



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки**

**РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ
ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та (заочної) форми навчання,
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ
ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої
освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради факультету ЕРКТ
Протокол № 1 від 20
жовтня 2022 р.

Харків
2023

УДК 615.47+57.08
О 75

Схвалено
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії
та електротехніки
Протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.

Рецензент:

О.М. Мороз, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державний біотехнологічний університет.

О 75 Розрахунок та проектування електронних пристроїв: методичний посібник до виконання курсового комплексного тестового завдання здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет; уклад.: О.Д. Черенков, М.О. Чорна – Харків: [б. в.], 2023. – 56 с.

Методичні вказівки до виконання курсового комплексного тестового завдання «Розрахунок та проектування електронних пристроїв»: дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка», розроблено відповідно до навчальної програми.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

УДК 615.47+57.08

Відповідальний за випуск: М. О. Чорна, к.т.н., доцент

© О.Д. Черенков, 2023

© М.О. Чорна, 2023

© ДБТУ, 2023

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 4 |
| Розділ 1. Розрахунок попереднього підсилювача НЧ | 36 |
| Розрахунок ПНЧ за постійним струмом | 37 |
| Розділ 2. Розрахунок підсилювача при подачі на вхід сигналу змінної частоти | 48 |
| Додатки | 55 |

ВСТУП

Навчальний посібник призначений закріпити теоретичні знання отримані студентами при вивченні дисципліни «Електроніка, мікропроцесорні засоби та техніка зв'язку». Посібник дає змогу розвинути практичні навички в проектуванні і розрахунку електронних схем та пристроїв зібраних на напівпровідникових приладах і мікросхемах малої та середньої інтеграції.

Курсове комплексне тестове завдання складається з наступних частин:

ЗАВДАННЯ 1

Підготовка аналітичного огляду (аналіз технічного приладу) за вибраним завданням

Форма діяльності студента – реферат або конспект – 10 сторінок.

Форма контролю студента – задача тестів на ЕВМ.

ЗАВДАННЯ 2

Підготувати термінологічний словник, відповідно теми аналітичного огляду

Форма діяльності студента – 20 ключових слів, їх визначення та переклад на англійську мову – конспект

Форма контролю студента – задача тестів на ЕВМ

ЗАВДАННЯ 3

Розрахунок підсилювача НЧ за постійним струмом

Форма діяльності студента – математичний розрахунок відповідно завданню

Форма контролю студента – задача тестів на ЕВМ

ЗАВДАННЯ 4

Розрахунок підсилювача НЧ за змінним струмом

Форма діяльності студента – математичний розрахунок відповідно завданню, конспект

Форма контролю студента – задача тестів на ЕВМ

ЗАВДАННЯ 5

Розрахунок підсилювача НЧ за постійним струмом та змінним струмом з використанням мультимедійних програм

Форма діяльності студента – використання Multisim, для автоматичної побудови характеристики НЧ відповідно завданню, конспект

Форма контролю студента– здача тестів на ЕВМ

Розрахунок підсилювача виконується графо-аналітичним способом. В посібнику приводиться порядок виконання графічних робіт а також показано розрахунок ПНЧ в двох режимах – режимі спокою (сигнал на вхід підсилювача не поступає) і в режимі підсилення сигналів змінної частоти. Приводиться приклад розрахунку підсилювача.

Вимоги до тексту завдання, правила оформлення ілюстрацій, таблиць, електричних схем графіків та ін. виконуються згідно стандартів прийнятих для оформлення курсових і дипломних проектів. В даному посібнику вказані стандарти не приводяться.

В додатках показані вхідні та вихідні характеристики деяких вітчизняних та зарубіжних транзисторів, які використовуються головним чином в схемах підсилювачів низьких та середніх частот, надані електричні параметри транзисторів. Окремо в додатках приведені електричні параметри пасивних елементів схем підсилювачів НЧ (резистори, конденсатори).

Так як розраховані величини пасивних елементів схеми можуть не відповідати стандартним значенням, то виникає необхідність показати порядок вибору резисторів і конденсаторів згідно ДСТУ. Для цього існують спеціальні *таблиці коефіцієнтів стандартизованих рядів – таблиці Е*. В додатку [Б] приведені таблиці «Е» та приклад користування таблицями при виборі резисторів і конденсаторів для підсилювача.

В пояснювальній записці окремими листами необхідно показати літературні джерела, які використані при розрахунку ПНЧ та специфікацію елементної бази (додаток В).

Титульний лист є першим листом комплексного контрольного завдання. Зразок титульного листа приведено в додатку [Д].

Графічні побудови виконуються на листі координатного паперу (формат А3) з виконанням вимог стандарту.

Об'єм пояснювальної записки 15÷25 аркушів формату А4.

- Теоретичні основи розрахунку підсилювача мають містити:
- означення та класифікацію підсилювачів змінної частоти, сферу їх використання;
 - основні технічні параметри підсилювачів (коефіцієнти підсилення по струму, напрузі, потужності, (пояснити які бувають викривлення сигналів в підсилювачі НЧ);
 - значення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) та смуги пропускання підсилювача;
 - основні схеми ввімкнення транзисторів в підсилювачах, їх переваги та недоліки;
 - суть емітерної стабілізації робочої точки транзистора, параметру $S(I_{ко})$.

ПРИМІТКА

В прикладі розрахунку підсилювача НЧ, в ряді позицій наведені пояснення етапів розрахунку: порядок виконання графічних побудов, користування таблицями та довідковими даними та ін. Це допоміжні відомості, що необхідні для виконання розрахунків. В пояснювальній записці на ці відомості зробити посилання, але вносити їх в текст не потрібно.

1. РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДСИЛЮВАЧА НИЗЬКОЇ ЧАСТОТИ (ППНЧ)

Запишемо початкові дані для розрахунку ППНЧ згідно варіанта завдання:

| | | |
|----|---|------------------------|
| 1. | Нижча робоча частота сигналу | $f_n = \dots$ (Гц) |
| 2. | Вища робоча частота сигналу | $f_e = \dots$ (Гц) |
| 3. | Коефіцієнти викривлення сигналу по частоті від f_n до частоти f_e | $M_n = M_e = \dots$ |
| 4. | Опір навантаження | $R_n = \dots$ (Ом) |
| 5. | Вихідна напруга на навантаженні | $U_{mвих} = \dots$ (В) |
| 6. | Внутрішній опір джерела сигналу (генератора) | $R_e = \dots$ (Ом) |
| 7. | Коефіцієнт нестабільності робочої точки транзистора | $S(I_{ко}) = \dots$ |

В результаті розрахунків необхідно знайти:

а) значення колекторного струму і напруги колектор-емітер в режимі без вхідного сигналу ($I_{кc}$, $U_{кec}$), такий режим роботи транзистора називається режимом спокою;

б) електрорушійну силу джерела енергії підсилювача E_k ;

в) величини опорів в колах бази (R_1 , R_2), емітера (R_e), колектора R_k ;

г) коефіцієнти підсилення каскаду за напругою, струмом, потужністю на середніх частотах діапазону частот, що підсилюються K_U , K_I , K_P ;

д) значення розділових і шунтувальних конденсаторів C_p , C_e ;

е) значення вхідного та вихідного опорів каскаду $R_{вх}$, $R_{вих}$.

Розрахунок попереднього підсилювача НЧ за постійним струмом

Для виконання технічного завдання виберемо схему підсилювача низької частоти з емітерною стабілізацією робочої точки транзистора (рис. 3.1). В схемі необхідно знайти величини опорів R_1 , R_2 , R_3 (R_k), R_4 (R_e), конденсаторів C_1 , C_2 , C_3 , вибрати тип транзистора. Дана схема відповідає поставленим вимогам технічного завдання на розрахунок підсилювача НЧ.

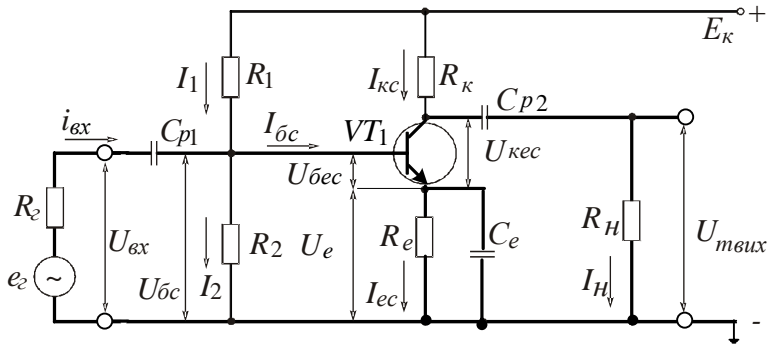


Рисунок 1.1 – Резистивний підсилювач низької частоти на транзисторі $n-p-n$ типу.

Розрахунок ПНЧ виконується в два етапи:

а) перший етап – розрахунок підсилювача за постійним струмом, так званий *режим спокою*. На цьому етапі обчислюють величини опорів $R_1 \div R_4$, розраховують режим роботи транзистора VT_1 , перевіряють чи не перевищують струми, напруги, потужність, що розсіюється на елементах схеми, максимально допустимі величини для вибраного транзистора. На вхід підсилювача, при цьому, сигнал змінної частоти не подається.

б) другий етап – називається *розрахунок за змінним струмом*: на вхід підсилювача подається сигнал змінної частоти. Проводиться розрахунок коефіцієнтів підсилення за струмом, напругою, потужністю, розраховуються величини

конденсаторів, вхідний та вихідний опори каскаду, знаходять диференційні параметри транзистора.

1. Відповідно вказаному діапазону частот, які необхідно підсилити, з довідника вибираємо тип транзистора так, щоб гранична частота передачі струму в схемі з СЕ – f_{zp} була значно більшою чим вища частота сигналу – f_e , тобто, виконувалась умова: $f_{zp} \gg f_e$.

Для вибраного транзистора ... гранична частота

$$f_{zp} = \dots \text{ МГц.} \quad (1.1)$$

Робимо висновок, що транзистор підсилить сигнал в межах від нижчої f_n до вищої f_e частоти без викривлення сигналу по частоті.

2. Проведення розрахунків, вказаних в пунктах а), б), виконується графоаналітичним способом. Для цього необхідно попередньо виконати графічні побудови в такій послідовності: на листі координатного паперу (формат А3) нанести горизонтальну та вертикальну вісі. На горизонтальній – від початку координат (0) ліворуч відкласти значення базового струму I_b (мА або мкА), а праворуч – значення напруги між колектором та емітером $U_{к-е}$ (В). На вертикальній вісі, від початку координат, вверх, відкласти значення колекторного струму – I_k (мА), униз – величину напруги між базою та емітером – $U_{б-е}$ (В або мВ).

Значення I_b , $U_{к-е}$, I_k , $U_{б-е}$ знаходимо із вхідних та_вихідних характеристиках для вибраного транзистора, що містяться в довідниках по транзисторам []. При відсутності статичних характеристик на вибраний транзистор побудувати їх з використанням програми Multisim [6].

Масштаб вибирається довільно, але так, щоб максимальні значення струмів та напруг з характеристик були відображені на вісях. При виконанні графічних робіт можливе коригування масштабу по вісям в сторону укрупнення Таким чином, на листі

утворилося чотири квадранти: далі в перший квадрант перенести вихідні характеристики вибраного транзистору – $I_K = F(U_{K-e})$ при $I_{\delta} = \text{const}$. В третій квадрант перенести вхідну характеристику $I_{\delta} = F(U_{\delta-e})$ при постійній напрузі між колектором та емітером – U_{K-e} .

В результаті підготовчих робіт на координатному листі, в відповідному масштабі, показані вхідна та вихідні характеристики вибраного транзистору (рис. 1.2).

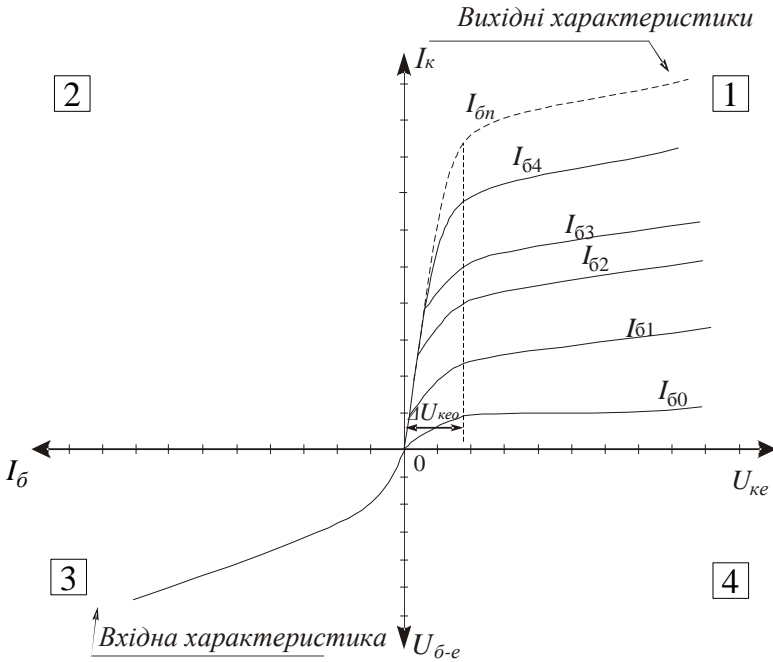


Рисунок 1.2 – Вхідна та вихідні характеристики транзистора

3. Задаємо значення напруги джерела живлення підсилювача E_K за виразом:

$$E_k = (0,5 \div 0,7) \cdot U_{k-e \text{ макс. доп.}} \tag{1.2}$$

де $U_{K-e \text{ макс. доп.}}$ – максимально допустима напруга між

колектором та емітером вибраного транзистора (пункт 2).

