

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Карагандинский государственный технический университет

Кафедра АПП

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине "Силовые преобразовательные устройства"

Тема: Разработка управляемого преобразователя

(оценка)

Члены комиссии:

(подпись, фамилия, и.а.)

(подпись, фамилия, и.а.)

Принял:

доц. Каверин В.В.
(фамилия, инициалы)

(подпись, дата)

Выполнил: ст.гр. ЭЭ-14-4

Карибаева М.Ж.
(фамилия, инициалы)

(шифр зач. книжки)

Караганда 2017

КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Автоматизации производственных процессов

Утверждаю

Зав. кафедрой _____

« 21 » января 2015 г.

З А Д А Н И Е

на курсового проект по дисциплине:

«Силовые преобразовательные устройства»

Студент ЭЭ-14-4
(группа)

Карибаева М.Ж.
(фамилия, имя, отчество студента)

Вариант №6

Тема проекта: Разработка управляемого преобразователя

Исходные данные

Учебно-методические пособия, литературные источники, набор статей из подписных изданий, электронные учебники.

№	Содержание пояснительной записки	Сроки выполнения	Примерный объем
1	Разработка силовой части преобразователя.		
2	Проектирование структурной схемы системы фазового управления.		
3	Разработка принципиальных схем и выбор элементов схемы системы фазового управления..		
4	Разработка имитационных моделей элементов системы фазового управления.		

№	Содержание графической части	Сроки выполнения	Кол-во листов	Формат
1	Принципиальная схема силовой части преобразователя.			A3
2	Принципиальная системы фазового управления.			A2
3	Переходная характеристика преобразователя			A4

Литература: УМКДП по дисциплине «Силовые преобразовательные устройства» специальности 5В071800

Дата выдачи задания _____, дата защиты проекта _____

Руководитель проекта Доц. кафедры АПП Каверин В.В.

Задание принял к исполнению _____

(дата, подпись студента)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
1 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	5
1.1 Функциональное назначение элементов силовой схемы	5
1.2 Расчет силового трансформатора	6
1.3 Расчет силовых тиристорov.....	7
1.4 Расчет предохранителей	9
1.5 Расчет резисторов и конденсаторов	10
1.6 Расчет контактора и автоматического выключателя	11
1.7 Расчет реактора	12
2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	13
2.1 Функциональное назначение элементов системы импульсно фазового управления (СИФУ)	13
2.2 ВЫБОР ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	15
2.3 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ФИЛЬТРА (ИФ).....	17
2.4 Расчет и выбор элементов ноль органа (НО).....	19
2.5 Расчет и выбор элементов генератора пилообразного напряжения (ГПН)	21
2.6 Расчет и выбор элементов логического элемента сравнения (ЛЭС).....	26
2.7 Расчет и выбор элементов устройства дифференцирования (УД).....	27
2.8 Расчет и выбор элементов импульсного усилителя (ИУ).....	29
2.9 Расчет и выбор элементов импульсного трансформатора (ИТ)	31
2.10 Расчет и выбор элементов устройства согласования (УС)	33
2.11 Расчет и выбор элементов блока питания и синхронизации (БПиС)	35
СНОСКИ.....	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	42

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ варианта	Ток нагрузки [А]	Максимальное напряжение нагрузки [В]	Схема силовой части	Нагрузка	Вариант охлаждения тиристорov	Вид подключения преобразователя к сети
1	2	3	4	5	6	7
6	100	445	трехфазный одно-полупериодный реверсивный преобразователь	активно-индуктивная	воздушный естественный	трансформаторный

1 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

1.1 Функциональное назначение элементов силовой схемы

ХТ1- ХТ3 – предназначены для подключения управляемого преобразователя электрической энергии к трехфазной системе электропитания.

QF1 – автоматический выключатель, предназначен для отключения электропитания с управляемого преобразователя в случае превышения тока нагрузки номинальной величины, а так же при коротких замыканиях в цепи нагрузки относительно автоматического выключателя.

Контактор К1.1 – предназначен для оперативного включения и отключения электрической энергии с управляемого преобразователя.

Трансформатор Т1 – предназначен для согласования электрических параметров системы электропитания с параметрами нагрузки при полностью открытых тиристорах. В трансформаторе используется для питания тиристорного преобразователя группа включения треугольник/звезда с целью минимизации влияния пульсаций вызванных тиристорной группой и широкого спектра гармонических составляющих тока на тепловые режимы работы трансформатора Т1, а так же на вторичные энергопотребители питающиеся от же сети.

К недостаткам данного схмотехнического решения следует отнести: высокая индуктивная составляющая контактора К1.1 приводит к возникновению коммутационных напряжений при включении кнопки S2(кнопка включения питания)и оключении кнопки S1 (кнопка отключения питания). Данные перенапряжения негативно сказываются на работе системы фазового управляемого преобразователя, а так же на другие цифровые системы измерения и автоматики, расположенные в непосредственной конструктивной близости от блока А1 и А2. С этой целью устанавливаются шунтирующие R-C-цепи (R_1C_1 , R_2C_2).

Контактор К1.2 – предназначен для шунтирования кнопки включения S1 силового преобразователя.

F1 -F6 – предохранители, предназначены для защиты силовых полупроводниковых элементов преобразователя в случае выхода одного из них из строя.

VS1- VS6 – тиристоры, предназначенные для управляемого выпрямления электрической энергии на нагрузке $Z_{н.}$

R_9 , R_{10} , R_{11} , R_{12} , R_{13} , R_{14} -резисторы, предназначены для ликвидации паразитных токов в силовом канале тиристора, что может привести к самопроизвольному включению тиристора. Их назначение и номинал регламентированны техническими условиями (ТУ).

R_3C_3 , R_4C_4 , R_5C_5 , R_6C_6 , R_7C_7 , R_8C_8 – R-Сцепи,обеспечивают форсированное включение силового полупроводникового канала тиристора.НаличиеRCцепи, шунтирующей силовой канал тиристора, обеспечивает

устойчивое открытие тиристора при активно - индуктивной нагрузке. Кроме того обеспечивают динамическую балансировку последовательно включенных тиристоров

L_1, L_2 - реактор, предназначен для уменьшения амплитуды пульсации тока в цепи нагрузки.

A1, A2 - блоки системы фазового управления прямой и реверсивной группы управляемого преобразователя. Блоки A1 и A2 генерирует импульсную последовательность сигналов управления, синхронизированную с напряжением питания, причем, фазовая задержка изменяется в функции сигнала управления $U_{упр1}$ и $U_{упр2}$.

1.2 Расчет силового трансформатора

Определяем мощность трансформатора по формуле:

$$P_{тр} = U_n * I_n * K_3 * K_{п.м.} = 445 * 100 * 1,2 * 1,5 = 80100 \text{ Вт, где}$$

где:

U_n – напряжение на нагрузке при полностью открытых тиристорах;

I_n – номинальный ток нагрузки;

K_3 – коэффициент запаса (для всех вариантов принять 1,2), учитывает колебания напряжения в сети;

$K_{п.м.}$ – коэффициент повышения мощности (в соответствии с вариантом принять равным 1,5). Учитывает несинусоидальные токи, протекающие по обмоткам трансформатора вследствие работы силовых тиристоров.

Определяем ток первичной обмотки трансформатора:

$$I_1 = P_{тр} / U_1 = 80100 / 380 = 210,8 \text{ А}$$

где:

$P_{тр}$ – мощность трансформатора;

$U_{л1}$ – линейное напряжение первичной обмотки трансформатора (для всех вариантов 380 В).

Определяем ток вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 = P_{тр} / U_2 = 80100 / 315 = 254,3 \text{ А}$$

где:

$U_{л2}$ – линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора ($U_{л2} = U_n / \sqrt{2}$).

Таблица 2 – Технические характеристики силового трансформатора

Схема соединения	$U_L, В$	$I, А$	$P, кВт$
Первичная Δ	380	210,79	80
Вторичная \sphericalangle	315	254,27	

1.3 Расчет силовых тиристоров

Расчет силовых тиристоров осуществляется по двум основным параметрам:

- максимальный ток открытого состояния;
- максимальное напряжение закрытого состояния.

Определяем максимальный ток открытого состояния:

$$I_{o.c.} = I_H * K_3 * K_{охлжк.} = 100 * 1,2 * 1,5 = 180 А$$

где:

$K_{охл}$ – для вариантов с принудительным воздушным охлаждением принимаем равным 1,5.

Определяем максимальное напряжение закрытого состояния:

$$U_{з.с.м.} = U_H * K_3 = 445 * 1,2 = 534 В$$

Исходя из моих расчетных данных, выбираю тиристор из ряда унифицированных¹Т-171-200, параметры которого приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики силового тиристора

Импульсное напряжение в открытом состоянии при $I_{oc, и} = 3,14 I_{oc, ср max}$, $t_{и} = 10$ мс не более	1,75 В
Пороговое напряжение не более	1,15 В
Отпирающее постоянное напряжение управления при $U_{зс} = 12$ В не более	$T_{и} = -60^{\circ}C, I_{y, от} = 0,4 А - 5,5 В$ $T_{п} = 25^{\circ}C, I_{y, от} = 0,2 А - 3,5 В$ $T_{п} = 125^{\circ}C, I_{y, от} = 0,15 А - 2,5 В$
Неотпирающее постоянное напряжение управление при $U_{зс, и} = 0,67 U_{зс, п}$, $R_y = 10$ Ом, $T_{п} = 125^{\circ}C$ не менее	0,45 В
Повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии при $U_{зс, и} = U_{зс, п}$, $R_y = \infty$ Ом, $T_{п} = 125^{\circ}C$ не менее	30 мА
Ток удержания при $U_{зс} = 12В$, $R_y = \infty$ не более	0,25 А
Ток включения при $I_{y. пр. и} = 1 А$, $di_y/dt = 1 А/мкс$, $t_y = 50$ мкс не более	0,7 А

