МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

_____Промышленная электроника_____
(наименование профиля, специализации)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Преобразователь напряжения для управления электродвигателем постоянного тока

Студент(ка) Д.Ю. Гуричев _____ _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель А.М.Слукин _____ _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Консультанты _____ _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой ___А.А. Шевцов_____ _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«_____»_____2016 г.

Тольятти 2016

-федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
(институт)
Промышленная электроника
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой «Промышленная электроника»
_____ А.А. Шевцов
(подпись) (И.О. Фамилия)
«____»_____2016___г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Гуричев Дмитрий Юрьевич

1 Тема **Преобразователь напряжения для управления электродвигателем постоянного тока**

2.Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 30.05.2016г

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе $U_{пит}$= 220 В 50 Гц. Управление операционное циклическое, микропроцессорное программно-логическое. Напряжения элементов системы управления: $U_{пит}$= 220В 50Гц, $U_{пост}$= 12В, 5В.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) Введение 1 Анализ работы системы управления электродвигателем постоянного тока. 2 Структурная и принципиальная схемы системы управления. 3 Расчет и выбор элементов схемы. 4 Технология изготовления печатных плат. Заключение. Литература. Приложение.

5.Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала 1 Структурные схемы– 1 лист. 2 Схемы электрические принципиальные - 2 листа. 3 Конструкция, платы печатные – 3листа.

6. Консультанты по разделам

7. Дата выдачи задания «_ ___»_____201 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы _____ (подпись) А.М.Слукин (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____ (подпись) Д.Ю. Гуричев (И.О. Фамилия)

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке транзисторного преобразователя напряжения для управления электродвигателем постоянного тока, предназначенного для серводвигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Система используется в качестве регулятора частоты вращения электродвигателя в широких пределах.

Ключевые слова: электродвигатель постоянного тока, система управления, широтно-импульсный модулятор, транзисторный преобразователь, структурная схема, принципиальная электрическая схема, генератор тактовых импульсов, дифференциальный усилитель, печатная плата.

Произведен анализ работы транзисторного преобразователя напряжения, представлены структурная и принципиальная схемы системы управления. При расчете и выборе элементов системы управления использована отечественная элементная база. Разработаны конструкция и технология изготовления печатных плат.

В пояснительной записке 65 страницы основного текста, 7 страниц приложения, 25 илл., 32 табл., библ. - 20 назв. Графическая часть - 6 листов формата А1.

Содержание

Введение……..5

1 Анализ работы системы управления электродвигателем постоянного тока…….....7

2 Структурная и принципиальная электрические схемы системы управления…….....10

2.1 Структурная схема…….....10

2.2 Принципиальная электрическая схема……..... 12

3 Расчет и выбор элементов схемы системы управления…….. 15

3.1 Расчёт генератора тактовых импульсов, ШИМ и цепи задержки включения…….....15

3.2 Расчёт регулятора частоты вращения и ограничителя импульсов тока ……25

3.3 Расчёт цепи обратной связи по переменному току и регулятора импульсного тока……..30

3.4 Расчёт входных дифференциальных усилителей и схемы измерения тока якоря…….....36

3.5 Расчёт схемы контроля тахогенератора, схемы защиты от короткого замыкания и превышения входного напряжения 41

3.6 Схема контроля внутреннего источника питания и разрешения работы…….....48

4 Технология изготовления печатной платы. 53

Заключение…….....63

Литература……..... ..64

Введение

Системы управления электродвигателями постоянного тока чаще всего основаны на работе транзисторных преобразователей, построенных на базе широтно-импульсного модулятора и предназначены, прежде всего, для управления электродвигателями постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Преобразователи рассчитаны на питание постоянным напряжением. Электропривод с преобразователем работают в четырехквадрантном режиме, то есть электродвигатель может работать или тормозить в обоих направлениях вращения.

Электропривод с преобразователем управляются изменением постоянного напряжения на входе в широком диапазоне частот вращения и могут использоваться в приводах станков с числовым программным управлением и роботов. Преобразователи имеют следующие отличительные особенности [1,6]:

1) почти бесшумная работа преобразователя благодаря удвоению частоты на выходе преобразователя;
2) естественное (конвективное) охлаждение;
3) наличие сглаживающих дросселей в выходной цепи, что позволяет включать на преобразователь малоинерционные двигатели с якорем без дополнительных дросселей;
4) наличие внутреннего преобразователя вспомогательных напряжений, благодаря чему возможна работа всего преобразователя в широком диапазоне питающего напряжения;
5) широкий диапазоне регулирования;
6) простая конструкция, предназначенная для встройки в шкаф.

Преобразователь, в конкретном случае его точность подачи управляющего напряжения на исполнительный механизм, зависит от регулятора, который подает управляющие импульсы, соответствующие входному сигналу задания. Надежная работа регулятора прямым образом влияет на точную

работу преобразователя. Надежность работы регулятора зависит от правильно выбранной принципиальной схемы и надежности ее элементов.

Целью работы является создание системы управления электродвигателем постоянного тока, входящей в состав системы управления транзисторного преобразователя напряжения для серводвигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. В задачу проектирования входят анализ работы транзисторного преобразователя напряжения, разработка принципиальной схемы регулятора, конструкции.

1 Анализ работы системы управления электродвигателем постоянного тока

Система управления электродвигателем постоянного тока представляет собой транзисторный преобразователь напряжения, являющийся частью электропривода, регулирующий основные параметры, в том числе частоту вращения. управляющий серводвигателями постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Электродвигатели, в количестве от одного до семи, применяются в составе станков с числовым программным управлением и роботов.

Электропривод работает в четырехквадрантном режиме, т.е. электродвигатель может работать или тормозить в обоих направлениях вращения.

В пусковых и тормозных режимах кратковременно допускается перегрузка привода в 2,5 раза относительно номинального тока.
Питание транзисторного преобразователя напряжения осуществляется от блока питания с мостовым трехфазным выпрямителем на входе, сглаживающим емкостным фильтром на выходе и схемой сброса излишков энергии, накапливающейся в конденсаторе фильтра в режиме торможения и реверса двигателя.

Преобразователь состоит из следующих блоков (рис. 1.1): регулятора, предусилителя, выходного ключевого каскада и источника внутреннего питания.

Выходной ключевой каскад работает в режиме широтно-импульсной модуляции питающего напряжения и предназначен для выдачи регулируемой мощности на двигатель.

Предусилитель служит для согласования по напряжению и току блока регулятора с выходным ключевым каскадом.

Регулятор предназначен для управления работой электропривода. Скорость вращения регулируется изменением постоянного напряжения на входе в широком диапазоне.

Структурная схема преобразователя

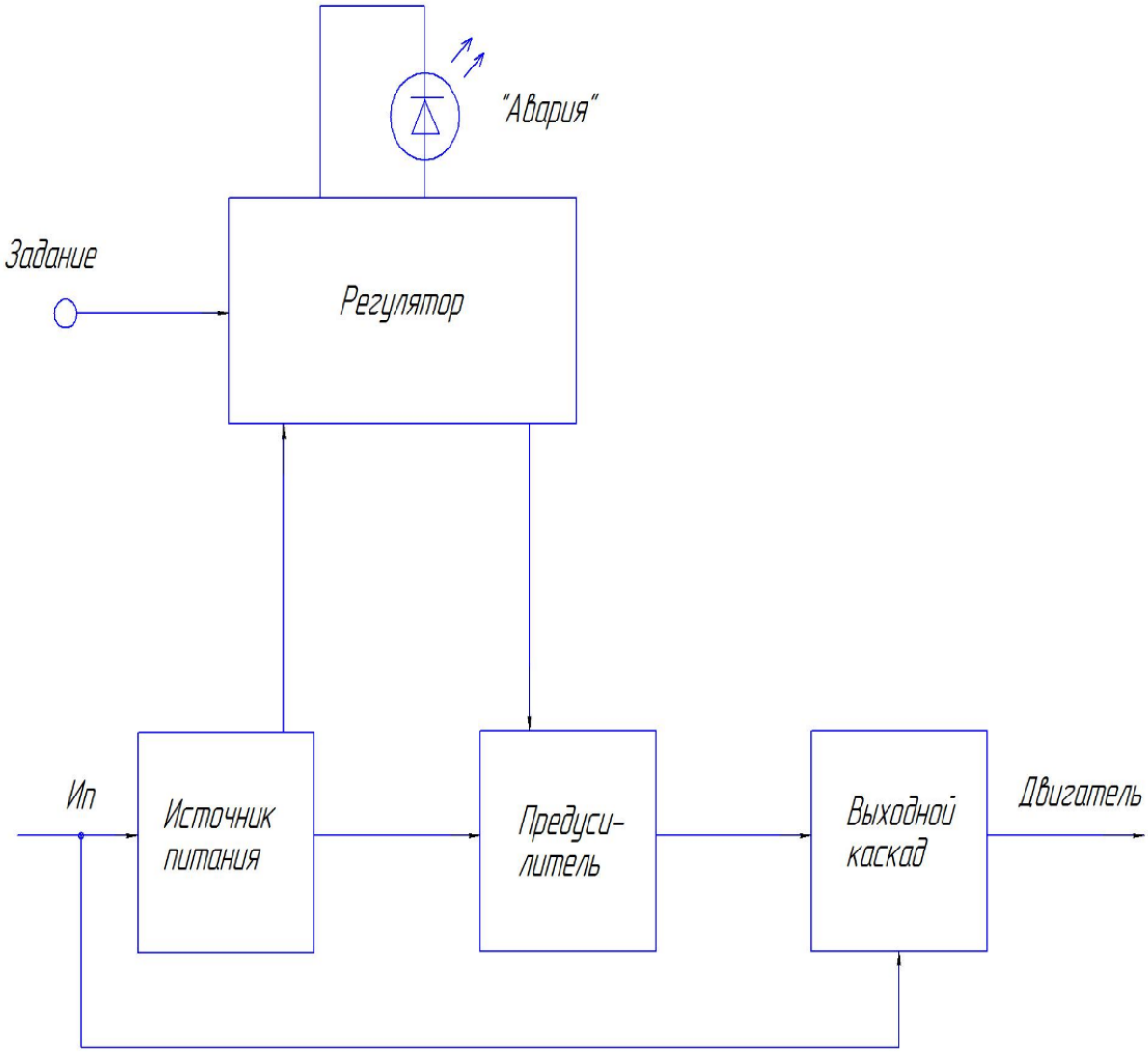


Рис.1.1

2 Структурная и принципиальная электрические схемы системы управления

2.1 Структурная схема

Блок регулятора состоит из дифференциальных усилителей заданного значения частоты вращения (1) и фактического значения частоты вращения (3), регулятора частоты вращения (5), охваченного через ограничитель импульсного тока (7) цепью отрицательной обратной связи (ООС) (4), регулятора тока (9), широтно-импульсного модулятора (12), генератора тактовой частоты (11), схемой измерения (10) и среднеквадратичного ограничения якорного тока (8) и схемой защиты и контроля (6).

Заданная частота вращения двигателя подается на вход 1 и далее на дифференциальный усилитель (1). Действительное значение частоты вращения двигателя подается на вход ВР и далее через фильтр нижних частот на дифференциальный усилитель (3). Далее эти два сигнала сравниваются и разность подается на регулятор частоты вращения (5), выходное напряжение которого изменяется до тех пор, пока разность напряжения на входе не станет равной нулю. Выходное напряжение ограничивается на уровне ± 10 В блоком (7).

Далее сигнал сравнивается с фактическим значением тока, разность этих сигналов усиливается регулятором тока и поступает на широтно-импульсный модулятор (НИМ). Принцип работы ШИМ необходимо рассматривать совместно с диаграммами, изображенными на рис. 2.2. Так как выходные транзисторы прибора могут принимать только два состояния контакта выключателя - «открыт» и «закрыт», то для получения промежуточных величин выходные транзисторы переключают попеременно в оба состояния с максимально возможной частотой. При этом коэффициент заполнения определяет величину выходного напряжения.

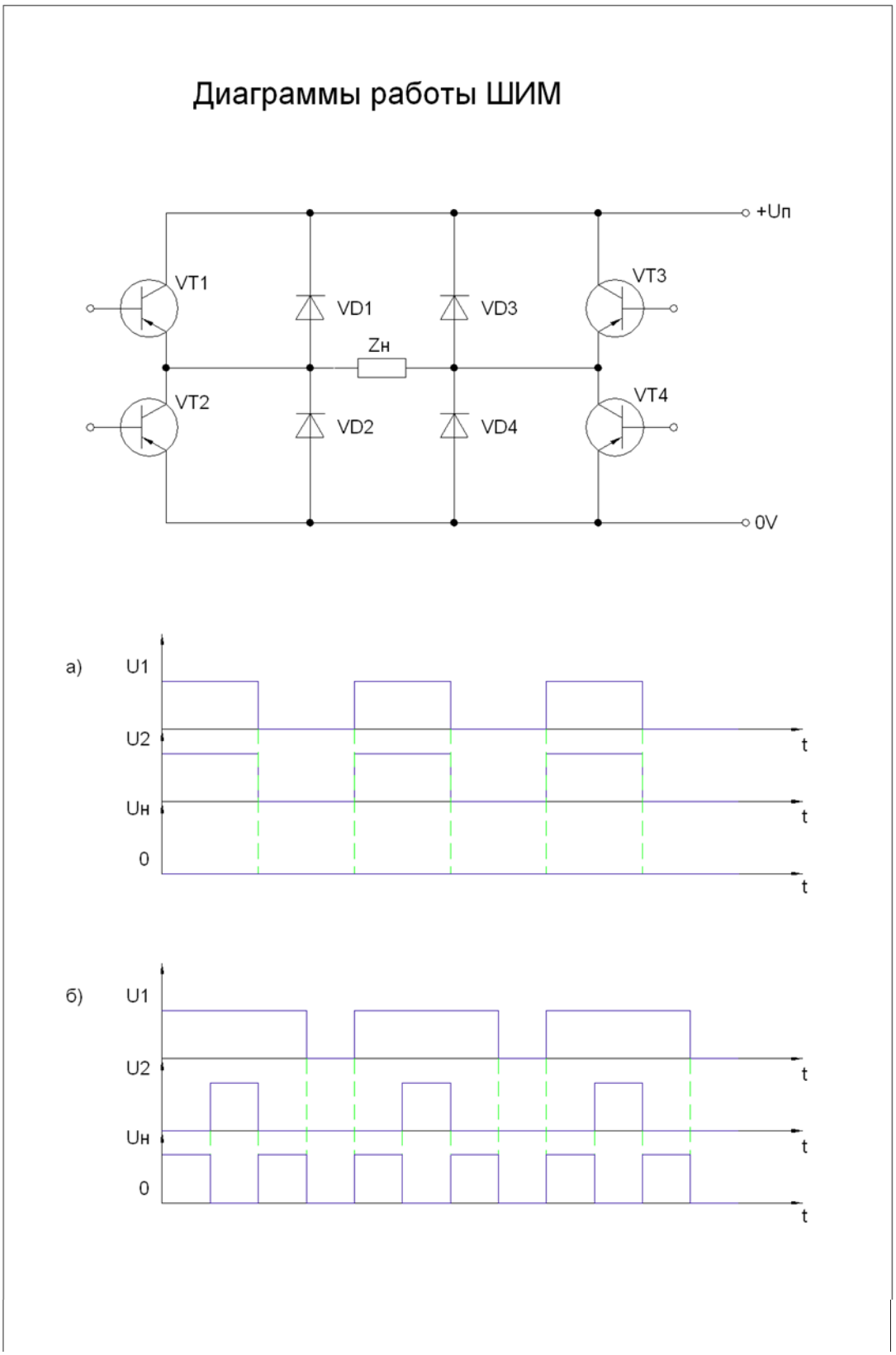

Диаграммы работы ШИМ
+Uп
VT1
VD1
VD3
VT3
Zн
VT2
VD2
VD4
VT4
0V
а)
U1
U2
Uн
0
t
б)
U1
U2
Uн
0
t

Рис.2.1

2.2 Принципиальная электрическая схема

Схема (рис. 2,2 и 2.3) состоит из основных блоков:

- генератор тактовых импульсов;
- элементы широтно-импульсной модуляции;
- цепи задержки включения;
- регулятор частоты вращения;
- ограничитель импульсов тока;
- цепи отрицательной обратной связи;
- регулятор тока якоря;
- дифференциальный усилитель тахогенератора;
- схема измерения;
- ограничитель тока якоря;
- цепи контроля тахогенератора;
- схема защиты от короткого замыкания и превышения входного напряжения;
- блок контроля внутреннего источника питания ± 15 В и разрешение работы.

