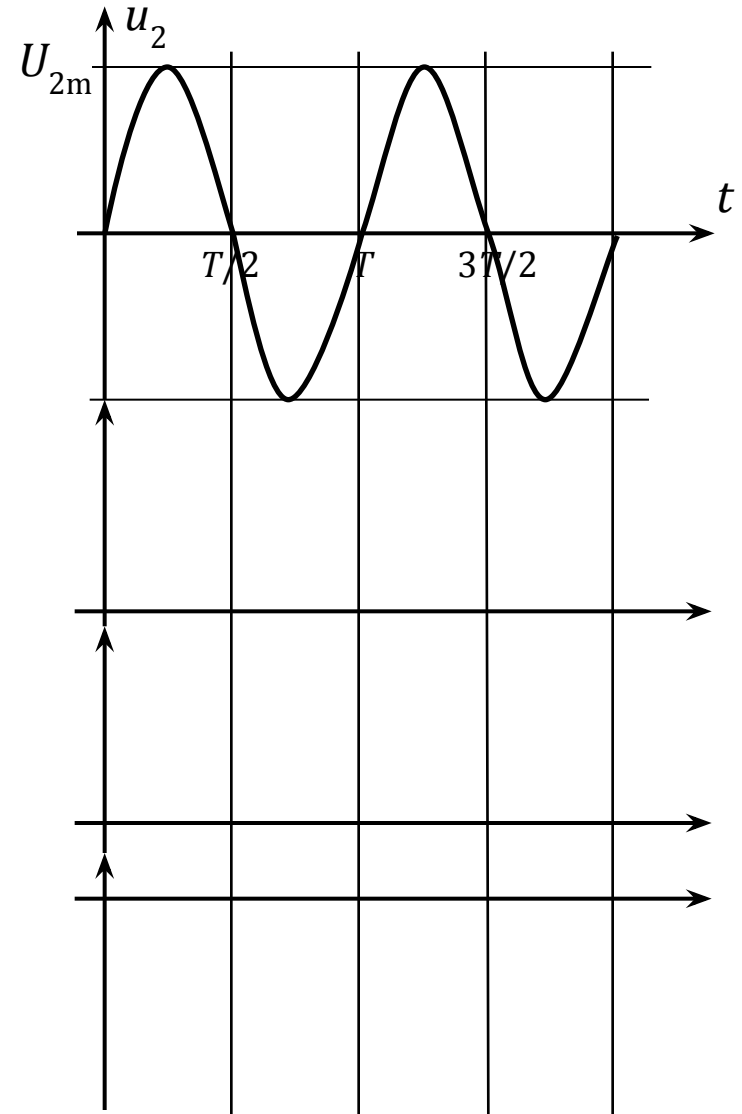
- Все диоды будем считать идеальными:  
сопротивление каждого диода равно нулю, а обратное сопротивление диода бесконечно велико.

$$r_{д.пр} = 0 \quad r_{д.обр} = \infty$$



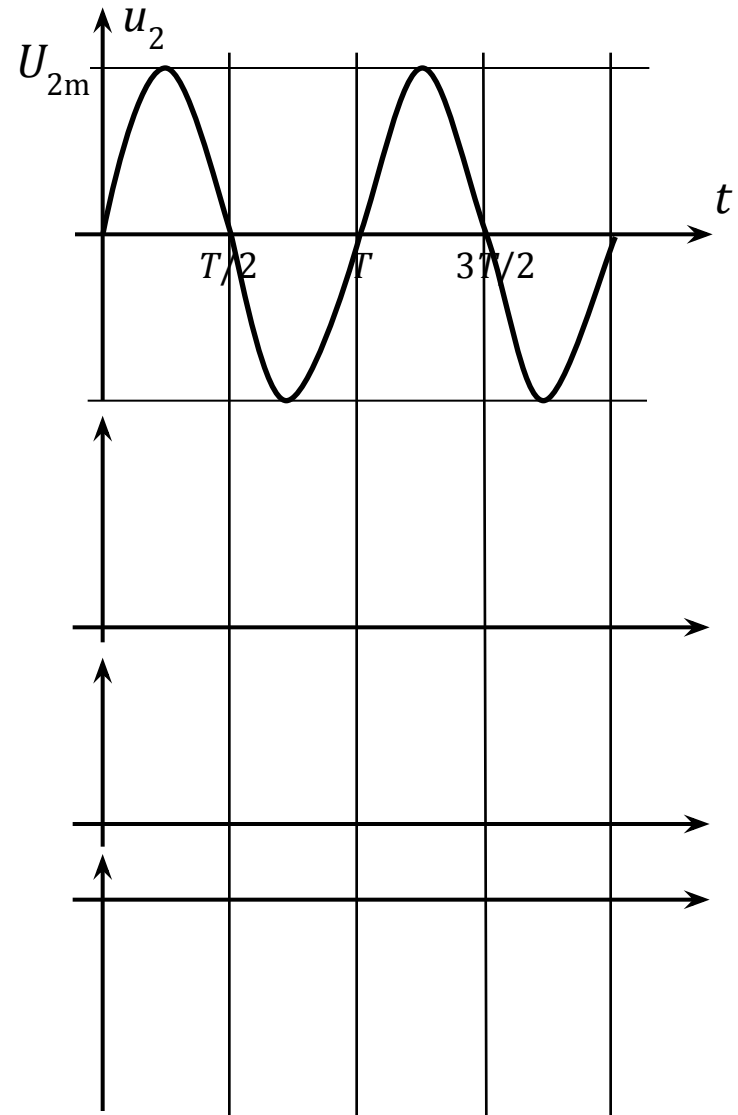
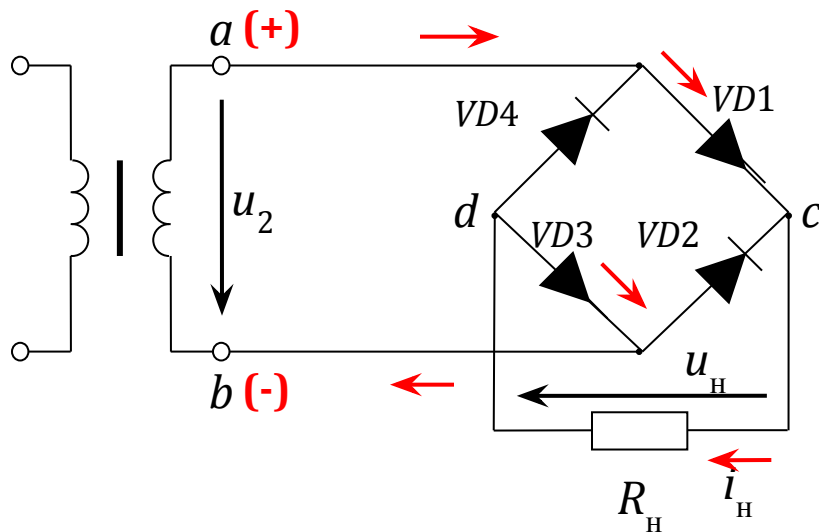
## §2.2. Мостовой выпрямитель

