

## Лабораторна робота № 3

### Підсилювачі сигналів на біполярних транзисторах

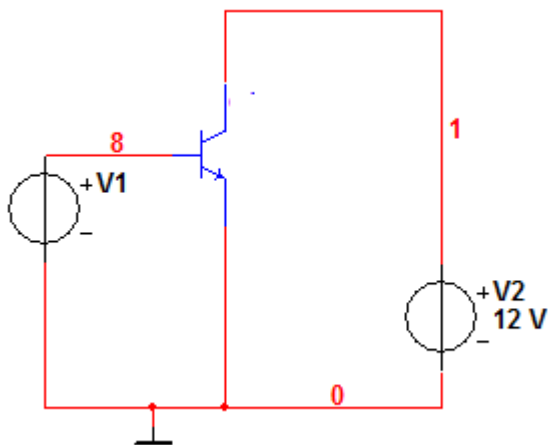
- Для заданого типу транзистора визначити гранично допустимі значення струму та напруги колектора [Detail report]

Наприклад, для BCW32  $I_{K\max} = 0,1 \text{ A}$ ;  $U_{K\max} = 30 \text{ V}$ .

Обрати струми і напругу колектора меншими від гранично допустимих

Наприклад:  $I_{K0} = 30 \text{ mA}$   $U_{K0} = 12 \text{ V}$ .

- Збираємо схему для побудов характеристик транзистора



Командою [DC Sweep] На прохідній характеристиці  $[I_c(Q1) \text{ від } V1]$  курсором (з кроком 0.01V) обираємо струм у 30 мА і визначаємо відповідну напругу на базі ( $U_{B0} = 0.745 \text{ V}$ ) та крутість в цій робочій точці  $S = 0.64 \text{ A/V}$ .

За вхідною характеристикою  $[I_b(Q1) \text{ або } I(V1) \text{ від } V1]$  визначаємо струм бази у цій робочій точці та вхідний опір:  $I_{B0} = 97 \text{ мкА}$ ,  $R_{вх} = 450 \text{ Ом}$  (обернене до  $dy/dx$ )

Виставивши напругу на базі  $U_{B0} = 0.745 \text{ V}$  визначаємо величину вихідного опору транзистора за вихідною характеристикою  $[I_c(Q1) \text{ або } I(V2) \text{ від } V2]$  при напрузі на колекторі  $U_{K0} = 12 \text{ V}$ . Вона виявляється рівною  $R_i = 4630 \text{ Ом}$  (обернене до  $dy/dx$ )

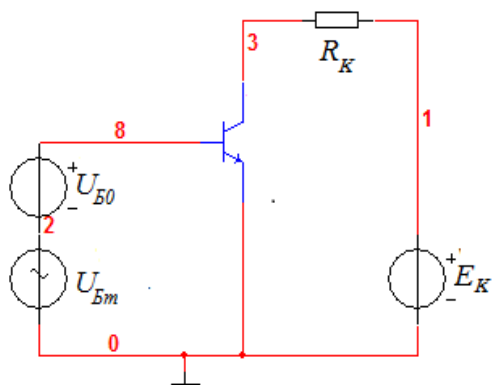
- Гранична межа можливого коефіцієнта підсилення  $k_{u\text{гр}} = S R_i = 3000$ .

Задаємось коефіцієнтом підсилення меншим від  $k_{u\text{гр}}$ . Наприклад,  $k_u = 300$ .

Визначаємо  $R_K$ , при якому це буде

$$k = S \frac{R_K R_i}{R_K + R_i} \rightarrow R_K = R_i \frac{k}{k_{\text{гр}} - k} = 4630 \frac{300}{3000 - 300} = 514 \text{ Ом}$$

- Збираємо схему підсилювача



Напруга живлення по колектору

$$E_{KE} = U_{KE0} + I_{KE0} R_K = 12 \text{ V} + 0,03 \text{ A} \cdot 514 \text{ Ом} = 27,5 \text{ V}$$