Описание каждого блока будет дано в следующем разделе при выполнении расчёта и выбора элементов принципиальной электрической схемы.

Система управления электродвигателем. Схема электрическая принципиальная

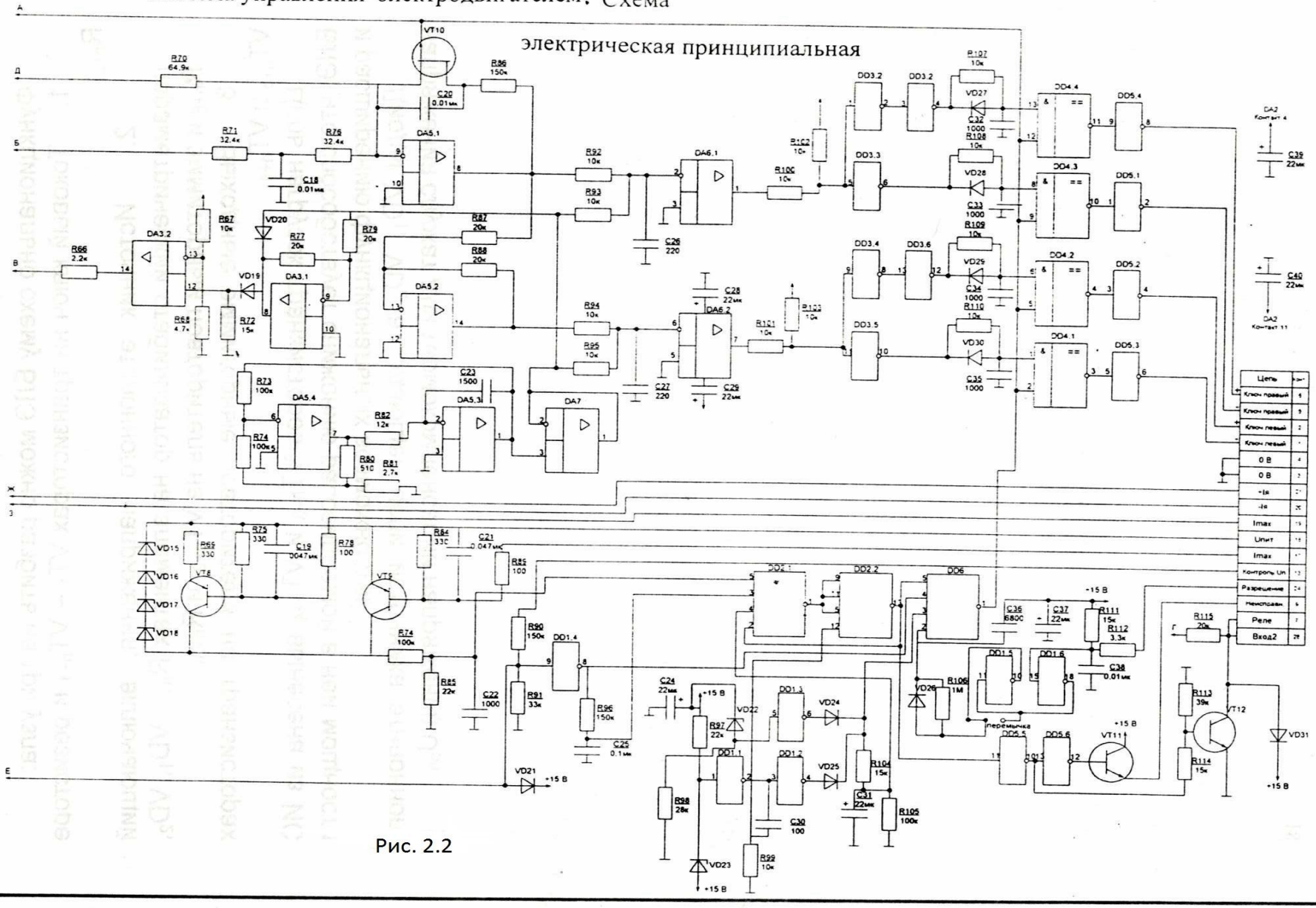


Рис. 2.2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

16.210106.12.008.00.ПЗ

Лист 12

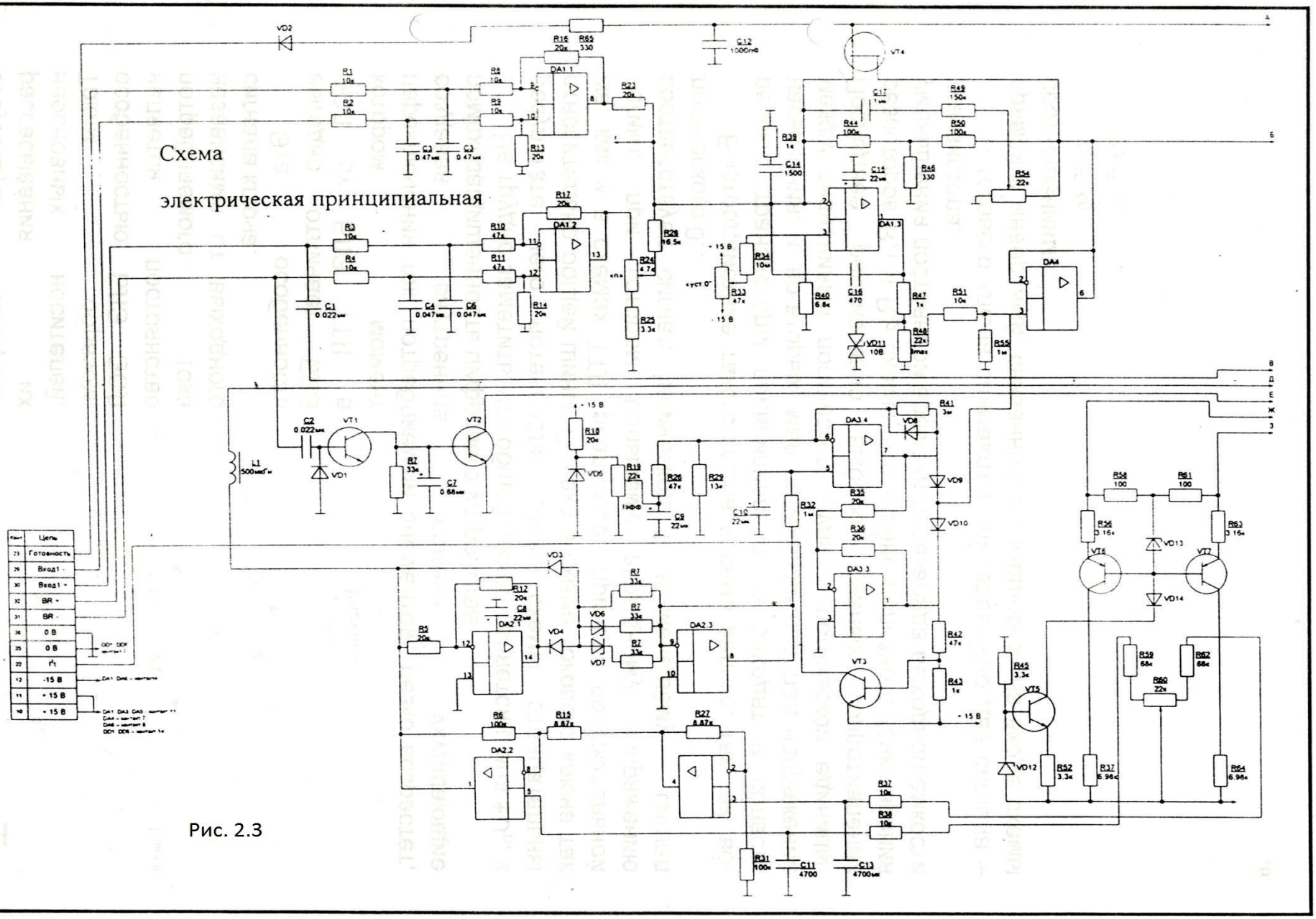


Рис. 2.3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

16.210106.12.008.00.ПЗ

3 Расчет н выбор элементов схемы системы управления

3.1 Расчет генератора тактовых импульсов, ШИМ и цепи задержки включении

3.1.1 Расчет генератора тактовых импульсов [1]

Генератор (рис.3.1) выдает тактовые импульсы напряжения треугольной формы частотой, равной частоте модуляции fm = 8.5кГц и амплитудой ± 10В (рис.3.2).

Генератор состоит из компаратора DA1.1.R1 ...R4, интегратора DA1.2, C1, R5 и повторителя DA1.3, для развязки генератора с входными цепями. Линейно изменяющееся напряжение, поступающее с выхода интегратора па вход DA1.1, вычитается из напряжения обратной связи, поступающее с делителя R3, R4. Когда эта разность напряжений, поступающая на неинвертирующий вход DA1.1, достигнет нуля, компаратор опрокидывается. При этом на вход интегратора DA1.2 поступает напряжение противоположной полярности.

Напряжение обратной связи также меняет знак, и конденсатор C1 начинает перезаряжаться. Напряжение на неинвертирующем входе DA1.1 возрастает скачком до напряжения обратной связи, а затем линейно спадает до нуля. При достижении им нулевого значения компаратор опрокидывается, процесс повторяется.

Выбираем [3] микросхему DA1 типа К1401УД2.

Таблица 3.1

Параметры микросхемы К1401УД2

Напряжения питания Uпит, В	±15
Максимальный выходной ток Iвых.max, мА	5

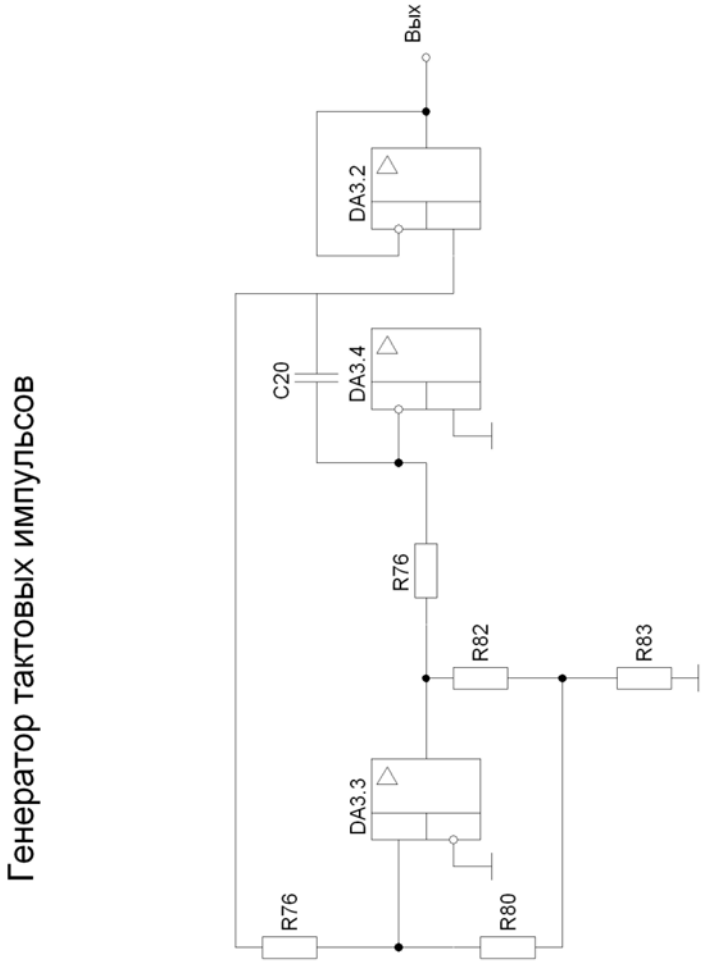

Генератор тактовых импульсов
R76
DA3.3
R80
R82
R83
R76
C20
DA3.4
DA3.2
Вых

Рис.3.1

.

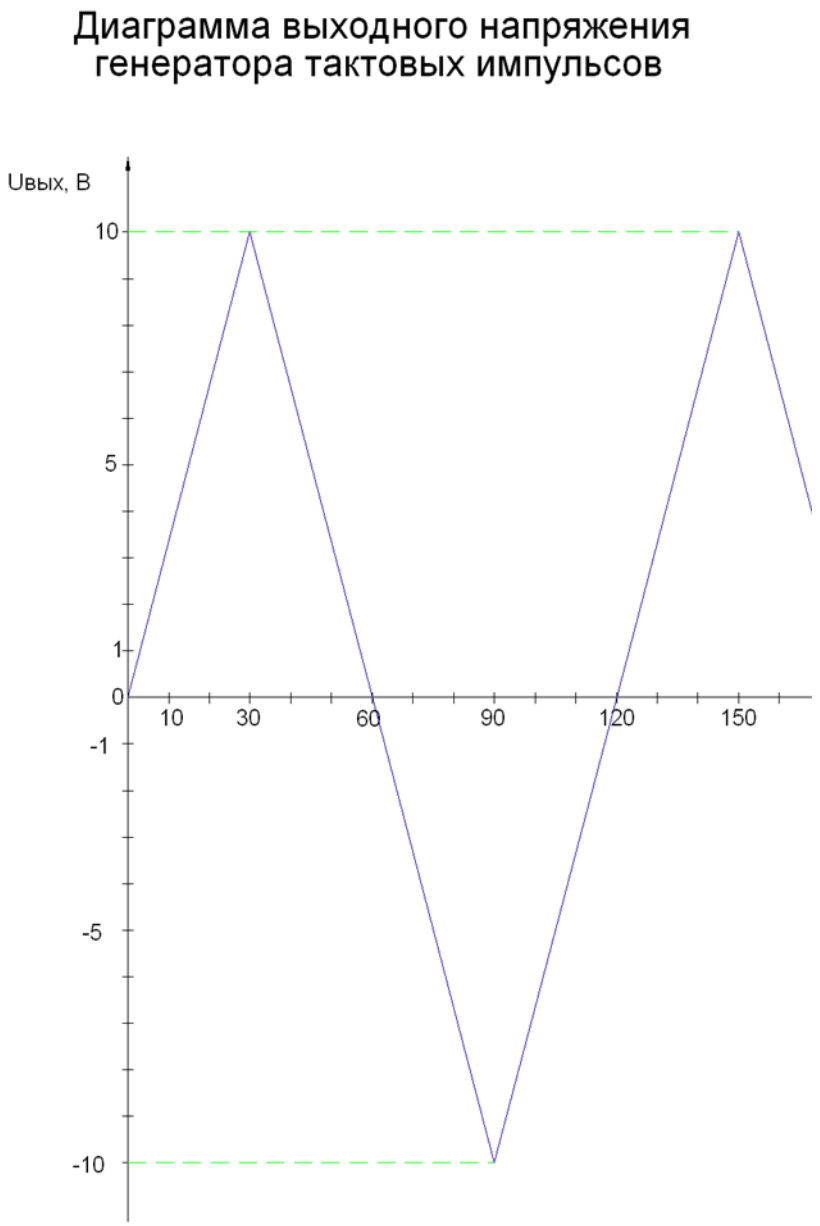


Диаграмма выходного напряжения
генератора тактовых импульсов
Uвых, В
10
5
1
0
-1
-5
-10
10
30
60
90
120
150

Рис.3.2

Продолжение таблицы 3.1

Коэффициент усиления, Ku	5×10^4
ок потребления Iпот, мА	3
Минимальное сопротивление нагрузки Rн min, кОм	2

Конденсатор С1 интегратора заряжается по закону:

$$U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}. = -\frac{1}{t}\int U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.DA1.1\times dt = -(U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.\max DA1.1\times t)/t, \qquad (3.1)$$

где t= R5$\times$C1 -постоянная времени интегрирования, с;

Uвых.max DA1.1= 12В - максимальное выходное напряжение микросхемы DA1.1 [3], В.

