ГУАП

КАФЕДРА № 41

ОТЧЕТ   
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| канд. техн. наук, доцент |  |  |  | Исаков В.И. |
| должность, уч. степень, звание |  | подпись, дата |  | инициалы, фамилия |

|  |
| --- |
| ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТЕЙ С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ВЫХОДОМ |
| по курсу: ЭЛЕКТРОНИКА |
|  |
|  |

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| СТУДЕНТ ГР. № | 4941 |  |  |  | Н.С. Горбунов |
|  |  |  | подпись, дата |  | инициалы, фамилия |

Санкт-Петербург 2021

ПРОТОКОЛ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ**

**С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ВЫХОДОМ**

#### Работу выполняли студенты группы 4941:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Голощапов Д.А. |
|  | (дата, подпись) |  | (Ф.И.О.) |
|  |  |  | Горбунов Н.С |
|  | (дата, подпись) |  | (Ф.И.О.) |
|  |  |  | Осташов А.С. |
|  | (дата, подпись) |  | (Ф.И.О.) |
|  |  |  |  |
| Преподаватель: |  |  | Исаков В.И |
|  | (дата, подпись) |  | (Ф.И.О.) |

Исследование однотактного усилителя мощности в режиме класса А

# Таблица П1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UВХ, B | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| UВЫХ, B | 0,045 | 0,09 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,89 | 1,5 | 2,5 |
| IК,   мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |

###### Снятие зависимости выходного напряжения однотактного усилителя мощности в режиме класса А от сопротивления нагрузки

# Таблица П2\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SA3 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| RH, Ом | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| UВЫХ, B | 0,45 | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,8 |

\* Примечание: UВХ=    0,4    В.

Исследование однотактного усилителя мощности в режиме класса А при включенном стабилизирующем сопротивлении

Таблица П3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UВХ, B | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| UВЫХ, B | 0,09 | 0,2 | 0,4 | 0,69 | 0,495 | 1,6 | 3,0 | 3,6 |
| IК,   мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |

**Исследование двухтактного усилителя мощности в режиме классов А, АВ и В**

Таблица П4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| режимы классов | UВХ, B | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 |
| **класс А**  при UВХ=0:  IK1= 120 мА  IK2=120 мА | UВЫХ, B | 0,017 | 0,035 | 0,83 | 1,2 | 1,6 | 3,3 | 4,2 | 4 |
| IК1, мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 80 | 78 |
| IК2, мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 80 | 69 |
| **класс АB**  при UВХ=0:  IK1=30 мА  IK2=30 мА | UВЫХ, B | 0,12 | 0,24 | 0,48 | 0,87 | 1,1 | 1,9 | 3,4 | 3,9 |
| IК1, мА | 30 | 30 | 29 | 28 | 30 | 40 | 60 | 65 |
| IК2, мА | 30 | 30 | 26 | 24 | 30 | 40 | 60 | 65 |
| **класс B**  при UВХ=0:  IK1=3 мА  IK2=3 мА | UВЫХ, B | 0,02 | 0,35 | 0,09 | 0,13 | 0,33 | 0,93 | 3,2 | 3,7 |
| IК1, мА | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 15 | 40 | 60 |
| IК2, мА | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 15 | 40 | 60 |

Снятие зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки при работе двухтактного усилителя в режиме класса А

Таблица П5\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SA3 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| RH, Ом | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| UВЫХ, B | 1,5 | 2,8 | 3,4 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |

\* Примечание: UВХ=    0,4   В (установить ту же величину, что и в табл. П2).

Снятие зависимости выходного напряжения от частоты входного сигнала при работе двухтактного усилителя в режимах классов А и В

# Таблица П6\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, **кГц** | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| UВЫХ А, B | 2,1 | 3,6 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,1 | 3,4 | 2,2 | 1,1 | 0,62 | 0,28 |
| UВЫХ В, B | 0,9 | 1,5 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,35 | 2,15 | 1,1 | 0,49 | 0,2 |

\* Примечание: UВХ=    0,4    В (установить ту же величину, что и в табл. П5).

***Данные измерений проверены.***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Преподаватель:** |  |  | Исаков В.И. |
|  | (дата, подпись) |  | (Ф.И.О.) |

**Цель работы:** изучение свойств транзисторных усилителей мощности с трансформаторным выходом, работающих в режимах классов А, АВ и В и их сравнительный анализ.

