НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ И БИОМЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по теме:

**«Усилитель мощности класса А»**

Киев 2006

**Содержание**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

2

ДМ----.001.П3

1. Техническое задание 3

2. Введение 4

3. Варианты реализации 8

3.1.Выходной каскад с трансформаторной связью 8

3.2. Самобалансный двухтактный выходной каскад

в режиме класса А 9

3.3. Усилитель мощности на МДП-транзисторе 11

3.4. Усилитель мощности на основе ОУ 12

4. Расчет параметров 14

5. Моделирование 16

5.1. Cir-скрипт 16

5.2. Результаты моделирования 19

6. Результаты испытания 20

7. Выводы 21

Список литературы 22

Приложение 1. Усилитель мощности класса А. Схема

электрическая принципиальная.

Перечень элементов

**1.** **Техническое задание**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

3

ДМ----.001.П3

Разработать схему модуля «Усилитель мощности класса А» для проведения лабораторных работ.

Технические параметры усилителя:

1. Амплитуда напряжения на входе до 1 В

2. Форма сигнала синусоидальная

3. Сопротивление нагрузки 16 Ом

4. Напряжение питания схемы ±4 В Модуль должен быть совместим со стендом для проведения лабораторных работ.

**2. Введение**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

4

ДМ----.001.П3

**Режимы работы усилительных элементов.** В зависимости от назначения усилителей к ним могут быть предъявлены следующие требования: получение заданного коэффициента усиления усилителя с определенной его частотно-фазовой характеристикой; заданных входного и выходного сопротивлений; заданной стабильности параметров усилителя и заданных нелинейных искажений, а также возможно максимального КПД усилителя.

Заданные характеристики усилителя обеспечиваются выбором соответствующих схем, числом каскадов усилителя, введением обратных связей и т.д.; КПД усилителя зависит от режима работы усилительных элементов, особенно в оконечном каскаде.

Различают следующие режимы работы усилительных элементов:

**Режим А.** В этом режиме точку покоя усилительного элемента выбирают таким образом, чтобы выходной ток протекал в течение всего периода, т.е. точка покоя должна находиться в середине используемой рабочей характеристики (рис. 1,а). Режим А характеризуется сравнительно небольшими нелинейными искажениями, однако КПД усилителя довольно низкий, так как независимо от амплитуды входного, а следовательно, и выходного сигнала, в выходной цепи протекает постоянный ток , амплитудное значение которого . При активной нагрузке, включенной непосредственно в выходную цепь, амплитудное значение выходного напряжения оказывается несколько меньше постоянной составляющей *,* т.е. *.* Тогда КПД каскада



При активной нагрузке, включенной через трансформатор,  и КПД каскада . Таким образом, КПД каскада в режиме А составляет около 20% при непосредственном включении нагрузки и около 40% при включении нагрузки через трансформатор. Режим А используют в однотактных схемах, где он является единственно возможным, за исключением случая, когда нагрузкой служит колебательный контур.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

5

ДМ----.001.П3

**Режим В.** При работе в режиме В усилительный элемент работает с отсечкой выходного тока, где ток в выходной цепи протекает в течение половины периода (рис. 1,б). При разложении в ряд такого тока имеем



Режим работы усилителя с отсечкой характеризуется углом отсечки 0, равным половине длительности импульса в угловом исчислении. При работе в режиме В угол отсечки



Среднее значение коллекторного тока определяется как площадь импульса выходного тока за период, т.е.

,

амплитуда первой гармоники

.

Следовательно, КПД каскада



и в пределе составляет . В энергетическом отношении режим В намного выгоднее режима А, так как в отсутствие входного сигнала (в паузе) потребляемый ток оконечного каскада равен нулю. Режим В характеризуется значительными нелинейными искажениями за счет появления гармоник четного порядка, поэтому его применяют в двухтактных каскадах, где усилительные элементы работают поочередно. Применение двухтактных каскадов, работающих в режиме В, позволяет получить достаточно хорошую форму выходного напряжения за счет уничтожения четных гармоник в выходном напряжении.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

6

ДМ----.001.П3

Если угол отсечки превышает , то такой режим работы называется АВ. Режим АВ занимает промежуточное положение между режимом А и В и позволяет получить меньшие нелинейные искажения, чем в режиме В. В режиме АВ КПД составляет около 50... 60%.

