

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського рівня) вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».

Київ 2024

ББК 32.973-01
К45

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент;
М.В. Волчков, асистент

Рецензент: Г.М. Голенков, кандидат техн. наук., доцент кафедри електротехніки та електроприводу КНУБА

Затверджено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів, протокол № 4 від 24 жовтня 2024 р.

Відповідальний за випуск: А.В. Запривода, к.т.н., доцент
В авторській редакції.

Електроніка і мікросхемотехніка: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / уклад.: В.Ю. Луценко, М.В. Волчков – Київ: КНУБА, 2024. – 16с.

Розглянута методологія та методика написання розрахунково-графічної роботи, яка є однією з форм індивідуального завдання та виконується студентом самостійно при консультуванні викладачем.

Призначено для студентів спеціальності для студентів спеціальностей: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

@ КНУБА, 2024

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Електроніка і мікросхемотехніка» викладається відповідно до навчального плану підготовки бакалаврів за спеціальністю 174 «Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» . та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Розрахунково-графічна робота - це, перш за все, дослідницька робота, що проводиться студентами *самостійно* під керівництвом викладача - наукового керівника.

У розрахунково-графічній роботі студент повинен показати своє вміння в наступних питаннях:

1. Формулюванні завдань дослідження.
2. Розробці плану дослідження.
3. Проведенні бібліографічного пошуку із залученням сучасних інформаційних технологій.
4. Виборі необхідних методів дослідження, модифікації існуючих та розробці нових методів, виходячи із завдань конкретного дослідження.
5. Обробці отриманих результатів, аналізі та осмисленні їх з урахуванням наявних літературних даних.
6. Поданні підсумків зробленого в письмовій формі, оформлених у відповідності з наявними вимогами, з залученням наукового апарату та використанням сучасних засобів редагування та друку.
7. Захисті результатів виконаної роботи.

Основними вимогами, що пред'являються до розрахунково-графічної роботи, є :

1. Актуальність і високий теоретичний рівень дослідження конкретної наукової проблеми.
2. Наявність елементів самостійного творчого науково-практичного дослідження, яке містить конкретний і точний виклад розглянутої проблеми, обґрунтування власних підходів і висновків.
3. Використання елементів збору, обробки і критичного аналізу спеціальної наукової, аналітичної інформації, оригінальних закордонних джерел; застосування відповідного понятійного і термінологічного апарату, а також діючих нормативних актів.

4. Грамотність, акуратність і якість оформлення , включаючи володіння функціональним стилем наукового викладу з використанням сучасних засобів комп'ютерного набору тексту.

Джерелами інформаційного матеріалу для виконання розрахунково-графічної роботи слугують:

- 1) вітчизняна та зарубіжна література (монографії, брошури, навчальні посібники), нормативно-правові акти (закони, укази, постанови, інструкції тощо), періодичні видання, статистичні звіти та збірки, матеріали виробничої та переддипломної практики;
- 2) бібліографічні покажчики з різних тем, що випускаються бібліотекою КНУБА;
- 3) матеріали провідних газет, наукових конференцій та семінарів;
- 4) наукові праці НДІ АНУ, огляди та аналітичні дані науково – дослідних центрів;
- 5) матеріали мережі Інтернет, електронних видань.

Структура та обсяг розрахунково-графічної роботи

Основними обов'язковими елементами розрахунково-графічної роботи є:

- титульний лист;
- зміст;
- вступ;
- основна частина;
- список використаної літератури;
- додатки;
- графічна частина.

Завдання виконується у вигляді звіту.

Обсяг – 10 - 15 аркушів формату А4.

Виконання завдання передбачає детальне вивчення лекційного курсу і зокрема спеціалізованої літератури щодо конкретної практичної задачі.

Теоретичні відомості

Включення транзистора за схемою зі спільним емітером.

