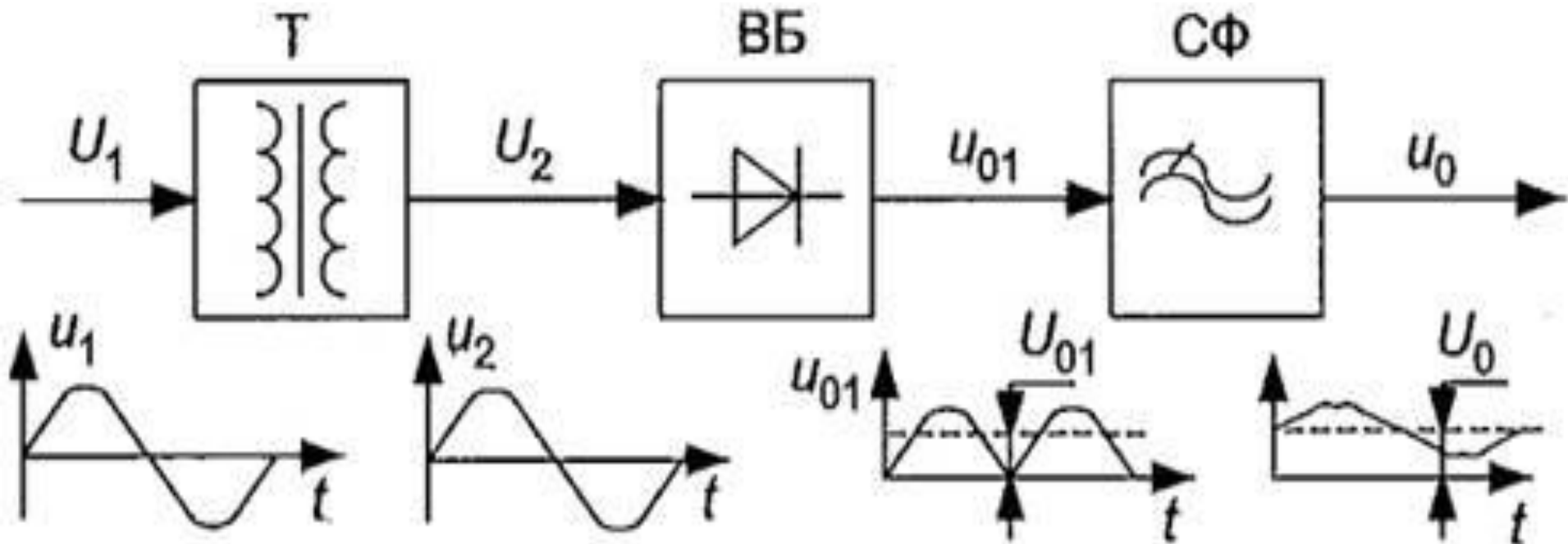


# Выпрямительные устройства

ВЫПРЯМИТЕЛЬ - это устройство, преобразующее энергию переменного тока в энергию постоянного



Структурная схема выпрямителя

# Выпрямители

По числу фаз питающей системы

однофазного тока,  $m = 1$

многофазного тока,  $m > 1$

одно-  
пульсовые  
 $q = 1$

двух-  
пульсовые  
 $q = 2$

трех-  
пульсовые  
(схема  
Миткевича)  
 $m = 3, q = 3$

шести-  
пульсовые  
 $m = 3, q = 6$

двенадцати-  
пульсовые  
 $m = 3, q = 12$

много-  
пульсовые  
 $q > 12$

По схеме сопряжения трансформатора и установки

нулевые

мостовые

нулевые (две обратные  
звезды с уравнительным  
реактором, схема Кюблера)

мостовые  
(схема Ларионова)

По функции регулирования и обращаемости

неуправляемые

управляемые

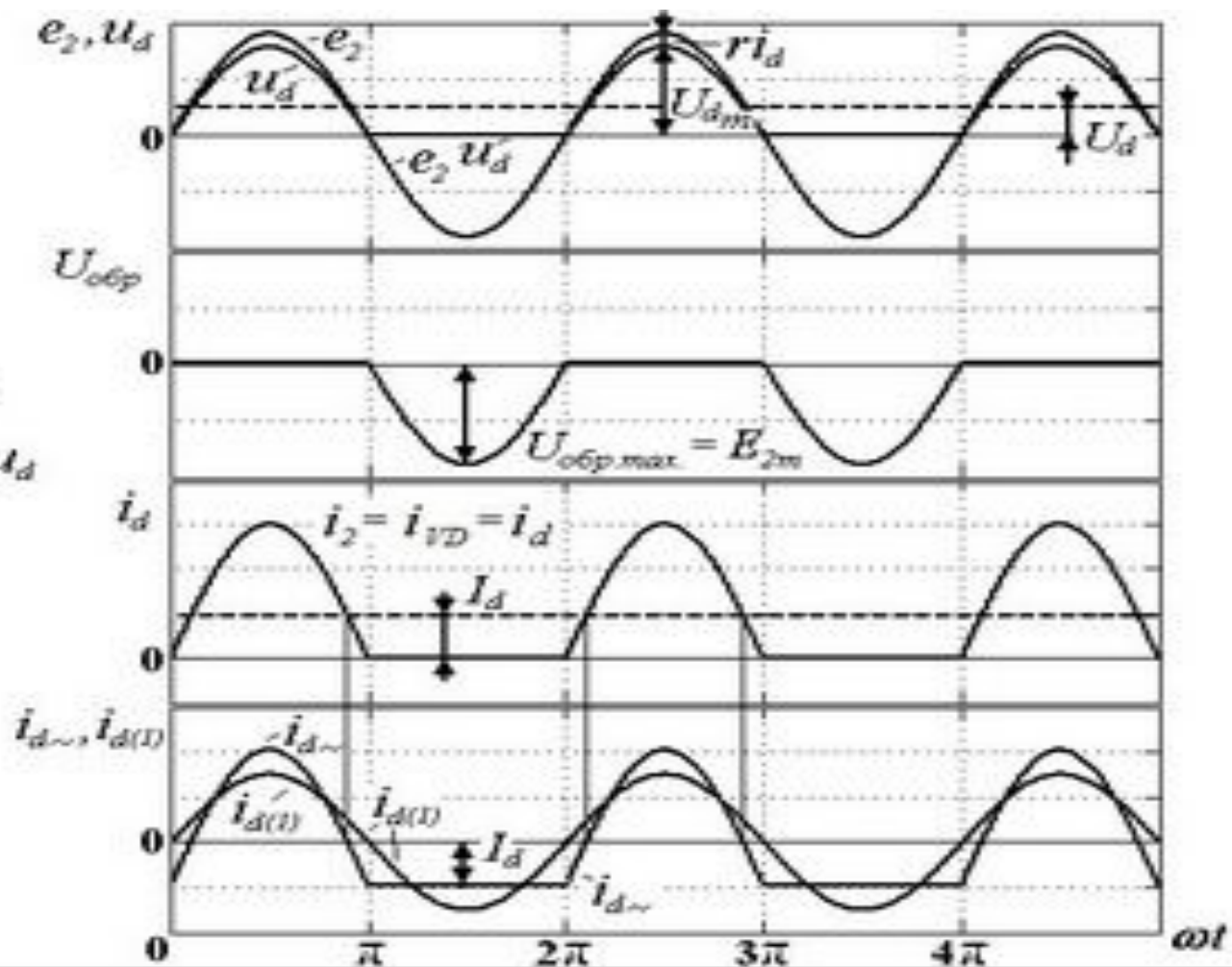
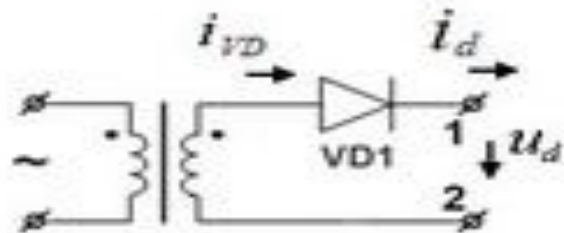
необращаемые в режим инвертора  
(неполностью управляемые)

обращаемые в режим инвертора  
(полностью управляемые)

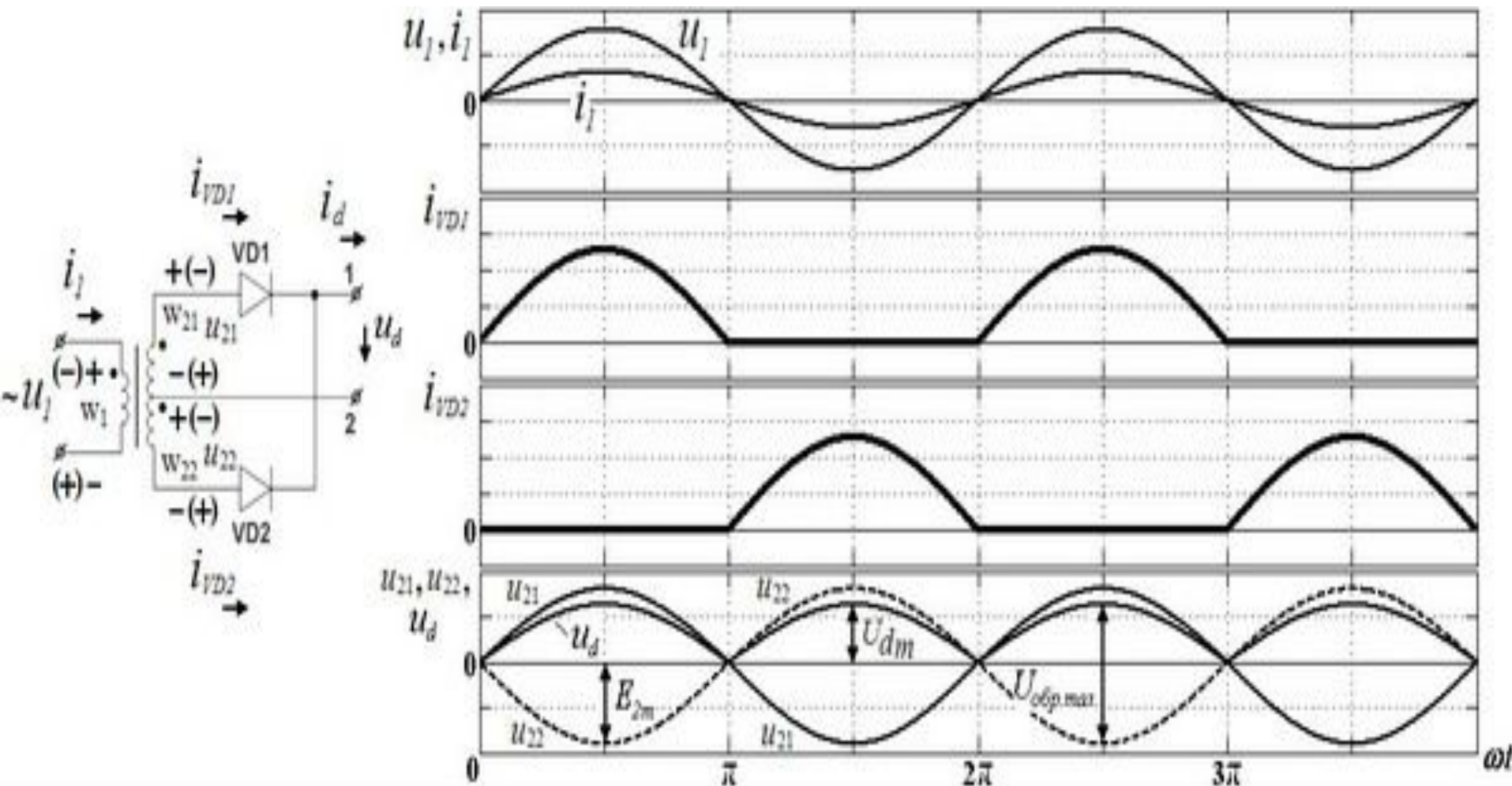
с регулируемым  
преобразовательным трансформатором

