

Рис. 1. Прохождение тока через  $p$ - $n$  переход полупроводникового диода.  
 а — открытое (проводящее) состояние; б — закрытое (непроводящее) состояние; в —  
 вольт-амперная характеристика.

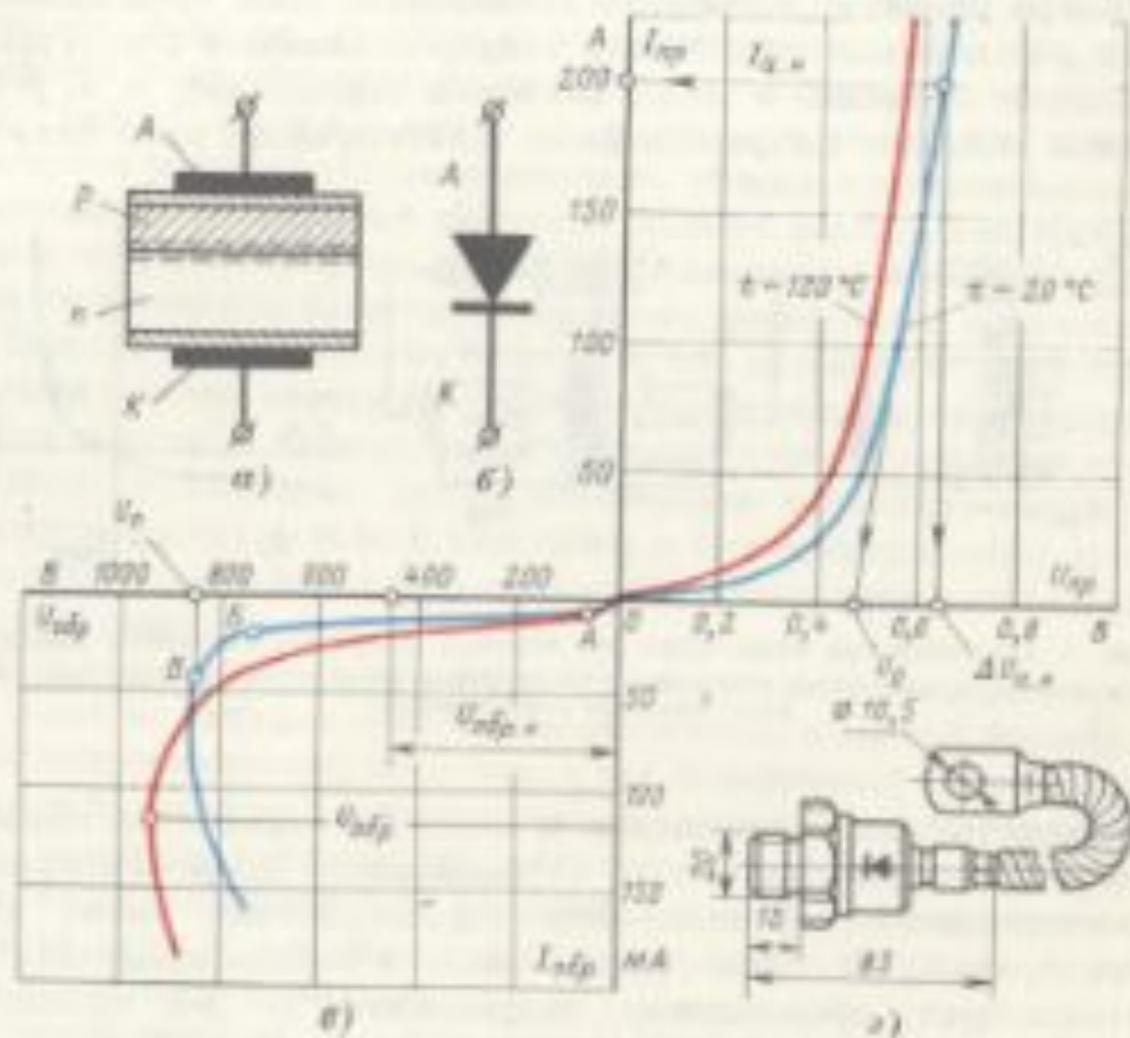
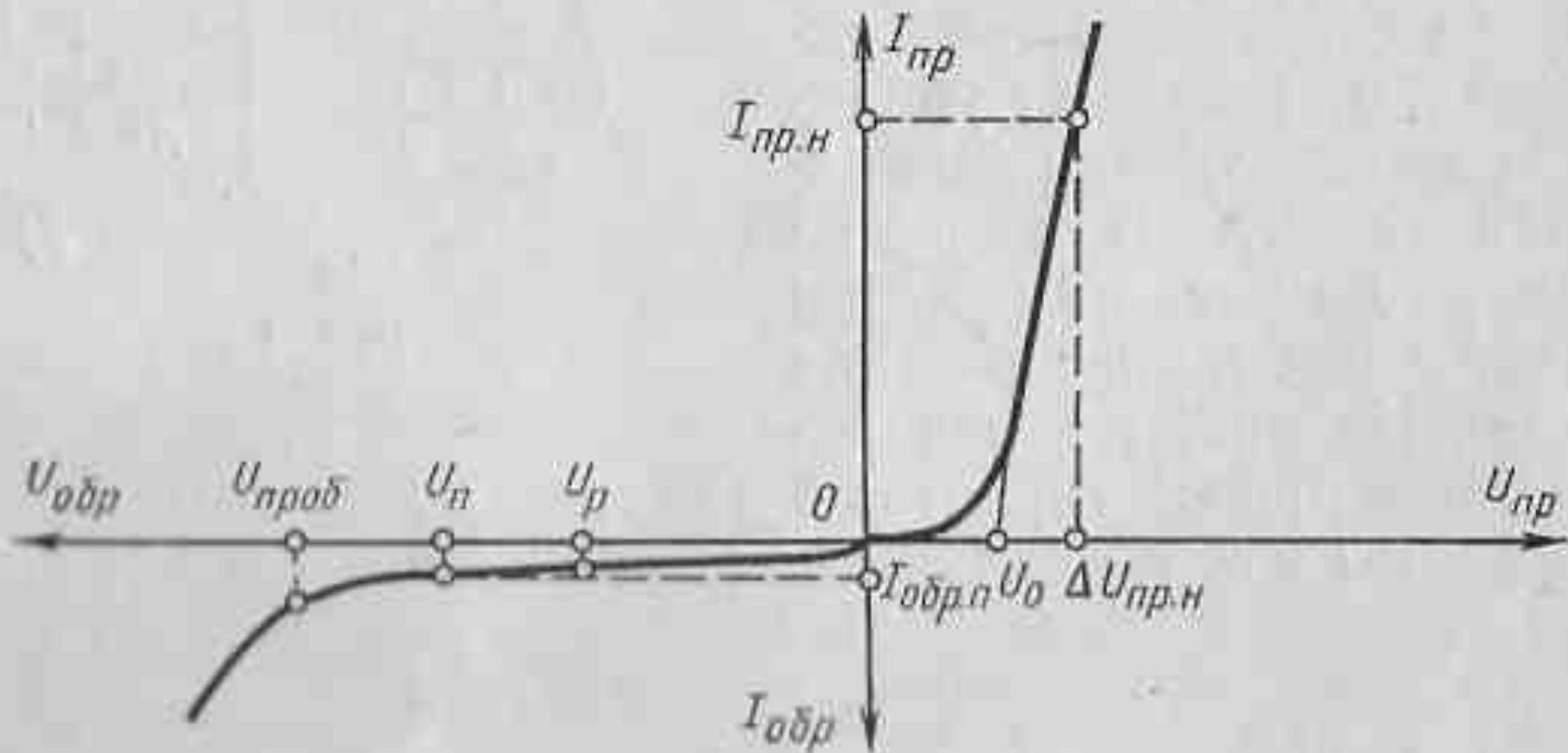
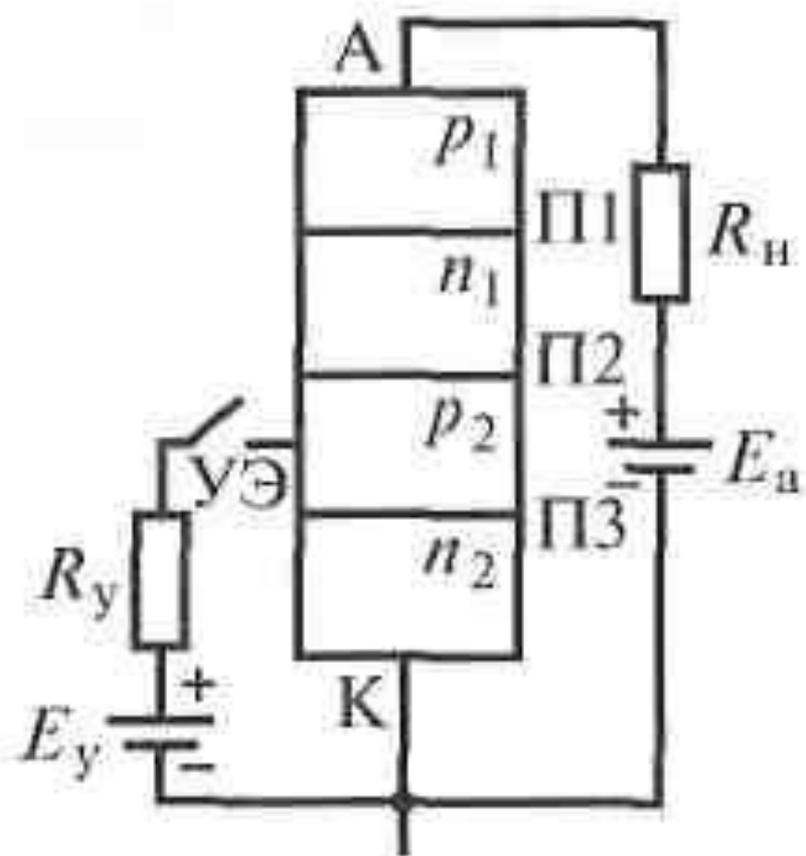
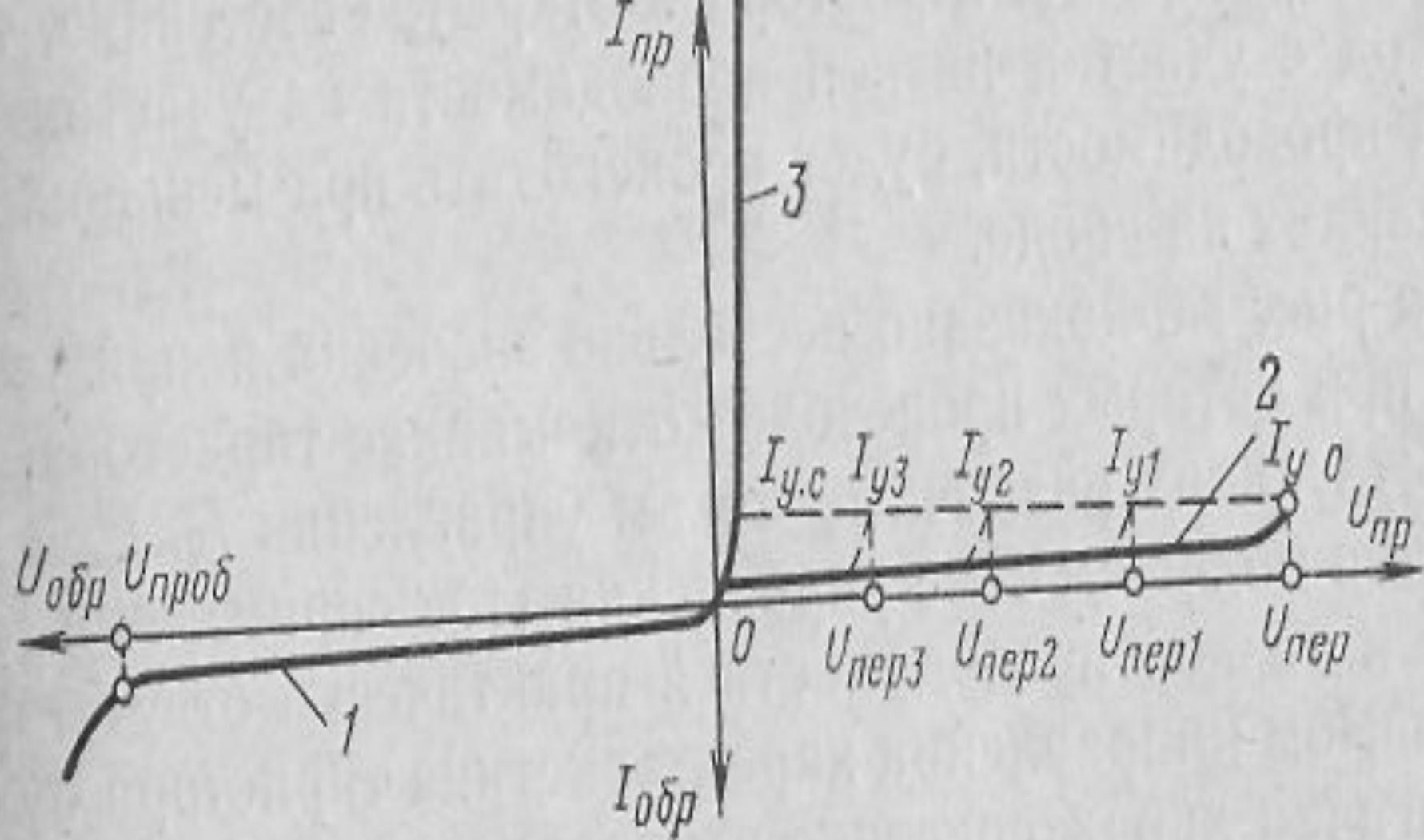


Рис. 2. Устройство (а), условное обозначение (б), статические вольт-амперные характеристики (г) при различных температурах р-п перехода и конструкция (с) кремниевого диода.







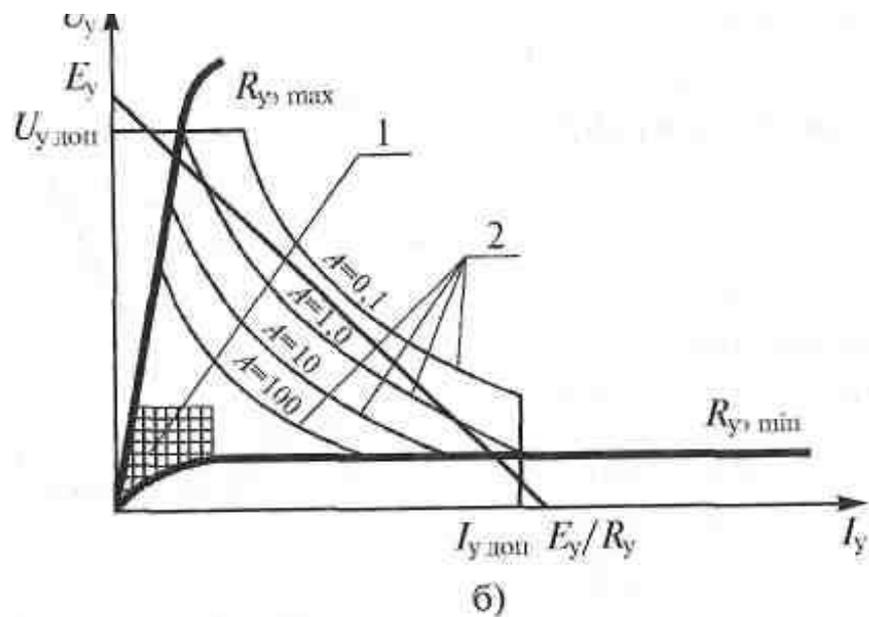
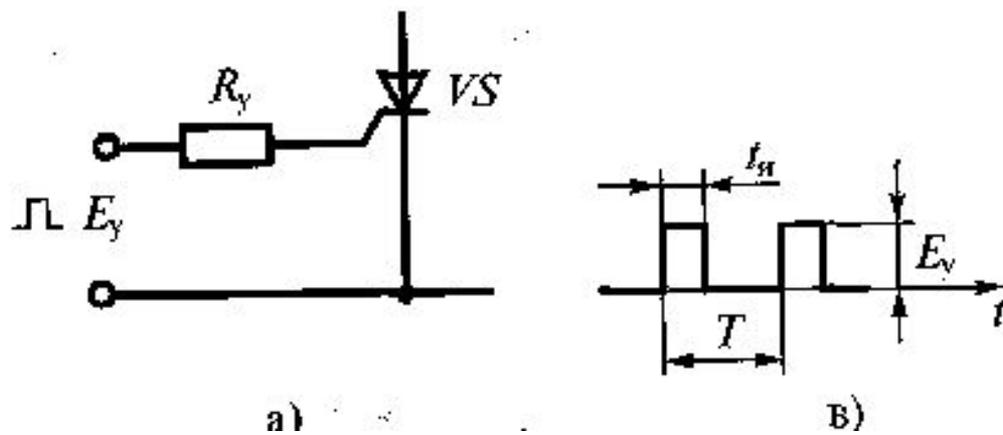
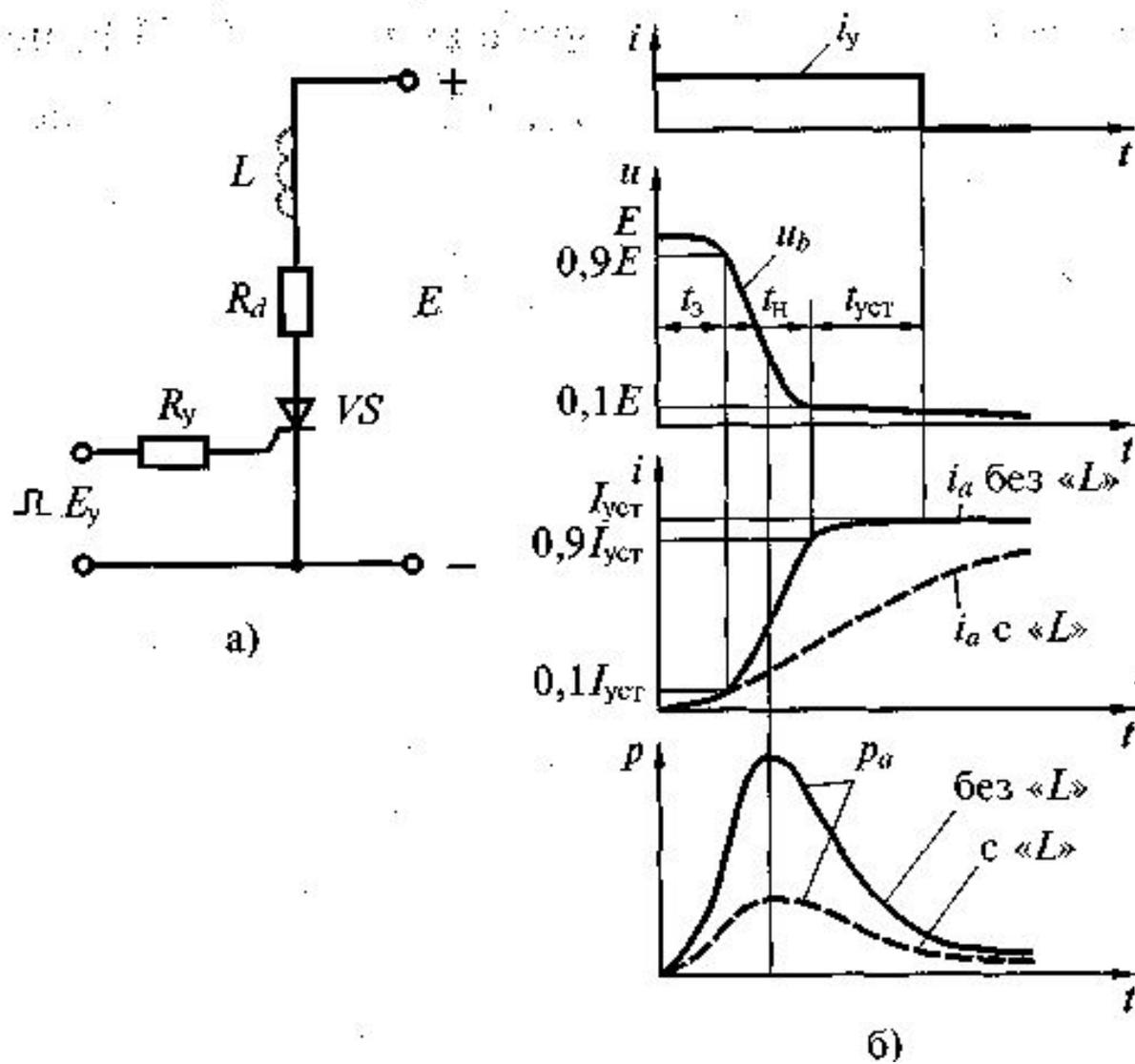


Схема управления тиристором (а), диаграмма управления тиристором (б) и форма сигнала управления  $E_y$  (в)



Переходный процесс включения тиристора: схема включения а) и переходные процессы включения тиристора

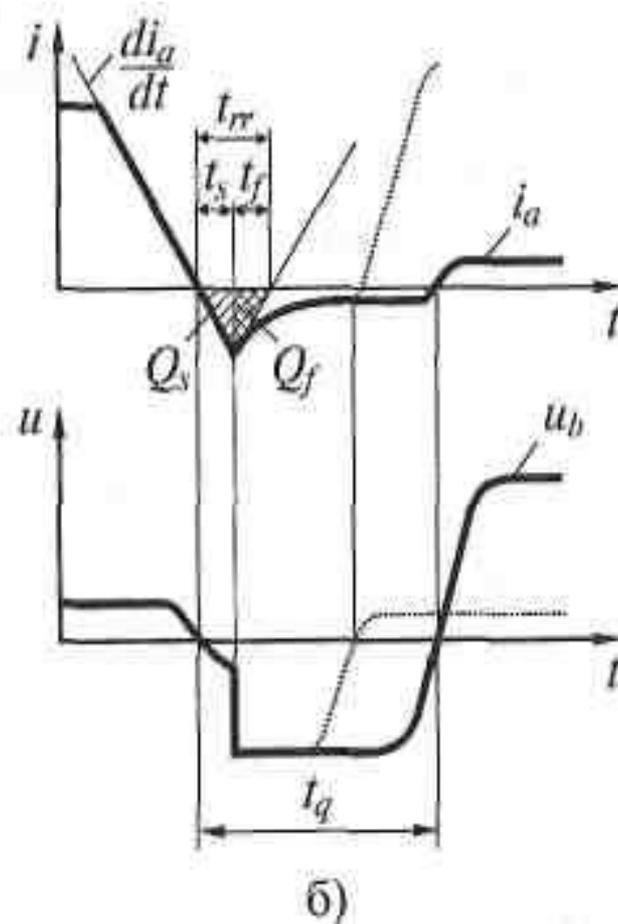
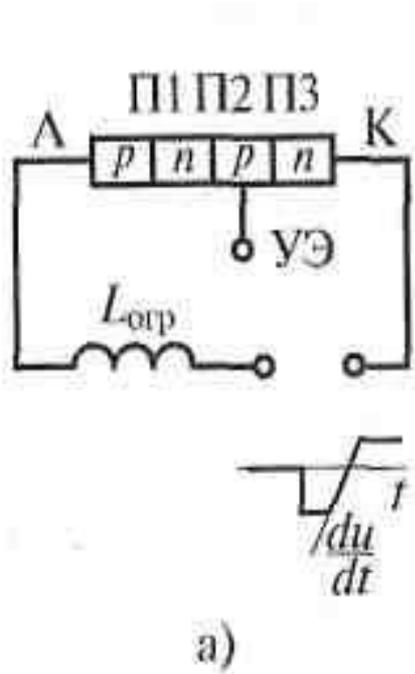


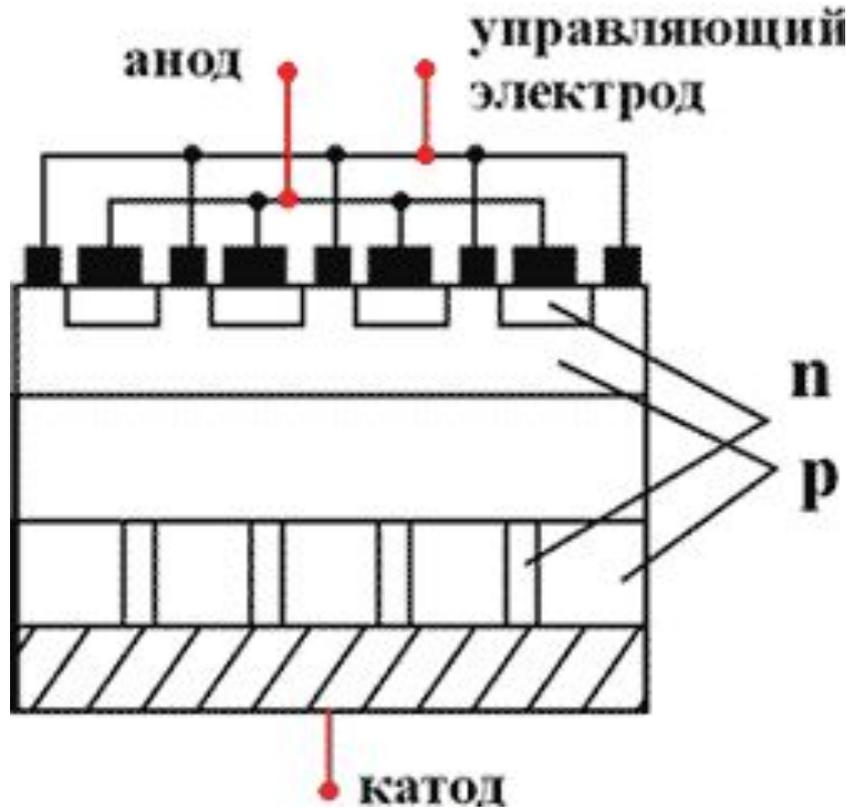
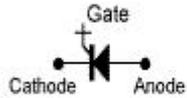
Схема подачи на включенный тиристор обратного напряжения (а) и временные диаграммы переходных процессов, возникающих при выключении тиристора (б).

**Предельно допустимые параметры и основные характеристики силовых полупроводниковых приборов**

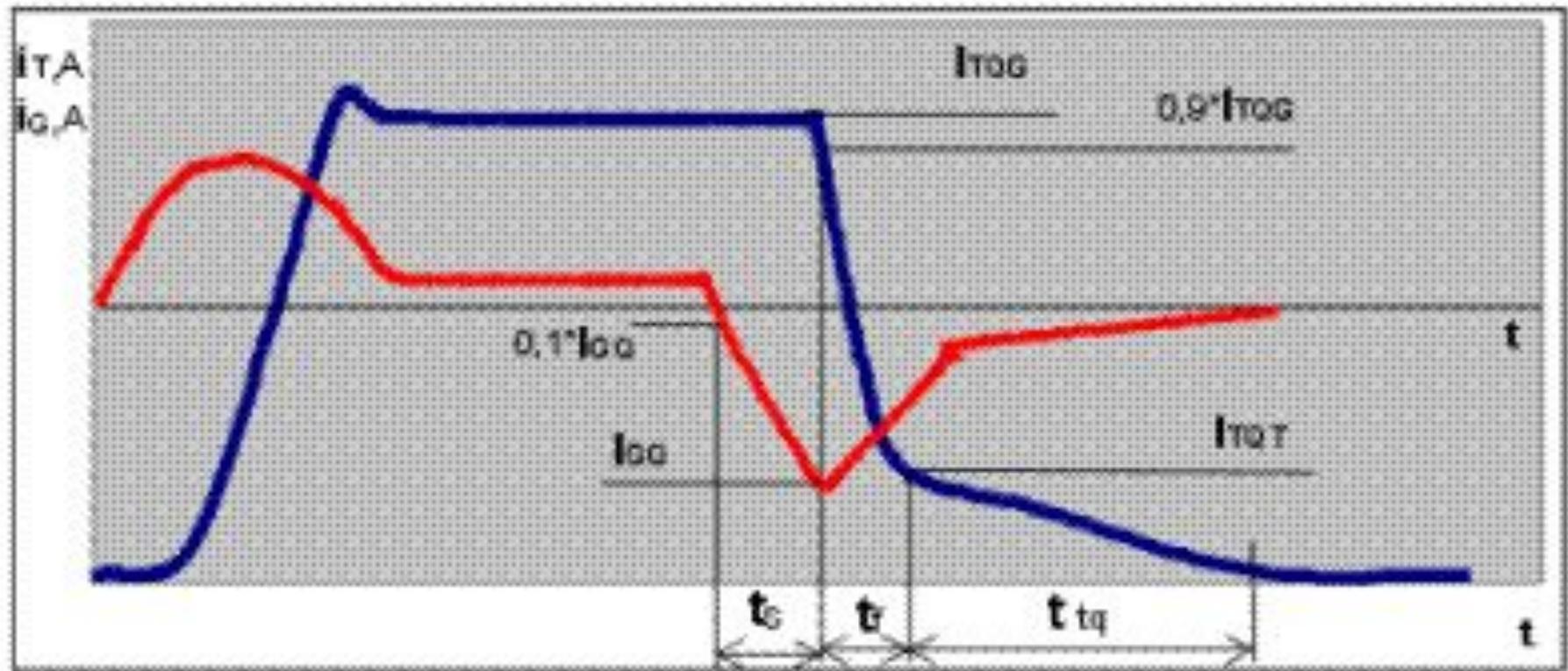
Обозначение <sup>1</sup>	Определение
<i>Предельно допустимые параметры</i>	
$I_{п}$ (Д) (Т)	<p><b>Предельный ток.</b> Максимально допустимое среднее за период значение тока частотой 50 Гц синусоидальной формы, длительно протекающего через прибор при его работе в однофазной однополупериодной схеме при максимально допустимой температуре полупроводниковой структуры</p>
$I_{р.п}$ (Д) (Т)	<p><b>Ток рабочей перегрузки.</b> Ток нагрузки из режима с током меньше предельного в данных условиях работы, длительное протекание которого вызывало бы превышение максимально допустимой температуры полупроводниковой структуры, но ограниченный по времени так, что превышение этой температуры не происходит</p>
$I_{а.п}$ (Д) (Т)	<p><b>Ток аварийной перегрузки.</b> Ток, протекание которого вызывает превышение максимально допустимой температуры полупроводниковой структуры, но воздействие которого предполагается лишь ограниченное число раз за время срока службы прибора</p>
$I_{удар}$ (Д) (Т)	<p><b>Ударный ток.</b> Максимальная амплитуда импульса аварийного тока синусоидальной формы длительностью 10 мс при заданной начальной температуре полупроводниковой структуры без последующего приложения напряжения</p>
$\int I^2 dt$ (Д) (Т)	<p><b>Джоулев интеграл</b> <math>\int I^2 dt</math>. Максимально допустимое значение интеграла квадрата аварийного тока по времени при заданной начальной температуре полупроводниковой структуры без последующего приложения напряжения</p>
$U_{п}$ (Д) (Т)	<p><b>Повторяющееся напряжение.</b> Наибольшее мгновенное значение напряжения, прикладываемого к прибору в обратном направлении (для тиристоров также и в прямом в закрытом состоянии) с учетом всех повторяющихся переходных напряжений (но исключая неповторяющиеся)<sup>2</sup></p>
$U_{нп}$ (Д) (Т)	<p><b>Неповторяющееся напряжение.</b> Наибольшее мгновенное значение любого неповторяющегося переходного напряжения, прикладываемого к прибору в обратном направлении (для тиристоров также и в прямом закрытом)<sup>2</sup></p>
$T_{ст. макс}$ (Д) (Т)	<p><b>Максимально допустимая температура полупроводниковой структуры вентиля.</b> Максимальная эквивалентная температура полупроводниковой структуры прибора</p>

Обозначение <sup>1</sup>	Определение
$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{макс}}$ (Т)	<b>Критическая скорость нарастания прямого тока через тиристор.</b> Максимальное значение скорости нарастания прямого тока через тиристор при его включении, не вызывающее необратимые процессы в полупроводниковой структуре
<i>Параметры приборов</i>	
$U_p$ (Д) (Т)	<b>Рекомендуемое рабочее напряжение.</b> Амплитудное значение напряжения синусоидальной формы, прикладываемого к прибору в обратном направлении (для тиристорov также и в прямом закрытом состоянии), при отсутствии повторяющихся и неповторяющихся напряжений
$\Delta u_n$ (Д) (Т)	<b>Прямое падение напряжения.</b> Значение напряжения на приборе при прохождении через него прямого тока (обычно задается при амплитуде предельного тока)
$I_{\text{об}}$ (Д) (Т)	<b>Обратный ток.</b> Ток, протекающий через прибор при приложении к нему обратного напряжения (задается при значении повторяющегося напряжения и максимально допустимой температуре полупроводниковой структуры)
$\left(\frac{du}{dt}\right)_{\text{макс}}$ (Т)	<b>Критическая скорость нарастания прямого напряжения.</b> Максимальное значение скорости нарастания прямого напряжения, при котором не происходит включения тиристора, при определенном напряжении на аноде и разомкнутой цепи управляющего электрода
$R_{\text{т.ст-x}}$ (Д) (Т)	<b>Общее установившееся тепловое сопротивление.</b> Отношение превышения температуры полупроводниковой структуры над температурой окружающей среды к рассеиваемой мощности в установившемся режиме
$R_{\text{т.ст-к}}$ (Д) (Т)	<b>Внутреннее установившееся тепловое сопротивление.</b> Отношение превышения температуры полупроводниковой структуры над температурой корпуса вентиля к рассеиваемой мощности в установившемся режиме

<sup>1</sup> (Д) — диод; (Т) — тиристор.<sup>2</sup> Для тиристорov в прямом направлении при определенном значении  $du/dt$ .



**Запираемый тиристор:**  
**а- условное обозначение;**  
**б- структурная схема**



Графики изменения тока анода ( $i_A$ ) и управляющего электрода ( $i_G$ )

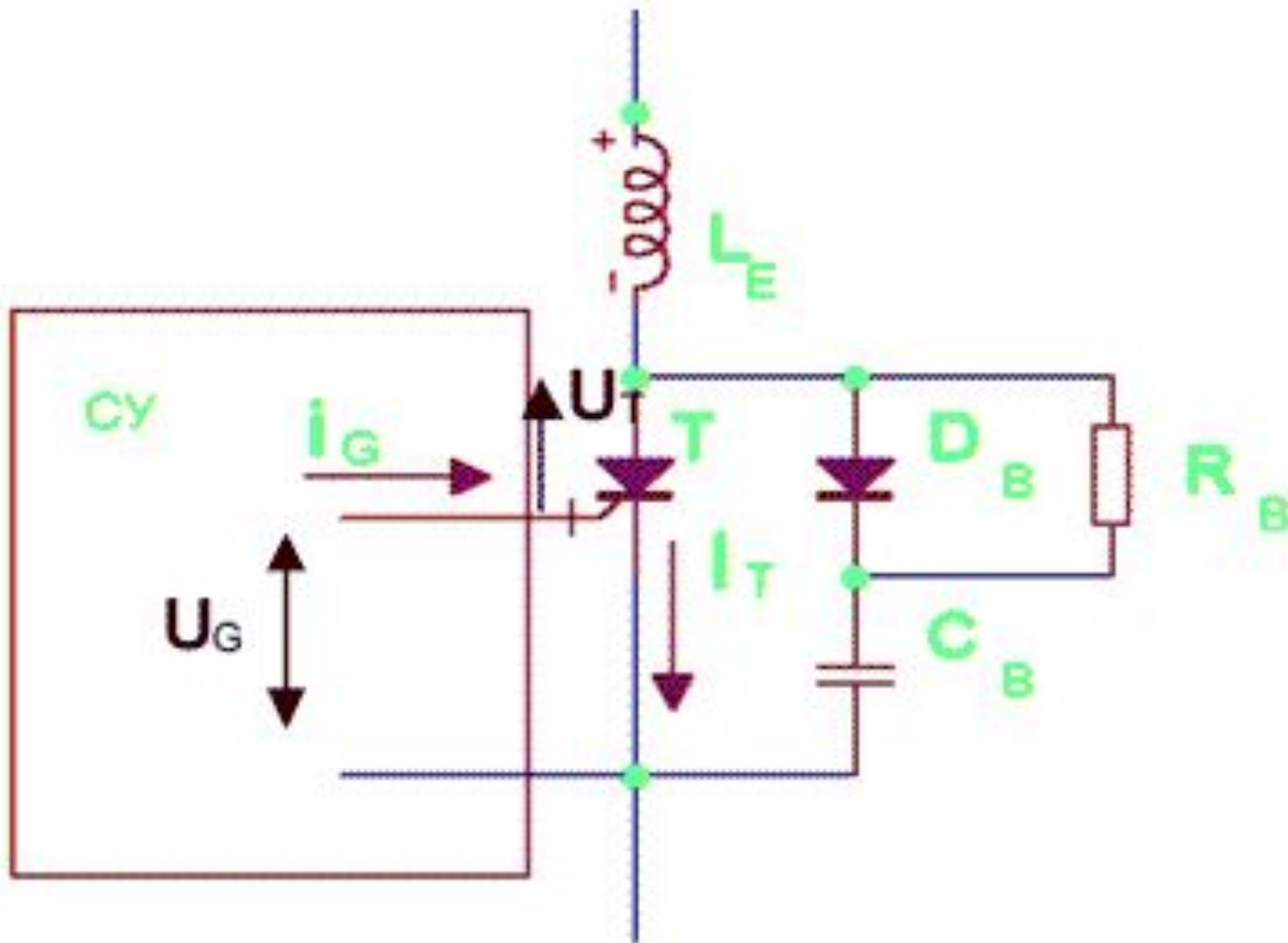
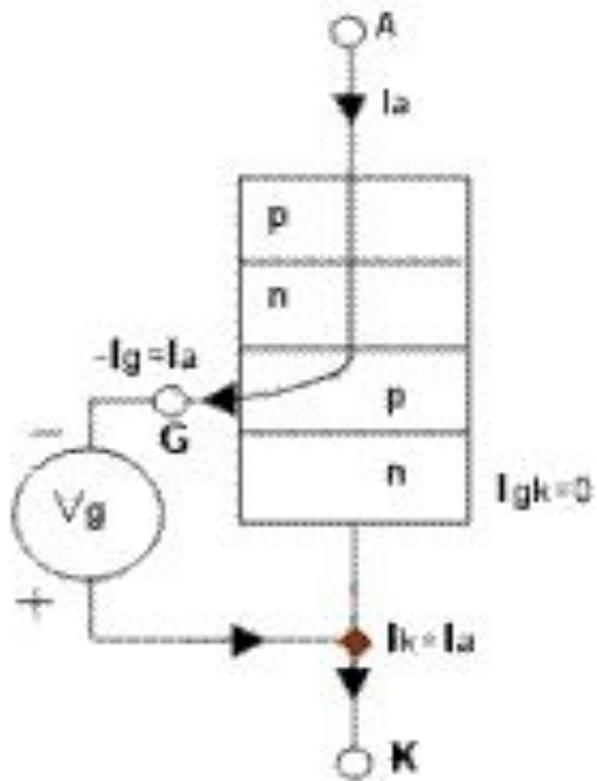
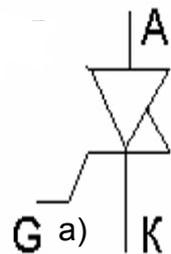


Схема защитной цепи



б)

Условное обозначение а) и распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении б)

