МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Н. Э. БАУМАНА

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР.**

Расчетная часть работы

по курсу "Основы электроники"

Цель работы: изучение свойств и принципов действия усилителей низкой частоты на биполярных транзисторах, изучение методики проектирования и расчета генераторов колебаний прямоугольной формы с управляемой частотой следования импульсов.

Задание:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Обозначение | Значение |
| Мощность, рассеиваемая на нагрузке, Вт. | Pн | 15 |
| Сопротивление нагрузки, Ом. | Rн | 5 |
| Нижняя частота, Гц. | fmin | 10 |
| Верхняя частота, кГц. | fmax | 10 |
| Амплитуда напряжения на входе оконечного каскада, В. | Uвх ОК | 2 |

Обоснование структурной схемы.

Для генерирования прямоугольных импульсов, частота следования которых регулируется с помощью аналогового сигнала, можно выбрать схему функционального генератора с управляемой частотой выходного сигнала. Структурная схема приведена на черт.1.

Для возбуждения колебаний используется коммутатор (повторитель напряжения, знак которого зависит от состояния транзистора ) и триггер Шмидта ( компаратор с положительной обратной связью ).

Для формирования временных интервалов используется интегратор.

Диф.каскад вводится, так как нижняя частота полосы пропускания равна 0.3 Гц, (смотри ниже) и можно говорить, что выходной усилитель - усилитель постоянного тока (УПТ). Из чего следует, что если использовать на входе выходного усилителя просто емкость, то ее величина будет составлять порядка сотен микрофарад или единиц миллифарад, а это достаточно большие величины.

Оконечный каскад будет выполняться в виде двухтактного каскада, так как нагрузка по заданию низкоомна. При правильном подборе режима работы, применение последнего, позволит повысить КПД и понизить нелинейные искажения на выходе усилителя.

Для "раскачивания" двухтактного усилителя и согласования используется предварительный усилитель ОЭ, управляющий входным током транзисторов.

ГСТ используются для стабилизации токов ОЭ и Диф.каскада.

Для значительного уменьшения нелинейных искажений на выходе генератора, используется ООС. Расчётная часть

**Генератор колебаний прямоугольной формы с регулируемой частотой следования. Частота следования определяется аналоговым сигналом.**

1. Выбираем ОУ. Т.к. мы имеем маломощный генератор, то

Umax вых ОУ = 10-12 В, а т.к. сигнал меняется в пределах 3-х порядков по частоте, то Umin вых ОУ = 10-12 В, следовательно eсм < 10 мВ

Желательно, чтобы скорость нарастания импульса была больше, а зависимость eсм от Т меньше. Данным параметрам удовлетворяет ОУ **К154УД2**

Uвых = 10В, Rн = 2 кОм, С = 310 нФ, V = 75 В/мкс, Кeсм = 20 мкВ/K

2. Стабилитрон – элемент включаемый в схему для стабилизации Uвых при скачках Eп. U стабилизации равно U триггера Шмидта => мы выбираем **КС182A**, у которого Uст = 8,2 В

3. R7 UR7 - Uст = 10-8,2 = 1,8 B, R7 = UR7 / IОУ = 1,8В/5мА = 360 Ом

4. R5 – резистор, необходимый для падения на нём части сигнала при открытом диоде VD1 для предохранения от перегрева полевого транзистора (для того, чтобы привести последний в закрытое состояние требуется малый сигнал)

R5 = (Uст – Uд)/0,2Im = 7,5 кОм

5. Диод VD1 – необходим для отсечки отрицательного полупериода сигнала, получаемого с триггера Шмидта, для приведения полевого транзистора в открытое состояние (ключ замкнут)

**Д220**: Im = 5мА, U = 50В – удовлетворяет нашим условиям.

Расчёт интегратора:

IR = IC = 0,8Imax = 4мА ,

R6 = Umax/IR =10В/4мА = 2,5кОм ,

С1 = Umax/4UстFmaxR6 = 6нФ.