**Режим С.** При работе в режиме С угол отсечки , что обеспечивается определенным смещением, подаваемым на входной электрод усилительного элемента (рис. 1,в). Преимущество режима С — большой КПД, так как амплитуда первой гармоники больше среднего значения тока. Режим С применяется в мощных генераторных устройствах и усилителях, где нагрузкой является колебательный контур, который выделяет основную гармонику.

**Режим Д.** Режим используют в усилителях однополярных импульсов, где усилительный элемент находится в двух состояниях — открытом и закрытом. При открытом состоянии усилительного элемента ток в выходной цепи максимальный, падение напряжения на усилительном элементе минимальное и близко к нулю. При использовании режима Д для усиления многочастотного сигнала с изменяющейся амплитудой необходимо напряжение сигнала преобразовать в импульсы прямоугольной формы одинаковой амплитуды, длительность которых пропорциональна напряжению преобразованного сигнала. Схемы преобразователей достаточно сложны и сами потребляют дополнительную мощность от источников питания. Поэтому режим Д для усиления аналоговых сигналов используют очень редко.

Змн.

Лист.

№ докум.

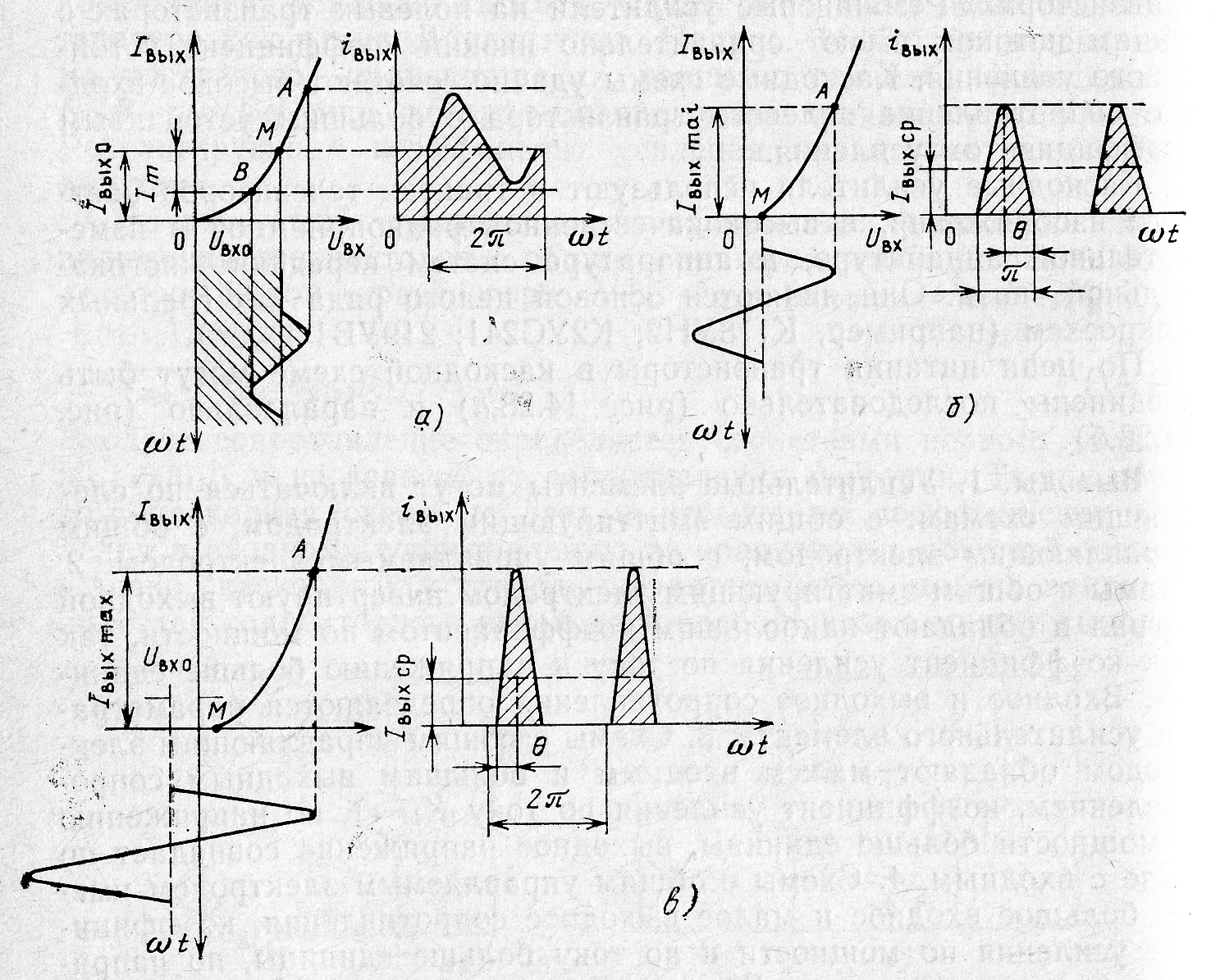
Подпись

Дата

Лист.

7

ДМ----.001.П3



**Рис.1.** Схемы работы усилительных элементов в различных режимах: А (а), В (б) и С (в).

Для реализации модуля усилителя мощности класса А могут быть использованы несколько схем.

**3. Варианты реализации**

**3.1. Выходной каскад с трансформаторной связью**

Усилитель (рис.2) с трансформаторной связью, работающий в режиме класса А,используется в тех случаях, когда требуется большое усиление по мощности. Входной трансформатор служит для согласования с высоким выходным сопротивлением предоконечного каскада (транзисторного или лампового). Выходной трансформатор может быть автотрансформатором для согласования с сопротивлением звуковой катушки.

Змн.

Лист.

№ докум.

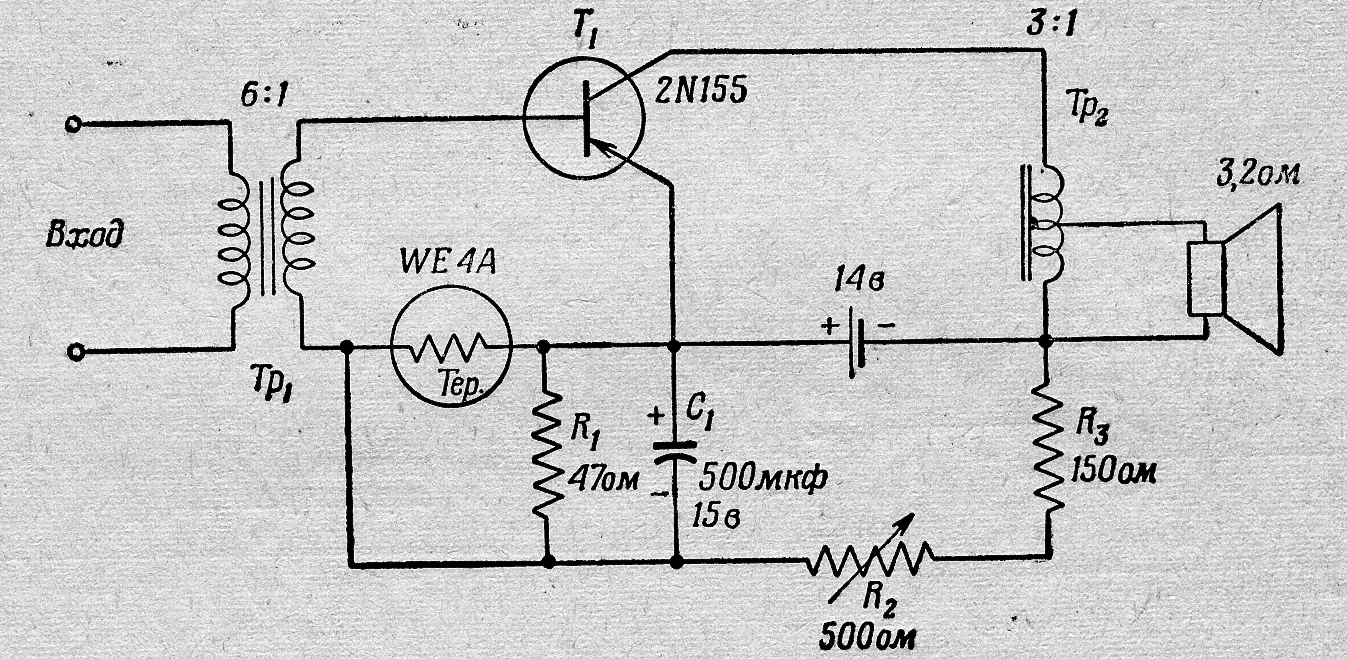
Подпись

Дата

Лист.