Значення цієї напруги знаходимо в [2], або в додатку [А]. Коефіцієнт при нарузі $U_{ке макс доп}$ вибираємо в межах від 0,5 до 0,7. Тепер, згідно виразу (1.2):

$$E_k = \dots (B). \quad (1.3)$$

4. При виборі резистора в колі колектора – R_k необхідно задовольнити двом умовам: з однієї сторони бажано, щоб опір резистора R_k був значно більший чим опір навантаження – R_n , цим зменшується шунтування R_n , з іншої сторони збільшення величини R_k призведе до збільшення спаду напруги на цьому резисторі, а напруга між колектором та емітером $U_{кес}$ може зменшитися до недопустимо малої величини так, що транзистор взагалі не буде підсилювати сигнал. З урахуванням вказаних факторів величину опору резистора в колі колектора – R_k розраховують за виразом:

$$R_k = (3 \div 5) \cdot R_n. \quad (1.4)$$

Коефіцієнт при R_n вибираємо довільно в межах від 3 до 5, тепер:

$$R_k = \dots (Om). \quad (1.5)$$

Розрахована величина опору R_k може не відповідати номінальному опору $R_{ном}$, тобто, згідно державного стандарту така величина опору в переліку резисторів, що виготовляються, відсутня. Щоб знайти резистор $R_{ном}$ найближчий до розрахованого R_k (1.5), необхідно скористатись таблицею числових коефіцієнтів стандартизованих рядів номінальних значень резисторів (таблиці E). *Таблиці E та порядок користування таблицями коефіцієнтів для вибору стандартних величин опорів приведено в додатку [Б].*

5. При визначені величини напруги спокою в колі емітера U_{ec} виходять з наступних міркувань: підвищення напруги U_{ec} впливає на температурну стабільність режиму спокою каскаду – покращує стабільність. Підвищення напруги відбувається за рахунок збільшення опору R_e , а стабільність поліпшується за рахунок збільшення глибини НЗЗ за постійним струмом. Однак, при цьому необхідно збільшувати напругу E_k , тобто, збільшувати витрати енергії. З врахуванням цих протиріч величину U_{ec} вибирають за виразом:

$$U_{ec} \approx (0,1 \div 0,3) \cdot E_k \quad (1.6)$$

$$U_{ec} = \dots (B). \quad (1.7)$$

6. В сімействі вихідних характеристик вибраного транзистора (на координатному листі) будуємо лінію навантаження підсилювача за постійним струмом.

Щоб побудувати лінію навантаження, запишемо рівняння, що характеризує баланс напруг у вихідному колі підсилювача (згідно другого закону Кірхгофа):

$$U_{kec} = E_k - I_{kc} \cdot R_k - I_{ec} \cdot R_e \quad (1.8)$$

де U_{kec} – напруга спокою між колектором та емітером; I_{kc} , I_{ec} – струми спокою колектору та емітеру; R_k , R_e – опори в колі колектору і емітеру VT_1 .

Із теорії транзисторів відомо, що струм емітеру по величині майже такий як і струм колектора, тобто, можливо записати що $I_{kc} \approx I_{ec}$, тоді рівняння балансу напруг перепишемо так:

$$U_{kec} = E_k - I_{kc} \cdot R_k - I_{kc} \cdot R_e \quad (1.9)$$

Вираз (1.9) – це графічне рівняння прямої. Із аналітичної геометрії відомо, що пряму можливо провести через дві точки. Щоб знайти такі дві точки, задамо два режими роботи

транзистору: *перший режим* – це режим холостого ходу (струм через транзистор не протікає, $I_{kc} = 0$). Такий режим можливо задати, наприклад, зміною напруги $U_{\delta-e}$: встановити таку напругу між базою та емітером, при якій базовий струм стане рівним нулю ($I_{\delta} = 0$), це означає, що транзистор перейде в режим відсічки, колекторний струм також стане рівним нулю, вся напруга джерела живлення – E_k буде прикладена до проміжку колектор – емітер транзистора і тоді рівняння (1.9) прийме вид:

$$U_{ke} = E_k = \dots \quad (1.10)$$

Позначимо, на горизонтальній вісі координату $U_{kes} = E_k$ буквою «а»; для цієї першої точки символам колекторного струму та напрузі колектор – емітер надамо додатковий індекс «а». Тепер для даної точки можливо записати:

$$I_{ksa} = 0 \text{ мА}, \quad U_{kes-a} = E_k = \dots \text{В.} \quad (1.11)$$

Другий режим – *режим короткого замикання*: такий режим можливо задати, якщо з'єднати колектор з емітером, тоді напруга між колектором та емітером стане рівною нулю, а рівняння (1.9) прийме вид:

$$E_k - I_{kc} \cdot R_k - I_{kc} \cdot R_e = 0 \quad (1.12)$$

Так як $I_{kc} \cdot R_e = U_{ec}$, то вираз (1.12) можна переписати так:
 $E_k - I_{kc} \cdot R_k - U_{ec} = 0$. Струм спокою для режиму короткого замикання буде:

$$I_{kc(k\zeta)} = \frac{E_k - U_{ec}}{R_k} = \dots \text{ мА.} \quad (1.13)$$

Значення струму $I_{kc(kz)}$ відкладемо на вертикальній вісі (вісь колекторного струму), позначимо дану точку буквою «б» і надалі в розрахунках будемо використовувати позначення для струму короткого замикання символ $I_{kc-б}$. З'єднаємо точку «а» на горизонтальній вісі з точкою «б». Лінія, що утворилася, називається *лінією навантаження підсилювача за постійним струмом*. Лінія представляє собою геометричне місце точок можливих значень колекторного струму I_k транзистора від величини напруги між колектором та емітером – $U_{ке}$ при фіксованому значенні струму бази – $I_{б}$: $I_k = F(U_{ке})$ при $I_{б} = const$.

7. Щоб уникнути викривлення вихідного сигналу при підсиленні, даний підсилювач повинен працювати в режимі класу А – це такий режим роботи транзистора, при якому струм в вихідному колі (в колі колектора та R_n) тече на протязі всього періоду вхідного сигналу і крайні положення робочої точки (це I_{k-min} , I_{k-max}) не виходять за межі лінійної частини вхідної характеристики вибраного транзистора

На середині прямої «а-б» виберемо точку, позначимо її буквою П. Для даної точки знайдемо значення напруги спокою між колектором – емітером – $U_{кес}$, струму спокою колектору – $I_{кс}$, базового струму спокою – $I_{бс}$. Щоб знайти ці величини необхідно опустити від точки П перпендикуляри на горизонтальну і вертикальну вісі – записати значення $U_{кес}$, $I_{кс}$. Якщо точка П знаходиться між двома лініями базового струму $I_{б}$ на вихідних характеристиках, то струм спокою бази – $I_{бс}$ обчислюється як пропорція між цими лініями.

Таким чином, при подачі напруги на підсилювач від джерела енергії E_k , через транзистор буде текти струм колектору – $I_{кс}$, бази – $I_{бс}$, між колектором та емітером встановиться спад напруги – $U_{кес}$.

$$I_{кс} = \dots \text{мА}; I_{бс} = \dots \text{мА}; U_{кес} = \dots \text{В}. \quad (1.14)$$

Це і буде режим роботи вибраного транзистору за постійним струмом. Називається такий режим – режимом спокою.

Транзистор і підсилювач підготовлені для підсилення сигналу змінної частоти.

8. Щоб запобігти можливим викривленням сигналу, що підсилюється, параметри режиму спокою повинні задовольняти таким умовам:

$$U_{кес} > U_{m-вих} + \Delta U_{кео} \quad (1.15)$$

$$I_{кк} > I_{км} + I_{ко(е)макс} \quad (1.16)$$

$\Delta U_{кео}$ – напруга між колектором та емітером, що відповідає області нелінійної частини вихідних характеристик транзистору (рис. 3.2). Для більшості транзисторів вказана напруга складає від 0 до 2 вольт.

$I_{ко(е)макс}$ – початковий зворотний струм колектору при максимальній температурі $p-n$ переходів транзистору (для схеми ввімкнення транзистору з СЕ). Значення зворотного струму для транзистора знаходимо в довіднику [2], [9].

$I_{км}$ – максимальний вихідний струм колектору (змінної частоти), що тече через паралельно з'єднані опір навантаження R_n та опір в колі колектора R_k . Знаходиться $I_{км}$ за виразом:

$$I_{км} = \frac{U_{mвих}}{R_{\sim}} = \frac{U_{mвих}}{\frac{R_n \cdot R_k}{R_n + R_k}} = \dots \quad (1.17)$$

Визначивши $\Delta U_{кео}$, $I_{ко(е)макс}$, $I_{км}$, R_{\sim} , необхідно перевірити режим транзистора на допустимі параметри за струмом, напругою, потужністю:

$$I_{k\max} > I_{кк} + I_{км}, \quad (1.18)$$

$$E_k < U_{k-e\max}, \quad (1.19)$$

$$P_k = I_{kc} \cdot U_{kес} < P_{k\max}. \quad (1.20)$$

Для вибраного транзистора максимально допустимі значення колекторного струму $I_{k\max}$, напруги $U_{k-е\max}$, потужності $P_{k\max}$, вибираємо з довідника. Зробити висновок про виконання або невиконання вказаних умов. Якщо не виконується хоч би одна із умов (1.18-1.20), необхідно використати другий тип транзистора (наприклад, взяти більш потужний) або змінити початкові умови на розрахунок – змінити величину $U_{твих}$, R_n і ін.

9. По вхідних (базових) характеристиках вибраного транзистора знаходимо значення напруги база-емітер спокою – $U_{\bar{б}еc}$. Для цього на вертикальній вісі $I_{\bar{б}}$ вхідних характеристик (рис. 1.3) відкласти значення базового струму спокою (п. 7) і від даної точки провести горизонтальну лінію до перетину із характеристикою, що відповідає напрузі $U_{кe} = U_{кес}$, або величині близькій до цієї напруги. Точку перетину позначимо буквою $\bar{П}$ – це точка спокою на вхідній характеристиці подібно, як і на вихідних характеристиках. Опустивши перпендикуляр на горизонтальну вісь (вона позначена символом $U_{\bar{б}-e}$) запишемо значення напруги спокою бази – $U_{\bar{б}еc}$ (приклад визначення $U_{\bar{б}еc}$ показано на рис. 1.3):

$$U_{\bar{б}еc} = \dots В. \quad (1.21)$$

Вхідна характеристика тр.2N4058, $U_{k-e} = 10 \text{ В}$

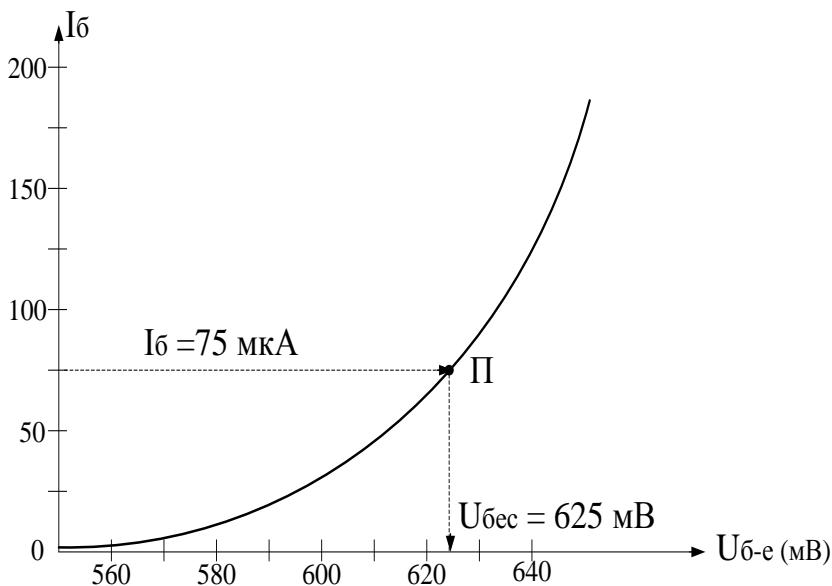


Рисунок 1.3 – Визначення напруги $U_{б-е}$ на вхідній характеристиці

10. Опір резистору в колі емітера R_e знайдемо з виразу:

$$R_e = \frac{U_{ec}}{I_{кc}}. \quad (1.22)$$

$$R_e = \dots \text{Ом} \pm \%. \quad (1.23)$$

По шкалі числових коефіцієнтів стандартизованих рядів вибираємо номінальний опір R_e :

11. Розраховуємо величину опору бази R_b :

$$R_{\sigma} = \frac{[S(I_{ko}) - 1]}{1 - [(1 - \alpha) \cdot S(I_{ko})]} \cdot R_e = \dots \text{ Ом} \quad (1.24)$$

де α – коефіцієнт передачі за струмом, який знаходиться для більшості транзисторів в межах від 0,95 до 0,99,

$$\alpha = \frac{I_{\kappa}}{I_e} . \quad (1.25)$$

При цьому зі схеми (рис. 3.1) слідує, що по змінній частоті опори R_1, R_2 з'єднані паралельно:

$$R_{\sigma} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \dots \text{ Ом} \quad (1.26)$$

Опір R_{σ} , визначений за формулою (1.26), приблизно повинен відповідати опору розрахованому в виразі (1.24).