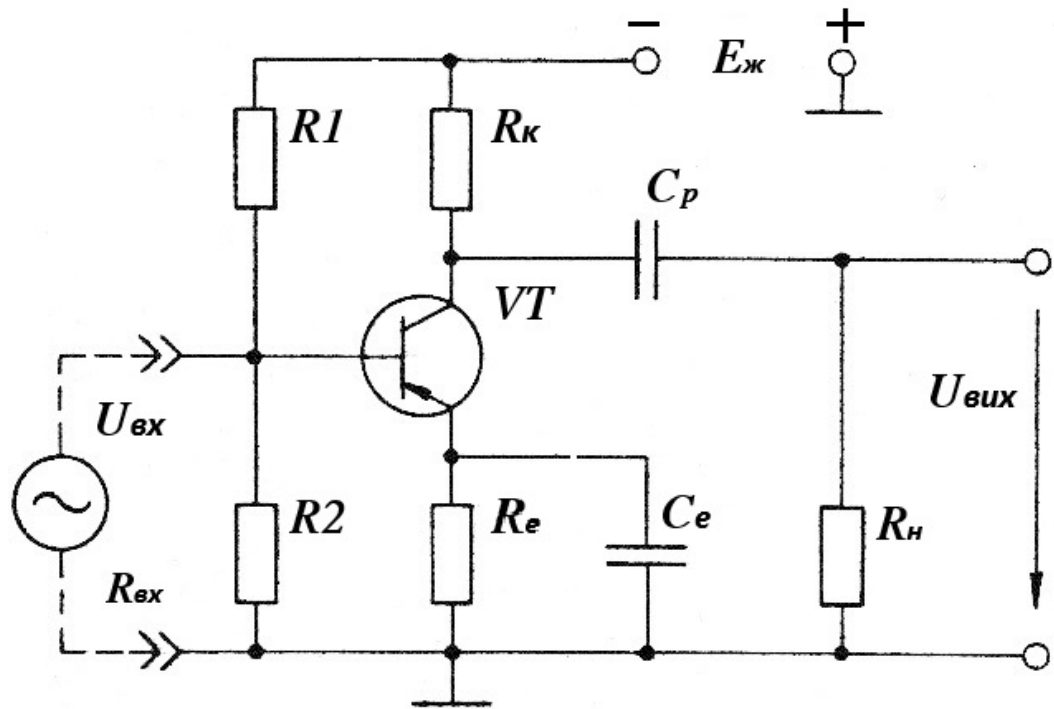


Рис. 1. Транзисторний підсилювач.

Залежно від того, якій вивід транзистора під'єднаний одночасно до входу та виходу схеми, розрізняють три схеми включення транзистора – з загальним емітером (ЗЕ), загальною базою (ЗБ) та загальним колектором (ЗК). Найбільшого застосування знайшла схема з загальним емітером (рис. 1).

Робота транзистора характеризується сім'ями вхідних та вихідних характеристик (рис. 2). Характеристики існують для всіх схем ввімкнення та для схеми ЗЕ наводяться в довідниках.

