

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

Кафедра «Обчислювальна техніка та програмування»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять
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 проведення практичних занять 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. – 38 с.

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

Рецензент Калашніков В.І.

Кафедра «Обчислювальна техніка та програмування»

Викладена методика проведення практичних занять по курсу «Комп'ютерна електроніка», метою яких є знайомство з принципами роботи основних елементів схем і базових вузлів аналогових пристроїв ЕОМ, рішення типових задач і підготовка до виконання розрахунково-графічного завдання (РГЗ) та комплексних контрольних робіт (ККР), підготовка до виконання лабораторних робіт.

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». Виконання РГЗ і ККР передбачає закріплення знань та придбання практичних навичок щодо побудови, розрахунку та моделювання схем аналогових пристроїв.

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

НТУ «ХПІ», 2014®

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Практичне заняття №1 – Фільтри.....	5
2. Практичне заняття №2 – Схеми на основі RC-ланцюгів.....	9
3. Практичне заняття №3 – Схеми на основі діодів.....	10
4. Практичне заняття №4 – Джерела живлення.....	14
5. Практичне заняття №5 – Транзисторні підсилювачі.....	19
6. Практичне заняття №6 – Формувачі імпульсів.....	20
7. Практичне заняття №7 – Схеми на операційних підсилювачах (лінійні).....	22
8. Практичне заняття №8 – Схеми на операційних підсилювачах (нелінійні)...	25
Список літератури	32
Додаток А – Програма дисципліни та запитання	34
Додаток Б – Аналогові мікросхеми в пакеті EWB (Multisim) та їх аналоги.....	37

ВСТУП

Практичні заняття дають можливість студенту закріпити отримані теоретичні знання з спецкурсу та набути навички і уміння, які необхідні при побудові, розрахунку та моделюванні схем аналогових пристроїв. Для цього, під час аудиторних занять та самостійної роботи, студенти розглядають і вирішують ряд типових задач. На завершальному етапі студенти виконують комплексні контрольні роботи (ККР) та розрахунково-графічне завдання (РГЗ) з навчальної дисципліни «Комп'ютерна електроніка». Результати виконання ККР та РГЗ дають змогу оцінити рівень та якість набутих під час вивчення даної дисципліни знань студентів.

Система контролю якості навчання в цілому по спецкурсу містить проведення опитування перед початком практичних і лабораторних занять, оцінка роботи студента під час їх проведення, виконання домашніх завдань та ККР, проведення поточних контрольних робіт, виконання та захист РГЗ, проведення модульних контролів, складання іспиту.

1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: Фільтри

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

1.1 Розглянути форми подання інформації в ЕОМ, вивчити основні характеристики змінних електричних сигналів, імпульсів і імпульсних послідовностей. Розглянути пасивні фільтри (ФНЧ, ФВЧ, ППФ, ПЗФ, послідовне з'єднання ФНЧ, ФВЧ), дільники напруги (в тому числі частотно-компенсовані).

1.2 Підготовка до лабораторної роботи «Пасивні RC-фільтри».

1.3 Рішення контрольних 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: $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$, $U_{\text{вих}} = 3 \text{ В}$, $R_2 = N \text{ кОм}$, $C_2 = 0.01 \text{ мкФ}$, де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}}$ - напруги на вході та виході дільника, N - номер варіанту.

Рішення:

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

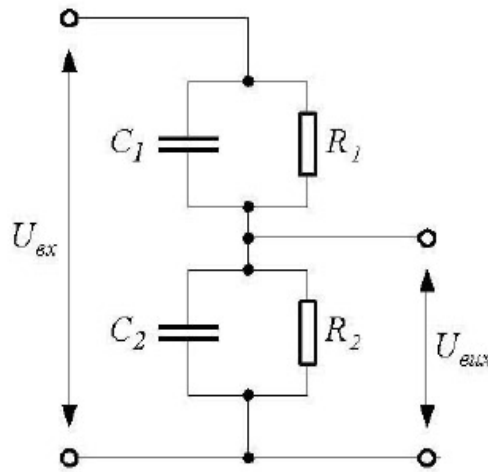


Рисунок 1

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).

