

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту
з дисципліни
«Електронні пристрої випробувальних систем»
для студентів напряму підготовки
«Метрологія, стандартизація та сертифікація»
всіх форм навчання**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту
з дисципліни «Електронні пристрої випробувальних
систем» для студентів напряму підготовки
«Метрологія, стандартизація та сертифікація» всіх
форм навчання**

Вінниця
ВНТУ
2018

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 21.06.2017 р.)

Рецензенти:

М. Г. Тарновський, кандидат технічних наук, доцент

С. Д. Штовба, доктор технічних наук, професор

Ю. В. Булига, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Електронні пристрої випробувальних систем» для студентів напряму підготовки «Метрологія, стандартизація та сертифікація» всіх форм навчання / Уклад. О. М. Васілевський, В. В. Присяжнюк. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 41 с.

У методичних вказівках наведені завдання, короткі теоретичні відомості, детальні приклади розрахунку та оформлення різноманітних найважливіших електронних пристроїв випробувальних систем, які можуть бути використані при проектуванні більш складних засобів вимірювання та контролю. Для полегшення самостійного виконання курсового проекту наводиться список рекомендованої літератури.

Призначений для студентів, всіх форм навчання, що вивчають електронні пристрої, електроніку, мікросхемотехніку та споріднені з нею дисципліни.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Основні схеми ввімкнення біполярних транзисторів. Емітерний повторювач.....	5
1.1 Порядок проведення розрахунку.....	5
1.2 Завдання для розрахунку емітерного повторювача	8
2 Види підсилювальних каскадів. Підсилювальний каскад, виконаний на біполярному транзисторі за схемою зі спільним емітером.....	8
2.1 Порядок проведення розрахунку.....	9
2.2 Завдання розрахунку підсилювального каскаду.....	13
3 Тензорезистивний динамометр.....	14
3.1 Завдання для розрахунку електронного динамометра.....	18
4 Електронний термометр.....	20
4.1 Завдання для розрахунку електронного термометра.....	24
5 Вимоги до оформлення курсового проекту.....	26
Література.....	28
Додаток А. Перелік завдань на курсовий проект.....	29
Додаток Б. Параметри біполярних транзисторів.....	31
Додаток В. Параметри операційних підсилювачів.....	33
Додаток Г. Стандартні типономінали радіоелементів.....	35
Додаток Д (обов'язковий). Титульний аркуш до курсового проекту.....	36
Додаток Е (обов'язковий). Зразок індивідуального завдання до курсового проекту.....	37
Додаток Ж (довідковий). Приклад заповнення першої сторінки змісту.	38
Додаток И (довідковий). Емітерний повторювач. Схема електрична принципова.....	39
Додаток К (довідковий). Підсилювальний каскад з СЕ. Перелік елементів.....	40

ВСТУП

Ці методичні вказівки допоможуть студентам виконати завдання з курсового проекту і більш повно вивчити дисципліну «Електронні пристрої випробувальних систем».

У вказівках наведені короткі теоретичні відомості та детальні методики розрахунку найбільш поширених електронних пристроїв випробувальних систем. Вони можуть бути використані при проектуванні більш складних електронних випробувальних систем.

При виконанні кожного розрахункового завдання потрібно розраховані номінали опорів і ємностей заокруглювати до найближчих стандартних значень згідно з таблицями типономіналів, наведених у додатку Г. При виборі типів активних елементів теж можна скористатися таблицями додатка або спеціальною довідниковою літературою. Розв'язок кожного розрахункового завдання має супроводжуватися повною принциповою схемою.

Оформлення курсового проекту з дисципліни «Електронні пристрої випробувальних систем» проводиться згідно з вимогами, які подано в «Методичних вказівках щодо оформлення курсових проектів і робіт для студентів всіх спеціальностей», що видані ВНТУ.

В цих методичних вказівках також наведені вимоги та приклади щодо оформлення пояснювальної записки та графічної частини згідно з існуючими вимогами.

Всі розрахункові завдання мають по двадцять варіантів вихідних даних. Вибір варіанта завдання здійснюється за порядковим номером студента у журналі обліку академічної групи.

1 ОСНОВНІ СХЕМИ ВВІМКНЕННЯ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ. ЕМІТЕРНИЙ ПОВТОРЮВАЧ

Емітерний повторювач (ЕП) – це підсилювач струму і потужності. Він виконується на звичайному або складному транзисторах за схемою з спільним колектором. ЕП має підвищений вхідний і понижений вихідний опори. Його вхідна та вихідна напруги збігаються за фазою і майже не відрізняються за величиною. Такі особливості ЕП дозволяють використовувати його для узгодження високоомного джерела напруги і низькоомного навантаження. Наприклад, як вхідний каскад багатокаскадного підсилювача.

Розглянемо розрахунок ЕП, в якому передбачене плавне регулювання підсилення і застосовується складений транзистор (рис. 1).

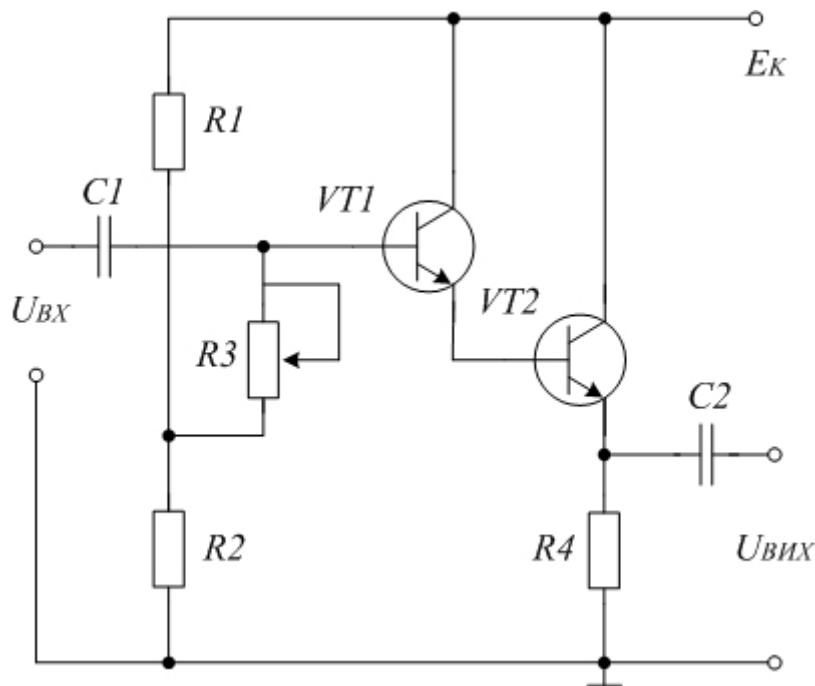


Рисунок 1 – Схема емітерного повторювача

Для проведення розрахунку потрібно знати амплітуду вхідної напруги $U_{ВХ}$, номінальний навантажувальний опір джерела сигналу $R_{ДЖ.НОМ}$, нижню частоту діапазону підсилювальних частот f_H , частотні спотворення у схемі, що виникають через наявність розділових конденсаторів на низьких частотах $M_{Н.ЗАГ}$, вищу частоту діапазону f_B .

1.1 Порядок проведення розрахунку

Визначаємо величину потужності $P_{ДЖ}$, яку може віддати джерело сигналу у вхідне поле підсилювача за умови узгодження вхідного опору

каскаду R_{BX} з номінальним навантажувальним опором джерела сигналу $R_{BX} \approx R_{ДЖ.НОМ}$:

$$P_{ДЖ} = \frac{U_{М.ВХ}^2}{2R_{ВХ}}. \quad (1.1)$$

Враховуючи, що $R_{ДЖ.НОМ}$ досить великий в підсилювачі, застосовується складений транзистор за схемою зі спільним колектором. При такому увімкненні коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю можна прийняти таким, що дорівнює $K_{P(ДБ)} = 20$ дБ.

Вибираємо з довідника або з таблиці Б.1 чи Б.2 додатка Б тип транзисторів, які будуть застосовані в схемі. Як правило, потрібно вибирати малопотужні транзистори. Для них потрібно виписати такі параметри: коефіцієнт підсилення за струмом h_{21E} ; максимально допустима напруга колектор-емітер $U_{КЕ.МАХ.ДОП}$; максимально допустимий струм колектора $I_{Е.МАХ.ДОП}$; максимально допустима потужність розсіювання на колекторі $P_{КЕ.МАХ.ДОП}$; опір колекторного переходу r_K .

Визначаємо напругу джерела живлення кола колектора:

$$E_K = (0,4 \div 0,5)U_{КЕ.МАХ.ДОП}. \quad (1.2)$$

Наближене значення вхідного опору каскаду визначається за формулою:

$$R_{ВХ} \approx \frac{1}{2}r_K, \quad (1.3)$$

де r_K – опір колекторного переходу транзистора.

Значення опору колекторного переходу транзистора визначається за формулою:

$$r_K \approx \frac{1}{h_{22B}}. \quad (1.4)$$

Частотні спотворення на вищій частоті діапазону M_B визначаються частотними властивостями транзистора і схемою їх увімкнення.

Для схеми ЕП:

$$M_B = \sqrt{1 + [p(1 + h_{21E})]^2}, \quad (1.5)$$

$$\text{де } p = \frac{f_B}{f_A};$$

f_B – вища частота діапазону;

f_A – гранична частота транзистора для схеми зі спільною базою (вказується у довідниках);

h_{21E} – коефіцієнт підсилення за струмом транзистора в схемі зі спільним емітером.

Опір навантаження каскаду R_E знаходимо за формулою:

$$R_E = \frac{E_K - U_{0KE}}{I_{0E}}, \quad (1.6)$$

де E_K – напруга живлення;

U_{0KE} – напруга між колектором і емітером транзистора VT2 у режимі спокою;

I_{0E} – струм емітера у режимі спокою.

Для підвищення вхідного опору і зниження рівня шумів напругу U_{0KE} вибирають не більше 2 – 3 В, а струм $I_{0E} \approx 0,5$ мА.

З таблиці Г.1 додатка Г вибираємо стандартні типономінали резисторів.

Щоб визначити $R1$ і $R2$, задаємося струмом, який проходить через подільник, утворений цими опорами.

Як правило, $I_{под} = 0,1 - 0,3$ мА.

Тоді:

$$R1 + R2 = \frac{E_K}{I_{под}}. \quad (1.7)$$

Величину опорів $R1$ і $R2$ можна знайти, користуючись співвідношенням:

$$R2 \approx 3R1. \quad (1.8)$$

З таблиці Г.1 додатка Г вибираємо стандартні типономінали резисторів. Оскільки струм через них незначний, то потужність розсіювання резисторів може бути мінімальною.

Для того, щоб резистор $R3$ не зменшував вхідний опір каскаду, його величина має бути 2 – 3 МОм. Для плавного регулювання підсилення з довідника вибирають змінний резистор.

