

Самозбудження мультівібратора, як і будь-якого підсилювача починається з шумів.

Нехай напруга  $U_{\text{пор}}$  через шуми зростає. Це зростання, підсилюючись, збільшує вихідну напругу  $U_{\text{вих}}$ , яка через подільник  $R1; R2$  передається до неінвертуючого входу, знову підсилюється і т.д. На момент  $t_1$  (рис. 7.49) на виході установиться напруга  $+U_{\text{max}}$ , декілька менша за напругу живлення  $+E_1$ .

Як тільки установилася вихідна напруга  $+U_{\text{max}}$ , з моменту  $t_1$  починається зарядження конденсатора  $C$ .

Коли напруга на конденсаторі  $U_c$  в момент  $t_2$  перевищить порогову напругу  $+U_{\text{пор}}$ , різниця потенціалів  $U_c - U_{\text{пор}}$  стає позитивною і вихідна напруга, завдяки тригерним властивостям, стрибком спадає до  $-U_{\text{max}}$ . З цього моменту  $t_2$  починається перезаряд конденсатора  $C$  від позитивної напруги  $+U_{\text{пор}}$  до негативної  $-U_{\text{пор}}$ .

Як тільки в момент  $t_3$  напруга  $U_c$  на конденсаторі спаде нижче  $-U_{\text{пор}}$ , різниця потенціалів  $-U_c - (-U_{\text{пор}})$  стає негативною, через що  $U_{\text{вих}}$  стрибком зростає до  $+U_{\text{max}}$  і т.д.

Мультівібратор генерує прямокутні імпульси з частотою їх проходження

$$f = \frac{1}{2RC} \ln \left( 1 + 2 \frac{R_1}{R_2} \right). \quad (7.100)$$

### 7.3.20. Кола живлення каскадів на ОП

Кола живлення мають забезпечити подачу необхідних напруг  $E_1$  та  $E_2$  до входів живлення ОП. Операційні підсилювачі можуть живитися від двох окремих різнополярних джерел напруги (рис. 7.50) і від одного (рис. 7.51).

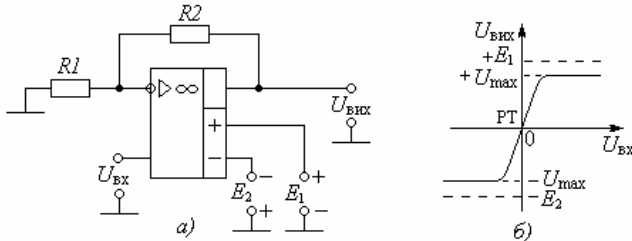


Рис. 7.50. Живлення ОП від двох джерел:  
а – схема; б – амплітудна характеристика

В обох випадках різниця потенціалів між входами живлення  $+E_1$  та  $-E_2$  не повинна перевищувати допустиму напругу

$$E_{\text{ж}} = E_1 - (-E_2) = E_1 + E_2. \quad (7.101)$$

При цьому вихідна напруга  $U_{\text{вих}} = |U_{\text{max}}|$  менше за напругу живлення на 1,5 – 2,0 В.

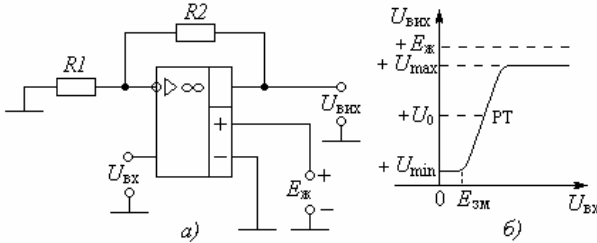


Рис. 7.51. Живлення ОП від одного джерела:

а – схема, б – амплітудна характеристика

Зіставляючи ці варіанти, приходимо до наступних висновків:

– вихідна напруга в робочій точці РТ при живленні від двох джерел дорівнює нулю (рис. 7.50,б), а при живленні від одного джерела вона становить  $U_{\text{вих}} \approx 0,5E_{\text{ж}}$  і ніколи не досягає нуля (рис. 7.51,б), що заважає каскадному з'єднанню ОП;

– живлення від двох джерел (рис. 7.52,а), робить підсилювач чутливим до якомога слабкого сигналу викликаючи змінення вихідної напруги  $\Delta U_{\text{вих}}$ , а в підсилювачі з одним джерелом при  $U_{\text{вх}} < E_{\text{эм}}$  приросту вихідної напруги немає:  $\Delta U_{\text{вих}} = 0$  (рис. 7.52,б).