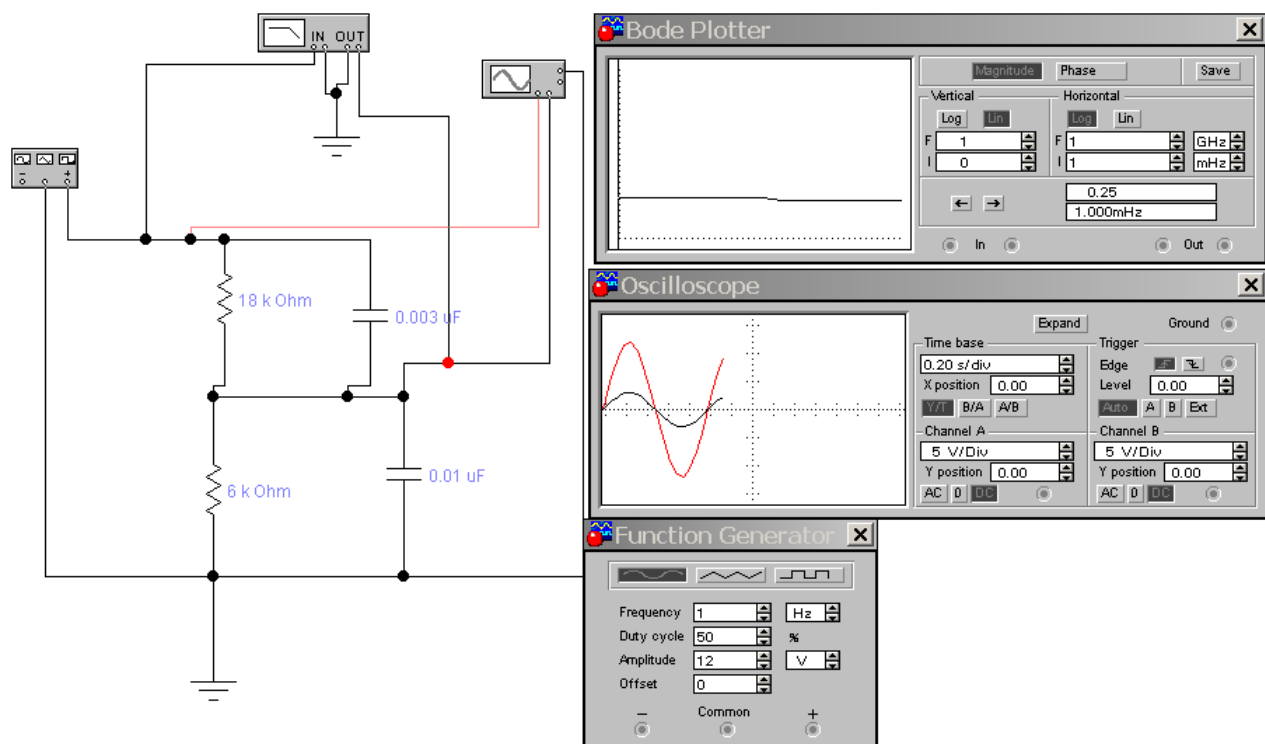


Рисунок 2

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.

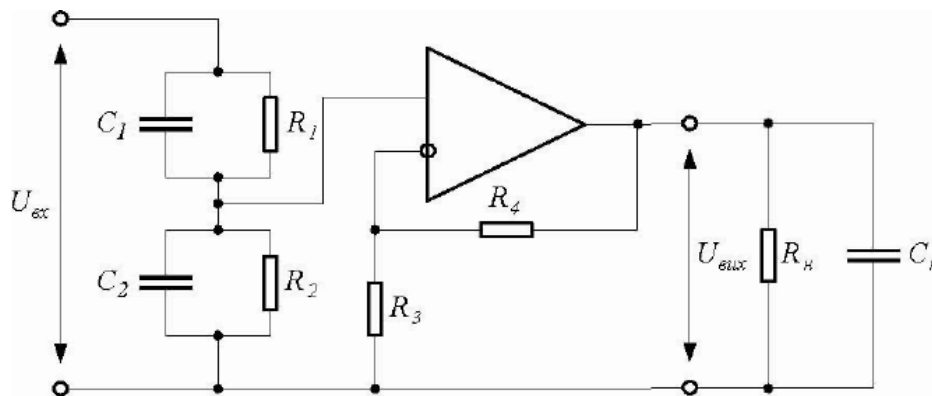


Рисунок 3 - Схема дільника напруги з операційним підсилювачем.

2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: Схеми на основі RC-ланцюгів

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

2.1 Розглянути лінійні ланцюги і їхні характеристики (частотні та часові), проходження сигналів через інтегруючі та диференціюючі RC-ланцюги.

2.2 Підготовка до лабораторної роботи "Проходження імпульсів через інтегруючі та диференціюючі ланцюги".

3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема: Схеми на основі діодів

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

3.1 Розглянути:

Діоди випрямляючі, високочастотні, імпульсні, стабілітрони, діоди Шоттки, варикапи. Розглянути оптоелектронні прилади (світлодіоди, фотодіоди, фототранзистори, фототиристори, фоторезистори, оптрони), елементи індикації. Приклади побудови схем на основі діодів (випрямлячі, обмежники та ін.)

3.2 Підготовка до лабораторної роботи «Діоди»

3.3 Рішення контрольних задач

Задача 1

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.

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.

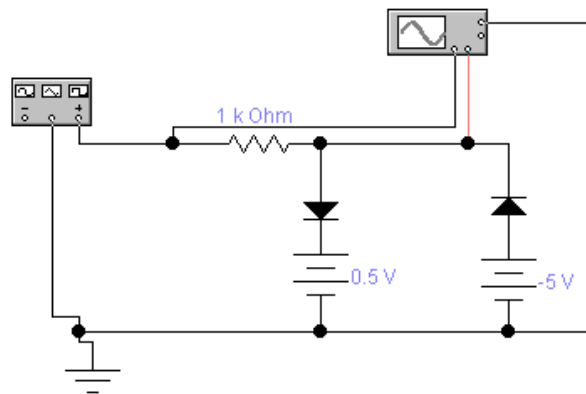


Рисунок 1

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

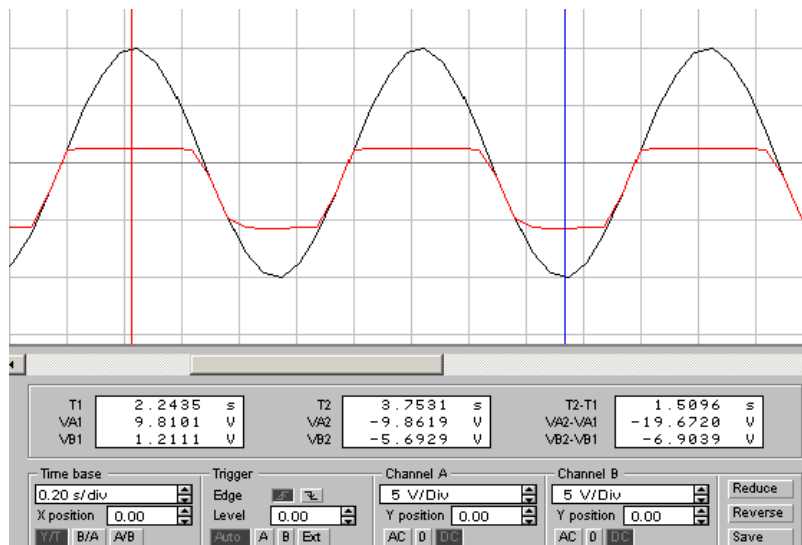


Рисунок 2

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).