8

ДМ----.001.П3



**Рис.2.** Усилитель с трансформаторной связью.

Температурная стабилизация достигается с помощью термистора, который создает компенсирующее смещение на базе. Последовательная эмиттерная отрицательная обратная связь не применяется для температурной компенсации, так как эмиттерное сопротивление снизило бы постоянную составляющую напряжения коллектор-эмиттер, что, в свою очередь, уменьшит усиление мощности.

Поскольку входные характеристики статистически меняются от транзистора к транзистору, то для регулировки смещения транзистора последовательно с R3необходимо включать переменное сопротивление R2. Для обеспечения желаемого изменения смещения с изменением температуры параллельно термосопротивлению включено выравнивающее сопротивление R1.

В усилителях класса Арассеяние превышает максимальную выходную мощность более чем в два раза. Если усилитель предназначен для удовлетворительной работы при высоких температурах, необходимо предусмотреть хороший теплоотвод.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

9

ДМ----.001.П3

**Типовые данные усилителя**

Напряжение питания 14 *в*

Коллекторный ток 420 *ма*

Выходная мощность 2 *вт*

Входное сопротивление 30 *ом*

Сопротивление нагрузки 30 *»*

Усиление по мощности 36 *дб*

Искажения 5%

Ширина частотной характеристики 7 *кгц*

Диапазон рабочей температуры от -40 до +70оС

**3.2. Самобалансный двухтактный выходной каскад в режиме класса А**

Два варианта выходного двухтактного каскада, работающего в режиме класса Ана однотипных транзисторах средней мощности, показаны на рис.3,а и б*.*

Отличительным свойством схемы является то, что сбалансированный режим может быть получен без согласования транзисторов. В обеих схемах каскад на транзисторе Т2 собран по схеме с общей базой. Входное полное сопротивление по переменному току со стороны эмиттерного входа транзистора Т2 значительно меньше сопротивления смещения 2,4 ком*.* Таким образом, переменная составляющего коллекторного тока транзистора Т1, протекает через эмиттер транзистора Т2. Поскольку коэффициент любого транзистора почти равен единице, то коллекторный ток транзистора Т1 примерно равен коллекторному току Т2, но находится с ним в противофазе, в результате чего и обеспечивается балансная работа двухтактного каскада.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

10

ДМ----.001.П3

Выходной трансформатор Тр**1** рассчитан так, что сопротивление нагрузки, приведенное к каждой половине первичной области, составляет 7,5 ком.

В схеме на рис.3,а режим Т1, стабилизирован параллельной отрицательной обратной связью с коллектора на базу. В схеме рис.3, брежим Т1 стабилизирован последовательной отрицательной обратной связью в цепи эмиттера.

В схеме могут применяться как германиевые, так и кремниевые транзисторы. Хороший баланс поддерживается даже при использовании транзисторов, характеристики которых значительно разнятся. Эта схема может работать только в режиме класса А.

Оценка схемы дана только для транзисторов средней или низкой мощности. Для усилителей большой мощности режим класса Анепрактичен из-за высоких потерь в цепях смещения постоянного тока.

Змн.

Лист.

№ докум.