Визначаємо ємність розділового конденсатора C_{P2} :

$$C_{P2} = \frac{10^6}{2\pi f_H (R_{ВИХ} + R_{ВХ}) \sqrt{M_{H2}^2 - 1}}, \quad (1.9)$$

де $R_{ВИХ}$ – вихідний опір емітерного повторювача;

f_H – нижня частота діапазону підсилювальних частот;

M_{H2} – частотні спотворення на низьких частотах, які виникають через наявність розділового конденсатора C_{P2} .

Як правило, вихідний опір ЕП значно менший від опору R_E і не перевищує 100 – 200 Ом.

Частотні спотворення у схемі, що виникають через наявність конденсаторів C_{P1} і C_{P2} , розподіляють так:

$$M_{H.3AG} = M_{H1} + M_{H2}; M_{H2} = 3M_{H1}. \quad (1.10)$$

Наприклад: $M_{H.3AG} = 0,8$ дБ, тоді $M_{H2} = 0,6$ дБ (1,072), а $M_{H1} = 0,2$ дБ (1,023).

Після розрахунку C_{P2} з довідника вибираємо електролітичний конденсатор типу К50-6 з робочою напругою $U_{P.C} \geq E_K$.

Знаходимо ємність розділового конденсатора C_{P1} на вході підсилювача:

$$C_{P1} = \frac{10^6}{2\pi f_H (R_{ДЖНОМ} + R_{ВХ}) \sqrt{M_{H1}^2 - 1}}. \quad (1.11)$$

В формулах для розрахунку C_{P1} і C_{P2} потрібно використовувати коефіцієнт частотних спотворень M_{H1} та M_{H2} не в дБ, а в відносних одиницях. Формула для переходу наведена нижче:

$$M = 10^{(M(\text{дБ})/20)}, \quad (1.12)$$

де M_{H1} – частотні спотворення, які виникають через наявність C_{P1} .

Після розрахунку з довідника вибирається звичайний конденсатор, наприклад, типу МБМ з мінімальною робочою напругою.

На цьому розрахунок емітерного повторювача можна вважати закінченим.

1.2 Завдання для розрахунку емітерного повторювача

Розрахувати емітерний повторювач на складеному транзисторі (рис. 1), якщо відомі такі вихідні дані (табл. А.1, додаток А): амплітуда вхідної напруги $U_{M.ВХ}$, номінальний навантажувальний опір джерела сигналу $R_{ДЖНОМ}$, нижня частота діапазону підсилювальних частот f_H , вища частота діапазону f_B , частотні спотворення на низьких частотах $M_{H.3AG}$.

2 ВИДИ ПІДСИЛЮВАЛЬНИХ КАСКАДІВ. ПІДСИЛЮВАЛЬНИЙ КАСКАД НА БІПОЛЯРНОМУ ТРАНЗИСТОРІ ЗА СХЕМОЮ ІЗ СПІЛЬНИМ ЕМІТЕРОМ

З трьох типів схем увімкнення транзисторів для попереднього підсилення найчастіше застосовують каскад з спільним емітером, що має високий коефіцієнт підсилення за напругою і потужністю, порівняно великий вхідний опір.

Розглянемо розрахунок підсилювального каскаду на прикладі найбільш розповсюдженої резисторної схеми при ввімкненні транзистора за схемою з спільним емітером (СЕ) (рис. 2).

Для проведення розрахунку потрібно знати такі вихідні дані: напруга живлення каскаду E_K ; діапазон частот підсилення $f_H - f_B$; амплітуда змінної складової струму на виході каскаду $I_{M.ВИХ}$ або на вході наступного каскаду; вхідний опір наступного каскаду R'_{BX} ; допустимі значення коефіцієнтів частотних спотворень на нижніх і верхніх частотах M_H та M_B .

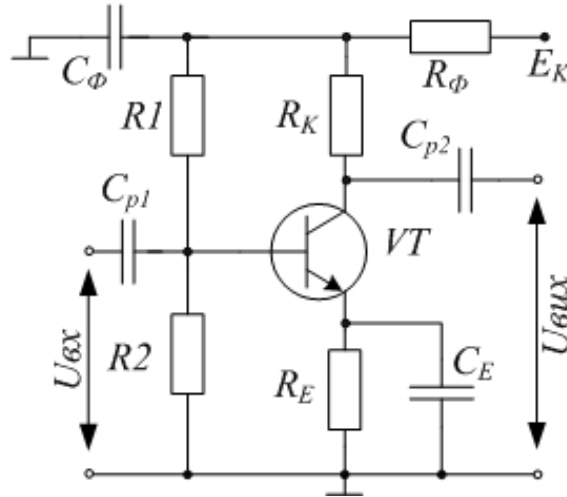


Рисунок 2 – Схема підсилювального каскаду з СЕ

2.1 Порядок проведення розрахунку

Вибираємо тип транзистора, виходячи з таких співвідношень:

$$U_{KE.MAX} > E_K, \quad (2.1)$$

$$I_{K.MAX} > (1,5 \div 2) I_{M.ВИХ}. \quad (2.2)$$

При виборі транзистора можна скористатися таблицями Б.1 та Б.2 додатка Б, в яких наведені основні параметри найбільш розповсюджених біполярних транзисторів.

Визначаємо величину струму спокою в колі колектора:

$$I_{OK} \approx 1,4 \cdot I_{M.ВИХ}. \quad (2.3)$$

Знаходимо опір навантаження в колі колектора. Для цього необхідно задовольнити дві протилежні вимоги. З одного боку бажано, щоб опір R_3 був якомога більшим порівняно з величиною вхідного опору наступного каскаду. З іншого боку збільшення R_3 при заданому струмі колектора призводить до збільшення спаду напруги на цьому резисторі, а значить напруга U_{KE} зменшується до недопустимо малої величини.

З врахуванням цих вимог розрахункова формула має вигляд:

$$R_3 = 0,4 \frac{E_K}{I_{OK}}. \quad (2.4)$$

Визначимо опір резистора $R4$ в колі термостабілізації:

$$R4 \approx 0,2 \frac{E_K}{I_{0K}}. \quad (2.5)$$

З урахуванням отриманих номіналів вибираємо стандартні значення резисторів $R3$ і $R4$ (табл. Г.1 додатка Г).

Потужність розсіювання на резисторі $R3$:

$$P_{R3} = I_{0K}^2 R3. \quad (2.6)$$

Потужність розсіювання на резисторі $R4$:

$$P_{R4} = I_{0K}^2 R4. \quad (2.7)$$

З урахуванням потужності розсіювання на резисторах $R3$ і $R4$ та номінальних значень вибираємо тип і потужність резисторів $R3$ та $R4$.

Знаходимо ємність конденсатора $C3$:

$$C3 = \frac{10^6}{2\pi f_H 0,1R4}, \quad (2.8)$$

де f – вимірюється в Гц;

$R4$ – в Ом;

$C3$ – в мкФ.

Робоча напруга конденсатора $C3$ має перевищувати максимальну напругу на $R4$. Як правило, в транзисторних підсилювачах використовуються електролітичні конденсатори типу К50-6, К50-7, К50-9, К50-12, К50-16.

Визначимо напругу між колектором та емітером транзистора в режимі спокою:

$$U_{0KE} = E_K - I_{0K} (R3 + R4). \quad (2.9)$$

Визначимо струм спокою бази I_{0B} :

$$I_{0B} = \frac{I_{0K}}{h_{21ECP}}, \quad (2.10)$$

де

$$h_{21ECP} = \frac{h_{21E.MIN} + h_{21E.MAX}}{2}. \quad (2.11)$$

Розрахуємо елементи подільника напруги $R1$ і $R2$. Для цього визначимо значення спаду напруги на резисторі $R5$ фільтра з співвідношення:

$$\Delta U_{R5} = (0,1 \div 0,2)E_K. \quad (2.12)$$

Знайдемо напругу на подільнику $R1$ і $R2$:

$$U_{ПОД} = E_K - \Delta U_{R5}. \quad (2.13)$$

Вибираємо струм в колі подільника з умови:

$$I_{ПОД} = (2 \div 5)I_{0Б}. \quad (2.14)$$

Визначаємо $R1$:

$$R1 = \frac{U_{ПОД} - U_{R4} - U_{ОБЕ}}{I_{0Б} + I_{ПОД}}. \quad (2.15)$$

Спад напруги на резисторі $R4$ дорівнює:

$$U_{R4} = 0,1E_K. \quad (2.16)$$

Значення напруги $U_{ОБЕ}$ дорівнює:

$$U_{ОБЕ} = (0,15 \div 0,3)E_K. \quad (2.17)$$

Визначаємо $R2$:

$$R2 = (U_{R4} + U_{ОБЕ}) / I_{ПОД}. \quad (2.18)$$

Знаходимо потужність, розсіювання на цих резисторах:

$$P_{R1} = (I_{ПОД} + I_{0Б})^2 R1, \quad (2.19)$$

$$P_{R2} = I_{ПОД}^2 R2. \quad (2.20)$$

Після вказаних розрахунків вибираються стандартні типонімінали резисторів $R1$ і $R2$ згідно з таблицею Г.1 додатка Г.

Розрахуємо елементи розв'язувального фільтра:

$$C2 = \frac{10 \div 50}{f_H R5}, \quad (2.21)$$

$$R5 = \frac{U_{R5}}{I_{ПОД} + I_{0К}}, \quad (2.22)$$

$$P_{R5} = (I_{ПОД} + I_{0К})^2 R5. \quad (2.23)$$

Враховуюючи, що робоча напруга конденсатора має бути не менше $1,5E_K$, вибираємо стандартні типономінали $R5$ і $C2$ згідно з таблицею Г.1 додатка Г.

Знаходимо амплітудне значення струму на вході каскаду:

$$I_{M.BX} = 1,2I_{M.BIX} / h_{21E.MIN} . \quad (2.24)$$

Знаходимо коефіцієнт підсилення каскаду за напругою на середніх частотах:

$$K_U = h_{21E.MIN} R_{EKB.BIX} / R_{BX} , \quad (2.25)$$

де $R_{BX} = h_{11E}$ – вхідний опір каскаду;

$R_{EKB.BIX}$ – еквівалентний вихідний опір каскаду.

Він визначається за формулою:

$$R_{EKB.BIX} = R3 \parallel R2' \parallel R'_{BX} , \quad (2.26)$$

де $R2'$ – опір резистора $R2$ в подільнику наступного каскаду.

Якщо транзистори в розрахованому і наступному каскадах одноступінні, то можна прийняти:

$$R2' = R2 , \quad (2.27)$$

$$R'_{BX} \approx h_{11E} . \quad (2.28)$$

Знаходимо мінімальне значення коефіцієнта підсилення каскаду за потужністю у відносних одиницях

$$K_P = h_{21E.MIN} \cdot K_U , \quad (2.29)$$

в децибелах

$$K_P (\text{дб}) = 10 \lg K_P . \quad (2.30)$$

Ємність розділового конденсатора $C4$ визначається за формулою:

$$C4 = \frac{10^6}{2\pi f_H (R_{EKB.BIX} + R'_{BX}) \sqrt{M_H^2 - 1}} , \quad (2.31)$$

де $C4$ – вимірюється у мкФ;

f_H – в Гц;

$R_{EKB.BIX}$, R'_{BX} – в Ом.