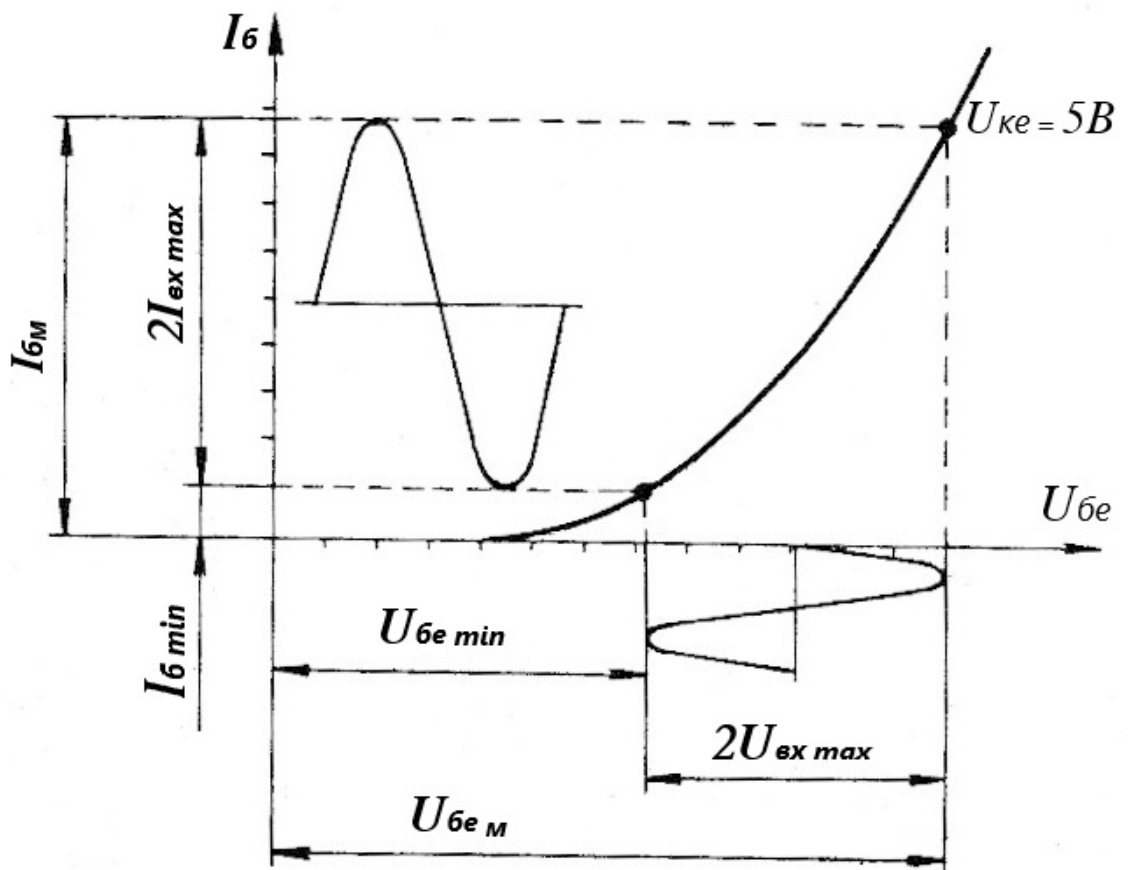


Рис. 2. Вхідна характеристика транзистора за схемою зі спільним емітером.

Вхідні характеристики (рис. 2) показують залежність струму бази (I_B) від напруги між базою та емітером (U_{BE}), при постійній напрузі між колектором та емітером (U_{CE}). Вхідні характеристики слабо залежать від напруги на колекторі, тому зазвичай наводять дві залежності (наводять вхідні характеристики транзисторів при $U_{CE} = 0$ и $5V$).