12. Опір R_2 дільника напруги вибирають більшим, ніж розрахункове значення R_{σ} (на 20...30 %).

$$R_2 = (1,2 \div 1,3) \cdot R_{\sigma} = \dots \text{ Ом} \quad (1.27)$$

Знаходимо струм, що тече через резистор R_2 . Так як на R_2 спад напруги (принципова схема, рис.) буде: $U_{R2} = U_{ec} + U_{\text{бес}}$, то згідно закону Ома маємо:

$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{U_{ec} + U_{\text{бес}}}{R_2} = \dots , \text{ мА}. \quad (1.28)$$

13. Так як через резистор R_1 тече струм I_2 і струм бази $I_{\bar{b}c}$, тобто, $I_1 = I_2 + I_{\bar{b}c}$ то опір резистору R_1 обчислюємо за виразом:

$$R_1 = \frac{E_k - (U_{ec} + U_{\bar{b}ec})}{I_2 + I_{\bar{b}c}} = \dots \text{ Ом} \quad (1.29)$$

14. Через резистори R_k, R_e, R_1, R_2 течуть відповідні струми $I_{kc}, I_{ec} = I_{kc}, I_1, I_2$. Необхідно розрахувати значення потужності, що розсіюється на цих резисторах, за формулою:

$$P = I^2 \cdot R \quad (1.30)$$

$$P_{Rk} = (I_{kc})^2 \cdot R_k = \dots \text{ мВт}; \quad (1.31)$$

$$P_{R_e} = (I_{ec})^2 \cdot R_e = \dots \text{ мВт}; \quad (1.32)$$

$$P_1 = (I_1)^2 \cdot R_1 = \dots \text{ мВт}; \quad (1.33)$$

$$P_2 = (I_2)^2 \cdot R_2 = \dots \text{ мВт} \quad (1.34)$$

Відповідно до розрахованої потужності вибрати тип резисторів за матеріалом виготовлення, геометричними розмірами, потужністю розсіювання. Згідно стандартів [Г], вибрані резистори повинні мати на 20 – 30 % більшу потужність розсіювання, ніж визначені за формулою (1.27, 1.29).

Висновок 1. На даному етапі закінчується розрахунок підсилювача НЧ за постійним струмом:

- проведено вибір транзистору для схеми ППНЧ з емітерною стабілізацією режиму роботи, розрахована величина е.р.с. джерела живлення схеми E_k ;

- лінія навантаження за постійним струмом: – геометричне місце точок координати $U_{ке}$ та I_k , що відповідає можливим значенням точки (режиму) спокою каскаду;

- розраховані величини резисторів схеми, перевірена правильність вибору режиму роботи транзистора на допустимі значення струму, напруги та потужності, що розсіюється на елементах схеми. Правильний вибір режиму транзистора за постійним струмом дає можливість значно зменшити або уникнути викривлення сигналу, що буде підсилюватися.

2. РОЗРАХУНОК ПІДСИЛЮВАЧА ПРИ ПОДАЧІ НА ВХІД СИГНАЛУ ЗМІННОЇ ЧАСТОТИ

При розрахунках за змінним струмом важливими показниками каскаду є його коефіцієнти підсилення за струмом K_i , напругою K_u , та потужністю K_p , а також вхідний $R_{вх}$ і вихідний $R_{вих}$ опори.

Метод розрахунку базується на заміні транзистору і всього каскаду схемою заміщення за змінним струмом (рис. 4.1).

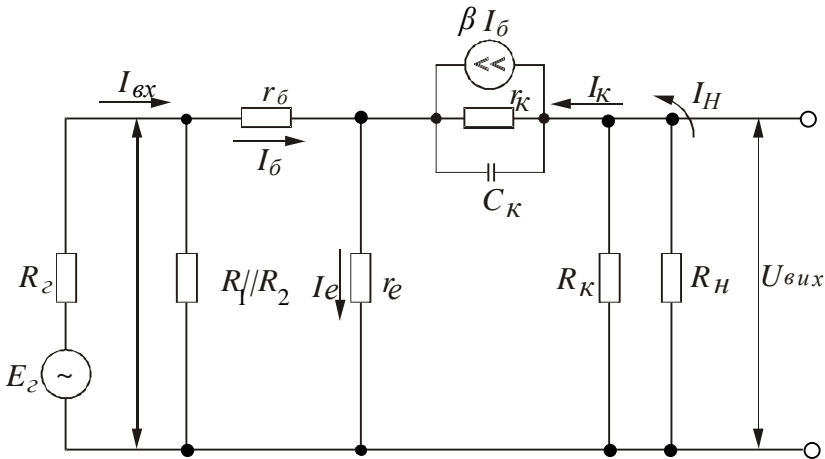


Рисунок 2.1 – Схема заміщення ППНЧ в фізичних параметрах

Розрахунок каскаду підсилення виконується для області середніх частот де залежність параметрів підсилювача від частоти не враховується, а опір конденсаторів у схемі приймається рівним нулю і на схемі ці конденсатори не показують. За змінним струмом опір джерела живлення дорівнює нулю, у зв'язку з чим верхній вивід резистору R_1 на схемі заміщення приєднано до емітеру. Струм і напруга в схемі характеризуються їх діючими значеннями, які зв'язані з амплітудними значеннями коефіцієнтом $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

1. При подачі на вхід підсилювача сигналу змінної частоти будуть змінюватися по такому ж закону напруги – $U_{\bar{b}-e}$, U_{k-e} , базовий та колекторний струми – $I_{\bar{b}}$, I_k . Сигнал змінної частоти буде накладатися на постійні складові струмів та напруг, тобто, напруга і струм транзистору це сума постійних та змінних складових.

Тепер, щоб з'ясувати як буде переміщатися робоча точка транзистору при зміні частоти сигналу від f_n до f_b , необхідно побудувати *лінію навантаження за змінним струмом*.

Зміна вхідного сигналу, наприклад, вхідної напруги на величину $\Delta U_{вх}$ відносно постійної напруги між базою та емітером – $U_{\bar{b}ec}$ приведе до деякої зміни напруги $U_{\bar{b}ec}$ на величину $\Delta U_{\bar{b}-e}$, колекторного струму – I_k на величину ΔI_k та напруги U_{k-e} на величину ΔU_{k-e} .

Лінію навантаження за змінним струмом будують по відношенню приросту напруги ΔU_{k-e} до приросту колекторного струму ΔI_k :

$$\Delta I_k = \Delta U_{k-e} / R_{\sim} \quad (2.1)$$

Перша точка, через яку пройде лінія навантаження за змінним струмом, це точка *П* на лінії навантаження за постійним струмом. Щоб знайти другу точку, задаємо довільно значення відхилення напруги між колектором та емітером $U_{kес}$, на величину ΔU_{k-e} в межах (0,3 – 0,7) вольт. Візьмемо, наприклад, відхилення $\Delta U_{k-e} = 0,5$ вольт, знайдемо на яку величину зміниться колекторний струм:

$$\Delta I_k = \frac{\Delta U_{k-e}}{R} = \frac{0,5}{R} = \dots \text{ А } \dots = \dots \text{ мА.} \quad (2.2)$$

Відкладемо тепер від точки *П* *ліворуч* (або *праворуч*) по горизонталі значення відхилення $\Delta U_{k-e} = 0,5$ В. З кінця цього відрізка відкладемо *уверх* (або *униз*) значення розрахованого приросту колекторного струму – ΔI_k в міліамперах. Кінець

відрізку ΔI_k — це буде друга точка для проведення лінії навантаження за змінним струмом. Позначимо дану точку буквою «к». Проведемо через точки P та «к» лінію — *лінію навантаження за змінним струмом*. Кут нахилу вказаної лінії буде більшим ніж лінії за постійним струмом, лінія перетне горизонтальну вісь (U_{k-e}) в точці яку позначимо буквою «в», а точку перетину з вертикальною віссю (I_k) — буквою «г».

Примітка: Можливий випадок, що лінія не перетне вертикальну вісь в межах вибраного формату $A3$ та масштабу осі I_k . На подальші розрахунки це не впливає.

Таким чином, на лінії навантаження за змінним струмом в результаті графічних побудов появився трикутник з катетами ΔU_{k-e} , ΔI_k та гіпотенузою — частиною лінії навантаження за змінним струмом. Цей трикутник називається *характеристичним трикутником*.

2. В квадранті **2** графіка необхідно побудувати так звану *перехідну характеристику*. Для цього точки перетину лінії навантаження за змінним струмом в квадранті **1** з лініями базового струму I_0 вихідних характеристик позначимо цифрами 1, 2, ..., n , починаючи знизу. Перенесемо ці точки в квадрант **2**. Щоб перенести, наприклад, точку 1 проведемо горизонтальну лінію від точки 1 ліворуч, в квадрант **2**, до перетину з вертикальною лінією з значенням базового струму (по шкалі I_0), що відповідає значенню базового струму в квадранті 1. Таким же чином перенесемо інші точки перетину 2, 3, ..., k , ... P ... n . Позначимо ці точки цифрами 1', 2', ... k' , ... P' ... n' .

В квадранті **2** ці точки необхідно з'єднати плавною кривою. Це і буде перехідна характеристика .

Далі характеристичний трикутник з квадранту **1** перенести в квадрант **2**, а потім на вхідну характеристику в квадранті **3**. Виконується це так: від точки «к'» в квадранті **2** опустити перпендикуляр до перетину з вхідною характеристикою в квадранті **3**, точку перетину позначити буквою «к''». Далі на перехідній характеристиці в квадранті **2** від точки P' провести горизонтальну лінію ліворуч до перетину з вертикальною лінією. Аналогічно провести лінію і від точки P'' на вхідній

характеристиці в квадранті 3. В результаті побудов в квадрантах 2, 3 утворилися трикутники, які також називаються характеристичними. Графічні побудови показані на рис. 2.2.

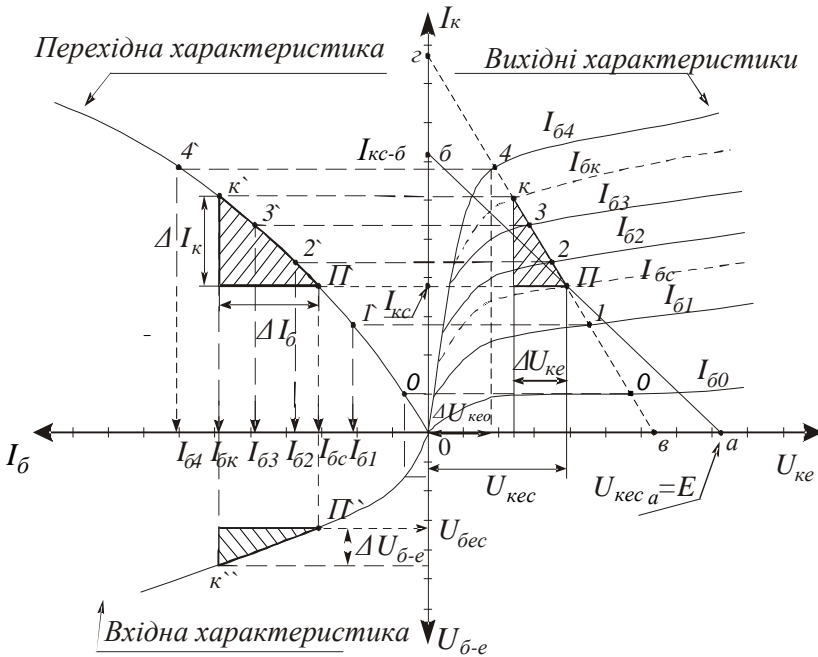


Рисунок 2.2 – Розрахунок гібридних h -параметрів транзистора методом характеристичних трикутників

Катети цих трикутників – це зміни (прирости) колекторного ΔI_k , базового ΔI_b струмів, напруги між базою та емітером ΔU_{b-e} та напруги колектор-емітер ΔU_{k-e} при наявності на вході підсилювача сигналу змінної частоти. Величини ΔI_k , ΔI_b , ΔU_{b-e} , ΔU_{k-e} необхідні для розрахунку h -параметрів (гібридних або змішаних параметрів).