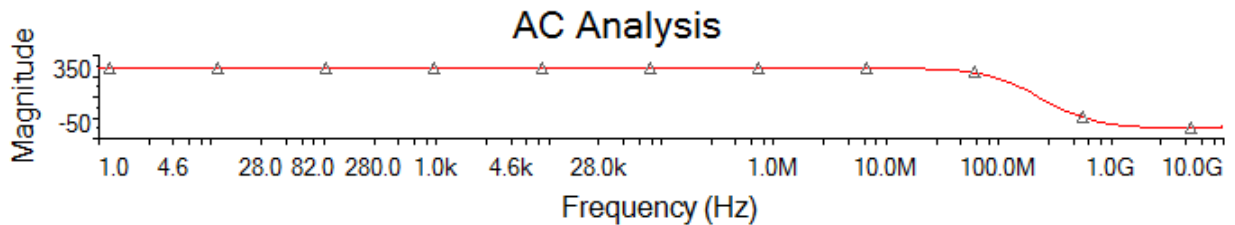
Використовуючи вимірювальний прилад, можна перевірити величину напруги на колекторі та струм в колі колектора. Вони мають бути близькими до заданих вище  $U_{K0} = 12 \text{ V}$  та  $I_{K0} = 30 \text{ mA}$

У коло бази крім джерела живлення  $U_{B0} = 0,745 \text{ V}$  вводиться джерело змінного сигналу достатньо малої величини  $U_{Bm} = 0,01 \text{ V}$  з частотою порядку кількох кілогерців.

5. Використовуючи вимірювальний прилад – вольтметр змінної напруги – вимірюємо амплітуду напруги на колекторі. Вона має бути близької до заданої

$$U_{KEm} = k_u \cdot U_{BE0} = 300 \cdot 0,01 = 3 \text{ В}$$

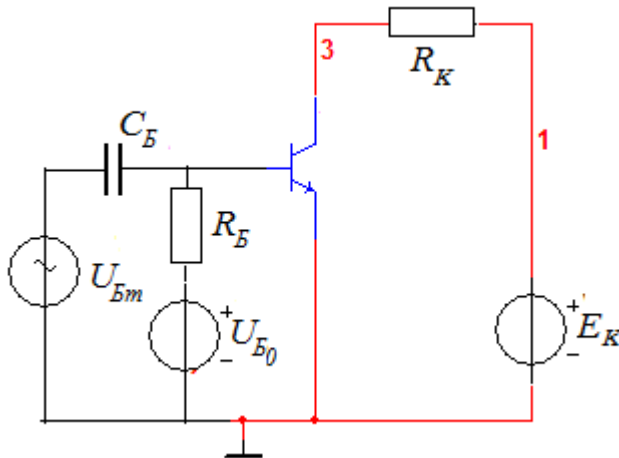
Використовуючи команду AC Analysis можна виміряти АЧХ підсилювача. В команді AC Analysis встановлюють: 1Hz – 10GHz – Decade – 10 – Linear для точки у схемі 3 (Output V(3)). Курсором можна виміряти підсилення на середніх частотах та верхню граничну частоту, де підсилення зменшується в 0,71 разів.



Як видно, верхня гранична частота дуже висока і простягається за 100 МГц. З неї можна було б визначити вихідну ємність нашого транзистора

$$C_K = \frac{1}{2\pi \cdot f_B \cdot R_K} \text{ порядку кількох пікофарад.}$$

6. У підсилювачі у п.4 змінна напруга сигналу подається безпосередньо на базу транзистора. Щоб «відгородити» режим транзистора від джерела сигналу, між ними розміщується розділова ємність  $C_B$ .



Опір  $R_B$ , через який підводиться струм бази, має бути сумірним з вхідним опором транзистора  $R_{Bx} = 450 \text{ Ом}$ . Нехай  $R_B = 1 \text{ кОм}$ .