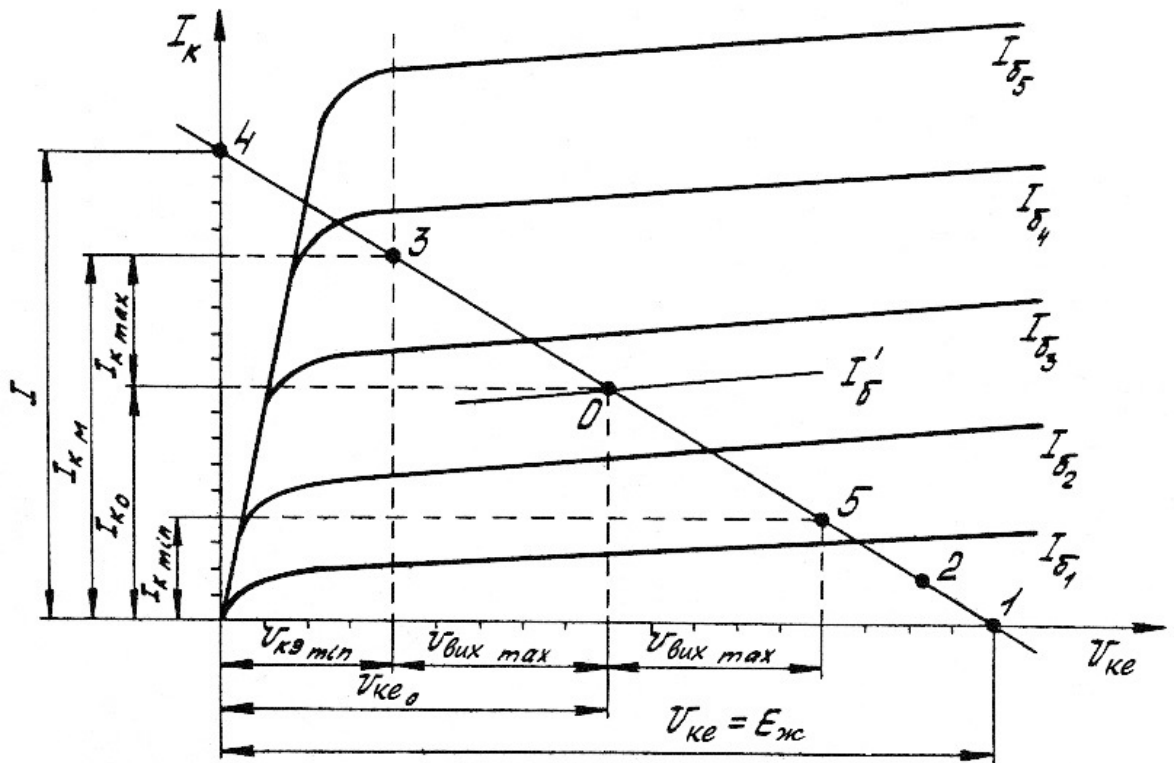


Рис. 3. Вихідні характеристики транзистора зі спільним емітером.

Вихідні характеристики (рис. 3) показують залежність струму колектора (I_K) від напруги між колектором та емітером (U_{KE}), при постійному значенні струму бази (I_B). Вихідні характеристики наводять для достатньо великій кількості значень (5 і більше) струмів бази (I_{B1}, I_{B2}, I_{B3} , та. т.і.), які відрізняються на фіксоване значення ΔI_B .

Розрахунок каскаду транзисторного підсилювача напруги низької частоти з реостатно-ємністним зв'язком.

На рис. 1 надана схема підсилювача на транзисторі, ввімкненого за схемою зі спільним емітером (СЕ).

Початкові данні /табл.П.1.1/:

$V_{вих\ max}$ – максимальне значення напруги на виході каскада;

R_H – опір навантаження;

f_H - нижня гранична частота;

M_H - допустиме значення коефіцієнта частотних спотворень каскада в області нижніх частот;

$E_ж$ - напруга джерела живлення.

За результатом розрахунку необхідно визначити:

тип транзистора та режим його роботи;

R_K – опір в колі колектора;

R_e, C_e – опір та ємність в колі емітера відповідно;

R_1, R_2 – опори подільника;

C_p – ємність роздільного конденсатора;

K_v – коефіцієнт підсилення каскаду за напругою.

Порядок розрахунку

1. Обираємо тип транзистора за довідником враховуючи наступні обмеження:

$$V_{КЕдоп} \geq (1,1 \dots 1,3)E_ж,$$

де $V_{КЕдоп}$ - допустима напруга між колектором та емітером;

$$I_{Кдоп} > 2I_{Hmax},$$

$I_{Кдоп}$ – допустимий струм колектора, I_{Hmax} - амплітуда струму навантаження;

$$I_{Hmax} = V_{ВИХmax} / R_H$$

2. Для обраного типу транзистора виписати значення коефіцієнтів підсилення по струму β_{min} та β_{max} для схеми з ЗЕ.

3. Режим роботи транзистора визначаємо за прямою навантаження, побудованої на сім'ї вихідних статичних (колекторних) характеристик для схеми з ЗЕ. Побудова навантажувальної прямої надана на рис. 3.

Навантажувальна пряма будується по двом точкам: точці спокою (робочій) 0 та точці 1.

Координати точки 1: $I_K = 0$ та $V_{KE} = E_{ж}$.

Координати точці 0: струм спокою I_{K0} та напруга спокою V_{KE0} (тобто струм та напруга, відповідні $V_{ВХ}=0$).