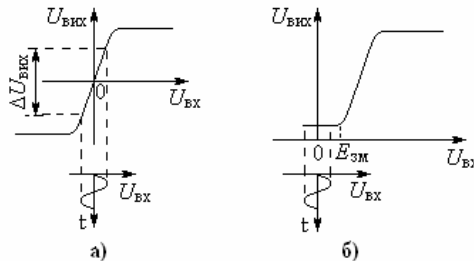


Рис. 7.52. Діаграма роботи ОП з живленням від двох джерел (а) і від одного (б)

Тому для надання чутливості підсилювачу з одним джерелом живлення, треба до іншого входу підвести постійну напругу

$$E_0 = E_{3M} + U_{m \text{ вх}}, \quad (7.102)$$

де  $U_{m \text{ вх}}$  – амплітуда вхідної напруги.

Для одержання напруги (7.102) використовується подільник  $R3, R4$  (рис. 7.53), вихідна напруга  $E_0$  якого виводить робочу точку РТ в режим підсилення (рис. 7.54).

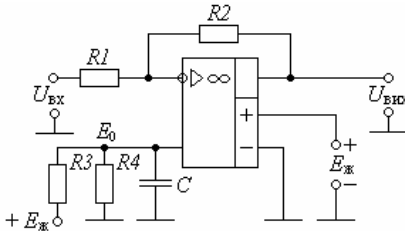


Рис. 7.53. Підсилювач з одним джерелом живлення

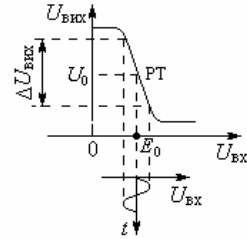


Рис. 7.54. Діаграма роботи підсилювача

Перевагою ж підсилювача з одним джерелом є його простота через відсутність іншого джерела живлення.

Однак підсилювач з одним джерелом живлення не можна підключати до входу підсилювача постійного струму (ППС), тому що при цьому підсилюється не тільки сигнал  $U_{\text{вх}}$ , а й постійна складова  $U_0$  (рис. 7.54), тобто сума  $(U_0 + U_{\text{вх}})$ .

Постійна складова  $U_0$  може завести сигнал  $U_{\text{вх}}$  у ППС за поріг обмеження  $U_{\text{пор}}$ , яке завжди є, тому що в резистивному підсилювачі вихідна напруга не перевищує напругу живлення. При цьому сигнал може зазнати спотворень (рис. 7.55,б), якщо  $(U_0 + U_{\text{вх}}) > U_{\text{пор}}$  і навіть зникнути зовсім.

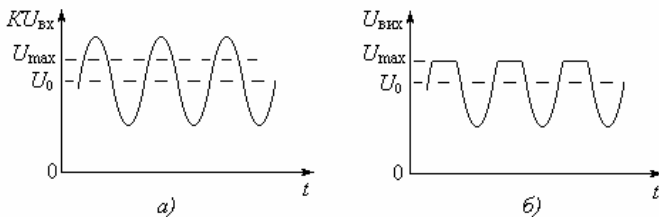


Рис. 7.55. Сигнал (а) та його спотворення (б)

Для уникнення цих спотворень не слід вихід підсилювача з одним джерелом живлення підключати до наступного каскаду, в якому є обмеження, або підключати його через розподільний конденсатор.

