

Лабораторная работа № 1

Исследование резисторного каскада предварительного усиления на биполярном транзисторе

1. Цель работы

Исследовать влияние параметров элементов схемы каскада с эмиттерной стабилизацией на его показатели (коэффициент усиления, частотные и переходные характеристики).

2. Подготовка к работе

2.1. Изучить следующие вопросы курса:

- цепи питания и схемы смещения транзисторных каскадов усиления;
- построение и использование нагрузочных прямых резисторного каскада для постоянного и переменного токов на семействе выходных статических характеристик;
- свойства и особенности каскадов предварительного усиления;
- назначение элементов принципиальной схемы резисторного каскада;
- амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) резисторного каскада;
- переходные характеристики резисторного каскада;
- эквивалентные схемы и линейные искажения в резисторном каскаде;
- расчетные соотношения для резисторного каскада.

2.2. Изучить принципиальную схему усилителя (рисунок 1),

2.3. Для заданной схемы рассчитать следующие параметры усилителя:

- Коэффициент усиления по напряжению, сквозной коэффициент усиления каскада.
- Коэффициент частотных искажений каскада на частоте 40 Гц, обусловленной влиянием емкости в цепи эмиттера C_3 (C5) и разделительных конденсаторов $C_{p\text{ вх}}$ (C1) и $C_{p\text{ вых}}$ (C2). Определить общий коэффициент частотных искажений, вносимых этими элементами. При этом учесть, что выходное сопротивление транзистора значительно больше сопротивления в цепи коллектора R_4 .
- Коэффициент частотных искажений M_ε на частоте 100 кГц, обусловленной динамической емкостью $C_{бэ\text{ дин}}$ транзистора и емкостью нагрузки C_H (C3). Определить общий коэффициент частотных искажений, вносимых этими элементами.

- Время установления переднего фронта прямоугольного импульса малой длительности ($t_u = 5\text{мкс}$). При этом считать, что переходные искажения в области малых времен определяется выходной цепью каскада:

$$t_{уст} = 2,2 \times C_{нх} R_{эв\text{ вых}}, \quad (2.1)$$

где $R_{эв\text{ вых}}$ – эквивалентное сопротивление выходной цепи каскада, рассчитанное для диапазона верхних частот.

- Спад плоской вершины прямоугольного импульса большой длительности ($t_u = 5000\text{мкс}$). Общий спад плоской вершины прямоугольного импульса вследствие влияния разделительных емкостей равен:

$$D_{общ} = D_{Cp\text{ вх}} + D_{Cp\text{ вых}}, \quad (2.2)$$

Исходные данные: транзистор типа КТ 3102А с параметрами: $h_{21э} = 200$, $C_k = 10\text{ пФ}$, $f_{h21э} = 1,5\text{ МГц}$, $r_{бэ\text{ б}}$ = 120 Ом; напряжение источника питания $E_0 = 15\text{В}$, ток покоя транзистора $i_{к0} = 3\text{мА}$.

Варианты значений входной (С1) и выходной (С2) разделительной емкости, а также емкости нагрузки С3, указанные в таблице 2.1, выбираются по последней цифре пароля.

Таблица 2.1 Варианты значений емкостей

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
С1,мкФ	2.2	2.5	2.7	3	3.2	3.8	4.0	4.2	4.5	4.7
С2,мкФ	4.7	4.5	4.2	4.0	3.8	3.2	3	2.7	2.5	2.2
С3,пФ	200	300	400	500	200	300	400	500	400	500
С5,мкФ	500	400	500	400	300	200	500	400	300	200

Литература

1. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. Учебное пособие. Часть 2. – Новосибирск: СибГУТИ, 2002, стр. 10-65.
2. Конспект лекций.

1. Описание схемы исследуемого усилителя

Принципиальная схема резисторного каскада приведена на рисунке 1.

Транзистор $VT1$ включен по схеме с общим эмиттером. Необходимый режим работы и стабилизации тока обеспечивается резисторами $R2$, $R3$, $R5$. При этом делитель напряжения $R2$, $R3$ создает требуемое

напряжение смещения, а $R5$ предназначен для эмиттерной стабилизации постоянного коллекторного тока транзистора $VT1$. Через сопротивление $R4$ подается постоянное питающее напряжение от источника питания на коллектор $VT1$, кроме того, благодаря $R4$ усиленный сигнал поступает в нагрузку. Конденсаторы $C1$ и $C2$ разделяют по постоянному току входную и выходную цепи усилителя. Конденсатор $C5$ служит для устранения отрицательной обратной связи по переменному току за счет $R5$. Малая емкость в цепи эмиттера $C4$ создает частотно-зависимую отрицательную обратную связь, применяемую для коррекции частотной характеристики на верхних частотах. Резистор $R1$ эквивалентен внутреннему сопротивлению источника сигнала, а $R6$ служит нагрузкой для усилителя. Наконец, конденсатор $C3$ имитирует емкость нагрузки.

