

2. Особливості мікросхемотехніки диференціальних підсилювачів.

Диференціальний підсилювач (ДП) є основним вузлом найважливішого елемента аналогової інтегральної електроніки – операційного підсилювача (ОП). Схема ДП показана на рис. 4.1. Він складається з двох однакових (симетричних) плечей, кожне з яких містить транзистор і резистор. Вихідною напругою є різниця колекторних потенціалів, а входною – різниця базових потенціалів.

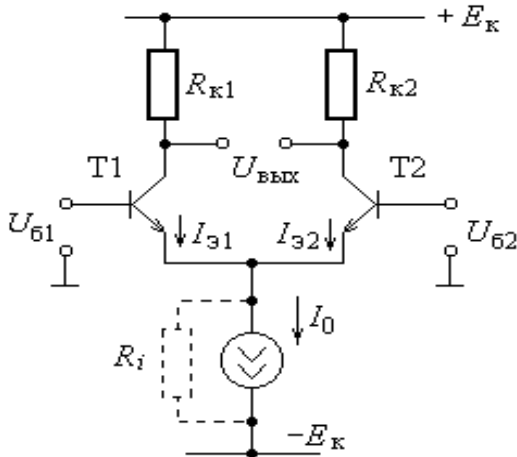


Рис. 4.1. Схема ДП.

У загальне емітерне коло включене джерело струму I_0 (генератор струму). Він забезпечує постійність суми

$$I_{e1} + I_{e2} = I_0 = \text{const}$$

і стабільність робочої точки струмів I_{e0} і напруг $U_{к0}$.

Принцип роботи ДП

В основу ДП покладена ідеальна симетрія його плечей, тобто ідентичність параметрів транзисторів T1, T2 і рівність опорів $R_{к1}$, $R_{к2}$. При цьому за відсутності сигналу струми через транзистори і

колекторні потенціали будуть однакові, а вихідна напруга дорівнюватиме нулю. Нульове значення $U_{вих}$ також зберігаються при одночасній та однаковій зміні струмів в обох плечах. Таким чином, в ідеальному ДП дрейф вихідної напруги відсутній, хоча в кожному з плечей він може бути порівняно великим.

Подамо на бази транзисторів однакові за величиною і співпадаючі за фазою напруги $U_{б1} = U_{б2}$ (сінфазні сигнали). Якщо джерело струму I_0 ідеальне (тобто $R_i \rightarrow \infty$), то струми в обох вітках і колекторні потенціали залишаться незмінними і вихідна напруга $U_{вих}$ залишиться рівною нулю. Якщо $R_i \neq \infty$, то з'явиться приріст струму ΔI_0 , але він розподілиться порівну між обома вітками ДП, колекторні потенціали зміняться однаково і збережеться рівність $U_{вих} = 0$.

Якщо подати на бази напруги рівної величини, але протилежних знаків ($U_{б1}$ і $U_{б2} = -U_{б1}$), тобто диференціальні сигнали, то їх різниця за визначенням буде входним сигналом ДП:

$$U_{вх} = U_{б1} - U_{б2}.$$

Внаслідок цього приріст струмів і колекторних потенціалів в плечах ДП будуть однаковими за величиною, але різного знаку. В результаті з'явиться вихідна напруга $U_{вих} = U_{к1} - U_{к2} \neq 0$.

Отже, ідеальний ДП реагує тільки на диференціальний або різницевий сигнал. Звідси впливає назва цього типу підсилювачів.

Коефіцієнт підсилення синфазного сигналу.

У реальному ДП, в якому обидва плеча неідентичні, а джерело струму має кінцевий опір, спостерігається вплив синфазної складової вхідного сигналу на диференціальну складову вихідного сигналу. Отже, при $U_{вхс} = U_{вх1} = U_{вх2}$

$$\Delta U_{вихс} = U_{вих1} - U_{вих2} \neq 0.$$

Відношення $\frac{\Delta U_{вихс}}{U_{вхс}}$ називається коефіцієнтом підсилення синфазного

сигналу K_c . Так як цей параметр характеризує ступінь неідеальності ДП він повинен бути мінімізований. Для випадку синфазного сигналу схему ДП можна представити, як показано на рис. 4.2.

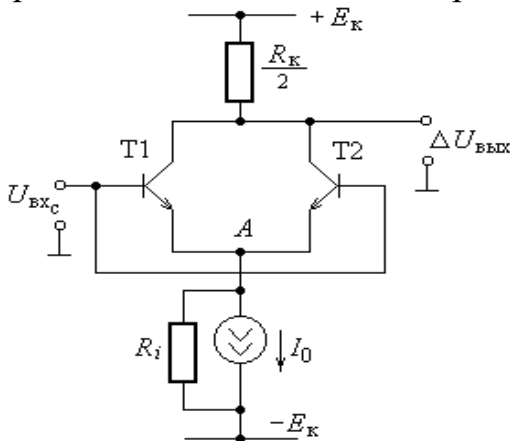


Рис. 4.2. Схема ДП для випадку синфазного вхідного сигналу.