### 7.3.21. Регулювання в каскадах на ОП

Основними видами регулювань у каскадах на ОП є *змінення коефіцієнта підсилення та балансування*. Балансування є установлення

$U_{\text{вих}} = 0$  в ОП з двома джерелами живлення при синфазних вхідних сигналах (див. рис. 7.50, б).

Змінення коефіцієнта підсилення здійснюють наступними засобами.

З формул (7.33) та (7.35) випливає, що коефіцієнт підсилення  $K$  можна змінити вибором співвідношення опорів  $R_1$  та  $R_2$ . Щоб не змінювати вхідний опір, регулювання  $K$  зосереджують у колі зворотного зв'язку зміненням опору резистора  $R_3$  (рис. 7.56).

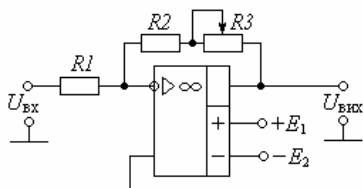


Рис. 7.56. Каскад з регулюванням коефіцієнта підсилення

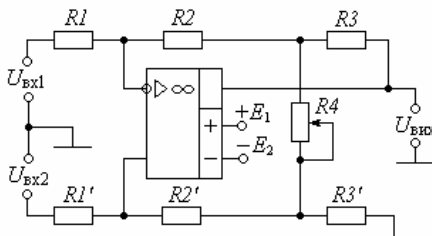


Рис. 7.57. Вимірювальний підсилювач з регулюванням коефіцієнта підсилення

Коефіцієнт підсилення каскаду становить

$$K = \frac{R_2 + R_3}{R_1}. \quad (7.103)$$

Змінюючи опір  $R_3$ , можна регулювати коефіцієнт підсилення в межах від  $K_{\min} = \frac{R_2}{R_1}$  при  $R_3 = 0$  до  $K = \frac{R_2 + R_3}{R_1}$  при  $R_3 > 0$ .

Завжди треба намагатися здійснювати будь-яке регулювання одним елементом. Для цього у вимірювальному підсилювачі (рис. 7.57) додатково уведено резистори  $R_3$ ,  $R_3'$  та  $R_4$ .

Коефіцієнт підсилення становить

$$K = 2 \left( 1 + \frac{R_2}{R_4} \right) \frac{R_2}{R_1} \quad (7.104)$$

при  $R_1 = R_1'$ ;  $R_2 = R_2'$ ;  $R_3 = R_3'$ .

Змінюючи опір  $R_4$ , можна регулювати коефіцієнт підсилення  $K$ . Чим менше опір  $R_4$ , тим вище коефіцієнт підсилення.

Щодо балансування, то його необхідність зумовлена наступним.

Як не намагаються зробити ідентичними інвертуючий та неінвертуючий канали, між ними через технологічні причини завжди є різниця. Крім того, ніколи не можна забезпечити рівність напруг живлення  $E_1$  та  $E_2$  у будь-яких схемах на ОП. У зв'язку з цим вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$ , незважаючи на рівність  $U_{\text{вх1}} = U_{\text{вх2}}$ , може відрізнятись від нуля ( $U_{\text{вих}} \neq 0$ ).

Ця різниця називається *напругою зміщення*, позначається  $U_{\text{зм}}$ , наводиться у довідниках і становить одиниці-десятки мілівольт вхідної напруги ОП. Таким чином, треба компенсувати  $U_{\text{зм}}$ , щоб за рівних вхідних

напруг виконувалась би рівність  $U_{\text{вих}} = 0$ . При цьому компенсація  $U_{\text{зм}}$  ніяк не має впливати на коефіцієнт підсилення.

У сучасних операційних підсилювачах передбачені спеціальні входи балансування 3; 4 (рис. 7.58). Змінним резистором  $R3$  компенсується  $U_{\text{зм}}$  до  $U_{\text{вих}} = 0$ .

