

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кафедра «Обчислювальна техніка та програмування»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахункового завдання

з навчальної дисципліни

«Комп'ютерна електроніка»

для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальностями

6.050102-01 «Комп'ютерні системи та мережі»

6.050102-02 «Системне програмування»

6.050102-03 «Спеціалізовані комп'ютерні системи»

Затверджено
Редакційно-видавничою
Радою університету
Протокол № 2 від 24.12.2014 р.

Харків 2014

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальностями 6.050102-01 «Комп'ютерні системи та мережі», 6.050102-02 «Системне програмування», 6.050102-03 «Спеціалізовані комп'ютерні системи» / Уклад.: Скородєлов В.В., Даниленко О.Ф., Гейко Г.В. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – 36с.

Укладачі: Скородєлов В.В., Даниленко О.Ф., Гейко Г.В.

Рецензент В.І. Калашніков

Кафедра «Обчислювальна техніка та програмування»

Методичні вказівки до розрахункового завдання передбачають виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка». Виконання розрахункового завдання спрямовано на закріплення знань та придбання практичних навичок щодо побудови, розрахунку та моделювання схем аналогових пристроїв.

Методичні вказівки підготовлені на кафедрі «Обчислювальна техніка та програмування» і можуть бути використані для підготовки дипломованих фахівців за напрямком 6.050102 «Комп'ютерна інженерія» по спеціальностях 6.050102-01 «Комп'ютерні системи та мережі», 6.050102-02 «Системне програмування», 6.050102-03 «Спеціалізовані комп'ютерні системи».

Скородєлов В.В., Даниленко О.Ф., Гейко Г.В.©

НТУ «ХПІ», 2014®

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Індивідуальні завдання (Комплексні контрольні роботи).....	5
2. Методика виконання завдань та приклади рішення задач.....	12
3. Рекомендації щодо оформлення звіту.....	34
Рекомендована література.....	35

ВСТУП

Методичні вказівки до розрахункового завдання передбачають виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка». Виконання розрахункового завдання передбачає закріплення знань та придбання практичних навичок щодо побудови, розрахунку та моделювання схем аналогових пристроїв.

Розрахунково-графічне завдання складається з 8 задач, які розподілені на два модулі. По 4 задачі в кожному модулі. Кожен студент одержує індивідуальне завдання відповідно до його варіанту і уточнює вихідні дані у викладача. Моделювання роботи схем проводити в пакетах Electronics Workbench (EWB) або Multisim.

Теоретичні відомості та матеріали довідкового характеру, які необхідні для виконання даного розрахунково-графічного завдання, наведені в рекомендованій літературі. Виконання розрахункового завдання розглянуто на прикладах.

1. Індивідуальні завдання (Комплексні контрольні роботи)

Задача 1.

Запропонуйте частотно-компенсований дільник напруги на резисторах з повторювачем на виході.

У відповіді приведіть: схеми дільників без повторювача на виході, з повторювачем на основі операційних підсилювачів; короткий опис принципу дії, розрахунки елементів схеми дільника без повторювача для таких даних: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$, $U_{\text{вих}} = 3 \text{ В}$, $R_2 = N \text{ кОм}$, $C_2 = 0.01 \text{ мкФ}$, де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ - напруги на вході та виході дільника, N - номер варіанту.

Приведіть також відповіді на наступні питання:

- 1) у який найпростіший лінійний ланцюг перетворюється дільник напруги без C_k , приведіть схему;
- 3) яке значення граничної частоти $f_{\text{гр}}$ у дільнику напруги без C_k і у частотно-компенсованого;
- 4) яка форма сигналу та величина активної тривалості фронту $t_{\text{фа}}$ при подачі на вхід дільника без C_k прямокутних імпульсів;
- 5) як і за рахунок чого здійснюється частотна компенсація;
- 6) які частотні характеристики частотно-компенсованого дільника напруги, приведіть їх графічне або аналітичне подання.

Задача 2.

Визначить амплітуду та форму вихідного сигналу $U_{\text{вих}}(t)$ на виході двостороннього паралельного діодного обмежника при наступних вихідних даних:

- форма вхідних сигналів: синусоїдальна;
- амплітуда вхідних сигналів: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ (В)}$;
- амплітуди напруг обмеження: $U_{\text{обм1}} = 0.1 \cdot N \text{ (В)}$, $U_{\text{обм2}} = -N \text{ (В)}$.

Приведіть відповіді на наступні питання:

- 1) чим відрізняється форма сигналів на виході при використанні в схемі такого обмежника ідеальних і реальних діодів;
- 2) як зміниться форма сигналів на виході, якщо в схемі такого обмежника замість звичайних діодів VD1 і VD2 будуть використані стабілітрони.

Задача 3.

Запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $8 \cdot N$ мкс по передньому фронту позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюгів, діодів і підсилювачів-формуваців. Рівні входних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії, пояснення - за рахунок чого і як можна змінювати тривалість сформованого імпульсу.

Задача 4.

Запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $5 \cdot N$ мкс по передньому фронту позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюгів, діодів і логічних елементів. Рівні входних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії, пояснення - за рахунок чого і як можна змінювати тривалість сформованого імпульсу.

Задача 5.

Запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $7 \cdot N$ мкс по задньому фронту позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюгів, діодів і підсилювачів-формуваців. Рівні входних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії, пояснення - за рахунок чого і як можна змінювати тривалість сформованого імпульсу.

Задача 6.

Запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $6 \cdot N$ мкс по задньому фронту позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі інтегруючих RC-ланцюгів, діодів і логічних елементів. Рівні вхідних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії, пояснення - за рахунок чого і як можна змінювати тривалість сформованого імпульсу.

Задача 7.

Запропонуйте формувач коротких імпульсів тривалістю $3 \cdot N$ мкс по передньому та задньому фронтах позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюгів, діодів і необхідних логічних елементів. Рівні вхідних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії.

Задача 8.

Запропонуйте нормований підсилювач (НП) із змінним коефіцієнтом передачі.

У відповіді приведіть: функціональну схему НП на основі ідеального операційного підсилювача (ОП); короткий опис принципу дії; розрахунки резисторів для наступних коефіцієнтів передачі: $K_1 = 2.5$, $K_2 = N$, $K_3 = 1$, $K_4 = 3$ при

значенні резистора зворотного зв'язку $R_{зз} = 100 \text{ кОм}$; форму вхідних і вихідних сигналів для заданих K_i ($i=1,2,3$) за умови, що на вхід НП подаються синусоїдальні сигнали з амплітудою 2 В, а напруга живлення ОП становить 12 В.

Задача 9.

Запропонуйте нормований підсилювач (НП) із змінним коефіцієнтом передачі.

У відповіді приведіть: функціональну схему НП на основі ідеального операційного підсилювача (ОП); короткий опис принципу дії; розрахунки резисторів для наступних коефіцієнтів передачі: $K_1 = 1$, $K_2 = 1.5 \cdot N$, $K_3 = 2$, $K_4 = 0.5 \cdot N$ при значенні резистора зворотного зв'язку $R_{зз} = 50 \text{ кОм}$; форму вхідних і вихідних сигналів для заданих K_i ($i=1,2,3$) за умови, що на вхід НП подаються синусоїдальні сигнали з амплітудою 2 В, а напруга живлення ОП становить 10 В.

Задача 10.

Запропонуйте нормований підсилювач (НП) із змінним коефіцієнтом передачі.

У відповіді приведіть: функціональну схему НП на основі ідеального операційного підсилювача (ОП); короткий опис принципу дії; розрахунки резисторів для наступних коефіцієнтів передачі: $K_1 = 2$, $K_2 = 2 \cdot N$, $K_3 = 0.5$, $K_4 = 2$ при значенні резистора зворотного зв'язку $R_{зз} = 100 \text{ кОм}$; форму вхідних і вихідних сигналів для заданих K_i ($i=1,2,3$) за умови, що на вхід НП подаються синусоїдальні сигнали з амплітудою 2 В, а напруга живлення ОП становить 6 В.

Задача 11.

Запропонуйте джерело живлення з параметричним стабілізатором і емітерним повторювачем на виході для наступних даних: $U_{вих} = +5\text{В} \pm 10\%$, $I_H = 5 \cdot N \text{ мА}$, де $U_{вих}$ - значення напруги на виході джерела живлення, I_H - струм навантаження, N - номер варіанту. Джерело живлення підключається до мережі зі змінною напругою $\sim 220 \text{ В}$, 50 Гц.

У відповіді привести: структурну (функціональну) схему, короткий опис принципу дії, розрахунки та вибір основних елементів схеми, форму сигналів в основних характерних точках схеми.

Задача 12.

Запропонуйте джерело живлення з параметричним стабілізатором і емітерним повторювачем на виході для наступних даних: $U_{\text{вих}} = +9\text{В} \pm 10\%$, $I_{\text{н}} = 10 \cdot N \text{ мА}$, де $U_{\text{вих}}$ - значення напруги на виході джерела живлення, $I_{\text{н}}$ - струм навантаження, N - номер варіанту. Джерело живлення підключається до мережі зі змінною напругою $\sim 220 \text{ В}$, 50 Гц .

