

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ

У РЕЖИМІ ПІДСИЛЕННЯ

Мета роботи: поглиблення і закріплення знань з основ теорії біполярних транзисторів, особливостям їхньої роботи в режимі підсилення, придбання навиків і умінь експериментального використання статичних характеристик для побудови лінії навантаження, динамічної вхідної характеристики й оптимального вибору режиму транзистора при посиленні гармонійних і імпульсних сигналів.

3.1. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Режим підсилення БТ досягається у разі підключення в коло вихідного електрода (колектора або емітера) навантажувального опору. У даному випадку зміна вхідного сигналу (наприклад, зміна $U_{eб}$) автоматично викликає зміну потенціалу на вихідному електроді.

Основні схеми підсилювачів на біполярних транзисторах визначаються можливими способами їх увімкнення – загальна база (ЗБ), загальний емітер (ЗЕ), загальний колектор (ЗК). Базові схеми підсилювачів з допоміжними елементами показано на рисунку 3.1 з наступними позначеннями: U_{cc} – напруга живлення, U_i – вхідна напруга, U_o – вихідна напруга, R_K – опір колекторного навантаження, R_E – емітерний опір, C – роздільний конденсатор, R_1 і R_2 – опори подільника напруги, який задає режим каскаду за постійним струмом.

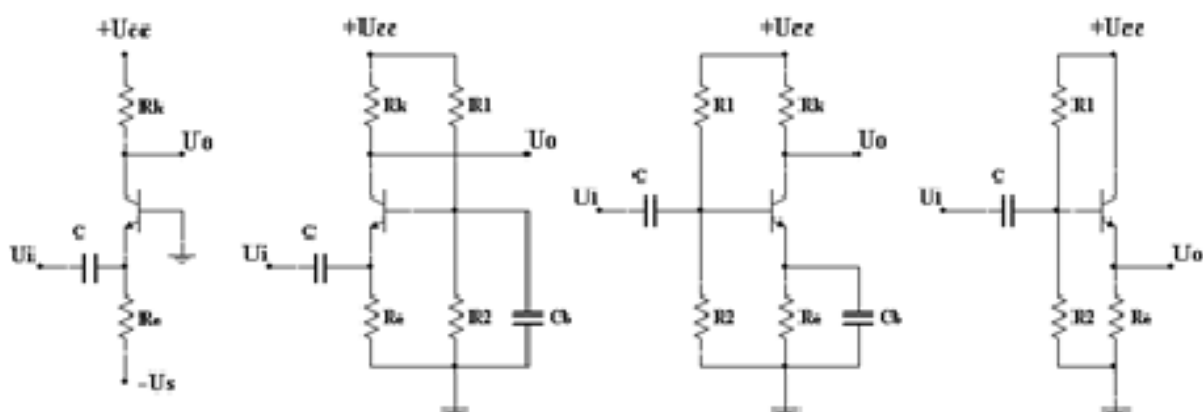


Рис. 6.1 Базові підсилювальні каскади на біполярних транзисторах:

а) класична схема з ЗБ; б) схема з ЗБ і подільником напруги;

в) схема з ЗЕ; г) схема з ЗК

Базові каскади характеризуються вхідним $R_{\text{вх}}$ і вихідним $R_{\text{вих}}$ опорами, коефіцієнтами підсилення струму $K_I = I_{\text{вих}}/I_{\text{вх}}$, напруги $K_U = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$ і потужності $K_P = P_{\text{вих}}/P_{\text{вх}} = K_I \times K_U$.

В залежності від струму колектору транзистора і величини напруги на електродах транзистора підсилювального каскаду, а також від амплітуди вхідного сигналу розрізняють наступні режими підсилення: А, В, С, D і проміжні, наприклад АВ.

В режимі А струм у вихідному ланцюзі підсилювача протікає на протязі всього періоду сигналу. Достоїнством цього режиму є мінімум нелінійних спотворень. Його недолік – низький ККД (менш ніж 0,5), тому він використовується найчастіше в каскадах попереднього підсилення, а також в малопотужних вихідних каскадах.

В режимі В струм через транзистор протікає на протязі приблизно половини періоду вхідного сигналу ($\approx 180^\circ$). Через нелінійність початкових ділянок характеристик транзистора форма вихідного струму при його малих значеннях суттєво відрізняється від форми струму в лінійному режимі. Це призводить до значних нелінійних спотворень вихідного сигналу. Цей режим звичайно використовують в двохтактних вихідних каскадах, які мають великий ККД.

В режимі С струм через транзистор протікає на протязі проміжку часу, який менше половини періоду вхідного сигналу. Струм спокою в режимі С дорівнює нулю. Він використовується в потужних підсилювачах, в яких навантаженням є резонансний контур (наприклад, в радіопередавачах).

