

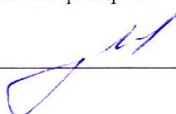
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт *высокоточных систем им. В.П. Грязева*  
Кафедра «Приборы управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Приборы управления»  
« 22 » января 20 24 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой

  
\_\_\_\_\_ В.В. Матвеев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению курсового проекта**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Электроника»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**

с направленностью (профилем)  
**Интеллектуальные фотонные системы**  
Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 120303-01-24

Тула 2024 год

**Разработчик методических указаний:**

Алалуев В.В., доц. каф., к.т.н., \_\_\_\_\_



(зав. кафедрой) (подпись)

## Содержание

Введение	С.	4
1. Цель и задачи КП		4
2. Основные требования к курсовому проекту		4
2.1. Тематика курсового проекта		4
2.2. Исходные данные к курсовому проекту		4
2.3. Задание на курсовой проект		4
2.4. Требования к содержанию и оформлению КП		5
2.5. Работа над курсовым проектом		5
2.6. Защита курсового проекта		5
3. Методические указания к работе над курсовым проектом		5
3.1 План построения и содержание пояснительной записки		5
3.2. Методические указания по выполнению отдельных разделов курсового проекта		6
Этап 1. Анализ требований технического задания, выбор элементной базы и технологии изготовления		9
Этап 2. Выбор функционально-необходимой части		
Этап 3. Расчёт регулирующего элемента		
Этап 4. Расчёт источника эталонного напряжения		
Этап 5. Расчёт усилителя сигнала рассогласования		
Этап 6. Определение ёмкости выходного конденсатора		
Список использованных источников		
Приложение А – Варианты задания на курсовой проект		

## **Введение**

Настоящие методические указания определяют задачи, цель и организацию выполнения курсового проекта (КП) по дисциплине «Электроника»; требования к содержанию и объему КП, оформлению текстовой части и графической документации, порядок представления КП к защите.

### **1. Цель и задачи КП**

КП по дисциплине «Электроника» является профилирующим при подготовке бакалавров по направлению 200400 «Оптотехника» по профилю «Опτικο-электронные приборы и системы».

Цель КП – систематизация, закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Электроника».

Задачи КП – приобретение навыков проектирования, алгоритмов расчета и методик определения параметров элементов источников вторичного электропитания, составления электрических принципиальных схем приборов, разработки печатных плат, подготовки конструкторской документации на электронные блоки в составе электрической принципиальной схемы, детализации печатной платы и сборочного чертежа.

## **2. Основные требования к курсовому проекту**

### **2.1. Тематика курсового проекта**

В качестве КП студенты получают задание на тему «Проектирование вторичного источника электропитания». В процессе выполнения КП должны быть проведены следующие работы:

1. расчет параметров и выбор источника опорного напряжения;
2. на основании задания выбор типа и расчет параметров элементов выпрямительной схемы, цепи фильтрации напряжения;
3. расчет параметров и выбор электронных компонентов регулирующего элемента;
4. расчет и выбор элементов усилителя сигнала рассогласования;
5. вычисление показателей качества спроектированного устройства;
6. разработка комплекта конструкторской документации.

### **2.2. Исходные данные к курсовому проекту**

Исходные данные к курсовому проекту приведены в Приложении А

### **2.3. Задание на курсовой проект**

Варианты заданий на курсовой проект приведены в Приложении А.

### **2.4. Требования к содержанию и оформлению КП**

Задание на КП, содержащее наименование темы, постановку задачи и исходные данные, оформляются на типовом бланке, подписываются руководителем и студентом.

Законченная работа должна состоять из расчетной пояснительной записки и графического материала. Объем расчетно-пояснительной записки не менее 20 страниц текста, оформленного в соответствии с требованиями. Объем графического материала – три лист формата А1.

Все страницы текста, а также все рисунки, таблицы и формулы расчетно-пояснительной записки должны быть пронумерованы.

При выполнении вычислений расчетные формулы сначала приводятся в общем виде, затем после подстановки в них числовых значений и, наконец, результат с указанием размерности.

Расшифровка символов, входящих в формулу должна быть приведена непосредственно под формулой (если они не были введены ранее).

При использовании литературных источников обязательно делается ссылка на источник. При этом в квадратных скобках указывается его порядковый номер по перечню использованной литературы и номер страницы, например, [3, стр.79].

Подробная информация о правилах оформления расчетно-пояснительных записок приведена в ГОСТ 2.106.-96.ЕСКД. Текстовые документы. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 48с.

Графическая часть КП должна быть выполнена в соответствии с действующими стандартами единой системы конструкторской документации (ЕСКД) (Сборник ГОСТов 351А. ЕСКД. Общие правила выполнения чертежей. – М.: Изд-во стандартов, 1995.- 232с.)

Правила оформления списка использованных источников определены ГОСТ 7.1-84.

## **2.5. Работа над курсовым проектом**

На выполнение и защиту КП отводится 40 часов самостоятельной работы студентов. Выполнение КП начинается с изучения настоящих методических указаний и анализа задания.

В процессе выполнения КП студент может пользоваться консультациями и должен не реже одного раза в две недели доводить до руководителя КП отчет о ходе выполнения работы. Курсовой проект выполняется в соответствии с графиком, который доводится до студентов одновременно с выдачей задания.

## **2.6. Защита курсового проекта**

При подготовке к защите КП студент составляет доклад, рассчитанный примерно на 5 минут. В докладе должна быть сформулирована поставленная задача, изложены пути и методы ее решения, полученные результаты. Особенно следует подчеркнуть практическую целесообразность принятия тех или иных решений и возможность их технической реализации. После доклада студент отвечает на вопросы по содержанию работы, общетеоретическому материалу.

После защиты студент сдает графические материалы и пояснительную записку зав. лабораторией кафедры.

## **3. Методические указания к работе над курсовым проектом**

### **3.1 План построения и содержание пояснительной записки**

Пояснительная записка должна брошюроваться в следующем порядке:

1. Титульный лист (приложение 1).
2. Задание на КП (на бланке).
3. Содержание.
4. Введение.
5. Основная часть.
6. Заключение.
7. Список используемой литературы.

Во введении приводятся сведения, касающиеся состояния вопроса, поставленного в задании, с обзором соответствующей технической литературы и патентов, анализ реализованных схем и конструкций. Окончанием введения должна быть постановка задачи проектирования. Объем введения не более 5 страниц.

Содержание основной части расчетно-пояснительной записки зависит от темы КП, метода решения поставленной задачи.

