

## ВЛИЯНИЕ ЭМИТТЕРНОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ШУМА НИЗКОЧАСТОТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

В. Е. СТЕННИКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

При разработке усилителей слабых сигналов важно снизить шумы входного каскада. В литературе имеются сведения о возможности применения для этой цели положительной обратной связи (ПОС). Например, в [1, стр. 65—66] указывается, что влияние «эмиттерного источника шума» в транзисторе может быть уменьшено при использовании ПОС. Однако ни схемы, ни аналитического расчета в подтверждение такого вывода не приводится. В краткой заметке [2] сообщаются результаты экспериментального исследования однокаскадного усилителя, в котором шумы существенно снижаются ПОС, вводимой через трансформатор из эмиттерной цепи транзистора в базовую.

Цель настоящей статьи заключается в аналитическом исследовании возможности уменьшения коэффициента шума усилителя с помощью ПОС, реализуемой так, как указано в [2]. Предварительно сделаем следующее замечание. Так как ПОС изменяет частотную характеристику разомкнутого усилителя, исследование его коэффициента шума с обратной связью и без нее должно вестись при одинаковой шумовой полосе пропускания [3], определяемой, например, фильтром, включенным на выходе усилителя.

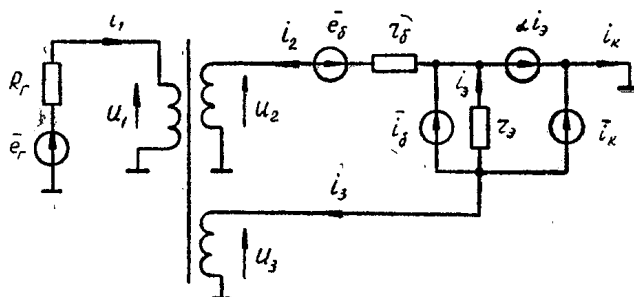


Рис. 1а

На рис. 1а приведена эквивалентная схема исследуемого усилителя. Шумы транзистора отображаются низкочастотной схемой Джиаколетто [4]. Коэффициент шума рассчитывается методом сигнальных графов [5, 6]. В дальнейшем анализе приняты следующие ограничения:

так как расчет ведется для области низких частот, то не будем учитывать влияние емкостей эмиттерного, коллекторного переходов транзистора и паразитной емкости на входе усилителя;

шумами коллекторной нагрузки пренебрегаем;

трансформатор считаем идеальным и нешумящим.

На рис. 16 изображен сигнальный граф рис. 1а. Через  $n$  и  $n_1$  обозначены коэффициенты трансформации:  $n = u_2/u_1$ ,  $n_1 = u_3/u_1$ . Определяя выходные реакции от каждого независимого шумового источника ( $\bar{e}_r$ ,  $\bar{e}_b$ ,  $\bar{i}_b$ ,  $\bar{i}_k$ ), найдем выражение для коэффициента шума усилителя

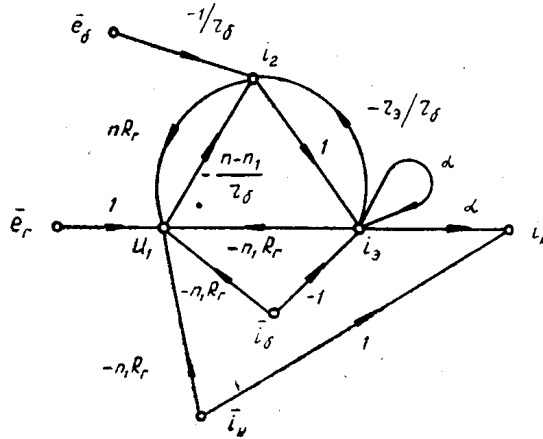


Рис. 16

$$F = 1 + \gamma \left\{ \frac{r_6}{R_r} + \frac{(1+\alpha)r_6^2 \cdot \left[ 1 + \frac{R_r}{r_6} \cdot \frac{1}{\gamma} \right]^2}{2r_3 R_r} + \frac{r_6^2}{2\alpha R_r r_3} \left[ \frac{r_3}{r_6} + (1-\alpha) \left( 1 + \frac{R_r}{r_6} \cdot \frac{1}{\gamma} \right) \right]^2 \right\}, \quad (1)$$

где

$$\gamma = 1/(n - n_1)^2. \quad (2)$$

Предварительное изучение уравнений (1) и (2) позволяет утверждать, что в исследуемом усилителе ни один шумовой источник не может быть подавлен ПОС, так как в выражении (1) нет слагаемых с отрицательным знаком. Минимальное значение коэффициента шума получается при выборе оптимальных коэффициентов трансформации  $n$  и  $n_1$ . Для этого необходимо исследовать выражение для  $F$  на минимум по параметру  $\gamma$ . Опуская промежуточные преобразования, приведем результаты анализа:

$$\gamma_{\text{opt}} = R_r / \sqrt{r_3^2 \beta + (r_3 + r_6)^2 + 2r_3 \cdot r_6 \cdot \beta},$$

$$F_{\text{min}} = 1 + \frac{r_6 + r_3}{r_3 \beta} + \sqrt{\frac{1}{\beta} + \frac{2r_6}{r_3 \beta} + \frac{(r_6 + r_3)^2}{r_3^2 \beta^2}}. \quad (3)$$

Чтобы сделать окончательные выводы, следует сравнить (3) с выражением минимального коэффициента шума, рассчитанного для усилителя рис. 1а без трансформатора. Полагая в (1)  $n=1$ ,  $n_1=0$ , после ряда преобразований приходим к известному выражению, полученному Нильсеном [7],

$$F = 1 + \frac{r_6}{R_r} + \frac{r_3}{2R_r} + \frac{(r_3 + r_6 + R_r)^2}{2r_3 \cdot R_r \cdot \beta}. \quad (4)$$

Исследуя (4) на минимум по  $R_r$ , убедимся, что получающееся выражение для  $F_{\min}$  в точности совпадает с (3). Другими словами, ПОС (реализуемая по схеме рис. 1а) не дает никакого выигрыша по шумам.

### Выводы

1. Применение ПОС, вводимой через трансформатор из эмиттерной цепи транзистора в базовую, не позволяет уменьшить коэффициент шума усилителя.

2. Уменьшение уровня шумов, полученное экспериментальным путем [2], можно объяснить как сужением шумовой полосы пропускания при увеличении глубины ПОС, так и улучшением согласования по шумам.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рейнфельдер Вильям А. Разработка малошумящих входных цепей на транзисторах. «Связь», 1967.
2. Positive, Negative Feedback Combine to Reduce Noise, „Electronic Design“, 1962, v. 10, V, № 11.
3. Faulkner E. A. The Design of Low-noise Audio-frequency Amplifiers, „Radio and Electron. Engr.“, 1968, v. 36, № 1.
4. Ван-дер-Зил А., Флуктуационные явления в полупроводниках, М., ИЛ, 1961.
5. Мэзон С. Дж., Циммерман Г. Дж. Электронные цепи, сигналы и системы. М., ИЛ, 1963.
6. Абрахамс Дж., Каверли Дж. Анализ электрических цепей методом графов. «Мир», 1967.
7. Nielsen E. G., Behavior of Noise Figure in Junction Transistors, „Proc. IRE“, July, 1957.