Робоча напруга конденсатора $C4$ теж дорівнює $1,5E_K$.

Визначаємо величину коефіцієнта частотних спотворень каскаду на верхніх частотах діапазону:

$$M_B = \sqrt{1 + (2\pi f_B R_{EKB.VHX} C_0)^2}, \quad (2.32)$$

де C_0 – еквівалентна ємність, яка навантажує розрахований каскад, фізично вона є сумою ємностей ділянки «колектор – емітер» цього каскаду, ділянки «колектор – емітер» наступного каскаду і монтажних ємностей.

Для спрощення можна вважати $C_0 = 200$ пФ.

Якщо в результаті розрахунків не виникли протиріччя між розрахованими і заданими параметрами, то розв'язок завдання можна вважати закінченим.

Примітка. При розрахунках потрібно використати такі співвідношення:

$$\begin{aligned} h_{11E} &\approx \frac{h_{11B}}{1 + h_{21B}}, & h_{12E} &\approx \frac{h_{11B} \cdot h_{22B}}{1 + h_{21B}} - h_{12B}, \\ h_{21E} &\approx \frac{-h_{21B}}{1 + h_{21B}}, & h_{22E} &\approx \frac{h_{22B}}{1 + h_{21B}}, \\ h_{11B} &\approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}}, & h_{21B} &\approx -\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}}, \\ h_{12B} &\approx \frac{h_{11E} h_{22E}}{1 + h_{21E}} - h_{12E}, & h_{22B} &\approx \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}}. \end{aligned}$$

В таблицях Б.1 та Б2 додатка Б наведені основні параметри найбільш розповсюджених біполярних транзисторів: $P_{K.MAX}$ – максимально доступна постійна потужність, розсіювання на колекторі; $f_{ГР}$ – гранична частота коефіцієнта передачі струму в схемі з спільним емітером; $t_{0.KP}$ – температура зовнішнього середовища; $U_{KE.MAX}$ – максимально допустима напруга «колектор – емітер»; $I_{K.MAX}$ – максимально допустимий постійний струм каскаду; h_{21} – статичний коефіцієнт передачі струму в схемі з спільним емітером (базою); h_{22B} – вихідна повна провідність в схемі з спільним емітером (базою); h_{11B} – вхідний опір в режимі малого сигналу в схемі з спільним емітером (базою).

2.2 Завдання розрахунку підсилювального каскаду

Розрахуйте підсилювальний каскад, виконаний на транзисторі за схемою з спільним емітером (рис. 2). Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці А.2, додатка А.

3 ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИЙ ДИНАМОМЕТР

Серед різноманітних видів динамометрів широке застосування отримали тензорезистивні динамометри, які мають надзвичайно широкий діапазон вимірювання сили від одиниць Ньютонів до десятків МН, а також високу точність вимірювання до 0,01%. Основу таких динамометрів становлять тензорезистивні перетворювачі, або тензорезистори, робота яких основана на властивості матеріалів змінювати свій електричний опір при механічних деформаціях, що виникають під дією прикладеної сили – тензоефект. В тензорезистивних динамометрах найчастіше застосовуються дротові, фольгові та напівпровідникові тензорезистори.

Дротяні тензорезистори

Найпростішим з них може слугувати прямолінійний відрізок тонкого дроту, який закріплений за допомогою клею на контрольованій деталі. Опір такого провідника за незмінної температури дорівнює $R = \rho l/s$, де ρ – питомий опір матеріалу; l – довжина провідника, s – площа поперечного перерізу провідника. При деформації деталі одночасно буде деформуватися і дріт. У результаті цього зміниться опір провідника на величину ΔR . При розтягуванні деталі опір тензорезистора, наклеєного на неї, збільшується, а при стисненні зменшується, тобто відносна зміна опору тензорезистора змінює знак при зміні напрямку діючої сили або моменту. У випадках, коли розміри деталі не дозволяють закріпити на ній тензорезистор у вигляді прямолінійного відрізка дроту досить великої довжини, використовується конструкція тензорезистора у вигляді спіралі.

Перевагами дротяних тензорезисторів є простота конструкції, безінерційність, лінійна статична характеристика, мала маса, невеликі габарити та невисока вартість. До їх недоліків потрібно віднести: невисоку чутливість (необхідне застосування підсилювачів); великий вплив навколишньої температури; можливість використовувати тільки в межах пружних деформацій.

Фольгові тензорезистори

У фольгових тензорезисторів чутливий елемент виконаний з фольги завтовшки 3 – 6 мкм. Принцип дії та основні параметри такі ж, як і у дротяних. Для виготовлення фольги використовують константан, ніхром, титан-алюмінієвий або золото-срібний сплав. Основними перевагами фольгових тензорезисторів є можливість використовувати цей тип перетворювачів будь-якої форми і ефективного відведення тепла в процесі вимірювання, що дозволяє отримати більший вихідний сигнал. Порівняно з дротяними тензорезисторами з фольги мають такі переваги: надійний механічний і тепловий контакт з контрольованою деталлю; більш високі чутливість і точність за рахунок кращої передачі деформації від деталі до

фольги та можливості пропускати через датчик більший вимірювальний струм.

Напівпровідникові тензорезистори

Найбільше практичне застосування отримали напівпровідникові тензорезистори з кристалічних напівпровідникових матеріалів: кремнію, германію, арсеніду галію, антимоніду індію та ін. На відміну від дрітчастих і фольгових тензорезисторів зміна опору при деформації у напівпровідникових тензорезисторів відбувається в основному за рахунок зміни не геометричних розмірів, а питомого опору.

Перевагами напівпровідникових тензорезисторів є висока чутливість (за однакових розмірів в сто разів вище, ніж у дрітчастих); великий вихідний сигнал, що дозволяє часто не застосовувати підсилювач. До їх недоліків належать: мала механічна міцність; великий вплив навколишньої температури; великий розкид параметрів в одній партії перетворювачів – до $\pm 20\%$.

Тензорезистори найчастіше підключаються в мостові схеми постійного струму. В цих схемах необхідно застосовувати не менше двох ідентичних тензорезисторів R_1 та R_4 (рис. 3).

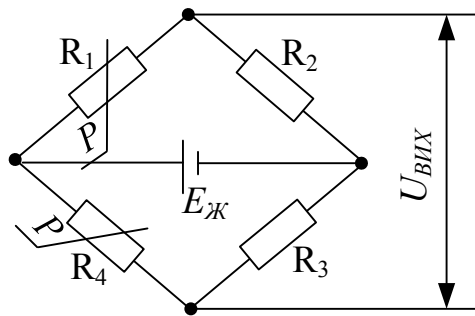


Рисунок 3 – Схема підключення двох тензорезисторів у мостову схему

Ця схема дозволяє значно зменшити вплив зміни температури, тобто забезпечує надійну температурну компенсацію. Вихідна напруга дорівнює:

$$U_{BIX} = U_{BX} \frac{R_1(1 + \varepsilon_R)R_3 - R_2R_4}{(R_1(1 + \varepsilon_R) + R_4)(R_2 + R_3)},$$

де $\varepsilon_R = \Delta R_T / R_{T0}$ – відносна зміна опору тензорезистора.

При застосуванні симетричного моста, коли $R_1 = R_4$, $R_2 = R_3$, отримаємо:

$$U_{BIX} = U_{BX} \frac{\varepsilon_R}{4 + 2\varepsilon_R}.$$

Тензорезистори можна використовувати для вимірювання сили, яка діє на консольну балку. Для вимірювання використовується чотири

тензорезистори (рис. 4, а), які закріплені на балці: два на верхній поверхні і два на нижній, які вмикаються за повномостовою схемою. Ця схема дає максимум чутливості, лінійності та забезпечує термокомпенсацію (рис. 4, б).

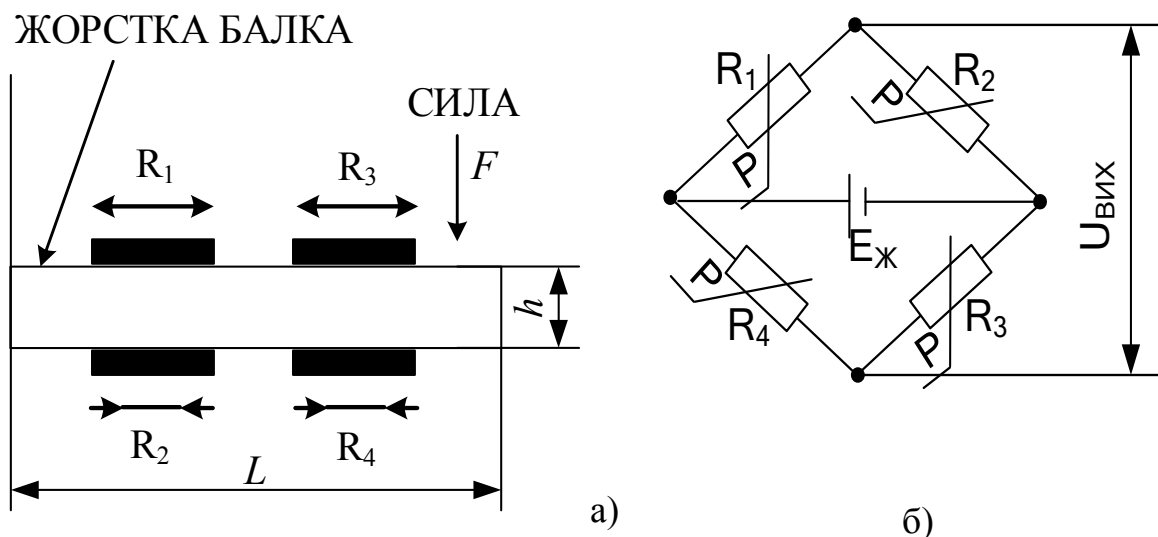


Рисунок 4 – Схема підключення чотирьох тензорезисторів у мостову схему

За такого способу розташування чотирьох ідентичних тензорезисторів, наклеєних на поверхню балки тензорезистори R_1 та R_3 сприймають поздовжню деформацію, а R_2 та R_4 – поперечну, при їх увімкненні в мостове коло (рис. 4, б) вихідна напруга визначається за виразом:

$$U_{\text{вих}} = E_{\text{ж}} \frac{R_{T0}(1 + \varepsilon_R)R_{T0}(1 + \varepsilon_R) - R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)}{[R_{T0}(1 + \varepsilon_R) + R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)][R_{T0}(1 + \varepsilon_R) + R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)]}$$

Також тензорезистори можуть підключатися і в інші схеми. Схеми підключення тензорезисторів у напівмостові схеми зображено на рисунку 5, мостові схеми – на рисунку 6 та схема підключення тензорезисторів у неврівноважений міст – на рисунку 7.