Найдем требуемое значение t из условия возрастания Uвых. от нуля до амплитудного значения Uвых.=10В за четверть периода модуляции

$$t = (U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.\max DA1.1)/(4\times fm\times U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.) = \frac{12}{4\times 8.5\times 10^3\times 10} = 35.3\grave{i}\ \hat{e}\tilde{n}. \qquad (3.2)$$

Принимаем сопротивление резистора R5=12кОм. Тогда требуемая емкость конденсатора:

$$C1 = \frac{t}{R5} = \frac{35.3\times 10^{-6}}{12\times 10^3} = 2941\ddot{i}\ \hat{O}. \qquad (3.3)$$

Выбираем [2] конденсатор С1 типа КМ-5б-М1500-3300пФ±10% керамические монолитные с односторонними неизолированными выводами с неорганическим диэлектриком. Принимаем сопротивление нагрузки DA1.1 равным: R3+R4=3кОм> Rнагр.min. Ток делителя R3,R4:

$$I\ddot{a} = (U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.\max DA1.1)/(R3+R4) = \frac{12}{3\times 10^3} = 4\grave{i}\ \grave{A}. \qquad (3.4)$$

Учитывая, что падение напряжения на сопротивлении R4 должно быть равно Ur4=Uвых.=10В, определим его сопротивление:

$$R4 = \frac{Ur4}{Iä} = \frac{10}{4 \times 10^{-3}} = 2.5êÎ\ ì\ . \qquad (3.5)$$

Принимаем сопротивление R4 - 2.7кОм из стандартного ряда E24.

Сопротивление определим как

R3 = 3кОм - R4=3000-2500 = 500Ом. (3.6)

Выбираем [1] резисторы R3 и R4 типа R3-МЛТ-0.125-510 Ом ±5%;

R4-МЛТ-0.125-2.7 кОм ±5%.

Сопротивление токоограничивающих резисторов R1 и R2 принимаем равным 100 кОм. Выбираем [1] резисторы R1 и R2 типа

МЛТ-0.125-100 кОм ±10%. Резистор R5 выбираем типа МЛТ-0.12-12кОм ±5%.

3.1.2 Расчет широтно-импульсного модулятора

Широтно-импульсный модулятор (рис.3.3) состоит из двух аналогичных каналов, построенных на микросхемах DA1.1 и DA2.2, имеющих по одному задающему входу (Вх.1 и Вх.2) и один тактовый (Вх.3). Ввиду того, что каналы идентичны, произведем расчет канала на DA1.1, а для DA1.2 примем те же элементы.

На инвертирующий вход компаратора DA1.1 подается сумма задающего и тактового сигналов. Задающим является сигнал постоянного уровня амплитудой Uвх. 1=(0... 10)В.

Тактовые сигналы представляют собой последовательность импульсов треугольной формы с частотой, равной частоте модуляции fm = 8.5кГц и амплитудой 10В. Сумма этих сигналов поступает на компаратор DA1.1 и сравнивается с нулем.

Когда кривая результирующего напряжения достигнет нуля, компаратор опрокидывается, и на выходе DA1.1 образуется последовательность смоделированных прямоугольных импульсов частотой fm = 8.5кГц и амплитудой ±15В.

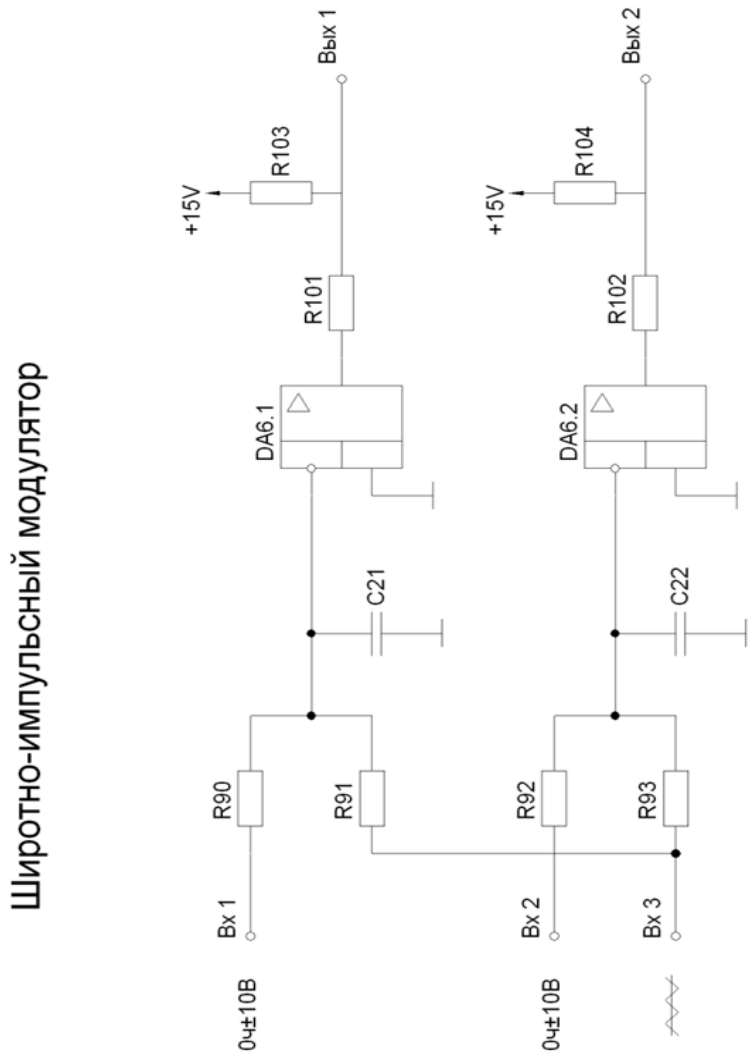

Широтно-импульсный модулятор
0ч±10В
Вх 1
R90
R91
C21
DA6.1
R101
+15V
R103
Вых 1
0ч±10В
Вх 2
R92
Вх 3
R93
C22
DA6.2
R102
+15V
R104
Вых 2

Рис.3.3

Выбираем [1] токоограничивающие резисторы R1 и R2 типа МЛТ-0.125-10кОм±5%.

Конденсатор C1 установлен для повышения помехоустойчивости модулятора. Принимаем постоянную времени цепочки R1(R2), C1 равной: t=R1$\times$C1=2мкс.

Тогда емкость конденсатора:

$$C1 = \frac{t}{R1} = \frac{2\times10^{-6}}{10^{4}} = 200ï\,\hat{O}. \qquad (3.7)$$

Выбираем величину и тип емкости C1, равные [2]: КМ-5б-М750-220пФ±10%.

Выбираем [3] микросхему DA 1.1 типа КР1040СА1 (сдвоенный компаратор).

Таблица 3.2

Параметры микросхемы КР1040СА1

Напряжения питания Uпит. В	±15
Максимальный выходной ток Iвых.max., мА	5
Ток потребления Iпот, мА	1
Выходное напряжение Uвых, В	14

На выходе DA1.1 образуется последовательность двуполярных импульсов амплитудой 14В. Для согласования этого канала с уровнями цифровой логики (0...+5В) установлены резисторы R5 и R7 с равным сопротивлением. Если на выходе DA1.1 будет потенциал UвыхDA1.1= -14В, то потенциал выхода "Вых. 1" будет близок к нулю, а при Uвых.DA1.1=+ 14В потенциал на "Вых. 1" будет около + 5В. Это соответствует уровням логических "1"и "0" цифровой логики КМОП-микросхем. Принимаем максимальный выходной ток I DA1.1=15мА.

Тогда сопротивление резисторов R5 и R7:

$$R5 = R7 = (Uï\,è ò\,. + Uâû\,õ.DA1.1) / (2 \times IDA1.1) = \frac{15+14}{2 \times 1.5 \times 10^{-3}} \approx 10êÎ\ ì\ . \qquad (3.8)$$

Выбираем [1] резисторы R5 и R7 типа МЛТ-0.125-10 кОм ±10%.

Каналы, собранные на сдвоенном компараторе КР1040СА1, задают закон переключения:

На DA1.1 - для правого ключа выходного канала.

Для второго канала выбираем [1,2] элементы:

R3, R4, R6, R8-МЛТ-0.125-10 кОм ±10%; С2- КМ-5б-М750-220пФ ±10%.

3.1.3 Расчет цепей задержки включения

Цепи задержки включения дают сквозные токи в момент переключения силовых транзисторов выходного каскада. Для одного из плеч выходного каскада схема представлена на рис. 3.4. Цепь осуществляет задержку переднего фронта управляющих импульсов. При переключении силовых транзисторов задержку переднего фронта управляющих импульсов осуществляют цепи R1,C1,VD1 и R2,C2,VD2. Они формируют передний фронт импульсов в виде экспоненциальной нарастающей функции. При достижении напряжения на конденсаторе Uc1 порога срабатывания триггера Шмита DD2.1 он опрокидывается (при наличии на входе "разрешение" логической единицы) и на выходе DD2.1 формируется прямой положительный фронт импульса, сдвинутый относительно исходного на время задержки $t_{зад}$.

Рассчитанное значение времени запирания силовых транзисторов КТ878А равно tc = 1мкс. С учетом этого параметра принимаем время задержки $t_{зад}$. на порядок больше, чем tc, то есть tзад. =10мкс.

Выбираем микросхему [4] DD2 типа К561ТЛ1 (счетверенный инвертирующий триггер Шмитта).

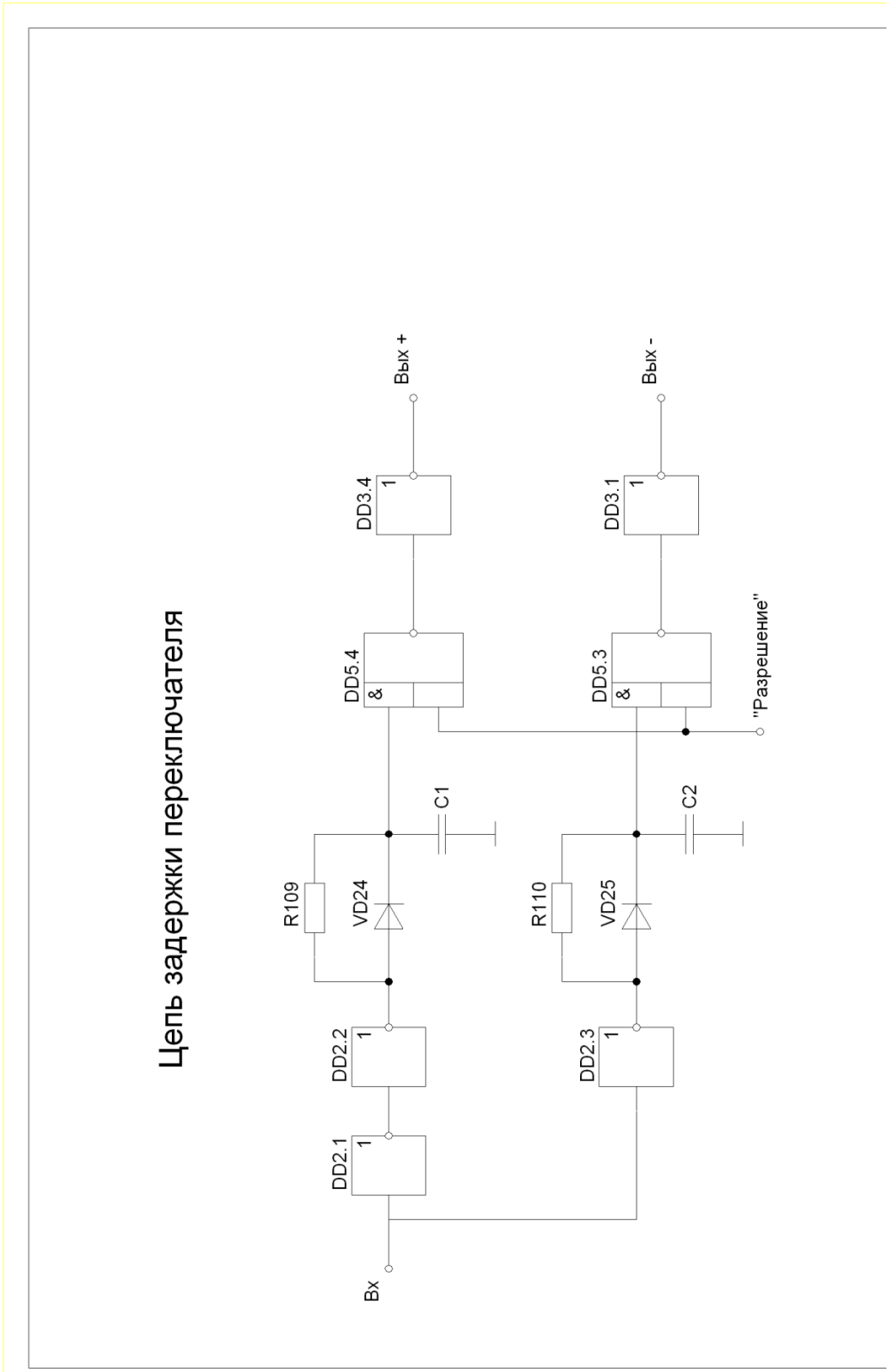

Цепь задержки переключателя
Вх
DD2.1
1
DD2.2
1
R109
VD24
C1
DD5.4
&
DD3.4
1
Вых +
DD2.3
1
R110
VD25
C2
DD5.3
&
"Разрешение"
DD3.1
1
Вых -

Рис.3.4

Таблица 3.3

Параметры микросхемы К561ТЛ1

Напряжения питания Uпит, В	+3...+15
Ток потребления Iпот, мА	0.01
Пороговое напряжение переключения при Uпит. = 15В:	
- при возрастании входного напряжения U LHпор., В	9.2
- при падении входного напряжения U LHпор., В	5

Напряжение на емкости изменяется по закону

$$Uc(t) = Ucm(1 - e^{-\frac{1}{r}}). \qquad (3.9)$$

Из формулы (3.9) найдем требуемую постоянную времени заряда конденсатора С1:

$$r = R1 \times C1 = -tçàä.(\ln[1 - ULHï\,î\,ð./Uâû\,õ.DD1.2]) = \frac{-10^{-5}}{\ln\left[1 - \frac{9.2}{14.5}\right]} = 9.9ì\ êñ. \approx$$

$$\approx 10ì\ êñ. \qquad (3,10)$$

Выбираем [l] резистор R1 типа МЛТ-0.125-10 кОм ±10%.

Находим требуемую емкость:

$$C1 = \frac{r}{R1} = \frac{10 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{3}} = 1000ï\ \hat{O} \qquad (3.11)$$

Выбираем [2] конденсатор С1 типа КМ-5б-М1500-1000пФ±10%. Диод VD1 шунтирует резистор R1 при прохождении заднего фронта импульса управления, и он передается без задержки. Выбираем[6] диод VD1 типа КД521А.

Таблица 3.4

Параметры микросхемы КР1040СА1

Максимальный средний прямой ток Iпр.max, мА	50
Максимальное обратное напряжение Uобр.max., В	75

Инверторы DD1 и DD2, выбираем[4] типаК561ЛН2 (6 инверторов).