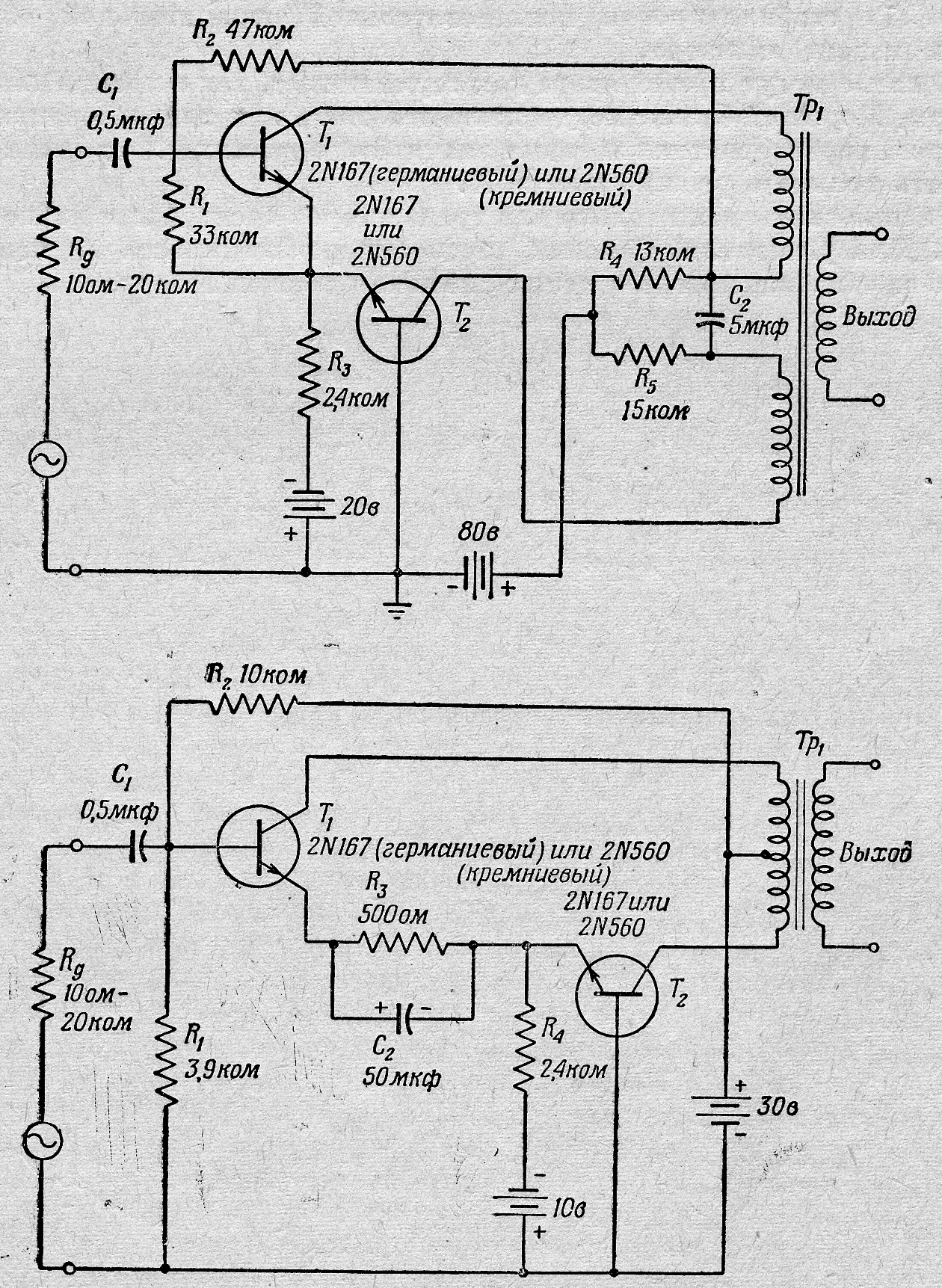
Подпись

Дата

Лист.

11

ДМ----.001.П3



**Рис.3.** Самобалансный двухтактный выходной каскад.

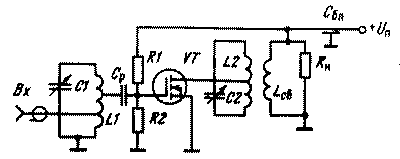
**3.3. Усилитель мощности на МДП-транзисторе**

Практическая схема такого усилителя показана на рис.4. Входной L1С1-контур и выходной L2С2-контуры обычно синхронно перестраиваются и настроены на частоту входного сигнала.

Эквивалентное сопротивление Rэ выходного контура Rэ=P2p2/(RL+Rн'), где р=Sqr(L2/C2), Rн' - сопротивление нагрузки, внесенное в колебательный контур; RL - активное сопротивление потерь; Р2 - коэффициент включения контура. Величина Rн'=Rн/n22, где n2 - коэффициент трансформации.

Добротность выходного контура при его полном включении Q=RэRi/(Rэ+Ri)2pifoL2 снижается из-за шунтирующего действия выходного сопротивления транзистора Ri. У мощных МДП-транзисторов Ri невелико и обычно не превышает десятков килоом. Поэтому для увеличения Q2 используется неполное включение контура.

