

## Пән: Заманауи электр энергетикасы

№ 11-дәріс

**Тақырыбы: Заманауи күштік энергия түрлендіргіштер**

**Лектор: Сарсенбаев Е.А.**

«Энергетика» кафедрасының қауымдастырылған профессоры

E-mail: y.sarsenbayev@satbayev.university

## ДӘРІС ЖОСПАРЫ

- 1. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар;**
- 2. Күштік электронды кілттер;**
- 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер;**
- 4. Электр энергетикада электронды түрлендіргіштердің қолданылуы;**
- 5. Бақылау сұрақтары.**

## 1. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар

### Түрлендіргіштердің класификациясы



## 1. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар

### Түрлендіргіштердің классификациясы

**По номинальной мощности** (малой, средней, большой мощности)

**По рабочему напряжению** (низкого и высокого напряжения)

**По рабочему току** (малых и больших токов )

**По частоте** (низкочастотные и высокочастотные )

**По числу фаз** (однофазные, трехфазные, многофазные)

**По принципу исполнения** (многоячайковые и многоуровневые)

**По способу коммутации** (с конденсаторной коммутацией, коммутацией LC контуром и др.)

**По способу регулирования** (по входу, по выходу, изменением алгоритма управления)

## 1. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар

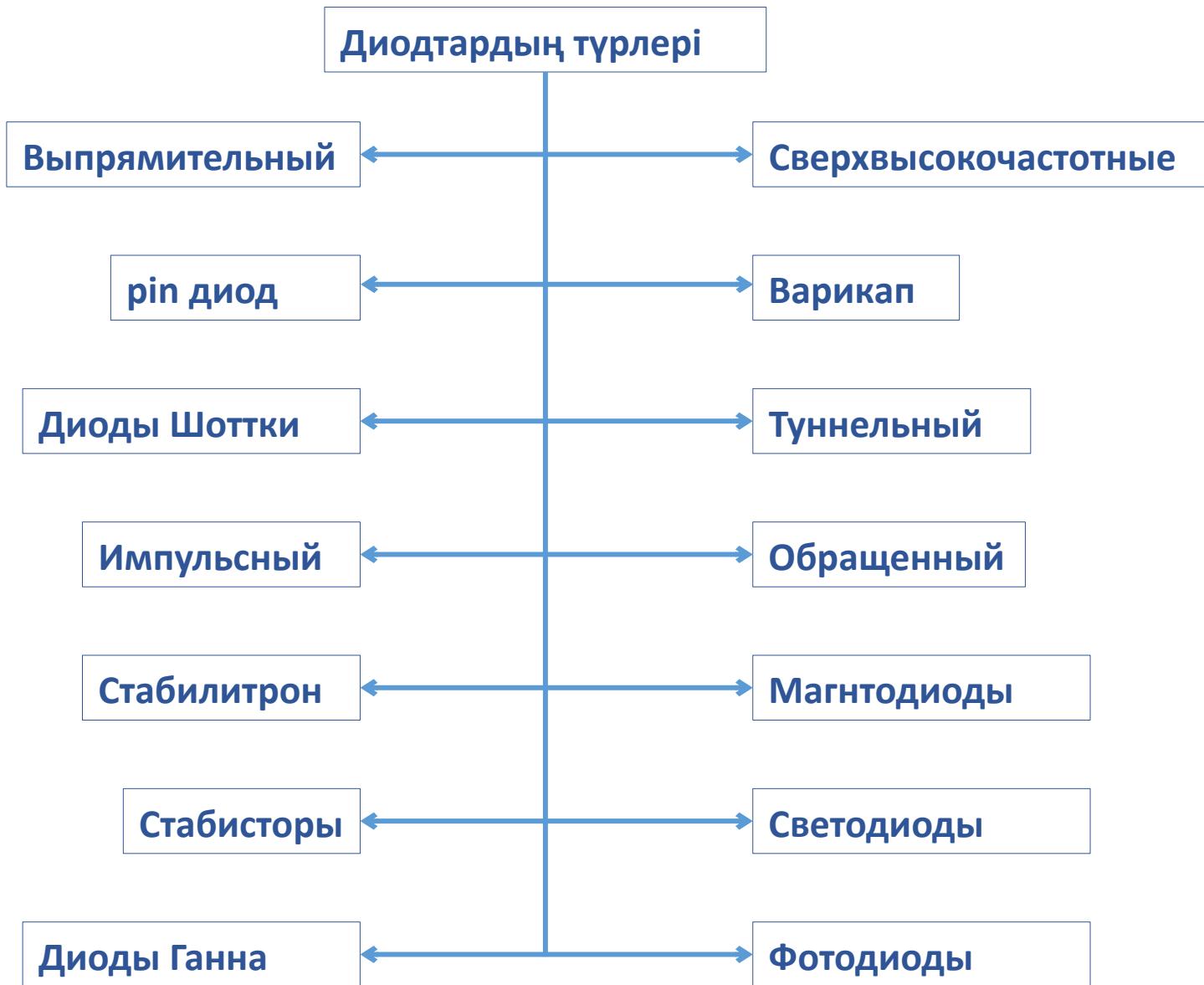
### Основные параметры и характеристики преобразователей.

- ток (число фаз и частота для переменного тока);
- номинальные действующие значения тока и напряжения (для переменного тока) и средние значения (для постоянного тока);
- диапазон регулирования выходного напряжения (тока);
- номинальные значения полной или активной мощности для переменного тока, а также коэффициент мощности  $\cos\phi$  для основных гармоник тока и напряжения в номинальном режиме;
- номинальное значение активной мощности для постоянного тока, определяемое как произведение номинальных средних значений тока и напряжения;
- коэффициент полезного действия  $\eta_{ном}$  в номинальном режиме работы;
- отклонения основных параметров в динамических режимах при изменениях напряжения внешнего источника электропитания или нагрузки, а также устанавлившиеся значения этих отклонений после завершения переходных процессов.

## 1. Негізгі ұғымдар мен анықтамалар



## 2. Күштік электрондың кілттер



## 2. Күштік электрондың кілттер

### Выпрямительные диоды

Малой мощности

до 300 мА.

Средней мощности

300 мА — 10 А

Силовые

10, 16, 25, 40 и т. д. до 1000 А

### Основные параметры:

$U_{\text{обр max}}$

$I_{\text{вп ср}}$

$I_{\text{при}}$

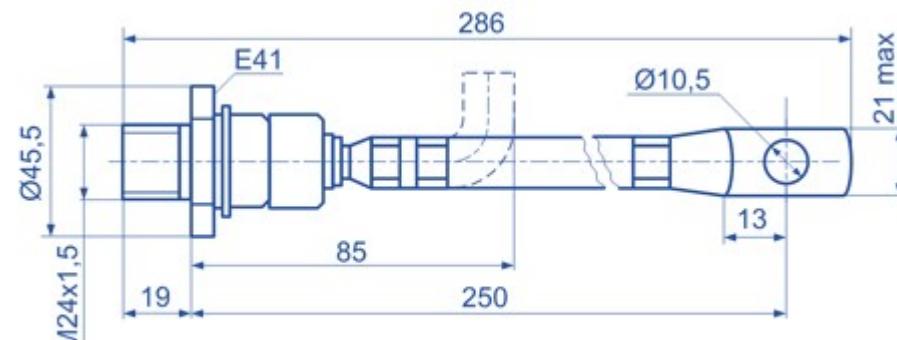
$I_{\text{обр ср}}$

$U_{\text{пр ср}}$

$P_{\text{ср д}}$

$r_{\text{диф}}$

### Диоды D171



Серия диода	Напряжение $U_{\text{RRM}}$	Средний прямой ток $I_{F(AV)} (T_C = 0^\circ\text{C})$	Класс по напряжению $U_{\text{RRM}} / 100$	Тип охладителя
D171-400	300 - 1800 В	400A ( $145^\circ\text{C}$ )	3 - 18	, OM10502810181
D171-500	400 - 1800 В	500A ( $140^\circ\text{C}$ )	4 - 18	, 02810181

Тип	$U_{\text{RRM}}$	$I_{F(AV)} (T_C)$	$I_{\text{FRMS}}$	$I_{\text{FSM}}$	$T_{jm}$	$U_{\text{FM}} / I_{\text{FM}}$	$U_{\text{T(то)}}$	$r_T$	$I_{\text{RRM}}$	$i^2 \cdot t$	$R_{\text{th(j-c)}}$	$M_d$	$W$
	В	А( $0^\circ\text{C}$ )	А	кА	°C	В/А	В	мОм	мА	кА <sup>2</sup> ·с	°C/Вт	Нм	кг
D171-400	300-1800	400(150)	760	14.0	190	1.4/1256	0.90	0.56	50	980	0.085	25-35	0.465
D171-500	400-1800	500(150)	780	16.0	190	1.4/1256	0.87	0.4	50	1060	0.081	25-35	0.465

## 2. Күштік электрондың кілттер

Виды диодов, их характеристики и параметры

### Выпрямительные диоды

Малой мощности

до 300 мА.

Средней мощности

300 мА — 10 А

Силовые

10, 16, 25, 40 и т. д. до 1000 А

Основные параметры:

$U_{\text{обр max}}$

$I_{\text{вп ср}}$

$I_{\text{при}}$

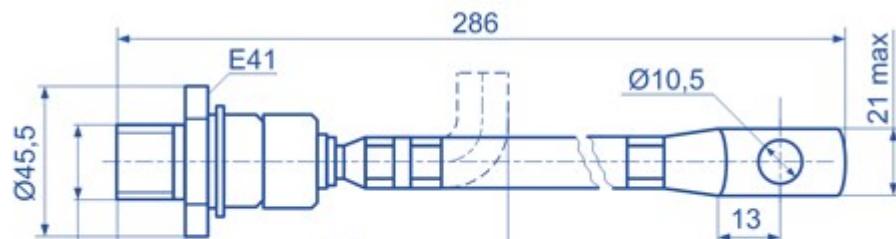
$I_{\text{обр ср}}$

$U_{\text{пр ср}}$

$P_{\text{ср д}}$

$r_{\text{диф}}$

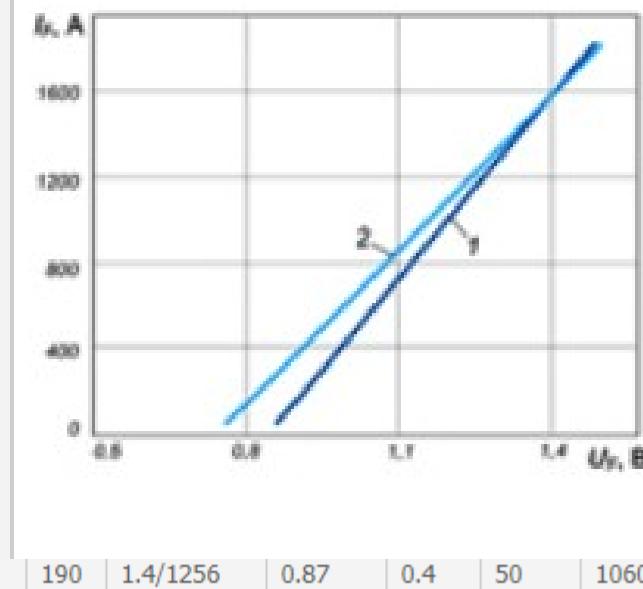
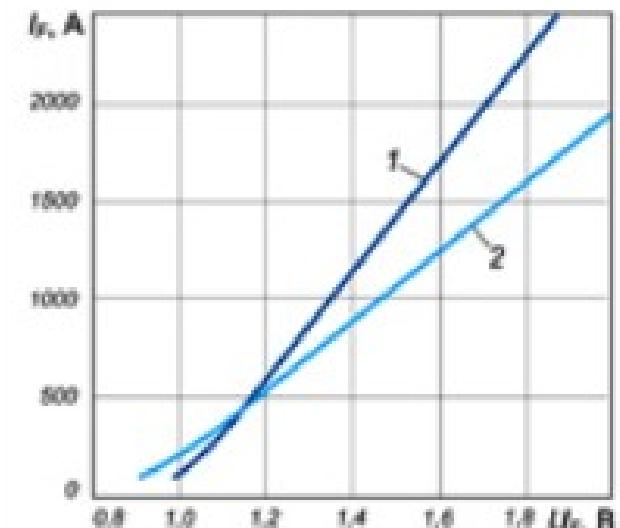
### Диоды D171



при температуре перехода  $T_j = 25^\circ\text{C}$  (1)

