

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

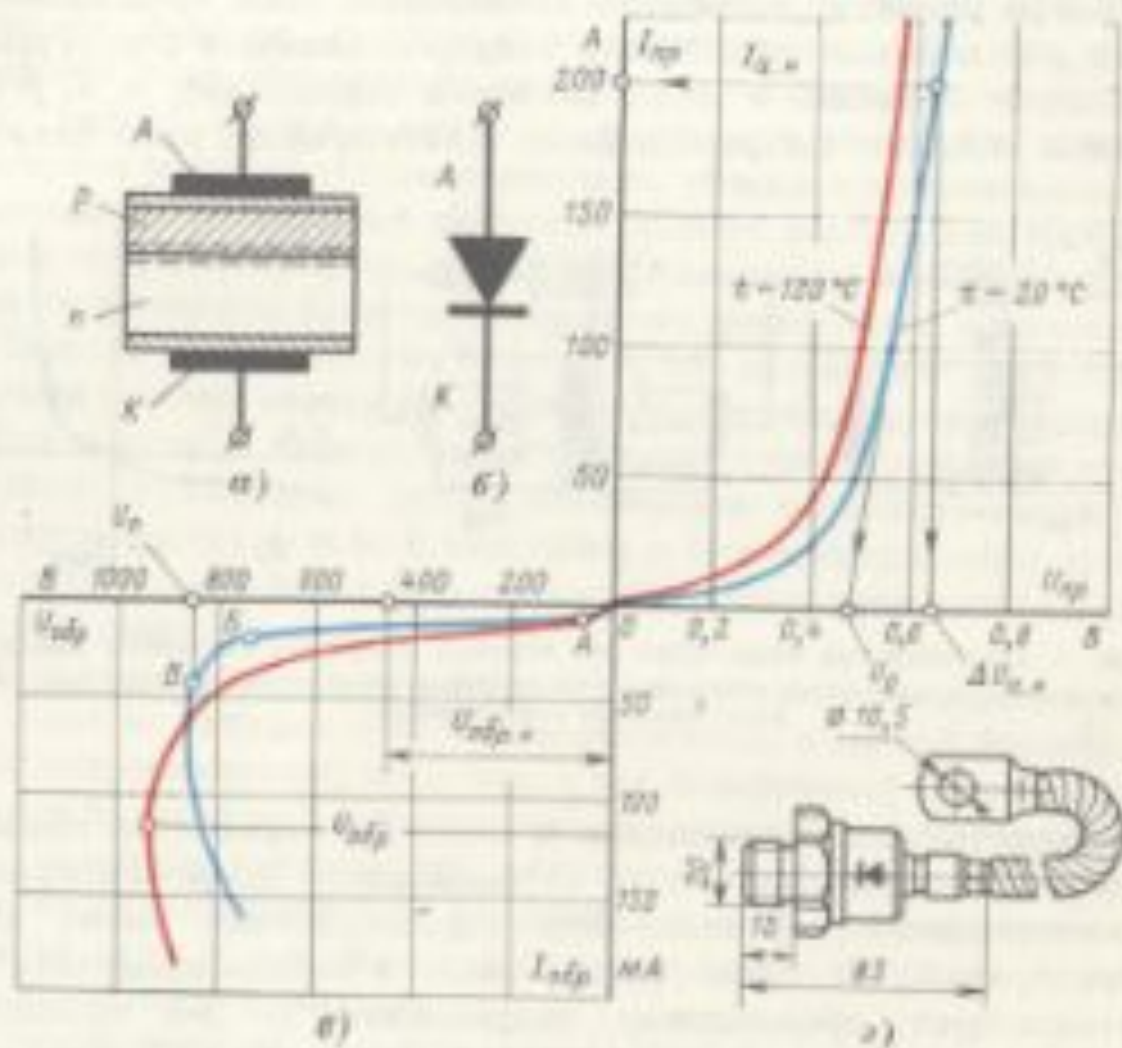
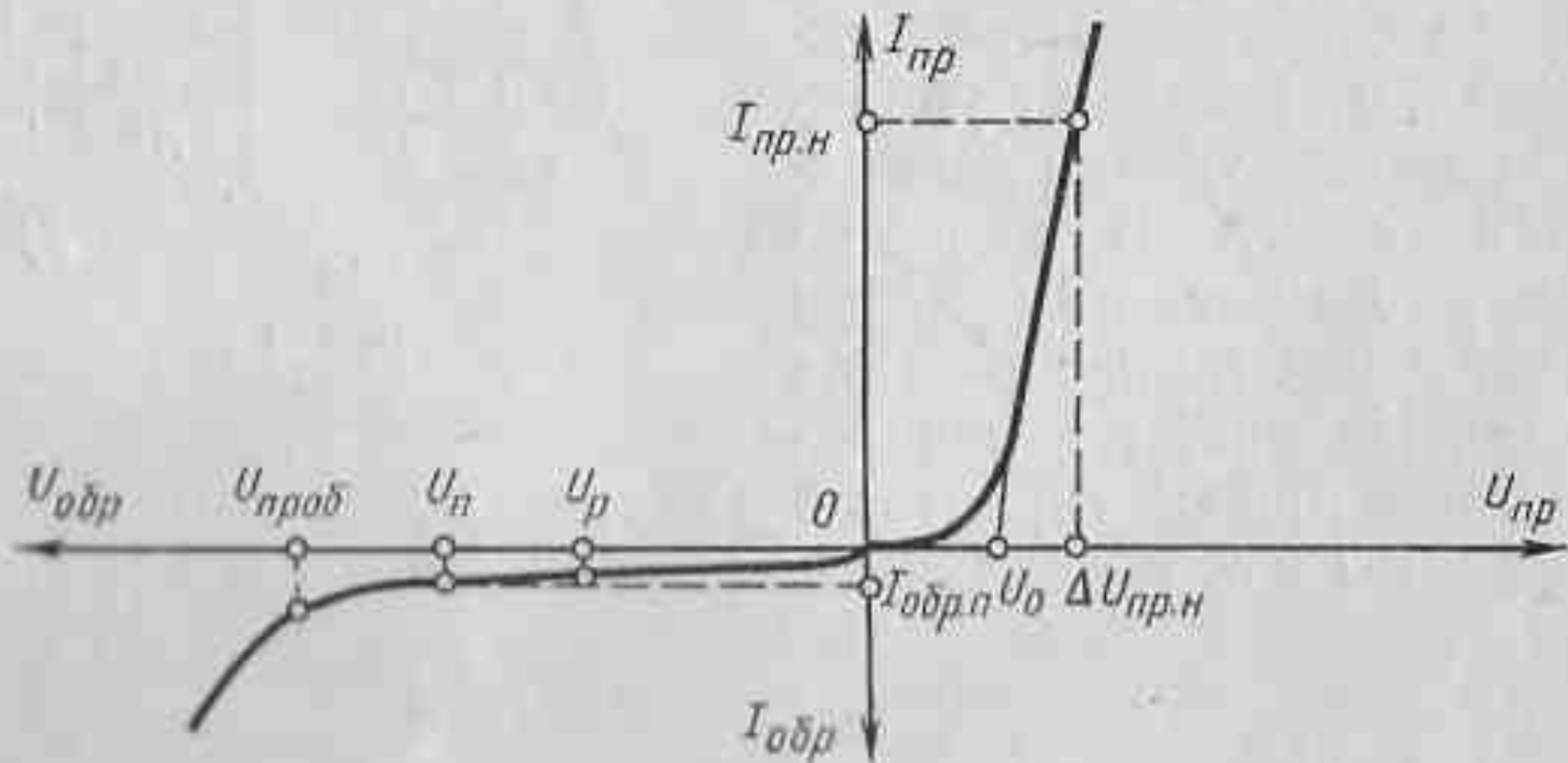
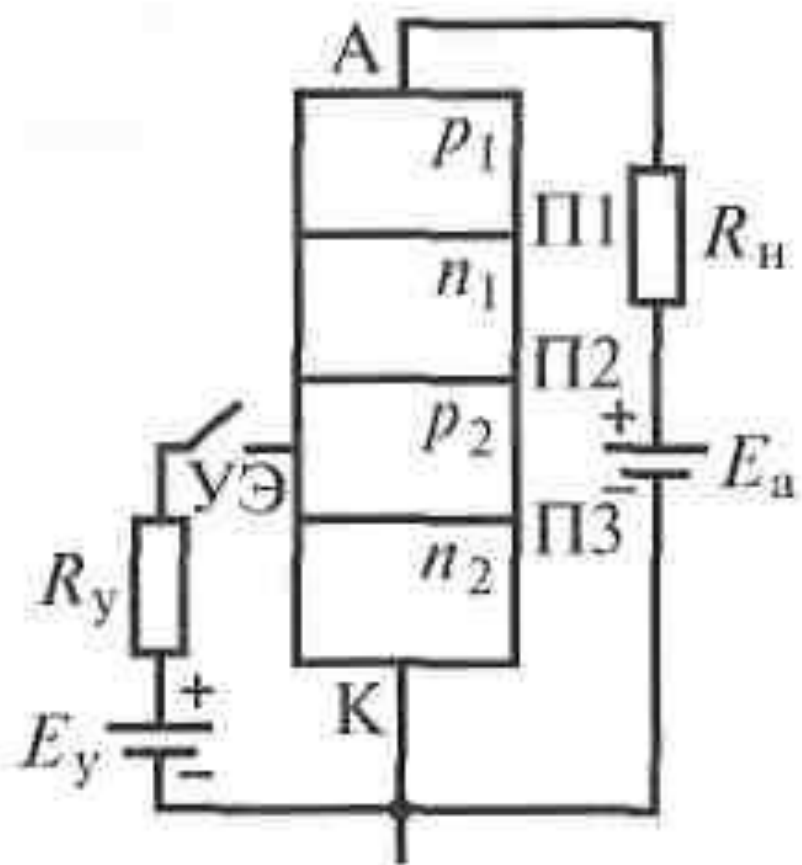
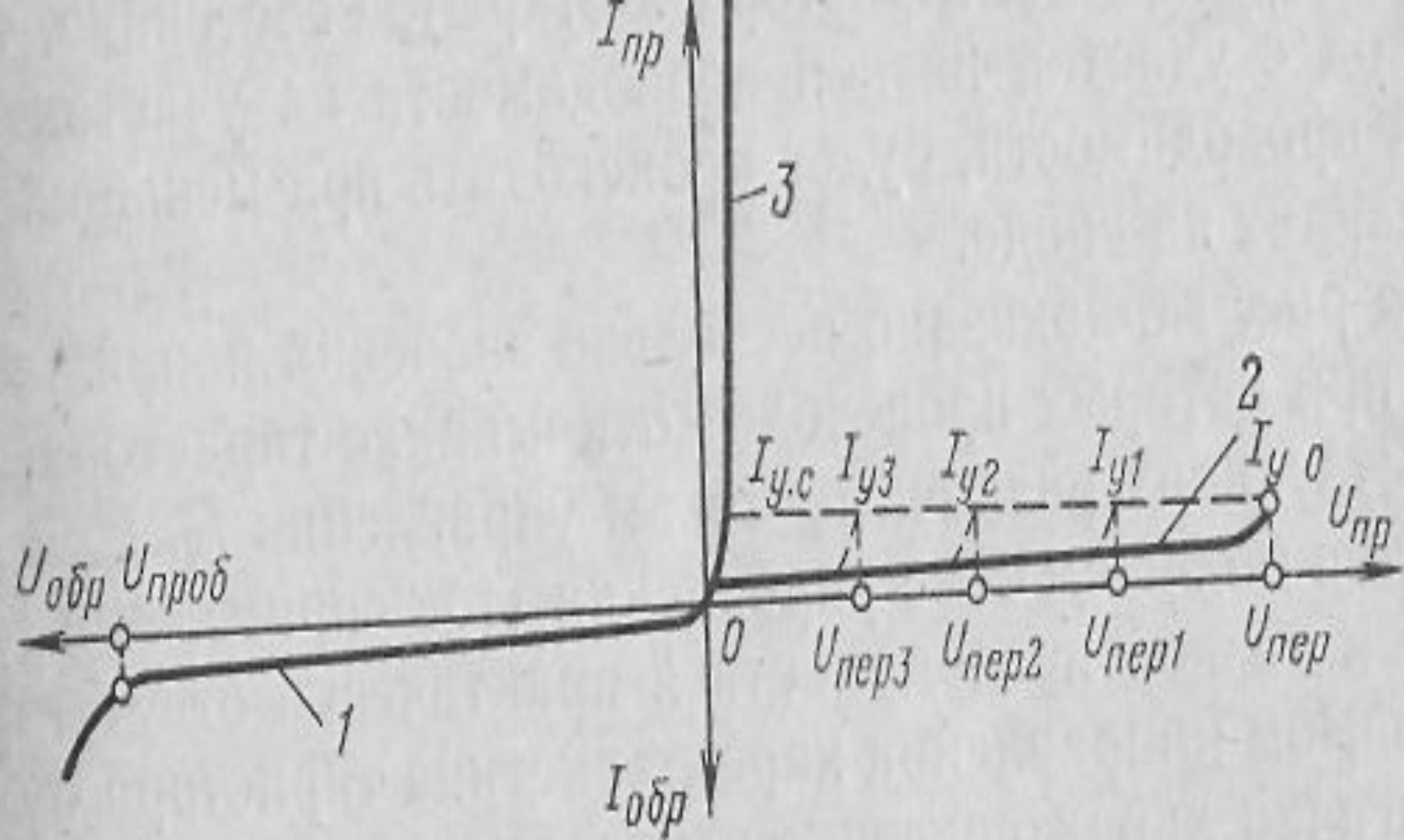


Рис. 2. Устройство (а), условное обозначение (б), статические вольт-амперные характеристики (в) при различных температурах р-п перехода и конструкция (г) кремниевого диода.







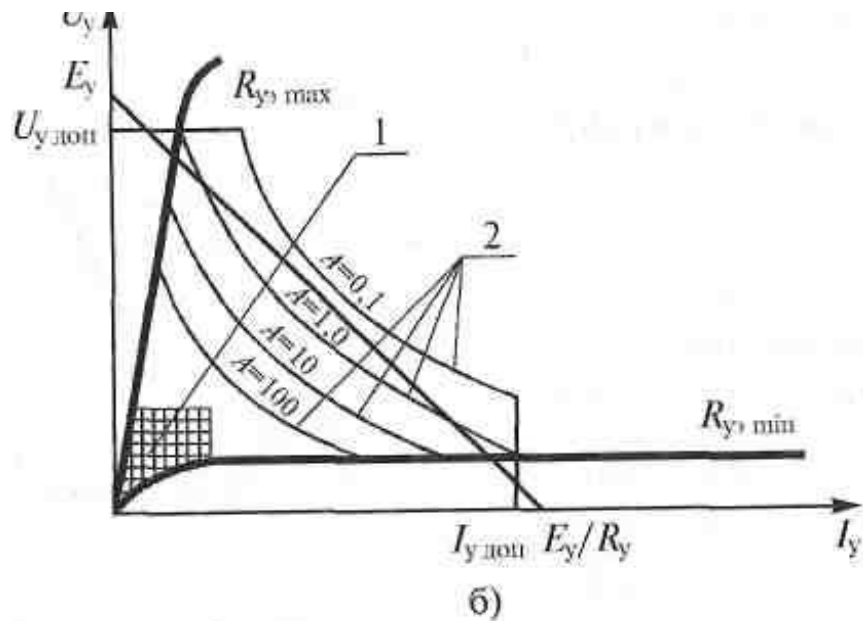
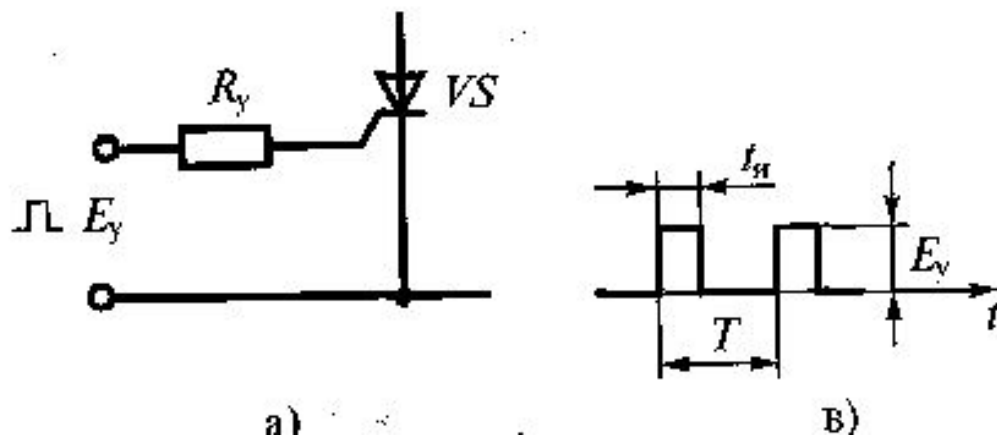
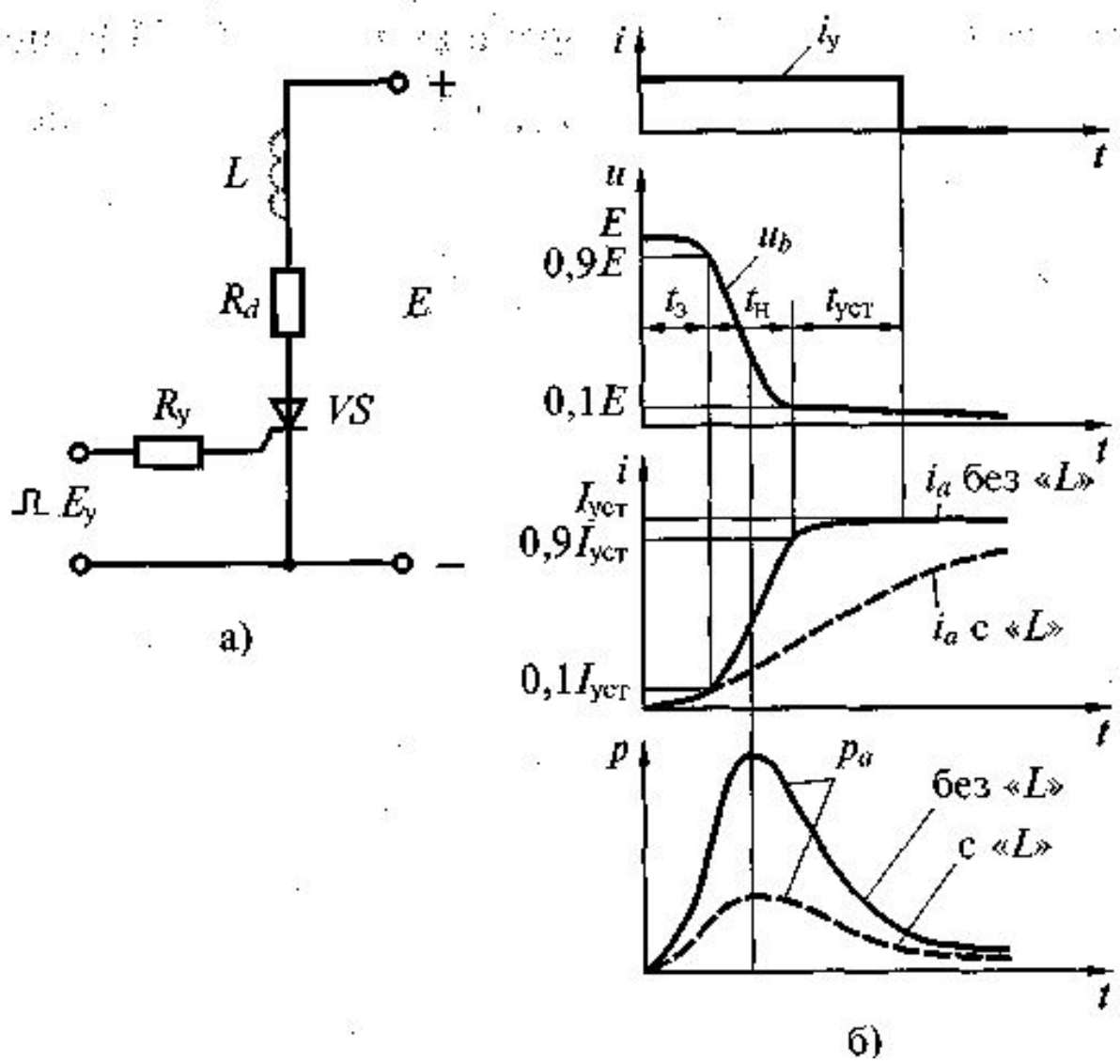


Схема управления тиристором (а), диаграмма управления тиристором (б) и форма сигнала управления E_y (в)



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

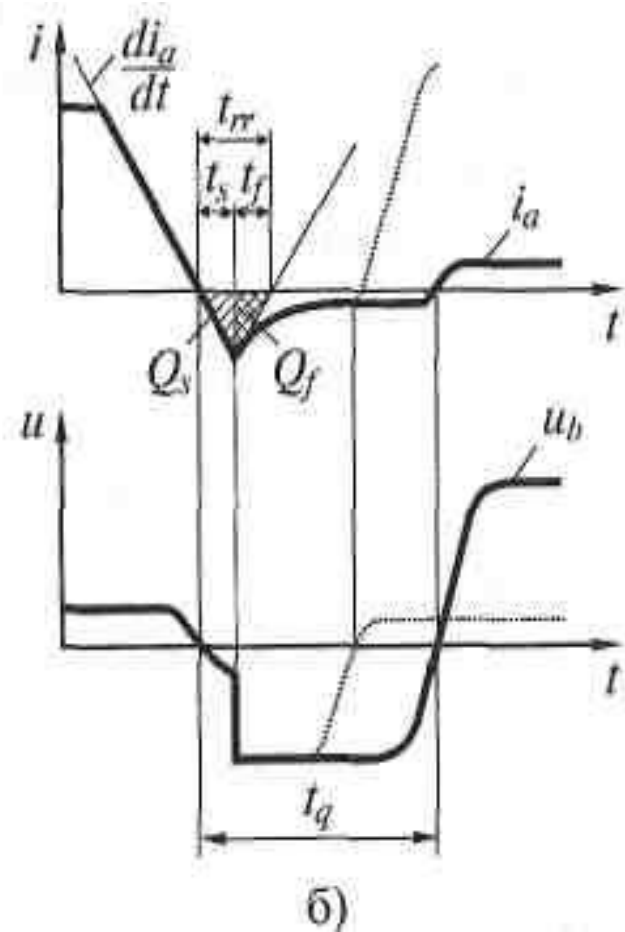
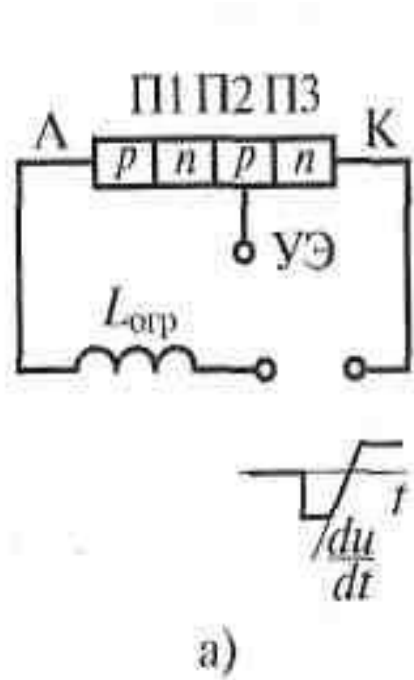


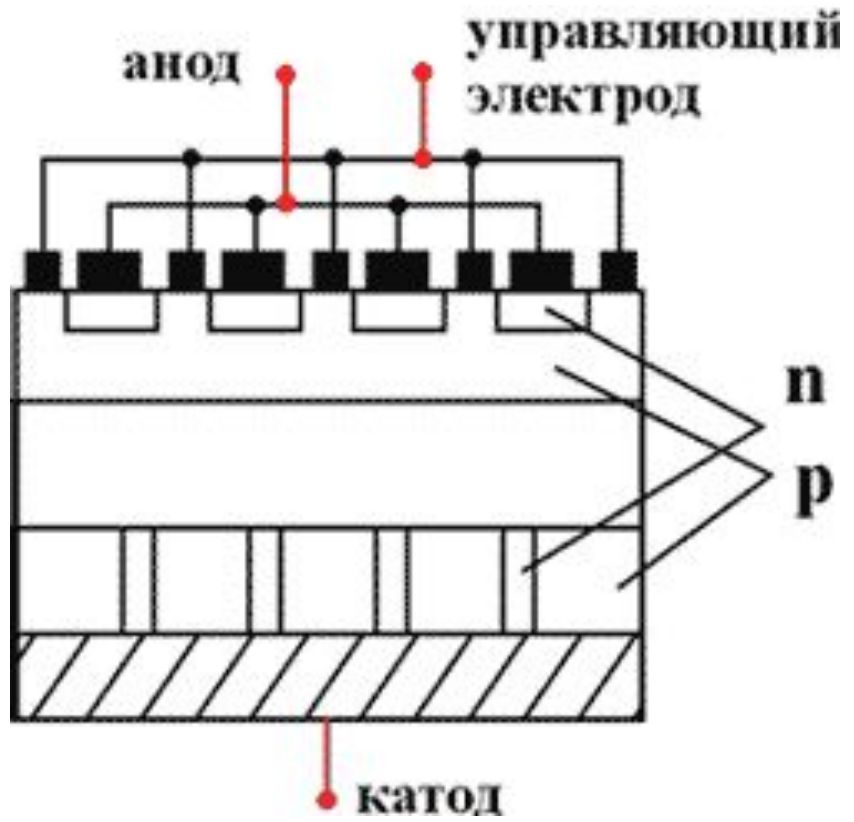
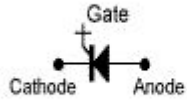
Схема подачи на включенный тиристор обратного напряжения (а) и временные диаграммы переходных процессов, возникающих при выключении тиристора (б).

Предельно допустимые параметры и основные характеристики силовых полупроводниковых приборов

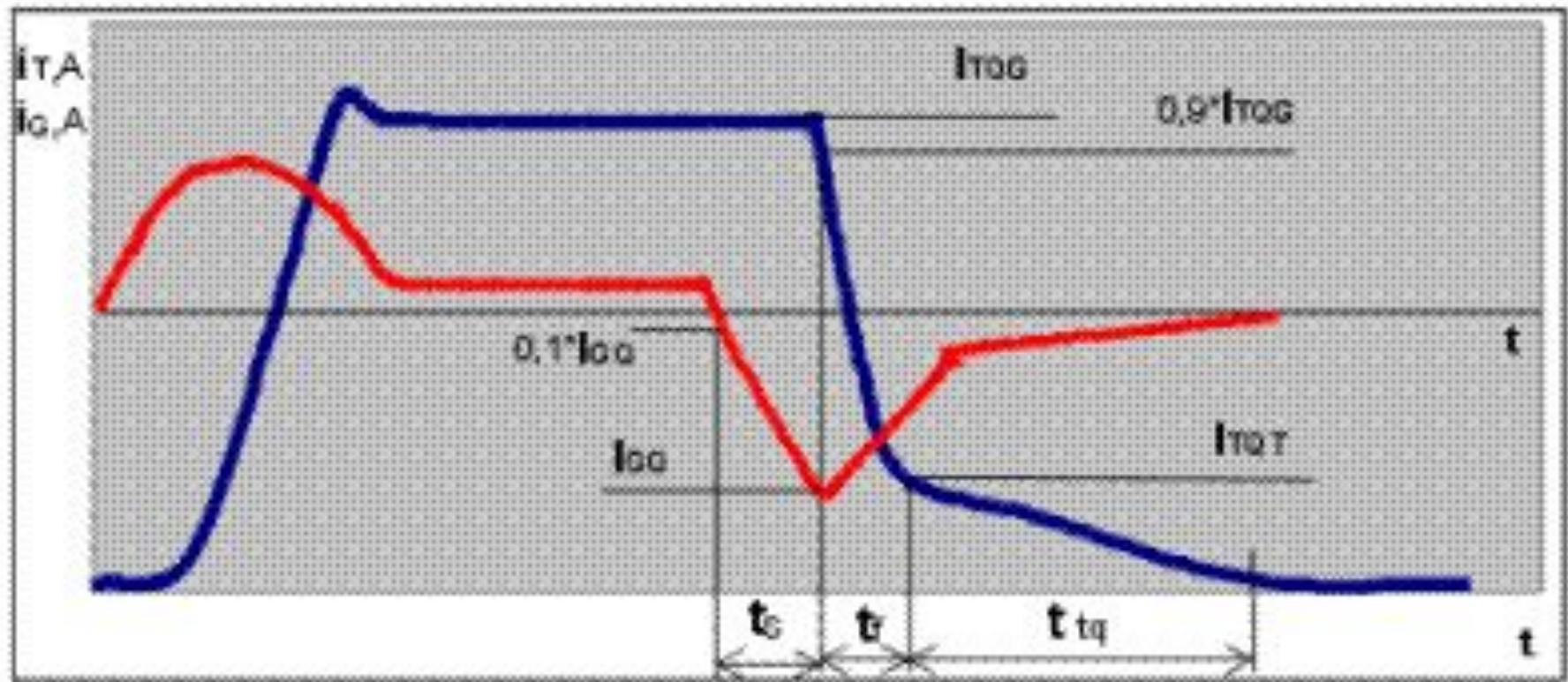
Обозначение ¹	Определение
<i>Предельно допустимые параметры</i>	
$I_{п}$ (Д) (Т)	Предельный ток. Максимально допустимое среднее за период значение тока частотой 50 Гц синусоидальной формы, длительно протекающего через прибор при его работе в однофазной однополупериодной схеме при максимально допустимой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

Обозначение ¹	Определение
$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{макс}}$ (Т)	Критическая скорость нарастания прямого тока через тиристор. 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)	Рекомендуемое рабочее напряжение. 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
Δu_n (Д) (Т)	Прямое падение напряжения. Значение напряжения на приборе при прохождении через него прямого тока (обычно задается при амплитуде предельного тока)
$I_{\text{об}}$ (Д) (Т)	Обратный ток. 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)	Критическая скорость нарастания прямого напряжения. Максимальное значение скорости нарастания прямого напряжения, при котором не происходит включения тиристора, при определенном напряжении на аноде и разомкнутой цепи управляющего электрода
$R_{\text{т.ст-х}}$ (Д) (Т)	Общее установившееся тепловое сопротивление. Отношение превышения температуры полупроводниковой структуры над температурой окружающей среды к рассеиваемой мощности в установившемся режиме
$R_{\text{т.ст-к}}$ (Д) (Т)	Внутреннее установившееся тепловое сопротивление. Отношение превышения температуры полупроводниковой структуры над температурой корпуса вентиля к рассеиваемой мощности в установившемся режиме

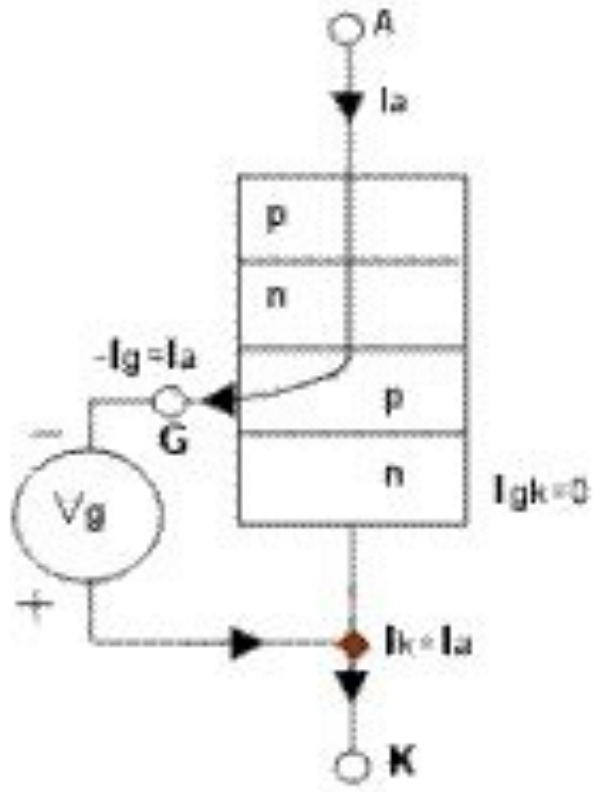
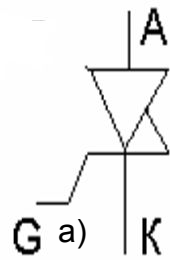
¹ (Д) — диод; (Т) — тиристор.² Для тиристорov в прямом направлении при определенном значении du/dt .