Полоса пропускания выходного контура 2Δf2=fo2/Q2, а частота резонанса fo2=l/2piSqr(L2C2). В КВ-диапазоне такой усилитель может обеспечить Ки до нескольких десятков.



**Рис.4.** Усилитель мощности на МДП-транзисторе

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

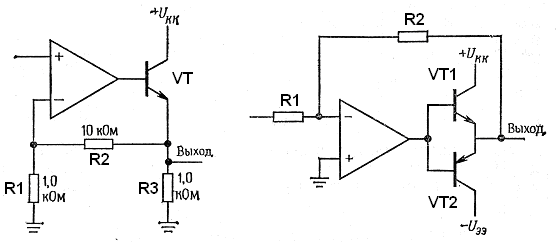
Лист.

12

ДМ----.001.П3

**3.4. Усилитель мощности на основе ОУ**

Для получения больших выходных токов к выходу ОУ можно подключить мощный транзисторный повторитель (рис.5,а). В примере использован неинвертирующий усилитель, но повторитель можно подключать к любому операционному усилителю. Сигнал обратной связи снимается с эмиттера; следовательно, обратная связь определяет нужное выходное напряжение независимо от падения напряжения . При использовании этой схемы возникает обычная проблема, связанная с тем, что повторитель может только отдавать ток (для *п-р-п-*транзистора). Проблема решается применением двухтактного варианта схемы (рис.5,б). Ограниченная скорость, с которой может изменяться напряжение на выходе (скорость нарастания), накладывает серьезные ограничения на быстродействие усилителя в переходной области и вызывает переходные искажения. Если усилитель будет использоваться в системе с малым быстродействием, то смещать двухтактную пару в состоянии покоя не нужно, так как переходные искажения будут в основном устранены за счет обратной связи.



**Рис.5** Усилитель мощности на основе ОУ.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

13

ДМ----.001.П3

**4. Расчет параметров**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

14

ДМ----.001.П3

Была выбрана схема усилителя мощности на основе операционного усилителя (рис.6).

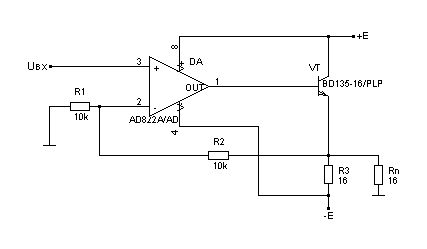


Рис.6 Усилитель мощности класса А на основе ОУ.

В соответствии с техническим заданием  и . Следовательно максимальная мощность, рассеиваемая в нагрузке будет равна: .

Резистор : . Максимальная мощность, рассеиваемая на  будет равна: .

Параметры транзистора:

;





В схеме используем транзистор КТ815В, удовлетворяющий этим требованиям (при моделировании был использован его зарубежный аналог BD135-16/PLP).

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

15

ДМ----.001.П3

В качестве операционного усилителя возьмем микросхему AD822AN (два операционных усилителя в одном корпусе).

Коэффициент передачи напряжения , , => . Т.е. выберем .

**5.** **Моделирование**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

16

ДМ----.001.П3

**5.1. Cir-скрипт**

\*\*\*\* CIRCUIT DESCRIPTION

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

\*\* Creating circuit file "111-schematic1-121.sim.cir"

\*Libraries:

\* Local Libraries :

\* From [PSPICE NETLIST] section of C:\Program Files\Orcad\PSpice\PSpice.ini file:

.lib "nom.lib"

\*Analysis directives:

.TRAN 0 2ms 0

.PROBE V(\*) I(\*) W(\*) D(\*) NOISE(\*)

.INC ".\111-SCHEMATIC1.net"

