

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

М е т о д и ч н і в к а з і в к и
до виконання курсового проекту
з дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка»
для студентів спеціальності
123 «Комп'ютерна інженерія»
усіх форм навчання

Кривий Ріг
2021

Укладачі: Іщенко М. О., канд. техн. наук, доцент
Костенко В.В. асистент
Іщенко Л. Ф., канд. екон. наук,

Рецензент: Попов С.О., д-р. техн. наук, професор

Розглянуті питання структури та змісту курсового проекту з дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка» для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія». Детальну увагу приділено розрахункам параметрів, моделюванню та дослідженню характеристик аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів.

Розглянуто
на засіданні кафедри
комп'ютерних систем та мереж

Протокол № 1
від 27.08.2021 р.

Схвалено
на вченій раді факультету
інформаційних технологій

Протокол № 1
від 31.08.2021 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1.ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ	5
2. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	6
2.1 Вимоги до оформлення текстових документів	6
2.2 Структура курсового проекту	6
3. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	8
3.1.Структурні схеми АЦП і ЦАП.....	8
3.2 Розрахунки параметрів АЦП та ЦАП.....	8
3.3. Побудова схем АЦП і ЦАП.....	12
3.4.Проектування схем АЦП і ЦАП.....	18
3.5. Висновки до курсового проекту.....	19
4. ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ	20
5 ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	23
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	25
ДОДАТОК А ВИХІДНІ ДАНІ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	26
ДОДАТОК Б ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	27

ВСТУП

Курсовий проект – це одна з перших самостійних праць майбутнього інженера.

Курсовий проект з навчальної дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка» – це результат виконання розрахунків параметрів, моделюванню та дослідженню характеристик аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів.:

Проектування виконує студент самостійно під керівництвом викладача протягом установленого терміну в одному семестрі у відповідності до технічного завдання. Проектування реалізується на основі набутих знань і вмінь. У процесі курсового проектування розроблюється сукупність документів – пояснювальної записки, креслень, схем, що виконуються з обов'язковим дотриманням чинних державних стандартів.

При виконанні курсового проекту студент поглиблює знання з фундаментальних дисциплін, освоює методики експериментальних досліджень, оволодіває навичками співставлення результатів своїх досліджень з теоретичними даними, аналізу, узагальнення і технічного оформлення одержаних результатів з теми дослідження, набуває вміння вести науковий пошук, який розвиває у молодого інженера творчий підхід до роботи.

1. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Тема курсового проекту «Розрахунки та проектування аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів» відповідає основним розділам робочої програми дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка» з урахуванням рекомендацій, інструктивних листів і наказів Міністерства освіти і науки України, Науково-методичної комісії у частині курсового проектування і науково-дослідної роботи студентів та викладачів кафедри. Завдання на курсовий проект є індивідуальним.

Вихідні дані:

1. Джерело повідомлень задане характеристиками первинного сигналу $b(t)$:
 - середнє значення дорівнює нулю;
 - середня потужність сигналу $P_b = \underline{\hspace{2cm}}$;
 - коефіцієнт амплітуди $K_a = \underline{\hspace{2cm}}$;
 - максимальна частота спектра $F_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$.
2. Допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача $\rho_{\text{вих.доп}} = \underline{\hspace{2cm}}$.
3. ІКМ перетворення неперервного сигналу в цифровий виконується з використанням рівномірного квантування, допустиме відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв.доп}} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Завдання:

1. Зобразити структурні схеми аналогово-цифрового та цифро-аналогового перетворювачів. Пояснити призначення кожного блоку, дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок. Навести часові діаграми сигналів на входах і виходах блоків.
2. Визначити число рівнів квантування, відношення сигнал/шум квантування при вибраному числі рівнів квантування, допустиму ймовірність помилки символу на вході ЦАП $p_{\text{доп}}$, частоту дискретизації, інтервал дискретизації і тривалість двійкового символу.
3. Для отриманих параметрів (завдання 2) провести вибір та побудувати схеми АЦП і ЦАП. Провести розрахунки параметрів елементів представлених схем. Сформулювати вимоги до вибраних схем.
4. У програмному середовищі готуються і досліджуються схеми АЦП і ЦАП (відповідно до завдання 3). Програмне середовище для дослідження характеристик може бути обрано з наступного переліку:
 - програмний додаток Multisim;
 - програмний додаток Electronics Workbench;
 - програмний додаток Proteus;
 - програмний додаток PC WORX.
5. Зробити аналіз по отриманим результатам курсового проекту.

2. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

2.1 Вимоги до оформлення текстових документів

При написанні курсового проекту студент повинен самостійно висвітлювати матеріал з теми дослідження. Так як курсовий проект – це різновид наукової роботи, тому його оформлення і зміст підпорядковується державним стандартам ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

Вимоги до оформлення курсового проекту (КП):

1. КП виконується індивідуально по варіантах завдання й оформляється на листах формату А4, обсягом до 50 сторінок друкованого тексту:
 - шрифт Times New Roman - 14;
 - міжрядковий інтервал - одинарний ;
 - розмір полів(відстань від тексту до краю листа): ліве, верхнє та нижнє не менш за 20 мм, праве не менш за 10 мм.
 - вирівнювання тексту – по ширині, відступ для абзацу – 1,5 см.
 - назва розділів, підрозділів виділяється жирним шрифтом.
2. Курсова робота виконується українською мовою.
3. Титульний аркуш оформлюється за встановленим зразком (додаток А).
4. Вибір варіанта розрахункової частини курсового проекту здійснюється по номеру списку в журналі групи, а теоретичної згідно затвердженого варіанту.

2.2 Структура курсового проекту

1 Пояснювальна записка виконується на одному боці. Roman Сур, розмір 2
Пояснювальна записка повинна містити:

- * титульний аркуш;
- * вихідні дані до завдання на курсовий проект;
- * чистий аркуш для рецензії керівника;
- * зміст;
- * основну частину;

- * висновки;
- * перелік посилань.

3 Сторінки пояснювальної записки нумерують арабськими цифрами. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті аркуша.

4 Текст пояснювальної записки ділять на розділи у відповідності до завдання. Розділи повинні мати порядкові номери арабськими цифрами та назви.

5 Текст пояснювальної записки має бути чітким і не допускати різних тлумачень. При цьому використовуються терміни, позначення та визначення, вживані в курсі Комп'ютерна схемотехніка і попередніх курсах Теорії електричних кіл і вищої математики, а також у рекомендованій навчальній та спеціальній літературі. До використаних формул повинні бути надані посилання на джерела, а до використаних числових значень – пояснення щодо їх походження. Результати розрахунків супроводжуються зазначенням відповідних одиниць виміру.

6 Ілюстрації (графіки, схеми) виконуються комп'ютерними засобами.

7 Ілюстрації та таблиці обов'язково нумерують та надають назву (наприклад, “Рисунок 1.1 – Структурна схема аналого-цифрового перетворювача” – перший рисунок першого розділу). Номер та назва розміщуються: для ілюстрацій – внизу (під ілюстрацією), для таблиць – зверху (над таблицею).

8 Умовні графічні позначення на функціональних і структурних схемах повинні відповідати вимогам ЄСКД.

9 Перелік посилань містить у собі посилання на підручники, навчальні посібники та книги, які були використані під час виконання роботи. Посилання в тексті подаються у квадратних дужках. У дужках проставляють номер, під яким джерело значиться в переліку посилань

3 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

3.1 Структурні схеми АЦП і ЦАП

У цьому розділі КП необхідно навести і описати структурні схеми АЦП і ЦАП, принципу дії і особливостей роботи окремих блоків. Під час опису необхідно дати визначення основних параметрів, що характеризують кожний блок, і навести часові діаграми сигналів на входах і виходах блоків.

3.2 Розрахунки параметрів АЦП та ЦАП

Вихідні дані для розрахунків:

- максимальна частота спектра первинного сигналу F_{\max} ;
- густина ймовірності миттєвих значень первинного сигналу $p(b)$;
- середня потужність первинного сигналу P_b ;
- коефіцієнт амплітуди первинного сигналу K_a ;
- допустиме відношення сигнал/шум на вході одержувача $\rho_{\text{вих.доп}}$;
- допустиме відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв.доп}}$;
- в АЦП застосовано рівномірне квантування.

Вимагається:

- визначити частоту дискретизації f_d і інтервал дискретизації T_d ;
- визначити число рівнів квантування L , довжину двійкового коду n і тривалість двійкового символу T_b ;
- розрахувати відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв}}$ для розрахованих параметрів АЦП;
- розрахувати допустиму ймовірність помилки символу $\rho_{\text{доп}}$ в каналі зв'язку (на вході ЦАП).