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



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



б)

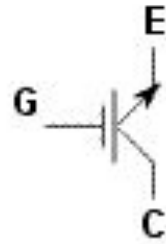
Условное обозначение а) и распределение токов в структуре тиристора GCT при выключении б)

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_{TORM}	6	4	3	кА
Напряжение в открытом состоянии (при I_{TORM})	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 запираания 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_{TORM})		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 запираания по электроду управления		10	10	мкс
Тепловое сопротивление переход—корпус		0.011	0.011	°С/Вт



Условное обозначение IGBT

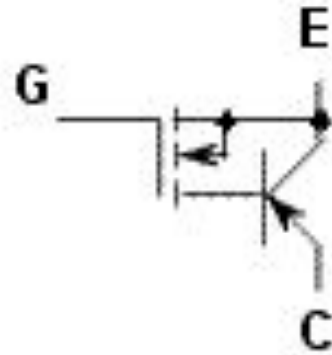
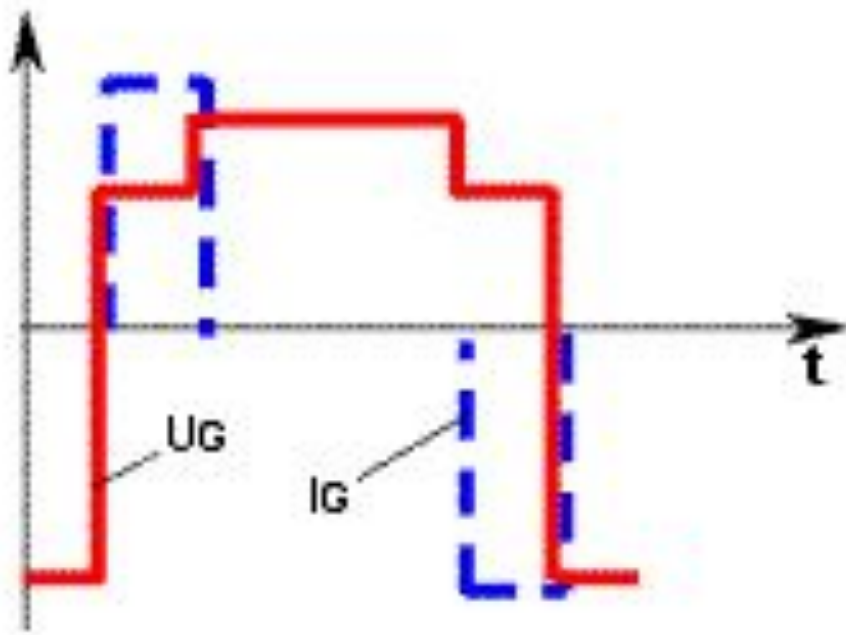
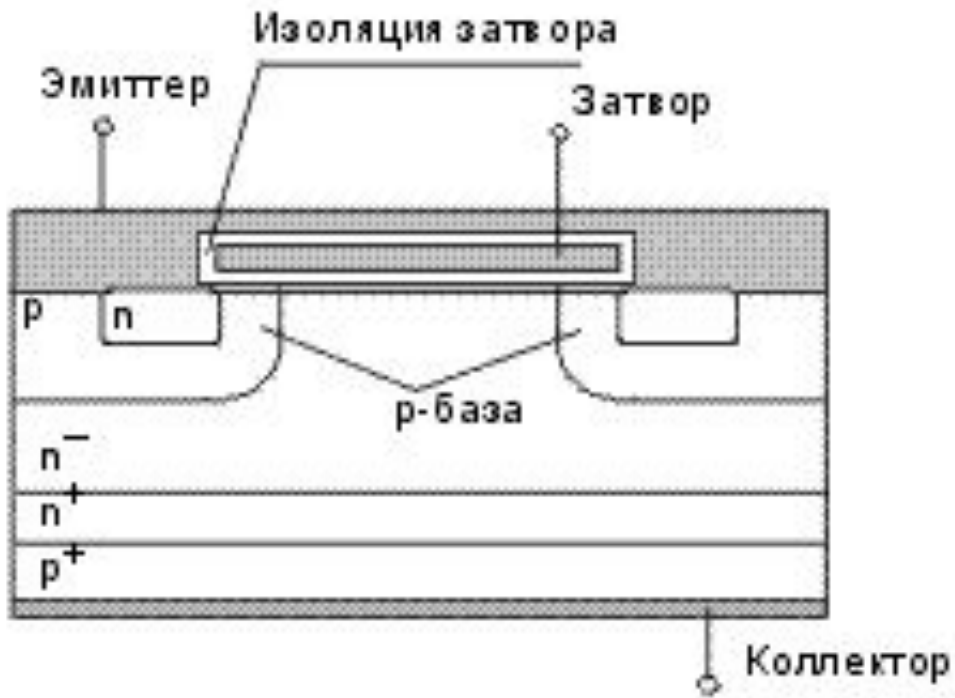


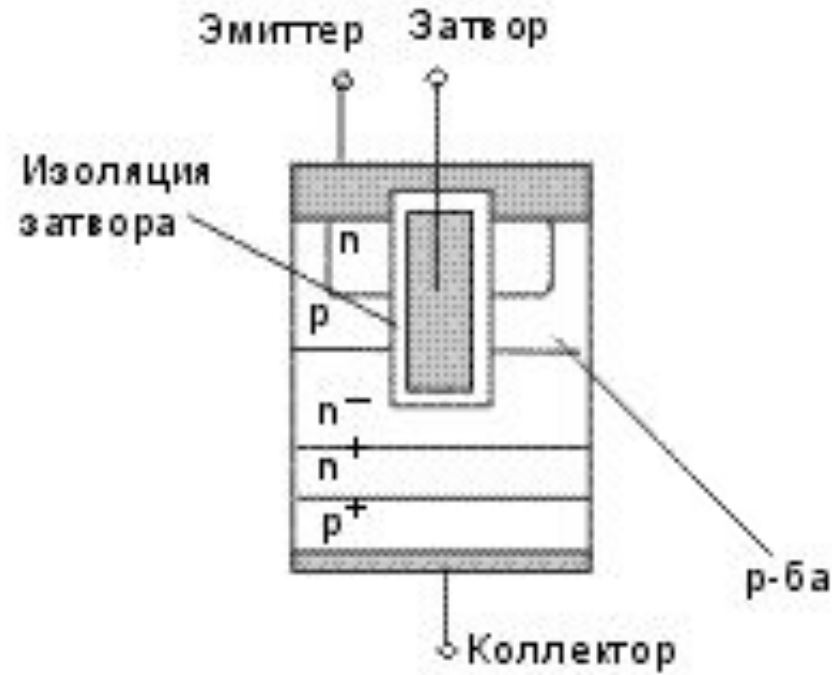
Схема соединения транзисторов в единой структуре IGBT



. Диаграмма напряжения и тока управления IGBT

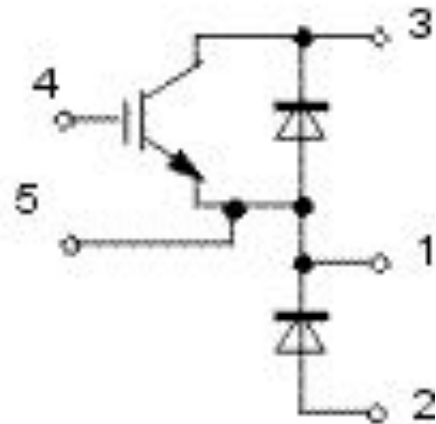
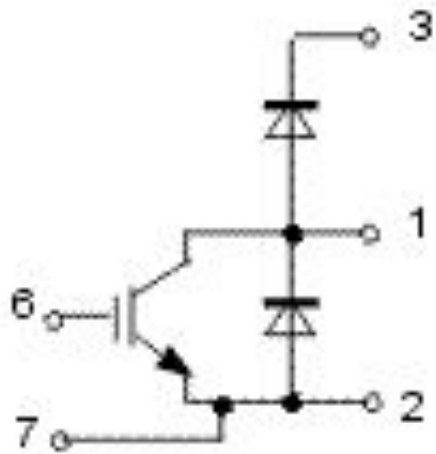
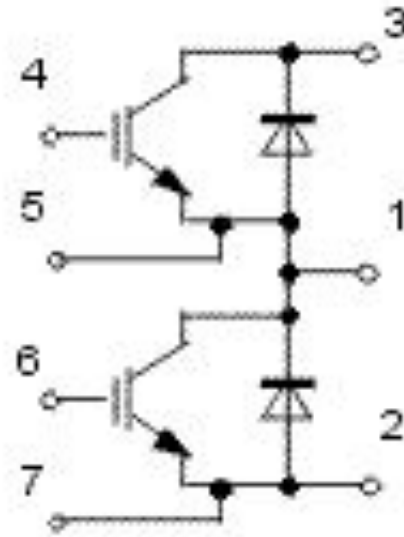
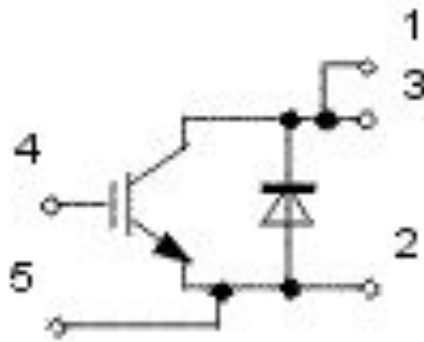


а)



б)

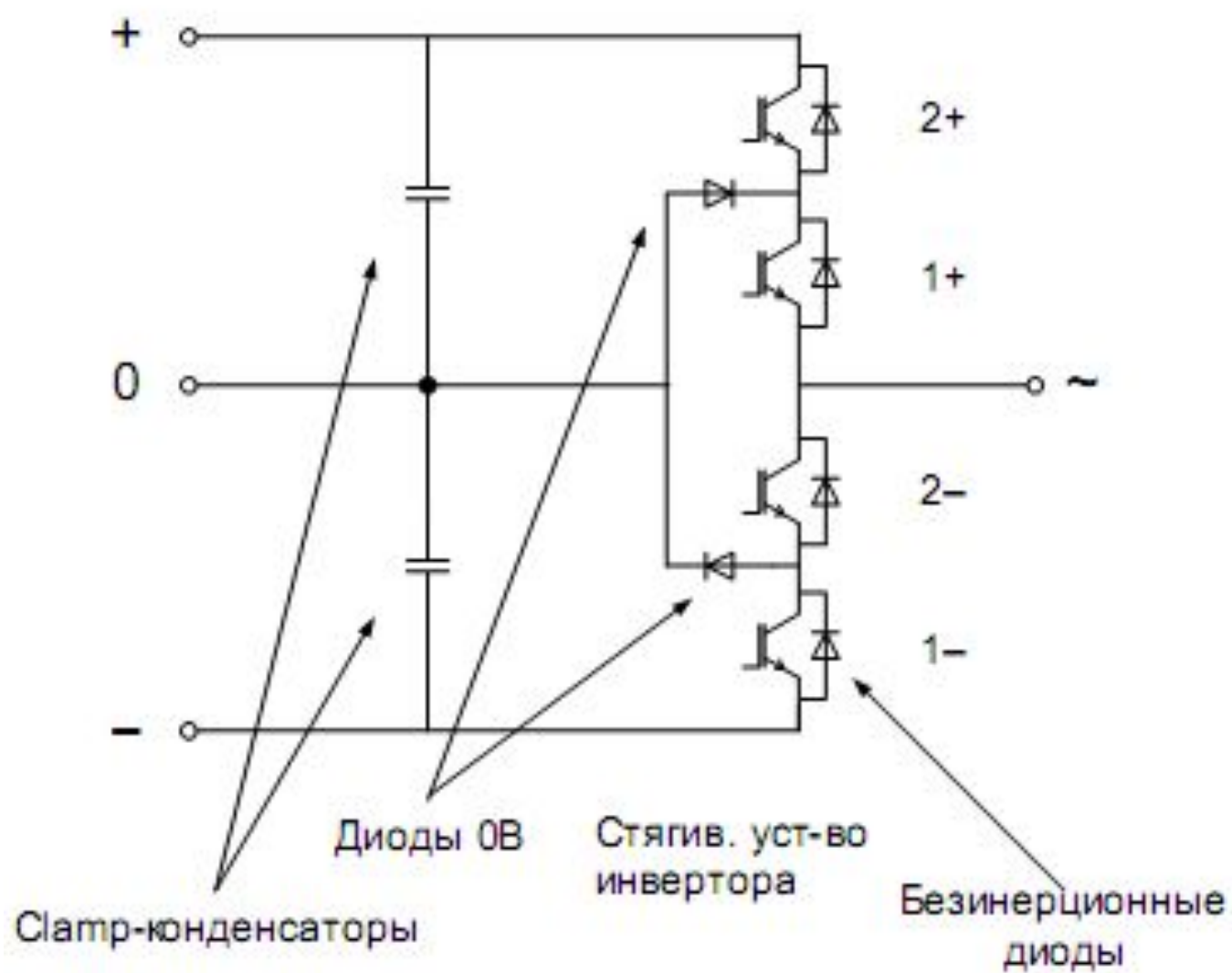
Схематичный разрез структуры IGBT: а) - обычного (планарного); б) - выполненного по "trench-gate technology"

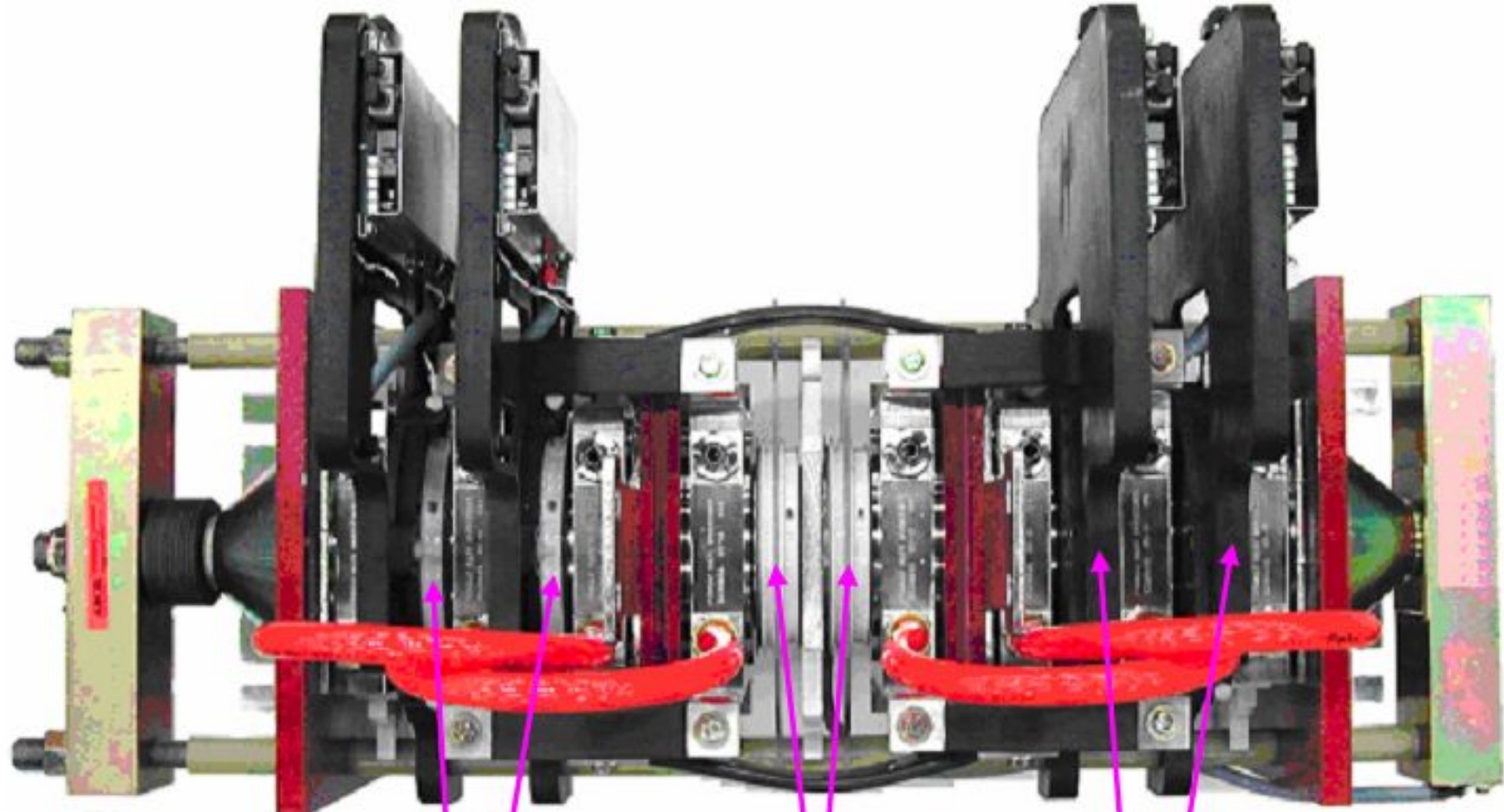


Схемы IGBT-модулей

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]
[В]	[А]	[В]	[нс]	[нс]	[нс]	[нс]	[нс]	[°C/Вт]		
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	Трехфазный мост	600	75	2.4	100	250	200	300	160	0.4
CM100TU-12H	Трехфазный мост	600	100	2.4	100	250	200	300	160	0.31
CM150TU-12H	Трехфазный мост	600	150	2.4	100	350	300	300	160	0.27
CM200TU-12H	Трехфазный 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	Трехфазный мост	1200	50	2.9	80	200	150	350	300	0.31
CM75TU-24H	Трехфазный мост	1200	75	2.9	100	200	250	350	300	0.27
CM100TU-24H	Трехфазный мост	1200	100	2.9	100	200	300	350	300	0.19





2 Press-Pack диода

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

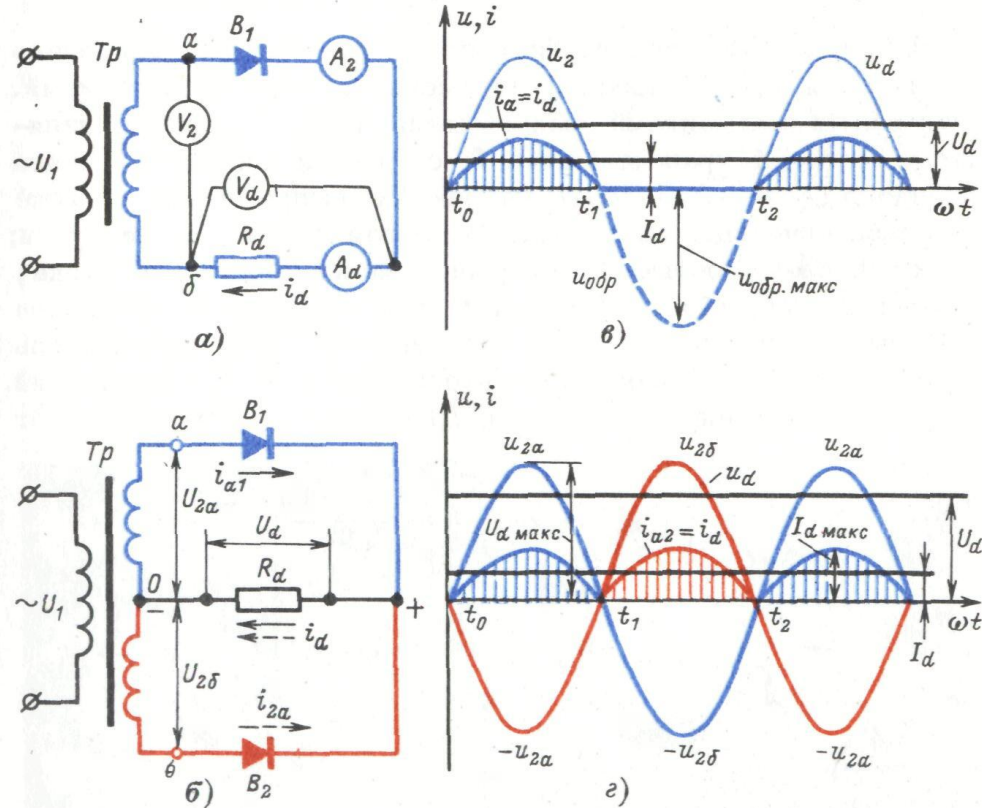


Рис. 8. Однофазный выпрямитель.

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

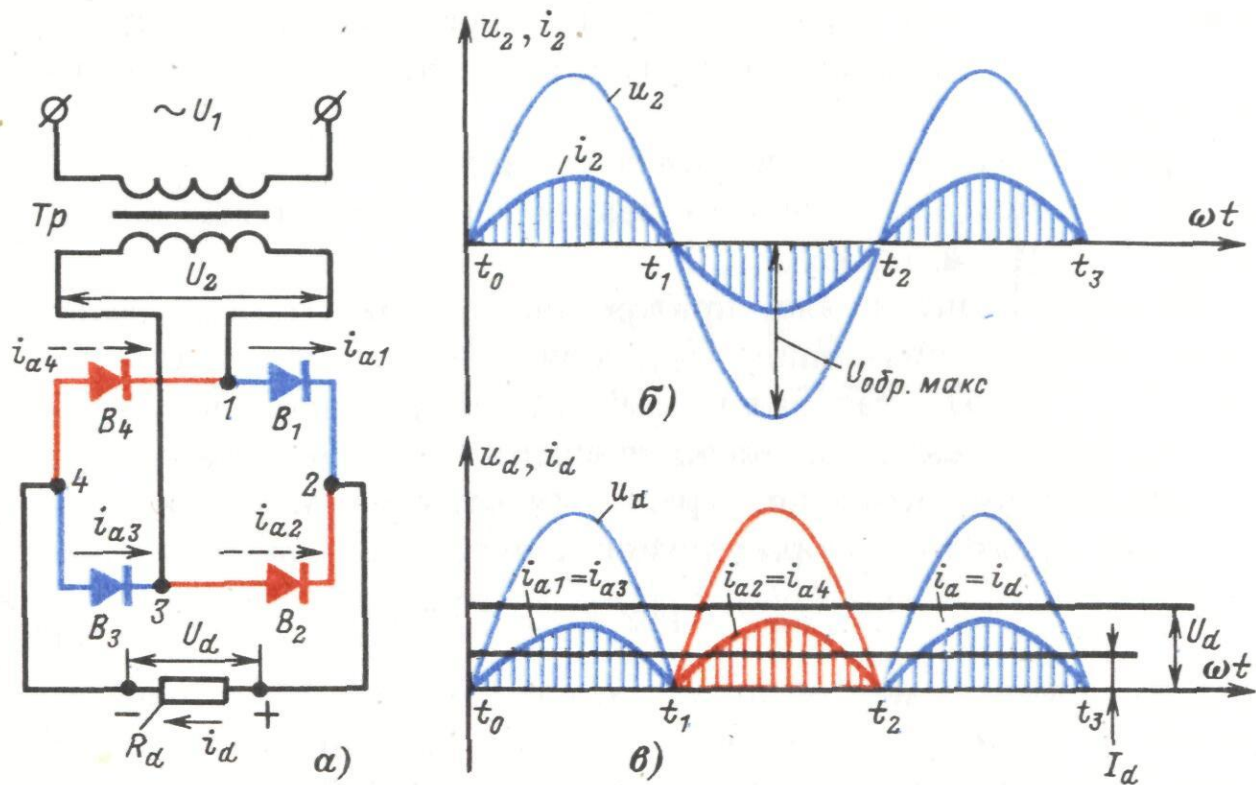


Рис. 9. Однофазный мостовой выпрямитель.
 а — схема; б и в — диаграммы напряжений и токов на элементах схемы.

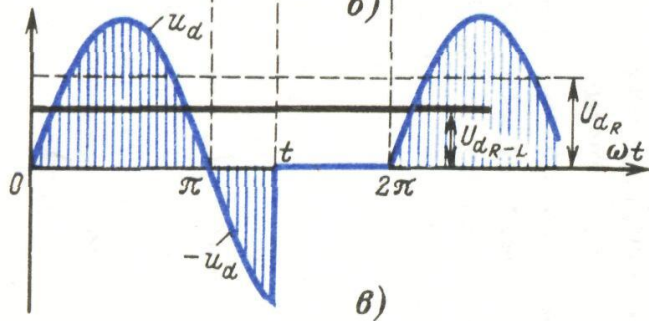
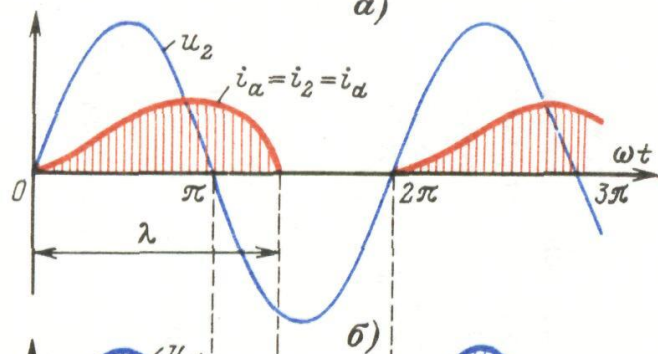
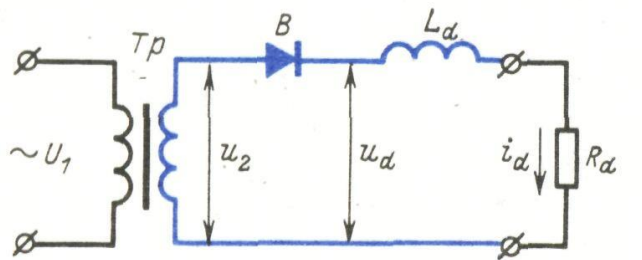


Рис. 16. Однополупериодное выпрямление при активно-индуктивной нагрузке.
 а — схема; б и в — кривые тока и напряжений на элементах.

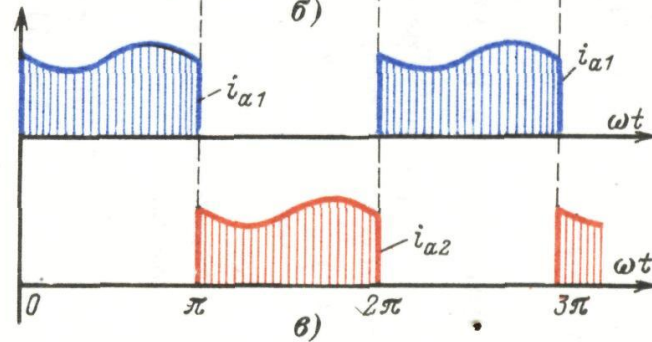
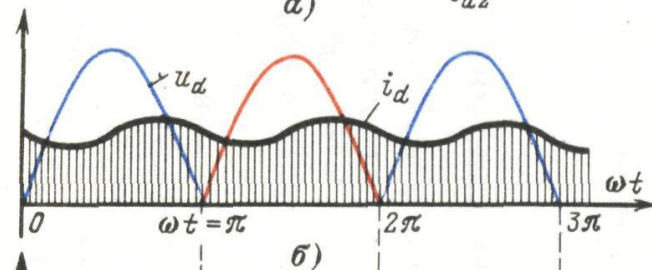
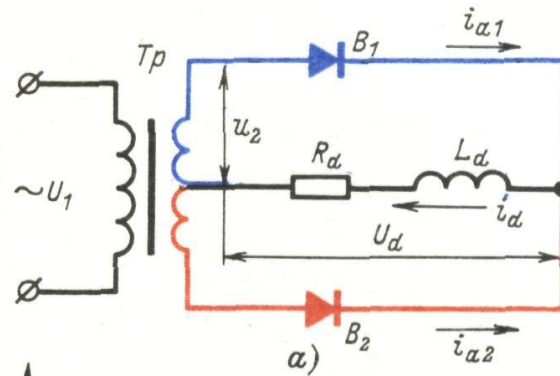


Рис. 17. Двухполупериодное выпрямление при активно-индуктивной нагрузке.
 а — схема; б и в — кривые напряжения и токов в элементах.

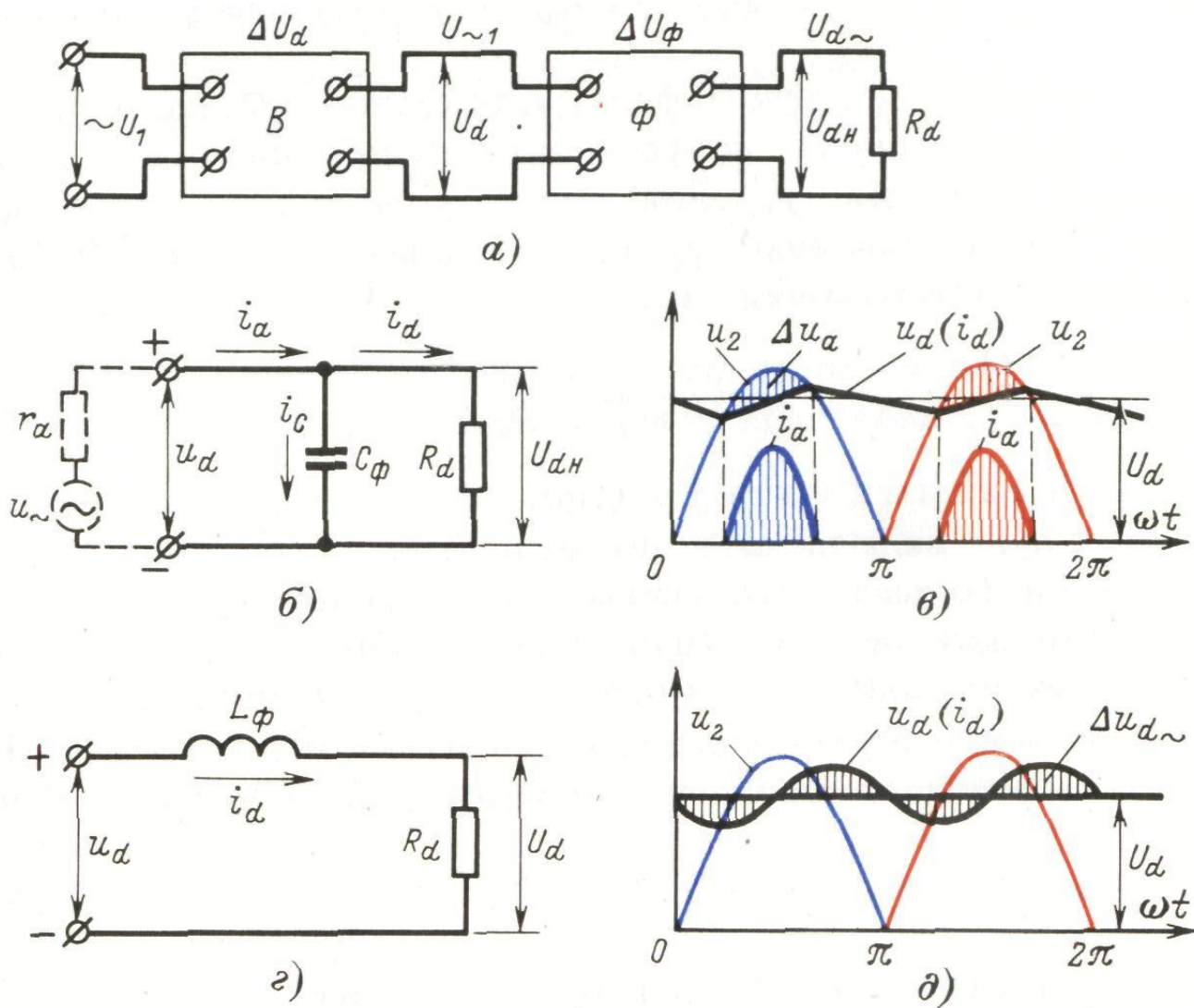


Рис. 23. Схемы включения фильтров.

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

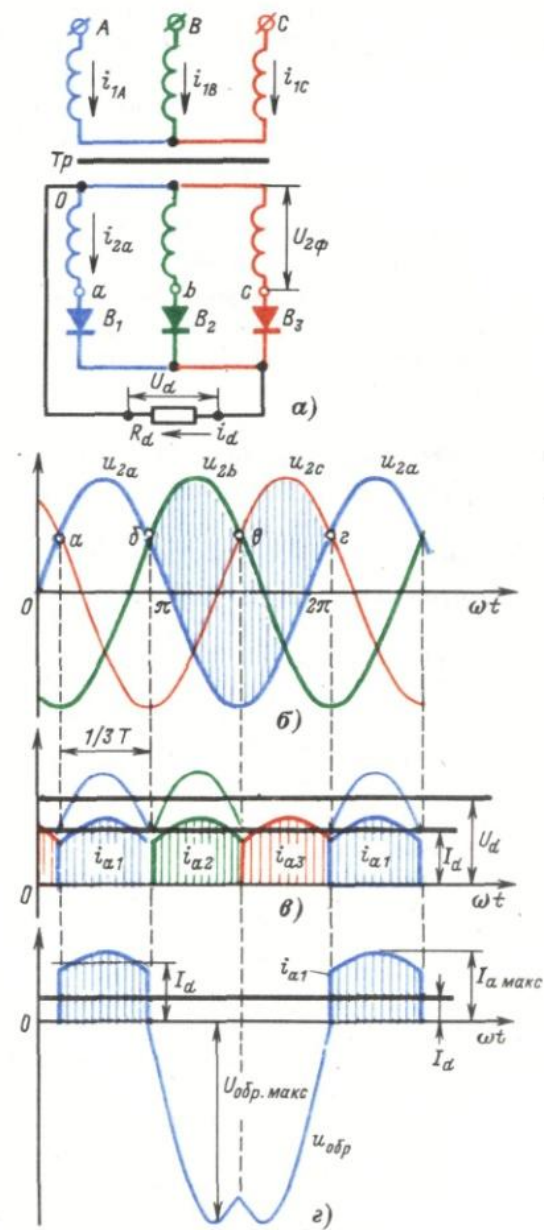


Рис. 10. Трехфазный выпрямитель с нулевой точкой.
 а — схема; б—г — диаграммы напряжений и токов на элементах.

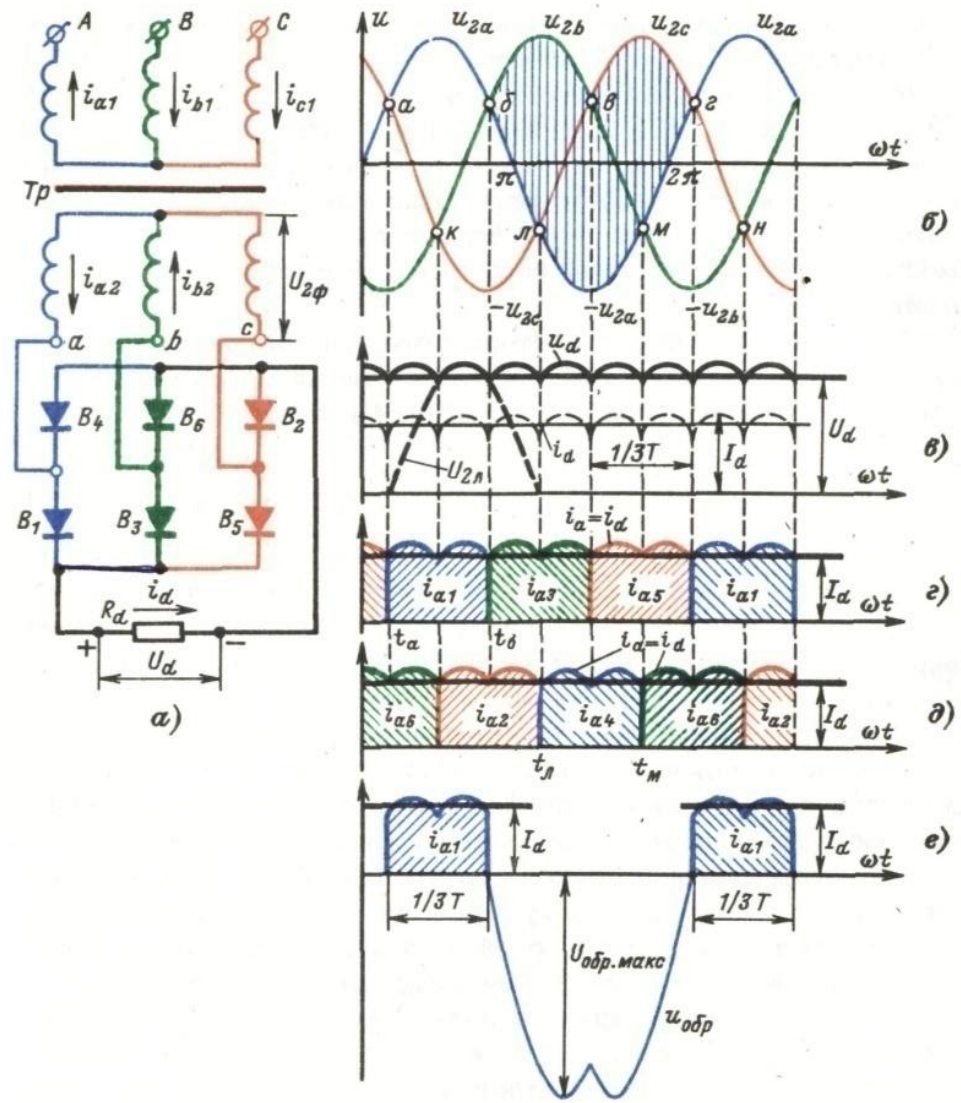


Рис. 11. Трехфазная мостовая схема выпрямителя.
 а — соединение элементов; б—е — диаграммы напряжений и токов.

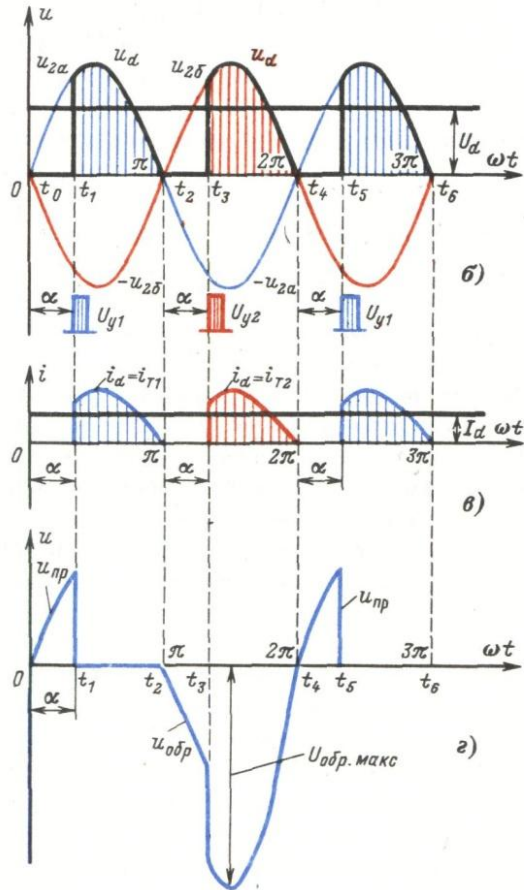
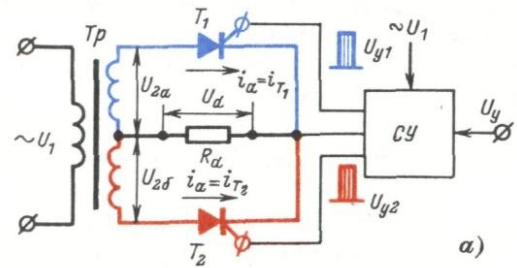


Рис. 13. Однофазный управляемый выпрямитель.
 а — схема; б—г — диаграммы напряжений и токов в элементах.

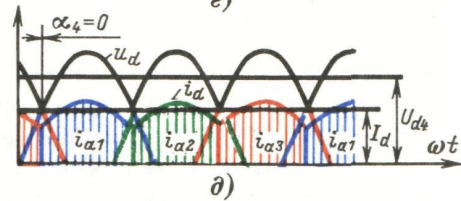
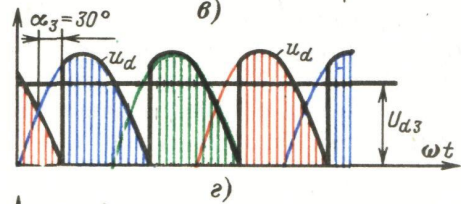
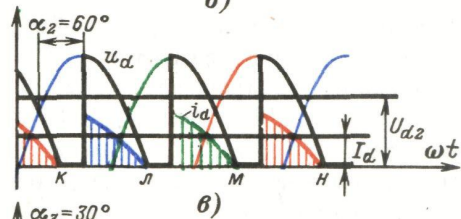
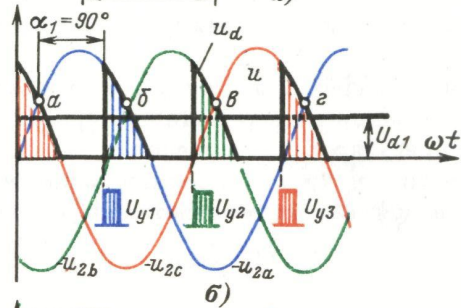
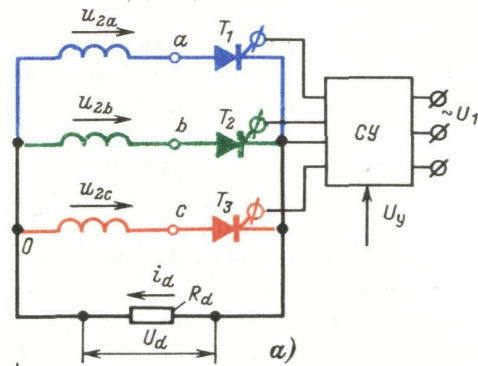


Рис. 14. Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой.
 а — схема; б—д — диаграммы напряжений и токов в элементах.

