

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
**ИССЛЕДОВАНИЕ *РС*-УСИЛИТЕЛЯ
НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с принципом действия, основными параметрами и характеристиками электронных усилителей; приобрести практические навыки расчета, монтажа, настройки и экспериментального исследования резистивно-емкостного усилительного каскада на полевом транзисторе.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. В рамках часов, отводимых на самостоятельную работу, изучить разделы курса, посвященные общим сведениям об усилителях электрических сигналов и резистивно-емкостным усилителям.
2. Ознакомиться с программой лабораторной работы и методическими указаниями к её выполнению.
3. Выписать из справочника основные параметры полевого транзистора КП 302Б, выяснить цоколевку прибора.
4. Выполнить предварительные расчеты.
5. Подготовить заготовку отчета и ответы на контрольные вопросы.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовка к работе:
 - а) подготовить необходимую аппаратуру (источник питания постоянного тока GPS 74303А (ИП), универсальный цифровой вольтметр АКИП-2101/1 (ЦВ), генератор сигналов специальной формы АКИП-3408 (ГС), осциллограф GOS 620) к включению, установив органы управления приборов в исходное состояние;
 - б) включить аппаратуру для предварительного прогрева;
 - в) по истечении 3-х минут после включения проверить калибровку осциллографа и, при необходимости, откалибровать его.
2. Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе по схеме с ОИ
 - а) определение начального (максимального) тока стока транзистора

– установить на 1 выходе источника питания положительное (относительно «земляной» шины) напряжение $E_c = 12\text{ В}$. Соединить проводником отрицательный полюс выставленного напряжения с «земляной» шиной монтажной панели. Положительный полюс соединить проводником со свободным гнездом панели;

– используя модули с расположенными на них элементами с нужными номиналами, собрать на монтажной панели схему, изображенную на рис. 1.

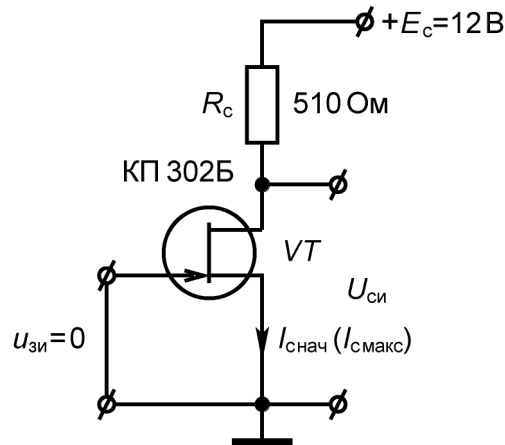


Рис.1 Схема для измерения начального (максимального) тока ПТ

– с помощью цифрового вольтметра в соответствующем режиме работы измерить, **фиксируя результат**, начальный (максимальный) ток полевого транзистора (измеряется при $U_{зи} = 0$).

б) исследование RC-усилителя на ПТ (ОИ) на постоянном токе

– используя модули с нужными компонентами, собрать на монтажной панели схему каскада ОИ, представленную на рис. 2.

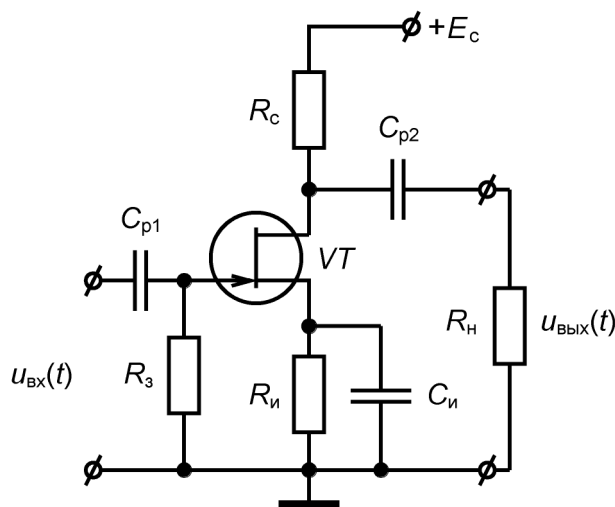


Рис.2. Схема исследуемого каскада RC-усилителя на ПТ

Параметры используемых элементов:

- $C_{p1} = 100$ нФ (входной разделительный конденсатор);
- $R_3 = 470$ кОм (затворный резистор);
- VT – КП 302Б (полевой транзистор с pn -переходом и n -каналом. Усилительный элемент каскада);
- $R_{и} = 150$ Ом (резистор в цепи истока);
- $C_{и} = 100$ мкФ (конденсатор, шунтирующий $R_{и}$ в цепи истока ПТ для исключения ООС по переменному току в области средних частот);
- $R_c = 750$ Ом (резистор в цепи стока транзистора – нагрузка УЭ);
- $C_{p2} = 100$ нФ (выходной разделительный конденсатор);
- $R_{н} = 10$ кОм (резистор нагрузки каскада).