с управляемой  
тиристорно-диодной установкой

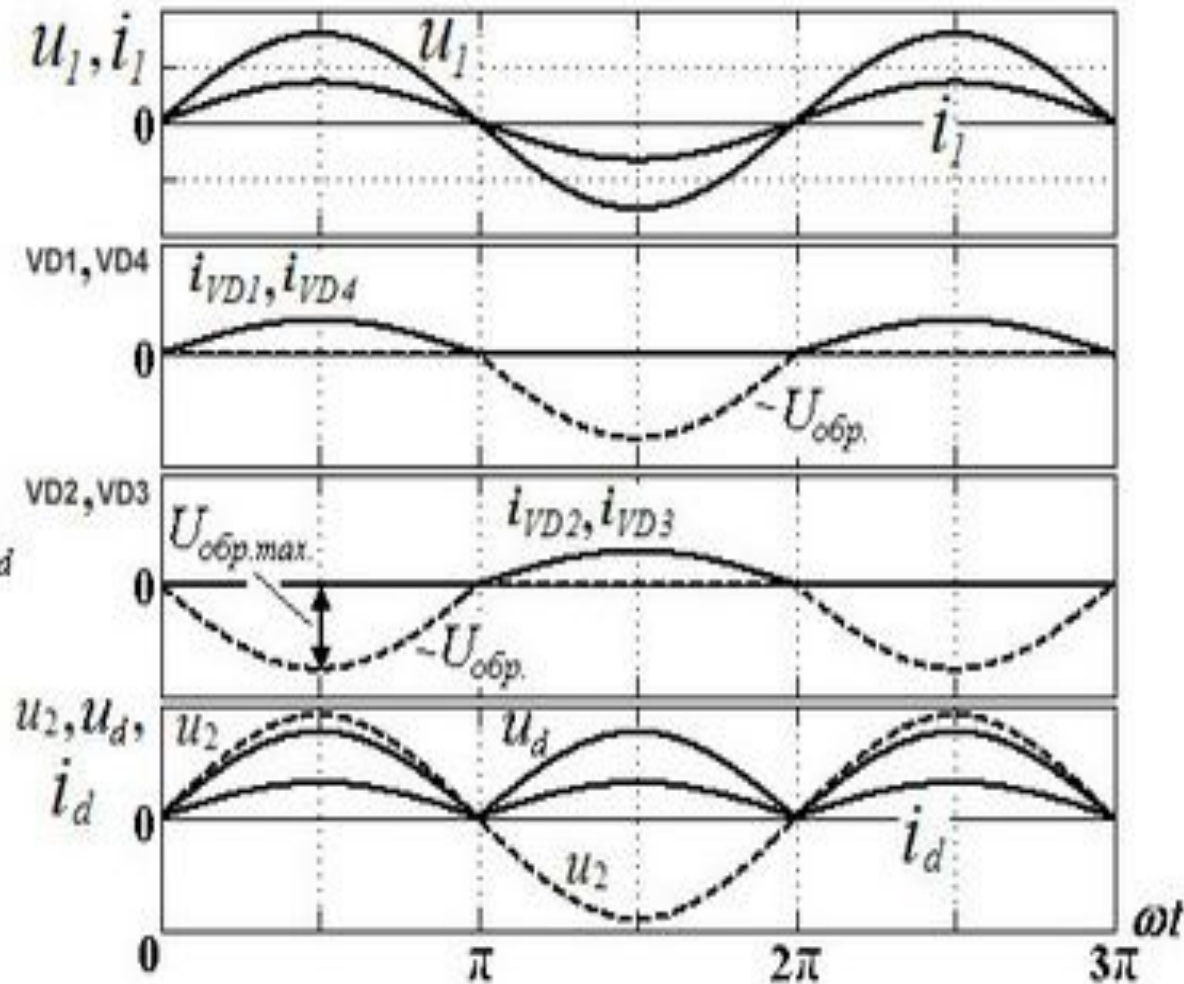
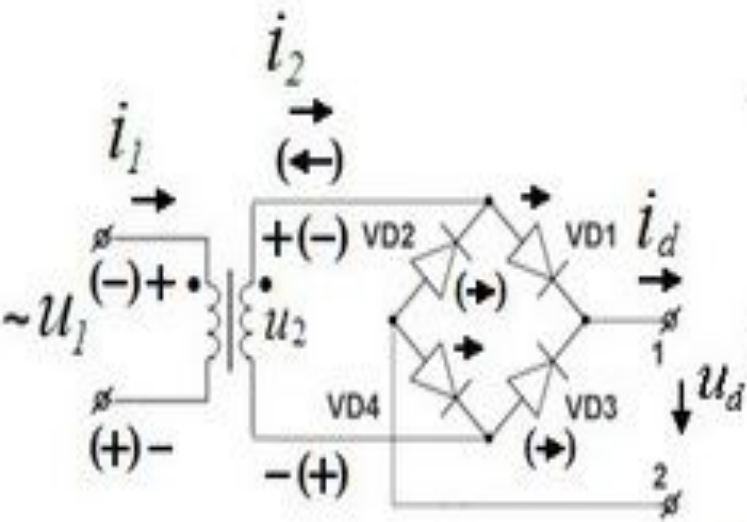
Однофазная, однополупериодная схема выпрямления и диаграммы напряжений и токов в ней при работе на активную нагрузку.



# Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой и диаграммы напряжений и токов