\*\*\*\* INCLUDING 111-SCHEMATIC1.net \*\*\*\*

\* source 111

V\_V3 N01014 0 4Vdc

R\_R11 0 N00947 10k

X\_U8 N09141 N00947 N01014 N00672 N07999 AD822A/AD

R\_R12 N00947 N00623 10k

Q\_Q3 N01014 N07999 N00623 QBD135-16/PLP

R\_R9 0 N00623 16

V\_V1 N09141 0

+SIN 0 100m 1000 0 0 0

R\_R10 N00672 N00623 16

V\_V4 0 N00672 4Vdc

\*\*\*\* RESUMING 111-schematic1-121.sim.cir \*\*\*\*

.END

\*\*\*\* Diode MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

X\_U8.DX

IS 1.000000E-15

\*\*\*\* BJT MODEL PARAMETERS

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

17

ДМ----.001.П3

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

QBD135-16/PLP X\_U8.NPN X\_U8.PNP

NPN NPN PNP

IS 48.150000E-15 100.000000E-18 100.000000E-18

BF 124.2 120 120

NF .9897 1 1

VAF 222 150 150

IKF 1.6

ISE 13.890000E-15

NE 1.6

BR 13.26 1 1

NR .9895 1 1

VAR 81.4 15 15

IKR .29

ISC 129.500000E-15

NC 1.183

RB .5 2.000000E+03 2.000000E+03

RBM .5

IRB 1.000000E-06

RE .165 4 4

RC .096 200 900

CJE 124.300000E-12

VJE .7313

MJE .3476

CJC 30.400000E-12

VJC .5642

MJC .4371

XCJC .15

MJS .333

FC .9359

TF 647.800000E-12

XTF 29

VTF 2.648

ITF 3.35

TR 0

CN 2.42 2.42 2.2

D .87 .87 .52

\*\*\*\* Junction FET MODEL PARAMETERS

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

X\_U8.JX

NJF

VTO -2

BETA 767.000000E-06

IS 12.500000E-12

\*\*\*\* INITIAL TRANSIENT SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

(N00623) .0011 (N00672) -4.0000 (N00947) 572.9E-06 (N01014) 4.0000

(N07999) .7963 (N09141) 0.0000 (X\_U8.4) 1.7353 (X\_U8.5) 3.8675

(X\_U8.6) 3.8673 (X\_U8.7) 800.1E-06 (X\_U8.8) 0.0000 (X\_U8.9) -.1141

(X\_U8.10) 1.0000 (X\_U8.11) 286.5E-06

(X\_U8.12) 57.28E-09 (X\_U8.18) -.1141

(X\_U8.20) 3.2876 (X\_U8.21) -1.6155

(X\_U8.22) -2.3417 (X\_U8.23) -2.9755

(X\_U8.24) -3.3851 (X\_U8.26) -2.4091

(X\_U8.30) 0.0000 (X\_U8.51) -4.0150

(X\_U8.52) -4.0150 (X\_U8.96) 4.0100

(X\_U8.97) 4.0100 (X\_U8.98) 0.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME CURRENT

V\_V3 -2.507E-01

V\_V1 1.500E-11

V\_V4 -2.506E-01

X\_U8.V1 -1.954E-13

X\_U8.V2 1.115E-12

X\_U8.V3 -1.130E-06

X\_U8.V4 -1.166E-06

X\_U8.VP 2.505E-03

X\_U8.VN 2.121E-04

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

18

ДМ----.001.П3

TOTAL POWER DISSIPATION 2.01E+00 WATTS

JOB CONCLUDED

TOTAL JOB TIME .19

\*\* Creating circuit file "111-schematic1-121.sim.cir"

\*Libraries:

\* Local Libraries :

\* From [PSPICE NETLIST] section of C:\Program Files\Orcad\PSpice\PSpice.ini file:

.lib "nom.lib"

\*Analysis directives:

.TRAN 0 2ms 0

.PROBE V(\*) I(\*) W(\*) D(\*) NOISE(\*)

.INC ".\111-SCHEMATIC1.net"

.END

**5.2. Результаты моделирования**

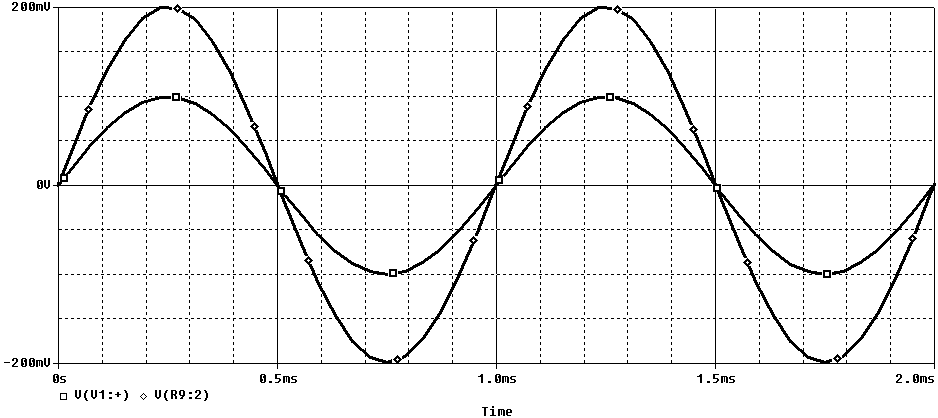


Рис.7. Зависимость входного и выходного напряжения от времени.