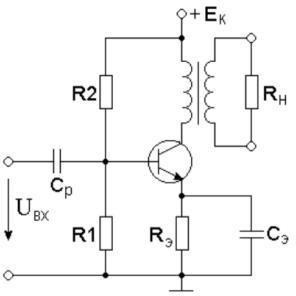


Рис. 1 схема однотактного выходного каскада

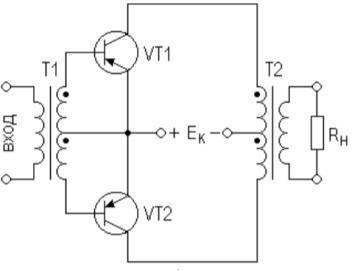


Рис. 2 схема двухтактного выходного каскада

Электрическая схема лабораторного макета приведена на рис. 3. Он позволяет исследовать как однотактные, так и двухтактные трансформаторные каскады усиления мощности на транзисторах в режимах классов А, В и АВ.

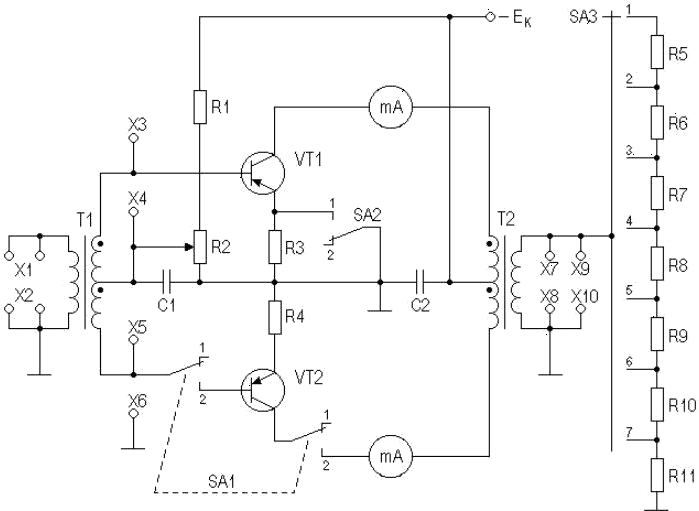


Рис. 3 схема лабораторной установки

На входе и выходе схемы установлены понижающие трансформаторы: T1 с коэффициентом трансформации n1 = 0.1 и трансформатор T2 с n2 = 0.25.

Режимы работы транзисторов УМ устанавливаются потенциометром R2, который задает базовые токи транзисторов при отсутствии входного сигнала. Когда ползунок резистора R2 оказывается в нижнем по схеме положении, базовые выводы транзисторов оказываются соединенными с общим проводом через малые сопротивления половин вторичной обмотки трансформатора T1, базовые токи транзисторов будут близки к нулю, и УМ будет работать в классе B. Если же ток покоя задан отличным от нуля, то, в зависимости от его величины, УМ будет работать либо в классе А, либо в классе AB.

Миллиамперметры в цепях коллекторов транзисторов VT1 и VT2 включены для измерения их коллекторных токов IK1 и IK2, по этим миллиамперметрам можно как задавать положение рабочих точек транзисторов при отсутствии сигнала, так и определять токи в их цепях при подаче сигналов на вход УМ.

Переключателем SA1 осуществляют переключение между однотактной (работать будет только транзистор VT1) и двухтактной схемами УМ. Переключатель SA2 позволяет немного изменять схему усилительного каскада посредством включения/выключения токостабилизирующего резистора RЭ в цепи эмиттера транзистора однотактного каскада (в

схеме на рис. 4 функции токостабилизирующего резистора в каскаде на VT1 выполняет R3, в каскаде на VT2 R4). Переключателем SA3 производится выбор сопротивления нагрузки усилителя мощности.

В схеме макета УМ использованы резисторы: R1=1.3 кОм, R2=365 Ом, R5=R6=R7=R8=R9=R10=R11=4 Ом, R3=R4=2.65 Ом. Питание УМ осуществляется от стабилизированного источника напряжением Eк=15 В.

Для проведения исследований используются генератор стандартных сигналов, 2 электронных вольтметра переменного тока и осциллограф.