Таблица 3.5

Параметры микросхемы КР1040СА1

Напряжение питания Uпит., В	+3...+ 15
Ток потребления Iпот., мкА	0.01
Максимальное выходное напряжение Uвых.max., В	14.5

3.2 Расчет регулятора частоты вращения и ограничителя импульсов тока

На входы "Вх.1" и "Вх.2" схемы (рис.3.5) подастся нормированное напряжение 0...±10В с выходов ДУ заданного значения и реальной частоты вращения. Разность этих напряжений поступает на инвертирующий вход DA1. Резисторы R1 и R2 задают коэффициент передачи от входов "Вх.1" и "Вх.2" к выходу DA1, а так же служат для ограничения входного тока DA1. Принимаем сопротивление R1= R2=20кОм. Выбираем [1] резистор R3 типа МЛТ-0.125-1 кОм ±5%. Тогда емкость конденсатора:

$$C1 = \frac{t}{R3} = \frac{1.5\times10^{-6}}{10^{3}} = 1.5\acute{\imath}\,\hat{O}. \qquad (3.12)$$

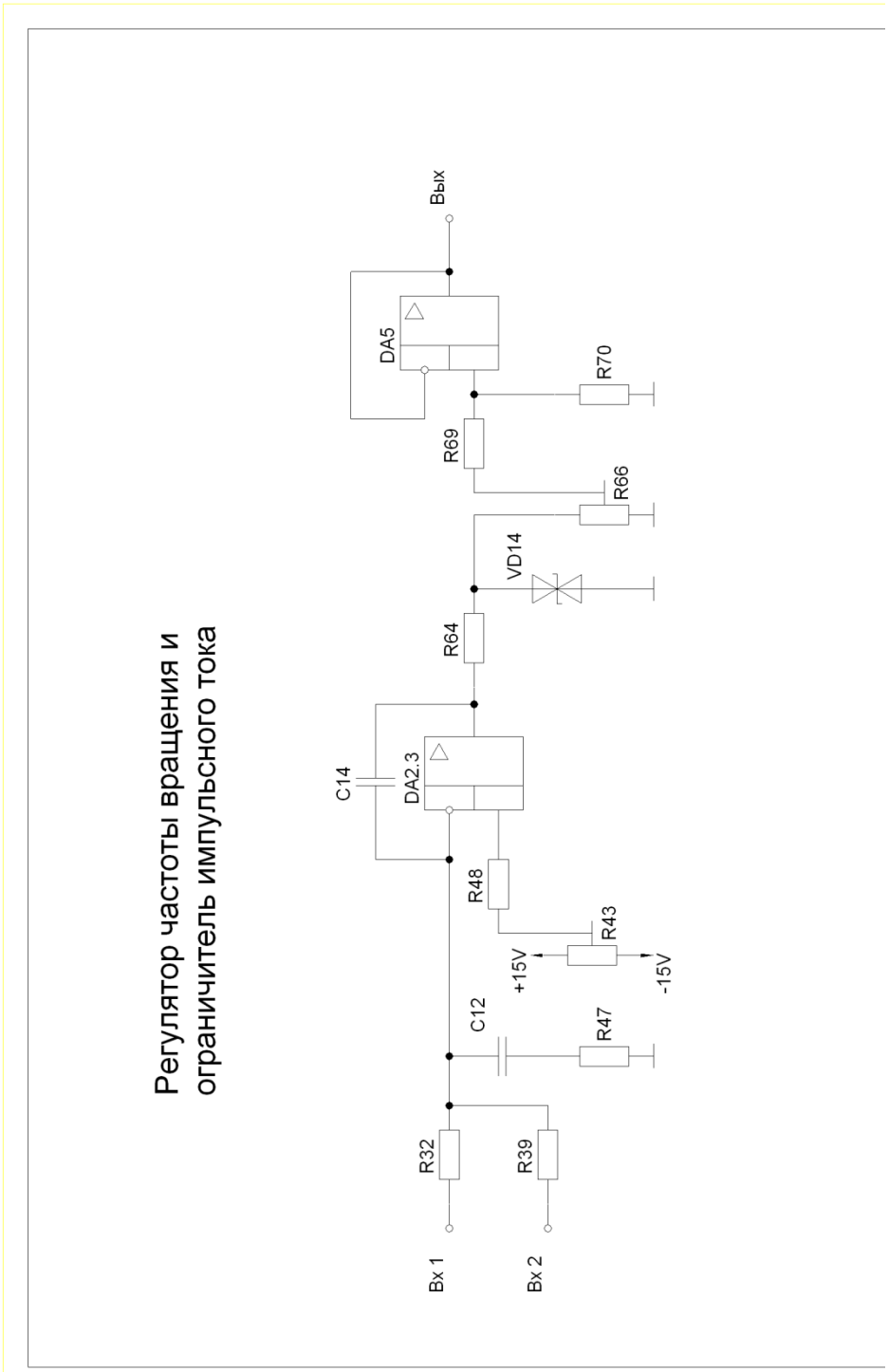

Регулятор частоты вращения и ограничитель импульсного тока
Вх 1
Вх 2
R32
R39
C12
R47
+15V
-15V
R43
R48
C14
DA2.3
R64
VD14
R66
R69
DA5
R70
Вых

Рис.3.5

Выбраем конденсатор С1 типа КМ-56-М1500-1500пФ ±10%. Разбаланс напряжений на инвертирующем входе DA1 может быть как положительным, так и отрицательным. Для повышения точности отслеживания момента перехода этого напряжения через нуль на неинвертирующий вход DA1 подключается цепь установки нуля (R4, R5, R6). Примем ток через резистор R4=IR4=2мА. Тогда сопротивление:

$$R4 = \frac{Ur4}{Ir4} = \frac{30}{2\times10^{-3}} = 15\hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ . \qquad (3.13)$$

Из ряда Е6 выбираем значение R4=16.5кОм, а из[1] выбираем R4 типа СП2-5-0.5-16.5кОМ.:.1-20%.

Диапазон регулирования напряжения на неинвертирующем входе DA1 примем равным ± 0.01 В. Тогда коэффициент деления делителя R5, R6 должен быть:

$$K\ddot{a} = \frac{R6}{R5+R6} = \frac{/\backslash U}{U\ddot{\imath}} = \frac{0.01}{15} = 6.67\times10^{-4} \qquad (3.14)$$

Выбираем [l] резистор типа КИМ-0Л25-10мОм ± 10%. Тогда сопротивление резистора R6:

$$R6 = \frac{K\ddot{a}}{1-K\ddot{a}}\times R5 = \frac{6.67\times10^{-4}}{1-6.67\times10^{-4}}10^{7} = 6.67\hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ .$$

Резистор R6 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-6.8 кОм ± 5%. Операционный усилитель DA1 выбираем [3] типа К1401УД2А.

Постоянную времени интегрирования регулятора частоты вращения принимаем t=R1×C2=10мкс.

Тогда требуемая емкость С2:

$$C2 = \frac{t}{R1} = \frac{10^{-5}}{20\times10^{3}} = 500\ddot{\imath}\,\hat{O}. \qquad (3.15)$$

Выбираем [2] конденсатор С2 типа КМ-5б-М1500-470пФ ±10%.

Цепочка R1, R8, VD9, служит для ограничения абсолютной величины входного напряжения ограничителя импульсного тока на уровне |Uвх.ОА2|≤10±0.5В.Двуханодный стабилитрон VD1 выбираем [6] типа КС210Б.

Таблица 3.6

Параметры КС210Б

Номинальное напряжение стабилизации Uст.ном., В	10
Номинальный ток стабилизации Iст.ном., мА	5
Дифференциальное сопротивление в режиме стабилизации rст.диф., Ом	22
Разброс напряжения стабилизации /\Uст., В	±0.5

Резистор R7 служит для ограничения выходного тока DA1. Максимальное выходное напряжение DA1 равно Uвых.max.DAl= ±12В. Следовательно, максимальное напряжение на R7:

UR7=Uвых.max.DAl-Uст.VDl=12-10=2В. (3.16)

Максимальный выходной ток DA1 примем Iвых.DAl=2мА< Iвых.axDA1.

Тогда сопротивление:

$$R7 = UR7 / Iâû\ õ.DA1 = \frac{2}{2\times10^{-3}} = 1êÎ\ ì \qquad (3.17)$$

Резистор R7 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-1 кОм ± 10%. Сопротивление переменного резистора R8 примем на 3 порядка выше, чем rст.диф-VD1 в режиме стабилизации, чтобы не оказывать шунтирующего действия.

Выбираем [1] резистор R1 типа СП3-19б-0.5-22кОм± 10%.

Повторитель напряжения служит для развязки регулятора частоты вращения и регулятора тока. Выбираем [2] DA2 типа КР140УД708.

Таблица 3.7

Параметры микросхемы КР140УД708

Напряжение питания Uпит., В	±15
Ток потребления Iпот., мА	2.8
Коэффициент усиления KU	5×10^4
Минимальное сопротивление нагрузки Rн.min, кОм	2

Токоограничивающий резистор R9 выбираем [1] резистор R1 типа МЛТ-0.125-10кОм±5%. Резистор R10 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-1МОм ±5%.

3.3 Расчет цепи обратной связи по переменному току и регулятора импульсного тока

Цепь отрицательной обратной связи вместе с регулятором импульсного тока (рис. 3.6) и регулятором частоты вращения составляют пропорционально - интегрирующий регулятор (ПИ-регулятор), напряжение, на выходе которого изменяется до тех пор, пока напряжение на входе не станет равным нулю.

Переменный резистор R7 служит для регулирования коэффициента усиления и постоянной времени ПИ-регулятора.

3.3.1 Расчет цепи отрицательной обратной связи (ООС)

Когда движок R7 (рис.3.6) находится в верхнем положении, параллельно регулятору частоты вращения (РЧВ) и регулятору импульсного тока оказывается, подключена RC - цепь R1, C1. Постоянную времени интегрирования t= R1$\times$C1 принимаем равной 3мс.

Сопротивление резистора R1=20кОм было рассчитано ранее (см. в п.3.2 R1). Тогда величина C1 определится как:

$$C1 = \frac{t}{R1} = \frac{3\times10^{-3}}{20\times10^{3}} = 0.15\grave{\imath}\ \hat{e}\hat{O}. \quad (3.18)$$

Выбираем [2] конденсатор C1 типа КМ-5б-490-0.15пФ± 10%.

Минимальный коэффициент усиления задается резистором R5. Примем минимальный коэффициент усиления KUmin=7.5.

Тогда сопротивление:

$$R5=KUmin\times R1=7.5\times 20\times 10^{3}=150кОм. \quad (3.19)$$

Резистор R5 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-150 кОм ± 5%.

При нижнем положении движка R7 цепь R5, C1 оказывается включенной параллельно входу РЧВ. Следовательно, постоянная времени ПИ-регулятора t = 0.

0

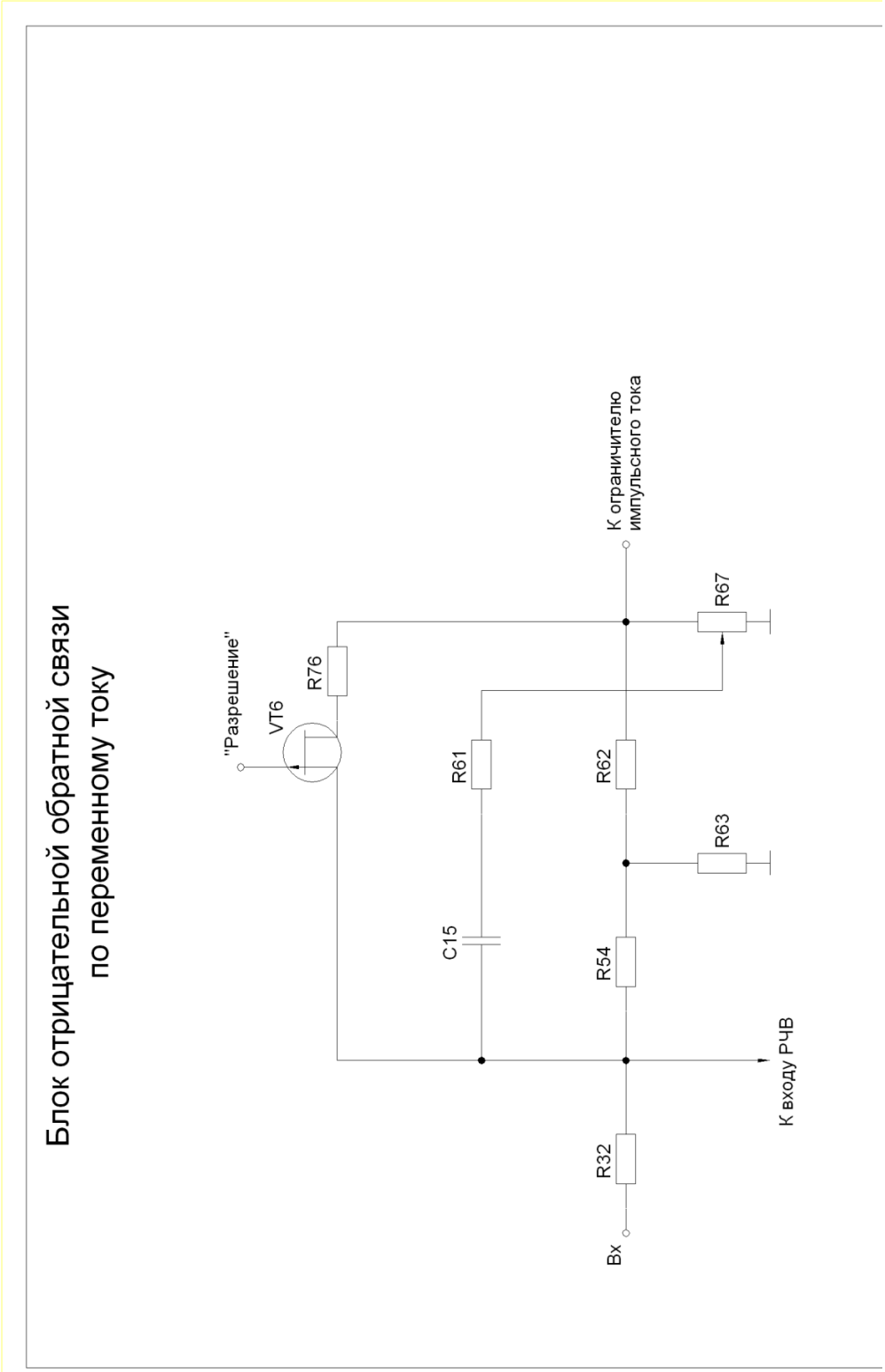

Блок отрицательной обратной связи
по переменному току
"Разрешение"
VT6
R76
R61
C15
R62
R54
R32
Вх
К входу РЧВ
R63
R67
К ограничителю
импульсного тока

Рис.3.6

Максимальный коэффициент передачи блока ООС принимаем:

$$KU\max = \frac{(R4+R6)\times R3}{R1-R4} = 1500.$$

(3.20)

Резисторы R3 и R6 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-100 кОм ± 5%.

Из формулы 3.20 определяем сопротивление R4:

$$R4 = \frac{R3\times R6}{R1\times KU\max - R3} = \frac{10^5\times 10^5}{20\times 10^3\times 1500 - 10^5} = 334.5\hat{I}\ \grave{\imath}\ .$$

(3.21)

Резистор R4 выбираем [1] типа МЛТ-0.125-330 Ом ± 5%.

Выходной ток ограничителя импульсного тока примем Iвых.=0.5мА. Тогда сопротивление резистора R7:

$$R7 = \frac{U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.\max}{I\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.} = \frac{10}{0.5\times 10^{-3}} = 20\hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ .$$

(3.22)

Выбираем [1] резистор R7 типаСП3-29б-1-22кОм ± 5%.

Транзистор VT1 используется в качестве блокировки регулятора частоты вращения в случаи аварии или отсутствия разрешения работы преобразователя. Сигналом на разблокировку является наличие уровня логической единицы на входе "разрешения" на затворе VT1. Полевой транзистор с каналом р-типа выбираем [7] КП103Е1. Таблица 3.8

Параметры транзистора КП103Е1

Максимальное напряжение сток-исток Uси max, В	10
Максимальное напряжение затвор-исток Uзи max, В	15
Максимальный ток стока Iзи max, мА	2
Напряжение отсечки Iз отс, В	1
Начальный ток стока Iс нач., мА	2.5

Потенциал истока VT1 равен напряжению смещения между входами операционного усилителя DA1.1 в составе РВЧ (то есть в пределах единиц милливольт). При наличии на затворе VT1 логической единицы транзистор находится в режиме отсечки (Uзи =14.5В > Uзи отс). При отсутствии сигнала блокировки на затворе VT1 будет уровень логического нуля, ток истока

Iс=Iс нач.=2.5мА, и транзистор VT1 шунтирует цепь ООС. При этом коэффициент передачи ПИ-регулятора должен быть равен 1 .Сопротивление цепи сток-исток VT1 при Uзи=0В равно[7]

RVT1=2 кОм. Следовательно, сопротивление резистора R2:

R2=R1- RVT1=20$\times$ 10^3-2$\times$ 10^3=18кОм.

(3.23)

Выбираем [1] резистор R2 типа МЛТ-0.125-18 кОм ± 5%.

3.3.2 Расчет регулятора тока

На входы регулятора подаются напряжения (рис. 3.7):

"Вх. 1 "-с ограничителя импульсного тока якоря, оно соответствует величине заданного значения тока якоря;

"Вх.2"-со схемы измерения якорного тока, оно соответствует величине реальной величине тока якоря.

На входе "Вх.1" ставится Т-образный фильтр для повышения помехоустойчивости преобразователя.

Постоянную времени Т-образного фильтра примем равной

t=(R1+R2) $\times$ C1=0.65мс.

(3.24)

Выбираем [2] конденсатор С1 типа КМ-6А-М1500-0.01мкФ ±10%.