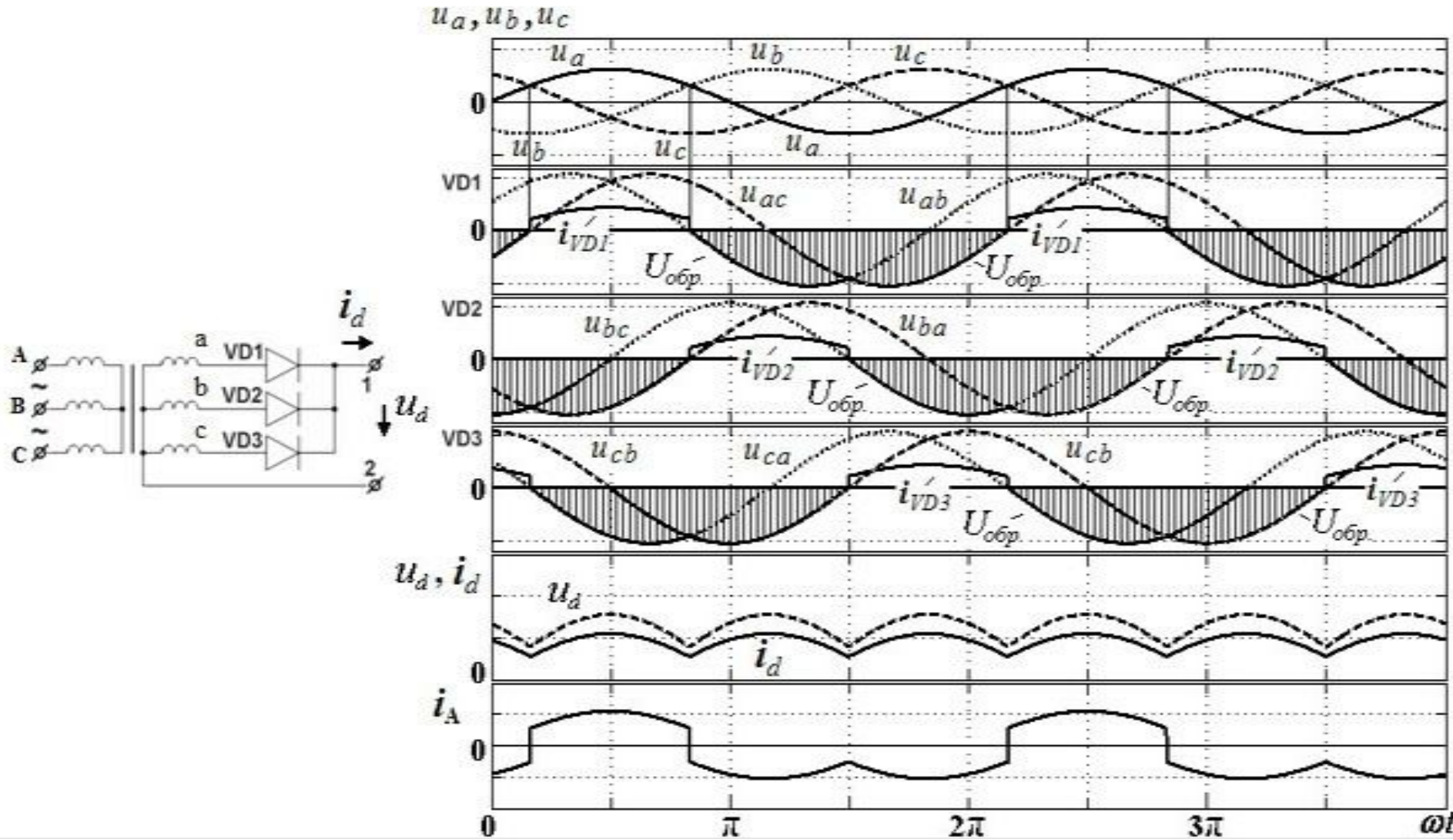


# Однофазная мостовая схема выпрямления (схема Греча) и диаграммы напряжений и токов

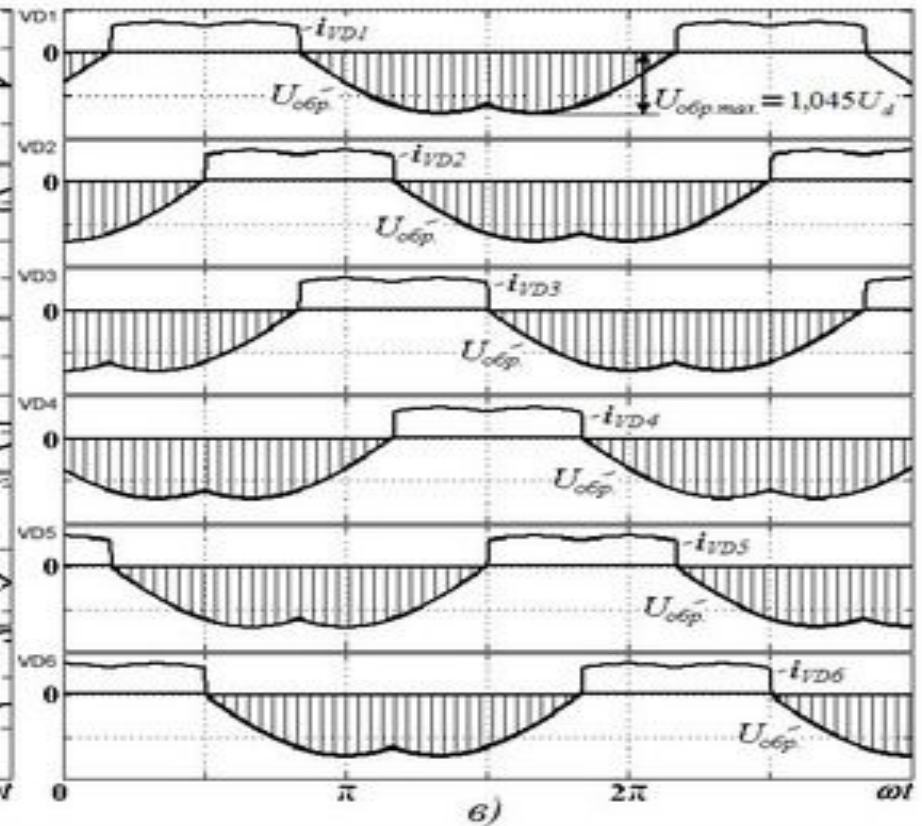
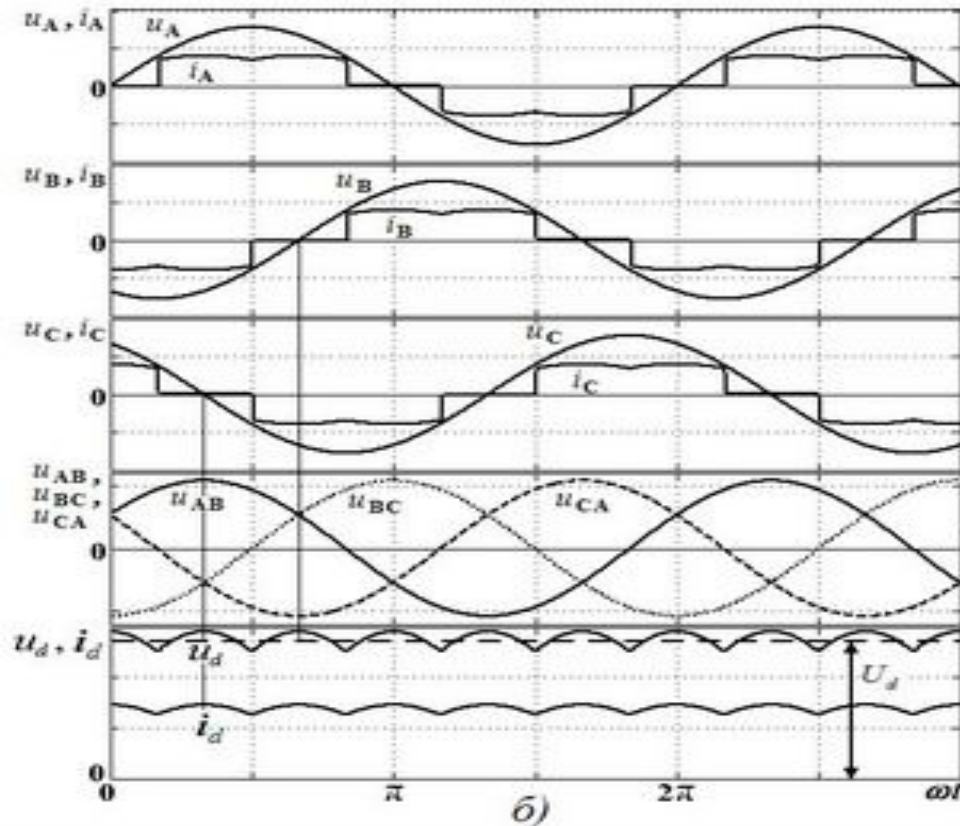
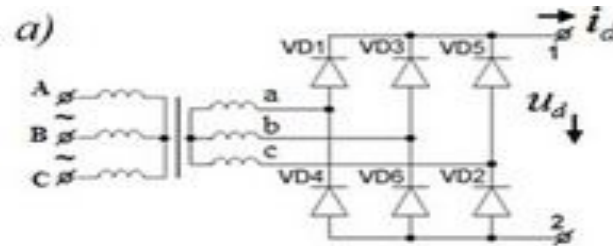




# Трехфазная нулевая схема выпрямления (звезда-звезда) и диаграммы напряжений и токов



# Трехфазная мостовая схема выпрямления и диаграммы напряжений и токов



Показатели	Схема выпрямления переменного тока				
	однофазная			трехфазная	
	однотактная	двухтактная	мостовая	двухтактная	мостовая
Максимальное значение тока вентилия $I_{в \max}$	$3,14 I_0$	$1,57 I_0$	$1,57 I_0$	$1,21 I_0$	$1,045 I_0$
Максимальное значение обратного напряжения $U_{обр}$	$3,14 U_0$	$3,14 U_0$	$1,57 U_0$	$2,1 U_0$	$1,045 U_0$
Действующее значение напряжения вторичной обмотки	$2,22 U_0$	$2 \times 1,11 U_0$	$1,11 U_0$	$0,855 U_0$	$0,43 U_0$
Действующее значение тока вторичной обмотки	$1,57 I_0$	$0,785 I_0$	$1,11 I_0$	$0,58 I_0$	$0,82 I_0$
Расчетная мощность трансформатора $P_T$	$3,09 P_0$	$1,48 P_0$	$1,23 P_0$	$1,35 P_0$	$1,045 P_0$
Коэффициент использования трансформатора $Km$	0,324	0,675	0,814	0,741	0,955
Вынужденное подмагничивание сердечника трансформатора	Есть	Нет	Нет	Есть	Нет
Частота основной гармоники $f_{ор}$ при частоте сети 50 Гц	50	100	100	150	300
Коэффициент пульсации $Kп$	1,57	0,67	0,67	0,25	0,057