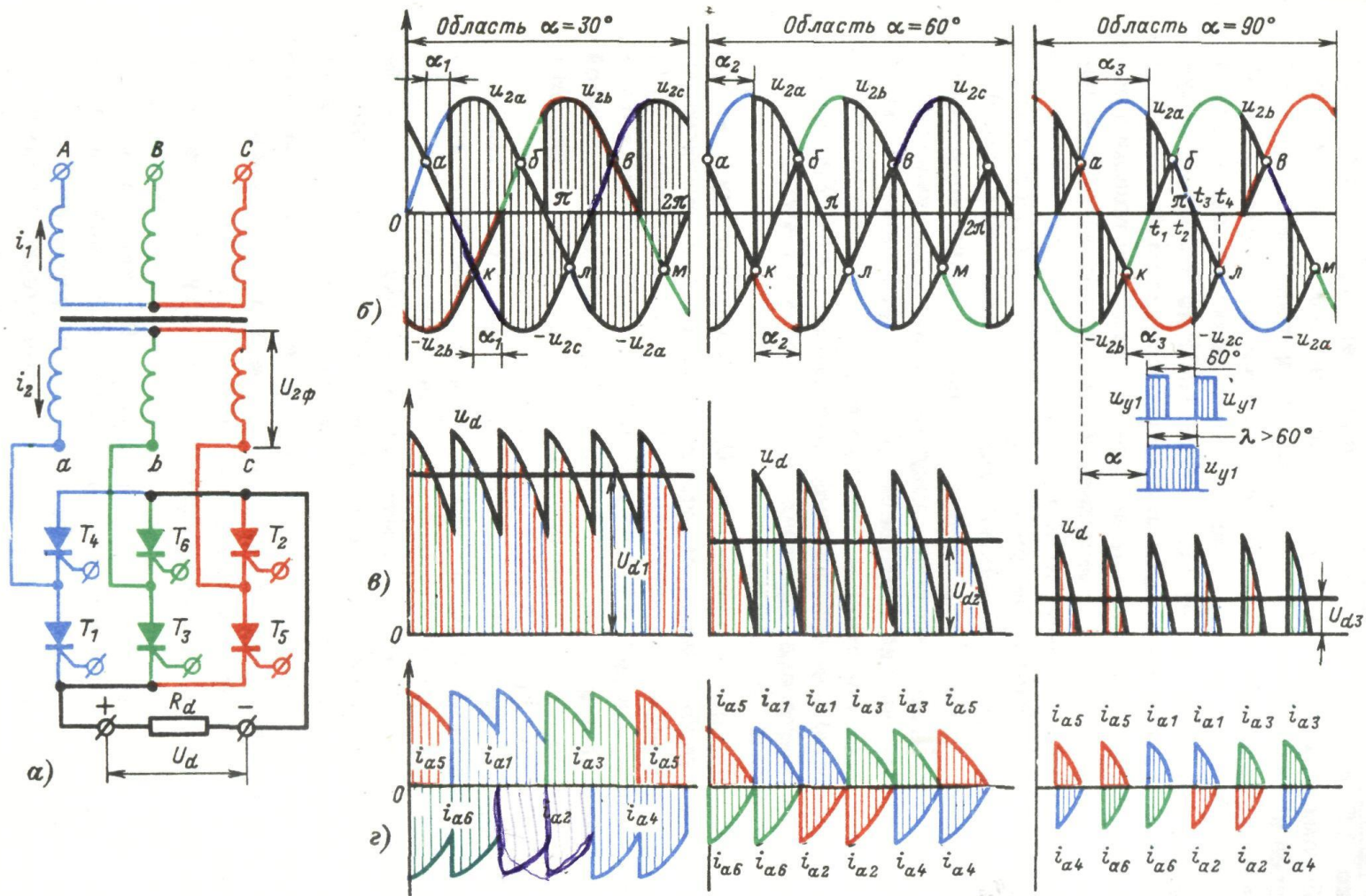


Рис. 15. Трехфазная мостовая схема на управляемых вентилях.
 а — соединение элементов; б—г — диаграммы напряжений и токов при различных углах α .

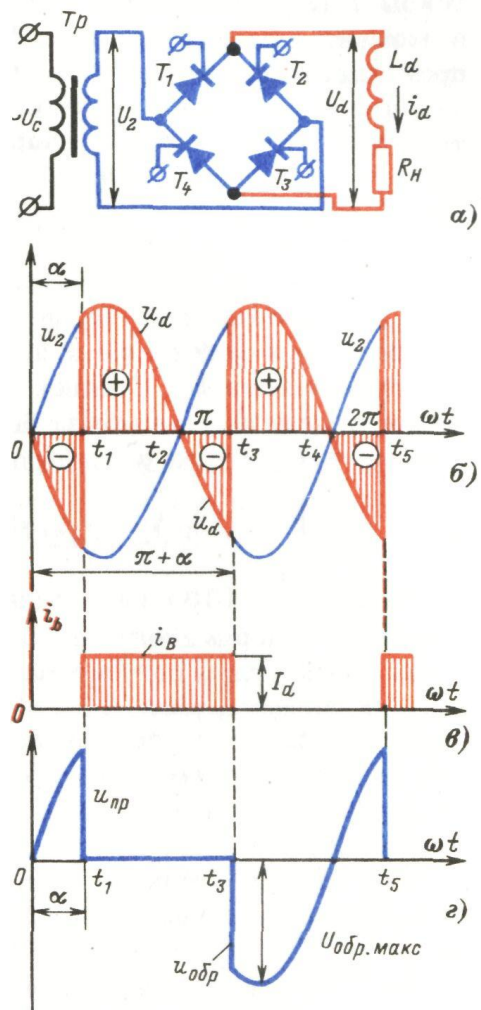


Рис. 18. Работа управляемого однофазного мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку.

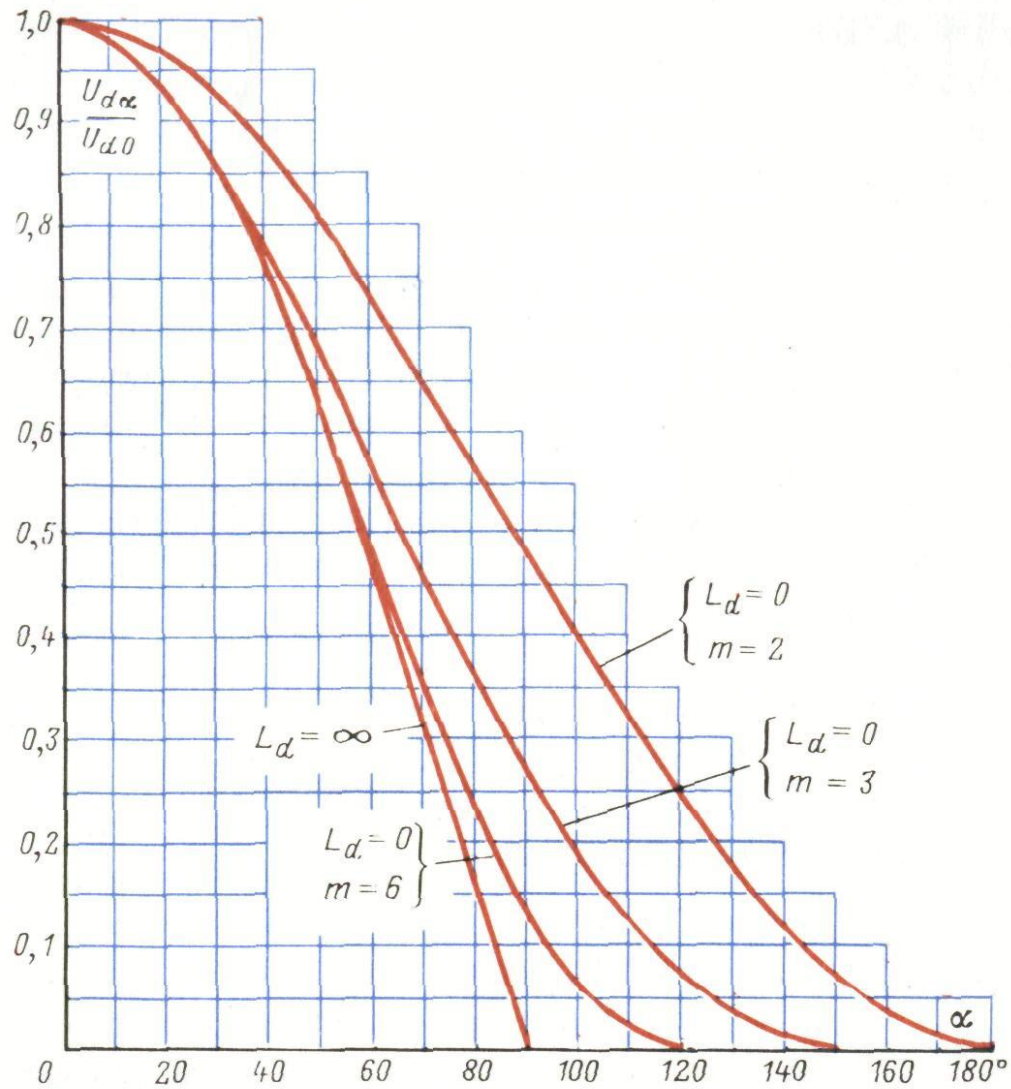


Рис. 26. Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей при различном числе фаз выпрямления.

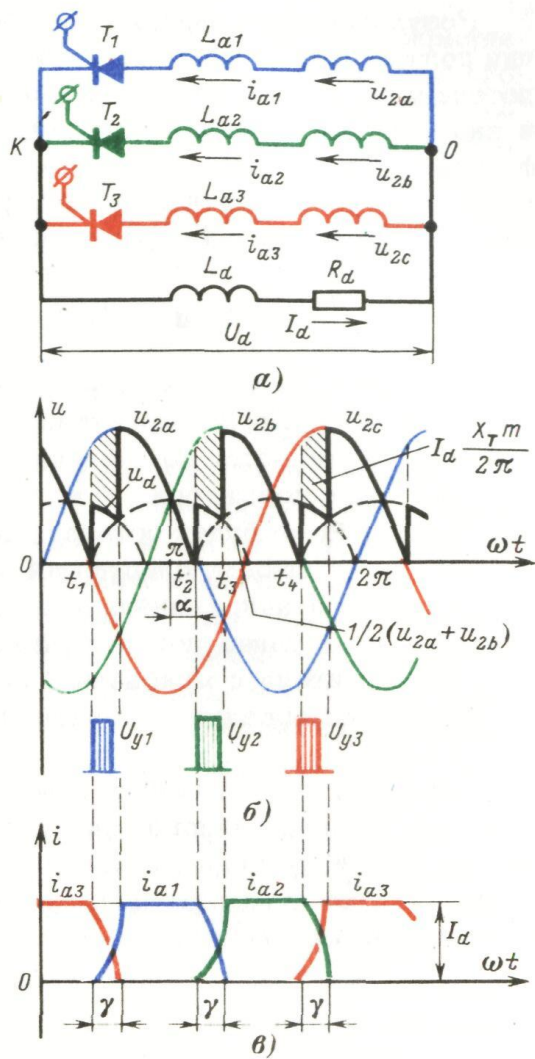
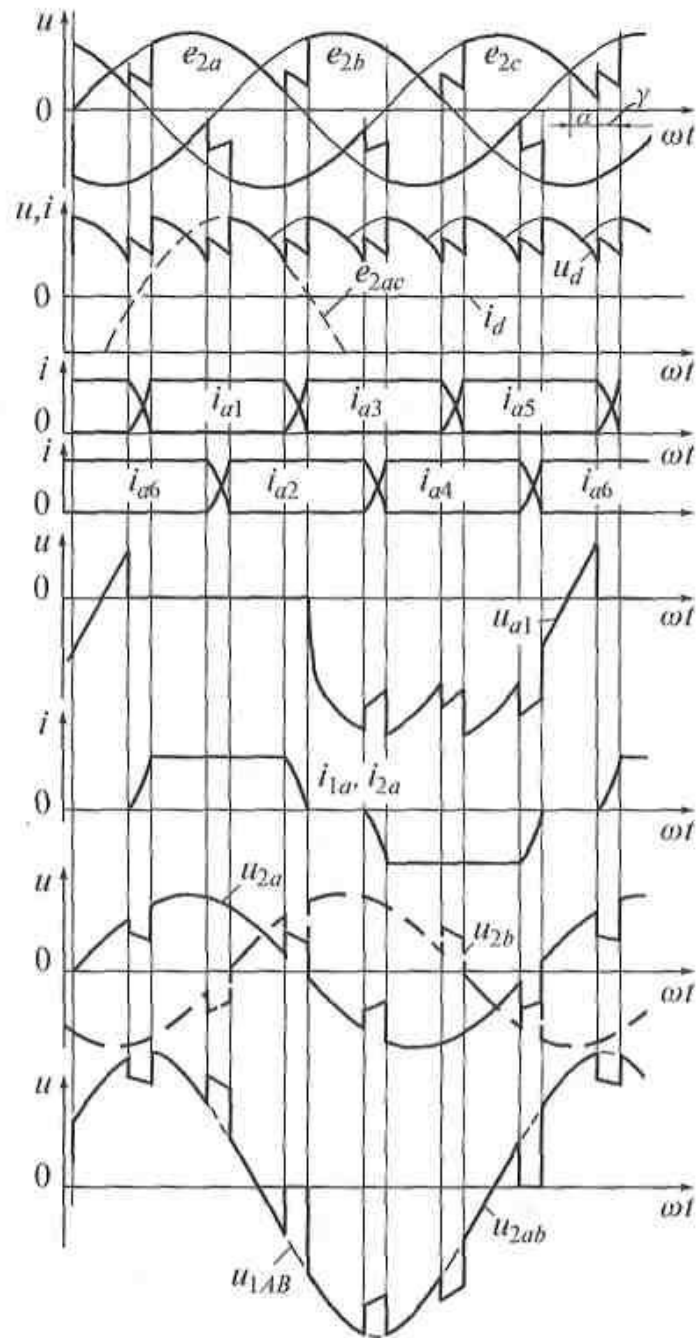


Рис. 20. Работа трехфазного выпрямителя с учетом коммутации тока в вентилях. а — схема; б и в — кривые напряжений и токов.

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



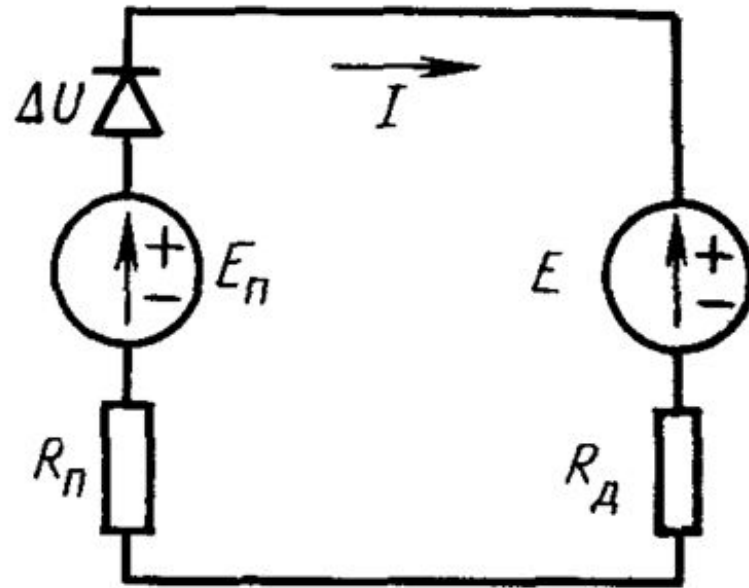
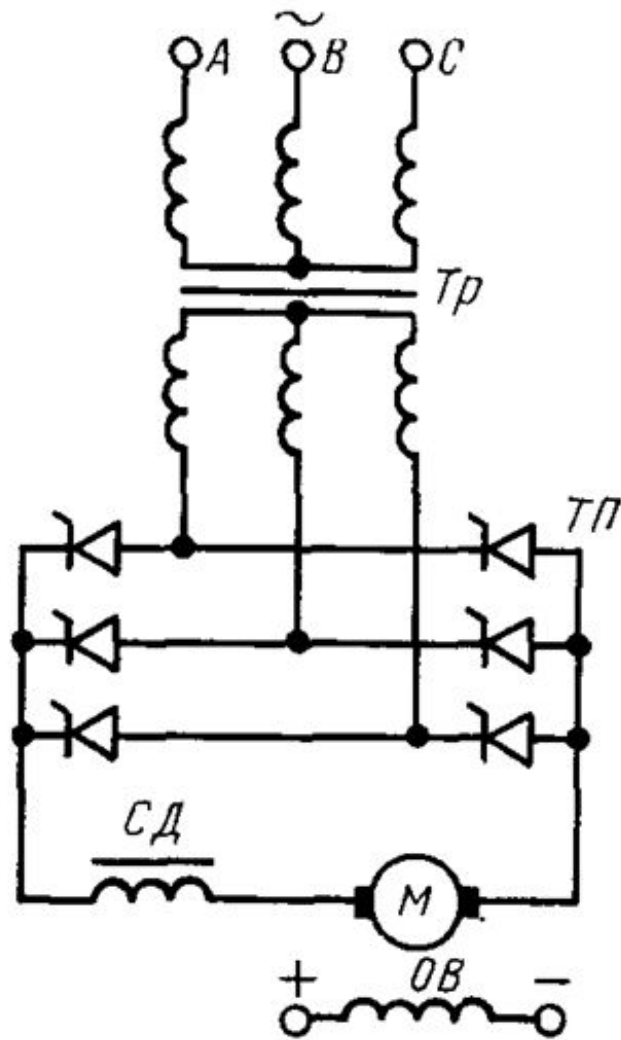


Рис. 4.3.

Рис. 4.2.

Силовая схема и схема замещения управляемого выпрямителя

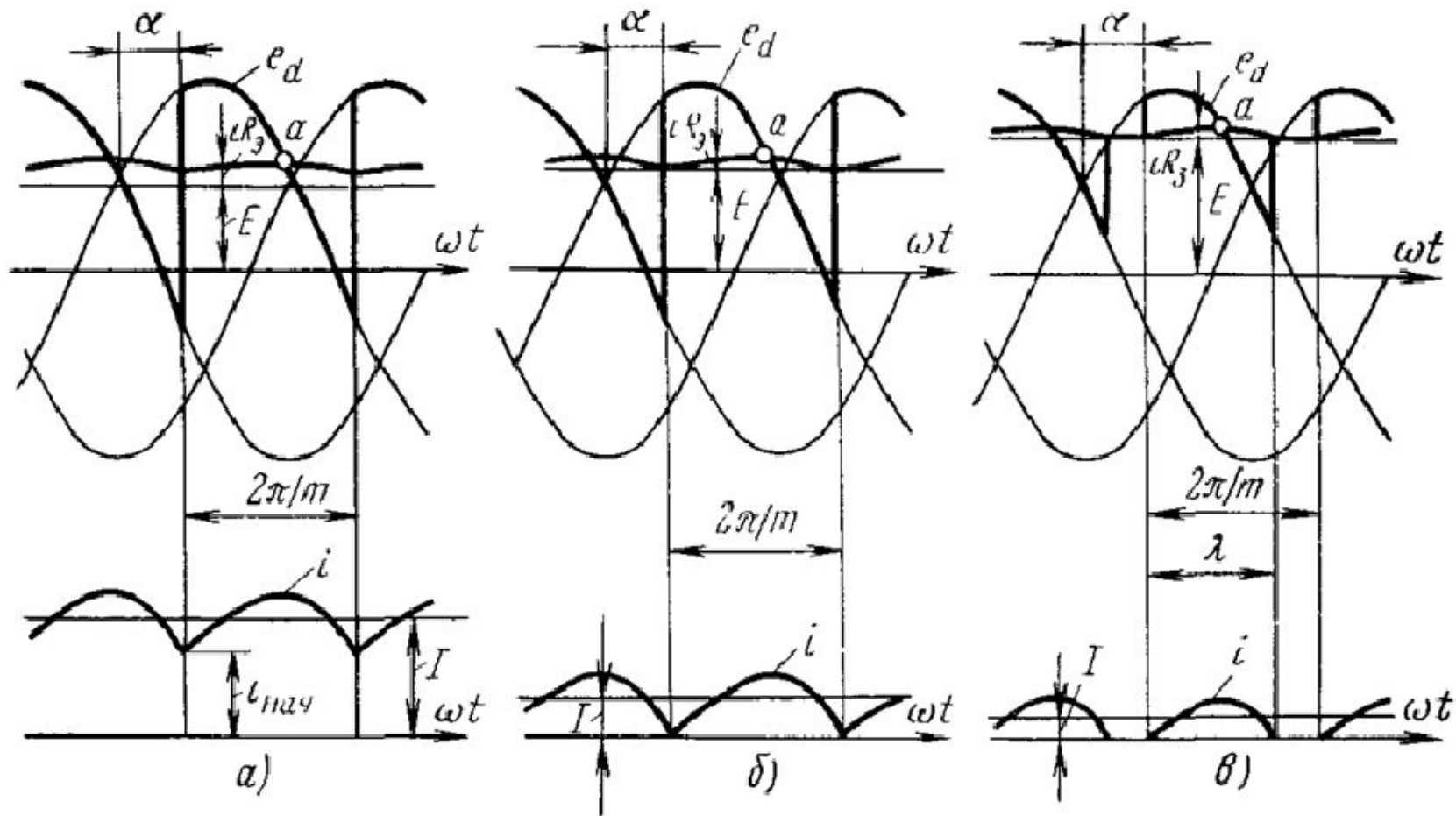


Диаграмма напряжений и токов управляемого выпрямителя в режимах непрерывного тока а), гранично-непрерывного тока б), прерывистого тока в).

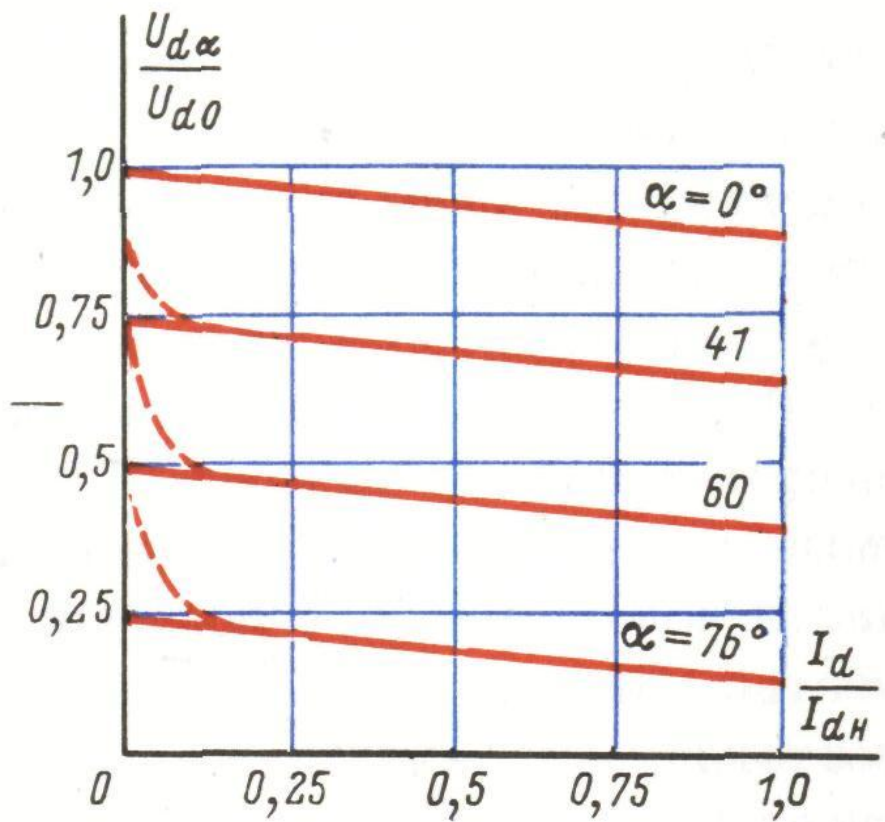


Рис. 25. Внешние характеристики управляемого выпрямителя при различных углах управления α .

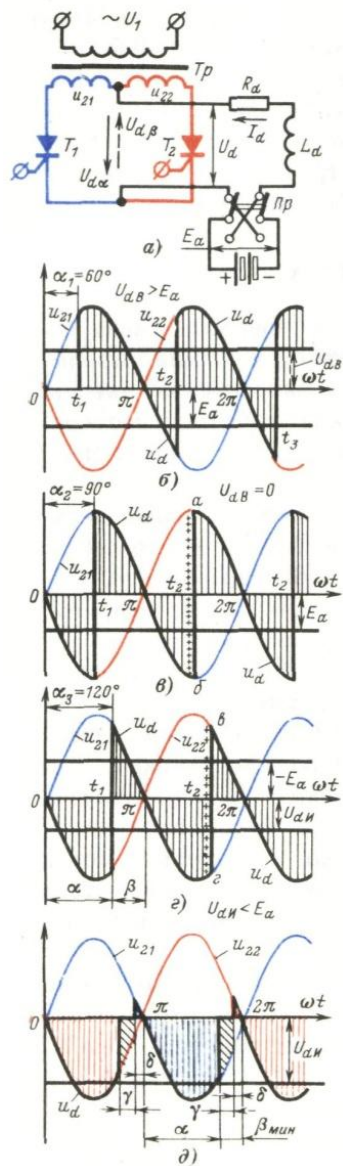
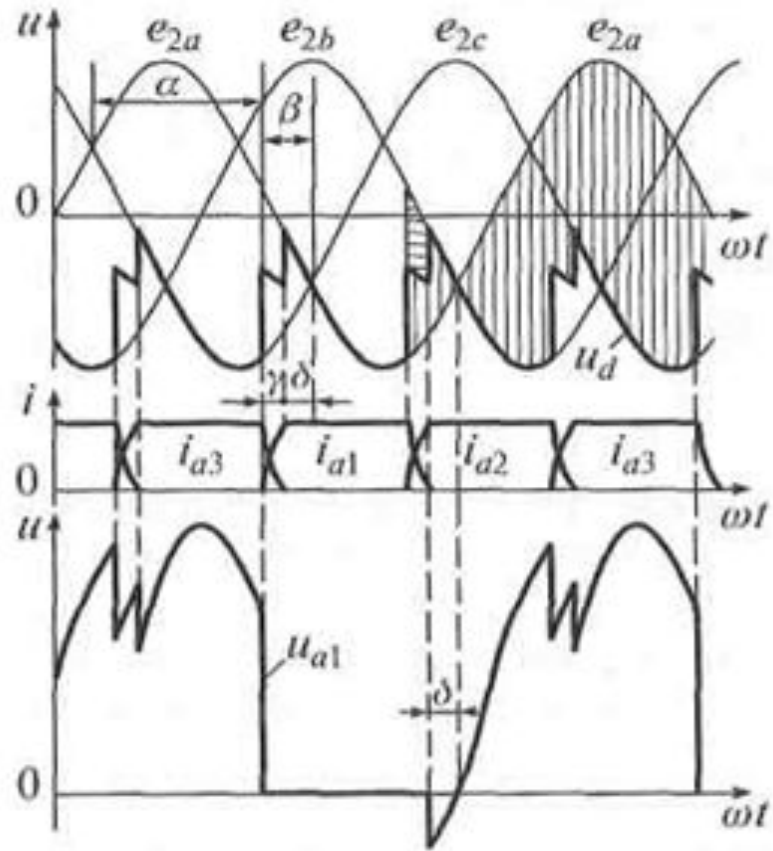
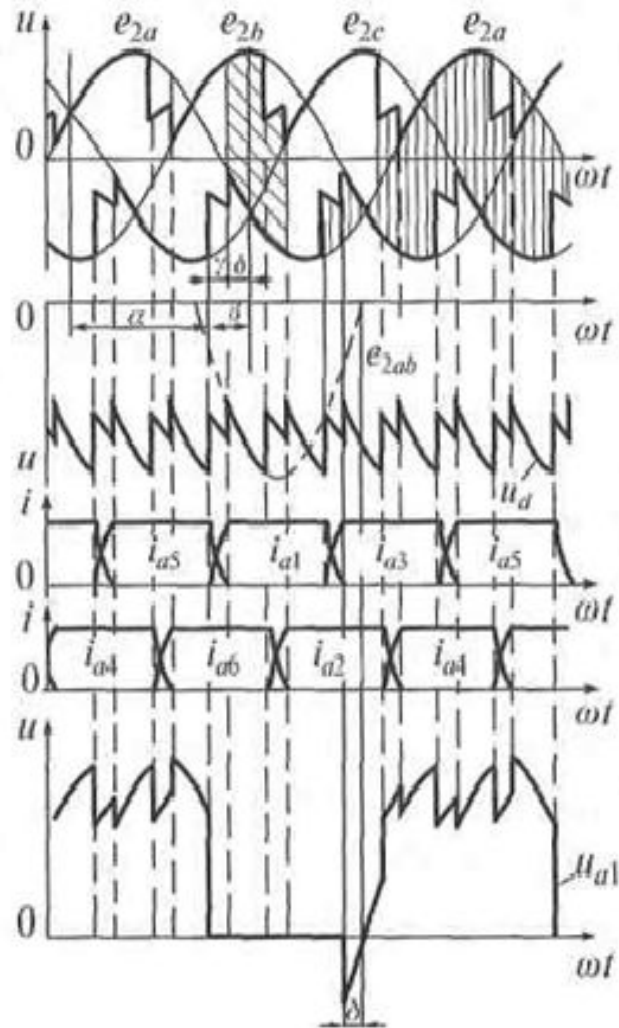


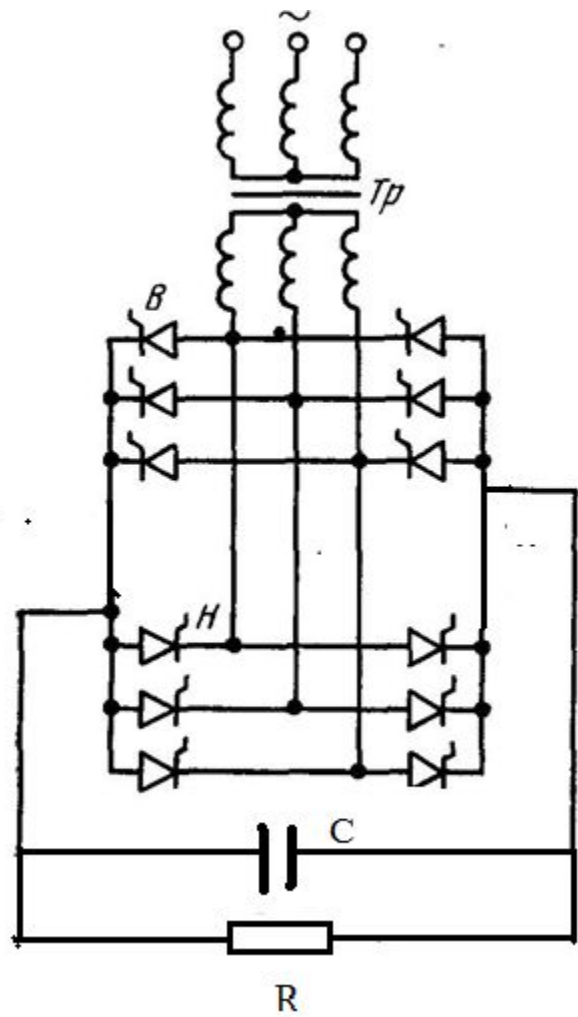
Рис. 21. Работа управляемого преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах.
 а — схема; б—г — кривые напряжений при различных углах α .

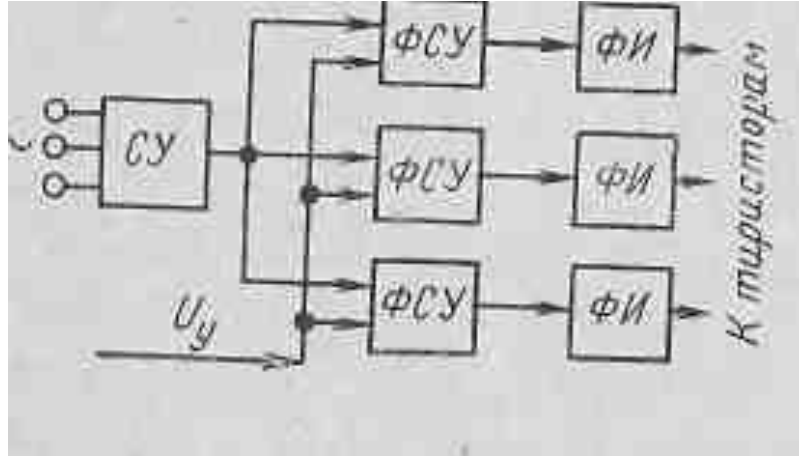


Диаграммы токов и напряжений в ведомом инверторе при $X_d = \infty$, $X_a \neq 0$ для трехфазной нулевой схемы выпрямления

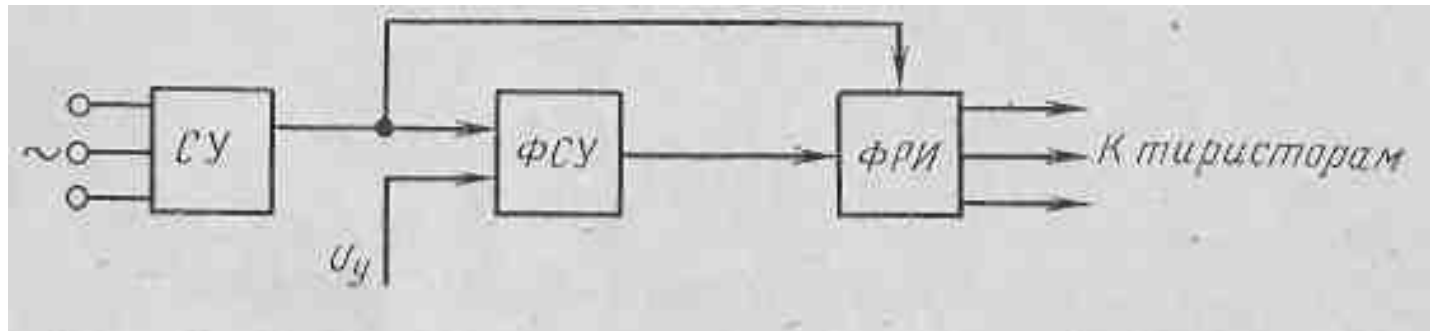


Диаграммы токов и напряжений в ведомом инверторе при $X_d = \infty$, $X_a \neq 0$ для трехфазной мостовой схемы выпрямления

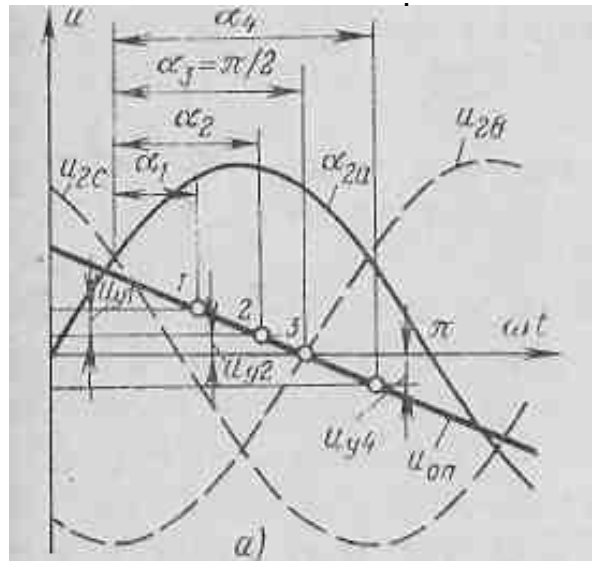




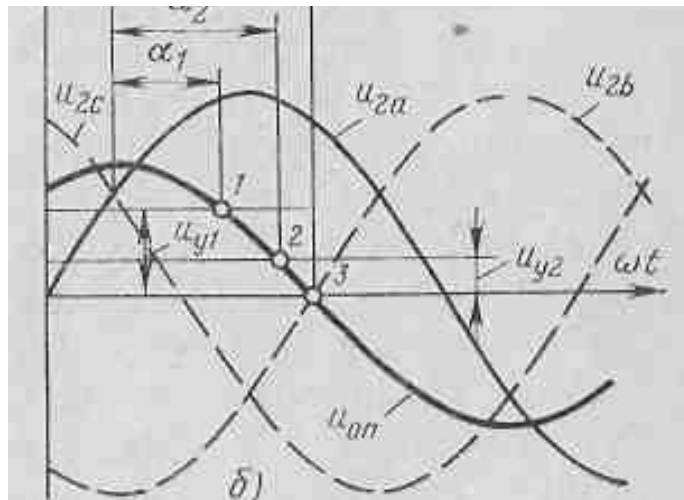
Упрощенная функциональная схема многоканальной системы.