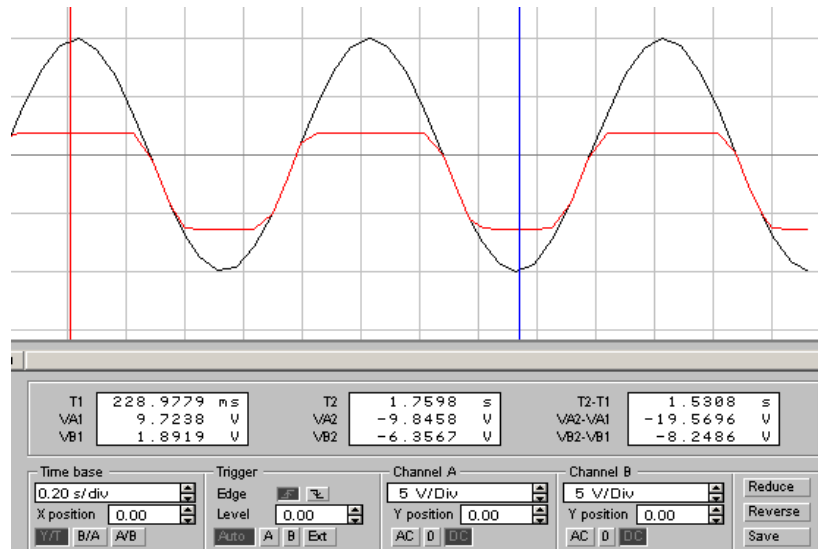


Рисунок 3

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).