В заключении приводятся технические характеристики рассчитанного прибора или системы, показывается в какой степени, полученные характеристики отвечают требованиям технического задания.

В графическую часть курсового проекта входит выполнение чертежей, схем и графиков, перечень которых определяется с учетом характера задания.

### **3.2. Методические указания по выполнению отдельных разделов курсового проекта**

Источниками вторичного электропитания (ИВЭП) по своей физической сущности являются преобразователями вида и качества электрической энергии. Довольно редко (и только в автономных системах) удаётся осуществить питание всех устройств непосредственно от первичного источника электроэнергии, т.е. от преобразователя неэлектрической энергии в электрическую. В большинстве случаев первичный источник или стандартная сеть по частоте, стабильности и напряжению оказываются непригодными для питания электронных устройств. Поэтому возникает необходимость преобразования электрической энергии.

Класс устройств, преобразующих электрическую энергию, весьма разнообразен и охватывает диапазон мощностей от долей ватта до нескольких тысяч киловатт. Преобразователи электрической энергии используются в наземных стационарных установках, на автомобилях, кораблях и летательных аппаратах. Поэтому первичные источники могут быть весьма различными, а преобразуемые напряжения - постоянными от нескольких вольт или переменными до сотен вольт.

Основной задачей проектирования ИВЭП является их миниатюризация, т. е. получение заданной мощности при минимальном объеме. Преодоление существующих трудностей возможно путём перехода от преобразования энергии на стандартных низких частотах (50 или 400 Гц) к преобразованиям на частотах в десятки и сотни килогерц при преимущественно прямоугольной форме напряжения.

Непрерывные компенсационные стабилизаторы напряжения (НКСН) относятся к наиболее распространённым устройствам вторичного электропитания и предназначены для поддержания в нагрузке заданного уровня напряжения. По принципу действия НКСН является системой автоматического регулирования, работающей в режиме стабилизации. Наличие ООС по напряжению определяет его наиболее важные свойства.

Основными возмущающими воздействиями являются: изменение и пульсации напряжения источника питания и тока нагрузки, температурный и технологический разброс параметров и характеристик элементов стабилизатора (в некоторых случаях к ним следует отнести временной дрейф параметров). Возмущения могут быть приложены к любой точке схемы, но наибольшее дестабилизирующее воздействие они оказывают на входные цепи стабилизатора.

Выпрямительные устройства используются для преобразования переменного напряжения питающей сети в постоянное напряжение требуемой величины.

Выпрямительное устройство в большинстве случаев состоит из трансформатора, преобразующего переменное напряжение питающей сети в более высокое или низкое, полупроводниковых диодов, осуществляющих выпрямление переменного напряжения, и сглаживающего фильтра, уменьшающего пульсации выпрямленного напряжения.

Основным элементом выпрямительного устройства является диод, который представляет собой нелинейный прибор. Сопротивление диода для тока, протекающего в прямом направлении значительно меньше, чем сопротивление для обратного тока, т. е. диод обладает свойством односторонней проводимости. В настоящее время в основном применяются кремневые полупроводниковые диоды.

Для работы выпрямителей принципиальное значение имеет характер нагрузки, включённой на выходе выпрямителя, т. е. схема сглаживающего фильтра.

Выпрямители, работающие на фильтр, начинающийся с ёмкости (с ёмкостной реакцией), используются в широком диапазоне выпрямленных напряжений и мощностей. Трансформаторы этих выпрямителей имеют большую габаритную мощность по сравнению с выпрямителями с индуктивным фильтром. К недостаткам выпрямителей с ёмкостным фильтром относится большая амплитуда тока через диод.

Выпрямители без сглаживающего фильтра применяются сравнительно редко в тех случаях, когда пульсация напряжения на нагрузке не имеет существенного значения. Сглаживающий фильтр также часто отсутствует в схемах многофазных выпрямителей, имеющих малую пульсацию выпрямленного напряжения.

### Принцип работы ИВЭП

Рассмотрим на базе ИВЭП в котором в качестве усилителя сигнала рассогласования используется операционный усилитель.

Понижающий трансформатор подает на вход выпрямительного моста переменное напряжение  $U_{вх}$ . С выпрямителя на вход блока стабилизации поступает выпрямленное напряжение  $U_0$ .

При изменении стабилизированного напряжения  $U_H$  на величину  $\Delta U_H$  происходит пробой стабилитрона и через него идёт ток  $I_{ст ном}$ . Операционный усилитель (ОУ) усиливает положительное напряжение, в результате чего закрывается транзистор VT2, который управляет выходным транзистором VT1 - при закрытии VT2 закрывается VT1, в результате чего напряжение  $U_H$  на выходе стабилизатора понижается до тех пор, пока не станет равным величине  $U_H$ .

При понижении напряжения на нагрузке  $U_H$  на величину  $\Delta U_H$  стабилитрон закрывается, ОУ усиливает отрицательное напряжение и выдаёт его на базу последнего транзистора регулирующего элемента, в результате чего первый транзистор регулирующего элемента открывается, что приводит к увеличению  $U_H$ , таким образом происходит поддержание  $U_H$  на выходе стабилизатора.

### Исходные данные для проектирования

В зависимости от варианта задания в качестве усилителя сигнала рассогласования могут использоваться либо усилитель, построенный на базе микросхемы операционного усилителя, либо усилитель, построенный на базе транзистора.

Рассмотрим пример расчета параметров и выбора элементов ИВЭП для следующих исходных данных:

1. Выходное напряжение на нагрузке  $U_H=5В$ ;
2. Потребляемый на нагрузке ток  $I_H=5А$ ;
3. Допустимое отклонение напряжения на нагрузке при всех режимах эксплуатации  $\Delta U_H = \pm 2\%$ ;
4. Отклонения напряжения питающей сети  $dU_H = +15\%/-10\%$ ;
5. Допустимая пульсация сети  $\Delta U_{т пульс н} = 0.1В$ ;
6. Допустимая пульсация напряжения на нагрузке  $U_{т пульс н} = 5 мВ$ ;

7. Допустимая частота пульсации выходного напряжения  $f_{пульс} = 100$  Гц;
8. Допустимая амплитуда пульсации с частотой 100 Гц  $\Delta U_H = 0,1$  мВ
9. Температурный диапазон функционирования ИВЭП  $T = 0^\circ\text{C} - +30^\circ\text{C}$ .