Режим D (ключовий) – режим, в якому транзистор може знаходитись тільки в двох станах: або повністю закритий, або повністю відкритий. Такий режим використовують в ключових схемах.

Для аналізу активних елементів у режимі підсилення А широко використовують графоаналітичний метод, заснований на застосуванні вхідних і вихідних статичних характеристик. При цьому розглядають роботу транзистора у статичному та динамічному режимах. Статичний режим враховує тільки

постійні складові струмів та напруг на біполярному транзисторі, що забезпечують проходження та підсилення сигналів – змінних, динамічних складових. Динамічний режим використовується для аналізу підсилювальних властивостей транзисторного підсилувача по сигналах.

У схемі з загальним емітером напруга колектора при наявності навантаження R_K у його ланцюзі дорівнює $U_K = E_K - R_K I_K$.

Це співвідношення є рівнянням прямої. Графік, побудований з цього рівняння, називають статичною навантажувальною характеристикою (СНХ). На сім'ї вихідних характеристик вона будується по двох точках: ($I_K = 0$, $U_{KE} = E_K$) і ($U_{KE} = 0$, $I_K = E_K / R_K$) (рис. 3.2).

За допомогою СНХ вибирають робочу точку біполярного транзистора у статичному режимі (по постійному струму) як точка перетину СНХ з тією або іншою вихідною статичною характеристикою транзистора.

Вхідна характеристика навантаженого транзистора у динамічному режимі відрізняється від статичної, що обумовлено зміною колекторної напруги. Динамічна вхідна характеристика при збільшенні струму бази послідовно перетинає сім'ю статичних характеристик, знятих при $U_{KE} = const$. Ця характеристика йде більш круто: при увімкненні навантаження вхідна провідність транзисторів зростає.

У режимі лінійного підсилення робоча точка (тобто I_{KE0} та U_{KE0}) вибирається в середині лінійної ділянки.

При виборі робочої точки також потрібно враховувати обмеження пов'язане із недопустимістю перевищення потужності, що виділяється на транзисторі, максимально допустимої потужності. Тому робоча точка повинна бути розміщена поза зоною перевищення максимальної потужності, окресленої пунктирною лінією на рис. 3.2.

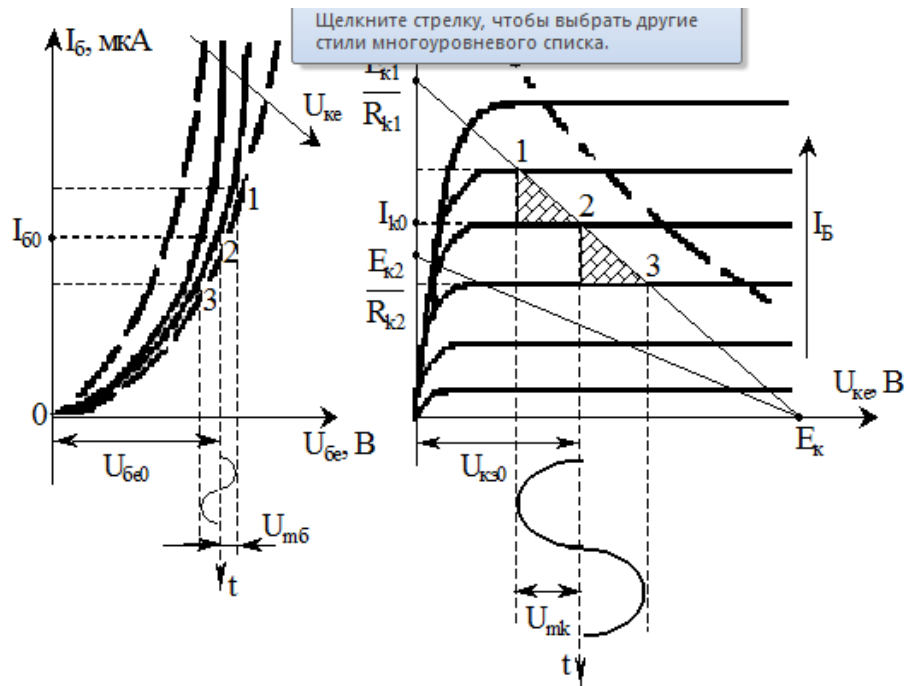


Рис. 3.2 Побудова навантажувальних і вхідних динамічних характеристик для схеми увімкнення транзистора з ЗЕ

Наведені на рисунку 3.2 характеристики дозволяють графоаналітичним методом визначити коефіцієнти підсилення по струму і напрузі (відношення амплітуд струму колектора I_{mk} і струму бази $I_{m\beta}$ і амплітуд напруг U_{mk} і $U_{m\beta}$).