Розрахункові формули

Згідно з теоремою Котельникова частота дискретизації $f_d = 1/T_d$ повинна задовольняти умові

$$f_d \geq 2F_{\max}. \quad (3.1)$$

Інтервал дискретизації – величина, обернена частоті дискретизації

$$T_d = 1 / f_d. \quad (3.2)$$

Завадостійкість системи передачі неперервних повідомлень визначається відношенням сигнал/шум на вході одержувача

$$\rho_{\text{вих}} = P_b / \sigma_\varepsilon^2, \quad (3.3)$$

де σ_ε^2 – середня потужність завади на вході одержувача.

У системі цифрової передачі методом ІКМ потужність шуму на виході ЦАП визначається

$$\sigma^2 = \overline{\varepsilon_{\text{кв}}^2} + \overline{\varepsilon_{\text{х.і}}^2}, \quad (3.4)$$

де $\overline{\varepsilon_{\text{кв}}^2}$ – середня потужність шуму квантування;

$\overline{\varepsilon_{\text{х.і}}^2}$ – середня потужність шуму хибних імпульсів.

У системі передачі методом ІКМ також відношення сигнал/шум квантування визначають

$$\rho_{\text{кв}} = P_b / \overline{\varepsilon_{\text{кв}}^2}. \quad (3.5)$$

Величина $\rho_{\text{кв}}$ при рівномірному квантуванні визначається

$$\rho_{\text{кв}} = 3L^2 / K_a^2. \quad (3.6)$$

Потужність шуму хибних імпульсів на виході ЦАП визначається співвідношенням [1, формула (8.14)]

$$\overline{\varepsilon_{\text{х.і}}^2} = p \cdot h^2 \cdot \sum_{i=1}^n 2^{2(i-1)} = p \cdot h^2 \cdot \frac{4^n - 1}{3}, \quad (3.7)$$

де p – імовірність помилки двійкового символу на вході ЦАП;

h – крок квантування;

n – довжина двійкового коду АЦП, яка зв'язана з числом рівнів квантування

$$n = \log_2 L. \quad (3.8)$$

Це співвідношення враховує, що число рівнів квантування L – цілий степінь числа два.

Оскільки первинний сигнал $b(t)$, що підлягає перетворенню в цифровий, приймає значення від b_{\min} до b_{\max} , то підлягає квантуванню інтервал (b_{\min}, b_{\max}) , і крок квантування визначається

$$h = (b_{\max} - b_{\min}) / L. \quad (3.9)$$

У сигналів із середнім значенням, що дорівнює нулю, $b_{\min} = -b_{\max}$. Якщо значення b_{\max} не задане, то воно визначається як

$$b_{\max} = K_a \sqrt{P_b}. \quad (3.10)$$

Тривалість двійкового символу на виході АЦП визначається, [с]

$$T_{\sigma} = T_d / n. \quad (3.11)$$

Швидкість передавання двійкового символу, [біт/с]

$$R_{\sigma} = 1 / T_{\sigma}. \quad (3.12)$$

Структурні схеми АЦП і ЦАП докладно описані в [1, розд. 8; 2, розд. 16; 4; 5]. Наведені там схеми АЦП необхідно доповнити вхідним ФНЧ, що в реальних системах електрозв'язку використовується для обмеження спектра первинного сигналу. Це пов'язане з тим, що в більшості первинних сигналів спектр є поволі спадаючою функцією, і величина F_{\max} не є частотою, вище якої спектр дорівнює нулю, а є граничною частотою смуги, яку необхідно передати за умови досягнення заданої якості відновлення первинного сигналу (F_{\max} визначається необхідною розбірливістю мови, чіткістю зображення тощо).

Збільшення частоти дискретизації дозволяє спростити вхідний фільтр АЦП, що обмежує спектр первинного сигналу, і вихідний (інтерполюючий) ФНЧ ЦАП, що відновлює неперервний сигнал за відліками. Але збільшення частоти дискретизації призводить до зменшення тривалості двійкових символів на виході АЦП, що вимагає небажаного розширення смуги частот каналу зв'язку для передачі цих символів. Звичайно параметри вхідного ФНЧ АЦП і вихідного ФНЧ ЦАП вибирають однаковими.