У відповіді привести: структурну (функціональну) схему, короткий опис принципу дії, розрахунки та вибір основних елементів схеми, форму сигналів в основних характерних точках схеми.

Задача 13.

Запропонуйте двохвходовий аналоговий інвертуючий суматор (SM) на основі операційного підсилювача (ОП). Варіанти індивідуальних завдань наведені в табл. 1 (K_i - коефіцієнт передачі сигналу з i -го входу, $R_{\text{зз}}$ - резистор зворотного зв'язку, U_i - вхідна напруга).

У відповіді привести: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки резисторів і напруги на виході ($U_{\text{вих}}$), форму $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали з амплітудою 5 В при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 6\text{В}$.

Таблиця 1

Варіант	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	K_1	K_2	$R_{\text{зз}}, \text{кОм}$
1	3	2	0,5	1	100
2	-1	4	2	0,5	100
3	3	3	1	0,5	50
4	2	2	0,5	2	100
5	1	4	3	1	20

6	-2	5	1	3	50
7	3	5	2	1	50
8	4	3	1	2	50
9	2	1	2	0,5	100
10	3	2	0,5	2	100
11	5	2	3	2	100
12	-3	4	2	3	50
13	4	-3	4	0,5	20
14	4	3	0,5	4	30
15	5	3	4	2	100
16	2	5	2	4	100
17	5	2	4	3	500
18	7	8	3	4	20
19	8	7	4	5	100
20	3	8	5	4	200
21	2	8	3	5	200
22	7	1	5	3	100
23	-1	2	0,5	5	30
24	2	-1	5	1	20
25	3	7	1	5	20
26	4	-3	0,5	2	10
27	-5	8	5	3	50
28	2	3	3	2	10
29	4	5	1	1	30
30	5	7	7	4	100

Задача 14.

Запропонуйте двохвходовий аналоговий не інвертуючий суматор (SM) на основі операційного підсилювача (ОП).

У відповіді привести: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки вхідних резисторів і напруги на виході ($U_{\text{вих}}$) за умови, що: $K_1 = 1$, $K_2 = 2 \cdot N$, $U_1 = U_2 = 2 \text{ В}$, $R_{33} = 100 \text{ кОм}$, де N – номер варіанту, K_i – коефіцієнт передачі сигналу з i -го входу, R_{33} – резистор зворотного зв'язку, U_i – вхідна напруга; форму $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали U_2 з амплітудою 5 В при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 6 \text{ В}$.

Задача 15.

Запропонуйте функціональний вузол комбінаційного типу, що дозволяє реалізувати наступний логічний вираз:

$$y = \overline{x_1 \& x_2 \& x_3 \& x_4}$$

У відповіді привести: функціональну схему з використанням необхідних логічних елементів за умови, що на входи приходять тільки сигнали x_1 , x_2 , x_3 , x_4 ; таблицю станів; часові діаграми.

Задача 16.

Проаналізуйте функціональну схему вузла комбінаційного типу, наведену на рис.1.

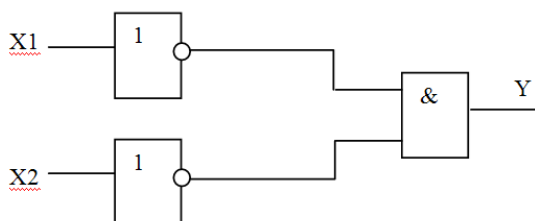


Рисунок 1

У відповіді привести: таблицю станів; логічний вираз, що описує функціонування даної схеми; часові діаграми.

2. Методика виконання завдань та приклади рішення задач

Задача 1

Запропонуйте частотно-компенсований дільник напруги на резисторах з повторювачем на виході.

У відповіді приведіть: схеми дільників без повторювача на виході, з повторювачем на основі операційних підсилювачів; коротке описання принципу дії, розрахунки елементів схеми дільника без повторювача для таких даних: $U_{вх} = 12 \text{ В}$, $U_{вих} = 3 \text{ В}$, $R_2 = N \text{ кОм}$, $C_2 = 0.01 \text{ мкФ}$, де $U_{вх}$ та $U_{вих}$ - напруги на вході та виході дільника, N - номер варіанту.

Рішення:

Розглянемо рішення задачі для $N=6$. На рис.1 показана схема частотно-компенсованого дільника без повторювача.

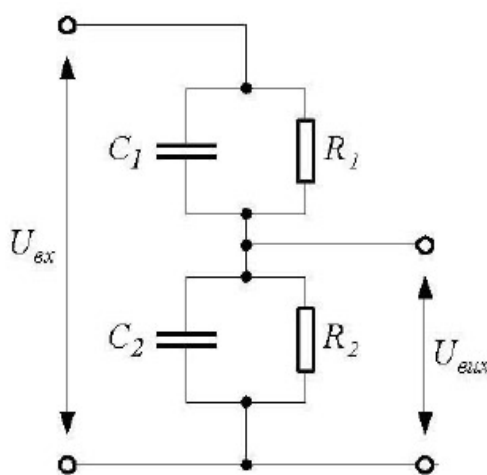


Рисунок 1

Частотно-компенсовані дільники у широкому діапазоні частот мають постійний коефіцієнт розподілу. Це досягається підбором таких ємностей конденсаторів C_1 , C_2 і опорів R_1 , R_2 , при яких дотримується рівність $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$ та виконується умова C_1 і $C_2 > C_n$ та паразитних ємностей схеми.

Внаслідок того, що у низькочастотному (НЧ) діапазоні опори ємностей великі, вони практично не шунтують резистори R_1 і R_2 . Тому в області НЧ розподіл напруги виконується дільником, який складається з резисторів.

Таким чином: $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$

В області високих частот (ВЧ): $\frac{1}{\omega \cdot C} \ll R$, тому напруга розподіляється по ємностях. Якби конденсаторів C_1 і C_2 не було, то розподіл напруги у ВЧ діапазоні проводився б по паразитних ємностях, що вносило б невизначеність. Ємності, які включені в дільник, набагато більші по номіналу ніж паразитні ємності схеми.

Для розрахунку дільника напруги при відомих $U_{вх}$ і $U_{вих}$ одержуємо:

$$K = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{3}{12} = 0.25$$

Опір резистора R_1 знаходимо за умови розподілу на НЧ:

$$R_1 = \frac{R_2}{K_\alpha} - R_2 = \frac{6}{0.25} - 6 = 18 \text{ кОм}$$

Ємність C_1 знаходимо за умови $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$:

$$C_1 = \frac{R_2 \cdot C_2}{R_1} = \frac{6 \cdot 0.01}{18} = 0.0033 \text{ мкФ}$$

Підберемо опори резисторів і конденсаторів виходячи з ряду номіналів:

$$R_1 = 18 \text{ кОм}; C_1 = 3 \text{ нФ}; R_2 = 6.2 \text{ кОм}; C_2 = 10 \text{ нФ}.$$

Слід зазначити, що дільник з такими номіналами елементів небагато гірше в порівнянні з теоретично розрахованим.

При наявності частотної компенсації, коефіцієнт передачі дільника майже не змінюється. Без частотної компенсації АЧХ дільника буде спадати при збільшенні частоти сигналу (моделювання дільника в EWB 5.12 показано на рис.2).