Продолжение таблицы 3

Повторяющийся импульсный обратный ток при $U_{обр. и} = U_{обр. п}, R_y = \infty, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$ не более	30 мА
Отпирающий постоянный ток управления при $U_{зс} = 12 \text{ В}$ не более	$T_{и} = -60^{\circ}\text{C} - 0,4 \text{ А}$ $T_{п} = 25^{\circ}\text{C} - 0,2 \text{ А}$ $T_{п} = 125^{\circ}\text{C} - 0,15 \text{ А}$
Неотпирающий постоянный ток управления при $U_{зс, и} = 0,67 U_{зс, п}, R_y = 10 \text{ Ом}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$ не менее	10 мА
Время включения при $U_{зо} = 100 \text{ В}, I_{ос. и} = I_{ос. ср.мах}, I_{у. пр. и} = 0,3 \text{ А}, di_y/dt = 0,3 \text{ А/мкс}, t_y = 50 \text{ мкс}$ не более	25 мкс
Время задержки $U_{зо} = 100 \text{ В}, I_{ос. и} = I_{ос. ср.мах}, I_{у. пр. и} = 0,3 \text{ А}, di_y/dt = 0,3 \text{ А/мкс}, t_y = 50 \text{ мкс}$ не более	5 мкс
Время выключения при $U_{зс, и} = 0,67 U_{зс, п}, du_{зс}/dt = (du_{зс}/dt)_{кр}, U_{обр. и} = 100 \text{ В}, I_{ос. и} = I_{ос. ср.мах}, (di_{ос}/dt)_{сп} = 5 \text{ А/мкс}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$ не более	250 мкс
Время обратного восстановления при $U_{обр. и} = 100 \text{ В}, I_{ос. и} = I_{ос. ср.мах}, (di_{ос}/dt)_{сп} = 5 \text{ А/мкс}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$ не более	15 мкс
Заряд обратного восстановления при $U_{обр. и} = 100 \text{ В}, I_{ос. и} = I_{ос. ср.мах}, (di_{ос}/dt)_{сп} = 5 \text{ А/мкс}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$ не более	400 мкКл
Динамическое сопротивление в открытом состоянии не более	1 мОм
Тепловое сопротивление переход – корпус не более	0,1 $^{\circ}\text{C/Вт}$
Предельные эксплуатационные данные	
Повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии	300-1600 В (600)
Неповторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии	1,12 $U_{зс.п}$ В (666)
Рабочее импульсное напряжение в закрытом состоянии	0,8 $U_{зс. п}$ В (480)
Максимально допустимое постоянное напряжение в закрытом состоянии	0,75 $U_{зс.п}$ В (360)
Повт. импульсное обратное напряжение	300-1600 В (600)
Неповторяющееся импульсное обратное напряжение	1,12 $U_{зс.п}$ В (666)
Максимально допустимое постоянное об-	0,75 $U_{зс. п}$ В (360)

ратное напряжение	
-------------------	--

Продолжение таблицы 3

Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии при $U_{зс, и} = 0,67 U_{зс, п}, R_y = \infty \text{ Ом}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$	20 - 1000 В/мкс
Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии при $f = 50 \text{ Гц}, \beta = 180^{\circ}, T_{к} = 85^{\circ}\text{C}$	200 А
Максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии при $f = 50 \text{ Гц}, \beta = 180^{\circ}, T_{к} = 85^{\circ}\text{C}$	500 А
Ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии при $U_{обр} = 0, t_k = 10 \text{ мс}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$	5000 А
Защитный показатель при $U_{обр} = 0, t_{и} = 10 \text{ мкс}, T_{п} = 125^{\circ}$	3,2 кА ² с
Критическая скорость нарастания ток в открытом состоянии при $U_{зс, и} = U_{зс, п}, I_{ос. и} = 2I_{ос. ср. max}, di_y/dt = 0,3 \text{ А/мкс}, f = 1-5 \text{ Гц}, t_y = 50 \text{ мкс}, T_{п} = 125^{\circ}\text{C}$	80 А/мкс
Минимально допустимый прямой импульсный ток управления	0,5 А
Максимально допустимый прямой импульсный ток управления	12 А
Температура перехода	от -60 до +125 ^о С
Температура корпуса	от -60 до +125 ^о С

1.4 Расчет предохранителей

Предохранители рассчитываются по току срабатывания:

$$I_{ср. пр.} = I_n * K_3 = 100 * 1,2 = 120 \text{ А}$$

Исходя из расчетных данных, выбираю предохранитель²ППН-33-125, параметры которого приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики силового предохранителя

Тип	ППН-33-125
Ток срабатывания, А	125

1.5 Расчет резисторов и конденсаторов

Выбираем резистор в цепи управления ($R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$)³С2-23. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 5.

Рассчитаем токоограничивающий резистор в цепи динамической балансировки:

$$R = \frac{U_H}{I_{уд} \cdot 20 \cdot 2} = \frac{445}{0,25 \cdot 20 \cdot 1} = 89 \text{ Ом},$$

где:

$I_{уд}$ – ток удержания, из справочника;

20 – коэффициент, учитывает внутреннее сопротивление силового канала и параметры постоянной времени;

1 – коэффициент, необходим для расчета динамической балансировки тиристорov в двухполупериодной схеме выпрямления.

Мощность резистора принимаем 2 Вт.

Исходя из моих расчетных данных, выбираю резистор ⁵, параметры которого приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
С2-23	2	10	8,6	18,5	1,0	25	3,5
С2-23-2А	2	82	6,6	13	0,6	25	3,5

Рассчитаем конденсатор в цепи динамической балансировки:

$$k = \frac{I_{уд.}}{I_H} = \frac{0,25}{100} = 0,0025 ,$$

где:

k – коэффициент, учитывающий интенсивность разряда емкости.

$$T_{RC} = k \cdot T_H = 0,0025 \cdot 0,05 = 0,000125 ,$$

где:

T_H – постоянная времени нагрузки $T_H = 0,05$ с.

$$C = \frac{T_{RC}}{R_{дин.бал.}} = \frac{0,000125}{82} = 1,52 \cdot 10^{-6} \text{ Ф},$$

где:

C – емкость конденсатора;
 $R_{\text{дин.бал.}}$ – значение сопротивления в цепи динамической балансировки.
 Конденсатор выбирается по двум параметрам: емкости конденсатора и предельному напряжению на обкладках конденсатора:

$$U_C = U_C = U_{\text{ампл.ист.пит.}} \cdot K_3 = 380 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2 = 644,8 \text{ В},$$

где:

U_C – напряжение на обкладках конденсатора;

$U_{\text{ампл.ист.пит.}}$ – амплитудное значение источника питания.

Исходя из моих расчетных данных, выбираю два конденсатора К77-5⁵, соединённых параллельно, параметры которого приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики конденсатора

$U_{\text{ном}}, \text{ В}$	$C_{\text{ном}}, \text{ мкФ}$	$f_{\text{ном}}, \text{ Гц}$	$\text{tg}\delta$, не более	Размеры, мм				Масса, г, не более
				D	L	l	d	
700	1	90	0,0005	45	125	60	M16	370

1.6 Расчет контактора и автоматического выключателя

Контактор выбирается по номинальному напряжению и току первичной обмотки трансформатора.

Определяем ток контактора:

$$I_{\text{конт.}} = I_1 \cdot K_3 = 210,8 \cdot 1,2 = 252,96 \text{ А}$$

Линейное напряжение сети для всех вариантов 380 В.

Исходя из моих расчетных данных, выбираю речный контактор⁶ КТП 6033 250 А 380 В 50Гц серии КТПпо АС-3и автоматический выключатель⁷ А3722Б. Технические характеристики этих устройств указаны в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Технические характеристики контактора

Номинальный ток	250 А
Категория применения	АС-3
Частота напряжения	50-60 Гц
Номинальное напряжение	380
Количество полюсов	3 НО
Блоки дополнительных контактов	1 НО
Номинальная мощность	152 кВт

Таблица 8 – Технические характеристики автоматического выключателя

Номинальный ток	250 А
Степень защиты	IP20
Число полюсов	3
Уставки токов расцепителя в зоне токов перегрузки	12 А
Уставки токов расцепителя в зоне токов короткого замыкания	12 А
Номинальное напряжение переменного тока	380 В

1.7 Расчет реактора

Реактор выбирается по току нагрузки с учетом коэффициента запаса и индуктивности.

Определяем ток реактора:

$$I_p = I_n \cdot K_3 = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ А}$$

Определяем индуктивность реактора:

$$L_p = \frac{1}{\omega} \cdot \left(0,46 \cdot \frac{U_{2\text{фазн.}}}{I_n} \cdot \sin(\alpha) - X_{a\phi} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \left(0,46 \cdot \frac{445}{100} \cdot 0,866 - 0,01 \right) = 5,61 \text{ мГн},$$

где:

ω – угловая частота сети;

$\alpha = 60^\circ$;

$X_{a\phi}$ – величина реактивного сопротивления на входе ТП для частоты соответствующей питающей сети;

Исходя из моих расчетных данных, выбираю реактор⁴ ФРОС-65/0,5УЗ. Технические характеристики данного реактора указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Технические характеристики реактора

Тип реактора	Ном. пост. ток, А	Ном. индукт., мГн	Акт. сопр., мОм	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				L	B	H	
ФРОС-65/0,5УЗ	125	6.5	6,8	260	260	610	82

2 РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

2.1 Функциональное назначение элементов системы импульсно фазового управления (СИФУ)

ИФ — избирательный фильтр, предназначен для выделения первой гармоники сигнала синхронизации, то есть фильтрации синхронизирующего сигнала от импульсных помех, возникающих при работе силовых тиристоров. Корректирующие элементы фильтра выбираются таким образом, что бы фазовый сдвиг между входным и выходным сигналом избирательного фильтра был равен нулю.

НО — ноль-орган, преобразует сигнал синусоидальной формы с выхода ИФ, в импульсный сигнал прямоугольной формы, причем точки перехода через ось времени выходных сигналов ИФ и, НО строго синхронизированы.

