

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.

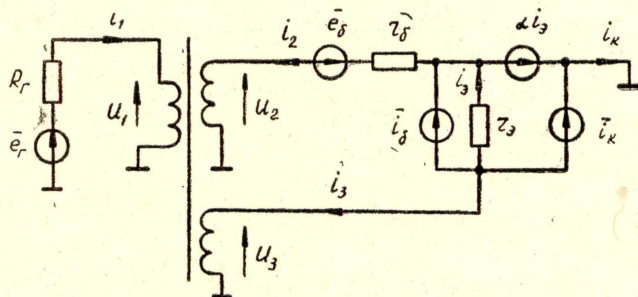


Рис. 1а

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 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 ($\bar{e}_r$, $\bar{e}_\delta$, $\bar{i}_\delta$, $\bar{i}_k$), найдем выражение для коэффициента шума усилителя

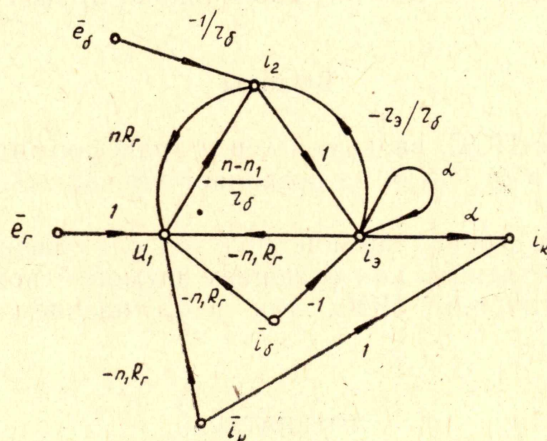


Рис. 16

$$F = 1 + \gamma \left\{ \frac{r_6}{R_r} + \frac{(1+\alpha)r_6^2 \cdot \left[1 + \frac{R_r}{r_6} \cdot \frac{1}{\gamma} \right]^2}{2r_9 R_r} + \right. \\ \left. + \frac{r_6^2}{2\alpha R_r r_9} \left[\frac{r_9}{r_6} + (1-\alpha) \left(1 + \frac{R_r}{r_6} \cdot \frac{1}{\gamma} \right) \right]^2 \right\}, \quad (1)$$

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 γ . Опуская промежуточные преобразования, приведем результаты анализа:

$$\gamma_{\text{opt}} = R_r / \sqrt{r_9^2 \beta + (r_9 + r_6)^2 + 2r_9 \cdot r_6 \cdot \beta}, \\ F_{\text{min}} = 1 + \frac{r_6 + r_9}{r_9 \beta} + \sqrt{\frac{1}{\beta} + \frac{2r_6}{r_9 \beta} + \frac{(r_6 + r_9)^2}{r_9^2 \beta^2}}. \quad (3)$$

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],

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

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.