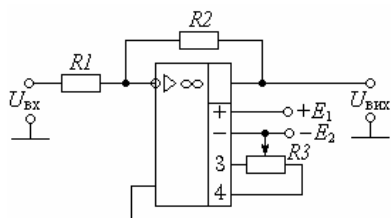


Рис. 7.58. Каскад на ОП з вбудованим балансуванням

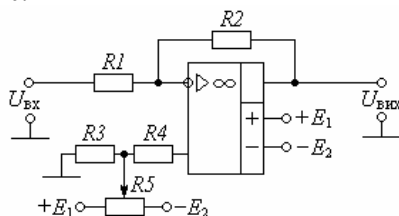


Рис. 7.59. Каскад на ОП із зовнішнім балансуванням

ОП ранішніх випусків не мають таких входів і тому потребують зовнішнього балансування (рис. 7.59), яке забезпечують постійні резистори  $R3$ ,  $R4$  та змінний резистор  $R5$ . Ці резистори мають знаходитися в колі того входу, який не охоплений сигналом  $U_{\text{вх}}$ , щоб балансування не впливало на коефіцієнт підсилення.

Опір резисторів  $R3$ ,  $R4$  має бути якомога меншим, щоб неінвертуючий вхід ОП мав би напругу якнайближчу до нуля.

Балансування здійснюють змінням опору  $R5$  до одержання  $U_{\text{вих}} = 0$ .

### Контрольні питання

- 7.1. Наведіть схему резистивного диференційного підсилювача і поясніть його роботу при двох диференційних входах та одному вході.
- 7.2. Наведіть схему диференційного підсилювача з динамічним навантаженням і поясніть його роботу.
- 7.3. Порівняйте коефіцієнти підсилення диференційних підсилювачів з резистивним та динамічним навантаженням і поясніть їхню різницю.
- 7.4. Поясніть придушення наводок диференційним резистивним підсилювачем.
- 7.5. Наведіть схему комплементарного емітерного повторювача і поясніть його роботу.
- 7.6. Наведіть схему приймача струму і поясніть вплив опору резистора зворотного зв'язку на вихідну напругу.
- 7.7. Наведіть схему інвертуючого підсилювача та поясніть, чим визначається його коефіцієнт підсилення.
- 7.8. Наведіть схему неінвертуючого підсилювача та поясніть, чим визначається його коефіцієнт підсилення.
- 7.9. Наведіть схему повторювача на ОП і поясніть його роботу.
- 7.10. Наведіть схему суматора і поясніть одержання суми з ваговими коефіцієнтами та алгебраїчної суми вхідних напруг.

- 7.11. Наведіть схему інтегратора.
- 7.12. Наведіть схему диференціатора.
- 7.13. Наведіть схему амплітудного обмежувача зверху.
- 7.14. Наведіть схему амплітудного обмежувача знизу.
- 7.15. Наведіть схему мультивібратора.
- 7.16. Наведіть схему живлення ОП від двох різнополярних джерел напруги та поясніть хід його амплітудної характеристики.
- 7.17. Наведіть схему живлення ОП від одного джерела напруги та поясніть хід його амплітудної характеристики.
- 7.18. Поясніть критерії та засоби вибору робочої точки в каскадах на ОП при їхньому живленні від двох джерел та від одного.
- 7.19. Поясніть вплив вибору робочої точки на спотворення сигналу.
- 7.20. Поясніть способи балансування ОП.

### Рекомендована література

- 7.1. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: у 2-х ч.: навчальний посібник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2004, Ч.1. – С. 136 – 171.
- 7.2. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: справоч. руководство / У. Титце, К. Шенк. – М.: Мир, 1982. – С. 141 – 156; 248 – 251; 469.
- 7.3. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС / Л. Фолкенберри – М.: Мир, 1985. – 572 с.
- 7.4. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл – М.: Мир, 1983 – Т.1 – С. 419 – 445.
- 7.5. Остапенко Г.С. Усилительные устройства: учебное пособие для вузов / Г.С. Остапенко– М.: Радио и связь, 1989. – С. 235 – 350.