Коэффициент усиления по напряжению в области средних частот определяется по следующей формуле:

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = h_{21э} \cdot \frac{R_{кн}}{R_{вх.э}}, \quad (2.3)$$

Эквивалентное сопротивление нагрузки по переменному току равно параллельному соединению сопротивлений $R4$ и $R6$:

$$R_{кн} = \frac{R4 \cdot R6}{R4 + R6}, \quad (2.4)$$

Входное сопротивление транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:

$$R_{вх.э} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = r_{бэ} + r_{э} = r_{бэ} + r_{э} (1 + h_{21э}), \quad (2.5)$$

где $r_{э}$ – активное сопротивление эмиттерного перехода, зависящее от режима работы транзистора.

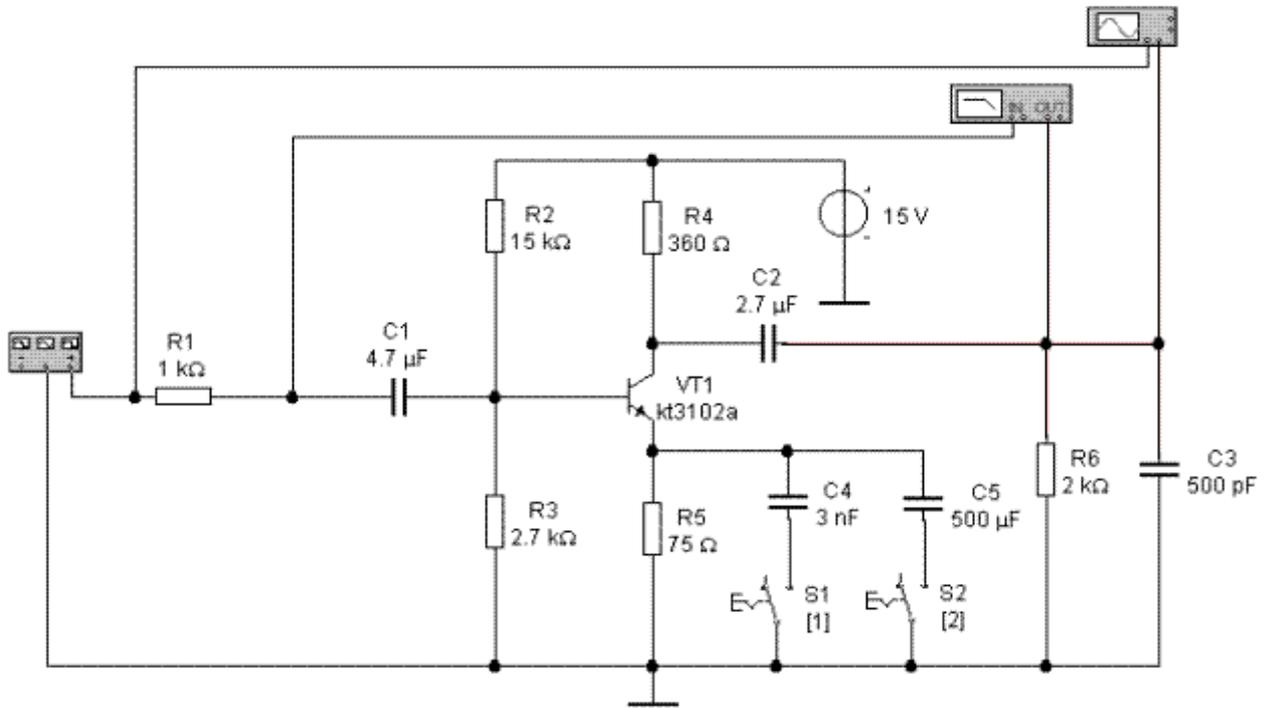


Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторной установки

Для маломощных транзисторов $r_э$ определяется по эмпирической формуле (2.6):

$$r_э(Ом) \approx \frac{25}{i_{к0}(мА)}, \quad (2.6)$$

Активное сопротивление между базой и эмиттером равно (2.7):

$$r_{бэ} = (1 + h_{21э}) \times r_э, \quad (2.7)$$

Сквозной коэффициент усиления по напряжению равен произведению коэффициента передачи входной цепи и коэффициента усиления каскада и определяется по формулам (2.8) и (2.9):

$$K_E = \frac{U_{вых}}{U_{вст}} = \frac{U_{вх}}{U_{вст}} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = K_{вх} \cdot K, \quad (2.8)$$

Коэффициент передачи входной цепи:

$$K_{вх} = \frac{U_{вх}}{U_{вст}} = \frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_1}, \quad (2.9)$$

Входное сопротивление каскада $R_{вх}$, представляет собой параллельное соединение входного сопротивления транзистора $R_{вхэ}$ и сопротивлений делителя в цепи базы R_6

$$R_{ex} = \frac{R_6 \cdot R_{ex.3}}{R_6 + R_{ex.3}}, \quad (2.10)$$

где R_6 – определяется выражением (2.12), а входное сопротивление транзистора – выражением (2.5).

