

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

**СХЕМОТЕХНІКА ПРИСТРОЇВ
ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ**

**Методичні рекомендації до виконання курсових робіт
для студентів спеціальності
6.170102 “Системи технічного захисту інформації”**

КИЇВ 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

СХЕМОТЕХНІКА ПРИСТРОЇВ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

**Методичні рекомендації до виконання курсових робіт
для студентів спеціальності
6.170102 “Системи технічного захисту інформації”**

КИЇВ 2014

УДК 621.3.049.77:004.056.5(076.5)
ББК 3844р
С921

Укладачі: Т.В. Німченко, С.В. Єгоров, Т.Л. Щербак

Рецензент В.П. Квасніков

Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол №___ від __.04.2014 р.)

Схемотехніка присторойв технічного захисту інформації: методичні рекомендації до виконання курсових робіт / уклад.: Т.В. Німченко, С.В. Єгоров, Т.Л. Щербак. – К.: Вид-во Національного авіаційного університету „НАУ-друк”, 2014. – 32 с.

Представлено завдання та методичні рекомендації до написання курсових робіт. Курсові роботи виконуються у сучасних програмних пакетах Multisim чи Electronics Workbench.

Для студентів заочного та дистанційного навчання напряму 6.170102 “Системи технічного захисту інформації”



Загальні методичні рекомендації

Курс "Схемотехніка пристроїв технічного захисту інформації" – одна з основних спеціальних дисциплін, яка потрібна при підготовці студентів, що навчаються за напрямом 6.170102 «Системи технічного захисту інформації»

Мета дисципліни – підготовка студентів до проектування, а також дослідження і технічної експлуатації різноманітних аналогових і цифрових пристроїв.

Вивчаючи дисципліну "Схемотехніка пристроїв технічного захисту інформації", студенти виконують дві курсові роботи, варіанти яких наведені нижче.

Кожне завдання супроводжується короткими методичними вказівками щодо вибору варіанта, вихідних даних і розрахунку електронних схем. Побудова усіх схем виконується у сучасних програмних пакетах Multisim чи Electronics Workbench.

У додатках наведені всі необхідні для виконання курсових робіт довідкові матеріали.

Деякі довідкові матеріали для виконання курсових робіт необхідно взяти з літератури, список якої наведений нижче.

Завдання на курсову роботу №1

Курсова робота №1 складається з п'яти завдань.

Номер варіанта завдання визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки (mn – двозначне число, де m – передостання цифра, n – остання цифра). Якщо дві останні цифри залікової книжки перевищують значення 50 то від mn необхідно відняти 50.

Завдання №1.

Провести розрахунок безтрансформаторного вихідного каскаду (рис. 1).

1. Необхідні початкові данні для обрахунку потрібно взяти з додатку В.

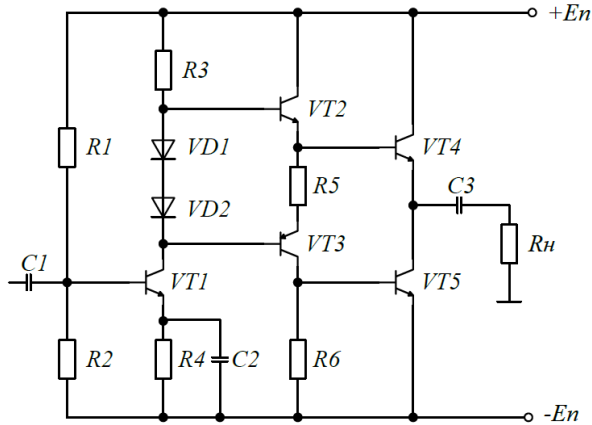


Рис 1. Безтрансформаторний вихідний каскад

Порядок виконання завдання 1

Амплітудне значення колекторної напруги транзисторів VT4, VT5:

$$U_{K4} = U_H \sqrt{2},$$

де U_H – ефективна напруга на навантаженні, В.

Амплітуда імпульсу колекторного струму транзистора

$$I_{K4} = U_{K4} / R_H.$$

Потужність, яка виділяється каскадом у навантаженні

$$P_H = U_H^2 / R_H.$$

Орієнтовна потужність, що розсіюється на колекторі транзистора VT4:

$$P_{K4} = (0,4 \div 0,9) \cdot P_H.$$

2. Використовуючи отримані значення P_{K4} , E , I_{K4} робимо вибір транзисторів VT4, VT5, віддаючи перевагу транзисторам з малим зворотнім струмом I_{K0} .

Транзистори VT4, VT5 підходять лише у тому випадку, коли будуть виконуватися наступні умови: $P_{\text{кдоп}} > P_{\text{к4}}$; $U_{\text{кдоп}} > 2E$; $I_{\text{кдоп}} > I_{\text{к4}}$.

Обираємо транзистор з наступними характеристиками:

$P_{\text{кдоп}}$ – максимальна напруга колектор-емітер обраного транзистора; $I_{\text{кдоп}}$ – максимально допустимий постійний струм колектора; $T_{\text{доп}}$ – максимальна температура переходу. Причому максимальна температура колекторного переходу транзистора обирається з умови $t_{\text{кmax}} = t_{\text{в}} + (15 \div 30)^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{кmax}} < T_{\text{доп}}$.

Потужність, що розсіюється на колекторі транзистора при максимальній температурі довколишнього середовища:

$$P_{\text{кдоп}} = P_{\text{к}} \Big|_{t=25^{\circ}\text{C}} - dP(t_{\text{кmax}} - 25),$$

dP – коефіцієнт, що характеризує зменшення потужності з підвищенням температури Вт/ $^{\circ}\text{C}$.

3. Далі проводимо вибір режиму роботи транзистора по постійному струму та побудову лінії навантаження.

Струм спокою колектора транзисторів VT4, VT5 повинен бути рівним $I_{\text{ок4}} = (0,5 \div 2) \cdot 10^3 \cdot I_{\text{к0}}$. Отримане значення струму спокою також повинно бути не більше допустимого значення: $I_{\text{ок4max}} = (0,01 \div 0,1) \cdot I_{\text{к4}}$. Якщо ці умови не виконуються потрібно підібрати транзистор з меншими значеннями струму колектора.

На сімействі вихідних статичних характеристик транзисторів VT4, VT5 будують навантажувальні прямі по змінному струму з координатами (рис. 2).

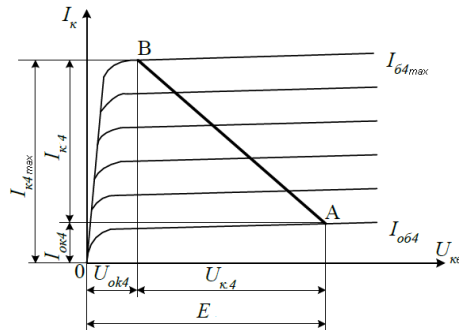


Рис.2 Побудова навантажувальної прямої для транзисторів VT4, VT5

Координати точок A та B : $A(I_{0K4}, E)$; $B(I_{0K4} + I_{K4}; E - U_{K4})$.

4. Переносимо відповідні значення струмів на вхідні характеристики (рис. 3).