Можна прийняти

$$I_{K0} = (1,05 \dots 1,2) I_{Hmax},$$

де I_{Hmax} - амплітуда струму навантаження;

$$I_{Hmax} = V_{ВИХmax} / R_H,$$

$$V_{KE0} = V_{ВИХmax} + V_{min},$$

де V_{min} - мінімальна напруга між колектором та емітером.

При $V_{KE} < V_{min}$ з'являються значні нелінійні спотворення, тому що в робочу зону попадають частини характеристик, які мають велику кривизну. Для малопотужних транзисторів можна прийняти $V_{min} = 0.5 \dots 1 B$.

4. Визначаємо опори R_K та R_E . Загальний опір в колі емітер-колектор $R_{заг} = R_K + R_E$ знаходимо за формулою

$$R_{заг} = E_{ж} / I,$$

де I - струм, визначений в точці 4 (рис. 3), тобто в точці перетину прямої навантаження с віссю струмів.

Прийнявши $R_E = 0,15 \dots 0,25 / R_K$, отримуємо

$$R_K = \frac{R_{заг}}{1,15 \dots 1,25}$$

,тоді

$$R_E = R_{заг} - R_K$$

5. Визначаємо найбільше значення струму в колі колектора (ордината точки 3, рис.3):

$$I_{KM} = I_{K0} + I_{Kmax},$$

де I_{Kmax} - максимальне значення змінної складової струму колектора.

6. Визначаємо найбільше значення струму в колі бази $I_{БМ}$ та напруги $V_{БЕМ}$ (рис.2), а також значення амплітуди змінної складової вхідного сигналу $I_{ВХmax}$ та $V_{ВХmax}$.

Враховуючи найменше значення коефіцієнта підсилення за струмом β_{min} , отримаємо

$$I_{БМ} = I_{KM} / \beta_{min}.$$

Тоді

$$I_{ВХmax} = \frac{I_{БМ} - I_{Бmin}}{2}$$

де I_{Bmin} – найменше значення струму в колі бази.

За вхідній статичній характеристиці (при $V_{KE} = 5В$) (рис. 2) та отриманим значенням I_{BM} та I_{Bmin} визначаємо значення V_{BEM} та V_{BXmax} .

7. Визначаємо вхідний опір каскаду змінному струму (без врахування опорів подільника напруги R_1 та R_2):

$$R_{BX\sim} = \frac{V_{BXmax}}{I_{BXmax}}$$

8. Визначаємо опір подільника R_1 та R_2 . Заради зменшення шунтуючої дії подільника на вхідне коло каскаду за змінним струмом приймаємо

$$R_{1,2} \geq 8 \dots 12 / R_{BXM},$$

де

$$R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Тепер зможемо визначити R_1 та R_2 :

$$R_1 = \frac{E_{ж} R_{1,2}}{R_E I_{K0}}$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_{1,2}}{R_1 - R_{1,2}}$$

Ємність роздільного конденсатора C_p обираємо зі співвідношення

$$X_{Cp} \leq (R_K + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}$$

Тоді

$$C_p \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_K + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}}$$

9. Визначаємо ємність конденсатора C_E зі співвідношення

$$X_{Ce} \leq 10 R_E$$

Звідси

$$C_E = \frac{10}{2\pi f_H R_E}$$

10. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_V = V_{ВИХmax} / V_{ВХmax}$$

Приклад рішення.

Завдання. Розрахувати каскад транзисторного підсилювача напруги для схеми з загальним емітером (рис. 1):

$$V_{\text{вихmax}} = 4 \text{ В} ; f_{\text{н}} = 100 \text{ Гц} ; R_{\text{н}} = 500 \text{ Ом} ; M_{\text{н}} = 1,2 ; E_{\text{ж}} = 12 \text{ В} .$$

Рішення.

$$1. \quad V_{\text{КЕдоп}} \geq (1,2)E_{\text{ж}} = 1,2 * 12 = 14,4 \text{ (В)} ;$$

$$I_{\text{нmax}} = V_{\text{вихmax}} / R_{\text{н}} = 4 / 500 = 8 \text{ (мА)} ;$$

$$I_{\text{Кдоп}} > 2I_{\text{нmax}} = 16 \text{ мА} .$$

2. Обираємо транзистор МП42А, для якого $I_{\text{Кдоп}} = 30 \text{ мА}$; $V_{\text{КЕдоп}} = 15 \text{ В}$; $\beta_{\text{min}} = 30$; $\beta_{\text{max}} = 50$.