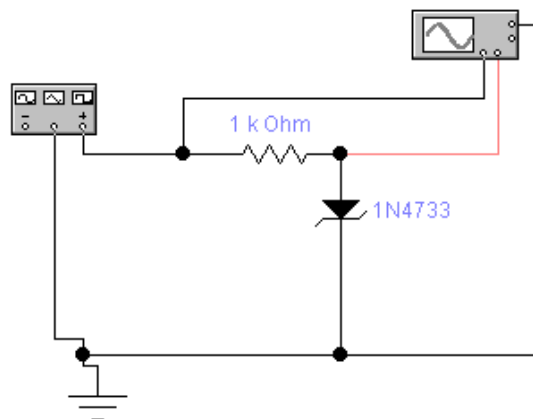


Рисунок 4

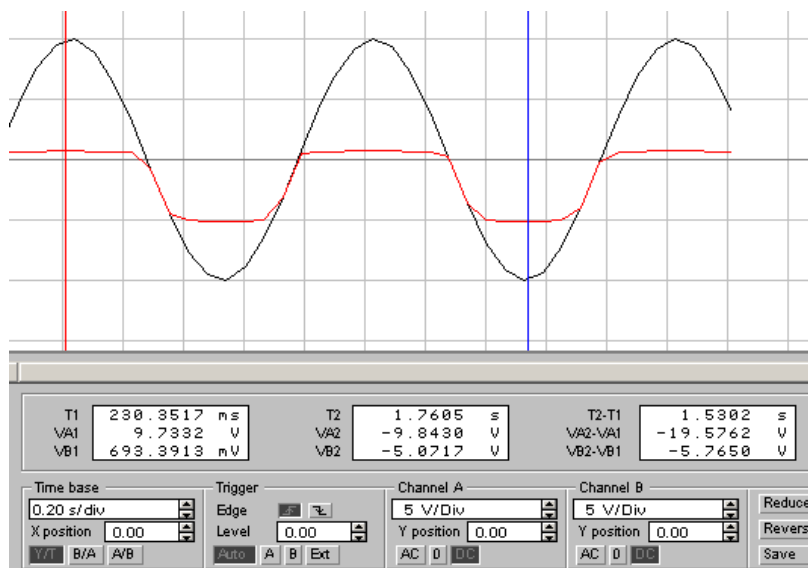


Рисунок 5

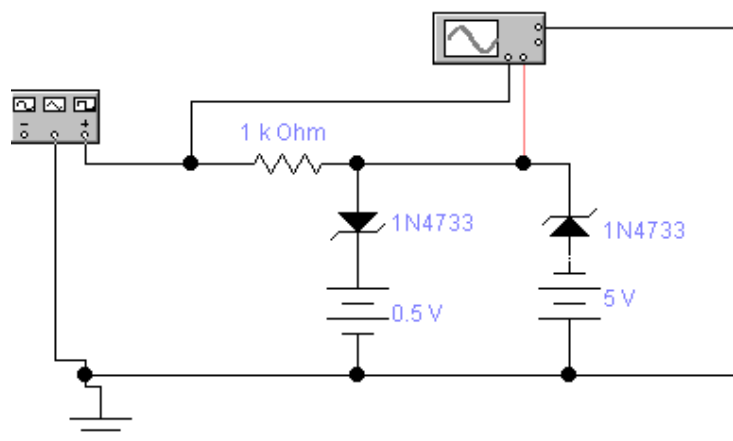


Рисунок 6

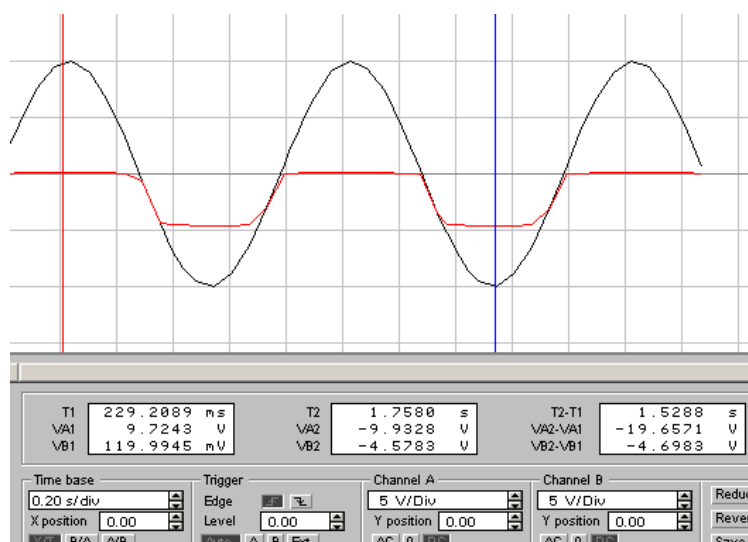


Рисунок 7

4. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема: Джерела живлення

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

4.1 Розглянути:

Особливості побудови та застосування випрямлячів, а також параметричних, компенсаційних і імпульсних стабілізаторів напруги, джерел безперебійного живлення.

4.2 Підготовка до лабораторної роботи «Параметричні стабілізатори напруги»

4.3 Рішення контрольних задач

Задача 1

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.

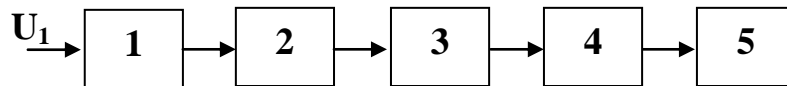


Рисунок 1

На рис.2 представлена схема, що містить трансформатор, випрямлювач, 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.

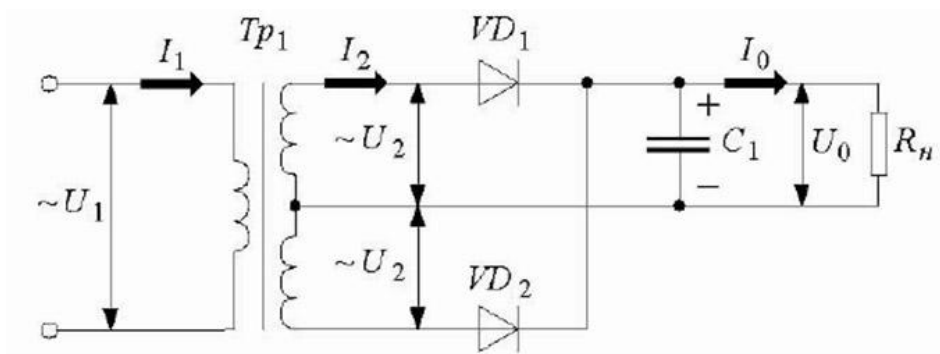


Рисунок 2

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 ділльник 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 .

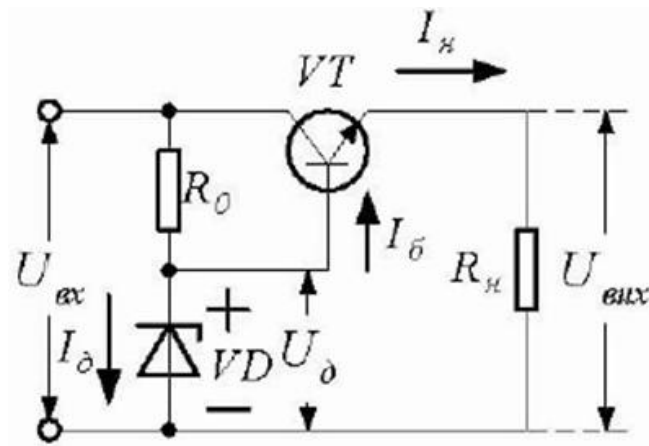


Рисунок 3

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:

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

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

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

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

Задамося $K_{ст.гр} = 1,5 \cdot K_{ст}$, $\Delta U = 10\%$, 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: $I_{ст.мин} = 3 \text{ мА}$, $I_{ст.макс} = 33 \text{ мА}$, $r_{ст} = 18 \text{ Ом}$, $U_{ст} = 9 \text{ В}$ (де $r_{ст}$ – диференційний опір стабілітрона).

Визначимо опір баластного резистора по формулі:

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

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

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

$I_{ст.мин}$ – 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: $U_{ке.макс} = 40 \text{ В}$; $I_{к.макс} = 7,5 \text{ А}$; $P_{к.макс} = 10 \text{ Вт}$.

Приступимо до вибору діодів випрямляча з урахуванням наступних параметрів:

- зворотна напруга на діоді:

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

- середній постійний струм:

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

- максимальний струм через діод:

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

Вибираємо діоди КД208А, для яких:

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

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 періода напруги живлення. В результаті крива випрямленої напруги виходить згладженою.

5. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Тема: Транзисторні підсилювачі

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

5.1 Розглянути:

Принципи побудови схем транзисторних підсилювачів і базових каскадів на біполярних транзисторах, їх вхідні та вихідні характеристики; особливості введення негативного зворотного зв'язку і його вплив на якісні показники підсилювачів; температурну стабілізацію режиму роботи підсилювачів. Розглянути призначення, характеристики, параметри, класифікацію електронних підсилювачів, режими їх роботи.

5.2 Підготовка до лабораторної роботи «Транзисторні підсилювачі»

6. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6

Тема: Формувачі імпульсів

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

6.1 Розглянути:

Призначення, принципи побудови та функціонування транзисторних ключів, компараторів напруги, формувачів коротких імпульсів, схем розширників імпульсів.

6.2 Підготовка до лабораторної роботи «Операційні підсилювачі»

6.3 Рішення контрольних задач

Задача 1

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.

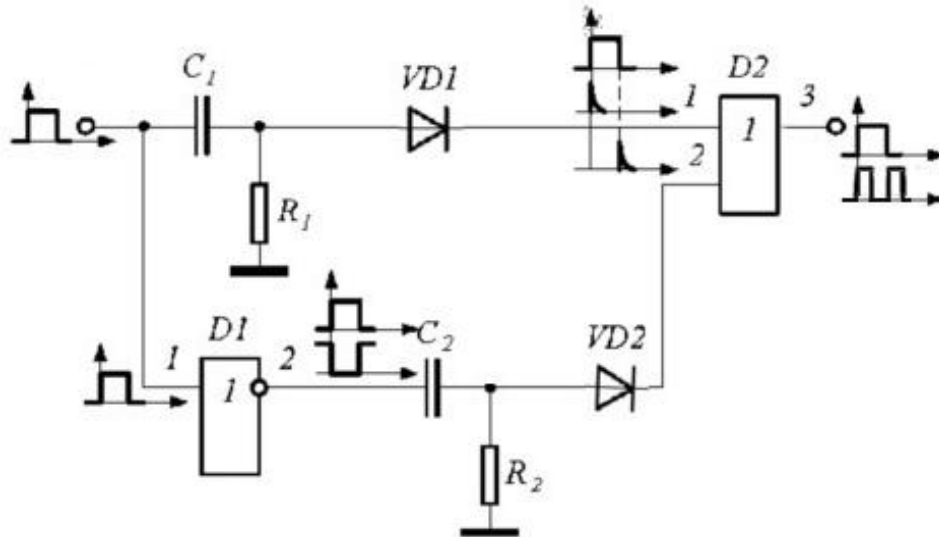


Рисунок 1

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 $0.7 \cdot R_2 \cdot C_2$.

7. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: «Схеми на операційних підсилювачах (лінійні)»

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

7.1. Розглянути:

Особливості схемної реалізації та функціонування аналогових пристроїв на операційних підсилювачах (ОП): інвертуючого та не інвертуючого суматора, інтегратора, диференціатора.

7.2. Підготовка до лабораторної роботи «Інтегратор та диференціатор»

7.3. Рішення контрольних задач

Задача 1

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 $R_{33} = 100 \text{ кОм}$; 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.

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.