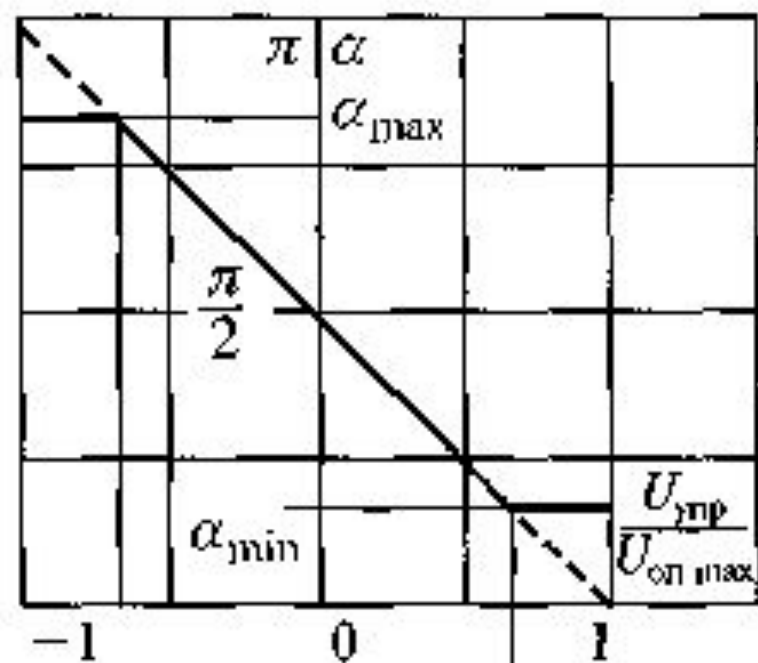
Упрощенная функциональная схема одноканальной системы



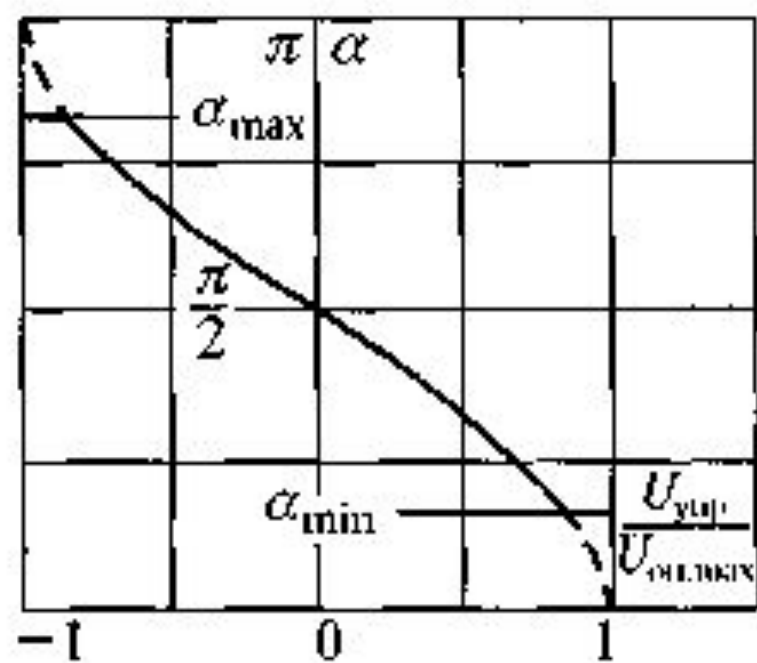
Графики пилообразного опорного напряжения U_{on} и напряжения управления СИФУ



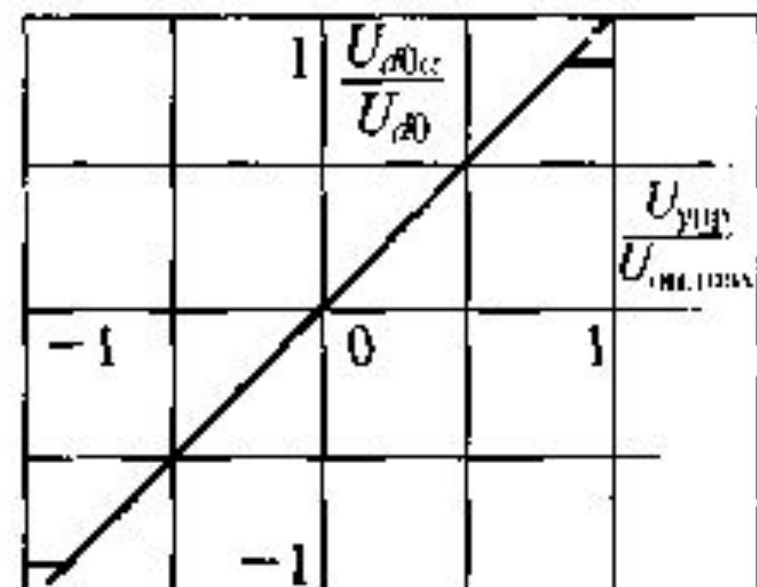
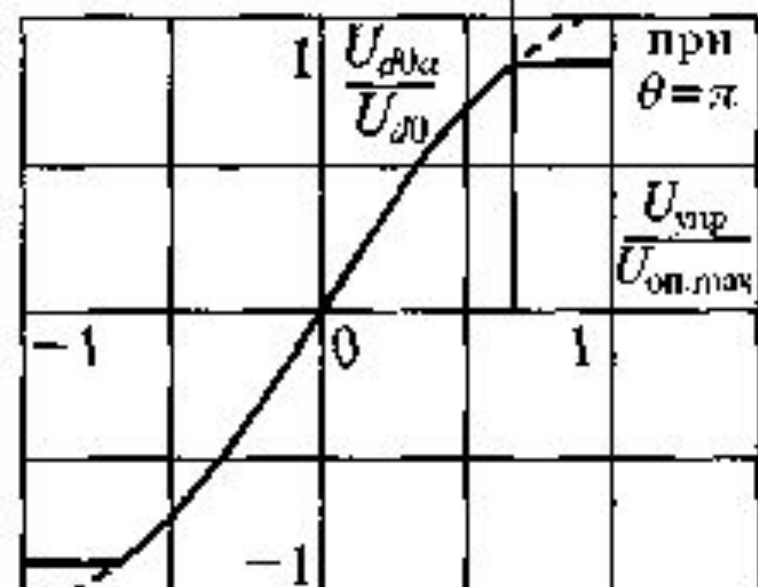
Графики синусоидального опорного напряжения U_{on} и напряжения управления СИФУ

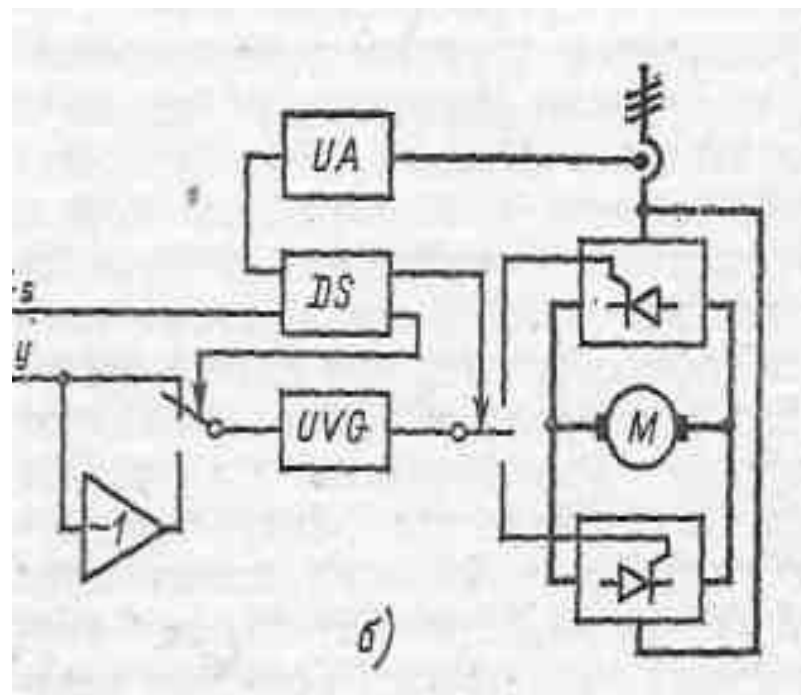
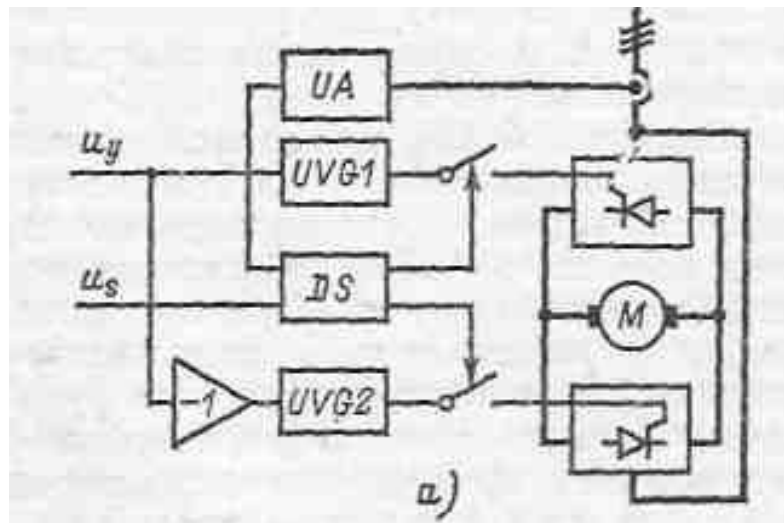


д)



е)





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

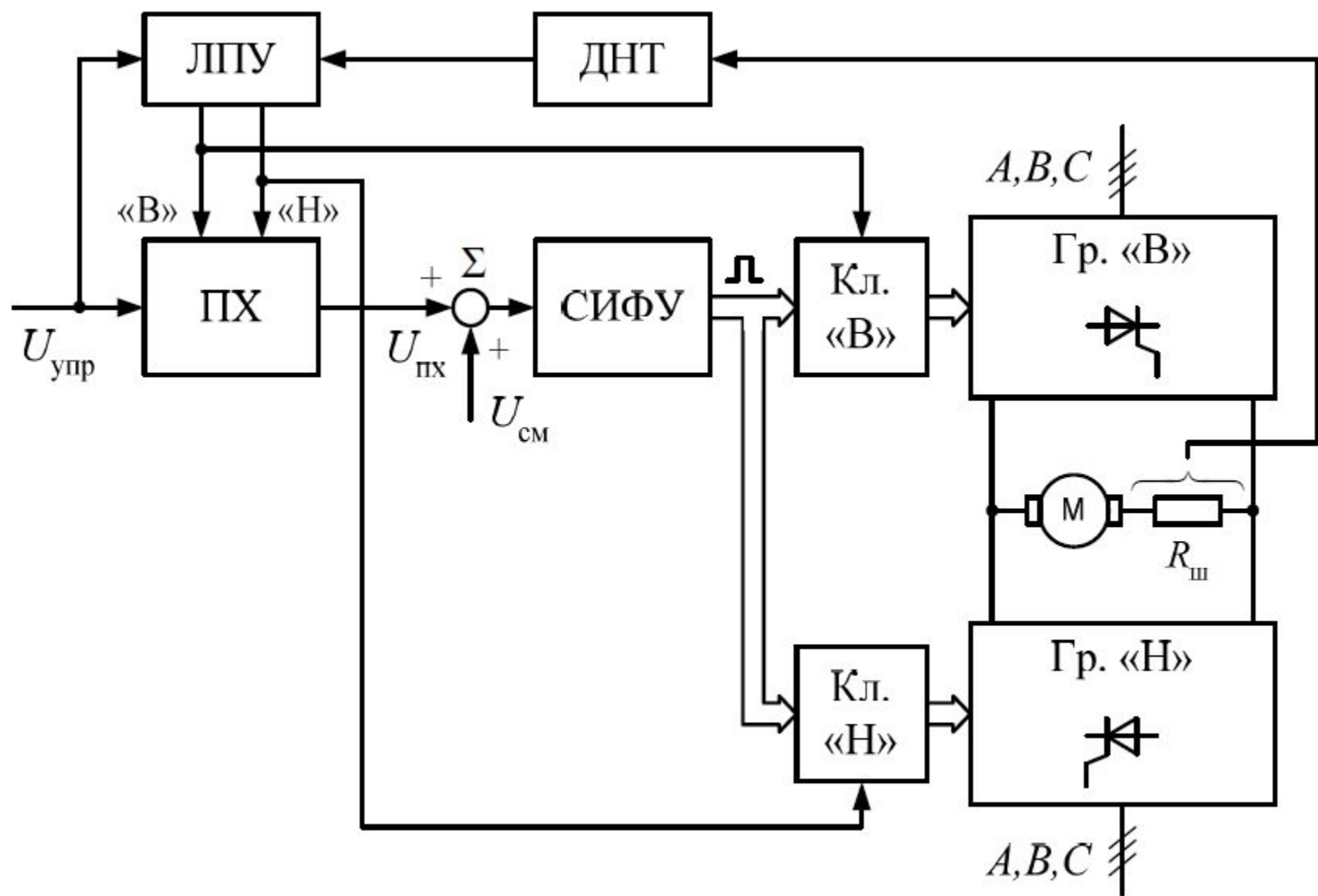


Рис. 9.14. Функциональная схема СУ реверсивного преобразователя с

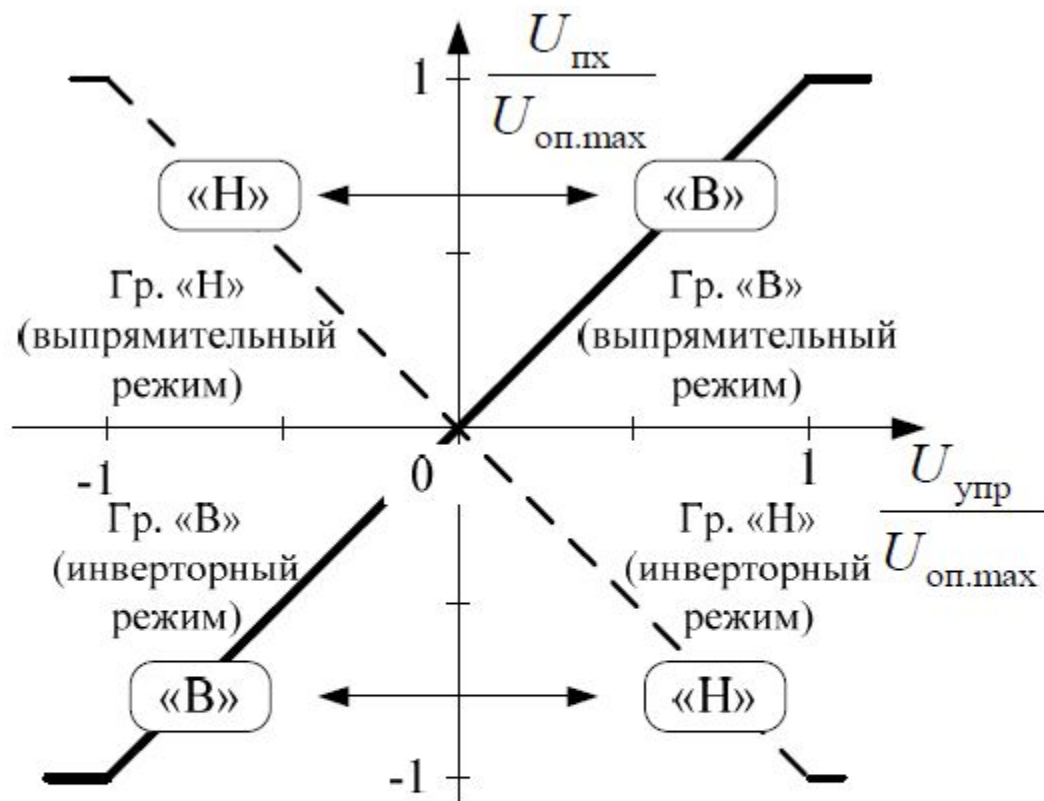
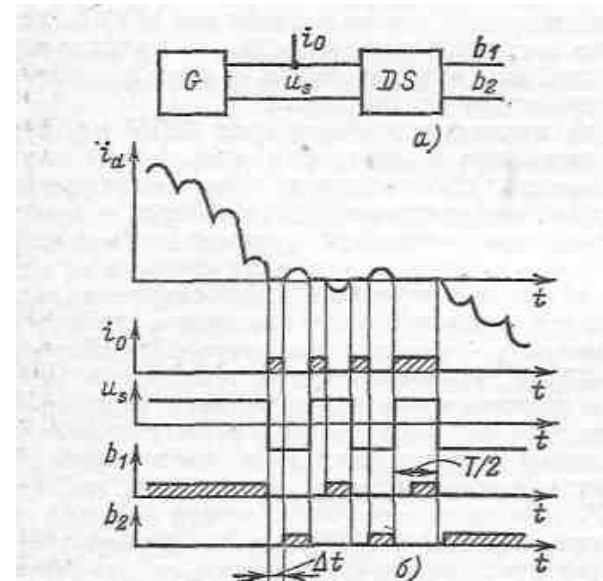
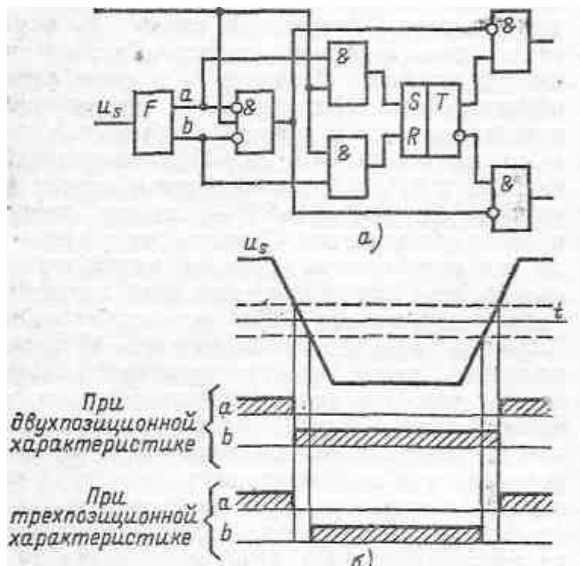
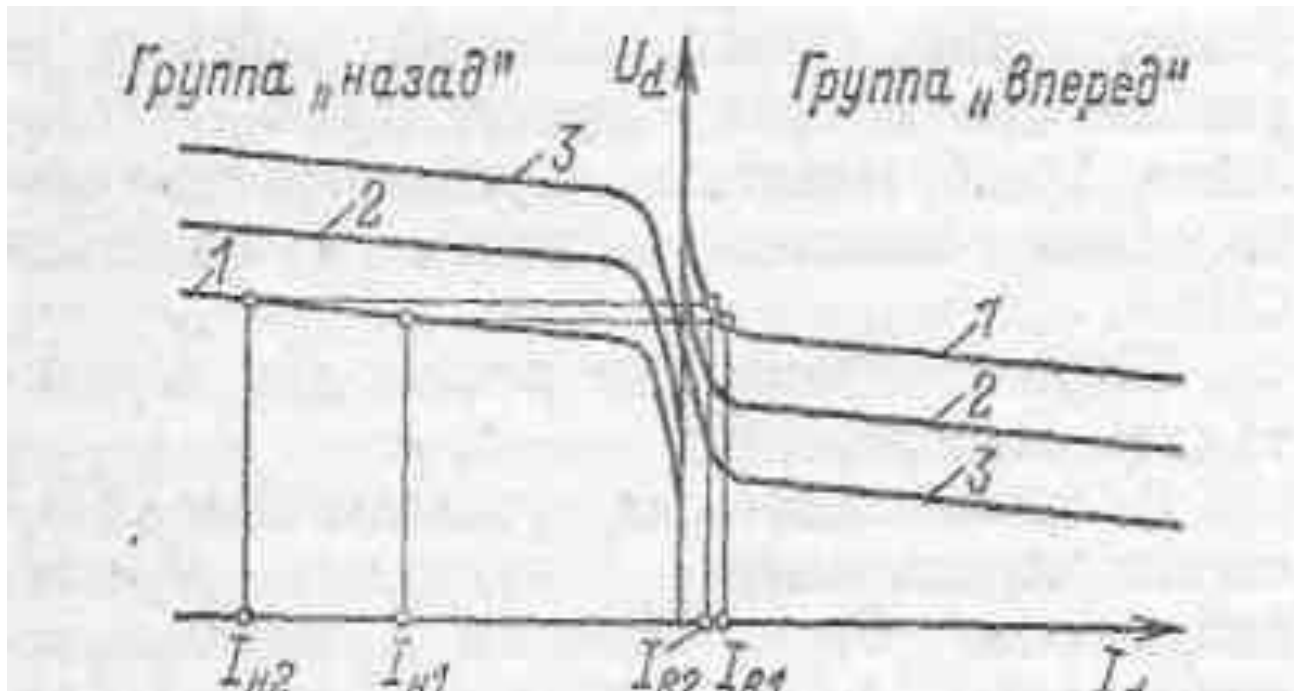


Рис. 9.15. Статическая характеристика «вход – выход» переключателя характеристик прямого канала регулирования реверсивного ТП

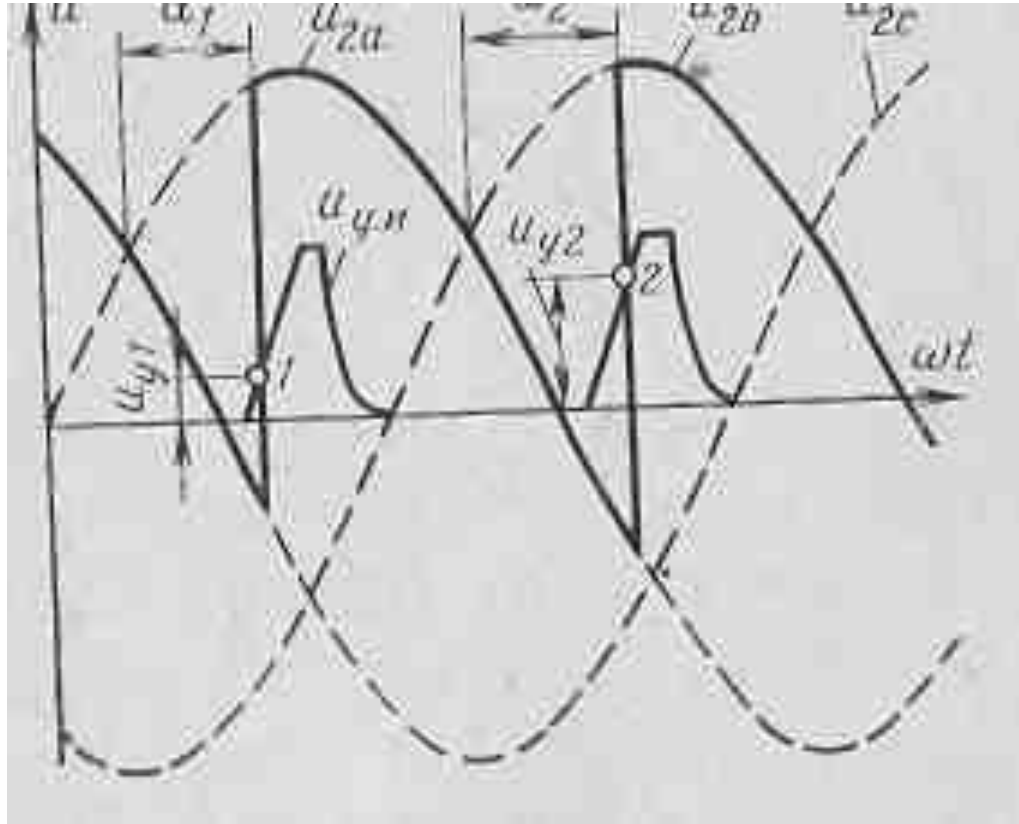


Логическое переключающее устройство.

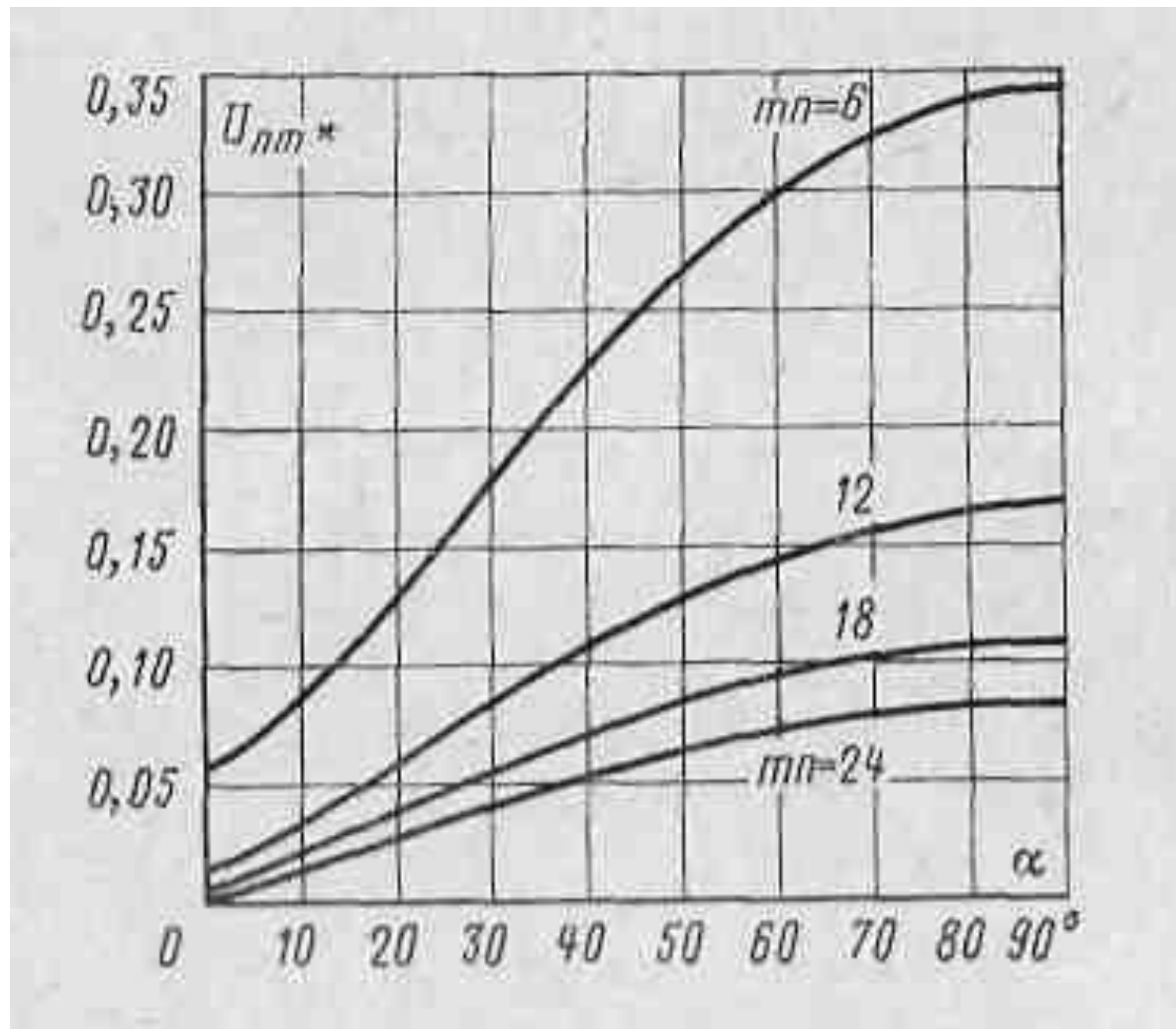
. Переключение групп сканированием, с — упрощенная схема; б — диаграммы сигналов



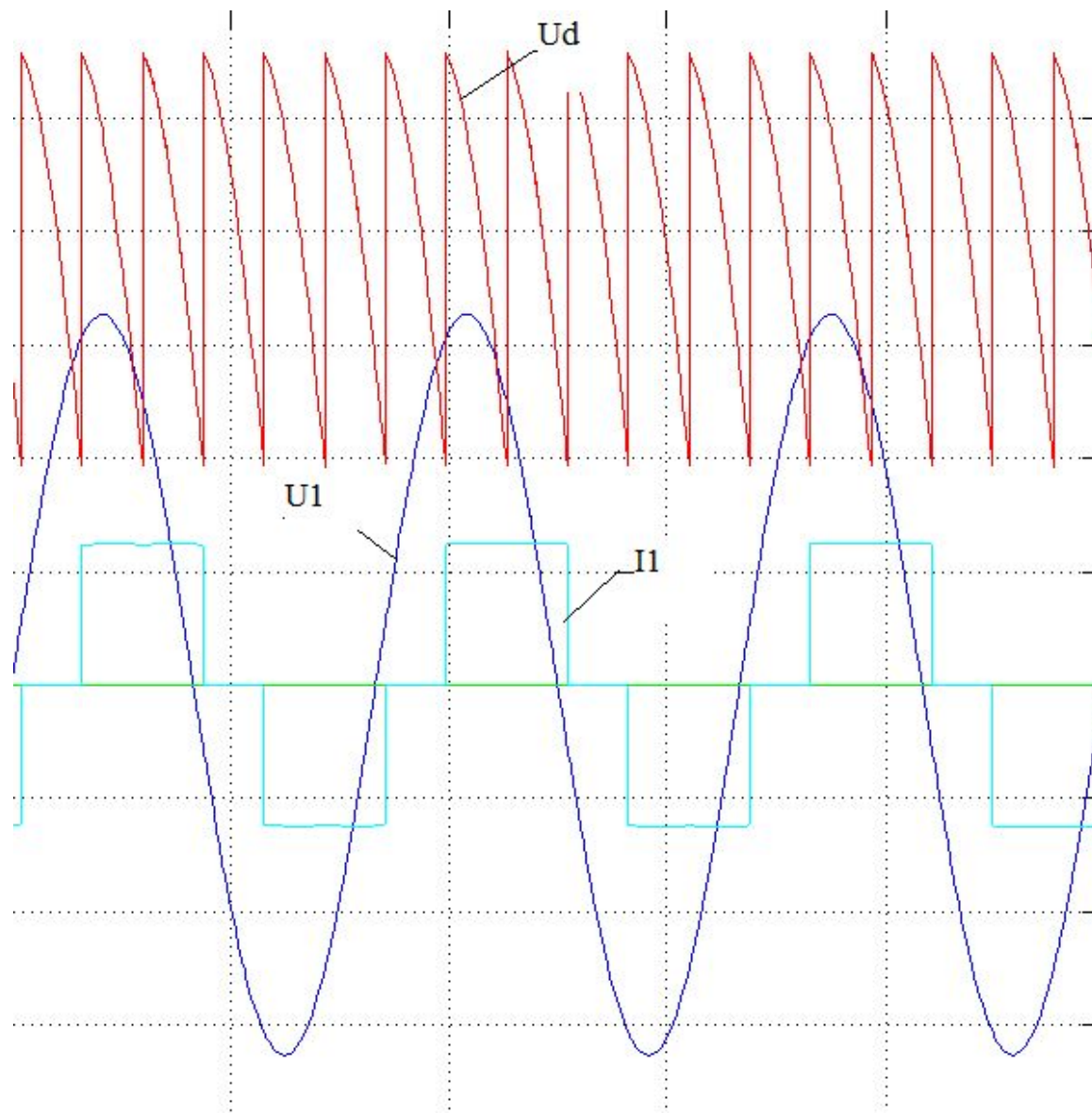
Внешние характеристики реверсивного преобразователя с отдельным управлением при различных значениях начального угла
 (1 - $\alpha_0 = 90^\circ$; 2 - $90^\circ < \alpha_0 < 120^\circ$; 3 - $\alpha_0 = 120^\circ$)



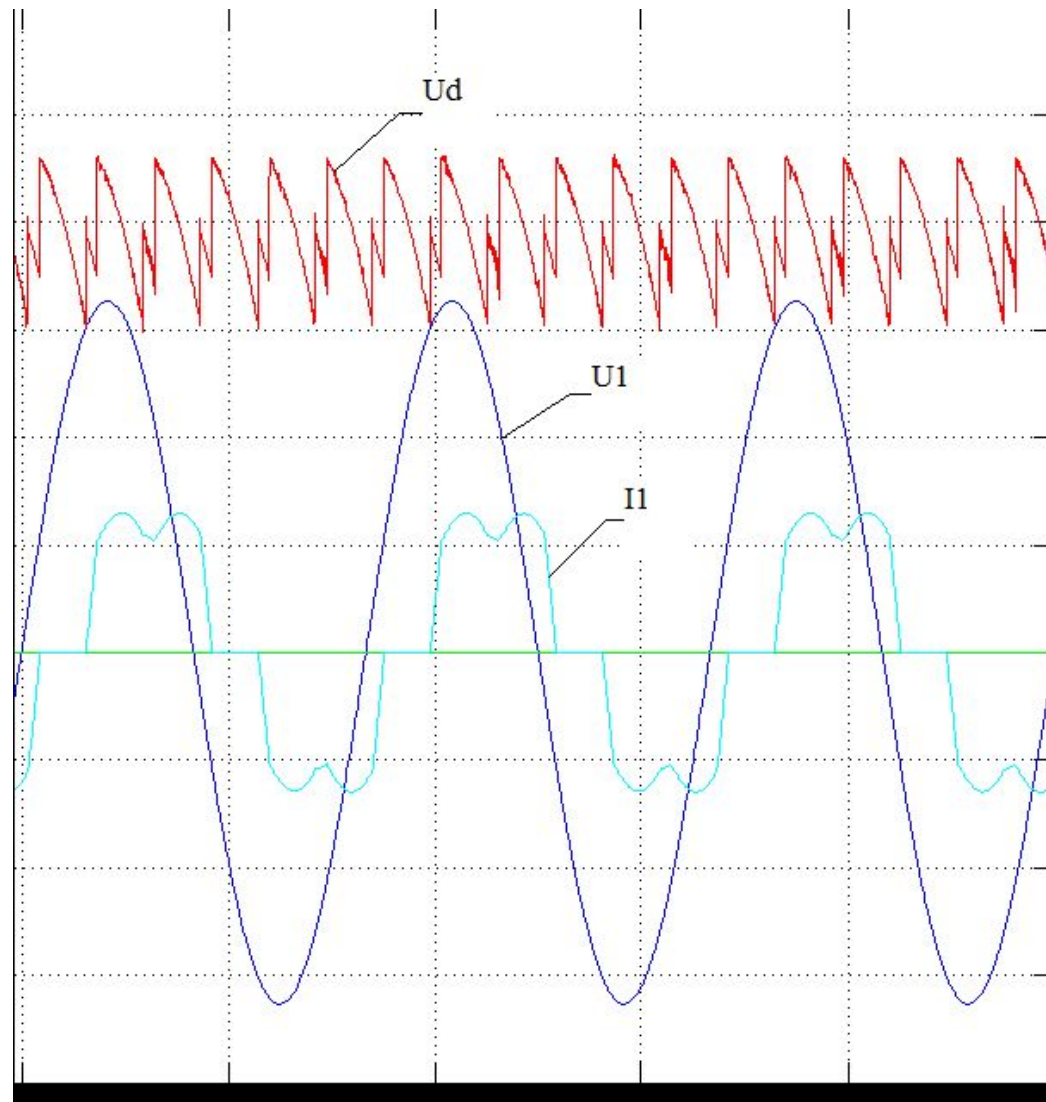
Графики выпрямленного напряжения и напряжения управляющих импульсов при их разной крутизне



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 $L_d \neq \infty$, $L_{2T} \neq 0$.

