Содержание

**Введение**

1. Литературный обзор
2. Анализ технического задания
3. Синтез структурной схемы
4. Анализ принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой
5. Выбор элементной базы
6. Расчет принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой по постоянному току
7. Расчет принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой по временному току
8. Компоновка печатного узла
   1. Расчет посадочных мест
   2. Расчет на вибропрочность
9. Расчет надежности мультивибратора управления разверткой
10. Расчет теплового режима

**Заключение**

**Список используемой литературы**

# **1. Литературный обзор**

Для получения импульсов прямоугольной формы широко используются релаксационные генераторы, построенные на основе усилителей с положительной обратной связью. Релаксационные генераторы, в которых положительная обратная связь создается с помощью RC-цепей, называют мультивибраторами. Причем глубина положительной обратной связи остается почти постоянной в широкой полосе частот. Если положительная обратная связь создается с помощью импульсного трансформатора, то такие релаксационные генераторы называют блокинг-генераторами.

Мультивибраторы могут работать в двух режимах: автоколебательном и ждущем.

В автоколебательном режиме схема имеет два квазиустойчивых состояния, длительность каждого из которых определяется времязадающей цепью.

В ждущем режиме схема имеет одно устойчивое состояние, в котором может находиться неограниченно долго. Под действием короткого запускающего внешнего импульса схема скачком переходит в квазиустойчивое состояние, а затем самостоятельно возвращается в исходное состояние, формируя импульс заданной длительности.

Широкополосность цепи обратной связи является характерным признаком всех генераторов импульсов, причем во всех случаях на частоте w->0 выполняется условие Ky<1. В противном случае устройство превратится в триггер. Это условие свидетельствует о наличии накопителя энергии, уменьшающего петлевое усиление на низких или инфранизких частотах до уровня, при котором невозможно появление устойчивого состояния.

Различают «мягкий» и «жесткий» режимы возбуждения генераторов. При мягком режиме петлевое усиление больше единицы (|Ky|>1), в момент включения напряжения питания. Тогда любые шумы в системе, вызванные случайными факторами, усиливаются и через цепь обратной связи подаются на вход усилителя в фазе, совпадающей с фазой входного сигнала, причем величена этого дополнительного сигнала больше того возмущения, которое вызвало его появление. Соответственно увеличивается выходное напряжение, что приведет к дальнейшему увеличению входного сигнала и т.д. в итоге случайно возникшее возмущение приведет к непрерывному нарастанию выходного сигнала, которое достигло бы бесконечного большого значения, если бы это было возможно. Однако при определенном уровне сигнала начинают проявляться нелинейные свойства электронного усилителя. Коэффициент усиления начинает уменьшаться с увеличением значения сигнала в системе. При выполнении условия Ky=1 амплитуда автоколебаний стабилизируется и автогенератор начинает давать колебания, имеющие постоянную амплитуду.

Жесткий режим возбуждения отличается от рассмотренного тем, что при нем для возникновения автоколебаний необходимо приложить к устройству дополнительный внешний сигнал, не меньший определенного значения. Это связанно с особенностями нелинейности усилительного устройства. В момент включения напряжения питания и отсутствия автоколебаний Ky<1. Поэтому они сами собой возникнуть не могут. Коэффициент усиления К зависит от амплитуды выходного сигнала. Поэтому если на вход усилителя подать дополнительный электрический сигнал, то при определенном его значении начнет выполнятся условие Ky>1. При этом возникнут автоколебания, амплитуда которых будет нарастать и примет стационарное значение примет Ky=1.

Мультивибратор управления разверткой, примененный в осциллографе С1-67, также относится к классу релаксационных генераторов, т.е. генераторов, у которых изменение состояния отдельных приборов происходят в результате процесса регенерации.

2. Анализ технического задания

Разработать мультивибратор управления разверткой осциллографа С1-67 со следующими параметрами.

1. Напряжение питания UП1=±10 В, UП2=+6 В.
2. Максимальное выходное напряжение Um=3 В.
3. Режим работы: ждущий, автоколебательный.
4. Частота следования импульсов в автоколебательном режиме от 2,0 Гц до 1,0 МГц.
5. Изменение частоты следования импульсов – дискретное.
6. Предельное отклонение амплитуды выходного напряжения ±0,5 В.
7. Амплитуда тока выходных импульсов Im>=0,5 mA.
8. Конструкция – печатная плата, установленная внутри осциллографа.