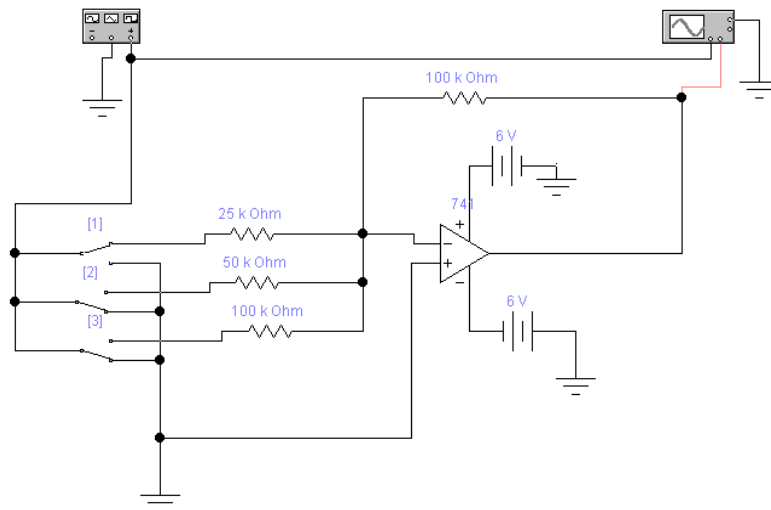


Рисунок 1

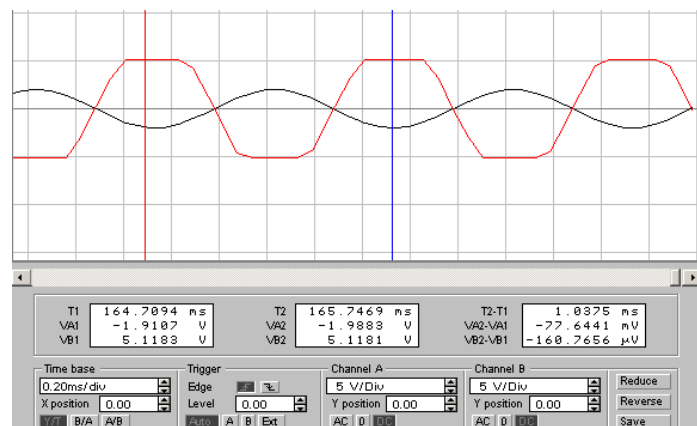


Рисунок 2

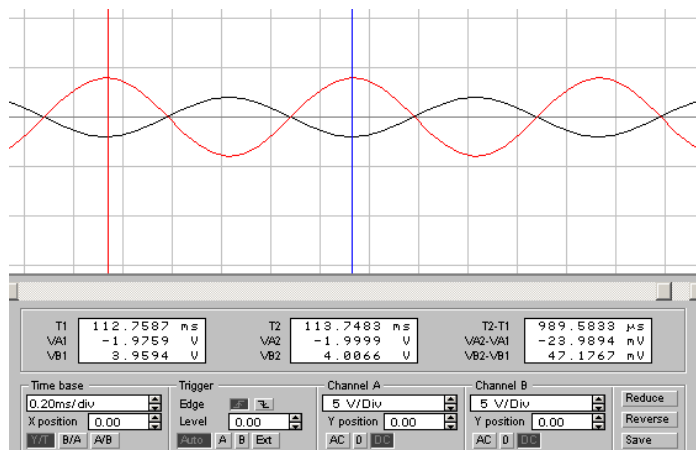


Рисунок 3

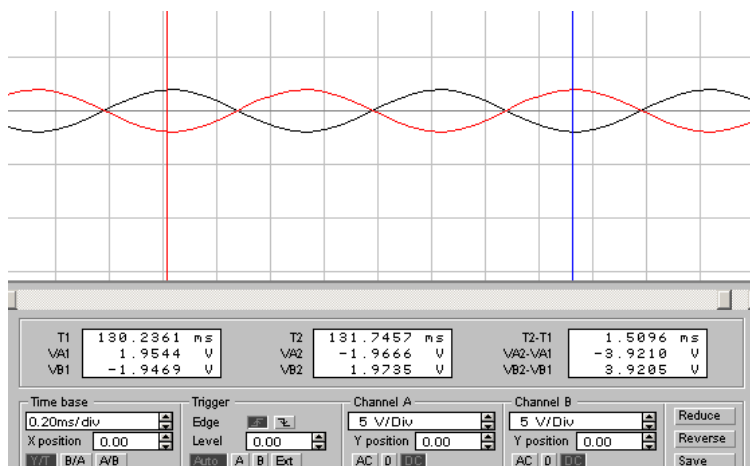


Рисунок 4

8. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Тема: «Схеми на операційних підсилювачах (нелінійні)»

Матеріал розглядається на лекції та додатково вивчається самостійно по відповідних методичних матеріалах.

8.1 Розглянути побудову обмежників амплітуди сигналів, тригерів Шмітта, генераторів сигналів і інших пристроїв на операційних підсилювачах.

8.2 Підготовка до лабораторної роботи «Функціональні пристрої на операційних підсилювачах»

8.2 Рішення контрольних задач

Задача 1

Запропонуйте трьохвходовий аналоговий 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: $K_1 = 1$, $K_2 = 2.5 \cdot N$, $K_3 = 2$, $U_1 = 3 \text{ В}$, $U_2 = 2 \text{ В}$, $U_3 = -1 \text{ В}$, $R_{\text{зз}} = 100 \text{ кОм}$, де K_i - коефіцієнт передачі сигналу з i -го ($i=1,2,3$) входу, $R_{\text{зз}}$ - 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 $E_{\text{ж}} = \pm 9 \text{ В}$.

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 вхідними сигналами (підсумовування, вирахування, інтегрування, диференціювання і т.п.). У суматорах на виході одержуємо суму вхідних напруг. Схема трьохвходового інвертуючого суматора показана на рис.1.

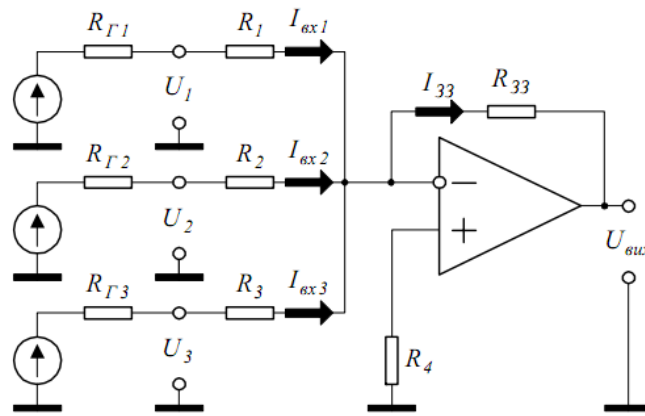


Рисунок 1

Для вхідних струмів можна записати:

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

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

Струм ланцюга зворотного зв'язку I_{33} рівняється сумі вхідних струмів, тобто:

$$I_{33} = I_{\text{вх}1} + I_{\text{вх}2} + I_{\text{вх}3} \quad (2)$$

Вихідна напруга суматора:

$$U_{\text{вих}} = -I_{33} \cdot R_{33} = -R_{33} \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right) \quad (3)$$

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:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= -\frac{R_{33}}{R_1} \\
 K_2 &= -\frac{R_{33}}{R_2} \\
 K_3 &= -\frac{R_{33}}{R_3}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

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

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{33}}
 \tag{5}$$

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

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

$$R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{33}}}
 \tag{6}$$

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

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{R_{oc}}{K_1} = \frac{100}{1} = 100 \text{ кОм} \\
 R_2 &= \frac{R_{oc}}{K_2} = \frac{100}{92.5} = 1.081 \text{ кОм} \\
 R_3 &= \frac{R_{oc}}{K_3} = \frac{100}{2} = 50 \text{ кОм} \\
 R_4 &= \frac{R_{oc}}{K_1 + K_2 + K_3 + 1} = \frac{100}{1 + 92.5 + 2 + 1} = 1.036 \text{ кОм}
 \end{aligned}$$

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 $E_{\text{ж}} = \pm 9 \text{ В}$, то напруга на виході суматора буде дорівнювати:

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

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).