Двухоперационные (запираемые) тиристоры

Название силового ключа		Ultra High Power GTO	Запираемый тиристор с анодной шунтировкой (серия LowSnubber, LowLoss GTO)	Запираемый тиристор с прозрачным (тонким) анодом (T-GTO)	Ед. измерения
Тип ключа		FG6000AU-120D	FG4000GX-90DA	—	
Фирма-изготовитель		Mitsubishi Electric	Mitsubishi Electric	ABB Semiconductors AG	
Класс по напряжению	$V_{RRM}$ $V_{DRM}$	6	4.5	4.5	кВ
Средний ток в открытом состоянии	$I_{T(AV)}$	2	1.2	1.2	кА
Импульсный запираемый ток	$I_{TOYM}$	6	4	3	кА
Напряжение в открытом состоянии (при $I_{TOYM}$ )	$V_{TM}$	6	4.3	2.2	В
Критическая скорость нарастания напряжения в выключенном состоянии	$dv/dt$	1000	1000	1000	В/мкс
Критическая скорость нарастания тока при включении	$di/dt$	500	500	500	А/мкс
Время запираения по электроду управления	$t_{GO}$	30	30	30	мкс
Тепловое сопротивление переход—корпус	$R_{THJC}$	0.0044	0.011	0.011	°С/Вт

Тиристоры с коммутацией по электроду управления

Название силового ключа	GCT-тиристор (Hard Drive GTO)	GCT-тиристор с прозрачным (тонким) анодом (T-GCT)	Ед. измерения
Тип ключа	FG4000HX-900S	—	
Фирма-изготовитель	Mitsubishi Electric	ABB Semiconductors AG	
Класс по напряжению	4.5	4.5	кВ
Средний ток в открытом состоянии	1000	1000	А
Импульсный запираемый ток	3	3	кА
Напряжение в открытом состоянии (при $I_{TOYM}$ )	3.8	2.2	В
Критическая скорость нарастания напряжения в выключенном состоянии	3500	3000	В/мкс
Критическая скорость нарастания тока при включении	3000	3000	А/мкс
Время запираения по электроду управления	10	10	мкс
Тепловое сопротивление переход—корпус	0.011	0.011	°С/Вт



Условное обозначение IGBT

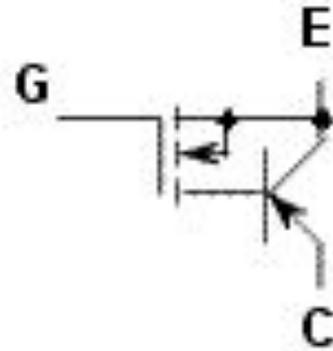
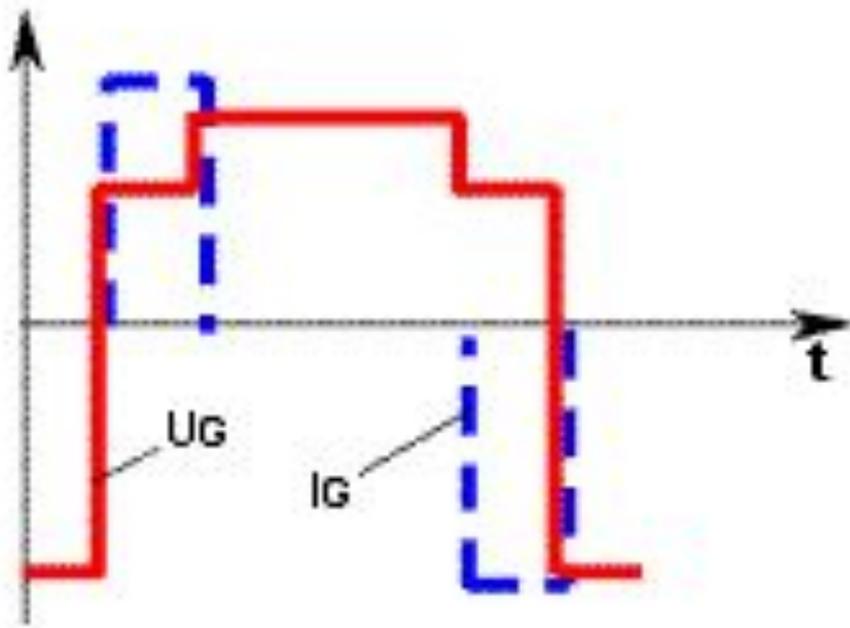
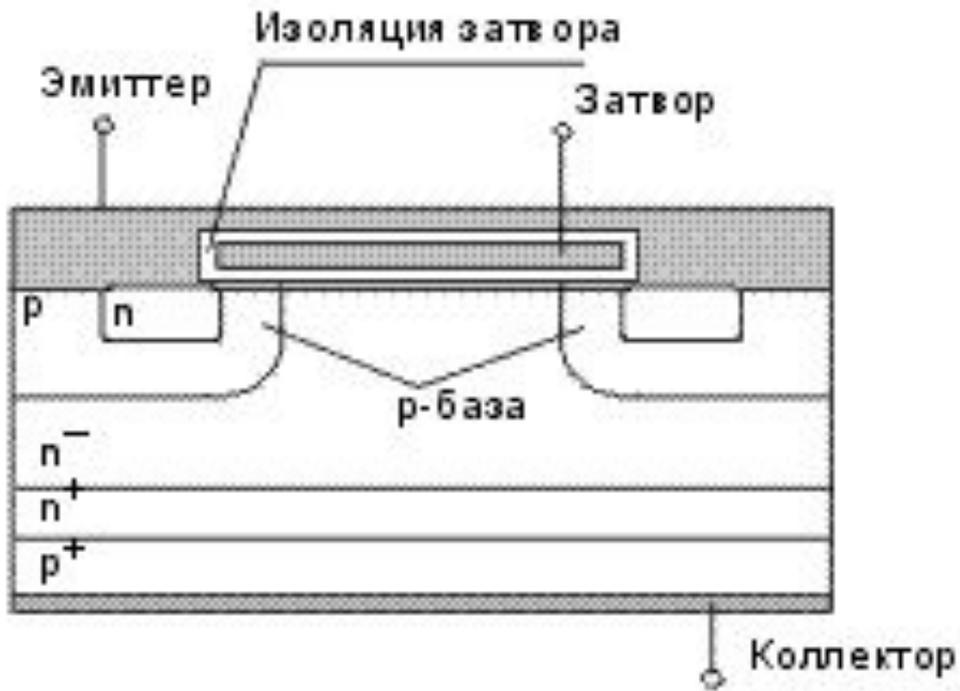


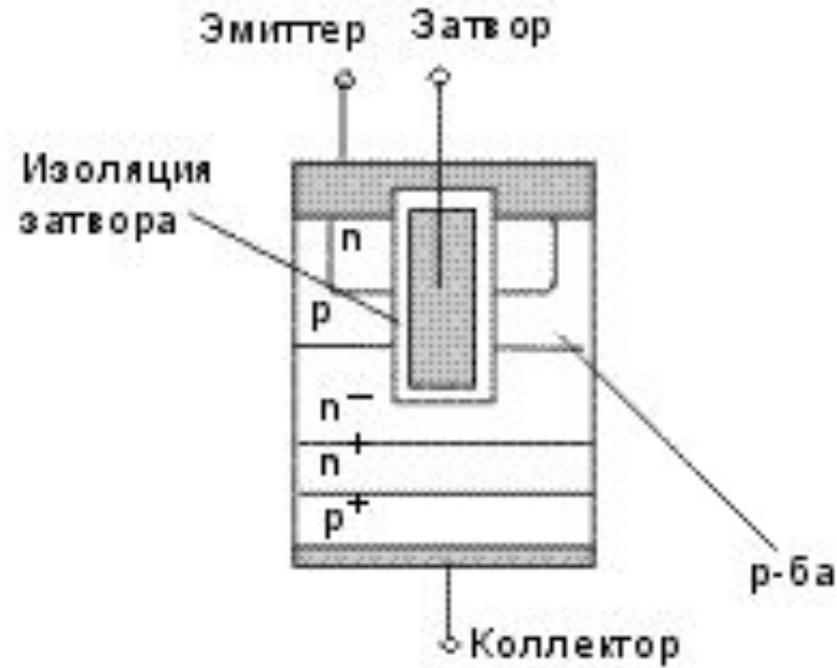
Схема соединения транзисторов в единой структуре IGBT



. Диаграмма напряжения и тока управления IGBT

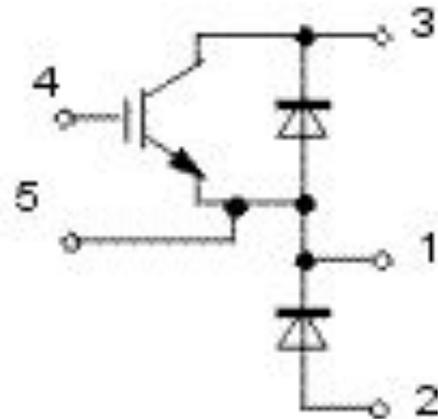
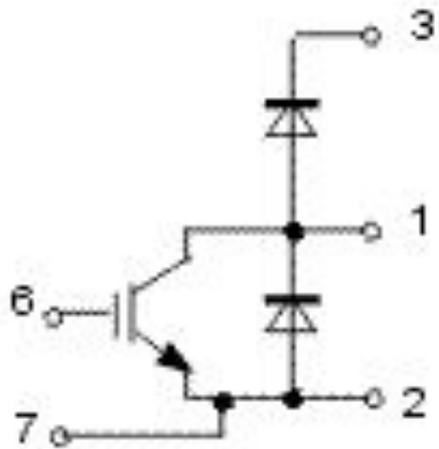
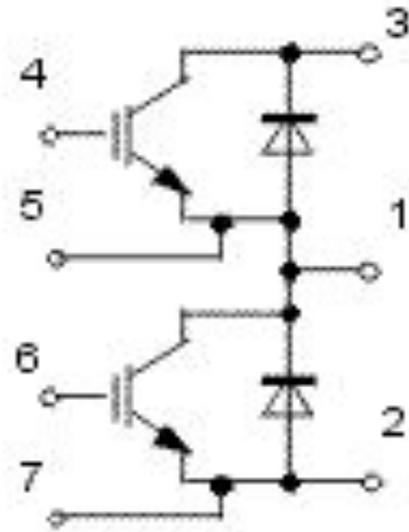
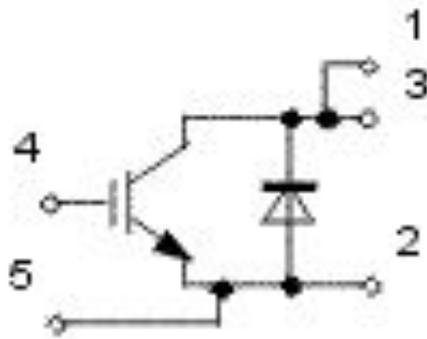


а)



б)

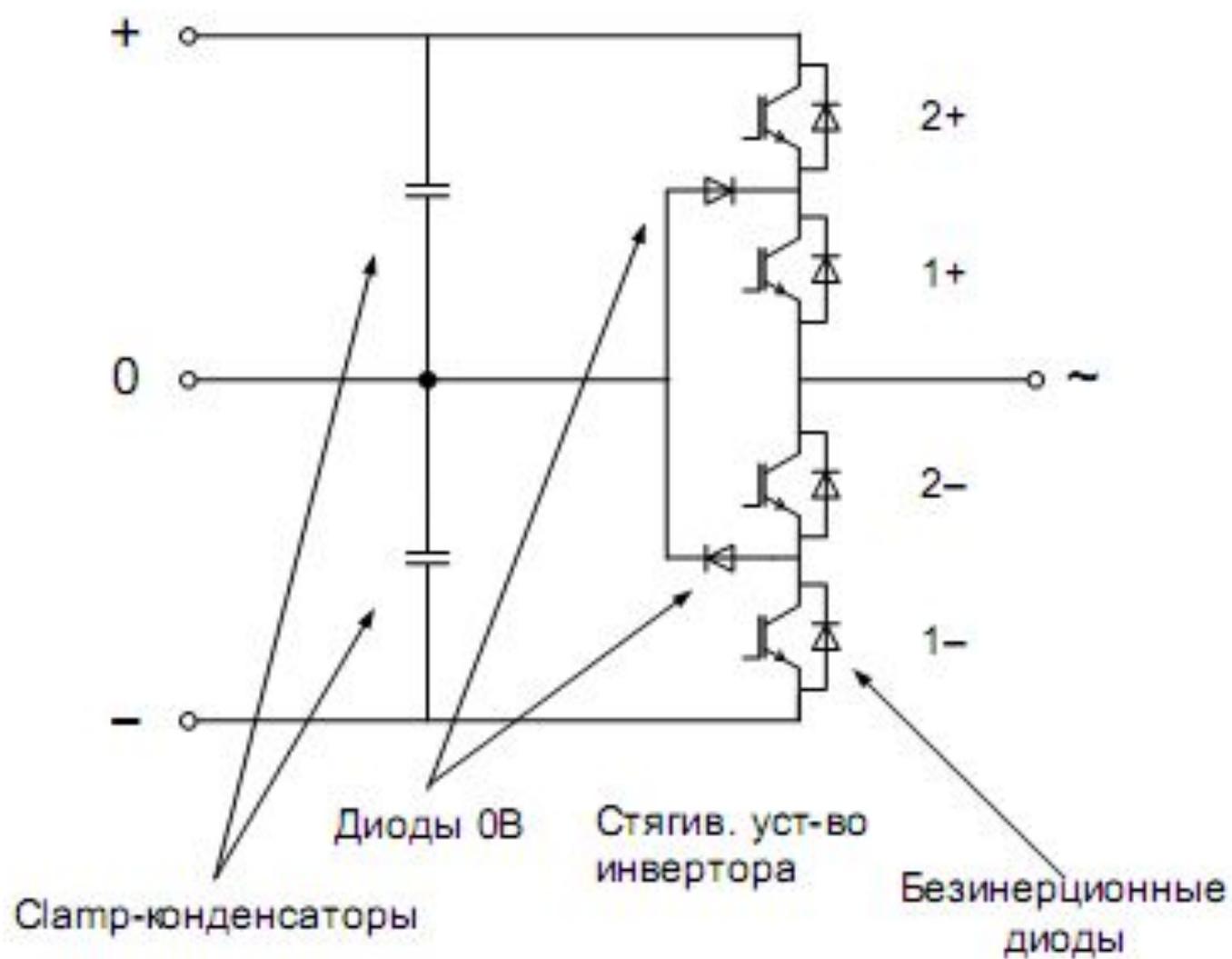
Схематичный разрез структуры IGBT: а) -обычного (планарного); б) - выполненного по "trench-gate technology"

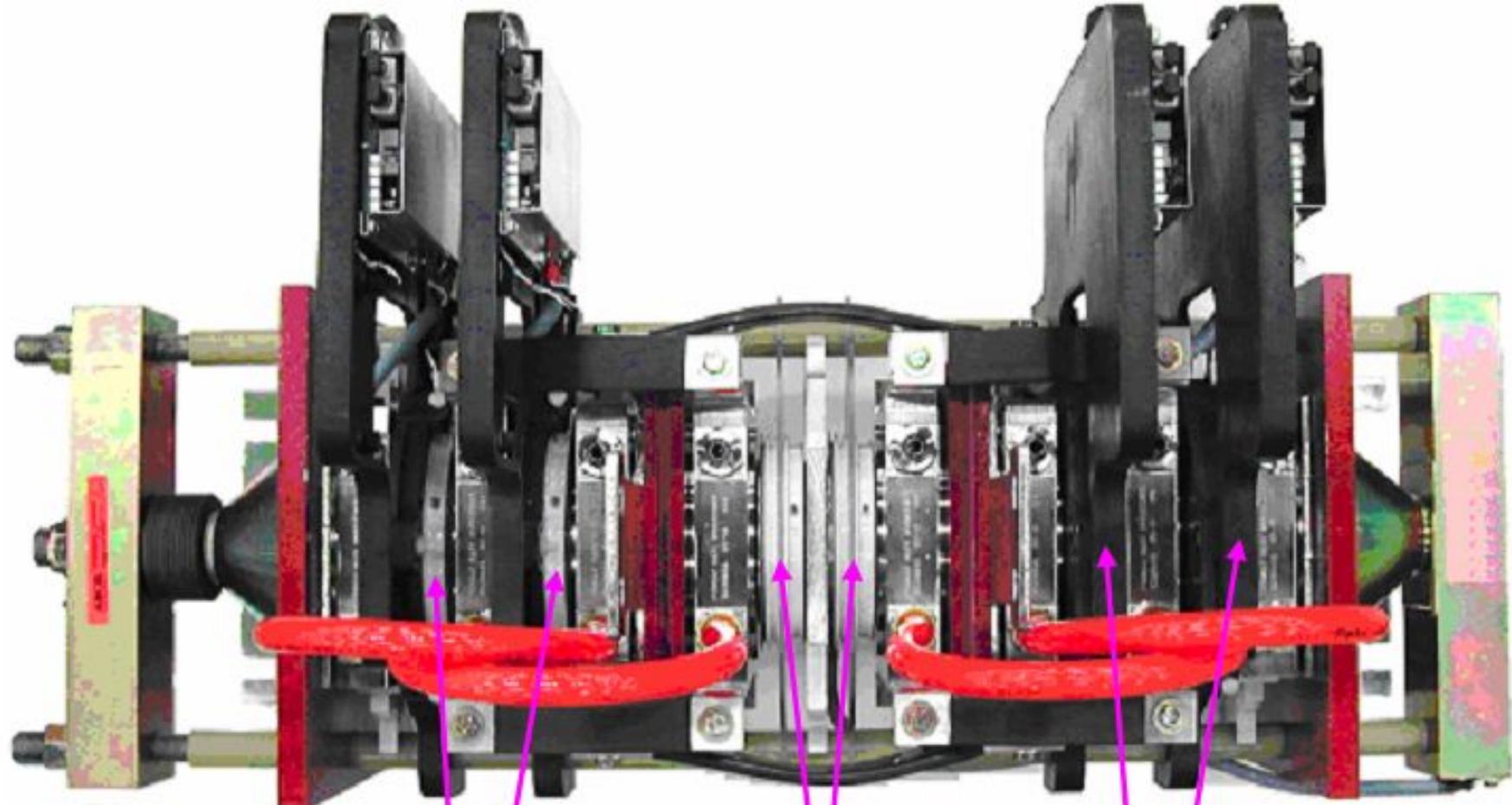


Схемы IGBT-модулей

Таблица 7. Характеристики IGBT-модулей серии U

Тип транзисторного модуля	Конфигурация схемы	Класс по напряжению			Временные параметры				Время восстановления демпферного диода	Тепловое сопротивление переход — охлаждающий элемент
		$V_{CES}$	$I_C$	Напряжение насыщения (при $V_{GE} = 10 В$ и $I_C$ )	Вкл.		Выкл.			
					$R_{CE(sat)}$	$t_D (on)$	$t_R$	$t_D (off)$		
		[В]	[А]	[В]	[нс]	[нс]	[нс]	[нс]	$t_{RR}$	$R_{THJH}$
CM350DU-5F	Полумост	250	350	1.2	1100	2400	900	500	300	0.13
CM600HU-12H	Отд. ключ	600	600	2.4	300	600	350	350	160	0.08
CM300DU-12H	Полумост	600	300	2.4	250	500	350	300	160	0.14
CM400DU-12H	Полумост	600	400	2.4	250	500	350	300	160	0.11
CM75BU-12H	Мост	600	75	2.4	100	250	200	300	160	0.4
CM100BU-12H	Мост	600	100	2.4	100	250	200	300	160	0.31
CM75TU-12H	Трёхфазный мост	600	75	2.4	100	250	200	300	160	0.4
CM100TU-12H	Трёхфазный мост	600	100	2.4	100	250	200	300	160	0.31
CM150TU-12H	Трёхфазный мост	600	150	2.4	100	350	300	300	160	0.27
CM200TU-12H	Трёхфазный мост	600	200	2.4	150	400	300	300	160	0.19
CM400HU-24H	Отд. ключ	1200	400	2.9	250	350	350	350	300	0.06
CM600HU-24H	Отд. ключ	1200	600	2.9	300	700	450	350	300	0.04
CM150DU-24H	Полумост	1200	150	2.9	200	250	300	350	300	0.14
CM200DU-24H	Полумост	1200	200	2.9	200	300	300	350	300	0.11
CM300DU-24H	Полумост	1200	300	2.9	200	300	300	350	300	0.08
CM50TU-24H	Трёхфазный мост	1200	50	2.9	80	200	150	350	300	0.31
CM75TU-24H	Трёхфазный мост	1200	75	2.9	100	200	250	350	300	0.27
CM100TU-24H	Трёхфазный мост	1200	100	2.9	100	200	300	350	300	0.19





2 Press-Pack диода

4 Press-Pack-IGBT (с встроенным безынерц. диодом)

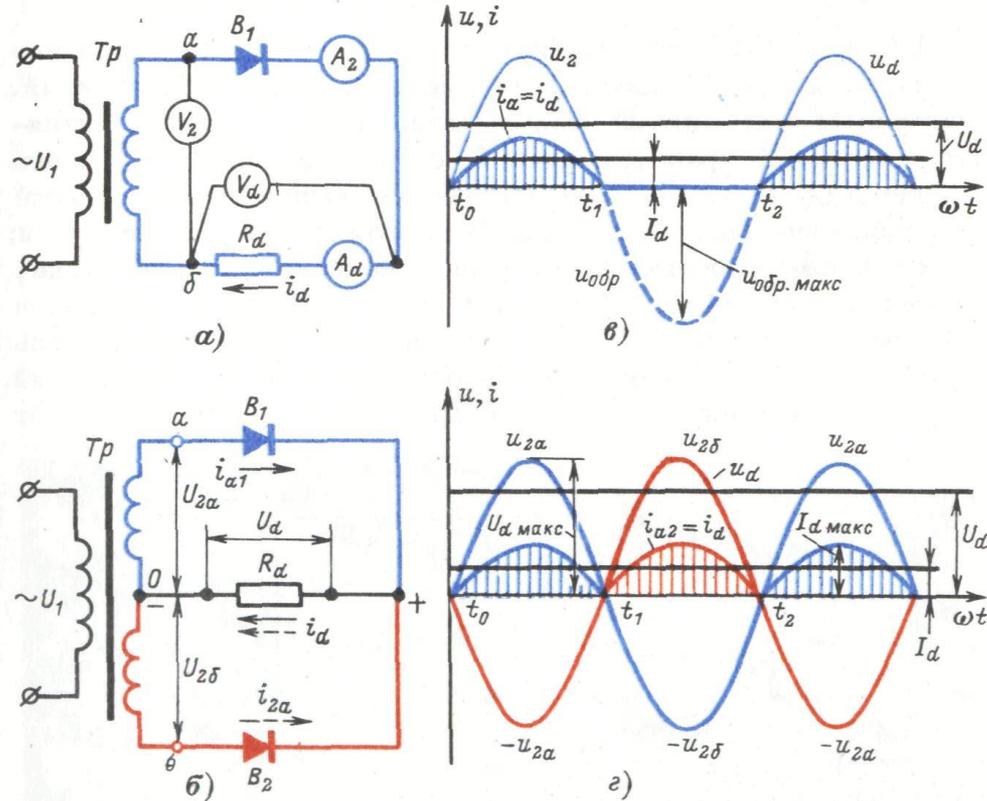


Рис. 8. Однофазный выпрямитель.

а — однополупериодная схема; б — двухполупериодная схема; в и г — диаграммы напряжений и токов на элементах схем выпрямления.

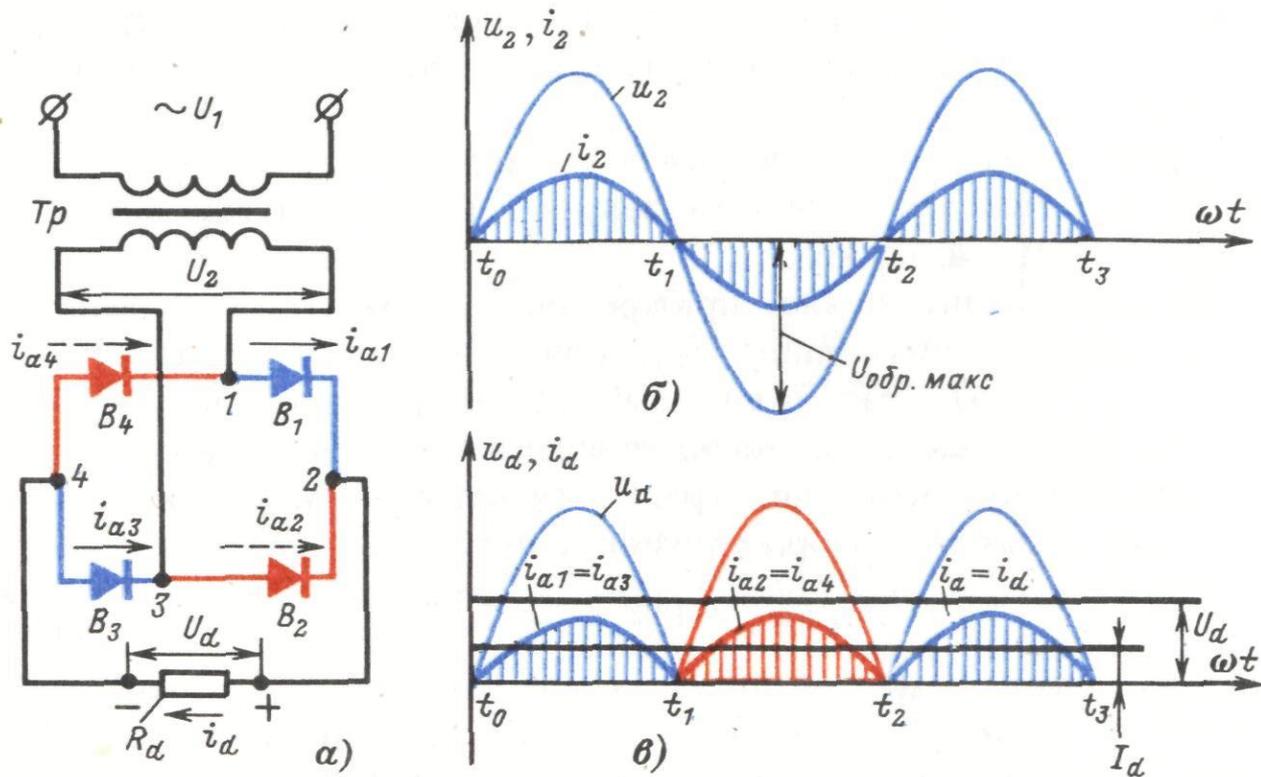


Рис. 9. Однофазный мостовой выпрямитель.  
 а — схема; б и в — диаграммы напряжений и токов на элементах схемы.

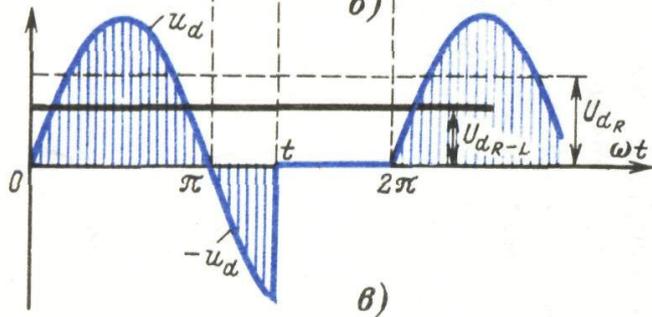
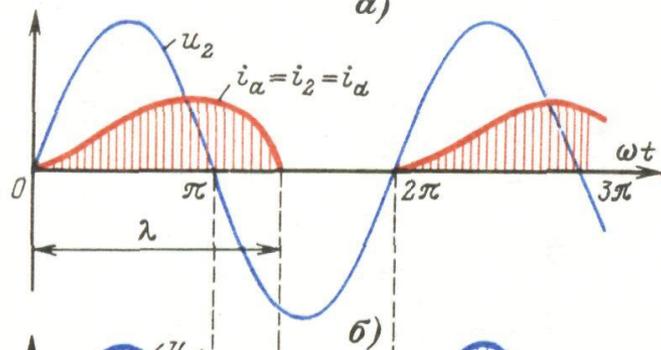
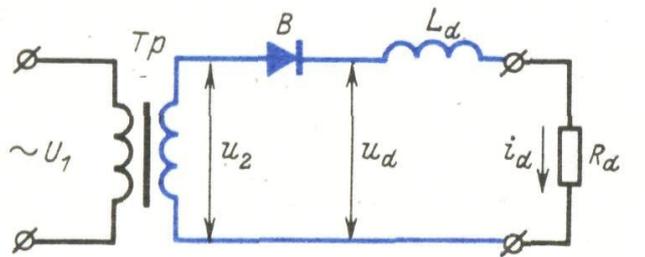


Рис. 16. Однополупериодное выпрямление при активно-индуктивной нагрузке.  
 а — схема; б и в — кривые тока и напряжений на элементах.

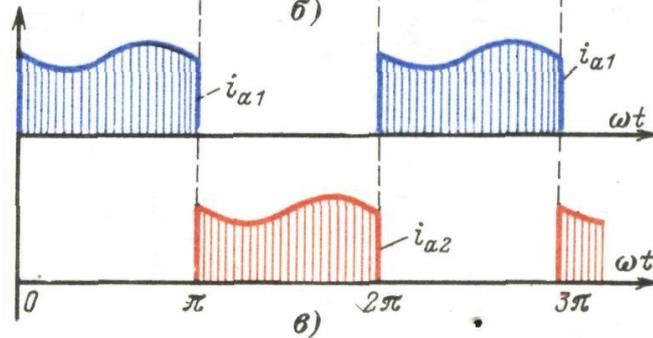
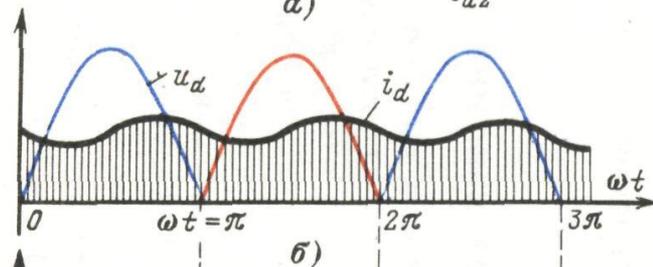
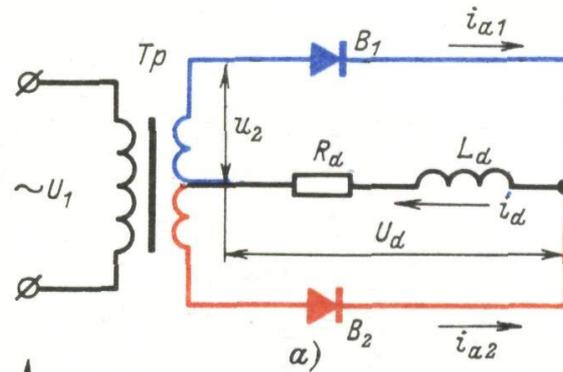


Рис. 17. Двухполупериодное выпрямление при активно-индуктивной нагрузке.  
 а — схема; б и в — кривые напряжения и токов в элементах.

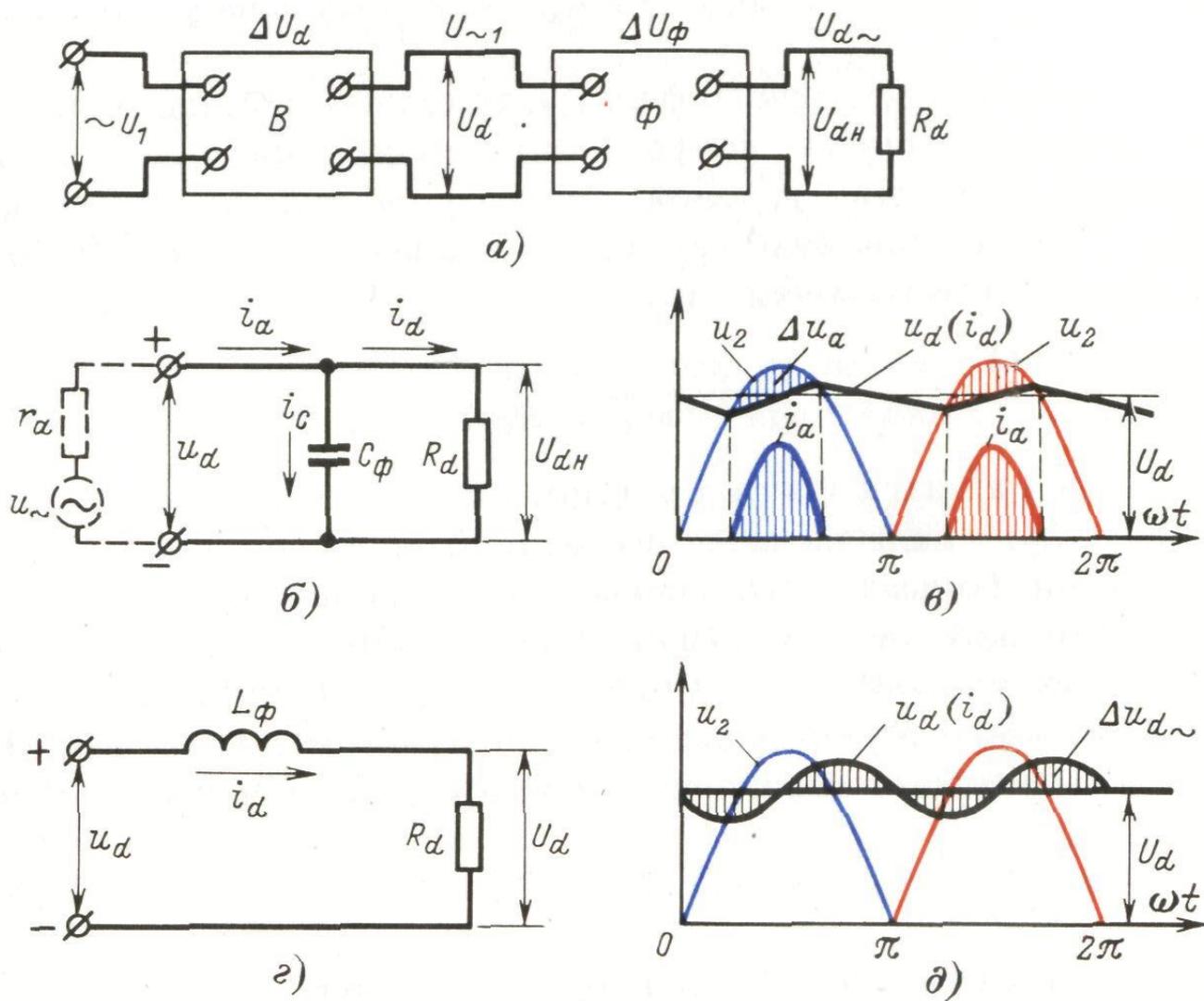


Рис. 23. Схемы включения фильтров.

а — блок-схема выпрямителя с фильтром; б — емкостный фильтр; в — индуктивный фильтр; г и д — кривые напряжений и токов.

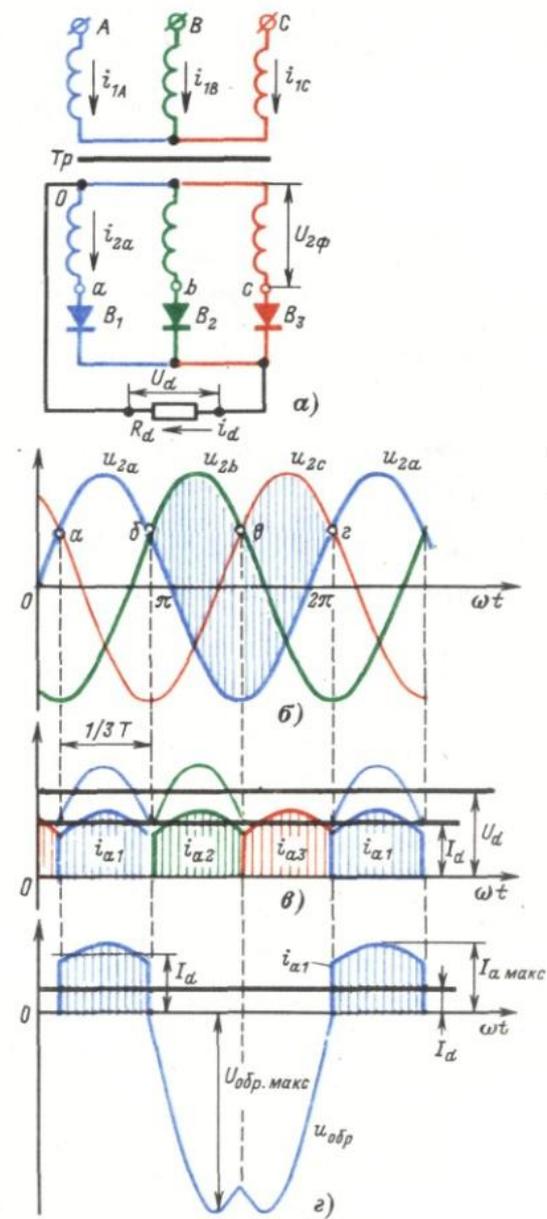


Рис. 10. Трехфазный выпрямитель с нулевой точкой.  
 а — схема; б—г — диаграммы напряжений и токов на элементах.

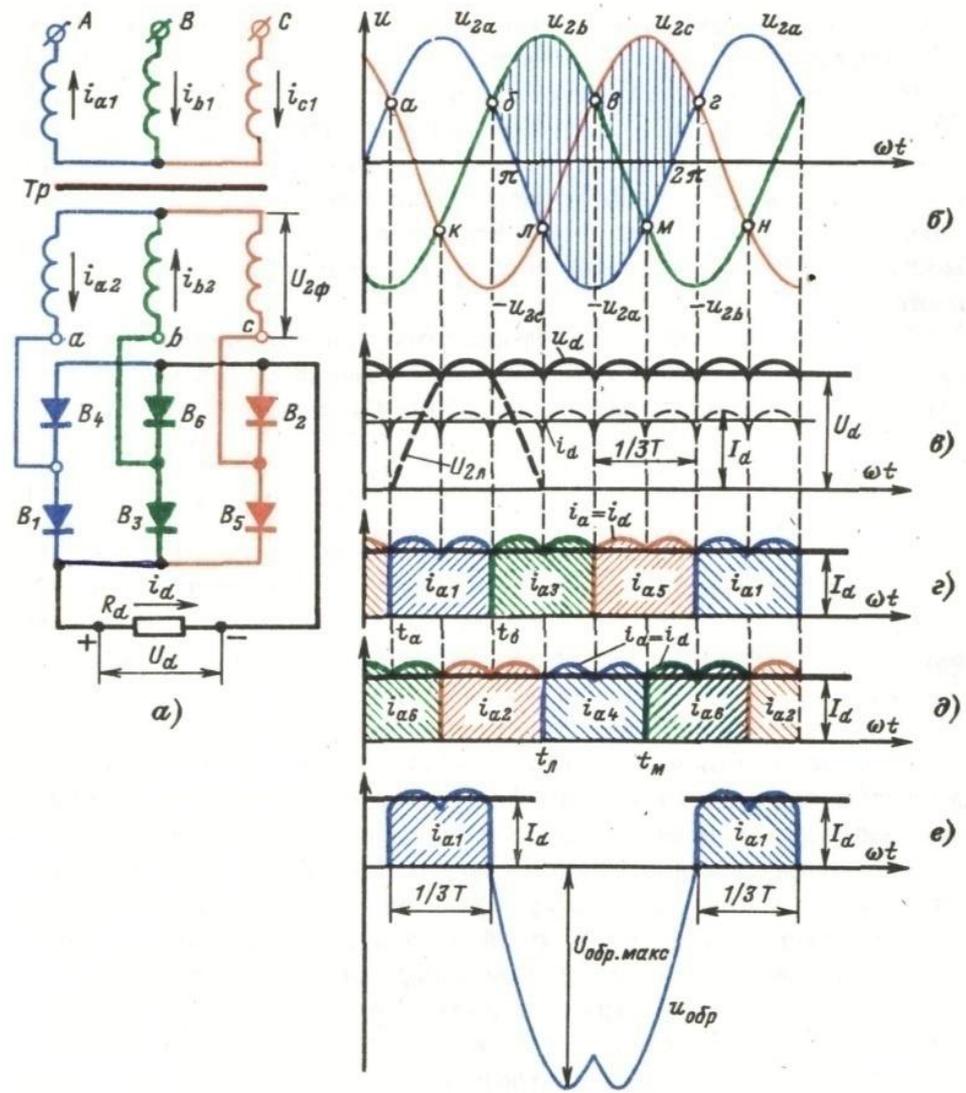


Рис. 11. Трехфазная мостовая схема выпрямителя.  
 а — соединение элементов; б—е — диаграммы напряжений и токов.