Прибор должен нормально работать в условиях:

1. Рабочая температура окружающего воздуха от –30 до +500 С.
2. Предельная температура от –50 до +650 С.
3. Отн. влажность воздуха до 98% при температуре +350 С.

3. Синтез структурной схемы



Структурная схема мультивибратора управления разверткой

Мультивибратор управления разверткой (рис. 1) представляет собой сочетание генератора импульсов на туннельном диоде с усилителем по схеме с общим эмиттером.

Управляемый источник тока позволяет задавать любое положение рабочей точки на характеристике туннельного диода, что позволяет переводить мультивибратор управления разверткой из стабильного состояния в режим самозапуска.

Цепь коррекции позволяет изменять длительность импульсов генератора импульсов.

С выхода усилителя напряжения управляющий импульс поступает на вход схемы генератора пилообразного напряжения и через эмиттерный повторитель на схему формирования блокирующего импульса.

**4. Анализ принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой**

Принципиальная схема мультивибратора управления разверткой осциллографа С1-67



Мультивибратор управления разверткой (рис.2) состоит из следующих основных каскадов:

* автоколебательного генератора, выполненного на туннельном диоде VD3;
* усилителя напряжения на транзисторе VT2;
* эмиттерного повторителя на транзисторе VT3;
* источника тока на транзисторе VT1.

Автоколебательный генератор собран туннельном диоде VD3. Диод включен в цепь эмиттера транзистора VT1. Положение рабочей точки на вольт-амперной характеристике диода выбирается на участке, где диод имеет отрицательное дифференциальное сопротивление. Переменное напряжение, снимаемое с диода через резистор R7 поступает на следующий каскад мультивибратора – усилитель напряжения, который собран на транзисторе VT2, включенного по схеме с общим эмиттером.

В исходном состоянии рабочая точка выбирается так на характеристике туннельного диода VD3, что усилитель на транзисторе VT2 заперт. Импульсы положительной полярности, поступающие на базу транзистора VT2 из канала синхронизации, переводят туннельный диод VD3 во второе устойчивое состояние, при этом усилитель на транзисторе VT2 открывается и потенциал на его коллекторе понижается, вырабатывается отрицательный управляющий импульс.

Усилитель имеет большой коэффициент усиления, который определяется соотношением значений сопротивлений R10 и R6 и параметром h11 транзистора VT2. С выхода усилителя напряжения сигнал поступает на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе VT3. Резисторы R8, R9, задают положение рабочей точки транзистора на ВАХ, а резистор R11 обеспечивает отрицательную обратную связь по постоянному току, которая стабилизирует положение рабочей точки.

С выхода мультивибратора управляющий импульс поступает на вход схемы генератора пилообразного напряжения и через эмиттерный повторитель VT3 на схему формирования бланкирующего импульса.

На транзисторе VT1 собран источник тока, который стабилизирует положение рабочей точки туннельного диода VD3 на его вольт-амперной характеристике. Величена эмиттерного тока транзистора VT1, а следовательно и положение рабочей точки туннельного диода VD3, может изменяться в зависимости от положения движка переменного резистора R2. При перемещении рабочей точки туннельного диода VD3 с участка вольт-амперной характеристики, где диод имеет дифференциальное сопротивление отрицательное, на участок с положительным дифференциальным сопротивлением, мультивибратор переходит из автоколебательного режима в ждущий. Это позволяет переводить мультивибратор управления разверткой из стабильного состояния в режим самозапуска.

Конденсаторы С2, С3-С5 и резисторы R5, R4 являются частото-задающими элементами мультивибратора, конденсатор С1 – блокировочный, предотвращает «просачивание» высокочастотного сигнала в цепь питания. Конденсатор С7, шунтирующий резистор R11, ликвидирует отрицательную обратную связь по переменному току.