Треба врахувати спад напруги на ньому, так що тепер

$$U_{BE0} = U_{BE00} + I_{B0} R_B = 0,745 + 97 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 0,845 \text{ В}$$

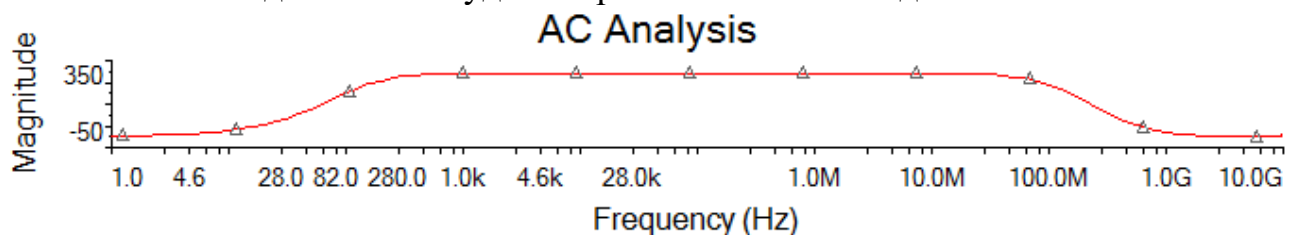
Загальний вхідний опір тепер

$$R_B' = R_B \parallel R_{Bx} = 310 \text{ Ом.}$$

Ємність  $C_B$  визначатиме нижню граничну частоту підсилювача. Нехай вона буде  $f_H = 100 \text{ Гц}$ .

$$\omega_H = \frac{1}{R_K' C_B} \rightarrow C_B = \frac{1}{2\pi f_H R_K'} = \frac{1}{6,28 \cdot 100 \cdot 310} = 5,13 \cdot 10^{-6} = 5,13 \text{ мкФ.}$$

АЧХ підсилювача буде тепер мати такий вигляд



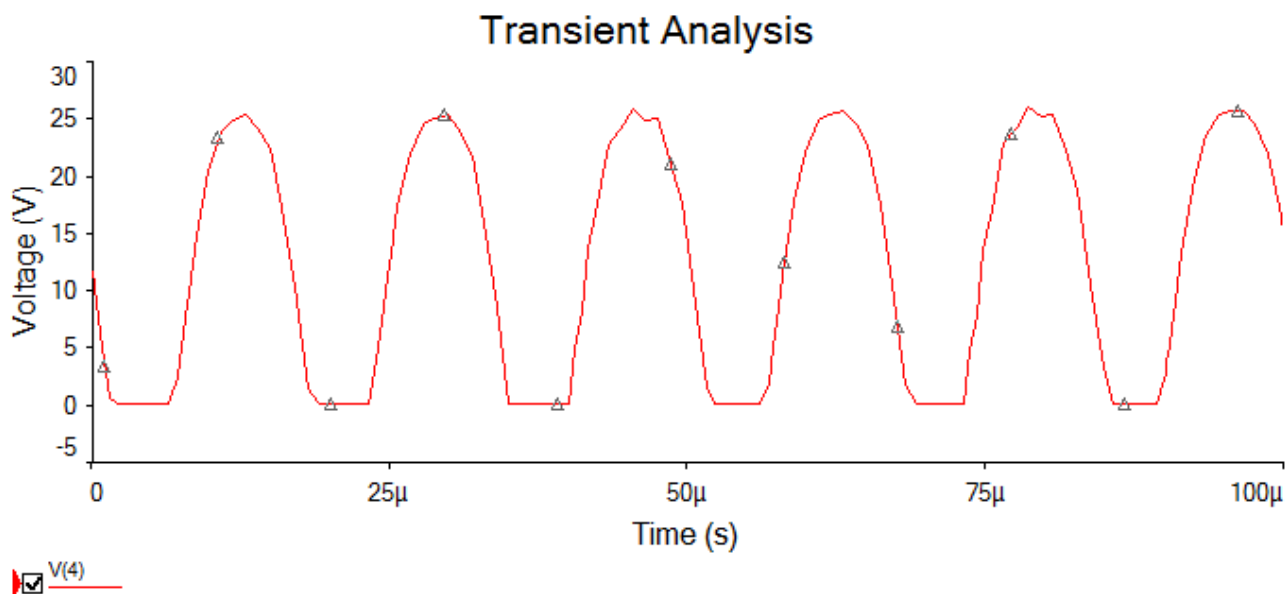
☒ V(4)