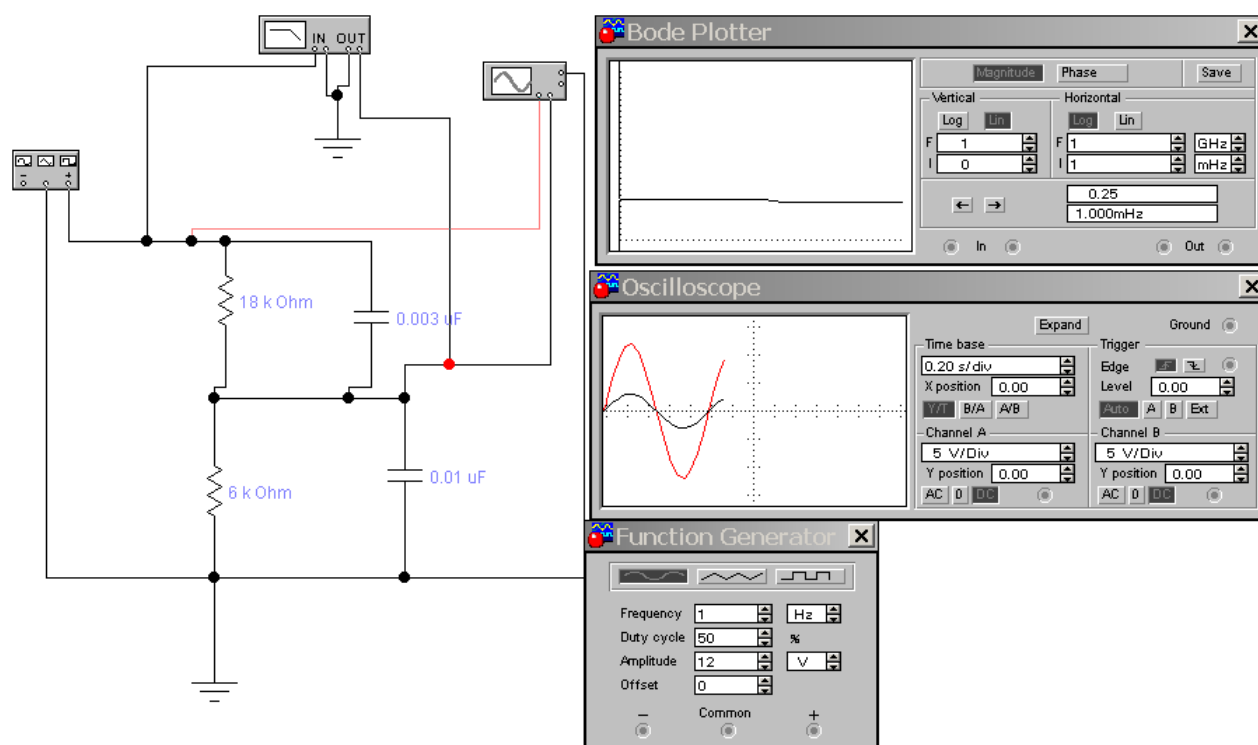


Рисунок 2

Істотним недоліком дільників є те, що вони не можуть застосовуватися при низькоомному навантаженні через зменшення сигналу на опорах дільника. Для усунення цього недоліку застосовуються емітерні повторювачі та операційні підсилювачі, які не підсилюють сигнал по напрузі, а використовуються тільки як допоміжний каскад, що зв'язує дільник як малопотужне джерело сигналу з низькоомним навантаженням. Схема дільника з повторювачем на виході на основі операційного підсилювача показана на рис.3.

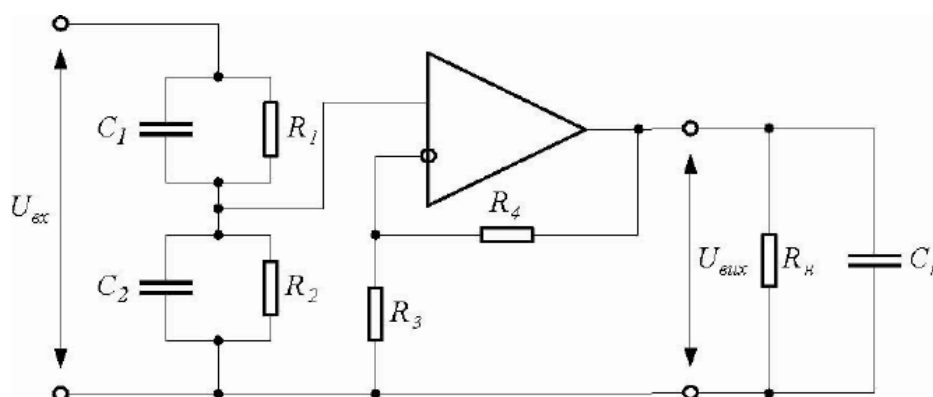


Рисунок 3 - Схема дільника напруги з операційним підсилювачем.

Задача 2

Визначить амплітуду та форму вихідного сигналу $U_{\text{вих}}(t)$ на виході двостороннього паралельного діодного обмежника при наступних вихідних даних:

- форма вхідних сигналів: синусоїдальна;
- амплітуда вхідних сигналів: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ (В)}$;
- амплітуди напруг обмеження: $U_{\text{обм1}} = 0.1 \cdot N \text{ (В)}$, $U_{\text{обм2}} = -N \text{ (В)}$.

Приведіть відповіді на наступні питання:

- 1) чи відрізняється форма сигналів на виході при використанні в схемі такого обмежника ідеальних і реальних діодів;
- 2) як зміниться форма сигналів на виході, якщо в схемі такого обмежника замість звичайних діодів VD1 і VD2 будуть використані стабілітрони.

Рішення:

Вирішимо задачу для варіанта $N=5$. Одержуємо: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$; $U_{\text{огр1}} = 0.5 \text{ В}$; $U_{\text{огр2}} = -5 \text{ В}$. Двосторонній паралельний діодний обмежник на ідеальних діодах представлений на рис.1.

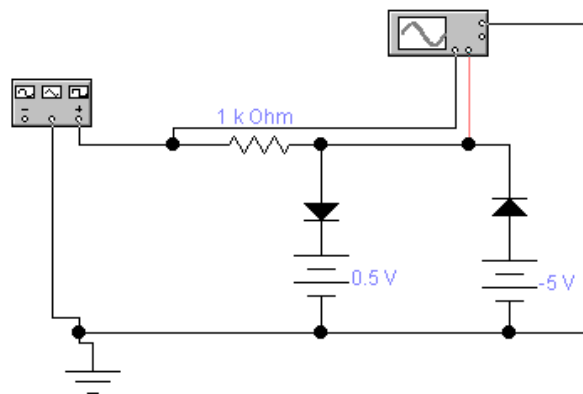


Рисунок 1

Сигнали на вході та виході схеми показані на рис.2. Вихідний сигнал являє собою обмежену зверху і знизу синусоїду.

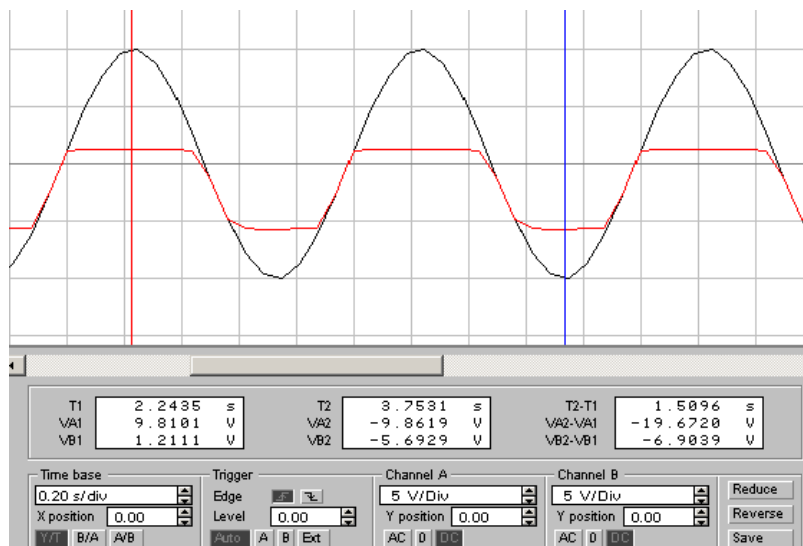


Рисунок 2

На рис.3 показані сигнали на вході та виході схеми з використанням реальних діодів. Вихідний сигнал також являє собою обмежену зверху та знизу синусоїду на рівнях 1,9 В та -6,4 В (тобто спадання напруги на діодах дорівнює 1,4 В).

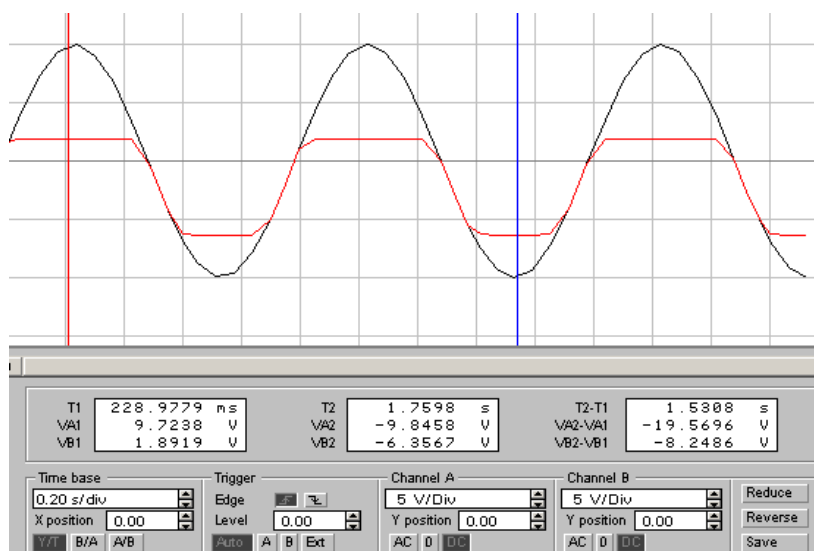


Рисунок 3

Якщо в схемі такого обмежника замінити діоди стабілітронами, наприклад, 1N4733 з напругою стабілізації 5.1 В (рис.4 та рис.5), то форма вихідного сигналу у двосторонньому обмежнику на стабілітронах (рис.6) буде мати вигляд обмеженої зверху та знизу синусоїди (рис.7).