На рисунку 8 подана повномостова схема з прецизійним підсилювачем для вимірювання деформації при випробуванні матеріалу на втому. Міст є інтегральним пристроєм і може бути закріплений на поверхні, деформацію чи вигин, якої потрібно виміряти. В схемі використовується генератор струму збудження для виконання дистанційних вимірювань. Мікросхема ОР177 живить міст струмом 10 мА, використовуючи джерело опорної напруги 1,235 В. Тензодатчик дає вихідний сигнал 10,25 мВ/1000 оvd. Сигнал посилюється інструментальним підсилювачем AD620 з коефіцієнтом підсилення 100. Величину напруги верхньої межі можна встановлювати, підлаштовуючи потенціометр 100 Ом так, щоб при деформації -3500 оvd вихід становив -3,5 В, а для деформації 5000 оvd вихід +5 В.

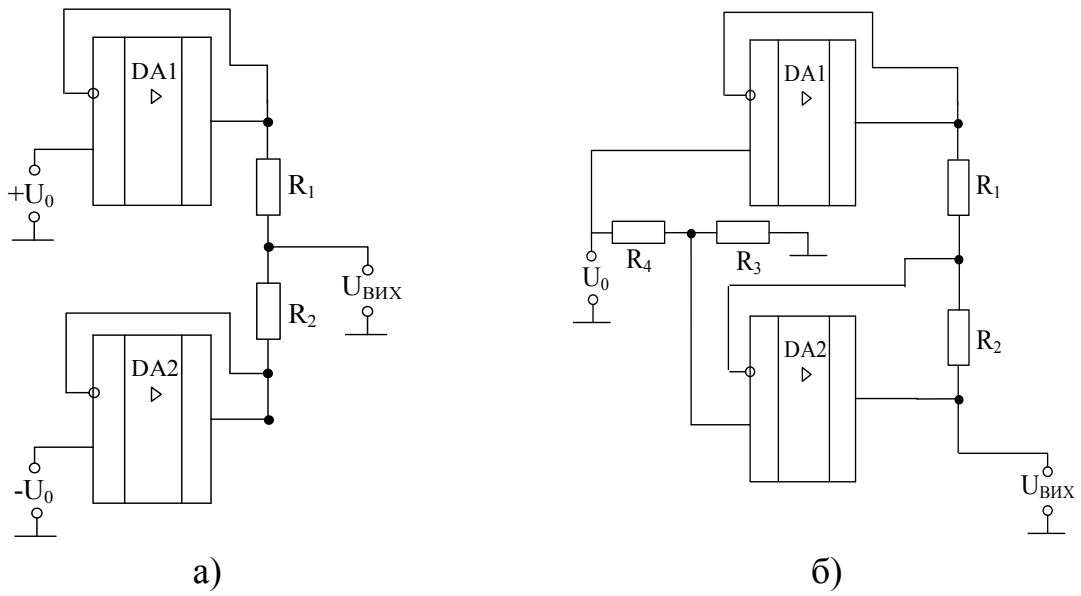


Рисунок 5 – Схеми підключення тензорезисторів у напівмостові схеми

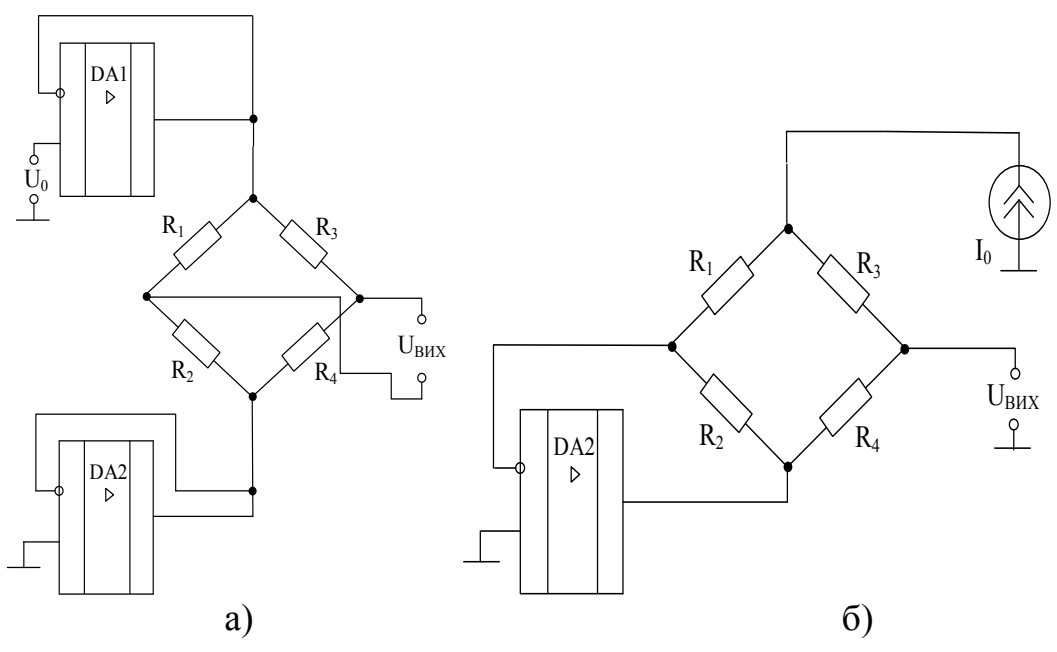


Рисунок 6 – Схеми підключення тензорезисторів у мостові схеми

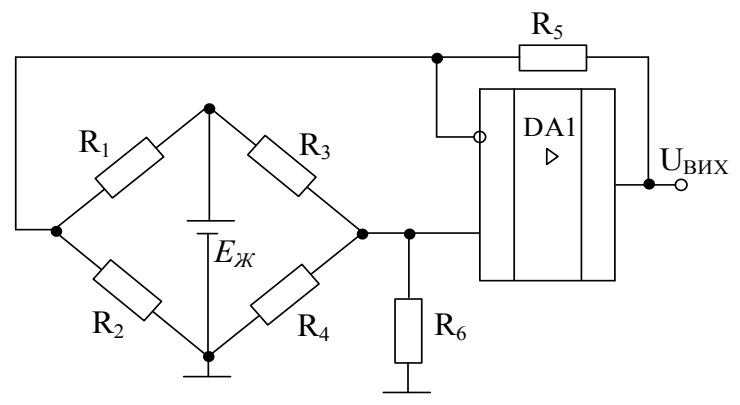


Рисунок 7 – Схема підключення тензорезисторів у невірноважений міст

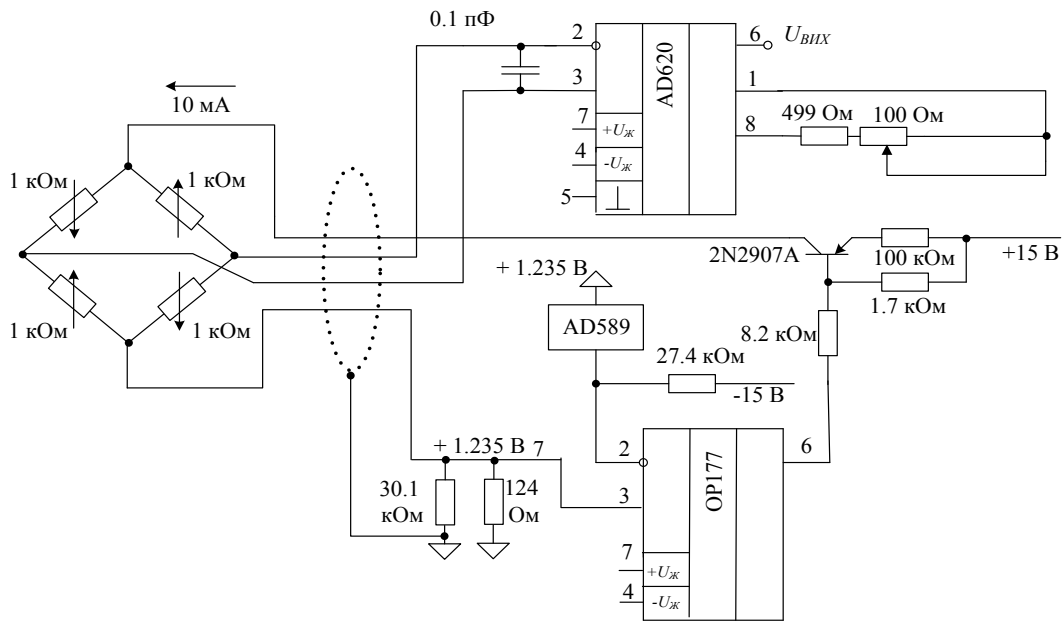


Рисунок 8 – Прецизійний підсилювач для тензорезистора

3.1 Завдання для розрахунку електронного динамометра

Розробити електронний динамометр на операційному підсилювачі, як вимірювальний перетворювач використовувати чотири тензорезистора, які увімкнені в схему неврівноваженого мосту постійного струму при живленні від генератора напруги. Розрахувати електронний динамометр за умови, що $U_{ВИХМАХ} \approx E_{ОП}$. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці А.3 додатка А. Навести повну принципову схему розрахованого електронного динамометра з урахуванням схем увімкнення ОП.

Приклад. Розрахувати електронний динамометр на ОП за таких вихідних даних: тип ОП – 140УД6, вимірювальний перетворювач – тензорезистор, мінімальна діюча сила $F_{min} = 350$ Н, максимальна діюча сила $F_{max} = 600$ Н, робоча довжина балки $L = 600$ мм, ширина балки $b = 60$ мм, товщина балки $h = 10$ мм, $E_{Ж} = 15$ В, за умови, що $U_{ВИХМАХ-ОП} \approx E_{ОП}$, ($E_{ОП}$ – напруга живлення ОП, береться із довідника або таблиці В.1 додатка В).

Розв'язування. Діюча сила прикладена до кінця балки, на якій встановлено чотири тензорезистора (див. рис. 4, а). Для вимірювання сили застосовуємо неврівноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги (див. рис. 4, б).

Дві пари диференціальних тензорезисторів, які утворюють повний тензометричний міст, забезпечують найкращу корекцію температурних похибок і в чотири рази збільшують чутливість, вихідна напруга визначається:

$$U_{ВИХ} = E_{Ж} \frac{R_{T0}(1 + \varepsilon_R)R_{T0}(1 + \varepsilon_R) - R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)}{[R_{T0}(1 + \varepsilon_R) + R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)][R_{T0}(1 + \varepsilon_R) + R_{T0}(1 - \mu\varepsilon_R)]}$$

Враховуючи, що для металевих тензорезисторів відносна зміна опору ε_R не перевищує 0,01, а коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,24 \dots 0,4$, отримаємо:

$$U_{ВИХ} = 0,5E_{Ж}(1 + \mu)\varepsilon_R.$$

Як відомо відносна тензочутливість k :

$$k = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_L} = 1 + 2\mu + \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L}.$$

Для деяких металів $\Delta\rho = 0$, тоді напруга на виході мосту:

$$U_{ВИХ} = 0,5E_{Ж}(1 + \mu)(1 + 2\mu)\varepsilon_L.$$

Деформація балки відбувається за рахунок дії сили F і приводить до зміни ε_L :

$$\varepsilon_L = \frac{F \cdot L}{E \cdot W},$$

де E – модуль пружності балки;

$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ – момент опору балки.