ГПН — генератор пилообразного напряжения, формирует сигнал со строго нормированной амплитудой, наклоном, линейностью рабочего участка выходного сигнала ГПН.

ЛЭС — логический элемент сравнения, осуществляет сравнение сигналов с выхода ГПН и сигнала управления тиристорным преобразователем ($U_{упр.}$). На выходе ЛЭС сигнал имеет прямоугольную форму постоянной частоты и скважностью, зависимой от $U_{упр.}$, при этом изменение величины $U_{упр.}$ от нуля до максимального значения соответствует фазовому сдвигу рабочего фронта сигнала на выходе ЛЭС в пределах рабочего участка сигнала ГПН.

УД — устройство дифференцирования, формирует импульсный сигнал строго определённой длительности, синхронизированный с рабочим фронтом сигнала на выходе ЛЭС.

Длительность импульсов составляет:

$$\tau = \frac{1}{60} T_c = \frac{1}{60} \cdot 20 = \frac{1}{3} \text{ мс} = 333,3 \text{ мкс},$$

где $T_c = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20 \text{ мс}$ — период колебаний напряжения сети питания,

$f = 50 \text{ Гц}$ — частота напряжения питающей сети.

ИУ — импульсный усилитель — конечный каскад СИФУ, осуществляет усиление по току сигнала с выхода УД, работает в ключевом режиме.

ИТ — импульсный трансформатор, согласует электрические параметры выходного каскада ИУ с входными параметрами тиристоров по каналу управления;

УС — устройство согласования, придаёт сигналу с выхода ИТ форму, необходимую для управления тиристорами.

ИТ и УС входят в состав ЯГР — ячейки гальванической развязки, которая в соответствии с нормативами безопасности, осуществляет гальваническую развязку силовых цепей выпрямителя и систем управления.

Структурная схема системы управления (рисунок 1) построена в соответствии с вариантом курсового проекта.

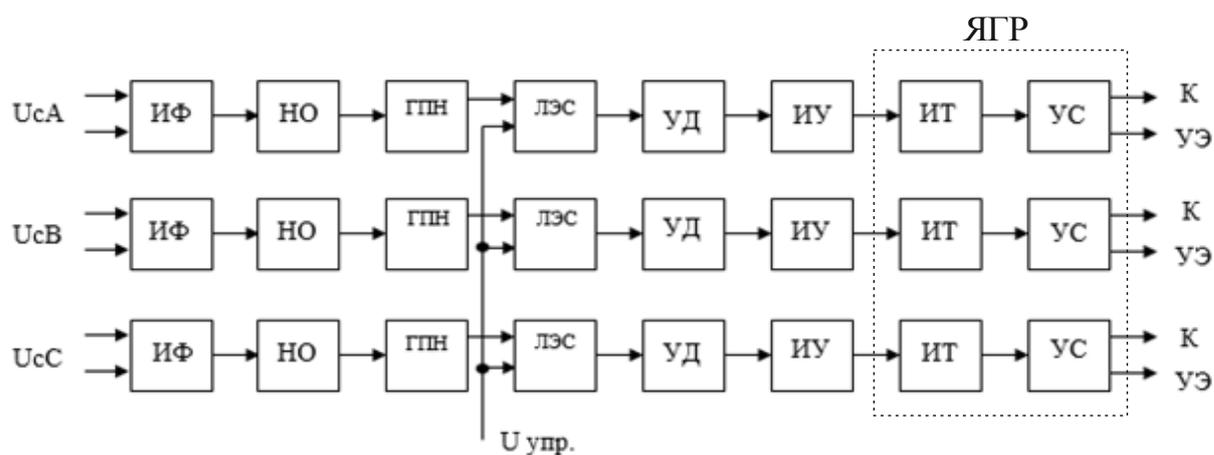


Рисунок 1 - Структурная схема системы управления трехфазного однополупериодного выпрямителя

Эпюры напряжения системы управления однополупериодного трехфазного выпрямителя (рисунок -2) имеют вид:

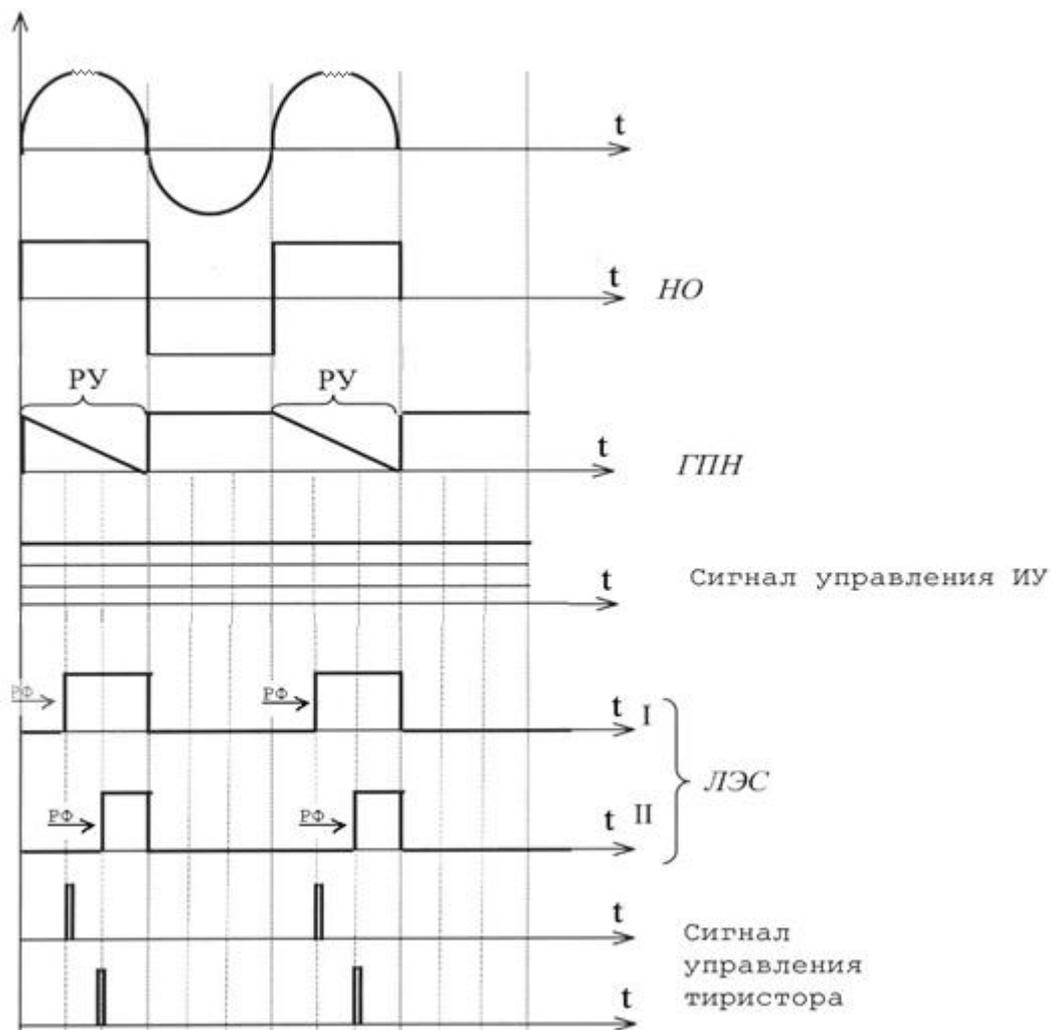


Рисунок 2- Эпюры напряжения системы управления однополупериодного трехфазного выпрямителя

2.2 Выбор операционного усилителя

Во всех вариантах курсового проекта в качестве основного активного базового элемента используется операционный усилитель (ОУ) марки КР140УД8. Технические характеристики данного операционного усилителя указаны в таблице 10.

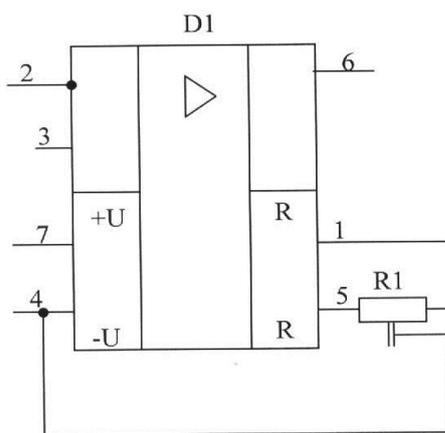


Рисунок 3 - Условное графическое обозначение (УГО) операционного усилителя

Назначение выводов ОУ:

Вывод 2 – инверсный вход ОУ;

Вывод 3 – прямой вход ОУ;

Вывод 6 – выход ОУ;

Выводы 1 и 5 – статическая балансировка ОУ;

Вывод 7- питание положительной полярности;

Вывод 4 – питание отрицательной полярности.

В курсовом проекте ОУ будут подключаться к двухполярному источнику питания.