3. Розрахунок h -параметрів:

h_{11e} – вхідний опір транзистора:

$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{\bar{\delta}-e}}{\Delta I_{\bar{\delta}}} = \dots \quad (2.3)$$

h_{22e} – вихідна провідність:

$$h_{22e} = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta U_{\kappa-e}} = \dots \quad (2.4)$$

h_{21e} – коефіцієнт передачі струму:

$$\beta = h_{21e} = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\bar{\delta}}} = \dots \quad (2.5)$$

h_{12e} – коефіцієнт зворотного зв'язку:

$$h_{12e} = (0,1 \div 0,2) \frac{h_{11e} \cdot h_{22e}}{h_{21e}} = \dots \quad (2.6)$$

4. Знаходимо фізичні(внутрішні) параметри підсилювача через h – параметри: r_e – опір емітерного переходу, $r_{\bar{\delta}}$ – об'ємний опір бази, r_{κ} – опір колекторного переходу, β – коефіцієнт передачі струму.

$$\begin{aligned}
 r_e &= \frac{h_{12e}}{h_{22e}} = \dots \\
 r_{\bar{o}} &= h_{11e} - \frac{h_{12e} \cdot (1 + h_{12e})}{h_{22e}} = \dots \\
 r_k &= \frac{1 + h_{21e}}{h_{22e}} = \dots
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

5. Обчислюємо вхідний опір підсилювача, як паралельне з'єднання резисторів R_1 , R_2 , r_{ex} :

$$r_{ex} = r_{\bar{o}} + (1 + \beta) \times r_e = \dots \tag{2.8}$$

$$R_{ex} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{ex} = \dots \tag{2.9}$$

6. Використовуючи розраховані значення R_k (1.5) та r_k (2.7) знайдемо вихідний опір підсилювача за виразом:

$$R_{out} = \frac{R_k \cdot r_k}{R_k + r_k} = \dots \tag{2.10}$$

7. Розраховуємо коефіцієнти підсилення за струмом, напругою та потужністю:

$$K_I = \frac{\beta \cdot R_{ex}}{r_{ex}} = \dots \tag{2.11}$$

$$K_U = K_I \cdot \frac{R_u}{R_e + R_{ex}} = \dots \tag{2.12}$$

$$K_p = K_U \cdot K_I = \dots \quad (2.13)$$

8. Розподіляємо коефіцієнт частотних викривлень на нижчій частоті сигналу f_n порівню між ємностями C_{p1} , C_{p2} , C_e :

$$M_{np1} = M_{np2} = M_{ne} = \sqrt[3]{M_n} = \dots \quad (2.14)$$

9. Знаходимо величини ємностей конденсаторів C_{p1} , C_{p2} , та C_e в мкФ:

$$\begin{aligned} C_{p1} &= \frac{10^6}{2\pi f_n (R_r + R_{gx}) \sqrt{M_{np1}^2 - 1}} = \dots \\ C_{p2} &= \frac{10^6}{2\pi f_n (R_n + R_{вих}) \sqrt{M_{np2}^2 - 1}} = \dots \\ C_e &= \frac{10^6}{2\pi f_n R_e \sqrt{M_{ne}^2 - 1}} = \dots \end{aligned} \quad (2.15)$$

По таблиці коефіцієнтів стандартизованих рядів для конденсаторів [7], додаток [Г] вибираємо величини ємностей найближчих до розрахованих:

$$C_{p1} = \dots \text{ мкФ}; \quad C_{p2} = \dots \text{ мкФ}; \quad C_e = \dots \text{ мкФ}.$$

Робочу напругу конденсаторів вибрати в 2 – 3 рази більшою чим напруга джерела живлення E_k .

10. Розрахувати коефіцієнт частотних викривлень сигналу на вищій робочій частоті f_g . Для цього необхідно вирахувати еквівалентні сталі часу:

τ_β – стала часу, що характеризує інерційність проміжку емітер-база, це затримка струму в емітерному переході (напруга на переході зростає не миттєво). Крім того, стала враховує час руху неосновних носіїв зарядів через базу в колектор.

$$\tau_{\beta} = \frac{1}{2\pi \times f_{sp}} = 4 \cdot 10^{-6} = \dots \quad (2.16)$$

τ_k – стала часу, що характеризує інерційність колекторного переходу, показує затримку появи колекторного струму відносно емітерного. Затримка виникає в зв'язку з наявністю ємності на колекторному переході – C_k , яка шунтує колекторний p - n перехід:

$$\tau_k = C_k (r_k \parallel R_k \parallel R_H) = 3 \cdot 10^{-12} = \dots \quad (2.17)$$

де C_k – ємність колекторного переходу, знаходимо в [9]; $r_k \parallel R_k \parallel R_H$ – це паралельне з'єднання трьох опорів.

τ_B – стала часу вихідного кола транзистору:

$$\tau_B = \tau_{\beta} + \tau_k = 4 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-12} = 4000 \cdot 10^{-9} + 0,003 \cdot 10^{-9} \dots \quad (2.18)$$

Коефіцієнт частотних викривлень M_{ω} на вищій частоті f_{ω} знаходиться за виразом:

$$M_{\omega} = \sqrt{1 + \omega^2 \tau_B^2}, \quad \omega = 2\pi f_{\omega}. \quad (2.19)$$

$$M_{\omega} = \dots \quad (2.20)$$

Порівняти знайдене значення коефіцієнту M_{ω} з заданим в початкових даних, зробити висновок відповідності розрахунків параметрів підсилювача технічним умовам завдання. Скласти таблицю результатів розрахунку основних параметрів підсилювача, заповнити таблицю використаних елементів (додаток В).

| K_u | K_i | K_p | β | M_s |
|-------|-------|-------|---------|-------|
| | | | | |

Додаток А

Вхідні та вихідні характеристики транзисторів

I_b, mA



0

0,2

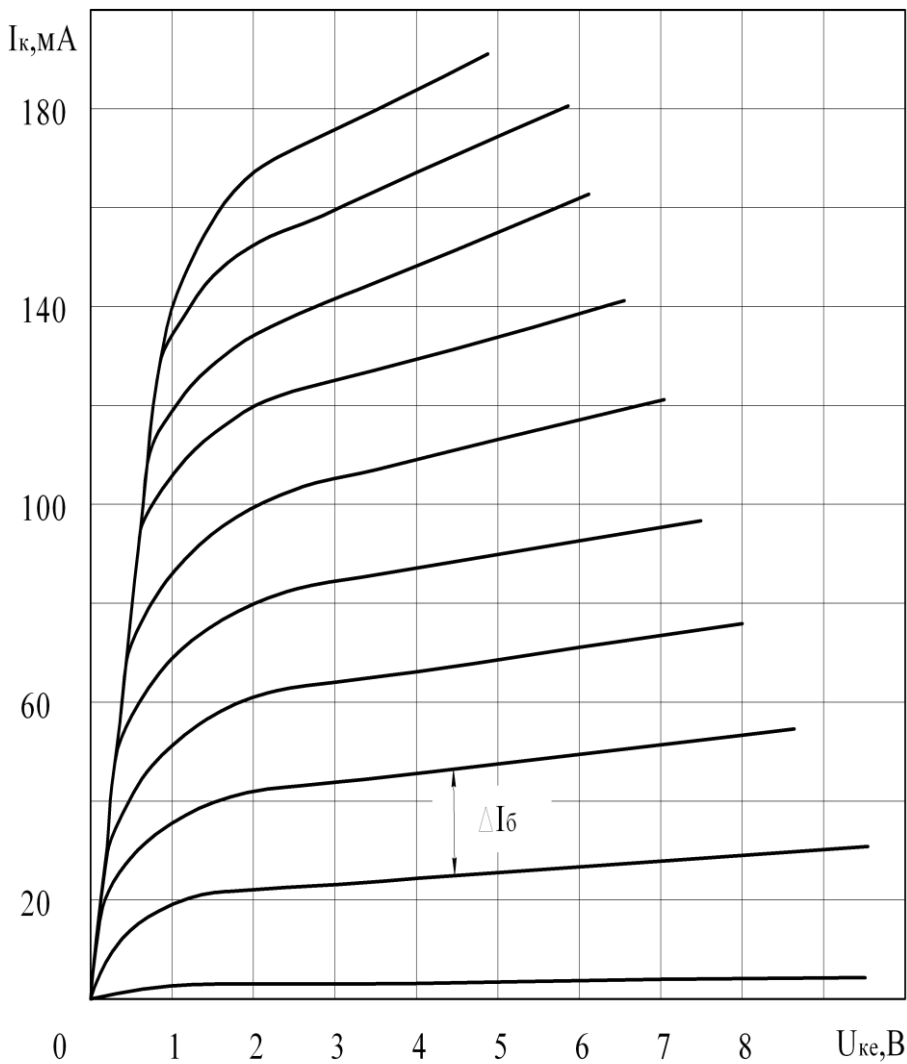
0,4

0,6

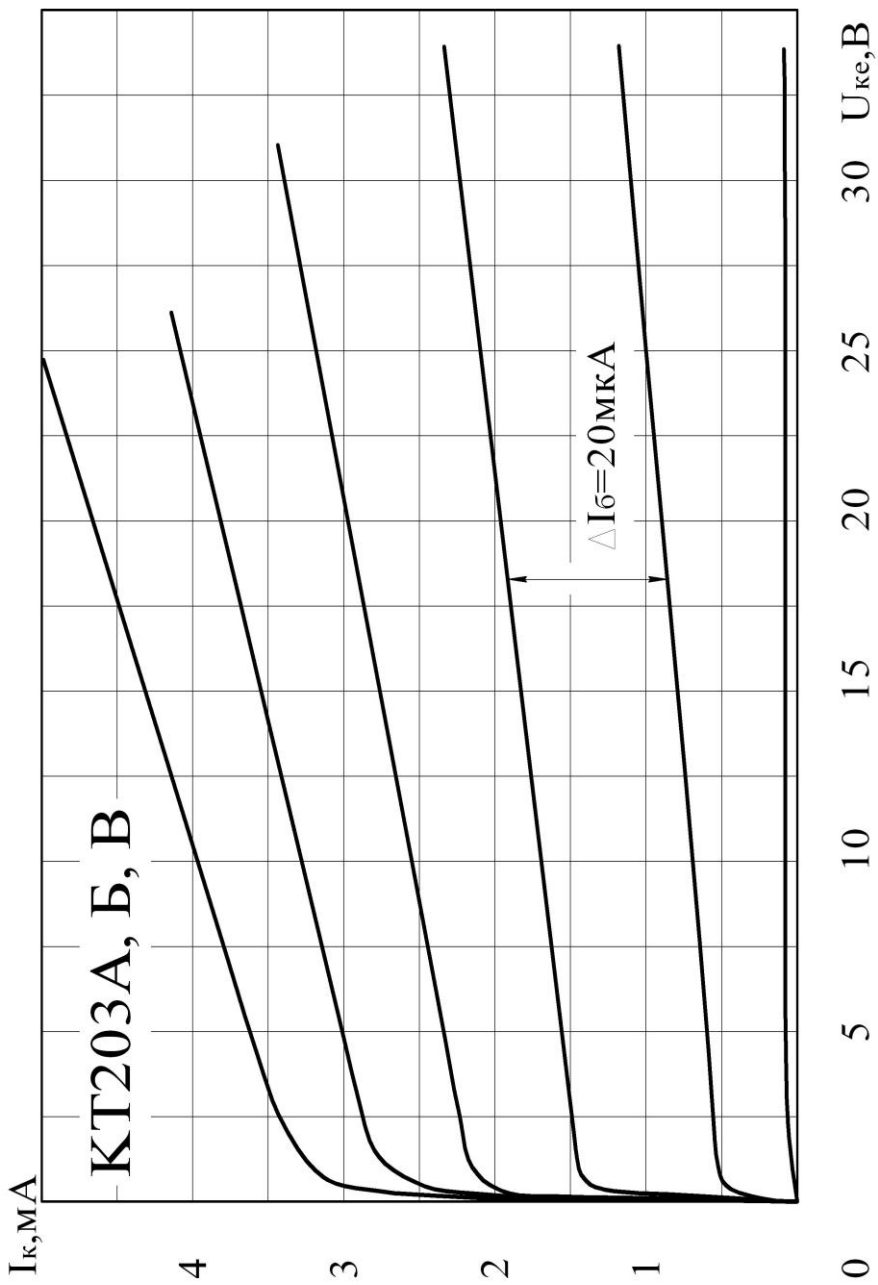
0,8

1,0

U_{be}, V

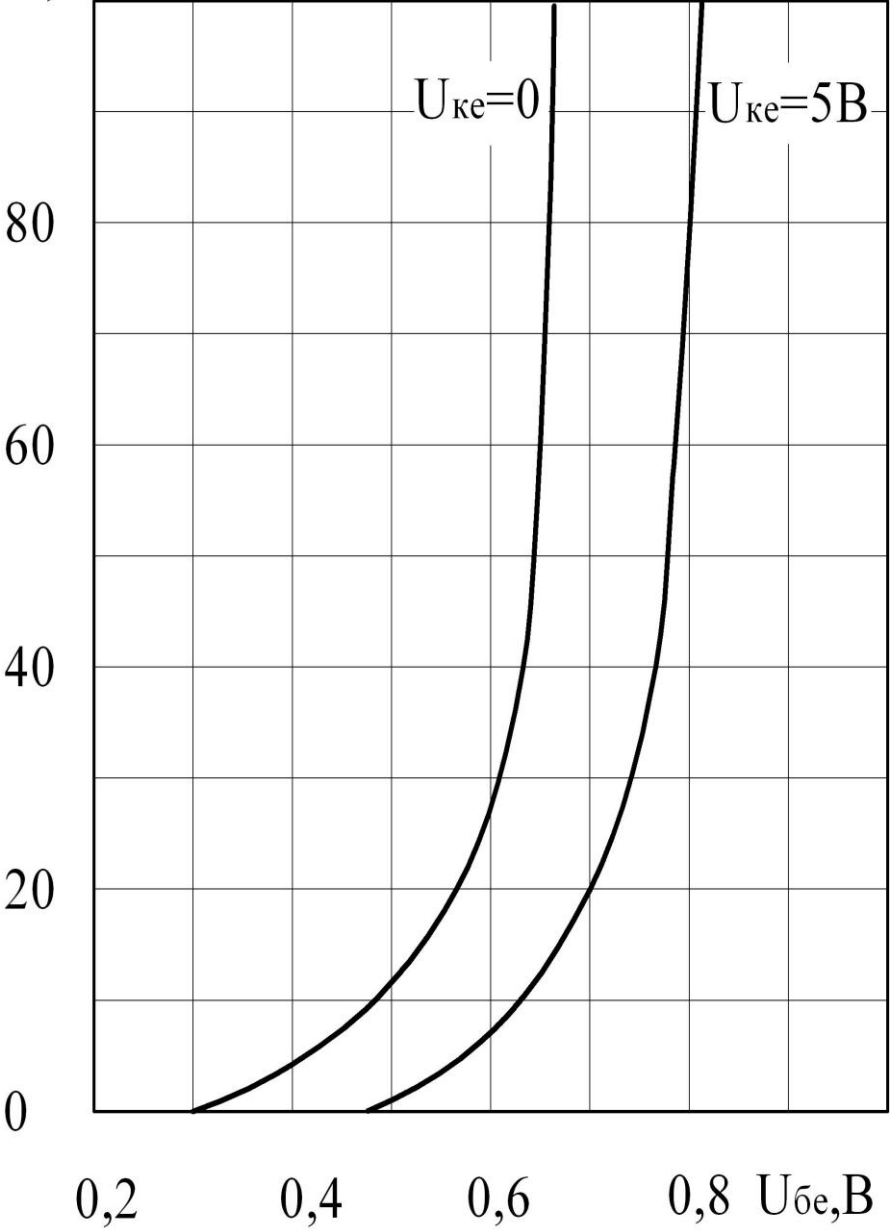


КТ3107А, КТ3107В - $\Delta I_b = 0,2 \text{ mA}$;
 КТ3107Б, КТ3107Г, КТ3107Д, КТ3107Е,
 КТ3107Ж, КТ3107И - $\Delta I_b = 0,1 \text{ mA}$;
 КТ3107К, КТ3107Л - $\Delta I_b = 0,04 \text{ mA}$.