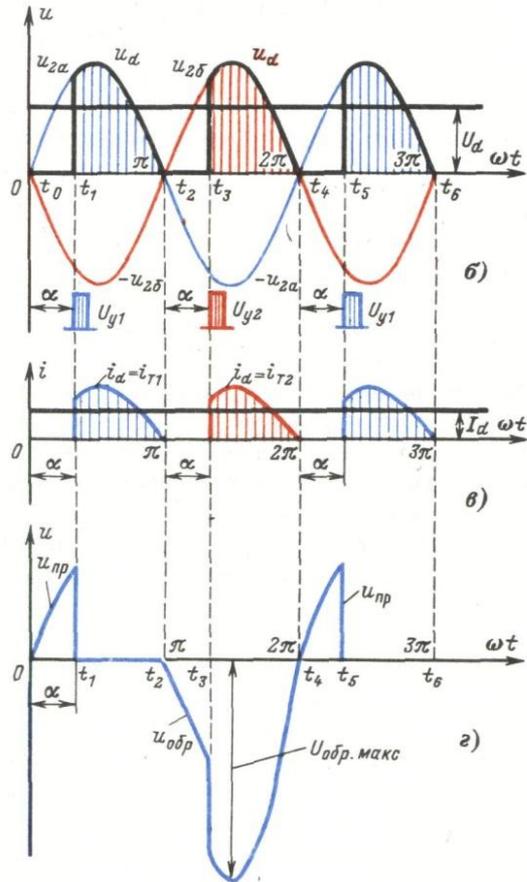
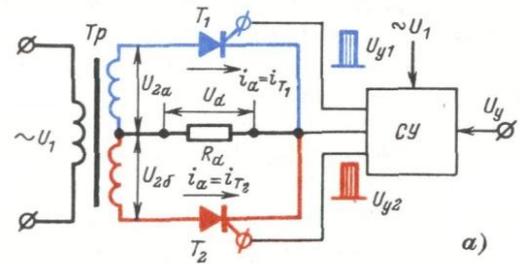


Рис. 13. Однофазный управляемый выпрямитель.  
 а — схема; б—г — диаграммы напряжений и токов в элементах.

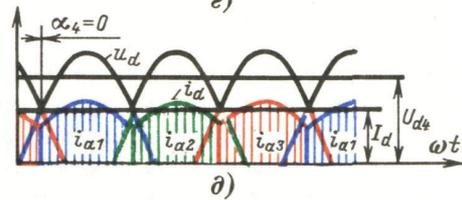
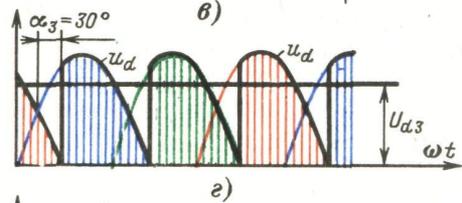
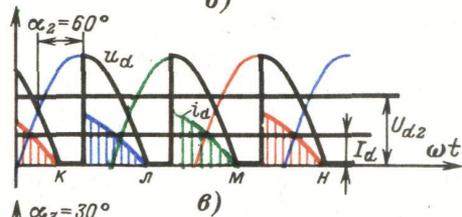
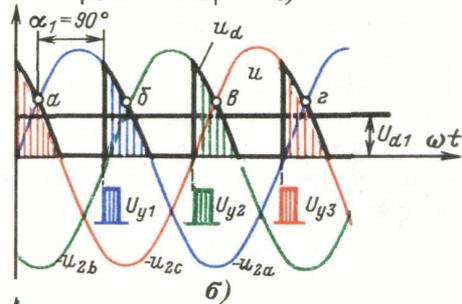
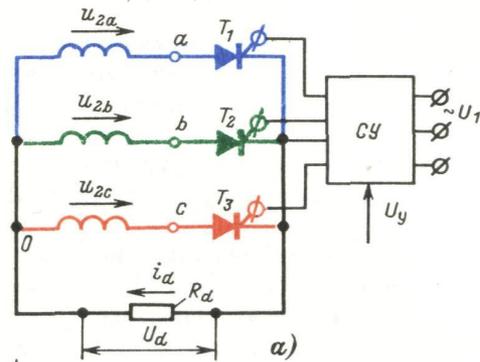


Рис. 14. Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой.  
 а — схема; б—д — диаграммы напряжений и токов в элементах.

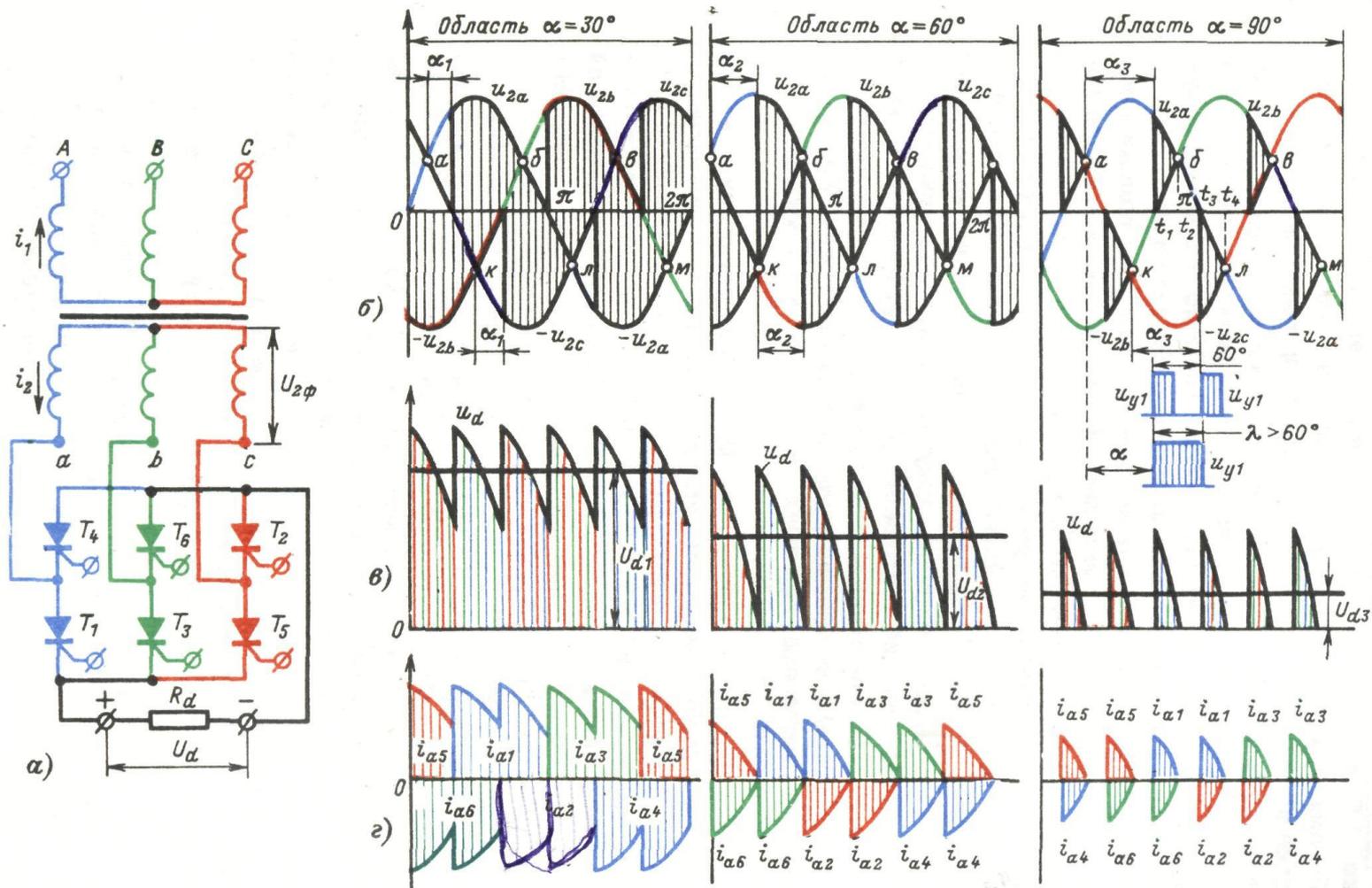


Рис. 15. Трехфазная мостовая схема на управляемых вентилях.  
 а — соединение элементов; б—г — диаграммы напряжений и токов при различных углах  $\alpha$ .

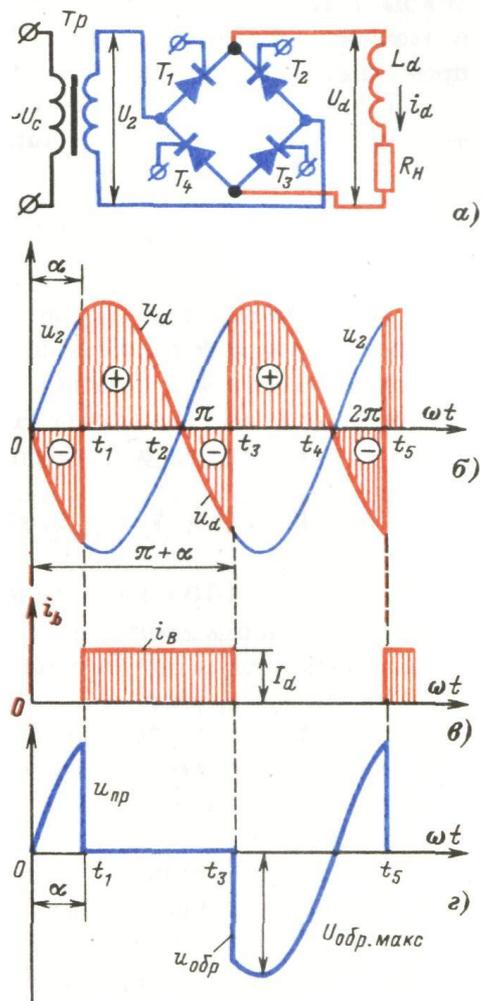


Рис. 18. Работа управляемого однофазного мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

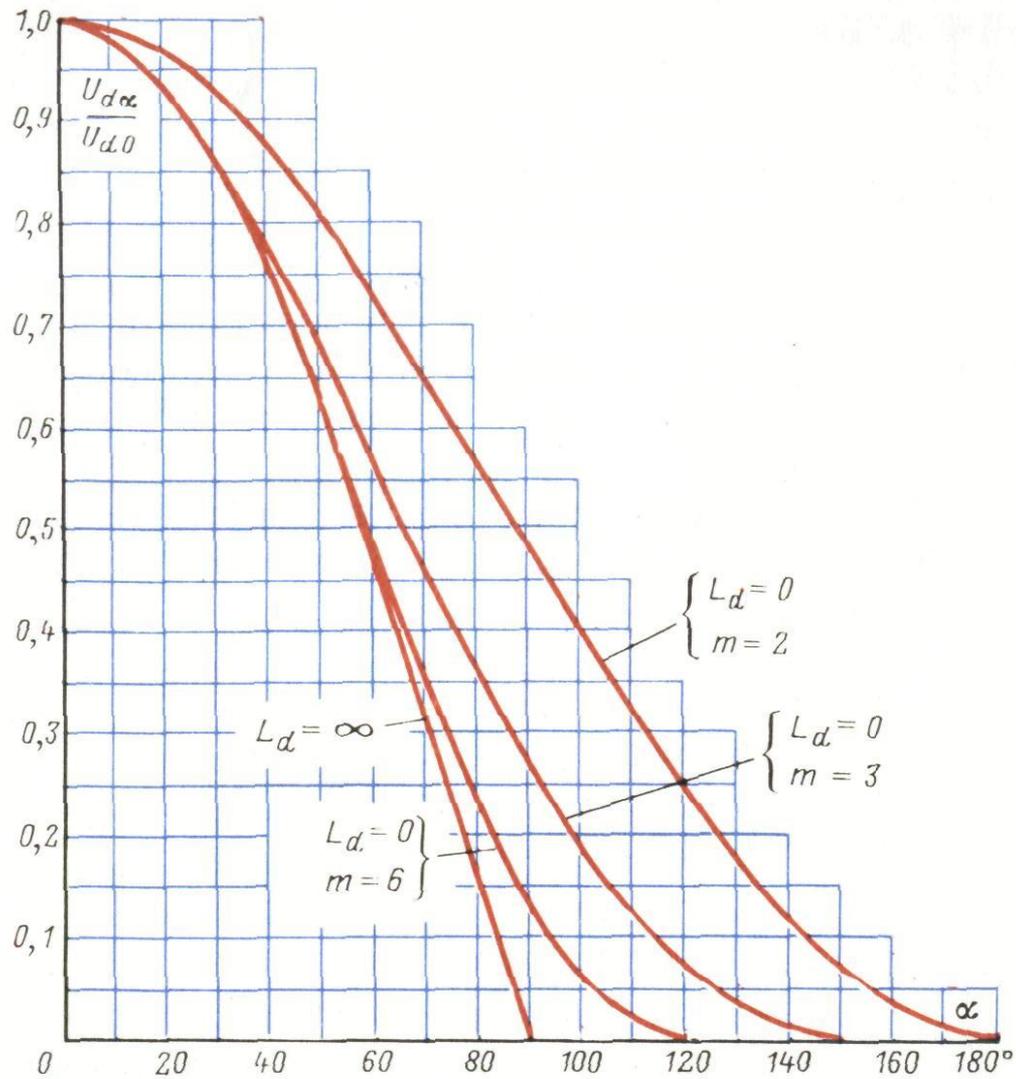


Рис. 26. Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей при различном числе фаз выпрямления.

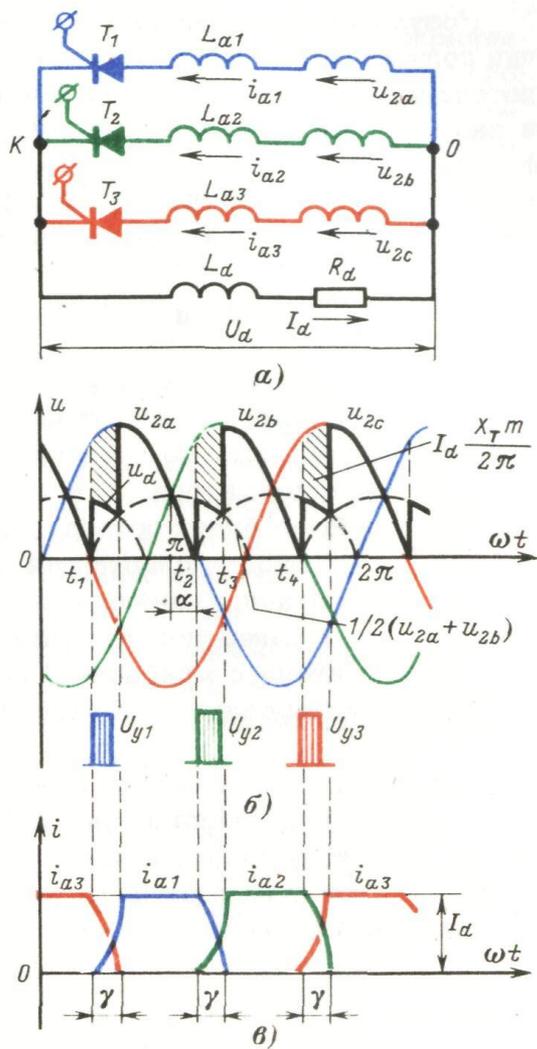
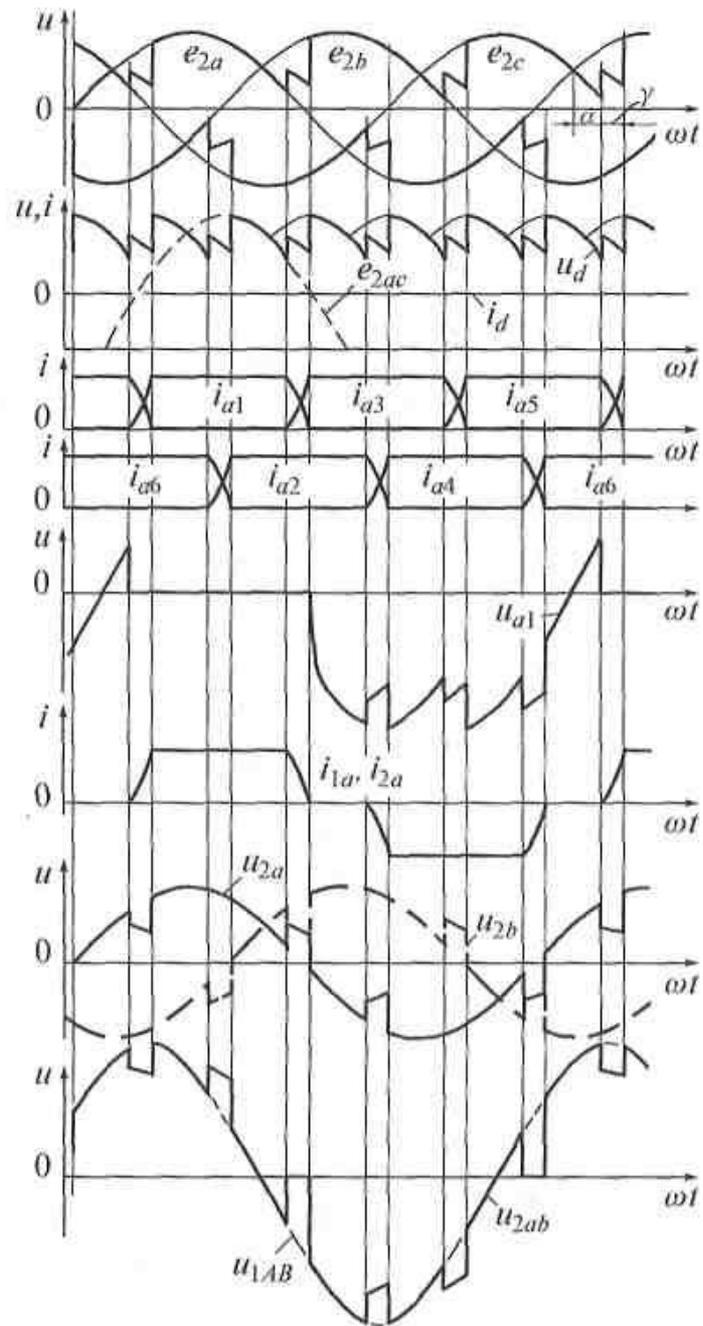


Рис. 20. Работа трехфазного выпрямителя с учетом коммутации тока в вентилях. а — схема; б и в — кривые напряжений и токов.

Рис. 20.17. Диаграммы напряжений и токов, иллюстрирующие работу управляемого выпрямителя, выполненного по трехфазной мостовой схеме



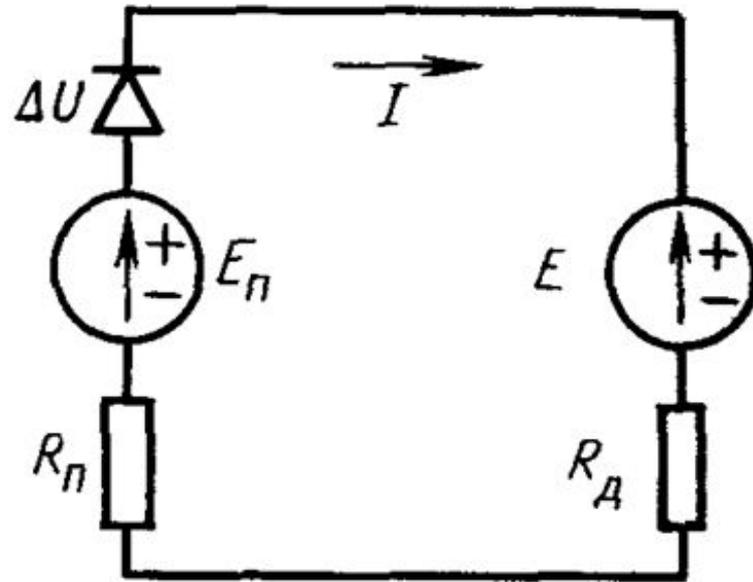
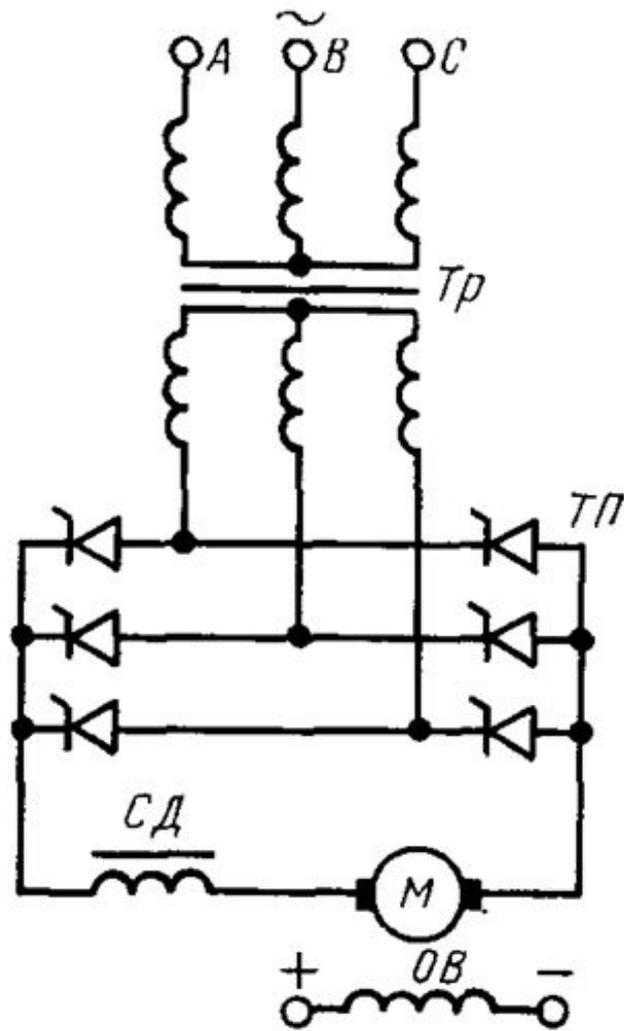


Рис. 4.3.

Рис. 4.2.

Силовая схема и схема замещения управляемого выпрямителя



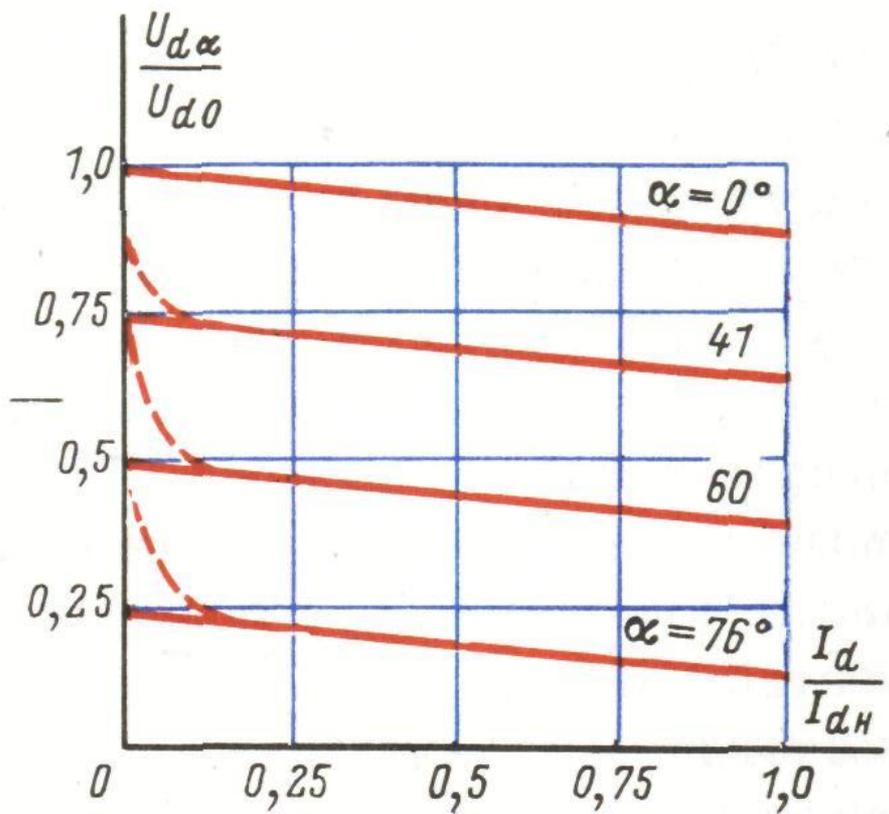


Рис. 25. Внешние характеристики управляемого выпрямителя при различных углах управления  $\alpha$ .

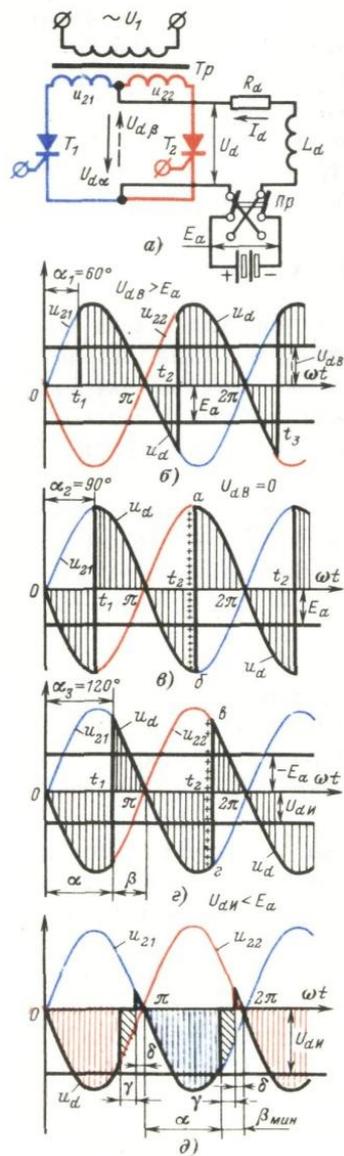
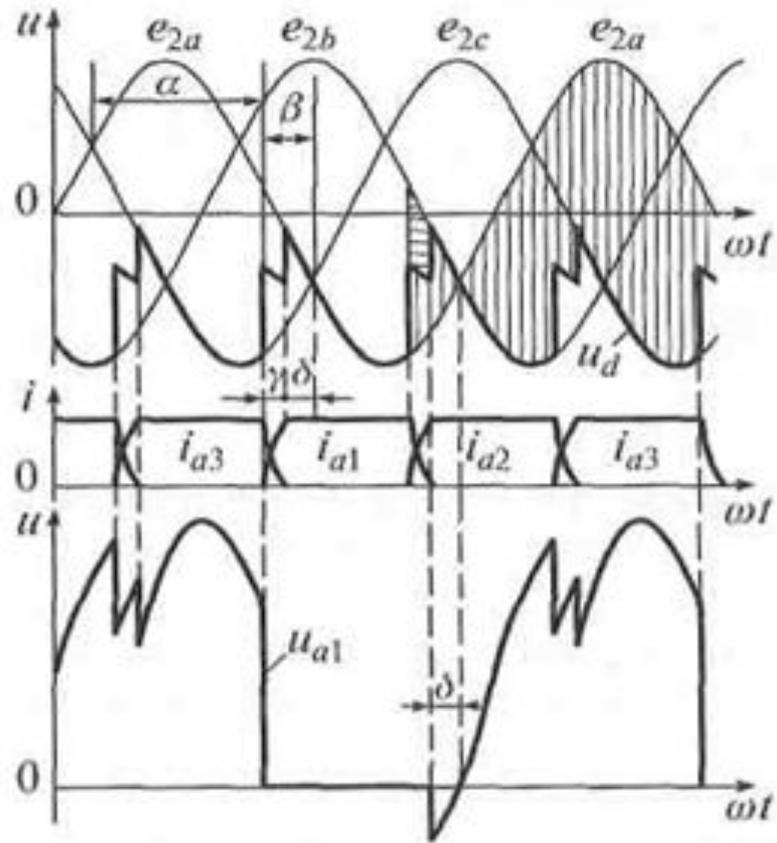
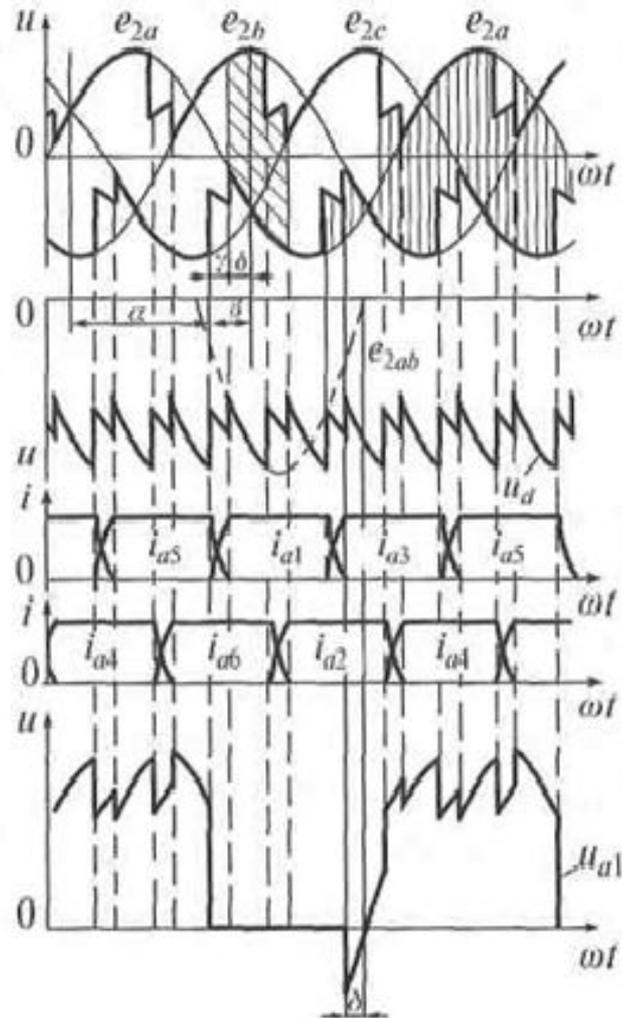


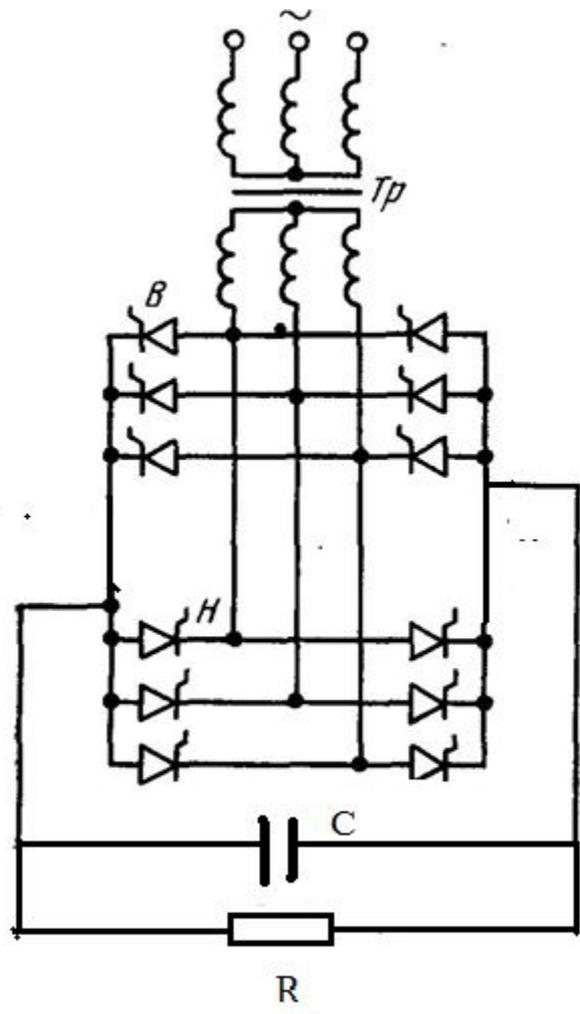
Рис. 21. Работа управляемого преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах.  
 а — схема; б—д — кривые напряжений при различных углах  $\alpha$ .

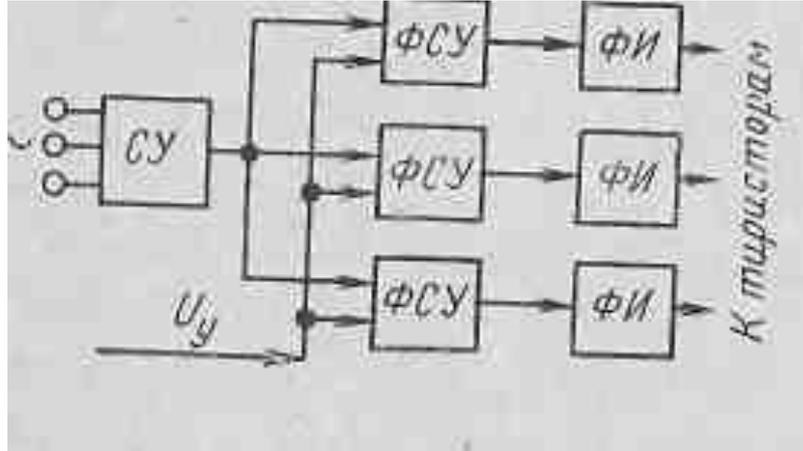


Диаграммы токов и напряжений в ведомом инверторе при  $X_d = \infty$ ,  $X_a \neq 0$  для трехфазной нулевой схемы выпрямления

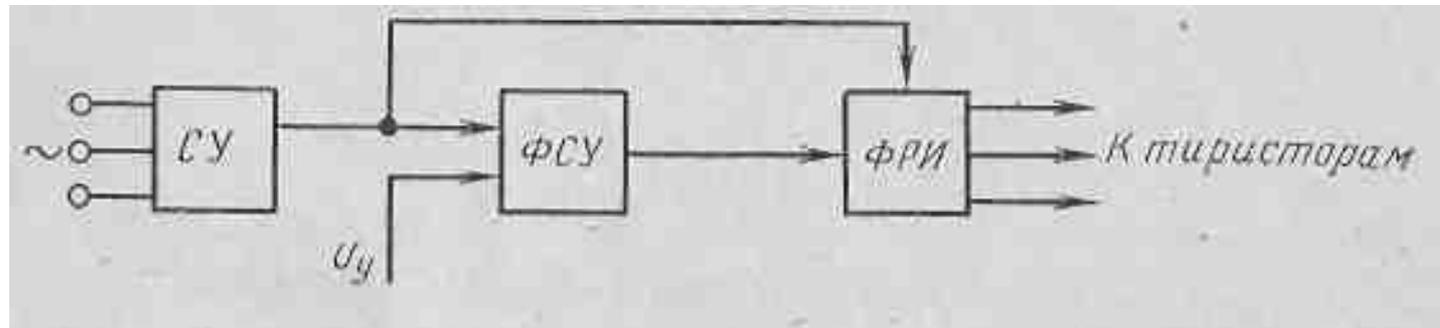


Диаграммы токов и напряжений в ведомом инверторе при  $X_d = \infty$ ,  $X_a \neq 0$  для трехфазной мостовой схемы выпрямления

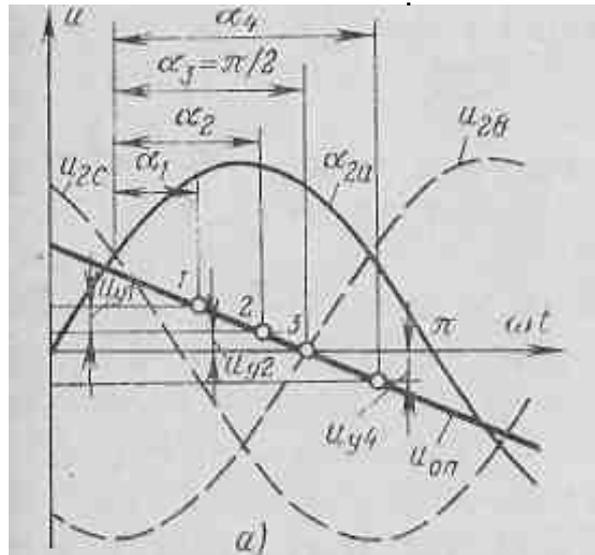




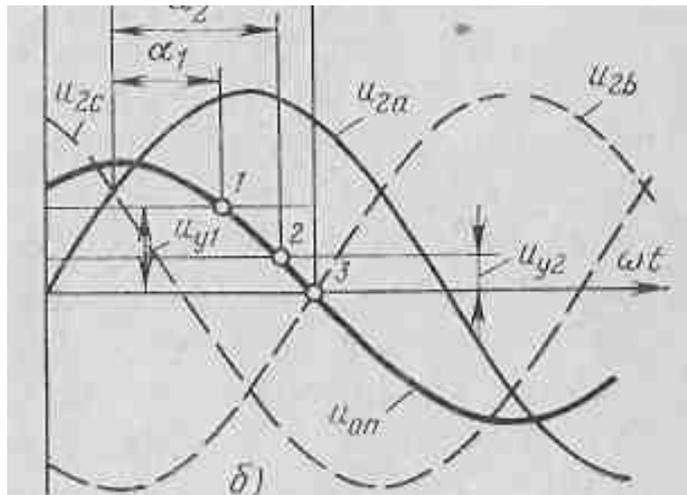
Упрощенная функциональная схема многоканальной системы.