D171-400

D171-500



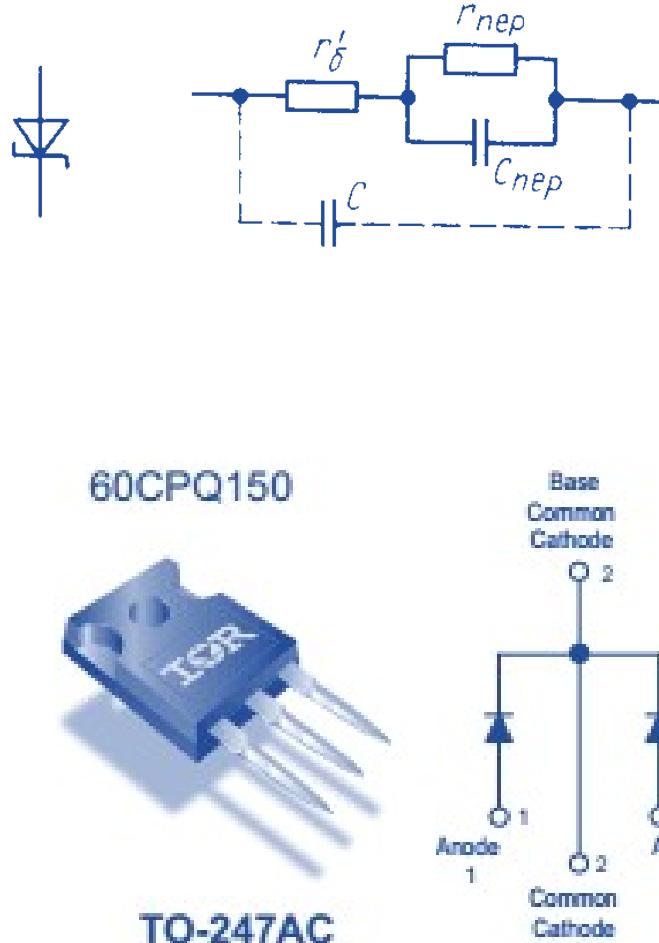
по жению 100	Тип охладителя
	, OM10502810181
	, 02810181

$R_{\text{th(j-c)}}$	$M_d$	$W$
$^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Нм	кг
0.085	25-35	0.465
0.081	25-35	0.465

## 2. Күштік электрондың кілттер

### Виды диодов, их характеристики и параметры

#### Диоды Шоттки



Наименование	Емкость, пФ @400 В, 1 МГц	Максимальное обратное напряжение, В	Постоянный прямой ток, А	Прямое падение напряжения, В
CSD01060A	8,5	600,0	1,0	1,6
CSD01060E	8,5	600,0	1,0	1,6
CSD04060A	20,0	600,0	4,0	1,5
CSD04060E	20,0	600,0	4,0	1,5
CSD06060A	30,0	600,0	6,0	1,6
CSD06060G	30,0	600,0	6,0	1,6
CSD10030A	58,0	300,0	10,0	1,2
CSD20030D	58,0	300,0	20,0	1,2
CSD20060D	50,0	600,0	20,0	1,5
CSD10060A	50,0	600,0	10,0	1,5
CSD05120A	33,0	1200,0	5,0	1,6
CSD10120A	59,0	1200,0	10,0	1,6
CSD20120D	59,0	1200,0	20,0	1,6

## 2. Құштік электрондық кілттер

### Виды диодов, их характеристики и параметры

Параметр	Обозначение		Смыслоное значение*	Диод	
	русское	латинское		выпрямительный	быстродействующий
				максимальный средний ток 3 000 А, максимальное обратное напряжение 2 700 В	максимальный средний ток 25 А, максимальное обратное напряжение 1 000 В
Прямое падение напряжения, В	$\Delta U_F$	$V_F$	Напряжение на диоде в открытом состоянии	1,57	2
Пробивное напряжение, В	$U_{\text{обр } m}$	$V_{BR}$	Обратное напряжение, при котором наступает пробой	2 700	1 000
Повторяющееся обратное импульсное напряжение, В	$U_{\text{o.и.т}}$	$V_{RRM}$	Наибольшее мгновенное значение обратного напряжения, которое диод может выдержать при повторяющемся (на рабочей частоте) кратковременном воздействии	2 700	1 000
Ударный неповторяющийся прямой ток, А	$I_{\text{удар}}$	$I_{FSM}$	Ток, при протекании которого превышается максимально допустимая температура перехода, но который возникает одинократно в аварийных режимах и не приводит к выходу диода из строя	$60 \cdot 10^3$	70
Заданный показатель, $A^2 \cdot с$	$\int i^2 dt$	$\int i^2 dt$	Значение интеграла от квадрата тока в аварийном режиме (используется для выбора предохранителя)	$8 \cdot 10^6$	25

Параметр	Обозначение		Смыслоное значение*	Диод	
	русское	латинское		выпрямительный	быстродействующий
				максимальный средний ток 3 000 А, максимальное обратное напряжение 2 700 В	максимальный средний ток 25 А, максимальное обратное напряжение 1 000 В
Обратный ток, А	$i_{\text{обр}}$	$i_R$	Ток утечки в закрытом состоянии	$120 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-6}$
Время обратного восстановления, с	$t_{\text{o.в}}$	$t_{rr}$	Время с момента перехода тока через нуль при выключении диода и до окончания процесса восстановления	$15 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-9}$
Заряд обратного восстановления, Кл	$Q_b$	$Q_{rr}$	Заряд, вытекающий из диода при его выключении	$5500 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$

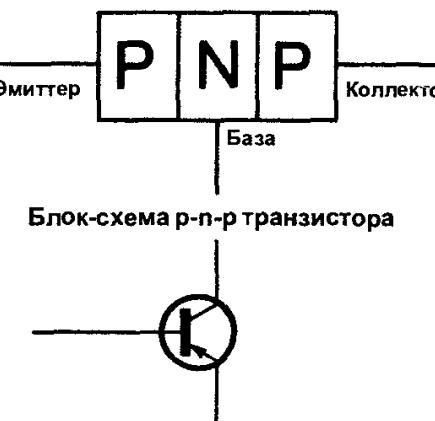
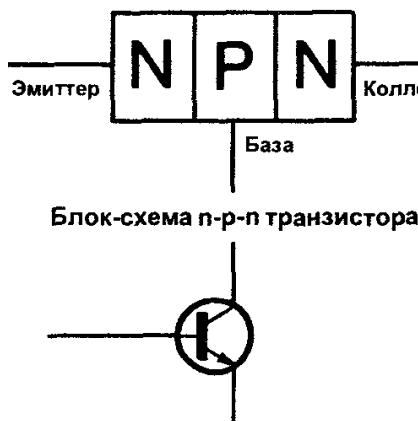
## 2. Күштік электрондың кілттер

### Виды силовых транзисторов

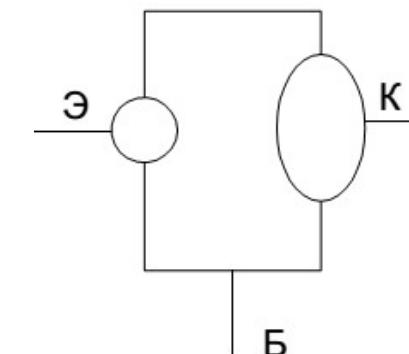


## 2. Құштік электрондың кілттер

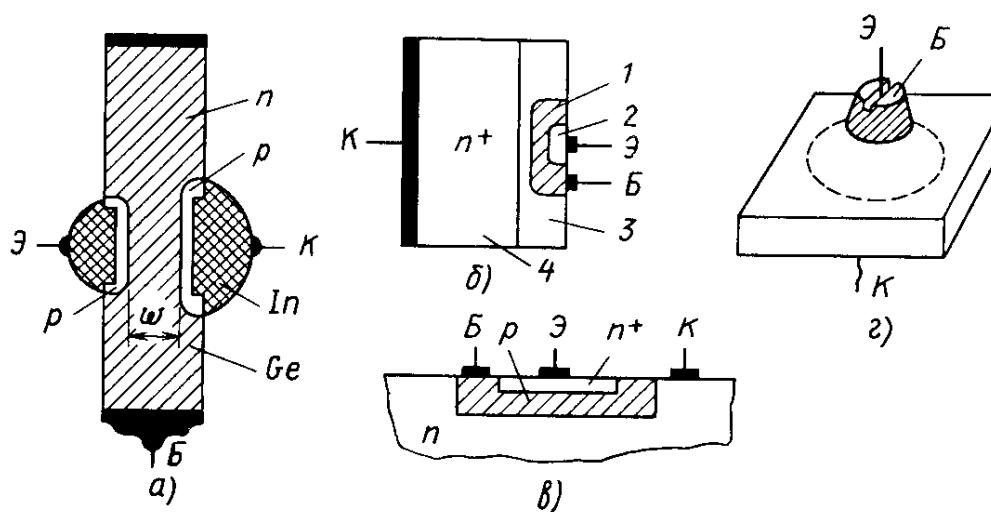
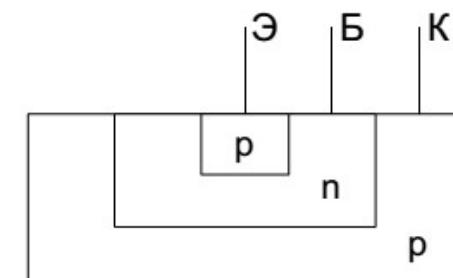
### Биполярные транзисторы



Дискретная



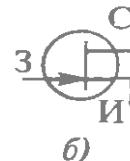
Интегральная



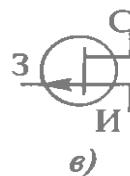
## 2. Құштік электрондың кілттер

### Полевой транзистор с управляемым р-п каналом (JFET)

с п каналом

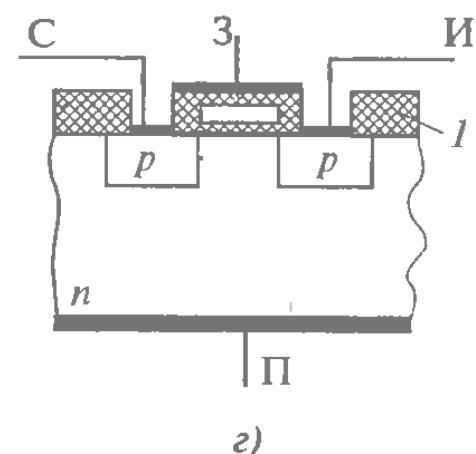
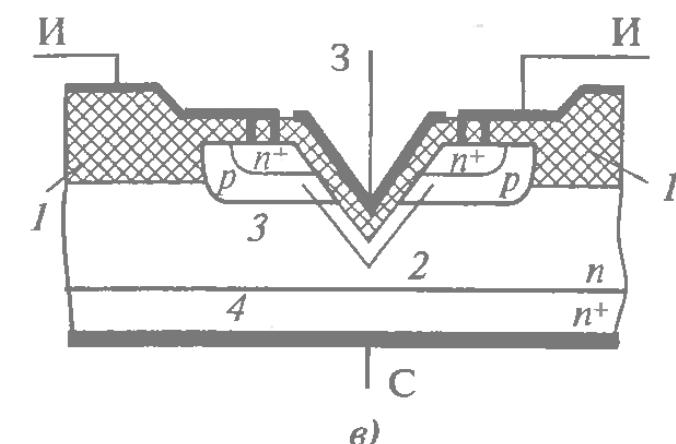
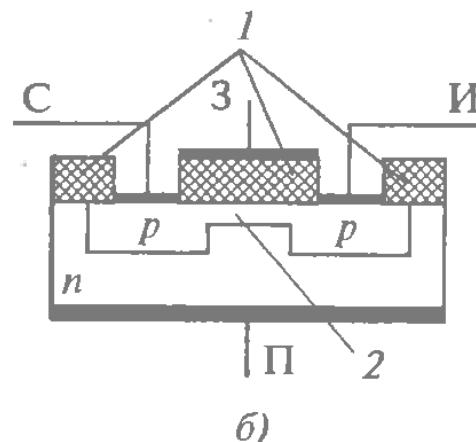
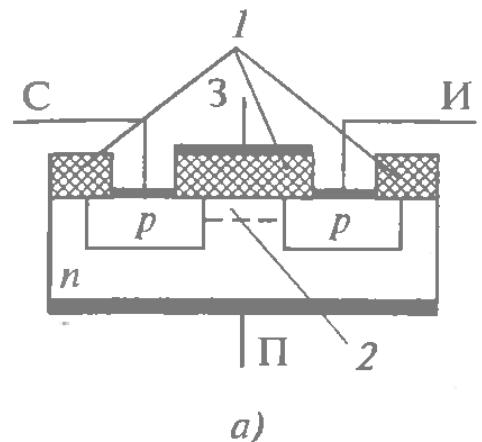
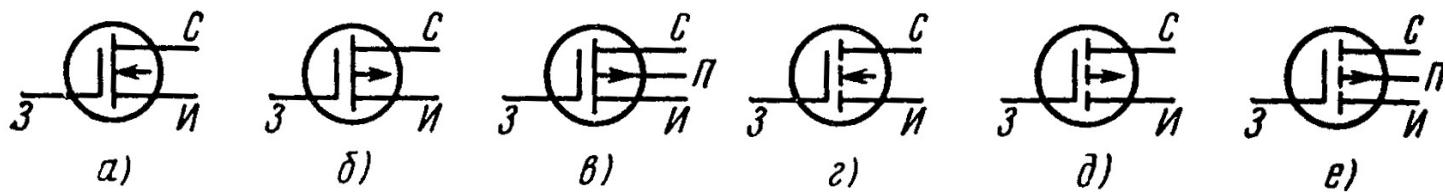