# Управляемый выпрямитель

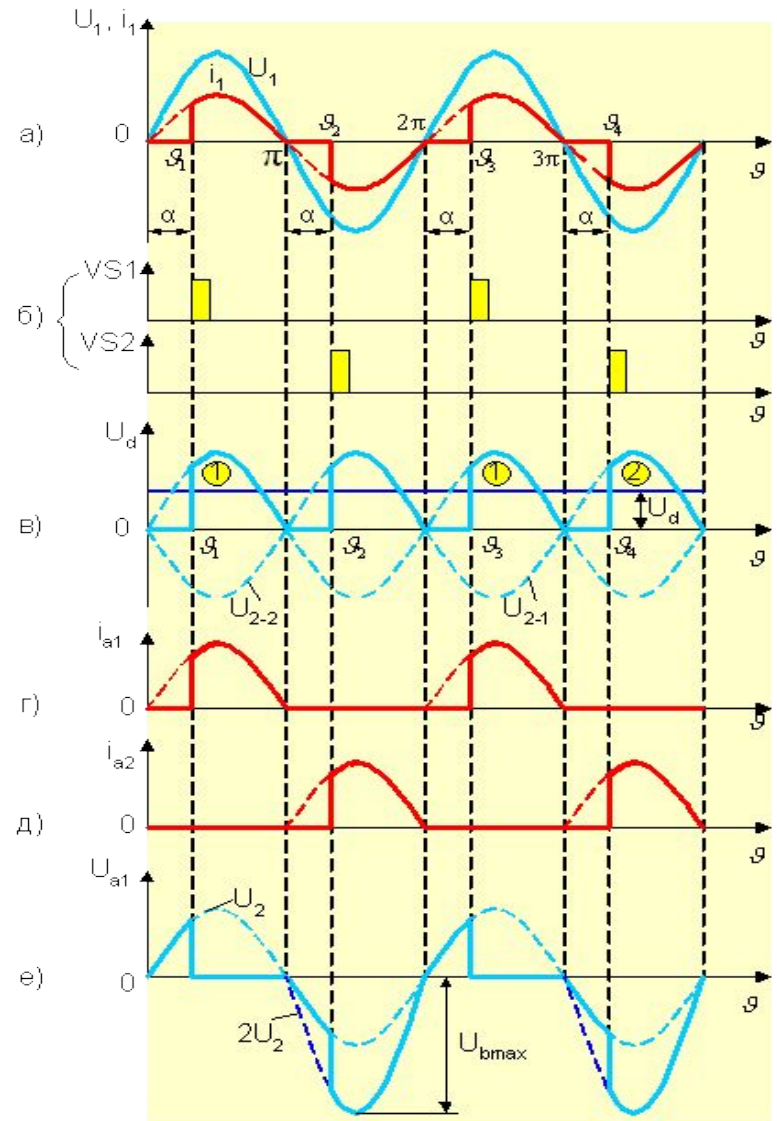
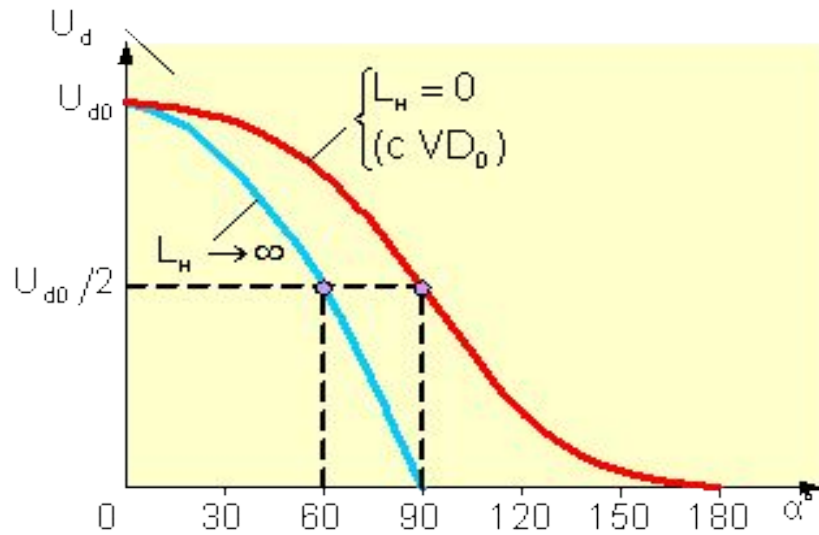
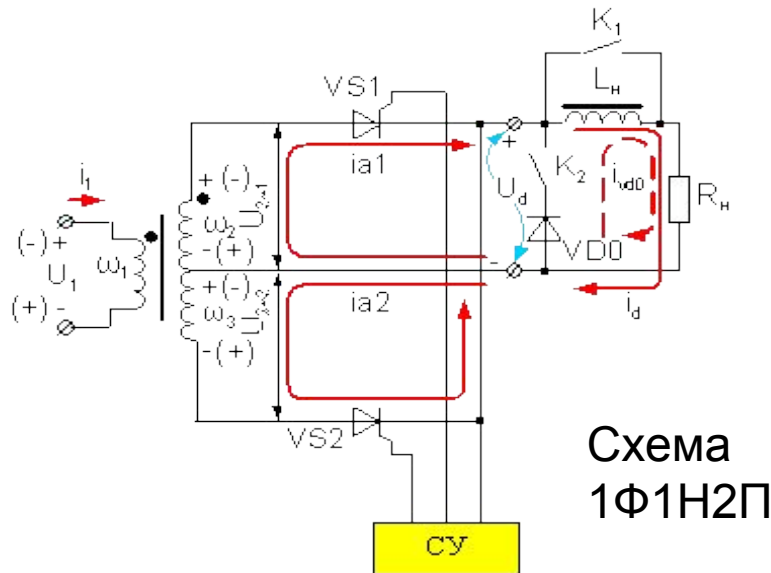
В большинстве случаев применения выпрямителей средней и большой мощности приходится решать задачу управления средним значением выпрямленного напряжения  $U_d$ . Это обусловлено необходимостью стабилизации напряжения на нагрузке в условиях изменения напряжения питающей сети или тока нагрузки, а также регулирования напряжения на нагрузке с целью обеспечения требуемого режима ее работы (например, при управлении скоростью двигателей постоянного тока). В схеме выпрямителя используются управляемые вентили - тиристоры, в связи с чем выпрямитель называют управляемым. Широкое применение для регулирования напряжения на нагрузке получил фазовый способ, основанный на управлении во времени моментом отпирания вентилей выпрямителя. Момент управления, выраженный в электрических градусах, называют углом управления и обозначают символом  $\alpha$ . Отсчет угла управления производится от точки естественной коммутации, в которой на электродах тиристора появляется прямое напряжение.

В зависимости от типа источника переменного тока различают **однофазные** и **трехфазные** преобразователи (при параллельном соединении – **многофазные**). **Основными параметрами** преобразовательной схемы являются **число возможных направлений тока** и **число пульсаций**.

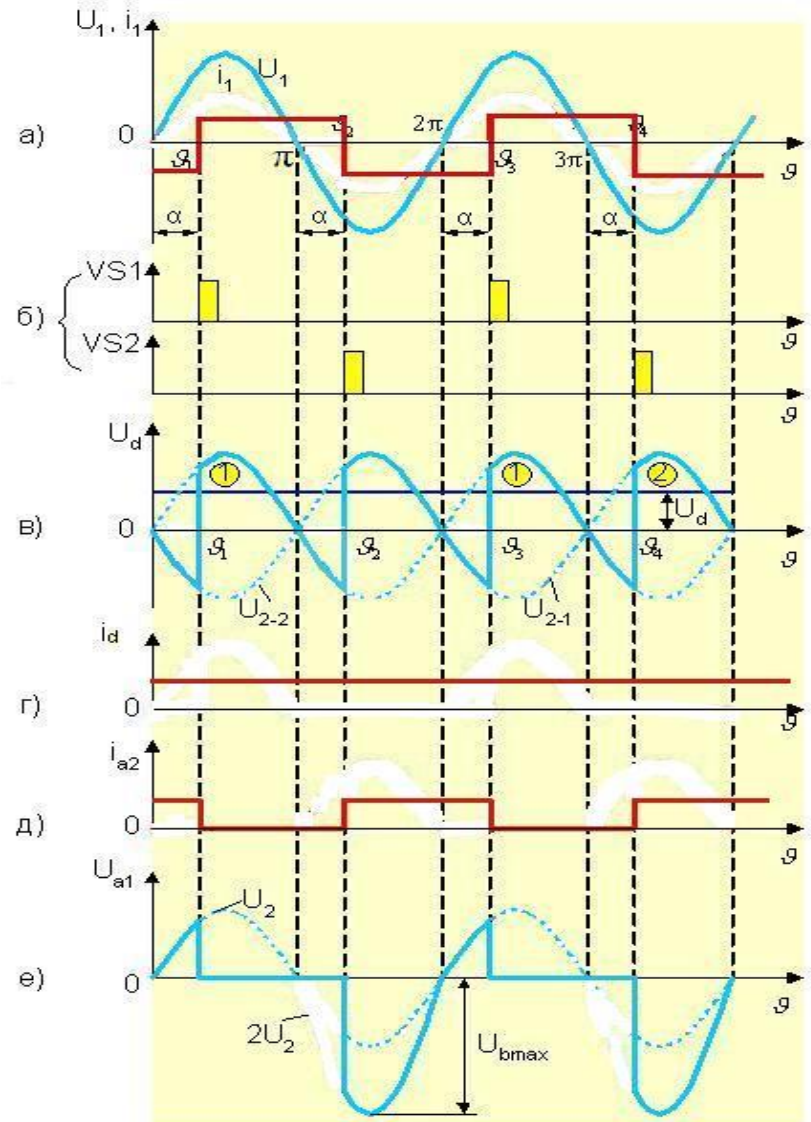
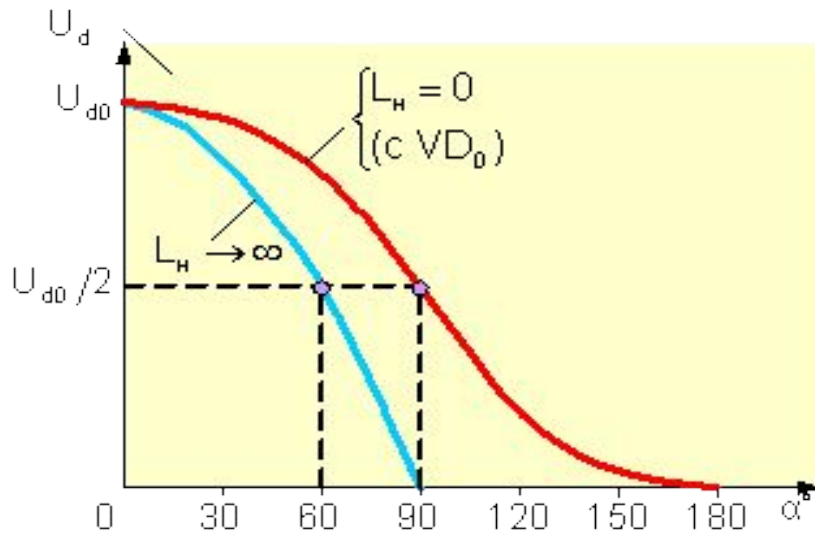
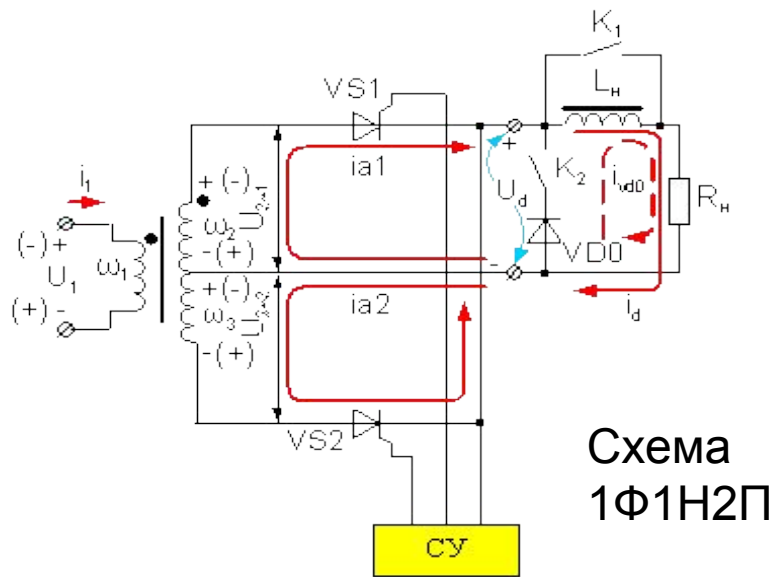
В зависимости от того, проходит ли ток в вентильной обмотке преобразовательного трансформатора только в одном направлении или в том и другом направлении, различают **однонаправленные** и **двунаправленные схемы**.