Загальна формула для визначення деформації балки:

$$\varepsilon_L = \frac{6F \cdot L}{E \cdot b \cdot h^2}.$$

Розраховуємо деформацію балки за мінімальної та максимальної сили:

$$\varepsilon_{L_min} = \frac{6F_{min} \cdot L}{E \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 350 \cdot 600}{7200 \cdot 60 \cdot 100} \approx 0,03,$$

$$\varepsilon_{L_max} = \frac{6F_{max} \cdot L}{E \cdot b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 600 \cdot 600}{7200 \cdot 60 \cdot 100} = 0,05.$$

Виконуємо розрахунки величини напруги на виході мосту за F_{min} та F_{max} :

$$U_{ВИХ} = 0,5E_{Ж}(1 + \mu)(1 + 2\mu)\varepsilon_L \approx 0,52 \text{ В},$$

$$U_{ВИХ\ min} \approx 0,52 \text{ В},$$

$$U_{ВИХ\ max} \approx 0,87 \text{ В}.$$

Для вимірювання напруги на виході мосту постійного струму, застосовуємо ОП з диференціальним входом. Визначаємо напругу на виході ОП за F_{min} та F_{max} , якщо $U_{ВИХ\ max_ОП} \approx E_{ОП} \approx kU_{ВИХ}$:

$$U_{ВИХ_ОП}(F_{MIN}) = \left(\frac{R_4}{R_1} + 1\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{ВХ2} - \frac{R_4}{R_1} U_{ВХ1} = kU_{ВХ2} - kU_{ВХ1} =$$

$$= kU_{ВИХmin} = k0,52,$$

$$U_{ВИХ_ОП}(F_{MAX}) = \left(\frac{R_4}{R_1} + 1\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{ВХ2} - \frac{R_4}{R_1} U_{ВХ1} = kU_{ВИХmax} = k0,87.$$

Визначаємо найбільший коефіцієнт підсилення, який має забезпечити ця схема, за умовою $E_{ОП} = 15$ В, тоді $k_{MAX} \approx 17,24$. Приймаємо $k_{MAX} = 16$.

Розраховуємо опори схеми ОП з диференціальним входом $\frac{R_4}{R_1} = 16$ і

$\left(\frac{R_4}{R_1} + 1\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 16$. Якщо прийняти, що $R_1 = 1$ кОм, тоді $R_4 = 16$ кОм, тоді $R_3 = 16$ кОм, $R_2 = 1$ кОм. Для забезпечення отриманих розрахунків необхідно застосовувати підлаштовні резистори.

4 ЕЛЕКТРОННИЙ ТЕРМОМЕТР

Температуру визначають непрямым шляхом за допомогою шкали температури. Діапазон існуючих температур можна поділити на ряд характерних піддіапазонів: наднизькі температури (0 – 4,2 К), низькі (4,2 – 273 К), середні (273 – 1300 К), високі (1300 – 5000 К) та надвисокі (від 5000 К і вище). Наднизькі і низькі температури необхідно вимірювати при проведенні різноманітних фізичних експериментів, і особливо при дослідженні надпровідності та її технічному застосуванні, у криогенній техніці та ін. За верхню межу надто низьких температур умовно прийнята температура, за якої провідники переходять у надпровідний стан. Найбільш часто температури, що вимірюються лежать в області низьких, середніх та високих температур. Такі виміри мають місце у різноманітних галузях народного господарства, при наукових дослідженнях, в медицині та ін. Основними приладами для вимірювання температури є: термометри розширення, манометричні термометри, термометри опору з логометрами або мостами, термопари з мілівольтметрами або потенціометрами, пірометри випромінювання. Залежно від діапазону вимірювання застосовують різні типи термометрів, наприклад: в діапазоні низьких і середніх температур використовуються в основному контактні методи вимірювання, причому найбільш широко на практиці використовуються первинні перетворювачі у вигляді термометрів опору і термопар. Для вимірювання високих та надвисоких значень температур застосовуються безконтактні методи, наприклад, пірометри.

Термопара (термоелектричний термометр) являє собою два різнохідних металевих провідники (термоелектроди), що призначені для вимірювання температури. Кінець термопари, що поміщається в об'єкт вимірювання

температури, називається робочим або «гарячим» спаєм, вільні або «холодні» кінці термопари сполучені з вимірювальним приладом. Термопарою здійснюється перетворення теплової енергії в електричну.

Термометри опору широко застосовуються для вимірювання температури в діапазоні від -200 до $+650$ °С. В деяких випадках вони можуть бути застосовані для вимірювання температури до 1000 °С. Дія термометрів опору ґрунтується на властивості речовини змінювати свій електричний опір за зміни температури. При вимірюванні температури термометр опору занурюють в середовище, температуру якого потрібно визначити. Знаючи залежність опору термометра від температури, можна за зміною опору термометра робити висновок про температуру середовища, в якому він знаходиться. При цьому необхідно мати на увазі, що довжина чутливого елемента у більшості термометрів становить декілька сантиметрів і тому за наявності температурних градієнтів в середовищі термометр опору вимірює деяку середню температуру тих шарів середовища, в яких знаходиться його чутливий елемент.

Розглянемо дві найбільш поширені мостові схеми вимірювання температури на основі термоопору: невідноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги та невідноважений міст постійного струму при живленні від двох генераторів струму.

Невідноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги.

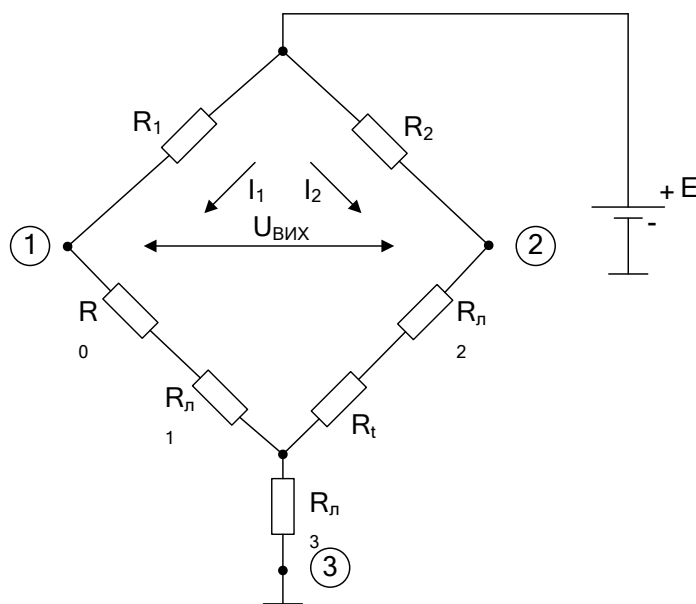


Рисунок 9 – Невідноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги

Рівняння перетворення термоопору:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) . \quad (4.1)$$

Для такої мостової схеми виконуються умови: $R_{Л1} = R_{Л2} = R_{Л3} = R_{Л}$, $R_0 \gg R_{Л}$.

Напруга в точці 1 дорівнює:

$$U_1 \approx \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{Л})}{R_1 + R_0 + 2R_{Л}}. \quad (4.2)$$

Напруга в точці 2 дорівнює:

$$U_2 \approx \frac{E \cdot (R_1 + 2R_{Л})}{R_2 + R_1 + 2R_{Л}}. \quad (4.3)$$

Напруга $U_{ВИХ}$ дорівнює:

$$U_{ВИХ} \approx U_2 - U_1 \approx \frac{E \cdot (R_1 + 2R_{Л})}{R_2 + R_1 + 2R_{Л}} - \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{Л})}{R_1 + R_0 + 2R_{Л}}. \quad (4.4)$$

Виберемо опори R_1 і R_2 з умови отримання максимальної чутливості мосту у врівноваженому стані, коли $R_1 = R_2 = R_0$.

$$U_{ВИХ} \approx \frac{E \cdot R_0^2 \cdot \alpha \cdot t}{4(R_0 + R_{Л})^2 \cdot \left(1 + \frac{R_0 \cdot \alpha \cdot t}{2(R_0 + R_{Л})}\right)}. \quad (4.5)$$

Враховуючи, що $R_0 \gg R_{Л}$, отримаємо:

$$U_{ВИХ} \approx \frac{E \cdot \alpha \cdot t}{4 \cdot \left(1 + \frac{\alpha t}{2}\right)}. \quad (4.6)$$

Як видно з (4.6) вихідна напруга $U_{ВИХ}$ невірноваженого мосту нелінійно залежить від температури.

Визначимо похідну:

$$\frac{dU_{ВИХ}}{dt} \approx \frac{E \cdot \alpha}{(2 + \alpha \cdot t)^2}. \quad (4.7)$$

Коефіцієнт нелінійності вихідної напруги від температури визначається виразом:

$$\varepsilon \approx \frac{\left. \frac{dU_{ВИХ}}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{dU_{ВИХ}}{dt} \right|_{t=t_{\max}}}{\left. \frac{dU_{ВИХ}}{dt} \right|_{t=0}} \cdot 100\%. \quad (4.8)$$

Для діапазону температур $0 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varepsilon = 0,32$ або 32% .

Таким чином, вихідна напруга неврівноваженого мосту постійного струму при його живленні від джерела е.р.с. нелінійно залежить від температури, якщо як одне плече використовується термометр опору. Це призводить до труднощів при розробці принципів схем таких приладів.

Неврівноважений міст постійного струму при живленні від двох генераторів струму.

В цій схемі струми $I_1 = I_2 = I$.

За вихідну напругу $U_{ВИХ}$ приймаємо

$$U_{ВИХ} = U_2 - U_1,$$

де $U_2 = I(R_{л2} + R_t + U_{л3})$,

$U_1 = I(R_{л1} + R_0 + U_{л3})$.

Прийmemo $R_{л1} = R_{л2} = R_{л3} = U_{л}$, $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, тоді:

$$U_2 = I(2R_{л} + R_0(1 + \alpha t)), \quad (4.9)$$

$$U_1 = I(2R_{л2} + R_0), \quad (4.10)$$

$$U_{ВИХ} = I \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot t. \quad (4.11)$$

З виразу (4.11) видно, що напруга між точками 2 і 1 вихідної діагоналі мосту лінійно залежить від температури t термометра опору. Це дозволяє реалізувати прості схеми електронних термометрів.

