

2. Кнорринг В. Г. Цепи вычитания частот для приборов с преобразованием частота — цифра. «Измерительная техника», № 7, 1963.  
 3. Сайбель А. Г. Основы радиолокации, М., 1961.

Ю. В. БЛИНКОВ, А. А. ЖАДАЕВ, Е. А. ЛОМТЕВ, Б. Н. ЛЯДОВ

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ С ОБЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Нередко при проектировании измерительных усилителей требуется принять все возможные меры для повышения входного сопротивления усилителя.

Обычно в основу инженерного метода расчета входного сопротивления усилителя, охваченного общей последовательной отрицательной обратной связью (ООС) по динамическим параметрам транзисторов, берется формула

$$Z_{вх.} = Z_{вх.б.о.с} + Z_{о.с} K_i, \quad (1)$$

где  $Z_{вх.}$  — входное сопротивление усилителя, охваченного общей последовательной ООС;

$Z_{вх.б.о.с}$  — входное сопротивление усилителя без ООС;

$Z_{о.с}$  — сопротивление в цепи общей последовательной ООС;

$K_i$  — общий коэффициент усиления по току усилителя.

Однако формула (1) в случае усилителя с непосредственными межкаскадными связями довольно приближена, так как не учитывает всех составляющих тока, протекающего через цепь общей последовательной ООС, и их фазовых соотношений.

Для более точного расчета величины входного сопротивления следует вместо коэффициента  $K_i$  использовать коэффициент цепи ООС

$$K_\beta = \frac{i_{о.с}}{i_{вх.}}, \quad (2)$$

который учитывает все составляющие тока, протекающего в цепи общей последовательной ООС, и их фазовые соотношения. Коэффициенты  $K_i$  и  $K_\beta$  часто очень отличаются друг от друга по величине. Например, в трехкаскадном усилителе (рис. 1) на транзисторах одного типа проводимости с целью общей последовательной ООС коэффициент усиления по току

$$K_i = K_{i1} K_{i2} K_{i3} m_{вх} m_{12} m_{23}, \quad (3)$$

где  $K_{ij}$  — коэффициент усиления по току транзистора  $j$ -го каскада усилителя;

$m_{вх}$  — коэффициент передачи по току входной цепи усилителя;

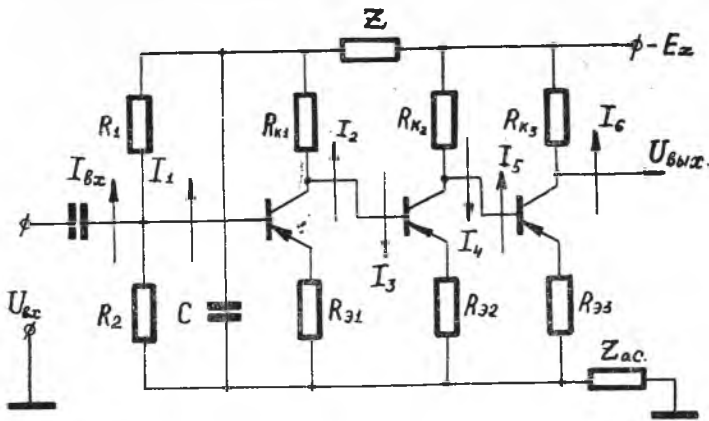


Рис. 1. Усилитель с последовательной отрицательной обратной связью на транзисторах одного типа проводимости

$m_{jj+1}$  — коэффициент передачи тока от коллектора транзистора  $j$ -го каскада усилителя к базе транзистора  $(j+1)$ -го каскада усилителя, причем

$$m_{jj+1} = \frac{z_{kj}}{z_{kj} + z_{\text{вх},j+1}},$$

$$m_{\text{вх.}} = \frac{z_{\text{вх.д}}}{z_{\text{вх.д}} + z_{\text{вх.1}}}$$

Здесь  $z_{kj}$  — величина сопротивления нагрузочного резистора  $j$ -го каскада усилителя;

$z_{\text{вх},j+1}$  — входное сопротивление  $(j+1)$ -го каскада усилителя;

$z_{\text{вх.д}}$  — эквивалентное сопротивление базового делителя напряжения входного (первого) каскада усилителя;

$z_{\text{вх.1}}$  — входное сопротивление первого каскада усилителя без учета делителя [1].