с р каналом



## 2. Құштік электрондың кілттер

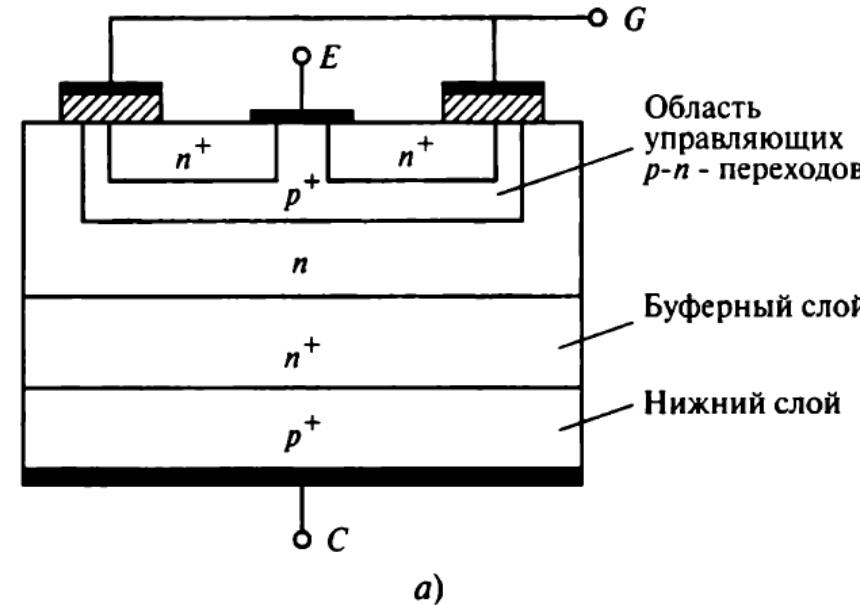
### МДП и МОП транзисторы (MOS)



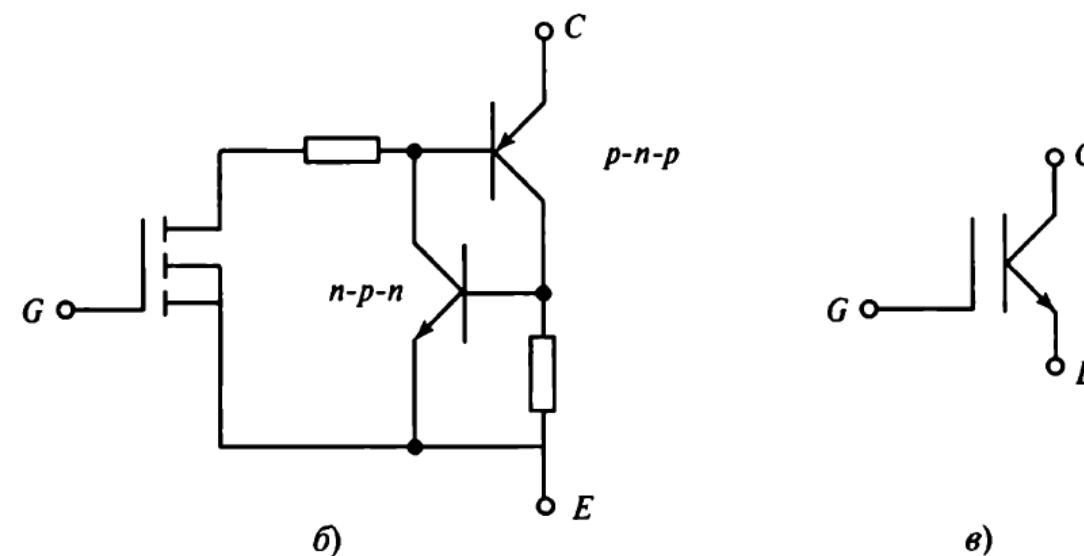
Структуры МДП-транзистора.

## 2. Құштік электрондың кілттер

### МОПБТ транзисторы (IGBT)



a)



## 2. Күштік электрондың кілттер

Основные параметры полевых транзисторов

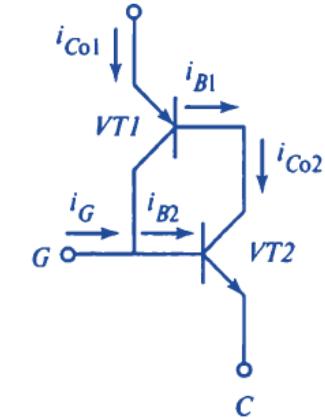
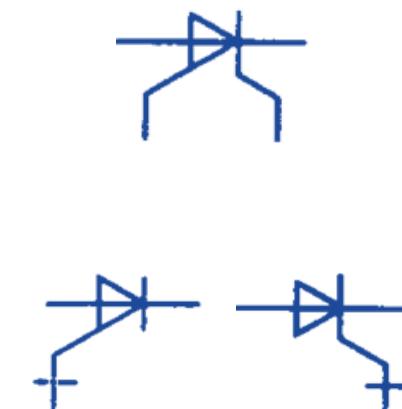
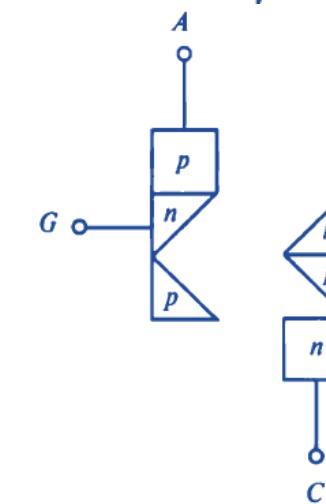
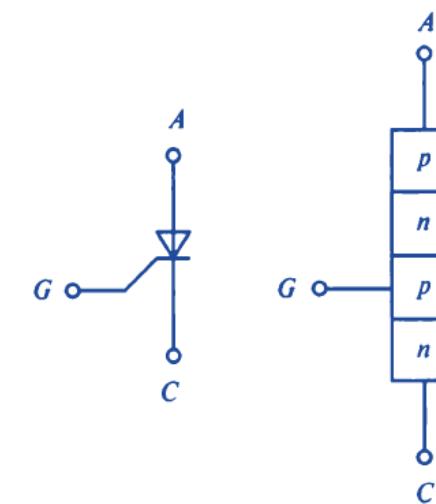
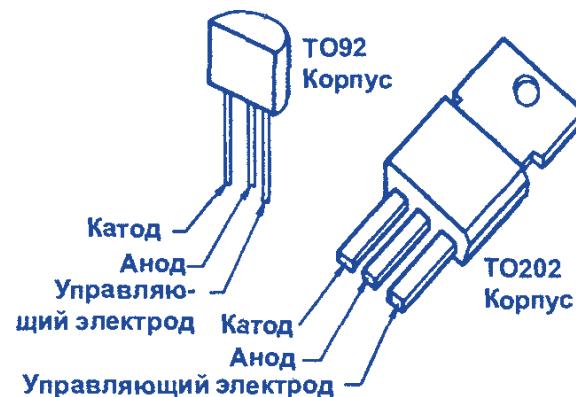
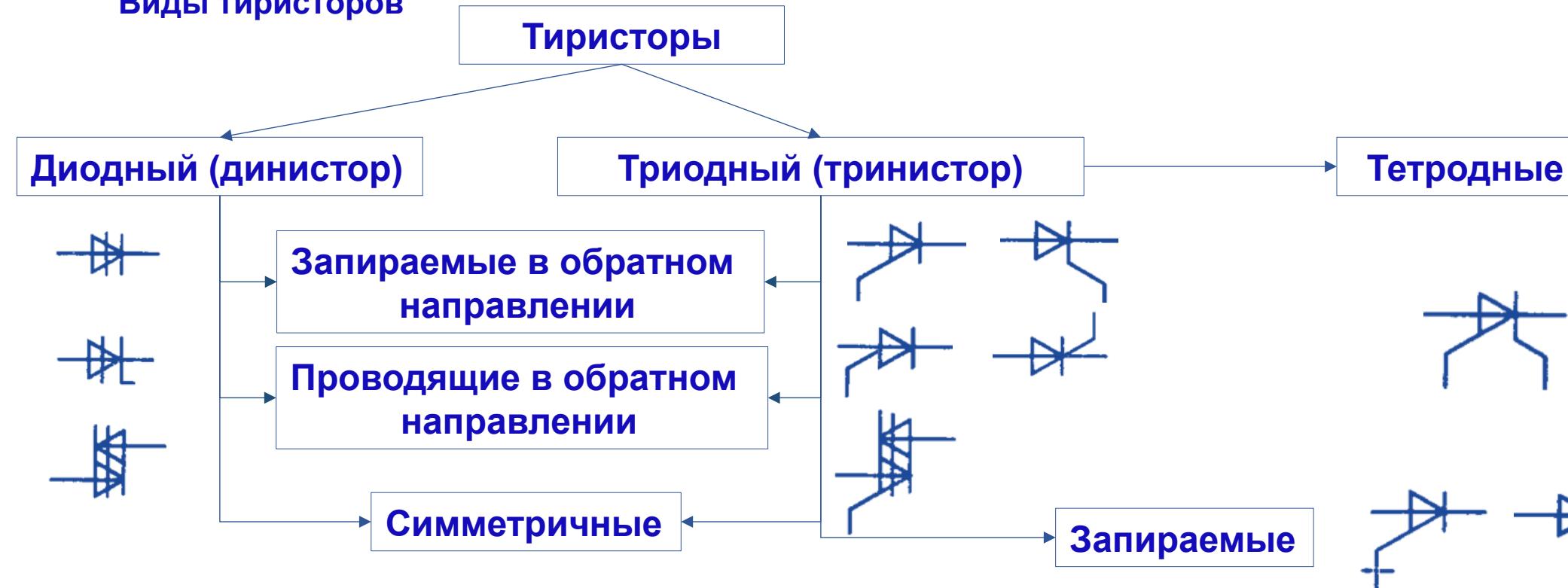
Параметр	Обозначение	Значения параметра транзистора на ток 33 А и напряжение 200 В	Смысловое значение
Постоянный ток стока, А	$I_{D \max}$	33	Значение тока стока, не вызывающее превышение температуры сверх допустимой
Импульсный ток стока, А	$I_{D \text{ pulse}}$	132	Допустимое значение импульсного тока стока, ограниченное во времени и не вызывающее превышение допустимой температуры
Пробивное напряжение сток-исток, В	$U_{(BR) DSS}$	200	Максимальное значение напряжения сток-исток, которое приводит к пробою транзистора
Напряжение затвор-исток, В	$U_{GS}$	$\pm 20$	Допустимое напряжение управления
Мощность рассеяния, Вт	$P_{\text{tot}}$	170	Максимально допустимое значение мощности, при выделении которой не происходит разрушения транзистора
Пороговое значение напряжения затвор-исток, В	$U_{GS(th)}$	3	Значение напряжения затвор-исток, при котором начинает протекать ток стока
Начальный ток стока, мА	$I_{DSS}$	10	Значение тока стока при нулевом напряжении управления
Ток утечки затвора, мА	$I_{GSS}$	10	Значение тока утечки через затвор приnomинальном напряжении управления
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии, Ом	$R_{DS(on)}$	0,06	Значение сопротивления сток-исток приноминальном напряжении управления
Входная емкость, пФ	$C_{iss}$	2 600	Значение суммарной емкости затвор-сток и затвор-исток
Выходная емкость, пФ	$C_{oss}$	500	Значение суммарной емкости затвор-сток и сток-исток
Емкость обратной связи, пФ	$C_{rss}$	230	Значение емкости затвор-сток $C_{GD}$ (емкость Миллера)
Время задержки включения, нс	$t_{d \text{ вкл}}$	40	Время между подачей управляющего импульса и началом увеличения тока стока
Время нарастания, нс	$t_r$	110	Время нарастания тока стока
Время задержки на выключение, нс	$t_{d \text{ выкл}}$	450	Время между началом спада импульса управления и началом снижения тока стока
Время спада, нс	$t_f$	160	Время спада тока стока

Основные параметры МОПБТ

Параметр	Обозначение	Значения параметра транзистора на ток 360 А и напряжение 1700 В	Смысловое значение*
Постоянный ток коллектора, А	$I_{C \max}$	360	Значение тока коллектора, не вызывающее превышение температуры сверхдопустимой
Импульсный ток коллектора, А	$I_{C \text{ pulse}}$	720	Допустимое значение тока коллектора, ограниченное во времени (как правило, 1 мс) и не вызывающее превышение допустимой температуры
Напряжение коллектор-эмиттер, В	$U_{CE \max}$	1 700	Максимальное значение напряжения коллектор-эмиттер
Напряжение затвор-эмиттер, В	$U_{GE}$	$\pm 20$	Диапазон допустимых значений напряжения управления
Рассеиваемая мощность, Вт	$P_{\text{tot}}$	3 600	Максимально допустимое значение мощности, при выделении которой не происходит разрушения транзистора
Начальный ток коллектора, мА	$I_{CES}$	6	Значение тока коллектора при нулевом напряжении управления
Ток утечки затвора, нА	$I_{GES}$	300	Значение тока утечки через затвор приноминальном напряжении управления
Напряжение коллектор-эмиттер насыщения, В	$U_{CE \text{ sat}}$	3,2	Значение напряжения коллектор-эмиттер в открытом состоянии приноминальном токе коллектора
Входная емкость, пФ	$C_{ies}$	49 200	Значение суммарной емкости затвор-коллектор и затвор-эмиттер
Время задержки включения, мкс	$t_{d \text{ вкл}}$	0,1	Время между подачей управляющего импульса и началом роста тока коллектора
Время нарастания, мкс	$t_r$	0,1	Время нарастания тока коллектора
Время задержки на выключение, мкс	$t_{d \text{ выкл}}$	0,4	Время между началом спада импульса управления и началом снижения тока коллектора
Время спада, мкс	$t_f$	0,5	Время спада тока коллектора