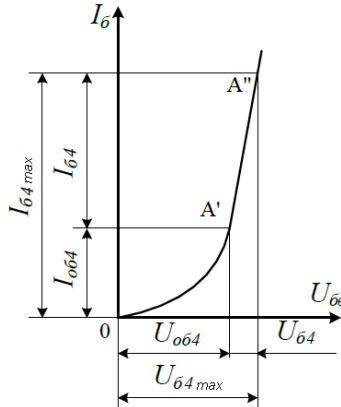


Рис.3 Визначення параметрів вхідного сигналу транзисторів VT4, VT5

5. З рис.3 визначаємо для транзисторів VT4, VT5 наступні параметри:

$U_{\text{б4}}$ – амплітудне значення напруги на базо-емітерному переході;

$U_{\text{об4}}$ – напруга спокою бази;

$U_{\text{б4 max}}$ – максимальне значення напруги на базо-емітерному переході;

$I_{\text{б4}}$ – амплітудне значення струму бази;

$I_{\text{об4}}$ – струм спокою бази;

$I_{\text{б4 max}}$ – максимальне значення струму на базо-емітерному переході.

Вхідний опір транзисторів VT4, VT5 – $R_{\text{вхб4}} = U_{\text{б4}} / I_{\text{б4}}$.

Номинали резисторів R_5 та R_6 : $R_5 = R_6 = (2-5)R_{\text{вхб4}}$.

6. Після розрахунку необхідно вибрати значення опорів у відповідності з рядом номінальних значень (додаток С).

7. Зробити вибір передвихідних транзисторів та режимів їх роботи по постійному струму.

Струм спокою емітерних транзисторів VT2, VT3

$$I_{\text{е2}} = I_{\text{об4}} + \frac{U_{\text{об4}}}{R_5}$$

Амплітудне значення струму емітера транзисторів VT2, VT3

$$I_{e2} = \frac{U_{\bar{6}4}}{R_3 \parallel R_{\text{ex}\bar{6}e4}}.$$

Прийемо $I_{K2} \approx I_{e2}$. Аналогічно вибору вихідних транзисторів обираємо VT2, VT3. Транзистори підходять лише за умови:

$$P_{\text{КДОП}} > \frac{P_{I\bar{6}4}}{I_{K4}},$$

$$U_{\text{КЕДОП}} > 2E,$$

$$I_{\text{КДОП}} > I_{K\text{max}} = I_{K2} + I_{OK2} \approx I_{e2} + I_{oe2}.$$

Для побудови лінії навантаження по постійному струму транзисторів VT2, VT3 обираються наступні координати (рис. 4): $A1(I_{OK2}, E - U_{\bar{6}4})$, $A2(I_{OK2} + I_{K2}, E - U_{\bar{6}4} - U_{K2})$, де $U_{K2} = U_{K4} + U_{\bar{6}4}$.

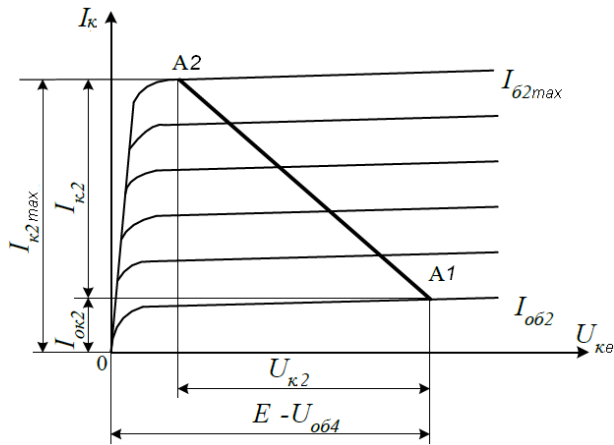


Рис. 4 Побудова навантажувальної прямої транзисторів VT2, VT3

Переносимо навантажувальну пряму на вхідну характеристику (рис. 5).

8. За графіками (рис.5) визначимо додаткові характеристики транзисторів VT2, VT3:

$U_{\bar{6}2}$ – амплітудне значення напруги на базо-емітерному переході;

$U_{\bar{6}e2}$ – напруга спокою бази;

$I_{\bar{6}2}$ – амплітудне значення струму бази;

$I_{\bar{6}e2}$ – струм спокою бази.

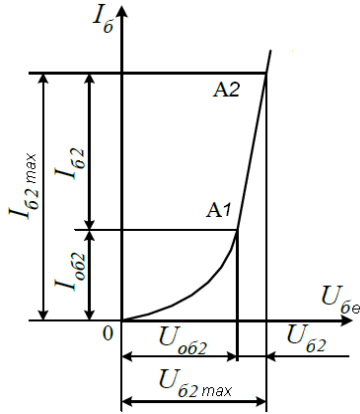


Рис.5 Визначення параметрів вхідного сигналу транзисторів VT2, VT3

9. Визначення основних параметрів каскаду, що зібраний на транзисторах VT2, VT3, VT4, VT5.

Вхідний опір транзистора VT2, VT3: $R_{вх\delta 2} = U_{\delta 2} / I_{\delta 2}$. Вхідний опір верхнього плеча вихідного каскаду на VT2, VT4:

$R_{вх24} = R_{вх\delta 2} + (R_5 \parallel R_{вх\delta 2}) \cdot \frac{I_{K2}}{I_{\delta 2}} + R_H \cdot \frac{I_{K4}}{I_{\delta 2}}$. Вхідний опір нижнього плеча вихідного каскаду VT3, VT5:

$$R_{вх35} = R_{вх\delta 3} + R \cdot \frac{I_{K5}}{I_{\delta 3}}$$

Амплітудні значення вхідної напруги для плечей:
 $U_{вх2} = U_{\delta 2} + U_{\delta 4} + U_{K4}$; $U_{вх3} = U_{\delta 3} + U_{K5}$.

Струм спокою емітера транзистора VT1: $I_{oe1} = I_{одVD} \geq (2 \div 3) \cdot I_{\delta 2}$.
 Якщо $I_{oe1} < 1mA$ приймаємо $I_{oe1} = (1 \div 10) mA$.

Необхідне падіння напруги $U_{од}$ на діодах VD1 (VD2) при струмі $I_{одVD}$:

$$U_{од} = 2U_{\delta 2} + U_{\delta 4}$$

Для визначення кількості діодів у ланцюзі зміщення необхідно скористатися вольт-амперною характеристикою діоду (отримане значення заокруглюється в більший бік): $N_d = U_{од} / U_{од}^o$, де $U_{од}^o$ – падіння напруги на одному діоді при прямому струмі $I_{одVD}$.

Величину опору R_3 визначають наступним чином:

$$R_3 = \frac{2E - U_{од}}{2I_{одVD}}.$$

Обираємо транзистор VT1. транзистор підходить лише тоді, якщо виконується рівність $U_{едЛОП} > 2E$ та $I_{кДЛОП} > 2I_{ое1}$.

Вхідний опір верхнього плеча з урахуванням R_3 : $R_{вхверх} = R_3 \parallel R_{вх24}$, а $R_{вхниз} = R_3 \parallel R_{вх35}$.

10 Розрахувати:

Середній опір плечей: $R_{вх} = \frac{1}{2} \cdot (R_{вхниз} + R_{вхверх})$.

Величина опору R_4 : $R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{ое1}}$, де $U_{R4} = 2E(0,1 \div 0,3)$.

