

При проектировании сравнивающих устройств (СУ) особое внимание уделяется подбору комплектующих элементов, так как их параметры во многом определяют качественные показатели СУ. В связи с этим представляет интерес оценка степени влияния параметров элементов на показатели СУ.

В настоящей статье производится анализ зависимости напряжения смещения нуля двухкаскадного быстродействующего СУ [1] от разбаланса в схеме.

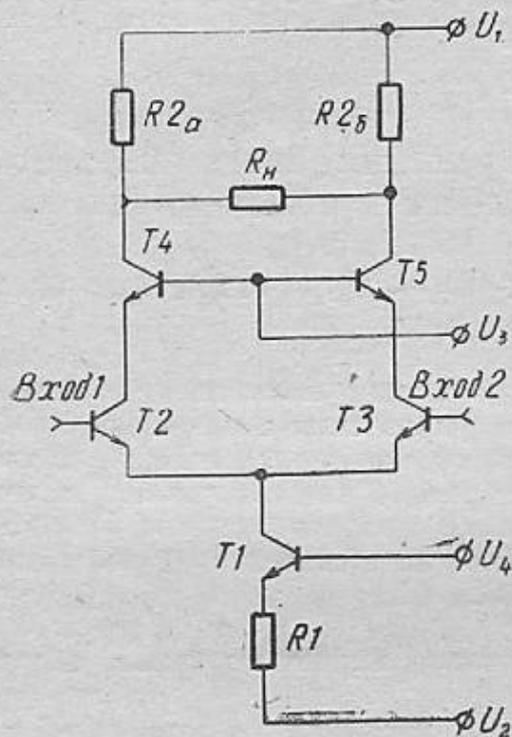


Рис. 1. Принципиальная схема каскада сравнивающего устройства.

Принципиальная схема одного каскада СУ представлена на рис. 1, где транзистор  $T_1$  является генератором тока, а транзисторы  $T_2 - T_5$  образуют каскадный дифференциальный усилитель. На входах СУ действуют напряжения  $U_{1a}$  и  $U_{1b}$ , а на коллекторах транзисторов  $T_4, T_5 - U_{2a}$  и  $U_{2b}$  соответственно. Нагрузкой является аналогичный каскад СУ, включенный между коллекторами транзисторов  $T_4, T_5$  (на схеме нагрузка представлена  $R_n$ ).

Так как схема симметрична, а рассматриваемый режим работы СУ является активным, то для ее анализа применим метод бисекции [2].

В рамках бисекционного анализа в качестве двух независимых входных и двух независимых (друг от друга) выходных переменных используются соответствующие синфазные (СФ) и паразитные (ПФ), или дифференциальные, напряжения:

$$U_{1СФ} = \frac{1}{2} (U_{1a} + U_{1b}),$$

$$U_{1ПФ} = \frac{1}{2} (U_{1a} - U_{1b}),$$

$$U_{2СФ} = \frac{1}{2} (U_{2a} + U_{2b}),$$

$$U_{2ПФ} = \frac{1}{2} (U_{2a} - U_{2b}).$$

Каскад СУ (рис. 1) представляется двумя эквивалентными полусхемами для синфазных и парафазных сигналов (рис. 2, 3), в которых реально существующий разбаланс из-за разброса параметров симметричных элементов схемы учитывается с помощью генераторов взаимодействия. На этих схемах

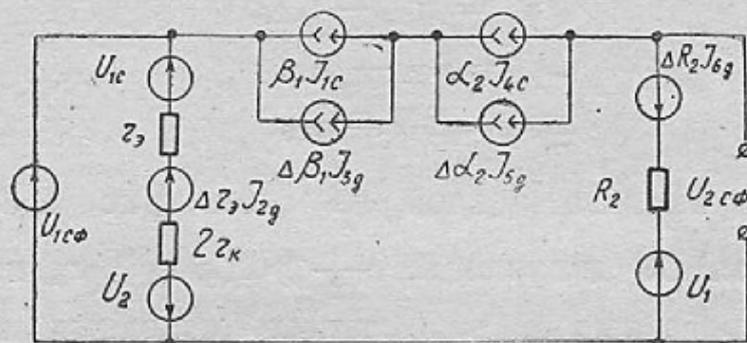


Рис. 2. Эквивалентная полусхема каскада сравнивающего устройства для синфазных сигналов.