**Число пульсаций** – это отношение частоты низшей гармоники напряжения в пульсирующем напряжении на стороне постоянного тока преобразователя к частоте напряжения на стороне переменного тока.

# Управляемый выпрямитель



# Управляемый выпрямитель



# Управляемый выпрямитель

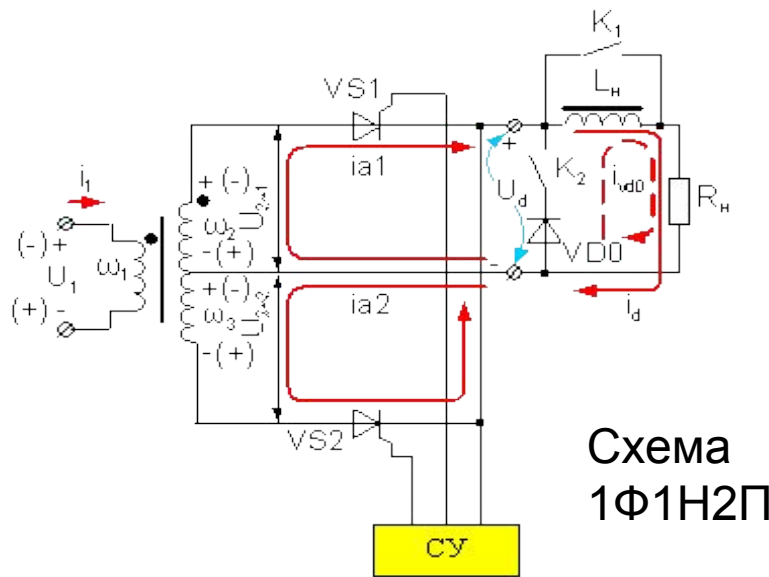
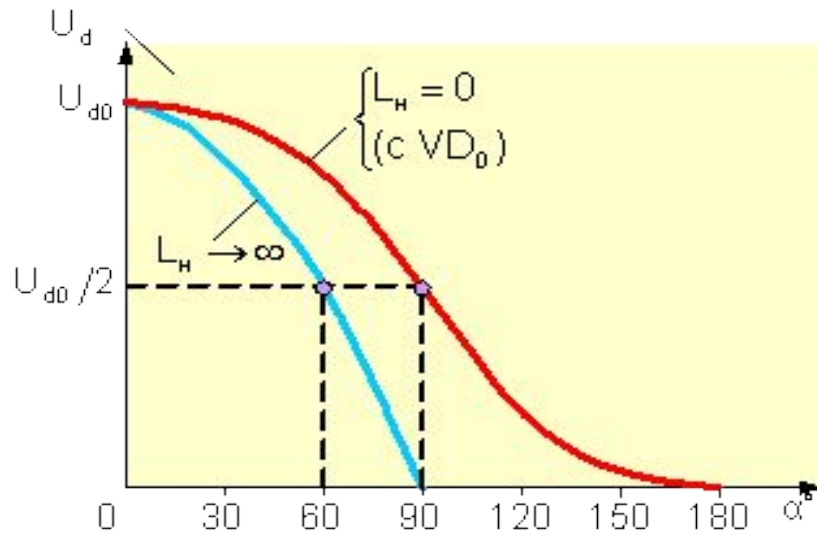
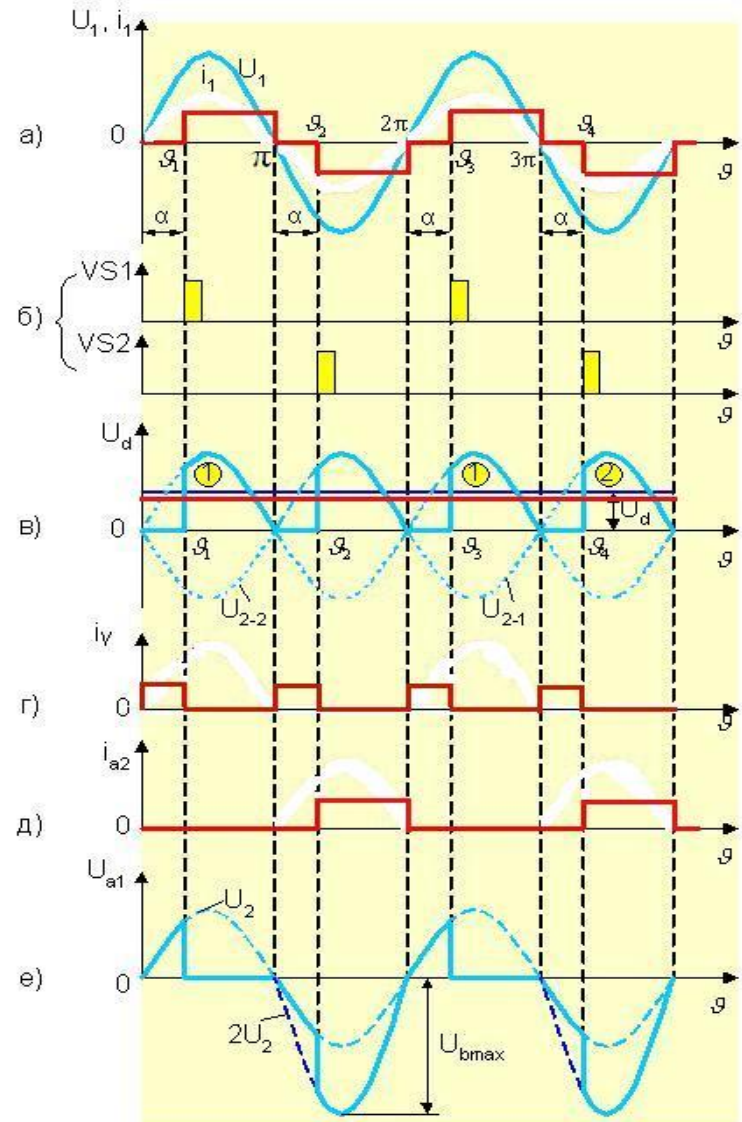


Схема  
1Ф1Н2П

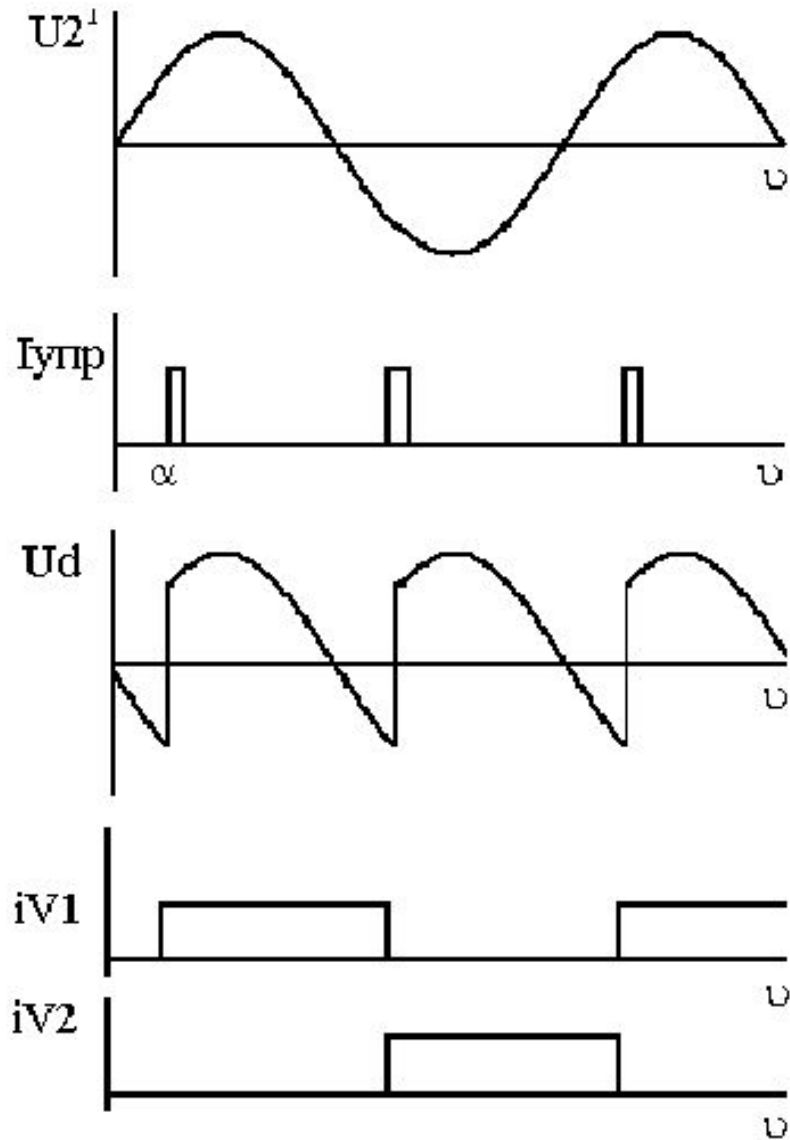


Регулировочные  
характеристики



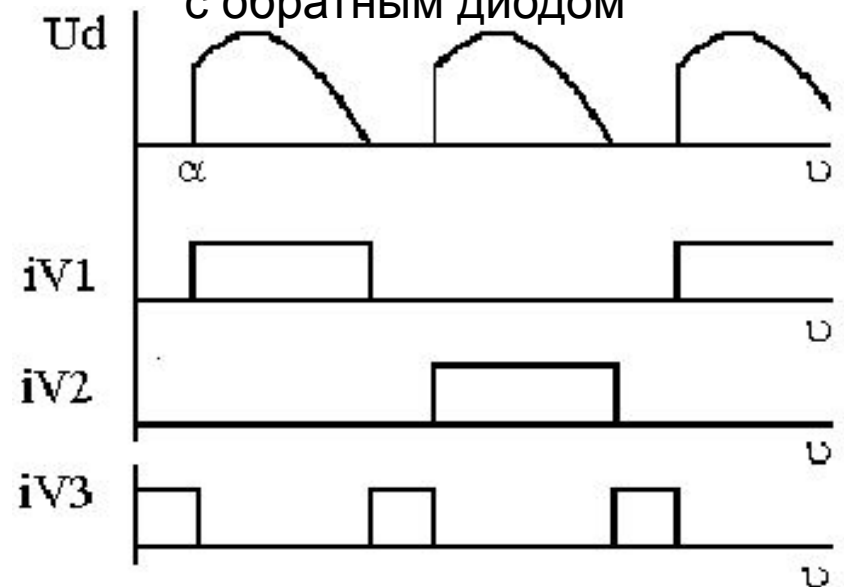
Временные диаграммы  
при индуктивной  
нагрузке

# Управляемый выпрямитель



А)  
)

А) Временные диаграммы при индуктивной нагрузке  
Б) Временные диаграммы При индуктивной нагрузке с обратным диодом



Б)  
)

# Управляемый выпрямитель

При **активной нагрузке** форма выпрямленного напряжения и тока совпадают. И

за задержки включения тиристора на угол регулирования напряжение на нагрузке  $U_d$  в течение этого времени будет равно нулю. В момент включения возникает характерный для управляемых выпрямителей перепад напряжений.