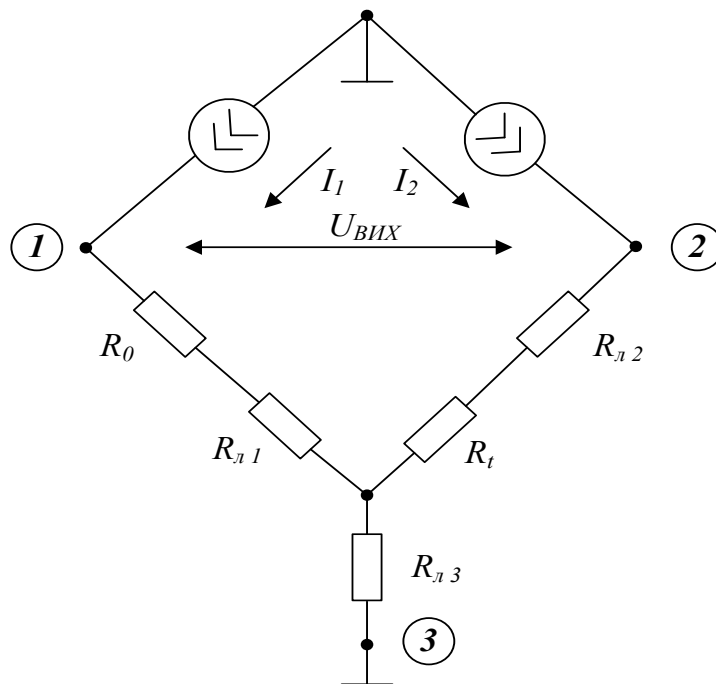


Рисунок 10 – Неврівноважений міст постійного струму при живленні від двох генераторів струму

4.1 Завдання для розрахунку електронного термометра

Розробити електронний термометр на операційному підсилювачі, як вимірювальний перетворювач використовувати термоопір, який увімкнений в схему неврівноваженого мосту постійного струму при живленні від генератора напруги. Розрахувати електронний термометр з врахуванням опору лінії з'єднання, за умови, що $U_{ВИХМАХ} \approx E_{ОП}$. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці А.4 додатка А. Навести повну принципову схему розрахованого електронного термометра з урахуванням схем увімкнення ОП.

Приклад. Розрахувати електронний термометр на ОП з врахуванням опору лінії з'єднання за таких вихідних даних: тип ОП – INA118P, вимірювальний перетворювач – ТО50М, напруга живлення $E = 15$ В, $t_{min} = 5$ °С, $t_{max} = 100$ °С, довжина лінії з'єднання $l = 150$ м, діаметр проводу $d = 0,5$ мм, за умови, що $U_{ВИХМАХ} \approx E_{ОП}$.

Розв'язування. Для вимірювання температури застосовуємо неврівноважений міст постійного струму при живленні від генератора напруги (див. рис. 9), для якого завжди виконуються умови $R_{л1} = R_{л2} = R_{л3} = R_{л}$. Тоді напруга U_1 в точці 1 дорівнює:

$$U_1 \approx \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{R_1 + R_0 + 2R_{л}},$$

напруга в точці 2:

$$U_2 \approx \frac{E \cdot (R_t + 2R_{л})}{R_2 + R_t + 2R_{л}}.$$

Максимальна чутливість мосту у врівноваженому стані настає за умови $R_1 = R_2 = R_0$.

Тоді зміна напруги на виході мосту визначається за формулою:

$$\Delta U \approx U_2 - U_1 = \frac{E \cdot (R_t + 2R_{л})}{R_0 + R_t + 2R_{л}} - \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{2R_0 + 2R_{л}},$$

де E – напруга живлення;

R_t – опір термоопору;

$R_{л}$ – опір лінії з'єднання;

R_0 – початковий опір термоопору.

Статична характеристика термоопору:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t),$$

де температурний коефіцієнт опору α : мідь – $4,26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, платина – $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Опір лінії з'єднання:

$$R_{л} = \rho \frac{l}{S},$$

де питомий опір ρ : мідь – $1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, платина – $10,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.
Визначаємо опір лінії з'єднання:

$$R_{л} = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} = 1,75 \cdot 10^{-8} \frac{4 \cdot 150}{3,1416 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2} \approx 13,37 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо опір вимірювального перетворювача температури за $t_{min} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ та $t_{max} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$R_{MIN} = R_0(1 + \alpha t_{min}) = 50(1 + 4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 5) = 51,065 \text{ Ом,}$$

$$R_{MAX} = R_0(1 + \alpha t_{max}) = 50(1 + 4,26 \cdot 10^{-3} \cdot 100) = 71,3 \text{ Ом.}$$

Проводимо розрахунки величини напруги на виході мосту за t_{min} та t_{max} :

$$\begin{aligned} \Delta U_{MIN} &\approx \frac{E \cdot (R_{MIN} + 2R_{л})}{R_0 + R_{MIN} + 2R_{л}} - \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{2R_0 + 2R_{л}} = \\ &= \frac{15(51,065 + 2 \cdot 13,37)}{50 + 51,065 + 2 \cdot 13,37} - \frac{15(50 + 2 \cdot 13,37)}{2 \cdot 50 + 2 \cdot 13,37} \approx 0,05 \text{ В,} \\ \Delta U_{MAX} &\approx \frac{E \cdot (R_{MAX} + 2R_{л})}{R_0 + R_{MAX} + 2R_{л}} - \frac{E \cdot (R_0 + 2R_{л})}{2R_0 + 2R_{л}} = \\ &= \frac{15(71,3 + 2 \cdot 13,37)}{50 + 71,3 + 2 \cdot 13,37} - \frac{15(50 + 2 \cdot 13,37)}{2 \cdot 50 + 2 \cdot 13,37} \approx 0,85 \text{ В.} \end{aligned}$$

Для вимірювання різниці напруги на виході мосту постійного струму застосовуємо ОП з диференціальним входом. Визначаємо напругу на виході ОП за t_{min} та t_{max} , якщо $U_{ВИХМАХ} \approx E_{ОП} \approx k\Delta U$:

$$\begin{aligned} U_{ВИХ_ОП}(t_{MIN}) &= \left(\frac{R_4}{R_1} + 1 \right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{BX2} - \frac{R_4}{R_1} U_{BX1} = kU_{BX2} - kU_{BX1} = \\ &= k\Delta U_{MIN} = k0,05, \\ U_{ВИХ_ОП}(t_{MAX}) &= \left(\frac{R_4}{R_1} + 1 \right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{BX2} - \frac{R_4}{R_1} U_{BX1} = k\Delta U_{MAX} = k0,85. \end{aligned}$$

Визначаємо найбільший коефіцієнт підсилення, який має забезпечити ця схема, за умовою $E_{ОП} = 15 \text{ В}$, тоді $k_{MAX} \approx 17,64$. Приймаємо $k_{MAX} = 16$.

Розраховуємо опори схеми ОП з диференціальним входом $\frac{R_4}{R_1} = 16$ і

$\left(\frac{R_4}{R_1} + 1\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 16$. Якщо прийняти, що $R_1 = 1$ кОм, тоді $R_4 = 16$ кОм, тоді

$R_3 = 16$ кОм, $R_2 = 1$ кОм. Для забезпечення отриманих розрахунків необхідно застосовувати підлаштовні резистори.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Пояснювальна записка курсового проекту має відповідати вимогам до звітів про НДР/ДСТУ 3008-95 «Державний стандарт України. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

Текстова частина курсового проекту оформлюється відповідно до вимог ГОСТ 2.105-95.

При виконанні структурних, функціональних, принципівих та інших схем кожний елемент (пристрій), який входить до виробу, повинен мати на схемі відповідне графічне зображення на схемі та буквено-цифрове позиційне позначення (ГОСТ 2.702-2011).

Кожна схема повинна мати перелік елементів, в якому записують всі елементи, що зображені на схемі. Форма і розміри переліку елементів мають відповідати міждержавному стандарту ГОСТ 2.701-2008.

Відомості про джерела, внесені до списку, необхідно давати відповідно до стандартів ДСТУ ГОСТ 7.1-2006, ДСТУ 3582:2013.

Можливе використання «Методичних вказівок до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей ВНТУ».

Нижче подано вимоги, особливості та приклади оформлення пояснювальної записки та графічної частини згідно з діючими стандартами:

а) шифр курсового проекту 08-03.ЕПВС.0XX.00.000 XX,

де 08-03 – код кафедри МПА;

ЕПВС – скорочена назва дисципліни «Електронні пристрої випробувальних систем»;

0XX – варіант індивідуального завдання студента;

00 – позначення складальних одиниць;

000 – три символи для позначень простих складальних одиниць, що входять в основні складальні одиниці об'єкта КП;

XX – код неосновного конструкторського документа, наприклад:

ПЗ – пояснювальна записка;

Е1 – схема електрична структурна;

Е2 – схема електрична функціональна;

Е3 – схема електрична принципова;

ПЕЗ – перелік елементів;

б) текст оформляють засобами комп'ютерної техніки (машинописним способом) через 1,5 міжрядкового інтервалу з висотою букв не менше

2,5 мм (наприклад, текстовий редактор Word, шрифт – № 14) без виділення по тексту або підкреслення;

в) використання ксерокопії (сканування) суворо заборонено! Тільки в оглядовій частині проекту (роботи) допускаються чіткі відредаговані копії українською мовою;

г) зразки оформлення:

- титульного аркуша – додаток Д;
- індивідуального завдання – додаток Е;
- першої сторінки змісту – додаток Ж;
- схеми електричної принципової – додаток И;
- переліку елементів – додаток К.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008-95 «Державний стандарт України. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».
2. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».
3. ДСТУ ГОСТ 7.80:2007 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Заголовок. Загальні вимоги та правила складання».
4. ДСТУ 3582:2013 «Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила».
5. ГОСТ 2.105-95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».
6. ГОСТ 2.701-2008 «Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению».
7. ГОСТ 2.702-2011 «Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем».
8. Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у курсовій, кваліфікаційній, магістерській роботах, дисертаційному дослідженні [Електронний ресурс] / О. А. Дікунова. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ» КП, 2015. 10 с. – Режим доступу : http://kdpu-library.ucoz.ru/index/oformlennja_bibliografichnogo_spisku/0-23.
9. Методичні вказівки щодо оформлення курсових проектів і робіт для студентів всіх спеціальностей. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 111 с.
10. Бандак М. І. Електроніка та мікросхемотехніка. Ч. 1 / Бандак М. І., Шабатура Ю. В., Присяжнюк В. В. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 144 с.
11. Шабатура Ю. В. Комп'ютерне моделювання електронних систем / Ю. В. Шабатура, В. В. Присяжнюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 142 с.
12. Долбня В. Т. Електроніка і мікросхемотехніка : навчальний посібник / Долбня В. Т., Сакара Ю. Д., Миланіч Т. В. – Х. : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т», 2006. – 204 с.
13. Електроніка і мікросхемотехніка : у 4 т. / Сенько В. І., Панасенко М. В., Сенько Є. В. та ін. – К. : Оберіг, 2000. – . –
Т. 1 : Елементна база електронних пристроїв. – 2000. – 300 с.
14. Схемотехніка електронних пристроїв та систем : в 6 т. / В. М. Рябенський; МОНМС України. – Миколаїв : Іліон, 2011. – Т. 1: Аналогова схемотехніка. – 2011. – 389 с.
15. Титце У. Полупроводниковая схемотехника : справочник / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. под ред. А. Г. Алексеенко. – М. : Мир, 1982. – 512 с.