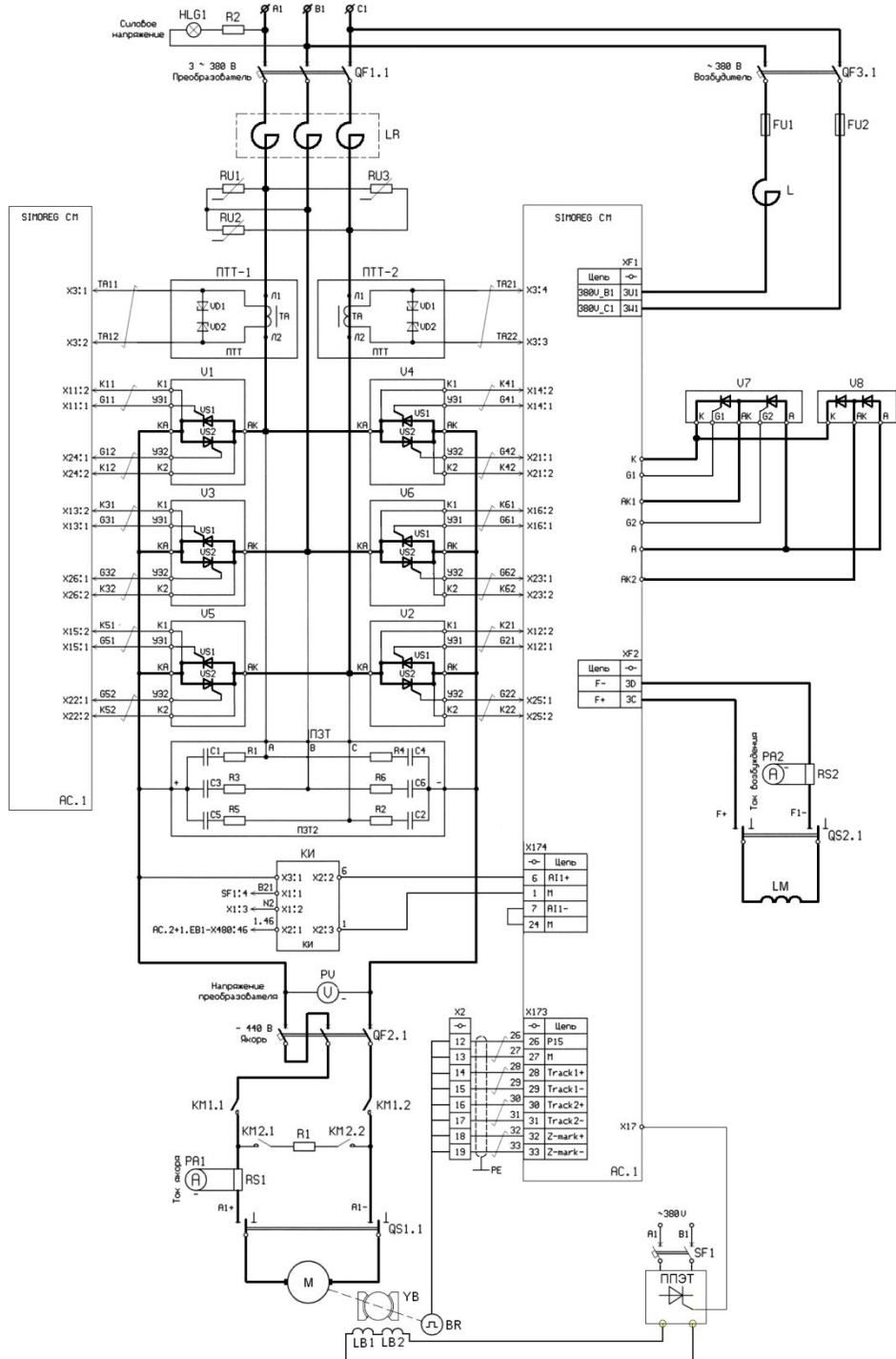


Схема силовых цепей
КТЭ

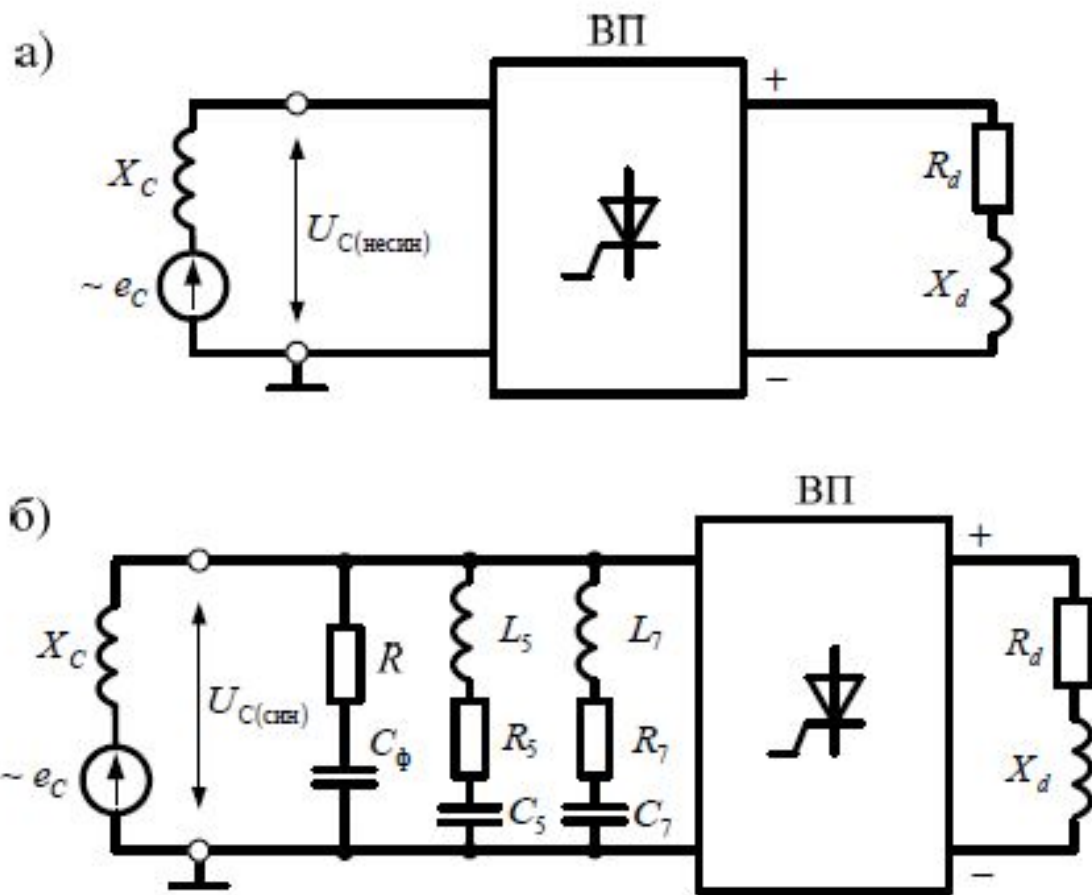
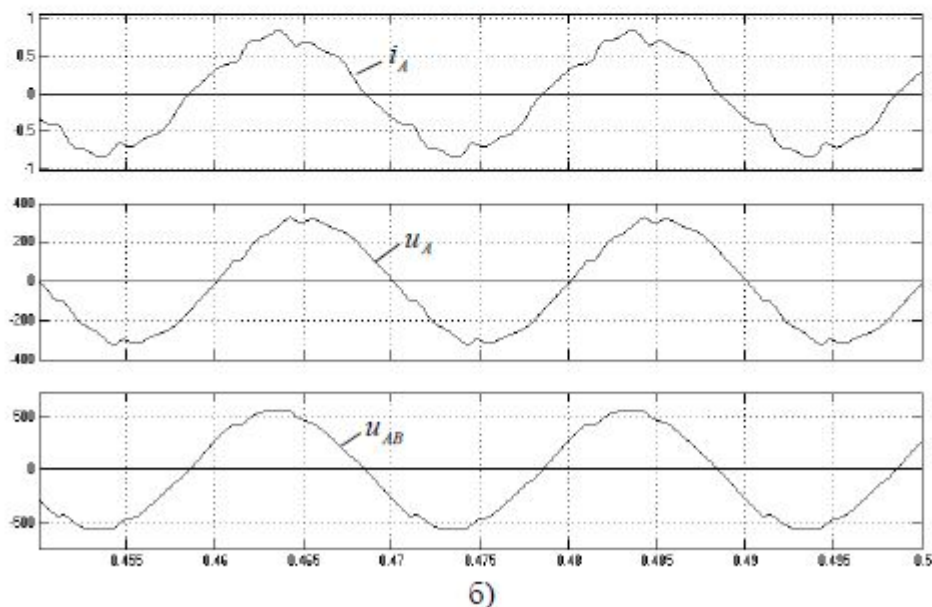
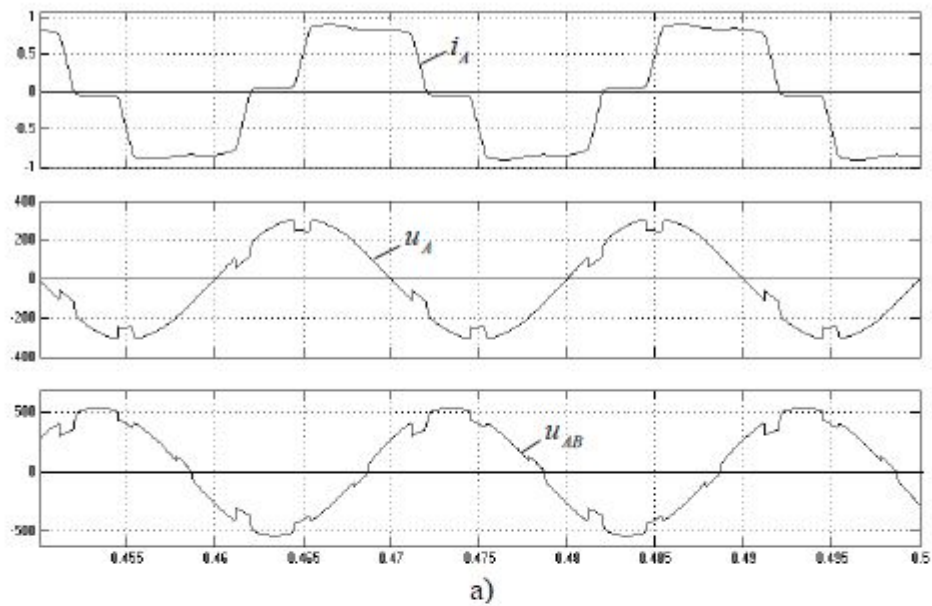


Схема подключения ведомого преобразователя к сети непосредственно (а) и через сетевой фильтр (б)



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

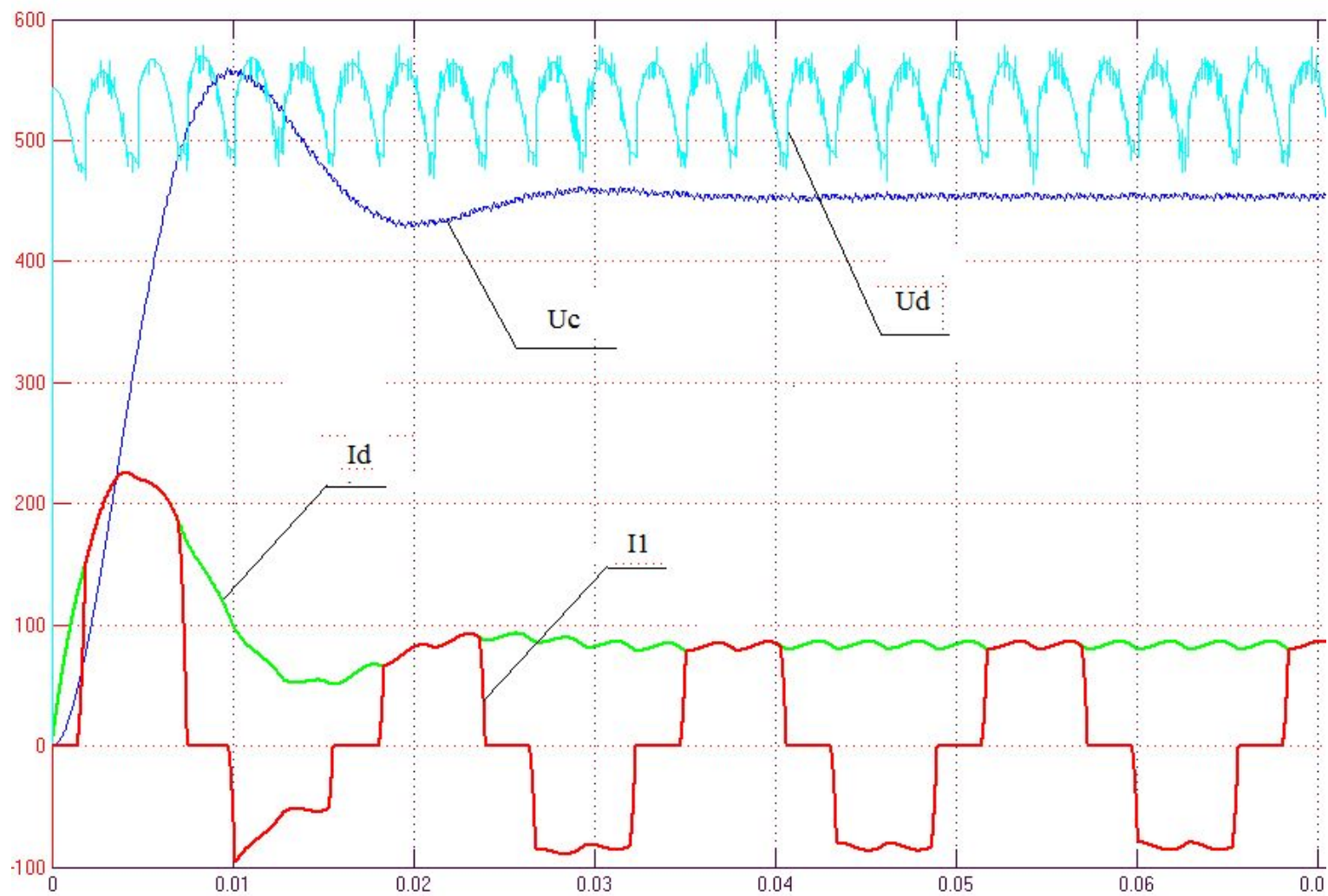
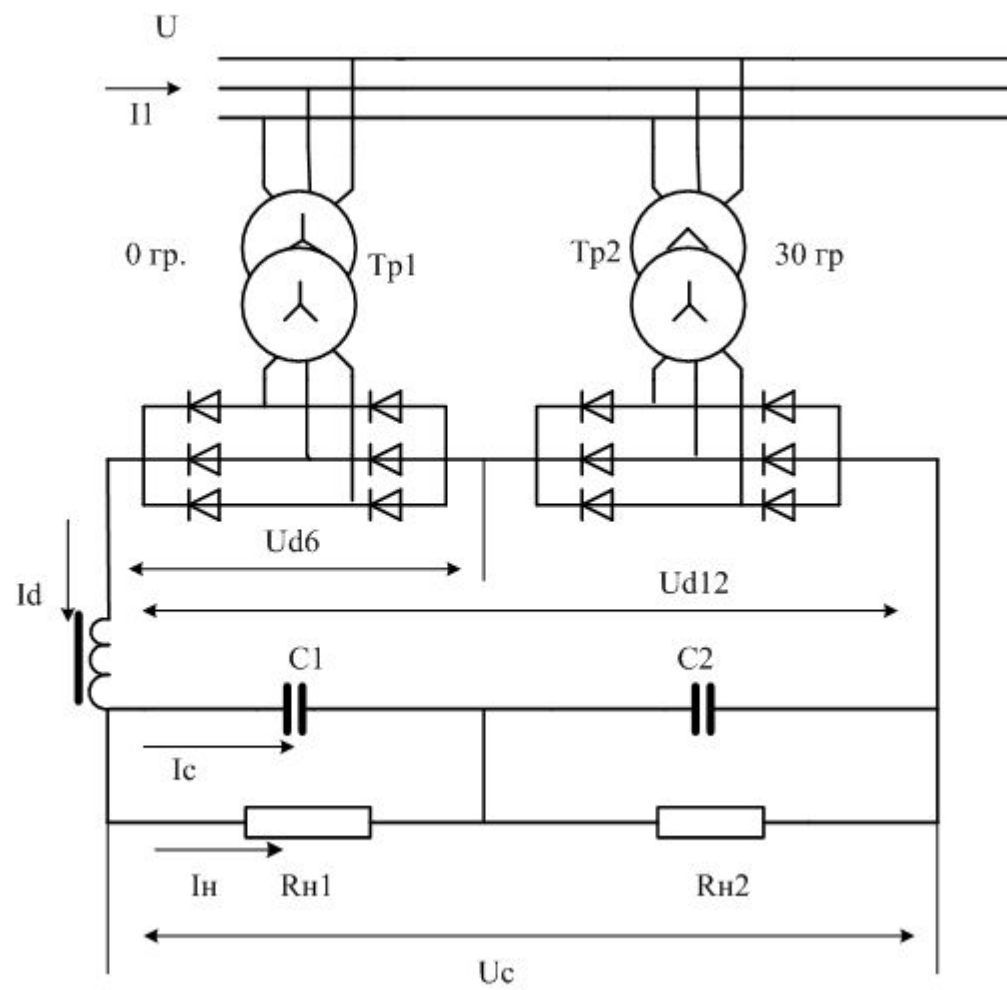


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 6-ти пульсного выпрямителя



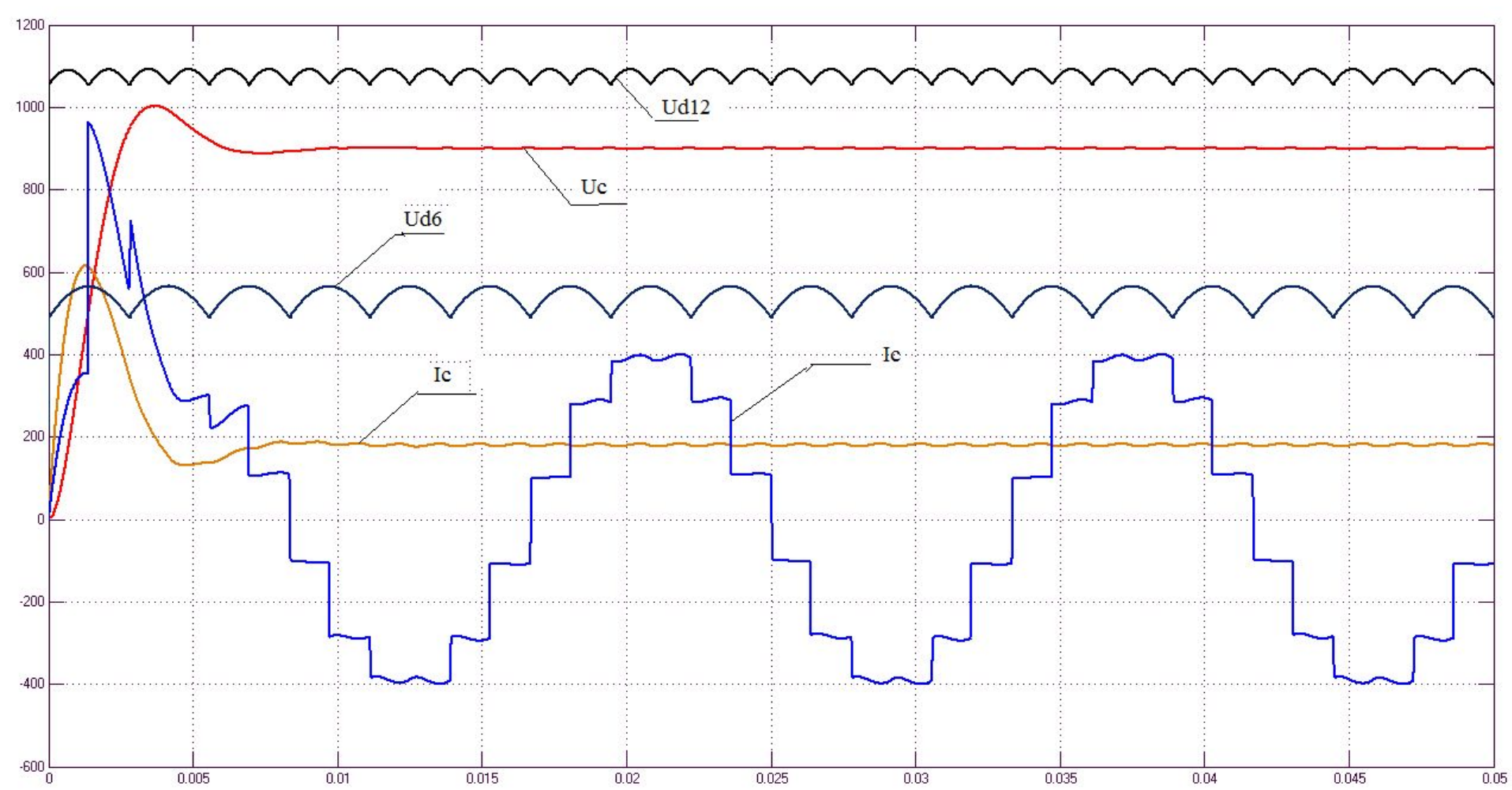


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 12-ти пульсного выпрямителя

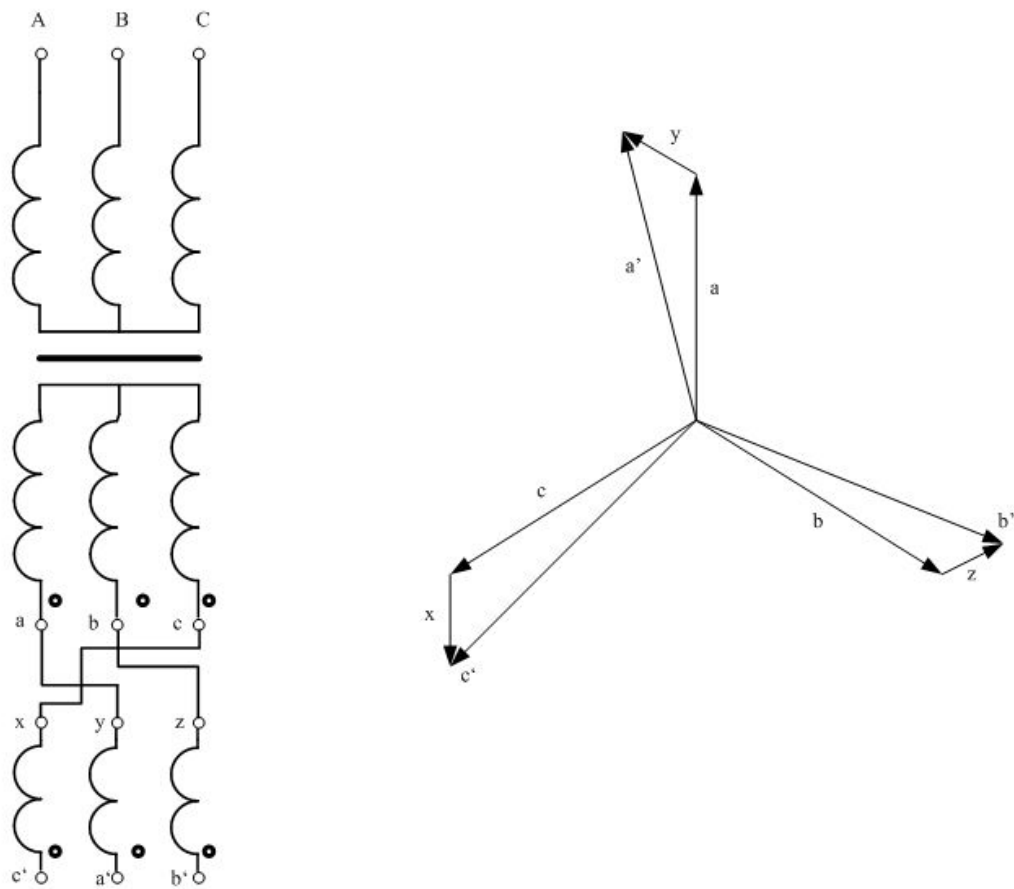
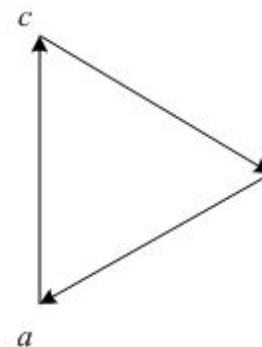
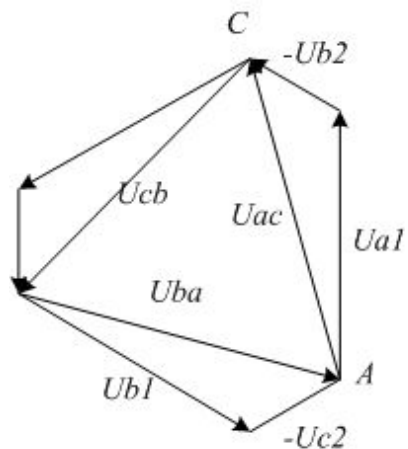
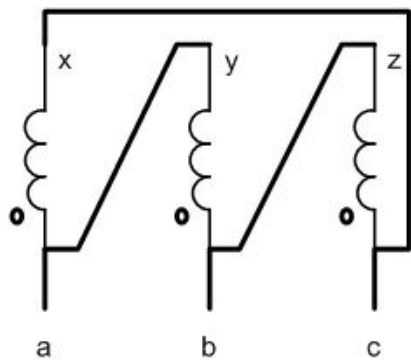
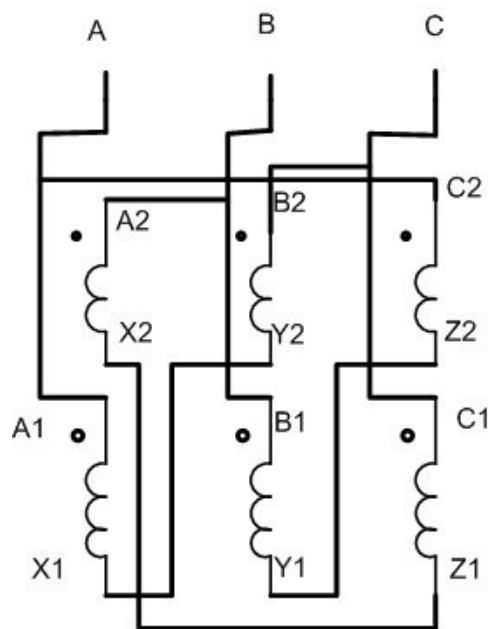


Рис. Схема соединений и векторная диаграмма силового трансформатора для многофазных схем выпрямления



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

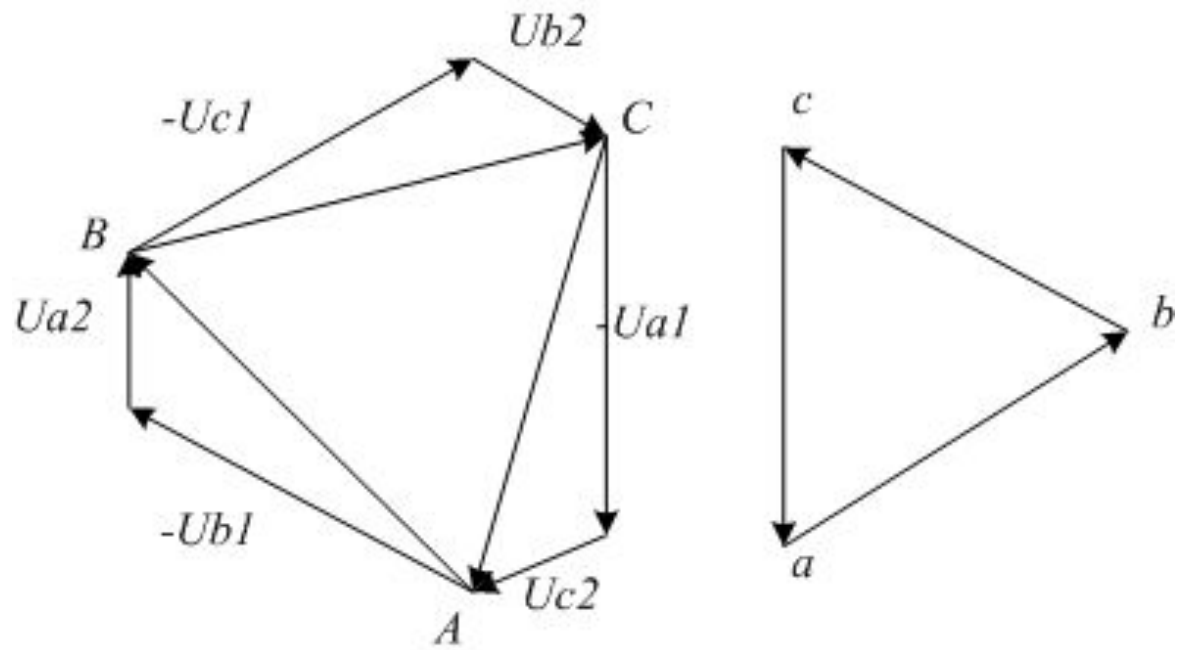
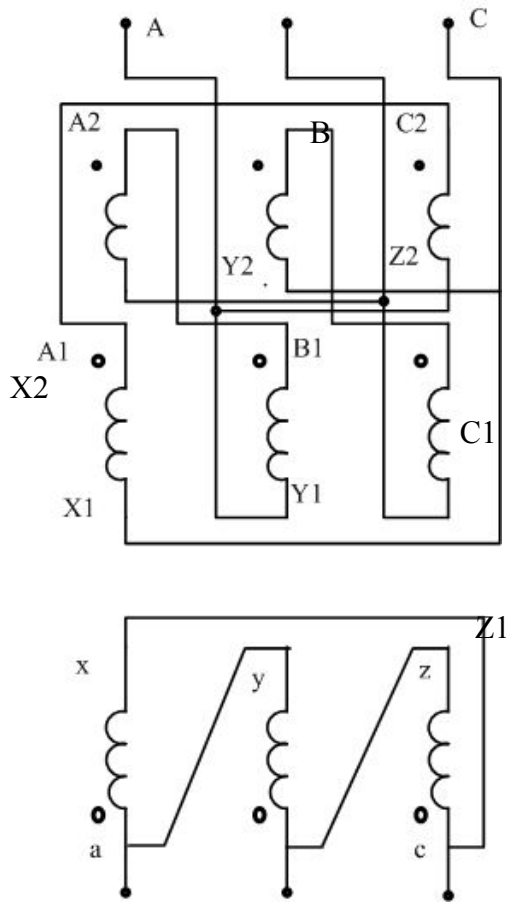
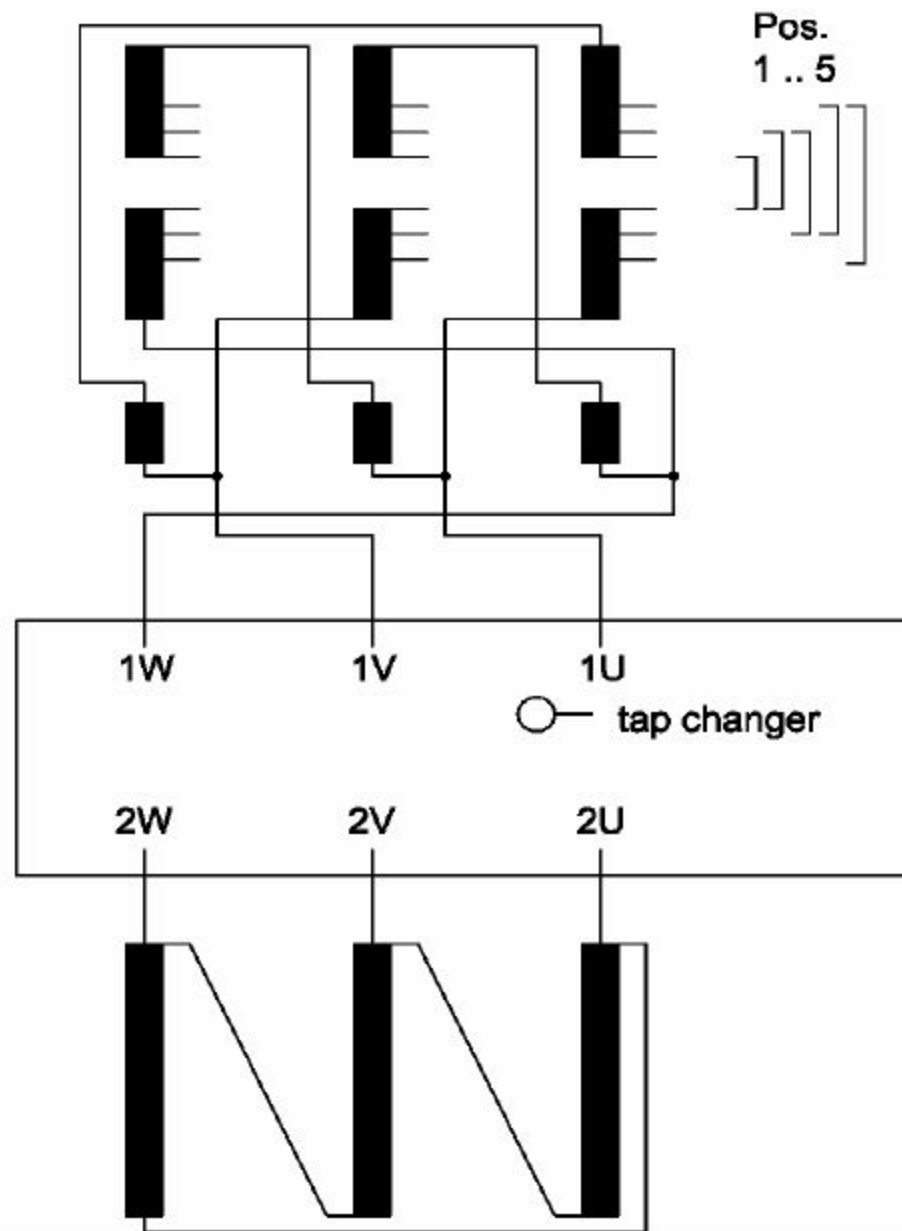


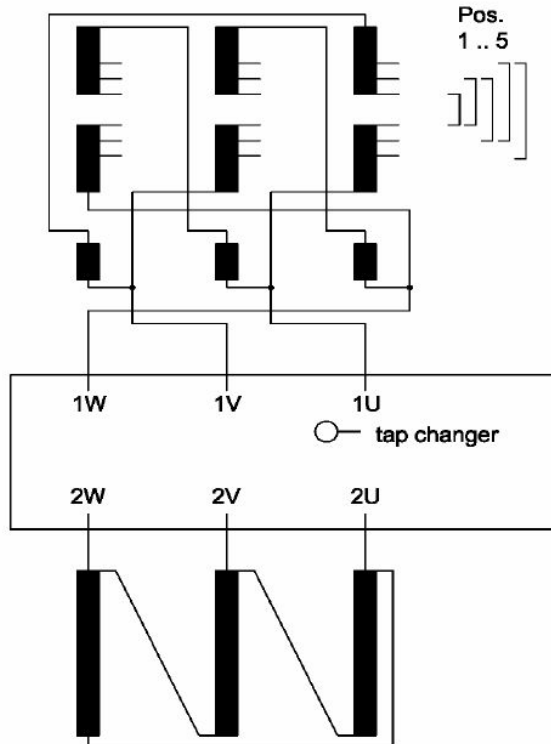
Рис. Схема соединений и векторная диаграмма силового трансформатора для 18-ти пульсовой схемы выпрямления



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

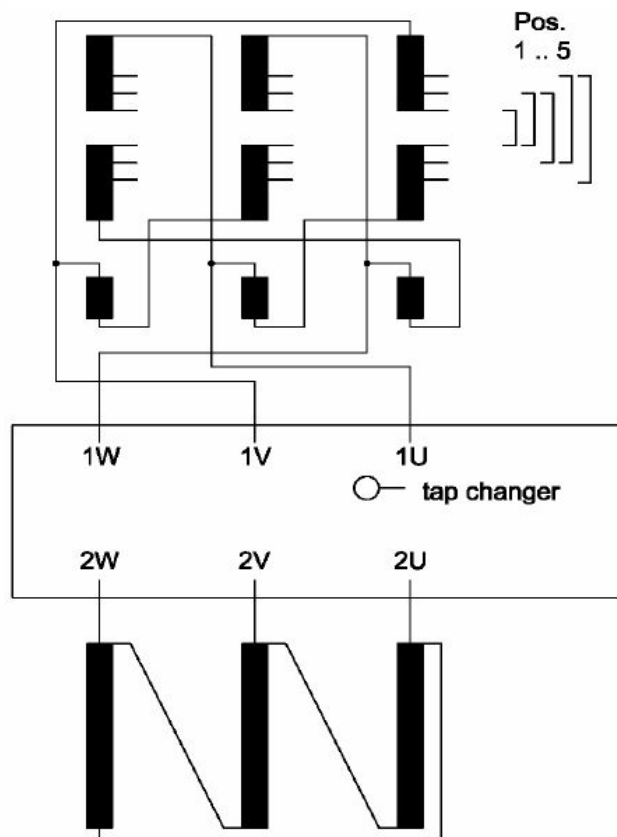


System 1 - D(+20°)		
Pos.	Voltage	Connect.
1	10500 V	1U - 1V - 1W
2	10250 V	
3	10000 V	
4	9750 V	
5	9500 V	

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

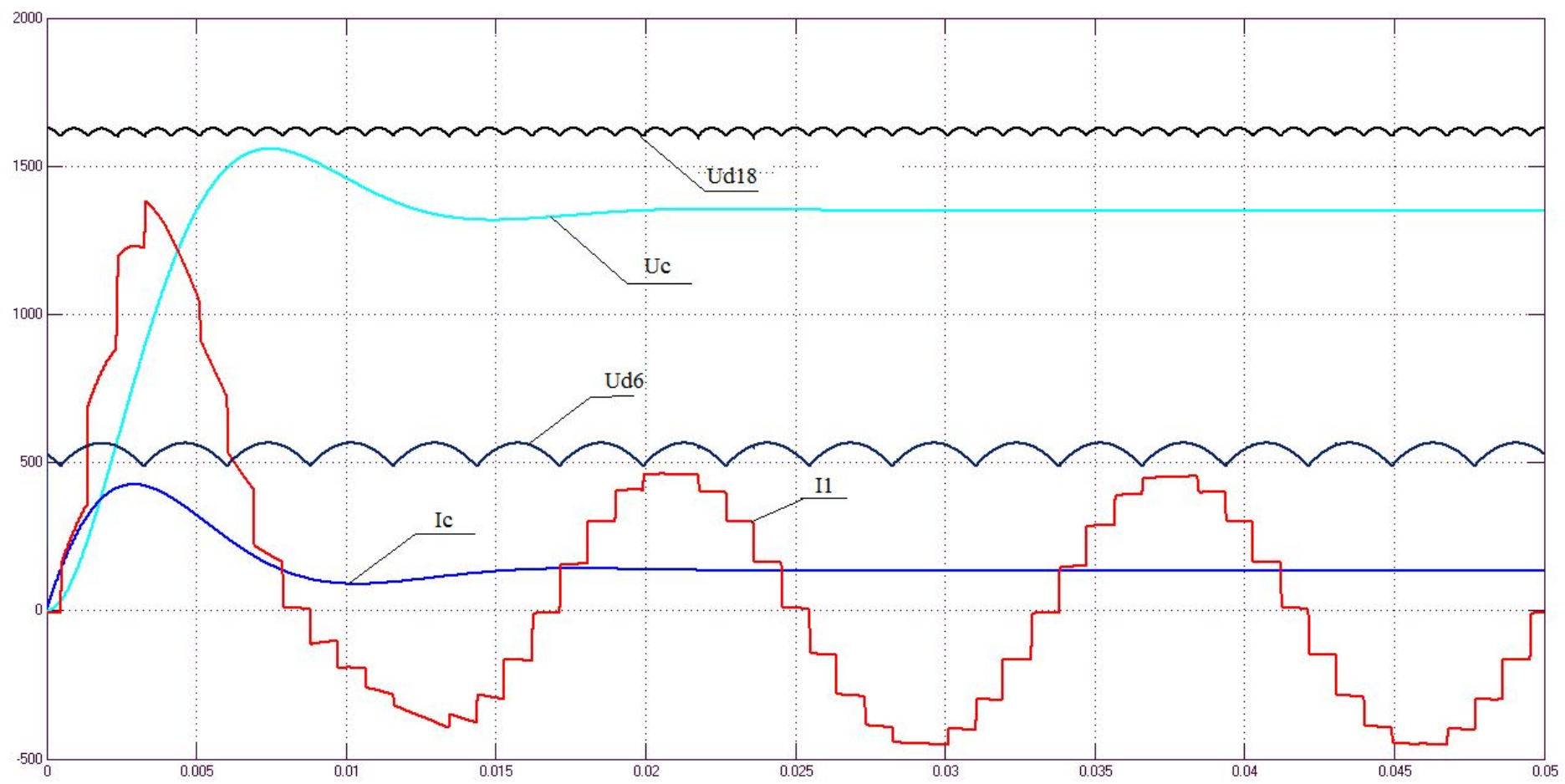


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 18-ти пульсного выпрямителя