**5. Выбор элементной базы**

В качества активного элемента эмиттерного повторителя VT3 выберем транзистор малой мощности высокой частоты. Напряжение питания эмиттерного повторителя EП=-10В. Подойдет транзистор 1Т308А с проводимостью p-n-p типа, который имеет следующие технические характеристики:

* мощность рассеяния коллектора Pkmax=150 mВт;
* граничная частота fгр>90 МГц;
* предельное напряжение коллектор-база Uкбо=20 В;
* предельно допустимое напряжение эмиттер-база Uэб=3 В;
* максимальный ток коллектора Ikmax=50 mA;
* коэффициент передачи тока базы h21=20 ... 75;
* емкость коллекторного перехода Ck< 8 пФ;
* сопротивление коллектор-эмиттер в режиме насыщения rкэнас<30 Ом.

Активный элемент усилителя напряжения, т.е. транзистор VT2, должен быть высокочастотным n-p-n транзистором малой мощности с напряжением Uкэ>1,5•Eп2.

Подойдет транзистор 1Т311А, который имеет следующие технические характеристики:

* мощность рассеяния коллектора Pkmax=150 mВт;
* граничная частота fгр>300 МГц;
* предельное напряжение коллектор-база Uкбо=12 В;
* предельно допустимое напряжение эмиттер-база Uэб=2 В;
* максимальный ток коллектора Ikmax=50 mA;
* коэффициент передачи тока базы h21=15 ... 80;
* емкость коллекторного перехода Ck< 2,5 пФ;
* сопротивление коллектор-эмиттер в режиме насыщения rкэнас<20 Ом.

Транзистор VT1 источник тока должен иметь напряжение коллектор-эмиттер Uкэ1>1,5 •Еп2=9 В. Этому условию удовлетворить транзистор 2Т301Е. Это кремниевый n-p-n транзистор со следующими характеристиками:

* мощность рассеяния коллектора Pkmax=150 mВт;
* предельное напряжение коллектор-база Uкбо=30 В;
* предельно допустимое напряжение эмиттер-база Uэб=3 В;
* максимальный ток коллектора Ikmax=10 mA;
* коэффициент передачи тока базы h21=40 ... 180;
* сопротивление коллектор-эмиттер в режиме насыщения rкэнас<300 Ом.

Туннельный диод VD3выбран из условия, что участок его ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением должен быть расположен в диапазоне напряжений, охватывающим рабочую точку Uбэ2 транзистора VT2.

Выбран туннельный диод 3Н306Р с параметрами:

* пиковый ток 4,5 ... 5,5 мА;
* напряжение пика не более 0.78 мА;
* напряжение раствора 0,85 ... 1,15 В;
* максимально допустимый постоянный прямой ток 1,2 мА.

Прямое напряжение отпирания диода VD2 UпорVD2 должно быть больше напряжения UVD3 на туннельном диоде VD3. Этому условию удовлетворяет кремниевый диод типа 2Д503Б с параметрами:

* постоянное прямое напряжение при Iпр=10 мА не более 1,2 В;
* импульсное прямое напряжение при Iпримп=50 мА не более 3,5 В;
* обратный ток при Uобр=30 В не более 10 мкА;
* прямое пороговое напряжение Uпр.пор>5 В.

В качестве диода VD3 выбирается любой выпрямительный диод. Выберем распространенный диод типа Д220 с параметрами:

* постоянное прямое напряжение при Iпр=50 мА не более 1,5 В при t=25оС и 1,9 В при t=100оС;
* импульсное прямое напряжение при Iпримп=50 мА не бол. 3,75 В;
* постоянный обратный ток при Uобр= Uобрmax не более 1,0 мкА;
* выпрямительный ток при t=25оС 50 мА.

**6. Расчет принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой по постоянному току**

Принципиальная схема мультивибратора управления разверткой осциллографа C1-67



Расчет элементов принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой осциллографа удобно вести по схеме (рис. 3).

В качестве активного элемента эмиттерного повторителя выберем транзистор малой мощности, высокой частоты. Напряжение питания эмиттерного повторителя выберем из усл. Eп1>Uвых=1В, т.о., ЕП1=-10 В.