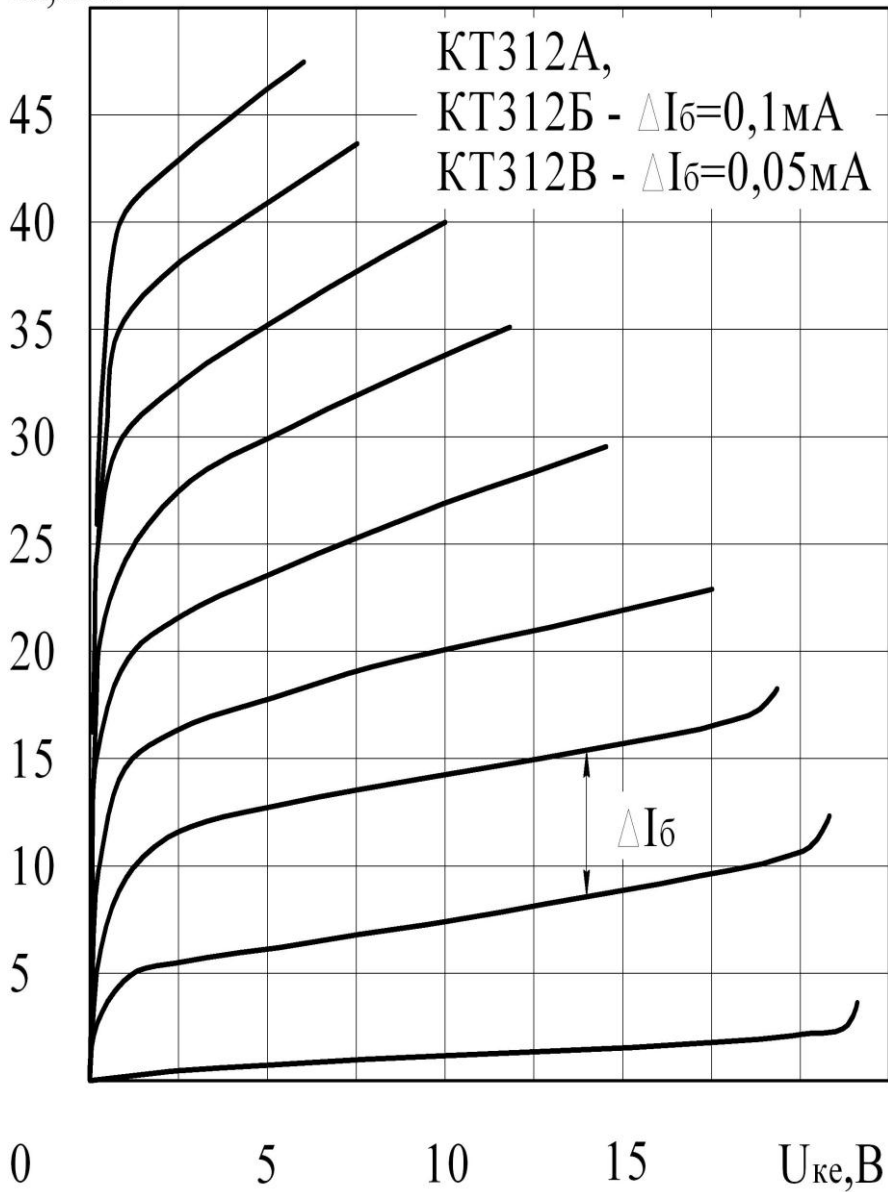


KT203

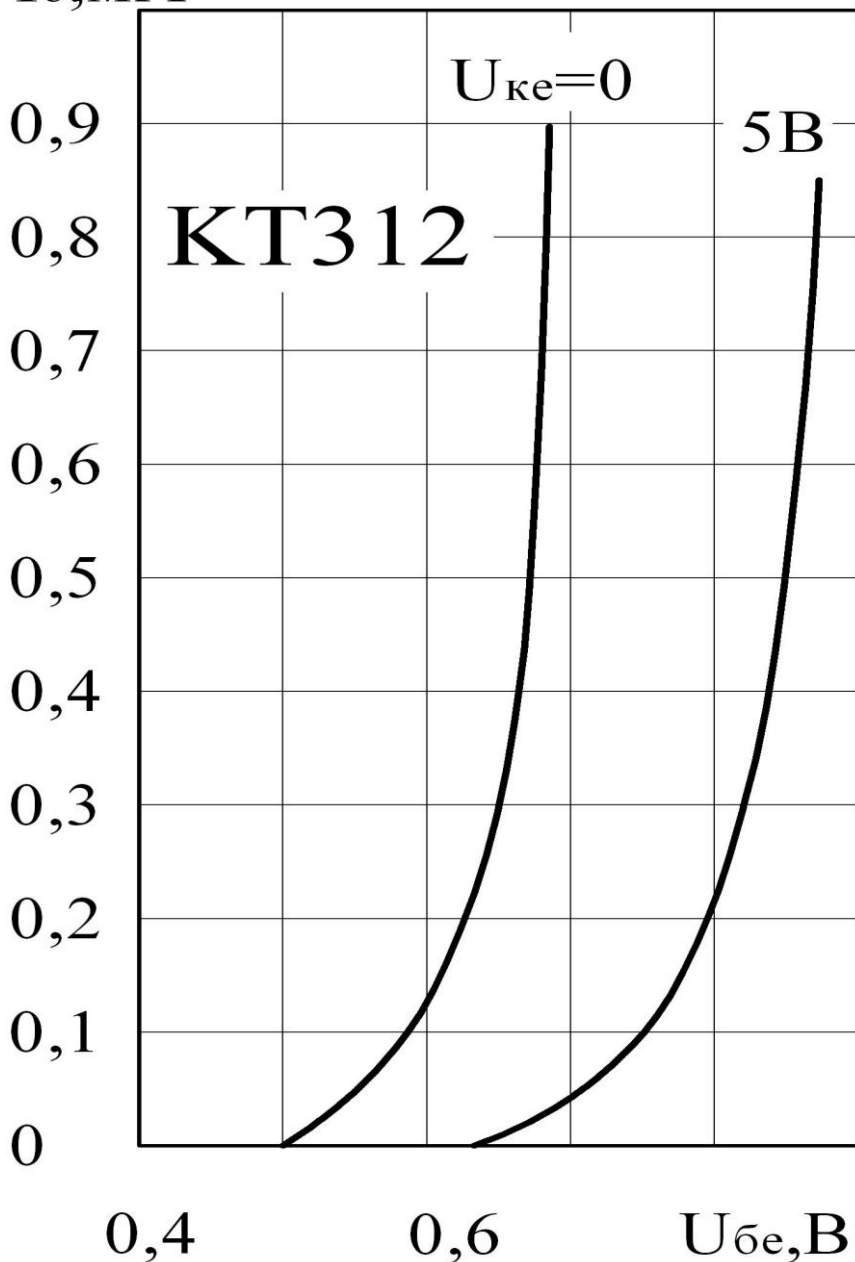
$I_{\text{б}}, \text{мкА}$

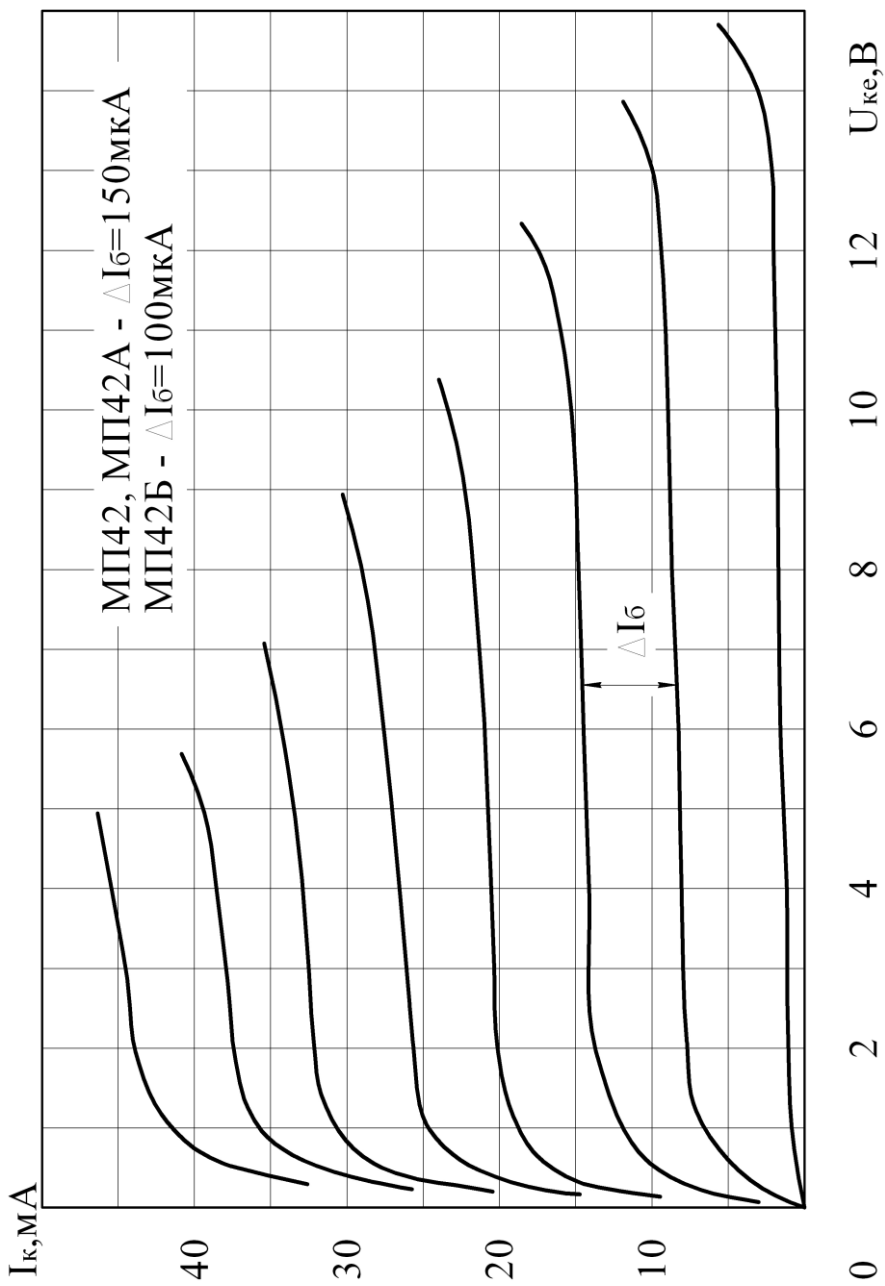


I_K, mA



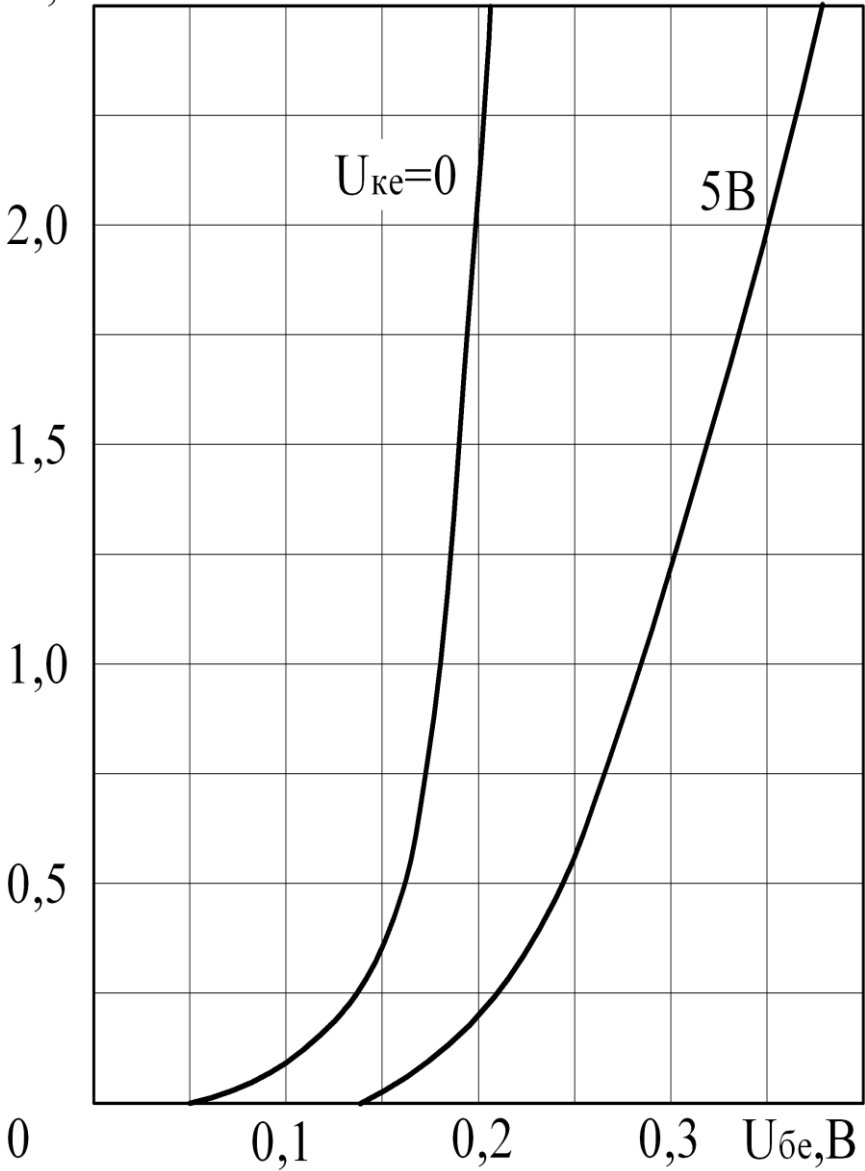
I_{σ}, mA

