

Определение сопротивления резистора компенсации. Сопротивление резистора $R_{\text{доп}}$ должно быть равно результирующему сопротивлению всех параллельных резистивных ветвей, подключенных ко входу (-). В расчетные соотношения следует также включать внутренние сопротивления всех источников сигналов. Если ко входу (+) подключено более одного резистора, компенсация токов выполняется в соответствии со следующим принципом: сопротивление постоянному току между входом (+) и землей должно быть равно сопротивлению постоянному току между входом (-) и землей. При этом источники сигналов заменяются на их заземленные внутренние сопротивления, а потенциал выхода ОУ полагается равным потенциалу земли.

3.2. Входное напряжение сдвига

Выходное напряжение реального операционного усилителя (РОУ) при отсутствии сигнала на входе может отличаться от нуля вследствие некомпенсированного внутреннего разбаланса, рис. 3.8,а.

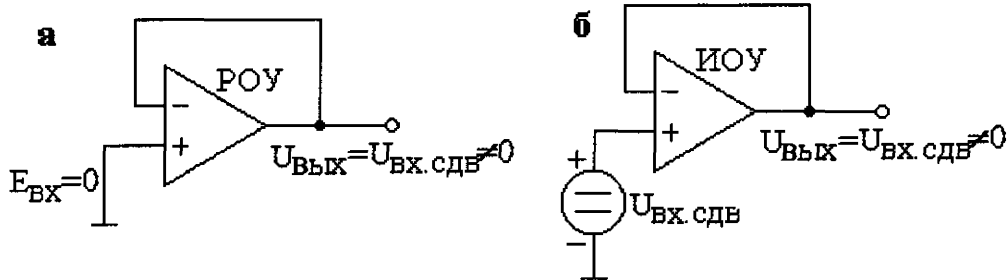


Рис. 3.8. Влияние внутреннего разбаланса ОУ на выходное напряжение:
а – реальный операционный усилитель;
б – идеальный операционный усилитель

В схеме (рис. 3.8,б) суммарный эффект всех внутренних небалансов учитывается подключением ко входу(+) идеального операционного усилителя (ИОУ) источника постоянного напряжения $U_{\text{ВХ.СДВ}}$.

Влияние входного напряжения сдвига на выходное напряжение. Наиболее заметно влияние $U_{\text{ВХ.СДВ}}$ на выходное напряжение при использовании ОУ без обратной связи. В этом случае выходное напряжение усилителя при отсутствии входного сигнала зачастую оказывается равным либо $+U_{\text{НАС}}$, либо $-U_{\text{НАС}}$, рис. 3.9. В самом деле, $U_{\text{ВЫХ}} = kE_{\text{д}} = kU_{\text{ВХ.СДВ}}$, где k – коэффициент усиления ОУ без обратной связи (для ОУ широкого применения $k = 1 \cdot 10^3 \dots 200 \cdot 10^3$).

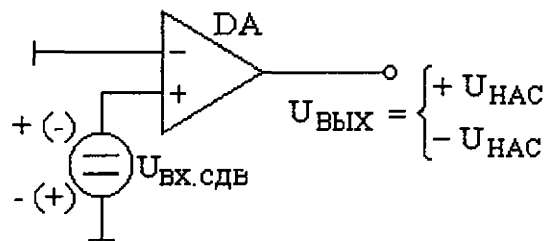


Рис. 3.9. Действие $U_{\text{ВХ.СДВ}}$ в ОУ без обратной связи

Измерение $U_{\text{ВХ.СДВ}}$ может быть произведено по схеме, рис. 3.10. Для источника напряжения $U_{\text{ВХ.СДВ}}$ схема является неинвертирующим усилителем с коэффициентом передачи напряжения $K_{\text{ОС}} = 1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВХ}}}$. Поэтому :

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ.СДВ}} \left(1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВХ}}}\right) \text{ и } U_{\text{ВХ.СДВ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{1 + R_{\text{ОС}}/R_{\text{ВХ}}}.$$

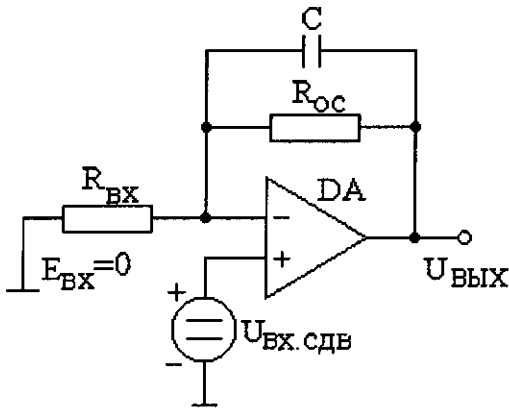


Рис. 3.10. Влияние входного напряжения сдвига на выходное напряжение

Конденсатор C необходим для шунтирования резистора $R_{\text{ОС}}$ на высоких частотах с целью максимального уменьшения составляющей переменного напряжения в выходном сигнале.