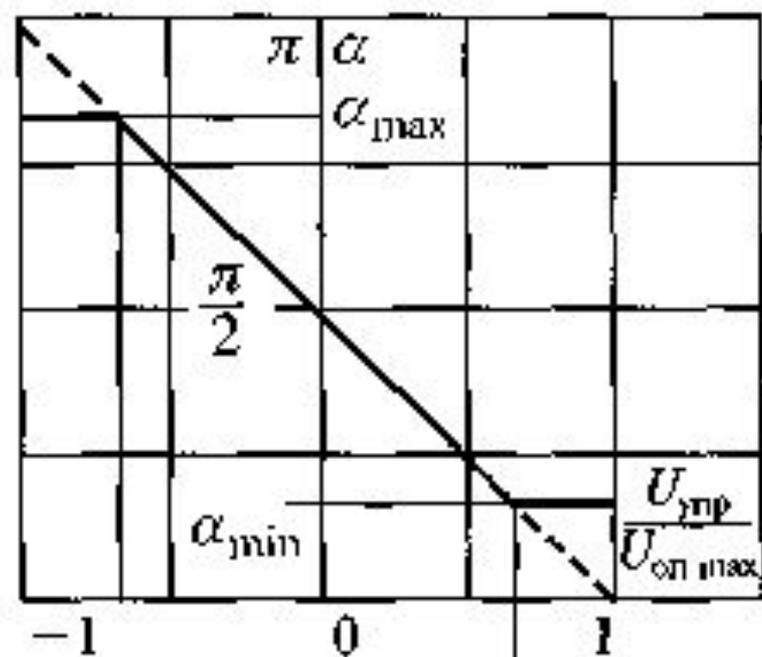
Упрощенная функциональная схема одноканальной системы



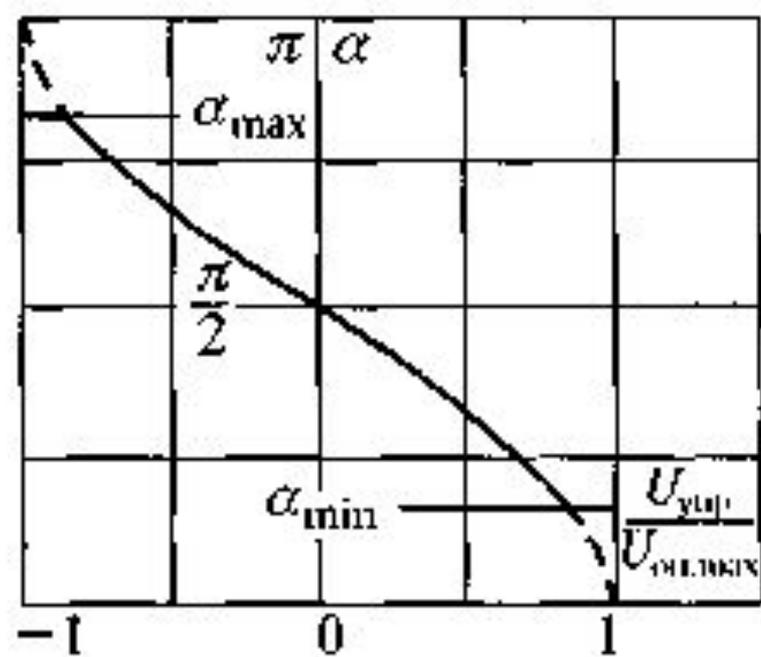
Графики пилообразного опорного напряжения  $U_{on}$  и напряжения управления СИФУ



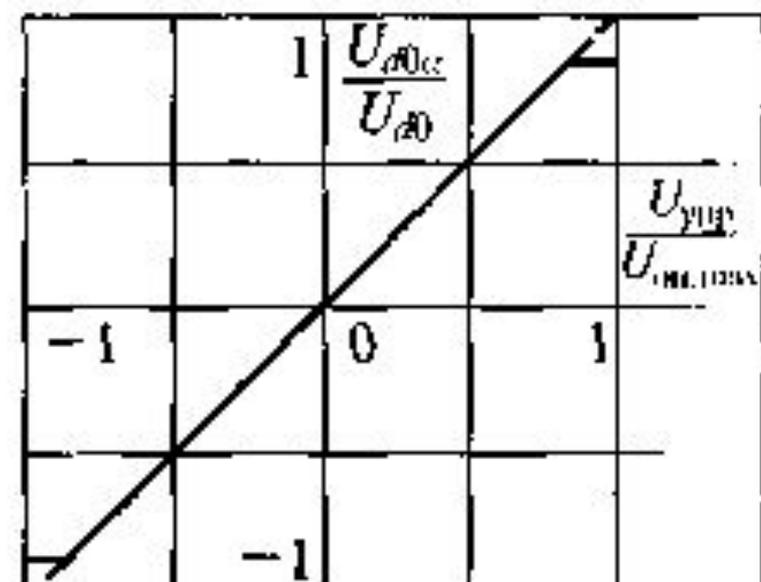
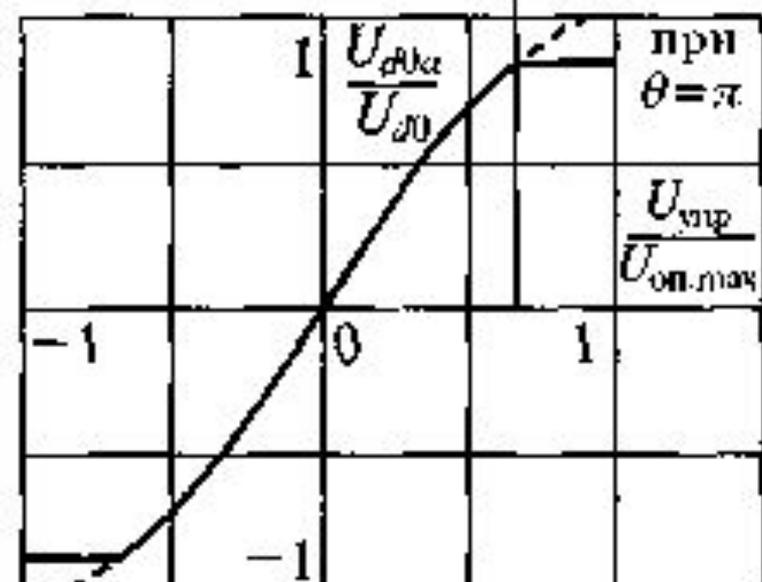
Графики синусоидального опорного напряжения  $U_{on}$  и напряжения управления СИФУ

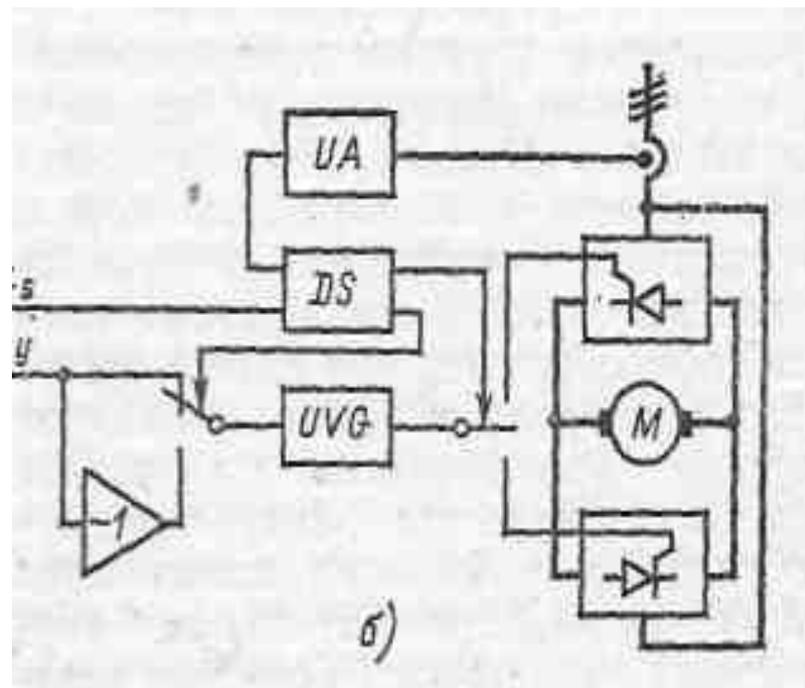
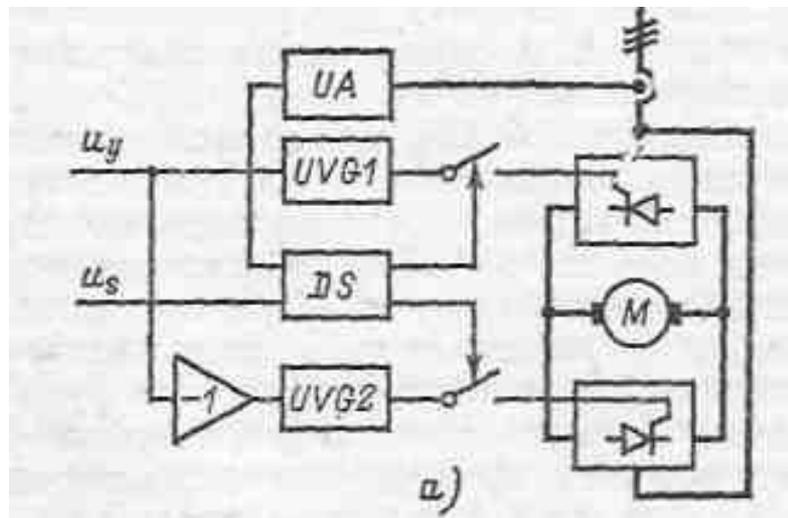


д)



е)





Функциональные схемы реверсивных преобразователей с разделным управлением. а - с двумя СИФУ; б - с одной СИФУ.

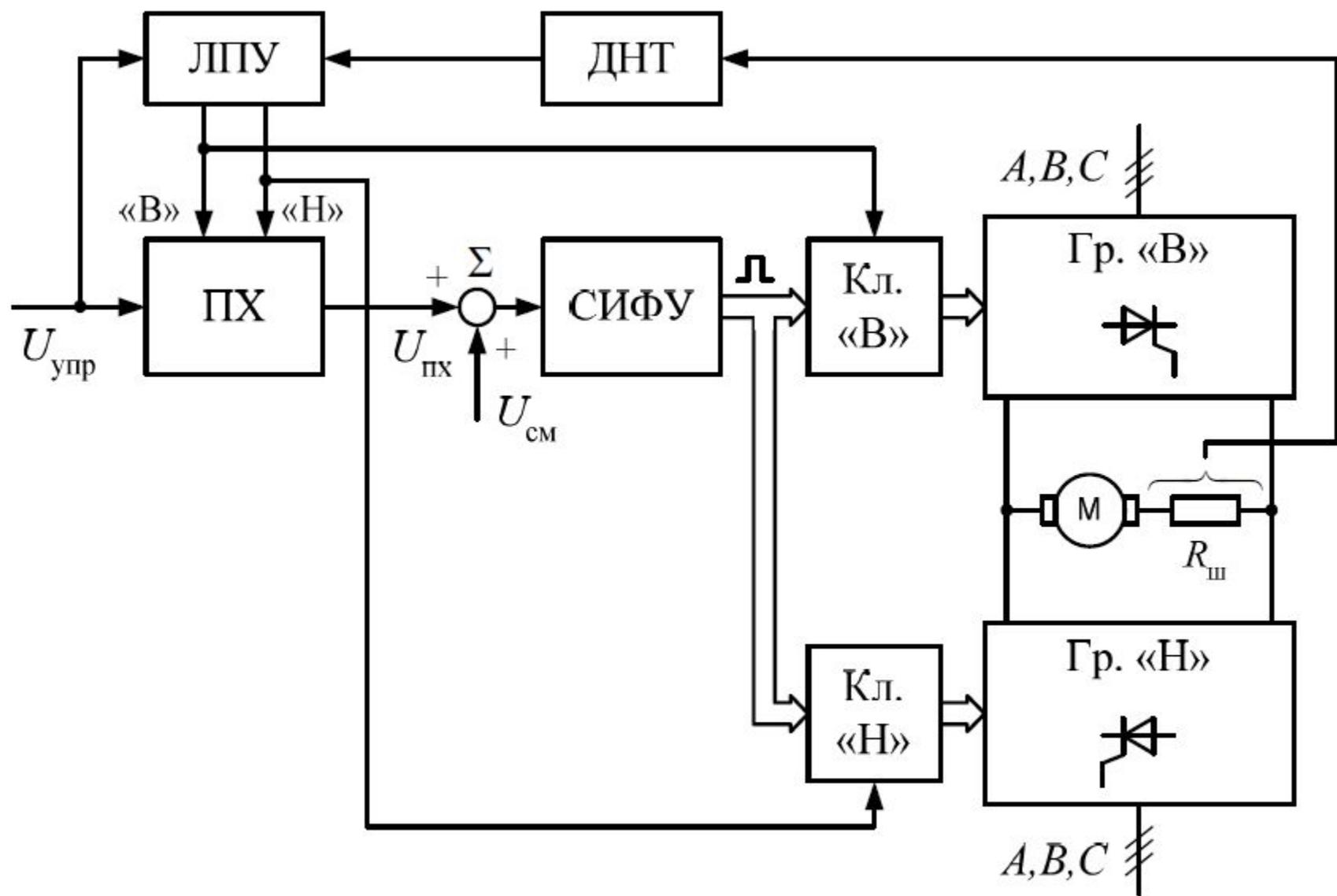


Рис. 9.14. Функциональная схема СУ реверсивного преобразователя с

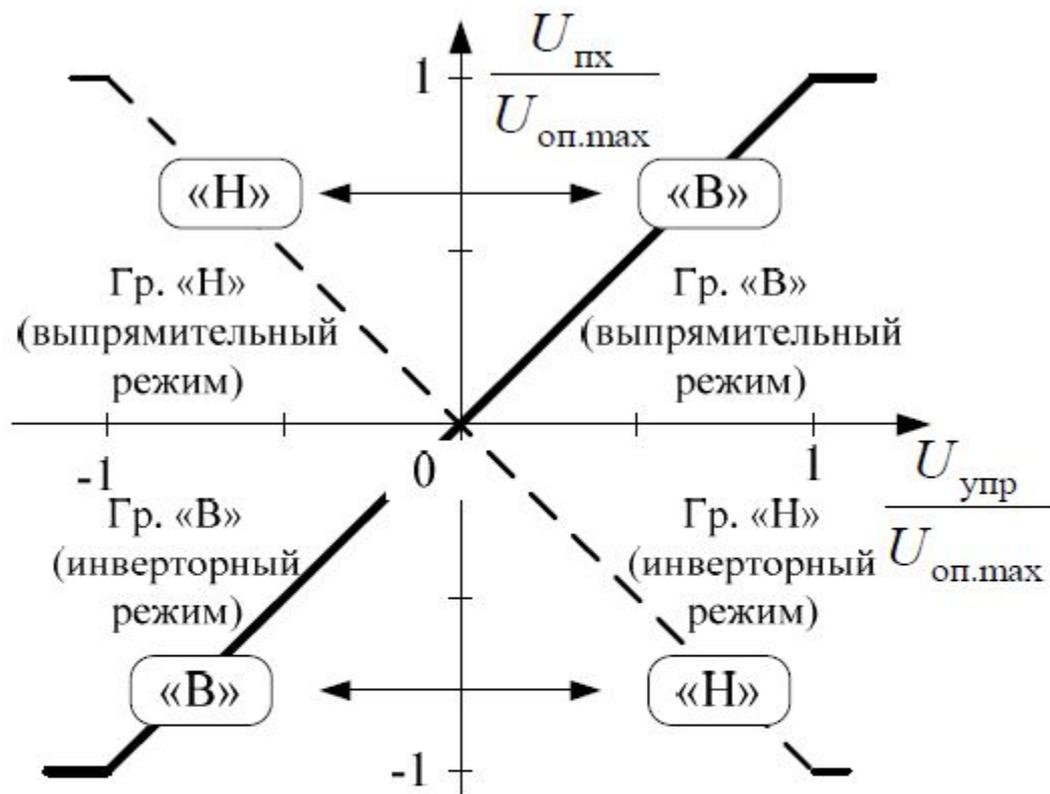
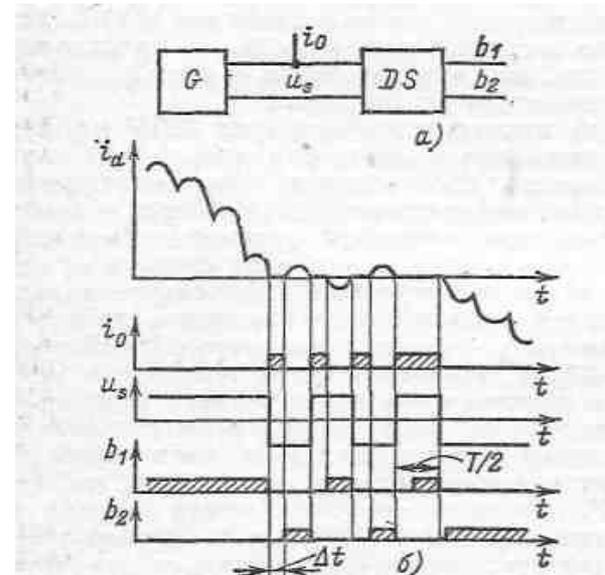
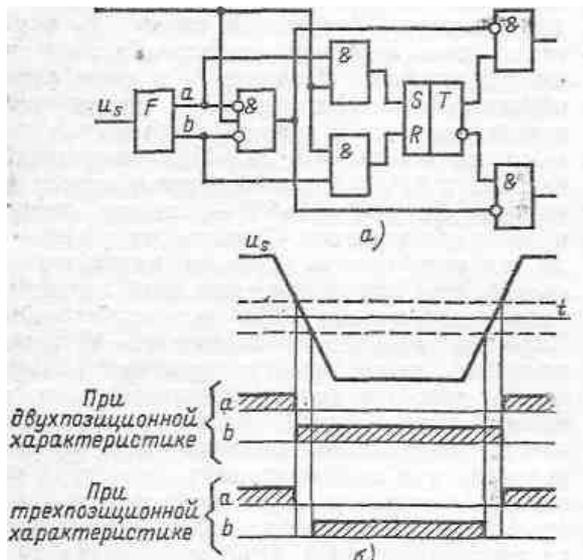
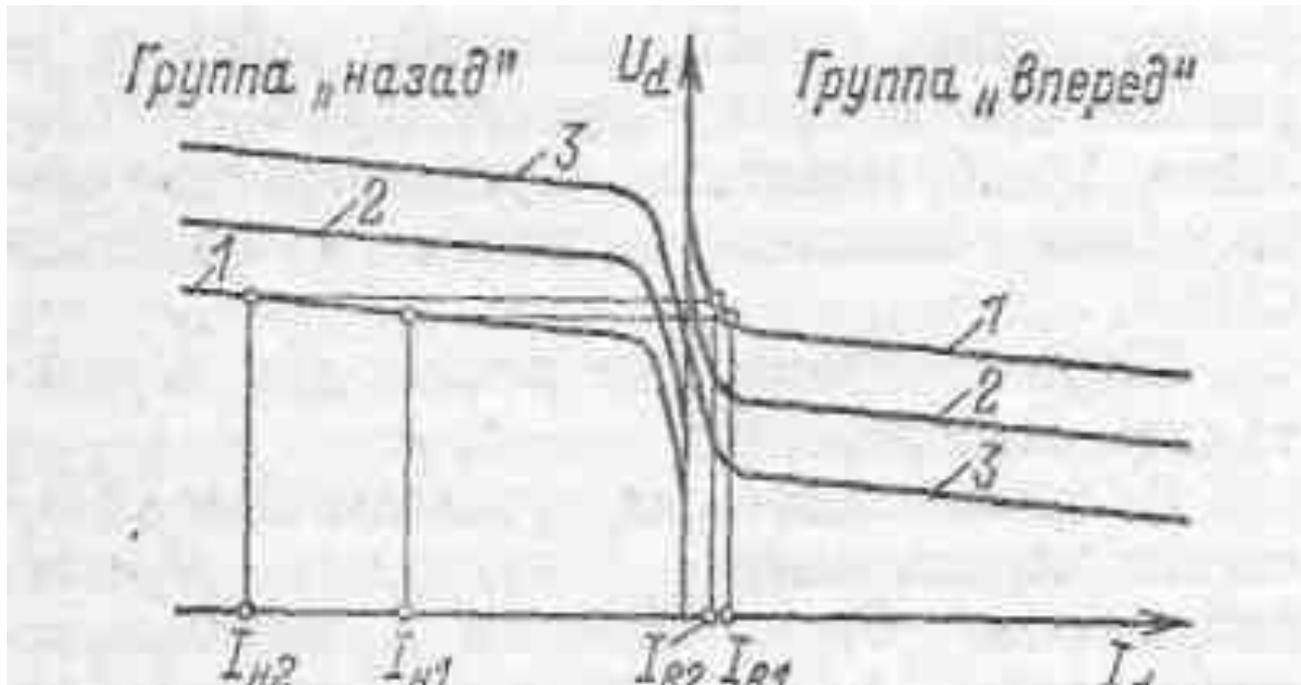


Рис. 9.15. Статическая характеристика «вход – выход» переключателя характеристик прямого канала регулирования реверсивного ТП



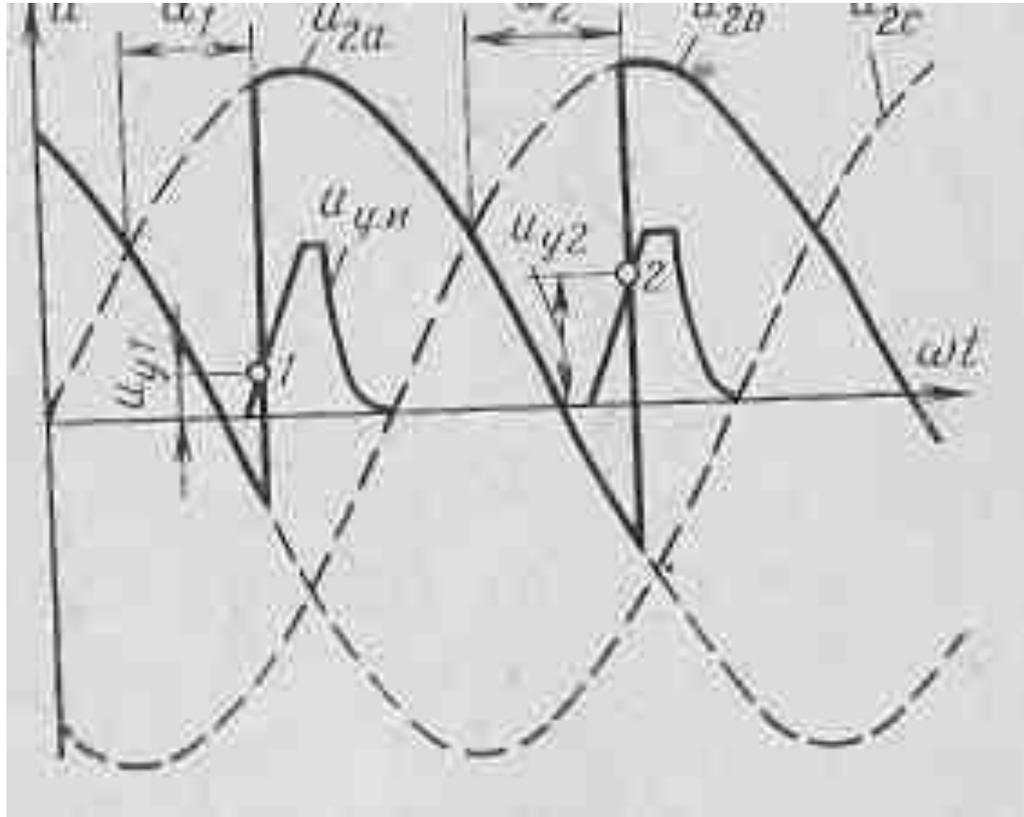
Логическое переключающее устройство.

. Переключение групп сканированием, с — упрощенная схема; б — диаграммы сигналов

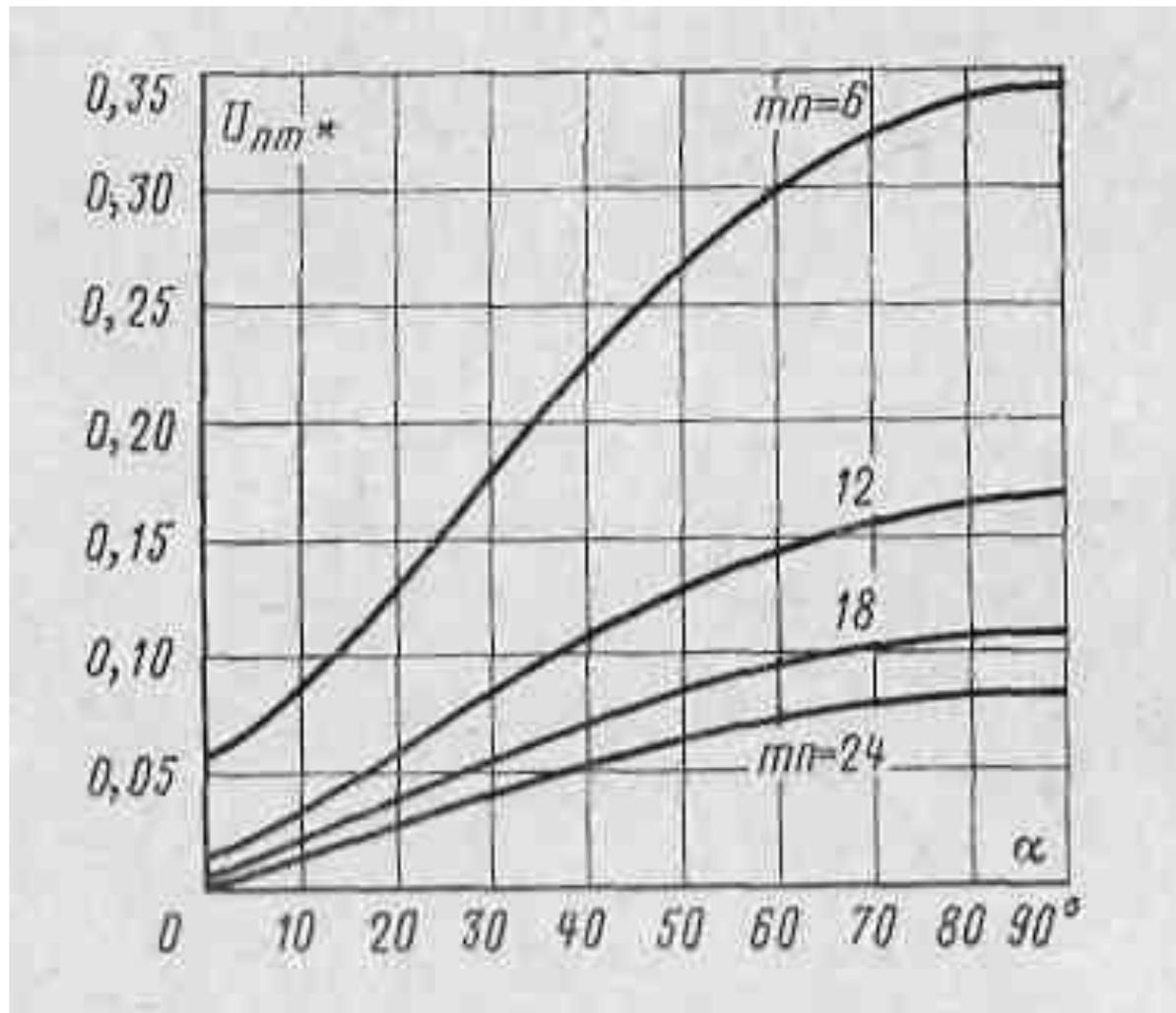


Внешние характеристики реверсивного преобразователя с отдельным управлением при различных значениях начального угла

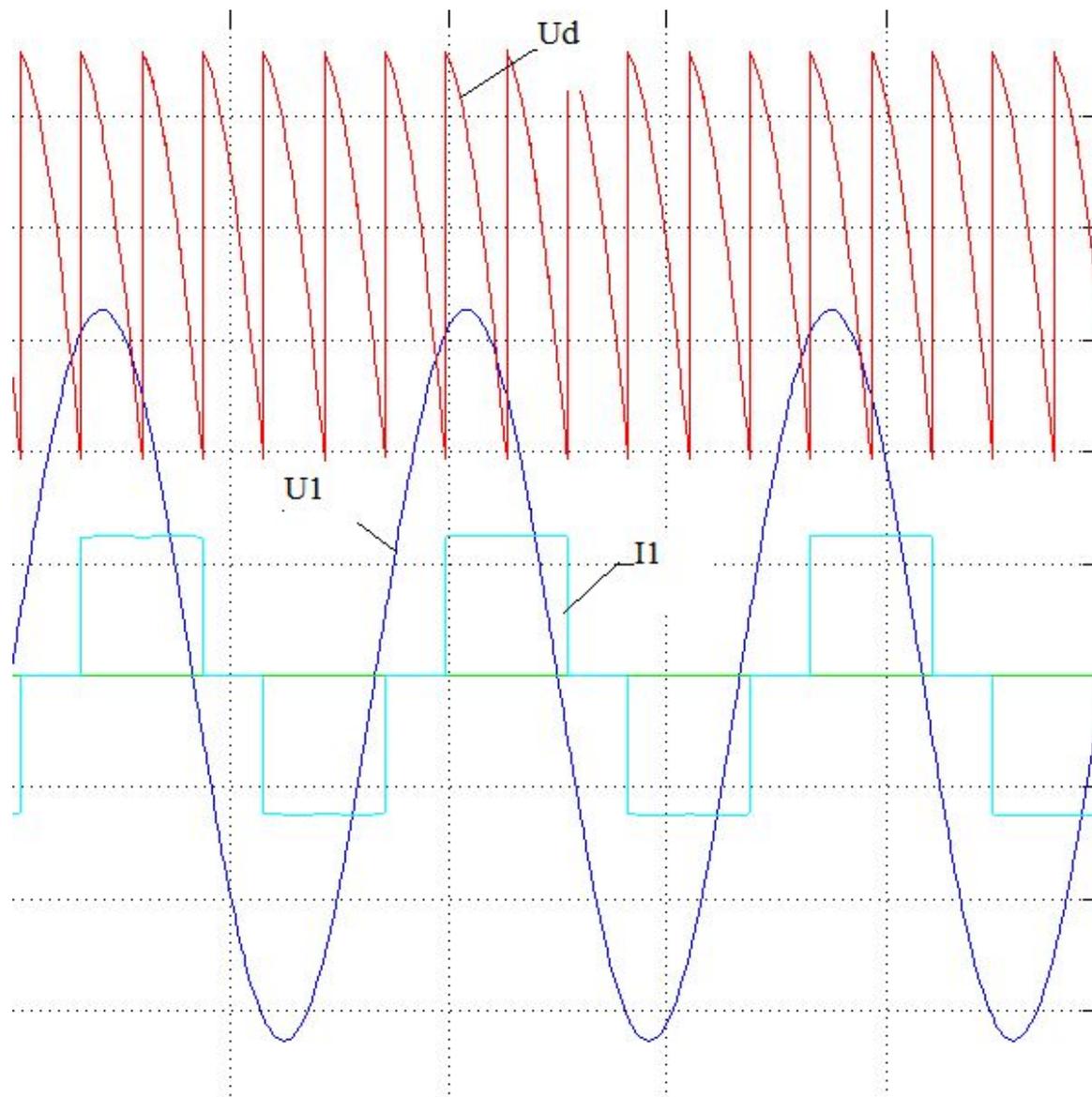
(1 -  $\alpha_0 = 90^\circ$ ; 2 -  $90^\circ < \alpha_0 < 120^\circ$ ; 3 -  $\alpha_0 = 120^\circ$ )



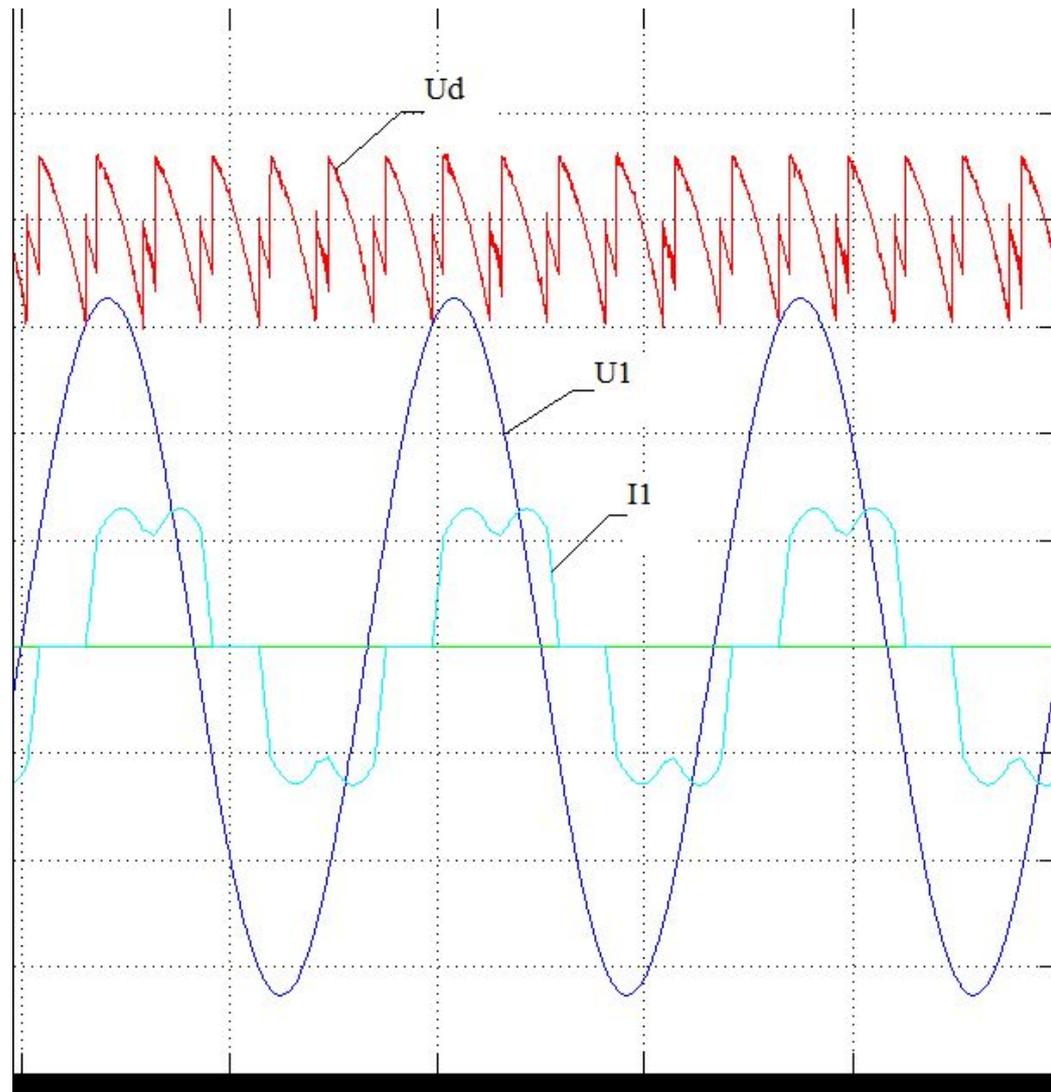
Графики выпрямленного напряжения и напряжения управляющих импульсов при их разной крутизне



Зависимость высших гармоник выпрямленного напряжения от угла управления



Диаграммы выпрямленного напряжения, первичного напряжения и тока трансформатора в трехфазной мостовой схеме при  $\alpha = 40^\circ$ ,  $L_d = \infty$  и  $L_{2T} = 0$ .



Диаграммы выпрямленного напряжения, первичного напряжения и тока трансформатора в трехфазной мостовой схеме при  $\alpha = 40^\circ$  и  $L_d \neq \infty$ ,  $L_{2T} \neq 0$ .

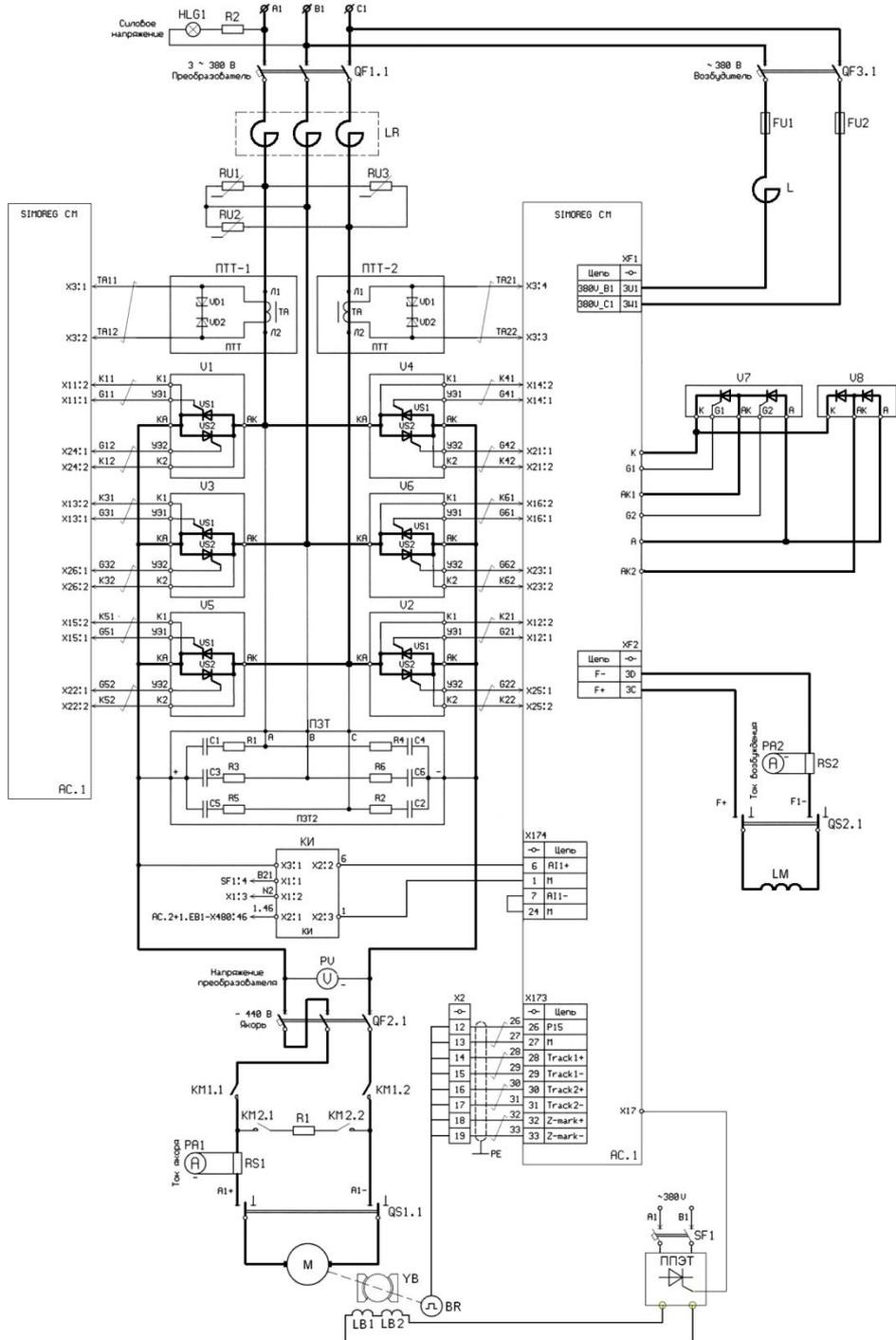


Схема силовых цепей  
КТЭ

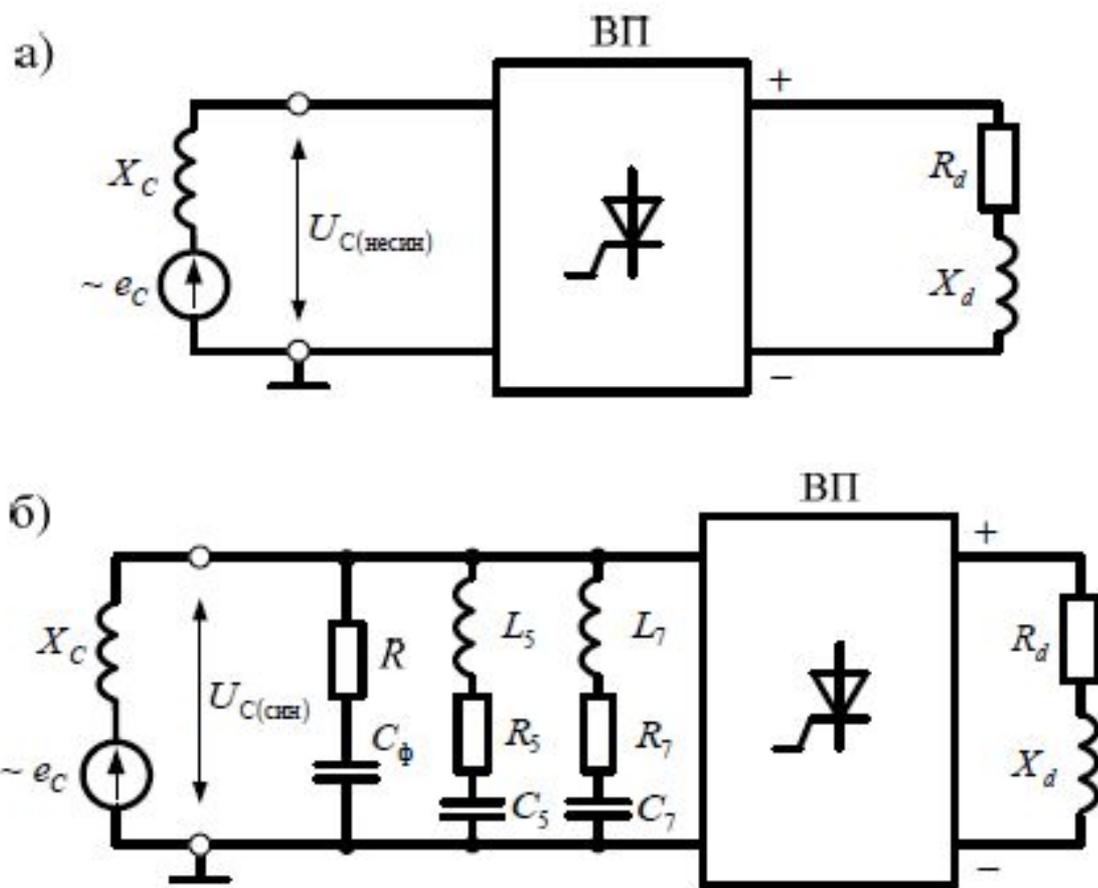
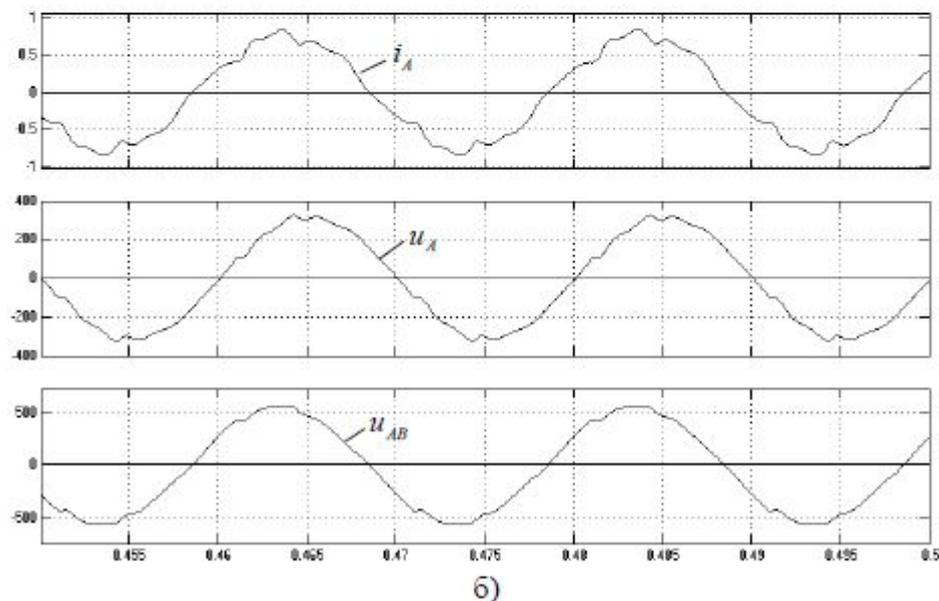
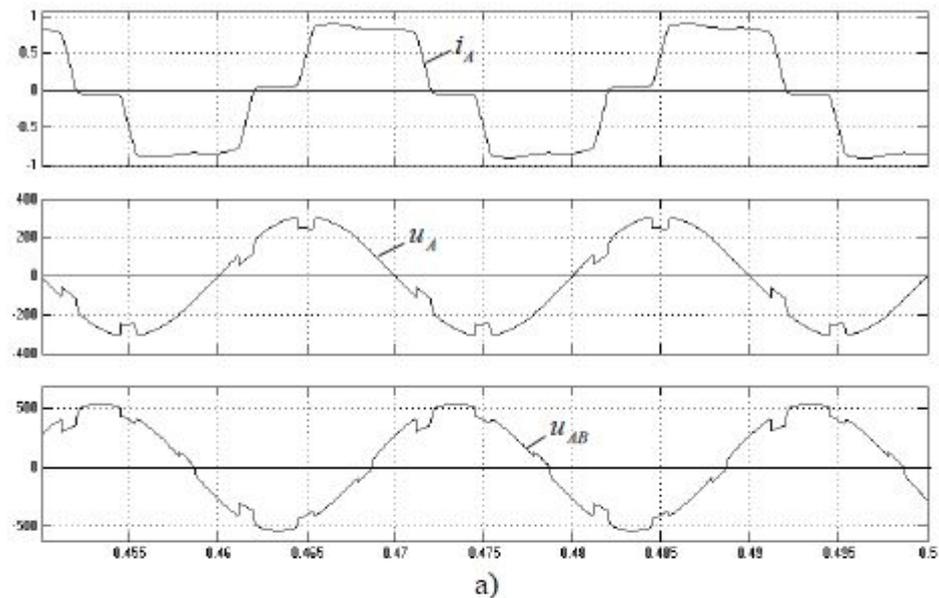