Таблица 9 – Технические характеристики ОУ

Тип	КР140УД8
$U_{\text{пит}}, \text{В}$	± 15
$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$\pm 11,5$
$U_{\text{вх}}, \text{В}$ (для инверсного и прямого входа, относительно общей точки питания)	± 12
$K_{\text{ус}}$ (коэффициент усиления без учета внешних корректирующих элементов)	50000
$I_{\text{вх}}, \text{нА}$	0,2
$I_{\text{вых}}, \text{мА}$	20
$I_{\text{потр}}, \text{мА}$ (при отсутствии нагрузки на выходе ОУ)	2,8
$f, \text{МГц}$	1

2.3 Расчет и выбор элементов избирательного фильтра (ИФ)

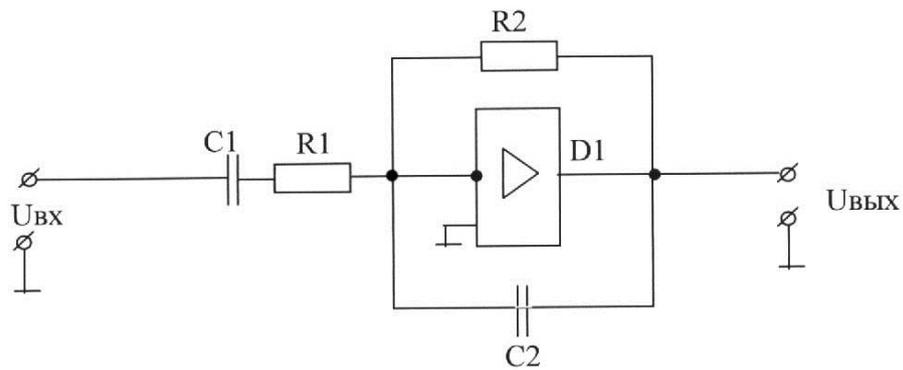


Рисунок 4—Принципиальная схема избирательного фильтра
 Передаточная функция ИФ:

$$W = \frac{T_1 \times P}{(T_2 \times P + 1) \times (T_3 \times P + 1)}$$

$$T_1 = R_2 \times C_1 \quad T_2 = R_2 \times C_2 \quad T_3 = R_1 \times C_1$$

$$W = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{Z_{\text{oc}}}{Z_{\text{вх}}};$$

$$\frac{1}{Z_{\text{oc}}} = \frac{1}{R_2} + C_2 \times P$$

$$Z_{\text{вх}} = \frac{1}{C_1 \times P} + R_1,$$

где

P – оператор дифференцирования

Допускается максимальная фазовая ошибка до 49 Гц:

$$\omega = 2 * \pi * 49 = 307,876 \text{ рад/с}$$

$$T = \frac{1}{\omega} = 3,248 * 10^{-3} \text{ с}$$

Для получения этого должно выполняться условие:

$$T_1 = T_2$$

$$T_1 = R_2 C_1 = 3,248 * 10^{-3} \text{ с}$$

$$T_2 = R_2 C_2 = 3,248 * 10^{-3} \text{ с}$$

$$\omega_3 = 2 * \pi * 51 = 320,442 \text{ рад/с}$$

$$T_3 = \frac{1}{\omega_3} = R_1 C_1 = 3,121 * 10^{-3} \text{ с}$$

Принимаем, что $C_2 = C_1 = 1 \text{ мкФ}$.

Исходя из моих расчетных данных, выбираю конденсатор⁴К77 - 5, параметры которого приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики конденсатора

U _{ном} , В	C _{ном} , мкФ	f _{ном} , кГц	tgδ, не более	Размеры, мм		Масса, кг, не более
				D	L	
700	1	1	0,0025	45	125	0,37

Рассчитаем резисторы

$$R_2 = \frac{T_1}{C_1} = \frac{3,248 * 10^{-3}}{1 * 10^{-6}} = 3248 \text{ Ом}$$

Таким образом, анализируя ряд 5% резисторов мы не находим величины резистора 3248 Ом, поэтому составляем сопротивление из двух последовательно включенных резисторов 3 кОм, 240 Ом, 8,2 Ом. Исходя из моих расчетных данных, выбираю два резистора³МЛТ-0,25, параметры которых приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	3000	2,0	7,0	0,6	20	0,25
МЛТ-0,25	0,25	120	2,0	7,0	0,6	20	0,25

$$R_2 = \frac{T_3}{C_1} = \frac{3,121 * 10^{-3}}{1 * 10^{-6}} = 3121 \text{ Ом}$$

Таким образом, анализируя ряд 5% резисторов мы не находим величины резистора 3121 Ом, составляем общее сопротивление из двух последовательно включенных резисторов 3 кОм и 120 Ом. Исходя из моих расчетных данных, выбираю два резистора³МЛТ-0,25, параметры которых приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	3000	2,0	7,0	0,6	20	0,25
МЛТ-0,25	0,25	120	2,0	7,0	0,6	20	0,25

Исходя из расчетных данных проведем моделирование АЧХ и ФЧХ в ППП EWB. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

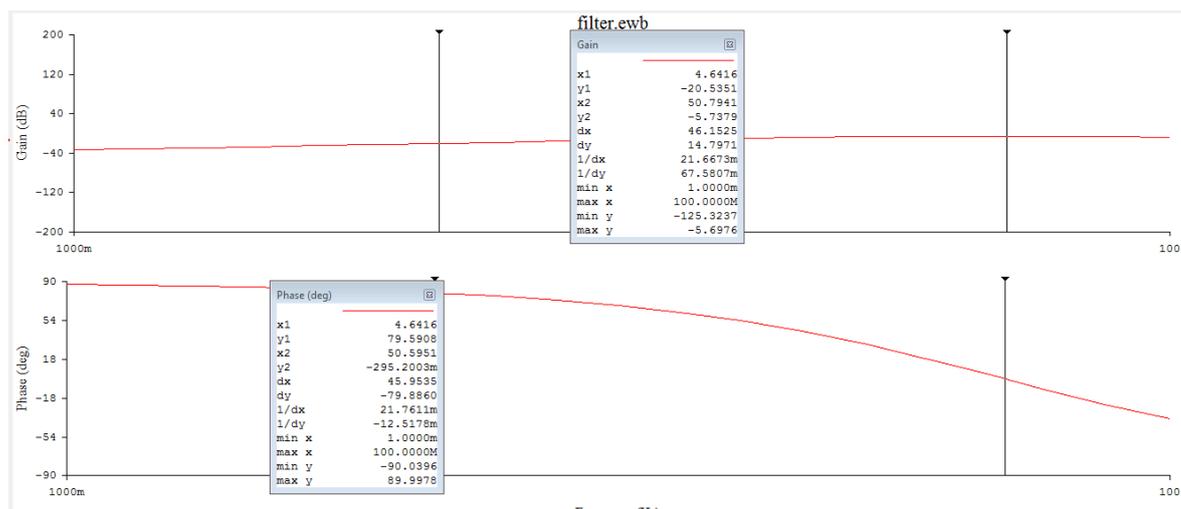


Рисунок 5 – АЧХ и ФЧХ избирательного фильтра

2.4 Расчет и выбор элементов ноль органа (НО)

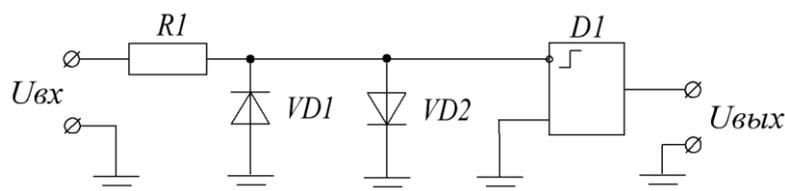


Рисунок 6–Принципиальная схема инвертирующего ноль органа

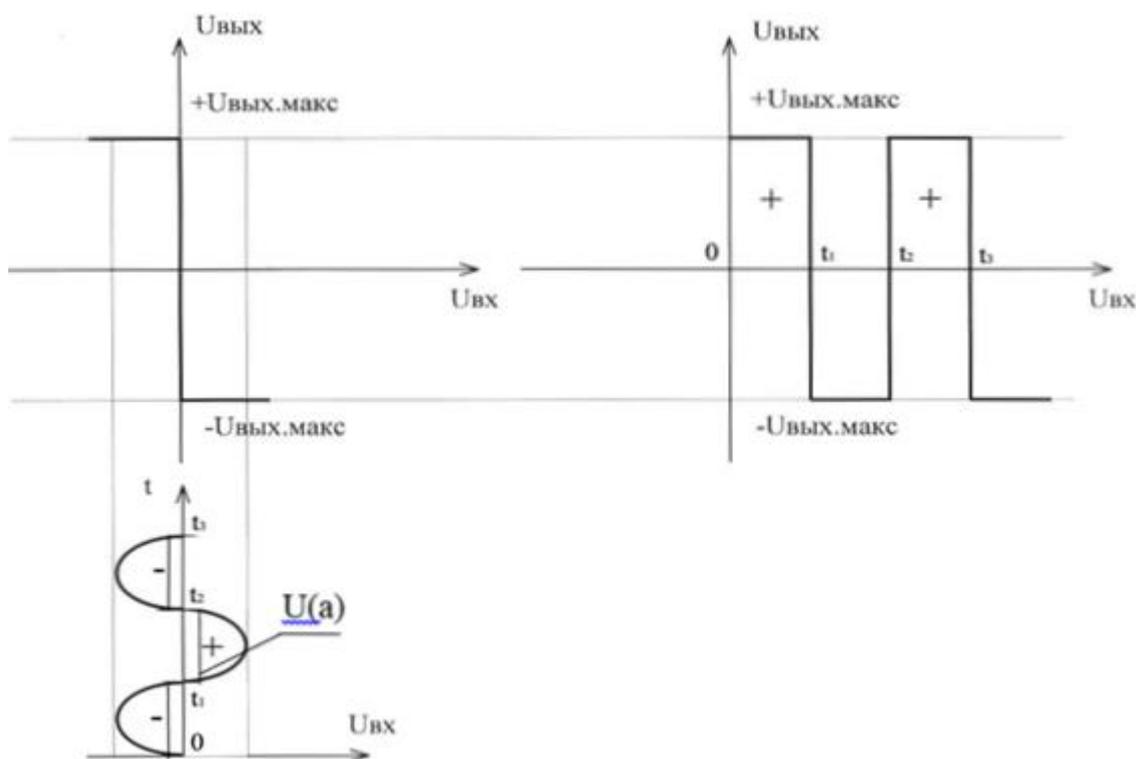


Рисунок 7 - Временная диаграмма, поясняющая работу инвертирующего нуля – органа

Резистор R_1 – выполняет функции ограничения тока нагрузки выходного каскада избирательного фильтра.

В соответствии с вариантом курсового проекта выбираю резистор³C2-23. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность $P, \text{Вт}$	Сопротивление $R, \text{Ом}$	Размеры				Масса $m, \text{г}$
			D	L	d	l	
C2-23	0,125	2000	2,2	6,0	0,6	20	0,15

Диод $VD1$ и $VD2$ - ограничивает максимально допустимую величину как синфазного напряжения по инверсному входу, так и пара-фазного напряжения.