Подойдет транзистор 1Т308А, который имеет следующие характеристики:

* мощность рассеяния коллектора Pkmax=150 mВт;
* граничная частота fгр>90 МГц;
* предельное напряжение коллектор-база Uкбо=20 В;
* предельно допустимое напряжение эмиттер-база Uэб=3 В;
* максимальный ток коллектора Iк мах=50 мА;
* коэффициент передачи тока базы h21 э=20..75.

По семейству выходных ВАХ выберем ток покоя коллектора Ik max=3 мА. Падение напряжения на сопротивлении R11 должно составлять примерно 0.1Еп.



Резистор R8 обеспечивает необходимое напряжение смещения рабочей точки.

, где



По входной ВАХ из справочника определяем



.



Для расчета величины сопротивления резистора R9 определим напряжение питания усилителя напряжения (VT2) из условия , выберем Еп=+6 В.



.



Падение напряжения на резисторе R6 должно составлять примерно 2В, т.е. UR6=Iк2R6=2 В, тогда:



Выберем активный элемент усилителя напряжения, т.е. транзистор VT2. Это должен быть высокочастотный n-p-n транзистор малой мощности с напряжением ,здесь 1.5-коэффициент запаса.



Подойдет транзистор 1Т311А , который имеет следующие технические характеристики:

* мощность рассеяния транзистора Рк мах=150 мВт;
* граничная частота ;



* предельно допустимое напряжение коллектор-база Uкб0=12 В;
* предельно допустимое напряжение эмиттер-база Uэб0=2 В;
* максимальный ток коллектора Iк мах=50 мА;
* коэффициент передачи тока базы h21=15..80.

По семейству выходных ВАХ ,приведенных в справочнике , выберем ток покоя транзистора VT2- Iк2=1.5 мА , при Uкэ=3.7 В.

Учитывая то, что ток делителя R8,R9 так же протекает через резистор R6. Определим величину резистора R6:



Тунельный диод VD3 выбираем из условия , что участок его ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением должен быть расположен в диапазоне напряжений, охватывающем рабочую точку Uбэ2 транзистора VT2.

Ток базы VT2 составит:



По входной ВАХ определяем



Подойдет туннельный диод 3И306Р. Для «развязки» туннельного диода VD3 и транзистора VT2 служит резистор R7. Его величина выбирается из условия .



Выберем R7=100 Ом.

Транзистор VT1 источника тока должен иметь . Этому условию удовлетворяет транзистор 2Т301Е, это кремниевый n-p-n транзистор с коэффициентом передачи тока базы h21=40..180; мощность рассеяния коллектора Pк мах=150 мВт; максимальный ток коллектора Iк мах=10 мА, Uкб0 мах=30 В, Uэб0=3 В.



По семейству выходных ВАХ выберем ток покоя транзистора VT1 Iк1=2 мА , при Uкэ1=4 В.



Учитывая, что напряжение на диоде VD3=Uбэ2 и падение напряжения на резисторе R7 -- малая величина, имеем:



,



.



Из справочника , по ВАХ туннельного диода, имеем

, тогда



.



Прямое напряжение отпирания диода VD2 UVD3 на туннельном диоде UпорVD2>UVD3. Этому условию удовлетворяет кремниевый диод типа КД503Б или 2Д503Б с .



Диод VD1 – любой кремниевый маломощный с прямым током.



Подойдет распространенный диод типа Д220.

Ток делителя R1,R2 принимаем равным



Напряжение на базе транзистора VT1 определяется, как

.



По входной ВАХ транзистора VT1 из справочника находим

,



.



По закону Кирхгофа .



Возьмем ток делителя с запасом:Iд=0.16 мА.

, где ток VD1 определяем по ВАХ диода из справочника:



,



,



,



, где напряжение управления Еупр выбрано равным 50 В.



.



Мощности, рассеиваемые резисторами, не превысят 0.25 Вт. Поэтому можно применить резисторы МЛТ-0.25.



В ходе расчета по постоянному току были определены:

VT1-2T301E VD1-Д220

VT2-1T311A VD2-2Д503Б

VT3-1T308A VD3-3И306Р

R1=15 кОм МЛТ-0.25

R2=10 кОм

R3=220кОм МЛТ-0.25

R4=270 кОм МЛТ-0.25

R5=820 Ом МЛТ-0.25

R6=820 Ом МЛТ-0.25

R7=100 Ом МЛТ-0.25

R8=10 кОм МЛТ-0.25

R9=6.8 кОм МЛТ-0.25

R10=220 Ом МЛТ-0.25

R11=330 Ом МЛТ-0.25

7. Расчет принципиальной схемы мультивибратора управления разверткой по временному току

В результате расчета по переменному току схемы мультивибратора управления разверткой (рис.3) определим номиналы конденсаторов.