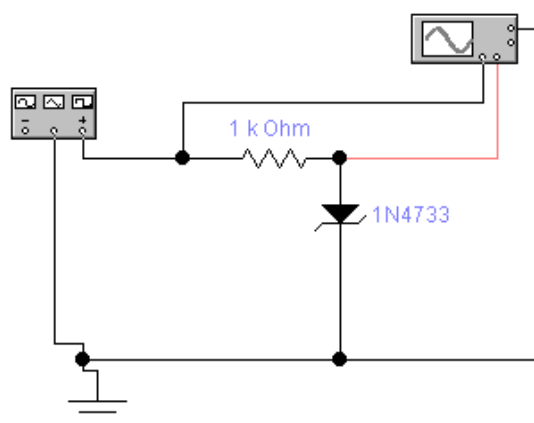


Рисунок 4

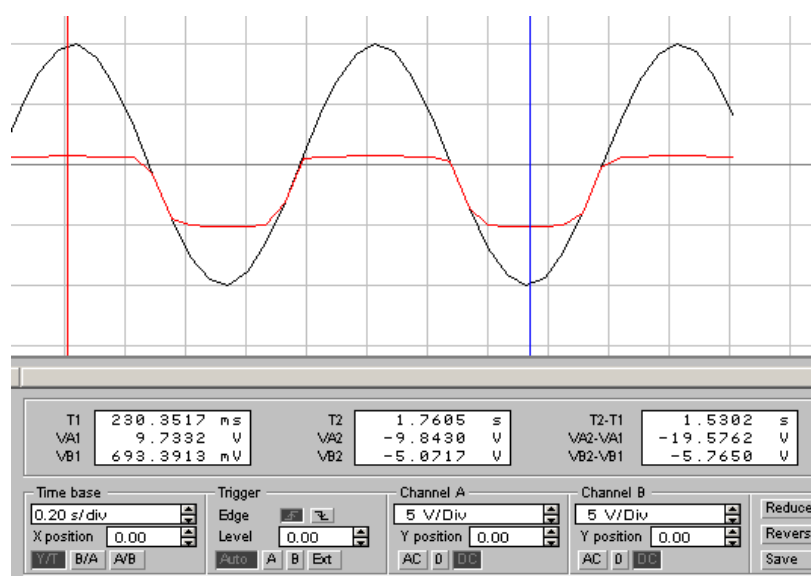


Рисунок 5

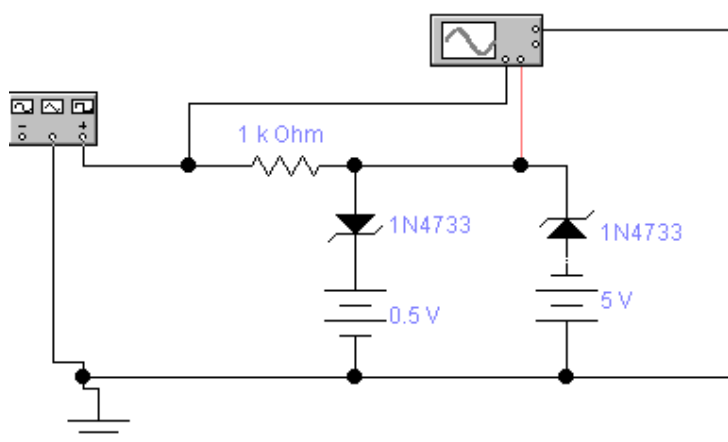


Рисунок 6

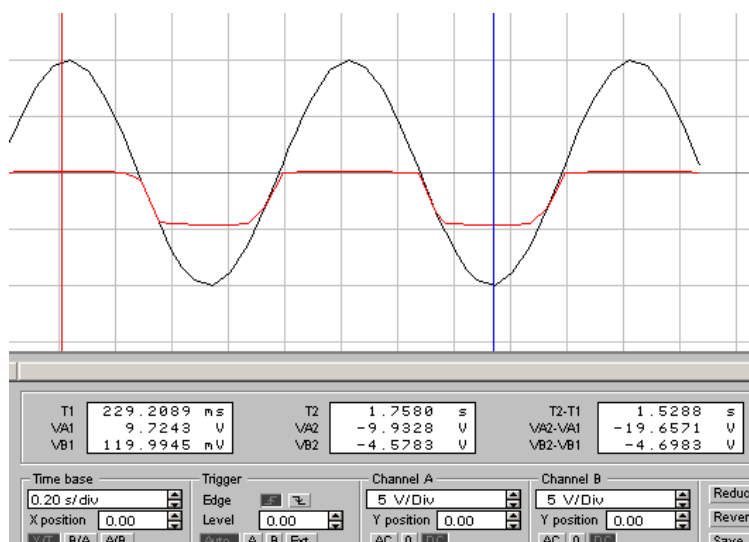


Рисунок 7

Задача 3

Запропонуйте формувач коротких імпульсів по передньому та задньому фронтах позитивного прямокутного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюгів, діодів і необхідних логічних елементів. Рівні вхідних і вихідних сигналів повинні відповідати рівням ТТЛ-логіки.

У відповіді привести: структурну і функціональну (принципову) схему, часову діаграму, що показує форми сигналів в основних характерних точках схеми; короткий опис принципу дії.

Рішення:

При реалізації цифрових пристроїв різного призначення часто необхідно сформувати короткі імпульси по фронтах вхідного сигналу. Зокрема, такі імпульси використовують для скидання лічильників, як імпульси синхронізації при записі інформації в регістри і т.п.

На рис.1 показана схема формувача коротких імпульсів по передньому і задньому фронтах позитивного імпульсного сигналу на основі диференціюючих RC-ланцюжків, діодів і логічних елементів.

У даній схемі використовуються логічні елементи: D1 - типу "НІ", D2 - типу "АБО", а також елементи RC-ланцюжків і діоди.

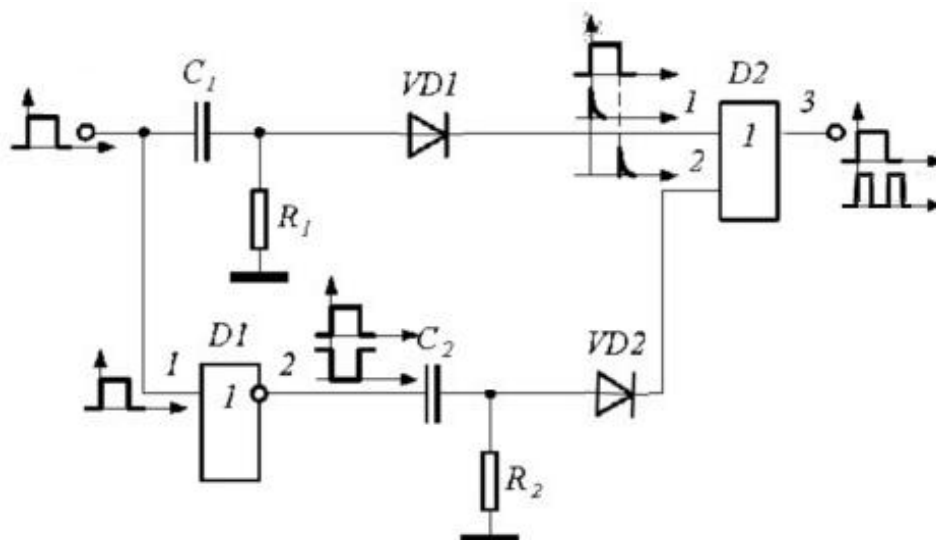


Рисунок 1

Принцип дії формувача можна пояснити так: прямокутні імпульси, проходячи через диференціюючий ланцюжок C_1R_1 , формують по передньому фронту короткий позитивний імпульс, що надходить на верхній вхід 1 елемента D2. Логічний елемент D1 (НІ) інвертує прямокутні імпульси, зрушуючи їх щодо входу 1 цього елемента на довжину імпульсу.

Таким чином, на виході елемента D2 одержимо короткі позитивні імпульси, сформовані по передньому і задньому фронтах позитивного прямокутного імпульсу вхідної напруги.

Тривалість імпульсів пропорційна постійній часу диференціюючого RC-ланцюжка і при використанні ТТЛ-елементів тривалість кожного першого імпульсу пари імпульсів на виході приблизно рівняється $0.7 \cdot R_1 \cdot C_1$, а кожного другого імпульсу пари $0.7 \cdot R_2 \cdot C_2$.

Задача 4

Запропонуйте джерело живлення з параметричним стабілізатором і емітерним повторювачем на виході для наступних даних: $U_{\text{вих}} = +9 \text{ В} \pm 10 \%$, $I_{\text{н}} = 10 \cdot N \text{ мА}$, де $U_{\text{вих}}$ - значення напруги на виході джерела живлення, $I_{\text{н}}$ - струм навантаження, N - номер варіанту. Джерело живлення підключається до мережі зі змінною напругою $\sim 220 \text{ В}$, 50 Гц .