На рис. 3.1 дані: $S(f)$ – спектр відліків, поданих вузькими імпульсами, $S_b(f)$ – спектр неперервного сигналу $b(t)$, $A(f)$ – робоче ослаблення ФНЧ. Для того, щоб ФНЧ не вносили лінійних спотворень у неперервний сигнал, граничні частоти смуг пропускання ФНЧ повинні задовольняти умові

$$f_1 \geq F_{\max}. \quad (3.13)$$

Для того, щоб виключити накладення спектрів $S_b(f)$ і $S_b(f - f_d)$, а також забезпечити ослаблення відновлюючим ФНЧ складових $S_b(f - f_d)$, граничні частоти смуг затримки ФНЧ повинні задовольняти умові

$$f_2 \leq (f_d - F_{\max}). \quad (3.14)$$

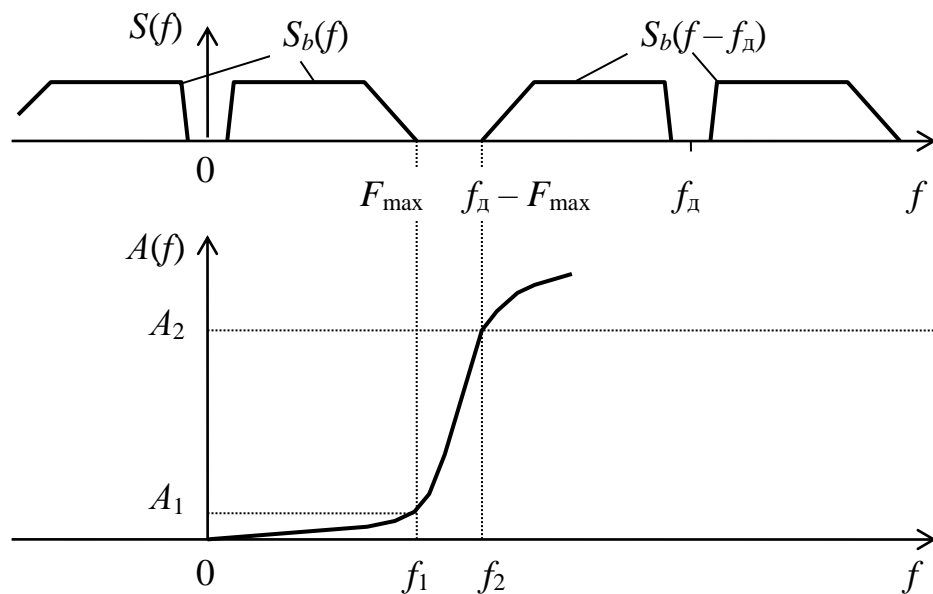


Рисунок 3.1 – Спектр відліків та АЧХ фільтрів АЦП і ЦАП

Щоб ФНЧ не були занадто складними, відношення граничних частот вибирають з умови

$$f_2 / f_1 = 1,4. \quad (3.15)$$

Після підстановки співвідношень (3.13) і (3.14) у формулу (3.15) можна вибрати частоту дискретизації, а після цього розрахувати інтервал дискретизації.

Для визначення числа рівнів квантування слід за формулою (3.6) за заданим допустимим відношенням сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв.доп}}$ розрахувати допустиме число рівнів квантування $L_{\text{доп}}$, а після цього вибрати $L \geq L_{\text{доп}}$ і розрахувати n за формулою (3.8).

Під час проведення розрахунків задані в децибелах відношення сигнал/шум необхідно перевести в рази

$$\rho = 10^{0,1\rho \text{ [дБ]}}. \quad (3.16)$$

За формулою (3.6) слід розрахувати значення $\rho_{\text{кв}}$ за вибраними параметрами АЦП, перевести розраховане значення в децибели і порівняти із заданим $\rho_{\text{кв.доп}}$.

Допустима ймовірність помилки двійкового символу на вході ЦАП $p_{\text{доп}}$ визначається за співвідношенням (3.7). Для обчислення $p_{\text{доп}}$ необхідно заздалегідь визначити допустиму величину потужності шуму хибних імпульсів за формулами (3.3), (3.4) і (3.5), прийнявши $P_{\text{вих}} = \rho_{\text{вих.доп}}$, а також величину кроку квантування, що визначається формулою (3.9).

3.3. Побудова схем АЦП та ЦАП

Для отриманих параметрів (завдання 2) провести вибір та побудувати схеми АЦП і ЦАП. Провести розрахунки параметрів елементів представлених схем. Сформулювати вимоги до вибраних схем.