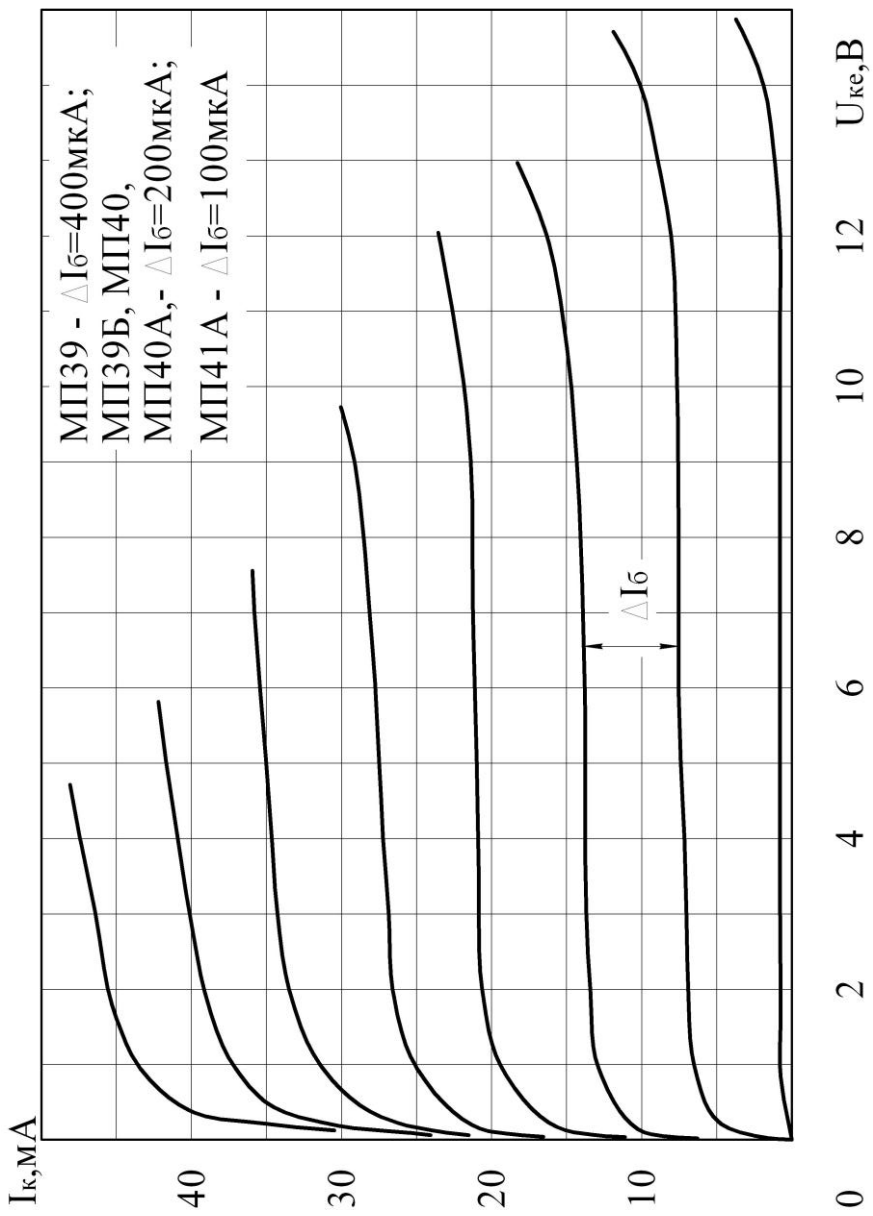




МП42

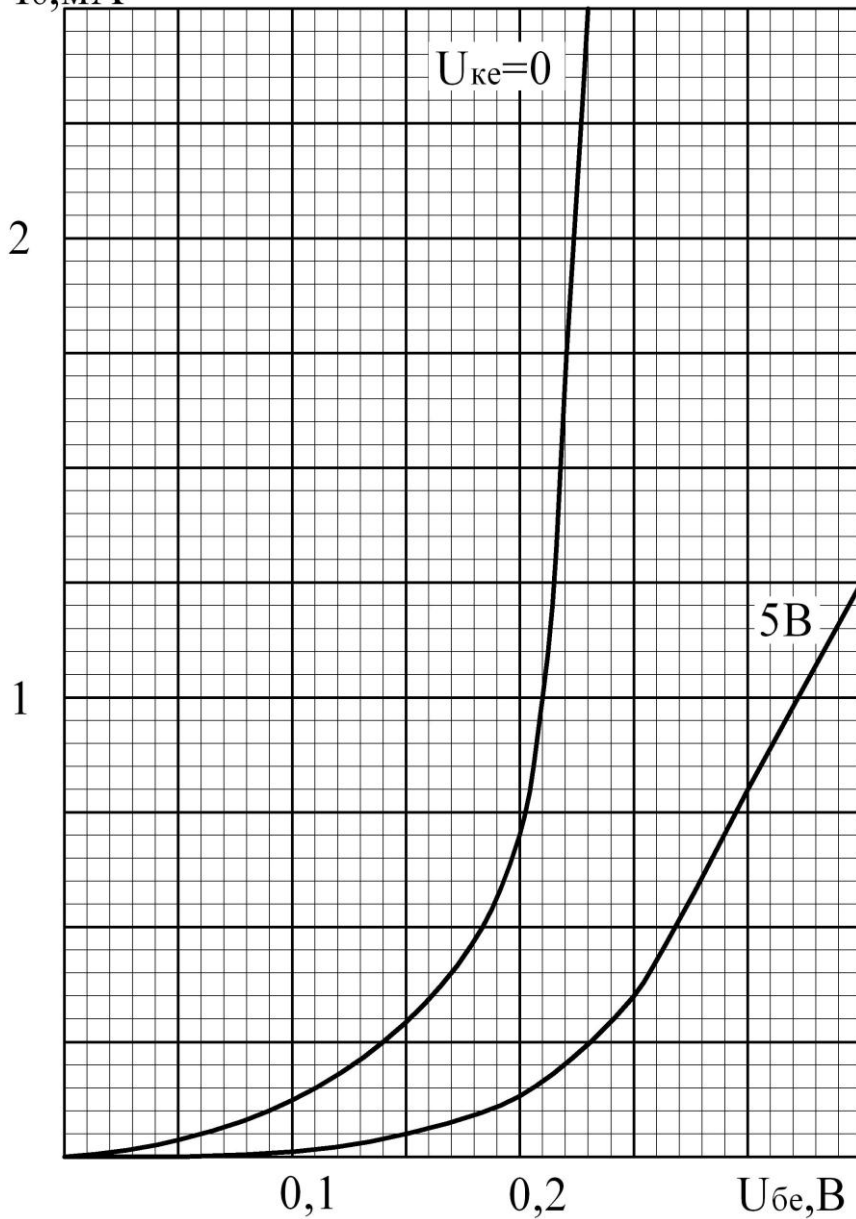
$I_{\bar{c}}, \text{mA}$



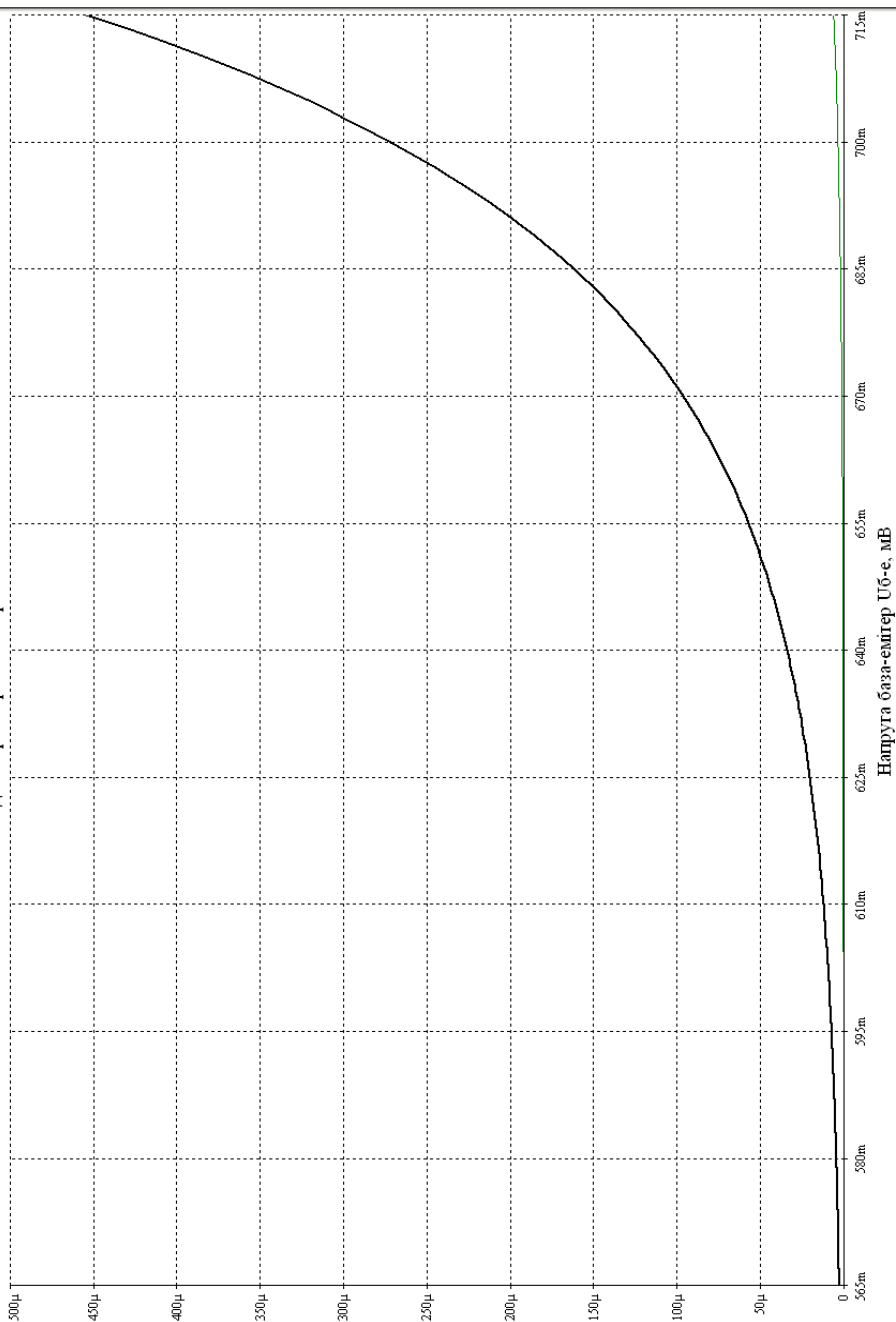


I_{σ}, mA

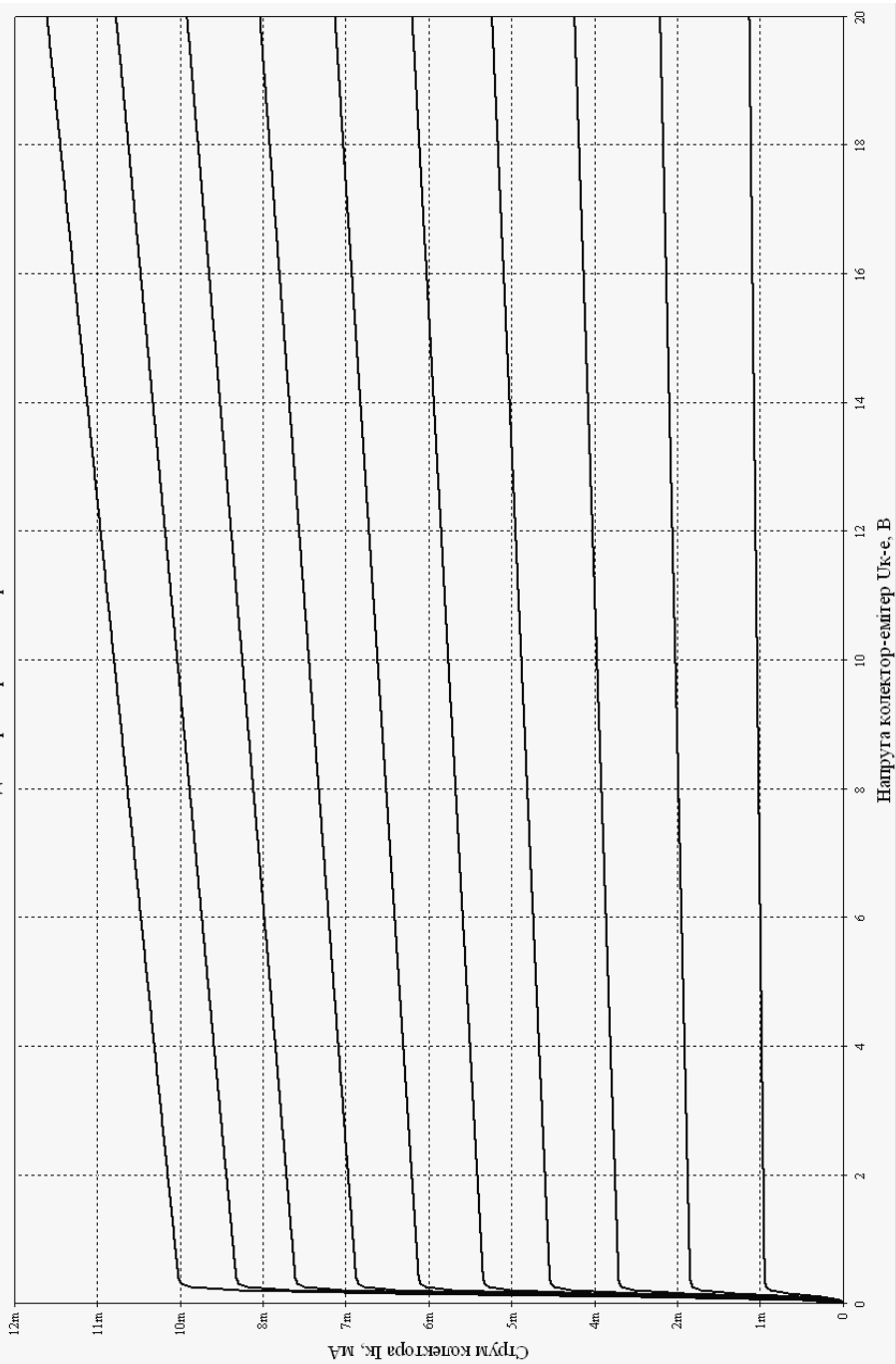
МП39 - МП41А



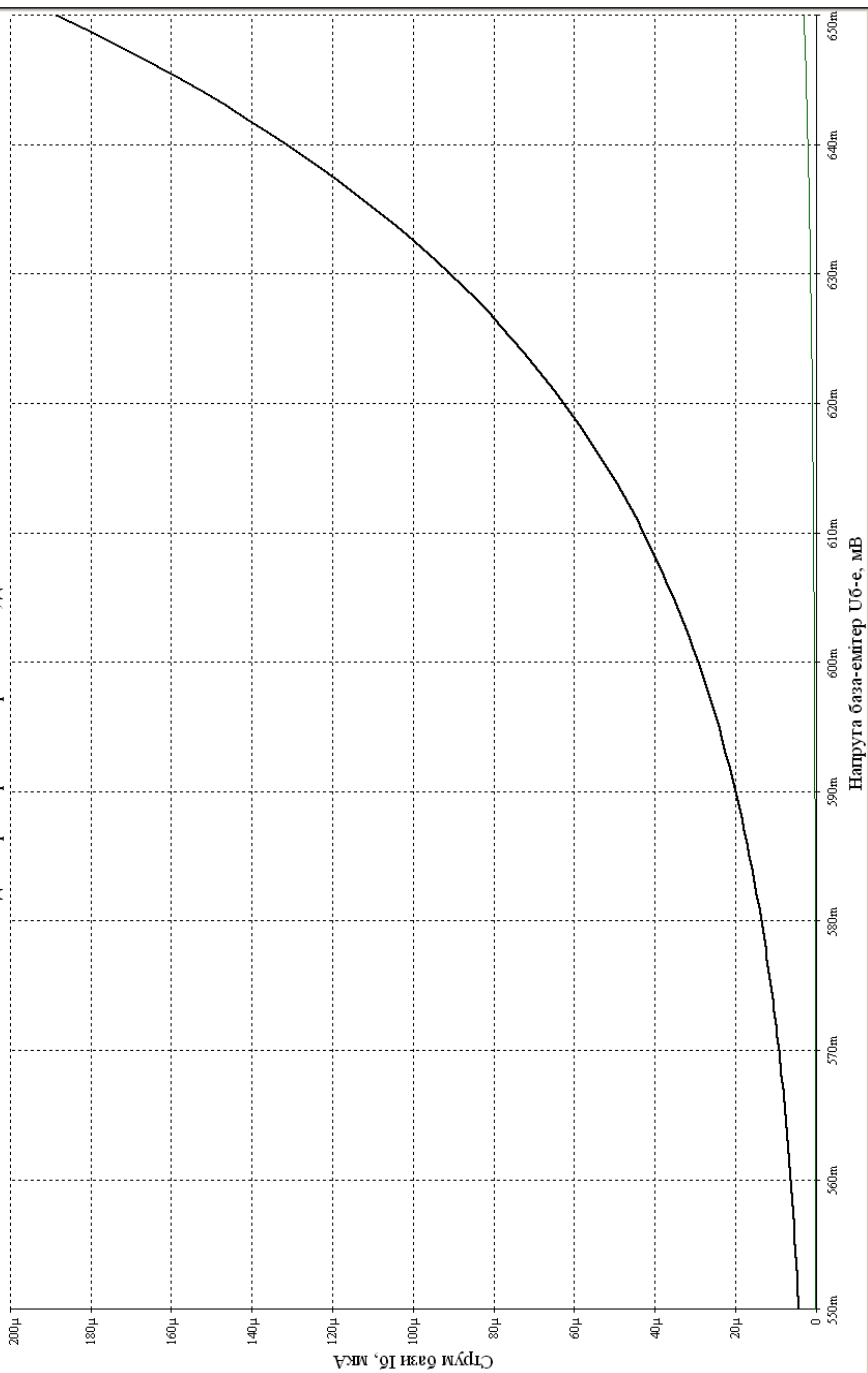