## Этапы проектирования ИВЭП

### Этап 1. Анализ требований технического задания, выбор элементной базы и технологии изготовления

Анализ требований данного задания показывает, что стабилизатор должен иметь довольно высокие коэффициенты фильтрации и стабилизации, достаточно жёстко ограниченные параметры переходного процесса. Подлежит решению проблема обеспечения устойчивости. Не предъявлены специальные требования к ограничению технологического разброса параметров элементов, под воздействием различных возмущений изменения параметров должны быть учтены при обеспечении статических и динамических характеристик НКСН.

### Этап 2. Выбор функционально-необходимой части

Для уменьшения энергетических потерь выбирается схема с последовательным включением РЭ (регулирующий элемент), поскольку она более экономична, чем схема с параллельным включением РЭ. В качестве схемы управления регулирующим элементом принимается серийный операционный усилитель, а в качестве источника эталонного напряжения - параметрический стабилизатор напряжения.

### Этап 3. Расчёт регулирующего элемента

При статическом расчёте по току нагрузки  $I_P$  и максимальному напряжению питания  $U_{n\ max}$  определяются количество и тип РЭ. При этом основным критерием при выборе количества, как и при выборе режима их работы, является минимизация электрических потерь в РЭ. Помимо этого в статический расчёт входит выбор элементов источника эталонного напряжения, сопротивлений резисторов цепи ООС, определяется коэффициент усиления ОУ, необходимый для стабилизации, фильтрации, выходного сопротивления. Статический расчёт проводится в следующем порядке:

Выберем количество и тип транзисторов РЭ:

Ток коллектора оконечного транзистора

$$I_k = I_H(1 + d_y),$$

где  $d_y = 0,05$ , так как предполагается, что вспомогательные цепи управления увеличивают ток нагрузки коллектора транзистора РЭ на 5%:

$$I_k = 5(1 + 0,05) = 5,25A.$$

Количество транзисторов в РЭ определяется следующим образом:

$$n - 1 = \frac{\lg \frac{I_H}{I_{Oy} * h_{21Э}}}{\lg h_{21Э}}$$

где  $h_{21Эi} = h_{21Э0} * H_i$ ;  $m$  - расчётный коэффициент, выбираемый из интервала [0 - 4];  $I_{Oy}$  - выходной ток ОУ;  $h_{21Э0}$  - типовой (расчётный) статический коэффициент передачи тока транзистора;  $i$  - порядковый номер транзистора.

Принимая  $I_{Oy} = 8$  мА,  $h_{21Э0} = 20$  (для мощных транзисторов),  $h_{21Э02} = 50$  (для транзисторов малой и средней мощности) и выбирая для всех транзисторов  $m_p = 1$ , поскольку чем меньше  $m_p$ , тем выше КПД НКСН, получаем



$$H = 1 + 0,092 e^{-0,2(1+1)} = 0,42; h_{21Э1} = 8,4; h_{21Э2} = 21;$$

$$n - 1 = \frac{\lg \frac{5,25}{8 * 10^{-3} * 8,4}}{\lg 21} \approx 1,4$$

Для дальнейших расчётов принимаем количество транзисторов в РЭ  $n = 2$ .

Напряжение на РЭ (если применяются транзисторы одного типа проводимости) равно

$$U_{РЭ} = U_{КЭ}(1+m_p) + (n-1)U_{БЭ},$$

где  $U_{КЭ}$ ,  $U_{БЭ}$  - напряжение коллектор-эмиттер и напряжение база-эмиттер. Для  $U_{КЭ}=1,8В$  и  $U_{БЭ}=0,7В$

$$U_{РЭ} = 1,8 - (1+1) + 1 - 0,7 = 4,3В.$$

Минимально необходимое напряжение источника питания

$$U_{n.min} = U_n + U_{РЭmin} + U_{мпульс.н}, \text{ т. е. } U_{n.min} = 5 + 4,3 + 0,1 = 9,4В$$

С учётом допуска на изменения напряжения питания номинальный и максимальный уровни составляют:

$$U_{n.ном} = \frac{U_{n.min}}{1 - \delta_-} = \frac{9,4}{1 - 0,1} = 10,4В$$

$$U_{n.max} = U_{n.ном} * (1 + \delta_+) = 11,96В \approx 12В$$

Поскольку на выходе стабилизатора может быть включён конденсатор, то в момент включения всё напряжение источника питания будет приложено к РЭ. Поэтому выбор окончательного транзистора производится по  $U_{n.max}$  и

$$I_{k.max} = (1,5 \div 2) - I_k = 9А.$$

Выбираем транзистор КТ927В с параметрами  $I_{k.max} = 10А$ ,  $U_{кэ} = 35В$ ,  $h_{21Э1} = 40 \div 100$  (для дальнейших расчётов принимаем  $h_{21Э1} = 40$ ).

Второй транзистор РЭ выбираем по  $U_{n.max}$  и  $I_{k.max}/h_{21ЭР}$  предыдущего транзистора  $= 10/40 = 0,25А$ .

Выбираем транзистор КТ630Б с параметрами  $I_{k.max} = 1А$ ,  $U_{кэ} = 120В$ ,  $h_{21Э2} = 80 - 240$  (для дальнейших расчётов принимаем  $h_{21Э2} = 80$ ).

Определяем коэффициент усиления РЭ по напряжению (с учётом параметров транзисторов РЭ в режиме, близком к граничному:  $m_p = 1$ ;  $r_k = 10 \text{ Ом}$ ;

$$R_H \gg r_{э}, \text{ где } R_H = \frac{U_n}{I_n} = 10 \text{ Ом}, (R_H + r_{э})h_{21Э} > r_{б},$$

$$K_{РЭВ} \approx \frac{r_{к1}}{R_H} \Rightarrow K_{РЭВ} \approx \frac{10}{1} \approx 10$$

При таком режиме работы мощность рассеяния указанных транзисторов будет велика, что потребует достаточно большой поверхности теплоотвода.

Для транзистора КТ927В выбираем ребристый радиатор, т.к. у него большая площадь поверхности.

Пусть радиатор имеет следующие параметры:

Количество ребер:  $n = 16$ .

Шаг ребер:  $a = 0,01 \text{ м}$ .

Толщина ребер:  $b = 0,001 \text{ м}$ .

Высота ребра радиатора:  $H_1 = 0,03 \text{ м}$ .

Высота радиатора:  $D = 0,13 \text{ м}$ .

Толщина основания:  $h = 0,006 \text{ м}$ .

Степень черноты:  $\varepsilon = 0,9$ ,  $T_p = 85^\circ\text{C}$ .