3. На сім'ї вихідних статичних характеристик для обраного типу транзистора будуємо навантажувальну пряму (див. рис. 3). Знаходимо координати точки спокою (точки 0):

$$I_{\text{К0}} = 1,2 I_{\text{нmax}} = 1,2 * 8 = 9,6 \text{ (мА)} ; V_{\text{КЕ}} = V_{\text{вихmax}} + V_{\text{min}} = 4 + 1 = 5 \text{ В} .$$

Координати другої точки навантажувальної прямої (точки 1):

$$I_{\text{К}} = 0, V_{\text{КЕ}} = E_{\text{ж}} = 12 \text{ В} .$$

За отриманими значеннями будуємо навантажувальну пряму.

Побудова навантажувальної прямої надана на рис. 3.

4. Визначаємо опори $R_{\text{К}}$ та $R_{\text{Е}}$. За статичними вихідними характеристиками та навантажувальній прямій знаходимо $I = 18 \text{ мА}$ (див. рис. 3, точка 4).

Тоді

$$R_{\text{заг}} = E_{\text{ж}} / I = 12 / 18 * 10^{-3} = 670 \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{К}} = \frac{R_{\text{заг}}}{1,2} = \frac{670}{1,2} = 560 \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{Е}} = R_{\text{заг}} - R_{\text{К}} = 670 - 560 = 110 \text{ (Ом)}$$

Увага! Кінцеві значення опорів резисторів та ємностей конденсаторів необхідно обирати з довідника згідно існуючих типів та номіналів.

5. Визначаємо найбільше значення струму в колі колектора (ордината точки 3, рис.3). На вісі абцис відкладаємо значення $V_{\text{КЕmin}} = 1 \text{ В}$ та

встановлюємо перпендикуляр до перетину з прямою в точці 3. Визначаємо $I_{KM} = 14 \text{ mA}$.

6. Визначаємо найбільше значення струму в колі бази I_{BM} та напруги $V_{БЕМ}$ (рис.2), а також значення амплітуди змінної складової вхідного сигналу $I_{ВХmax}$ та $V_{ВХmax}$.

Найменше значення коефіцієнта підсилення за струмом для транзистора МП42А $\beta_{min} = 30$, тоді отримаємо

$$I_{BM} = I_{KM} / \beta_{min} = 14 / 30 = 0,47 \text{ (mA)}.$$

Струм I_{Bmin} приймаємо рівним 0,05 мА, щоб обрати прямолінійний відрізок вхідної характеристики $I_{Bmin} = 0,05 \text{ mA}$.

Амплітуда змінного струму в колі бази

$$I_{ВХmax} = \frac{I_{BM} - I_{Bmin}}{2} = \frac{0,47 - 0,05}{2} = 0,21 \text{ (mA)}$$

За вхідній статичній характеристиці (при $V_{KE} = 5\text{В}$) (рис. 2) та отриманим значенням I_{BM} та I_{Bmin} визначаємо значення $V_{БЕМ}$ та $V_{ВХmax}$:

при $I_{Bmin} = 0,05 \text{ mA}$ $V_{БЕМin} = 0,11 \text{ В}$;

при $I_{BM} = 0,47 \text{ mA}$ $V_{БЕМ} = 0,31 \text{ В}$;

$2V_{ВХmax} = V_{БЕМ} - V_{БЕМin} = 0,31 - 0,11 = 0,20 \text{ (В)}$.

Амплітуда напруги вхідного сигналу $V_{БЕМmax} = 0,10 \text{ В}$.

