

## НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ (ПТ)

А. А. КУЗЬМИН, Г. В. КРЮКОВА

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

В настоящей статье дается описание избирательного  $RC$ -усилителя на полупроводниковых триодах (рис. 1) с применением в ка-

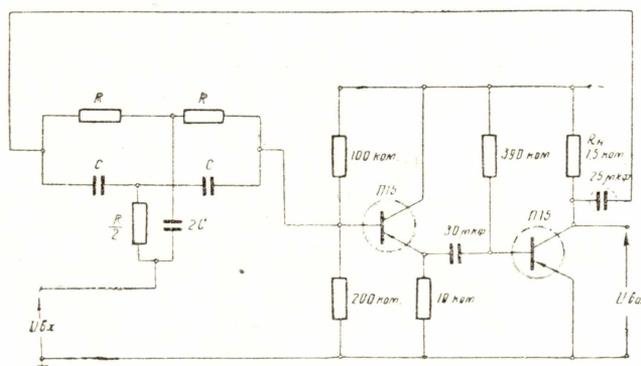


Рис. 1.

честве отрицательной обратной связи двойного Т-образного моста.

Известно [1], что комплексный коэффициент усиления избирательного  $RC$ -усилителя равен

$$K_f = \frac{K_0(1-\dot{\beta})}{1-K_0\dot{\beta}}, \quad (1)$$

где  $K_0$ —комплексный коэффициент усиления усилителя,

$\dot{\beta}$ —комплексный коэффициент передачи цепи обратной связи.

При анализе избирательного  $RC$ -усилителя на ПТ необходимо учитывать сравнительно небольшое входное сопротивление усилителя и шунтирование нагрузки входным сопротивлением фильтра.

Комплексный коэффициент передачи фильтра равен

$$\dot{\beta} = \frac{-Y_{21}}{Y_{22} + \frac{1}{R_{вх}}} = \frac{(1-v^2)R_{вх}}{R_{вх}(1-v^2 + j4v) + 2R(1+jv)}, \quad (2)$$

где  $R$ —сопротивление фильтра,  $R_{вх}$ —входное сопротивление усилителя,

$$v = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 + \Delta\omega}{\omega_0} = 1 + \xi.$$

Коэффициент передачи эмиттерного повторителя приблизительно равен 1, поэтому коэффициент усиления равен коэффициенту усиления каскада с общим эмиттером

$$K_0 = \frac{-\alpha Z_H}{r_e + r_b(1-\alpha)} = -\frac{\alpha \cdot \frac{R_H \cdot Z_{вх.ф}}{R_H + Z_{вх.ф}}}{a}, \quad (3)$$

где  $r_e, r_b, \alpha$ —параметры транзистора,  $R_H$ —сопротивление нагрузки,  $Z_{вх.ф} = -j \frac{R}{2v} (1+jv)$ —входное комплексное сопротивление фильтра.

Подставляя выражения (2) и (3) в (1) и делая соответствующие преобразования, получим

$$K_f = \frac{2R^2 K_0}{b} \cdot \frac{\left(1 + \frac{R_H}{R}\right) - j \frac{R_H}{R}}{\left\{1 - \frac{R_{вх}}{d} 2\xi \left[\frac{R}{2} - \frac{2K_c R_H R R_{вх}}{b}\right]\right\} + \frac{\left(1 + \frac{R_H}{R}\right) - j \frac{R_H}{R}}{+ j \frac{R_{вх}}{d} 2\xi \left\{\frac{K_0 R_H R^2}{b} + \frac{2R_{вх} + R}{2} \left[1 + \frac{2K_0 R (R + R_H)}{b}\right]\right\}}}, \quad (4)$$

где  $K_0 = \frac{\alpha}{a} R_H$ ,  $b = R^2 + (2R_H + R)^2$ ,  $d = R^2 + (2R_{вх} + R)^2$ ,

$$R_{вх} \cong \frac{a + r_b \frac{R_H}{r_k}}{(1-\alpha) \left[1 - \alpha + \frac{R_H}{r_k}\right]}$$

При достаточно большой добротности можно считать, что коэффициент усиления будет иметь максимум при  $\xi=0$ , т. е.

$$\left| K_{f0} \right| = \frac{K_0}{\sqrt{1 + 2 \frac{R_H}{R} \left(1 + \frac{R_H}{R}\right)}}. \quad (5)$$

Резонансная кривая, рассчитанная для  $R=8 \text{ ком}$ ,  $C=0,5 \text{ мкф}$ ,  $R_H=1,5 \text{ ком}$ ,  $\alpha=0,98$ ,  $r_b=400 \text{ ом}$ ,  $r_e=5 \text{ ом}$  и  $r_k=500 \text{ ком}$  и резонансной частоты  $40 \text{ гц}$ , показана на рис. 2 пунктирной линией.