При выборе резистора обратной связи необходимо иметь в виду следующее: сопротивление $R_{\text{ОС}}$ не должно быть большим для уменьшения погрешности измерения $U_{\text{ВХ.СДВ}}$, обусловленной влиянием тока смещения $I_{\text{СМ}}$ ($R_{\text{ОС}} \approx 10 \text{ кОм}$).

Входное напряжение сдвига в схеме сумматора. На рис. 3.11 представлена схема инвертирующего сумматора с n входами. Если $R_1=R_2=\dots=R_n=R_{\text{ОС}}=R$, выходное напряжение должно быть отрицательным и равным сумме входных напряжений: $U_{\text{ВЫХ}} = -(E_1 + E_2 + \dots + E_n)$. Однако вследствие действия $U_{\text{ВХ.СДВ}}$.

$$U_{\text{ВЫХ}} = -(E_1 + E_2 + \dots + E_n) + U_{\text{ВХ.СДВ}} \left(1 + R_{\text{ОС}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}\right)$$

и $U_{\text{ВЫХ}}$ оказывается искаженным по величине, а, возможно, и сменит знак. Для определения влияния $U_{\text{ВХ.СДВ}}$ положим $E_1=E_2=\dots=E_n=0$. Тогда все резисторы R_1, R_2, \dots, R_n замыкаются на землю, и эквивалентное входное сопротивление $R_{\text{ВХ}}$ (рис. 3.11,б) равно:

$$R_{\text{ВХ}} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \dots \parallel R_n = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

Из последнего выражения следует, что чем больше входов имеет сумматор, тем меньше эквивалентное сопротивление $R_{\text{ВХ}}$ и больше составляющая ошибки выходного напряжения, обусловленная входным напряжением сдвига $\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ.СДВ}} (1 + R_{\text{ОС}}/R_{\text{ВХ}})$.

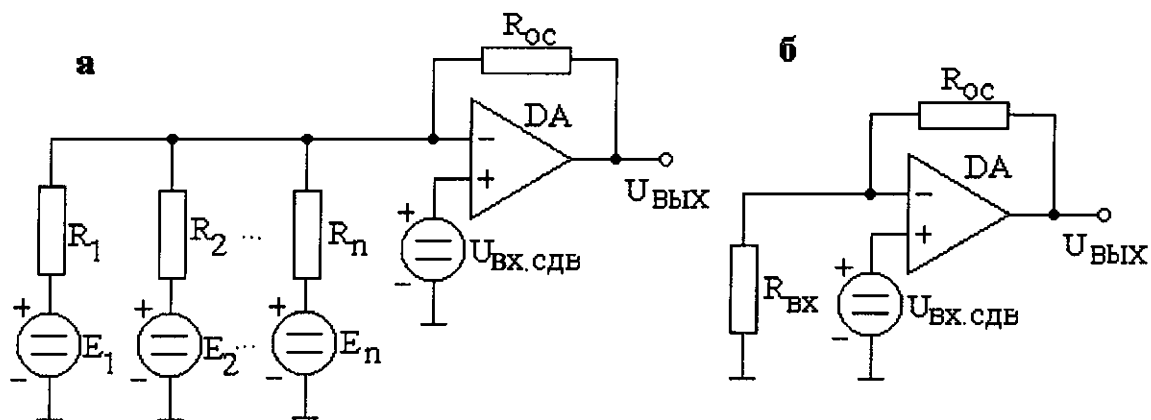


Рис. 3.11. Влияние $U_{ВХ.СДВ}$ на выходное напряжение в схеме сумматора:
 а – подключение n источников напряжения к входу (-) сумматора;
 б – замена входной цепи эквивалентным сопротивлением $R_{ВХ}$

Одним из способов компенсации влияния $U_{ВХ.СДВ}$ может быть добавление еще одного входа к сумматору и подача на него компенсирующего напряжения $E_{КОМП} = U_{ВХ.СДВ} (1 + R_{ОС}/R_{ВХ})$. Данный способ компенсации имеет два недостатка:

1. $E_{КОМП}$ мало по величине и его придется получать с помощью резистивного делителя, подключенного к источнику питания.
2. Любое сопротивление, добавляемое между входом (-) и землей, увеличивает коэффициент усиления по шумам и приводит к изменению величины $U_{ВХ.СДВ}$ во времени.

3.3. Устранение влияния токов смещения и напряжения сдвига

Для минимизации ошибки по постоянному току необходимо:

1. Выбрать резистор компенсации токов смещения.
2. Минимизировать влияние входного напряжения сдвига, используя справочные данные или листок-спецификацию изготовителя ОУ.
3. Произвести настройку нуля выходного напряжения.

Последние два этапа часто реализуют одновременно – балансировка напряжения сдвига. Типовые схемы подключения элементов балансировки к некоторым ОУ представлены на рис. 3.12.

Методика настройки нуля выходного напряжения.

1. Собирается схема с ОУ, в которую включается расчетный резистор для компенсации влияния токов смещения и резисторы для балансировки напряжения сдвига.
2. Уменьшаются до нуля сигналы всех генераторов (источников входного сигнала). Если это не представляется возможным, генераторы заменяются резисторами с сопротивлениями, равными их внутренним сопротивлениям. Если последовательно с каждым ге-