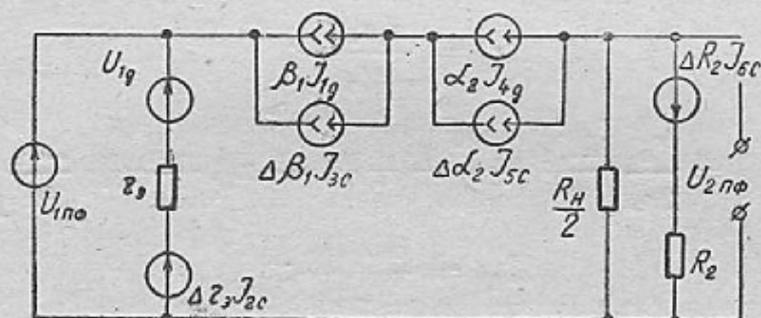


Рис. 3. Эквивалентная полусхема каскада сравнивающего устройства для парафазных сигналов.

$I_{1c}$  и  $I_{1д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов базы  $T_2$  и  $T_3$  реальной схемы;

$I_{2c}$  и  $I_{2д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов эмиттера  $T_2$  и  $T_3$  идеально сбалансированной схемы;

$I_{3c}$  и  $I_{3д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов базы  $T_2$  и  $T_3$  идеально сбалансированной схемы;

$I_{4c}$  и  $I_{4д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов эмиттера  $T_4$  и  $T_5$  реальной схемы;

$I_{5c}$  и  $I_{5д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов эмиттера  $T_4$  и  $T_5$  идеально сбалансированной схемы;

$I_{6c}$  и  $I_{6д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие токов через  $R_{2a}$  и  $R_{2б}$  идеально сбалансированной схемы;

$\Delta r_3 = r_{32} - r_{33}$  — разность сопротивлений эмиттерных переходов транзисторов  $T_2$  и  $T_3$ ;

$r_k$  — сопротивление закрытого коллекторного перехода транзистора  $T_1$ ;  
 $U_{1c}$  и  $U_{1d}$  — синфазная и дифференциальная составляющие напряжения база-эмиттер транзисторов  $T_2$  и  $T_3$ ;

$$\Delta R_2 = R_{2a} - R_{2b};$$

$$\Delta \beta_1 = \beta_{T2} - \beta_{T3};$$

$$\Delta \alpha_2 = \alpha_{T4} - \alpha_{T5}.$$

В результате анализа каждой из схем (рис. 2, 3) с учетом характерных для СУ допущений,  $\frac{R_n}{2} \gg R_2$ ,  $r_k \gg r_э$ , получены выражения для синфазных и парафазных выходных напряжений:

$$U_{2пф} = -A_{11} [U_{1пф} - A_{12} (U_{1сф} + U_{1c} + U_2) - U_{1д}], \quad (1)$$

$$U_{2сф} = -A_{21} [U_{1сф} - A_{22} (U_{1пф} + U_{1д}) - A_{23} U_1 - U_{1c} - U_2], \quad (2)$$

где

$$A_{11} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 R_2}{r_э};$$

$$A_{12} = \frac{r_э}{2r_k} \left[ \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta r_э}{r_э} + (1 - \alpha_1) \frac{\Delta \beta_1}{\beta_1} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} \right];$$

$$A_{21} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 R_2}{2r_k};$$

$$A_{22} = -\frac{\Delta r_э}{r_э} + \frac{2r_k}{r_э} \left[ \frac{\Delta R_2}{R_2} + (1 - \alpha_1) \frac{\Delta \beta_1}{\beta_1} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} \right];$$

$$A_{23} = \frac{2r_k}{\alpha_1 \alpha_2 R_2}.$$

Для второго каскада  $U_{2пф}$  и  $U_{2сф}$  являются входными сигналами. Используя выражения (1) и (2), можно определить парафазную составляющую на выходе второго каскада:

$$U_{3пф} = A_{31} [U_{1пф} - U_{1д} - A_{32} (U_{1сф} + U_{1c}) - A_{33} U_{2д} - A_{34} U_{2c} - A_{35} U_1 - A_{36} U_2], \quad (3)$$