Вихідні дані для розрахунків:

- типи схем АЦП та ЦАП відповідно до варіанту (Додаток А);
- розрядність коду n ;
- число рівнів квантування L ;
- крок квантування h ;
- інтервал дискретизації T_d ;
- частота дискретизації f_d ;
- максимальна та мінімальна амплітуди вхідного сигналу (b_{min} , b_{max});
- максимальна похибка квантування не перевищує $h/2$;

Вимагається:

- задатися опорною напругою E_0 АЦП та ЦАП;
- визначити параметри матриці резисторів ЦАП та АЦП;
- визначити значення вихідного опору ЦАП.

Порядок розрахунків

Схеми ЦАП у мікросхемному виконанні є резистивними матрицями. У курсові роботі розглядається наступні матриці:

- на двійково-зважених резисторах (містять по одному резистору на кожний двійковий розряд). Номінали резисторів, які для них використовуються, визначаються з ряду $2^0R, 2^1R, 2^2R, \dots, 2^{n-1}R$, де n – число двійкових розрядів;
- типу $R - 2R$ містять лише два номінали резисторів R та $2R$. Схема ЦАП на матриці $R - 2R$ відрізняється від матриці на двійково-зважених резисторах лише тим, що замість них увімкнені резистори з опорами $2R$, а між ними увімкнені резистори з опорами R .

Порядок розрахунків чотирьохрозрядного ЦАП на двійково-зважених резисторах. Схема ЦАП на матриці двійково-зважених резисторів з підсумовуванням зважених струмів наведена на (рис. 3.2).

Тут:

- $R, 2R, 4R, 8R$ – матриця двійково-зважених резисторів;
- E_0 – джерело стабілізованої опорної напруги;
- $A1$ – комутатор;
- $A2$ – суматор зважених струмів на ОП.

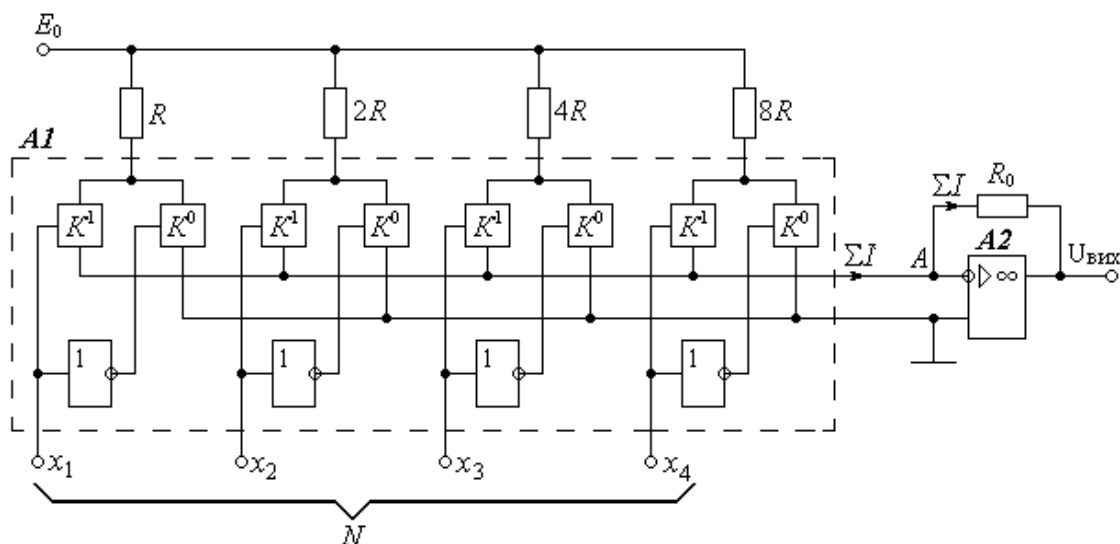


Рисунок 3.2 – Схема ЦАП на двійково-зважених резисторах

Найпростішими вважаються матриці на двійково-зважених резисторах, бо містять найменшу кількість резисторів – лише по одному резистору на кожний двійковий розряд. Номінали резисторів, які для них використовуються, визначаються з ряду $2^0R, 2^1R, 2^2R, \dots, 2^{n-1}R$, де n – число двійкових розрядів.