- Анализ работы выпрямителя проводим с помощью временных диаграмм.
- Напряжение на вторичной обмотке трансформатора:
$$u_2(t) = U_{2m} \sin(\omega t)$$
- Анализ двух полупериодов проводим отдельно.



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $0 < t < T/2$
- В этом промежутке времени напряжение  $u_2 > 0$ , то есть  $\phi_a > \phi_b$ .



## §2.2. Мостовой выпрямитель

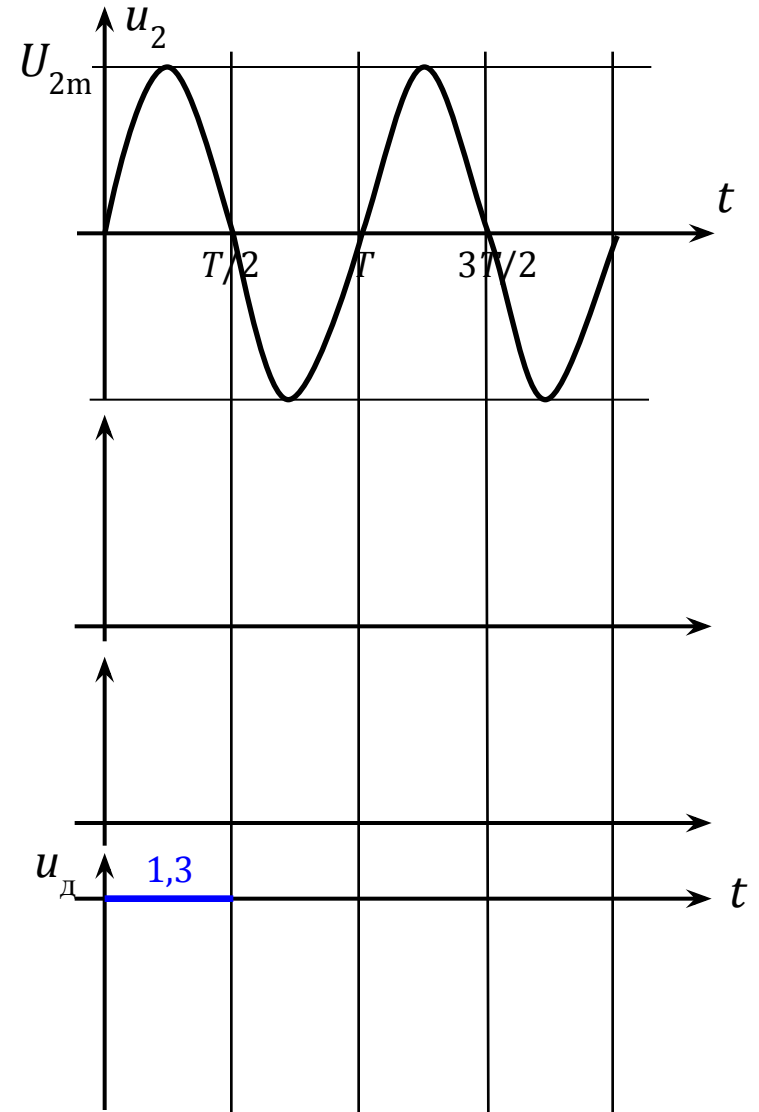
- $0 < t < T/2$
- Ток протекает через диод  $VD1$ , нагрузку и диод  $VD3$ .
- Значит, диоды  $VD1$  и  $VD3$  открыты (смещены в прямом направлении), их сопротивления равны нулю.

$$r_{\partial 1} = r_{\partial 3} = 0$$

- Напряжения на открытых диодах также будут равны нулю (по закону Ома).

$$u_{\partial 1} = i_{np} \cdot r_{\partial 1} = 0$$

$$u_{\partial 3} = i_{np} \cdot r_{\partial 3} = 0$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $0 < t < T/2$
- Диоды  $VD2$  и  $VD4$  смещены в обратном направлении, т.е. закрыты, их сопротивления бесконечно велики.