Тогда сопротивление резисторов R1 и R3:

$$R1 = R3 = \frac{t}{2 \times C1} = \frac{0.65 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}} = 32.5 \hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ . \qquad (3.25)$$

Регулятор тока

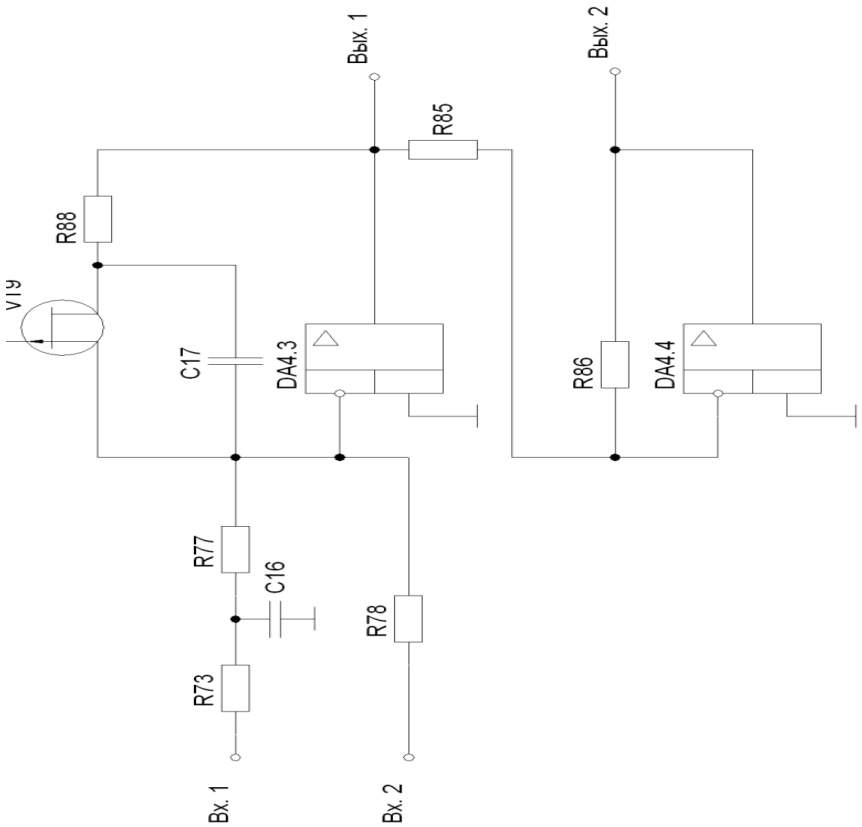


Рис.3.7

Выбираем [1] R1 и R3 чина С2-29В-0.125-32.4 кОм±1%.

На инвертирующем входе DA1.1 напряжение с входов "Вх1" и "Вх.2" вычитается друг из друга и для получения одинакового коэффициента передачи с обоих входов сопротивления (R1+R2) должно быть панно R2.

Выбираем [1] R2 типа С2-29В-0.125-64.9 кОм ±1%.

Постоянную времени интегрирования t и регулятора тока как пропорционально-интегрирующего регулятора примем равной tи=0.65мс (приблизительно в десять раз больше периода модуляции Тм =0.659мс).

Емкость конденсатора:

$$C2 = t\grave{e} / (R1 + R2) = \frac{0.65 \times 10^{-3}}{2 \times 32.5 \times 10^{-3}} = 0.01\grave{i}\ \hat{O}.$$

(3.26)

Выбираем [2] конденсатор С2 типа КМ-6А-М1500-0.01 мкФ ±10%.

Операционный усилитель DA1 выберем типа 1401УД2А. Коэффициент усиления по постоянному току звена на DA1*Л* примем $Ku = \frac{R4}{R1 + R3} = 2.$

Следовательно, сопротивление:

R4=Ku$\times$(R1+R3)=2$\times$(32.4+32.4)$\times$ 10^3=129.6 кОм.

Выбираем [1] R3 типа МЛТ-0.125-150 Ом ± 5%.

Напряжение на входах "Вх.1" и "Вх.2" должны быть одинаковыми по величине, но противоположны по знаку.

Для этого на "Вых.2" устанавливаем инвертирующий повторитель на DA1.2. Коэффициент усиления такого усилителя;

$$Ku = \frac{R5}{R6} = 1.$$

(3.27)

Выбираем значение сопротивления R5^R6^20кОм. Выбираем [1] резисторы R5 и R6 типа МЛТ-0.125-20 кОм ± 5%.

Транзистор VT1 служит для блокировки работы регулятора тока.

Выбираем [7] транзистор VT1 типа КП103Е1.

3.4 Расчет входных дифференциальных усилителей и схемы измерения тока якоря

3.4.1 Расчет дифференциального усилителя (ДУ) тахогенератора

На входе ДУ (рис. 3.8, а) установлена RC-цепь для отфильтровывания несущей частоты схемы контроля тахогенератора fк = 2× fm = 17кГц. Постоянную времени фильтра выбираем в 100 раз больше периода следования импульсов контроля тахогенератора:

$$t = 100 \times T\hat{e} = 100 \times \frac{1}{f\hat{e}} = 100 \times \frac{1}{17 \times 10^3} = 5.8\grave{\imath}\ \tilde{n}.$$

(3.28)

Выбираем резисторы [l] R1 и R2 типа С2-29В-0.125-10кОм ±1%. Тогда емкость конденсаторов:

$$C1 = C2 = \frac{t}{R1} = \frac{5.8 \times 10^{-3}}{10^4} = 0.58\grave{\imath}\ \hat{e}\hat{O}.$$

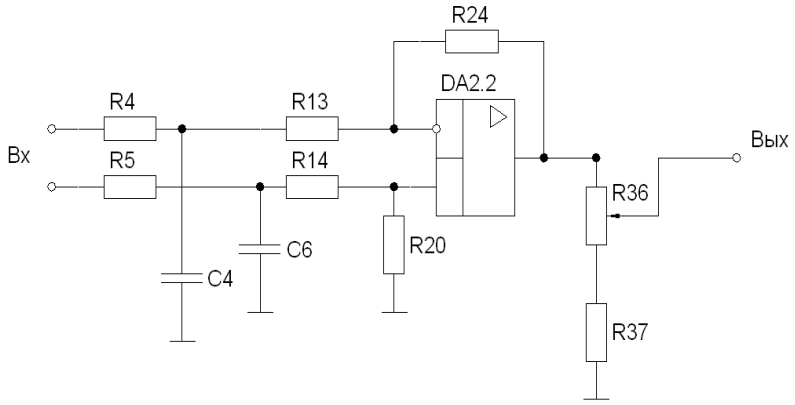
(3.29)

Конденсаторы С1 и С2 выбираем [2] типа КМ-6а-Н90-0.47мкФ ±5%. Коэффициент передачи ДУ тахогенератора регулируется переменным резистором R7 в пределах от Kmin = 0.14 до Kmax = 0.35; Это позволяет нормировать напряжение тахогенератора на 8В задающего напряжения при изменении напряжения с выхода самого тахогенератора в пределах от 20 до 30 В. Резисторы R5 и R6 выбираем [l] типа С2-29В-0.125-20кОм ±1%. Требуемое сопротивление резисторов R3 и R4:

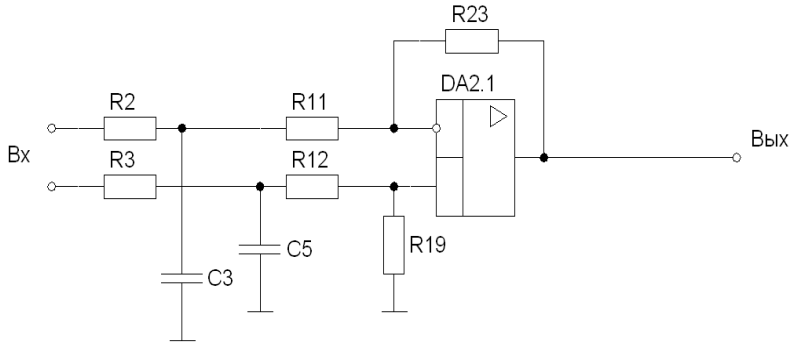
$$R3 = R4 = \frac{R5}{Ku\max} - R2 = \frac{20 \times 10^3}{0.35} - 10^4 = 47.1\hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ .$$

(3.30)

Входные дифференциальные усилители



а) ДУ тахогенератора



б) ДУ заданного значения

Рис. 3.8

Выбираем резисторы [1] R3 и R4 типа С2-29б-0.125-47кОм ±1%.

Операционный усилитель DA1 выбираем [3] типа 1401УД2А.

Максимальный ток выхода DA1 примем Iвых.DA1 = 1.5мА. Тогда суммарное сопротивление делителя R7, R8:

$$R7 + R8 \geq (U\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.\max.DA1) / (I\hat{a}\hat{u}\ \tilde{o}.DA1) = \frac{12}{8} = 1.5$$

(3.31)

Сопротивление резистора R8:

$$R8 = \frac{R7 + R8}{1 + \frac{R7}{R8}} = \frac{8 \times 10^3}{1 + 1.5} = 3.2\hat{e}\hat{I}\ \grave{i}\ . \qquad (3.32)$$

Выбираем [1] резистор R8 типаМЛТ-0.125-3.3 кОм ± 5%. Сопротивление переменного резистора R7:

$$R7 = 8\hat{e}\hat{I}\ \grave{i}\ - R8 = 8 \times 10^3 - 3.3 \times 10^3 = 4.7\hat{e}\hat{I}\ \grave{i}\ . \qquad (3.33)$$

Выбираем [1] резистор R8 типа СП-196-0.5-4.7кОм ± 10%.

3.4.2 Расчет дифференциального усилителя заданного значения

На входе ДУ (рис. 3.8, б) включены RC-цепи, аналогичные рассчитанным в п. 3.4.1. Выбираем элементы RC-цепи [1,2] типа

Rl, R2: С2-29б-0.125-20кОм ± 1%; С1, С2: КМ-6а-Н90-0.47мкФ ± 5%.

Резисторы R5 и R7 выбираем [1] типа С2-29В-0.125-20кОм ±1%.

Коэффициент передачи ДУ принимаем Ku=1.

Сопротивление резисторов R3 и R4:

$$R3 = R4 = \frac{R5}{Ku} - R2 = \frac{20 \times 10^3}{1} - 10 \times 10^3 = 10\hat{e}\hat{I}\ \grave{i}\ . \qquad (3.34)$$

Выбираем резисторы [1] R3 и R4 типа С2-29б-0.125-10кОм ±1%.

Операционный усилитель DA1 выбираем [3] типа 1401УД2А.

3.4.3 Расчет схемы измерения тока якоря

В состав схемы (рис. 3.9) входит дифференциальный усилитель на транзисторах VT1 и VT2, который усиливает дифференциальный сигнал, поступающий с шунта в цепи якоря двигателя. При этом синфазный сигнал достигает по величине Uп. При максимальном токе якоря Iя = 20А падение напряжения на шунте составляет Uдиф.max = 0.2$\times$ 5В. Для стабилизации коэффициента усиления дифференциального сигнала смещение на базах VT1 и VT2 стабилизировано VD1, и базовые токи - генератором стабильного тока (ГСТ) на VT3.

Выбираем [5] транзистор VT3 типа 2Т506А.

Схема измерения тока якоря

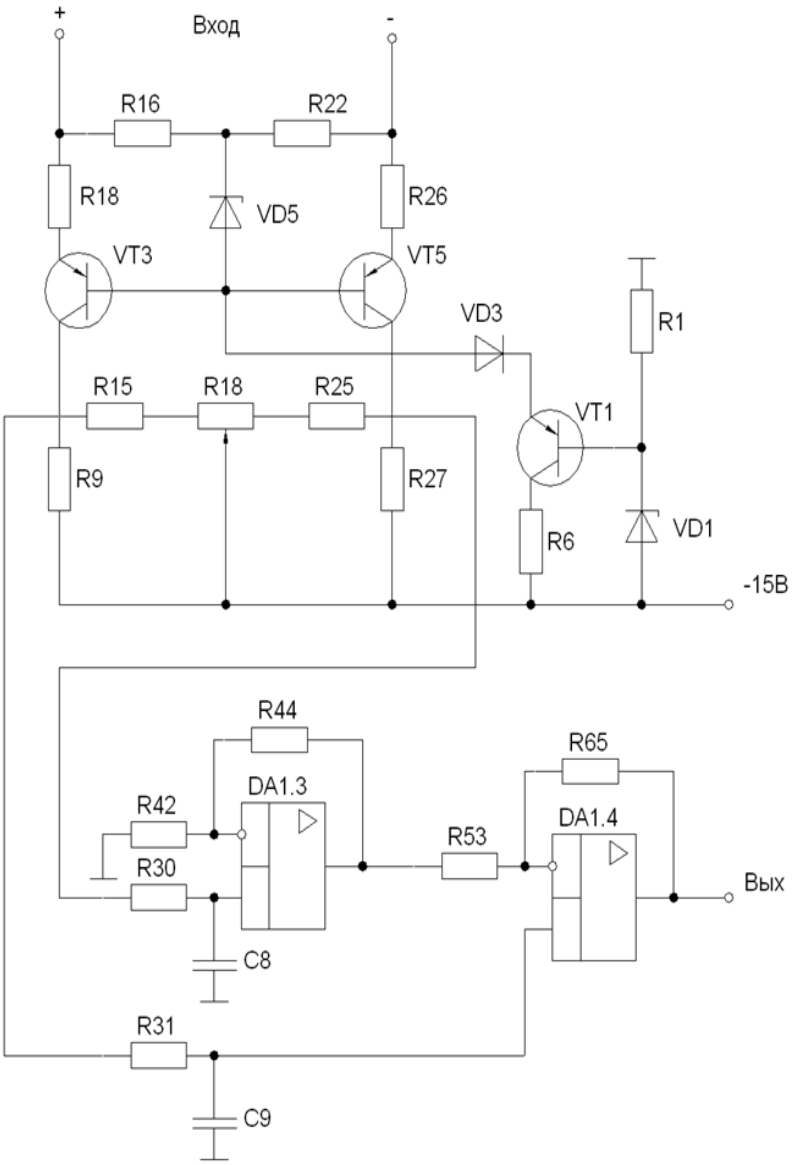


Рис.3.9

3.5 Расчет схемы контроля тахогенератора, схемы защиты от короткого замыкания и превышения входного напряжения

3.5.1 Расчет схемы контроля цепи тахогенератора

Схема (рис.3.10) контролирует проводимость цепи тахогенератора методом несущей и выдает сигнал на схему разрешения работы при обрыве цепи. На вход подается импульсы с генератора тактовых импульсов амплитудой ±10В и частотой 8.5кГц. Выпрямитель на DA1.1 преобразует их в треугольные положительные импульсы с частотой f=2fm=17кГц и амплитудой 10В. Компаратор DA1.2 в свою очередь преобразует их в разнополярные прямоугольные импульсы амплитудой ±12В и частотой 17кГц и выдает их в цепь тахогенератора.

Цепь VT1, VT2, VD3, VD4, C2, C3, R7 является детектором несущей. При отсутствии на входе C2 знакопеременных импульсов частотой f =17кГц транзистор VT2 открывается и своим малым сопротивлением шунтирует резистор на входе "тахогенератор" схемы разрешения работы, чем запрещает работу преобразователя.

Выпрямитель DA1.1, VD1, VD2, R1, R2 рассчитывается аналогично рассчитанному в п.3.5. выбираем [1,2,7] элементы:

R1, R2: МЛТ-0.125-20кОм ± 5%;

DA1: 1401УД2А;

VD1. VD2: КД521А.