В соответствии с вариантом курсового проекта выбираю два диода⁵КД-510А. Технические характеристики данного диода приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Технические характеристики диода

Тип	КД-510А
Максимальное обратное напряжение, В	50
Максимальный прямой ток, мА	200
Прямое напряжение (при прямом токе 0,2 А), В	1,1
Обратный ток (при обратном напряжении 50 В), мкА	5
Время обратного восстановления, мкс	0,004
Общая емкость диода (при обратном напряжении 50 В), пФ	4

2.5 Расчет и выбор элементов генератора пилообразного напряжения (ГПН)

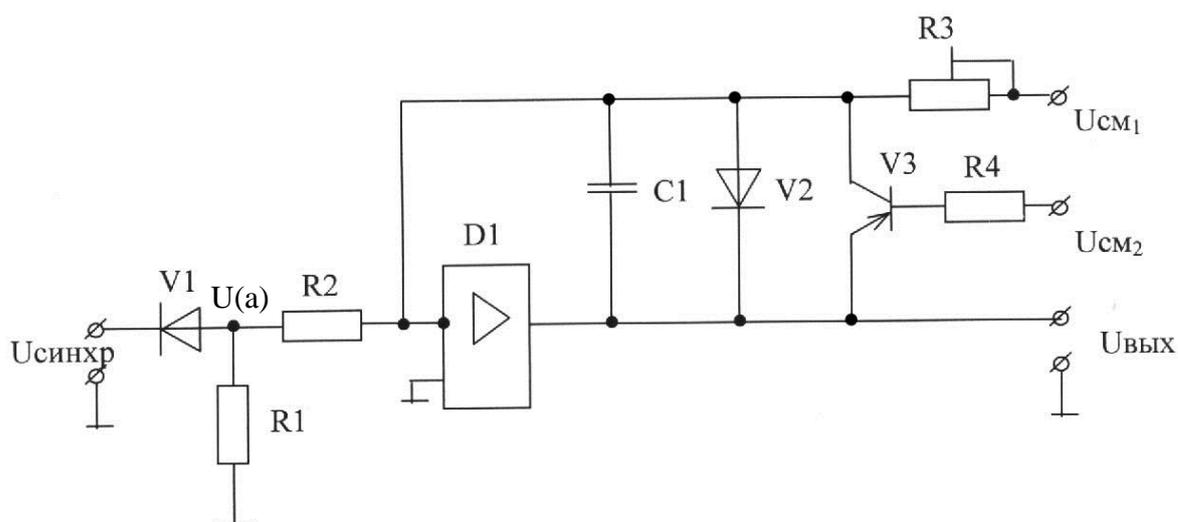


Рисунок 8 - Принципиальная схема ГПН

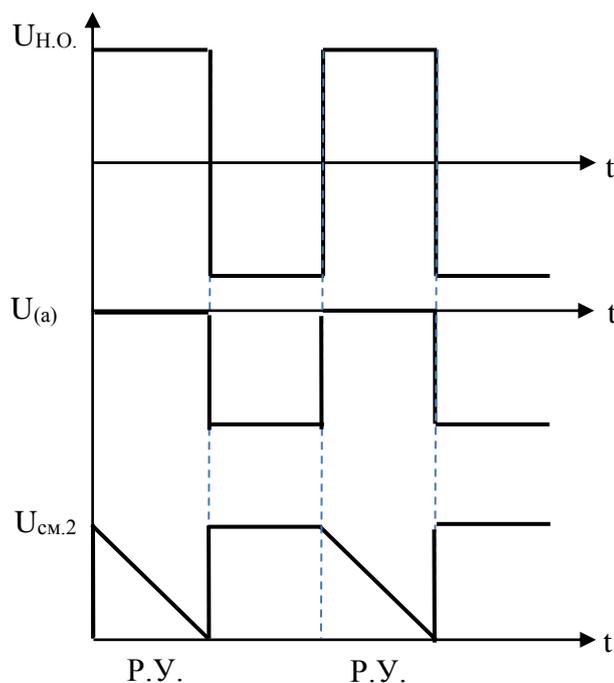


Рисунок 9 – Временная диаграмма поясняющая принцип работы ГПН

Рабочий участок ГПН формируется следующими элементами: R_3, C_1, D_1 . Совокупность этих элементов формирует инвертирующую цепь. Диодом V_1 и резистором формируется синхронизирующий однополярный сигнал. $U_{см1}$, величины резистора R_1 и емкости конденсатора C_1 определяют наклонный рабочий участок ГПН. $U_{см2}$ определяет максимальное значение выходного сигнала ГПН.

В соответствии с вариантом КП принимаем значение емкости конденсатора $C_1 = 68$ мкФ и выбираем конденсатор⁴ К52-5. Технические характеристики данного конденсатора приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики конденсатора

$U_{ном}, В$	$C_{ном}, мкФ$	$f_{ном}, кГц$	$tg\delta$, не более	Размеры, мм				Масса, г не более
				D	L	l	d	
90	68	1	0,005	28	24	11,5	M10	20

В соответствии с вариантом КП принимаем значение сопротивления резистора $R_3 = 2,500кОм$. В связи с тем, что существуют широко изменяемые параметры ($U_{см}$), также параметры V_3 ($U_{бэ}$) целесообразно в качестве R_3 использовать прецизионный построечный резистор серии СП5. Чтобы обеспечить эффективную настройку ГПН целесообразно величину сопротивления построечного резистора взять в два раза больше, чем расчетная величина. Таким образом, R_3 принимаем марки СП5-2а-0,5Вт-5кОм $\pm 5\%$. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
СП5-2а-0,5Вт	0,5	5000	4,2	10,8	0,8	25	1

В соответствии с вариантом КП выбираю диоды⁵V1 и V2 марки КД521В. Технические характеристики данных диодов приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики диода

Тип	КД521В
Максимальное обратное напряжение, В	50
Максимальный прямой ток, мА	50
Прямое напряжение (при прямом токе 0,05 А), В	1
Обратный ток (при обратном напряжении 50 В), мкА	1
Время обратного восстановления, мкс	0,004
Общая емкость диода (при обратном напряжении 50 В), пФ	3

В соответствии с вариантом КП принимаем транзистор²V3 марки КТ203Т. Технические характеристики данного транзистора приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Технические характеристики транзистора

Тип	КТ203Т
$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока по схеме с общим эмиттером. При $t = +25^{\circ}C$	≥ 40
$U_{кэ.нас}$, В	0,5
$U_{бэ}$, В	0,7
$I_{обр.к}$, мкА	1
$U_{кэ}$, В	60
$I_{к.мах}$, мА	10

В соответствии с вариантом КП выбираем резисторы³R₁, R₂, R₃ марки С2-23. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 19

Таблица 19 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
C2-23	0,125	2000	2,2	6,0	0,6	20	0,15

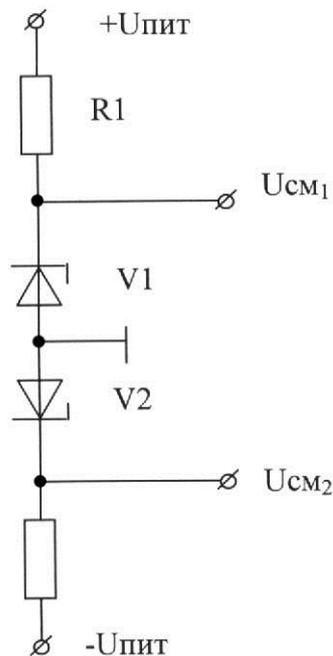


Рисунок 10 – Принципиальная схема формирования опорных напряжений $U_{см1}$, $U_{см2}$

В соответствии с вариантом КП для формирования опорного напряжения использованы: стабилитрон²V1 – КС182, стабистор²V2 – КС113. Технические характеристики стабилитрона приведены в таблице 20. Технические характеристики стабистора приведены в таблице 21.

Таблица 20 – Технические характеристики стабилитрона

тип	КС182
Номинальное напряжение стабилизации, В	8,3
Ток стабилизации стабилитрона, мА	10
Дифференциальное сопротивление стабилитрона, Ом	14
• Минимально допустимый ток стабилизации стабилитрона, мА	3

Продолжение таблицы 20.

• Максимально допустимый ток	17
------------------------------	----

стабилизации стабилитрона, мА	
• Прямая рассеиваемая мощность, Вт	0,15
Рабочий диапазон температуры, С ⁰	-55+ 100

Таблица 21 – Технические характеристики стабилитрона

Тип	КС113
Номинальное напряжение стабилизации, В	1,3
Ток стабилизации стабилитрона, мА	10
Дифференциальное сопротивление стабилитрона, Ом	80
• Минимально допустимый ток стабилизации стабилитрона, мА	1
• Максимально допустимый ток стабилизации стабилитрона, мА	100
Прямая рассеиваемая мощность, Вт	0,18
Рабочий диапазон температуры, С ⁰	-60+ 125

Рассчитаем резисторы источника опорного напряжения. Зная $I_{\text{стаб.}}=10\text{мА}$ и $U_{\text{пит.}}$ В СИФУ +15В, -15В

$$U_{R1} = U_{\text{ном}} - U_{\text{смV1}} = 15 - 8,3 = 6,7\text{В}$$

$$U_{R2} = U_{\text{мин}} - U_{\text{смV2}} = 15 - 1,3 = 13,7\text{В}$$

По закону Ома определим величину резисторов:

$$R_1 = \frac{6,7}{10 \cdot 10^{-3}} = 670\text{Ом}$$

$$R_2 = \frac{13,7}{10 \cdot 10^{-3}} = 1,37\text{кОм}$$

Исходя из моих расчетных данных выбираю резисторы³ марки С2-23. Технические характеристики данных резисторов приведены в таблице 22

Таблица 22 – Технические характеристики резисторов

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
C2-23	0,125	680	2,2	6,0	0,6	20	0,15
C2-23	0,125	1500	2,2	6,0	0,6	20	0,15