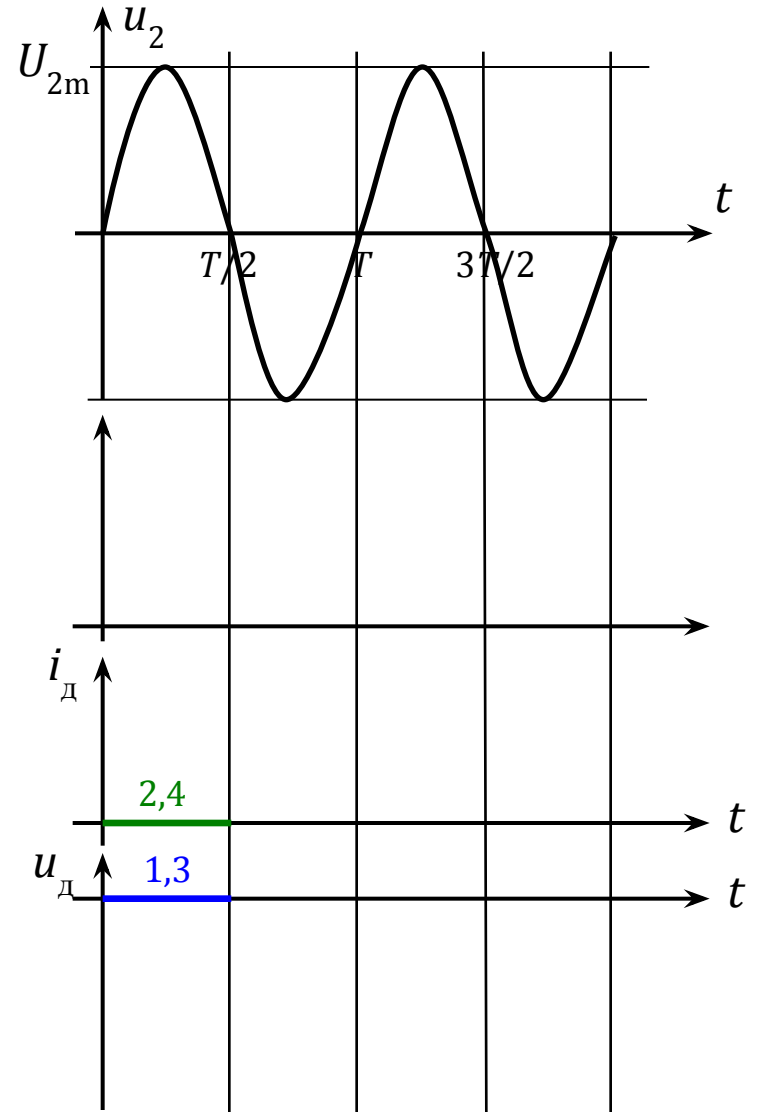
$$r_{\partial 2} = r_{\partial 4} = \infty$$

- В закрытых диодах ток отсутствует.

$$i_{\partial 2} = i_{\partial 4} = 0$$

- Значит, элементы, через которые протекает ток, соединены между собой последовательно.