Резистор R3 служит нагрузкой VD1.1. минимальное сопротивление нагрузки для 1401УД2А Rmin =2кОм. Выбираем [1] резистор R3 типа

Схема контроля проводимости
цепи тахогенепатора

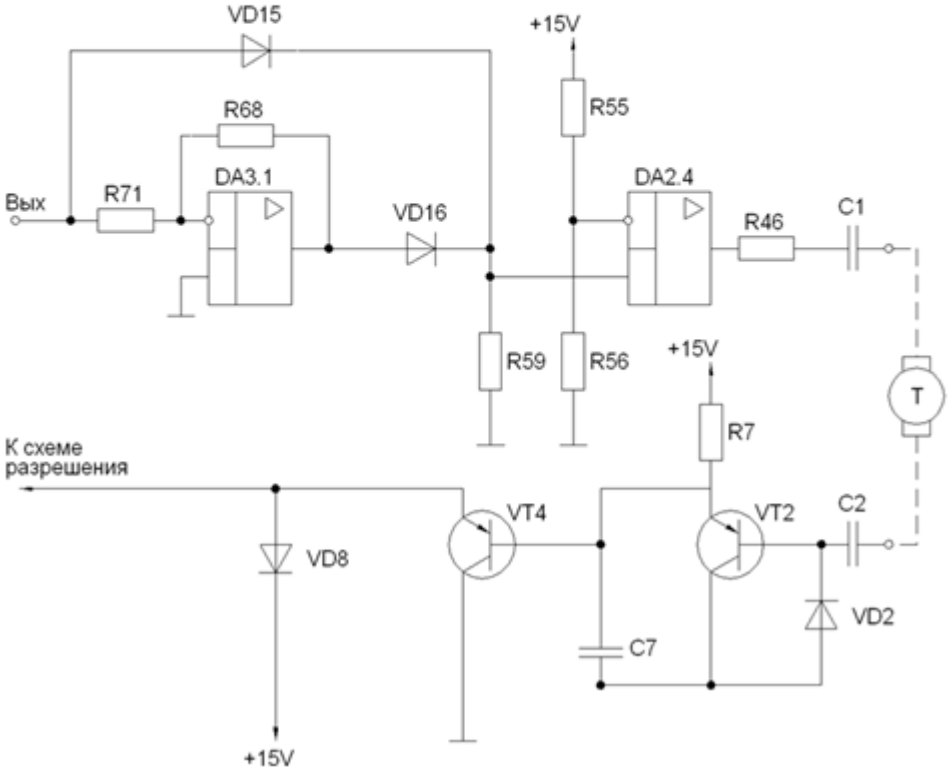


Рис.3.10

МЛТ-0.125-15кОм±5%.

На неинвертирующий вход компаратора DA1,2 поступают импульсы амплитудой ±10В. Опорное напряжение выберем равным половине амплитуды Uоп.=5В. Ток делителя R4, *R5* примем равным Iд.=1мА. Тогда сопротивление резисторов:

$$R5 = Uî\,ï\,./\,Iä. = \frac{5}{10^{-3}} = 5êÎ\ ì\ . \qquad (3.54)$$

$$R4 = Uî\,ï\,./\,Iä. - R5 = \frac{15}{10^{-3}} - 5\times10^{3} = 10êÎ\ ì\ . \qquad (3.55)$$

Выбираем резисторы [1] R4: МЛТ-0.125-10кОм ± 5%;

R5: МЛТ-0.125-4.7кОм ± 5%.

Фильтр высоких частот (ФВЧ) R6, C1 настраивается на частоту f0=17кГц. Конденсатор C1 выбираем [2] типа КМ-5б-М1500-3300пФ ± 10%.Тогда сопротивление резистора R6:

$$R6 = \frac{1}{\omega 0\times C1} = \frac{1}{2\pi\times17\times10^{3}\times3.3\times10^{-9}} = 2.8êÎ\ ì\ .$$

(3.56)

Выбираем [5] резистор R6 типа МЛТ-0.125-2.2кОм ± 5%. Развязывающий конденсатор C2 выбираем [2] типа КМ-6а-Н90-0.33пФ ± 10%.

Диод VD3 служит для запирания транзистора VT1 и ограничения запирающего напряжения на базе VT1. Выбираем [7] диод VD3 типа

КД521А.

Разрядный транзистор VT1 выбираем [7] типа КТ3102АМ.

Таблица 3.15

Параметры транзистора КТ3102АМ

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер Uкэ max, В	50
Максимальный ток коллектора Iк max, мА	100
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер Uкэ нас, В	0.2
Коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ, В	150

На конденсаторе С3 при прохождении положительного импульса остаточное напряжение составит Uсо.=Uкэ нас.VT1=0.2В. Время задержки срабатывания защиты при отсутствии несущей примем

t зад. = $10T_0$ = $10/f_0$=0.5мс. Напряжение база-эмиттер транзистора VT2, при котором он начнет открываться, равно Uбэ нас.VT2=0.5В. Требуемая постоянная времени заряда конденсатора С3 от 0.2В до 0.5В должна быть равна:

$$t = R7 \times C3 = -tçàä. / \ln[(Uï. - Uáý VT2) / (Uï. - Uñî.)] =$$
$$= -0.5 \times 10^{-3} / \ln[(15 - 0.5) / (15 - 0.2)] \approx 25 ì\ ñ. \qquad (3.57)$$

Выбираем конденсатор С3[2] типа К53-21-10В-0.68мкФ± 20%. Тогда сопротивление резистора:

$$R7 = \frac{t}{C3} = \frac{25 \times 10^{-3}}{0.68 \times 10^{-6}} = 36 êÎ\ ì\ . \qquad (3.58)$$

Выбираем [1] резистор R7 типаМЛТ-0.125-33кОм ± 5%. Сигнальный транзистор VT2 выберем [7] типа КТ3102АМ. Нагрузкой транзистору VT2 служит диод VD4. Выбираем [7] диод VD4 типа КД521А.

3.5.2. Расчет схемы защиты от короткого замыкания и превышения входного напряжения

Защиту от превышения напряжения выше уровня допустимого (рис.3.11) осуществляет цепь VD1 ...VD4. Порог срабатывания схемы устанавливаем

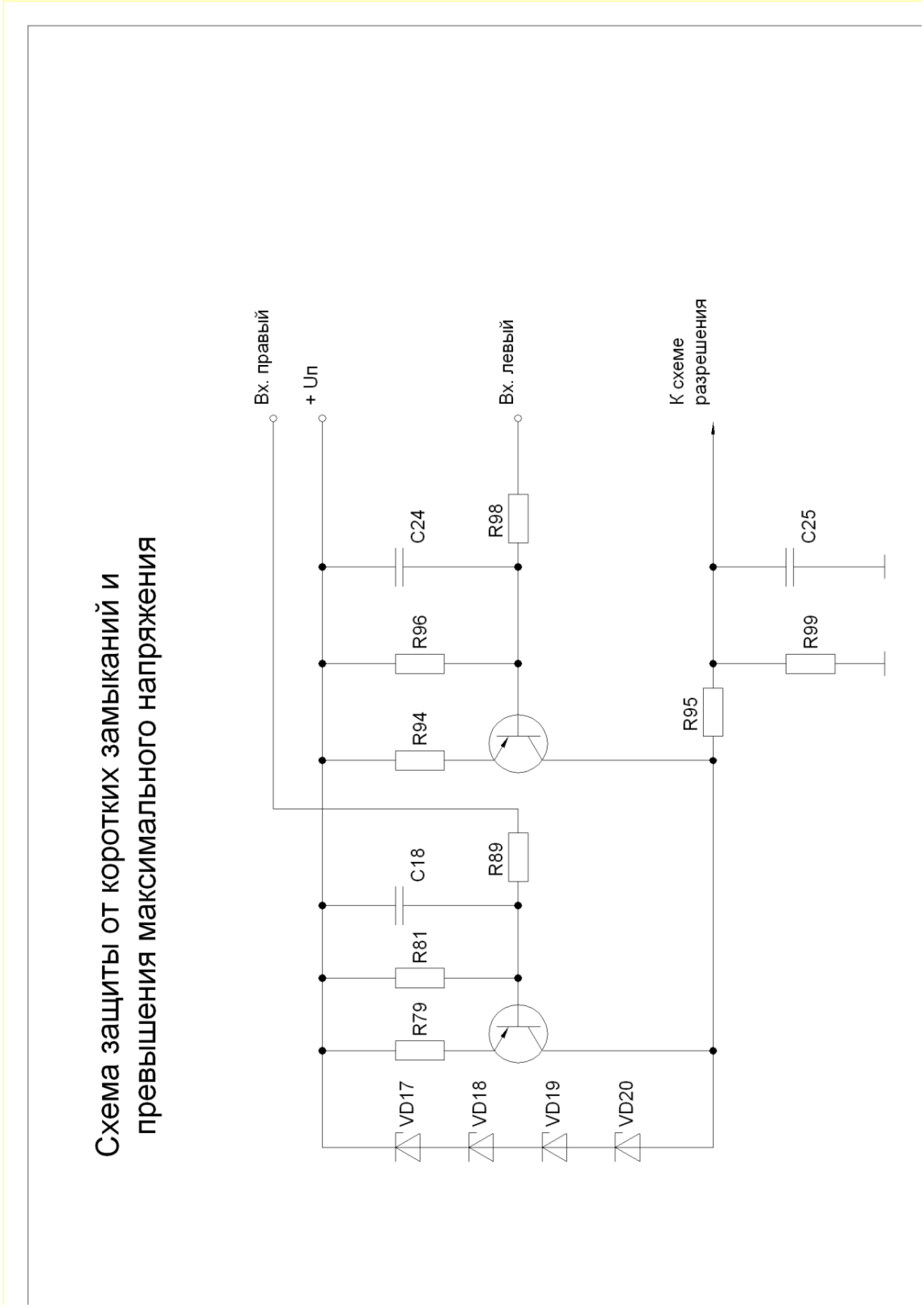


Схема защиты от коротких замыканий и
превышения максимального напряжения
Вх. правый
+ Uп
Вх. левый
К схеме
разрешения
C24
R98
C25
R96
R99
R94
R95
C18
R89
R81
R79
VD17
VD18
VD19
VD20

Рис.3.11

на 30% выше номинального напряжения:

$$Uï.\max = 1.3Uï. = 1.3 \times 160 = 208Â. \quad (3.59)$$

Подбираем стабилитроны VD1...VD4 таким образом, чтобы суммарное напряжение стабилизации равнялось Uп.max. Выбираем [6] VD1 типа КС5J1А - 4штуки с параметрами: Uст.=51В, Iст.=1.5мА, Iст.=1...14.6мА. При этом порог срабатывания:

$$Uï\ î\ ð. = Uñò.VD1 \times 4 = 51 \times 4 = 204Â. \quad (3.60)$$

Стабилитроны входят в режим стабилизации при превышении порога срабатывания. Их общий ток стабилизации становится Iст.$\geq$0.5мА. Выход на схему отключения подсоединен к входу КМОП-микросхемы, для которой уровень помехоустойчивости логической единицы:

Uвх.н. = 0.7$\times$ Uс.с. = 0.7$\times$ 5 = 10.5В.

Сопротивление резистора R8:

$$R8 = UR8 / Iñò. = \frac{10.5}{0.5 \times 10^{-3}} = 21êÎ\ ì. \quad (3.61)$$

Выбираем [1] резистор R8 типа МЛТ-0.125-22кОм $\pm$ 5%.

При более чем 4-5 кратном превышении номинального тока преобразователя с шунта датчика короткого замыкания левого и правого плеч преобразователя на схему защиты поступает напряжение Uкз.$\geq$ 0.85В на входы левого и правого детекторов соответственно.

Детектор VD1, R4...R3, C1 подключен правому плечу, а VT2, R4...R6, C2- к левому. Оба каскада на VT1 и VT2 полностью аналогичны. Так как каскады питаются от напряжения Uп.$\leq$ 160В, то транзисторы VT1 и VT2 выберем [5] типа 2Т505Б. Для срабатывания схемы отключения необходимо, чтобы ток коллектора VT1(VT2) был IкVT1$\geq$0.5мА при напряжении короткого замыкания Uкз.= 0.85В. При этом ток базы VT1(VT2):

$$IáVT1 = IêVT1 / \beta = \frac{5 \times 10^{-4}}{100} = 5ì\ À. \quad (3.62)$$

Таблица3.16

Параметры транзистора 2Т3505Б

Максимальное напряжение коллектор-эмиттер Uкэ max,В	250
Максимальный ток коллектора Iк max, А	1
Коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ, В	100

При таком токе базы падение напряжения база-эмиттер транзистора 2Т505Б должно быть [5] UбэVT1=0.45 В. Падение напряжения на резисторе R1 примемUR1=0.2В.

Выберем ток делителя R2, R3 равным 1д.=2мА. Следовательно, сопротивление резистора R2:

$$R2 = (Uáý VT1 + UR1)Iä. = \frac{0.45 + 0.2}{2 \times 10^{-3}} = 325 \hat{I}\ ì \qquad (3.63)$$

Выберем [l] резистор R2 типа МЛТ-0.125-330Ом -± 10%. Сопротивление резисторов R1 и R3:

$$R1 = UR1 / (Iê VT1 + Iáê VT1) = \frac{0.2}{5 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-6}} = 3960 \hat{I}\ ì\ . \qquad (3.64)$$

$$R3 = (Uê ý - Uá ý - UR1) / (Iä. + IáVT1) = \frac{0.85 - 0.45 - 0.2}{2 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-6}} = 100 \hat{I}\ ì\ . \qquad (3.65)$$

Выбираем резисторы [l] R1: МЛТ- 0.125-390Ом ± 5%; R3: МЛТ-0.125-100Ом±5%.

Конденсатор С1 ставится для увеличения помехоустойчивости каскада. Фильтр высокой частоты R2, С1 настраивается на частоту чуть выше частоты модуляции f =8.5кГц. Примем f1=10кГц. Тогда емкость конденсатора С1:

$$C1 = \frac{1}{2 \times \pi \times f1 \times R2} = \frac{1}{2 \times \pi \times 10^4 \times 330} = 0.048 ì\ êÔ. \qquad (3.66)$$

$$R1 = (U\hat{e}ç. - R3 \times I\acute{a}VT1 - U\acute{a}VT1) / I\acute{a}VT1 \times (1+\beta)) = \frac{0.85 - 5\times10^{-6}\times100 - 0.45}{5\times10^{-6}\times(1+100)} = \quad (3.67)$$

$$= 800\hat{I}\ \grave{\imath}\ .$$

Выбираем [2] конденсатор С1 типа КМ-5б-Н90-0.047мкФ ± 5%.

Сопротивление резистора R1 находим из соотношения:

Выбираем [2] резистор R1 типа МЛГ-0.125-820Ом ± 5%.

Конденсатор С3 ставится также для повышения помехоустойчивое! и.

Постоянную времени выбираем r=R7× С3=5Мс. Выбираем [2] конденсатор С1 типа КМ-56-М1500-1000пФ ± 10%.

Сопротивление резистора R7:

$$R1 = \frac{r}{C3} = \frac{5\times10^{-6}}{10^{-9}} = 5\hat{e}\hat{I}\ \grave{\imath}\ . \quad (3.68)$$

Выбираем [l] резистор R7 типа МЛТ-0.125-4.7кОм ± 5%.

3.6 Схема контроля внутреннего источника питания и разрешения работы

Напряжение внутреннего источника питания задано равным ± 15В.

Принципиальная схема блока контроля внутреннего источника питания ±15В и разрешения работы приведена на рис.3.12.

Контроль питания ± 15В осуществляет цепь DD2.2...DD2.4, VD1 ...VD4, С1, С3, С4, R3, R4, R6...R8. Конденсаторы С1 и С6 служат для сглаживания пульсаций напряжения ± 15В. Выбираем [2] конденсаторы С1 иС6 типа К50-35-25В-22мкФ-В.