## 2. Күштік электрондың кілттер

### Виды тиристоров



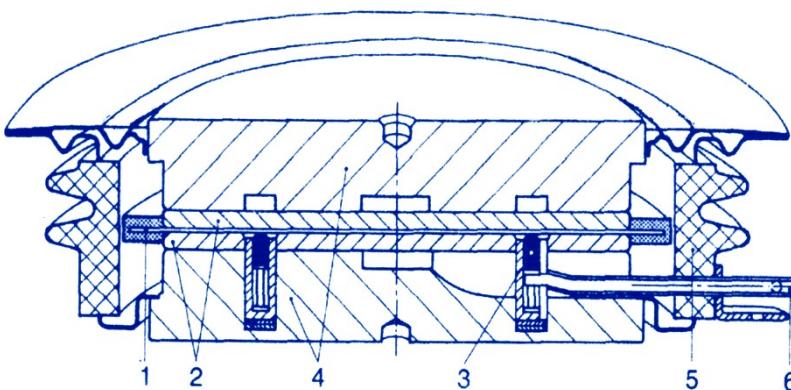
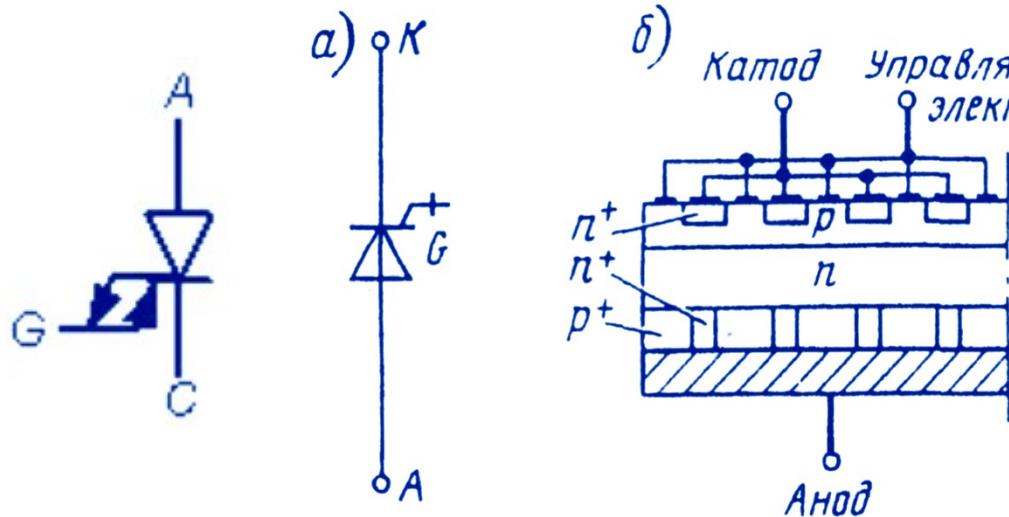
## 2. Күштік электрондың кілттер

### Запираемый тиристор

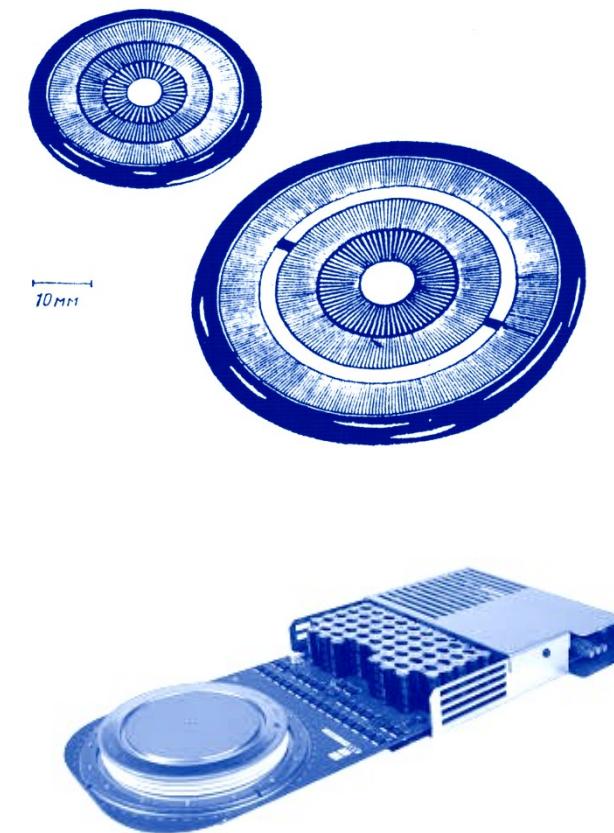
**GTO** – gate turn off thyristor

**GCT** – gate commutated off thyristor

**IGCT** – integrated gate commutated off thyristor



1 - четырехслойная пластина; 2 - молибденовые диски;  
 3 - управляемый электрод; 4 - медные основания;  
 5 - корпус; 6 - вывод электрода.



## 2. Күштік электрондың кілттер

### Основные параметры тиристоров

#### SCR тиристор

Основные параметры тиристоров при неповторяющемся импульсном напряжении в закрытом состоянии 6500 В и среднем токе 2650 А

Параметр	Обозначение в справочной литературе		Смысловое значение <sup>*</sup>	Значение параметра тиристоров на 6 500 В, 2 650 А
	русское	латинское		
Прямое падение напряжения, В	$U_{\text{пр}}$	$V_T$	Напряжение на включенным тиристоре	2
Неповторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	$U_{\text{пп}}$	$V_{\text{дим}}$	В отличие от диода, этот параметр нормируется не только при обратном, но и при прямом направлении напряжения	6 500
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	$U_n$	$V_{\text{дим}}$	В отличие от диода, этот параметр нормируется не только при обратном, но и при прямом направлении напряжения	5 600
Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, В/мкс	$dv/dt_{\text{крит}}$	$dv/dt_{\text{крит}}$	Максимальная скорость изменения напряжения, которое не приводит к несанкционированному включению (без управляющего импульса) тиристора	2 000
Максимальный средний ток, А	$I_{\text{ср}}$	$I_{\text{ТАВ}}$	Среднее значение тока анода, не приводящее к превышению температуры тиристора	2 650
Максимальный действующий ток, А	$I_{\text{действ}}$	$I_{\text{ТАМ}}$	Действующее значение тока анода, не приводящее к превышению температуры тиристора	4 160
Ток удержания, мА	$I_{\text{уздер}}$	$I_H$	Наименьший ток анода, при котором тиристор удерживается в открытом состоянии	100
Ток вспоможения, мА	$I_{\text{всп}}$	$I_L$	Наименьший ток анода, при котором тиристор удерживается в открытом состоянии сразу после включения	500

Параметр	Обозначение в справочной литературе		Смысловое значение <sup>*</sup>	Значение параметра тиристоров на 6 500 В, 2 650 А
	русское	латинское		
Ударный неповторяющийся прямой ток, кА	$I_{\text{удар}}$	$I_{\text{ГЗМ}}$	Ток, при котором превышается максимально допустимая температура перехода, но который возникает однократно в аварийных режимах и не приводят к выходу тиристора из строя	45
Защитный предохранитель, $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$	$\int I^2 dt$	$\int I^2 dt$	Значение интеграла от квадрата тока в аварийном режиме (используется для выбора защитного предохранителя)	10 125
Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии, А/мкс	$di/dt_{\text{крит}}$	$di/dt_{\text{крит}}$	Наибольшее значение скорости нарастания тока в открытом состоянии, которую тиристор выдерживает без повреждения	500
Ток в закрытом состоянии, мА	$I_{\text{зс}}$	$I_D$	Ток утечки в закрытом состоянии	640
Время включения, мкс	$t_{\text{вкл}}$	$t_{\text{вт}}$	Время, в течение которого тиристор переходит из закрытого состояния в открытое	3
Время выключения, мкс	$t_{\text{выкл}}$	$t_q$	Наименьшее время между переходом анодного тока при выключении и моментом воздействия прямого напряжения, при котором не происходит несанкционированное включение тиристора	800
Заряд обратного восстановления, мкс	$Q_s$	$Q_{\text{рт}}$	Заряд, выводимый из тиристора при его выключении	2700

## 2. Күштік электрондың кілттер

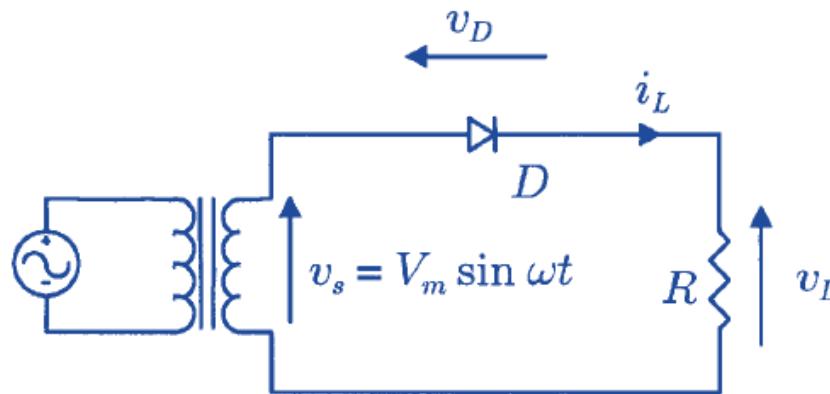
### Основные параметры тиристоров

#### GTO и GCT тиристоры

Параметр	Обозначение в справочной литературе	Смысловое значение*	Характерные значения	
			GTO	GCT
Прямое падение напряжения, В	$V_T$	Напряжение на включенном тиристоре	3,9	2,7
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии, В	$V_{DAM}$	Прямое напряжение в закрытом состоянии	4 500	4 500
Максимальный средний ток, А	$I_{TAV}$	Среднее значение тока анода, не приводящее к превышению температуры тиристора	960	1400
Максимальный действующий ток, А	$I_{TRMS}$	Действующее значение тока анода, не приводящее к превышению температуры тиристора	1 510	2 200
Максимально допустимый запираемый ток, А	$I_{TQOM}$	Определяется способностью отключить мгновенное значение тока	3 000	4 000
Запирающий импульсный ток управления, А	$I_{GOM}$	Ток управляющего электрода, необходимый для выключения максимального запирасмого тока	800	4 000
Ударный неповторяющийся прямой ток, кА	$I_{TSM}$	Ток, при протекании которого превышается максимально допустимая температура перехода, но который возникает однократно в аварийных режимах и не приводит к выходу тиристора из строя	40	40
Защитный показатель, $A^2 \cdot с$	$\int i^2 dt$	Значение интеграла от квадрата тока в аварийном режиме (используется для выбора защитного предохранителя)	$0,8 \cdot 10^6$	$0,81 \cdot 10^6$
Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии, А/нс	$di/dt_{crit}$	Наибольшее значение скорости нарастания тока в открытом состоянии, которую тиристор выдерживает без повреждения	500	500
Время включения, нмс	$t_{on}$	Время, в течение которого тиристор переходит из закрытого состояния в открытое	100	10
Время выключения, нмс	$t_{off}$	Время, в течение которого тиристор переходит из открытого состояния в закрытое	100	10

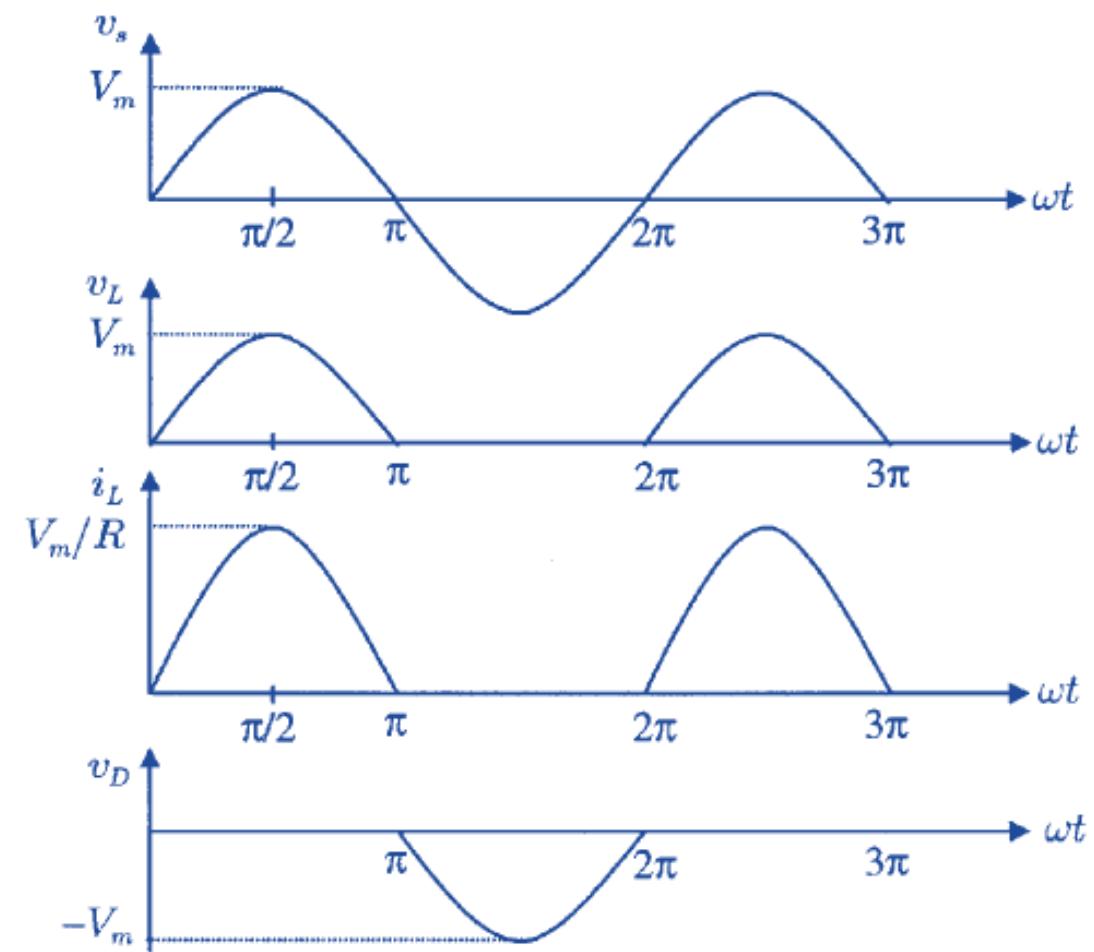
### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