$$i_{\partial 1} = i_n = i_{\partial 3}$$

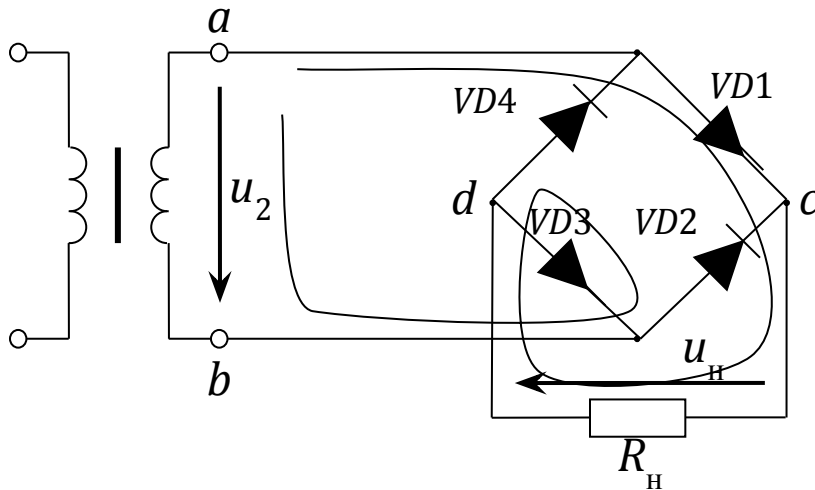




## §2.2. Мостовой выпрямитель

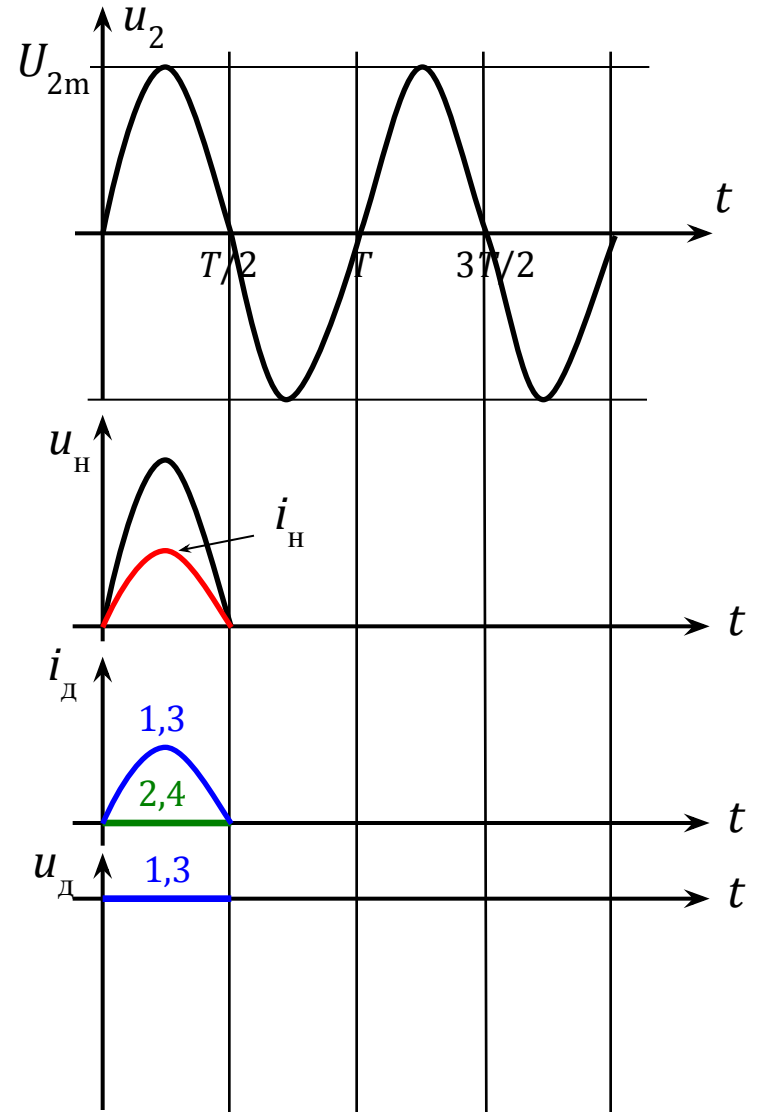
- $0 < t < T/2$
- По второму закону Кирхгофа можно записать:

$$u_2 = u_{d1} + u_H + u_{d3} \Rightarrow u_H = u_2$$



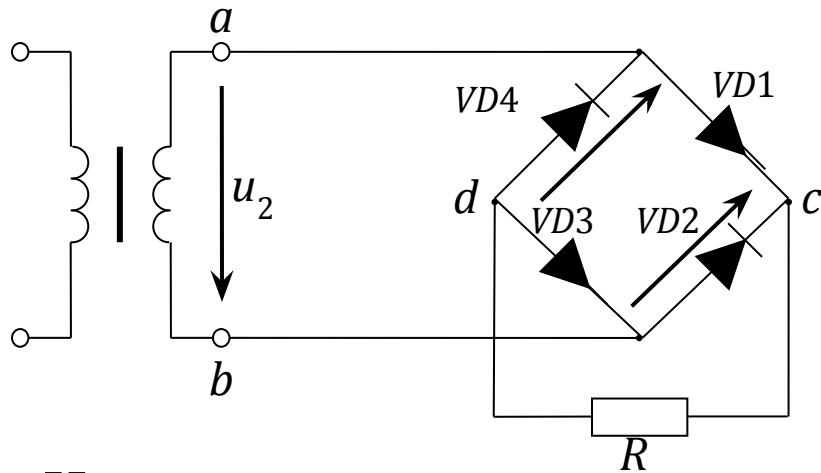
- Ток в нагрузке по закону Ома:

$$i_H = \frac{u_H}{R_H}$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $0 < t < T/2$



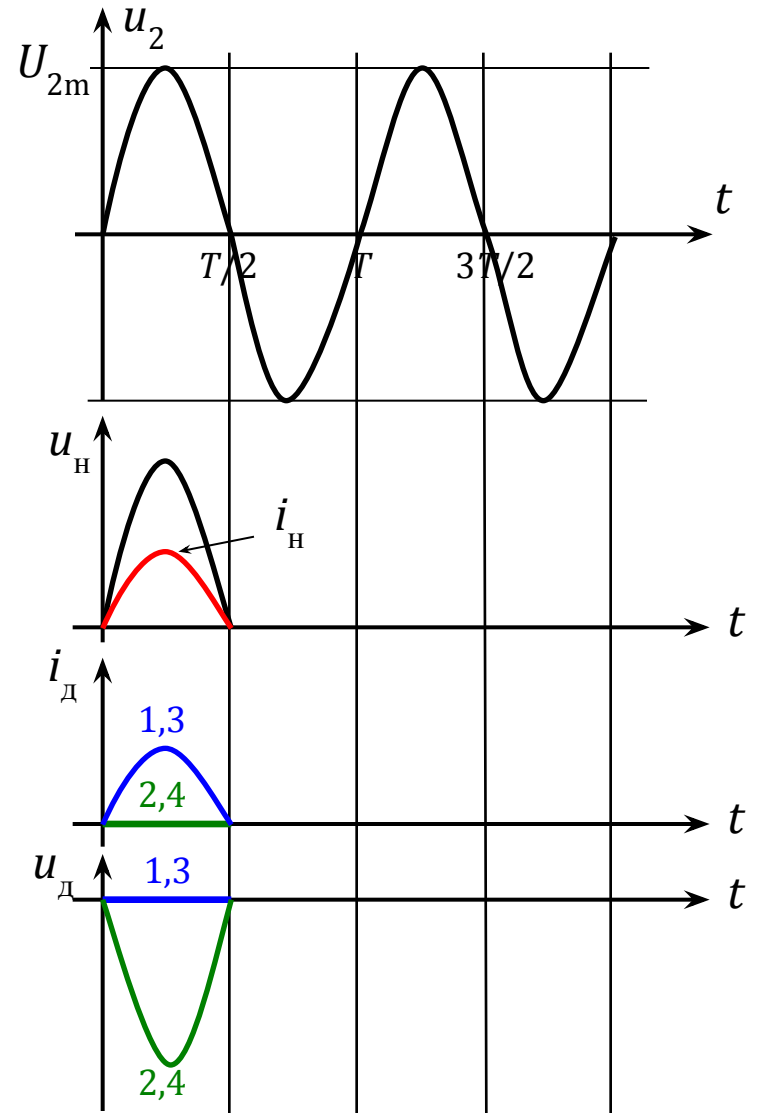
- Напряжения на закрытых диодах:

$$u_{d2} = \varphi_b - \varphi_c = \varphi_b - \varphi_a = -u_2$$

- При этом учитываем:  $\varphi_a = -u_2$

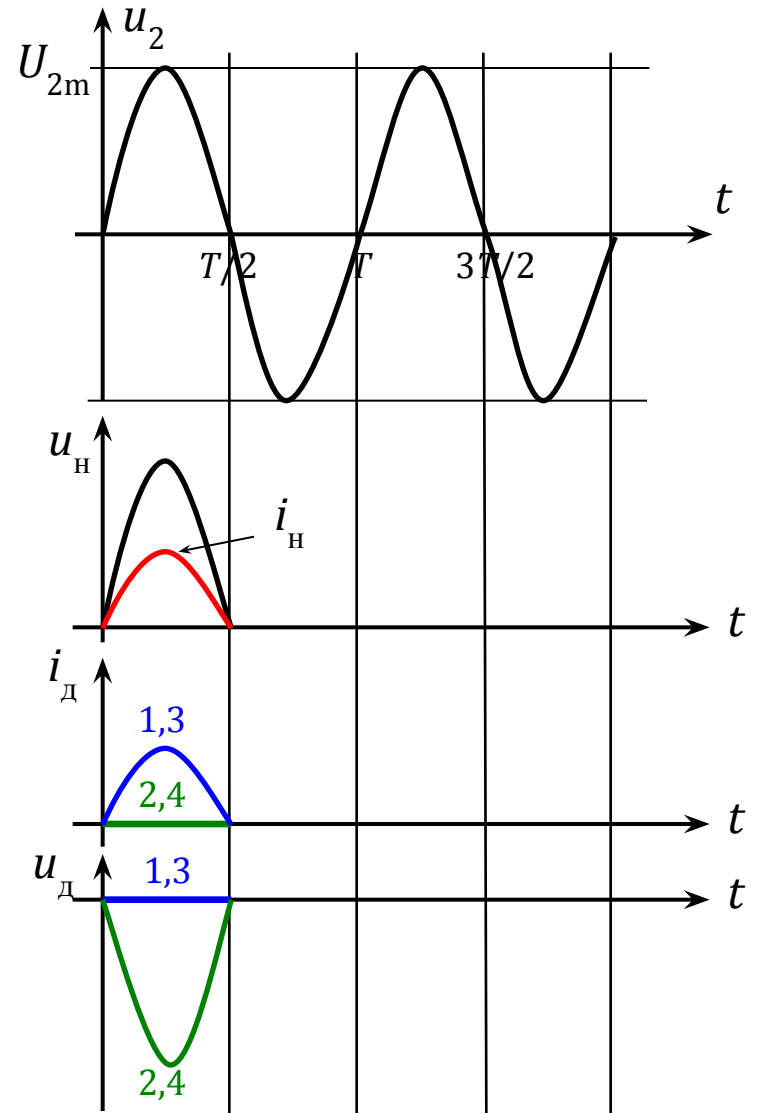
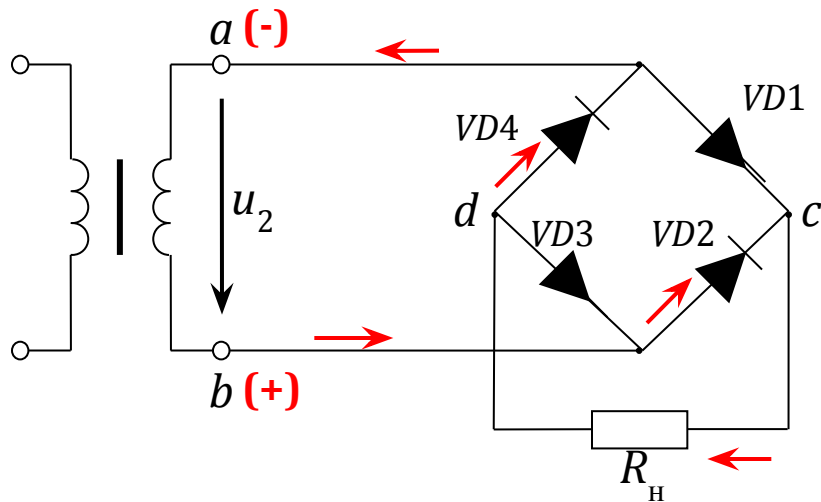
$$\varphi_c = \varphi_a$$

$$\varphi_d = \varphi_b$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $T/2 < t < T$
- В этом промежутке времени напряжение  $u_2 < 0$ , то есть  $\phi_a < \phi_b$ .