Додаток А

Перелік завдань на курсовий проект

Таблиця А.1 – Емітерний повторювач, варіанти завдання

Номер варіанта	Параметри				
	$U_{M.BX}$, В	$R_{ДЖ.НОМ}$, кОм	f_H , Гц	f_B , кГц	$M_{H.ЗАГ}$, дБ
1	0,3	500	100	7	0,8
2	0,25	700	50	10	0,7
3	0,2	400	30	20	0,4
4	0,15	1000	40	5	0,9
5	0,1	550	35	6	0,45
6	0,35	350	45	30	0,5
7	0,25	600	20	25	0,74
8	0,05	1500	85	8	0,6
9	0,4	300	25	30	0,65
10	0,8	450	60	9	0,9
11	0,5	200	10	50	1,1
12	0,01	500	90	25	0,68
13	0,11	680	130	4	0,25
14	0,48	750	95	3	0,35
15	0,8	800	15	5	0,62
16	0,22	730	10	50	0,78
17	0,6	850	20	9	0,34
18	0,05	430	50	80	0,82
19	0,7	620	45	30	0,24
20	0,25	380	65	40	0,44

Таблиця А.2 – Підсилювальний каскад, варіанти завдання

Номер варіанта	Параметри						
	Тип транзистора	f_H , кГц	f_B , кГц	$I_{M.BIX}$, мА	M_H	M_B	E_K , В
1	BD240	1	10	4,6	2	1,5	24
2	MPSA05	1	11	4,7	2,1	1,6	40
3	NSD6180	1	12	4,8	2,2	1,7	40
4	BC368	5	13	4,9	1,5	1,8	9
5	NSDU52	5	14	5	1,6	1,9	24
6	MPSA43	5	15	5,1	1,7	2	40
7	BD240A	1	16	2,8	1,8	2,1	40
8	BC107	1	17	2,9	1,9	2,2	15
9	NSD6181	1	18	3	2,1	2,3	24
10	BC141	1	19	50	1,8	2,4	15
11	BC177	5	20	55	2,1	2,5	24
12	JC546	5	21	40	2,2	2,6	15
13	BD240B	5	22	42	2,1	2,7	40
14	JC549	5	23	35	2,2	2,8	12
15	PN3639	5	24	44	2,2	2,9	5
16	MPS3704	5	25	5,7	2,4	3,1	12
17	TN3567	5	26	5,5	2,1	2,7	40
18	MPS2222	5	27	6	3,2	3,6	15
19	TN3567	5	28	5	3,3	3,7	40
20	BC107BP	5	29	5,6	3,4	3,8	24

Таблиця А.3 – Електронний динамометр, варіанти завдання

Номер варіанта	Параметри						
	Діюча сила F_{min} , Н	Діюча сила F_{max} , Н	Робоча довжина балки L , мм	Ширина балки b , мм	Товщина балки h , мм	Тип операційного підсилювача	Напруга живлення мосту $E_{ж}$, В
1	250	500	500	30	5	140УД1В	10
2	250	500	550	30	6	140УД7	12
3	500	750	500	50	5	140УД8	15
4	500	750	550	30	5	140УД9	20
5	250	500	500	40	5	140УД10	25
6	750	1000	500	50	5	140УД11	30
7	500	750	500	30	6	140УД12	10
8	750	1000	550	30	10	140УД14	12
9	250	500	500	50	5	140УД22	15
10	250	500	550	40	5	153УД3	20
11	500	750	500	40	6	153УД5	25
12	500	750	550	40	5	153УД6	30
13	250	500	500	30	6	154УД1	10
14	750	1000	500	40	5	154УД3	12
15	500	750	500	50	6	154УД4А	15
16	750	1000	550	40	5	157УД1	20
17	250	500	500	40	6	544УД1А	25
18	250	500	550	40	6	544УД2А	30
19	750	1000	500	30	6	574УД1А	9
20	500	750	550	40	6	К1407УД3	12

Таблиця А.4 – Електронний термометр, варіанти завдання

Номер варіанта	Параметри						
	Тип операційного підсилювача	Тип термоопору	Напруга живлення E , В	t_{min} , °С	t_{max} , °С	Довжина лінії l , м	Діаметр проводу d , мм
1	AD817	50П	9	10	200	50	0,5
2	AD829ARZ	100П	12	50	250	100	0,2
3	AD9632	50М	15	5	100	150	0,3
4	BUF602IDBVT	100М	9	50	150	200	0,4
5	BUF634P	50П	12	100	300	50	0,5
6	ICL7611ACPA+	100П	15	150	350	100	0,6
7	INA111AP	50М	9	100	200	150	0,7
8	INA118P	100М	12	5	100	200	0,8
9	LM6172IM	50П	15	200	400	50	0,9
10	LM7171AIM	100П	9	250	450	100	1,0
11	LMH6643MA	50М	12	50	150	150	0,9
12	LMX321AUK+	100М	15	100	200	200	0,8
13	MAX4016ESA+	50П	9	300	500	50	0,7
14	MAX4036EXK+	100П	12	350	550	100	0,6
15	MAX4126ESA+	50М	15	5	100	150	0,5
16	MAX4162EUK+	100М	9	100	300	50	0,6
17	MC33272ADR2G	50П	12	150	350	100	0,7
18	NCS333SN2T1G	100П	15	100	200	150	0,8
19	OP282	50М	9	200	450	200	0,9
20	OPA132UA	100М	12	250	500	50	1,0

Додаток Б

Параметри біполярних транзисторів

Таблиця Б.1 – Параметри біполярних транзисторів виробництва СНД

Модель БТ	Тип БТ	$P_{K,MAX}$, мВт	$f_{ГР}$, МГц	t_0 , °C	$U_{KE,MAX}$, В	$I_{K,MAX}$, мА	$h_{11Б}$, Ом	h_{21E}	$h_{22Б}$, мкСм
КТ104А	р-n-p	150	5		30	50	120	9...36	
КТ104Б	р-n-p	150	5		15	50	120	20...80	
КТ201А	n-p-n	150	10		20	30		20...60	2
КТ201Б	n-p-n	150	10		20	30		30...90	2
КТ201В	n-p-n	150	10		10	30		30...90	2
КТ203А	р-n-p	150	5	-60...+125	60	10	300	9	
КТ203Б	р-n-p	150	5	-60...+125	30	10	300	30...150	
КТ203В	р-n-p	150	5	-60...+125	15	10	300	30...200	
КТ207А	р-n-p	15	5		60	10	300	9	
КТ207Б	р-n-p	15	5		30	10	300	30...150	
КТ208А,В	р-n-p	200	5		20	150		20...60	5
КТ208Б	р-n-p	200	5		20	150		40...120	5
КТ209А	р-n-p	200	5		15			20...120	
КТ301	n-p-n	150	5	-55...+120	30	10		20...60	3
КТ306А	n-p-n	150	300	-55...+100	10	30		20...60	3
КТ312А	n-p-n	225	80	-40...+125	20	30		10...100	4
КТ315Г	n-p-n	150	100		35	100	40	50...350	0,3
КТ324А	n-p-n	15	800	-55...+100	10	20	50	20...60	8
КТ331А	n-p-n	15	250	-55...+100	15	20		20...60	2,5
КТ502А	р-n-p	350	5		40	150		40...120	5
КТ502Б	р-n-p	350	5		40	150		80...240	5

Таблиця Б.2 – Параметри біполярних транзисторів виробництва різних держав

Модель БТ	Тип БТ	$P_{K,MAX}$, мВт	$f_{зр}$, МГц	$U_{KE,MAX}$, В	$I_{K,MAX}$, мА	h_{11E} (h_{IE}), кОм	h_{21E} (h_{FE})	h_{22E} (h_{OE}), мкСм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2N222А	n-p-n	625	300	40	800	0,5...7,5	20...300	110
2N3702	р-n-p	360	100	25	200	30	60...300	60
2N3703	р-n-p	360	100	30	200	15	80...400	50
2N3905	р-n-p	310	200	40	200	5...8	50...200	1...40
2N4401	n-p-n	310	250	40	600	1...15	20...300	1...30
2N4403	р-n-p	310	200	40	600	1,5...15	20...300	1...100
BC107А	n-p-n	300	150	45	100	1,6...4,5	125...260	30
BC107BP	n-p-n	300	150	45	100	6...15	250...900	100
BC141	n-p-n	3,7Вт	50	60	1А	30	100...250	90
BC160-16	р-n-p	3,2Вт	50	40	1А	63...100	40...250	80
BC161-16	р-n-p	3,2Вт	50	60	1А	120	100...250	30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BC177	p-n-p	300	130	45	100	2,5	125...260	35
BC183BP	n-p-n	300	150	30	200	5...8	240...500	120
BC237BP	n-p-n	300	150	45	100	3,2...8,5	240...500	60
BC368	n-p-n	0,8BТ	65	20	1A		85...155	
BC546	n-p-n	500	300	65	100	1,6...4,5	110...450	18...110
BC557	p-n-p	300	75	45	200	1,6...15	200...600	18...110
BD239	n-p-n	30BТ	3	45	2A	8...15	40...125	1...40
BD240	p-n-p	30BТ	3	45	2A		40	
BD241	n-p-n	40BТ	3	45	3A	2,1	20	1,2...40
BD243	n-p-n	65BТ	3	45	6A	15	30	20
JC546	n-p-n	500	300	65	100	90	200...450	150
JC549	n-p-n	500	300	30	100	45	200...800	30
MMBT2222A	n-p-n	350	300	40	100	0,25...8	50...375	5...200
MMBT3904	n-p-n	200	300	40	100	1...10	30...300	1...40
MMBT3906	n-p-n	200	250	40	200	2...12	100...400	3...60
MMBT4401	n-p-n	625	250	40	100	1...15	20...300	1...30
MMBT4403	p-n-p	310	200	40	600	1,5...15	20...300	1...100
MMST3904	n-p-n	200	300	40	200	1...10	100...400	1...40
MMST3906	p-n-p	200	300	40	200	2...12	30...300	3...60
MMST4401	n-p-n	200	250	40	600	1...15	20...300	1...30
MMST4403	p-n-p	200	200	40	600	1,5...15	30...300	1...100
MPS2222	n-p-n	500	250	30	800	2...8	50...300	5...35
MPS3704	n-p-n	625	100	30	800	30	60...300	100
MPSA05	n-p-n	330	100	60	500		100...250	
MPSA43	n-p-n	625	50	200	0,5A		50...200	
NSD6180	p-n-p	10BТ	50	75	2A		40	
NSD6181	p-n-p	10BТ	50	50	2A		40	
NSDU52	p-n-p	6BТ	150	40	800		50...300	
PN2222A	n-p-n	500	300	40	800	0,25...8	50...375	5...200
PN3639	p-n-p	652	500	6	80	2	30...120	2,1
ST5771-2	p-n-p	600	700	15	100	15	30...150	20
TN3567	p-n-p	350	60	60	500		40...120	