У відповіді привести: структурну (функціональну) схему, короткий опис принципу дії, розрахунки та вибір основних елементів схеми, форму сигналів в основних характерних точках схеми.

Рішення:

Для варіанту $N=6$ значення струму навантаження: $I_{\text{н}} = 10 \cdot 6 \text{ мА} = 60 \text{ мА}$. На рис.1 зображена структурна схема джерела живлення, що включає: силовий трансформатор 1, вентильну групу 2, згладжуючий фільтр 3, стабілізатор компенсаційної дії 4 і навантаження 5.

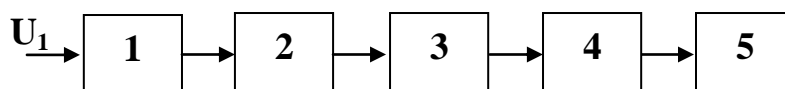


Рисунок 1

На рис.2 представлена схема, що містить трансформатор, випрямляч, згладжуючий фільтр, навантаження. Через те, що вихідна напруга джерела живлення низька ($U_{\text{вих}} = 9 \text{ В}$), а номінальний струм навантаження досить високий ($I_{\text{н}} = 60 \text{ мА}$), представляється доцільним використання схеми двухполуперіодного випрямляча із середньою точкою.

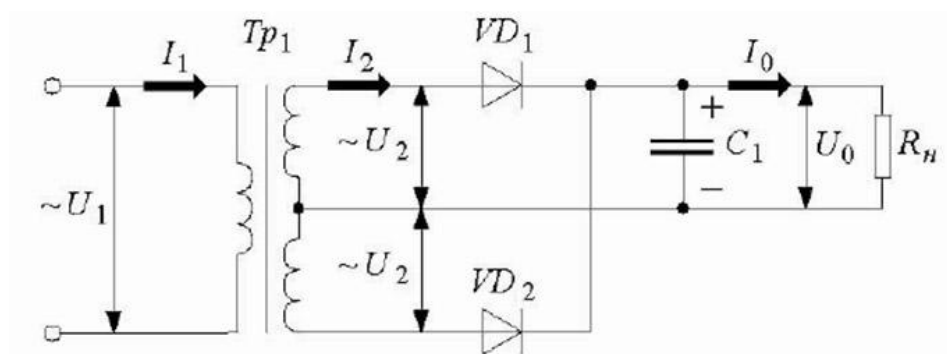


Рисунок 2

На рис.3 представлена функціональна схема стабілізатора напруги послідовного типу, що являє собою параметричний стабілізатор (R_0, VD) і емітерний повторювач на виході.

Принцип дії параметричного стабілізатора напруги (R_0, VD) оснований на використанні нелінійності вольт-амперної характеристики кремнієвих стабілітронів. Найпростіший параметричний стабілізатор напруги являє собою ділник напруги, що складається з резистора R_0 і кремнієвого стабілітрона VD . Навантаження (у цьому випадку - база транзистора VT) підключаються до катода стабілітрона VD , напруга на якому слабо залежить від струму, що протікає через стабілітрон VD .

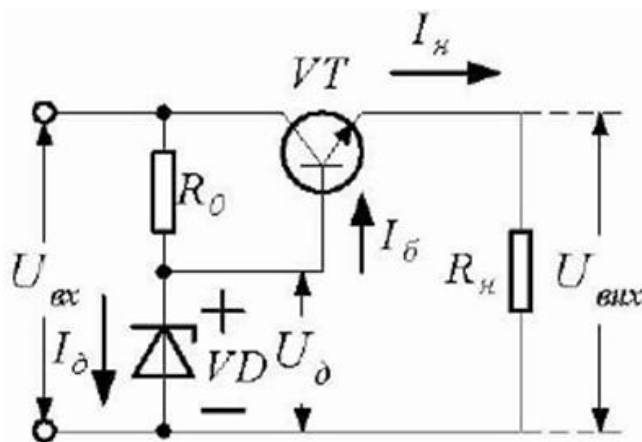


Рисунок 3

При зміні вхідної напруги стабілізатора $U_{вх}$ зміна струму в ланцюзі стабілітрона VD практично не приводить до спадання напруги на ньому. У цьому полягає суть роботи параметричного стабілізатора напруги (R_0, VD).

На рис.3 транзистор VT включений за схемою емітерного повторювача, при цьому потенціал бази транзистора стабілізований і дорівнює $U_{д}$, а напруга колекторного живлення $U_{вх}$ змінюється в певних границях. При зміні $U_{вх}$ змінюється вихідна напруга $U_{вих}$, а значить, змінюється напруга на емітері транзистора VT .

В результаті змінюється спадання напруги на ділянці емітер-колектор, компенсуючи зміну вхідної напруги. Вихідна напруга залишається практично

постійною. Коефіцієнт стабілізації найпростішого транзисторного стабілізатора напруги (рис.3) приблизно рівняється коефіцієнту стабілізації найпростішого параметричного стабілізатора напруги.

Знаходимо необхідну вхідну напругу по формулі:

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вих}}}{(1 - 0.01 \cdot \Delta U) \cdot (1 - \frac{K_{\text{ст}}}{K_{\text{ст.гр}})}},$$

де $K_{\text{ст}}$ – необхідний коефіцієнт стабілізації,

$K_{\text{ст.гр}}$ – гранично досяжне значення коефіцієнта стабілізації,

ΔU – припустиме відносне зменшення вхідної напруги в порівнянні з номінальним, %.

Задамося $K_{\text{ст.гр}} = 1,5 \cdot K_{\text{ст}}$, $\Delta U = 10\%$, тоді отримаємо:

$$U_{\text{вх}} = \frac{9}{(1 - 0.01 \cdot 10) \cdot (1 - \frac{1}{1.5})} = 30 \text{ В}$$

Для стабілітрона Д818В маємо: $I_{\text{ст.мін}} = 3 \text{ мА}$, $I_{\text{ст.макс}} = 33 \text{ мА}$, $r_{\text{ст}} = 18 \text{ Ом}$, $U_{\text{ст}} = 9 \text{ В}$ (де $r_{\text{ст}}$ – диференційний опір стабілітрона).

Визначимо опір баластного резистора по формулі:

$$R_0 = \frac{U_{\text{вх}} \cdot (1 - 0,01 \cdot \Delta U) - U_{\text{вих}}}{I_{\text{ст.макс}} + I_{\text{ст.мін}}} - R_{\text{вих}}$$

де $R_{\text{вих}}$ - вихідний опір джерела (випрямляча і фільтра) по постійному струмі,

$I_{\text{ст.макс}}$ – максимальний струм стабілізації;

$I_{\text{ст.мін}}$ – мінімальний струм стабілізації.

Задамося $R_{\text{вих}} = 100 \text{ Ом}$, тоді:

$$R_0 = \frac{30 \cdot (1 - 0.01 \cdot 10) - 9}{3 \cdot 10^{-3} + 33 \cdot 10^{-3}} - 100 = 91 \text{ Ом}.$$

Визначимо спадання напруги на транзисторі:

$$U_{VT} = U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}} = 30 - 9 = 21 \text{ В}$$

При виборі транзистора необхідно враховувати розсіювану на колекторі потужність:

$$P_{VT} = U_{VT} \cdot I_n = 21 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 1,26 \text{ Вт}$$

З врахуванням усього вище зазначеного, вибираємо транзистор КТ815А, у якого: $U_{ке.мах} = 40\text{В}$; $I_{к.мах} = 7.5\text{А}$; $P_{к.мах} = 10\text{Вт}$.

Приступимо до вибору діодів випрямляча з урахуванням наступних параметрів:

- зворотна напруга на діоді:

$$U_{зв} = 3 \cdot U_{вх} = 3 \cdot 30 = 90 \text{ В}$$

- середній постійний струм:

$$I_{cp} = \frac{I_n}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ мА}$$

- максимальний струм через діод:

$$I_{мах} = 3.5 \cdot I_n = 3.5 \cdot 60 = 210 \text{ мА}$$

Вибираємо діоди КД208А, для яких:

$$I_{np.мах} = 1\text{А}, U_{ке.мах} = 100\text{В}, U_{np} = 1.5\text{В}.$$

Робота випрямляча, зображеного на рис.2, характеризується двома інтервалами часу:

1) перший інтервал пов'язаний із зарядом конденсатора C_1 , коли електрична рушійна сила (ЕРС) вторинної обмотки трансформатора Tr_1 перевищує напругу на конденсаторі і вентиль VD_1 або VD_2 пропускає струм;

2) другий інтервал пов'язаний з розрядом конденсатора C_1 , коли ЕРС вторинної обмотки трансформатора менше напруги на конденсаторі і вентилі не пропускають струм.