– после проверки схемы преподавателем, закоротить входные зажимы усилителя проводником и подключить питающее напряжение $E_c = 12$ В к нужному гнезду панели;

– подключив вольтметр в режиме измерения **постоянного напряжения** между стоком транзистора и «земляной» шиной, проверить правильность задания рабочей точки транзистору. **Вольтметр в режиме покоя схемы должен показать значение 5÷6 В.** Если показания вольтметра не соответствуют требуемой величине, провести настройку каскада: поменять в нужную сторону сопротивление резистора $R_{и}$ (**уменьшение этого сопротивления увеличивает ток покоя $I_{0с}$, а увеличение – уменьшает**). Настройка может потребовать проведения нескольких последовательных итераций по подбору подходящего сопротивления резистора $R_{и}$. После достижения нужного результата продолжить работу по программе лабораторной работы;

– провести исследования каскада **на постоянном токе**, т.е. в режиме покоя (исходное состояние – $u_{вх} = 0$). В процессе исследования измеряются параметры $U_{0зи}$ и $U_{0си}$ транзистора, а также напряжения **на всех элементах схемы (с фиксацией результатов)**. Кроме того, проводятся измерения тока затвора, стока транзистора и тока нагрузки усилителя ($I_{н} = 0!$). **При измерениях используются осциллограф и цифровой вольтметр в соответствующих режимах.**

с) исследование RC -усилителя на ПТ (ОИ) на **переменном** токе

– с помощью органов управления установить на выходе генератора синусоидальный сигнал с частотой $f = 5$ кГц и действующим значением напряжения 0,1 В (амплитуда сигнала при этом $U_{m\text{ вх}} \approx 141$ мВ).

– убрать закоротку на входе каскада. Подключить к усилителю **поочередно**: питающее напряжение E_c , входной синусоидальный сигнал;

– подсоединить сигнальные кабели I канала осциллографа к входу, в II канала – к выходу схемы. Наблюдая за сигналами на экране осциллографа, убедиться в нормальной работе усилителя: **выходной сигнал должен быть существенно больше входного, причем нелинейные искажения выходного напряжения должны практически отсутствовать**. Если эти условия выполняются, следует продолжать работу по программе. Если нет – необходимо выяснить причины неудовлетворительной работы схемы, **проверив правильность выполнения предыдущих пунктов программы**;

– используя два канала осциллографа, снять попарно, фазировав, следующие осциллограммы: $u_{вх}(t)$; $u_{вых}(t)$; $u_{R_3}(t)$; $i_{вх}(t) = u_{R_3}(t)/R_3$; $u_{R_H}(t) = u_{C_H}(t)$; $u_{зИ}(t) \approx u_{R_3}(t)$; $u_{сИ}(t)$; $u_{R_C}(t)$; $i_C(t)$; $u_{C_{P1}}(t)$; $u_{C_{P2}}(t)$; (при работе с двумя каналами учесть, что «земли» **обоих каналов присоединяются к одной точке схемы!!!**);

– измерить с помощью ЦВ и осциллографа необходимые параметры для расчета входного сопротивления каскада и коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности, рассчитать $R_{вх}$, K_U , K_I , K_P ; сравнить полученные значения с рассчитанными в предварительном задании, сделать выводы;

– повторить предыдущий пункт, исключив из схемы конденсатор C_H . Оценить влияние последовательной отрицательной обратной связи по току на основные параметры усилительного каскада;

– вернуть конденсатор в схему. Повторить измерения коэффициентов усиления, изменив в большую и меньшую стороны сопротивление стокового резистора ($R_{с макс} = 1 \text{ кОм}$, $R_{с мин} = 560 \text{ Ом}$). Оценить влияние сопротивления R_c на коэффициенты усиления каскада;

– вернуть в схему прежний резистор $R_c = 750 \text{ Ом}$. Последовательно меняя сопротивление нагрузки каскада ($R_H = \infty$; 100 к, 75 к, 51 к; 33 к, 15 к; 10 к; 4,7 к; 2 к; 1 к; 560 Ом), измерять соответствующее выходное напряжение, фиксируя результат. Сделав необходимые расчеты, построить нагрузочную характеристику $U_{вых} = f(I_{вых})$, определить выходное сопротивление каскада $R_{вых} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{вых}$;

– восстановить первоначальное значение сопротивления нагрузки $R_H = 10 \text{ к}$. Проверить и при необходимости откорректировать входное напряжение каскада ($U_{вх} = 100 \text{ мВ}$). Снять амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики каскада (15÷20 точек), меняя частоту