Додаток В
Параметри операційних підсилювачів

№	Назва	Напруга живлення, В	Струм споживання, мА	Частота одиничного підсилення, МГц	Швидкість наростання, В/мкс	Вхідний струм, мкА	Зміщення нуля, мВ	Температурний дрейф зміщення нуля, мкВ/°С	Коефіцієнт підсилення, В/мВ	Види корпусу	Виробник	Кількість каналів
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	AD817	5...36	7,5	50	350	3,3	0,5	10	6	SOIC-8 DIP-8	AD	1
2	AD829ARZ	4,5...18	5	600	150	3,3	0,2	0,3	65	SOIC-8	AD	1
3	AD9632	3...6	16	250	1500	2	2	10	52 дБ	SOIC-8	AD	1
4	ADA4850-1	2,7...6	2,4	160	110	2,4	0,6	4	100 дБ	VDFDN-8	AD	1
5	ADA4857-2	4,5...10,5	5	850	2800	2	2	2,3	57 дБ	LFCSP-8 SOIC-8	AD	1
6	BUF602IDBVT	2,8...12,6	5,8	1000	8000	3	16	125	0,99 V/V	SOT23-5	TI	1
7	BUF634P	4,5...36	15	30	2000	0,5	30	100	0,99 V/V	DIP-8	TI	1
8	ICL7611ACPA+	2...16	0,06	0,044	0,016	1 нА	<3	10	104 дБ	DIP-8	MAX	1
9	INA111AP	6...18	3,3	2	17	2 нА	0,2	2	1	DIP-8	TI	1
10	INA114BU	4,5...36	2,2	1	0,6	0,5 нА	0,01	0,1	1	SOIC-16	TI	1
11	INA118P	2,7...36	0,350	0,8	0,9	1 нА	0,025	0,2	1	DIP-8	TI	1
12	LM6172IM	5,5...36	4,6	100	3000	1,2	0,4	6	86 дБ	SOIC-8	TI	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	LM7171AIM	5,5...36	6,5	200	4100	2,7	0,2	35	85 дБ	SOIC-8	TI	1
14	LMH6643MA	2,7...12,8	2,7	130	135	1,6	1	5	96 дБ	SOIC-8 SOT23-5	TI	2
15	LMV791MK	1,8...5,5	1,15	17	10,5	0,05 пА	0,1	1	97 дБ	SOT23-6	TI	1
16	LMX321AUK+	2,3...7	0,21	1,3	1	18 нА	1	6	120	SOT23-5	MAX	1
17	MAX4016ESA+	3,15...11	5,5	150	600	5,4	4	8	59 дБ	SOIC-8 μMAX-8	MAX	2
18	MAX4036EXX+	1,4...3,6	800 нА	0,004	0,0004	1 пА	0,2	1	75 дБ	SOT23-5	MAX	1
19	MAX4126ESA+	2,7...6,2	0,725	5	2	50 нА	0,25	2	106 дБ	SOIC-8	MAX	2
20	MAX4162EUK+	2,5...10	0,025	200	115	1 пА	0,5	2	120 дБ	SOT23-5	MAX	1
21	MAX4223EUT+T	5,7...11	6	1000	1100	4	0,5	2	1,5 дБ	SOT23-6	MAX	1
22	MAX4471ESA+	1,8...5,5	750 нА	0,009	0,002	200 пА	0,5	2	120 дБ	SOIC-8	MAX	2
23	MC33272ADR2G	3...36	2,15	24	10	0,3	0,1	2	65 дБ	SOIC-8	ONS	2
24	NCS20032DR2G	0,3...7	0,23...0,75	7	8	1 пА	0,5	2	92 дБ	SOIC-8	ONS	2
25	NCS20092DR2G	1,8...5,5	0,023	0,35	0,15	1 пА	0,5	1	120 дБ	SOIC-8	ONS	2
26	NCS333SN2T1G	1,8...5,5	0,017...0,023	0,35	0,15	60 пА	0,035	0,03	145 дБ	SOT23-5 TSOP-5	ONS	1
27	OP282	±15	0,25	4	9	3 пА	0,2	10	20	DIP-8 SOIC-8	AD	2
28	OPA132UA	5...36	4	8	20	5 пА	0,5	2	120 дБ	SOIC-8 DIP-8	TI	1
29	OPA355UA	2,5...5,5	14	200	360	3 пА	2	7	92 дБ	SOT23-6 SOIC-8	TI	1
30	OPA627AU	9...36	7	16	55	2 пА	0,28	1,2	116 дБ	SOIC-8 DIP-8	TI	1

Додаток Г

Стандартні типономінали радіоелементів

Таблиця Г.1 – Стандартні типономінали резисторів і конденсаторів

Стандартні типономінали резисторів			Стандартні типономінали конденсаторів		
Умовне позначення ряду (відхилення, %)			Умовне позначення ряду (відхилення, %)		
E24 (±5)	E12 (±10)	E6 (±20)	E24 (±5)	E12 (±10)	E6 (±20)
10	10	10	1,0	1,0	1,0
11			1,1		
12	12		1,2	1,2	
13			1,3		
15	15	15	1,5	1,5	1,5
16			1,6		
18	18		1,8	1,8	
20			2,0		
22	22	22	2,2	2,2	2,2
24			2,4		
27	27		2,7	2,7	
30			3,0		
33	33	33	3,3	3,3	3,3
36			3,6		
39	39		3,9	3,9	
43			4,3		
47	47	47	4,7	4,7	4,7
51			5,1		
56	56		5,6	5,6	
62			6,2		
68	68	68	6,8	6,8	6,8
75			7,5		
82	82		8,2	8,2	
91			9,1		

Додаток Д
(обов'язковий)

Титульний аркуш до курсового проекту

Форма № Н-6.01

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Метрологія та промислова автоматика
(повна назва кафедри)

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Електронні пристрої випробувальних систем
(назва дисципліни)
на тему «Розрахунок пристроїв випробувальних систем»

Студента _____

Напряму підготовки _____

Спеціальності _____

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь,
прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: ____ Оцінка: ECTS ____

Члени комісії: _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 2017 рік

Підпис та дата	Підпис та дата	Інв. №	На зам	Підпис та дата	Інв. №
----------------	----------------	--------	--------	----------------	--------

Додаток Е
(обов'язковий)

Зразок індивідуального завдання до курсового проекту

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МПА, проф., д.т.н.

В. Ю. Кучерук _____

(підпис)

« ____ » _____ 20 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на курсовий проект з дисципліни «Електронні пристрої випробувальних систем»
студенту _____ групи _____

Розробити розрахунок елементів автоматики.

Вихідні дані:

- підсилювальний каскад з СЕ: тип транзистора BC141, $E_K = 15$ В, $I_{M.VIX.} = 50$ мА, $f_H = 1$ кГц, $f_B = 19$ кГц, $M_H = 1,8$, $M_B = 2,4$;
- електронний термометр на ОП: тип операційного підсилювача 140УД10, тип вимірювального перетворювача 50П, $E = 9$ В, діапазон вимірювання температури 10 °С ÷ 200 °С, довжина лінії 50 м, діаметр проводу $0,5$ мм.

Орієнтовний зміст пояснювальної записки до курсового проекту:

Зміст

Анотація

Вступ

1 Види підсилювальних каскадів

2 Засоби вимірювання температури

3 Типові схеми ввімкнення операційного підсилювача

4

Висновки

Література

Додатки

Графічна частина:

Підсилювальний каскад з СЕ. Схема електрична принципова

Підсилювальний каскад з СЕ. Перелік елементів

Електронний термометр на ОП. Схема електрична принципова

Електронний термометр на ОП. Перелік елементів

Дата видачі « ____ » _____ 20 р. Керівник _____

(підпис)

Завдання отримав _____

(підпис)

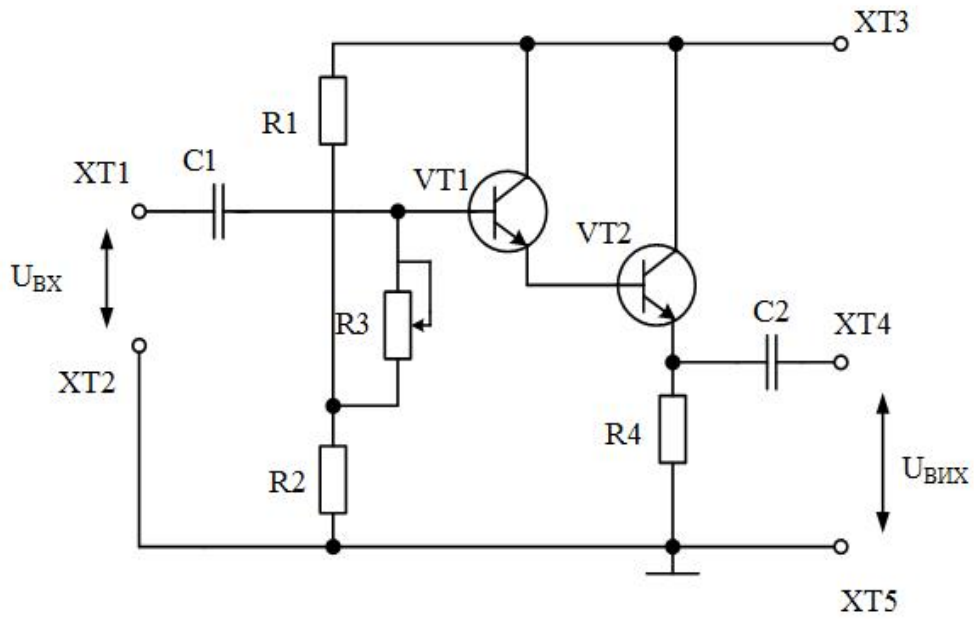
Додаток Ж
(довідковий)

Приклад заповнення першої сторінки змісту

Зміст				
Анотація.....				
Вступ.....				
1 Види підсилювальних каскадів. Підсилювальний каскад із спільним емітером.....				
1.1 Види підсилювальних каскадів.....				
1.2 Розрахунок підсилювального каскаду.....				
2 Засоби вимірювання температури.....				
2.1 Короткі теоретичні відомості.....				
2.2 Розрахунок електронного термометра на операційному підсилювачі.....				
3 Типові схеми ввімкнення операційного підсилювача.....				
Висновки.....				
Література.....				
Додаток А (обов'язковий). Підсилювальний каскад з СЕ. Схема електрична принципова.....				
Додаток Б (обов'язковий). Підсилювальний каскад з СЕ. Перелік елементів.....				
Додаток В (обов'язковий). Електронний термометр на ОП. Схема електрична принципова.....				
Додаток Г (обов'язковий). Електронний термометр на ОП. Перелік елементів.....				

					08-03.ЕПВС.001.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок пристроїв випробувальних систем Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акронімів
Розроб.							1	
Перевір.						ВНТУ, гр. МСС-13		
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.								

Додаток И
(обов'язковий)



					08-03.ЕПВС.001.01.000 ЕЗ		
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лім	Маса	Масштаб
Розробив							
Перевірів							
					Арк 30	Аркушіє	37
Н. контр					ВНТУ		
Затвердж							

Навчальне видання

**Методичні вказівки
до виконання курсового проекту
з дисципліни «Електронні пристрої випробувальних систем»
для студентів напряму підготовки
«Метрологія, стандартизація та сертифікація»
всіх форм навчання**

Укладачі: Олександр Миколайович Васілевський
Василь Васильович Присяжнюк

Рукопис оформлено В. Присяжнюком

Редактор Є. Ганчева

Оригінал-макет підготовлено О. Ткачуком

Підписано до друку 07.05.2018.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 2,46.
Наклад 40 (1-й запуск 1–20) пр. Зам. № 2018-083.

Видавець та виготовлювач
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 65-18-06.
press.vntu.edu.ua;
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.