Значення струму бази спокою транзистора VT1: $I_{об1} = \frac{I_{ое1}}{h_{21e\min}}$, де $h_{21e\min}$ – мінімальний коефіцієнт передачі струму бази. Струм подільника: $I_{од} = (2 \div 5) \cdot I_{об1}$.

Значення опорів подільника: $R_2 = \frac{U_{об1} + I_{R4}}{I_{од}}$, $R_1 = \frac{2E - U_{об1} - U_{R4}}{I_{об1} + I_{од}}$.

Вхідний опір транзистора VT1: $R_{вхVT1} = r_{\bar{o}} + \frac{0,025}{I_{ое1}} \cdot (1 + h_{21e\min})$, де

$r_{\bar{o}} = \frac{U_{обVT1} - 0,6}{I_{обVT1}}$ – визначається по вхідній характеристиці транзистора VT1.

Вхідний опір вихідного каскаду: $R_{вхкк} = R_{вхVT1} \parallel R_1 \parallel R_2 /$

Коефіцієнт підсилення по напрузі попереднього підсилювача на транзисторі VT1: $K_{увТ1} = h_{21e\min} \cdot \frac{R_{вх}}{R_{вхкк}}$.

Коефіцієнт підсилення за напругою верхнього та нижнього плеча на транзисторах: $K_{U24} = \frac{U_{K4}}{U_{вх2}}$ та $K_{U35} = \frac{U_{K5}}{U_{вх3}}$.

Коефіцієнт підсилення по напрузі вихідного каскаду:

$$K_{\text{вих}} = 0,5 \cdot K_{\text{УТ1}} \cdot (K_{\text{У24}} + K_{\text{У35}}).$$

Значення потужності, яка розсіюється одним транзистором VT4,

$$\text{VT5: } P_{K4\text{max}} = 0,32E \left(\frac{2}{\pi} I_{K4} + (\pi - 1) \cdot I_{OK4} \right) - 0,1U_{K4} I_{K4}.$$

Коефіцієнт корисної дії вихідного каскаду:

$$\eta = \frac{P_H}{2E(I_{OK4} + I_{ODVD} + I_{OD} + I_{OK2} + \frac{1}{\pi}(I_{K4} + I_{K2}))}.$$

Завдання №2.

Розрахувати параметри елементів підсилювача на біполярному транзисторі (БТ). Параметри транзистрів необхідні для обрахунків наведено в додатку А. Схема підсилювача наведена на рис. 6. Побудувати наступні графіки:

- напруги на виході ненавантаженого джерела сигналу;
- напруг у точках 1, 2, 3, 4, 5 при подачі на вхід підсилювача напруги джерела сигналу й наявності напруги живлення;
- напруги $U_{ке}$.

Привести основні параметри застосовуваного БТ.

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 1.

Тип транзистора обирається згідно табл. 2.

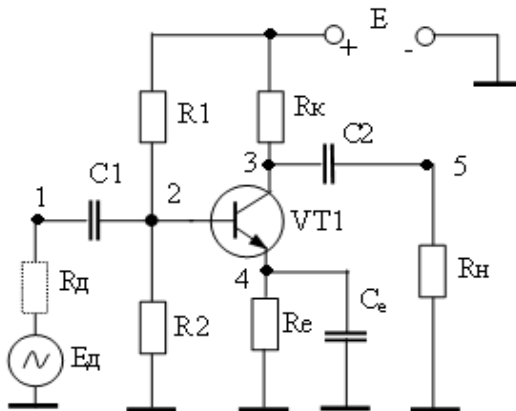


Рис. 6. Принципова схема підсилювального каскаду

Таблиця 1

Найменування параметра	Одиниця виміру	Формула для розрахунку параметра
Напруга джерела сигналу	мВ	$E_{дж} = (mn+40)/20$
Внутрішній опір джерела сигналу	Ом	$R_H = (120-mn) \cdot 5$
Нижня гранична частота посилюваних сигналів	Гц	$f_H = (mn+100) \cdot 2$
Верхня гранична частота посилюваних сигналів	Гц	$f_B = (mn+100) \cdot 50$
Величина навантаження	кОм	$R_H = m+10$
Ємність монтажу	пФ	$C_M = (150-mn)/20$

Таблиця 2

Варіант	0-8	9-16	17-24	25-32	33-40	41-50
Тип транзистора	КТ355А	КТ343А	КТ347А	КТ201А	КТ312В	КТ361Б

Порядок виконання завдання 2

Розрахунок підсилювача виконувати, користуючись схемою підсилювача, наведеною на рис. 6.

Процедура обрахунку подібна до процедури наведеної при обрахунках першого завдання.

Розрахунок підсилювача потрібно проводити в такій послідовності.

1. Визначаємо напругу живлення підсилювача. Для заданого типу транзистора повинна виконуватися умова:

$$U_{ке\ max} > E.$$

2. На вхідній характеристиці транзистора (при $U_{ке} \neq 0$) визначаємо параметри робочої точки $I_{\beta 0}$, $U_{\beta e 0}$ (режим спокою).

3. Визначаємо величину $U_{ке 0}$:

$$U_{ке 0} = (0.4 \dots 0.5)E.$$

4. На вихідних характеристиках транзистора визначаємо параметр робочої точки $I_{к 0}$.

5. За отриманим значенням E , $I_{к 0}$, $U_{ке 0}$ будуємо динамічну характеристику транзистора.

6. Знаходимо величину опору R_k :

$$R_k = 0.4E / I_{к 0}.$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R_k , дорівнює

$$P_{R_k} = I_{K0}^2 \cdot R_k.$$

7. Визначаємо величину опору R_e в ланцюзі термостабілізації.
Знаходимо спадання напруги на резисторі R_e :

$$U_{Re} = E - U_{ке0} - 0.4E.$$

Далі визначаємо величину резистора R_E

$$R_e = U_{Re} / I_{K0}.$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R_e , дорівнює

$$P_{Re} \approx I_{K0}^2 \cdot R_e.$$

За результатами розрахунків вибираємо стандартні значення й тип резисторів R_k і R_e .

8. Знаходимо ємність конденсатора C_e :

$$C_e = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_H \cdot 0.1 \cdot R_4} \text{ (мкФ)}.$$

Робоча напруга на конденсаторі C_e повинна перевищувати максимальну напругу на резисторі R_e .

9. Знаходимо вхідний опір транзистора (у точці спокою по вхідній характеристиці).

$$R_{exVT} = \frac{\Delta U_{\bar{be}}}{\Delta I_{\bar{b}}}.$$

Вхідний опір каскаду

$$R_{BX} = \frac{R_1 R_2 R_{exVT}}{R_1 R_2 + R_1 R_{exVT} + R_2 R_{exVT}}.$$

10. Визначаємо елементи дільника напруги в ланцюзі бази R_1 і R_2 .

Вибираємо струм у ланцюзі дільника з умови

$$I_D = (4 \dots 5) I_{B0}.$$

Визначаємо величини R_1 і R_2 по формулах:

$$R_1 = \frac{U_{ке0} + U_{Rk} - U_{\bar{be}0}}{I_D + I_{B0}},$$

$$R_2 = \frac{U_{Re} + U_{\bar{be}0}}{I_D}.$$

Варто перевірити виконання умови:

$$R_2 = (5 \dots 10) R_{BX}$$

і визначити потужність, що розсіюється на резисторах, та вибрати тип резисторів і їх номінал (за стандартом).