2.6 Расчет и выбор элементов логического элемента сравнения (ЛЭС)

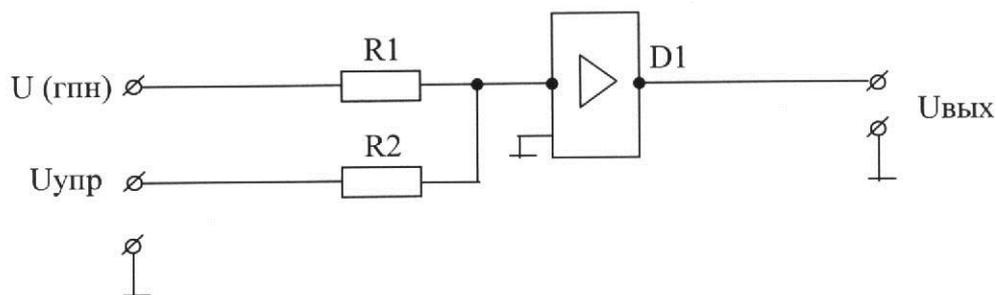


Рисунок 11 - Принципиальная схема ЛЭС

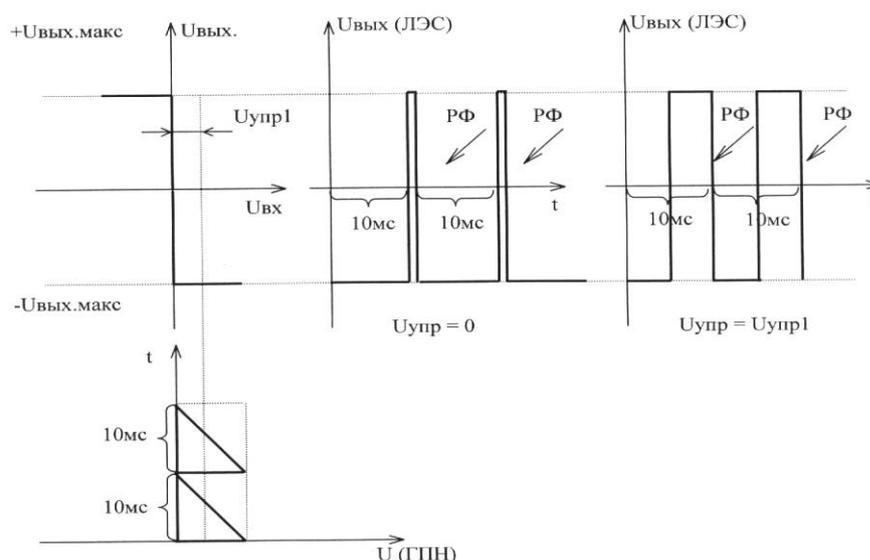


Рисунок 12 – Временная диаграмма поясняющая принцип работы ЛЭС

Резисторы R_1 и R_2 выполняют функции суммирования сигналов $U_{упр.}$ и $U_{вых.ГПН.}$ В связи с этим их номиналы должны быть равны ($R_1 = R_2$). Принципиально $U_{упр.}$ и $U_{вых. ГПН}$ имеют разные полярности. $U_{вых. ГПН}$ (+) и $U_{упр.}$ (-). В соответствии с вариантом курсового проекта выбираю резистор³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	5100	2	7	0,6	20	0,25

2.7 Расчет и выбор элементов устройства дифференцирования (УД)

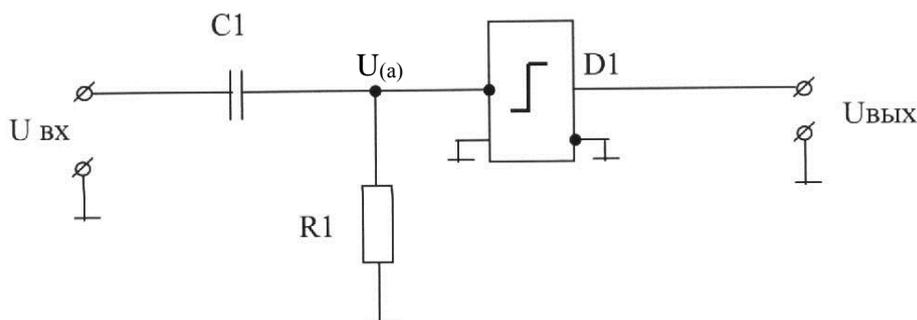


Рисунок 13 - Принципиальная схема УД

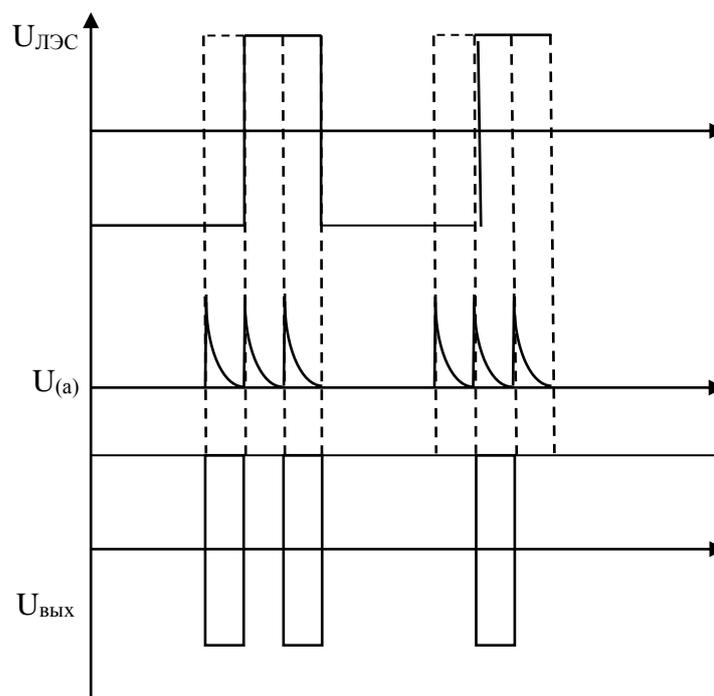


Рисунок 14 - Временная диаграмма поясняющая принцип работы УД

Определяем постоянную времени дифференцирующего устройства

$$T_{R_1 C_1} = \frac{\Delta t}{2\pi f} = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{314} = 2,6 \cdot 10^{-5}, \text{ с, где:}$$

Δt - продолжительность рабочего участка (для однополупериодного реверсивного выпрямителя принимаем 8,3 мс.)

$$T_{R_1 C_1} = R_1 * C_1$$

В соответствии с вариантом КП выбираю конденсатор⁴ марки КМ6К750. Технические характеристики данного конденсатора приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Технические характеристики конденсатора

U _{ном} , В	C _{ном} , нФ	f _{ном} , кГц	tgδ, не более	Размеры, мм				Масса, г не более
				D	L	l	d	
120	6,8	1	0,005	28	24	11,5	M10	15

Зная емкость конденсатора C₁ (6,8 мкФ), определяем величину сопротивления R₁:

$$R_1 = \frac{T_{R_1 C_1}}{C_1} = \frac{2,6 * 10^{-5}}{6,8 * 10^{-9}} = 3823 \text{ Ом.}$$

Исходя из моих расчетных данных выбираю резистор³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	3900	2	7	0,6	20	0,25

2.8 Расчет и выбор элементов импульсного усилителя (ИУ)

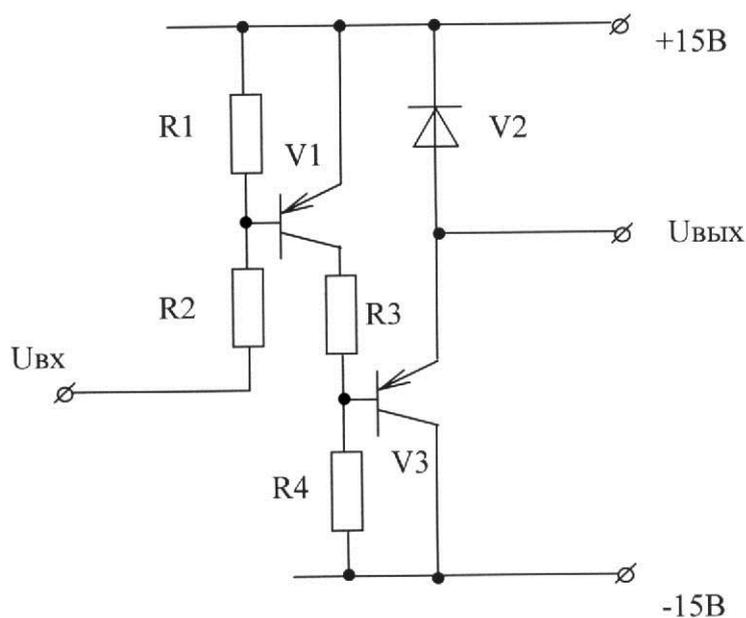


Рисунок 15 - Принципиальная схема УД

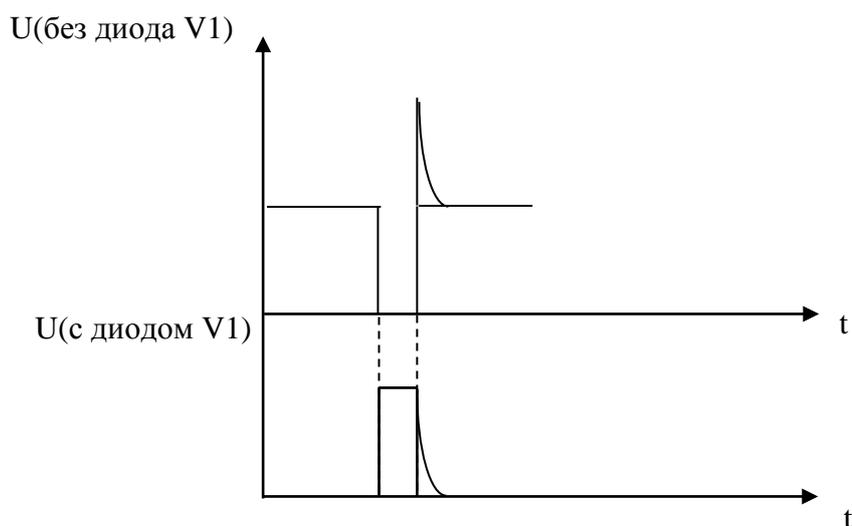


Рисунок 16 - Временная диаграмма поясняющая принцип работы ИУ

Резисторы R_2 и R_4 ограничивают ток базы транзистора V_1 и V_3 и дополнительно ограничивают нагрузку ОУ УД. В соответствии с вариантом КП выбираю резистор³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	2000	2	7	0,6	20	0,25
МЛТ-0,25	0,25	1000	2	7	0,6	20	0,25