Расчёт инвертирующего усилителя:

Iвых = 5 мА. Необходимо, чтобы большая часть сигнала пошла на интегратор IR4 = 1мА; Iинтеграт. = 4 мА,

R1 = R4 = Uвых/IR4 = 10В/1мА = 10 кОм.

Для уменьшения помех, создаваемых усилителем, R2 = R3 = R1||R4 =

= 10кОм/2 =5 кОм.

Расчёт делителя напряжения:

Rвх ок = 4,3 кОм,

Uвх ок = 2 В,

Uвых дел = IделR8 = UстабR8/(R8+R9) = Uвх ок = 2 В,

R8 + R9  Rвх ок  4,3 кОм,

8,2R9/(R8+R9) = 2В

R8+R9 = 4,3 кОм , откуда R8 = 3,25 кОм,

 R9 = 1,05 кОм.

**II. Эскиз источника питания.**

Нам необходимо получить два равных по величине и симметричных относительно земли напряжения: положительное и отрицательное. Мы используем для этого наиболее очевидную схему - мостовой выпрямитель. Благодаря соединению среднего вывода вторичной обмотки трансформатора с общей шиной у нас в любой полупериод входного напряжения на противоположных концах выходной обмотки имеется положительное и отрицательное напряжения. Благодаря емкостям осуществляется двуполупериодное выпрямление выходного напряжения трансформатора.

**III. Расчёт оконечного каскада, обеспечивающего усиление сигнала по мощности.**

1. Определяем рабочий диапазон оконечного каскада:

fmin = 10 Гц Tmax = 0,1 c

fmax= 10­4 أِ Tmin= 10-4c

На вход подаются прямоугольные импульсы

а) На верхних частотах:

OK эквивалентен

Uвых(t) = Um(1 – e-tимп/)

 tфр = 2,3 ,  - постоянная времени схемы,

 tимп.мин = 1/2Tmin = 1/(2fmax) = 1/(2104) = 510-5 c,

 обычно считают tфр = 0,1tимп min = 510­-6 с (наша цель – сделать как можно меньше tфр), а так как вч = tфр/2,3 , то fвч = 2,3/ tфр2 =

= 73кГц

б) На нижних частотах:

OK эквивалентен

Uвых(t) = Ume-tимп/

 = /Um = 0,1 (наша цель - сделать как можно меньше ),

 Um -  = Ume-tимп/, следовательно 1 -  = e-tимп/ ,

нч = tимп/, нч = имп/0,1, имп = 1/2Tmax = 1/(2fmin) = 1/(210) = 0,05c, нч = 0,05/0,1 = Ѕ c, следовательно fнч = 0,3 Гц,

 считаем fнч = 0.

fпред ( > 5fвч ) = 400 кГц , fгран = h21Э fпред = 50400кГц = 20 Мгц

Определимся с режимами работы транзисторов. Для транзисторов VT1 и VT2 лучше использовать режимы работы класса АВ. Это немного снизит энергетические показатели работы транзисторов, но зато приведет к значительному уменьшению нелинейных искажений на выходе. Для остальных транзисторов выберем режим А.

1. Расчёт параметров транзисторов эмиттерного повторителя (VT1 и

VT2).

Потребляемая мощность Pïîًٍ = Imп; мощность, потребляемая нагрузкой н= Imm; 2m pасс.= Pпотр- Pн; P'm pаб= 0, следовательно Eп= 2Um, Pm pасс =.

زàê êàê Rي = 5 خى, à Pي= 15 آٍ, ٍî àىïëèٍَنيûه çيà÷هيèے ٌèميàëà يà يàمًَçêه:

Um ي=آ, Im ي = Um ي/Rي= 9/5 = 1,8 ہ,

а необходимое напряжение питания:

Eï= Uê‎+ Um ي= 2 + 9 = 11 آ.

زًهلَهىûé êî‎ôôèِèهيٍ ٌَèëهيèے تU== 9/2 = 4,5 ,

а мощность, рассеиваемая на коллекторе одного транзистора:

ذm pàٌٌ 0,1= 0,1112/5 = 2,42 Вт.