11. Знаходимо величину напруги на вході підсилювача:

$$U_{\text{вх}} = \frac{E_{\text{ДЖ}} \cdot R_{\text{вх}}}{R_{\text{ДЖ}} + R_{\text{вх}}}.$$

12. Визначаємо коефіцієнт підсилення каскаду по напрузі на середніх частотах:

$$K_U = \frac{h_{21E\text{min}} \cdot R_{\text{екв}}}{R_{\text{вх}}}$$

і в децибелах

$$K_U \text{ дБ} = 20 \cdot \lg K_U.$$

Еквівалентний вихідний опір каскаду

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}.$$

13. Знаходимо величину напруги вихідного сигналу на середніх частотах:

$$U_{\text{вих}} = K_U \cdot U_{\text{вх}}.$$

14. Визначаємо величину розділового конденсатора C2:

$$C_2 = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_H \cdot R_{\text{екв}}}.$$

15. Розраховуємо коефіцієнт частотних спотворень на верхніх частотах діапазону:

$$M_e = \sqrt{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_a \cdot R_{\text{екв}} \cdot (C_{\text{ке}} + C_m))^2},$$

де C_m – паразитна ємність монтажу, $C_{\text{ке}}$ – ємність ділянки колектор-емітер.

16. Знаходимо мінімальне значення коефіцієнта підсилення каскаду по потужності:

$$K_P = h_{21E\text{min}} \cdot K_U$$

і в децибелах

$$K_P \text{ дБ} = 10 \cdot \lg K_P.$$

Завдання №3.

Розрахувати інвертуючий та неінвертуючий підсилювачі на операційному підсилювачі (ОП). Схема повинна містити ланцюги частотної корекції та балансування нуля.

Привести опис роботи і основні параметри застосованої мікросхеми.

Вихідні дані для розрахунку наведені в додатку Б.

Тип ОП визначається за номером залікової книжки студента (табл. 3).

Таблиця 3

Варіант	0-8	9-16	17-24	25-32	33-40	41-50
Тип ОП	К140УД7	К140УД8	К544УД2	К153УД5	К574УД1	К153УД1

Порядок виконання завдання 3

Інвертуючий підсилювач зображено на рис. 7.

Коефіцієнт підсилення підсилювача $K_U = \frac{R_{зз}}{R_1 + R_{дж}}$ (при $K_U \ll A$), де

$R_{зз}$ – опір зворотного зв'язку.

Вхідний опір підсилювача $R_{вх\text{відс}} = R_1$.

Вихідний опір підсилювача $R_{вих} = \frac{K_U}{A} \cdot R_{вих}$.

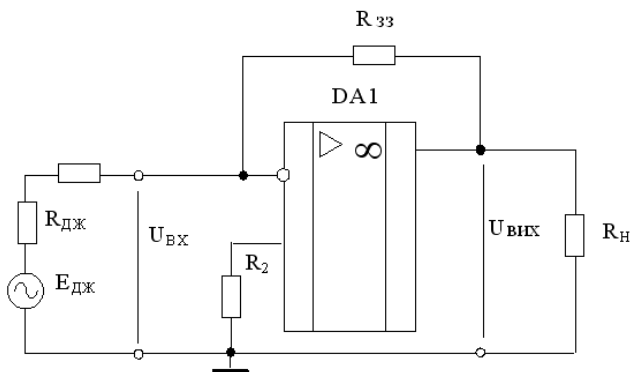


Рис. 7. Схема інвертуючого підсилювача

де: K , $R_{вих}$ – коефіцієнт підсилення і вихідний опір ОП без зворотного зв'язку.

Величина опору R_2 дорівнює величині опору, який підключеного до інвертуючого входу:

$$R_2 = \frac{(R_{ДЖ} + R_1) \cdot R_{33}}{R_{ДЖ} + R_1 + R_{33}} .$$

Неінвертуючий підсилювач наведено на рис.8.

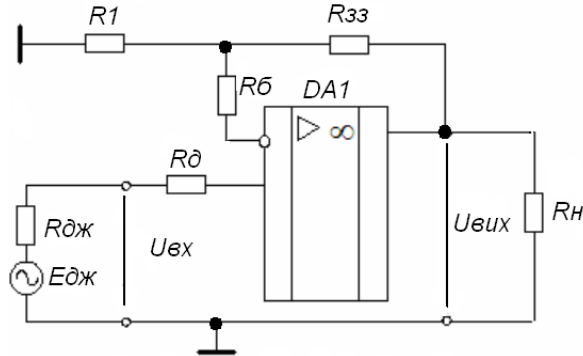


Рис. 8. Схема неінвертуючого підсилювача

Коефіцієнт підсилення підсилювача $K_U = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}$ (при $K_U \ll A$).

Вхідний опір підсилювача $R_{вх} = R_{б} \cdot \frac{A}{K_U}$.

Вихідний опір підсилювача $R_{вих} = \frac{K_U}{A} \cdot R_{н}$.

Верхня гранична частота смуги пропускання $f_B = \frac{f_1}{1 + K_U}$.

Де: $R_{вх}$, f_1 – вхідний опір і частота одиничного посилення ОП без зворотнього зв'язку.

При малих значеннях $R_{ДЖ}$ величина баластного резистора $R_б = 0$; при цьому величина додаткового резистора

$$R_д = \frac{R_1 \cdot R_{33}}{R_1 + R_{33}} - R_{ДЖ} .$$

При $R_д = 0$

$$R_б = R_{ДЖ} - \frac{R_1 \cdot R_{33}}{R_1 + R_{33}} .$$

Після закінчення розрахунків неінвертованого підсилювача варто перевірити, що величина трьох паралельно включених резисторів R_1 , R_{33} і R_H не менше величини припустимого навантаження на ОП.

Завдання № 4.

Розрахувати симетричний мультівібратор на ОП. Тип ОП визначається табл. 3. Вихідні дані для розрахунку:

- амплітуда імпульсів $U_{\max} \geq \frac{m+4}{2}$ (В);

- частота імпульсів $F = (n+5)$ (кГц);

- опір навантаження $R_H = (n+2)$ (кОм).

Навести описання принципу роботи симетричного мультівібратора на ОП.

Побудувати графіки напруг у точках 1, 2, 3 відносно корпусу (за наявності напруги живлення).

Визначити тривалість фронту згенерованого імпульсу.

Порядок виконання завдання 4

Схема симетричного мультівібратора на ОП зображена на рис. 9.

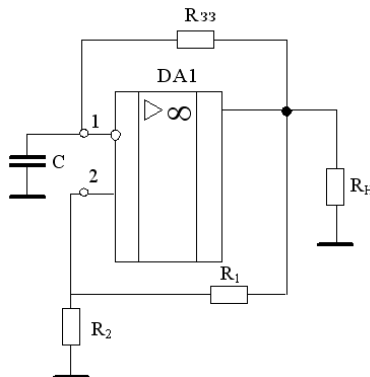


Рис. 9. Схема симетричного мультівібратора на ОП

Розрахунок мультівібратора потрібно проводити в такій послідовності.