Входи резисторів матриці $R, 2R, 4R, 8R$ живляться від джерела опорної напруги E_0 . Виходи цих резисторів підімкнені до одиничних K^1 та нульових K^0 ключів комутатора $A1$. До входів ключів K^1 під'єднані двійкові розряди $x_1; x_2; x_3; x_4$ вхідного числа N безпосередньо, а до входів ключів K^0 – через інвертори. Тому за будь-якого значення розряду один з ключів відкритий, а інший закритий.

Щодо наявності в кожному розряді двох ключів, а не одного, то це пояснюється наступним.

Для уникнення впливу внутрішнього опору джерела E_0 на точність перетворювання слід мати навантаження E_0 незмінним за будь-якого стану ключів. З цієї вимоги слід, що за будь-якого стану входів виходи резисторів $R, 2R, 4R, 8R$ мають підключатися до однієї і саме тієї ж напруги. Такою напругою тут вибрана нульова. Дійсно, інвертуючий вхід приймача струму $A2$ є віртуальною землею. Тому при нульовому стані входів $x_1; x_2; x_3; x_4$ ключі K^0 підключають виходи резисторів до нульової шини, а при одиничному – до

інвертуючого входу приймача струму $A2$, тобто теж до нульової напруги. Отже для незмінного навантаження E_0 слід мати парні перекидні ключі K^0 і K^1 .

Через одиничні ключі K^1 усі резистори матриці зв'язані з входом суматора струмів $A2$, а через K^0 – з нульовою шиною. Тому виходи резисторів матриці підключаються або до входу суматора струмів $A2$, або до нуля.

Перетворення вхідного числа N у напругу $U_{\text{вих}}$ здійснюється наступним чином.

В залежності від вхідного числа N на входах ключів K^1 установлюється відповідна комбінація логічних нулів та логічних одиниць. Ключі K^1 , на входах яких напруга дорівнює логічному нулю, закриваються і струм через них не тече, тобто вони не підключають резистори до входу суматора струмів $A2$. Так, при нульовому вхідному числі $N = \{0000\}$ всі ключі K^1 закриті, а K^0 відкриті. Тому виходи резисторів відключені від входу суматора і підключені до нуля. Через це сума струмів на вході суматора теж нульова $\Sigma I = 0$, через що вихідна напруга дорівнює нулю: $U_{\text{вих}} = R \Sigma I = 0$.

Коли ж усі розряди підведеного числа одиничні $N = \{1111\}$, то стани ключів змінюються на протилежні: ключі K^0 закриваються, відключаючи резистори від нуля, а ключі K^1 відкриваються, підключаючи резистори до входу суматора $A2$. Через це сума струмів на вході суматора максимальна $\Sigma I = I_{\text{max}}$, через що вихідна напруга теж максимальна: $U_{\text{вих max}} = R I_{\text{max}}$.

Проміжні значення вхідного числа $\{0000\} < N < \{1111\}$ викликають відповідні проміжні пропорційні значення вихідної напруги $0 < U_{\text{вих}} < U_{\text{вих max}}$.

Так, розряд $x_4 = 1$ забезпечить на вході $A2$ градацію струму $I_1 = E_0/8R$, розряд $x_3 = 1$ забезпечить дві таких градації і т.д. Сума струмів на вході суматора становитиме

$$\Sigma I = \frac{E_0}{R} x_1 + \frac{E_0}{2R} x_2 + \frac{E_0}{4R} x_3 + \frac{E_0}{8R} x_4 = 15 \frac{E_0}{8R}. \quad (3.17)$$

Вихідна напруга визначиться як $U_{\text{вих}} = R_0 \Sigma I$, тобто

$$U_{\text{вих}} = E_0 \frac{R_0}{R} x_1 + E_0 \frac{R_0}{2R} x_2 + E_0 \frac{R_0}{4R} x_3 + E_0 \frac{R_0}{8R} x_4. \quad (3.18)$$

Приймаючи в (3.18) $x_i = 1$, знаходимо максимальну вихідну напругу

$$U_{\text{вих max}} = 15 E_0 \frac{R_0}{8R}. \quad (3.19)$$

Значення кроку квантування дорівнює градації вихідної напруги від наймолодшого розряду ($x_4 = 1$):

$$h = E_0 \frac{R_0}{8R}. \quad (3.20)$$

Порядок розрахунків чотирьохрозрядного ЦАП на основі резистивної матриці типу $R - 2R$.