1) Однофазная однополупериодная схема выпрямления



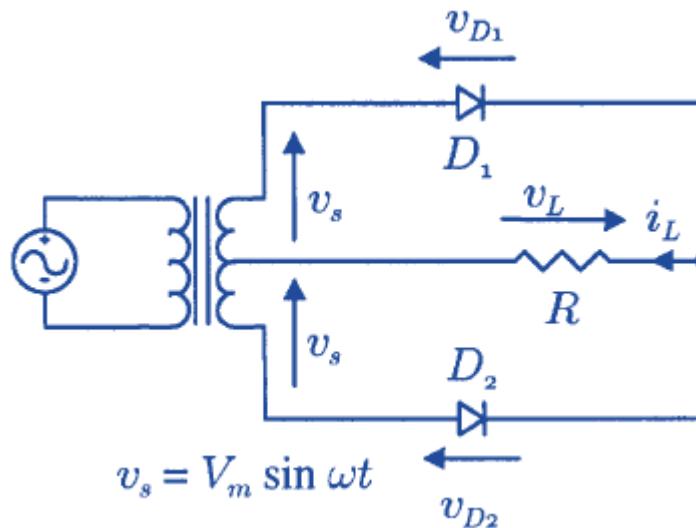
$$U_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

Формы входного и выходных сигналов (нагрузка: активная)



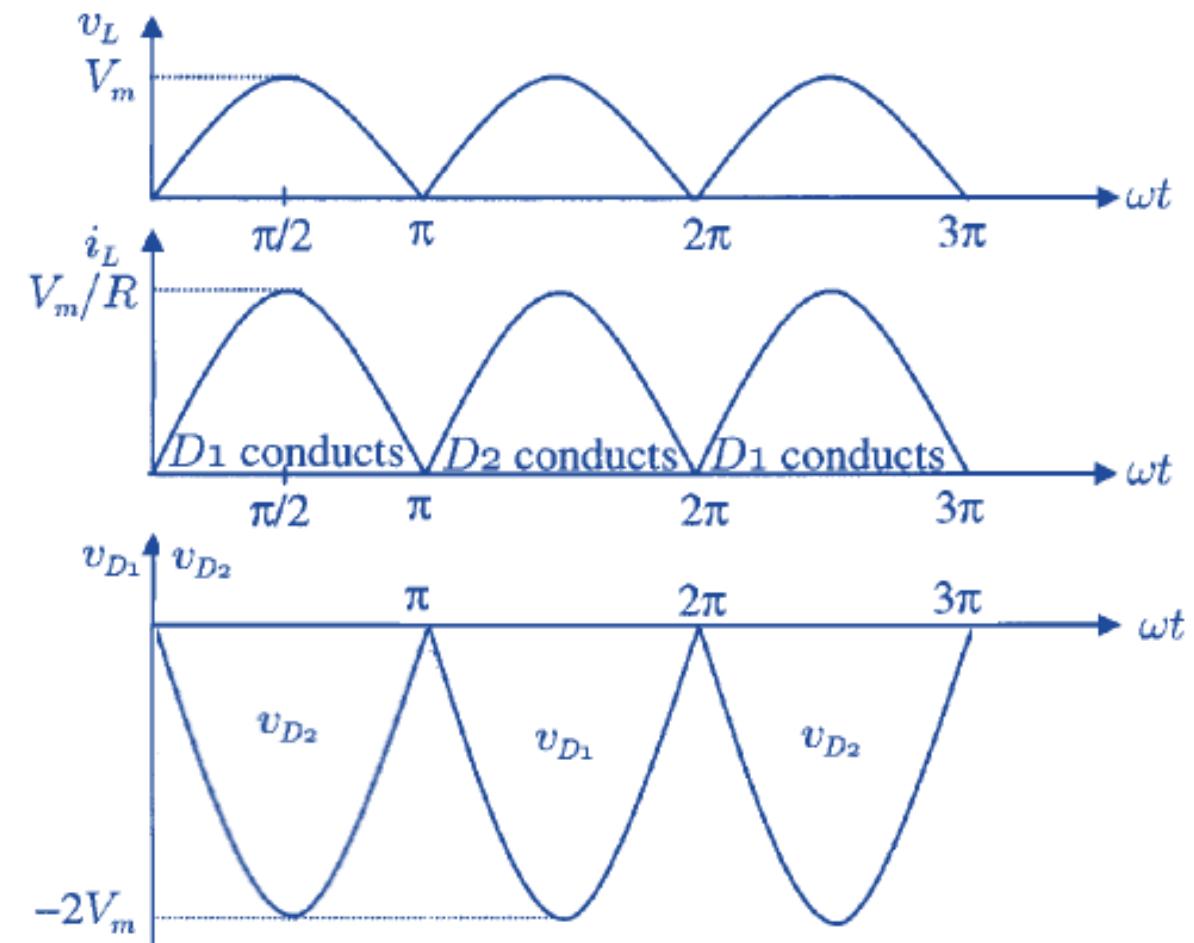
### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

1) Однофазная двухполупериодная схема выпрямления



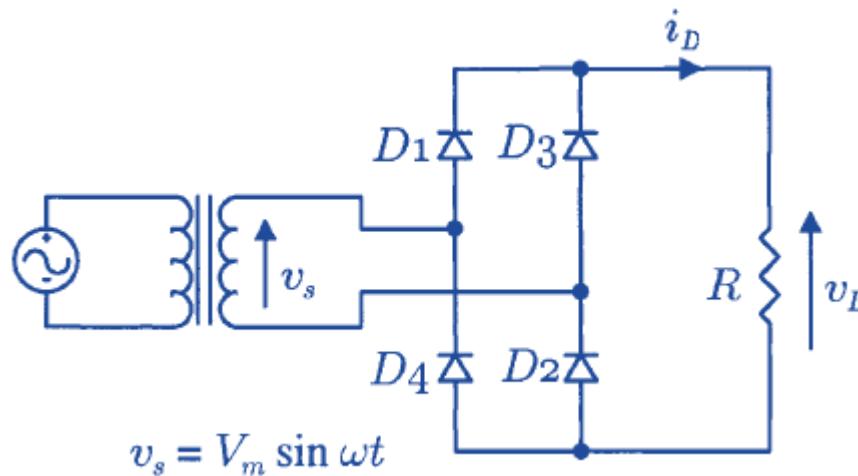
$$U_{d0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

Формы входного и выходных сигналов (нагрузка: активная)



### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

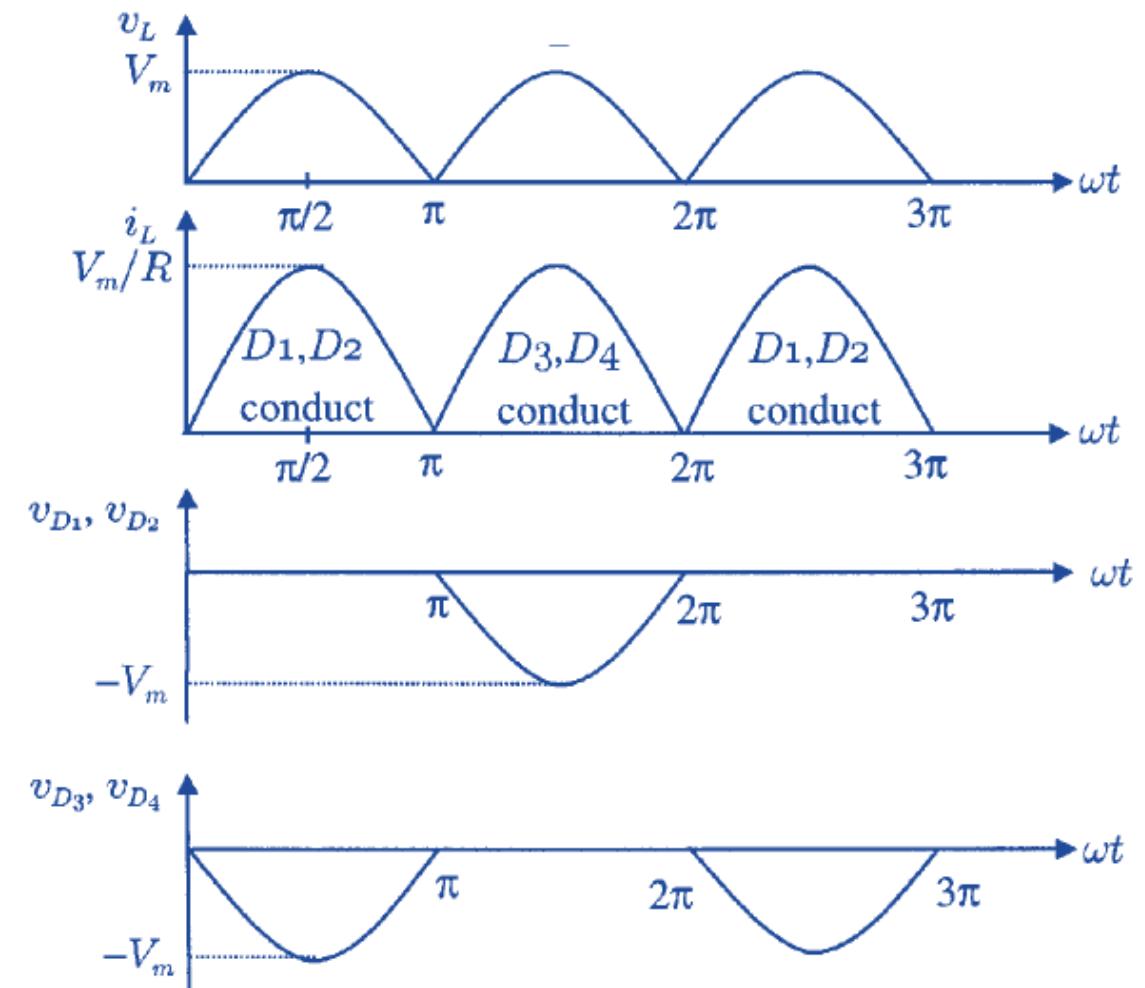
1) Однофазная мостовая схема выпрямления



$$v_s = V_m \sin \omega t$$

$$U_{d0} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2$$

Формы входного и выходных сигналов (нагрузка: активная)

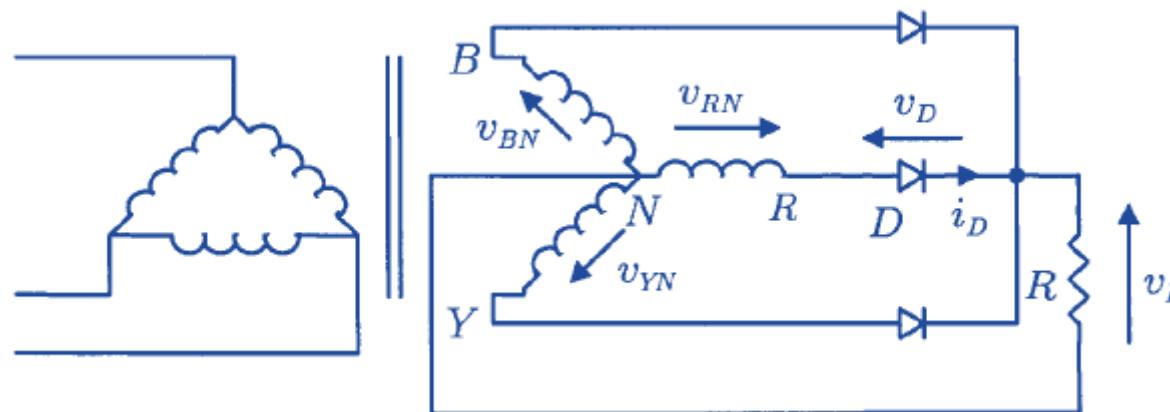


### 3. Энергияны электронды түрлөндіргіштер

	Однофазная однополупериодная схема	Однофазная двухполупериодная схема	Однофазная мостовая схема	
Peak repetitive reverse voltage $V_{RRM}$	$3.14 V_{dc}$	$3.14 V_{dc}$	$1.57 V_{dc}$	Пиковое повторяющееся обратное напряжение
Rms input voltage per transformer leg $V_s$	$2.22 V_{dc}$	$1.11 V_{dc}$	$1.11 V_{dc}$	Среднеквадратическое значение напряжения на входе со стороны трансформатора
Diode average current $I_{F(AV)}$	$1.00 I_{dc}$	$0.50 I_{dc}$	$0.50 I_{dc}$	Среднее значение прямого тока диода
Peak repetitive forward current $I_{FRM}$	$3.14 I_{F(AV)}$	$1.57 I_{F(AV)}$	$1.57 I_{F(AV)}$	Пиковый прямой повторяющийся ток
Diode rms current $I_{F(RMS)}$	$1.57 I_{dc}$	$0.785 I_{dc}$	$0.785 I_{dc}$	Среднеквадратическое значение тока на диоде
Form factor of diode current $I_{F(RMS)}/I_{F(AV)}$	1.57	1.57	1.57	Коэффициент формы тока на диоде
Rectification ratio	0.405	0.81	0.81	Коэффициент выпрямления
Form factor	1.57	1.11	1.11	Коэффициент формы
Ripple factor	1.21	0.482	0.482	Коэффициент пульсации
Transformer rating primary VA	$2.69 P_{dc}$	$1.23 P_{dc}$	$1.23 P_{dc}$	Мощность первичной обмотки трансформатора
Transformer rating secondary VA	$3.49 P_{dc}$	$1.75 P_{dc}$	$1.23 P_{dc}$	Мощность вторичной обмотки трансформатора
Output ripple frequency $f_r$	$1 f_i$	$2 f_i$	$2 f_i$	Выходная пульсирующая частота основной гармоники

### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

#### 1) 3-х фазный однополупериодный выпрямитель (схема Миткевича)



Среднее напряжение на выходе

$$V_{dc} = V_m \frac{3}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.827 V_m$$

Среднеквадратичное напряжение на выходе

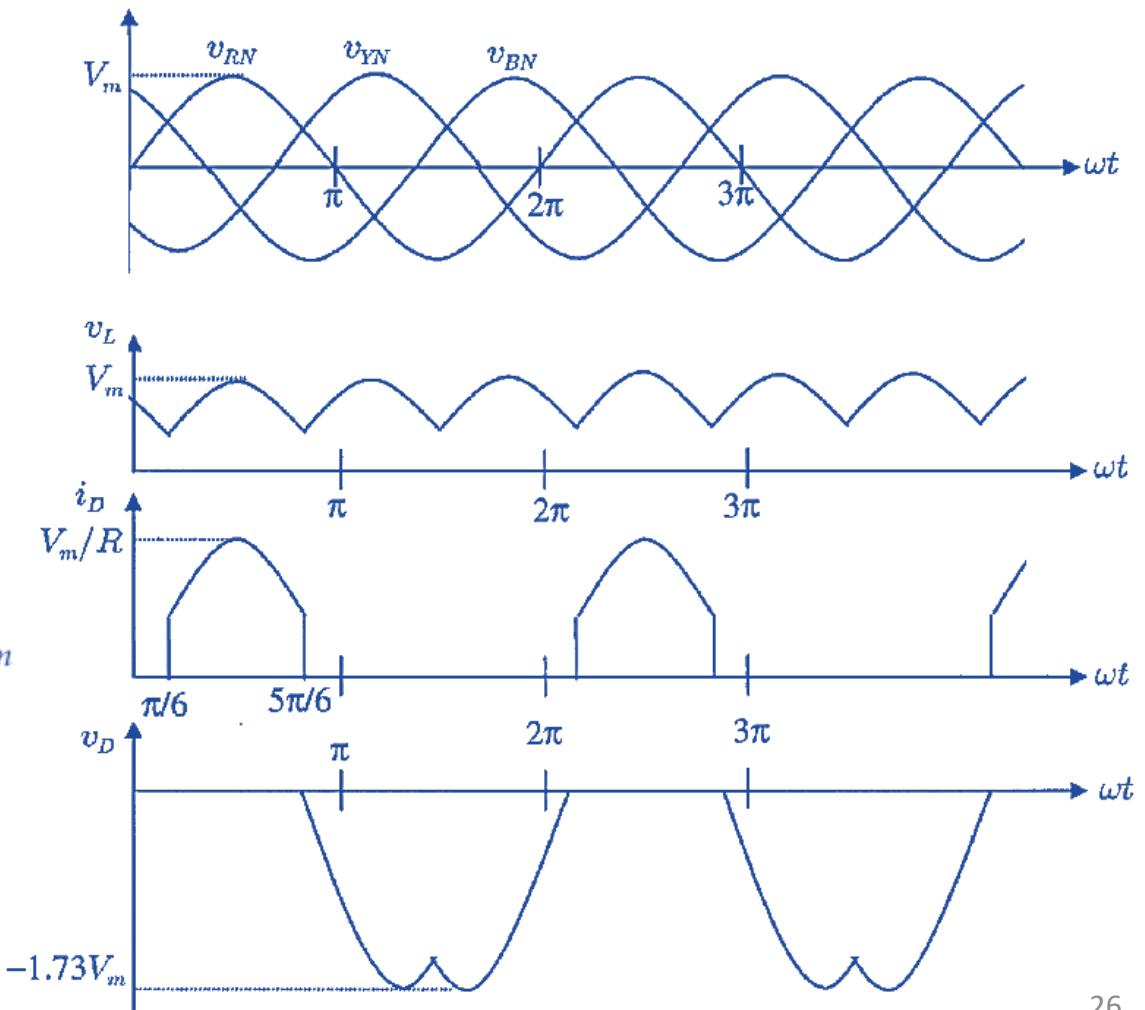
$$V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.84 V_m$$

Среднеквадратичный ток на вторичных обмотках тр-ра

$$I_s = I_m \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.485 I_m$$

где  $I_m = V_m/R$ .

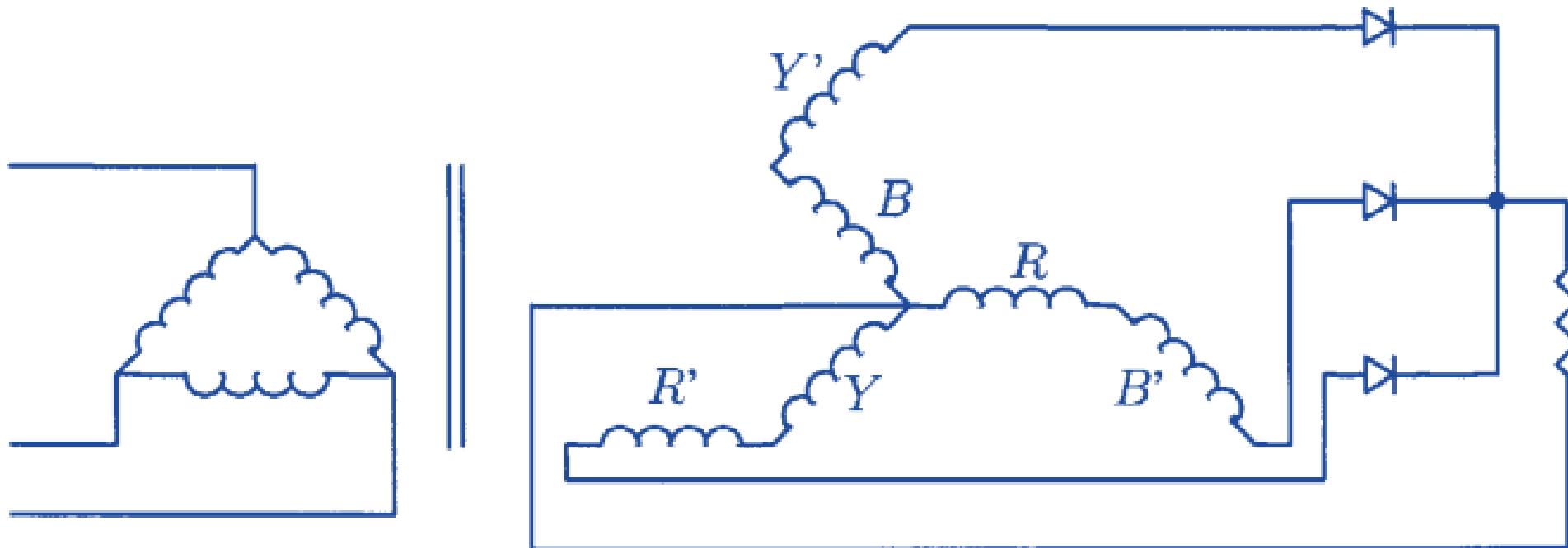
Формы напряжения и тока (нагрузка - активная)



## 3. Энергияны электронды түрлөндіргіштер

2) 3-х фазный выпрямитель с соединением обмоток трансформатора в зиг-заг

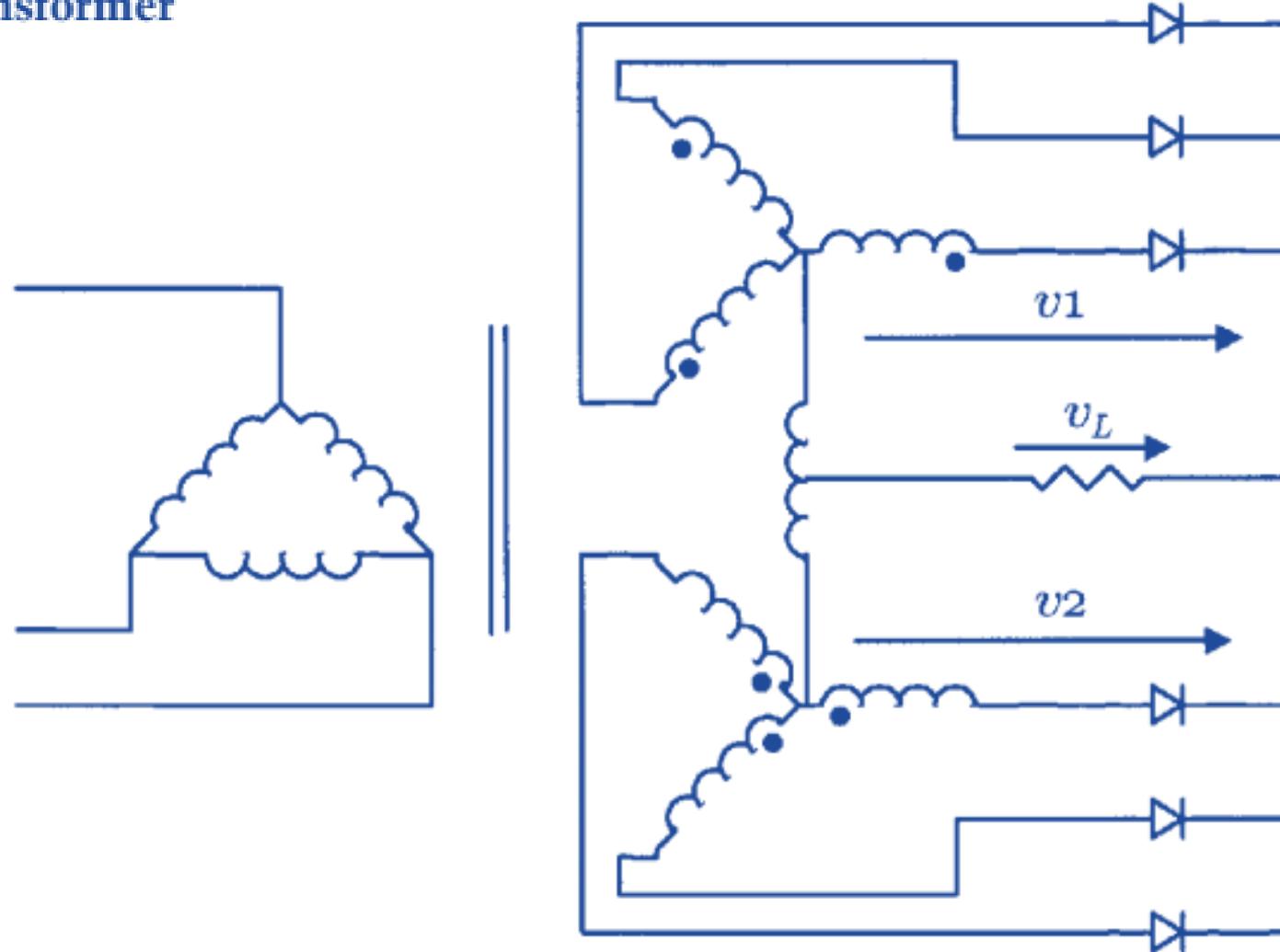
Three-phase inter-star rectifier.