7. Знаходимо вхідний опір каскаду змінному струму (без врахування опорів подільника напруги R_1 та R_2):

$$R_{ВХ\sim} = \frac{V_{ВХmax}}{I_{ВХmax}} = \frac{0,10}{0,21 * 10^{-3}} \approx 470 \text{ (Ом)}$$

8. Визначаємо опір подільника R_1 та R_2 .

$$R_{1,2} \geq 8 R_{ВХ\sim} = 8 * 470 = 3800 \text{ (Ом)},$$

$$R_1 = \frac{E_{ж} R_{1,2}}{R_E I_{K0}} = \frac{12 * 3800}{110 * 9,6 * 10^{-3}} \approx 43000 \text{ (Ом)}$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_{1,2}}{R_1 - R_{1,2}} = \frac{43 * 10^{-3} * 3,8 * 10^{-3}}{43 * 10^{-3} - 3,8 * 10^{-3}} = 4,2 * 10^{-3} \text{ (Ом)}$$

9. Визначаємо ємність роздільного конденсатора C_p :

$$C_p \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_K + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}}$$

$$C_p \geq \frac{1}{2 * 3,14 * 100 * (560 + 500) \sqrt{1,2^2 - 1}} = 2,28 * 10^{-6} \text{ (Ф)}$$

Приймаємо $C_p = 3,0$ мкФ .

10. Визначаємо ємність конденсатора C_E :

$$C_E \geq \frac{10}{2\pi f_H R_E} = \frac{10}{2 * 3,14 * 100 * 110} = 159 * 10^{-6} (\text{Ф})$$

Приймаємо ємність $C_E = 200$ мкФ

11. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою

$$K_V = V_{\text{вихmax}} / V_{\text{вхmax}} = 4 / 0,1 = 40 .$$

Література.

1. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник / С.О. Квітка, В.Ф. Яковлев, О.В. Нікітіна; за ред. проф. В.Ф. Яковлева. – Суми: «Сумський національний аграрний університет», 2012. – 285 с.
3. ДСТУ 3120-95. Електротехніка. Літерні позначення основних величин.
4. ДСТУ 2449-94. Прилади напівпровідникові. Терміни та визначення.
5. ДСТУ 2307-93. Транзистори біполярні. Терміни, визначення та буквені позначення електричних параметрів.
6. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – [2-ге вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009.
7. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. 2-е вид. / За ред. А.Г. Соскова. -К.: Каравела, 2009.-416 с.
8. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. / За ред. А.Г. Соскова. – К.:Каравела, 2003. – 368 с.

Таблиця П.1.1

Варіант	Данні для розрахунку				
	$V_{вихmax}$, В	R_H , Ом	f_H , Гц	$E_{Ж}$, В	M_H
1	2	3	4	5	6
0	3,0	600	100	12	1,10
1	2,0	400	90	6	1,15
2	1,0	250	120	9	1,20
3	5,0	450	200	27	1,25
4	8,0	350	150	12	1,30
5	2,4	500	180	9	1,35
6	3,4	550	140	12	1,40
7	1,6	280	160	6	1,10
8	4,0	590	170	27	1,15
9	2,2	440	110	9	1,20
10	3,4	600	150	12	1,25
11	1,5	200	60	5	1,30
12	1,7	250	70	6	1,35
13	1,8	300	80	9	1,40
14	2,0	350	90	12	1,10
15	2,1	400	120	15	1,15
16	2,3	450	140	18	1,20
17	2,5	480	150	24	1,25
18	2,7	500	160	27	1,30
19	2,8	520	170	24	1,35
20	3,0	540	180	20	1,40
21	3,1	550	200	18	1,10
22	3,2	580	220	15	1,15
23	3,5	560	230	12	1,20
24	3,6	480	250	9	1,25
25	1,8	320	270	6	1,30
26	3,0	400	100	15	1,35
27	2,7	300	200	9	1,40
28	2,5	250	150	18	1,10
29	2,2	220	180	6	1,15
30	2,0	600	150	12	1,20

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського рівня) вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Укладачі: Луценко Вадим Юрійович, Волчков Максим Володимирович

Комп'ютерне верстання *Р.В. Шушпанової*

Підписано до друку 22.01.2024 Формат 60 × 84 ^{1/16}

Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.

Електронний документ. Вид № 59/ПІ-17.

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури Повітрофлотський проспект,
31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи ДК № 808 від
13.02.2002 р.