Величину емкости С6 выбираем исходя из постоянной времени корректирующей цепочки R9C6 , постоянная времени этой цепи

.



Здесь fв=10 МГц – верхняя граничная частота исследуемого сигнала (из паспорта), 0.707 – уровень , по которому определяется полоса пропускания.

Тогда из найдем .



Аналогично определяем емкость С7, исходя из постоянной времени R11C7 – цепочки.

, отсюда .



Конденсатор Сбл – блокировочный на высокой частоте выбран в пределах 0.1 мкФ, исходя из условия .



Частота следования импульсов мультивибратора (частота развертки) определяется постоянной времени RC – цепи, подключаемой к туннельному диоду VD3. Период развертки ,



где R=R5 +h11 VT1 – сумма резистора R5, подключенного к VD3 и входного сопротивления h11 транзистора VT1, который подключен последовательно с резистором R5.

Величина емкости C2 определяет частоту развертки осциллографа и задается переключателем, расположенным на передней панели осциллографа.

Величина параметра h11VT1 составляет величину :

.



R = R5 + h11 = 800 + 26050 = 26.85 (кОм).

Определим минимальное и максимальное значение емкости С2 , исходя из минимального и максимального периода развертки.



Согласно паспортным данным Tp max=0.01 с, Tp min=1 мкс.



В результате расчета по переменному току выбраны конденсаторы:

Сбл=0.1 мкФ

С2=43 пФ

С3=510 пФ

С4=2200 пФ

С5=0.1 мкФ

С6=22 пФ

С7=430 пФ

Все конденсаторы выбраны типа КМ-5а-Н30. Это керамические конденсаторы, в которых диэлектриком служит высокочастотная керамика. Они характеризуются высокими электрическими показателями и сравнительно небольшой стоимостью.

Выбранная группа по ТКЕ-Н30, что означает изменение емкости .



8. Расчет печатного узла

8.1 Расчет посадочных мест

Печатная плата мультивибратора управления разверткой



# Рис. 4



## Сборочный чертеж мультивибратора управления разверткой

# Рис.5

Для расчета числа посадочных мест печатной платы (рис.4) воспользуемся следующей формулой:

, где



nx – число посадочных мест по оси X ,

ny – число посадочных мест по оси Y .

; , где



Lx=70 мм – размер печатной платы по оси Х,

Ly=47.5 мм – размер печатной платы по оси Y,

x=7.5 мм – ширина краевого поля по оси X,

tx=5 мм - шаг установки по оси X,

ty=10 мм – шаг установки по оси Y,

ly=15 мм – размер посадочного места по оси Y,

y1=2.5 мм – ширина краевого поля для контактных гнезд,

y2=5 мм – ширина краевого поля для соединительных гнезд.



Таким образом, на печатную плату размером 70×47.5 можно установить 36 элементов.

В данном курсовом проекте на разработанной печатной плате размером 70×47.5 размещено 36 элементов, что соответствует расчетам.

**8.1. Расчет на вибропрочность**

Расчет собственных колебаний пластины, которая закреплена по четырем углам , произведем по формуле:

, где



а=70 мм – длина печатной платы,

b=47.5 мм – ширины печатной платы,

n=2 – число креплений по ширине печатной платы,

m=2 – число креплений по длине печатной платы,



Расчет резонансной частоты пластины (рис.4) произведем по формуле:

, где



,



- жесткость пластины,



Е=30 гПа – модуль Юнга,

h=1.5 мм – толщина пластины,

- распределенная по площади масса,



- вес пластины,



g – ускорение свободного падения.



fr=1,57•(204,08+(1/(47,5•10-3)2•9,1•0,26=6,015 (кГц).

Таким образом, в результате расчета получили тоту собственных колебаний пластины f=144 Гц и резонансную частоту пластины fr=6,015 кГц.