Соответствующие броски напряжений появятся на диаграмме напряжения на тиристоре.

**Индуктивность** препятствует изменению тока в нагрузке. Когда напряжение на аноде тиристора станет равным или меньшим нуля, тиристор должен бы выключиться и ток через него прекратится, но поскольку в цепи имеется индуктивность ток в ней не может мгновенно измениться до нуля. Энергия, накопленная в индуктивности,

препятствует этому изменению и напряжение на индуктивности становится отрицательным, поддерживая включенное состояние тиристора до момента включения

следующего тиристора.

Включение индуктивности в нагрузку приводит к появлению обратного выброса напряжения и, соответственно, снижения среднего значения выпрямленного напряжения. Для улучшения характеристик выпрямителя включают **обратный диод**. При этом убирается обратный выброс и энергия накопленная в индуктивности



# Управляемый выпрямитель

## Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{d0} = \frac{U_{dm}}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{U_{dm}}{\pi} (1 - \cos(\alpha))$$

При  $\alpha=0$  тогда

$$U_{d0} = \frac{U_{dm}}{\pi} (1 - \cos(0)) = 0$$

## Пульсации выпрямленного напряжения

Переменная составляющая напряжения и тока управляемого выпрямителя увеличивается с увеличением угла регулирования, так как уменьшаются их средние значения.

Для управляемых выпрямителей сдвиг фазы напряжения относительно тока пропорционален углу регулирования  $\varphi = \alpha$ .

## Коэффициент

## мощности

При индуктивном характере нагрузки форма тока в сети принимается кривоугольной.

Искажение формы тока в этом случае равно

где  $P = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\alpha)$  активная мощность

коэффициент мощности

$$S = U_1 \cdot I_1 = U_1 \cdot \sqrt{I_1^2 + \sum I_n^2}$$

полная мощность.

# Управляемый выпрямитель

Для разных значений угла регулирования двухполупериодного управляемого выпрямителя получено семейство внешних характеристик. *Наличие индуктивности в нагрузке приводит к появлению отрицательного участка выпрямленного напряжения.* При угле равном девяносто градусов положительные и отрицательные участки равны и напряжение становится равным нулю. Дальнейшее увеличение угла приводит к изменению полярности выпрямленного напряжения на нагрузке, что в принципе невозможно.

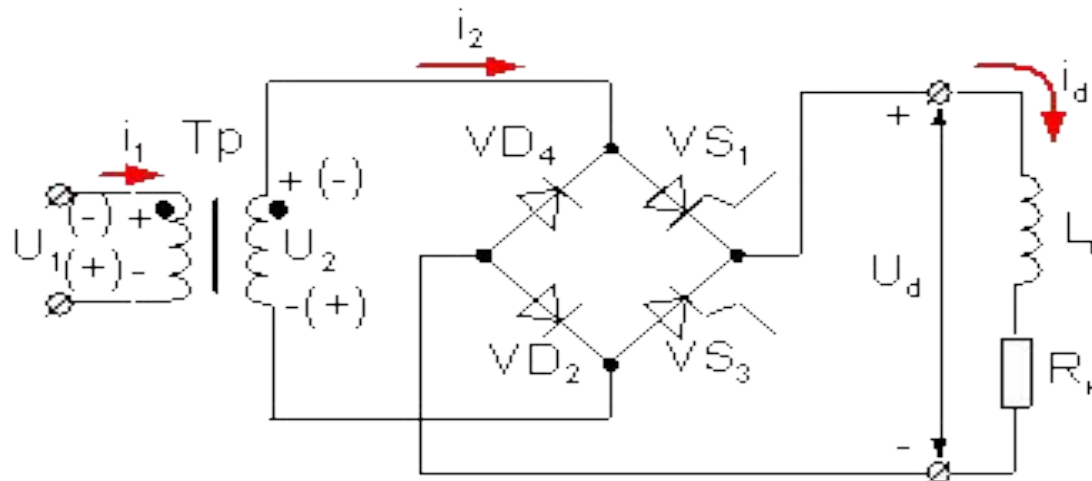
Но если в качестве нагрузки представить источник напряжения соответствующей полярности, то дальнейшее увеличение угла регулирования возможно. В этом случае ток будет идти уже от источника через тиристоры в сеть переменного тока. Таким образом, получаем преобразователь постоянного напряжения в переменное – ***инвертор.***

В качестве такой специфической нагрузки может быть двигатель постоянного тока, который в определённых условиях может работать как генератор постоянного тока. Например, в электровозах при торможении можно использовать электродвигатель в режиме генератора и использовать энергию торможения для передачи в питающую сеть, а не на нагрев тормозных колодок.

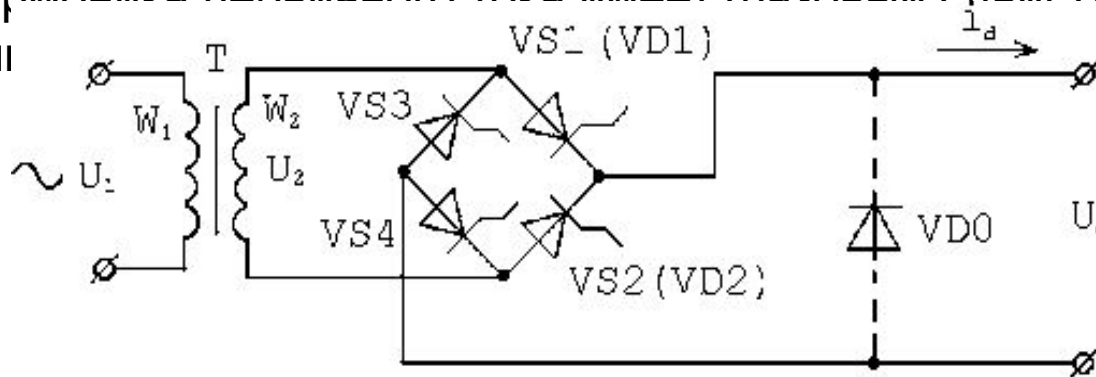
В этом режиме инвертирования работа управляемого выпрямителя синхронизирована с питающей сетью, поэтому этот преобразователь называют ***инвертором, ведомым сетью.***