Схема подключения ведомого преобразователя к сети непосредственно (а) и через сетевой фильтр (б)



Осциллограммы первичного тока  $i_A$ , фазного  $u_A$  и линейного  $u_{AB}$  напряжений при отсутствии (а) и наличии фильтра на входе (б)

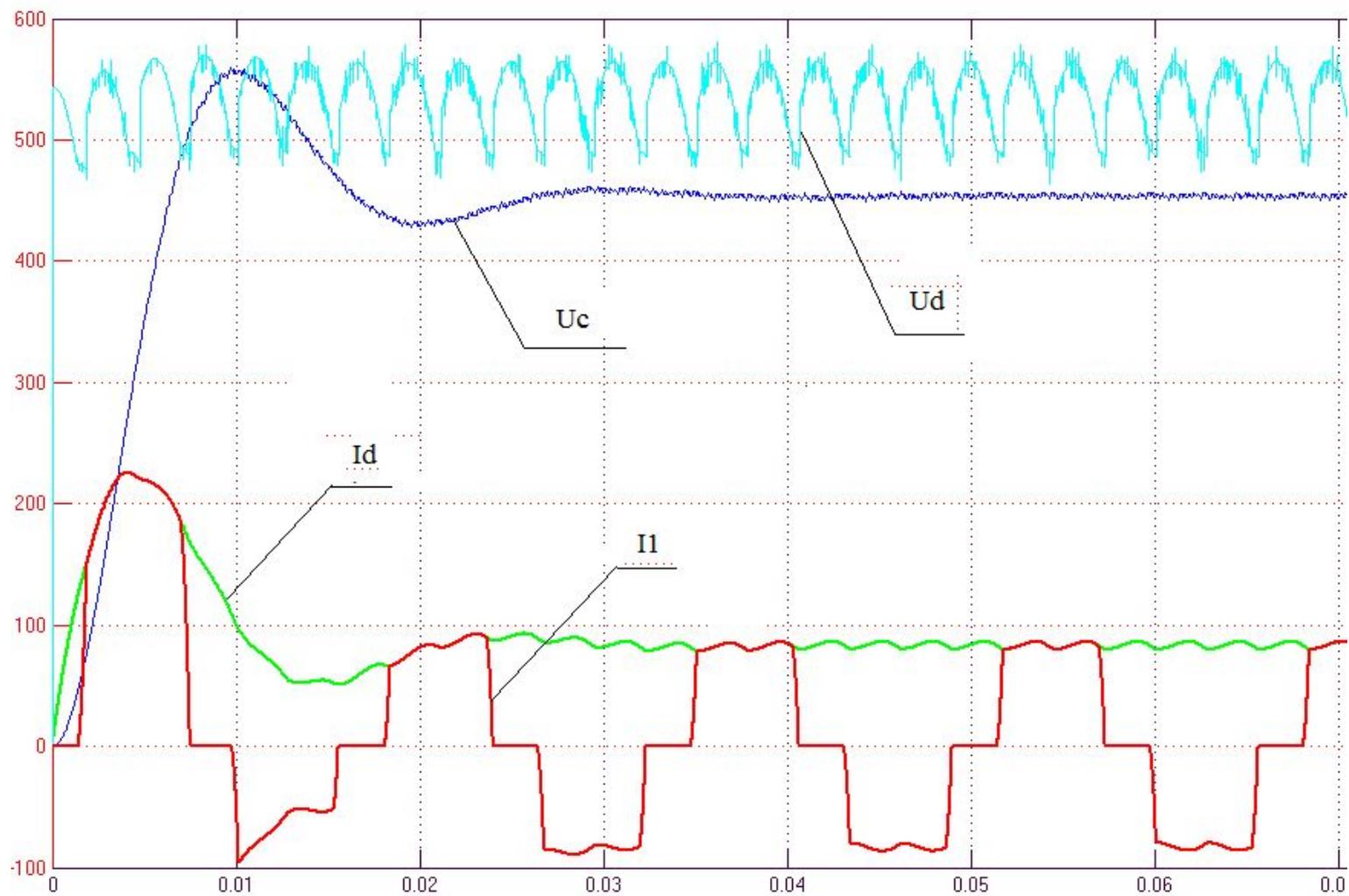
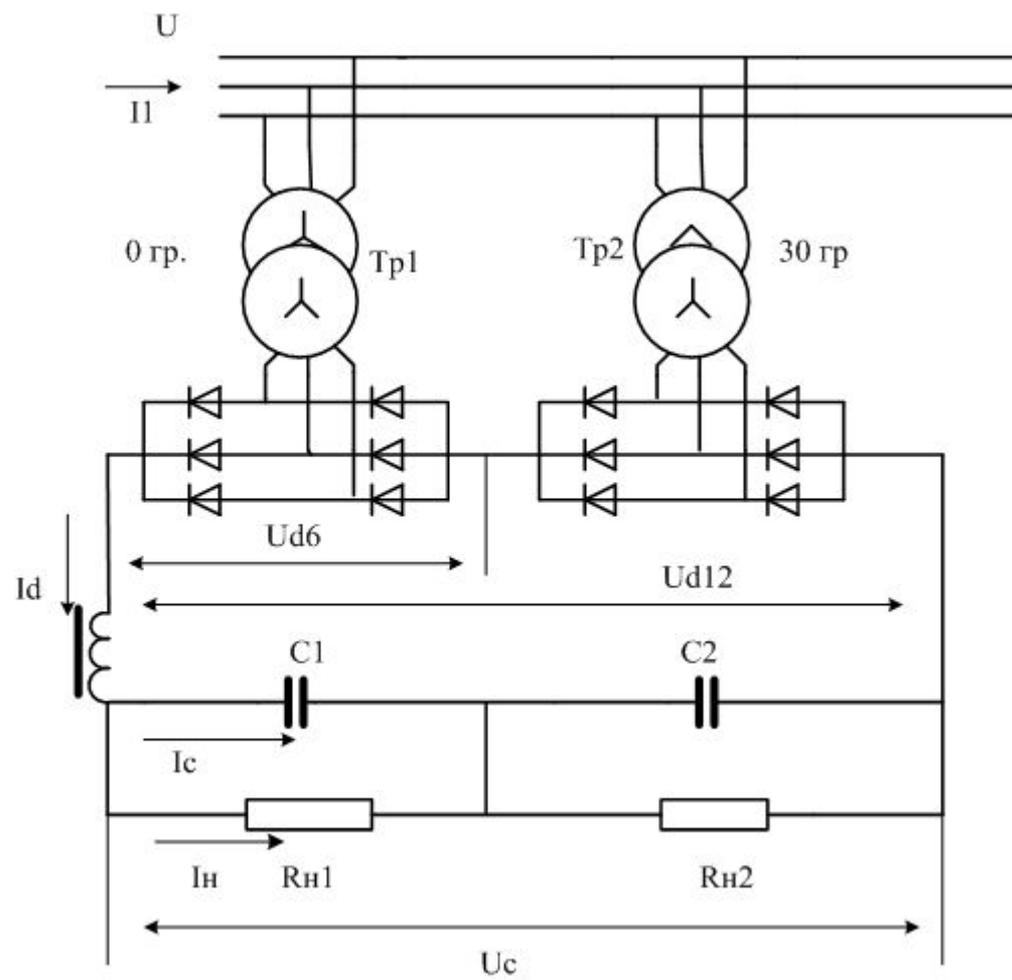


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 6-ти пульсного выпрямителя



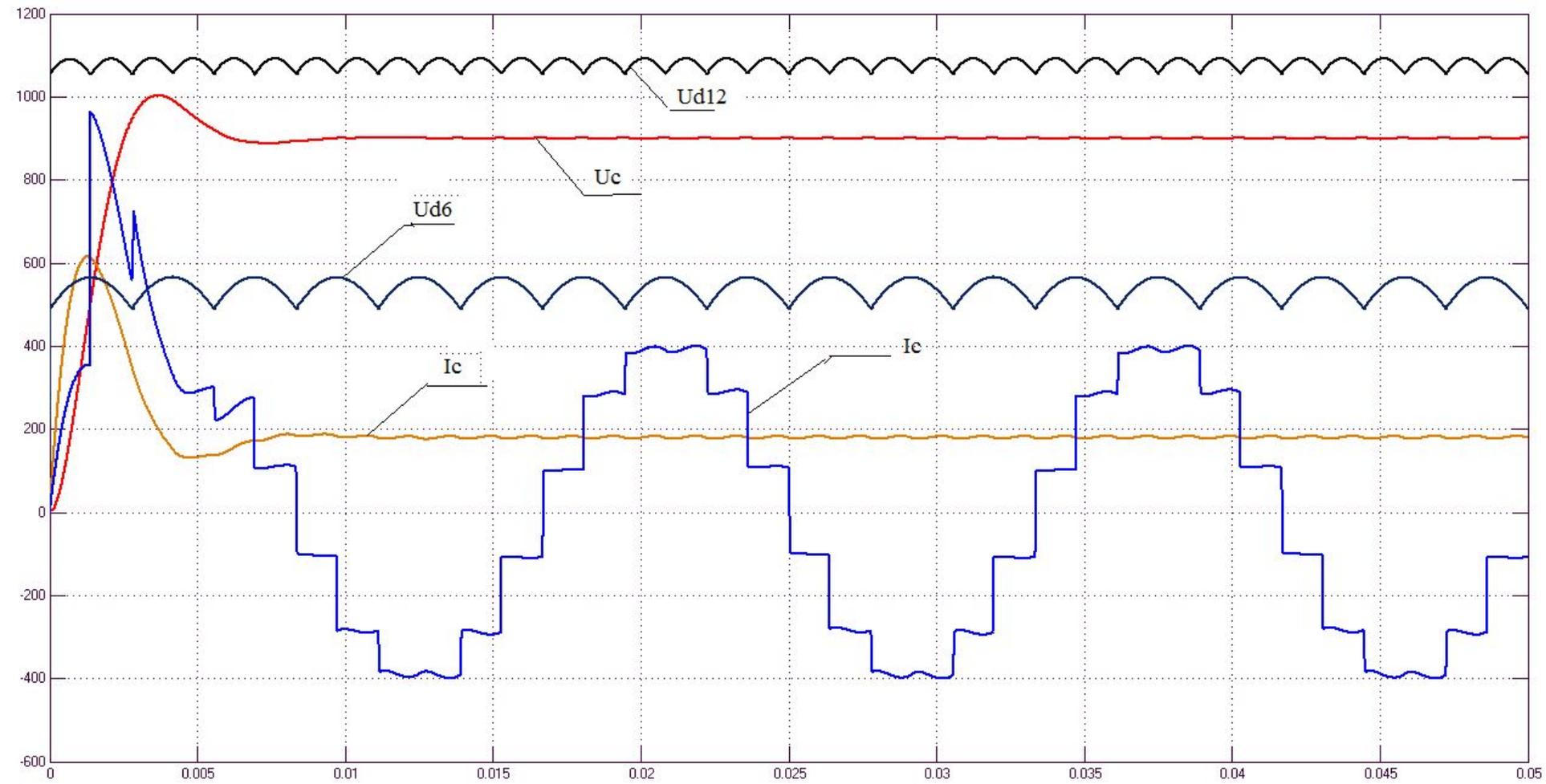


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 12-ти пульсного выпрямителя

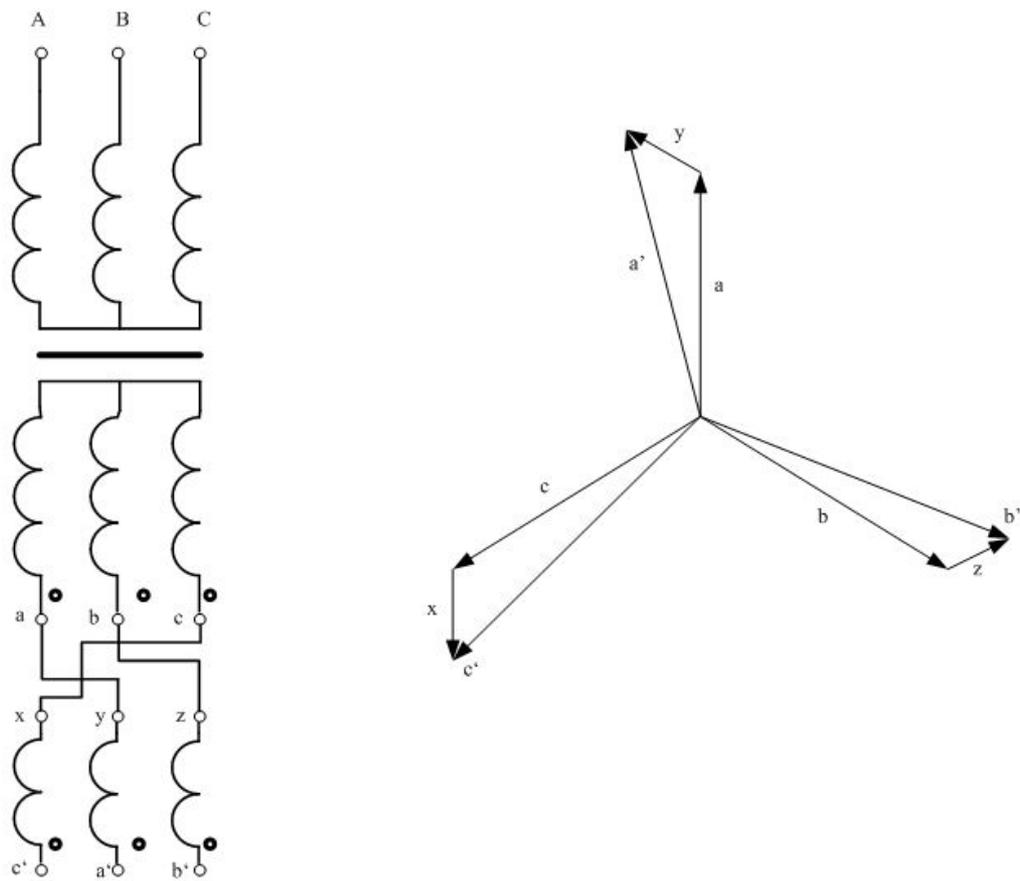
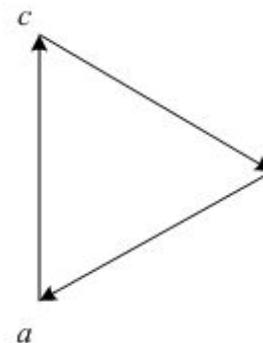
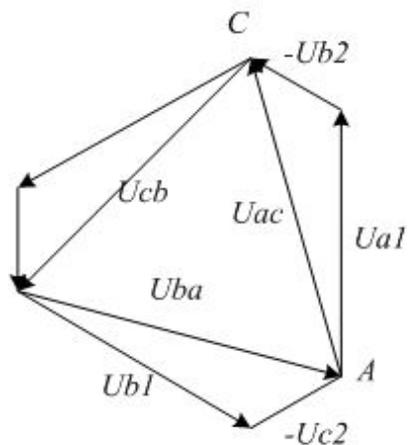
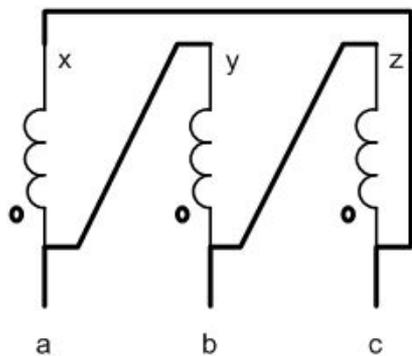
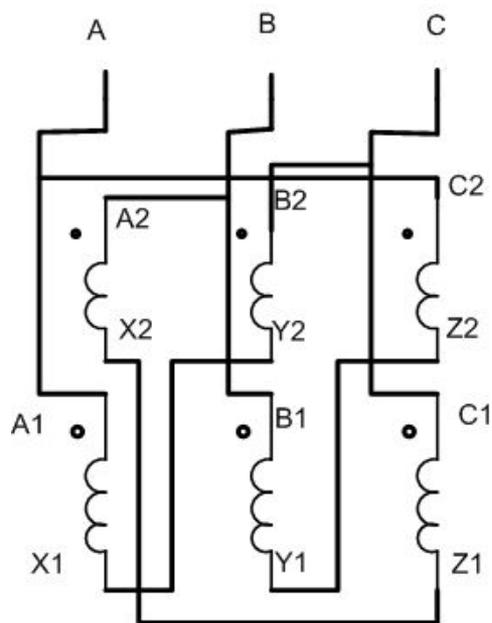


Рис. Схема соединений и векторная диаграмма силового трансформатора для многофазных схем выпрямления



б) Рис. Схема соединений (а) и векторные диаграммы напряжений (б) силового трансформатора преобразователя MV-7000

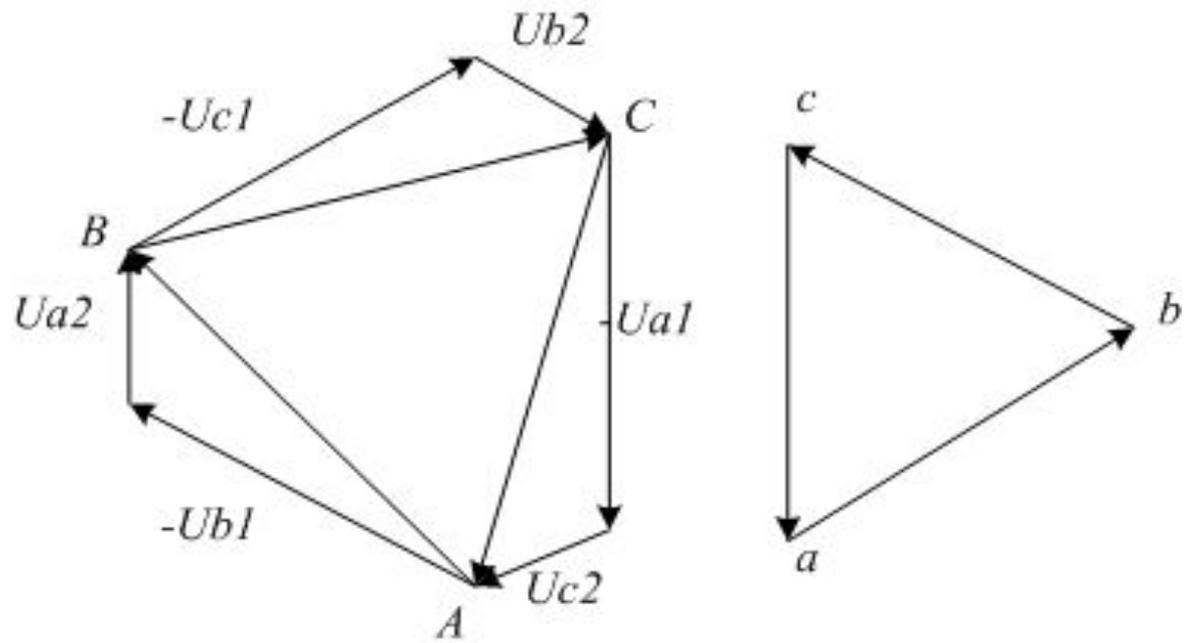
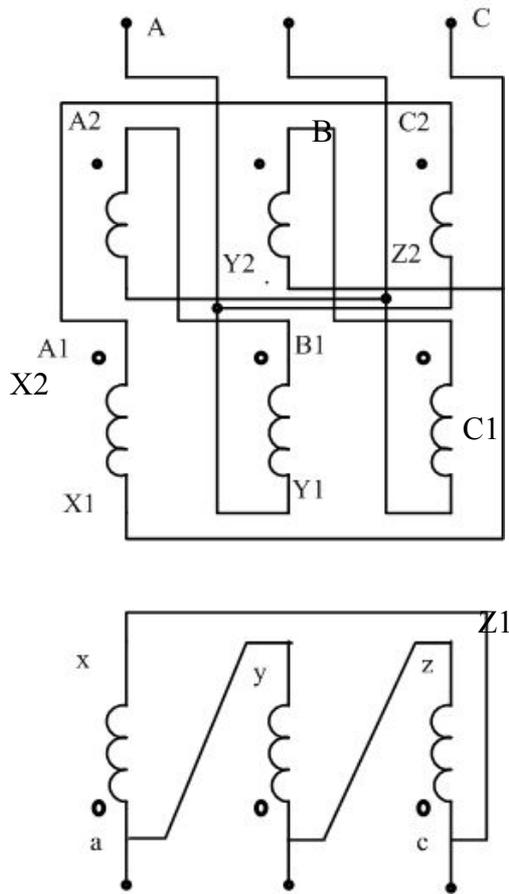
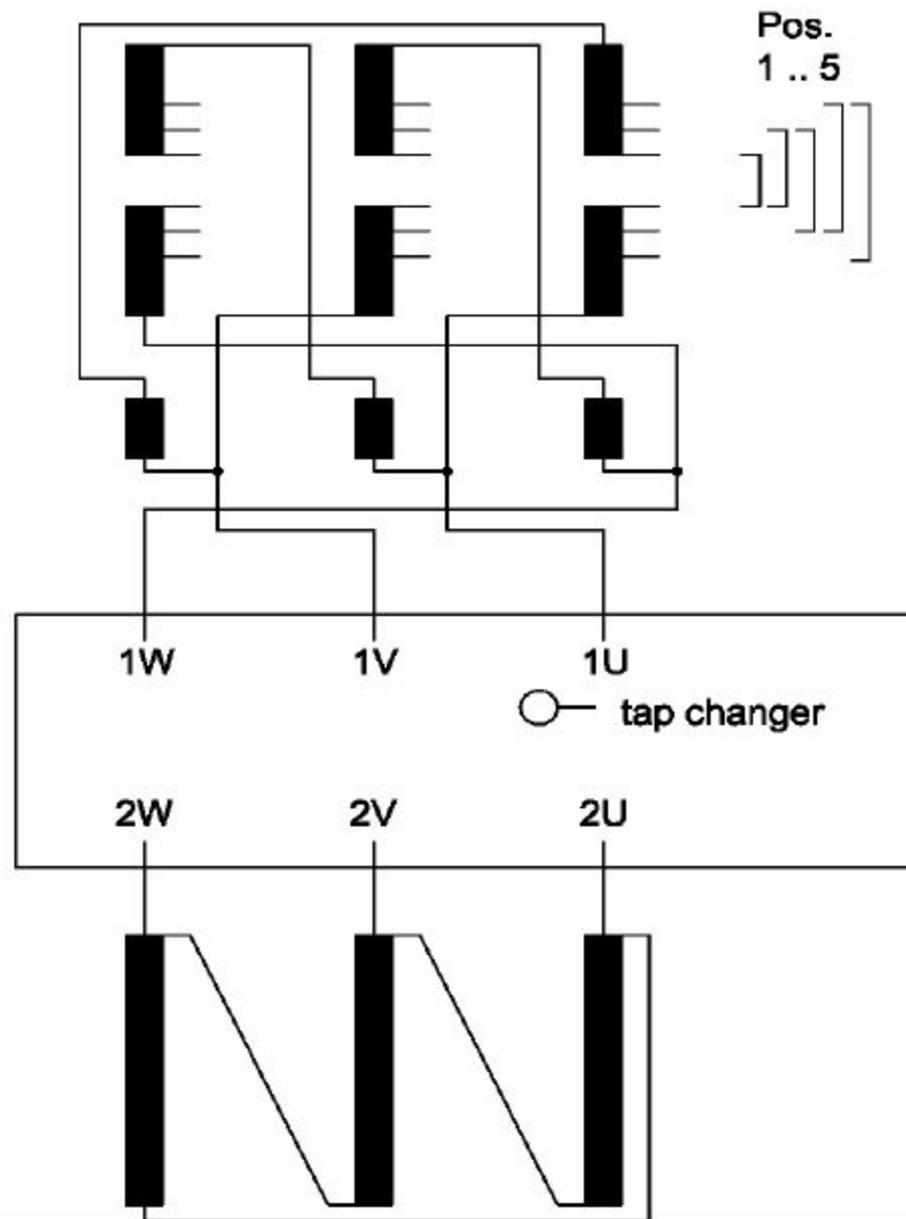


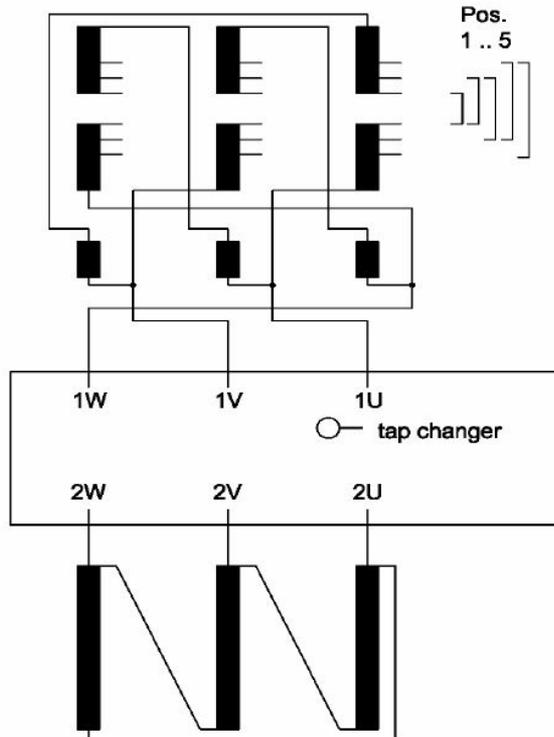
Рис. Схема соединений и векторная диаграмма силового трансформатора для 18-ти пульсной схемы выпрямления



## 3 - phase - transformer for outdoor location

RPO 01

Type DOHX		No. 078.093		Kind PT	IEC 60076-1
System	1 - D(+20°)	2 - d0		Year of manuf.	2008
Rated power	5700 kVA	5700 kVA	kVA	Rated frequency	50 Hz
Rated voltage	1	10500 V	V	Connect. symbol	D(+20°)d0
	2	10250 V	V	Cooling method	ONAN
	3	10000 V	3300 V	Cooling medium	Oil
	4	9750 V	V	Oil-weight	2580 kg
	5	9500 V	V	Active part-weight	7810 kg
Rated current	329,1 A	997,2 A	A	Total-weight	14180 kg
Imped. voltage	%	%	%	Short-circuit duration max.	2 s
Um	12 kV	3,6 kV	kV	Sym.short-circuit current	2,2 kA
Insulation level	LI 75 AC 28	LI 40 AC 10		Operation	CMR

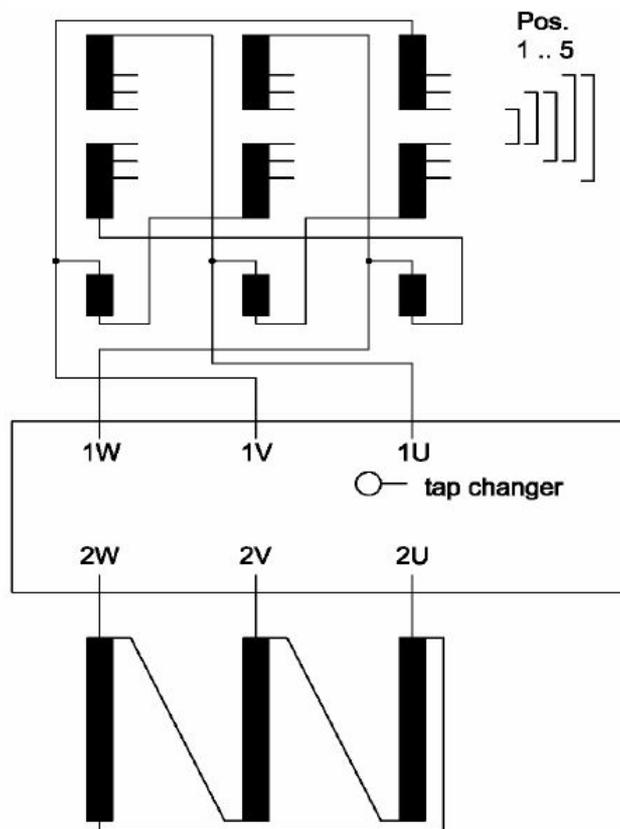


System 1 - D(+20°)		
Pos.	Voltage	Connect.
1	10500 V	1U - 1V - 1W
2	10250 V	
3	10000 V	
4	9750 V	
5	9500 V	

**ATTENTION!**  
Tap.-changer only for de-energized operation

System 2 - d0		
Voltage	Current	Connect.
3300 V	997,2 A	2U - 2V - 2W

Type	DOHX		No.	078.092		Kind	PT		IEC 60076-1
System	1 - D(-20°)		2 - d0			Year of manuf.	2008		
Rated power	5700 kVA		5700 kVA		kVA	Rated frequency	50 Hz		
Rated voltage	1	10500 V		V	V	Connect. symbol	D(-20°)d0		
	2	10250 V		V	V	Cooling method	ONAN		
	3	10000 V	3300 V		V	Cooling medium	Oil		
	4	9750 V		V	V	Oil-weight	2580 kg		
	5	9500 V		V	V	Active part-weight	7810 kg		
Rated current	329,1 A		997,2 A		A	Total-weight	14180 kg		
Imped. voltage	%		%		%	Short-circuit duration max.	2 s		
Um	12 kV		3,6 kV		kV	Sym.short-circuit current	2,2 kA		
Insulation level	LI 75 AC 28		LI 40 AC 10			Operation	CMR		



System 1 - D(-20°)		
Pos.	Voltage	Connect.
1	10500 V	1U - 1V - 1W
2	10250 V	
3	10000 V	
4	9750 V	
5	9500 V	

**ATTENTION!**

Tap.-changer only for de-energized operation

System 2 - d0		
Voltage	Current	Connect.
3300 V	997,2 A	2U - 2V - 2W

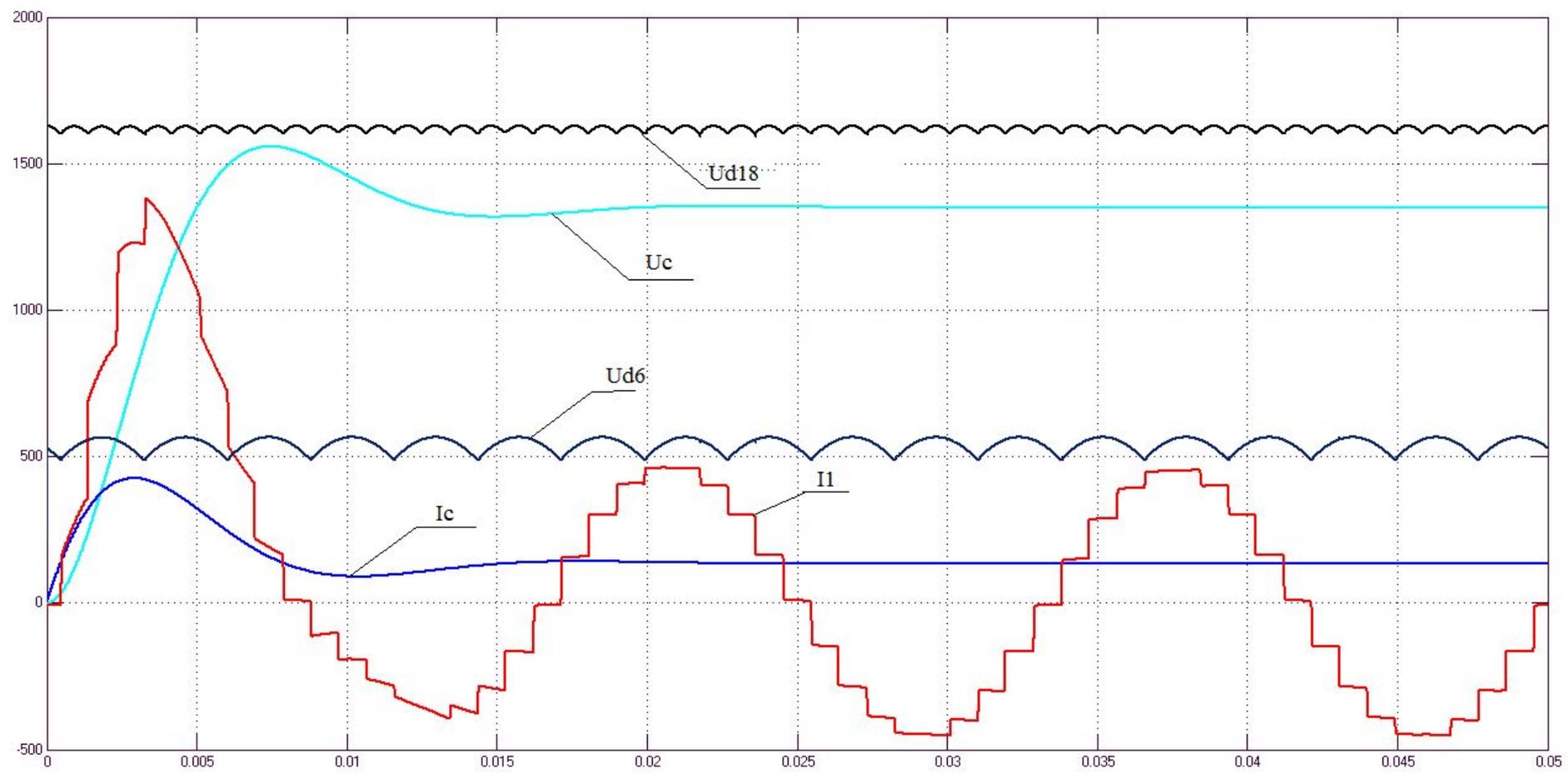


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 18-ти пульсного выпрямителя