У реальних випрямлячах, коли $C_1 \neq \infty$, напруга на конденсаторі в момент підзарядки підвищується, а в період розряду знижується, тобто випрямлена напруга має вигляд не прямої, а ламаної лінії. Період часу, протягом якого протікає струм у вентилі, називають кутом відсічки Θ . У двухполуперіодній схемі новий цикл заряду конденсатора відбувається за половину періоду напруги живлення. В результаті крива випрямленої напруги виходить згладженою.

Задача 5

Запропонуйте нормований підсилювач (НП) із змінним коефіцієнтом передачі.

У відповіді приведіть: функціональну схему НП на основі ідеального операційного підсилювача (ОП); короткий опис принципу дії; розрахунки резисторів для наступних коефіцієнтів передачі: $K_1 = N$, $K_2 = 2$, $K_3 = 1$ при значенні резистора зворотного зв'язку $R_{33} = 100$ кОм; форму вхідних і вихідних сигналів для заданих K_i ($i=1,2,3$) за умови, що на вхід НП подаються синусоїдальні сигнали з амплітудою 2 В, а напруга живлення ОП становить 6 В.

Рішення:

Вирішимо задачу для варіанта $N=4$. Розрахуємо опори резисторів:

$$R_1 = R_{33} / K_1 = 100 / 4 = 25 \text{ кОм},$$

$$R_2 = R_{33} / K_2 = 100 / 2 = 50 \text{ кОм},$$

$$R_3 = R_{33} / K_3 = 100 / 1 = 100 \text{ кОм}.$$

Схема нормованого підсилювача наведена на рис.1. Для того, щоб підсилювач працював з коефіцієнтом підсилення K_1 , необхідно ключ 1 включити, а ключі 2 і 3 виключити. Для того, щоб підсилювач працював з коефіцієнтом підсилення K_2 , необхідно ключ 2 включити, а ключі 1 і 3 виключити.

Форми вхідних і вихідних сигналів для K_1 наведені на рис.2, для K_2 - на рис.3, для K_3 - на рис.4.

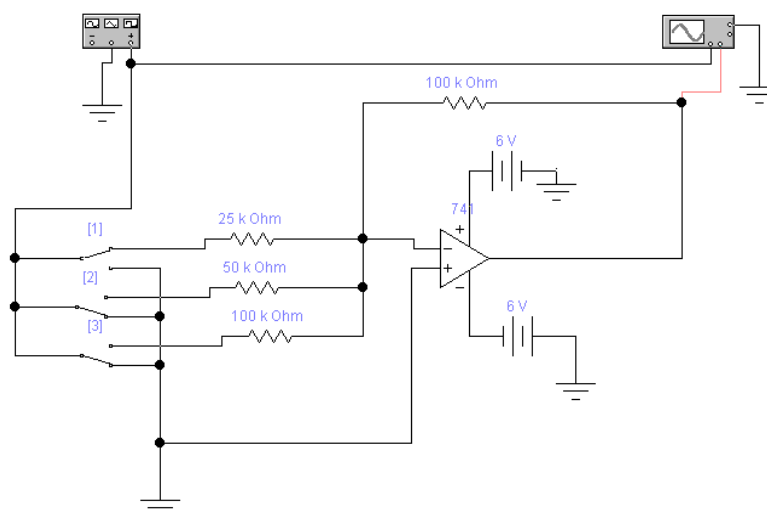


Рисунок 1

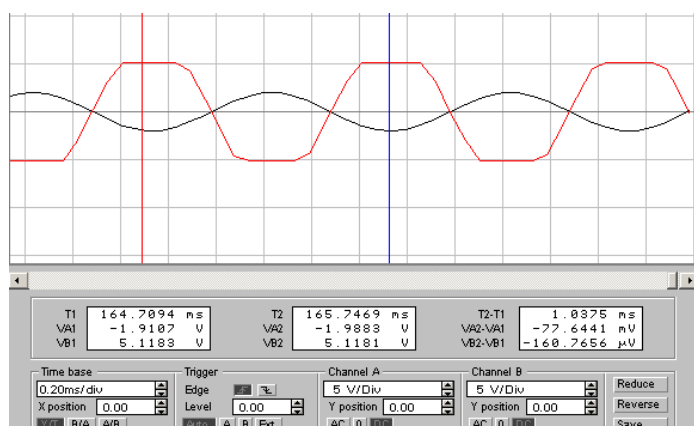


Рисунок 2

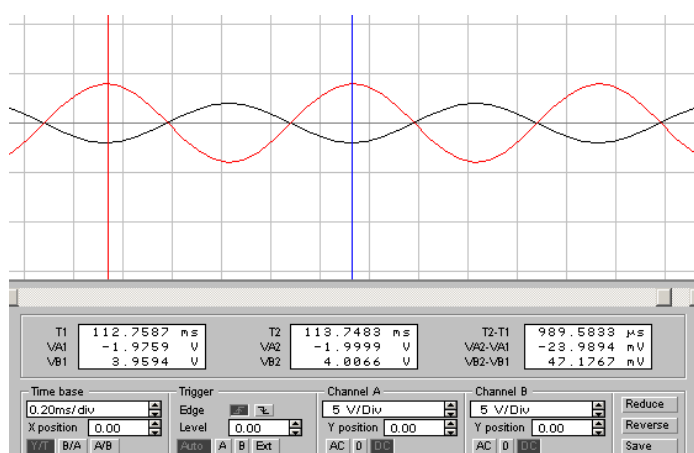


Рисунок 3

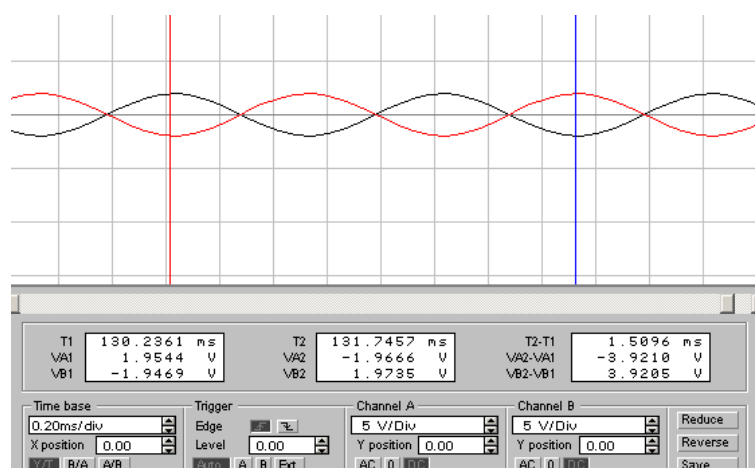


Рисунок 4

Задача 6

Запропонуйте трьохвходовий аналоговий інвертуючий суматор (SM) на основі операційного підсилювача (ОП).

У відповіді привести: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки входних резисторів і напруги на виході ($U_{\text{вих}}$) за умови, що: $K_1 = 1$, $K_2 = 2.5 \cdot N$, $K_3 = 2$, $U_1 = 3$ В, $U_2 = 2$ В, $U_3 = -1$ В, $R_{33} = 100$ кОм, де K_i - коефіцієнт передачі сигналу з i -го ($i=1,2,3$) входу, R_{33} - резистор зворотного зв'язку, U_i - входна напруга; форму $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали U_2 з амплітудою 5 В при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 9$ В.

Рішення:

Для $N=37$ значення коефіцієнта передачі: $K_2 = 2.5 \cdot N = 2.5 \cdot 37 = 92.5$.

На операційних підсилювачах будуються схеми, які виконують математичні операції над входними сигналами (підсумовування, вирахування, інтегрування, диференціювання і т.п.). У суматорах на виході одержуємо суму входних напруг. Схема трьохвходового інвертуючого суматора показана на рис.1.

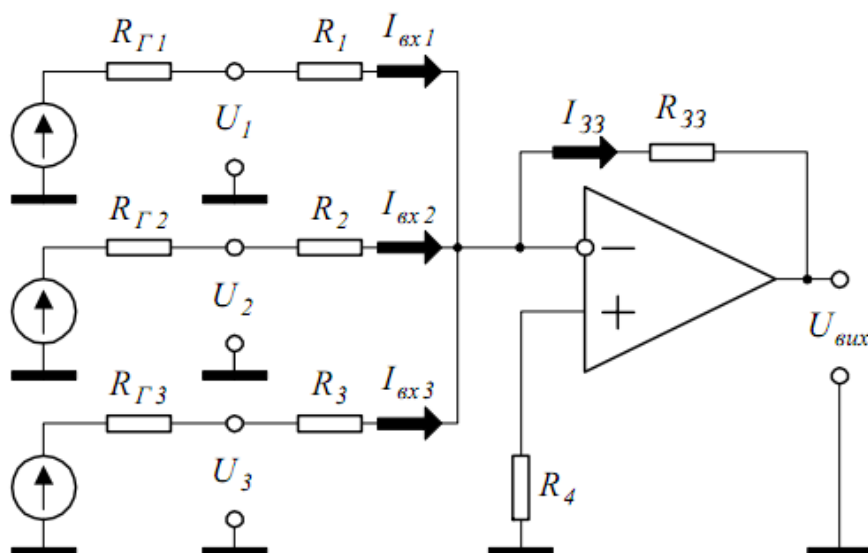


Рисунок 1

Для входних струмів можна записати:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{вх}1} &= \frac{U_1}{R_1} \\
 I_{\text{вх}2} &= \frac{U_2}{R_2} \\
 I_{\text{вх}3} &= \frac{U_3}{R_3}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де $I_{\text{вх}1}$, $I_{\text{вх}2}$, $I_{\text{вх}3}$ – струми у вхідних ланцюгах.