# Мостовой управляемый выпрямитель

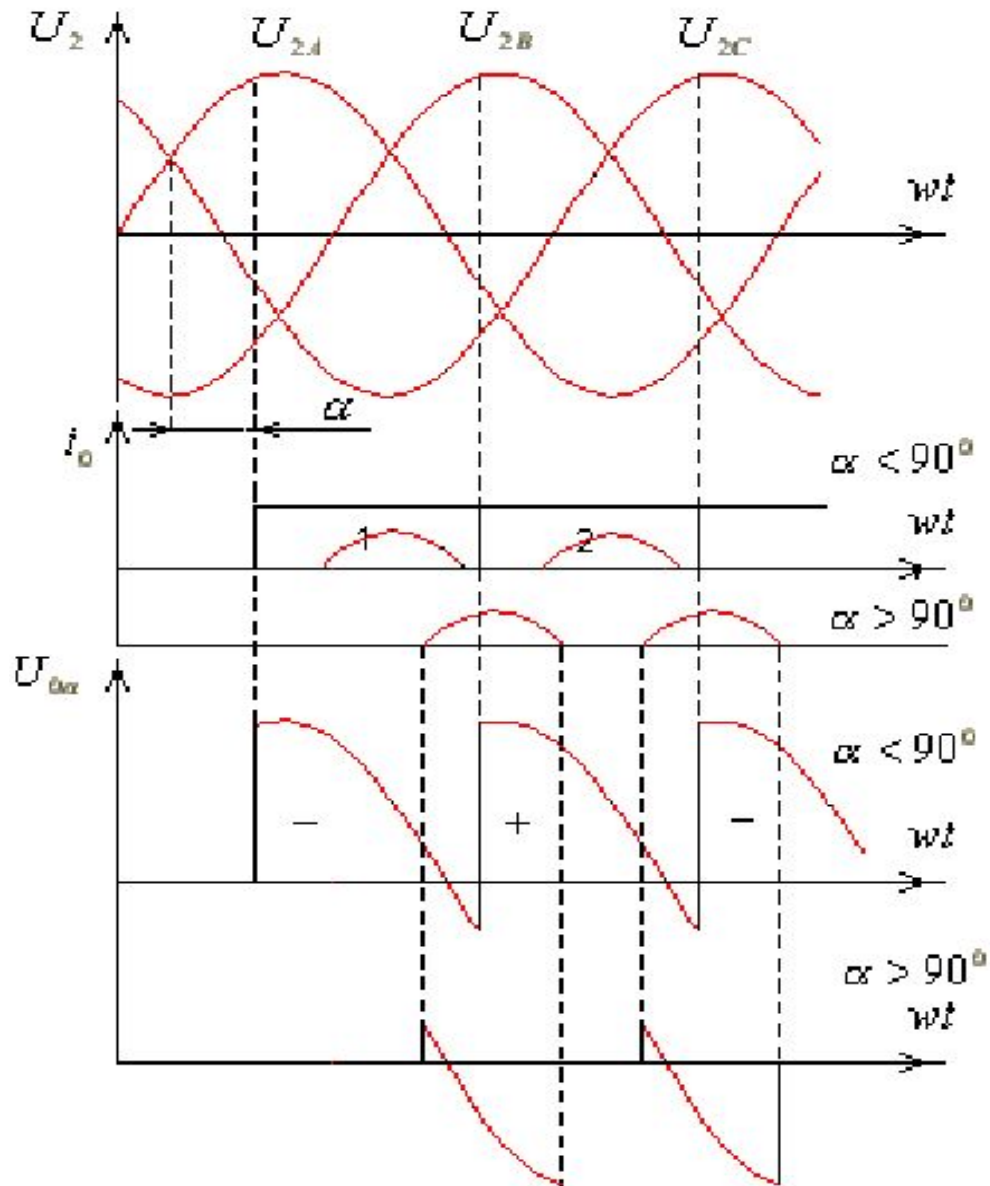
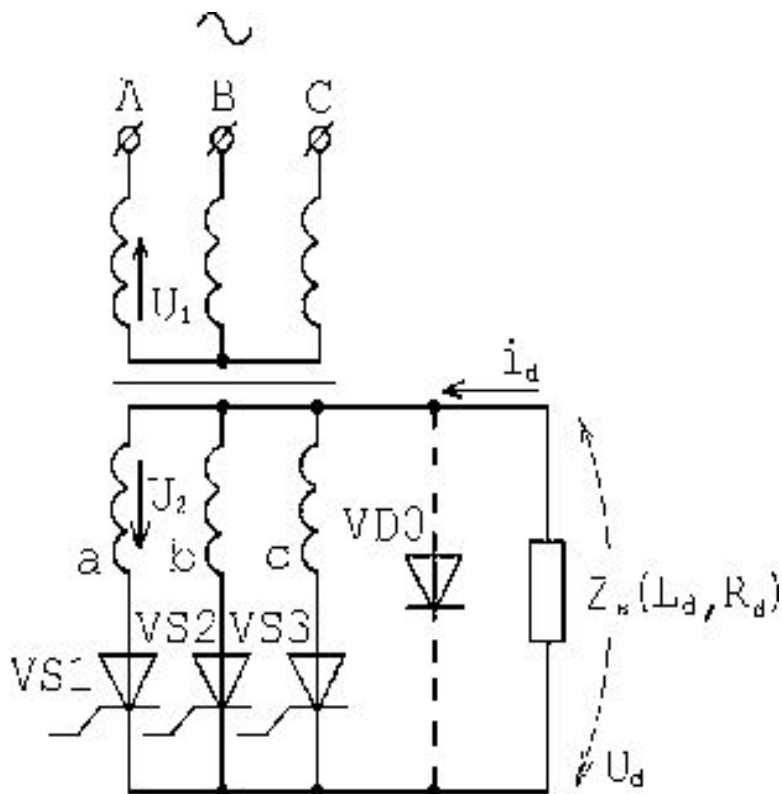
Схемы однофазных мостовых управляемых выпрямителей



В мостовом выпрямителе с неполным числом управляемых вентилей (несимметричная схема) два вентиля управляемые, а два других – неуправляемые. Режим работы схемы подобен режиму однофазной схемы с нулевым выводом и нулевым диодом. При этом в кривой  $U_d$  также отсутствуют участки напряжения отрицательной полярности, а первая гармоника первичного тока имеет фазовый сдвиг относительно  $U_2$  на  $\alpha/2$ .



# Трёхфазный управляемый выпрямитель



Трёхфазный управляемый  
выпрямитель с нулевым  
выводом

Схема  
3Ф1Н3П

# 3-х 2-т выпрямители (продолжение)

**Трёхфазные схемы с  
двухтактным  
выпрямлением**

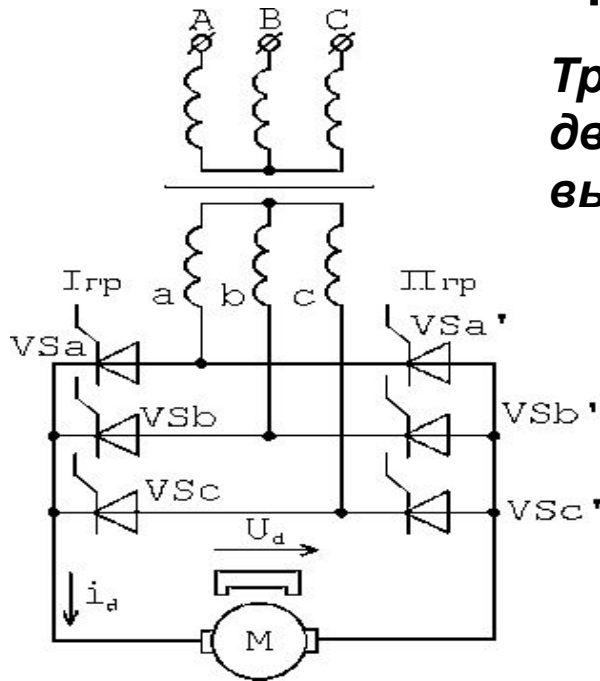


Схема 3Ф2Н6П, с полным числом управляемых вентилей, известная под названием трехфазной мостовой схемы (**схема Ларионова**)

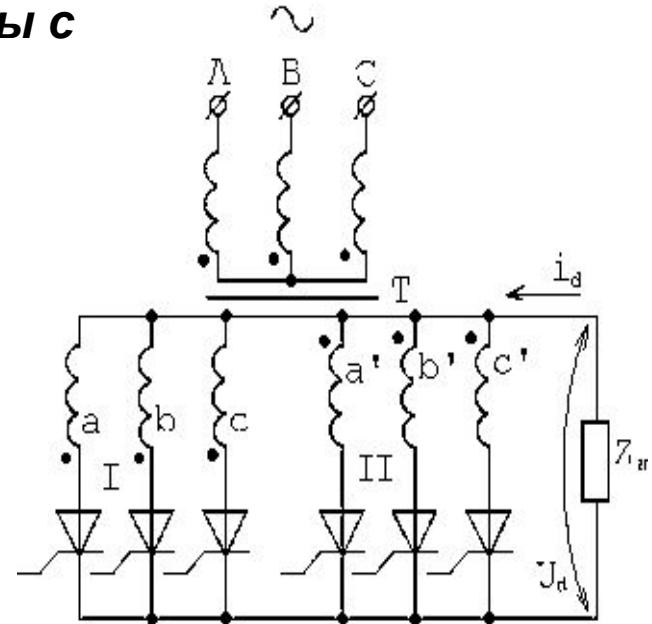
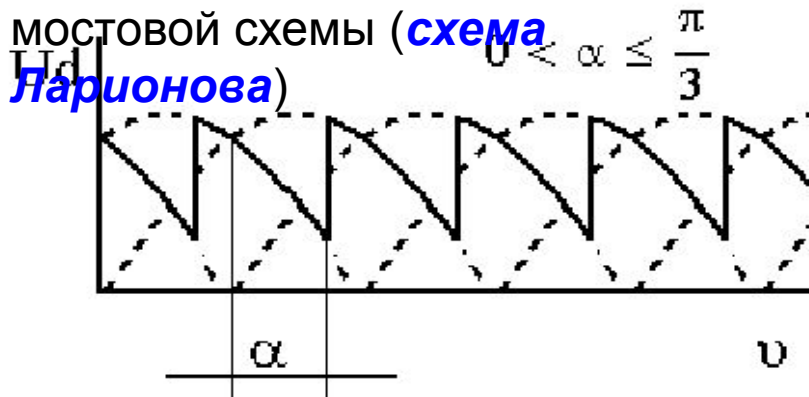
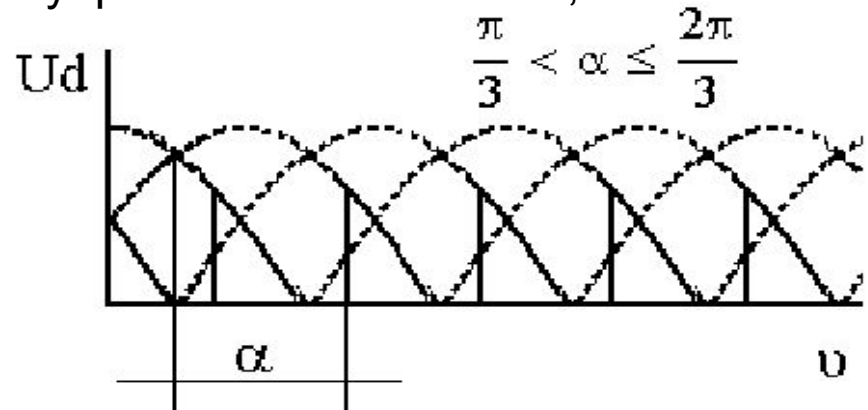