**Таблицы результатов измерений и вычислений**

Исследование однотактного усилителя мощности в режиме класса А

Таблица П1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uвх, В | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| Uвых, В | 0,045 | 0,09 | 0,15 | 0,3 | 0,45 | 0,89 | 1,5 | 2,5 |
| Iк, мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Pн, Вт | 0,000127 | 0,00050625 | 0,001406 | 0,005625 | 0,0126563 | 0,0495063 | 0,140625 | 0,390625 |
| Pвых, Вт | 0,000225 | 0,0009 | 0,0025 | 0,01 | 0,0225 | 0,0880111 | 0,25 | 0,6944444 |
| P0, Вт | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Pк, Вт | 1800 | 1799,9991 | 1799,998 | 1799,99 | 1799,9775 | 1799,912 | 1799,75 | 1799,3056 |

Снятие зависимости выходного напряжения однотактного усилителя мощности в режиме класса А от сопротивления нагрузки

Таблица П2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SA3 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| RH, Ом | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| Uвых, B | 0,45 | 0,9 | 1,3 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,8 |

Uвх = 0,4 В

Исследование однотактного усилителя мощности в режиме А при включенном стабилизирующем сопротивлении

Таблица П3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Uвх, В | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| Uвых, В | 0,09 | 0,2 | 0,4 | 0,69 | 0,495 | 1,6 | 3 | 3,6 |
| Iк, мА | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Pн, Вт | 0,000506 | 0,0025 | 0,01 | 0,0297563 | 0,0153141 | 0,16 | 0,5625 | 0,81 |
| Pвых, Вт | 0,0009 | 0,004444444 | 0,017778 | 0,0529 | 0,027225 | 0,2844444 | 1 | 1,44 |
| P0, Вт | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Pк, Вт | 1799,999 | 1799,995556 | 1799,982 | 1799,9471 | 1799,9728 | 1799,7156 | 1799 | 1798,56 |

Исследование двухтактного усилителя мощности в режиме классов А, АВ и В

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс | Uвх, В | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
| A | Uвых, В | 0,017 | 0,035 | 0,83 | 1,2 | 1,6 | 3,3 | 4,2 | 4 |
| Ik1 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 80 | 78 |
| Ik2 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 80 | 69 |
| Pн, Вт | 0,0000181 | 0,0000766 | 0,0430563 | 0,0900000 | 0,1600000 | 0,6806250 | 1,1025000 | 1,0000000 |
| Pвых, Вт | 0,0000321 | 0,0001361 | 0,0765444 | 0,1600000 | 0,2844444 | 1,2100000 | 1,9600000 | 1,7777778 |
| P0, Вт | 3,6000000 | 3,6000000 | 3,6000000 | 3,6000000 | 3,6000000 | 3,6000000 | 2,4000000 | 2,2050000 |
| Pк, Вт | 3,5999679 | 3,5998639 | 3,5234556 | 3,4400000 | 3,3155556 | 2,3900000 | 0,4400000 | 0,4272222 |
| AB | Uвых, В | 0,1200000 | 0,24 | 0,48 | 0,87 | 1,1 | 1,9 | 3,4 | 3,9 |
| Ik1 | 30 | 30 | 29 | 28 | 30 | 40 | 60 | 65 |
| Ik2 | 30 | 30 | 26 | 24 | 30 | 40 | 60 | 65 |
| Pн, Вт | 0,0009000 | 0,0036000 | 0,0144000 | 0,0473063 | 0,0756250 | 0,2256250 | 0,7225000 | 0,9506250 |
| Pвых, Вт | 0,0016000 | 0,0064000 | 0,0256000 | 0,0841000 | 0,1344444 | 0,4011111 | 1,2844444 | 1,6900000 |
| P0, Вт | 0,9000000 | 0,9000000 | 0,8250000 | 0,7800000 | 0,9000000 | 1,2000000 | 1,8000000 | 1,9500000 |
| Pк, Вт | 0,8984000 | 0,8936000 | 0,7994000 | 0,6959000 | 0,7655556 | 0,7988889 | 0,5155556 | 0,2600000 |
| B | Uвых, В | 0,02 | 0,35 | 0,09 | 0,13 | 0,33 | 0,93 | 3,2 | 3,7 |
| Ik1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 15 | 40 | 60 |
| Ik2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 15 | 40 | 60 |
| Pн, Вт | 0,0000250 | 0,0076563 | 0,0005063 | 0,0010563 | 0,0068063 | 0,0540563 | 0,6400000 | 0,8556250 |
| Pвых, Вт | 0,0000444 | 0,0136111 | 0,0009000 | 0,0018778 | 0,0121000 | 0,0961000 | 1,1377778 | 1,5211111 |
| P0, Вт | 0,0900000 | 0,0900000 | 0,0900000 | 0,0900000 | 0,1500000 | 0,4500000 | 1,2000000 | 1,8000000 |
| Pк, Вт | 0,0899556 | 0,0763889 | 0,0891000 | 0,0881222 | 0,1379000 | 0,3539000 | 0,0622222 | 0,2788889 |

