

Лекція ОПЕРАЦІЙНІ ПІДСИЛЮВАЧІ

Загальні зведення

Операційним підсилювачем (ОП) називається підсилювач, що характеризується комплектом параметрів, які дозволяють йому виконувати математичні операції (додавання, віднімання, інтегрування, логарифмування тощо).

Основними параметрами, що забезпечують “математичні здібності”, є:

- ◆ великий коефіцієнт підсилення по напрузі (в ідеалі $K \Rightarrow \infty$);
- ◆ великий вхідний опір (в ідеалі $R_{\text{вх}} \Rightarrow \infty$);
- ◆ нижня частота підсилюваних сигналів $f_{\text{н}} = 0$.

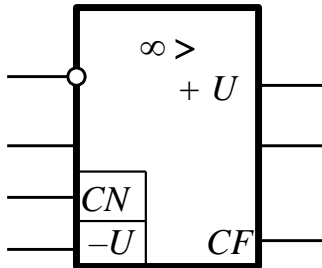


Рис. 1. Умовне позначення операційного підсилювача

ОП є диференціальним підсилювачем.

Зазвичай операційні підсилювачі мають два виводи підключення живлення – мінус U и плюс U . Виводи, що служать для корекції напруги зміщення нуля операційних підсилювачів, позначаються символами NC (Null Correction) а ті, до яких підключаються елементи частотної корекції – FC (Frequency Correction



Рис. 2. Структурна схема ОП

2. Основні характеристики і параметри ОП

Більшість ОП має на вході диференціальний каскад, Тому операційний підсилювач підсилює різницю входних сигналів. Диференціальний коефіцієнт підсилення $K_{диф}$, як вже відзначалося вище, є досить великим. Типове його значення лежить у діапазоні 10000... 100000 (80...100 дБ), і в нових ОП має місце тенденція до збільшення.

Типова амплітудно-частотна характеристика ОП наведена на рис. 3.

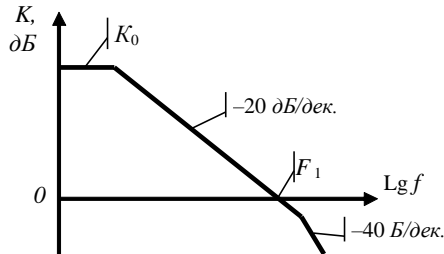


Рис. 3. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика ОП

Оскільки операційний підсилювач являє собою ППС, його АЧХ має ненульовий коефіцієнт підсилення на нульовій частоті.

Крім диференціального входного сигналу, при деяких застосуваннях на ОП може бути поданий і синфазний входний сигнал, який через недосконалість реальних схем, також проходить на вихід. Характеристикою такого можливого проникнення є *коефіцієнт ослаблення синфазної складової (КОСС)*, який показує у скільки разів коефіцієнт підсилення синфазного сигналу менший коефіцієнта підсилення диференціального сигналу:

$$\text{КОСС} = \frac{K_{\text{син}}}{K_{\text{диф}}} . \quad (1)$$

Типові значення КОСС – 60...80 дБ, деякі ОП мають КОСС – не менше 120 дБ.

При розгляді вхідних опорів розрізняють диференціальний та синфазний вхідні опори, тобто опори для диференціального і синфазного сигналів. Диференціальний вхідний опір виміряється між інвертуючим та неінвертуючим входами, а синфазний – між з'єднаними входами і землею. Диференціальний вхідний опір при побудові ОП на біполярних транзисторах зазвичай лежить у діапазоні 1...10 МОм. Для ОП з польовими транзисторами на вході диференціальний опір складає сотні – тисячі мегом. Синфазний опір на кілька порядків більший диференціального.

Еквівалентна схема вхідного кола ОП представлена на рис. 4. На рис. синфазний вхідний опір показаний у виді двох резисторів, що приєднані до двох входів, тому вказаний на рисунку опір у два рази більше реального $R_{\text{син}}$.

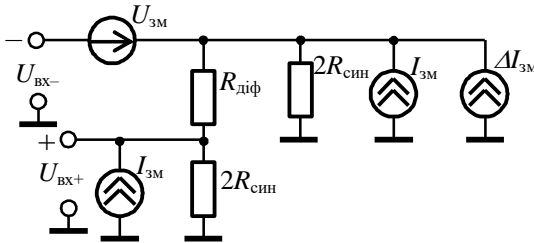


Рис. 4. Схема заміщення вхідного кола ОП

Операційний підсилювач є підсилювачем постійного струму, тому для нього характерні недоліки, притаманні всім ППС. Зокрема йому властиві параметри, що відображають наявність на виході напруги навіть при нульовій диференціальній нарузі на вході. Ці властивості визначаються наступними параметрами:

- приведеною до входу напругою зміщення $U_{зМ}$;
- вхідними струмами $I_{зМ}$;
- різницею вхідних струмів $\Delta I_{зМ}$;

- зміною (дрейфом) вказаних вище параметрів під впливом різноманітних дестабілізуючих факторів (в довідниках найчастіше наводять значення дрейфу параметрів при зміні температури).