## 3. Энергияны электронды түрлөндіргіштер

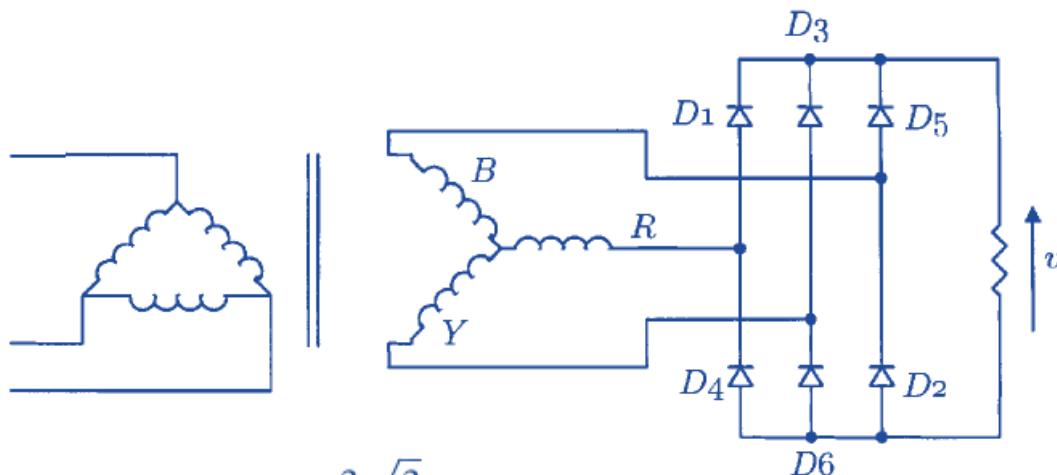
## 3) 3-х фазный выпрямитель двойной звезды с межфазным трансформатором

Three-Phase Double-Star Rectifier with  
Interphase Transformer



### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

#### 4) 3-х фазный мостовой выпрямитель (схема Ларионова)



$$V_{dc} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi} = 1.654 V_m$$

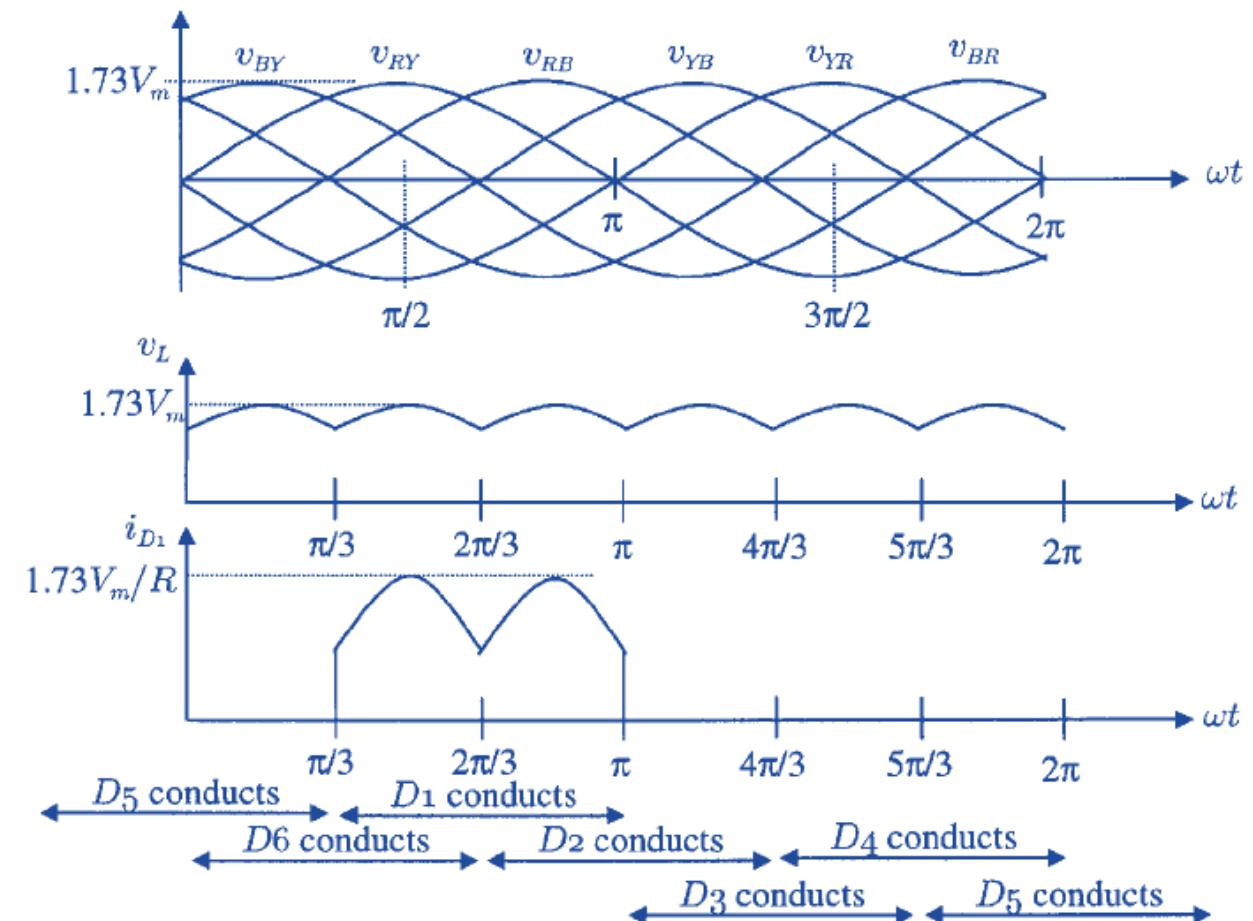
$$V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1.655 V_m$$

$$I_s = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.78 I_m$$

$$I_D = I_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.552 I_m$$

$$I_m = 1.73 V_m / R.$$

Формы напряжения и тока (нагрузка - активная)



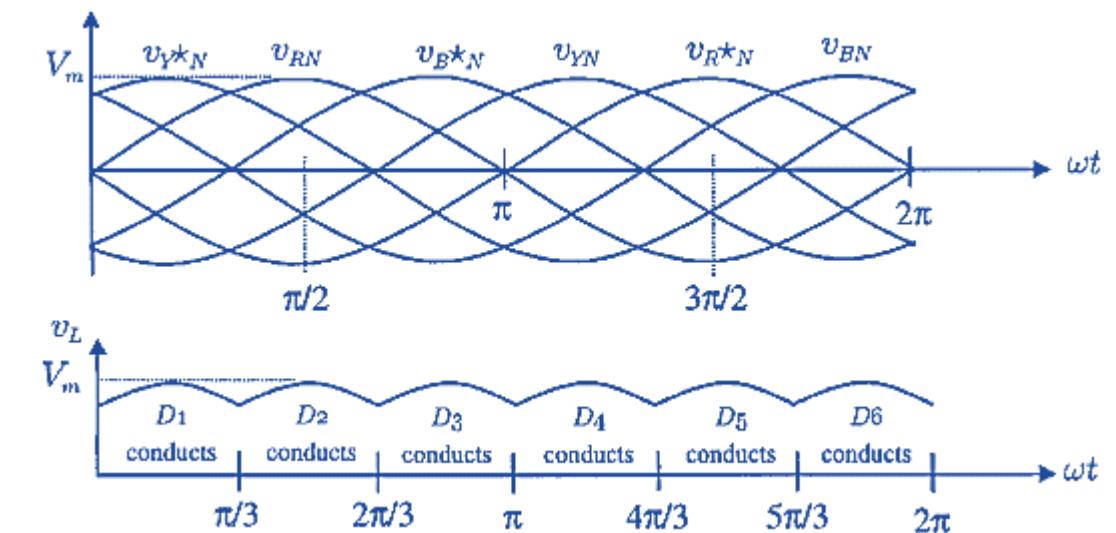
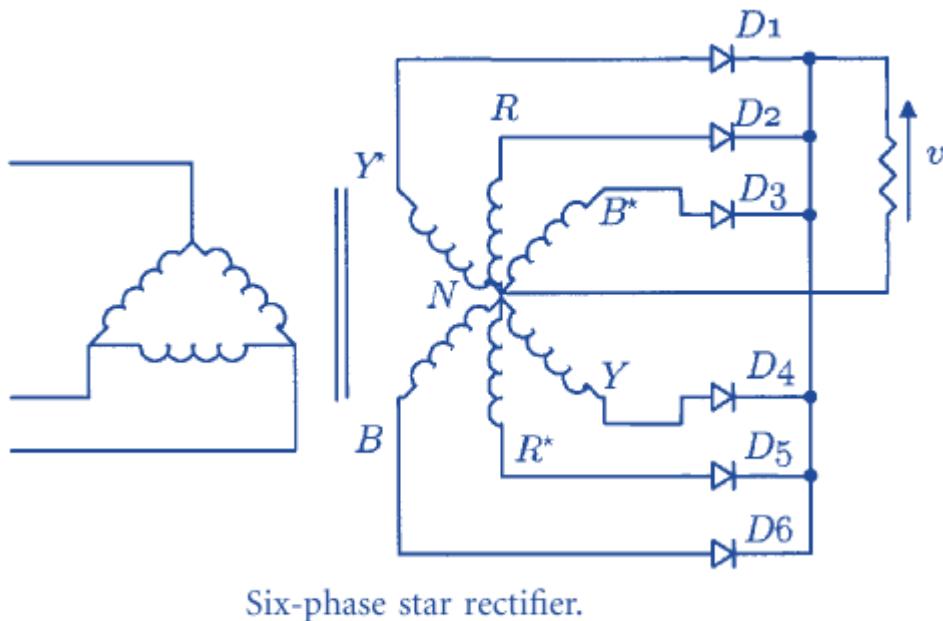
### 3. Энергияны электронды түрлөндіргіштер

	3-х фазный однополупериодный	3-х фазный выпрямитель двойной звезды с межфазным трансформатором	3-х фазный мостовой выпрямитель	
Peak repetitive reverse voltage $V_{RRM}$	2.092 $V_{dc}$	1.06 $V_{dc}$	1.05 $V_{dc}$	Пиковое повторяющееся обратное напряжение
Rms input voltage per transformer leg $V_s$	0.855 $V_{dc}$	0.855 $V_{dc}$	0.428 $V_{dc}$	Среднеквадратическое значение напряжения на входе со стороны трансформатора
Diode average current $I_{F(AV)}$	0.333 $I_{dc}$	0.167 $I_{dc}$	0.333 $I_{dc}$	Среднее значение прямого тока диода
Peak repetitive forward current $I_{FRM}$	3.63 $I_{F(AV)}$	3.15 $I_{F(AV)}$	3.14 $I_{F(AV)}$	Пиковый прямой повторяющийся ток
Diode rms current $I_{F(RMS)}$	0.587 $I_{dc}$	0.293 $I_{dc}$	0.579 $I_{dc}$	Среднеквадратическое значение тока на диоде
Form factor of diode current $I_{F(RMS)}/I_{F(AV)}$	1.76	1.76	1.74	Коэффициент формы тока на диоде
Rectification ratio	0.968	0.998	0.998	Коэффициент выпрямления
Form factor	1.0165	1.0009	1.0009	Коэффициент формы
Ripple factor	0.182	0.042	0.042	Коэффициент пульсации
Transformer rating primary VA	1.23 $P_{dc}$	1.06 $P_{dc}$	1.05 $P_{dc}$	Мощность первичной обмотки трансформатора
Transformer rating secondary VA	1.51 $P_{dc}$	1.49 $P_{dc}$	1.05 $P_{dc}$	Мощность вторичной обмотки трансформатора
Output ripple frequency $f_r$	$3 f_i$	$6 f_i$	$6 f_i$	Выходная пульсирующая частота основной гармоники