Величина же коэффициента цепи ООС определяется выражением

$$K_{\beta} = K_{i1} K_{i2} K_{i3} m_{\text{вх}} m_{12} m_{23} - K_{i1} K_{i2} m_{\text{вх}} m_{12} + K_{i1} m_{\text{вх}} + 1. \quad (4)$$

Пренебрегая двумя последними членами выражения (4) ввиду их малости, найдем

$$K_{\beta} \cong m_{\text{вх}} m_{12} K_{i1} K_{i2} (m_{23} K_{i3} - 1),$$

$$\frac{K_{\beta}}{K_i} = \frac{m_{23} K_{i3} - 1}{m_{23} K_{i3}}, \quad (5)$$

то есть в данном случае  $K_{\beta} < K_i$ .

Формула (5) показывает, что  $K_{\beta}$  и  $K_i$  примерно равны только в том случае, если  $m_{23} K_{i3} \gg 1$ .

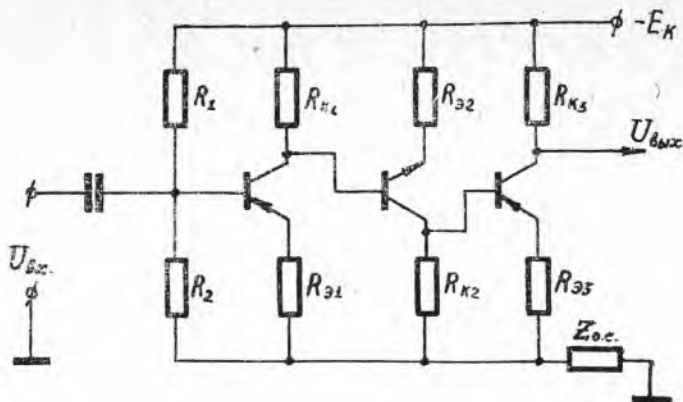


Рис. 2. Усилитель с чередованием проводимости транзисторов

Кроме того, если выполняется обратное условие  $m_{23}K_{i3} < 1$  то связь переходит в положительную. Условие  $m_{23}K_{i3} < 1$  действительно выполняется, если последний каскад усилителя построен по схеме «с общим коллектором» и  $R_{Э3} > R_{К3}$ .

В усилителе на рис. 2 используется чередование типов проводимости применяемых в усилителе транзисторов. В таком усилителе в цепи общей последовательной ООС токи всех каскадов усилителя суммируются арифметически

$$K_{\beta} = K_{i1} K_{i2} K_{i4} m_{вх} m_{12} m_{23} + K_{i1} K_{i2} m_{вх} m_{12} + K_{i1} m_{вх} + 1$$

и поэтому справедливо утверждение  $K_{\beta} > K_i$ .

Таким образом, можно сделать вывод: для получения большого входного сопротивления усилителя с общей последова-

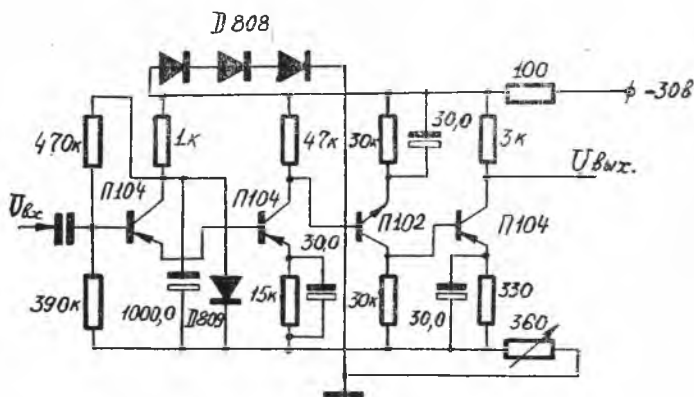


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема разработанного усилителя

тельной ООС последний предпочтительнее проектировать с применением чередования типов проводимости используемых транзисторов, которые следует включать по схеме «с общим эмиттером». Использование включения транзистора по схеме «с общим коллектором» в промежуточных каскадах и особенно на выходе усилителя не дает должного эффекта повышения входного сопротивления усилителя с общей последовательной ООС.

С учетом всего сказанного в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории автоматизации электрических измерений и контроля при Пензенском политехническом институте был разработан усилитель, схема которого приведена на рис. 3. Основные показатели усилителя следующие:

входное сопротивление —  $10,0 \text{ Мом}$ ;

нестабильность коэффициента усиления по напряжению —  $0,004\% / ^\circ\text{C}$ ;

коэффициент усиления по напряжению — 10.

Схема настраивается подбором сопротивления переменного резистора в цепи общей отрицательной обратной связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаенко Н. С. Проектирование транзисторных усилителей. Изд. «Энергия», М. — Л., 1965.

2. Назарьян Г. А. Зависимость динамических характеристик транзисторов от температуры. Сб. «Полупроводниковые триоды и их применение», вып. 13. Изд. «Советское радио», М., 1965.