Из формулы (4) найдем выражение для добротности усилителя

$$Q = \frac{1}{\left[ \left( \frac{R}{R_{вх}} \right)^2 + \left( 2 + \frac{R}{R_{вх}} \right)^2 \right]}$$

$$\left\{ \frac{K_0 \frac{R_n}{R_{вх}}}{1 + \left( 2 \frac{R_n}{R} + 1 \right)^2} + \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{R}{R_{вх}} \right) \left[ 1 + \frac{2K_0 \left( 1 + \frac{R_n}{R} \right)}{1 + \left( 1 + 2 \frac{R_n}{R} \right)^2} \right] \right\} \quad (6)$$

Анализируя (6), можно установить, что, во-первых, при  $R$  и  $R_{вх} \gg R_n$  добротность  $Q = \frac{K_0 + 1}{4}$ , т. е. так же, как для  $RC$ -усилителей

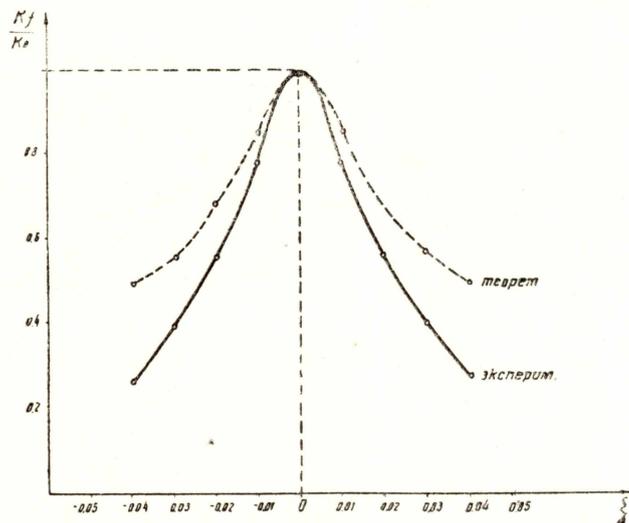


Рис. 2.

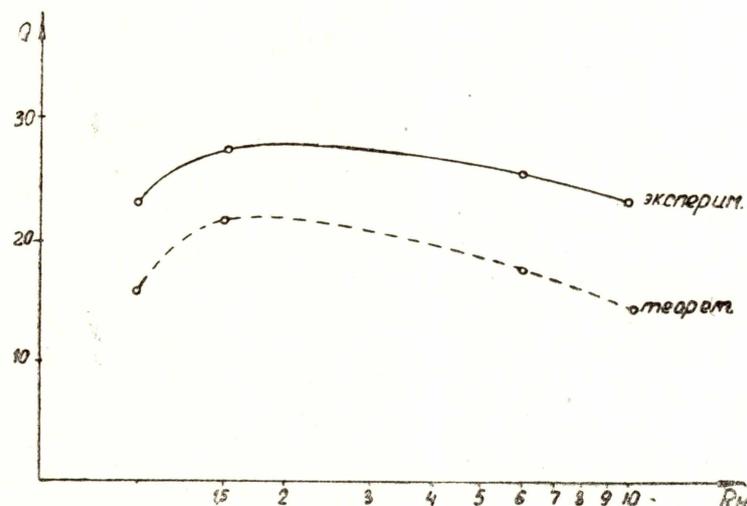


Рис. 3.

на электронных лампах; во-вторых, при увеличении сопротивления нагрузки добротность сначала возрастает, а затем начинает падать в силу замедления роста коэффициента усиления и уменьшения входного сопротивления усилителя. Зависимость  $Q = f(R_n)$ , рассчитанная

для указанных выше параметров триода и резонансной частоты, показана на рис. 3 пунктирной линией.

Для экспериментальной проверки теоретических результатов был собран избирательный  $RC$  - усилитель на триодах типа П15, показанный на рис. 1. Входной сигнал подавался от звукового генератора ЗГ-12 с выходным сопротивлением 200  $ом$ . Входные и выходные сигналы измерялись ламповым вольтметром ЛВ-9. Двойной Т-образный мост был настроен на частоту 40  $гц$ .

Режим каскада с общим эмиттером определялся напряжением питания цепи коллектора равным—10  $в$  и током коллектора—2  $ма$ . В этой рабочей точке триод имел указанные выше параметры, рассчитанные по статическим характеристикам.

Была снята зависимость добротности от сопротивления нагрузки (рис. 3). Эта зависимость имеет максимум  $Q=28$  при сопротивлениях нагрузки  $R_n=1,5$   $ком$ . На рис. 2 сплошной линией показана экспериментальная частотная характеристика при оптимальном сопротивлении нагрузки.

Как видно из этих рисунков, экспериментальные и теоретические зависимости совпадают с точностью до 25 %, что вполне допустимо для схем на ПТ. Коэффициент усиления усилителя равнялся 120.

Как показывают эксперимент и теория, избирательный  $RC$  - усилитель на полупроводниковых триодах обладает высокой избирательностью и высоким коэффициентом усиления и может с успехом заменить подобный усилитель на электронных лампах, что значительно снизит габариты и увеличит экономичность и долговечность работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козина О. Г., Французов А. А., Об избирательных усилителях. Радиотехника, 13, № 12, 1958.
  2. Сааков Э. О., Теория и расчет избирательных  $RC$  - систем. Госэнергоиздат, 1954.
  3. Асеев Б. Н., Основы радиотехники, Связьиздат, 1947.
-