Вхідна характеристика тр. ВФ 240



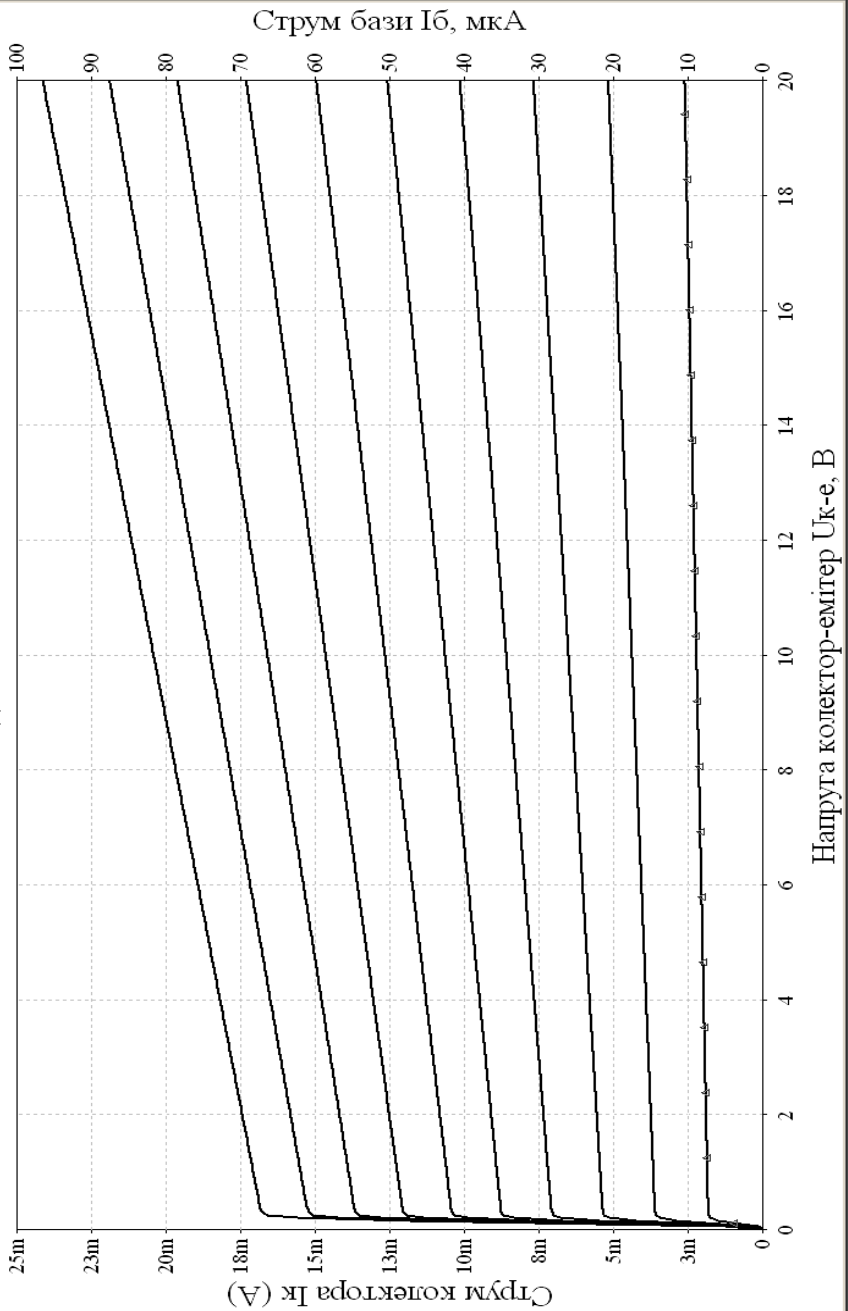
Вихідні характеристики тр. BF240



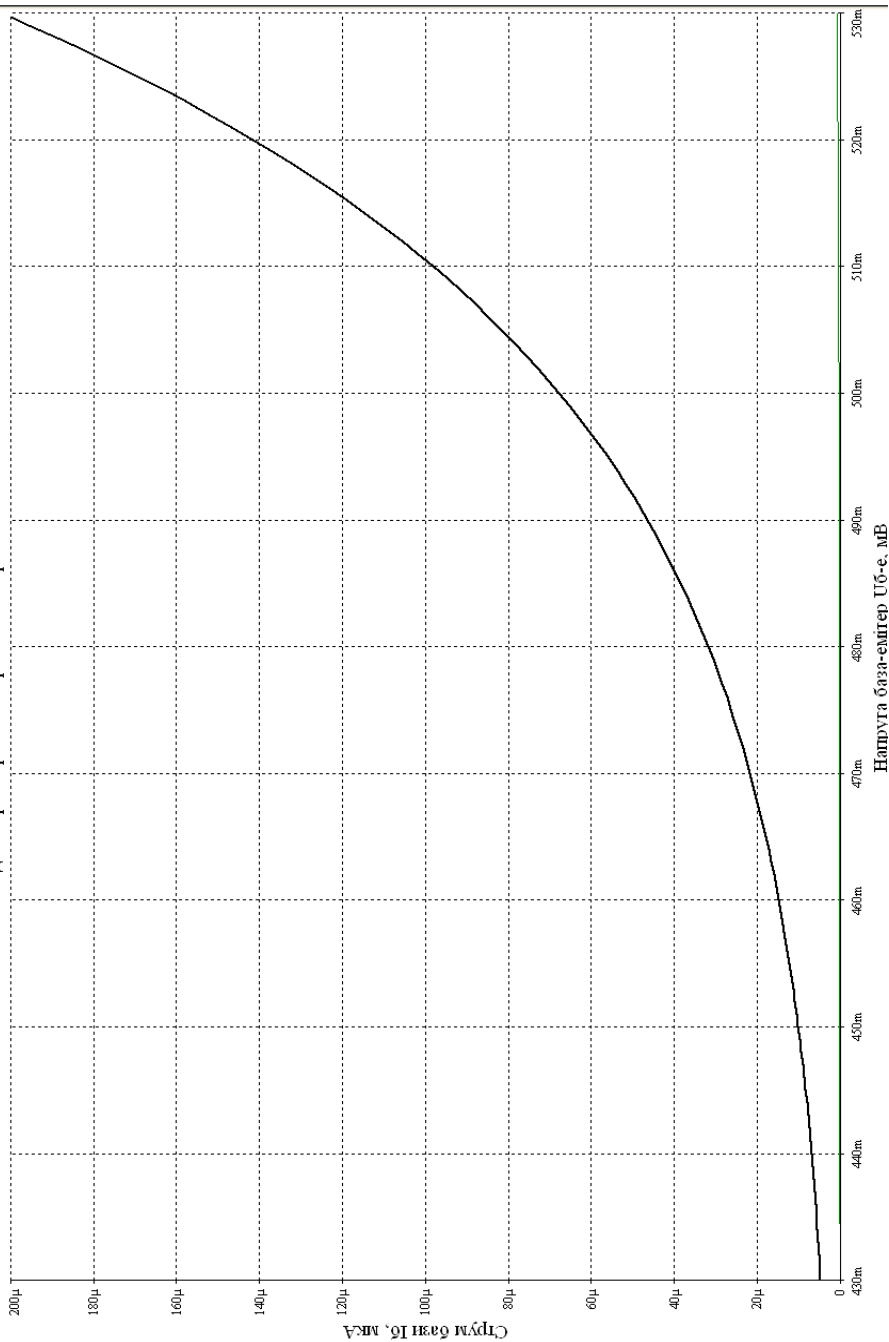
Вхідна характеристика тр. 2N4058, для $U_{k-e} = 10 \text{ В}$