где

$$A_{31} = A_{11}^2 \left( 1 + \frac{A_{12} A_{21} A_{22}}{A_{11}} \right);$$

$$A_{32} = \frac{A_{11} + A_{21}}{A_{22} \left( \frac{A_{11}}{A_{12} A_{22}} + A_{21} \right)};$$

$$A_{33} = \frac{1}{A_{12} A_{22} \left( \frac{A_{11}}{A_{12} A_{22}} + A_{21} \right)};$$

$$A_{34} = \frac{1}{A_{22} \left( \frac{A_{11}}{A_{12}A_{22}} + A_{21} \right)};$$

$$A_{35} = \frac{A_{21}A_{23}}{A_{22} \left( \frac{A_{11}}{A_{12}A_{22}} + A_{21} \right)};$$

$$A_{36} = \frac{A_{11} + A_{21} - 1}{A_{22} \left( \frac{A_{11}}{A_{12}A_{22}} + A_{21} \right)}.$$

Напряжение смещения нуля  $U_{СМ}$  определяется из условия равенства нулю парафазной составляющей выходного сигнала.

Для одного каскада СУ это напряжение равно:

$$U_{СМ1} = 2[U_{1д} + A_{12}(U_{1с} + U_{1сФ} + U_2)],$$

для двух каскадов

$$U_{СМ2} = 2[U_{1д} + A_{32}(U_{1с} + U_{1сФ}) + A_{33}U_{2д} + A_{34}U_{2с} + A_{35}U_1 + A_{36}U_2], \quad (4)$$

где  $U_{2с}$  и  $U_{2д}$  — синфазная и дифференциальная составляющие напряжения база-эмиттер транзисторов  $T_2$  и  $T_3$  второго каскада СУ.

Анализ выражения (4) для реальной схемы СУ (1) на кремниевых транзисторах показывает, что на напряжение смещения нуля существенным образом оказывает влияние только дифференциальная составляющая напряжений база-эмиттер транзисторов  $T_2$  и  $T_3$  первого каскада. Парафазная составляющая напряжений база-эмиттер аналогичных транзисторов второго каскада пересчитывается на вход через коэффициент  $A_{33}$ , т. е. ее влияние ослаблено в число раз, примерно равное величине дифференциального коэффициента усиления первого каскада. Зависимостью напряжения смещения нуля от 10%-ного разбаланса симметричных элементов схемы ( $R_2$ ,  $r_2$ ) и коэффициентов  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$  можно пренебречь.

Таким образом, при построении СУ на основе дифференциальных пар с транзисторными генераторами тока необходимо уменьшать разность напряжений база-эмиттер транзисторов  $T_2$  и  $T_3$  (рис. 1) первого каскада (например, применять парные транзисторы, выращенные на одной подложке). Другие симметричные элементы схемы допускают значительный разбаланс и не нуждаются в тщательном подборе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джайлз, Силз. Точный быстродействующий компаратор. — «Электроника», 1972, № 21, с. 54—62.
2. Анализ и расчет интегральных схем. Под ред. Д. Линна, Ч. Мейера и Д. Гамильтона. Ч. 1. М., «Мир», 1969. 372 с.

Анализ напряжения смещения нуля быстродействующего сравнивающего устройства. Жоров Н. Е., Селюков В. К. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 34, 1975, с. 122—125.

Производится анализ зависимости напряжения смещения нуля двухкаскадного быстродействующего сравнивающего устройства от разбаланса в схеме. Показывается, что существенное влияние на напряжение смещения оказывает только разность напряжений база-эмиттер транзисторов дифференциальной пары первого каскада.

Ил. 3. Библиогр. 2.