Исходя из полученных данных, выбираем транзисторы, так чтобы

PKmax > Pm расс = 2,42 Вт, IKmax > Im н= 1,8 А, UКЭ0max > 2Eп = 22 В,

 а fгр/h21Э > 5fвч = 400 кГц :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|   | VT1 | VT2 |
| марка транзистора | КТ850Б | КТ851Б |
| тип транзистора | p-n-p | n-p-n |
| *IKmax* – постоянный ток коллектора, А | 2 | 2 |
| *UKЭ0max*– постоянное напряжение кол.-эм. (*Iб*=0), В | 45 | 45 |
| *PKmax*– постоянная рассеиваемая мощность коллектора, Вт | 2,5 | 2,5 |
| статич. коэф-т передачи тока в схеме с ОЭ *h21*, минимальное значение | 65 | 65 |
| *fгр* граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ, МГц | 20 | 20 |

Найдем ток баз транзисторов (максимальный входной ток) и входное напряжение каждого транзистора оконечного каскада:

IБ max = IKmax/h21Э = Im н/ h21Э = 1,8/65 = 0,028А, UБ max  Um н = 9 В,

входное сопротивление оконечного каскада:

Rвх ОК = (h21Э + 1)Rн = 665 = 330 Ом.

1. Расчёт транзистора усилителя с ОЭ (VT3).

Транзистор VT3 работает в режиме А (однотактный).

Так как Rвых ГСТ2 >> Rвх ОК , то

= 28 ىہ (Im أرز2= 0). زîمنà

пусть = 30 мА – постоянная соста-

вляющая тока коллектора VT3.

Очевидно, что от выбора IК0 зависит мощность, рассеиваемая на транзисторе VT3. Поэтому для того чтобы поставить маломощный транзистор, желательно IК0 снизить.

 Считая UKЭ0  Eп = 11 В, находим Pm расс = IK0UKЭ0 = 0,0311 =0,33Вт,

исходя из полученных данных, выбираем транзисторы, так чтобы

PKmax > Pm расс = 0,33 Вт, IKmax > IКЭ m= 0,028 + 0,030 =58 мА,

UКЭ0max > 2Eп = 22 В, а fгр/h21Э > 5fвч = 400 кГц :

|  |  |
| --- | --- |
|   | VT3 |
| марка транзистора | КТ604БМ |
| тип транзистора | n-p-n |
| *IKmax* – постоянный ток коллектора, А | 0,2 |
| *UKЭ0max*– постоянное напряжение кол.-эм. (*Iб*=0), В | 250 |
| *PKmax*– постоянная рассеиваемая мощность коллектора, Вт | 3 |
| статич. коэф-т передачи тока в схеме с ОЭ *h21*, минимальное значение | 30 |
| *fгр*граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ, МГц | 40 |

 Рассчитаем коэффициент усиления VT3:

KU = Uвых/Uвх = = =30330/(150 + 13) = 88

 Рассчитаем максимальный входной ток VT3:

IБ m = IКЭ m/h21Э = 0,058/30 = 1,9 мА

Расчёт генератора стабильного тока (ГСТ2).

ГСТ является активной нагрузкой для каскада ОЭ. Он нам необходим для поддержки на входе оконечного каскада постоянного сигнала. Обыкновенный резистор не годится, так как при этом возникает смещении потенциала, и в выходной цепи возникнет нестабильность, приводящая к искажениям сигнала. Поэтому в качестве ГСТ мы будем использовать транзистор VT4 в схеме ОБ.

جîùيîٌٍü, ًàٌٌهèâàهىàے يà VT4:

Pm pacc = IK0 VT4UK0 VT4 = IK0 VT3Eп = 0,0311 = = 0,33Вт, исходя из полученных данных, выбираем транзисторы так,

 что PKmax > Pm расс = 0,33 Вт,

IKmax > IКЭ m= 0,028 + 0,030 =58 мА,

UКЭ0max > 2Eп = 22 В,

 а fгр/h21Э > 5fвч = 400 кГц :

|  |  |
| --- | --- |
|  | VT4 |
| марка транзистора | КТ941А |
| тип транзистора |  p-n-p |
| *IKmax* – постоянный ток коллектора, А | 0,3 |
| *UKЭ0max*– постоянное напряжение кол.-эм. (*Iб*=0), В | 30 |
| *PKmax*– постоянная рассеиваемая мощность коллектора, Вт | 4 |
| статич. коэф-т передачи тока в схеме с ОЭ *h21*, минимальное значение | 20 |
| *fгр* граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ, МГц | 300 |