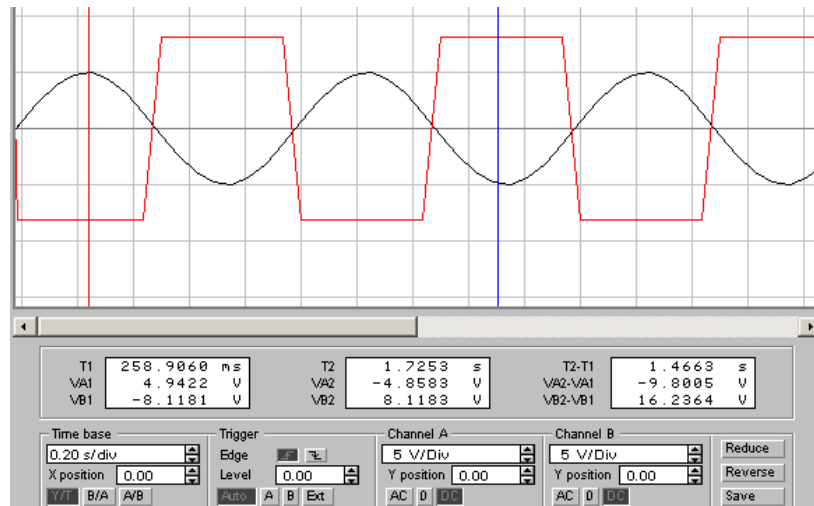


Рисунок 2 - Форма напруги на вході та виході суматора

Задача 2

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 ($U_{\text{вих}}$) за умови, що: $K_1 = 2.5$, $K_2 = 1.5$, $K_3 = 3$, $U_1 = 5$ В, $U_2 = 0.2 \cdot N$ В, $U_3 = -5$ В, $R_{33} = 100$ 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 $U_{\text{вих}}$ за умови, що на другий вхід подаються двохполярні синусоїдальні сигнали U_2 з амплітудою 5 В при живленні ОП $E_{\text{ж}} = \pm 5$ В.

Рішення:

Для $N = 6$ маємо: $U_2 = 0.2 \cdot N = 1.2$ 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.

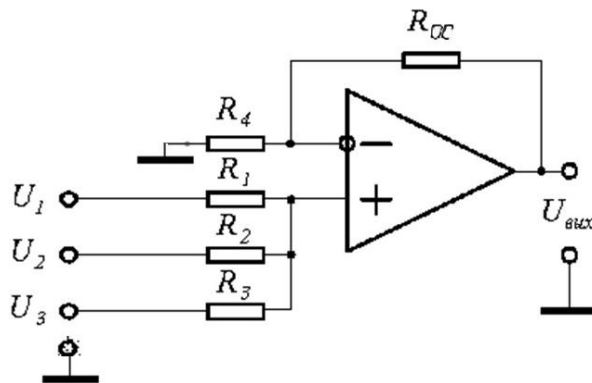


Рисунок 1

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

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

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

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

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

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

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

$$R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_{33}}} \quad (2)$$

Тоді отримуємо:

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

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:

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{40} + \frac{1}{66.667} + \frac{1}{33.333} = 0.07 \text{ мСм}$$

$$\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{33}} = \frac{1}{16.667} + \frac{1}{100} = 0.07 \text{ мСм}$$

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.

Список літератури

Основна

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. *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.
6. *Хернитер Марк Е.* Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа электронных устройств. / Марк Е. Хернитер. – М.: Издательский дом ДМК-пресс. – 2004. – 488 с.

Додаткова

7. *Фолкенбери Л.* Применения операционных усилителей и линейных ИС: / Л. Фолкенбери. – Мир. – 1989. – 572 с.
8. *Лачин В.И.* Электроника: Учебное пособие. / В.И. Лачин и др. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс». – 2000. – 448 с.
9. *Лаврентьев Б.Ф.* Аналоговая и цифровая электроника: Учебное пособие. / Б.Ф. Лаврентьев. – Йошкар-Ола: Мар ГТУ. – 2000. – 155 с.
10. *Титце У.* Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство / У. Титце, К. Шенк. – М.: Мир. – 1982.
11. Резисторы. Справочник / Под ред. И.И. Четверткова, В.М. Терехова. – М.: Радио и связь. – 1991. – 527 с.

12. Справочник по электрическим конденсаторам / Под ред. И.И.Четверткова, И.Ф. Смирнова. – М.: Радио и связь. – 1983. – 575 с.
13. Диоды. Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятина и др. – М.: Радио и связь. – 1990. – 336 с.
14. Транзисторы. Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин и др. – М.: Радио и связь. – 1989. – 272 с.
15. СТБУЗ-ХПІ-3.07.2007. Конструкторські документи у сфері навчального процесу, схеми. Загальні вимоги до виконання.
16. СТБУЗ-ХПІ-3.01.2006. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

ДОДАТОК А

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ТА ЗАПИТАННЯ

Тема 1. Фізичні носії та форми представлення інформації в ЕОМ.

Фізичні носії інформації. Форми представлення інформації в ЕОМ. Основні характеристики змінних електричних сигналів, імпульсів та імпульсних послідовностей. Аналогові, імпульсні, цифрові сигнали та їх характеристики. Основні параметри цих сигналів та їх вимірювання.