## §2.2. Мостовой выпрямитель

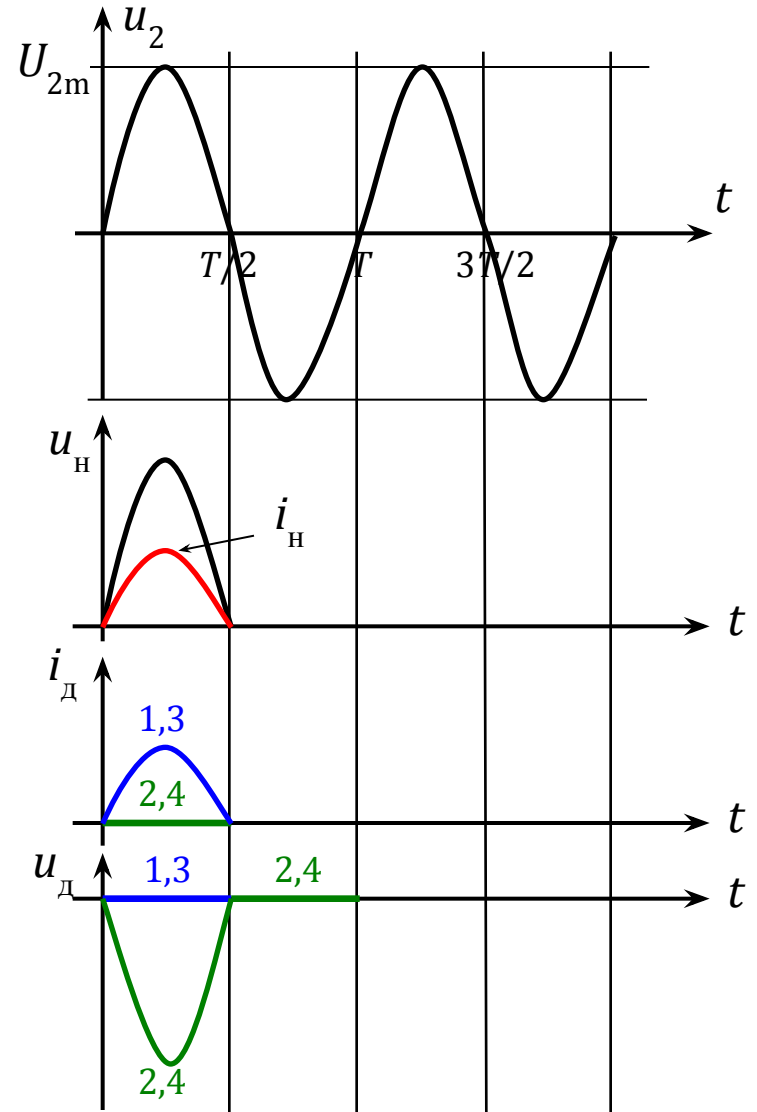
- $T/2 < t < T$
- Ток протекает через диод  $VD2$ , нагрузку и диод  $VD4$ .
- Значит, диоды  $VD2$  и  $VD4$  открыты (смещены в прямом направлении), их сопротивления равны нулю.

$$r_{\partial 2} = r_{\partial 4} = 0$$

- Напряжения на открытых диодах также будут равны нулю (по закону Ома).

$$u_{\partial 2} = i_{np} \cdot r_{\partial 2} = 0$$

$$u_{\partial 4} = i_{np} \cdot r_{\partial 4} = 0$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $T/2 < t < T$
- Диоды  $VD2$  и  $VD4$  смещены в обратном направлении, т.е. закрыты, их сопротивления бесконечно велики.

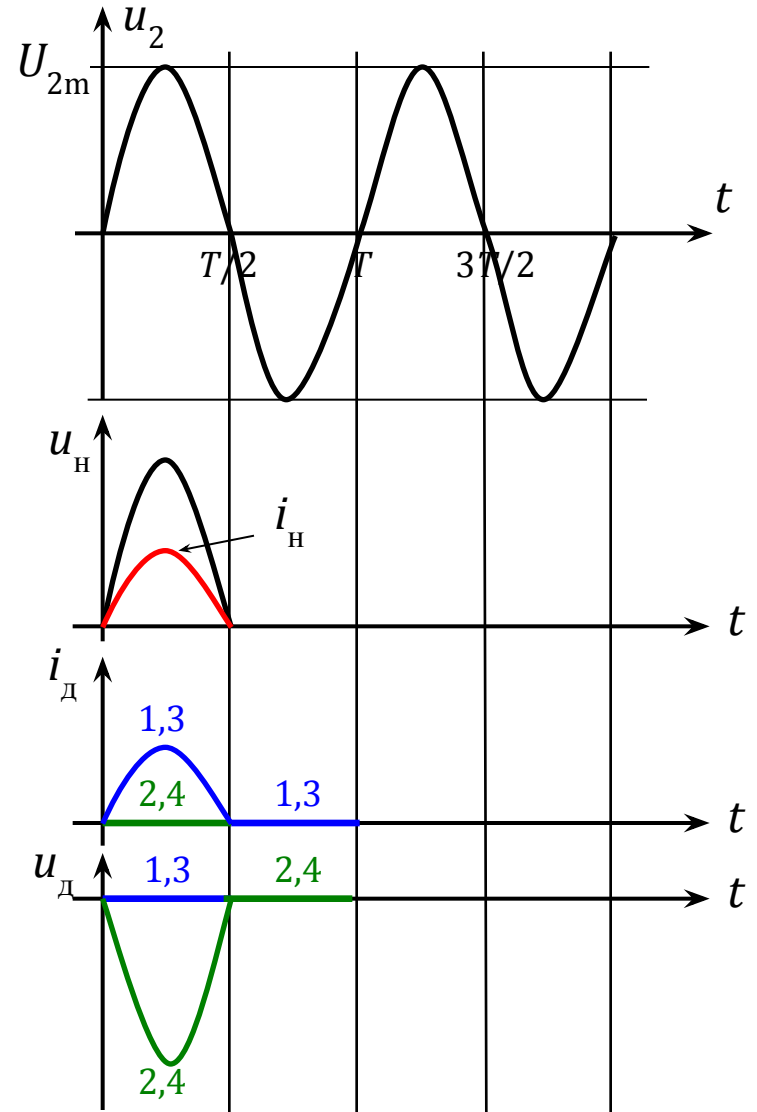
$$r_{\partial 1} = r_{\partial 3} = \infty$$

- В закрытых диодах ток отсутствует.

$$i_{\partial 1} = i_{\partial 3} = 0$$

- Значит, элементы, через которые протекает ток, соединены между собой последовательно.