Определяем значения сопротивлений R18, R19, R20:

для улучшения характеристик ГСТ используем отрицательную обратную связь по току,

поставив RЭ = R20 = UR20/IК0 VT4 = 1/0,058  20 Ом,

где UR20 = Eп – (Um н + UБЭ VT1 + UKЭ VT4) = 11 – (9 + 0,7 + 0,3) = 1 В.

Расчёт делителя:

IБ0 VT4 = IК/h21Э = 0,058/20 = 2,9 мА, Iдел  (5…10)IБ0 VT4 = 20 мА,

R18 = (UR20 + UБЭ VT4)/Iдел = (1 + 0,7)/0,02  100 Ом

R19 = (Еп – UR18)/Iдел = (11 - 12000,0015)/0,02  500 Ом

 Выполним проверку: Rвых ГСТ2= , где

RБ = R18R19/(R18 + R19) = 100500/(100+500) = 85 Ом,

h11Э = rБ + (h21Э + 1)rэ = 100 + (20 + 1)0,44 = 53,3 Ом, где rЭ = т/IК0 VT4 =

 = 0,026/0,058 = 0,44 Ом, h22Э = 1/rКЭ = 10-4, подставляем:

Rвых ГСТ2 = 104(85 + 53,3 + 2120)/(85 + 53,3 + 20) = 35 кОм,

 т.е. Rвых ГСТ2 >> Rвх ОК и мы можем пренебречь пульсацией тока на выходе I = Um н/ Rвых ГСТ2 = 11/35000 = 0,3 мА.

5. Расчет дифференциального каскада.

دîëîوèى, Iف m نèôô= Iت m VT5,6> (5)Б mVT3= 15 мА,

IК0 VT5,6 = IК m VT5,6 + 0,05IК m VT5,VT6 = 16 мА;

R13 = IБЭ VT3/ I К0 VT5,6 = 0,7/0,016  50 Ом

Расчитаем транзисторы для данного каскада.

 Р m расс = IК0UК0 = 0,01611 = 0.176 Вт. Теперь мы

можем подобрать транзисторы VT5 и VT6 так, чтобы

PKmax > P m расс = 0,176 Вт,

IKmax > IК m VT5,6 + IК0 VT5,6 = 0,015 + 0,016 = 31 мА,

UКЭ0max > Eп = 22 В,

 а fгр/h21Э > 5fвч = 400 кГц :

|  |  |
| --- | --- |
|  | VT5, VT6 |
| марка транзистора | КТ107Б |
| тип транзистора |  p-n-p |
| *IKmax* – постоянный ток коллектора, мА | 100 |
| *UKЭ0max*– постоянное напряжение кол.-эм. (*Iб*=0), В | 45 |
| *PKmax*– постоянная рассеиваемая мощность коллектора, Вт | 0,3 |
| статич. коэф-т передачи тока в схеме с ОЭ *h21*, минимальное значение | 120 |
| *fгр* граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ, МГц | 200 |

Определим ток эмиттера транзисторов IБ = IК/h21Э , то есть IЭ = (h21 +

 + 1)IБ = (h21 + 1)IК/ h21  IК0 VT5,6 = 16 мА. Постоянная составляющая

 IЭ VT5 = IК VT5 = 5IБ VT3 = 50,0015 = 7,5 мА, при этом выходной ток ГСТ1

 IК ГСТ1 = 2IЭ VT5,6 = 20,0075 = 15 мА, мощность, рассеиваемая на VT7

 Ррасс m = IK0UK0 = 0.01511=0.165 Вт.