Проведем проверочный расчет на предмет того, будет ли указанный радиатор рассеивать мощность 22,6 Вт.

$$1) \text{ Определим площади частей радиатора } S_1 = (n-1) * a * D = 0,0195 \text{ м}^2$$

$$S2=2(n-1)*H_1*D=0,117M^2.$$

$$S3=2(H_1+h)*D=0,00936 M^2$$

$$S4=n*b(D+2H_1)+2h*B=0,0049 M^2.$$

$$S5=B*D=0,0196 M^2.$$

2) Средняя арифметическая температура  $T_m=72,5^{\circ}C$ .

3) Температура ОС между ребрами  $66,036^{\circ}C$ .

4) Коэффициент теплообмена конвекцией  $\alpha_{K12}=4,83 Вт/м*К$ .

$$\alpha_{K345}=4,832 Вт/м*К.$$

5) Коэффициент теплообмена излучением  $\alpha_{Л12}=0.312 Вт/м*К$ .

$$\alpha_{Л345}=8,429 Вт/м*К.$$

6) Общая рассеиваемая мощность  $P=23,93 Вт$ , Таким образом выбранный радиатор обеспечивает рассеивание заданной мощности в  $22,6 Вт$ .

#### Этап 4. Расчёт источника эталонного напряжения.

Рассчитывается требуемый ТКН стабилизатора ( $\mu_{ЭТ}$ ) при условии, что температурные изменения выходного напряжения НКСН определяется стабилизатором эталонного источника напряжения:

$$\mu_{ЭТ} = \frac{2 * \delta U_n * 100\%}{c_B \Delta T},$$

где  $c_B$  - весовой коэффициент, определяющий степень воздействия температуры окружающей среды ( $\Delta T = T_{max} - T_{min}$  - диапазон её изменения) на выходное напряжение стабилизатора. Для  $c_B = 1$  получаем

$$\mu_{ЭТ} = \frac{2 * 0,02 * 100}{1 * 30} = 0,13\% / ^{\circ}C.$$

По ТКН и условию  $U_{ст.макс} < U_n$  выбираем стабилизатор типа КС139А с характеристиками  $\mu_{ЭТ} = -0,10 \%/^{\circ}C$ ,  $r_{диф} = 60 Ом$ ,  $I_{ст. ном} = 10mA$ ,

$$U_{ст.ном} = 3,9В \pm 10\%.$$

Определяем сопротивление балластного резистора

$$R_6 = \frac{U_n - U_{ст.макс}}{I_{ст.ном}} = \frac{5 - 4,29}{10 * 10^{-3}} = 71 Ом$$

Мощность, рассеиваемая на этом резисторе

$$P_6 = I_{ст}^2 R_6 = 0,01^2 * 71 = 7,1 * 10^{-5} Вт.$$

Выбираем резистор типа С2-23 мощностью  $0,062 Вт$  с сопротивлением  $71 Ом$ .

По значению  $U_n$  и  $U_{ст.ном}$  определяется коэффициент передачи цепи ООС по напряжению

$$\beta_{ОС} = \frac{U_{ст.ном}}{U_n} = \frac{3,9}{5} = 0,78.$$

#### Этап 5. Расчёт усилителя сигнала рассогласования.

Определяется коэффициент усиления ОУ по требованиям к коэффициенту стабилизации и выходному сопротивлению стабилизатора

$$K_{\beta ОС} = \max \left\{ \alpha_B \frac{\delta U_n * U_n}{\delta U_n * U_n K_{мэе}} ; b_B \frac{\Delta I_n (h_{21Эм} * r_Э + R_y + r_{\#})}{\delta U_n * U_n * h_{21Эм}} \right\},$$

где  $\alpha_B$  и  $b_B$  - весовые коэффициенты, связанные соотношением  $\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{b_B} = 1 - \frac{1}{c_B}$  и выбираемые так, чтобы значение  $K_{\beta ОС}$  (коэффициент передачи разомкнутого контура), рассчитываемое по выражениям в фигурных скобках, было примерно одинаковым.

Для  $\alpha_B = 70$  и  $b_B = 20$

$$K_{\beta OC} = \max \left\{ 70 \frac{0,15 * 10,4}{0,02 * 5 * 10} \approx 109; 20 \frac{0,5(40 * 05 + \frac{400}{80^2} + 2)}{0,01 * 5 * 40} \approx 110 \right\}$$

Коэффициент усиления ОУ определяется из следующего соотношения

$$K_{OY} = \frac{K_{\beta OC}}{\beta_{OC}} = \frac{110}{0,78} \approx 142$$

По  $K_{OY}$  выбирается ОУ типа К140УД6 с параметрами:  $K_{OY} = 30000$ ,

$$U_n = \pm 5 \div 20В, I_{ном} = 3мА, I_{вх} = 100нА, \Delta I_{ex} = 25мА, \Delta \Delta I_{ex} = 0,1нА / ^\circ C,$$

$$U_{др.нр.} = 30мкВ / ^\circ C$$

Определяем сопротивления резисторов в цепях смещения ОУ и ООС:

$$R_1 = \frac{U_{cm}}{q_d * I_{ex}} = \frac{3,9}{100 * 0,1 * 10^{-6}} = 390кОм$$

$$R_2 = \frac{U_H}{q_d * I_{ex}} - R_1 = \frac{5}{100 * 0,1 * 10^{-6}} - 390000 = 110кОм$$

где  $q_d = \frac{I_d}{I_{ex}} = 100$ ;  $I_d$  – ток делителя  $R_1 R_2$ .

Для выбора резисторов рассчитаем их номинальные мощности:

$$P_1 = I_d^2 * R_1 = (1 * 10^{-5})^2 * 3,9 * 10^5 = 3,9 * 10^{-5} Вт$$

$$P_2 = I_d^2 * R_2 = (1 * 10^{-5})^2 * 1,1 * 10^5 = 1,1 * 10^{-5} Вт$$

Выбираем резистор  $R_1$  - С2-23 с параметрами  $P=0,062$  Вт,  $R = 390кОм$ .

Выбираем резистор  $R_2$  - С2-23 с параметрами  $P=0,125$  Вт,  $R = 110кОм$ .