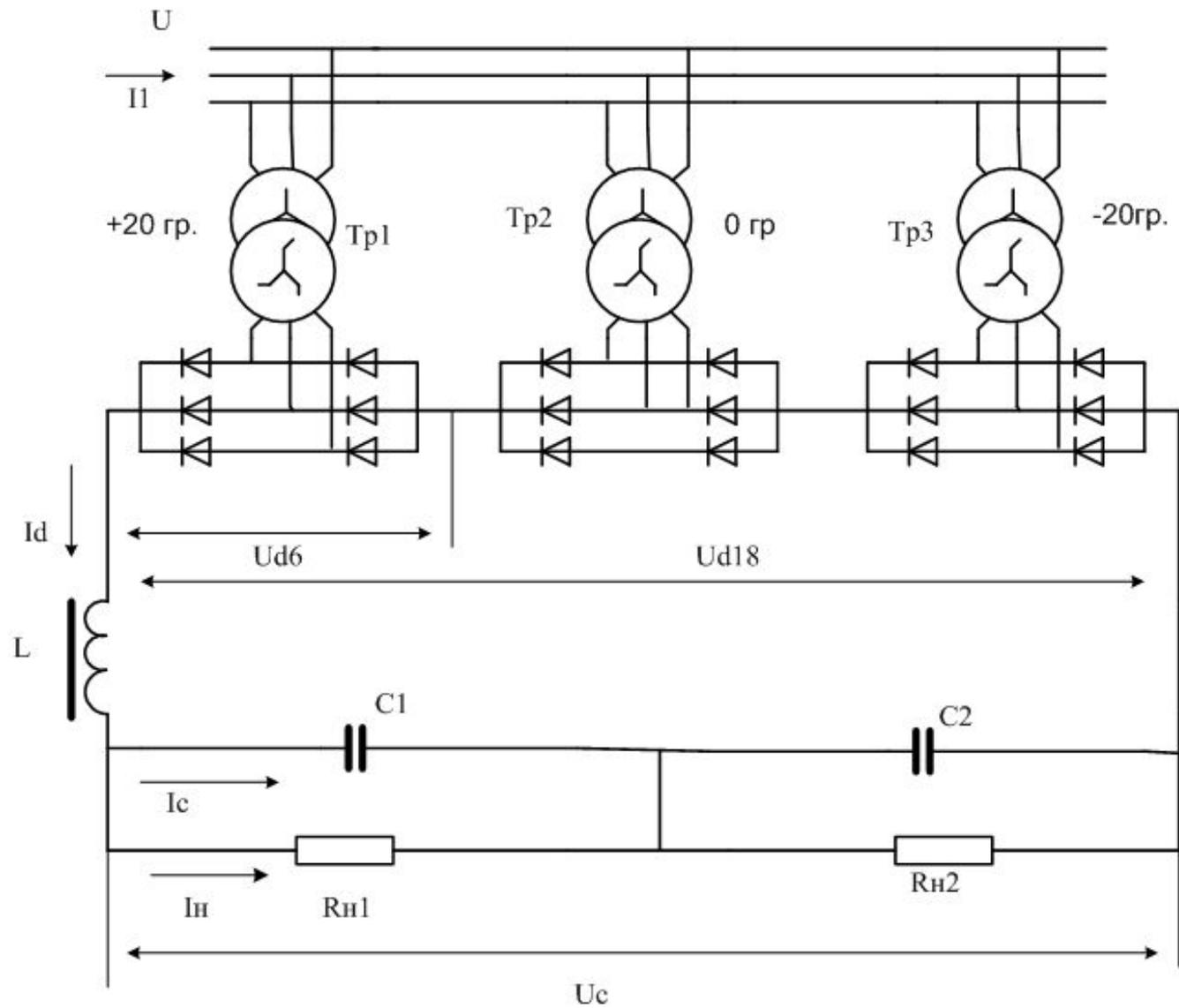


Рис. Силовая схема 18-ти пульсного выпрямителя

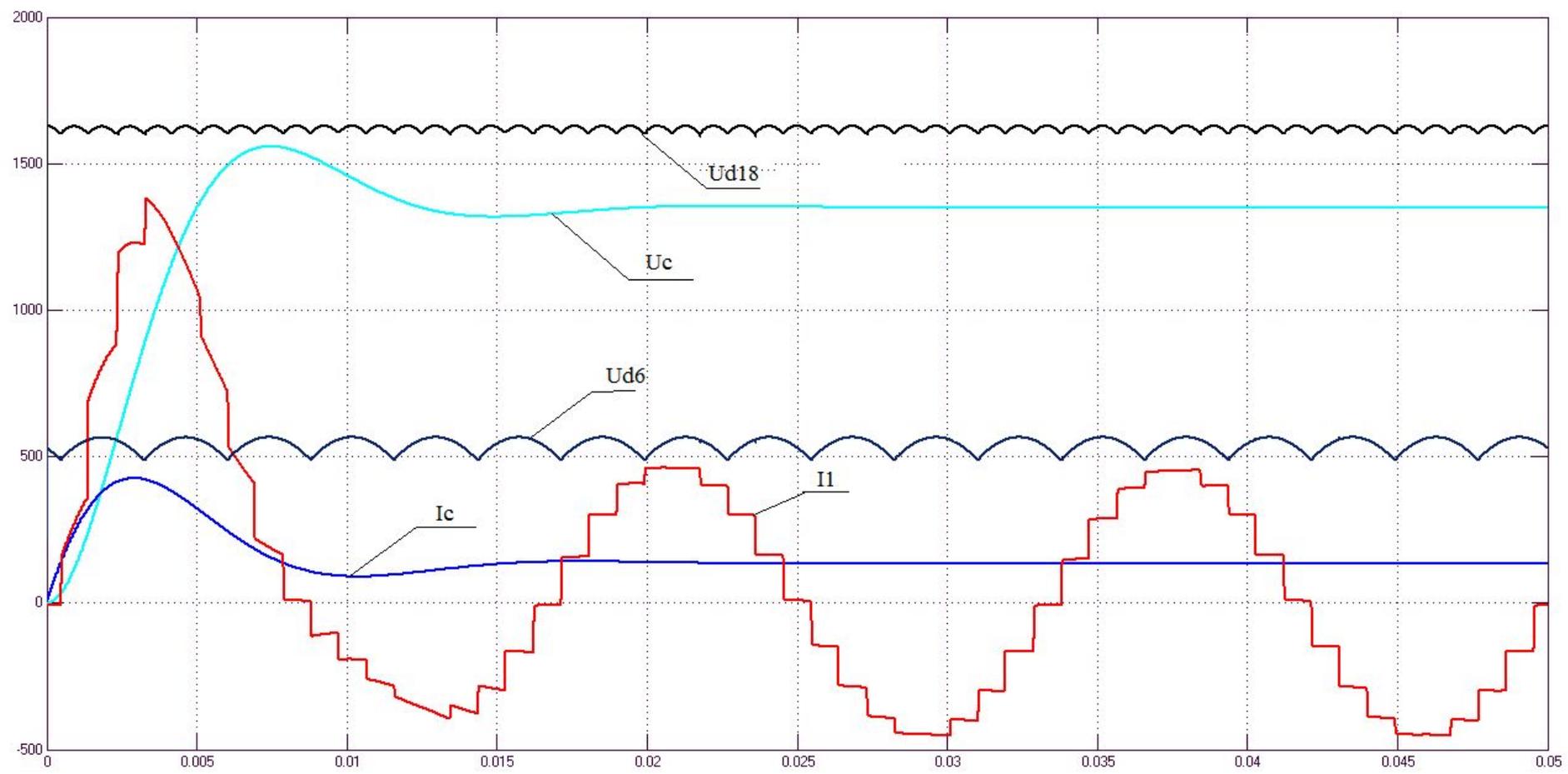


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 18-ти пульсного выпрямителя

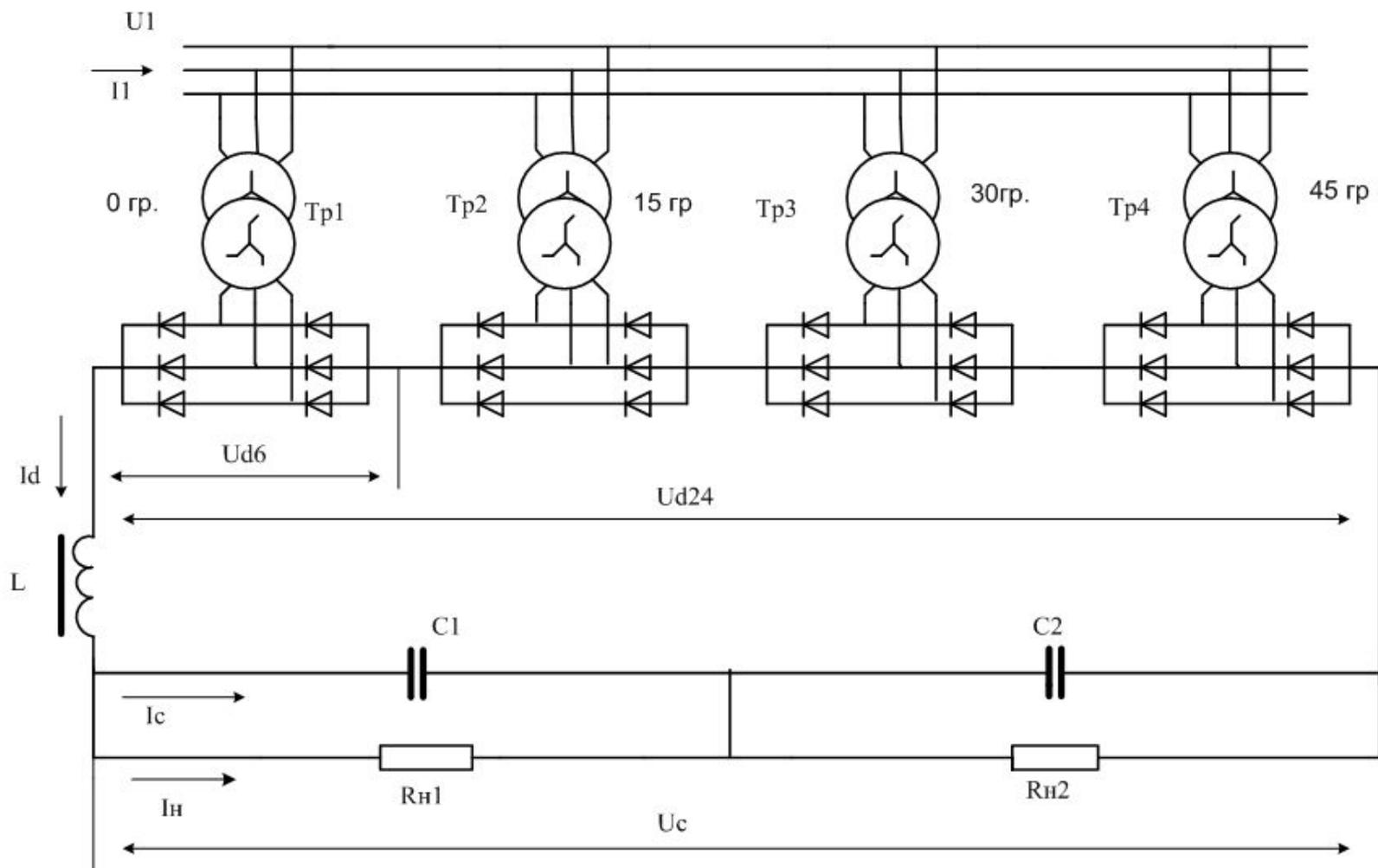


Рис. Силовая схема выпрямителя с числом пульсаций, равным 24

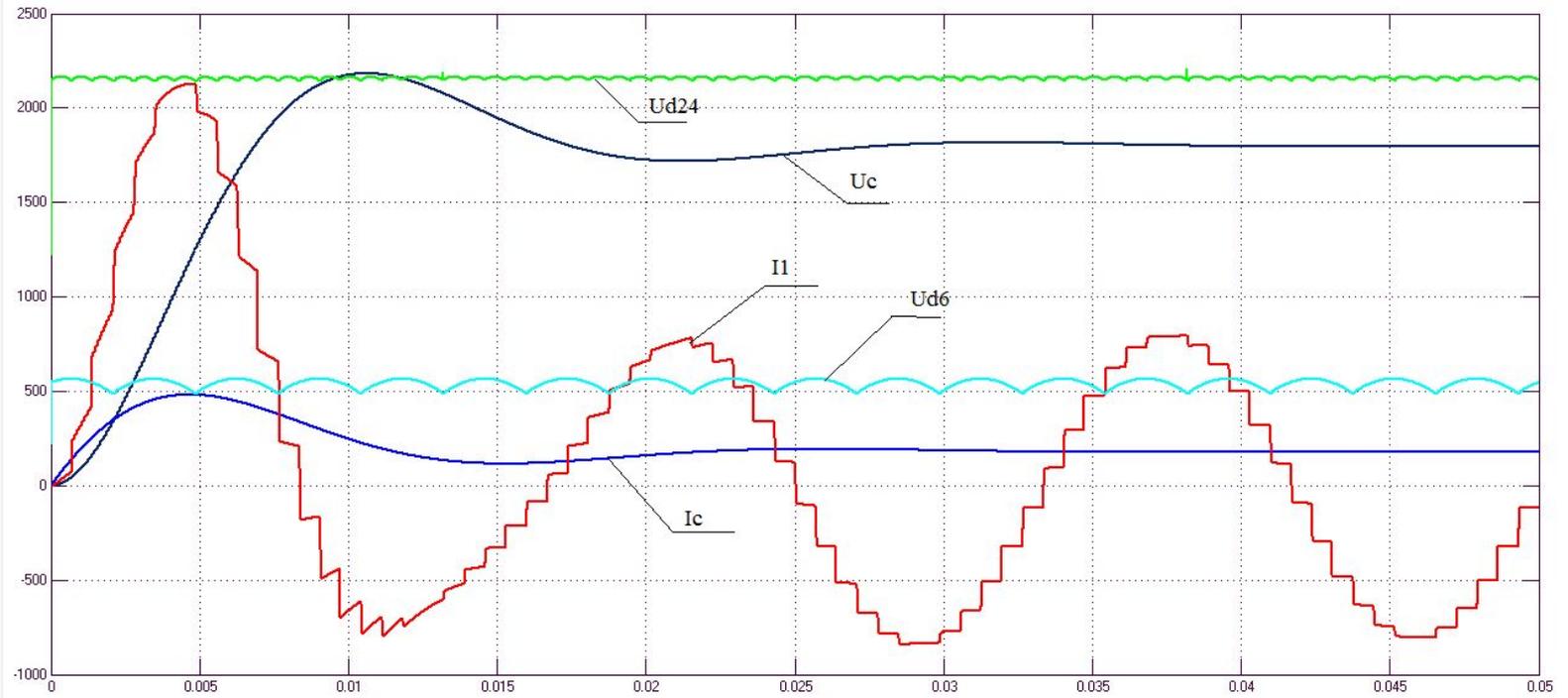
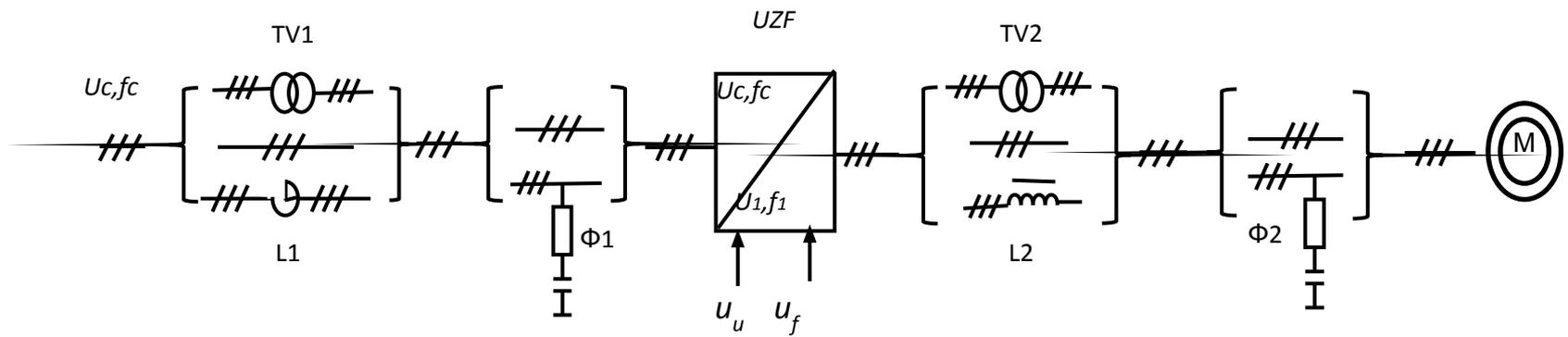


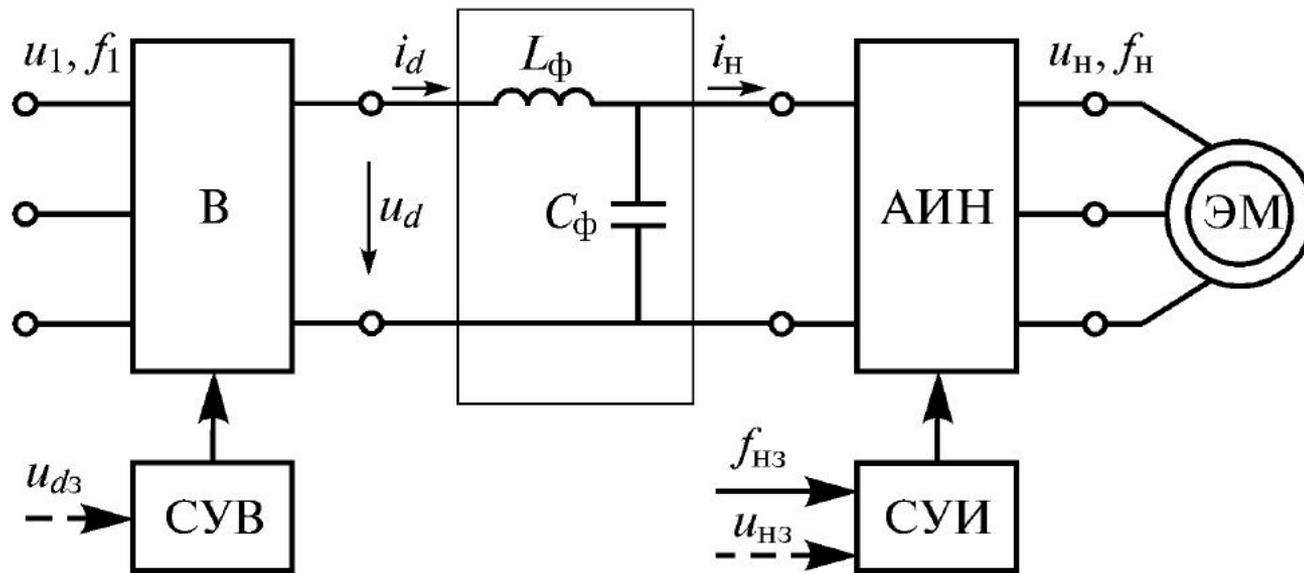
Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 24-ех пульсного выпрямителя



Рис. 1.26. Основные типы силовых преобразователей частоты

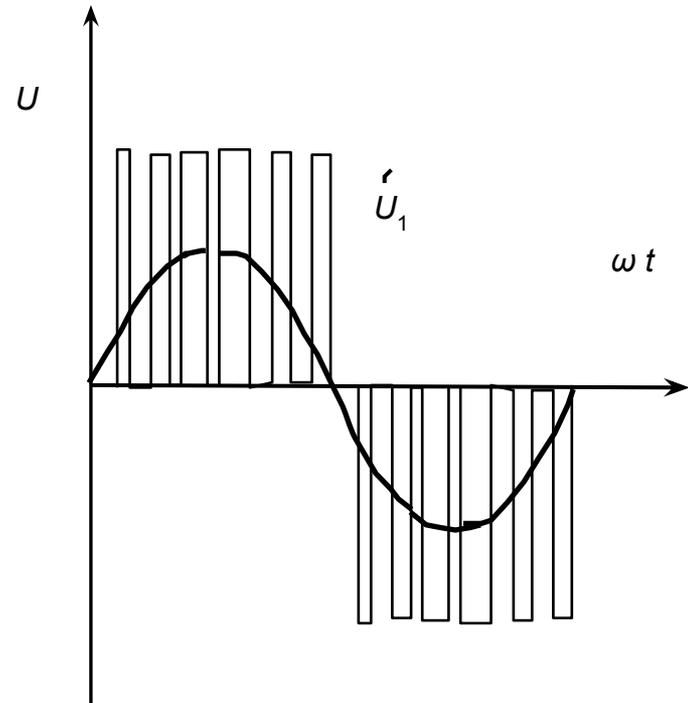
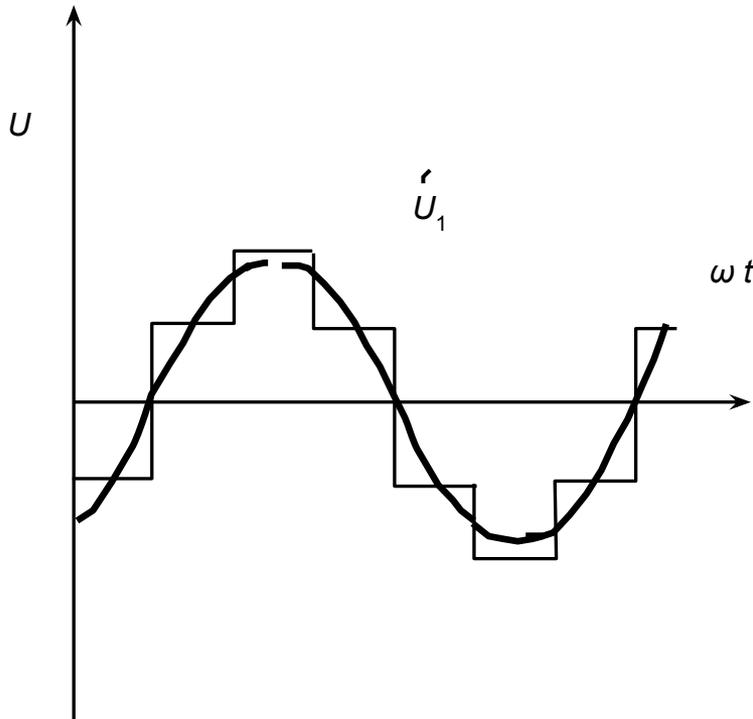


Состав силовой части системы ПЧ-АД



Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты на основе АИН, работающего на двигатель переменного тока (В – выпрямитель;  $\Phi$  – фильтр; АИН – автономный инвертор напряжения; ЭМ – электрическая машина; СУВ, СУИ – системы управления выпрямителем и автономным инвертором. Штриховой линией показаны воздействия и связи, которые могут отсутствовать)

# Амплитудно – импульсная (АИМ) и широтно-импульсная (ШИМ) модуляция



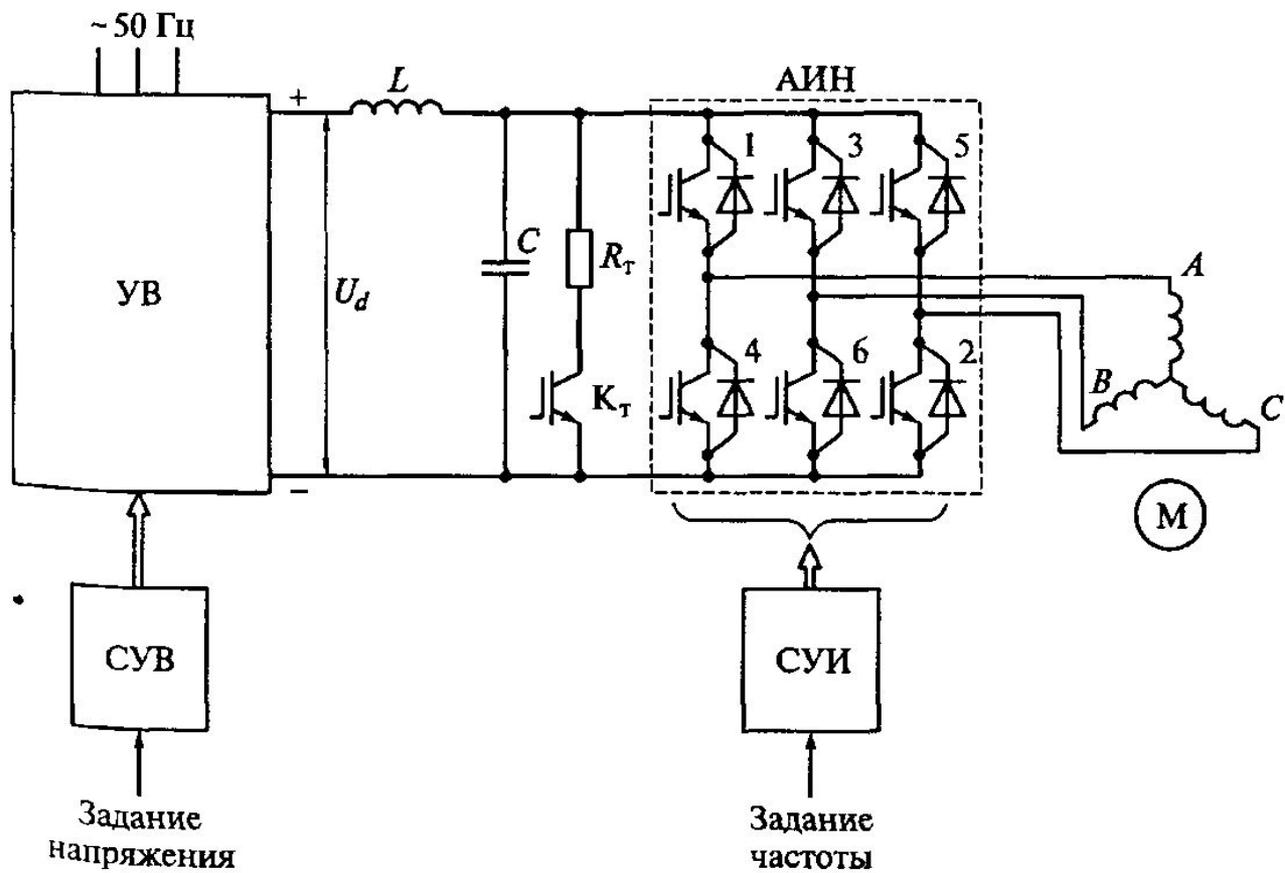
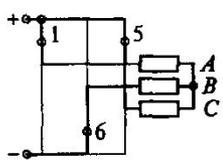
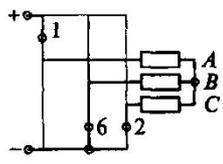


Рис. 4.1. Структура преобразователя частоты со звеном постоянного тока и управляемым выпрямителем

Схемы включения обмоток статора при разных состояниях ключей инвертора и соответствующие значения фазных напряжений

Замкнуты ключи	Схема включения обмоток статора	Фазные напряжения		
		$\frac{u_{1A}}{U_d}$	$\frac{u_{1B}}{U_d}$	$\frac{u_{1C}}{U_d}$
5-6-1		$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$
6-1-2		$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$

80

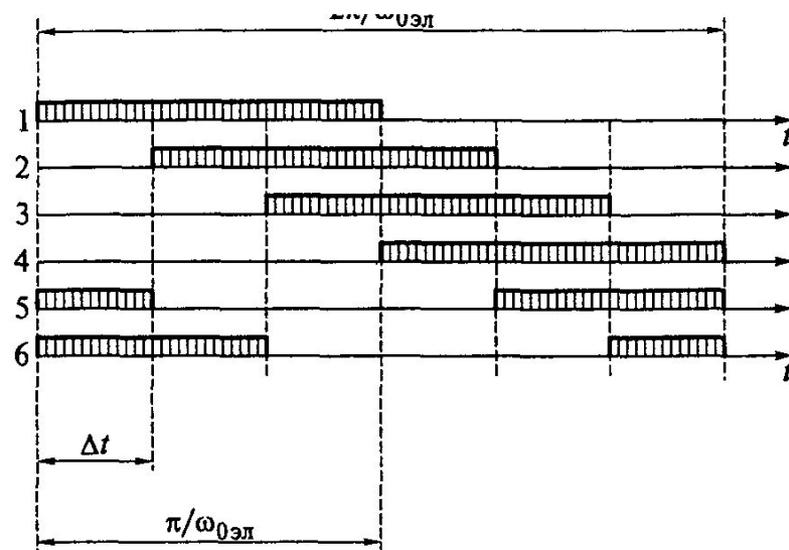


Рис. 4.2. Диаграмма состояний ключей инвертора

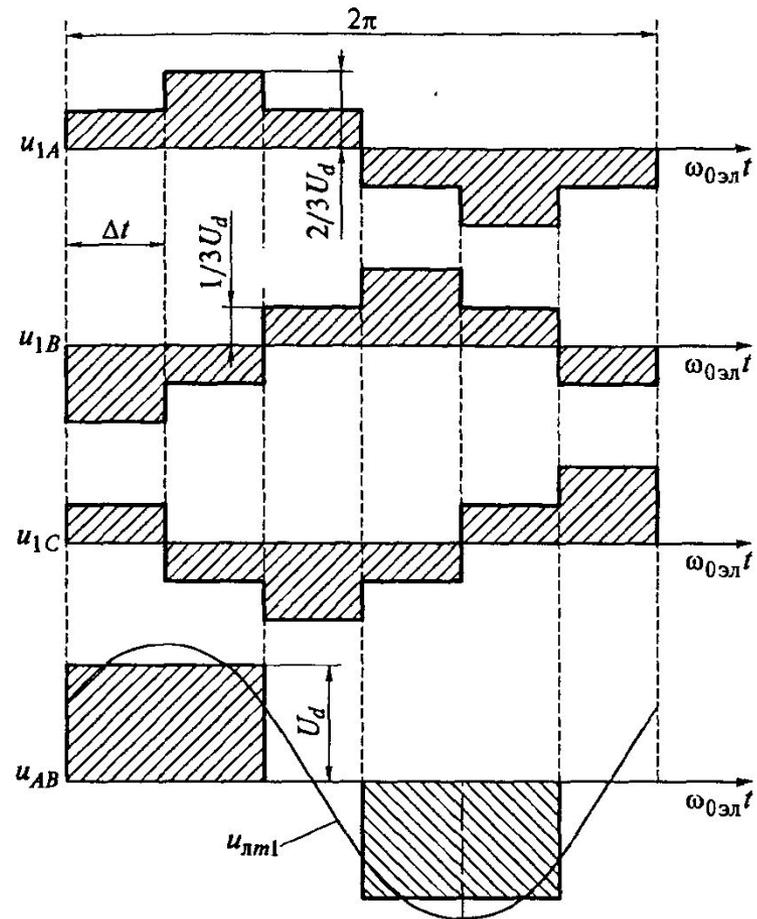


Рис. 4.3. Форма напряжений на выходе инвертора

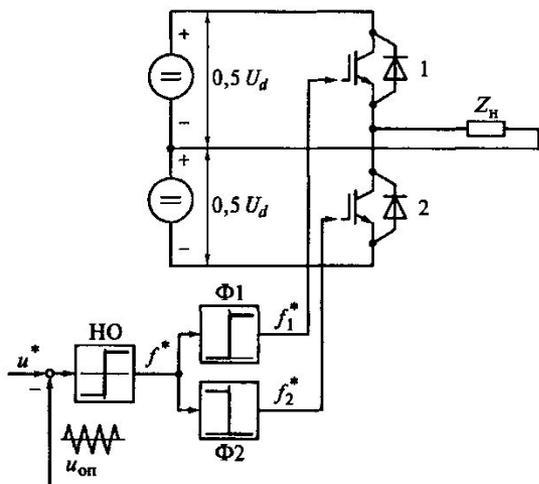


Рис. 4.4. Структура однофазного инвертора с широтно-импульсной модуляцией

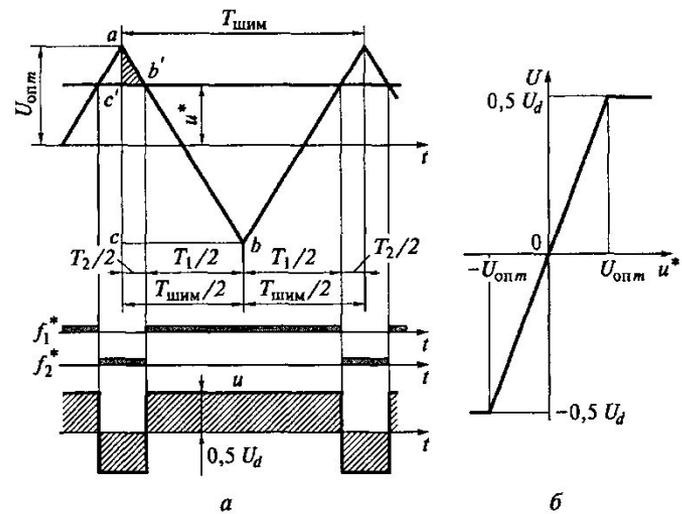


Рис. 4.5. Характеристики передаточного коэффициента инвертора:  
 а — напряжения опорное и задания; б — регулировочная характеристика инвертора

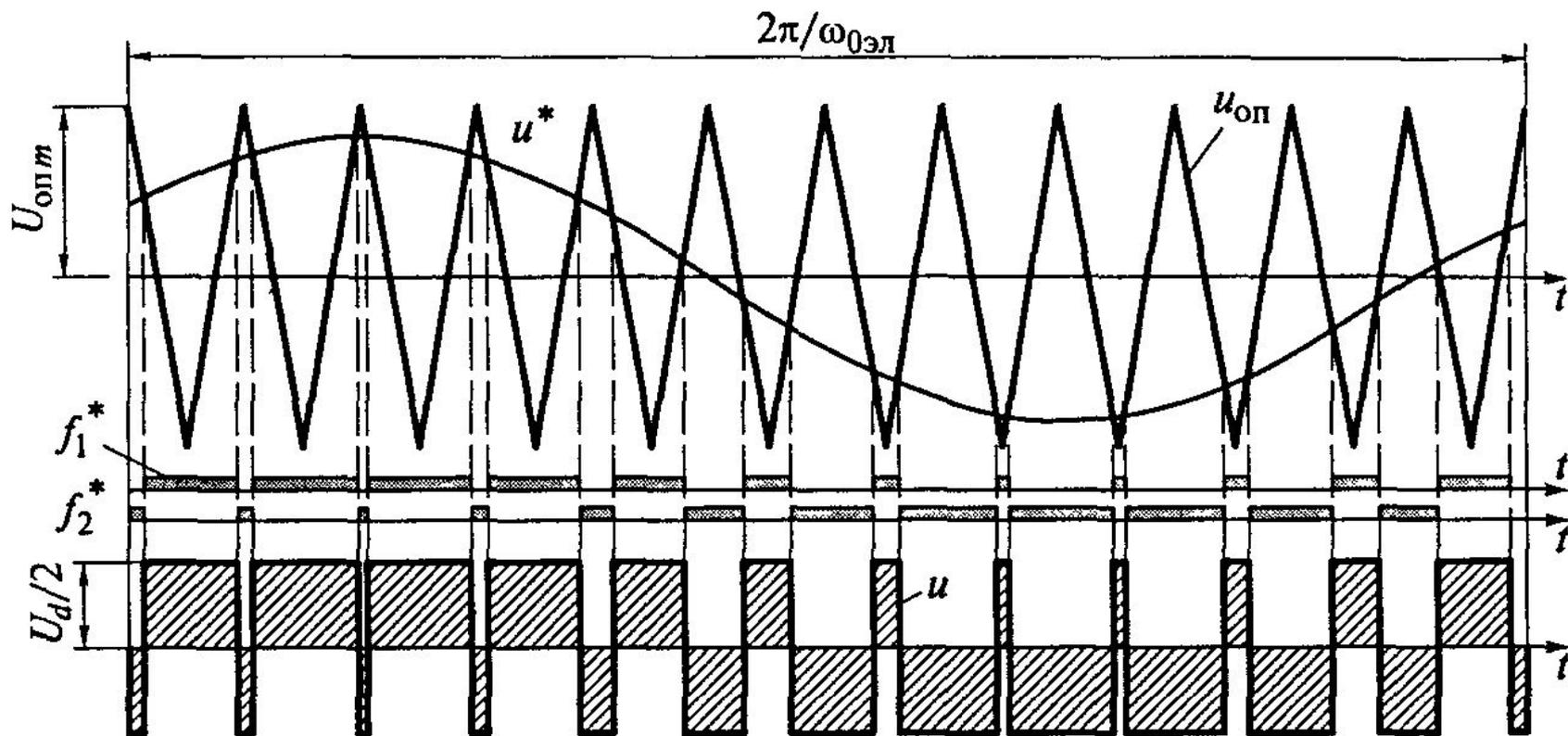


Рис. 4.6. Принцип широтно-импульсной модуляции на примере однофазного инвертора

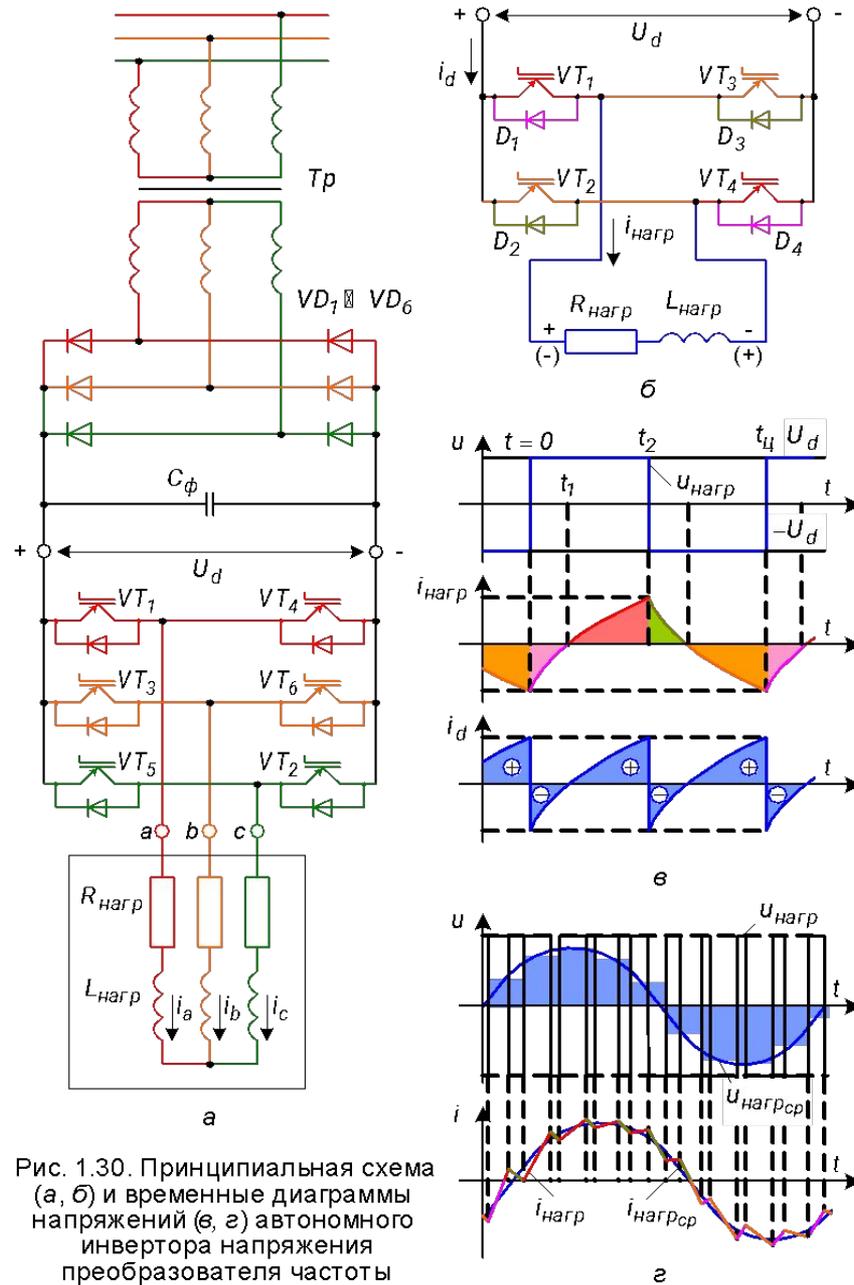


Рис. 1.30. Принципиальная схема (а, б) и временные диаграммы напряжений (в, г) автономного инвертора напряжения преобразователя частоты