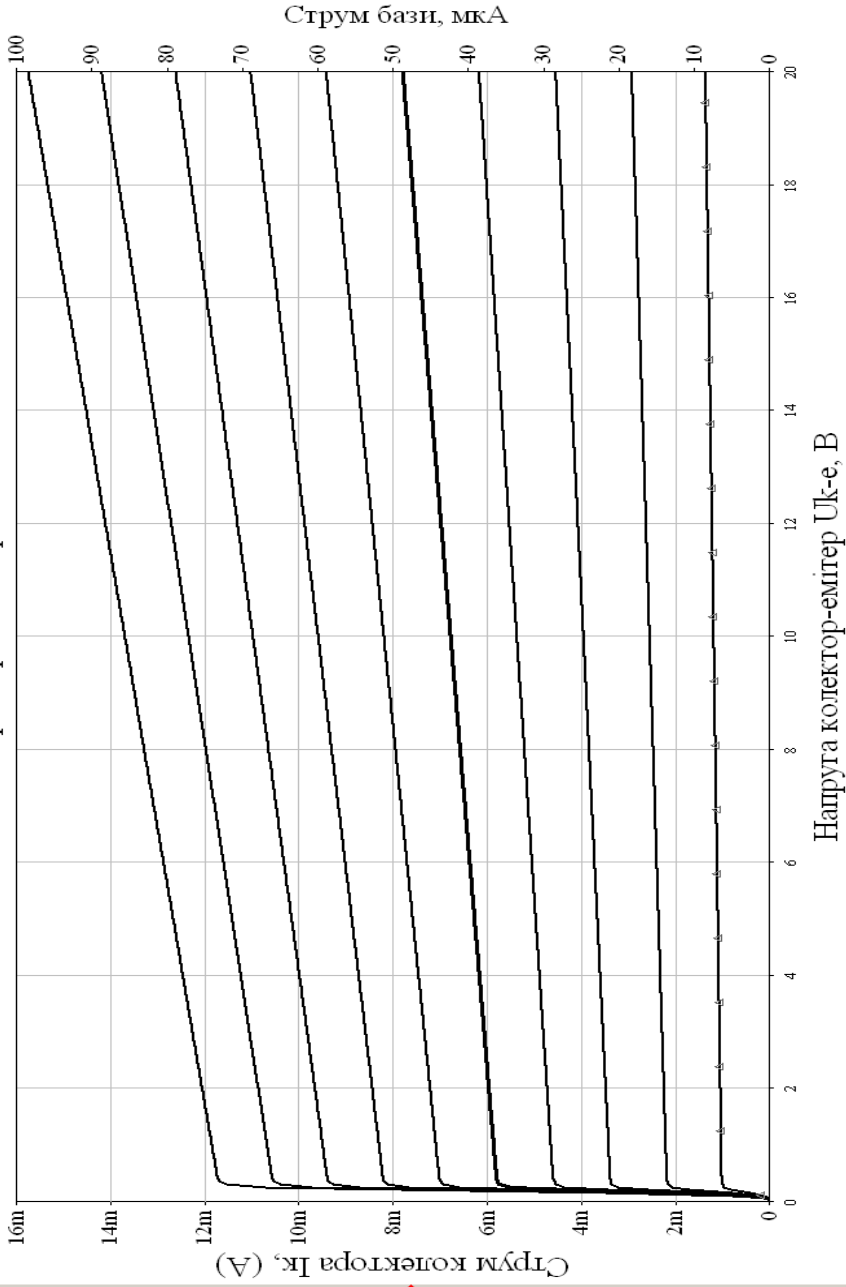
Вихід. x-квч 2N4058



Вхідна характеристика тр. 2N2712 при $U_{k-e}=10B$



Вихідні характеристики гр. 2N2712



ДОДАТОК Б

ПРАВИЛА КОРИСТУВАННЯ ТАБЛИЦЯМИ Е

Завод-виготівник поставляє на підприємства електронної промисловості резистори та конденсатори суворо визначених номіналів, що відповідають державному стандарту.

При виготовленні діючих електронних пристроїв розраховані величини резисторів і конденсаторів часто не відповідають державному стандарту, тобто, в асортименті вказаних номіналів немає.

В цьому випадку необхідно вибрати резистор або конденсатор найближчий до розрахованого – для цього і існують **таблиці Е**. В таблицях **Е** треба вибрати такий коефіцієнт «**К**», щоб величина

$$K \cdot 10^m \quad (1)$$

була найближчою до розраховної величини опору резистора. В виразі (1) показник $m = 0, 1, 2, \dots, n$.

Приклад користування таблицями Е

В результаті розрахунку величини опору резистора в колі колектора ППНЧ знайшли $R_k = 458$ Ом. Таке значення опору не відповідає стандарту. Відокремимо умовно першу цифру комою від інших цифр, отримали коефіцієнт 4,58. Після коми залишилось дві цифри. *Кількість цифр після коми – це значення показника m в виразі (1).*

Далі в таблицях **Е** знаходимо найближчий по значенню коефіцієнт до $K = 4,58$. Це буде коефіцієнт 4,7. Тоді величина $K \cdot 10^m = 4,7 \times 10^2$.

Таким чином, резистор в колі колектора $R_k = 470$ Ом. При подальших розрахунках, а також при побудові діючого зразка підсилювача на базі цих розрахунків, використовувати резистор номіналу 470 Ом. Подібні правила вибору резисторів та конденсаторів відносяться і до інших позицій розрахунку ППНЧ.

Необхідно зауважити, що коефіцієнт (в даному випадку це 4,7) бажано вибрати в тій колонці **таблиці коефіцієнтів Е** де відхилення розрахованого опору від номінального – ΔR (в %) мінімальне. Це буде ряд **E24 ± 5 %**. При необхідності вибору резисторів або конденсаторів з меншим розкидом параметрів (наприклад, 2, 1, 0,5 %) використовують таблиці **E48, E96**, тощо.

Шкала числових коефіцієнтів стандартизованих рядів E6, E12, E24

| E6: $\Delta R = \pm 20\%$ | E12: $\Delta R = \pm 10\%$ | E24: $\Delta R = \pm 5\%$ |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | | 1.1 |
| | 1.2 | 1.2 |
| | | 1.3 |
| 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| | | 1.6 |
| | 1.8 | 1.8 |
| | | 2.0 |
| 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| | | 2.4 |
| | 2.7 | 2.7 |
| | | 3.0 |
| 3.3 | 3.3 | 3.3 |
| | | 3.6 |
| | 3.9 | 3.9 |
| | | 4.3 |
| 4.7 | 4.7 | 4.7 |
| | | 5.1 |
| | 5.6 | 5.6 |
| | | 6.2 |
| 6.8 | 6.8 | 6.8 |
| | | 7.5 |
| | 8.2 | 8.2 |
| | | 9.1 |

ДОДАТОК В

Перелік використаних радіоелементів в ППНЧ

| Схемне позначення | Найменування радіоелементів | Кількість | Примітка |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|----------|
| | <i>Резистори</i> | | |
| R ₁ | МЛТ 1000 Ом +5% 0,125 Вт | 1 | |
| R ₂ | | | |
| R ₃ (R _к) | | | |
| R ₄ (R _е) | | | |
| R ₅ (R _н) | | | |
| | <i>Конденсатори</i> | | |
| C ₁ (C _{р1}) | К50-6 100 мкФ +5% 16 В | | |
| C ₂ (C _{р2}) | | | |
| C ₃ (C _е) | | | |
| | <i>Транзистор</i> | | |
| VT ₁ | | | |
| | | | |

ДОДАТОК Г

Номінальна потужність розсіювання резисторів в Вт

| Тип резистора | Номінальна потужність розсіювання |
|---------------|-----------------------------------|
| ОМЛТ, МЛТ | 0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; |
| МТ | 0.25; 0.5; 1; 2; |
| УЛИ | 0.125; 0.25; 0.5; 1; |
| ВС | 0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; 5; 10; |

Конденсатори електролітичні: стандартні номінали напруги та ємності

| Тип конденсатора | Робоча напруга, вольт | Номінальна величина ємності в мікрофарадах (мкФ) |
|------------------|-----------------------|--|
| К50–6 | 16 | 1; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; |
| К50–6 | 25 | 1; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 500; |
| К50–35 | 25 | 22; 47; 100; 220; 470; 1000; 2200; |
| К53–19 | 20 | 68; 100; 150; |

Електричні параметри транзисторів

| Параметр | Симв. позн. | Одиниця виміру | КТ-315 А, Б | КТ-3107 А, Б | КТ-3102 А, Б | BF-240 | 2N4125 |
|--|---------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--------|--------|
| Струм колекторного переходу (зворотний) при $U_{к-е} = 5 \text{ В}$ | $I_{кбо}$ | мкА | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Гранична частота коефіцієнта передачі струму при $U_{к-е} = 5 \text{ В}$ | $f_m(f_{зр})$ | МГц | >10 | 100 | >10 | >10 | >10 |
| Коефіцієнт передачі струму в схемі з спільним емітером | h_{21e} | безрозм. | 20 - 250 | 70 – 200 | 70 - 500 | 70-220 | 25-150 |
| Ємність колекторного переходу | C_k | пФ | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| Максимальна допустима напруга між колектором та емітером транзистора | $U_{к-е}$ | Вольт | 20 | 30 | 30 | 40 | 30 |
| Максимальний струм колектора постійний | $I_{к max}$ | мА | 100 | 100 | 100 | 25 | 100 |
| Максимальна потужність розсіювання на колекторі без тепловідводу | $P_{к max}$ | мВт | 150 | 300 | 300 | 300 | 600 |

Електричні параметри транзисторів

| Параметр | Симв. позн. | Одиниця виміру | 2N4124 | BC557A | BC547A | FMMTA 70 | 2N3906 |
|--|---------------|----------------|--------|--------|---------|----------|--------|
| Струм колекторного переходу (зворотний) при $U_{к-е} = 5$ В | $I_{кбо}$ | мкА | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Гранична частота коефіцієнта передачі струму при $U_{к-е} = 5$ В | $f_m(f_{зр})$ | МГц | >10 | >10 | >10 | >10 | >10 |
| Коефіцієнт передачі струму в схемі з спільним емітером | h_{21e} | безрозм. | 60-360 | 90-220 | 110-220 | 40-400 | 30-300 |
| Ємність колекторного переходу | $C_{к}$ | пФ | 5 | 7 | 10 | 5 | 10 |
| Максимальна допустима напруга між колектором та емітером транзистора | $U_{к-е}$ | Вольт | 25 | 45 | 45 | 40 | 40 |
| Максимальний струм колектора постійний | $I_{к max}$ | мА | 200 | 100 | 100 | 100 | 200 |
| Максимальна потужність розсіювання на колекторі без тепловідводу | $P_{к max}$ | мВт | 625 | 1000 | 1500 | 330 | 1500 |

Електричні параметри транзисторів

| Параметр | Симв. позн. | Одиниця виміру | МП41 МП41А | МП42А, МП42Б | КТ-203 А, Б | 2N4058 | КТ-312 А, Б |
|--|---------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|---------|----------------|
| Струм колекторного переходу (зворотний) при $U_{к-е} = 5$ В | $I_{кбо}$ | мкА | 15 | 25 | 15 | 1 | 10 |
| Гранична частота коефіцієнта передачі струму при $U_{к-е} = 5$ В | $f_m(f_{зр})$ | МГц | 1 | 1 | 5 | 10 | 10 |
| Коефіцієнт передачі струму в схемі з спільним емітером | h_{21e} | безрозм. | 20–100 | 20 - 100 | 20 – 150 | 100-400 | 20 – 250 |
| Ємність колекторного переходу | C_k | пФ | 50 | 50 | 10 | 7,5 | 5 |
| Максимальна допустима напруга між колектором та емітером транзистора | $U_{к-е}$ | Вольт | 15 | 15 | 30 | 30 | 20 |
| Максимальний струм колектора постійний | $I_{к max}$ | мА | 20 | 100 | 10 | 20 | 30 |
| Максимальна потужність розсіювання на колекторі без тепловідводу | $P_{к max}$ | мВт | 150 | 200 | 150 | 600 | 450 |

ДОДАТОК Д
Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій

Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та електротехніки

КОМПЛЕКСНЕ КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Розрахунок попереднього підсилювача низької частоти

Виконав студент..... групи

Перевірив _____ 20__ р.

Харків – 20__

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев Ю.Н. Резисторы. Справочник под ред. И.И. Четверикова. М. "Энергоиздат", 1981. – 352с.
2. Нефедов А.В., Гордеева В.И. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. Справочник. – М.: "Радио и связь", 1990. – 401с.
3. Ю.Р. Колонтаевський, А.Г. Сосков. Промислова електроніка та мікросхемотехніка. Київ. Видавництво «Каравела», 2004. – 428 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высшая школа, 1982. – 384 с.
5. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамала О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. – Львів: «Новий світ-2000»; «Магнолія плюс». – 2003. – 208 с.
6. Дослідження підсилювачів низької частоти з використанням програми *MULTISIM*.
7. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. Справ очник под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.
8. И.П. Жеребцов. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
9. Транзисторы. Справочник под общей редакцией И.Ф. Николаевского. - М.: "Связь". 1969, – 624с.

Навчальне видання

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Методичні вказівки
до виконання курсового комплексного тестового завдання

ЧЕРЕНКОВ Олександр Данилович
ЧОРНА Марія Олександрівна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,5

Наклад 50 пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44
Навчальне видання