

$$f_{\text{MAX}} = \frac{СН}{6,28 \cdot U_{\text{ВЫХ м}}},$$

где  $f_{\text{max}}$  – максимальная частота, при которой выходное напряжение не искажено;

СН – скорость нарастания ОУ;

$U_{\text{ВЫХ м}}$  – амплитудное значение неискаженного выходного напряжения.

Рассмотрим небольшой пример. Скорость нарастания ОУ  $\mu\text{A741}$  равна 0.5 В/мкс.

Пусть необходимо определить, на какой максимальной частоте можно получить неискаженное выходное напряжение с амплитудами 10 В и 1 В. Используя вышеприведенное выражение, получим:

$$f_{\text{MAX}}(10 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 10 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} = 7961 \text{ Гц} \approx 8 \text{ кГц}$$

$$f_{\text{MAX}}(1 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 1 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} \approx 80 \text{ кГц}$$

Максимальная частота неискаженного сигнала для полного размаха выходного напряжения  $\pm 13 \text{ В}$  (выход на полной мощности) равна:

$$f_{\text{MAX}}(13 \text{ В}) = \frac{1}{6,28 \cdot 13 \text{ В}} \cdot \frac{0,5 \text{ В}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ с}} \approx 6 \text{ кГц}.$$

Из рассмотренного примера следует, что чем больше амплитуда выходного напряжения, тем меньше максимальная частота неискаженного сигнала. При уменьшении амплитуды выходного напряжения частотный диапазон расширяется.

Кроме скорости нарастания, на верхний частотный диапазон накладывает ограничение малосигнальная характеристика ОУ. Наименьшее из этих двух значений определяет фактическую предельную верхнюю частоту. В общем случае СН есть ограничивающий частоту фактор на большом сигнале, а АЧХ ограничивает верхнюю частоту на малом сигнале.

### 3.7. Шумы ОУ

Шумы – это паразитные электрические сигналы, присутствующие на выходе усилителя. Частота напряжений шумов лежит в диапазоне от сотых и тысячных долей герца до нескольких мегагерц.

Внутренние шумы можно смоделировать источником напряжений шумов  $E_{\text{ш}}$ , являющимся внешним по отношению к идеальному ОУ, рис. 3.23.

В справочниках и спецификациях на ОУ напряжения шумов указываются в микровольтах (эффективное значение) для различных величин со-

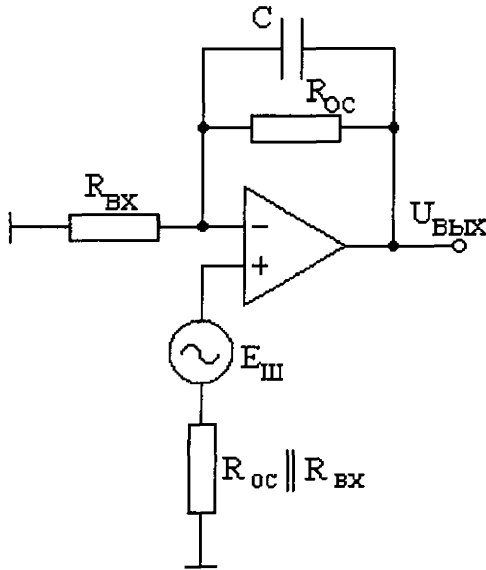


Рис. 3.23. К определению влияния шумов на выходное напряжение

противления источника входного сигнала в определённом диапазоне частот. Например, ОУ  $\mu A741$  имеет суммарные шумы  $2 \text{ мкВ}$  в диапазоне частот от  $10 \text{ Гц}$  до  $10 \text{ кГц}$  при сопротивлении источника  $R_{\text{вх}} = 0,1 \dots 20 \text{ кОм}$ . При  $R_{\text{вх}} > 20 \text{ кОм}$  напряжение шумов возрастает прямо пропорционально  $R_{\text{вх}}$ . Поэтому для минимизации шумов на выходе ОУ сопротивление  $R_{\text{вх}}$  целесообразно выбирать не более  $20 \text{ кОм}$ .

Напряжение шумов усиливается так же, как и напряжение сдвига, то есть

$$U_{\text{вых.ш}} = E_{\text{ш}} \cdot \left(1 + \frac{R_{\text{ос}}}{R_{\text{вх}}}\right),$$

где  $U_{\text{вых.ш}}$  – напряжение шумов на выходе.

Для уменьшения влияния шумов на выходное напряжение целесообразно:

- 1) уменьшить величину сопротивления обратной связи  $R_{\text{ос}}$ ;
- 2) включать параллельно  $R_{\text{ос}}$  конденсатор малой ёмкости (несколько пФ) для шунтирования сопротивления ОС на высоких частотах, рис. 3.23;
- 3) выбирать сопротивление  $R_{\text{вх}} \approx 10 \text{ кОм}$  и никогда не шунтировать его ёмкостью;
- 4) использовать резистор компенсации токов смещения;
- 5) избегать включения в схему между входом (–) и землёй ёмкости.

Следует иметь в виду, что в любой схеме между входом (–) и землёй имеется паразитная ёмкость соединительных проводов в несколько пФ. Поэтому в любом случае для минимизации шумов рекомендуется шунтировать  $R_{\text{ос}}$  конденсатором. Добавка шунтирующего конденсатора повышает устойчивость и монотонность переходных процессов в схемах.

### 3.8. Внешняя частотная коррекция

Операционные усилители с внутренней частотной коррекцией не входят в состояние генерации ни самопроизвольно, ни под действием сигналов. Недостатками таких ОУ являются: ограниченная полоса пропускания на малых сигналах; малая скорость нарастания выходного напряжения; пониженная полоса пропускания на полной мощности. Операционные усилители с внутренней коррекцией хороши в качестве усилителей низкой частоты, но плохо работают на высоких частотах.