 Исходя из полученных данных, выбираем VT7 так,

 что PKmax > 2Pm расс VT5,6 = 0,352 Вт,

IKmax > 2IК0 VT7 = 32 мА,

UКЭ0max > Eп = 11 В:

|  |  |
| --- | --- |
|  | VT7 |
| марка транзистора | П504 |
| тип транзистора |  p-n-p |
| *IKmax* – постоянный ток коллектора, мА | 500 |
| *UKЭ0max*– постоянное напряжение кол.-эм. (*Iб*=0), В | 45 |
| *PKmax*– постоянная рассеиваемая мощность коллектора, Вт | 0,4 |
| статич. коэф-т передачи тока в схеме с ОЭ *h21*, минимальное значение | 10 |
| *fгр* граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ, МГц | 10 |

Определим значения резисторов R10, R11, R14. Дабы повысить

 сопротивление ГСТ1, падение напряжения на R14 полагаем

 UR14 = 0,8 В;

 IЭ VT7 = IБ VT7 + IК VT7; IБ VT7 = IК VT7/h21Э, то есть IЭ VT7 = IК VT7  0,015 А;

 R14 = UR5/IЭ VT7 = 0,5/0,016 = 31,25 Ом, полагаем 35 Ом.

 IБ VT7 = 0,015/10 = 1,5 мА; Iдел ГСТ1 = 10IБ VT7 = 15 мА;

 R10 = (UR14 +UБЭ VT7)/Iдел = (0,8 + 350,015)/0,015  88,3 Ом,

 выбираем R10 = 100 Ом;

 R11 = (Еп – UR10)/Iдел = (11 - 1000,015)/0,015  633 Ом,

 выбираем R11 = 650 Ом.

 Проверим Rвых ГСТ1 = (RБ + h11Э + (h21Э + 1)RЭ/ h22Э(RБ + h11Э + RЭ), где RБ = R10R11/(R10 + R11) = 87 Ом; h11Э = rБ + (h21Э +1)rЭ = 100 + (10 + 1) 0,026/0,015 = 120 Ом, h22Э = 10-4, тогда Rвых ГСТ1 = 104(87 + 120 + 81 35)/(87 + 120 + 35) = 126 кОм, что нам и было нужно.

 Найдем R12. Для согласования каскадов возьмем R12 >> rвх VT5 ;

 r вх VT5 = rБ VT5 + rЭ VT5h21Э VT5 = rБ VT5 + (0,026/IЭ VT5)h21Э VT5 = 100 +

 + (0,026/0,015)81 = 240 Ом. Положим R12 = 10 кОм

6. Расчет диодов организующих смещение транзисторов ЭП

Диоды, позволяющие работать эмиттерному повторителю в режиме класса В, можно выбрать по единственному параметру – протекающему току:

IД = 35 мА, выбираем УД413В

 7. Расчет системы отрицательной обратной связи

 Необходимый коэфф-т усиления выходного каскада КU = Uвых/Uвх =

 = 9/2 = 4,5. Но нам известно, что если общий коэффициент усиления много больше требуемого, то коэффициент усиления равен глубине обратной связи: КU = K/(1 + K)  1/ = 4.5, то есть  = 0,22, где  - коэффициент передачи обратной связи. Определим КU дифференциального каскада:

 КU дифф = Uвых/Uвх = IKRKN/(IБrвх) = RKN/(rБ + rЭ(1+))  RKN/rЭ ,

 RKN= R13rвх каск ОЭ/(R13 + rвх каск ОЭ),

rвх каск ОЭ = rБ каск ОЭ + (h21Э VT3 + 1)rЭ каск ОЭ = 100 + 0,02630/0,03 = 126 Ом, RКН = 50126/(50+126) = 35,8 Ом,

rЭ VT5,6 = 0,026/0,016 = 1,6 Ом

KU дифф = 35,8/1,6 = 22,4

 КU = KU диффКU ОЭ = 22,488 = 1971 >> 4.5, видно, что общий коэффициент усиления много больше требуемого. Тогда для резисторов R17 и R16 получаем систему  = R16/(R17 + R16), R16 <rвх ДифКаск , R16 + R17 >>Rн . Выбрав R16 =65 Ом, получим R17 = R16/ - R16 = 65/0,22 – 65 =230 Ом. Данные значения сопротивлений удовлетворяют всем условиям.