## 7. Дослідження нелінійного режиму підсилювача.

При надто великій напрузі вхідного сигналу транзистор переходить у нелінійний режим з причини запирання транзистора при надто низькій напрузі на базі ( $I_{B0} = 0$ ) або насичення при надто низькій напрузі на колекторі ( $U_{KE0} = 0.2 - 0.3$  В), коли струм  $I_{K0}$  такий великий, що уся напруга  $E_K$  спадає на опорі  $R_K$ ). При цьому коефіцієнт підсилення зменшується.

| $U_{BEm}$ | $U_{KEm}$ | $k$ |
|-----------|-----------|-----|
| 0.001     | 0.288     | 288 |
| 0.01      | 2.87      | 287 |
| 0.03      | 8.14      | 271 |
| 0.05      | 10.3      | 206 |
| 0.06      | 10.9      | 187 |
| 0.07      | 11.4      | 163 |
| 0.10      | 12.3      | 123 |
| 0.15      | 12.9      | 86  |

Нелінійність розпочинається вже при  $U_{BEm} = 0.04 - 0.05$  В, де коефіцієнт підсилення починає спадати. Графік напруги на колекторі зазнає при таких  $U_{BEm}$  помітного обмеження зверху і знизу.

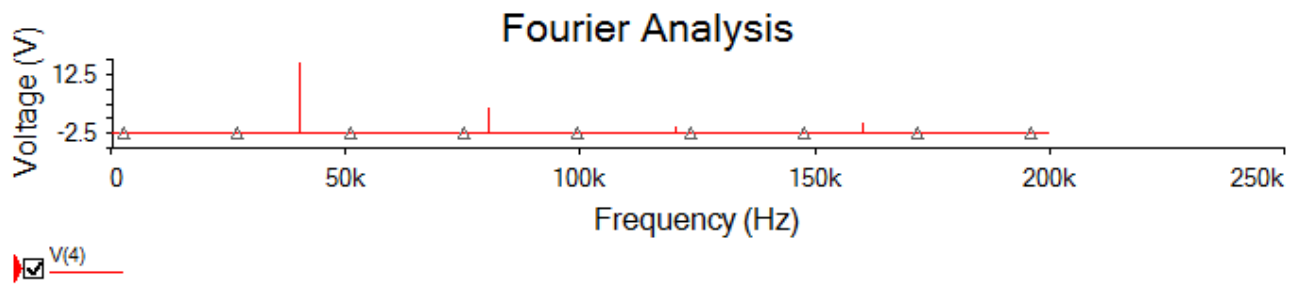


Обмеження зверху настає, коли транзистор закривається, і напруга на колекторі наближається до  $E_K$ , а знизу – коли він відкритий до насичення.

(Зверніть увагу на те, щоб у закритому стані напруга на колекторі не перевищувала максимально допустиму напругу  $U_{Kmax}$ )

У такому режимі з'являються вищі гармоніки. Їх можна спостерігати та вимірювати командою Fourier Analysis.

Крок (у Герцах) та кількість вимірюваних точок треба визначити так, щоб умістився увесь спектр (тут 100 Гц та 2000 точок, тобто ширина спектру буде 200 кГц – для 4 -5 гармонік).



Вимірявши амплітуди гармонік, можна підрахувати клір-фактор:

$$I - 13; \quad II - 4; \quad III - 1; \quad IV - 2$$

$$k_f = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots}}{A_1} = \frac{\sqrt{16 + 1 + 4}}{13} = 0.35 = 35\%$$

### Література

1. С.М. Левитський. «Основи радіоелектроніки». ВПЦ «Київський Університет», 2007.
2. І.І. Бех, С.М. Левитський. Фізичні основи комп'ютерної електроніки». Карат, 2010.

Рекомендовані транзистори:

nnp – 2N4123; 2N5059; 2N5224; BC547B; BC547C; BC548A; BC846A.  
 pnp – BC557B; 2N5227; 2N5086.