Коефіцієнт підсилення такої схеми орієнтовно дорівнює:

$$K_c = \frac{R_k/2}{R_i + r_{еб}/2}.$$

Із наведеного виразу видно, що зменшення K_c можна домогтися збільшенням R_i . Проте значної величини R_i у випадку пасивного резистора без суттєвого погіршення інших параметрів схеми досягти неможливо.

Коефіцієнт підсилення диференціального сигналу.

Якщо $U_{вх1} - U_{вх2} = U_{вхд} \neq 0$, то відбувається перерозподіл струмів між плечима ДП, але сума струмів залишається постійною. У цьому випадку підсилення ДП пропорційне крутизні (S) його вольт-амперної характеристики і опору навантаження (R_k) тобто $K_d = S R_k$. Максимальне значення крутизни рівне $I_0/2\varphi_T$, де φ_T – температурний потенціал ($\approx 0,026$ В при кімнатній температурі). Для ДП значення S близьке до максимального при $|U_{вхд}| < 2\varphi_T$, а вже при $U_{вхд} > 4\varphi_T$ підсилення практично відсутнє, так як в цьому випадку перерозподілу струмів в плечах практично не відбувається (рис. 4.3).

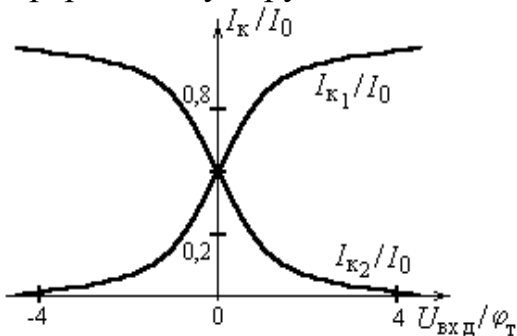


Рис. 4.3. ВАХ ДП.

Як видно з раніше наведеного виразу, K_d можна збільшити, збільшивши струм I_0 та опір навантаження R_k . Однак в першому випадку збільшується вхідний струм ДП $I_0 = 2h_{21e} I_{вх}$, де h_{21e} – коефіцієнт передачі базового струму транзистора (коефіцієнт підсилення за струмом транзистора). Це небажано, так як зменшується вхідний опір ДП. У другому випадку збільшується

площа резисторів на підкладці мікросхеми і зростає необхідна напруга живлення $+E_{жс}$ для збереження активного режиму роботи транзисторів T1, T2, що також неприпустимо. Проблема збільшення K_{∂} вирішується заміною резисторного навантаження транзисторним.

Широко поширена в схемах ДП структура транзисторного навантаження показана на рис. 4.4.

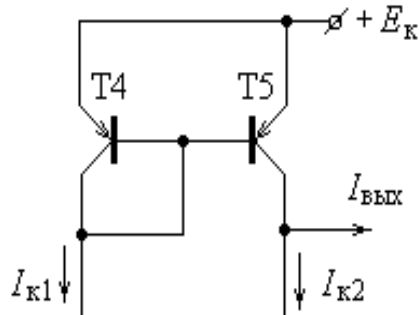


Рис. 4.4. Відбивач струму.

Ця схема називається відбивачем струму чи струмовим дзеркалом. Якщо транзистори ідентичні то $U_{\delta e4} = U_{\delta e5}$ при $I_{K1} = I_{K2}$. Вихідний струм ДП $I_{вих} = I_{K1} - I_{K2}$.

Крім високого диференціального опору транзисторів T4 і T5, завдяки тому, що вихідним сигналом є різницевий струм, синфазні зміни колекторних струмів T1 і T2 взаємно компенсуються, що значно

послаблює синфазні вхідні сигнали.

Вихідна напруга зсуву.

У реальному ДП при $U_{ex1} = U_{ex2} = 0$ виявляється, що $\Delta U_{вих} \neq 0$. Це обумовлено неоднаковим спадом напруги на переходах емітер-база транзисторів T1 і T2 внаслідок неідентичності їх параметрів. Ця різниця визначається як вхідна напруга зсуву

$$U_{exzc} = |U_{\delta e1} - U_{\delta e2}|.$$

Вхідна напруга зсуву діє так само як диференціальний сигнал, що прикладається до підсилювача, викликаючи вихідний сигнал, рівний $K_{\partial} U_{exzc}$ і названий вихідною напругою зсуву. Для забезпечення нормального функціонування ДП ця вихідна напруга зсуву повинна бути скомпенсована. На точність ДП істотно впливає так само дрейф прогріву, який особливо проявляється при швидкій зміні температури.

Відомі схемотехнічні методи зменшення вихідної напруги зсуву зводяться до разової або періодичної компенсації U_{exzc} і вхідних струмів в діапазоні робочих температур апаратури.