Максимальне значення амплітуди змінної складової колекторного струму обмежується граничним струмом транзистора ($I_{K\max} < 0,5 I_{K\text{гран}}$), значення якого обумовлюється припустимим зниженням коефіцієнта передачі струму при високих рівнях інжекції.

Максимальне значення амплітуди змінної складової колекторної напруги обмежується максимально припустимою напругою колектора ($U_{mk\max} < 0,5 U_{ke\max\text{прип}}$).

При підсиленні гармонійних і двополярних імпульсних сигналів вихідну робочу точку вибирають у центрі лінійної ділянки. Це забезпечує максимальну амплітуду вихідного сигналу. Якщо схема призначена для підсилення імпульсів позитивної або негативної полярності, то для одержання максимального вихідного сигналу з амплітудою, що дорівнює майже E_K , транзистор повинен знаходитися або в режимі відсічення, або насичення.

При виборі параметрів робочої точки активного елементу треба приймати до уваги залежність його параметрів від температури (зворотній струм переходів, коефіцієнт передачі струму), а також схильність зміні з часом (старіння). Це потребує спеціальних заходів для стабілізації коефіцієнта підсилення і інших параметрів підсилювачів.

В більшості транзисторних підсилювачів для стабілізації положення робочої точки вводять стабілізуючий зворотній зв'язок або використовують методи температурної компенсації.

Якщо необхідно мати стабільний режим за постійним струмом і стабільне підсилення за змінним струмом, вводять достатньо глибокий зворотній зв'язок за рахунок збільшення опору R_e , паралельно якому вмикається конденсатор великої ємності.

В багатокаскадних підсилювачах для стабілізації статичного режиму перевага надається загальному зворотному зв'язку за постійним струмом, який охоплює цілком весь підсилювач.

3.2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Побудувати схему підсилювача за рисунку 3.3 Вивчити призначення всіх елементів схеми.

Початкові налаштування схеми:

- ключ розімкнено;
- опір потенціометра 0%;
- крок зміни опору потенціометра 10%;
- характеристики вхідного сигналу: форма – синусоїда, частота 1 кГц, амплітуда N мВ (N – номер варіанту), зсув 0 В;
- налаштування осцилографа: часова шкала 1 мс/поділка, канал А 100 мВ/поділка, канал В 5 В/поділка.