Резисторы R_1 и R_3 – их величина и функциональное назначение определяется техническими условиями эксплуатации транзисторов V1 и V3. В соответствии с вариантом КП выбираю резисторы³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	2000	2	7	0,6	20	0,25

Транзистор V1 работает в дискретном (ключевом) режиме. В соответствии с вариантом КП выбираю транзистор² марки КТ3107И. Технические характеристики данного транзистора приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Технические характеристики транзистора

Тип	КТ3107Т
$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока. При $t = +25^\circ C$	180 - 460
$U_{кэ.нас}$, В	0,5
$U_{бэ}$, В	0,7
$I_{обр.к}$, мкА	0,1
$U_{кэ}$, В	45
$I_{к.мах}$, мА	50

Транзистор V3 работает в усилительном режиме. В соответствии с вариантом КП выбираю транзистор² марки КТ829Б. Технические характеристики данного транзистора приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Технические характеристики транзистора

Тип	КТ829Б
$h_{21Э}$ – коэффициент передачи тока. При $t = +25^\circ C$	750
$U_{кэ.нас}$, В	2
$I_{обр.к}$, мА	1,5

Продолжение таблицы 29

$U_{кэ}, В$	80
$I_{к.мах}, А$	8

Диод V2 предназначен для ограничения ЭДС самоиндукции первичной обмотки импульсного трансформатора ячейки гальванической развязки в момент закрытия транзистора V3. В соответствии с вариантом КП выбираю диод² марки КД206В. Технические характеристики данного диода приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Технические характеристики диода

Тип	КД206В
Максимальное обратное напряжение, В	600
Максимальный прямой ток, А	10
Прямое напряжение (при прямом токе 10 А), В	1,2
Обратный ток (при обратном напряжении 600 В), мкА	700
Время обратного восстановления, мкс	10
Общая емкость диода (при обратном напряжении 300 В), пФ	650

2.9 Расчет и выбор элементов импульсного трансформатора (ИТ)

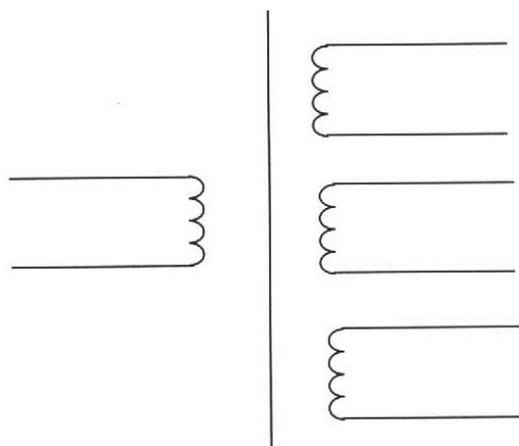


Рисунок 17 - Принципиальная схема ИТ

Определим необходимую мощность ИТ:

$$P_{тр} = n * K_3 * P_{1тир} = 1 * 1,2 * 18 = 21,6$$

где:

n - число тиристоров управляемых от одного трансформатора;

K_3 – коэффициент запаса равный 1,2;

$P_{1\text{тир}}$ - мощность, расходуемая на управление одного тиристора;

$$P_{1\text{тир}} = I_{\text{упр.э}} * U_{\text{су}} = 0,3 * 60 = 18 \text{ Вт},$$

где:

$U_{\text{су}}$ - напряжение согласующего устройства $U_{\text{су}} = 2 * U(1)$;

$U(1)$ – Напряжение первичной обмотки, принять 30 В;

$I_{\text{упр.э}}$ - ток управления электродом, $I_{\text{упр.э}} = 2 * I(1)$.

Трансформатор используется из ш-образного железа электротехнической стали марки Э.

Определяем сечение керна:

$$S_k = K * P_{\text{тр}} = 21,6 * 0,125 = 2,7$$

где:

$K=0,125$ (конструктивный коэффициент)

Определяем число витков первичной обмотки трансформатора:

$$W_1 = \frac{U_{\text{су}} * 5,4}{S_k} = \frac{60 * 5,4}{2,7} = 120$$

Определяем число витков вторичных обмоток:

$$W_2 = \frac{U(2) * 4,8}{S_k} = \frac{18 * 4,8}{2,7} = 32$$

В соответствии с выбранным типом тиристора принимаем $U(2)=18\text{В}$, которое равно двойному падению напряжения на управляющем катоде тиристора.

Определяем коэффициент трансформации ИТ

$$K_{\text{тр}} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{32}{120} = 0,27$$

Исходя из моих расчетных данных выбираю трансформатор⁶ ТПП-249. Технические характеристики данного трансформатора приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Технические характеристики импульсного трансформатора

Схема соединения	$U_{\text{л}}, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P, \text{Вт}$
Первичная Δ	30	0,73	22
Вторичная \curvearrowright	18	1,22	

2.10 Расчет и выбор элементов устройства согласования (УС)

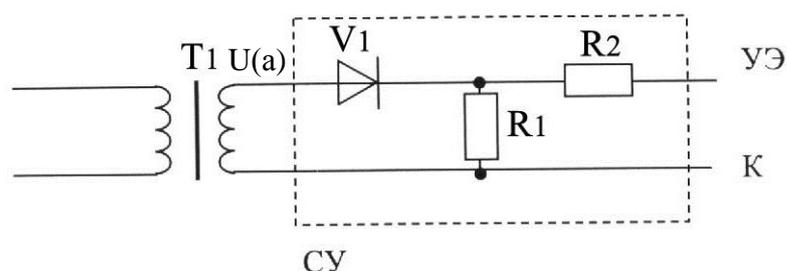


Рисунок 18 - Принципиальная схема УС

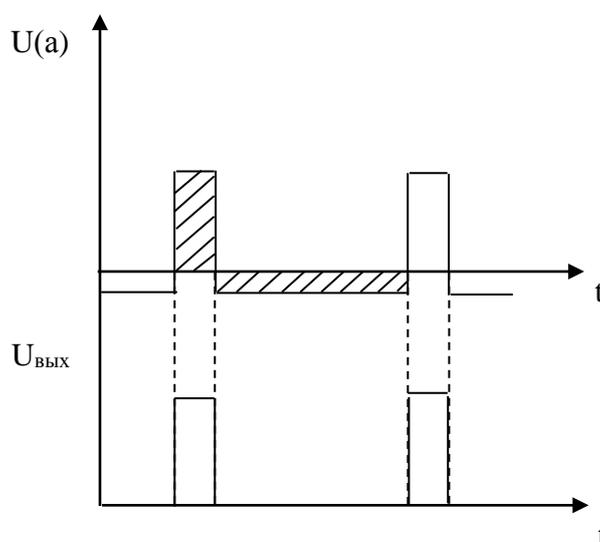


Рисунок 19 – Временная диаграмма поясняющая принцип работы УС

Диод $V1$ предназначен для выделения положительной полярности управляющего сигнала силового тиристора. В соответствии с вариантом КП выбираю диод² марки КД213А. Технические характеристики данного диода приведены в таблице 32.

Таблица 32 – Технические характеристики диода

Тип	КД213А
Максимальное обратное напряжение, В	200
Максимальный прямой ток, А	10
Прямое напряжение (при прямом токе 10 А), В	1
Обратный ток (при обратном напряжении 200 В), мкА	200
Время обратного восстановления, мкс	0,3

Продолжение таблицы 32

Общая емкость диода (при обратном напряжении 100 В), пФ	550
---	-----

Резистор R_1 выполняет функции обеспечения устойчивого открытия и закрытия диода $V1$ при отладке СИФУ преобразователя. В соответствии с вариантом КП выбираю резистор³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	1000	2	7	0,6	20	0,25

Резистор R_2 выполняет функции ограничения тока управления силового тиристора. В соответствии с вариантом КП выбираю резистор³ марки МЛТ-0,25. Технические характеристики данного резистора приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Технические характеристики резистора

Тип резистора	Мощность P, Вт	Сопротивление R, Ом	Размеры				Масса m, г
			D	L	d	l	
МЛТ-0,25	0,25	1000	2	7	0,6	20	0,25

2.11 Расчет и выбор элементов блока питания и синхронизации (БПиС)