Тема 2. Проходження сигналів через лінійні ланцюги

Лінійні ланцюги та їх характеристики (частотні та часові). Проходження сигналів через лінійні ланцюги (інтегруючі та диференціюючі RC-ланцюги, електромагнітні лінії затримки).

Дільники напруги (в тому числі частотно-компенсовані).

Тема 3. Напівпровідникові прилади

Діоди (випрямляючі, високочастотні, імпульсні), стабілітрони, діоди Шоттки, варікапи та їх особливості. Схеми на основі діодів (випрямлячі, обмежувачі, параметричні стабілізатори та ін.).

Біполярні та уніполярні транзистори різних типів. Основні схеми включення транзисторів. Тиристори.

Оптоелектронні прилади (світлодіоди, фотодіоди, фототранзистори, фототиристори, фоторезистори, оптрони). Елементи індикації: влаштування, принцип дії, характеристики, параметри, області застосування.

Тема 4. Базові каскади аналогових пристроїв

Підсилюючі каскади на біполярних та уніполярних транзисторах. Введення від'ємного зворотного зв'язку (ВЗЗ). Температурна стабілізація режиму роботи. Джерела струму та струмові дзеркала. Повторювачі напруги і струму. Диференційні каскади. Вихідні каскади.

Тема 5. Підсилювачі електричних сигналів

Призначення, характеристики, параметри, класифікація електронних підсилювачів. Режими роботи підсилювачів та способи їх здійснення. Міжкаскадні зв'язки у підсилювачах. Зворотні зв'язки в підсилювачах. Вплив різних видів зворотних зв'язків на якісні показники і характеристики. Підсилювачі потужності.

Тема 6. Операційні підсилювачі (ОП) та схеми на їх основі

Призначення та класифікація. Структура, особливості схемної реалізації та функціонування. Основні характеристики і параметри. Приклади аналогових пристроїв на ОП: інвертуючий та неінвертуючий суматор, інтегратор, диференціатор, інші схеми с ОП (активні фільтри, вимірюючі та ізолюючі підсилювачі, перетворювачі струм-напруга, генератори сигналів синусоїдальної, трикутної, прямокутної та спеціальної форми, і т.п.).

Тема 7. Аналогові ключі та комутатори

Аналогові ключі на базі біполярних та уніполярних транзисторів. Комутатори і компаратори напруги: призначення, принципи побудови та функціонування.

Тема 8. Формувачі та генератори сигналів

Обмежувачі амплітуди сигналів. Тригери Шмітта. Призначення. Принципи побудови і особливості схемної реалізації. Формувачі коротких імпульсів. Розширювачі імпульсів. Генератори сигналів прямокутної та трикутної форм. Генератори сигналів спеціальної форми.

Тема 9. Джерела живлення

Випрямлячі та фільтри. Джерела опорної напруги і постійного струму. Параметричні, компенсаційні та імпульсні стабілізатори напруги. Захист (від

перенапруги та перевантаження по струму). Призначення. Принципи побудови і особливості схемної реалізації. Джерела безперебійного живлення.

Тема 10. Елементи оптоелектроніки

Оптоелектронні схеми приймальних та передавальних модулів світловолоконних ліній передачі інформації. Елементи та прилади для індикації. Світлодіодні індикатори.

Тема 11. Логічні елементи

Елементи ТТЛ (ТТЛШ) та КМОН логіки та їх параметри. Елементи з відкритим колектором та з трьома станами виходу. Основи алгебри логіки та основні операції з логічними змінними.

Тема 12. Нанівпровідникові елементи пам'яті

Елементи пам'яті на основі уніполярних транзисторів з плаваючим затвором. Класифікація запам'ятовуючих пристроїв. Прилади з зарядовим зв'язком.

Тема 13. Логічні пристрої із програмувальними характеристиками (ПЛІС)

Тема 14. Завади та завадостійкість

Завади в ланцюгах живлення, електромагнітні завади, способи зменшення завад при реалізації електронної апаратури.

ДОДАТОК Б

Аналогові мікросхеми в пакеті EWB (Multisim) та їх аналоги

AD507 AD	154УД2 швидкодіючий ОП;
AD509 AD	154УД3 швидкодіючий ОП;
AD513 AD	КР574УД1 швидкодіючий ОП;
CA3140 RCA	К1409УД1 ОП з польовими транзисторами на вході;
CA3 130 RCA	КР544УД2 широкосмуговий ОП з польовими транзисторами на вході;
CA3030 RCA	КР140УД5 швидкодіючий ОП;
LF157 NS	К140УД23 швидкодіючий ОП з малими входними струмами;
LF355 NS	КР140УД18 широкосмуговий ОП;
LF356 NS	К140УД22 широкосмуговий ОП;
LM107 NS	К153УД6 ОП з частотною корекцією;
LM108 NCS	К140УД14 прецизійний ОП;
LM301 NCS	К553УД2 швидкодіючий ОП;
LM308 NCS	КР140УД1408 прецизійний ОП;
LM143 NCS	К1408УД1 високовольтний ОП;
БМ2Ц NCS	К554СА3 ОП для компараторів;
MC1456 MOTA	КР140УД6 ОП з вбудованою корекцією;
OP-07	К140УД17 прецизійний ОП.

Розшифровка аббревіатур фірм-виготовлювачів: AD — Analog Devices, NS — National Semiconductors, MOTA — Motorola Semiconductor Products.

Навчальне видання

Методичні вказівки до проведення практичних занять 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 10.07.2000 р.

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