Схема 3Ф1Н6П, с полным числом управляемых вентилей,



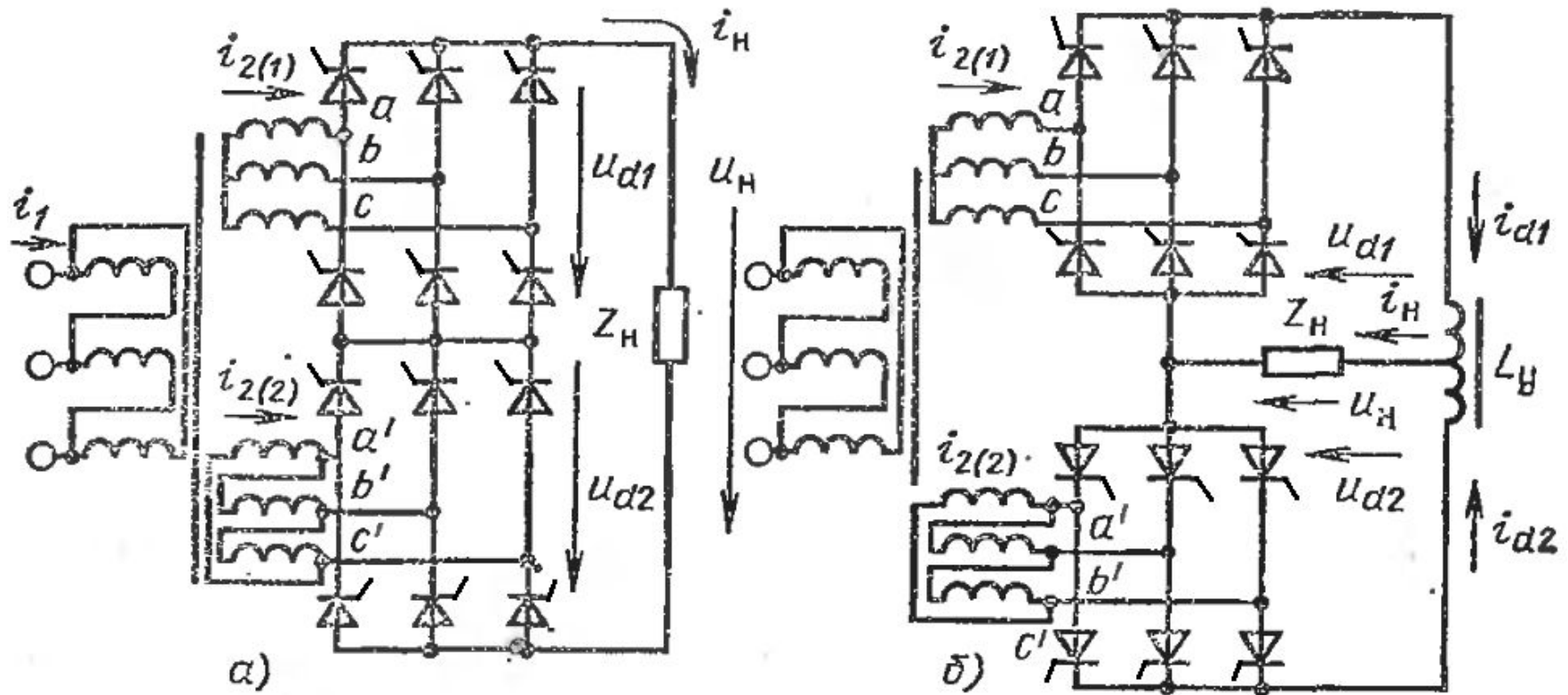
# Трёхфазный многопульсный управляемый выпрямитель

Составные выпрямители (12 — пульсные)

а) последовательное соединение преобразователей.

б) параллельное соединение преобразователей.

Находят широкое применение для питания мощных потребителей постоянного тока.





# Сравнительная оценка схем выпрямления

Для выпрямителей важно знать величину мощности постоянного тока  $P_0 = U_0 I_0$ , расходуемой в нагрузке. Но при одной и той же  $P_0$  мощность, потребляемая трансформатором выпрямителя из сети будет зависеть от схемы выпрямителя. Поэтому мы говорим о коэффициенте использования трансформатора  $K_{TP}$  и коэффициентах использования его первичной и вторичной обмоток  $K_1$  и  $K_2$ , так как они определяют экономические и энергетические показатели выпрямителя.

$$K_{TP} = P_0 / S_{TP}, \quad S_{TP} = S_1 + S_2,$$

$$K_1 = P_0 / S_1, \quad S_1 = n_1 U_1 I_1,$$

$$K_2 = P_0 / S_2, \quad S_2 = n_2 U_2 I_2,$$

так как  $n_1$  может быть не равно  $n_2$ , то эти коэффициенты могут сильно различаться.

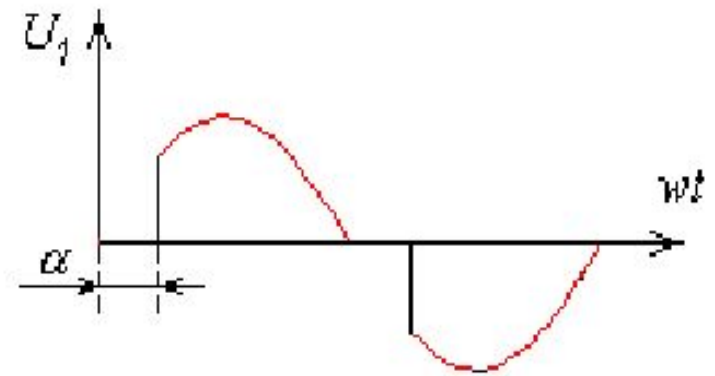
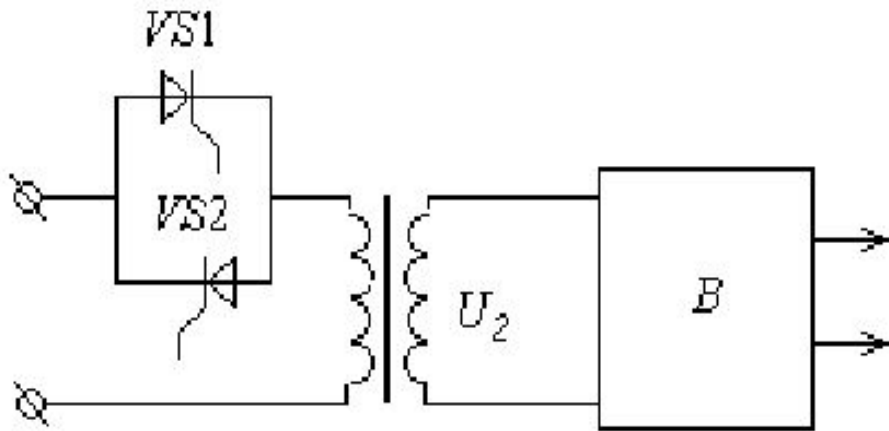
Также следует обращать внимание на коэффициент пульсаций  $q_0$

Схемы выпрямления	$K_1$	$K_2$	$K_{TP}$	$q_0$
1-тактные:				
1- фазная	0.37	0.29	0.33	
3-х фазная	0.83	0.67	0.75	0,25
2-х тактные:				
1-фазная (со средним выводом)	0.83	0.57	0.68	0,67
1-фазная мостовая	0.83	0.83	0.83	0,67
3-х фазная мостовая (Ларионова)	0.95	0.95	0.95	0,06

# Управляемый выпрямитель

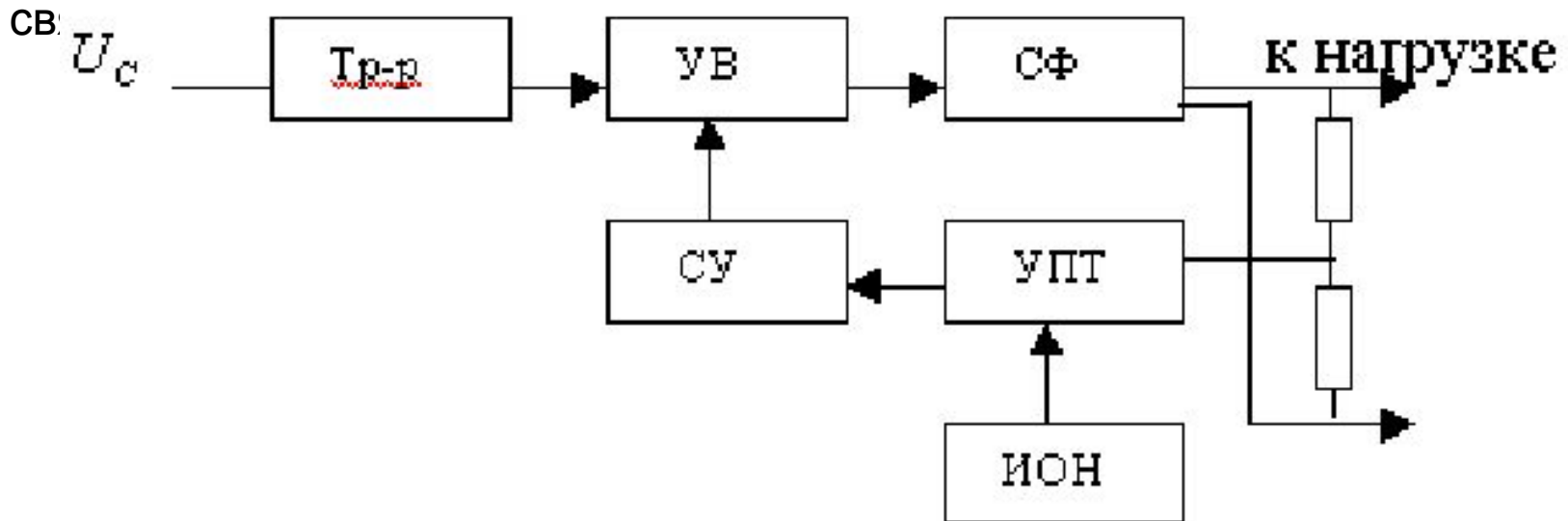
При глубоком регулировании напряжения **коэффициент мощности** выпрямителей снижается до **0.3 0.5**, что является существенным недостатком регулируемых вентилей. Повышается коэффициент мощности путём применения специальных схем с искусственной коммутацией тока (корректоров коэффициента мощности).

**Другим недостатком** тиристоров являются **большие потери** по сравнению с диодами (приблизительно в 2 раза больше). Поэтому при низких выходных напряжениях  **$U_0 \leq 10 В$**  и больших токах тиристоры на стороне постоянного тока применять нежелательно. Их переносят на сторону переменного тока, в первичную



# Управляемый выпрямитель

В настоящее время управляемые выпрямители охватываются цепью обратной



В – управляемый выпрямитель

СФ – силовой фильтр

СУ – сравнивающее устройства

ИОН – источник опорного напряжения

УПТ – усилитель постоянного тока

Подобным образом может быть введена ОС в схему с регулированием на стороне первичной обмотки. При изменении или по цепи ОС происходит автоматическое регулирование таким образом, что поддерживается постоянным. Такие устройства называются **тиристорные стабилизаторы**.

# Методы управления тиристорами (Самостоятельная работа):

1. Горизонтальный метод управления  
(используется при ручном  
регулировании);
2. Вертикальный метод управления  
(используется при автоматическом  
регулировании);