1. З умов $R_{\text{вихОП}} \gg R_{33}$; $\gamma = R_2 / (R_1 + R_2) \ll 1$; $R_2 \gg R_{\text{вихОП}}$ вибираємо опори резисторів: R_{33} , R_2 , $R_1 = 10R_2$, причому $R_1 + R_2 = (20 \dots 200)$ кОм.

2. Визначимо максимальний вихідний струм ОП в схемі мультівібратора. Струм часозадавального конденсатора С змінюється під час перезаряду й досягає максимального значення

$$I_{C\max} = \frac{(1+\gamma) \cdot |U_{\text{вих}}|}{R_{\text{зз}}}$$

у момент перемикання схеми при спаданні напруги на резисторі R, яка дорівнює $(1+\gamma) \cdot |U_{\text{вих}}|$.

Струм ланцюга зсуву через резистори R₁ і R₂

$$I_{\text{зм}} = \frac{|U_{\text{вих}}|}{R_1 + R_2}$$

Максимальний струм через навантаження

$$I_{\text{н}} = \frac{|U_{\text{вих}}|}{R_{\text{н}}}$$

Максимальний вихідний струм операційного підсилювача в схемі мультівібратора не повинен перевищувати максимально припустимого для даного типу ОП значення $I_{\text{вих}}$, тобто

$$I_{\text{вихmax}} = I_{C\max} + I_{\text{зм}} + I_{\text{н}} \leq I_{\text{вих}}$$

Якщо виявиться, що $I_{\text{вихmax}} \geq I_{\text{вих}}$, то варто збільшити опори резисторів R_{зз}, R₁, R₂ (або використовувати інший тип ОП) і зробити знову перевірочний розрахунок.

3. Використовуючи формулу для тривалості імпульсу

$$t_{\text{н}} = R_{\text{зз}} \cdot C \cdot \ln\left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1}\right)$$

і з огляду на те, що період проходження імпульсів $T=2t_{\text{н}}$, визначаємо ємність часозадавального конденсатора С.

4. Визначаємо тривалість фронту імпульсів по заданій швидкості зміни вихідної напруги U.

Завдання №5.

Перевірити роботу кожної схеми в програмному пакеті Multisim чи Electronics Workbench. Перевірку (моделювання) схем здійснювати відповідно до вихідних даних.

Роздрукувати схеми з програмного пакета Multisim чи Electronics Workbench, а також осцилограми роботи схем.

Завдання на курсову роботу №2

1. Необхідно спроектувати цифровий автомат із двома режимами роботи із заданим K_L (варіанти задані в табл. 4). Автомат повинен управлятися вхідним сигналом M ($M = 0$ – підсумовуючий або віднімальний лічильник; $M = 1$ – підсумовуючий або піднімальний лічильник у коді, що заданий в табл. 4).

2. Розробити схему автомата на основі мікросхем серії K155 і K555.

3. Перевірити роботу автомата в пакеті Electronics Workbench чи Multisim (модель цифрового автомата на CD-диску прикласти до роботи).

Номер завдання повинен відповідати двом останнім цифрам залікової книжки студента до числа 50. Понад число 50 номер завдання відповідає різниці між двома останніми цифрами номера залікової книжки й числом 50. Наприклад, дві останні цифри залікової книжки 98. Беремо $98-50=48$. Отже, номер завдання – 48 (див. табл. 4).

Примітка: Знак «+» позначає підсумовуючий лічильник, а знак «-» – віднімальний лічильник

Пояснювальна записка повинна містити:

1. Титульний аркуш.
2. Завдання.
3. Граф автомата.
4. Кодову таблицю переходів автомата.
5. Функції порушення й мінімізацію цих функцій за допомогою карт Карно.
6. Електричну схему автомата на елементах серії K155.
7. Таблиці параметрів, обраних у довіднику інтегральних мікросхем.
8. Тимчасові діаграми роботи автомата.
9. Розрахунок максимальної частоти синхронізації з підрахунком затримок елементів схеми.
10. Результати моделювання автомата в пакеті Electronics Workbench чи Multisim.
11. Роздруковку схеми з пакета Electronics Workbench чи Multisim.
12. Висновки.

Таблиця 4

№ п/п	Лічильник						Комбіна- ційна схема	Тип тригера
	M=0	K _{СЧ}	Тип	M=1	K _{СЧ}	Тип		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	Прямий код	16	+	Код Грея	16	+	I-НІ	RS
01	Прямий код	9	-	Код Айкена	10	+	АБО-НІ	JK
02	Прямий код	10	+	Код Емері	10	+	I-Ні	D
03	Прямий код	15	+	Додатковий код	14	+	АБО-НІ	T
04	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	12	-	I-НІ	RS
05	Прямий код	10	+	Код Грея	16	-	АБО-НІ	JK
06	Прямий код	10	+	Код Айкена	10	-	I-НІ	D
07	Прямий код	10	-	Код Емері	10	+	АБО-НІ	T
08	Прямий код	16	+	Додатковий код	11	+	I-НІ	RS
09	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	9	+	АБО-НІ	JK
10	Прямий код	16	+	Код Грея	15	+	I-НІ	D
11	Прямий код	10	-	Код Айкена	9	+	АБО-НІ	T
12	Прямий код	10	-	Код Емері	10	-	I-НІ	RS
13	Прямий код	16	+	Додатковий код	16	+	I-НІ	JK
14	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	11	-	АБО-НІ	D
15	Прямий код	16	+	Код Грея	13	-	I-НІ	T
16	Прямий код	10	+	Код Айкена	10	+	АБО-НІ	RS

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Прямий код	10	-	Код Емері	10	+	АБО-НІ	JK
18	Прямий код	13	+	Додатковий код	15	+	I-НІ	D
19	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	10	+	АБО-НІ	T
20	Прямий код	16	+	Код Грея	15	+	АБО-НІ	RS
21	Прямий код	10	-	Код Айкена	10	+	I-НІ	JK
22	Прямий код	10	-	Код Емері	10	-	I-НІ	D
23	Прямий код	16	+	Додатковий код	13	+	АБО-НІ	T
24	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	8	+	АБО-НІ	RS
25	Прямий код	16	+	Код Грея	14	-	I-НІ	JK
26	Прямий код	10	-	Код Айкена	10	+	I-НІ	D
27	Прямий код	10	-	Код Емері	10	-	АБО-НІ	T
28	Прямий код	14	+	Додатковий код	16	+	АБО-НІ	RS
29	Прямий код	10	+	Код "з надлишком 3"	6	-	I-НІ	JK
30	Прямий код	16	-	Код Грея	11	+	I-НІ	D
31	Прямий код	10	+	Код Айкена	9	-	АБО-НІ	T
32	Прямий код	10	-	Код Емері	10	+	I-НІ	RS
33	Прямий код	16	+	Додатковий код	14	+	АБО-НІ	JK
34	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	7	+	I-НІ	D
35	Прямий код	10	+	Код Грея	16	-	АБО-НІ	T