Микросхему DD2 выбираем [4] типа К561ЛН2. Порог срабатывания системы защиты примем на уровне Uп.min = ± 10В. Уровень помех устойчивости для КМОП - микросхем составляет Uпор.=0.5Uсс. Требуемое напряжение стабилизации VD1 и VD2:

Uст.VD1- Uп.min - 0.5Uп.min = 10-5= 5В. (3.69)

Uст.VD2= Uп.mm + 0.5Uп.min = 10+5= 15В. (3.70)

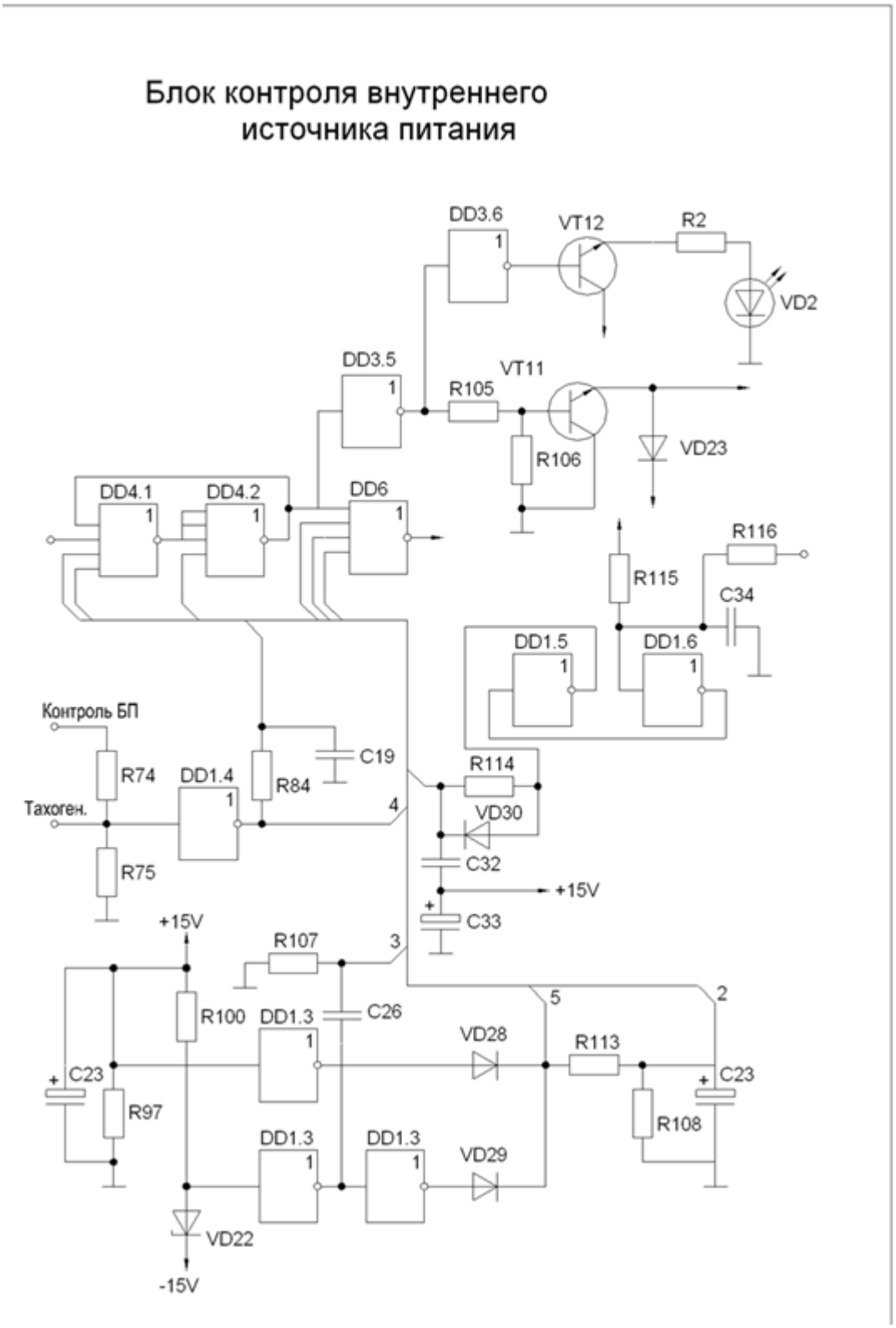

Блок контроля внутреннего
источника питания
DD3.6
VT12
R2
VD2
DD3.5
VT11
R105
R106
VD23
DD4.1
DD4.2
DD6
R116
R115
C34
DD1.5
DD1.6
Контроль БП
R74
DD1.4
R84
C19
R114
Тахоген.
VD30
C32
R75
+15V
C33
+15V
R107
R100
DD1.3
C26
VD28
R113
C23
R97
R108
DD1.3
DD1.3
VD29
VD22
-15V

Рис.3.12

Выбираем [6] стабилитроны типа КС162 (Uст.= 6.2В, Iст.= 1...34мА);

VD2 типа22216Ж (Uст.= 16В, Iст.= 0.5...9.4mA).

Токоограничивающие резисторы R3 и R4 выбираем [l]

МЛТ-0.125-22кОм^5%.

В случае неисправности какой-либо из цепей питания ± 15В, на выходе DD2.2 или DD2.3 появляется уровень логической единицы. Этот уровень через диоды VD3 и VD4 подается па блок разрешения DD4.1 и сигнал разрешения работы преобразователя снимается, а так же на цепь R7, C4 для задержки передачи сигнала на блок памяти DD1.1, DD1.2.Выбираем [7]

диоды VD3 и VD4 типа КД521А.

Резистор R7 служит также для ограничения максимального входного тока DD2.2 (DD2.4). Примем максимальный уровень выходного тока Iвых.DD2max =1мА.

Тогда сопротивление R7:

$$R7 = (Uâû\ õ.DD2 - UVD3.4) / Iâû\ õ.DD2\max = \frac{14.5 - 0.5}{10^{-3}} = 14êÎ\ ì\ . \qquad (3.71)$$

Выбираем [1] резистор R7 типа МЛТ-0.125-15кОм а 5%. Задержку отложения в памяти tзад. =0.25с. Тогда требуемая емкость

конденсатора C4:

$$C4 = -tçàä / (R7 \times \ln[1 - 0.5Uï. / Uï.]) = \frac{-0.25}{15 \times 10^3 \ln[1 - 0.5]} = 24ì\ êÔ. \qquad (3.72)$$

Выбираем [2] конденсатор C4 типа К50-35-25В-22мкФ.

Диоды служат VD3 и VD4 для блокирования разряда C4 через R7 и DD2 при восстановлении питания ± 15В. Время задержки разряда C4 при восстановлении питания с запасом в пять раз больше tзад. Тогда сопротивление резистора R8:

$$R8 = -5tçàä / (C4 \times \ln[0.5Uâû\ õ. / (UDD2 - UVD3.4)]) =$$

$$= \frac{-5 \times 0.25}{22 \times 10^{-6} \ln\left[\frac{0.5 \times 1.5}{14.5 \times 0.5}\right]} = 91êÎ\ ì\ . \qquad (3.73)$$

Выбираем [I] резистор R8 типа МЛТ-0.125- ЮОкОм ± 5%. Дифференцирующая цепь С3, R6 служит для сброса памяти при отсутствии неисправности при включении питания преобразователя. Продолжительность ипульса сброса должна быть много меньше времени разряда конденсатора С4; t=*5tpa3.-5x0.25"1.25c.

Резистор R6 выбираем [I] типа МЛТ-0.125-ЮкОм ± 5%. Тогда требуемая емкость С3:

$$C3 = \frac{tu}{3 \times R6} = \frac{3 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{4}} = 100 ï\,\hat{O}. \qquad (3.74)$$

Выбираем [2] конденсатор С3 типа КМ-5б-М75-100пФ±10%.

Максимальный выходной ток DD2.3 равен:

$$Iâû\,õ.DD2.3 = Uâû\,õ.DD2.3 / R6 = \frac{14.5}{10^{4}} = 1.45 ì\,À;$$
$$Iâû\,õ.DD2.3 = 1.45 ì\,À < 10 ì\,À = \mathrm{I}\,âû\,õ.\mathrm{m}\,ax. \qquad (3.75)$$

Микросхемы DD1, DD2 и DD4 выбираем [4] типа К561ЛЕ6 (2 логических элемента 4 ИЛИ-НЕ).

Таблица 3.17

Параметры микросхемы К561ЛЕ6

Напряжение питания Uп., В	(3...15)
Максимальный выходной ток Iвых.тах, мА	10
Ток потребления Iпот., мА	10

На вход "контроль БП" подается сигнал о готовности источника питания. Выходной ток сигнального транзистора в составе блока питания равен Iвх.БП=0.5мА. Примем напряжение коллектор-база этого транзистора Uкб=125В. Тогда напряжение на входе "контроль БП":

Uвх.БП=Uп.-Uкб=160-125=35В. *(3.76)*

Общее сопротивление делителя R1, R2:

$$R1 + R2 = Uâõ.ÁÏ \ / Iâõ.ÁÏ = \frac{35}{0.5\times10^{-3}} = 10êÎ\ ì\ . \quad (3.78)$$

$$R3 = 70êÎ\ ì\ - R2 = 70\times10^{3} - 40\times10^{3} = 40êÎ\ ì\ . \quad (3.79)$$

Выбираем резисторы [1] R2 типа МЛТ-0.125-33кОм ± 5%, R3 типа МЛТ-0.125~39кОм±5%.

Сигнал аварии на входе "контроль БП" или "тахогеиератор" инвертируется DD2.2 и поступает на блок разрешения DD4.1 без задержки и откладывается в блоке памяти через время задержки tзад. Примем tзад.=10мс.

4 Технология изготовления печатной платы

При изготовлении регулятора особое внимание уделяется разработке печатной платы. Достижение желаемой компактности устройства приводит к повышению плотности проводящего рисунка печатного монтажа, что вызывает ряд конструктивно-технологических трудностей. Выпуск печатных плат высокого качества возможен только при комплексном учете всех особенностей процесса конструирования и производства печатных плат [14,17].

Применяемый технологический процесс накладывает ограничения на точность выполнения рисунка, а с другой стороны, необходимая высокая плотность проводящего рисунка в значительной мере определяет требования к технологическому процессу изготовления печатной платы. Важнейшим условием выполнения печатной платы является этап выполнения оригинала, высокое качество которого обуславливает, в дальнейшем, снижение брака, сокращение затрат на производство, уменьшение стоимости готовых изделий.

Печатная плата представляет собой основание, на котором нанесен рисунок, состоящий из проводников и контактных площадок. Печатная плата является опорой, в то время как проводящие дорожки осуществляют электрическое соединение между элементами схемы. Исходный материал для изготовления платы представляет собой пластик, состоящий из тонкого жесткого листа электроизоляционного материала, фольгированного тонким слоем меди. Пластик формируется из нескольких слоев стеклоткани, скрепленных между собой эпоксидной смолой путем горячего прессования.

Печатная плата может изготавливаться комбинированным методом. Материалом является фольгировнный стеклотекстолит. Структурная схема последовательности технологического процесса комбинированного позитивного метода изготовления печатной платы показана на рисунке 4.1 [19]. Процесс производства печатной платы начинается с конструкторского этапа, при котором определяется и габаритные размеры платы, рациональное взаиморасположение

навесных элементов, осуществляется разработка конструкторской документации.

Определение конфигурации и габаритных размеров разрабатываемого изделия осуществляется с учетом сложности электрической схемы, эксплуатационных требований, технико-экономических показателей. Конструирование печатной платы осуществляется автоматизированным методом, предусматривающим размещение навесных элементов и разработку проводящего рисунка на ЭВМ.

В качестве фотошаблона используется фотография оригинала платы, который с точным рисунком платы изготавливается в увеличенном масштабе, а затем уменьшают до истинных значений с помощью фотографирования [20]. .

Уменьшенная копия в дальнейшем служит фотошаблоном. Важно отметить, что на оригинале нельзя наносить какие-либо обозначения без необходимости.

Заготовительные операции включают в себя формовку, сверление и очистку.

Сначала из листа стеклотекстолита вырезается заготовка платы. Далее заготовка поступает на сверлильно-шлифовальный станок. Для сверления отверстий используют метод высокоскоростного сверления с целью повышения качества обработки стенок отверстия. После зачистки на плату наносится проводящий слой меди. Омеднение производится в ванне в течение 15 минут, поверхность предварительно обезжиривается. В процессе химического омеднения происходит восстановление ионов меди, которые осаждаются на подложку, образуя проводящий слой [14,17,20].

Структурная схема изготовления печатной платы

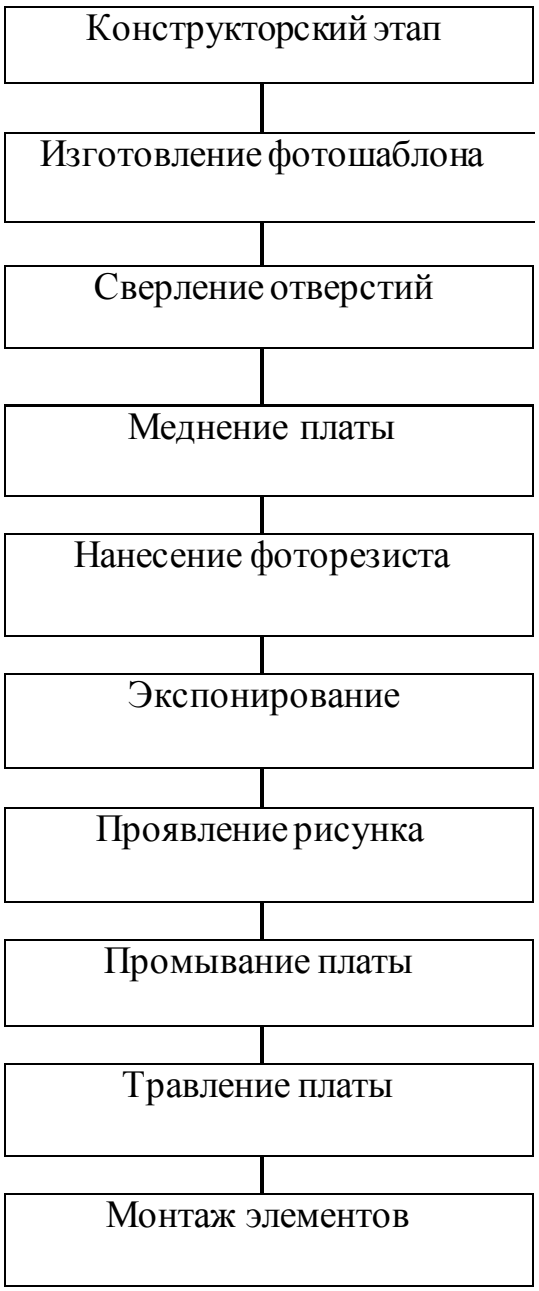


Рис 4.1

Далее производится операция по нанесению фоторезиста. Это специальный синтезированный светочувствительный элемент, который наносится на поверхность платы в виде тонкой пленки и обладает высокой химической стойкостью. Его слой должен быть равномерным по толщине, в противном случае при экспонировании происходит неплотное прилегание фотошаблона к фоторезисту и ухудшается контрастность рисунка. Поры и инородные частицы могут быть чувствительны к процессам при травлении, поэтому перед нанесением фоторезиста он должен быть тщательно отфильтрован. Итак, фоторезист наносят обычно методом центрифугирования. Подложку помещают на платформу центрифуги, наносят несколько капель фоторезиста и включают привод вращения платформы. Под воздействием центробежной силы фоторезист растекается по поверхности подложки, а излишки удаляются. При попадании фоторезиста на пластину, растворитель, входящий в его состав, начинает интенсивно испаряться и вязкость пленки резко увеличивается. Через 30 секунд растекание фоторезиста резко прекращается. Затем нанесенный слой просушивается при температуре 120°С в течении получаса. После этого можно проводить экспонирование. На этапе экспонирования фотослой подвергается ультрафиолетовому облучению через фотошаблон. При использовании позитивного фоторезиста освещенные участки фотослоя изменяют свои свойства так, что их можно удалить с помощью соответствующих растворов. Незасвеченные участки при этом сохраняются, повторяя рисунок фотошаблона. После совмещения платы с фотошаблоном их равномерно освещают потоками параллельных лучей, исходящих из кварцевой лампы высокого давления. Качество изображения при контроле определяется визуально.

Следующим этаном является проявление рисунка, в процессе которого избирательно растворяются экспортированные участки фотослоя [20].

Оставшиеся же участки служат защитной маской при давлении поверстного слоя. Температура проявителя должна составлять 35°С. При проявлении желательно осуществлять перемешивание раствора для обеспечения равномерного растворения фоторезиста. С целью защиты проводящего слоя при последующем травлении рисунок покрывают слоем материала, устойчивого к воздействию травителя. Плату с фотомаской помещают в ванну с раствором солей меди, затем в раствор , солей олова и свинца. При пропускании электрического тока через раствор происходит распад молекул и осаждение металла на подложку. Омеднение производится в течении 10-15 минут, а затем плату промывают и сушат. Непосредственно после сушки необходимо произвести удаление оставленного фоторезиста. Эта операция производится путем воздействия па плату гидроокиси натрия или другой неорганической щелочи, после чего плата промывается проточной водой.

После этого можно производить травление платы, которое представляет собой химический процесс, при котором ненужные участки медной фольги удаляют с поверхности основания, а участки, защищенные оловянносвиицовым слоем, сохраняют и формируют рисунок. При этом травящий раствор должен обладать следующими свойствами [20]:

-избирательность, т.е. способность активно растворить основной слой, не взаимодействуя с нижележащим;

- химическая пассивность по отношению к материалу фотомаски;

-малая инерционность травления. Обычно в качестве травителя используют кислоту HF с добавлением фтористого аммония NH4F [20]. Травитель должен находится в движении, что позволяет уровнять условия травления по площади подложки за счет активного удаления продуктов реакции и подвода свежего травителя. После травления необходима тщательная промывка в воде для удаления остатков травителя. Затем плату

сушат в конвейерной печи, оплавляют оловянно-свинцовый слой, после чего плата готова для необходимого монтажа.