### 3. Энергияны электронды түрлендіргіштер

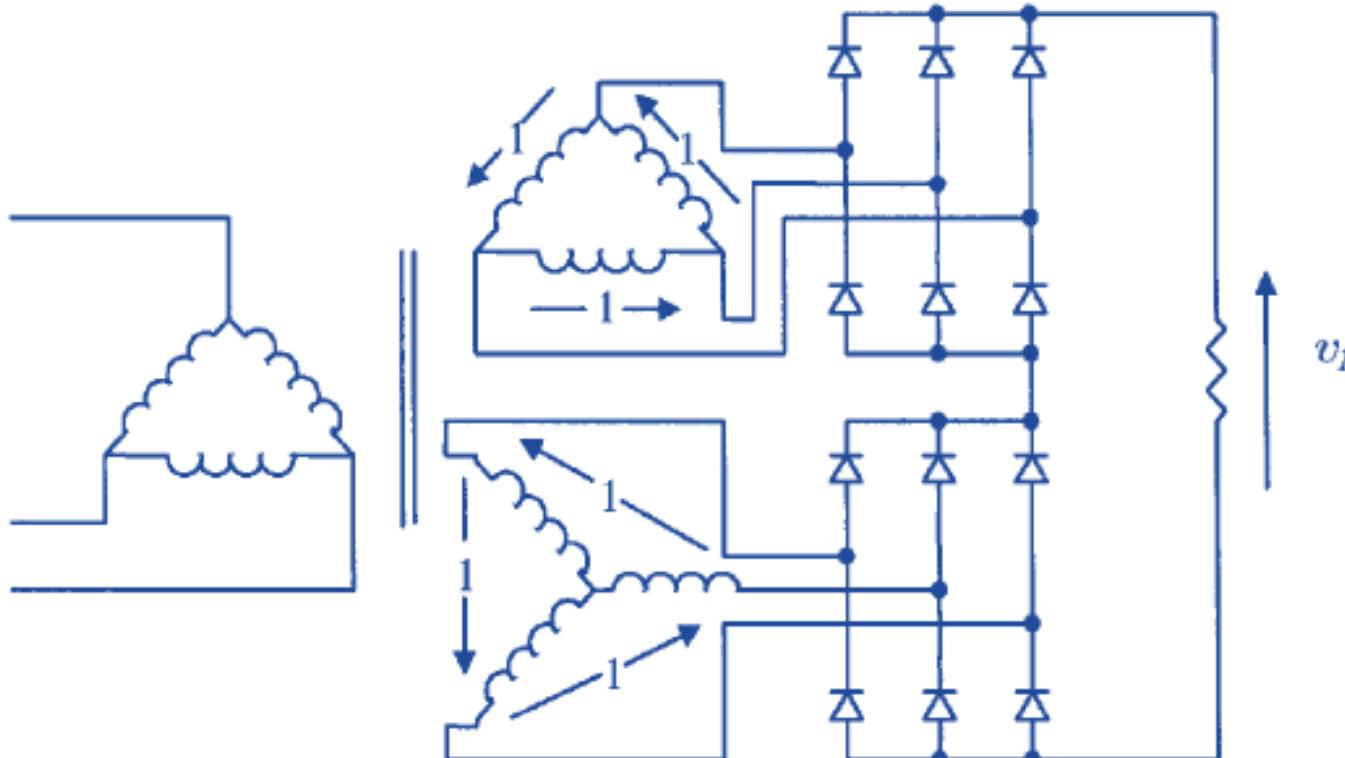
#### Многофазные выпрямители

##### 1) 6-ти фазный однополупериодный выпрямитель



## Многофазные выпрямители

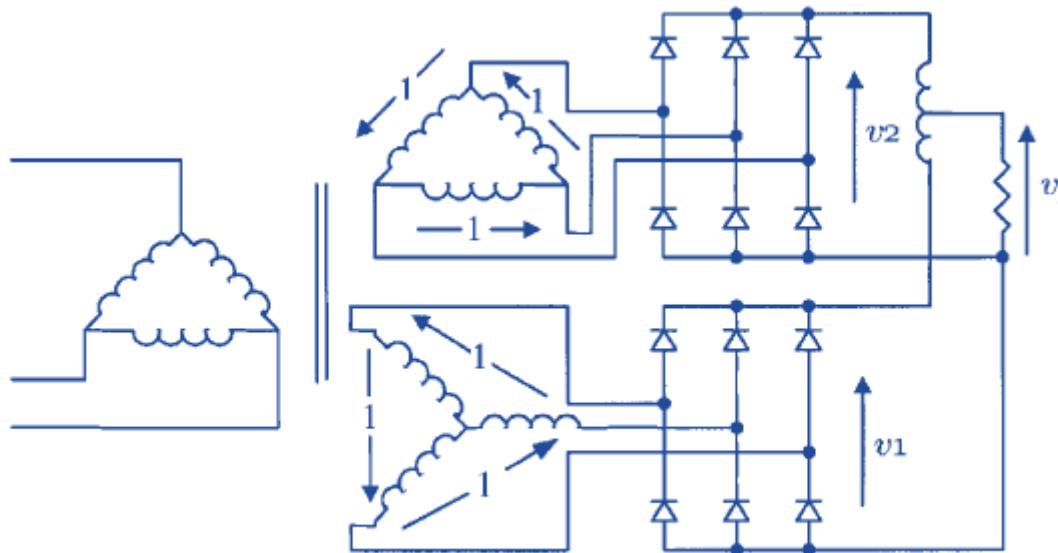
## 1) 6-ти фазный мостовой выпрямитель



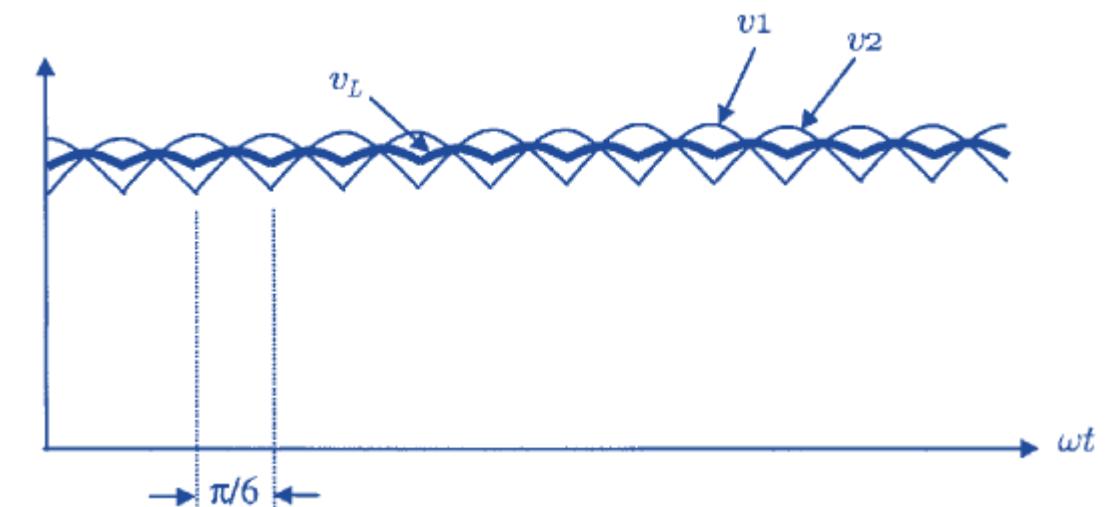
Six-phase series bridge rectifier.

## Многофазные выпрямители

## 1) 6-ти фазный параллельно-мостовой выпрямитель



Six-phase parallel bridge rectifier.

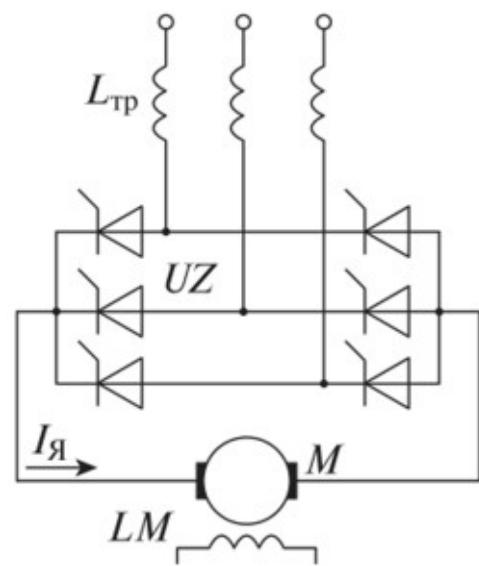
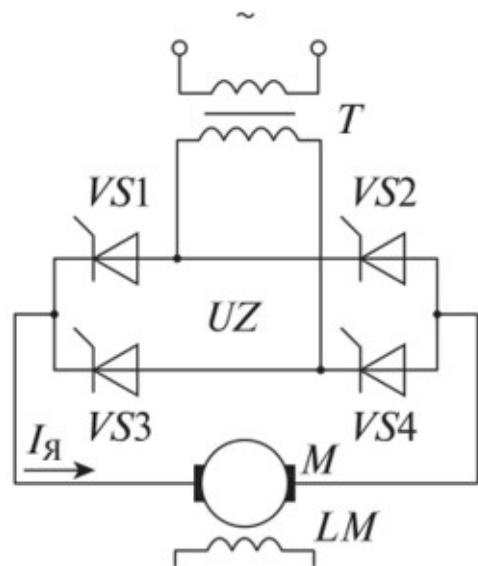


### 3. Энергияны электронды түрлөндіргіштер

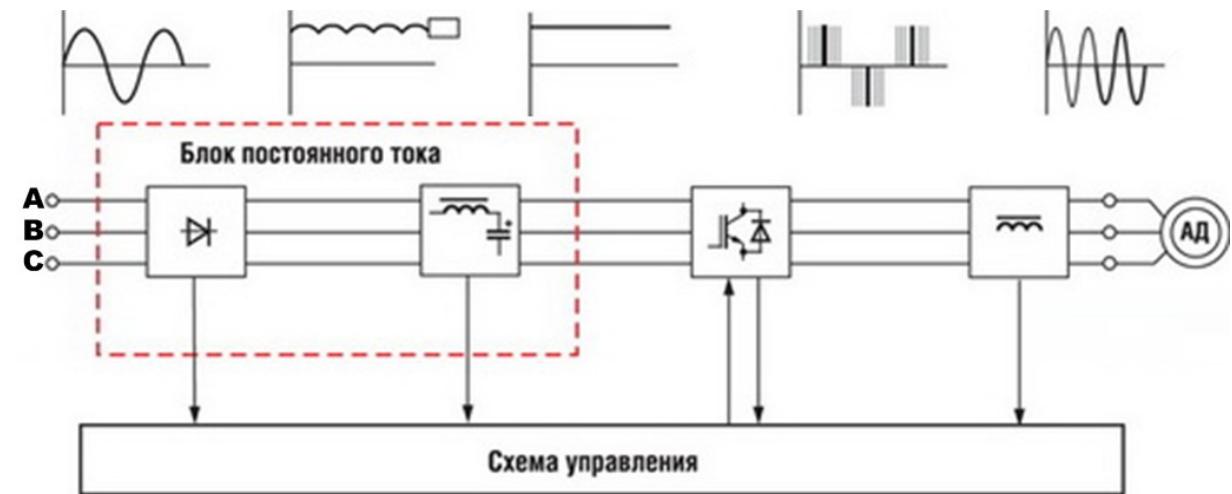
#### Многофазные выпрямители

	6-ти фазный однополупериодный выпрямитель	6-ти фазный мостовой выпрямитель	6-ти фазный параллельно-мостовой выпрямитель	
Peak repetitive reverse voltage $V_{RRM}$	2.09 $V_{dc}$	0.524 $V_{dc}$	1.05 $V_{dc}$	Пиковое повторяющееся обратное напряжение
Rms input voltage per transformer leg $V_s$	0.74 $V_{dc}$	0.37 $V_{dc}$	0.715 $V_{dc}$	Среднеквадратическое значение напряжения на входе со стороны трансформатора
Diode average current $I_{F(AV)}$	0.167 $I_{dc}$	0.333 $I_{dc}$	0.167 $I_{dc}$	Среднее значение прямого тока диода
Peak repetitive forward current $I_{FRM}$	6.28 $I_{F(AV)}$	3.033 $I_{F(AV)}$	3.14 $I_{F(AV)}$	Пиковый прямой повторяющийся ток
Diode rms current $I_{F(RMS)}$	0.409 $I_{dc}$	0.576 $I_{dc}$	0.409 $I_{dc}$	Среднеквадратическое значение тока на диоде
Form factor of diode current $I_{F(RMS)}/I_{F(AV)}$	2.45	1.73	2.45	Коэффициент формы тока на диоде
Rectification ratio	0.998	1.00	1.00	Коэффициент выпрямления
Form factor	1.0009	1.00005	1.00005	Коэффициент формы
Ripple factor	0.042	0.01	0.01	Коэффициент пульсации
Transformer rating primary VA	1.28 $P_{dc}$	1.01 $P_{dc}$	1.01 $P_{dc}$	Мощность первичной обмотки трансформатора
Transformer rating secondary VA	1.81 $P_{dc}$	1.05 $P_{dc}$	1.05 $P_{dc}$	Мощность вторичной обмотки трансформатора
Output ripple frequency $f_r$	6 $f_i$	12 $f_i$	12 $f_i$	Выходная пульсирующая частота основной гармоники

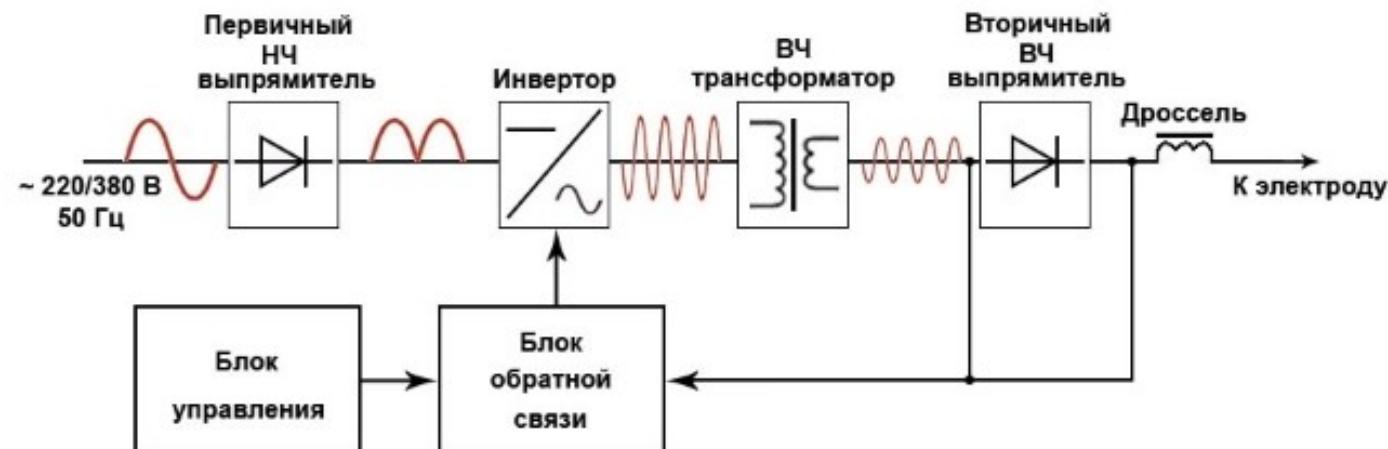
## Выпрямители



## Преобразователи частоты



## Инверторные сварочные аппараты



## 5. Бақылау сұрақтары

Келесі сұрақтарға жауап беріңіз:

1. Электрондық ажыратқыштардың статикалық және динамикалық ток-кернеу сипаттамаларының (вольт-амперлік сипаттамалары) принципті айырмашылығы неде?
2. Қуат электронды кілттерінің негізгі түрлерін атаңыз және оларға қысқаша сипаттама беріңіз сипаттамалары.
3. Биполярлы және өрістік транзисторларды басқарудың негізгі айырмашылығы неде?
4. Тиристорды қосудың негізгі шарттарын атаңыз.
5. Оқшауланған қақпалы биполярлы транзисторлардың артықшылықтары қандай? транзисторлардың басқа түрлерімен салыстырғанда?
6. 3 фазалы жарты толқынды түзеткіштің кемшіліктері қандай?
7. 3 фазалы көпір түзеткіш сұлбасының артықшылықтары қандай?
8. Көпфазалы түзеткіштер қайда қолданылады?
9. Қай 3 фазалы түзеткіш сұлба ең жақсы? Неліктен?

1. Каково назначение выпрямителя в блоке питания?
2. Каковы три схемы выпрямителей, используемых в блоках питания?
3. В чем отличия в работе этих трех схем?
4. Каковы преимущества одного выпрямителя перед другим?
5. Какая схема выпрямителя является лучшей? Почему?