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36	Прямий код	9	+	Прямий код	13	-	I-НІ	RS
37	Прямий код	10.	-	Код Айкена	9	+	I-НІ	JK
38	Прямий код	10	+	Код Емері	8	-	АБО-НІ	D
39	Прямий код	11	+	Додатковий код	15	+	I-НІ	T
40	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	10	-	АБО-НІ	RS
41	Прямий код	16	-	Код Грея	11	+	I-НІ	JK
42	Прямий код	10	+	Код Айкена	9	-	АБО-НІ	D
43	Прямий код	10	+	Код Емері	10	+	I-НІ	T
44	Прямий код	16	-	Додатковий код	13	-	I-НІ	RS
45	Прямий код	10	-	Код "з надлишком 3"	10	+	АБО-НІ	JK
46	Прямий код	16	+	Код Грея	16	-	I-НІ	D
47	Прямий код	10	+	Код Айкена	9	+	АБО-НІ	T
48	Прямий код	10	-	Код Емері	10	-	АБО-НІ	RS
49	Прямий код	16	+	Додатковий код	16	+	I-НІ	D
50	Прямий код	12	+	Код Емері	8	+	I-НІ	T

Примітка:

1. Повинні бути наведені пояснення по кожному пункту роботи.
2. Допоміжні логічні інтегральні мікросхеми брати тільки типу I-НІ чи АБО-НІ.
3. Курсова робота виконується на аркушах А4.
4. Курсова робота повинна бути написана від руки акуратно й розбірливо.
5. До курсової роботи повинен бути прикладений диск зі схемою розробленого автомата в середовищі Electronics Workbench чи Multisim.

Виконання курсової роботи

Завдання: Синтезувати лічильник у базисі І-НІ із $K_L=3$ при $M=1$ і $K_L=7$ при $M=0$ на JK, та D тригерах.

Виконання роботи можна проводити в наступній послідовності.

1. Становимо таблиці станів лічильника й карти функцій переходів F_Q і вхідних функцій тригерів (табл. 5 і табл. 6).

$K_L=3$ ($M=1$)

Таблиця 5

№	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	F_Q^2	F_Q^1	F_Q^0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	▲
2	0	0	1	0	1	0	0	▲	▼
3	0	1	0	0	0	0	0	▼	0

$K_L=7$ ($M=0$)

Таблиця 6

№	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	F_Q^2	F_Q^1	F_Q^0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	▲
2	0	0	1	0	1	0	0	▲	▼
3	0	1	0	0	1	1	0	1	▲
4	0	1	1	1	0	0	▲	▼	▼
5	1	0	0	1	0	1	1	0	▲
6	1	0	1	1	1	0	1	▲	▼
7	1	1	0	0	0	0	▼	▼	0

Примітка: ▲ – перемикання тригера з «0» в «1»; ▼ – перемикання тригера з «1» в «0».

2. У відповідності зі словником переходів тригерів (табл. 7) складаємо карти Карно. Прийняті номери осередків карт Карно показані в табл. 8.

Таблиця 7

F_Q	JK		D
	J	K	
0	0	x	0
1	x	0	1
▲	1	x	1
▼	x	1	0

Таблиця 8

M=0	1	3	7	5	13	15	11	9
M=1	1	3	7	5	13	15	11	9
M=0	2	4	8	6	14	16	12	10
M=1	2	4	8	6	14	16	12	10

Одержуємо карти Карно для узагальнених функцій з урахуванням M (рис. 8 і 9).

3. За допомогою карт Карно мінімізуємо перемикальні функції і отримаємо:

$$J_0 = \overline{Q_1} + \overline{Q_2} + \overline{M};$$

$$K_0 = 1; J_1 = Q_0; K_1 = Q_0 + M + Q_2;$$

$$D = Q_0 \cdot Q_1 + \overline{Q_1} \cdot Q_2$$

4. Переводимо отримані мінімізовані перемикальні функції в заданий базис I-НІ:

$$J_0 = \overline{\overline{\overline{\overline{Q_1} + \overline{Q_2} \cdot M}} = \overline{Q_1 \cdot Q_2 \cdot M};$$

$$K_0 = 1; J_1 = Q_0;$$

$$K_1 = \overline{\overline{\overline{Q_0 + M + Q_2}} = \overline{Q_0 \cdot M \cdot Q_2};$$

$$D = \overline{\overline{\overline{Q_0 \cdot Q_1 + \overline{Q_1} \cdot Q_2}} = \overline{Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_1 \cdot Q_2}$$

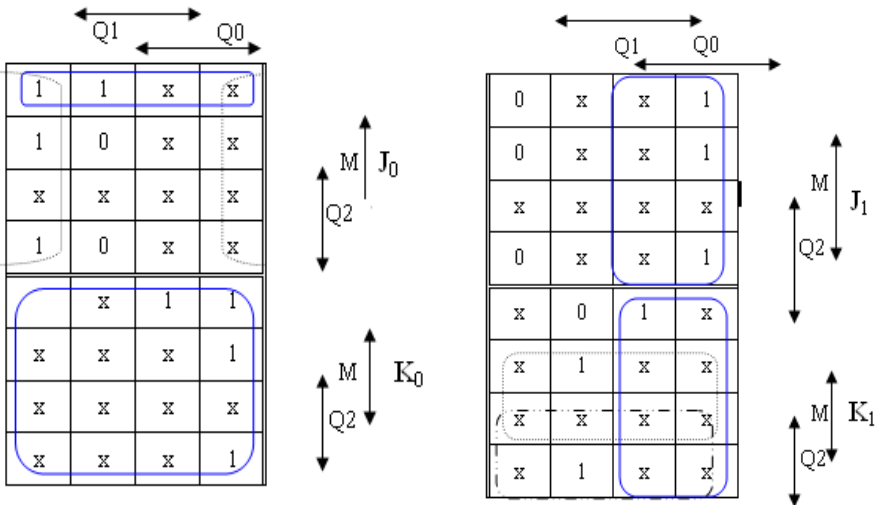


Рис. 8. Карти Карно для молодших розрядів лічильника на JK-тригерах

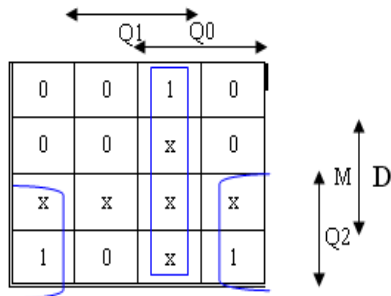


Рис.9. Карта Карно для старшого розряду лічильника на D-тригері

5. Вибираємо елементи: JK-тригери – К155ТВ6, D-тригер – К155ТМ2, елементи І-НІ – К155ЛА3 (2І-НІ), К155ЛА4 (3І-НІ).

6. Приводимо опис кожного обраного елемента.

7. Згідно з отриманими виразами будуємо схему автомата на обраних елементах (рис. 10).