Печатная плата изображена на рис.4.2,4.3,сборочный чертёж- 4.4. Параметры элементов платы сведены в таблицы 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Параметры элементов платы

Параметры элементов платы	Размеры, мм, не менее	
	В узких местах	В др. местах
Ширина проводников	0.25	0.4,1.4
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой	0.25	0.4

Таблица 4.2

Отверстия в печатной плате

Условное обозначение отверстий	Диаметры отверстий, мм	Наличие металлизации в отверстиях	Диаметры контактных площадок, мм	Количество отверстий
X	0.8	есть	1.4	609
+	1.0	есть	2.0	60
⊕	1.3	есть	2.0	33
□	1.5	есть	2.5	23

Для изготовления и контроля рисунка печатной платы используют шаблоны из таблицы 4.3.

Печатная плата (сторона1)

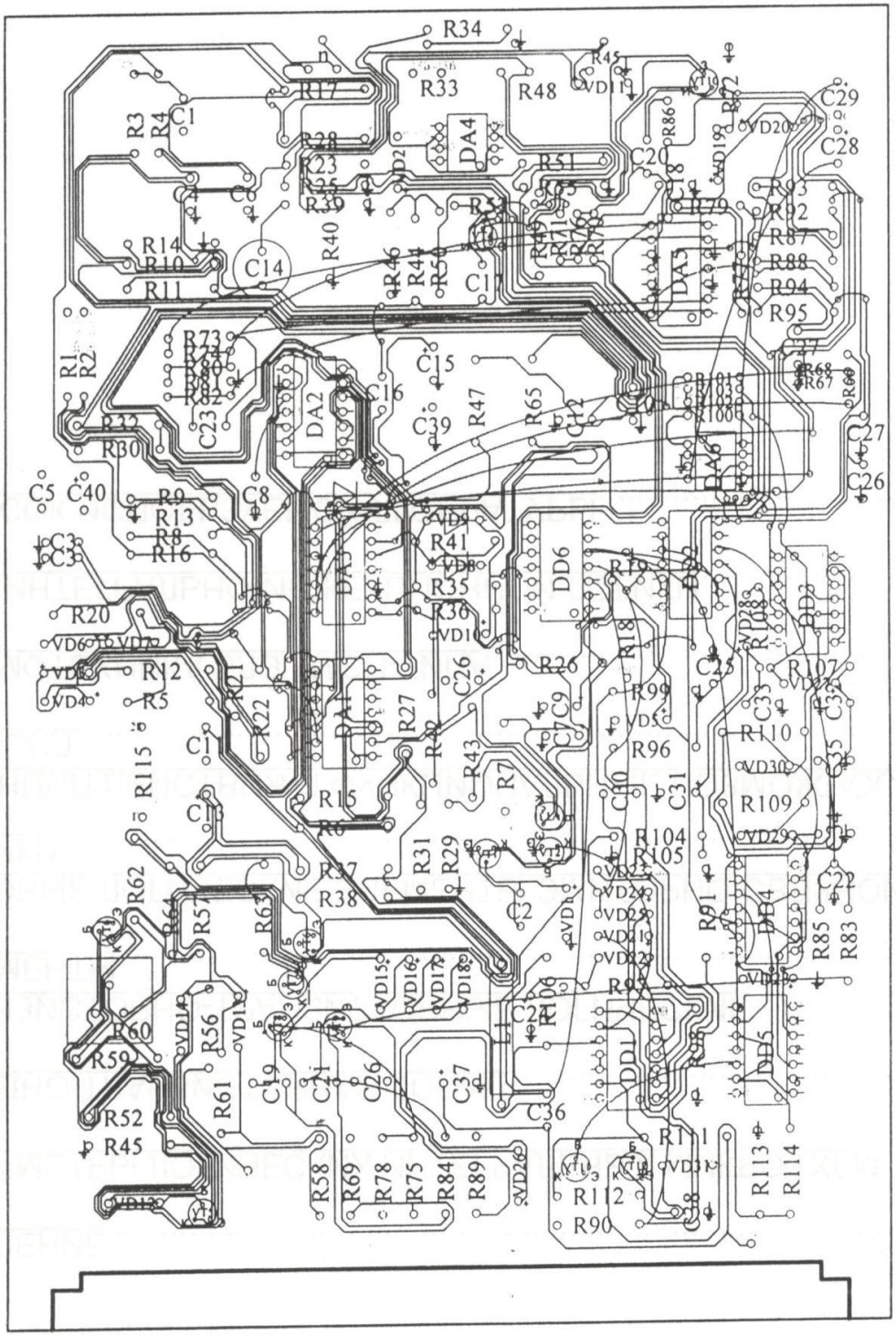


Рис.4.2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	16.210106.12.008.00.ПЗ	Лист 58

Печатная плата (сторона2)

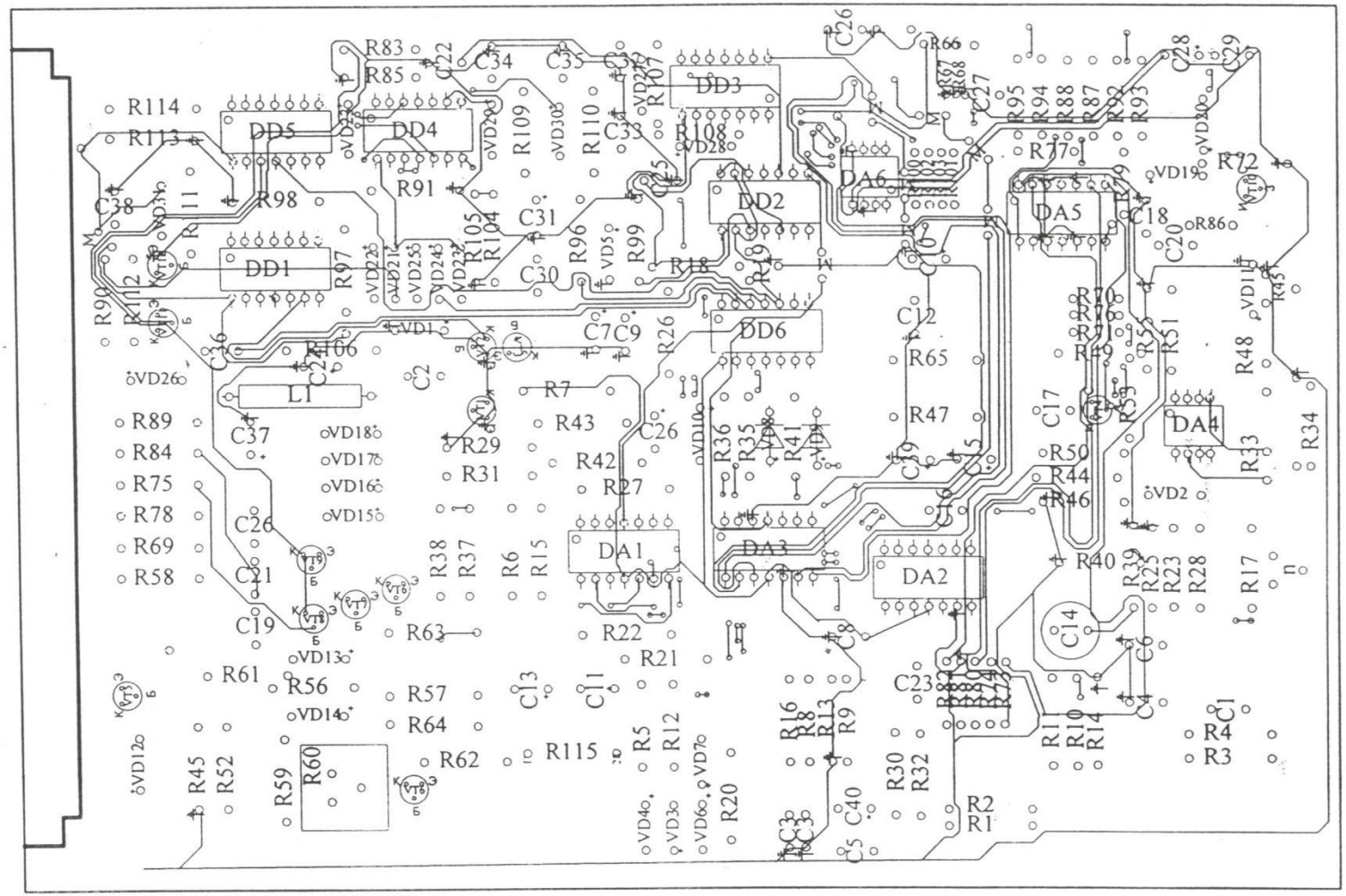


Рис.4.3

Сборочный чертёж

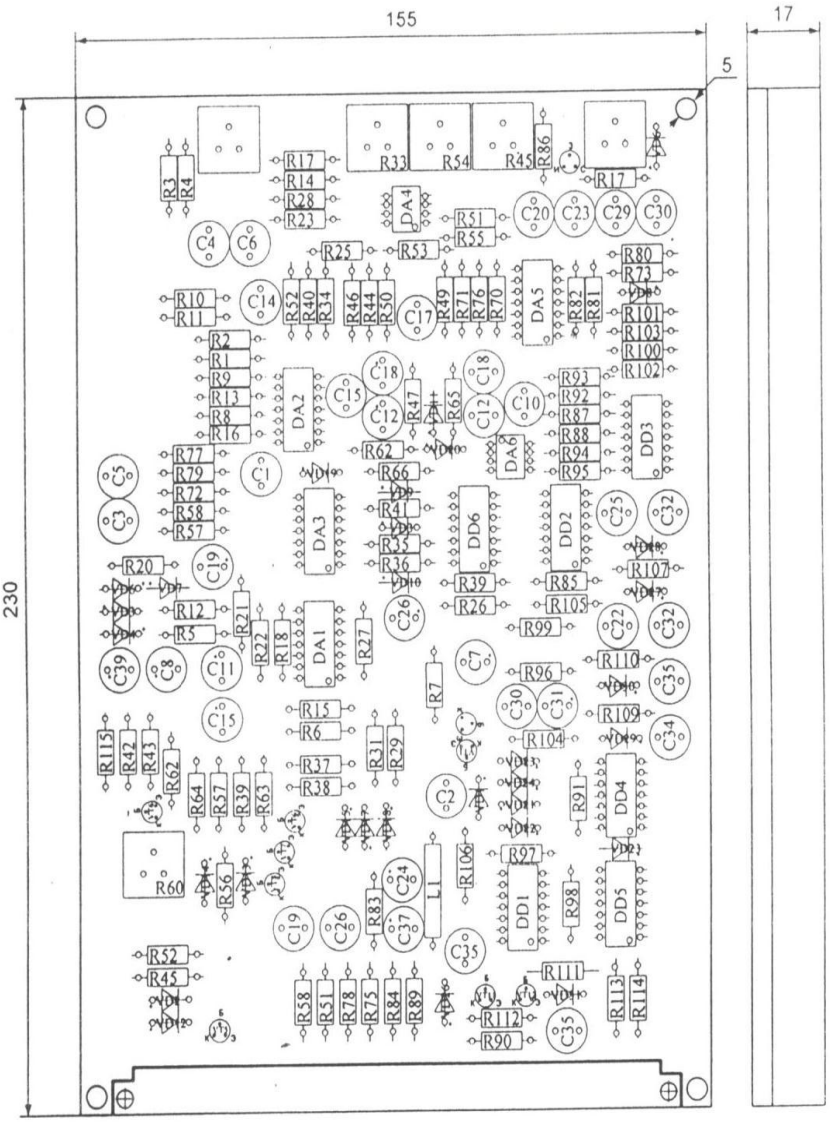


Рис.4.4

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	16.210106.12.008.00.ПЗ	Лист 60

Таблица 4.3

Шаблоны для изготовления и контроля рисунка печатной платы

Фотошаблоны PO5510
0- сторона пайки
1- сторона установки навесных элементов
E- маркировка стороны установки
F- маска стороны пайки
G- маска стороны установки
План сверления
Перфолента сверления

Заключение

В ВКР разработан преобразователь напряжения, предназначенный для управления электродвигателем постоянного тока. Он состоит из отдельных блоков: входные дифференциальные усилители, схема обратной связи по переменному току, регулятор частоты вращения, ограничение импульсного тока регулятора частоты вращения, схема защиты и контроля, регулятор тока, схема измерения якорного тока, тактовый генератор, ШИМ и задержка конечного выключателя.

Произведены анализ работы транзисторного преобразователя напряжения, описание структурной схемы системы управления, расчет перечисленных выше блоков и выбор элементов схемы.

Разработаны конструкция и технология изготовления печатных плат.

Литература

1. Браун, М. Источники питания. Расчет и конструирование / М. Браун, пер. с англ. С.Л. Ионова. Киев: МК ПРЕСС, 2007. - 279с.
2. Конденсаторы: справочник / Д.П. Иванов, А.В. Гитуевич, В.В. Дубровский др. — М.: Радио и связь, 1989. - 432с.
3. Машу, Ж. - Ф. Электронные компоненты: Руководство по выбору, пер. с фр. 3- изд. / Ж.-Ф. Машу. - М.:ДОДЭКА XXI, 2008. - 176с.
4. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / П.П. Мальцев, Н.С. Дселидзе, М.И. Критенко и др. - М.: Радио и связь, 1994. - 240с.
5. Полупроводниковые приборы. Транзисторы средней и большой мощности: Справочник / Под ред. А.В. Головомедова. - М.:КУБК-а, 1995.-640с.
6. Шишмарёв, В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник для вузов / В.Ю. Шишмарёв. - М.: Академия, 2007. - 364с.
7. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности, диоды, оптоэлектронные приборы: Справочник / А.А.Зайцев, А.И. Миркин, В.В.Мокряков и др. - М.: Радио связь, 1989. - 530с.
8. Электронные реле малой мощности: Справочник / В.П. Кузнецов, К.А. Масленников, В.А. Иванов и др. - М.: Радио и связь, 1991 -647с.
9. Горина, Л.Н. Методические указания к дипломному проектированию по безопасности и экологичности объекта / Л.Н. Горина. - Тольятти: ТГУ, 2003. -17с.
10. Микросхемы для импульсных источников питания: Справочник, изд. 3- - 3VL: изд. дом ДОДЭКА XXI, 2002. - 285с. И.Акимов, Н.Н. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н. Акимов и д.р. - Мн.: Беларусь, 2005. - 591с.
12. Система стандартов безопасности труда: [Сборник]. - М.: Издательство стандартов, 2002. - 102с.

13.Лачин, В.И. Электроника: Учебное пособие. - Издание 7~ *I* В.И. Лачин, Н.С. Савёлов. - Ростов н/д: Феникс, 2009. - 703с.

14.Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: учебное пособие / Г.Ф. Баканов и др. - М.: Академия, 2007. - 365с.

15 Нарышкин, А.К. Цифровые устройства и микропроцессоры: учебное пособие / А.К. Нарышкин. – 2е изд. – М.: Академия, 2008. – 318с.

16 Электроника и микропроцессорная техника: дипломное проектирование систем автоматизации и управления: учебник для вызов / С.Г.Григорян [и др.] ; ред. В.И. Лачин. – Ростов н/д: ‹‹Феникс››, 2007. – 568с.

17 Григорян, С.Г. Конструирование электронных устройств систем автоматизации и вычислительной техники: учебное пособие для вузов / С.Г. Григорян. – Ростов н/д: ‹‹Феникс››, 2007 – 303с.

18 Информационно – измерительная техника и электроника: учебник для вузов / Г.Г. Раннев [и др.]; под ред. Г.Г.Раннева. – М.: Академия, 2007. – 511с.

19 Коледов, Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: учебное пособие для вузов изд. 2-е / Л.А. Коледов. – СПб: Лань, 2008. – 400с.

20 Грацев, А.А. Конструирование электронной аппаратуры на основе поверхностного монтажа компонентов / А.А. Грачев, А.А. Мельник, Л.И.Панов. – М.: НТ Пресс, 2006. – 384с.