входного сигнала в диапазоне от 20 Гц до 200 кГц (особое внимание уделить низким и высоким частотам). Определить коэффициенты частотных искажений на граничных частотах ($f_{н\text{ гр}} = 100$ Гц, $f_{в\text{ гр}} = 20$ кГц), сравнить полученные результаты с расчетными, сделать выводы;

– восстановить первоначальное значение частоты входного напряжения $f = 5$ кГц. Отключить от входа усилителя источник сигнала. Закоротив входные зажимы каскада, измерить с помощью ЦВ на самом чувствительном пределе напряжение шумов на выходе, зафиксировав результат.

– восстановить первоначальное состояние схемы. Меняя входной сигнал в диапазоне от 0 до 0,5 В (10÷15 точек) и **отслеживая изображение выходного сигнала на экране осциллографа**, снять с помощью ЦВ амплитудную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ каскада. Отметить, при каких входном и выходном напряжениях начинают заметно проявляться нелинейные искажения выходного сигнала. Определить динамический диапазон усилителя.

Расчетные формулы, используемые для определения параметров усилителя и для выполнения предварительных расчетов

Исходные данные:

- крутизна транзистора в рабочей точке $S_A \approx 4$ мА/В;
- нижняя граничная частота усилителя $f_n = 100$ Гц;
- верхняя граничная частота усилителя $f_v = 20$ кГц;
- коэффициент частотных искажений на нижней и верхней граничных частотах $M_n = M_v = 3$ дБ (перевести в относительные единицы!). Считать, что M_n распределен равномерно по всем внешним конденсаторам.

1. Входное сопротивление каскада $R_{\text{ВХ}} \approx R_3$.
2. Входной ток усилителя: $I_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} / R_{\text{ВХ}}$.
3. Входная мощность, потребляемая от источника входного сигнала: $P_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}$.
4. Сопротивление нагрузки УЭ для переменного тока: $R_{\text{Н~}} \approx R_n \parallel R_c$.
5. Коэффициент усиления каскада без ООС: $K_u = S_A \cdot R_{\text{Н~}}$.
6. Выходное напряжение усилителя: $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot K_u$.
7. Выходной ток (ток нагрузки): $I_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} / R_{\text{Н~}}$.
8. Выходная мощность (мощность нагрузки): $P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}$.
9. Коэффициент усиления каскада по мощности: $P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}$.
10. Мощность, потребляемая каскадом: $P_0 = E_c \cdot I_{0c}$.

11. Коэффициент полезного действия усилителя: $\eta = P_{\text{ВЫХ}} / P_0$.

12. Коэффициент усиления по току: $I_{\text{ВЫХ}} / I_{\text{ВХ}}$.

13. Выходное сопротивление каскада: $R_{\text{ВЫХ}} \approx R_c$.

14. Емкость первого разделительного конденсатора C_{p1} и коэффициент частотных искажений $M_{н1}$, обусловленный влиянием C_{p1} :

$$C_{p1} \geq \frac{1}{\omega_n \cdot (R_r + R_{\text{ВХ}}) \cdot \sqrt{M_{н1}^2 - 1}}, \quad M_{н1} = \sqrt{1 + \frac{1}{\omega_n^2 \cdot C_{p1}^2 \cdot (R_r + R_{\text{ВХ}})^2}}.$$

15. Емкость конденсатора $C_{и}$ в цепи истока и коэффициент частотных искажений $M_{н2}$, обусловленный влиянием $C_{и}$:

$$C_{и} \geq \frac{1}{\omega_n \cdot R_{и} \cdot \sqrt{M_{н2}^2 - 1}}, \quad M_{н2} = \sqrt{1 + \frac{1}{\omega_n^2 \cdot R_{и}^2 \cdot C_{и}^2}}.$$

16. Емкость второго разделительного конденсатора C_{p2} и коэффициент частотных искажений $M_{н3}$, обусловленный влиянием C_{p2} :

$$C_{p2} \geq \frac{1}{\omega_n \cdot (R_{\text{ВЫХ}} + R_{и}) \cdot \sqrt{M_{н3}^2 - 1}}, \quad M_{н3} = \sqrt{1 + \frac{1}{\omega_n^2 \cdot C_{p2}^2 \cdot (R_{\text{ВЫХ}} + R_{и})^2}}.$$

17. Результирующий коэффициент частотных искажений на нижних частотах, обусловленный влиянием всех внешних конденсаторов:

$$M_{н} = M_{н1} \cdot M_{н2} \cdot M_{н3} = \frac{K_{U0}}{K_{Uн}},$$

где K_{U0} , $K_{Uн}$ – коэффициенты усиления усилителя на средних частотах и нижней граничной частоте f_n , соответственно.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет к лабораторной работе выполняется индивидуально, аккуратно, грамотно и должен содержать следующие разделы:

- 1) цель работы;
- 2) программа работы (**укрупненно**, без подробного описания действий, предпринимаемых при выполнении того или иного подпункта);
- 3) последовательно изложенные результаты выполнения каждого пункта программы, включающие (по мере необходимости):
 - результаты измерений, сведенные в таблицу;
 - сравнение результатов графо-аналитического расчета и эксперимента с расчетом погрешностей;

- сфазированные осциллограммы;
- 4) выводы (приводятся либо в конце работы, либо в конце каждого пункта по ходу выполнения).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите о существующих способах включения транзисторов в электронную цепь. Каким образом на практике определяется схема включения транзистора?
2. Что такое «крутизна» полевого транзистора? Как определяется крутизна ПТ в рабочей точке?
3. Сравните каскады ОЭ и ОИ по основным показателям. Когда предпочтительнее использовать ту или иную схему?
4. Расскажите принцип действия электронного усилителя на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком.
5. Объясните назначение всех элементов в типовом усилительном каскаде ОИ.
6. Приведите сфазированные диаграммы токов и напряжений в исследуемом каскаде ОИ: $u_{вх}(t)$; $u_{Ср1}(t)$; $u_{зи}(t)$; $i_c(t)$; $u_{си}(t)$; $u_{Rи}(t)$; $u_{Ср2}(t)$; $u_{вых}(t)$.
7. Почему каскад с ОИ чаще используется на практике, чем другие?
8. В каких классах усиления может работать усилительный элемент? Каким образом обеспечивается требуемый режим? Какой основной параметр характеризует класс усиления? В каких случаях используется тот или иной класс?
9. Какие способы задания рабочей точки транзистору Вы знаете? Какой из них, на Ваш взгляд, предпочтительнее? Почему?
10. Поясните действие механизма стабилизации положения рабочей точки в схеме ОИ при включении в цепь истока резистора $R_{и}$.
11. Покажите на конкретном примере, каким образом осуществляется построение динамических выходных характеристик (нагрузочных прямых) по постоянному и переменному току для каскада ОИ.
12. На какие показатели усилительного каскада влияет величина сопротивления в цепи стока? Какие рекомендации по выбору R_c существуют?
13. Какие показатели каскада ОИ изменятся, если конденсатор $C_{и}$ цепочки термостабилизации: а) потеряет емкость ($C_{и}=0$); б) пробьется накоротко? Как в этом случае изменится режим каскада по постоянному (переменному) току?
14. Каким образом измерить K_i исследуемого каскада с помощью универсального цифрового вольтметра? Приведите схему измерения.
15. Что такое «собственные шумы усилителя»? Каким образом они определяются практически?

16. Приведите типичный вид амплитудной характеристики усилителя. Объясните ход кривой. Какой параметр каскада определяется по этой характеристике?
17. Чем обусловлены нелинейные искажения в усилителе? Какой параметр используется для их оценки?
18. Что такое «линейные искажения» в усилителе? Чем они обусловлены и какими параметрами оцениваются? Приведите типичный вид амплитудно- и фазо-частотной характеристик резистивно-ёмкостного усилительного каскада. Объясните ход указанных зависимостей.
19. Приведите схему усилительного каскада, в котором используется последовательная отрицательная обратная связь по переменному току. Каким образом эта связь влияет на основные параметры усилителя?
20. Приведите критерии, по которым производится выбор конкретного транзистора в качестве усилительного элемента каскада.
21. Каким образом рассчитывается требуемое напряжение питания усилительного каскада?
22. Приведите вид внешней (нагрузочной) характеристики усилителя. Объясните ход кривой. Какой параметр определяется по этой характеристике? Чем ограничивается минимально-допустимое сопротивление нагрузки?
23. Как экспериментально определить входное сопротивление усилительного каскада? От каких факторов оно зависит?
24. Что такое «электронный усилитель»? Чем он отличается от повышающего трансформатора?
25. Укажите критерии, по которым усилительный каскад относят к: а) усилителям напряжения; б) усилителям тока; в) усилителям мощности.
26. Приведите структурную схему усилительного каскада. Объясните назначение всех блоков, входящих в схему.
27. Предложите методы плавного регулирования коэффициента усиления каскада.
28. Какие типы резисторов и конденсаторов целесообразно применять при практической реализации RC -усилителя бытового назначения? Обоснуйте ответ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для вузов.- М.: Высш. школа, 1982.
2. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. Учебник для вузов.- М., Радио и связь, 1989.