9. Расчет надежности мультивибратора управления

разверткой

Основной характеристикой надежности устройства является вероятность P(t) безотказной работы в течении времени t. Для определения P(t) удобно использовать формулу P(t)=exp (-ct),

где c – интенсивность отказов.



где i – интенсивность отказов каждого элемента;

N – число элементов.

Интенсивность отказов элементов сведены в таблицу:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование элемента | Кол-во элементов | Интенсивность отказов, |
| Резистор МЛТ-0,25 | 10 | 0,00073 |
| Конденсатор КМ-5а | 4 | 0,0003 |
| Диоды Д220 | 1 | 0,0007 |
| 2Д503Б | 1 | 0,0007 |
| 3И306Р | 1 | 0,0006 |
| Транзисторы 2Т301Е | 1 | 0,00051 |
| 1Т311А | 1 | 0,00055 |
| 1Т308А | 1 | 0,00055 |



Среднее время наработки на отказ составит



При t=0,T вероятность безотказной работы печатного узла:

P(t)=exp(-c•T)=exp(-0,0121•82,64)=0,3679.



Таким образом , в результате расчета получили частоту собственных колебаний пластины f=144 Гц и резонансную частоту пластины fгр=6.015 кГц.

10. Расчет теплового режима

Комплекс мероприятий, направленный на снижение температуры, связан с дополнительными материальными затратами, поэтому в процессе разработки РЭА необходимо уделять внимание экономически обоснованному решению конструкции при приемлемом перепаде температур.

В конструкциях РЭА при нормальных климатических условиях и естественном охлаждении около 70% тепла отводится за счет конвекции, приблизительно 20% - за счет излучения и 10% - за счет теплопроводности.

Тепловую нагрузку считают малой если она <0,05 Вт/см2 и большой если >0,05 Вт/см2.

Для данной платы мощность рассеиваемая на элементах равна:

P=0,25•11+ 3•0,15=3,2 Вт,

тогда Pуд равно

Pуд=3,2/3,325•10-3=0,96 Вт/м2=0,96•10-3Вт/см2.

# Вычисленная мощность намного меньше 0,05 Вт/см2, поэтому плату можно помещать в герметичную или пылезащищенную конструкцию.

### Заключение

В результате данного курсового проекта разработаны структурная и принципиальная схемы мультивибратора управления разверткой осциллографа С1-67. Был проведен электрический расчет электронной схемы, в результате которого определены номиналы резисторов и конденсаторов, а также выбраны активные элементы – транзисторы и диоды.

Также была проведена компоновка печатного узла мультивибратора управления разверткой, рассчитано число посадочных мест на плате. Были определенны частота собственных колебаний пластины и резонансная частота пластины.

Для наглядности расчетов в работе приведены рисунки и чертежы – электрическая принципиальная схема, печатная плата и сборочный чертеж мультивибратора управления разверткой осциллографа С1-67.

#### Список использованной литературы

1. Воробьев Н.И. Проектирование электронных устройств.- М.: Высшая школа , 1989.
2. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К. Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. – М.: Изд. Стандартов, 1989.
3. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник/Под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергоиздат, 1982.
4. Полупроводниковые приборы: Транзисторы: Справочник/Под ред. Н.Н. Горюнова .-М.: Энергоиздат, 1985.
5. Гурлев .Д.С. Справочник по электронным приборам .- К.: Техника, 1979.
6. Резисторы: Справочник/Под ред. И.И. Чертверткова. –М.: Энергоиздат, 1981.
7. Справочник по электрическим конденсаторам/Под ред. И.И. Чертверткова, В.Ф. Смирнова.-М.: Радио и связь, 1983.
8. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА. Справочник/Под ред. Романычевой Э.Т. –М.: Радио и связь, 1989.
9. Расчет электронных схем/Под ред. Г.И. Изъюровой, Г.В. Королева, В.А. Терекова. –М.: Высшая школа, 1987.
10. Гусев В.Г., Гусев В.М. Электроника. –М.: Высшая школа, 1991.
11. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/Под ред. Р.Г. Варламова. –М.:Сов.Радио 1980. –480с.,ил.
12. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние. 1984.-536 с., ил.