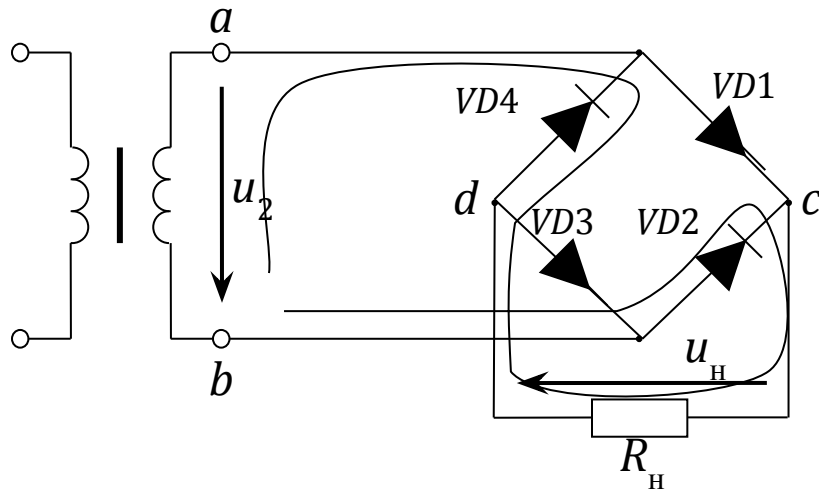
$$i_{\partial 2} = i_n = i_{\partial 4}$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

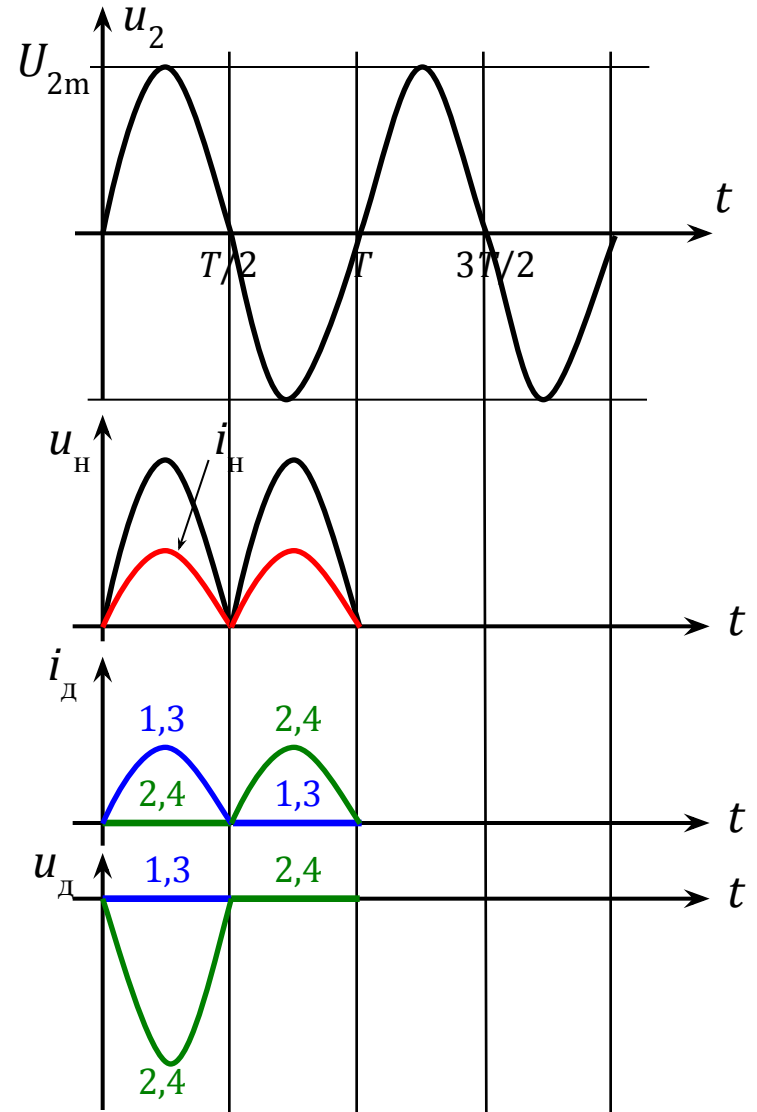
- $T/2 < t < T$
- По второму закону Кирхгофа можно записать:

$$u_2 + u_{\partial 2} + u_H + u_{\partial 4} = 0 \Rightarrow u_H = -u_2$$



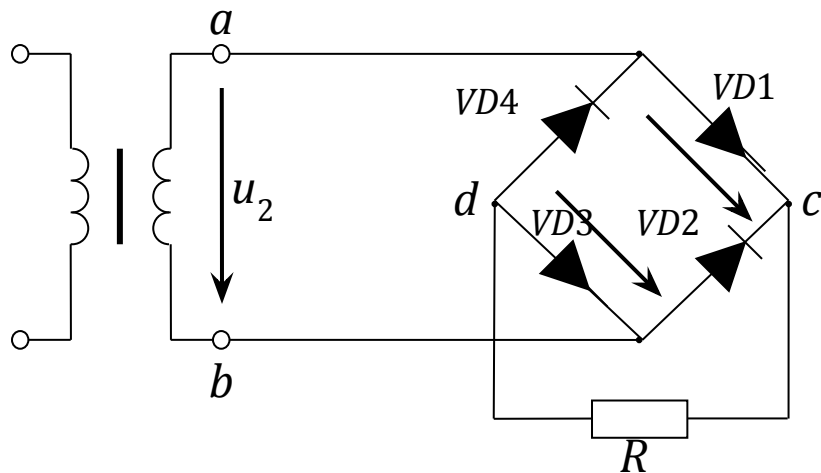
- Ток в нагрузке по закону Ома:

$$i_H = \frac{u_H}{R_H}$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- $T/2 < t < T$