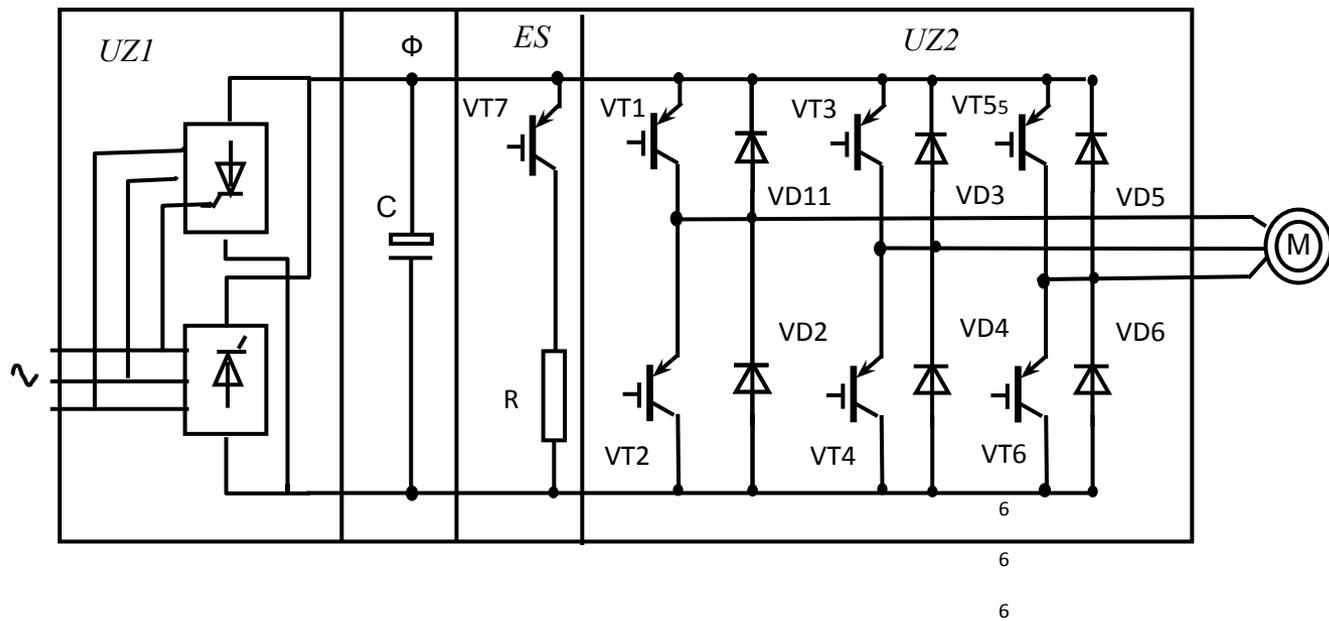
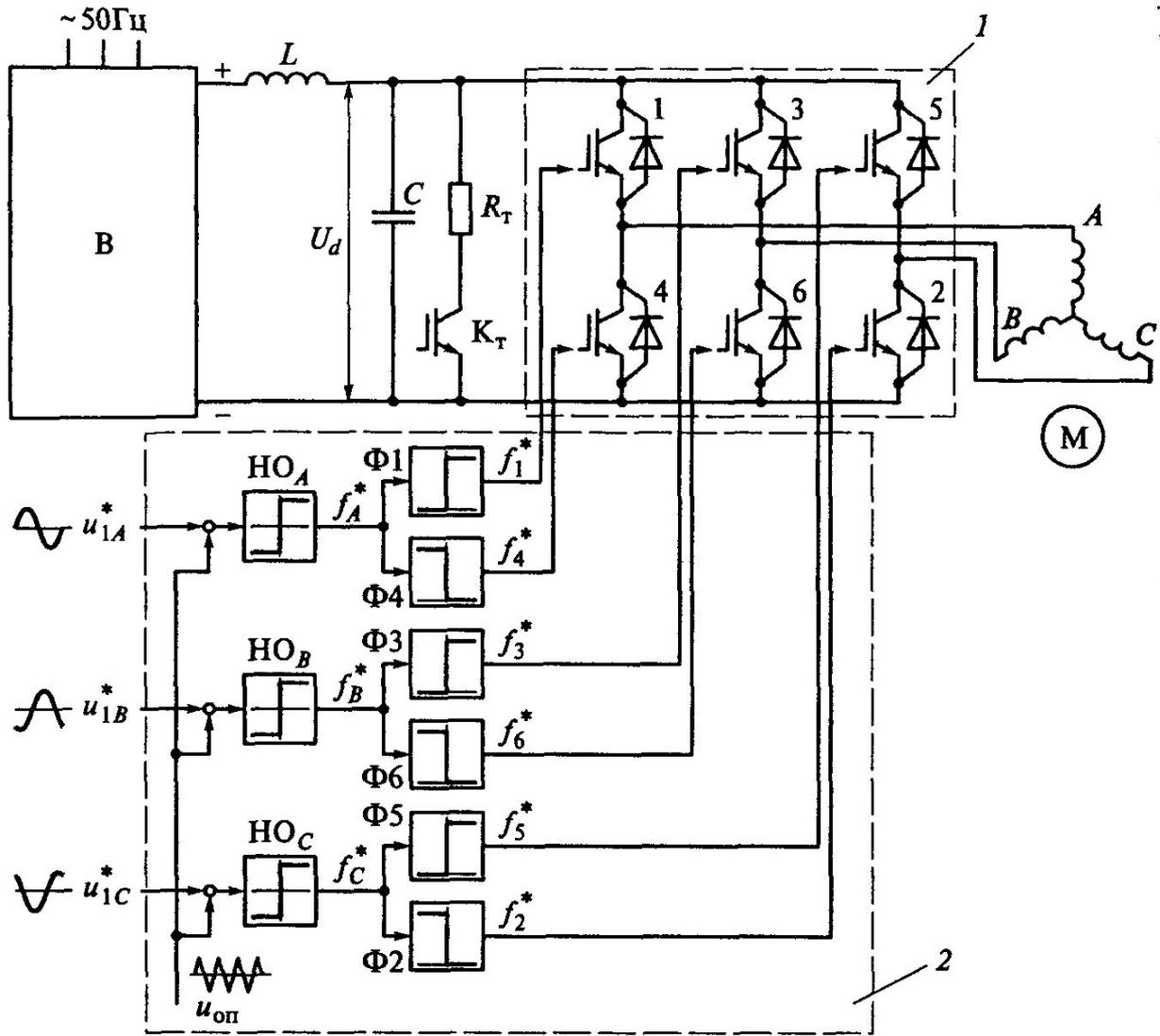
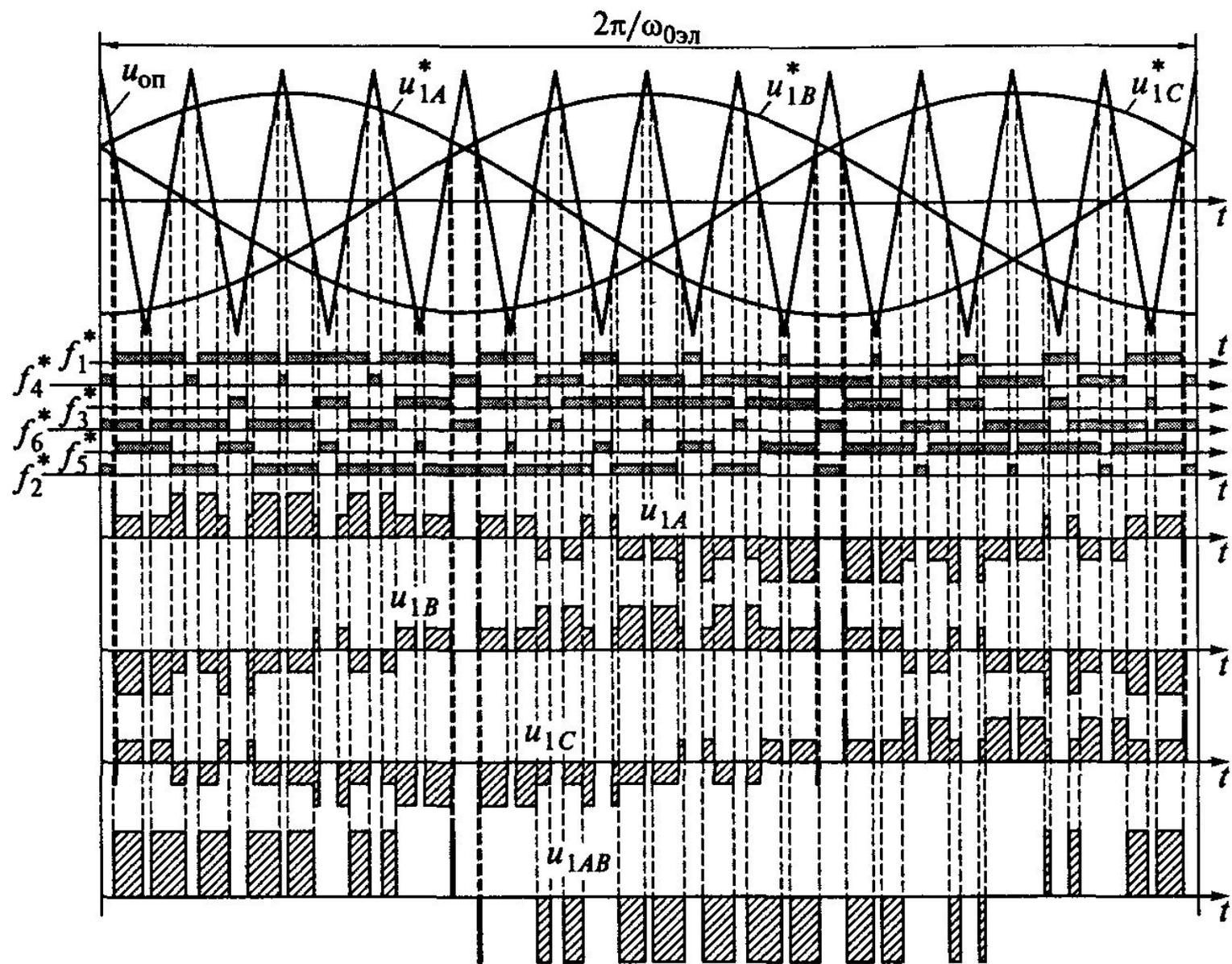
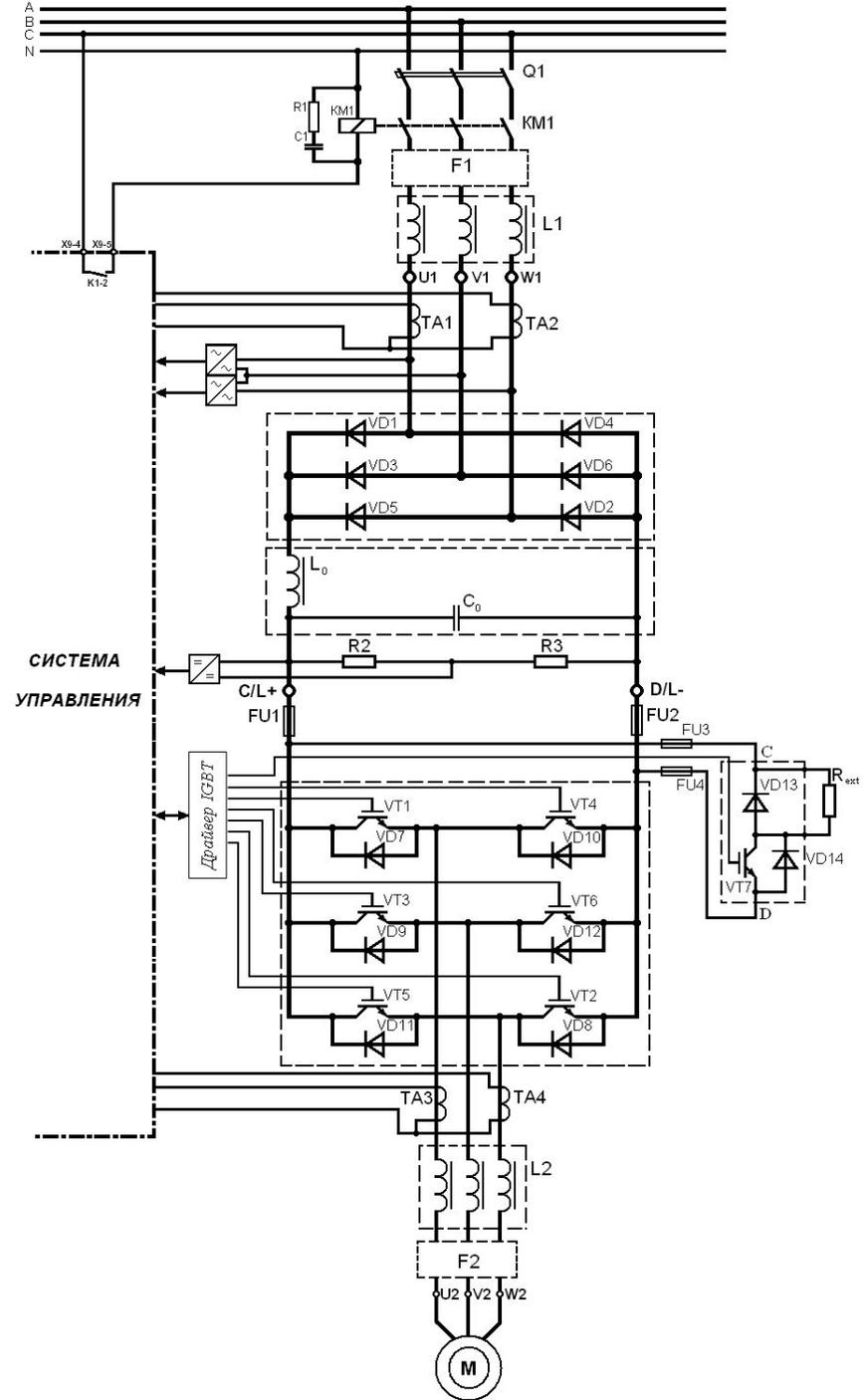


Схема силовой части АИН (а) и диаграммы его выходных напряжений при АИМ (б) и ШИМ (в)



a





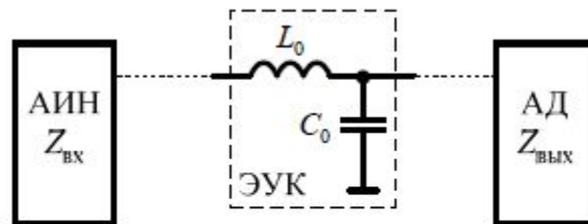


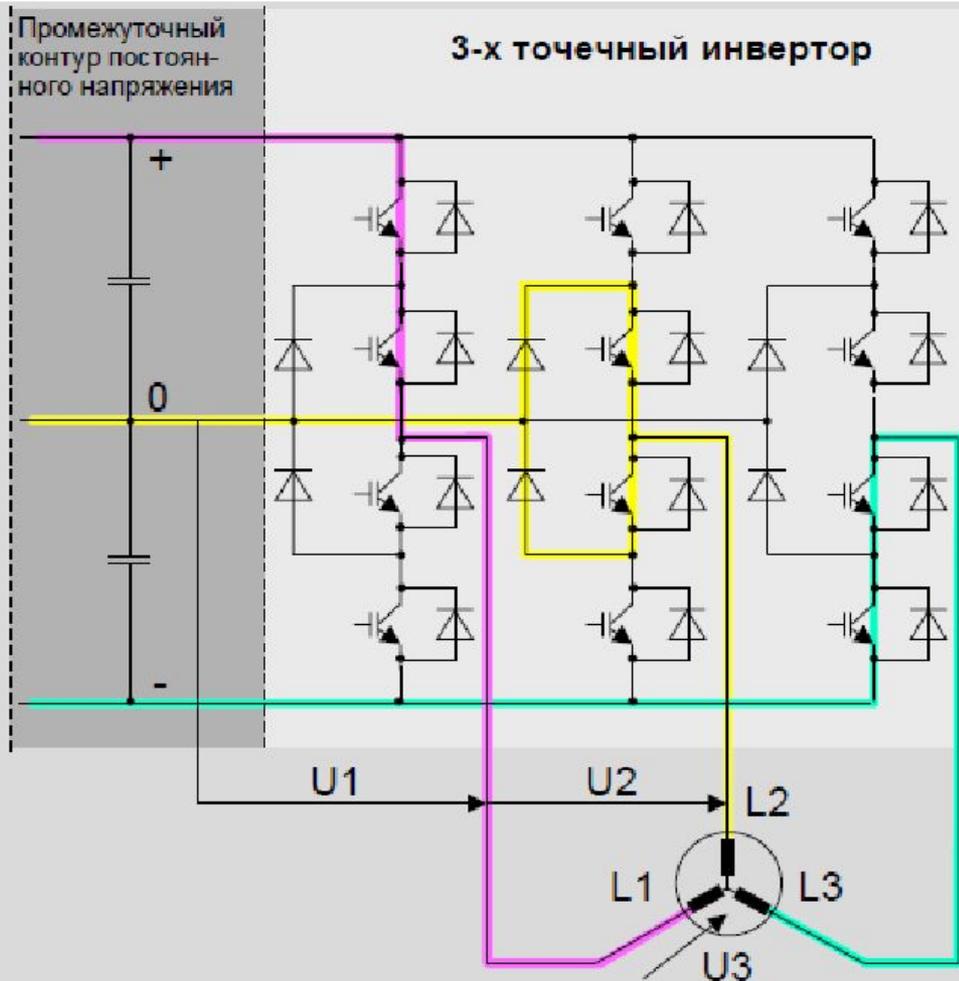
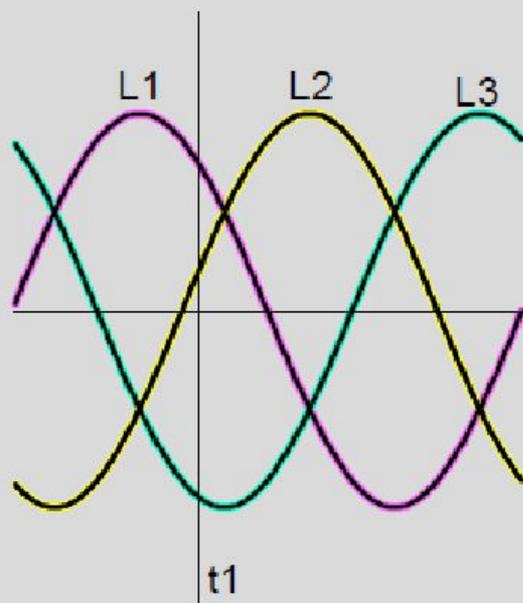
Рис. 15.8. Соединение кабелем одной фазы АИН с АД со схемой замещения элементарного участка кабеля (ЭУК) сопротивлением  $Z_0$



Рис. 15.9. Напряжение на зажимах АД при подключении «длинным кабелем»

# SIMOVERT MV

## 3-х точечный выходной инвертор

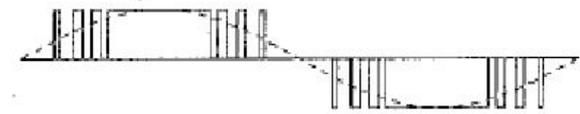
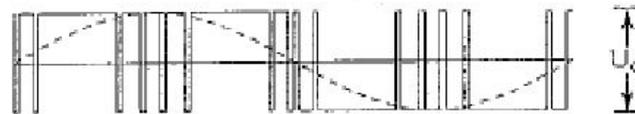


# Сравнение инверторов с 2-х точечным и 3-х точечным контуром постоянного напряжения

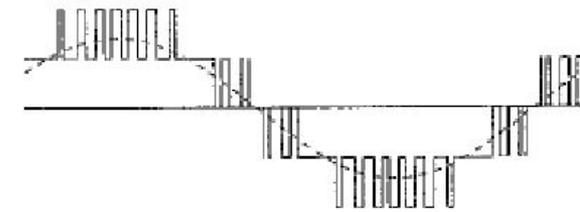
2-х точечный инвертор

3-х точечный инвертор

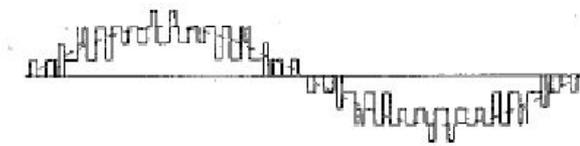
Выходное напряжение 0 против  $U_1$



Напряжение фаза - фаза  $U_2$

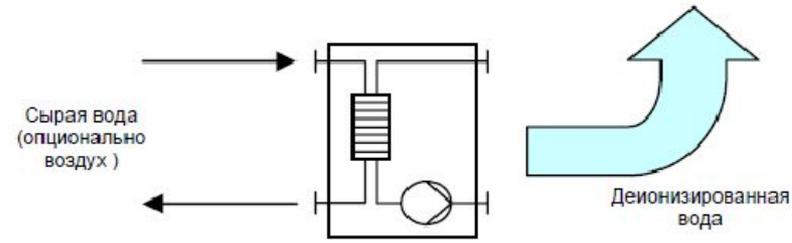
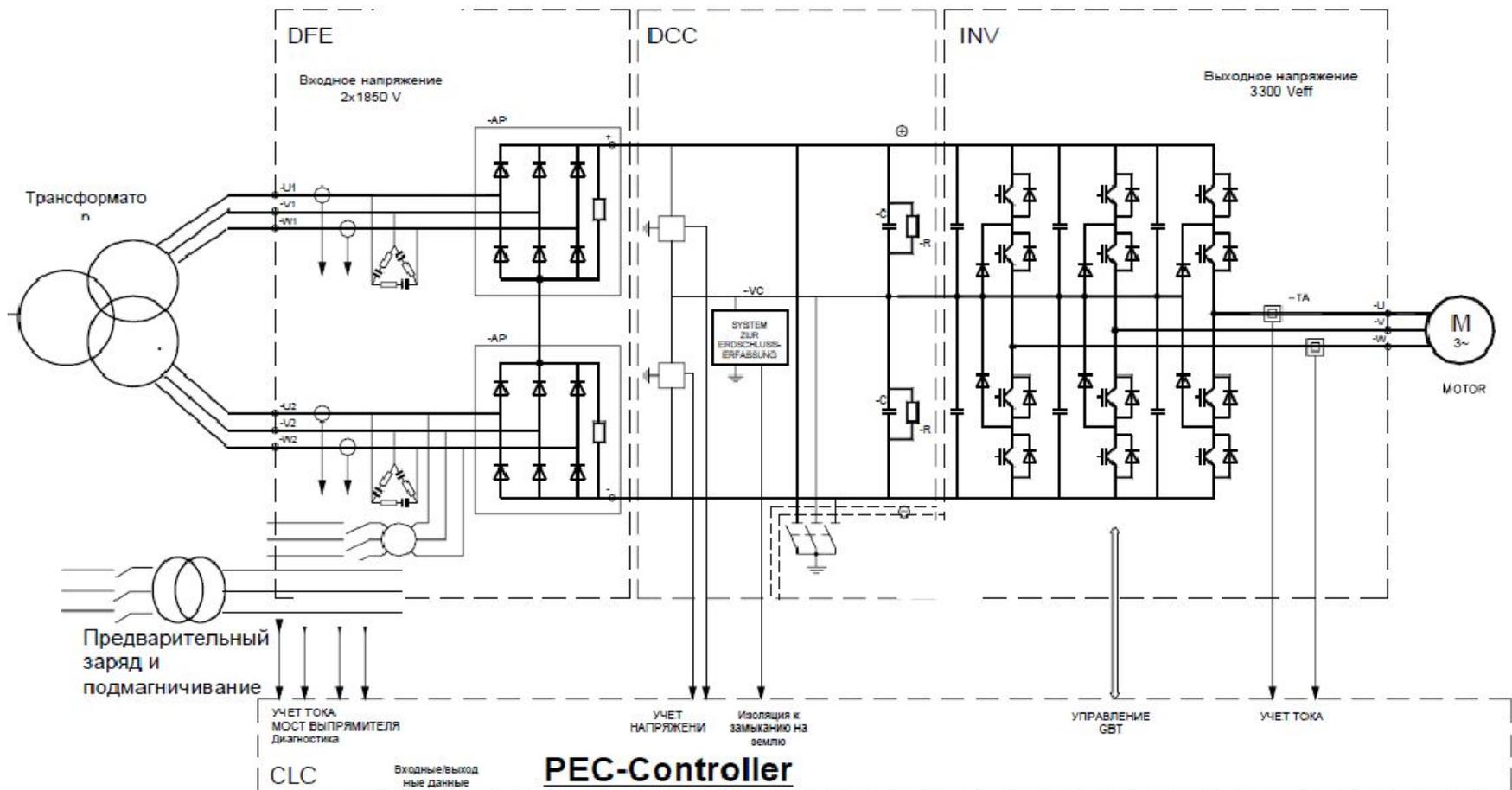


Напряжение на двигателе  $U_3$



Напряжение на преобразователе

## 1.1.2 ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ



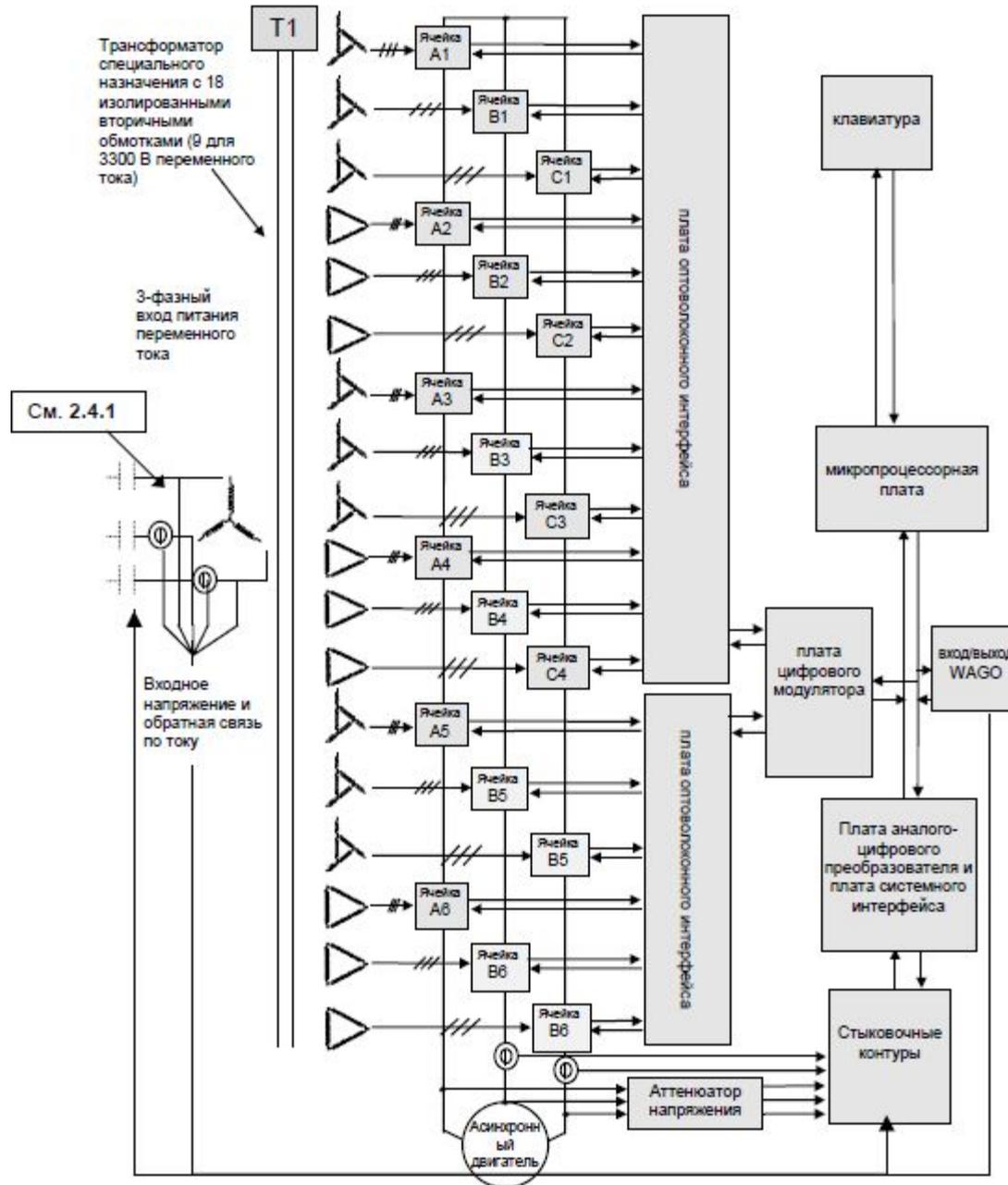
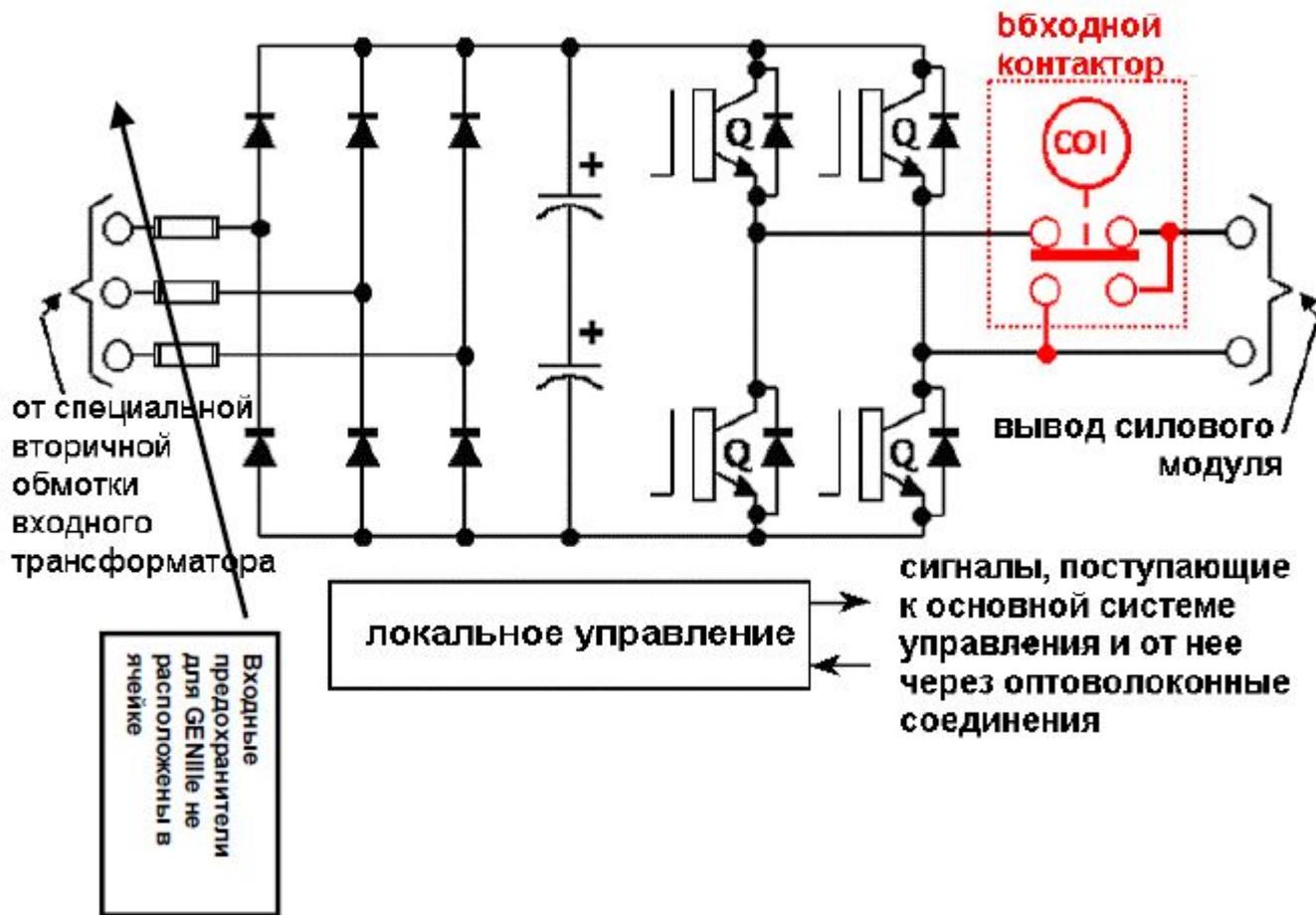


Рисунок 2-14. Типовая силовая цепь Perfect Harmony

Рисунок 2-15. Типовая схема силового ячейки



от специальной  
вторичной  
обмотки  
входного  
трансформатора

Входные  
предохранители  
для GENille не  
расположены в  
ячейке

локальное управление

сигналы, поступающие  
к основной системе  
управления и от нее  
через оптоволоконные  
соединения

входной  
контактор

вывод силового  
модуля

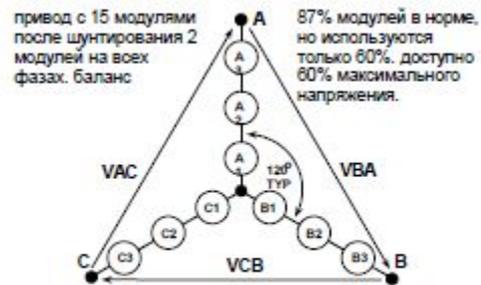


Рис. 5-18. Восстановление баланса на выходе привода с помощью шунтирования функциональных ячеек.



Рис. 5-21. Выход привода после потери 5 ячеек



Рис. 5-19. Восстановление баланса на выходе привода с помощью регулировки углов сдвига фаз (смещение нейтрали)

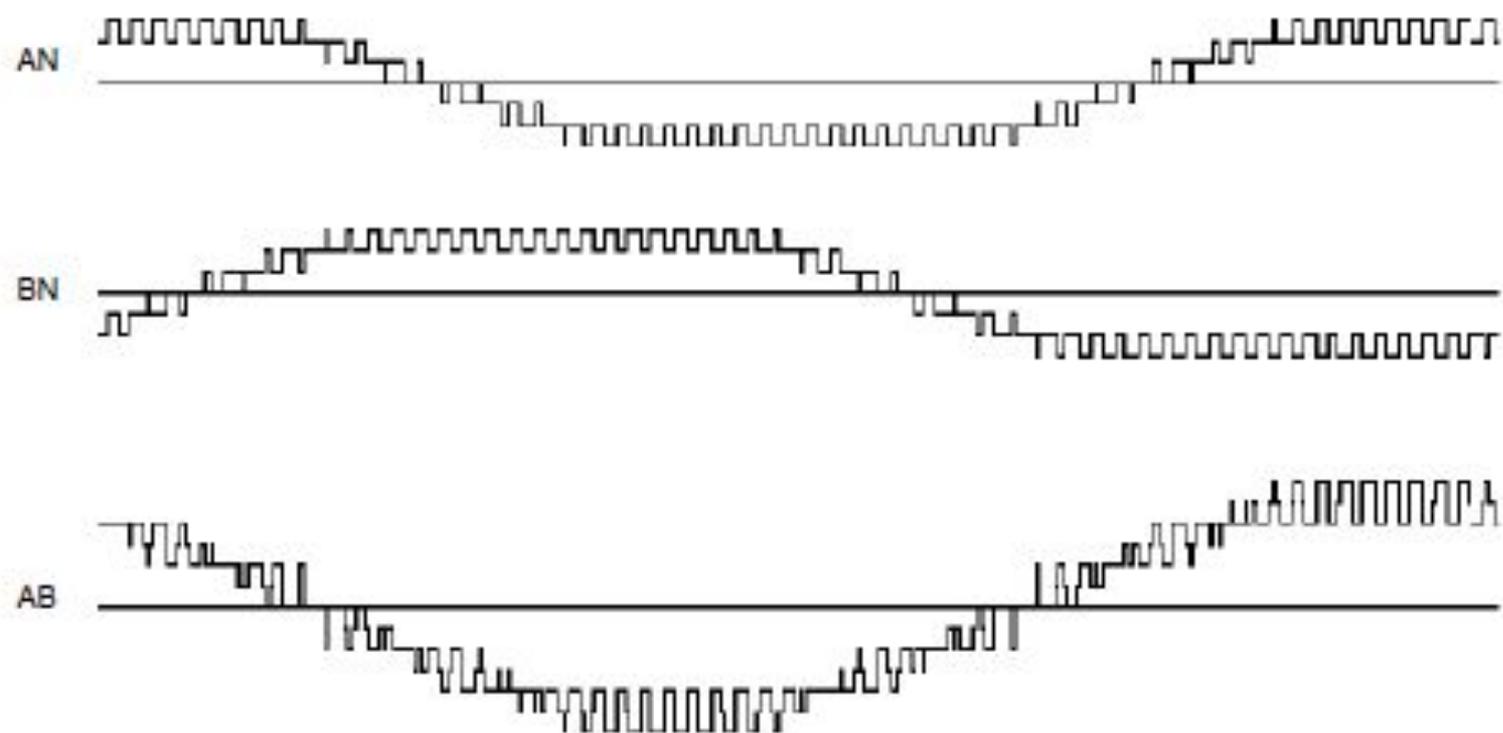


Рис. 6-5. Сигналы для линейного напряжения

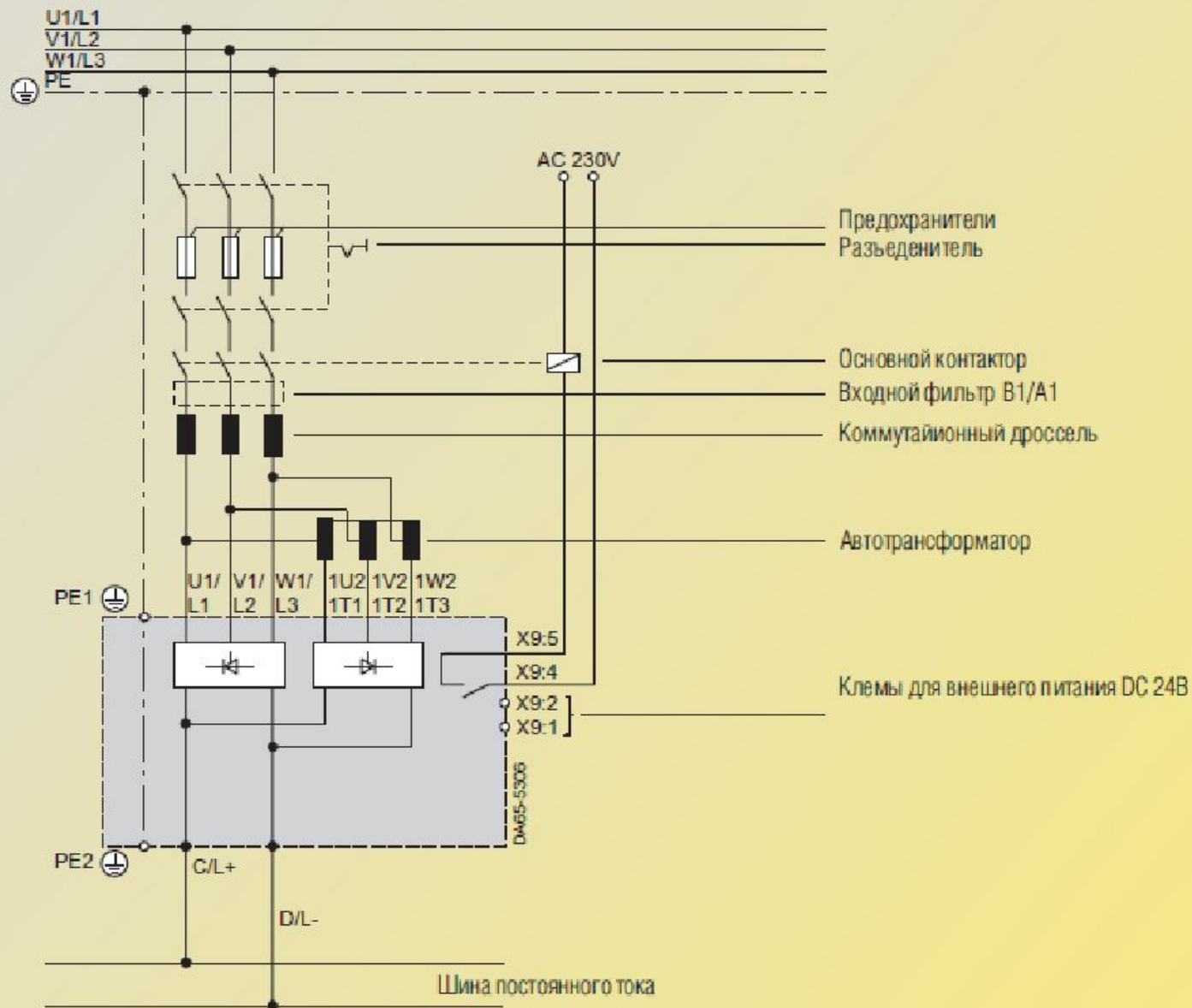


Рис. 6/18  
Схема блока выпрямления/рекуперации.