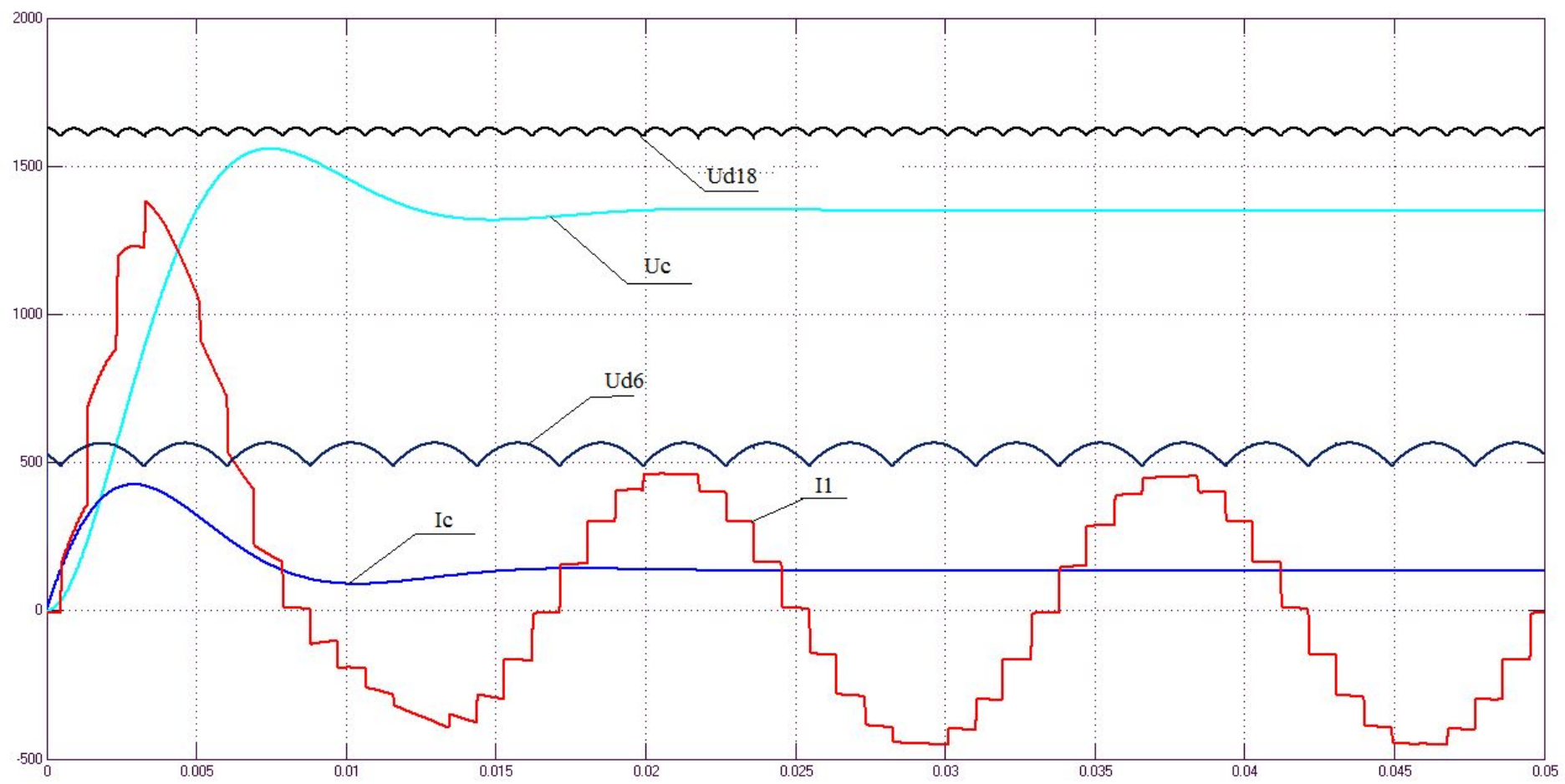


Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 18-ти импульсного выпрямителя

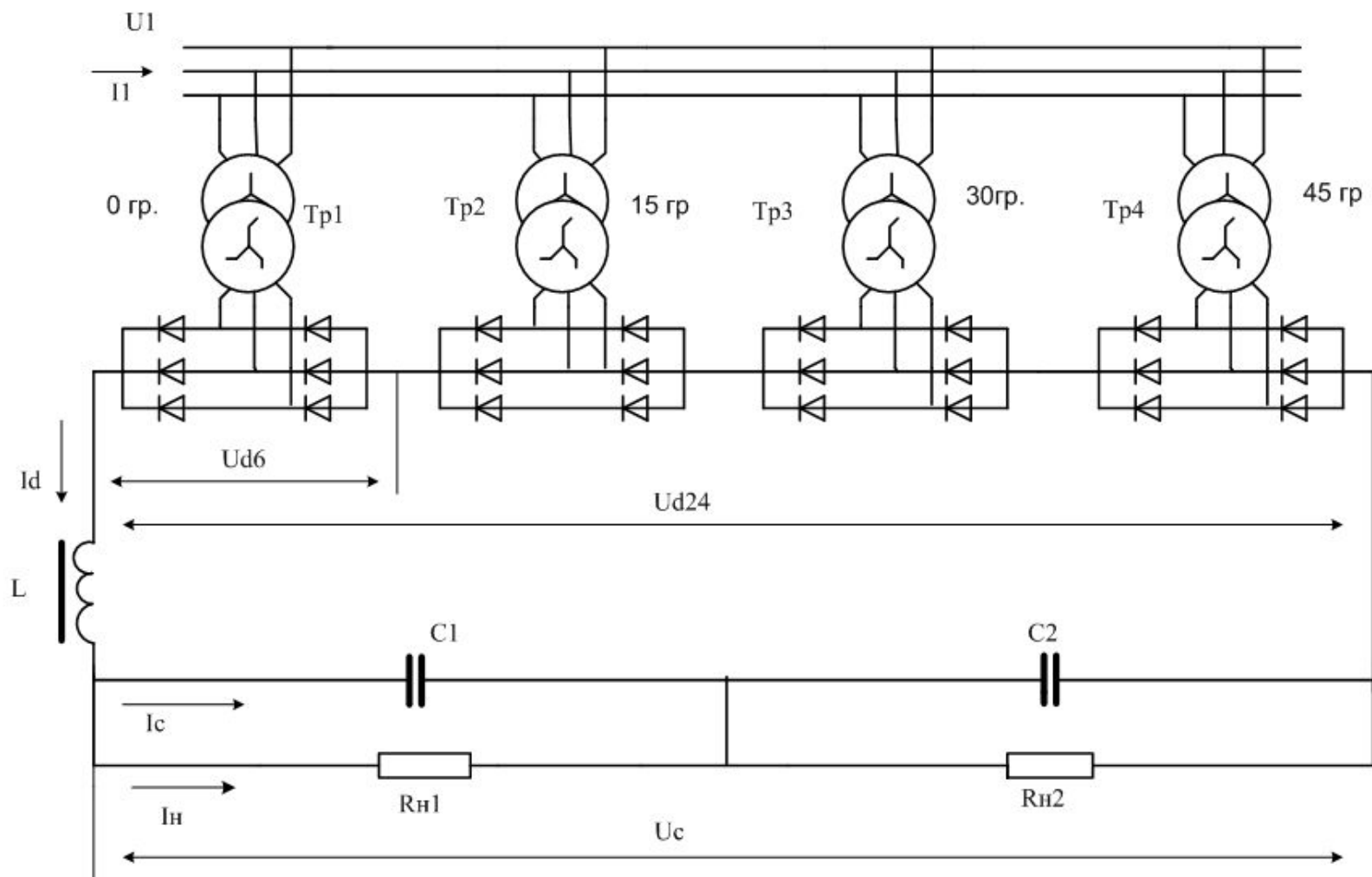


Рис. Силовая схема выпрямителя с числом пульсаций, равным 24

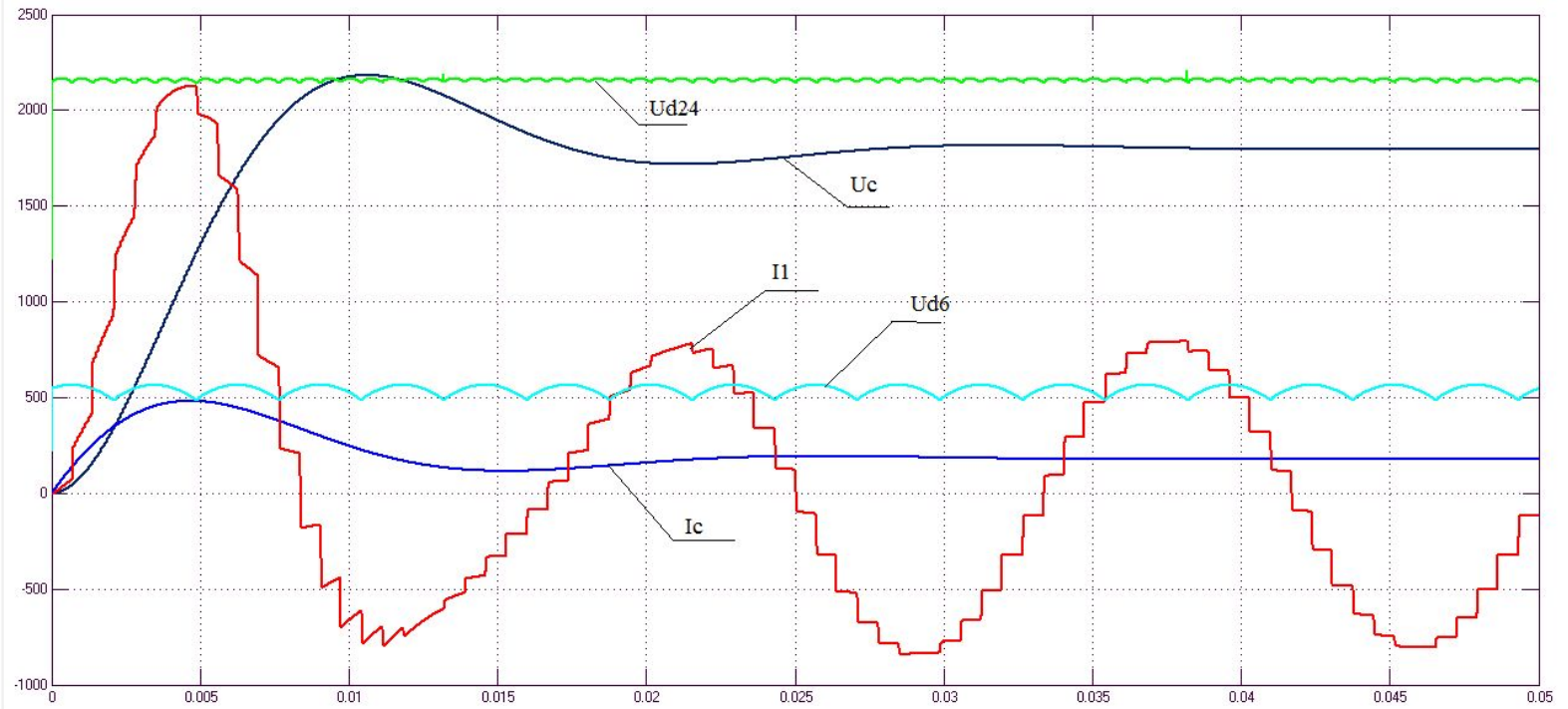
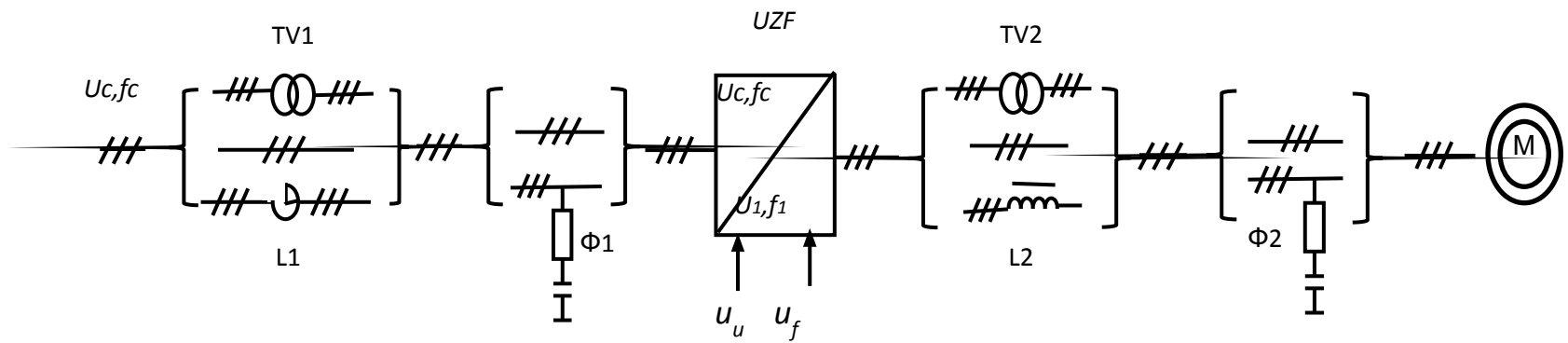


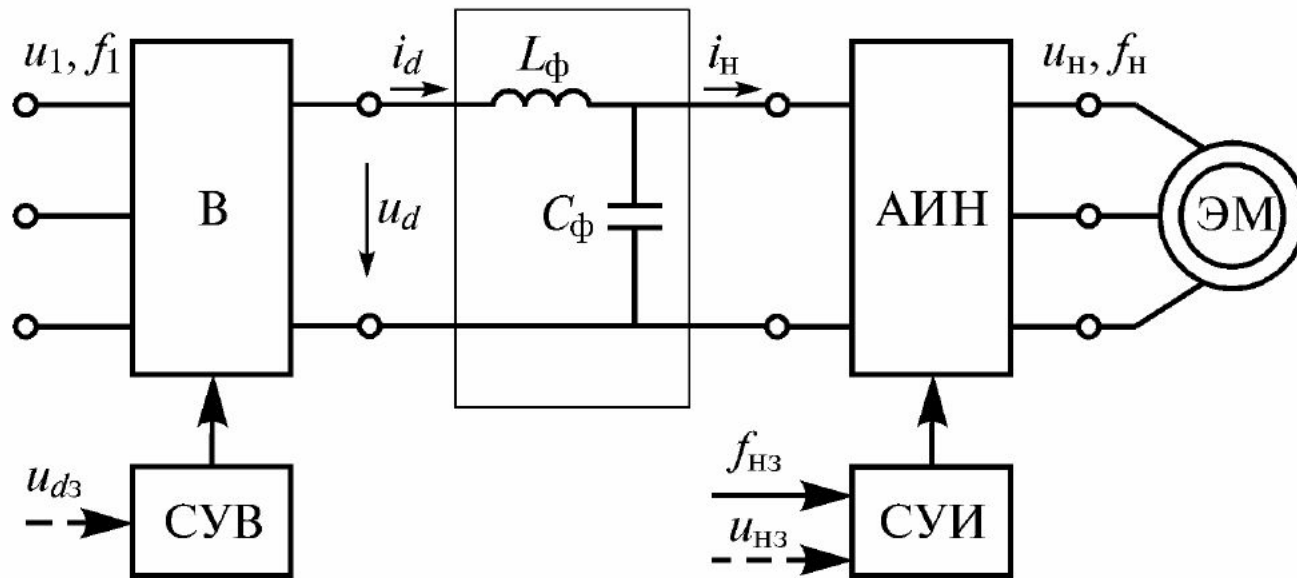
Рис. Диаграммы напряжений и токов в схеме 24-ех пульсного выпрямителя



Рис. 1.26. Основные типы силовых преобразователей частоты

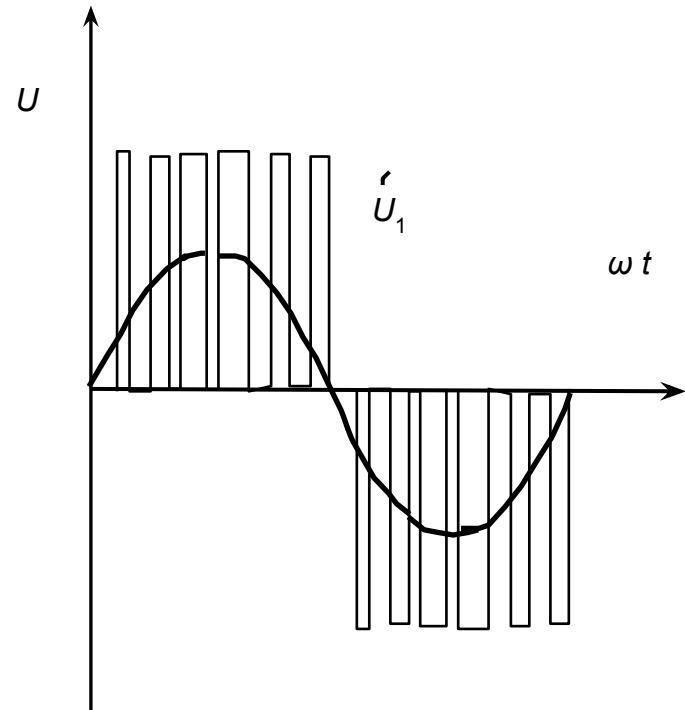
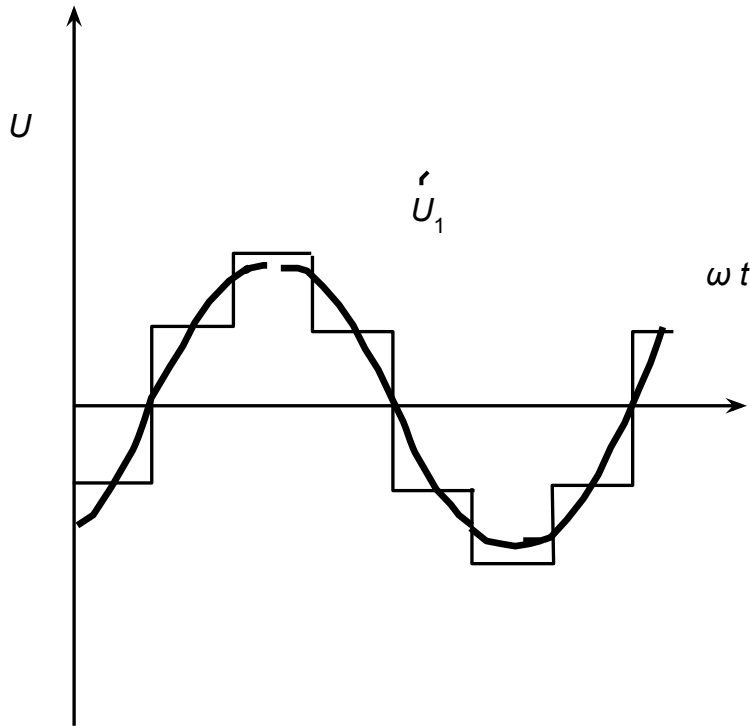


Состав силовой части системы ПЧ-АД



Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты на основе АИН, работающего на двигатель переменного тока (В – выпрямитель; Φ – 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



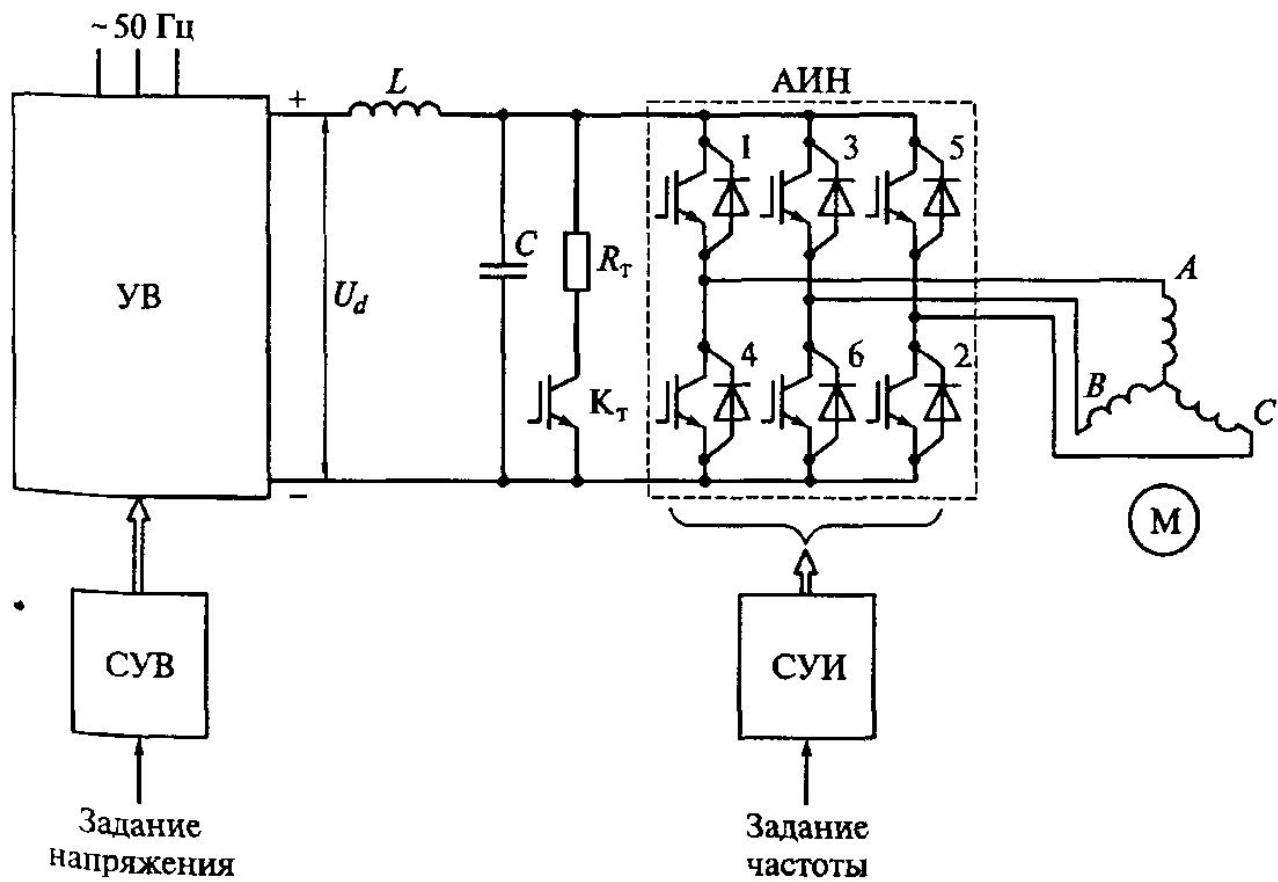


Рис. 4.1. Структура преобразователя частоты со звеном постоянного тока и управляемым выпрямителем

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

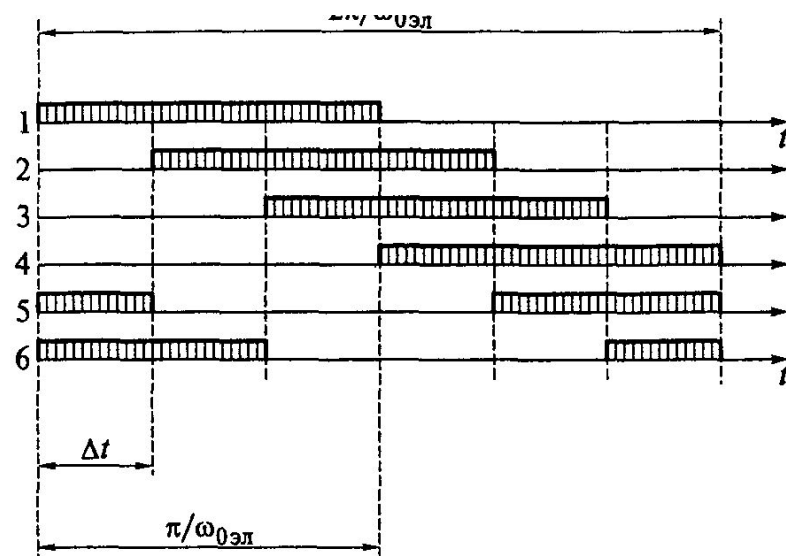


Рис. 4.2. Диаграмма состояний ключей инвертора

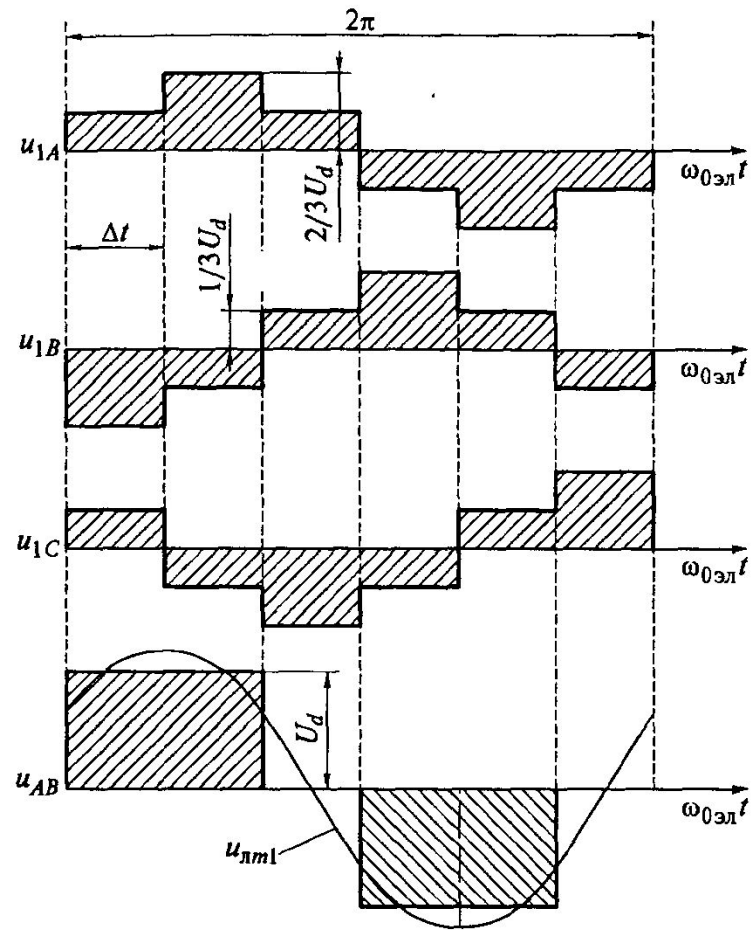


Рис. 4.3. Форма напряжений на выходе инвертора

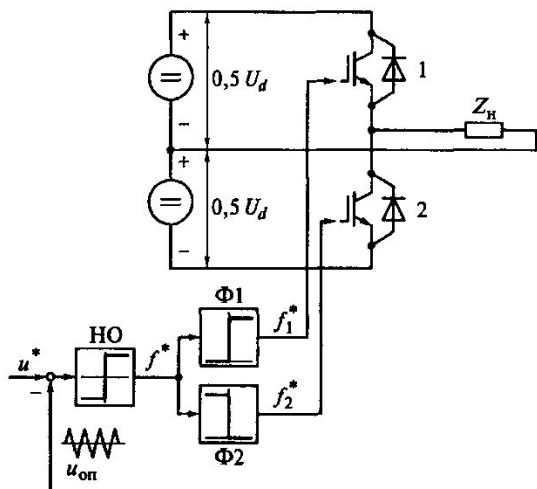


Рис. 4.4. Структура однофазного инвертора с широтно-импульсной модуляцией

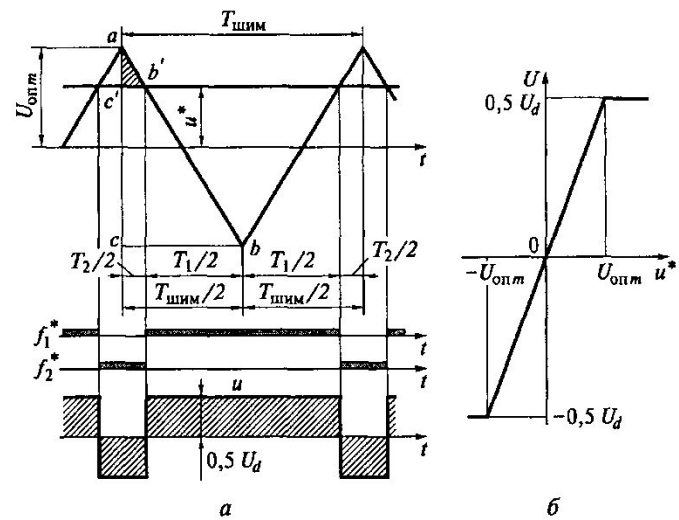


Рис. 4.5. Характеристики передаточного коэффициента инвертора:
 а — напряжения опорное и задания; б — регулировочная характеристика инвертора

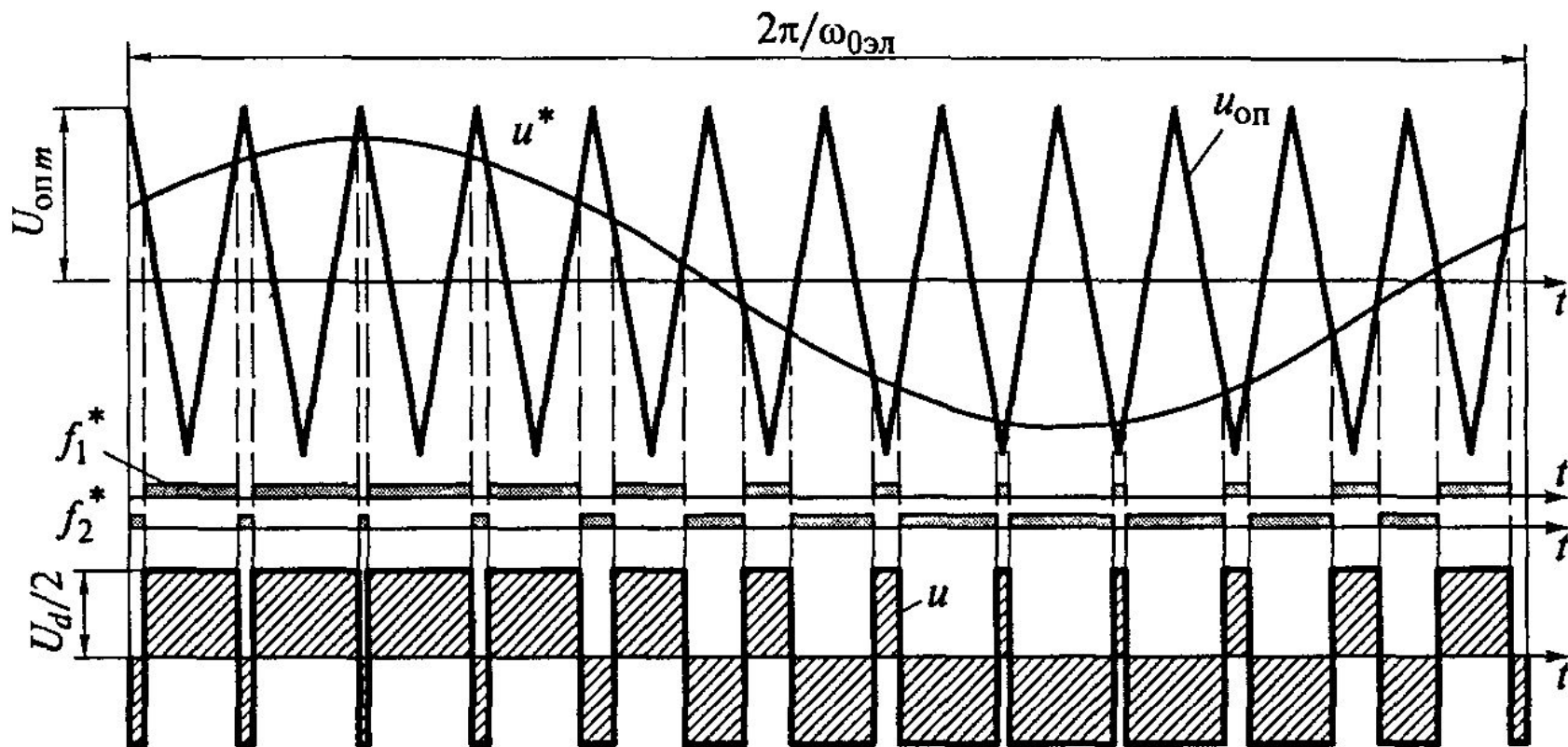


Рис. 4.6. Принцип широтно-импульсной модуляции на примере однофазного инвертора

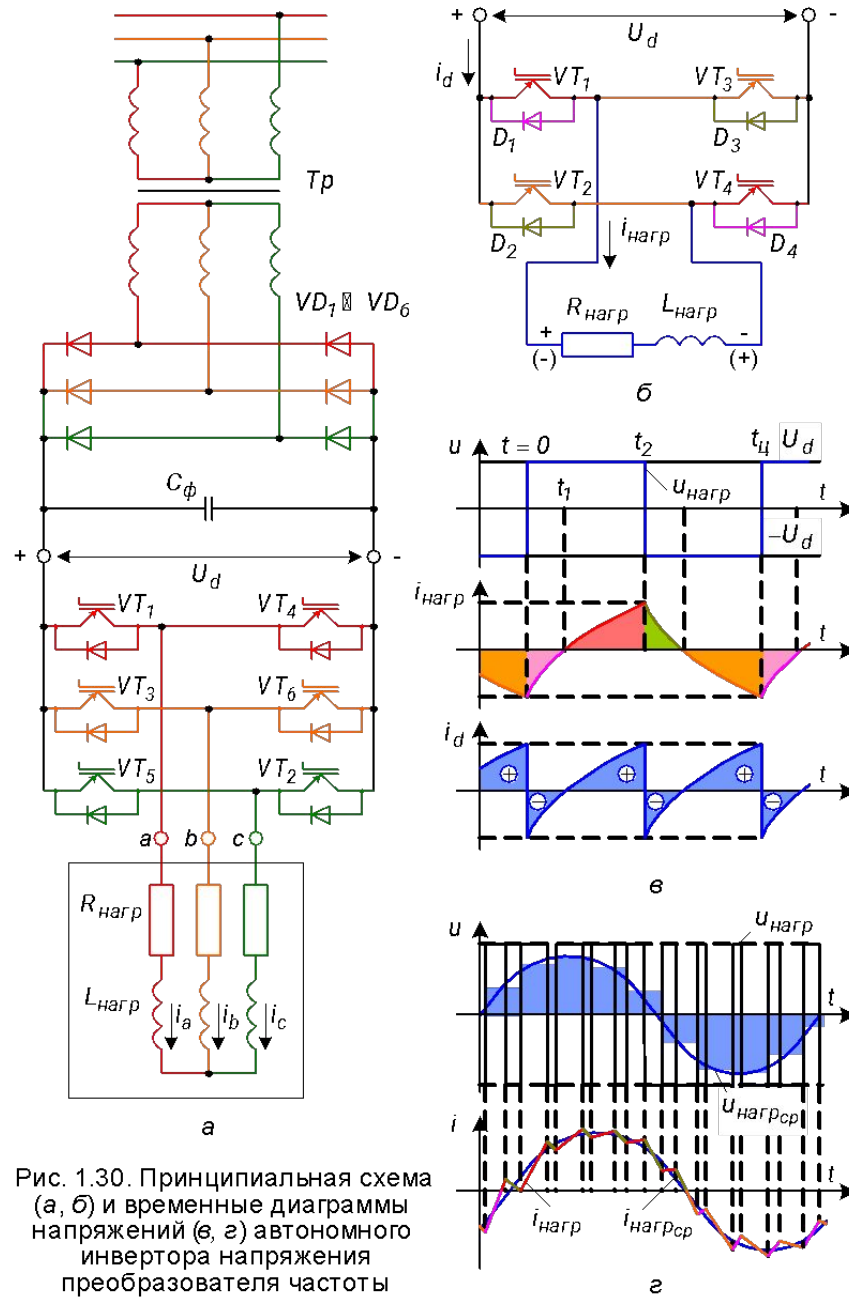


Рис. 1.30. Принципиальная схема (а, б) и временные диаграммы напряжений (в, г) автономного инвертора напряжения преобразователя частоты