Уточняется изменение выходного напряжения НКСН при воздействии температуры окружающей среды с учётом температурного дрейфа характеристик ОУ:  $\delta U_H = S_H * A$ , где

$$A \approx \frac{R_o}{R_o + R_v} * \frac{\Delta E_{cm}}{U_H} + \frac{\Delta U_{др.нр.}}{U_H} + \frac{R_1 * \Delta \Delta I_{ex}}{U_H}$$

$$S_n = \frac{(R_1 + R_2) * (R_o + R_v)}{(R_1 * R_o - R_2 * R_c)}$$

$$\text{где } R_c = r_{диф} = 600 \text{ Ом,}$$

$$\Delta U_{др.нр.} = U_{др.нр.} \Delta T = 9 * 10^{-4},$$

$$\Delta E_{cm} = \mu_{cm} * U_{cm} * \Delta T * 10^{-2} = 0,117$$

## Этап 6. Определение ёмкости выходного конденсатора.

Уточняется коэффициент передачи разомкнутого контура по требованию к подавлению пульсаций источника питания. При этом решается вопрос о необходимости включения в выходную цепь НКСН конденсатора большой ёмкости.

Из предварительного расчёта следует, что для обеспечения допустимых изменений выходного напряжения стабилизатора в установившемся режиме (при медленных изменениях возмущений со стороны источника питания, потребителя и температуры окружающей среды) требуется коэффициент передачи разомкнутого контура не менее 110. Для заданного подавления пульсаций источника питания требуемое значение  $K_{\beta OC}$  должно быть не менее

$$K_{\phi} = \frac{U_{т.пульс.н}}{U_{т.пульс.н}} = \frac{0,1}{0,005} = 20$$

Так как подавление пульсаций осуществляется контуром регулирования, то необходимость крупногабаритного конденсатора как элемента пассивного фильтра отпадает.

### Расчёт выпрямителя с ёмкостным фильтром.

Расчёт выпрямителя с ёмкостным фильтром сводится к выбору схемы и типа диодов, расчёту режима работы диодов, определению параметров трансформатора и сглаживающего фильтра.

Выбор схемы выпрямителя с ёмкостным фильтром зависит от ряда факторов, которые должны учитываться в зависимости от требований, предъявляемых к выпрямительному устройству. К таким факторам относятся выпрямленное напряжение и мощность, частота пульсации выпрямленного напряжения, число диодов, обратное напряжение на диоде, коэффициент использования мощности трансформатора, напряжение вторичной обмотки,

Выбираем однофазную мостовую схему.

Схема характеризуется высоким коэффициентом использования мощности и поэтому используется в устройствах повышенной мощности при выходных напряжениях от десятков до сотен вольт.

$$I_{\text{пр.ср}} = \frac{I_0}{2} = \frac{5,25}{2} = 2,625 \text{ A}$$

$$U_{\text{обр.и}} \approx 1,5U_0 = 1,5 * 10,4 = 15,6 \text{ B}$$

где  $I_0 = I_k, U_0 = U_{\text{н.ном}}$

По полученным значениям  $I_{\text{пр.ср}}$  и  $U_{\text{обр.и}}$  выбираем диоды КД202А с параметрами:

$$I_{\text{пр.ср}} = 3,5 \text{ A}, U_{\text{обр.и}} = 50 \text{ B}, U_{\text{пр}} = 0,9 \text{ B} .$$

Дифференциальное (внутреннее) сопротивление диода можно определить по приближительной формуле

$$r_{\text{диф}} \approx \frac{U_{\text{пр}}}{3I_{\text{пр.ср}}} \approx \frac{0,9}{3 * 3,5} \approx 0,09 \text{ Ом}$$

Мощность, рассеиваемая на каждом диоде равна

$$P_{\text{д}} = I_{\text{пр.ср}} U_{\text{пр}} = 2,625 * 0,9 = 2,36 \text{ Вт} .$$

В соответствии с рекомендациями [2] для диодов выбираем алюминиевый пластинчатый радиатор толщиной 3 мм, работающий в условиях естественной конвекции. Из-за сложностей изолирования диодов от радиаторов каждый диод установлен на отдельный радиатор, который изолируется от корпуса при сборке устройства.

Степень черноты радиатора  $e = 0,9$ .

Высота пластины  $D=0,04$  м.

Для  $D=0,04$  м по графику определяем коэффициент неравномерности температуры  $g=0,99$ .

Допустимая средняя поверхностная температура радиатора  $128,7^\circ\text{C}$ .

Перегрев радиатора  $98,7^\circ\text{C}$ .

Коэффициент теплообмена при естественной конвекции  $8,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{K}}$

Коэффициент теплообмена излучением  $10,26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

Суммарный коэффициент теплообмена  $19,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{K}}$

Площадь теплоотдающей пластины радиатора  $0,00187 \text{ м}^2$ .

Размеры пластины радиатора для каждого диода  $D:B:S=40:20:3$  мм. В центре пластины необходимо сделать отверстие с диаметром 5,5 мм и закрепить в нем диод с помощью шайбы и гайки М5.

Сопrotивление обмоток трансформатора, приведённое к фазе вторичной обмотки, можно определить до расчёта трансформатора по приближённой формуле (для выпрямленных токов не менее 20 мА):

$$r_m \approx k_{\Gamma} \frac{U_0}{I_0 * f_c * B_m} \sqrt[4]{\frac{s * f_c * B_m}{U_0 * I_0}}$$

где  $k_{\Gamma}$ - коэффициент, зависящий от схемы выпрямителя,  $k_{\Gamma} = 3,5$ ;  $s$  -число стержней трансформатора, несущих обмотки - для трансформатора с магнитопроводом броневого типа  $s=1$ ;  $B_m$ - магнитная индукция в магнитопроводе трансформатора,  $B_m = 1,6$ Тл;  $f_c$  - частота питающей сети:

$$f_{\text{пульс}} = m * f_c \Rightarrow f_c = \frac{f_{\text{пульс}}}{m}, m = 2, f_c = \frac{100}{2} = 50 \text{Гц}$$

$$r_m \approx 3,5 \frac{10,4}{5,25 * 50 * 1,6} \sqrt[4]{\frac{1 * 50 * 1,6}{10,4 * 5,25}} \approx 0,095 \text{Ом}$$

Индуктивность рассеяния обмоток трансформатора, приведённую к фазе вторичной обмотки, определим по формуле:

$$L_s = R_L \frac{s * U_0}{(p-1)^2 * I_0 * f_c * B_m} \sqrt[4]{\frac{U_0 * I_0}{s * f_c * B_m}}$$

где  $R_L$  - коэффициент, зависящий от схемы выпрямителя,  $R_L = 0,05$ ;  $p$  - число чередующихся секций обмоток, если вторичная обмотка наматывается после первичной (или наоборот),  $p=2$

$$L_s = 0,05 \frac{1 * 10,4}{(2-1)^2 * 5,25 * 50 * 1,6} \sqrt[4]{\frac{10,4 * 5,25}{1 * 50 * 1,6}} \approx 0,001$$