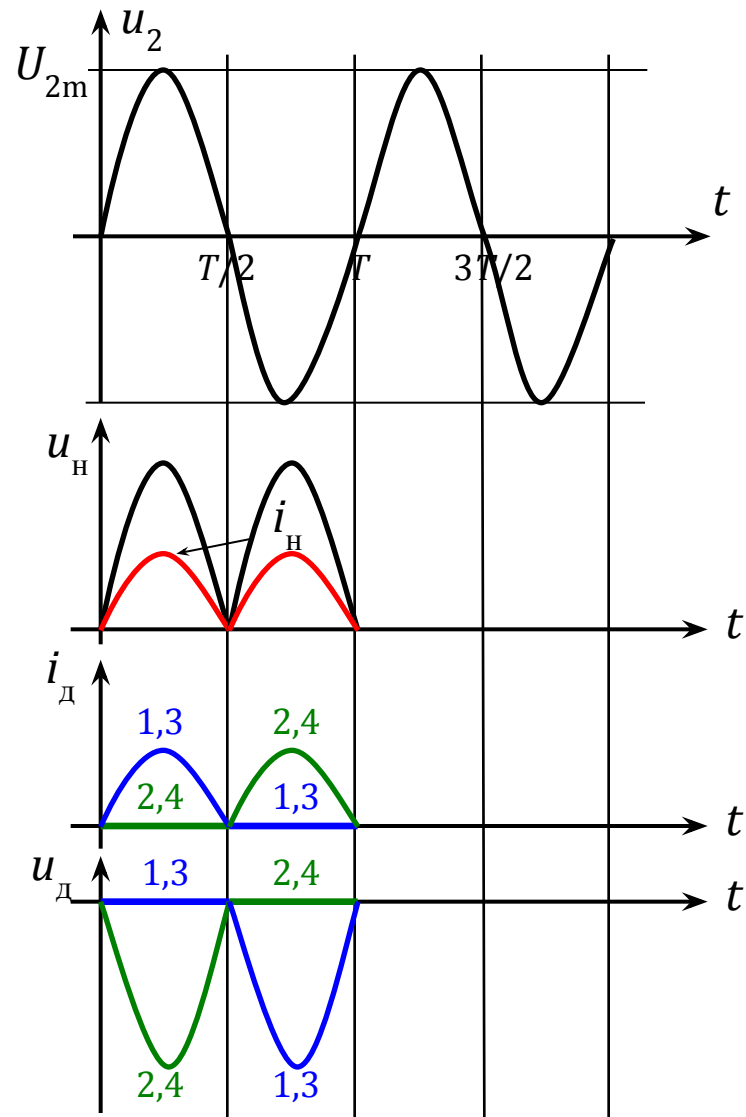
- Напряжения на закрытых диодах:

$$u_{d1} = \varphi_a - \varphi_c = \varphi_a - \varphi_b = u_2$$

- При этом получаем:  $\varphi_b = u_2$

$$\varphi_c = \varphi_b$$

$$\varphi_d = \varphi_a$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- Основные параметры мостового выпрямителя:

- 1) Среднее выпрямленное напряжение (в нагрузке)  $U_{н.ср}$

$$U_{н.ср} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{2 \cdot U_{2m}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,9 \cdot U_2$$

- 2) Средний выпрямленный ток (в нагрузке)  $I_{н.ср}$

$$I_{н.ср.} = \frac{U_{н.ср.}}{R_n} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_2 / \pi}{R_n} \approx 0,9 \frac{U_2}{R_n}$$

- 3) Среднее значение тока диода  $I_{д.ср}$

$$I_{д.ср.} = \frac{1}{2} I_{н.ср.}$$



## §2.2. Мостовой выпрямитель

- Основные параметры мостового выпрямителя:
- 4) Максимальное обратное напряжение (в диоде)  $U_{\text{обр.мах}}$

$$U_{\text{обр.мах}} = U_{2m} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

- 5) Коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке  $p$

$$p = \frac{U_{m(1)}}{U_{m(0)}} = \frac{2}{3} \approx 0,67$$

## §2.2. Мостовой выпрямитель

- К достоинствам данного выпрямителя можно отнести более высокие средние значения выпрямленного тока и напряжения, чем в однополупериодном выпрямителе, и меньший коэффициент пульсаций.
- Недостаток – увеличение числа диодов в четыре раза.
- Для работы в мостовом выпрямителе выбирают диоды с идентичными паспортными данными. Выбор диода также осуществляется по среднему значению тока диода  $I_{д.ср}$  и максимальному обратному напряжению  $U_{обр.мах}$ .
- Паспортные параметры диодов должны на 30% превышать требуемые для работы в выпрямителе.

$$I_{д(пасп)} \geq 1,3 \cdot I_{д.ср.}$$

$$U_{обр(пасп)} \geq 1,3 \cdot U_{обр.мах}$$