Струм ланцюга зворотного зв'язку $I_{\text{зз}}$ рівняється сумі вхідних струмів, тобто:

$$I_{\text{зз}} = I_{\text{вх}1} + I_{\text{вх}2} + I_{\text{вх}3} \tag{2}$$

Вихідна напруга суматора:

$$U_{\text{вих}} = -I_{\text{зз}} \cdot R_{\text{зз}} = -R_{\text{зз}} \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right) \tag{3}$$

Згідно із завданням, маємо коефіцієнти передачі:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{U_{\text{вих}}}{U_1} \Big|_{U_2=0, U_3=0} \\
 K_2 &= \frac{U_{\text{вих}}}{U_2} \Big|_{U_1=0, U_3=0} \\
 K_3 &= \frac{U_{\text{вих}}}{U_3} \Big|_{U_1=0, U_2=0}
 \end{aligned}$$

Можна записати:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= -\frac{R_{\text{зз}}}{R_1} \\
 K_2 &= -\frac{R_{\text{зз}}}{R_2} \\
 K_3 &= -\frac{R_{\text{зз}}}{R_3}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

З виразів (4) видно, що підсилення по кожному вході можна регулювати, змінюючи опір вхідного ланцюга. Величину резистора R_4 , який включений для зниження дрейфу струму, вибирають за умови, щоб вихідна напруга $U_{\text{вих}}=0$ якщо $U_1=U_2=U_3=0$.

У схемі суматора (рис.1) цей режим встановлюється, якщо

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{33}} \quad (5)$$

при умові, що $R_{\Gamma 1} = R_{\Gamma 2} = R_{\Gamma 3} = 0$.

Тому виберемо резистор R_4 суматора таким чином, щоб виконувалося рівняння:

$$R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{33}}} \quad (6)$$

Спільне рішення системи рівнянь (4) і (6) дає наступні опори резисторів (тут коефіцієнти підсилення взяті позитивними, а в правих частинах рівнянь (4) змінений знак):

$$R_1 = \frac{R_{oc}}{K_1} = \frac{100}{1} = 100 \text{ кОм}$$

$$R_2 = \frac{R_{oc}}{K_2} = \frac{100}{92.5} = 1.081 \text{ кОм}$$

$$R_3 = \frac{R_{oc}}{K_3} = \frac{100}{2} = 50 \text{ кОм}$$

$$R_4 = \frac{R_{oc}}{K_1 + K_2 + K_3 + 1} = \frac{100}{1 + 92.5 + 2 + 1} = 1.036 \text{ кОм}$$

Проведемо перевірку виконання рівняння (5). Підставимо в нього знайдені опори резисторів і одержимо:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{33}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{1.081} + \frac{1}{50} + \frac{1}{100} = 0.965 \text{ мСм}$$

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{1.036} = 0.965 \text{ мСм}.$$

Таким чином, рівняння (5) виконано, це вказує на те, що суматор розрахований вірно. Підберемо номінали опорів R_i ($i=1,2,3$) з ряду номіналів: $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $R_2 = 1.1 \text{ кОм}$, $R_3 = 51 \text{ кОм}$, $R_4 = 1 \text{ кОм}$.

Визначимо напругу на виході суматора:

$$U_{\text{вих}} = -R_{33} \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right) = -100 \cdot \left(\frac{3}{100} + \frac{2}{1.1} + \frac{-1}{51} \right) = -186.7 \text{ В}$$

У зв'язку з тим, що отримана напруга за абсолютним значенням перевищує напругу живлення $E_{ж} = \pm 9 \text{ В}$, то напруга на виході суматора буде дорівнювати:

$$U_{вих} = -0.9 \cdot |E_{жс}| = -8.1 \text{ В}$$

У випадку, якщо на перший і третій входи суматора подати постійну напругу $U_1 = 3 \text{ В}$ і $U_3 = -1 \text{ В}$, а на другий вхід синусоїдальну напругу U_2 амплітудою 5 В , то форма отриманої на виході напруги буде мати вигляд обмеженої зверху та знизу синусоїди (рис.2).

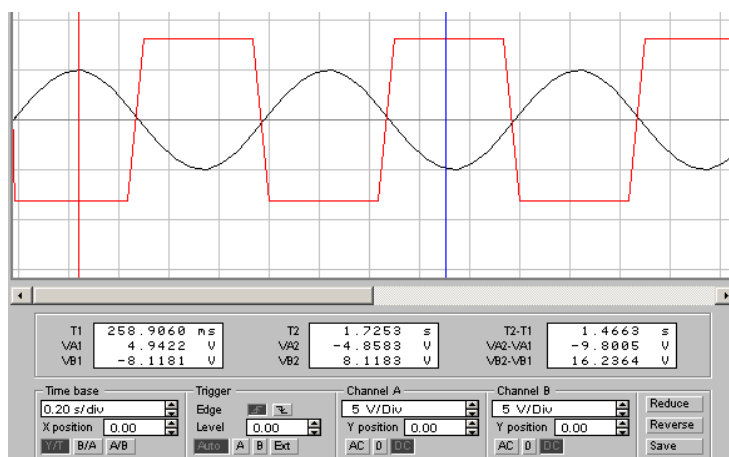


Рисунок 2 - Форма напруги на вході та виході суматора

Задача 7

Запропонуйте трьохвходовий аналоговий не інвертуючий суматор (SM) на основі операційного підсилювача (ОП).

У відповіді привести: функціональну схему SM з ідеальним ОП, короткий опис роботи; розрахунки вхідних резисторів і напруги на виході ($U_{вих}$) за умови, що: $K_1 = 2.5$, $K_2 = 1.5$, $K_3 = 3$, $U_1 = 5 \text{ В}$, $U_2 = 0.2 \cdot N \text{ В}$, $U_3 = -5 \text{ В}$, $R_{33} = 100 \text{ кОм}$, де N – номер варіанту, K_i - коефіцієнт передачі сигналу з i -го ($i=1,2,3$) входу, R_{33} - резистор зворотного зв'язку, U_i – вхідна напруга; форму $U_{вих}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали U_2 з амплітудою 5 В при живленні ОП $E_{ж} = \pm 5 \text{ В}$.

Рішення:

Для $N = 6$ маємо: $U_2 = 0.2 \cdot N = 1.2 \text{ В}$.

На операційних підсилювачах будуються схеми, які виконують математичні операції над вхідними сигналами (підсумовування, вирахування, інтегрування, диференціювання і т.п.). У суматорах на виході одержуємо суму вхідних напруг. Схема трьохвходового не інвертуючого суматора показана на рис.1.

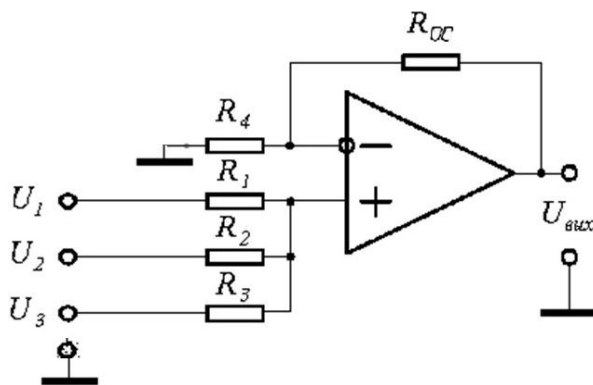


Рисунок 1

В основі схеми лежить не інвертуючий підсилювач на базі ОП зі зворотним зв'язком (33). Коефіцієнти підсилення схеми:

$$K_1 = \frac{U_{вих} (U_2 = 0, U_3 = 0)}{U_1}$$

$$K_2 = \frac{U_{вих} (U_1 = 0, U_3 = 0)}{U_2}$$

$$K_3 = \frac{U_{вих} (U_1 = 0, U_2 = 0)}{U_3}$$

Суматор вважається настроєним при виконанні умови, що вихідна напруга $U_{вих}=0$, якщо $U_1=U_2=U_3=0$. У схемі суматора цей режим встановлюється, якщо:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{сз}} \quad (1)$$

Тому виберемо резистор R_4 суматора таким чином, щоб виконувалося рівняння:

$$R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_{сз}}} \quad (2)$$

Тоді отримуємо:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{R_{33}}{R_1} \\
 K_2 &= \frac{R_{33}}{R_2} \\
 K_3 &= \frac{R_{33}}{R_3}
 \end{aligned} \tag{3}$$

В результаті маємо:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{R_{33}}{K_1} = \frac{100}{2.5} = 40 \text{ кОм} \\
 R_2 &= \frac{R_{33}}{K_2} = \frac{100}{1.5} = 66.667 \text{ кОм} \\
 R_3 &= \frac{R_{33}}{K_3} = \frac{100}{3} = 33.333 \text{ кОм} \\
 R_4 &= \frac{R_{33}}{K_1 + K_2 + K_3 - 1} = \frac{100}{2.5 + 1.5 + 3.0 - 1} = 16.7 \text{ кОм}
 \end{aligned}$$

Перевіримо виконання рівняння (1). Підставимо в нього знайдені опори резисторів і одержимо:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} &= \frac{1}{40} + \frac{1}{66.667} + \frac{1}{33.333} = 0.07 \text{ мСм} \\
 \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{33}} &= \frac{1}{16.667} + \frac{1}{100} = 0.07 \text{ мСм}
 \end{aligned}$$

Таким чином, рівняння (1) виконано, що вказує на те, що суматор розрахований вірно. Підберемо номінали опорів R_i ($i=1,2,3$) з ряду номіналів: $R_1 = 39 \text{ кОм}$, $R_2 = 67 \text{ кОм}$, $R_3 = 33 \text{ кОм}$, $R_4 = 17 \text{ кОм}$.