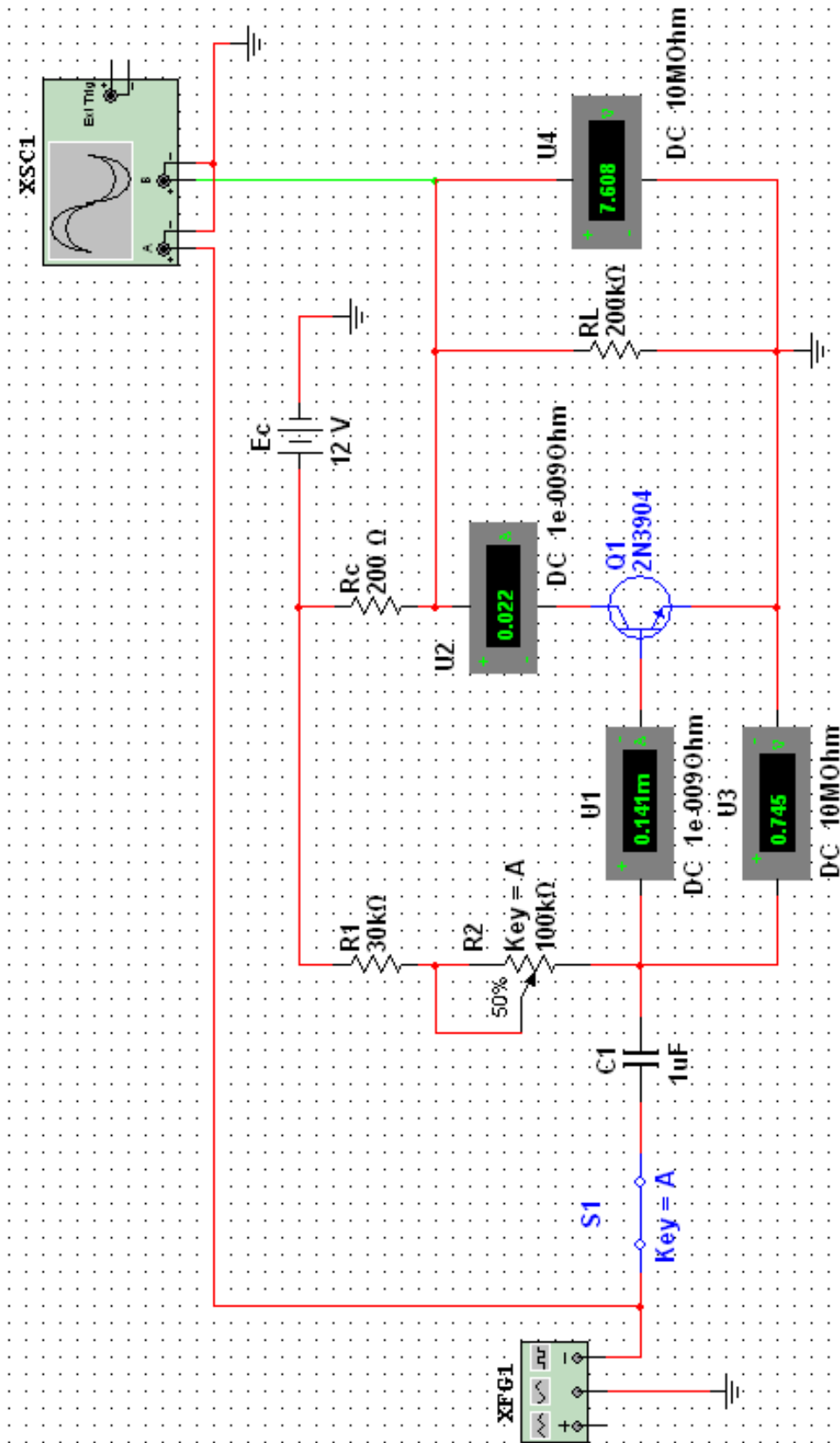


Рис. 3.3 Електрична принципова схема підсилювача на біполярному транзисторі, який увімкнено за схемою з ЗЕ

2. Побудувати навантажувальну характеристику підсилювача. Для цього:
 - увімкнути моделювання;

- зафіксувати в протоколі вхідні струм та напругу і вихідні струм та напругу;
- провести подібні виміри для всіх значень опору потенціометра;
- побудувати навантажувальну характеристику;
- вимкнути моделювання.

3. Дослідити роботу підсилювача на біполярному транзисторі при подачі на вхід синусоїдального сигналу. Для цього:

- за допомогою клавіші «Space» замкнути ключ;
- потенціометр перевести в положення 0%;
- увімкнути моделювання;
- зняти скріншот осцилограм вхідного і вихідного сигналів в протокол, зберігаючи їх положення відносно осей;
- зняти скріншот осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол при всіх інших положеннях потенціометра;
- провести вимірювання амплітуд вхідного та вихідного сигналів;
- обчислити коефіцієнт підсилення підсилювача на біполярному транзисторі по напрузі, по струму та потужності при роботі в активному режимі;
- вимкнути моделювання;
- порівняти і пояснити отримані результати.

4. Змінити настроювання схеми: на генераторі – форма сигналу прямокутна, частота 100 кГц, скважність 25%, амплітуда 20 мВ; на осцилографі - часова шкала 10 мкс/поділ, канал А 50 мВ/поділ, канал В 5В/поділ.

5. Дослідити роботу підсилювача на біполярному транзисторі при подачі на вхід прямокутних сигналів. Для цього:

- потенціометр перевести в положення 0%;
- увімкнути моделювання;
- зняти скріншот осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол, зберігаючи їх положення відносно осей;
- потенціометр перевести в положення 100%;

- зняти скріншот осцилограми вхідного і вихідного сигналів в протокол;
- вимкнути моделювання;
- порівняти і пояснити отримані результати.

6. За допомогою осцилографа дослідити схему, яку отримали на практичній роботі 4.

8. Проаналізувати отримані результати, зробити висновки й оформити протокол звіту.

3.3. ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- мету роботи;
- принципові електричні схеми підсилювальної ланки при увімкненні БТ із загальним емітером, загальною базою і загальним колектором;
- результати досліджень у вигляді таблиць, графіків (на стандартному аркуші формату А4) і осцилограм, отриманих за допомогою вихідних характеристик та лінії навантаження і перерисованих з екрана осцилографа;
- висновки, що базуються на аналізі отриманих результатів

3.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Нарисуйте підсилювальну ланку на біполярному транзисторі з ЗЕ, ЗБ і ЗК і поясніть призначення елементів.

2. Як враховується ефект модуляції товщини бази при наявності опору в колі колектора (у режимі підсилення)?

3. Якими параметрами обмежується робоча зона транзистора при застосуванні його у підсилювачах у режимі підсилення А?

4. Чому в режимі великих сигналів використовується графоаналітичний метод розрахунку транзисторних ланок?

5. Як вибирається початкове положення робочої точки при підсиленні гармонійних і однополярних сигналів?

6. Перелічіть особливості роботи БТ у ключовому режимі.

7. Нарисуйте осцилограми імпульсів на виході транзисторного ключа з загальною базою і загальним емітером.