

7.4. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Дифференциальные усилители (ДУ) на биполярных и полевых транзисторах отличаются от балансных усилителей, показанных на рис. 7.4, наличием двух несимметричных входов (рис. 7.6).

При поступлении на входы ДУ парафазных напряжений $u_{вх1} = u_{вх}/2$ и $u_{вх2} = -u_{вх}/2$ работа ДУ не отличается от работы усилителя параллельного баланса. При этом резистор $R_{не}$ является элементом ООС, и напряжения на несимметричных выходах оказываются равными:

$$\begin{aligned}u_{вых1} &= -SRu_{вх1} = -SRu_{вх}/2, \\u_{вых2} &= -SRu_{вх2} = -SR(-u_{вх}/2) = SRu_{вх}/2,\end{aligned}$$

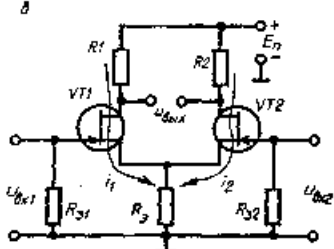
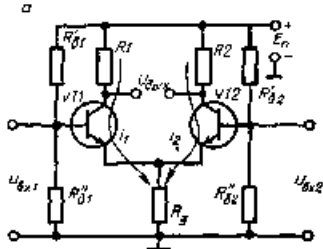


Рис. 7.6. Схемы дифференциальных усилителей на биполярных (а) и полевых (б) транзисторах

а на симметричном выходе

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вых1}} - u_{\text{вых2}} = SR(u_{\text{бэ2}} - u_{\text{бэ1}}) = -SRu_{\text{бэ}}$$

При поступлении на входы ДУ синфазных сигналов $u_{\text{бэ1}} = u_{\text{бэ2}} = u_{\text{бэ}}$ изменения токов i_1 и i_2 равны и по значению и по знаку, а изменение напряжения на резисторе R_3

$$\Delta u_3 = (\Delta i_1 + \Delta i_2)R_3 = 2\Delta i R_3.$$

Таким образом, для синфазных входных напряжений резистор R_3 является элементом ООС, и каждое плечо ДУ можно представить в виде, показанном на рис. 7.7. Коэф-

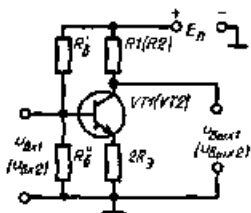


Рис. 7.7. Эквивалентная схема одного плеча ДУ для синфазных сигналов

фициент усиления каждого плеча можно определить по формуле

$$K_{\text{исф}} = K_u / (1 + \beta K_u),$$

где $K_u = SR$ — коэффициент усиления плеча без учета действия ООС; $\beta = u_{\text{оос}} / u_{\text{вых}}$ — коэффициент передачи цепи ООС; R — эквивалентное сопротивление выходной цепи усилителя, определяемое выражением (7.4).

Подставив значения K_u и β в выражение для коэффициента усиления одного плеча, получим

$$K_{\text{исф}} = \frac{SR}{1 + 2S \cdot R_3} = \frac{R}{2R_3} \quad (7.5)$$

Обычно $R_{\text{вых}} \gg R_1$ и $R_{\text{вых}} \gg R_2$, поэтому можно считать, что $R = R_1 = R_2 = R_k$. Тогда выражение (7.5) примет вид

$$K_{\text{исф}} = \frac{R_k}{2R_s}, \quad (7.6)$$

где R_k и R_s — сопротивления резисторов в коллекторных и эмиттерных цепях соответственно.

При входных синфазных сигналах потенциалы коллекторов изменяются одинаково, поэтому напряжение на симметричном выходе $u_{\text{вых}} = 0$.

Обычно синфазные сигналы представляют собой сигналы помехи, поэтому желательно иметь $K_{\text{исф}} = 0$. Уменьшение $K_{\text{исф}}$ достигается, как это видно из (7.6), увеличением сопротивления резистора R_s .

В большинстве случаев входные сигналы не являются чисто синфазными или противофазными, а содержат одинаковую (синфазную $u_{\text{вх.сф}}$) и отличающуюся (дифференциальную $u_{\text{вх.диф}} = u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}$) части, как показано на рис. 7.8. В таком случае сигналы, действующие на входах

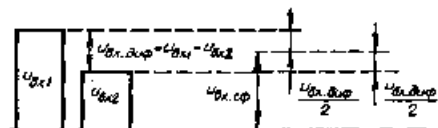


Рис. 7.8. Представление входных сигналов в виде дифференциальных и синфазных составляющих

ДУ, можно представить математически в следующей форме:

$$u_{\text{вх1}} = u_{\text{вх.сф}} + \frac{u_{\text{вх.диф}}}{2} = u_{\text{вх.сф}} + \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2},$$

$$u_{\text{вх2}} = u_{\text{вх.сф}} - \frac{u_{\text{вх.диф}}}{2} = u_{\text{вх.сф}} - \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2}.$$

В каждом плече синфазная составляющая будет усиливаться с коэффициентом $K_{\text{исф}} = -R_k/2R_s$, а дифференциальная — с коэффициентом $K_u = -SR_k$, так что

$$u_{\text{вых1}} = -\frac{R_k}{2R_s} u_{\text{вх.сф}} - SR_k \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2}, \quad (7.7)$$

$$u_{\text{вых2}} = -\frac{R_k}{2R_s} u_{\text{вх.сф}} + SR_k \frac{u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}}{2}, \quad (7.8)$$

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вых1}} - u_{\text{вых2}} = -SR_k(u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}}). \quad (7.9)$$

Выражения (7.7), (7.8) и (7.9) показывают, что в ДУ с полностью симметричными плечами синфазный сигнал по симметричному выходу полностью подавляется, а выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений, т. е. их дифференциальной части.

Выходные напряжения по несимметричным выходам, кроме полезной дифференциальной составляющей, содержат и синфазную составляющую.

Важным параметром ДУ является коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{ос.сф}$, который определяется отношением

$$K_{ос.сф} = \frac{K_u}{K_{д.сф}} = \frac{SR_x}{R_H/2R_3} = 2SR_3. \quad (7.10)$$

Данное выражение показывает, что для увеличения $K_{ос.сф}$ необходимо увеличить R_3 . Однако повышение сопротивления резистора R_3 сопровождается увеличением падения напряжения на нем и требует увеличения напряжения источника питания. Поэтому вместо резистора R_3 часто включают генератор стабильного тока (ГСТ), обладающий большим динамическим и малым статическим сопротивлением.