**Графические зависимости, построенные по данным всех таблиц**

Зависимость Рвых от Uвх для однотактного усилителя мощности в режиме класса А с включенным и не включенным токостабилизирующим сопротивлением RЭ, а также для двухтактной схемы во всех трех режимах на одном графике.

Графики амплитудных характеристик (зависимости Uвых от Uвх) для однотактного усилителя мощности в режиме класса А с включенным и не включенным токостабилизирующим сопротивлением RЭ, а также для двухтактной схемы УМ при работе во всех трех режимах.

Зависимости Р0 от UВХ для однотактного усилителя мощности в режиме класса А c включенным и выключенным токостабилизирущим сопротивлением RЭ, а также для двухтактной схемы во всех трех режимах

Зависимости Рk от UВХ для однотактного усилителя мощности в режиме класса А с включенным и выключенным токостабилизирующем сопротивлением RЭ, а также для двухтактной схемы во всех трех режимах

Снятие зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки при работе двухтактного усилителя в режиме класса А

Таблица П5

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SA3 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| RH, Ом | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| UВЫХ, B | 1,5 | 2,8 | 3,4 | 4,5 | 4,7 | 4,8 | 4,9 |

Графики нагрузочных характеристик (зависимости UВЫХ от RH) для однотактного и двухтактного каскадов усилителя мощности в режиме класса А

Снятие зависимости выходного напряжения от частоты входного сигнала при работе двухтактного усилителя в режимах классов А и В

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, кГц | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| Uвых А, В | 2,1 | 3,6 | 4 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,1 | 3,4 | 2,2 | 1,1 | 0,62 | 0,280 |
| Uвых B, В | 0,9 | 1,5 | 2 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,35 | 2,15 | 1,1 | 0,49 | 0,200 |
| A(f) | 5,25 | 9 | 10 | 10,25 | 10,5 | 10,75 | 10,5 | 10,25 | 8,5 | 5,5 | 2,75 | 1,55 | 0,7 |
| Adb(f) | 14,40 | 19,08 | 20 | 20,21 | 20,42 | 20,62 | 20,42 | 20,21 | 18,58 | 14,80 | 8,78 | 3,80 | -3,094 |
| B(f) | 2,25 | 3,75 | 5 | 5,25 | 5,25 | 5,5 | 5,75 | 5,75 | 5,87 | 5,37 | 2,75 | 1,22 | 0,5 |
| Bdb(f) | 7,04 | 11,48 | 13,97 | 14,40 | 14,40 | 14,80 | 15,19 | 15,19 | 15,38 | 14,60 | 8,78 | 1,76 | -6,02 |

*U вх*= 0,4 В

Графики амплитудно-частотных характеристик двухтактных усилителей мощности, работающих в режимах классов А и В

КПД усилителя для всех исследованных разновидностей и режимов работы каскадов УМ при максимальных значениях мощности, выделяемой на нагрузке PH

Таблица П7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип УМ | Однотактный каскад УМ | | двухтактный каскад УМ | | |
| Класс А, без R | Класс А, c R | Класс А | Класс АВ | Класс В |
| КПД теор | 0.5 | меньше 0.5 | 0.5 | от 0.5 до 0.78 | 0.78 |
| КПД | 0,38 | 0,55 | 0,33 | 0,71 | 0,56 |

**Вывод:**

1. Наибольший коэффициент усиления напряжения наблюдается в двухтактном классе А работы транзисторов УМ.
2. Коэффициент усиления двухтактной схемы УМ класса А больше однотактного на
3. 0,685.
4. Значение мощности рассеяния на коллекторе транзистора будет наибольшим в
5. двухтактном УМ класса А, а наименьшим в классе В.
6. Наибольшее значение рассчитанного КПД УМ наблюдается в однокаскадном УМ класса А с Rэ, а наименьшее в классе А без Rэ.
7. Класс работы транзисторов не влияет на нагрузочную характеристику УМ, она зависит от Uвых и Rн.