Відповідно до рівняння (2), напруга на виході суматора:

$$U_{\text{вих}} = \frac{R_4 + R_{33}}{R_4} \cdot \frac{U_1 \cdot R_2 \cdot R_3 + U_2 \cdot R_1 \cdot R_3 + U_3 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

що за абсолютним значенням не перевищує

$$0.9 \cdot E_{\text{жс}} = 0.9 \cdot 5 = 4.5 \text{ В} ,$$

тому на виході отримаємо напругу $U_{\text{вих}} = -0.524 \text{ В}$.

Якщо на перший і третій входи суматора подати постійну напругу $U_1 = 5\text{В}$ і $U_3 = -5\text{ В}$, а на другий вхід синусоїдальну напругу U_2 амплітудою 5 В , то форма отриманої на виході напруги буде мати вигляд обмеженої синусоїди.

Задача 8

Проаналізуйте функціональну схему вузла комбінаційного типу, наведену на рис.1. У відповіді привести: таблицю станів; логічний вираз, що описує функціонування даної схеми; часові діаграми.

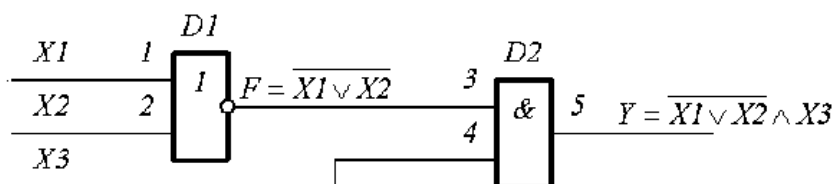


Рисунок 1 - Функціональна схема вузла комбінаційного типу.

Рішення:

На рис.1 зображена функціональна схема з'єднання логічних елементів «АБО-НІ» а також «І». Логічний елемент «АБО-НІ» забезпечує логічне додавання (диз'юнкцію), а потім логічне заперечення (інверсію) результату. Логічний елемент «І» забезпечує логічне множення (кон'юнкцію).

Логічний елемент D1 забезпечує на вході 3 другого логічного елементу D2 сигнал:

$$F = \overline{X1 \vee X2} = \overline{X1 + X2} \quad (1)$$

Логічний елемент D2 забезпечує на виході 5 сигнал:

$$Y = F \wedge X3 = F \cdot X3 \quad (2)$$

Оскільки сигнал F на вході 3 елемента D2 визначається по формулі (1), то з виразу (2) виходить, що на виході заданого вузла комбінаційного типу буде сигнал:

$$Y = (\overline{X1 \vee X2}) \wedge X3 = (\overline{X1 + X2}) \cdot X3$$

Таблиця 1 – Таблиця станів

X1	X2	X3	$X1 + X2$	$\overline{X1 + X2}$	$Y = (\overline{X1 + X2}) \cdot X3$
0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0

На рис.2 наведені часові діаграми роботи схеми.

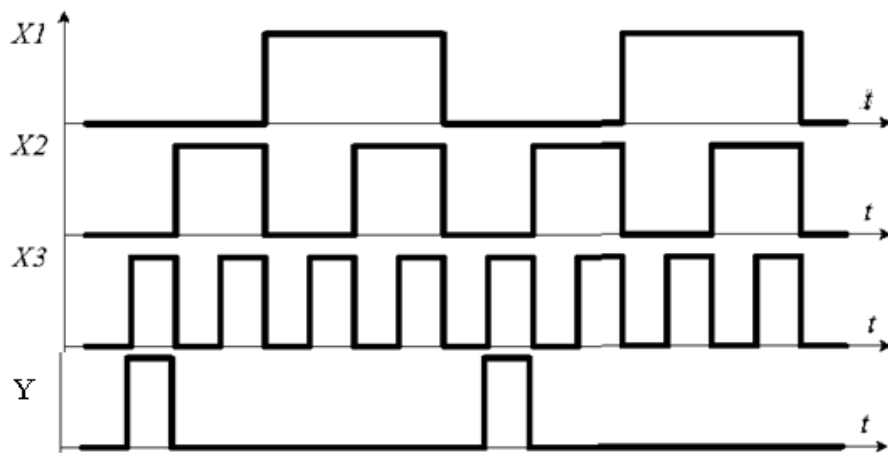


Рисунок 2

3. Рекомендації щодо оформлення звіту

Звіт про виконання розрахункового завдання необхідно оформляти на аркушах формату А4 з титульним листом заданої форми (рис.1). На одному аркуші 40-43 рядка тексту з розміром шрифту Times New Roman #14.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
Кафедра «Обчислювальна техніка та програмування»
«Комп’ютерна електроніка»
<i>Розрахункове завдання</i>
Виконав:
ст. гр. КІТ-32
Іванов О.В.
Перевірив:
Скородєлов В.В.
Харків – 2014

Рисунок 1 – Зразок титульного листа звіту

Виконані задачі скріпляються з титульним листом і передаються на перевірку викладачу. До звіту в електронному вигляді додаються файли з результатами моделювання розроблених схем. Оформлення текстових документів, до яких відносяться і розрахунково-графічні роботи студентів виконуються за державними стандартами України та СТБУЗ [8,9].

Рекомендована література

1. *Скороделов В.В.* Комплект методичних матеріалів по дисципліні «Комп'ютерна електроніка»: Електронний варіант. / В.В. Скороделов. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – 816 с.
2. *Скороделов В.В.* Компьютерная электроника: дистанционный курс / В.В. Скороделов, Г.В. Гейко // Центр дистанционного обучения НТУ ХПИ (cde.kpi.kharkov.ua). – 2013.
3. *Завадский В.А.* Компьютерная электроника / А.В. Завадский. – К.: ТОО ВЕК. – 1996. – 368 с.
4. *Опадчий Ю.Ф.* Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс. Учебник для вузов. / Ю.Ф. Опадчий. – М.: Телеком. – 2000. – 768 с.
5. *Лачин В.И.* Электроника: Учебное пособие. / В.И. Лачин и др. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс». – 2000. – 448 с.
6. *Лаврентьев Б.Ф.* Аналоговая и цифровая электроника: Учебное пособие. / Б.Ф. Лаврентьев. – Йошкар-Ола: Мар ГТУ. – 2000. – 155 с.
7. *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB / В.И. Карлащук. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2004. – 800 с.
8. *Хернитер Марк Е.* Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа электронных устройств. / Марк Е. Хернитер. – М.: Издательский дом ДМК-пресс. – 2004. – 488 с.
9. *Угрюмов Е.П.* Цифровая схемотехника: Учебное пособие для вузов / Е.П. Угрюмов. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2007. – 800 с.
10. СТВУЗ-ХПІ-3.07.2007. Конструкторські документи у сфері навчального процесу, схеми. Загальні вимоги до виконання.
11. СТВУЗ-ХПІ-3.01.2006. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання розрахункового завдання з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямком 6.050102 «Комп'ютерна інженерія» по спеціальностях 6.050102-01 «Комп'ютерні системи та мережі», 6.050102-02 «Системне програмування», 6.050102-03 «Спеціалізовані комп'ютерні системи»

Укладачі: СКОРОДЄЛОВ Володимир Васильович,
ДАНИЛЕНКО Олександр Федорович,
ГЕЙКО Геннадій Вікторович

Відповідальний за випуск	С.Й. Червонний
Роботу до видання рекомендував	М.Й. Заполовський

В авторській редакції

План 2014 р., поз. /

Підписано до друку . .14. Формат 60x84 1/16. Папір офсет.№2.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 0.8

Обл.-вид. арк. 1,3 Наклад 150 прим. Зам №. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ» 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10ю07.2000 р.

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.