Розкид значень перерахованих параметрів визначається, насамперед, типом використаних в ОП транзисторів. Типові значення входньої напруги зміщення для ОП загального призначення – 1...10 мВ при побудові на біполярних транзисторах й більше 10 мВ – на польових. Типові величини дрейфу нуля при зміні температури – 1...10 мкВ/°С, а для прецизійних ОП – в десятки разів менш.

Вхідні струми ОП – це струми баз або затворів транзисторів входнього каскаду. Відповідно, в ОП на польових транзисторах вхідні струми значно менші. Типова величина вхідного струму складає величину порядку 0,1...1 нА для ОП з вхідним каскадом на біполярних транзисторах та 1 пА – на польових.

Для живлення ОП необхідно використовувати двополярні джерела. Типове значення напруги цих джерел – ± 15 В.

При відсутності двополярного джерела живлення або при недоцільності його використання (наприклад, у переносній апаратурі) можна за допомогою додаткових схем забезпечити роботу ОП від одного джерела. На рис. 5 приведені спрощені варіанти подачі напруги живлення на ОП при використанні двох та одного джерела.

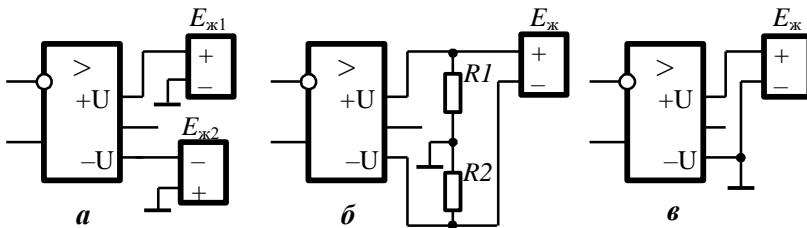


Рис. 5. Подача живлячої напруги на ОП

Найбільш поширеним є живлення від двох симетричних джерел з номінальною (типовою) напругою. При живленні від одного джерела величина його напруги повинна лежати в діапазоні:

$$U_{+\text{мін}} + |U_{-\text{мін}}| \leq E_{\text{ж}} \leq U_{+\text{мак}} + |U_{-\text{мак}}|, \quad (2)$$

де $U_{+\text{мін}}$, $U_{-\text{мін}}$, $U_{+\text{мак}}$, $U_{-\text{мак}}$ – мінімальні і максимальні значення живлення по позитивному і негативному джерелу, наведені в технічних умовах на використовуваний ОП.

Амплітудна характеристика ОП при симетричному живленні надана на рис. 6.

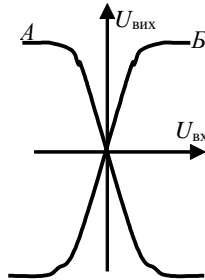


Рис. 6. Амплітудна характеристика ОП

Крива *A* відповідає подачі сигналу інвертуючий вхід, при заземленому прямому, *B* – на неінвертуючий. Напруги насичення зазвичай на 1...2 В менше, ніж напруга відповідного джерела живлення. Реальні криві найчастіше несиметричні.

Вихідний опір ОП являє собою внутрішній опір ОП без зворотного зв'язку. Величина вихідного опору визначає максимальний вихідний струм ОП, тому в довідниках наводиться тільки один з них. Типове значення вихідного опору – 10...1000 Ом, а вихідного струму – 10...20 мА. Іноді в параметрах ОП вказується значення мінімального опору навантаження, за яким можна також визначити вихідний струм, знаючи максимально допустиму напругу на виході:

$$I_{\text{вихмак}} = \frac{U_{\text{вихмак}}}{R_{\text{Нмін}}} . \quad (3)$$

Швидкість зростання вихідної напруги ОП показує, як швидко може змінюватися вихідний сигнал. Цей параметр тісно зв'язаний з АЧХ ОП – для більш високочастотних підсилювачів швидкість наростання збільшується. Типове значення цієї величини знаходиться в межах 1...100 В/мкс.

Час установлення вихідної напруги – час, протягом якого вихідна напруга змінюється від рівня 0,1 до рівня 0,9 сталого значення.

Час відновлення – час з моменту зняття вхідної напруги до моменту, починаючи з якого вихідна напруга не буде перевищувати рівня 0,1 від сталого значення після перебування ОП в режимі насичення.

3. Типи ОП

Розрізняють наступні види ОП:

- ОП загального призначення;
- прецизійні ОП;
- високочастотні (швидкодіючі) ОП;
- мікропотужні, що споживають незначні струми від джерел живлення;
- потужні ОП, які здатні формувати порівняно великі струми і напруги.