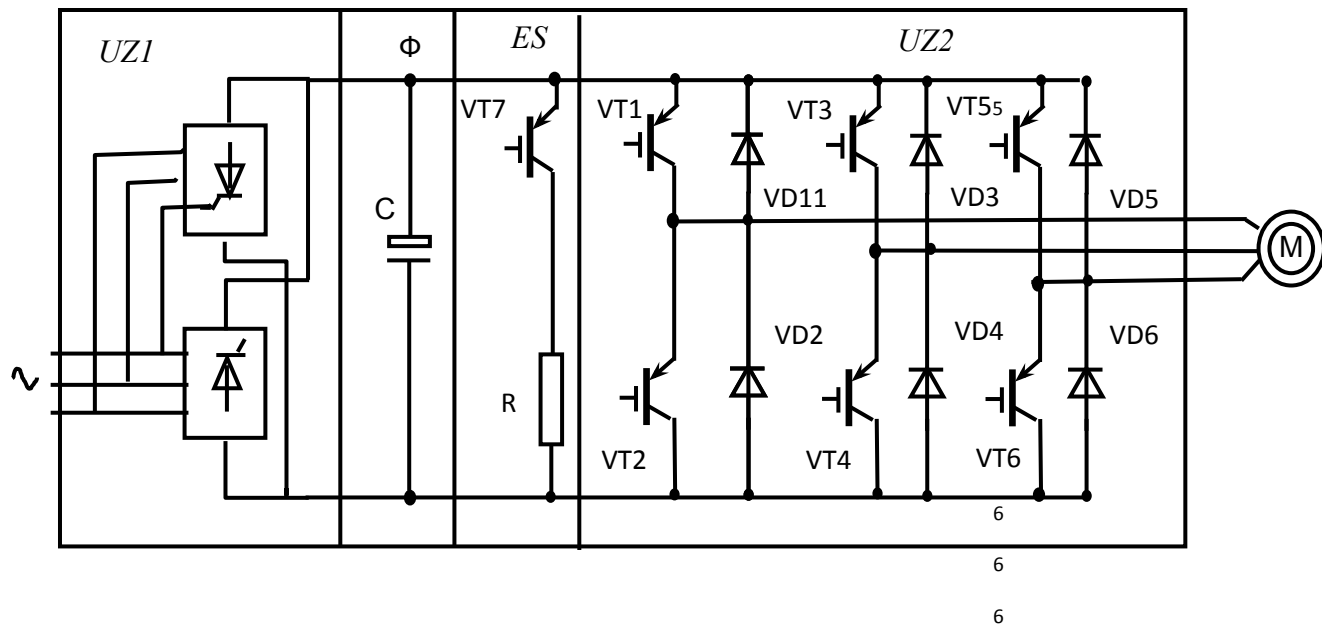
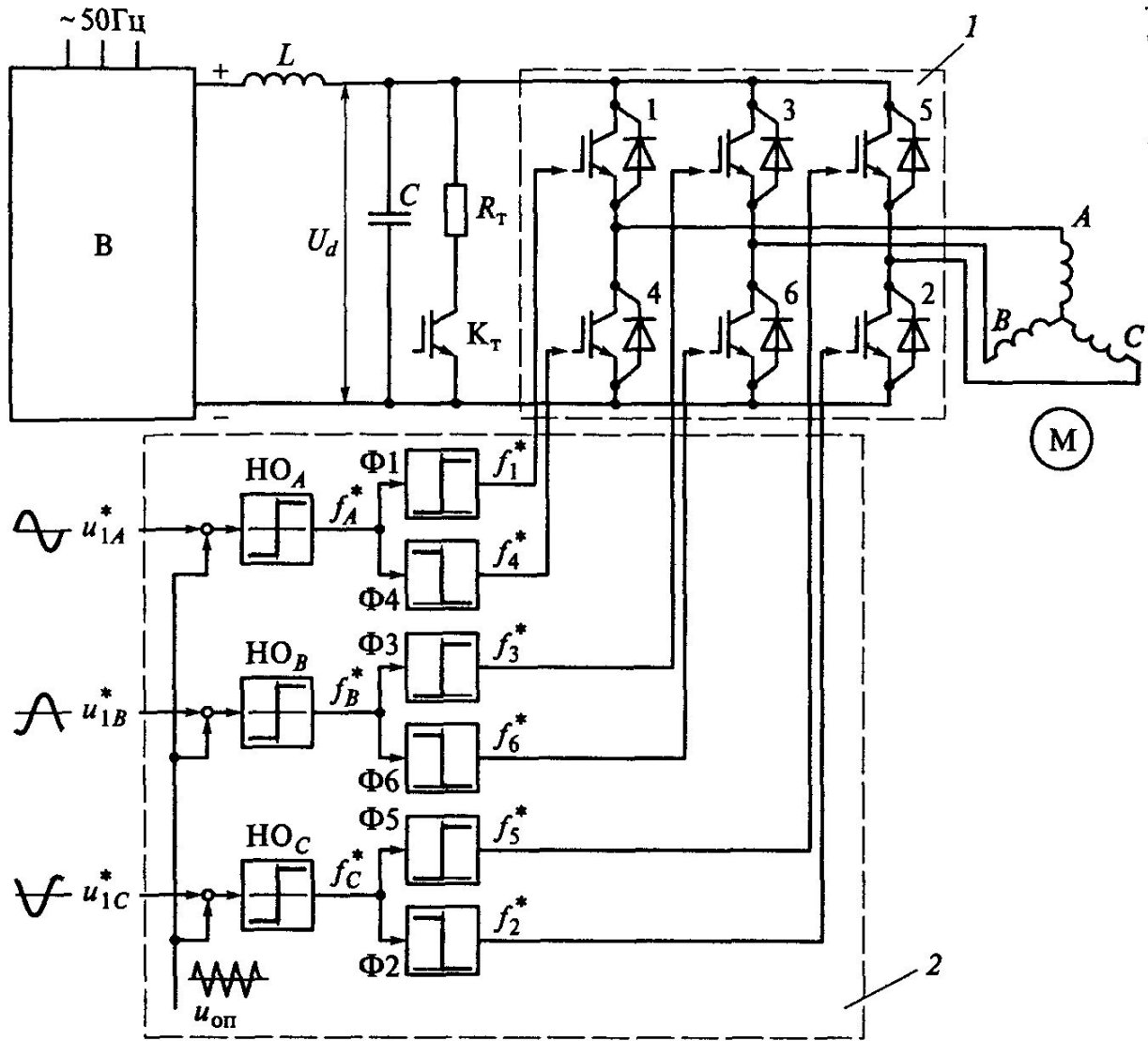
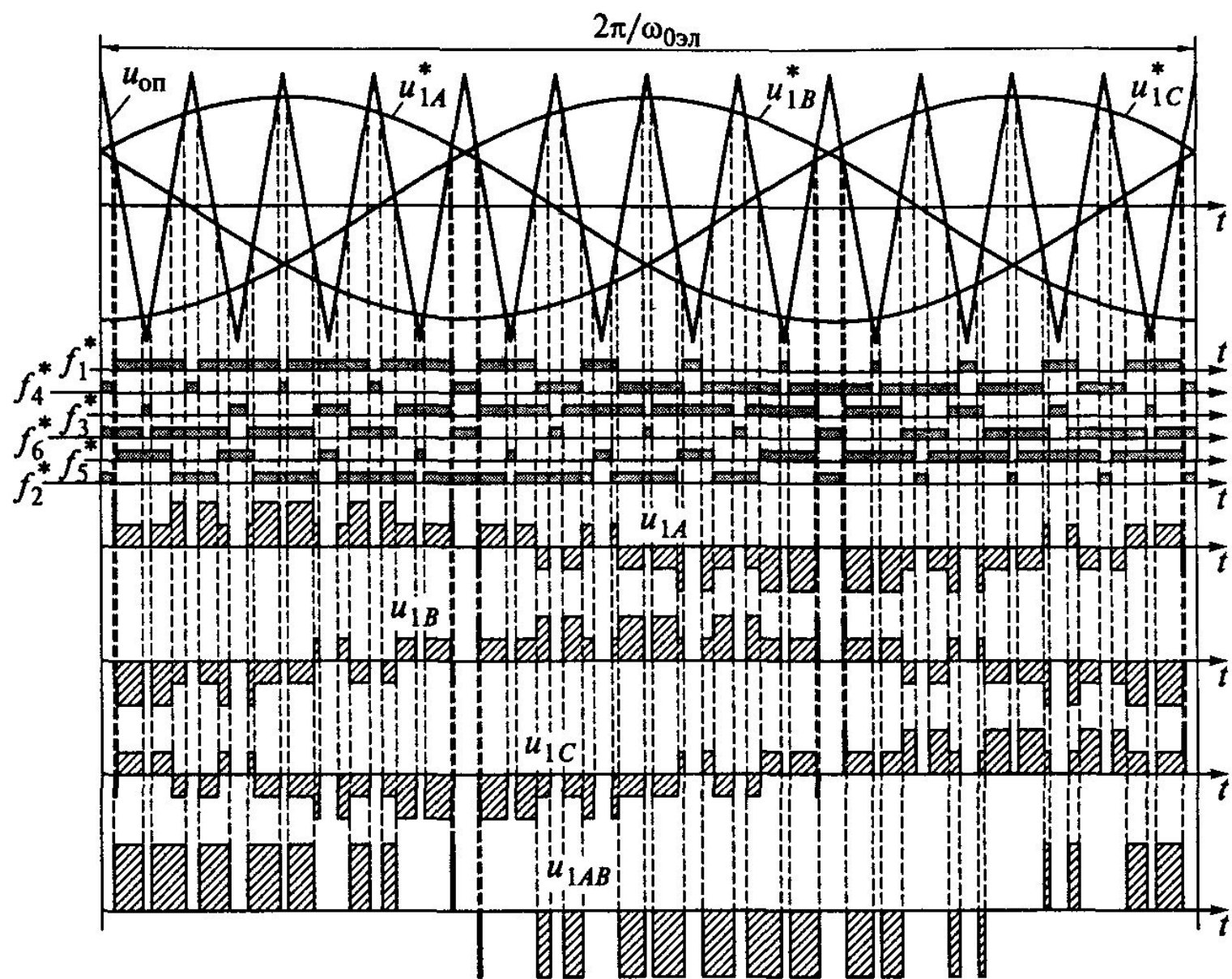
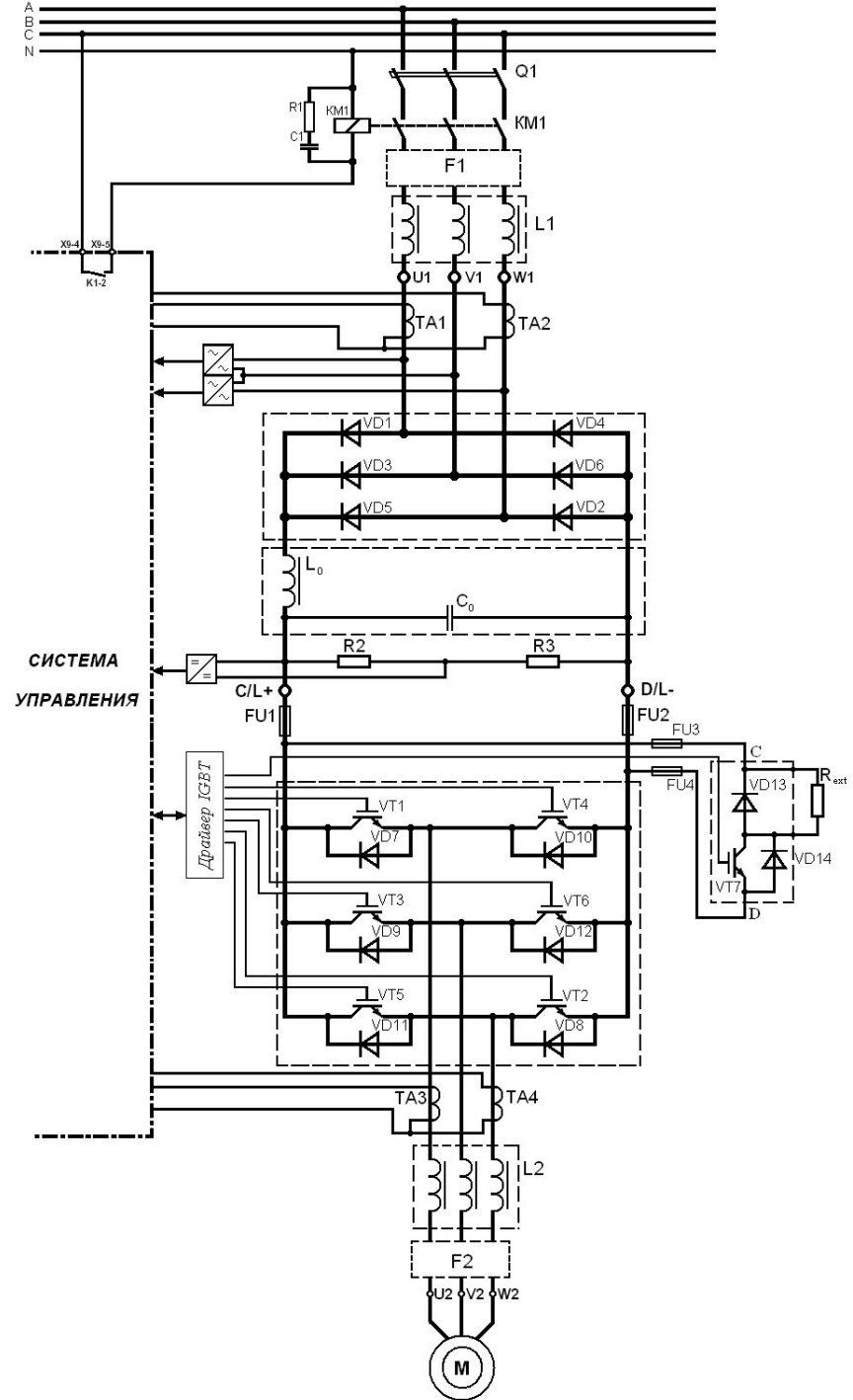


Схема силовой части АИН (а) и диаграммы его выходных напряжений при АИМ (б) и ШИМ (в)



a





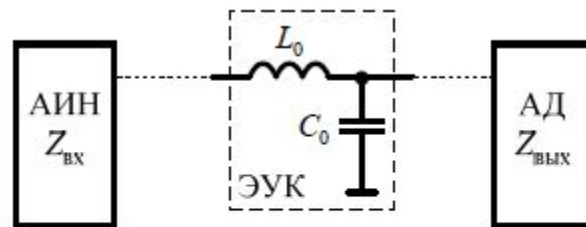


Рис. 15.8. Соединение кабелем одной фазы АИН с АД со схемой замещения элементарного участка кабеля (ЭУК) сопротивлением Z_0

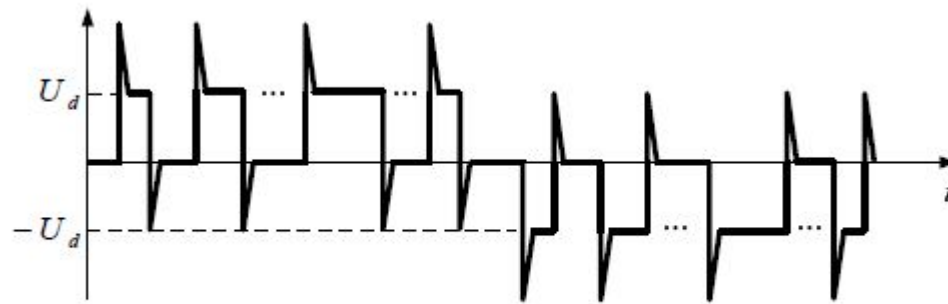
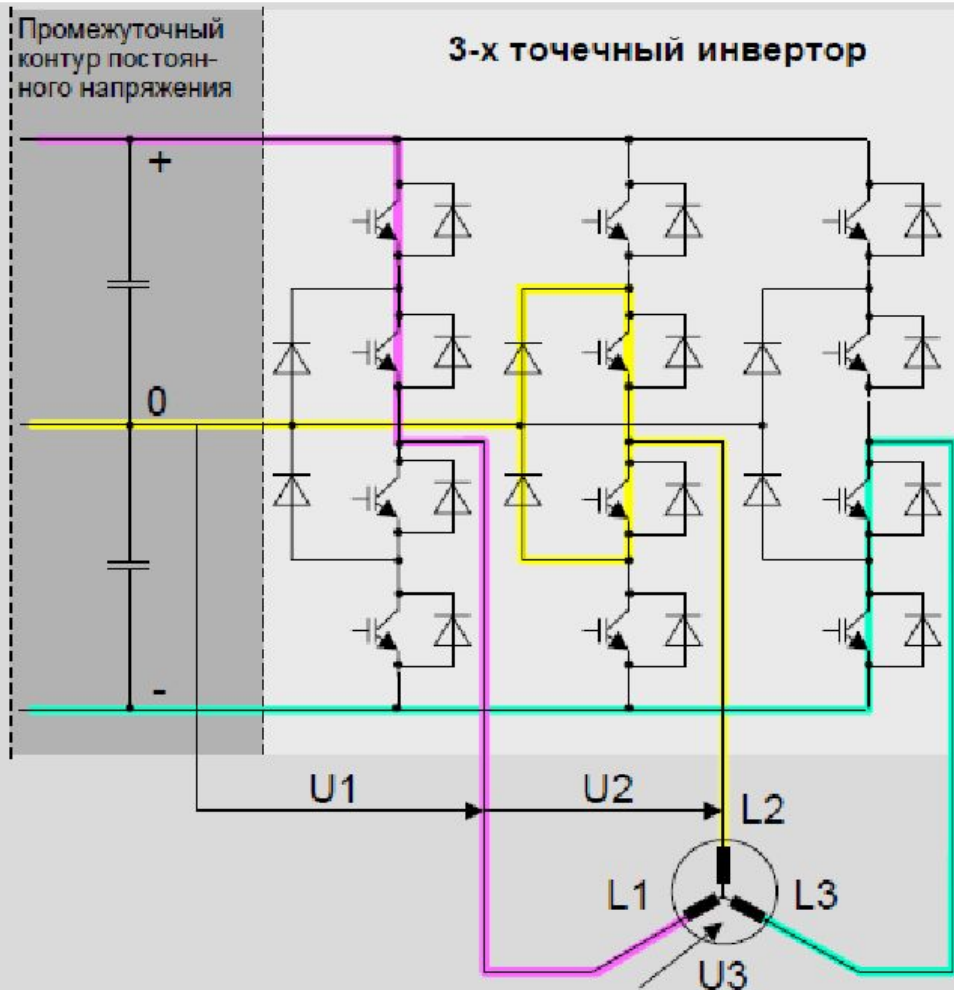
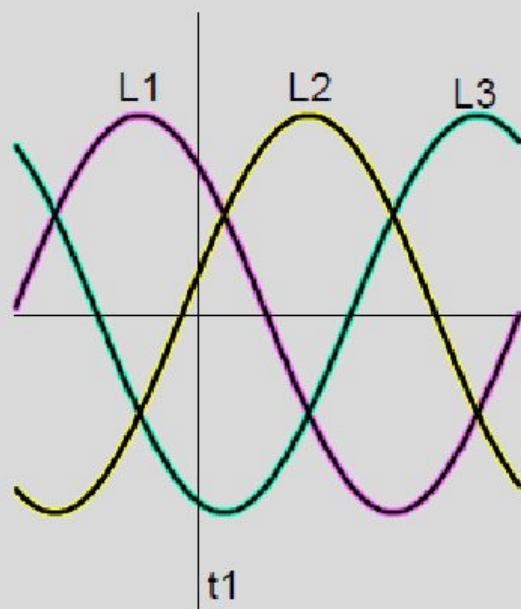


Рис. 15.9. Напряжение на зажимах АД при подключении «длинным кабелем»

SIMOVERT MV

3-х точечный выходной инвертор

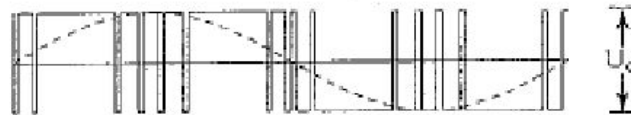


Сравнение инверторов с 2-х точечным и 3-х точечным контуром постоянного напряжения

2-х точечный инвертор

3-х точечный инвертор

Выходное напряжение 0 против U_1



Напряжение фаза - фаза U_2

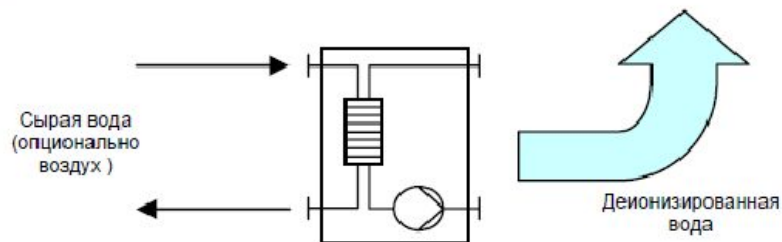
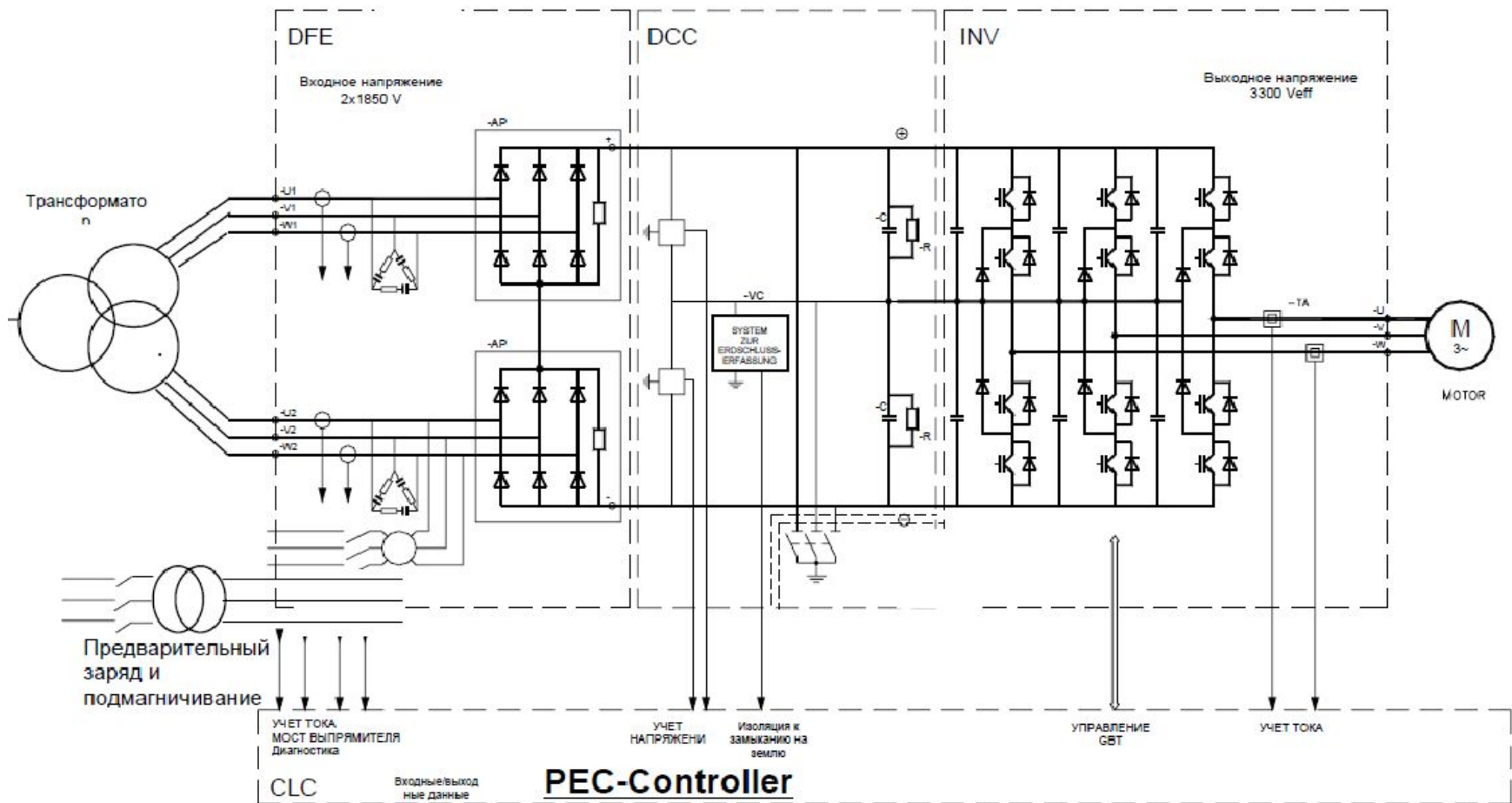


Напряжение на двигателе U_3



Напряжение на преобразователе

1.1.2 ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОБОРУДОВАНИЯ



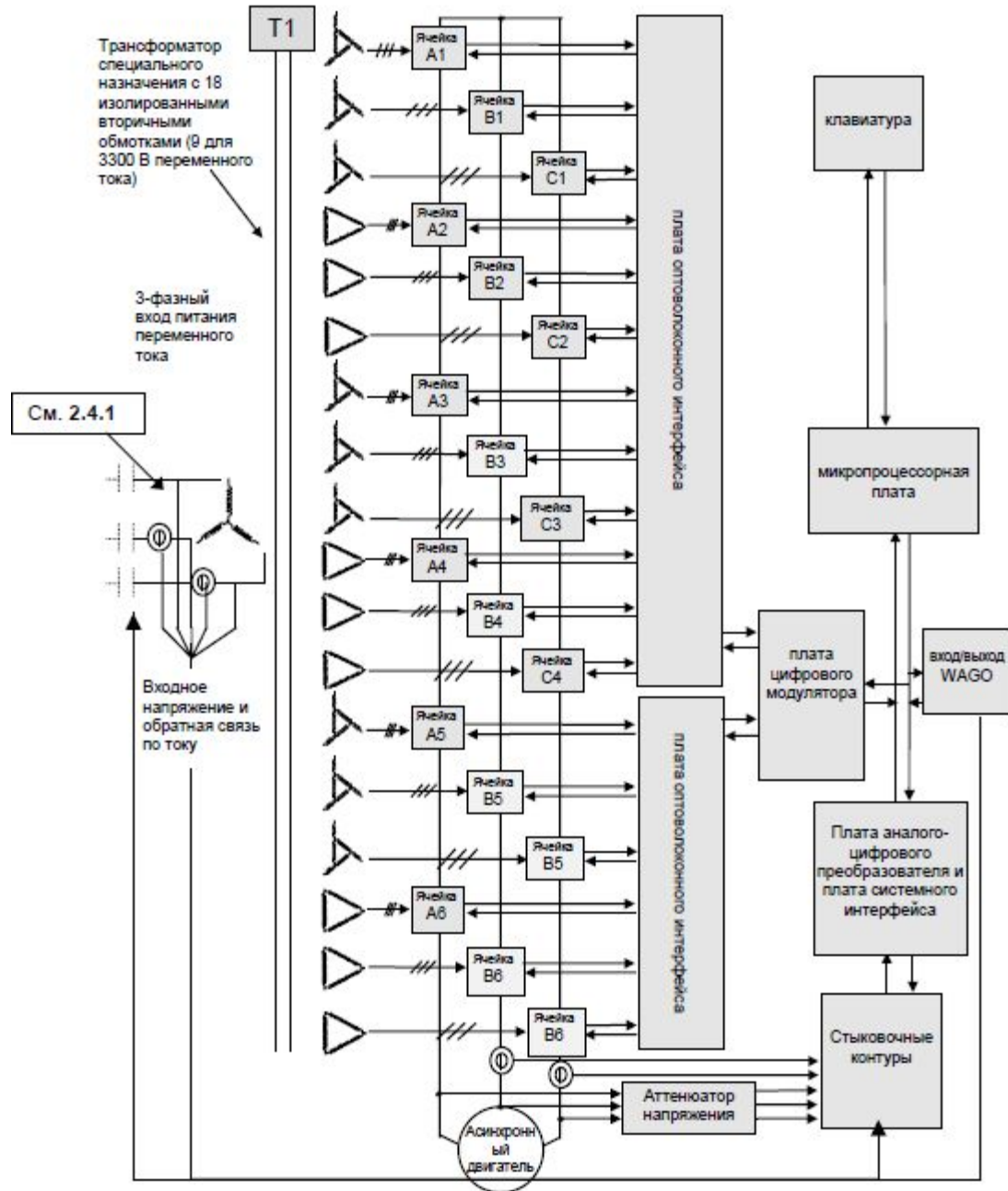
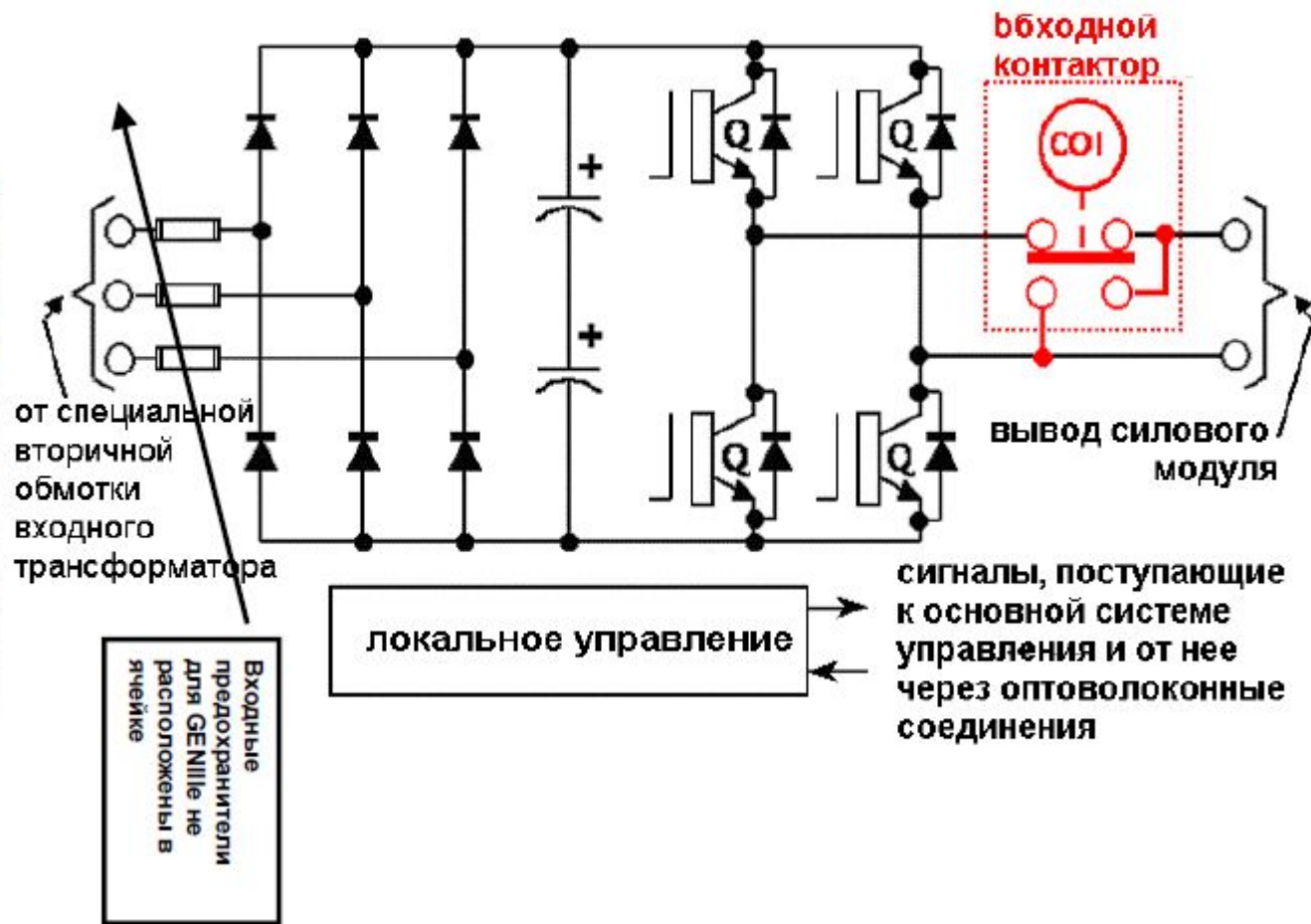


Рисунок 2-14. Типовая силовая цепь Perfect Harmony

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.

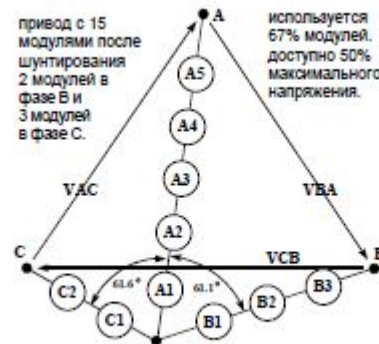


Рис. 5-21. Выход привода после потери 5 ячеек



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

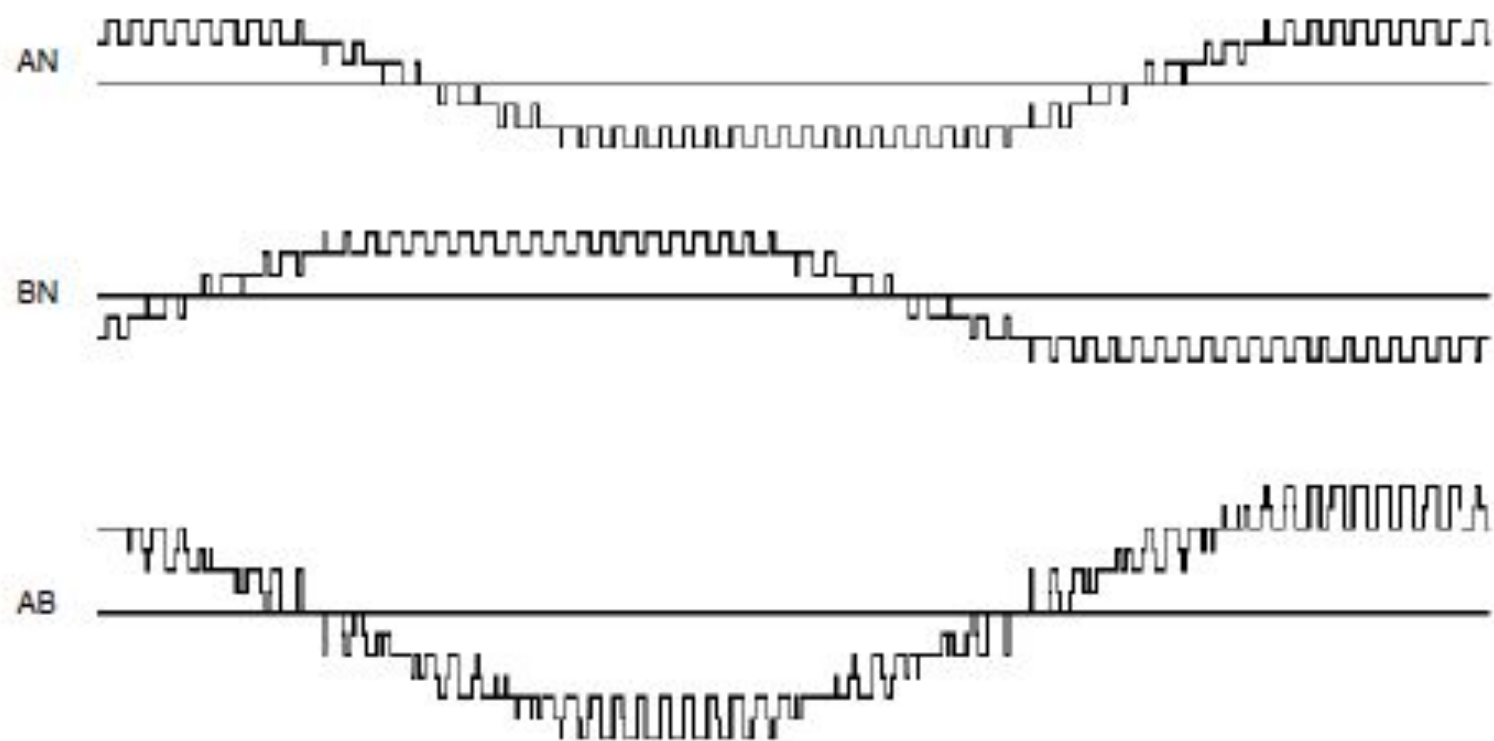


Рис. 6-5. Сигналы для линейного напряжения

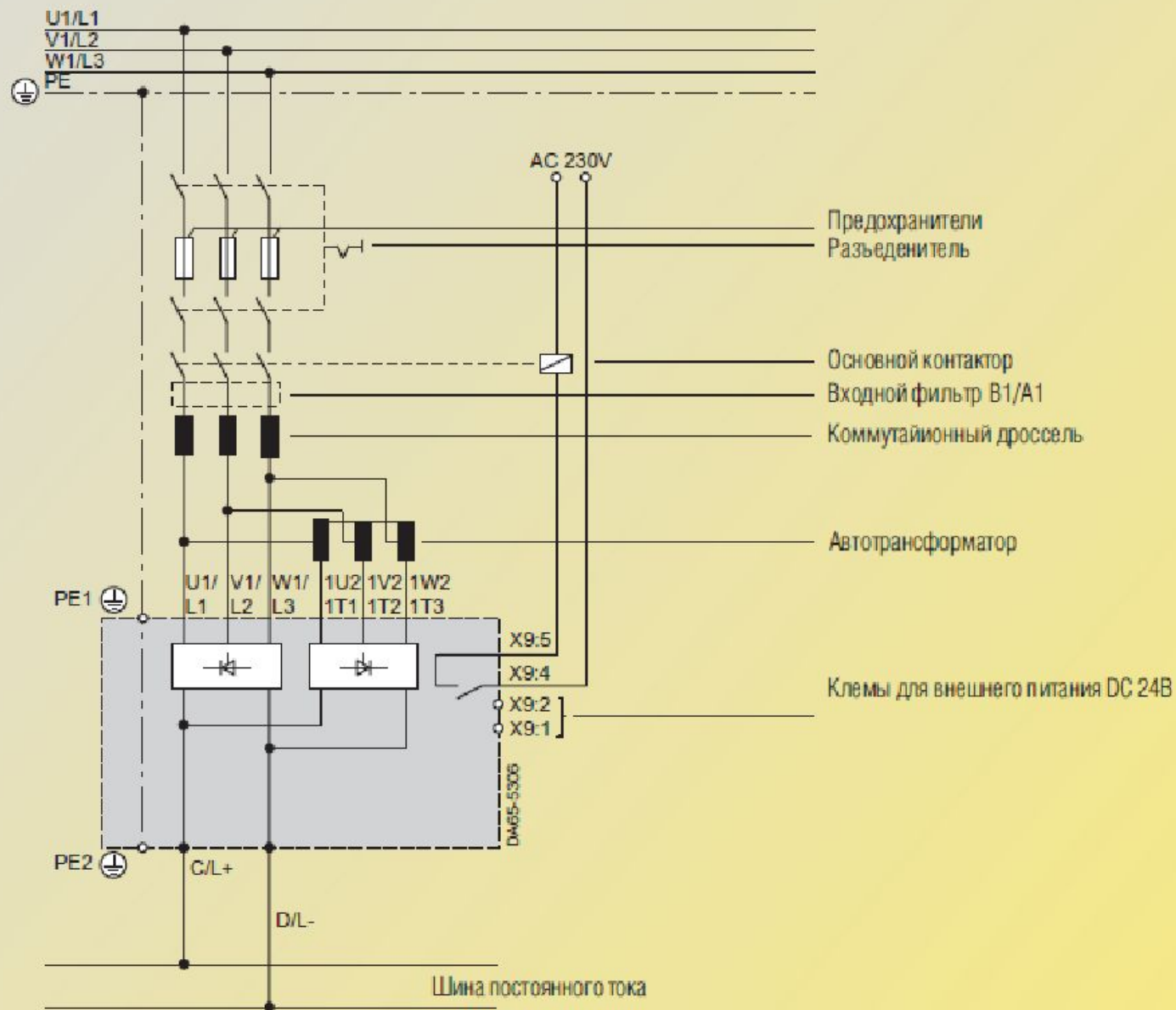


Рис. 6/18
Схема блока выпрямления/рекуперации.