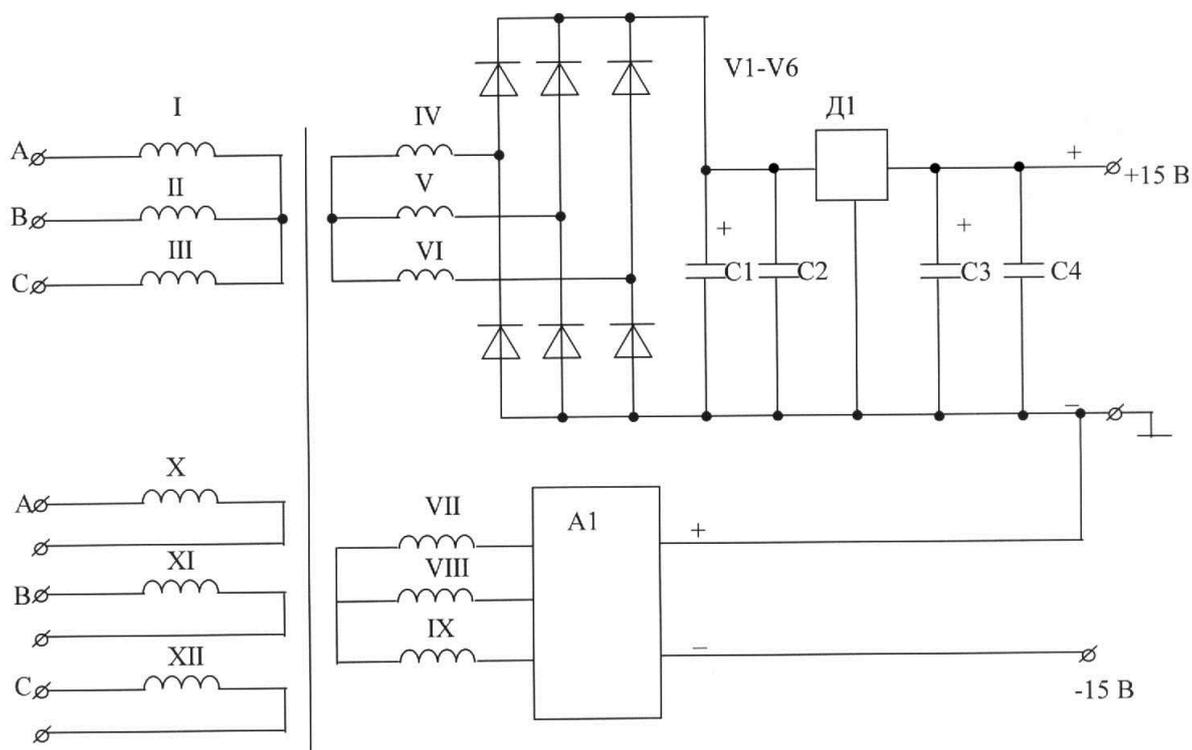


Рисунок 20 - Принципиальная схема БПиС

Блок А1 – это аналогичный выпрямитель и стабилизатор собранный на диодах V1 – V6 , конденсаторах С1 –С4 и микросхеме Д1.

Рассчитаем параметры трансформатора:

Исходные данные для расчета параметров трансформатора БПиС приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Исходные данные для расчетов трансформатора БПиС

P_{Σ} , Вт	$U_{пл.}$, В	$U_{л. 4-6}$, В	$U_{л. 7-9}$, В	$U_{ф. 10-12}$, В
60	380	15	15	5

Для того чтобы рассчитать параметры 1-3 обмоток необходимо определить параметры магнитопровода трехфазного трансформатора. В качестве магнитопровода используются следующие материалы: сталь электротехническая марки Э-4, шихтованная, покрытая лаком.

Рассчитаем мощность стержня:

$$P_{сст} = \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{3}} = \frac{60}{\sqrt{3}} \cong 35 Вт$$

Далее определим сечение одного стержня:

$$S_{1cm} = \frac{P_{cc}}{K_1} = 1,75 \text{ см},$$

где:

$K_1=20$ – коэффициент пропорциональности для маломощных трансформаторов, выполненных из электротехнической стали марки Э4.

Определим число витков первичных обмоток

$$W = W_2 = W_3 = \frac{48 \times U\phi_{1-3}}{S_{cc}} = \frac{48 \times 220}{1,75} = 6097 \text{ витков},$$

где:

$$U\phi_{1-3} = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В},$$

Определим диаметр провода I-III обмотки:

$$S_{nn} = \frac{i_{\phi_{1-3}}}{K_n} = \frac{0,158}{4} = 0,0395 \text{ мм}^2,$$

где:

$K_n = 4 \text{ А/мм}^2$ -коэффициент по току.

Ток одной фазы:

$$i_{\phi} = \frac{P_{\Sigma} / \sqrt{3}}{U\phi} = \frac{34,64}{220} = 0,158 \text{ А},$$

Диаметр провода равен:

$$d_{np} = \sqrt{\frac{S_{nn} \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0395 \times 4}{3,14}} = 0,224 \text{ мм}.$$

Далее рассчитаем параметры обмоток питания с IV-IX. В связи с тем, что нагрузка симметрична, параметры обмоток одинаковы.

Определим фазное напряжение:

$$U\phi_4 = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{15 \text{ В}}{\sqrt{3}} = 8,66 \text{ В},$$

Теперь определим мощность обмоток 4-9:

$$P_{4-9} = P_2 \times \eta = 60 \text{ Вт} \times 0,85 = 51 \text{ Вт},$$

где:

$\eta = 0,85$ – коэффициент мощности для маломощных трансформаторов

Определим мощность одной обмотки:

$$P_4 = \frac{P_{4-9}}{6} = \frac{51}{6} = 8,5 \text{ Вт},$$

Теперь найдем ток одной обмотки:

$$i_4 = \frac{P_4}{U\phi_4} = \frac{8,5}{8,66} = 0,98 \text{ А},$$

Определим количество витков одной обмотки:

$$W_4 = \frac{54 \times U\phi_4}{S_{cm}} = \frac{54 \times 8,66}{1,75} = 267,$$

Определим диаметр провода 4-9 обмотки:

$$S_{nn} = \frac{i_4}{Kn} = \frac{0,98}{4} = 0,245 \text{ мм}^2,$$

где:

$Kn = 4 \text{ А/мм}^2$ -коэффициент по току.

Из технологических соображений диаметр провода принимаем $d_{np.} = 0,12 \text{ мм}$ (т.к. ток синхронизирующих обмоток очень мал).

Исходя из моих расчетных данных выбираю трансформатор ТСА-70-1. Технические характеристики данного трансформатора указаны в таблице 36.

Таблица 36 – Технические характеристики силового трансформатора

Схема соединения	U _л , В	I, А	P, Вт
Первичная Δ	380	0,033	60
Вторичная Y	15	0,65	

В соответствии с вариантом КП в качестве блока Д1 выступает стабилизатор постоянного напряжения(СПН)⁷ марки КР142ЕН8В. Технические характеристики данного стабилизатора приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Технические характеристики СПН

Выходное напряжение, В	15
Выходной ток, А	1,5
Максимальное входное напряжение, В	35

Продолжение таблицы 37

Разность напряжения вход-выход, В	2,5
Мощность рассеивания (с теплоотводом), Вт	8
Точность выходного напряжения, В	± 0.45
Диапазон рабочих температур, С°	-45...+70

Диоды V1-V6 – выступают в качестве двухполупериодного трехфазного выпрямителя. В соответствии с вариантом КП выбираю диоды² марки КД202А. Технические характеристики данного диода приведены в таблице 38.

Таблица 38 – Технические характеристики диода

Тип	КД202А
Максимальное обратное напряжение, В	35
Максимальный прямой ток, А	5
Прямое напряжение (при прямом токе 10 А), В	0,9
Обратный ток (при обратном напряжении 200 В), мА	0,8
Время обратного восстановления, мкс	0,05
Общая емкость диода (при обратном напряжении 100 В), пФ	100

Конденсатор С1 выполняет функции низкочастотного фильтра. В соответствии с вариантом КП выбираю конденсатор⁴ марки К50-20. Технические характеристики данного конденсатора приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Технические характеристики конденсатора

U _{ном} , В	C _{ном} , мкФ	f _{ном} , кГц	tgδ, не более	Размеры, мм				Масса, г не более
				D	L	l	d	
25В	500	1,2	0,02	25	40	12	M8	12

Конденсатор С2 выполняет функции низкочастотного фильтра. В соответствии с вариантом КП выбираю конденсатор⁴ марки К50-20. Технические характеристики данного конденсатора приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Технические характеристики конденсатора

U _{ном} , В	C _{ном} , мкФ	f _{ном} , кГц	tgδ, не более	Размеры, мм				Масса, г не более
				D	L	l	d	
25В	10	1,2	0,05	25	40	12	M8	12

Конденсаторы С3 и С4 их функциональное назначение и их электрические параметры регламентированы техническими условиями эксплуатации интегральной схемы КР142ЕН8В. В соответствии с вариантом КП выбираю конденсатор⁴ марки КМ6 – Н90 – (К2Е). Технические характеристики данного конденсатора приведены в таблице 42.

Таблица 42 – Технические характеристики конденсатора

U _{ном} , В	C _{ном} , мкФ	f _{ном} , кГц	tgδ, не более	Размеры, мм				Масса, г не более
				D	L	l	d	
25В	0,33	1	0,05	20	30	10	M8	10

СНОСКИ

1. Замятин В.А. «Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры».
2. Евзеров И.Х. «Комплектные тиристорные электроприводы».
- 3.«Резисторы», справочник под ред. И.И. Четверткова. 1981.
4. «Электрические конденсаторы и конденсаторные установки», справочник под ред. Г.С. Кучинского.
5. Электронный ресурс (дата обращения 18. 04. 2015)
<http://www.radiolibrary.ru/reference/diod/kd510a.html>
6. Электронный ресурс (дата обращения 01. 05. 2015.)
<http://www.radiolibrary.ru/reference/transformers-tpp-page1.html>
7. Электронный ресурс (дата обращения 01. 05. 2015.)
<http://www.radiolibrary.ru/reference/chip/kr142en8v.html>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ Под ред. В.И. Купоровича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.: ил.
2. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др.; Под общ.ред. Н.Н. Горюнова. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 744 с.: ил.
3. Сен П. Тиристорные электроприводы постоянного тока: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.: ил.
4. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник / А.А. Зайцев, А.И. Миркин, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1989. – 640 с.: ил.
5. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник / В. Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, В.М. Петухов. - М.: Радио и связь, 1988. – 576 с.: ил.
6. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справ.пособие / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов, Т.П. Новикова. - М.: Радио и связь, - 1984. – 256 с.: ил.
7. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник / С.В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; Под ред. С.В. ЯкубовскогоМ.: Радио и связь, 1990. – 496 с.: ил.
8. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоиздат, 1988. – 319 с.: ил.