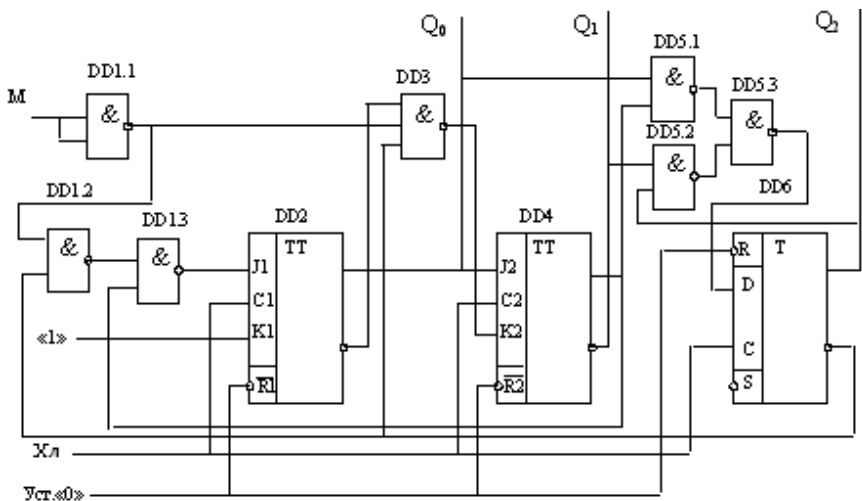


Рис. 10. Схема автомата

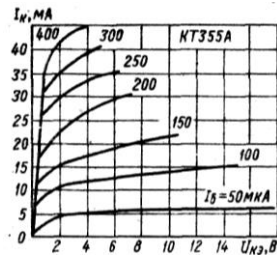
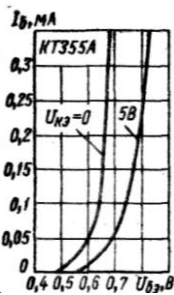
Список літератури

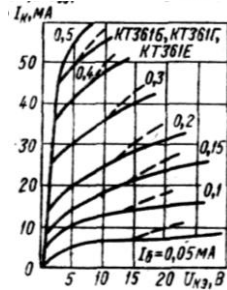
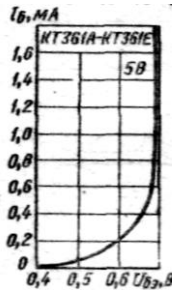
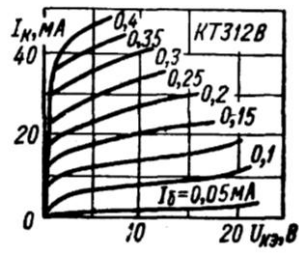
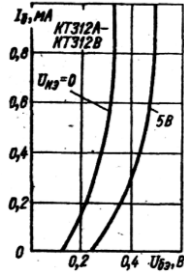
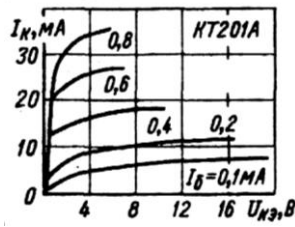
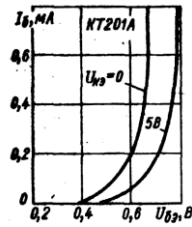
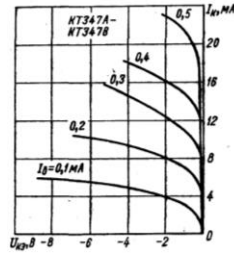
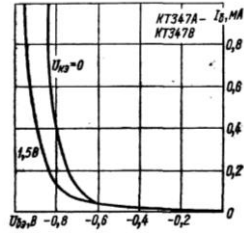
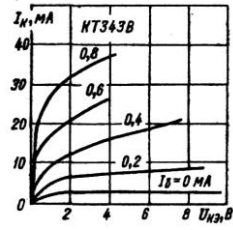
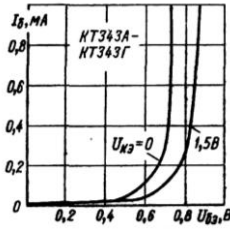
1. *Алексенко А.Г., Шагурин И.И.* Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
2. *Аванесян Г.Р., Левшин В.П.* Интегральные микросхемы ТТЛ, ТТЛШ: Справочник. – М.: Машиностроение, 1993. – 256 с.
3. *Аналоговые* электронные устройства: Методические указания для выполнения курсовой работы. / Под ред. А.И. Давлетьянца. – К.: КИИГА, 1998. – 40 с.
4. *Дудник А.Б., Гриненко В.В., Зубань Ю.А.* Методические указания для выполнения курсовой работы по теме "Расчет усилителя низкой частоты" по дисциплине «Аналоговая схемотехника». – Сумы: Изд-во СумГУ, 2005. – 75 с.
5. *Зубчук В.И., Сигорский В.П., Шкуро А.Н.* Справочник по цифровой схемотехнике. – К.: Техника, 1990. – 488 с.
6. *Карлачук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: Солон-Р, 2000. – 506 с.
7. *Корчинский А.П.* Основы цифровой схемотехники. – К.: НАУ, 2000. – 276 с.
8. *Лавриненко В.Ю.* Справочник по полупроводниковым приборам. – К.: Техніка, 1984. – 424 с.
9. *Огороднійчук М.Д.* Аналогові електронні пристрої. – К.: Київський інститут ВПС, 2000. – 232 с.
10. *Осадчий Ю.Ф.* Аналоговая и цифровая электроника. Учеб. для вузов. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2002. – 768 с.
11. *Руденко В.С.* Основы промышленной электроники. – К.: Вища школа, 1985. – 211 с.
12. *Расчет* электронных схем. Примеры и задачи: Учеб. пособ. для вузов. / Под ред. Г.И. Изъюрова. – М.: Высшая школа, 1987. – 335 с.
13. *Электротехника* и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench / Под ред. Д.И. Панфилова. – т.2: Электроника. – М.: ДОДЭКА, 2000. – 288 с.
14. *Угрюмов Е.П.* Цифровая схемотехника. СПб: БХВ-СПб, 2000. – 528 с.
15. *Применение* интегральных микросхем в электронной вычислительной технике: Справочник / Под ред. Б.В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1990. – 198 с.
16. *Шило В.Л.* Популярныe цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. – 352 с.

Параметри транзисторів

Параметр	Одиниця вимірювання	Тип транзистора					
		КТ355А	КТ343А	КТ347А	КТ201А	КТ312В	КТ361Б
$I_{кб0}$	мкА	0.5	1	1	1	10	1
h_{21e}	-	80...300	>30	30...400	20...60	10...100	50...300
$f_{гр}$	МГц	1500	300	500	10	80	250
$C_{ке}$	пФ	2	6	6	20	5	9
$U_{кб\ max}$	В	15	17	15	20	15	25
$U_{ке\ max}$	В	15	17	15	20	15	25
$I_{к\ max}$	мА	60	50	50	20	30	50
P_{max}	мВт	225	150	150	150	225	150
T_{max}	°С	-55	-10	-40	-60	-40	-60
T_{min}	°С	+125	+150	+85	+125	+85	+100
Тип переходу	-	n-p-n	p-n-p	p-n-p	n-p-n	n-p-n	p-n-p