Определим тангенс угла  $\varphi$ ., характеризующего соотношение между индуктивным и активным сопротивлениями фазы выпрямителя:

$$\text{tg}\varphi = \frac{2\pi * f_c * L_s}{r}$$

$$\text{где } r = 2r_{\text{диф}} + r_m = 2 * 0,09 + 0,095 = 0,275 \text{м.}$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{2\pi * 50 * 0,001}{0,275} \approx 1,14 \Rightarrow \varphi = \text{arctg}(1,14) \approx 49^\circ$$

Определим основной расчётный коэффициент  $A_0 = \frac{I_0 * r}{m * U_0}$ , где  $m$  - число фаз выпрямления, которое равно числу импульсов тока через ёмкость фильтра  $C_0$  за период.

$$A_0 = \frac{5,25 * 0,275}{2 * 10,4} \approx 0,07.$$

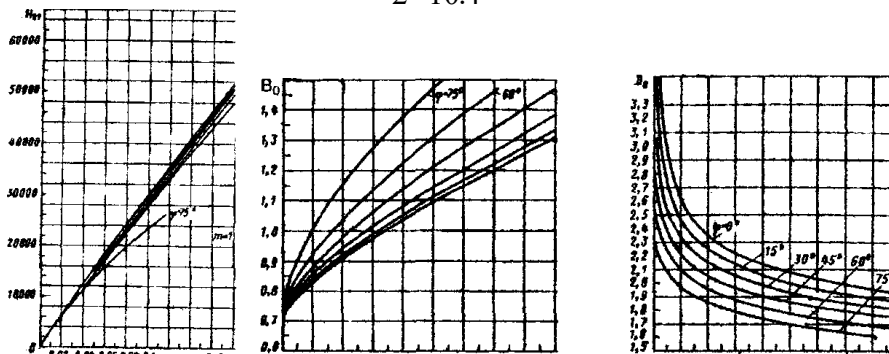


Рисунок 1 – Номограммы для определения  $B_0, D_0, F_0$

Считая угол  $\varphi$  равным  $45^\circ$ , по графикам находим вспомогательные коэффициенты  $B_0, D_0, F_0$ :  $B_0 = 1,16$ ,  $D_0 = 1,88$ ,  $F_0 = 4,52$ . Находим коэффициент  $H_{02}$  (по  $\varphi$ ,  $A_0$ ,  $m = 2$ ):  $H_{02} = 14000$ .

Определим ЭДС фазы вторичной обмотки трансформатора  $E_2$  по формуле  $E_2 = B_0 \cdot E_0$ , где  $E_0 = U_0$ ,  $E_2 = 1,16 \cdot 10,4 = 12,06В$ .

Уточним значение обратного напряжения по более точной формуле

$U_{обр.и} = E_2 \cdot \sqrt{2} = 12,06 \cdot \sqrt{2} \approx 17,06В$  Уточнённое напряжение прямого импульсного тока

$$I_{нр.и} = \frac{I_0}{2} F_0 = \frac{5,25}{2} * 4,52 = 11,87 А$$

Действующее значение тока вторичной обмотки рассчитаем по формуле

$$I_2 = D_0 \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 1,88 * \frac{5,25}{\sqrt{2}} \approx 6,98 А$$

Входную ёмкость фильтра  $C_1$ , мкФ определяем по формуле

$$C_1 = \frac{H_{02} * 100\%}{r * f_c * R_{n01}}$$

где  $R_{n01}$  во избежание необходимости применения конденсаторов очень большой ёмкости рекомендуется выбирать не менее 2-3%. Для  $R_{n01} = 10\%$

$$C_1 = \frac{14000 * 100\%}{0,275 * 50 * 10} \approx 10180. мкФ$$

Рабочее напряжение конденсатора должно быть не менее  $U_c = E_2 \cdot \sqrt{2} \approx 15В$ . Выбираем три конденсатора К50-24 с параметрами  $U = 15В$ ,  $C = 4700 мкФ$ , включённых параллельно.

Определим коэффициент трансформации  $n \approx \frac{E_2}{U_1} \approx \frac{12,06}{220} \approx 0,055$ .

Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора (без учета тока холостого хода) определим как  $I_1 = n * I_2 = 0,055 * 6,98 = 0,384$ .

### Расчёт однофазного трансформатора.

Исходными данными для расчёта трансформатора являются: назначение, условия работы и требуемый срок службы; напряжение и частота питающей сети, электрическая схема трансформатора; действующие напряжения вторичных обмоток; допустимые напряжения короткого замыкания  $U_k$  или наличие тока холостого хода  $I_{0х}$  (при наличии ограничений по этим параметрам).

Расчёт трансформатора состоит из следующих этапов: выбор конструктивного исполнения, типа магнитопровода, расчётных критериев; расчёт габаритной мощности, определение типоразмера магнитопровода; выбор электромагнитных нагрузок: индукции, плотности тока; электрический расчёт трансформатора.

1. Расчёт габаритной мощности. Выбор типоразмера магнитопровода. Габаритная мощность ТММ определяется в зависимости от электрической схемы рассчитываемого трансформатора

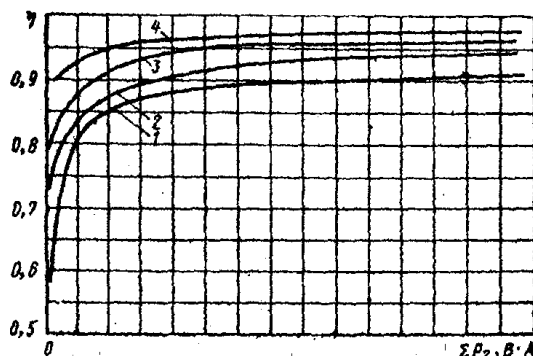


Рисунок 2 – Зависимость КПД трансформатора от суммарной выходной мощности.

$$P_r = \frac{\sum P_2}{2\Psi} (1 + \Psi)$$

где  $P_2 = E_2 \cdot I_2$  - суммарная выходная мощность; коэффициент  $\Psi = \eta_m \cdot \cos\varphi$ , для ТММ преобразователей напряжения при работе на выпрямитель  $\Psi \approx \eta_m$ .

При этом КПД ( $\eta_m$ ) выбирается по графику в зависимости от суммарной выходной мощности  $P_2 = 12,06 \cdot 6,98 = 84,2 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

$$\eta_m = 0,87$$

По найденному значению габаритной мощности и заданным условиям расчёта ( $f_c = 50 \text{ Гц}$ ) выбираем типоразмер магнитопровода ШЛ20 х 40.