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

19

ДМ----.001.П3

**6. Результаты испытания**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

20

ДМ----.001.П3

Испытания проводились на лабораторном стенде, с использованием лабораторного оборудования (генератор сигнала синусоидальной формы, осциллограф).

На вход усилителя подавался сигнал синусоидальной формы с амплитудой 100мВ. По результатам предварительного моделирования на выходе должны были получить усиленный в 2 раза сигнал (с амплитудой 200мВ). На рис.7-9 показаны результаты работы схемы усилителя мощности класса А смоделированной в программе PSpice.

После настройки осциллографа (0,2 мс/дел; 0,05 В/дел) и его синхронизации с внешним генератором была получена осциллограмма представленная на рис.8.



Рис.8. Результат практической реализации усилителя мощности (фото).

**7. Выводы**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

21

ДМ----.001.П3

В процессе выполнения данного курсового проекта была разработана, смоделирована и сконструирована схема модуля усилителя мощности класса А. Для реализации была выбрана схема на основе операционного усилителя. В процессе разработки осуществлялось моделирование в програмне PSpice с последующей сборкой и отладкой схемы. В процессе проверки схемы на вход подавали синусоидальный сигнал амплитудой 100 мВ и на выходе получили сигнал 200 мВ. При этом мощность рассеиваемая в нагрузке была равна . Результаты моделирования полностью совпали с результатами проверки в лаборатории, что свидетельствует о правильности выполнения работы.

**Список литературы:**

Змн.

Лист.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист.

22

ДМ----.001.П3

1. Вайсбурд Ф.И., Панаев Г.А., Савельєв Б.Н. Электронные приборы и усилители. – М.: „Радио и связь”, 1987 – 472с.

2. Хоровиц П., Хилл У. Исскуство схемотехники, т.1. – М.: „Мир”, 1983 – 600с.

3. Шварц С. Полупроводниковые схемы. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962 – 440с.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

ДМ----.001.П3

Разраб.

Провер.

Т. Контр.

Н. Контр.

Утверд.

Усилитель мощности класса А

Схема электрическая принципиальная

Лит.

Листов

1

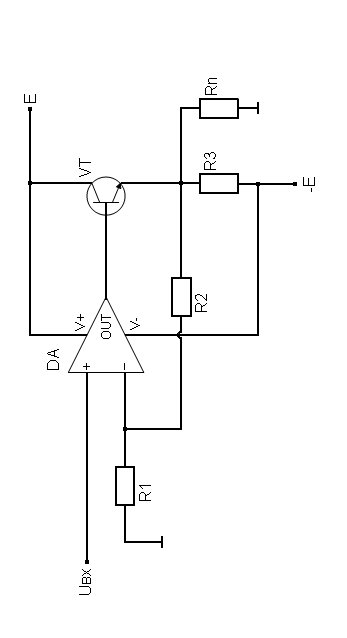
# НТУУ «КПИ» ФЭЛ

Реценз.

Масса

Масштаб

Приложение 1



Поз.

обозн.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

1

ДМ----.001.П3

Разраб.

Провер.

Реценз.

Н. Контр.

Утверд.

Усилитель мощности класса А

###### Перечень элементов

Лит.

Листов

1

### НТУУ «КПИ» ФЭЛ

Наименование

Примечание

Кол.

Микросхемы

AD822AN

DA

1

Analog Device

Резисторы

ОМЛТ - 0,125 10к ±5% ГОСТ 73313-83

R1, R2

2

ОМЛТ - 2 16 ±5% ГОСТ 73313-83

R3

1

ОМЛТ - 0,125 16 ±5% ГОСТ 73313-83

Rn

1

Транзисторы

КТ815В

VT

1