Характеристики транзисторів



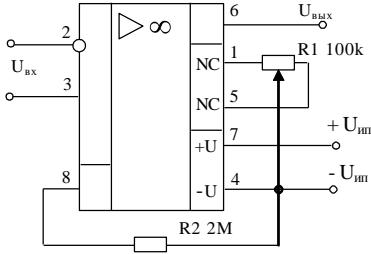


Параметри операційних підсилювачів

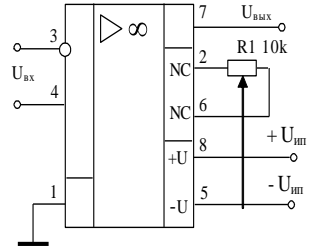
Параметр	Одиниця вимірювання	Тип мікросхеми					
		К140УД7	К140УД8	К140УД12	К544УД2	К553УД2	К574УД1
A	-	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
$U_{жув}$	В	± 15	± 15	± 15	± 15	± 15	± 15
$I_{жув}$	мА	4	5	0.04	7	8.5	8
$\pm e_{зм}$	мВ	9	50	5	30	7.5	50
$R_{вх}$	МОм	0.4	1	50	1000	0.3	1000
$R_{вих}$	Ом	250	200	5000	200	300	200
$I_{вх}$	нА	400	0.2	11	0.5	1500	0.5
$\Delta I_{вх}$	нА	200	0.1	7	0.5	500	0.2
f_1	МГц	0.8	1	0.3	15	1	10
V	В/мкс	0.3	2	0.8	20	0.5	50
КІС _{сф}	дБ	70	70	70	70	80	80
$U_{сф вх}$	В	± 12	± 10	± 12	± 10	± 10	± 30
$U_{вих}$	В	± 10.5	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
$I_{вих} (R_H)$	мА (кОм)	(2)	(2)	10	(2)	(2)	5

Схеми операційних підсилювачів

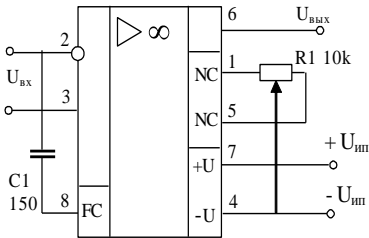
К140УД12



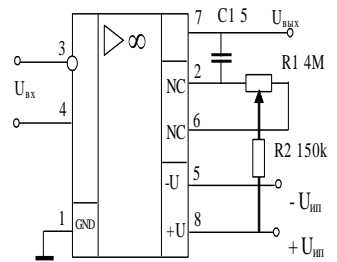
К140УД8



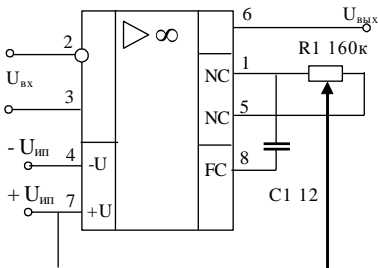
К140УД7



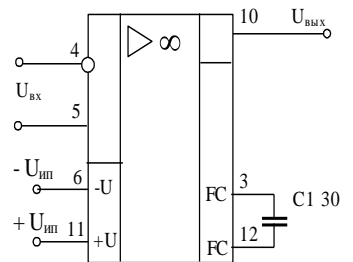
К574УД1



К544УД2



К553УД2



Додаток В

№ варіанта	R _H Ом	U _H В	R _Г Ом	Е мВ	(f _H -f _B) Гц	φ _H град	T _B °С
1	12	8	1000	4	30-14000	10	0-60
2	8	10	300	5	20-20000	20	0-50
3	14	10	200	2	400-15000	15	0-40
4	10	5	500	1	20-17000	20	0-70
5	18	10	100	5	30-15000	15	0-50
6	20	21	50	10	200-5000	25	0-70
7	5	8	100	3	30-15000	30	0-50
8	7	6	1000	1	90-10000	25	0-60
9	16	7	200	2	200-14000	20	0-60
10	8	12	800	4	80-2000	10	0-50
11	6	9	2500	6	60-8000	15	0-40
12	12	10	1000	2	20-18000	15	0-50
13	18	20	1500	15	25-7000	20	0-60
14	7	10	200	3	30-19000	30	0-70
15	15	11	500	4	30-16000	20	0-50
16	10	10	3000	10	200-15000	25	0-70
17	5	7	500	5	40-20000	30	0-50
18	1	4	50	2	300-5000	15	0-40
19	2	6	2500	8	80-10000	10	0-40
20	10	5	300	2	40-20000	30	0-50
21	13	13	4000	10	100-2000	20	0-60
22	2	5	1000	1	30-17000	15	0-60
23	5	10	5000	7	70-12000	25	0-40
24	12	15	4000	6	400-10000	10	0-60
25	15	6	3000	2	40-10000	20	0-40
26	20	7	200	5	30-14000	15	0-50
27	2	4	4500	5	250-8000	25	0-70
28	9	7	1000	13	70-8000	20	0-70
29	3	6	900	4	35-75000	30	0-60
30	10	11	100	3	400-16000	15	0-70
31	20	15	5000	5	50-10000	20	0-50
32	20	11	100	3	200-15000	30	0-60
33	16	12	2000	2	25-18000	25	0-50
34	3	7	200	12	350-9000	20	0-40

Продов- ження дodatку В	Rн Ом	Ун В	Rг Ом	Е мВ	(fн-fв) Гц	φн град	Tв °С
35	10	12	600	5	50-8000	15	0-50
36	12	9	500	4	250-18000	20	0-70
37	18	14	3500	3	30-18000	15	0-40
38	12	4	350	3	200-12000	10	0-60
39	10	8	600	10	40-18000	15	0-70
40	18	9	800	4	300-20000	20	0-60
41	12	4	1000	2	30-17000	15	0-60
42	15	6	300	5	70-12000	10	0-40
43	20	5	200	5	400-10000	30	0-60
44	2	13	500	13	40-10000	20	0-40
45	9	5	100	4	30-14000	15	0-50
46	3	10	50	3	250-8000	25	0-70
47	10	15	100	5	70-8000	10	0-70
48	20	6	1000	3	35-75000	20	0-60
49	20	7	200	2	400-16000	15	0-70
50	16	4	800	12	50-10000	25	0-50

Стандартизовані ряди номінальних значень

Індекс ряду	Допустиме відхилення опору від номінального значення, %	Числові коефіцієнти, помножені на 10^n (n-ціле число від 0 до 7)
E6	± 20	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8
E12	± 10	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 6,2
E24	± 5	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,1 1,6 2,4 3,6 5,1 7,5 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2 1,3 2,0 3,0 4,3 6,2 9,1

Наприклад, для числового коефіцієнта 2,2 номінали опорів рівні: 2,2 Ом , 22 Ом , 220 Ом , 2,2 кОм , 22 кОм , 220 кОм , 2,2 МОм і т.д. Для резисторів, що застосовуються в електронній апаратурі, згідно ГОСТ 9663-61 встановлені наступні значення номінальних потужностей розсіювання, Вт: 0,01 ; 0,025 ; 0,05 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 5 ; 8 ; 10 .

З метою підвищення надійності роботи резисторів рекомендується добирати їх тким чином, щоб потужність розсіювання становила $(0,3-0,5)P_{\text{ном}}$. Приклад повного найменування вуглецевого резистора: С1 - 0, 125-27 ± 5 %.

Номінальні робочі напруги конденсаторів залежно від типу мають різні значення, наприклад: 10, 16, 25, 63, 100, 160, 220, 300, 450 і т.д. (В).

Приклад повного найменування оксидного конденсатора: К50-24 - 25В - 2200мкФ ± 50 %. Керамічний конденсатор: К10- 63В - 47нФ ± 30 %.