Трансформатор броневое типа ( $f = 350 \text{ Гц}$ ,  $\Delta T_{k.c.p.} = 55^\circ \text{C}$ , сталь 3412(Э320) с толщиной  $\delta = 0,35 \text{ мм}$ ).

$$a = 20 \text{ мм}, b = 40 \text{ мм}, c = 20 \text{ мм}.$$

Для магнитопровода ШЛ20×40:

$W_0 = 4,3^{\text{ВИТКОВ/В}}$  - число витков на 1 вольт ЭДС, индуцируемой в обмотке трансформатора;

$U_k = 8,0\%$  - напряжение короткого замыкания;

$j = 2,6 \text{ А/мм}^2$  -, - плотность тока.

### Электрический расчет трансформатора.

#### Расчет падения напряжения в обмотках

Падение напряжения в обмотках определяется по формуле

$$U_{k.a.} = 0.01 \cdot j \cdot \rho \cdot k_{cx} \cdot W_0 \cdot l_w$$

где  $\rho = \rho_0 [1 + 0.004(T - T_0)]$ , для меди  $T_0 = 15^\circ \text{C}$ ;  $T = 30^\circ \text{C}$ ;  $\rho_0 = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ,  $k_{cx}$  - коэффициент, характеризующий схемное выполнение обмоток ТММ, коэффициент

$$k_p = \frac{\sum P_2}{\sum P_2 + \sum P_3}$$

характеризует отношение выходной мощности обмоток без средней точки к суммарной выходной мощности,

$$k_p = 1, k_{cx} = 2$$

$$l_w = (\pi \cdot x + 2 \cdot y + 2) \cdot a, x = \frac{c}{a}, y = \frac{b}{a}$$

$$l_w = \left( \frac{\pi \cdot c}{a} + \frac{2 \cdot b}{a} + 2 \right) \cdot a = 182.8$$

$$U_{k.a.} = 0.01 \cdot 2.6 \cdot 0.019 \cdot 2 \cdot 3.9 \cdot 182.8 \approx 0.7 \text{ В}$$

#### Расчет числа витков обмоток

Число витков первичной и вторичной обмоток определяется по зависимостям приведенным ниже:

$$W_1 = W_0 \cdot U_1 \left( 1 - \frac{U_k}{2} \right) = 3.9 \cdot 220 \left( 1 - \frac{0.085}{2} \right) = 826$$

$$W_2 = W_0 \cdot U_2 \left( 1 + \frac{U_k}{2} \right) = 3.9 \cdot 12.09 \left( 1 + \frac{0.085}{2} \right) = 49$$

сечение и диаметр провода  $i$ -ой обмотки определяются по формуле

$$q_i = \frac{I_i}{j}; d_i = 1.13\sqrt{q_i}$$

$$q_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{0.384}{2.6} \approx 0.15 \text{ мм}^2, d_1 = 1.13\sqrt{0.15} \approx 0.43 \text{ мм}$$

$$q_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{6.98}{2.6} \approx 2.69 \text{ мм}^2, d_2 = 1.13\sqrt{2.69} \approx 1.85 \text{ мм}$$

#### Определение марки обмоточного провода

Марка обмоточного провода:

- для первичной обмотки  $d_1 = 0,44 \text{ мм}$ ,  $q_1 = 0,1521 \text{ мм}^2$ ;
- для вторичной обмотки  $d_2 = 1,88 \text{ мм}$ ,  $q_2 = 2,776 \text{ мм}^2$ . Диаметр провода с изоляцией

ПЭВ-2:  $d_{u1} = 0,5 \text{ мм}$ ,  $d_{u2} = 3 \text{ мм}^2$ ,

ПЭВ-2 - провод медный, круглого сечения, изолированный лаком ВЛ-931, с изоляцией нормальной толщины.

#### Особенности конструкции спроектированного стабилизатора.

Спроектированный стабилизатор напряжения имеет  $U_c = 220 \text{ В}$  и  $U_H = 5 \text{ В}$  и состоит из понижающего трансформатора с типоразмером магнитопровода ШЛ20×40, выпрямительного моста на диодах, ёмкостного фильтра и блока стабилизации, выполненного на микросхеме К140УД6.

На выходе вторичной обмотки трансформатора  $I_2 = 6,98 \text{ А}$  и  $U_2 = 12,06 \text{ В}$ , что соответствует входным параметрам диодного моста. Диодный мост состоит из четырёх диодов типа КД202А. Данный тип диодов имеет параметры, соответствующие расчётным  $U_{обр.и} = 50 \text{ В}$ ,  $I_{нр.ср.} = 3,5 \text{ А}$ .

Для сглаживания токовых пиков в схему включён ёмкостный фильтр. Имея амплитуду пульсаций напряжения источника питания  $U_{т.пульс.п} = 0,1 \text{ В}$  и  $U_{н.мин} = 9,4 \text{ В}$  получаем коэффициент

$$\text{пульсации} \frac{U_{т.пульс.п}}{U_{н.мин}} * 100\% \approx 1\%$$

Проведя необходимый расчёт, получили, что для подавления пульсаций первичного источника питания необходим фильтр, состоящий из трёх конденсаторов марки К50-24-15В-4700мкФ.

В соответствии с током нагрузки  $I_H = 5 \text{ А}$  в цепь включили мощный транзистор VT1 марки КТ927В. Мощность рассеяния данного транзистора велика

$$P_p = U_{рз} * I_k = 4,3 * 5,25 = 22,6 \text{ Вт},$$

Поэтому его необходимо установить на ребристом теплоотводе.

Блок стабилизации смонтирован на разъёмной плате. В качестве разъёма выбран разъём марки СН053-20, имеющий 20 выводов, что полностью соответствует спроектированной плате.

На плате размещаются транзистор средней мощности марки КТ630Б (коэффициент усиления РЭ по напряжению с учётом параметров транзисторов в режиме близком к граничному  $K_{РЭ} = 10$ ); стабилитрон марки КС139А с  $T_{KH} = -0,1\% / ^\circ\text{C}$  и  $U_{ст.ном} = 3,9 \text{ В} < U_H = 5 \text{ В}$ ; балластный резистор  $R_6 = R_7 = 710 \text{ Ом}$  марки С2-23-0,062-71 Ом  $\pm 5\%$ ; микросхема К140УД6, выполняющая роль усилителя сигнала рассогласования, имеет  $K_{ou} = 30000$ ; резисторы  $R_2$  марки С2 - 23 - 0,062 - 390кОм  $\pm 5\%$  и  $R_3$  марки С2-23 - 0,062-110кОм  $\pm 5\%$ , входящие в цепи смещения ОУ и ООС ( $\beta_{OC} = 0,78$ ); конденсаторы  $C_1 - C_3$  марки К50 - 24 - 4700мкФ x 15В.