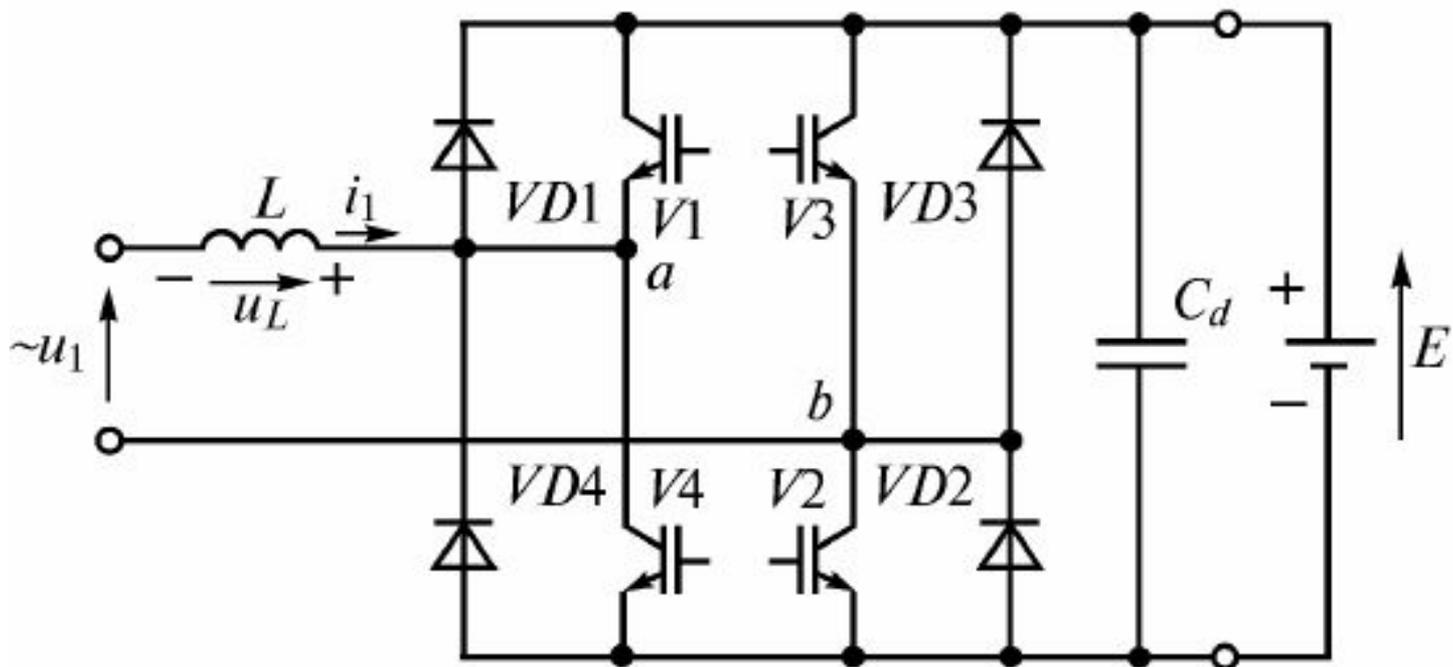


Рис. 12.3. Однофазный мостовой УВН

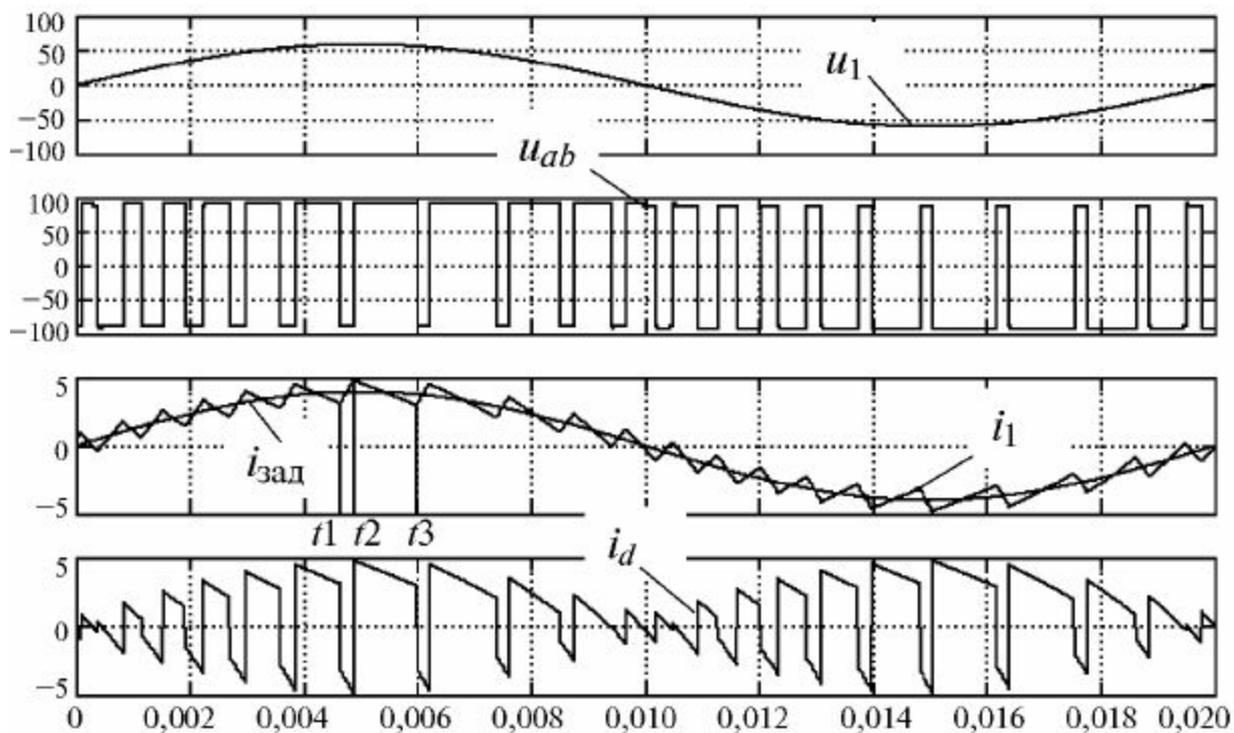
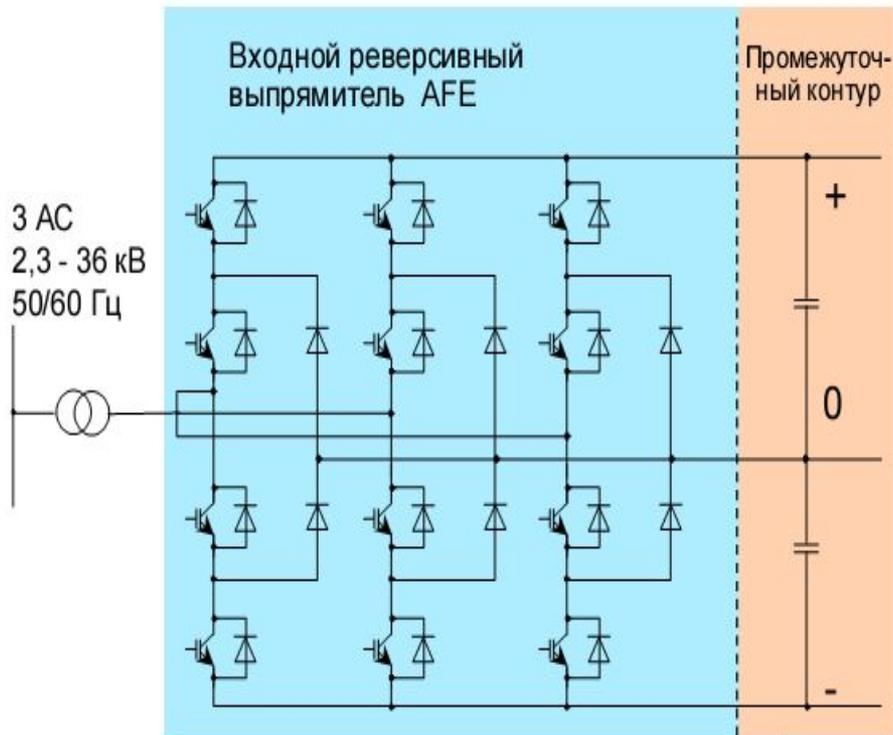


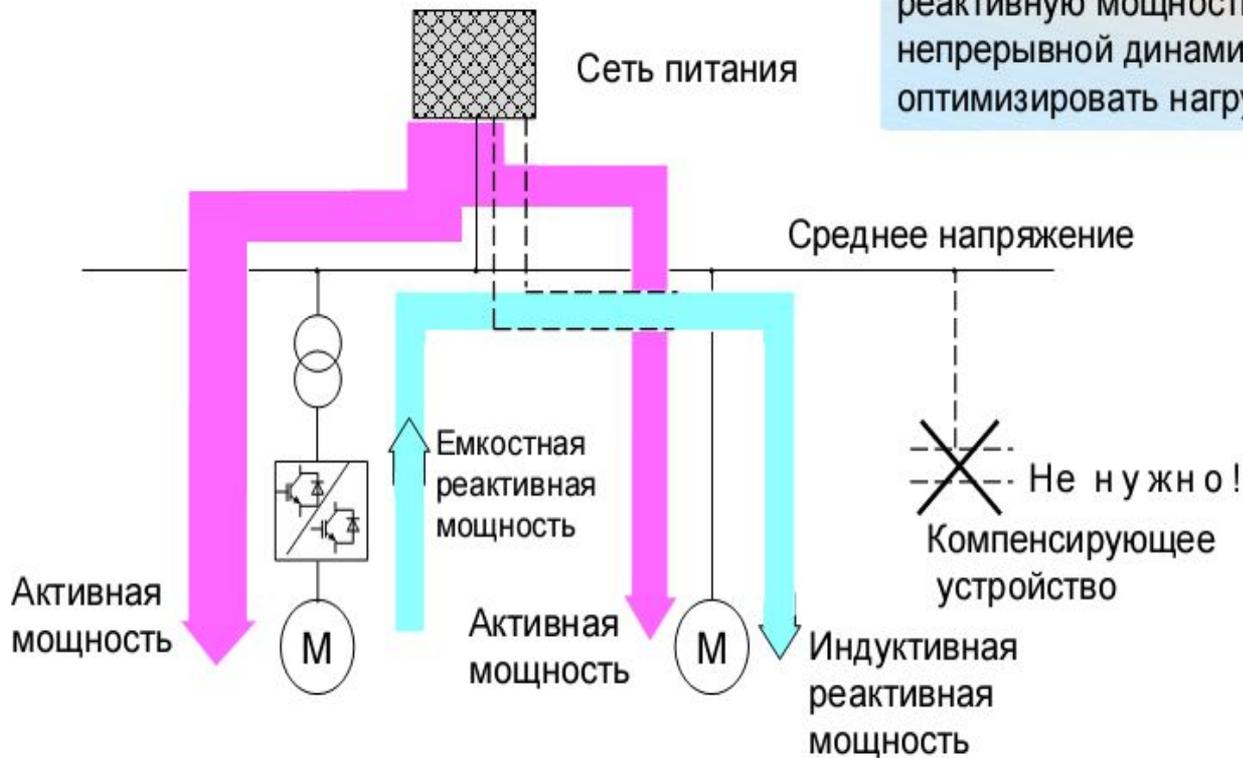
Рис. 12.4. Осциллограммы токов и напряжений в однофазной мостовой схеме при симметричном (а) и несимметричном (б) управлении

# Реверсивный выпрямитель AFE - есть только преимущества



- ▶ Динамическая компенсация реактивной мощности
- ▶ Для работы с нестабильными и слабыми сетями
- ▶ Высокая динамика управления
- ▶ Регенеративное торможение (привод в 4-х квадрантах)

Реверсивный выпрямитель AFE компенсирует реактивную мощность других потребителей в непрерывной динамике, что позволяет оптимизировать нагрузку сети.



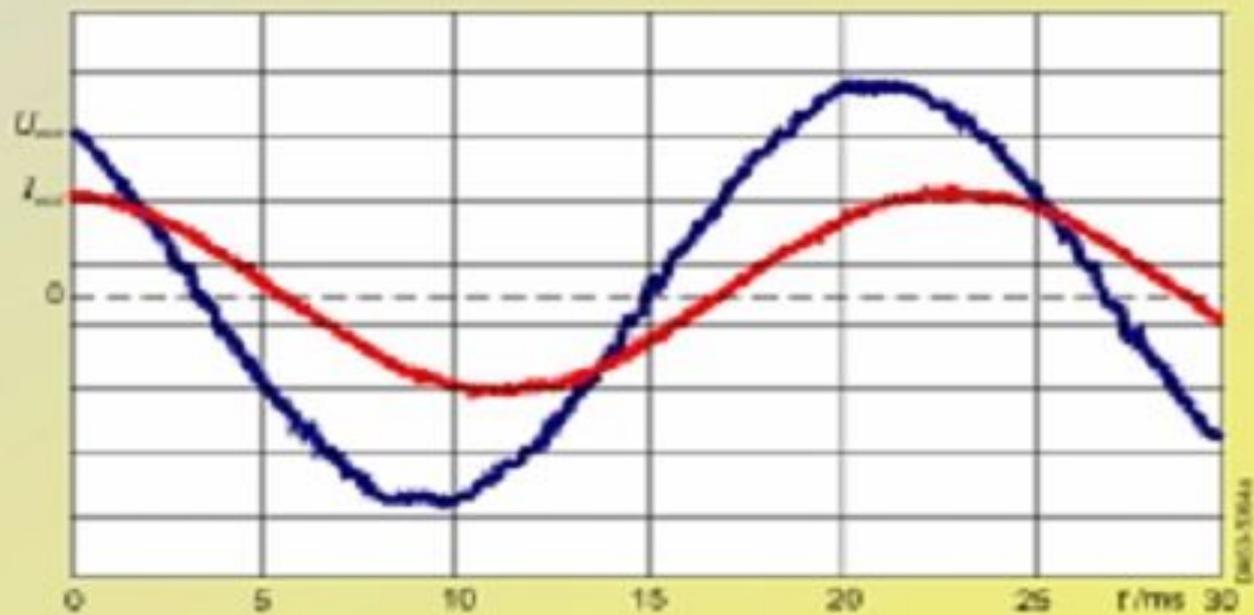


Рис. 3/3  
Выходной ток и выходное напряжение SIMOVERT MV для 6,0 и 6,6 кВ.

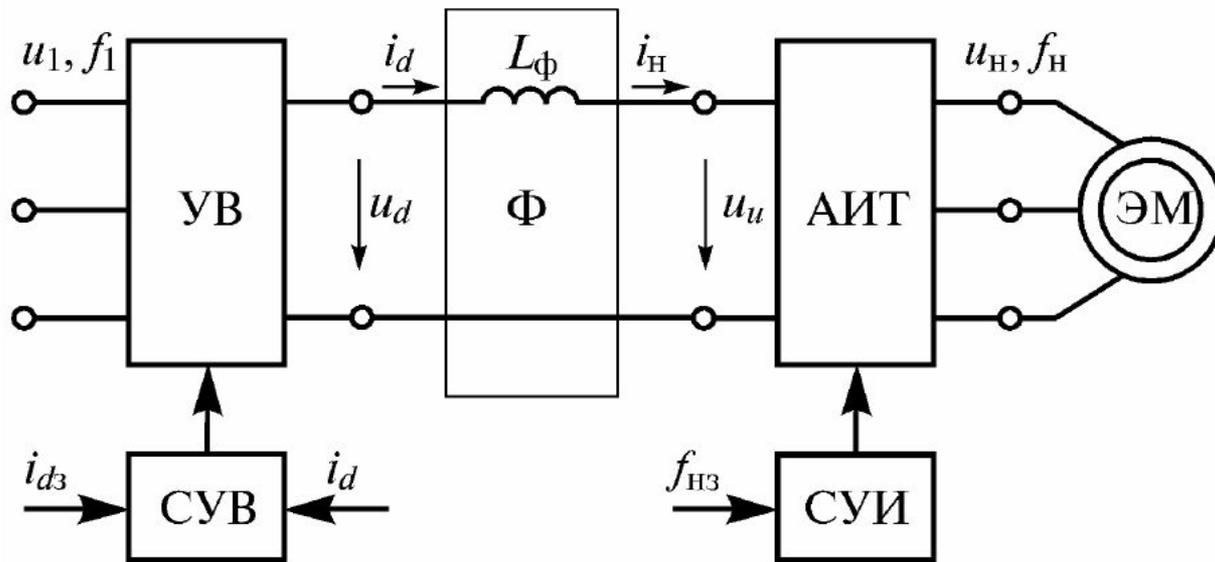


Рис. 13.2. Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты на основе АИТ, работающего на двигатель переменного тока (УВ – управляемый выпрямитель;  $\Phi$  – фильтр; АИТ – автономный инвертор тока; ЭМ – электрическая машина; СУВ, СУИ – системы управления выпрямителем и автономным инвертором)

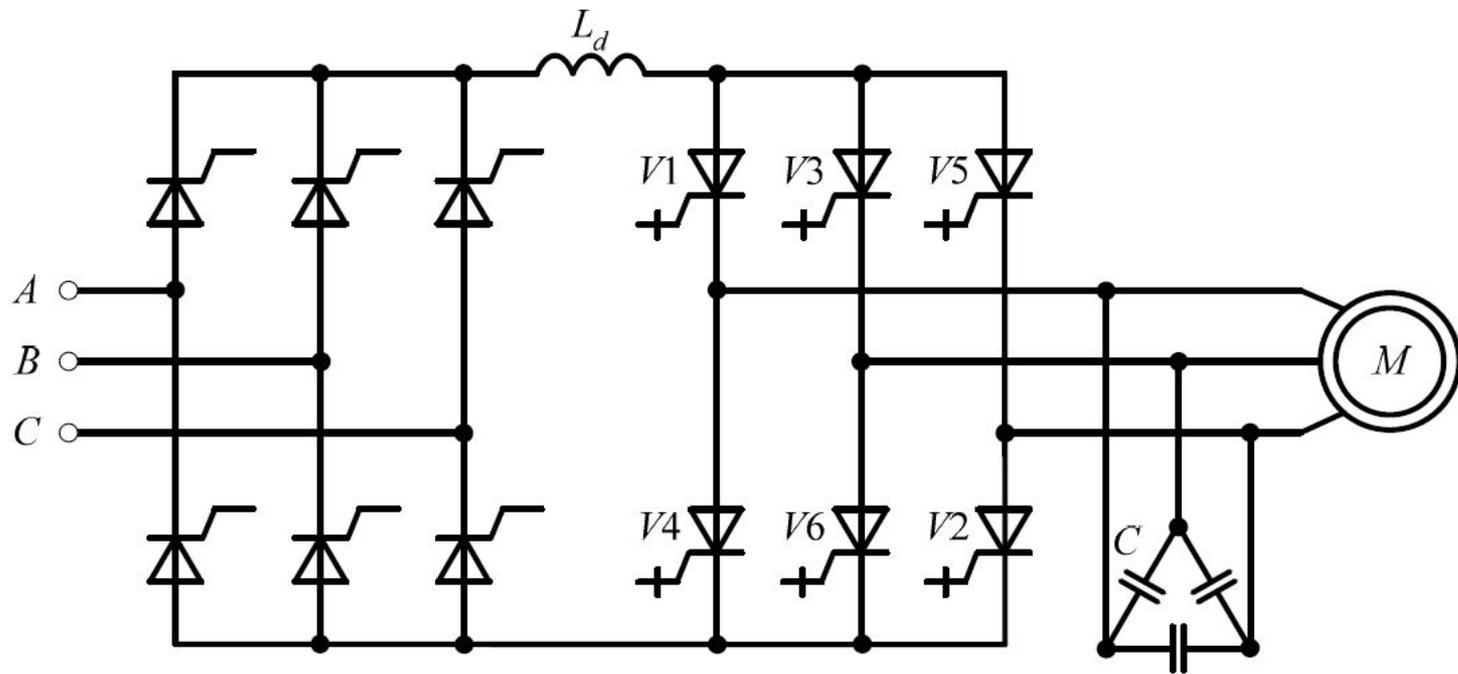


Рис. 13.8. ДПЧ на основе АИТ, выполненного на запираемых тиристорах

## Достоинства ПЧ с АИ

Высокий диапазон выходного напряжения

АИН – 0-1500 Гц

АИТ 0 – (100-125)Гц

Низкий уровень гармонических составляющих напряжения или тока статора и тока из сети

Высокий коэффициент мощности (0,95-0,98) в ПЧ с неуправляемым выпрямителем

Относительно небольшое число силовых ключей, нет необходимости синхронизации с сетью

Для АИТ возможность рекуперации энергии в сеть, устойчивость к режиму КЗ

## Недостатки ПЧ с АИ

Двукратное преобразование энергии

(КПД = 0,94- 0,96)

Для АИН отсутствие рекуперации энергии в сеть, большие габариты конденсатора

Для АИТ невозможность работы на групповую нагрузку, значительные габариты реактора фильтра, наличие коммутационных перенапряжений на силовых ключах, более низкий коэффициент мощности, чем в АИН.

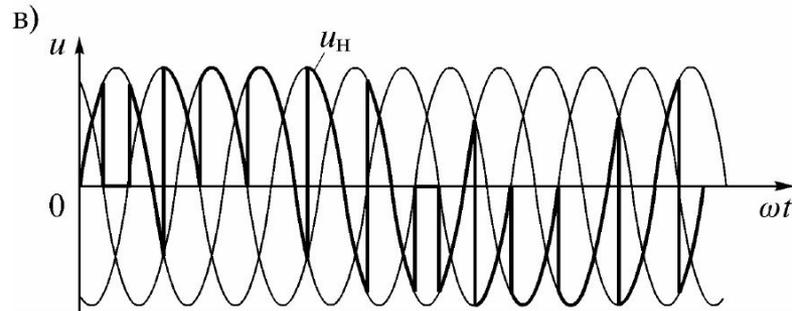
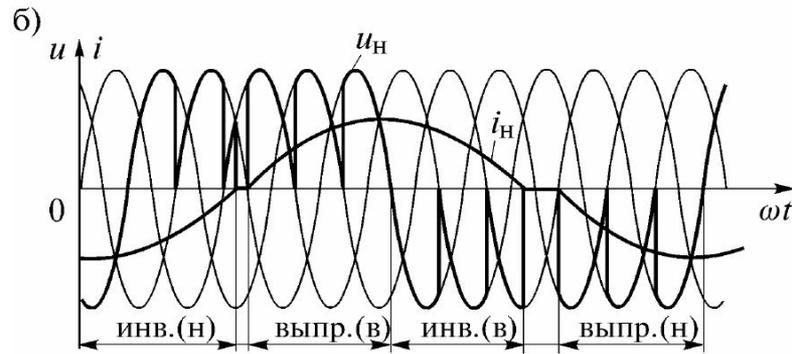
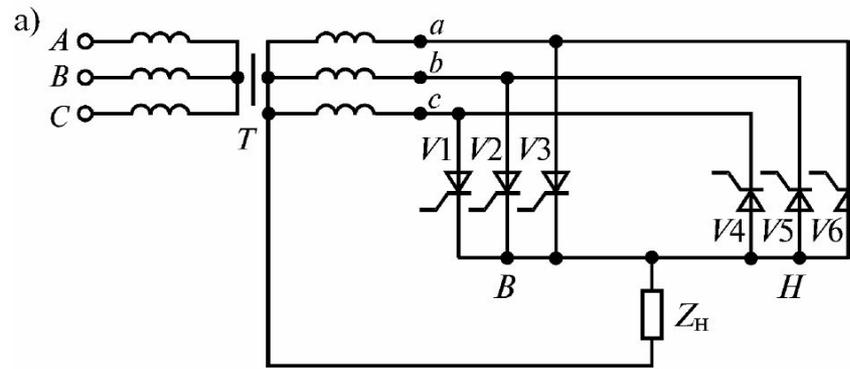


Рис. 13.11. Схема трехфазно-однофазного НПЧ (а), диаграммы напряжения и тока нагрузки при прямоугольном управлении (б) и диаграммы напряжения на нагрузке при синусоидальном управлении (в)

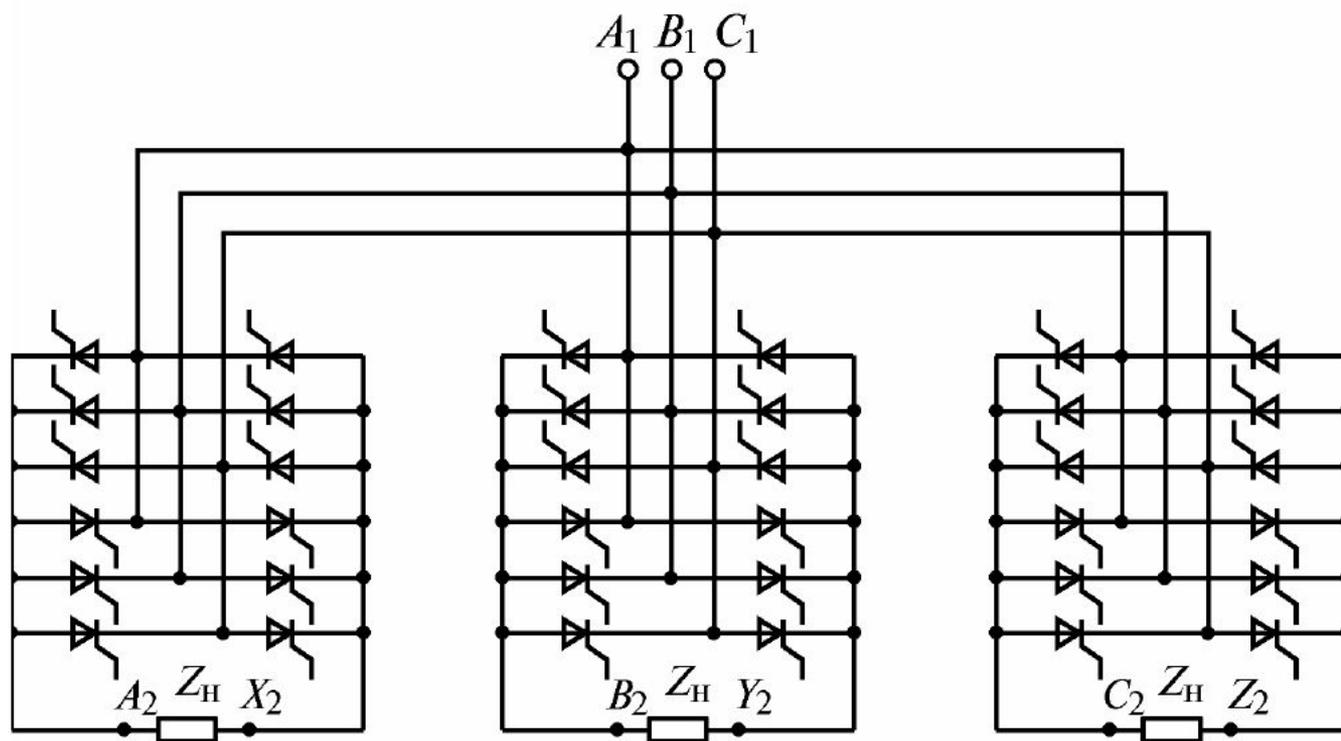
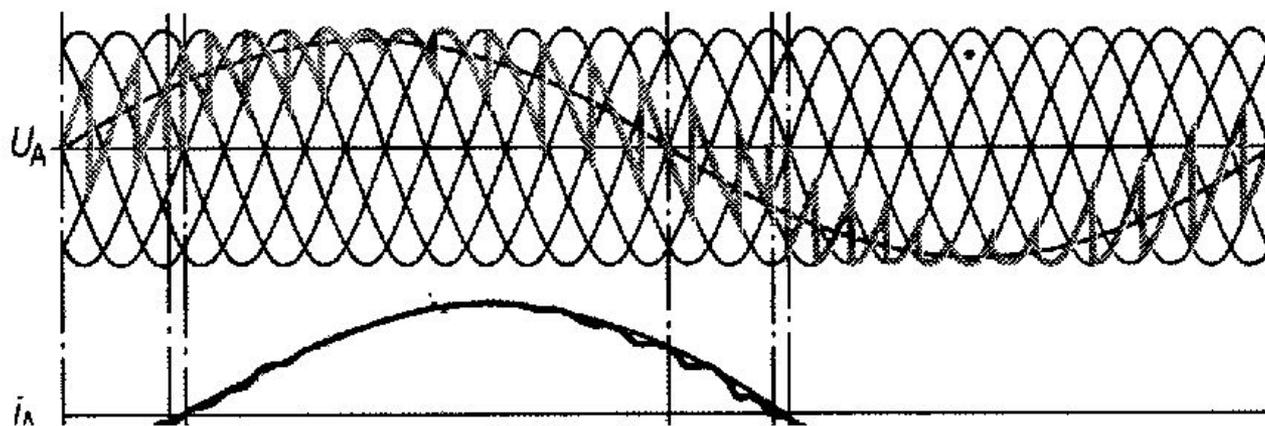


Рис. 13.12. Схема трехфазно-трехфазного НПЧ



Диаграммы напряжений и токов ПЧНС

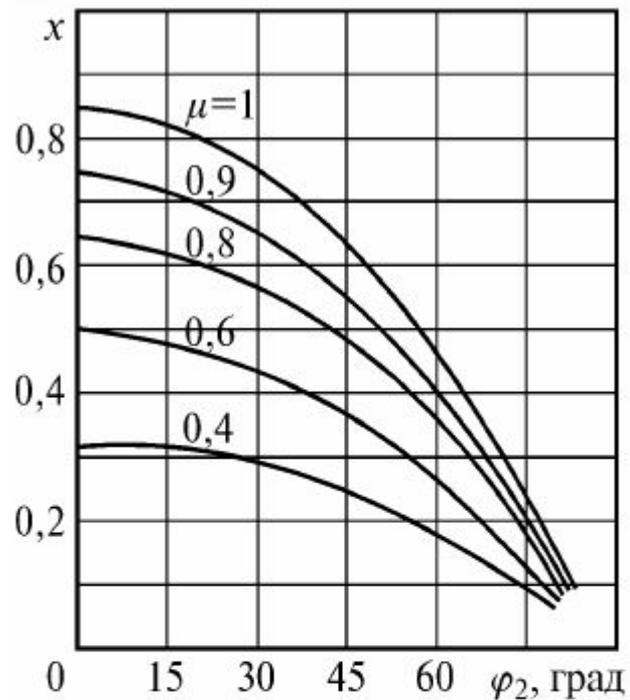


Рис. 13.13. Зависимости коэффициента мощности трехфазно-трехфазного НПЧ от угла сдвига нагрузки и глубины регулирования при допущении синусоидальности выходного напряжения

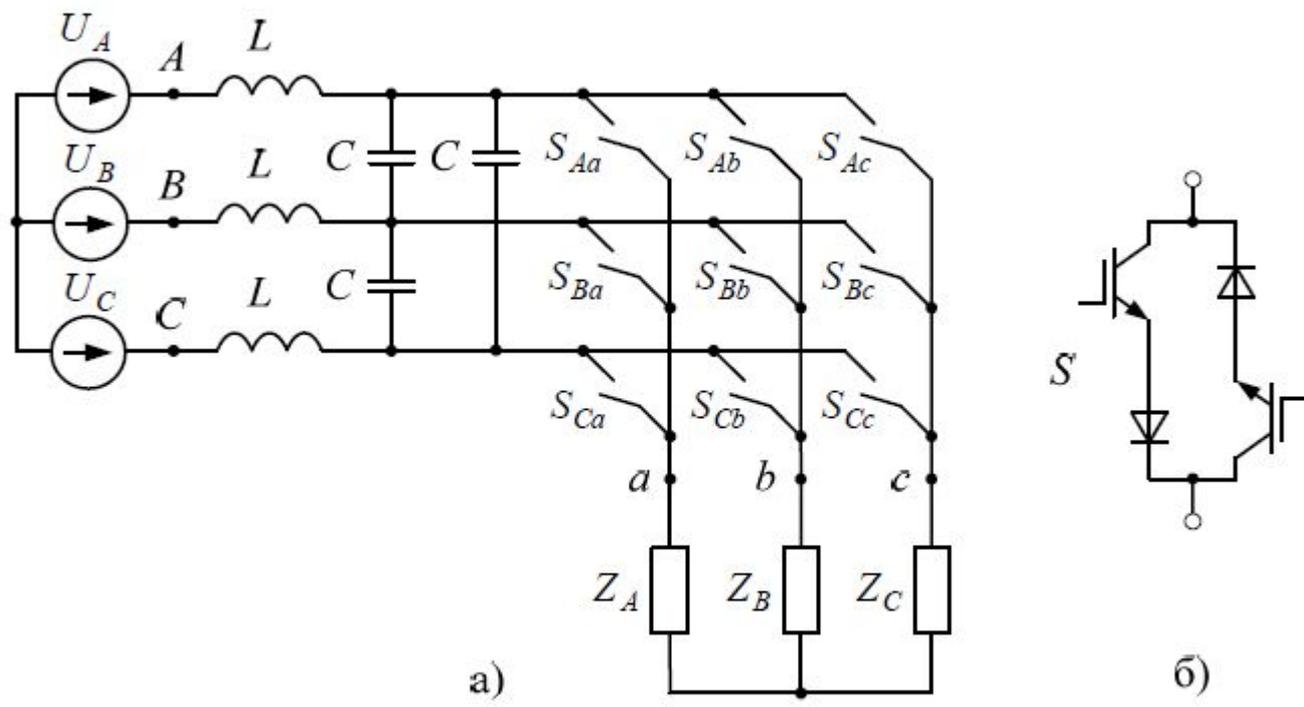


Рис. 13.14. Схема трехфазно-трехфазного матричного преобразователя частоты (а) и схема симметричного двунаправленного ключа (б)

## Достоинства ПЧНС

Однократное преобразование энергии (кпд = 0,95-0,97)

Свободный обмен реактивной и активной энергией с сетью (возможен режим рекуперации)

Естественный режим коммутации тиристоров, что повышает надежность работы

Возможность реализации весьма низких частот

Возможность создания за счет параллельного соединения мостов ПЧ большой мощности (до МВт)

## Недостатки ПЧНС

Ухудшение формы выходного напряжения при увеличении частоты, поэтому

$$f_{\max} = m f_c / (8-10)$$

Сравнительно большое число силовых полупроводниковых элементов (необходимость синхронизации их с сетью)

Низкий коэффициент мощности (особенно в области малых частот)

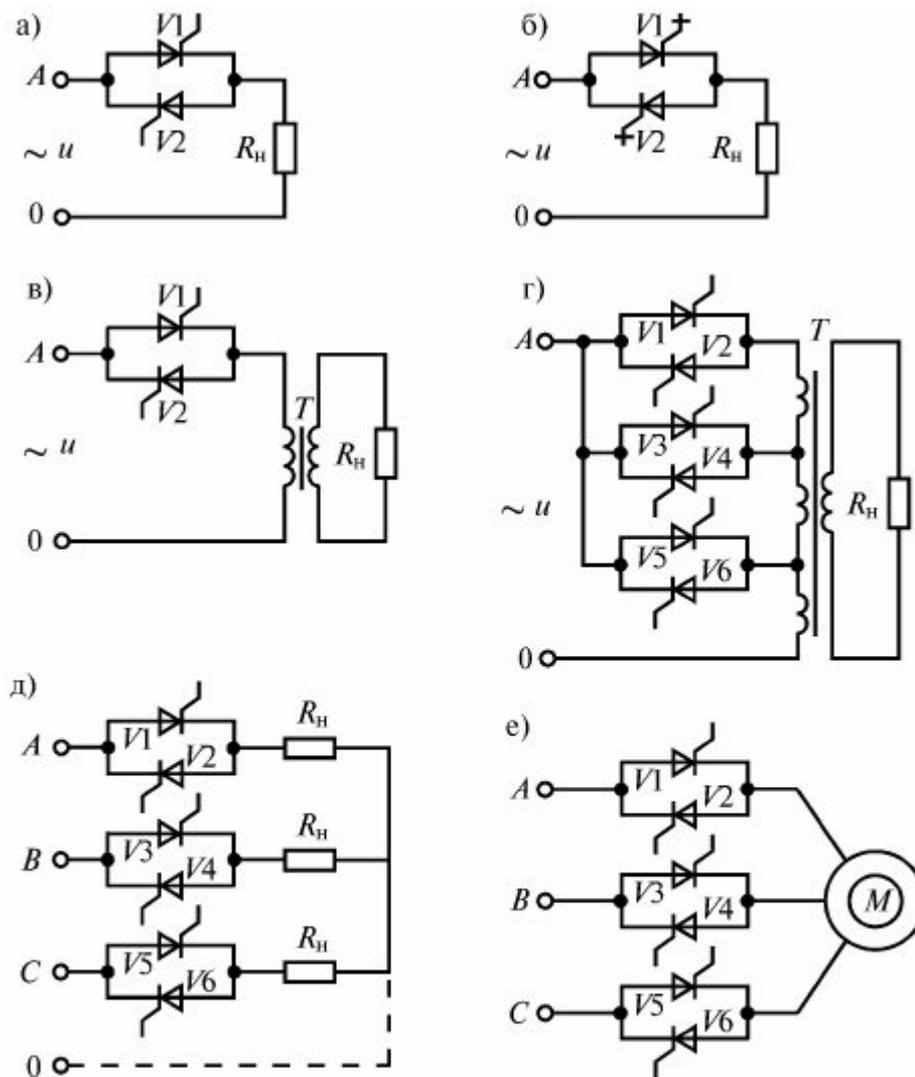


Рис. 14.1. Преобразователи переменного напряжения: однофазные на неполностью (а) и полностью управляемых (б) тиристорах; однофазные на первичной стороне трансформатора (в) и трансформатора с отпайками (г); трехфазные для регулирования напряжения на активной нагрузке (д) и двигателе (е)

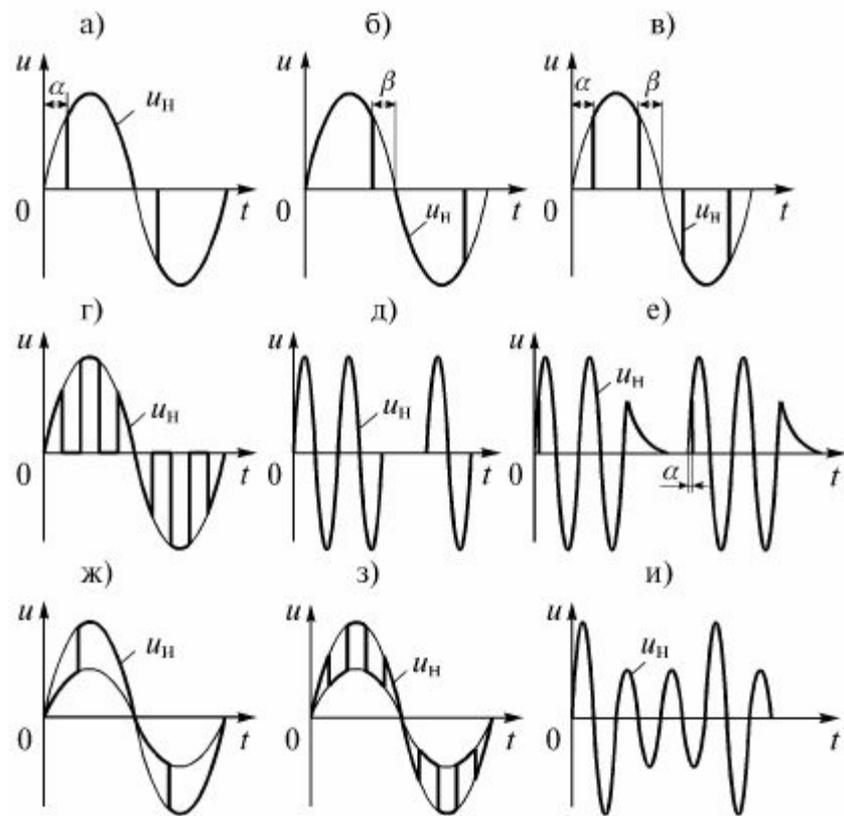


Рис. 14.2. Диаграммы напряжений на нагрузке ППН при различных способах управления (модуляции): ИМ-ОЧ (фазовое регулирование) с отстающим ( $\alpha > 0$ ), опережающим ( $\beta > 0$ ) и равным нулю ( $\alpha = \beta$ ) углом сдвига  $\varphi$  (а, б, в); ИМ-ВЧ (г); ИМ-НЧ (д); ИМ-НЧ на первичной стороне трансформатора (е); многозонные ИМ-ОЧ (ж), ИМ-ВЧ (з) и ИМ-НЧ (и)