Эквивалентное сопротивление источника сигнала R'_{ucm} равно параллельному соединению сопротивлений $R1$, $R2$ и $R3$, то есть:

$$R'_{ucm} = \frac{R_6 \cdot R1}{R_6 + R1}, \quad (2.11)$$

$$R_6 = \frac{R2 \cdot R3}{R2 + R3}, \quad (2.12)$$

Сопротивление эквивалентного генератора $R_{эH}$ (для области нижних частот) представляет собой параллельное соединение сопротивления коллекторной нагрузки $R4$ и выходного сопротивления транзистора $R_{вых}$. Если $R4$ невелико, то $R_{эH} \gg R4$. При понижении частоты сопротивление разделительной емкости растет, а ток в цепи и, соответственно, напряжение на нагрузке уменьшается, что приводит к возникновению частотных искажений.

Коэффициент частотных искажений, вносимых разделительными емкостями:

$$M_{кр\text{ вых}} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{(R_{эH} + R1) \cdot \omega \cdot C2} \right)^2}, \quad (2.13)$$

$$M_{кр\text{ вх}} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{(R1 + R_{ex}) \cdot \omega \cdot C1} \right)^2}, \quad (2.14)$$

Для большой емкости в цепи эмиттера (при сравнительно небольших частотных искажениях, вызываемых цепочкой R_3C_3) коэффициент частотных искажений можно рассчитать по приближенному выражению

$$M_{кнз} \approx \sqrt{1 + \left(\frac{1 + K_T}{(R'_{ucm} + R_{ex.3}) \cdot \omega \cdot C5} \right)^2}, \quad (2.15)$$

где K_T – динамический коэффициент усиления по току, который в приближенных расчетах можно брать равным статическому коэффициенту усиления по току $h_{21э}$.

При этом общий коэффициент частотных искажений усилительного каскада определяется как

$$M_H = M_{Hр\text{ вх}} \times M_{Hр\text{ вых}} \times M_{Hэ}, \quad (2.16)$$

На верхних частотах частотные искажения, вносимые динамической емкостью $C_{бэ\text{ дин}}$ транзистора, определяются выражением:

$$M_{бэ} = \sqrt{1 + (\omega \cdot C_{бэ\text{ дин}} \cdot R_{эв\text{ вх}})^2}, \quad (2.17)$$

где внутреннее сопротивление эквивалентного генератора для входной цепи каскада

$$R_{эв\text{ вх}} = \frac{(R'_{уст} + r_{б'б}) \cdot r_{б'э}}{R'_{уст} + r_{б'б} + r_{б'э}}, \quad (2.18)$$

Частотные искажения, вносимые емкостью нагрузки C_H транзистора

$$M_{б0} = \sqrt{1 + (\omega \cdot C_H \cdot R_{эв\text{ вых}})^2}, \quad (2.19)$$

где внутреннее сопротивление эквивалентного генератора для входной цепи каскада

$$R_{эв\text{ вых}} = \frac{R4 \cdot R6}{R4 + R6}. \quad (2.20)$$

Относительный спад плоской вершины импульса большой длительности за счет разделительных емкостей

$$\Delta_{ср\text{ вх}} \approx \frac{t_u}{C1(R'_{уст} + R_{эв\text{ э}})}; \quad \Delta_{ср\text{ вых}} \approx \frac{t_u}{C2(R4 + R6)} \quad (2.21)$$

4 Задание

Для данного усилительного каскада представляет интерес решение трех основных задач:

4.1. Исследовать логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) и фазочастотных (ЛФЧХ) характеристик усилителя с целью исследования влияния резистивных элементов:

- без учета влияния отрицательной обратной связи по переменному току (при включении большой емкости в цепь эмиттера);
- с частотно-независимой обратной связью (без подключения емкостей в цепи эмиттера транзистора);

- с частотно-зависимой обратной связью (при включении малой емкости эмиттера, являющейся элементом высокочастотной коррекции).

Пояснить как при заданных частотных искажениях M_B и M_H (по 3 Дб) на верхней f_B и нижней f_H рабочих частотах и заданном коэффициенте усиления на средней частоте $K(f_{cp})$ определить частоты f_B и f_H .

4.2. Исследование переходных характеристик для вариантов схемы, указанных в п. 2 и оценка переходных искажений:

Пояснить как по переходным характеристикам определить время установления фронта импульса $t_{уст}$ (для импульсов малой длительности) и относительный спад плоской вершины Δ (для импульсов большой длительности).

4.3 Объяснить, почему изменяются коэффициенты усиления, причины и механизм возникновения частотных и переходных искажений и сформулировать основные выводы по результатам исследования.

5. Содержание отчета

5.1. Принципиальная схема исследуемого каскада.

5.2. Результаты расчета и выполнения задания.

5.3. Осциллограммы выходного сигнала (при подаче на вход импульсов малой и большой длительности).

5.4 Выводы по результатам расчетов. Под выводами понимаются рассчитанные параметры (коэффициенты усиления, граничные частоты $t_{уст}$, $\Delta_{общ}$) для различных вариантов параметров с объяснением механизма влияния компонентов схемы на АЧХ и ПХ.