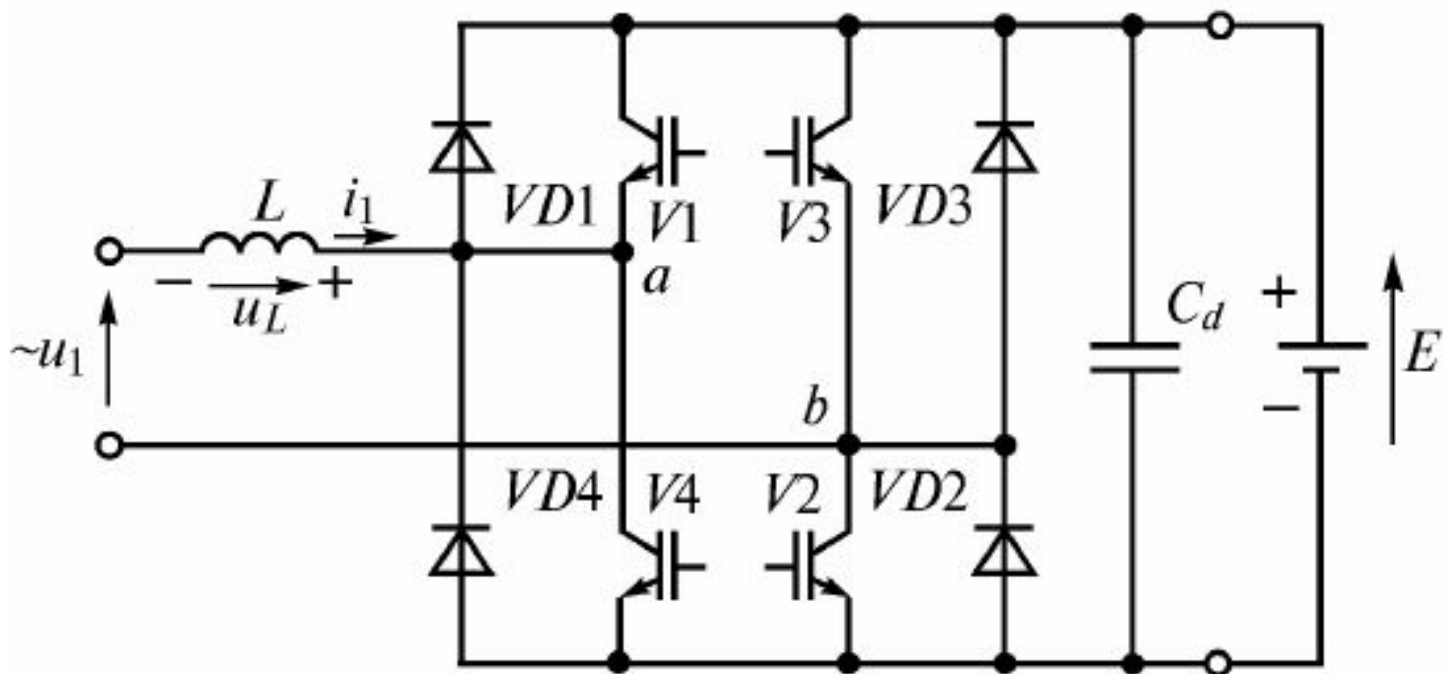


Рис. 12.3. Однофазный мостовой УВН

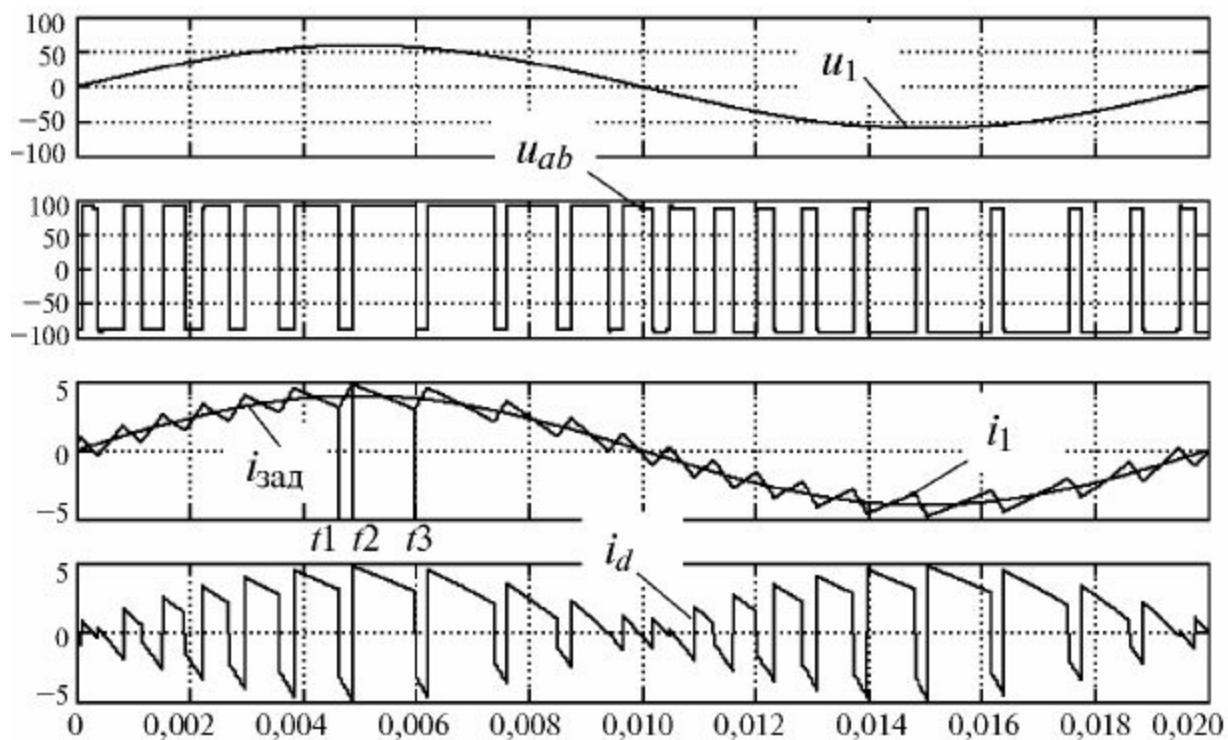
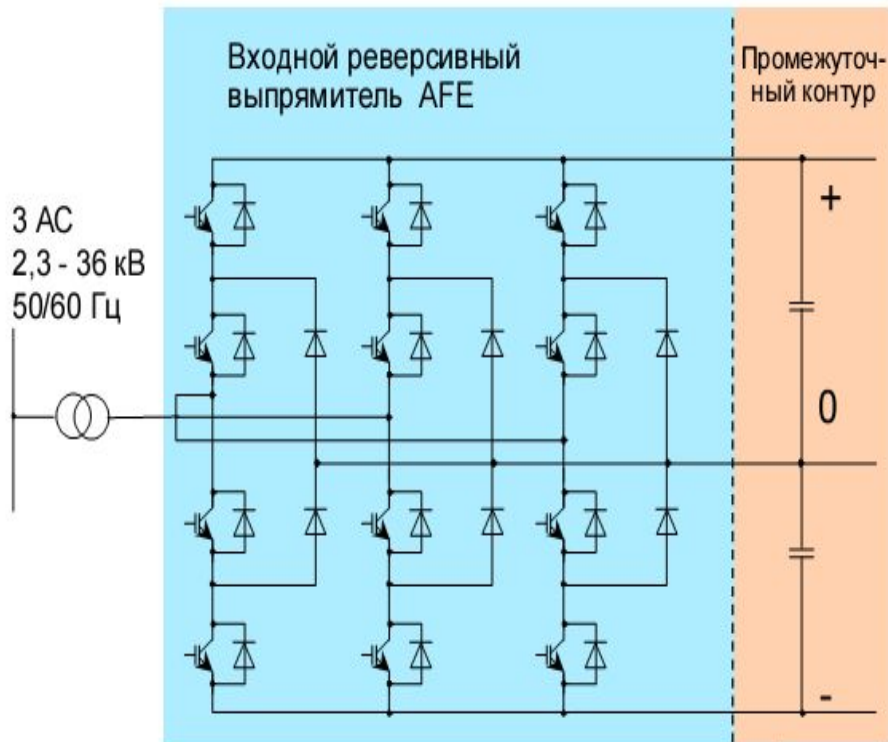


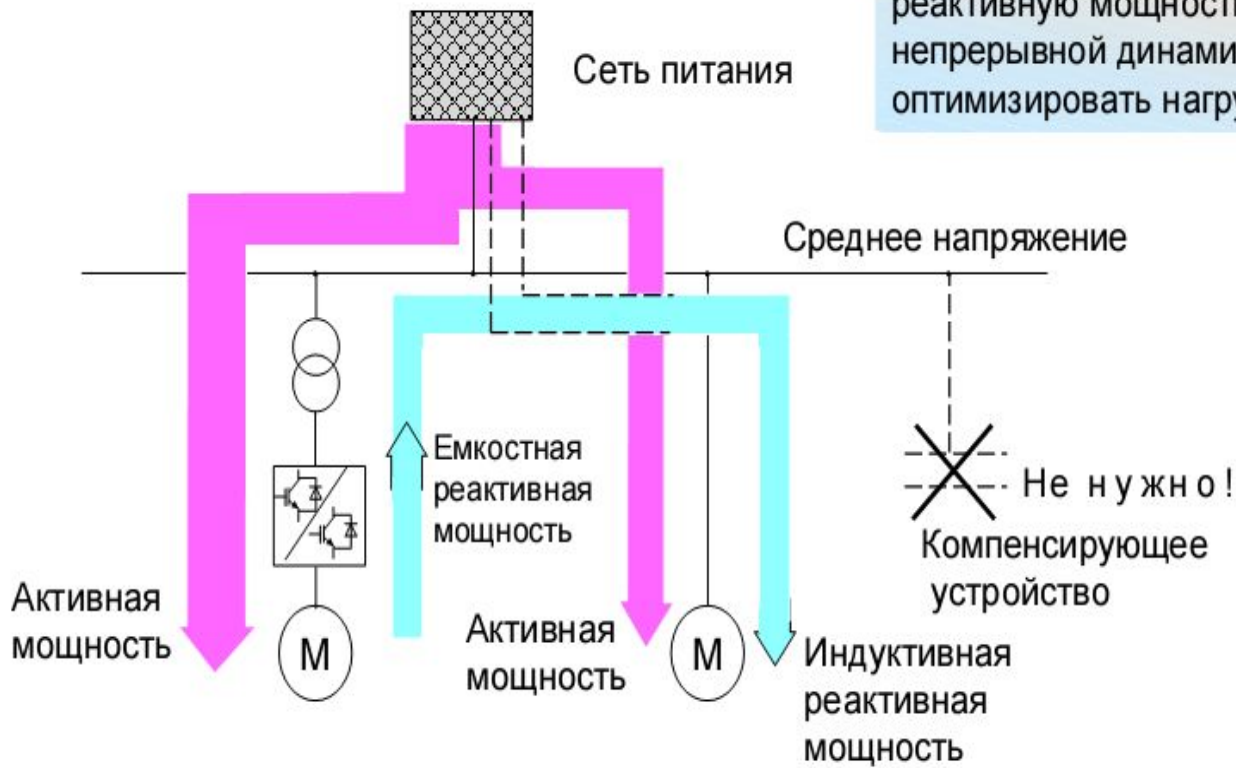
Рис. 12.4. Осциллограммы токов и напряжений в однофазной мостовой схеме при симметричном (а) и несимметричном (б) управлении

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.



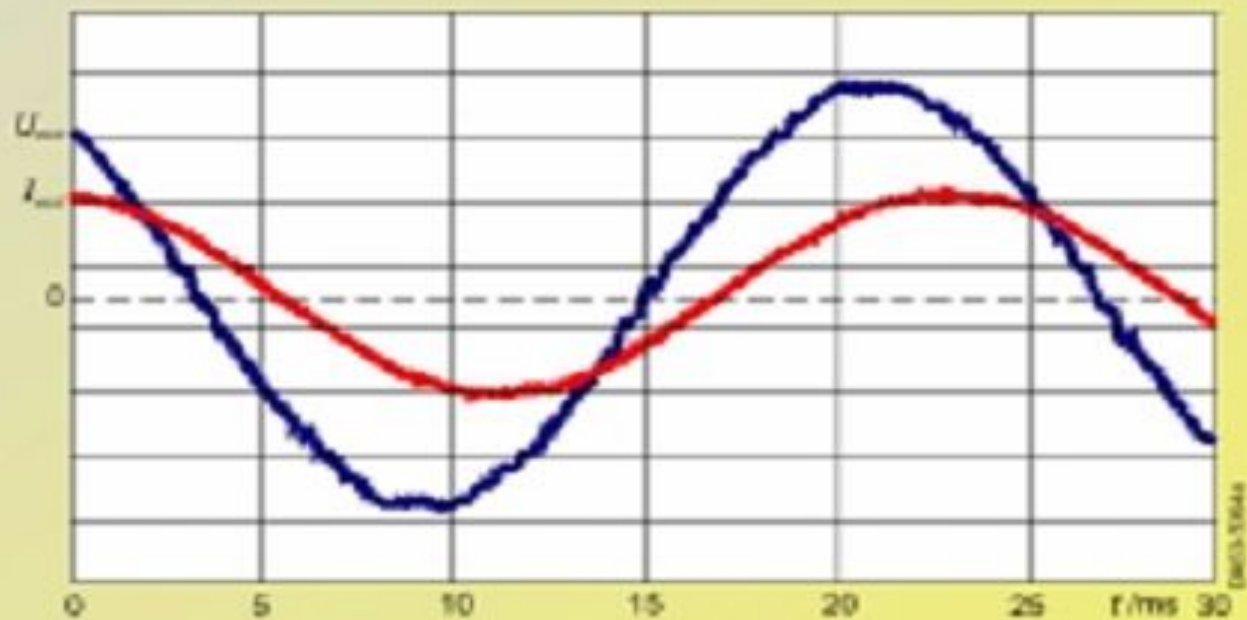


Рис. 3/3
Выходной ток и выходное напряжение SIMOVERT MV для 6,0 и 6,6 кВ.

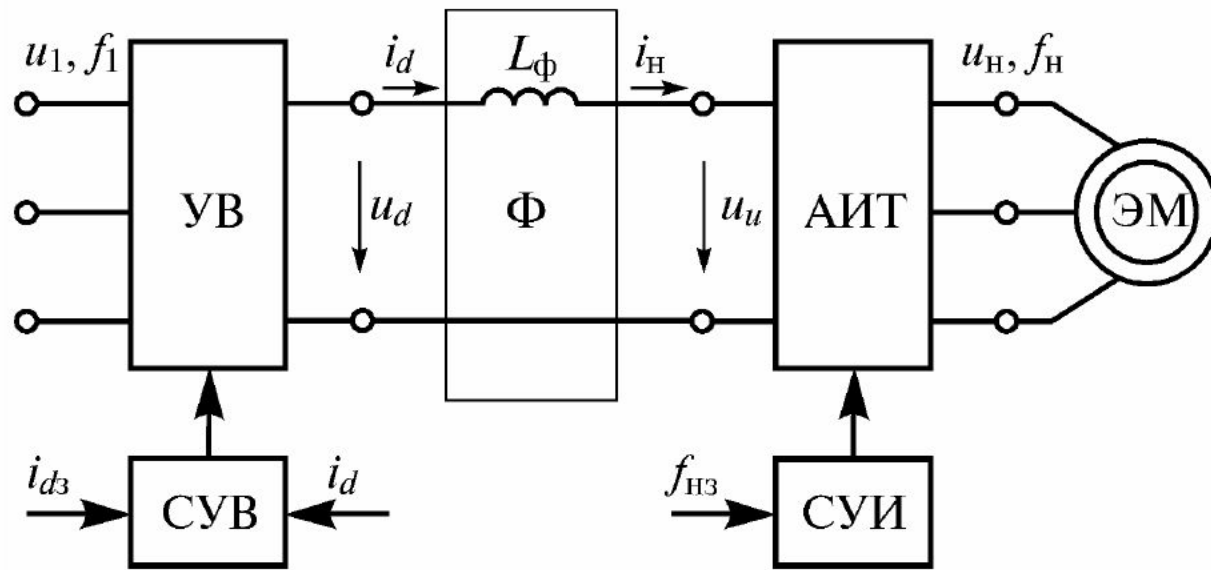


Рис. 13.2. Функциональная схема двухзвенного преобразователя частоты на основе АИТ, работающего на двигатель переменного тока (УВ – управляемый выпрямитель; Φ – фильтр; АИТ – автономный инвертор тока; ЭМ – электрическая машина; СУВ, СУИ – системы управления выпрямителем и автономным инвертором)

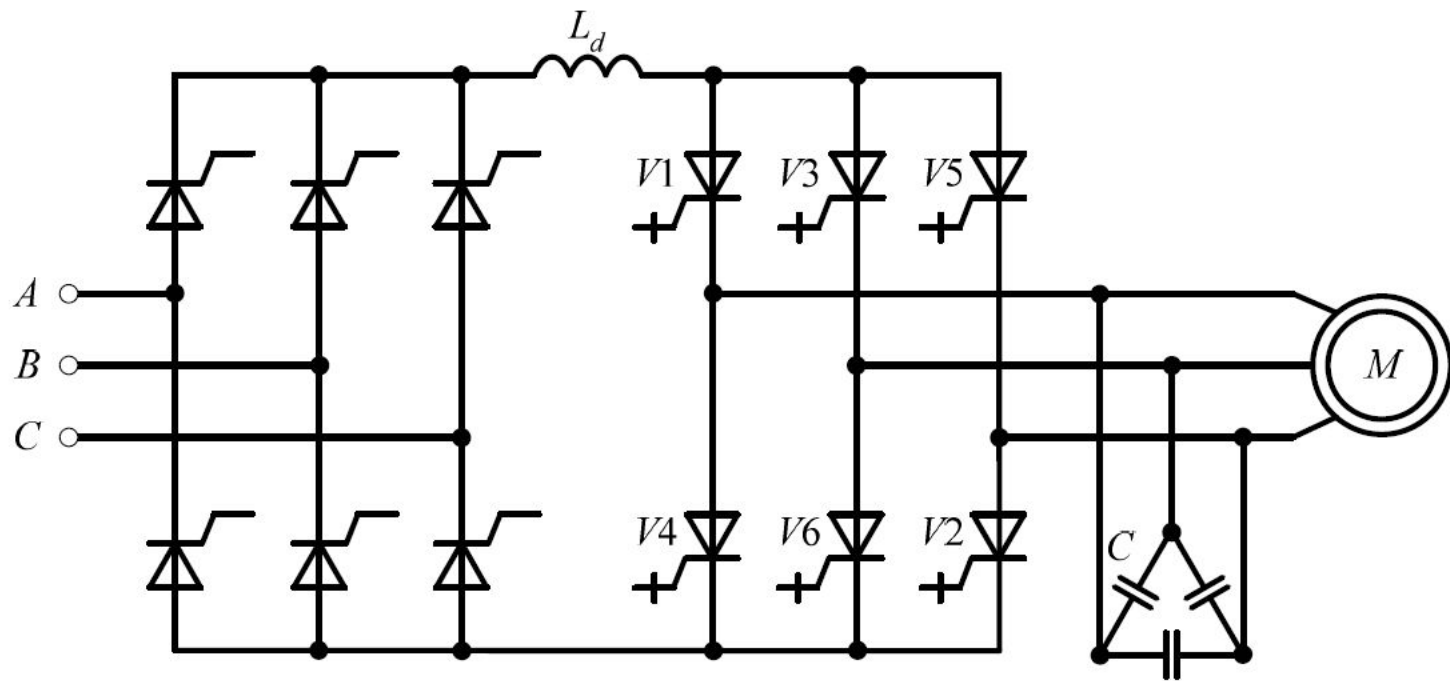


Рис. 13.8. ДПЧ на основе АИТ, выполненного на запираемых тиристорах

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.

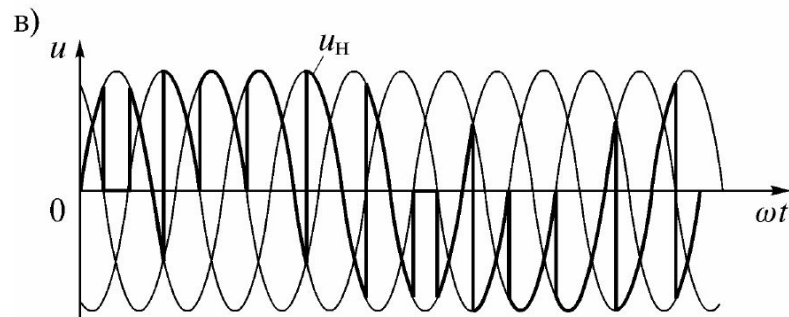
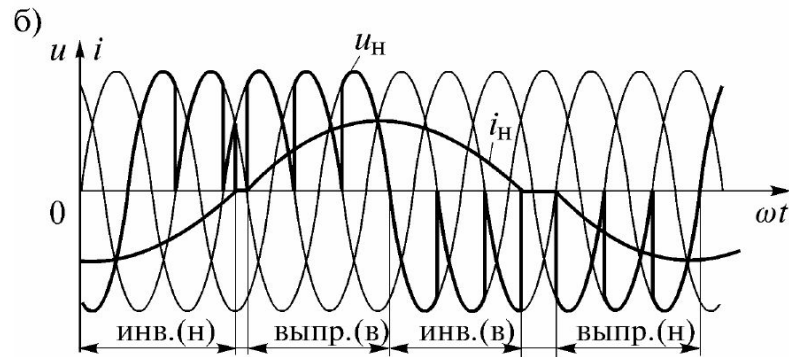
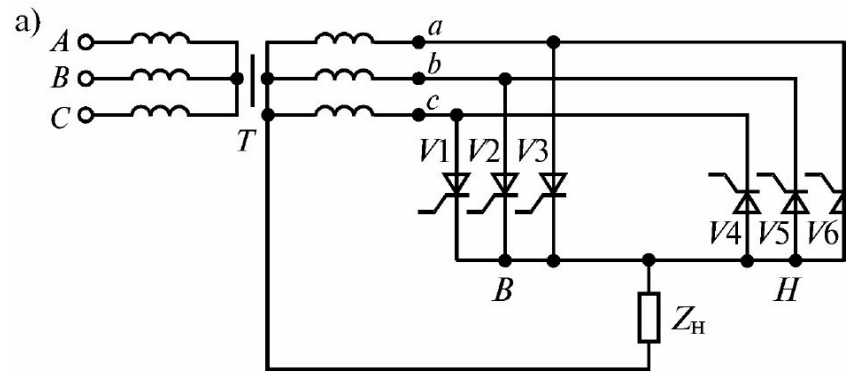


Рис. 13.11. Схема трехфазно-однофазного НПЧ (а), диаграммы напряжения и тока нагрузки при прямоугольном управлении (б) и диаграммы напряжения на нагрузке при синусоидальном управлении (в)

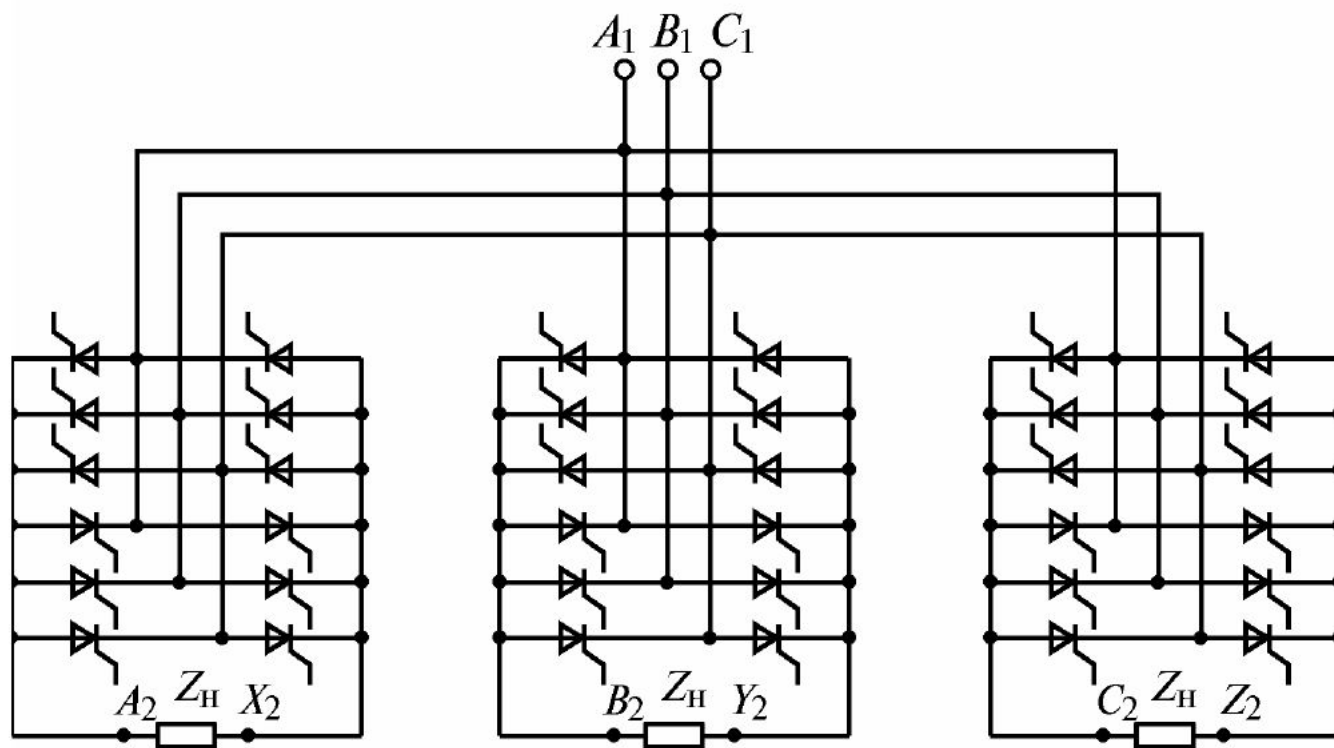
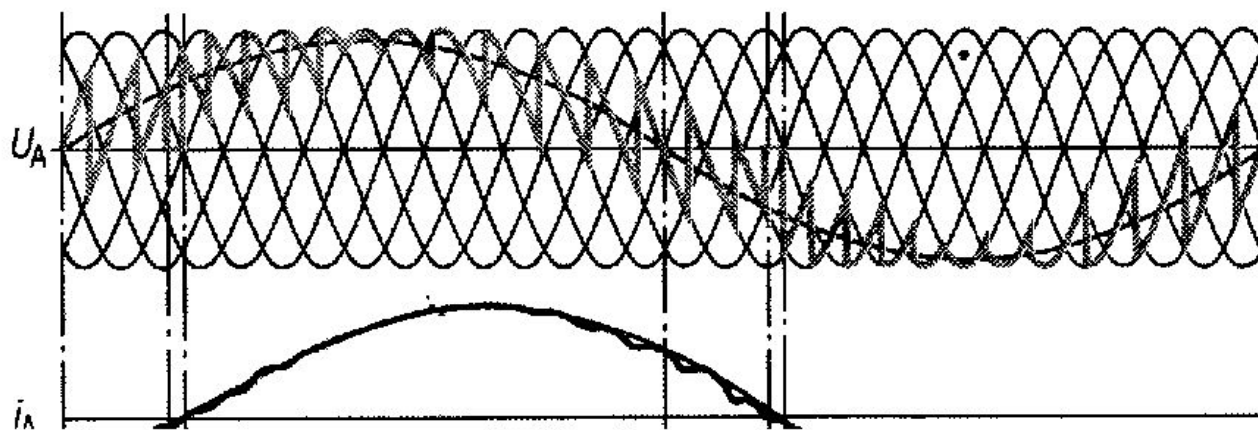


Рис. 13.12. Схема трехфазно-трехфазного НПЧ



Диаграммы напряжений и токов ПЧНС

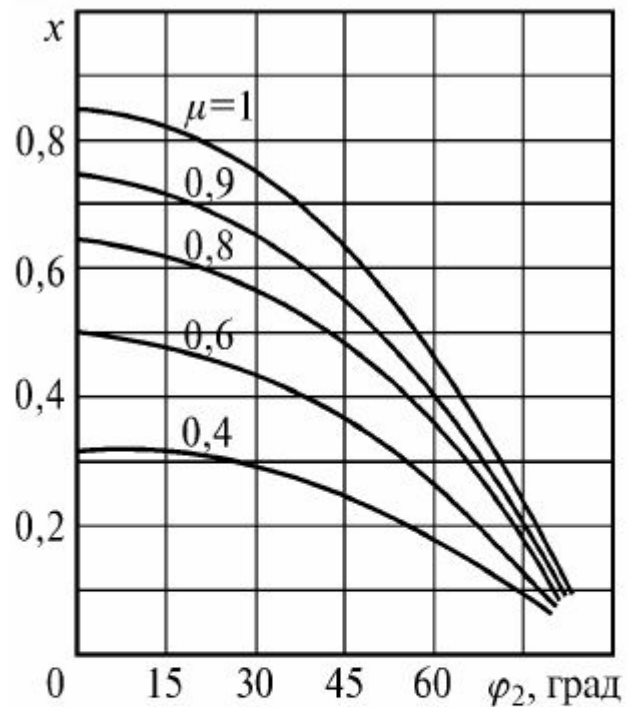


Рис. 13.13. Зависимости коэффициента мощности трехфазно-трехфазного НПЧ от угла сдвига нагрузки и глубины регулирования при допущении синусоидальности выходного напряжения

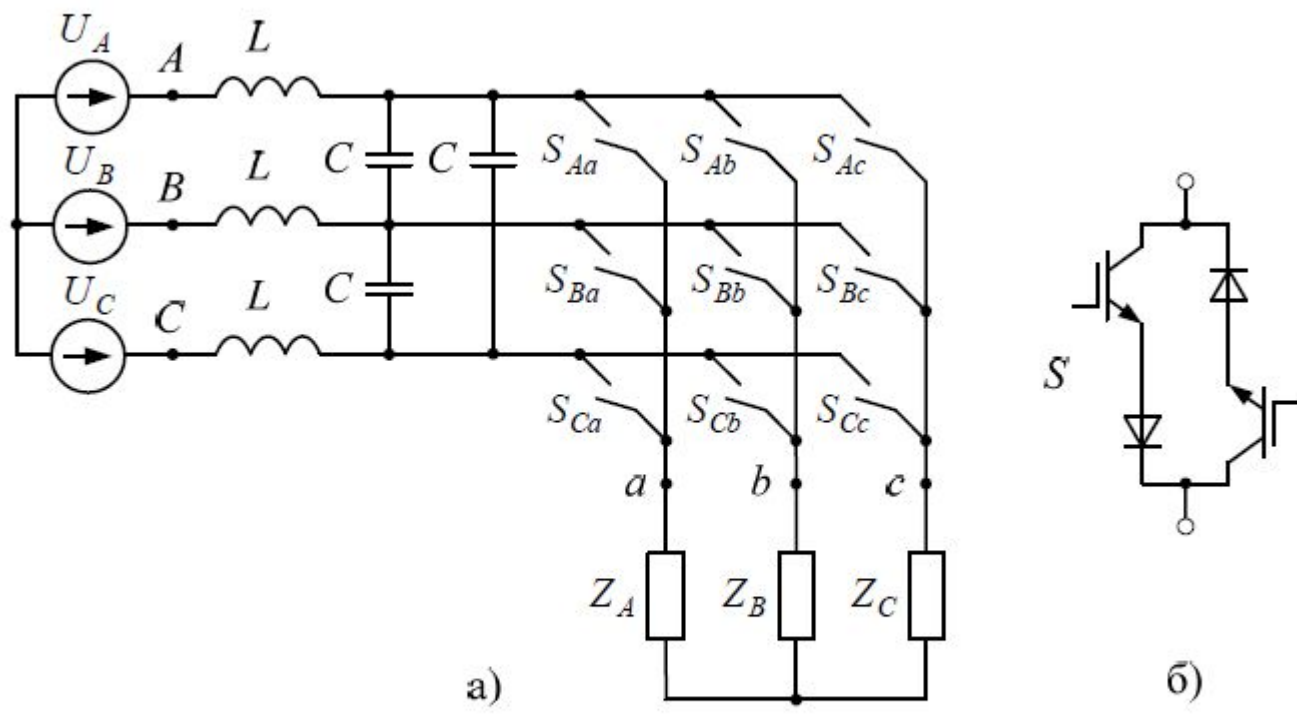


Рис. 13.14. Схема трехфазно-трехфазного матричного преобразователя частоты (а) и схема симметричного двунаправленного ключа (б)

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)

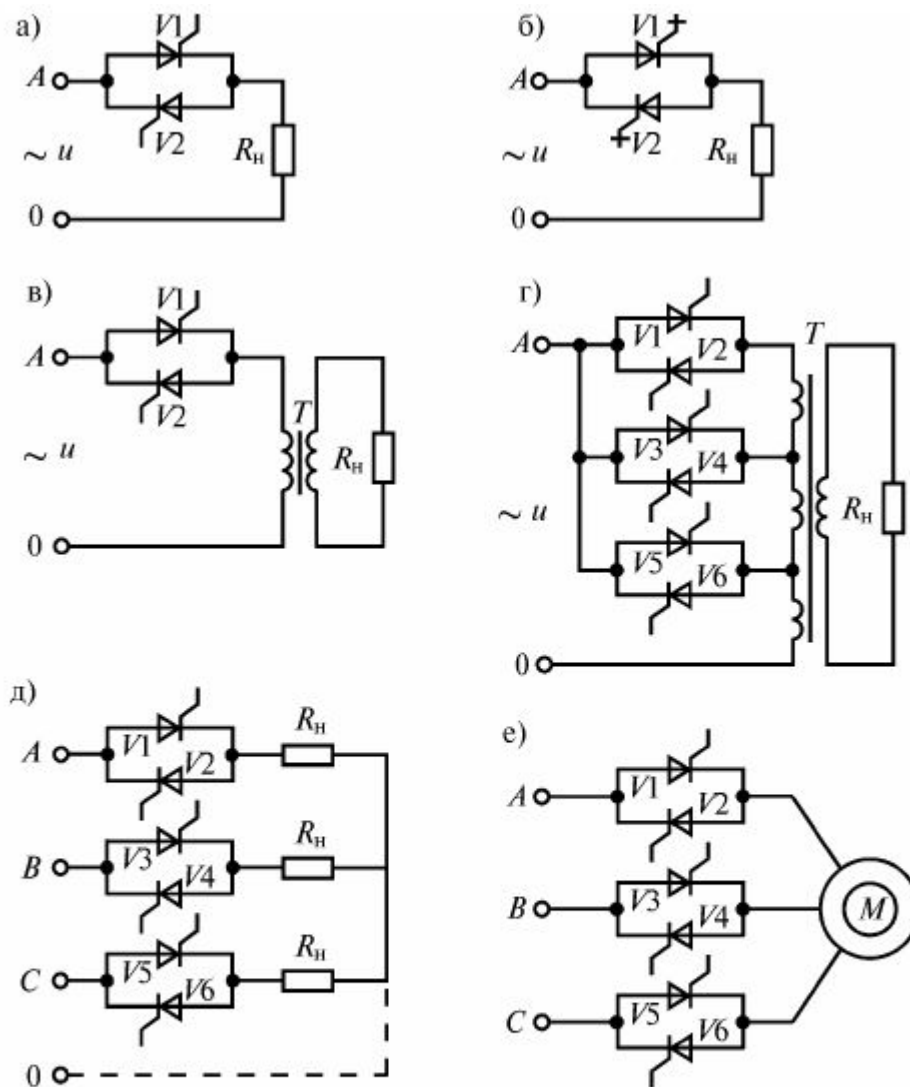


Рис. 14.1. Преобразователи переменного напряжения: однофазные на неполностью (а) и полностью управляемых (б) тиристорах; однофазные на первичной стороне трансформатора (в) и трансформатора с отпайками (г); трехфазные для регулирования напряжения на активной нагрузке (д) и двигателе (е)

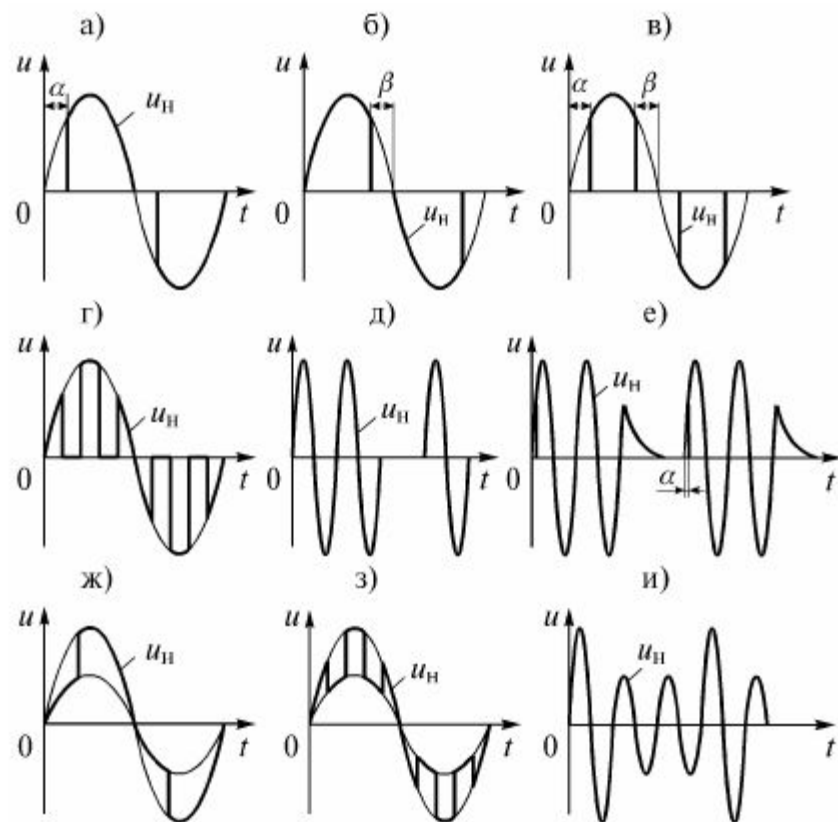


Рис. 14.2. Диаграммы напряжений на нагрузке ППН при различных способах управления (модуляции): ИМ-ОЧ (фазовое регулирование) с отстающим ($\alpha > 0$), опережающим ($\beta > 0$) и равным нулю ($\alpha = \beta$) углом сдвига φ (а, б, в); ИМ-ВЧ (г); ИМ-НЧ (д); ИМ-НЧ на первичной стороне трансформатора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