### Список использованных источников

1. Шука А. А. Электроника : учеб. пособие для вузов / А. А. Шука ; под ред. А. С. Сигова .— СПб. : БХВ-Петербург, 2005 .— 800 с.
2. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника: учебник в 2 ч. Ч.1. Электронные устройства информационной автоматики / В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко; под общ. ред. А.А. Краснопрошеной. – Киев: Выща школа. 1989. – 430 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
4. Токхейм Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм; пер. с англ. В.А. Курочкина, В.М. Матвеева; под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
5. Источники вторичного электропитания / С.С.Букреев, В.А.Головацкий, Г.Н.Гулякович и др.; Под.ред. Ю.И.Колева.-М.: Радио и связь, 1983.-280с.
6. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Г.С.Найвельт, К.Б.Надель, Р.И.Хусаинов и др.; Под.ред. Г.С.Найвельта .-М.: Радио и связь. 1983г.-576с.
7. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, опто-электронные приборы: Справочник /А.В.Баюков, А.Б.Гицкевич, А.А.Зайцев и др.; Под общей редакцией Н.Н.Горюнова.-3-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1987.-744с.
8. Полупроводниковые приры: транзисторы. Справочник /В.А.Аронов, А.В.Болоков, А.А.Зайцев и др.; Под общей редакцией Н.Н.Горюнова .-М.: Энергоатомиздат, 1982.-904с.
9. Аксенов А.И., Глушкова Д.Н. Мощные транзисторы в радиоустройствах.
10. Резисторы (справочник)/ Ю.Н.Андреев, А.И.Антонин, Д.М.Иванов и др.; Под ред. И.И.Четвертикова.-М.: Энергоатомиздат, 1981.-352с.
11. ГОСТ 2.721-74 ; ГОСТ 2.756-76 Электросхемы.
12. ГОСТ 2.307-68; ГОСТ 2.316-68; ГОСТ 2.417-78 Правила выполнения чертежей печатных плат.
13. ГОСТ 2.710-81 Обозначения на электросхемах. Р-50-77-88 Правила выполнения графиков и диаграмм.

Приложение А – Варианты задания на курсовой проект

№ п/п	Усилитель	$U_c$	$f_c$	$a_c$	$b_c$	$U_H$	$U_H^{\max}$	$U_H^{\min}$	$I_H^{\max}$	$I_H^{\min}$	$t_{окр}^{\max}$	$t_{окр}^{\min}$	$K_{cm}$	$r_H$	$U_{нул}$ мВ	$\gamma_H$ $\frac{мВ}{^{\circ}C}$	$U_H$	$I_H$	$\delta U_H$	$\delta U_{II}$	$U_m$ нул В	$U_m$ нул нагр, мВ	$\Delta U_H$ мВ	$f_{нул}$ Гц	$T$ $^{\circ}C$
1	Транзист.	220	50	10%	15%	12	15	10	1	0	60	-60	>300	<0.2	5	<5									
2	Микросх.																5	5	$\pm 2\%$	+15% -10%	0.1	5	0.1	100	$\pm 60$
3	Транзист.	120	500	15%	15%	30	35	27	0.5	0	60	-60	>400	<0.1	2	<3									
4	Транзист.	220	50	10%	10%	24	27	22	1	0.1	60	-60	>350	<0.1	3	<10									
5	Микросх.																12	0.35	$\pm 0.5\%$	$\pm 15\%$	0.2	10	0.05	100	$\pm 60$
6	Транзист.	40	1000	10%	10%	5	7	4	1	0.5	60	-60	>100	<0.1	10	<15									
7	Транзист.	220	50	10%	15%	45	50	40	0.7	0.1	60	-60	>300	<0.2	5	<5									
8	Микросх.																24	0.5	$\pm 1\%$	$\pm 15\%$	0.5	15	0.8	100	$\pm 60$
9	Микросх.																15	1	$\pm 0.5\%$	$\pm 10\%$	0.1	10	0.2	1000	$\pm 60$
10	Транзист.	36	400	10%	15%	9	12	7	1	0	60	-60	>400	<0.2	10	<10									
11	Транзист.	220	50	10%	15%	60	65	55	0.2	0	60	-60	>100	<0.1	5	<5									
12	Транзист.	220	50	10%	15%	15	18	12	0.7	0	60	-60	>400	<0.2	5	<2									
13	Микросх.																5	1	$\pm 0.5\%$	$\pm 10\%$	0.3	10	0.1	800	$\pm 60$
14	Микросх.																5	3	$\pm 1\%$	$\pm 10\%$	0.1	5	0.1	100	$\pm 60$
15	Микросх.																9	5	$\pm 1\%$	$\pm 15\%$	0.1	5	0.3	100	$\pm 60$
16	Микросх.																10	1.5	$\pm 0.5\%$	$\pm 10\%$	0.1	10	0.1	800	$\pm 60$
17	Микросх.																15	3	$\pm 1\%$	$\pm 10\%$	0.05	5	0.2	100	$\pm 60$
18	Транзист.	120	400	10%	15%	15	20	12	0.5	0.1	60	-60	>400	<0.1	10	<10									
19	Транзист.	220	50	10%	15%	13	15	10	1	0	60	-60	>300	<0.5	5	<10									
20	Микросх.																7	0.8	$\pm 1\%$	$\pm 15\%$	0.1	10	0.1	100	$\pm 60$
21	Микросх.																20	0.6	$\pm 2\%$	$\pm 10\%$	0.1	5	0.3	800	$\pm 60$
22	Микросх.																9	1	$\pm 1\%$	$\pm 15\%$	0.2	10	0.1	100	$\pm 60$
23	Транзист.	220	50	10%	15%	7	8	6	0.8	0	40	-35	>300	<0.1	10	<15									
24	Транзист.	36	400	10%	15%	18	20	15	0.5	0	35	-35	>400	<0.1	15	<10									
25	Микросх.																15	5	$\pm 0.5\%$	$\pm 10\%$	0.1	10	0.2	100	$\pm 40$
26	Микросх.																18	1.5	$\pm 0.5\%$	$\pm 10\%$	0.1	10	0.1	800	$\pm 50$