Схема ЦАП на матриці $R - 2R$ наведена на рис. 3.3. Вона відрізняється від матриці на двійково-зважених резисторах (рис. 3.1) лише тим, що замість них увімкнені резистори з опором $2R$, а між ними увімкнені резистори з опором R . Тут x_1 – самий старший розряд, а x_n – наймолодший.

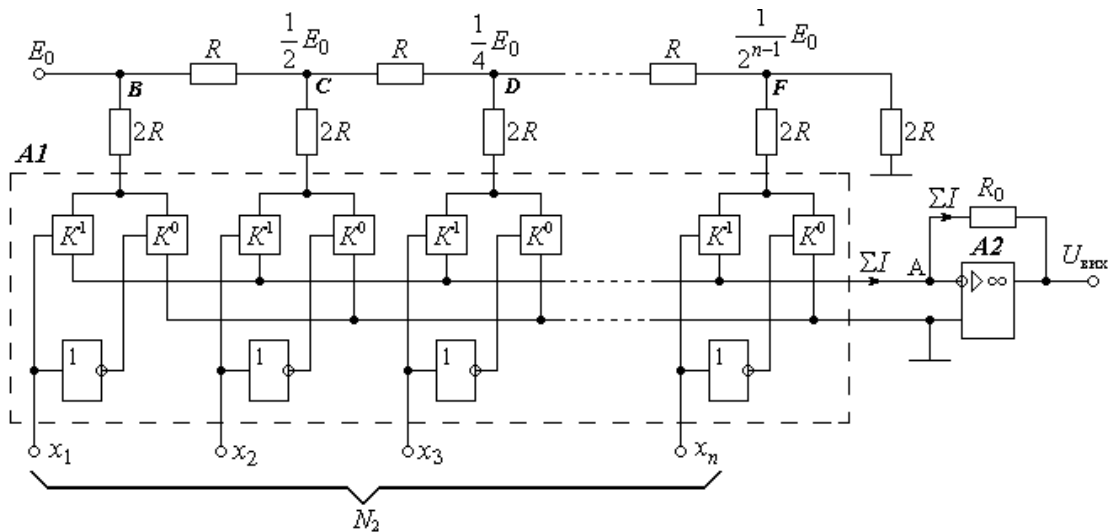


Рисунок 3.3 – Схема ЦАП на матриці типу $R - 2R$

Підрахуємо кількість кроків квантування, яку забезпечує n -розрядний двійковий ЦАП.

Для цього визначимо опір між кожною з точок B, C, D, \dots, F і нульовою шиною (корпусом) та потенціали цих точок (рис. 3.2).

Між точкою F і корпусом увімкнено два паралельно з'єднаних резистори з опором $2R$, що дорівнює $R_F = 2R // 2R = R$. (Щодо опорів ключів K^0 і K^1 , то вони нехтовно малі).

Тоді точка F є виходом подільника напруги з опором R в кожному плечі і тому потенціал точки F буде результатом ділення на два вхідної напруги цього подільника.

Отже потенціал точки D буде результатом ділення на два потенціалу точки C . Таким же чином переконаємося в тому, що між точкою D і корпусом ввімкнений еквівалентний опір $R_D = R$. Тоді потенціал точки D також буде результатом ділення на два, але потенціалу точки C .

Таким чином, від розряду до розряду потенціал ділиться на два. Тому потенціали точок B, C, D, \dots , відповідно становлять $E_0; (1/2)E_0; (1/4)E_0; \dots$. З цього слідує, що розряд $x_1 = 1$ забезпечить на вході приймача $A2$ протікання струму

$$I_1 = \frac{E_0}{2R}, \quad (3.21)$$

розряд $x_2 = 1$ забезпечить

$$I_2 = \frac{1}{2} \frac{E_0}{2R} \text{ і т.д.} \quad (3.22)$$

Сумарний струм на вході приймача струму $A2$ при вхідному двійковому числі N становитиме

$$\Sigma I = \frac{E_0}{2R} x_1 + \frac{1}{2} \frac{E_0}{2R} x_2 + \frac{1}{4} \frac{E_0}{2R} x_3 + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} \frac{E_0}{2R} x_n = \frac{E_0}{2R} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^{i-1}} x_i, \quad (3.23)$$

де x_i – коефіцієнт розряду, який приймає значення 0 або 1 в залежності від двійкового вхідного числа N .

Вихідна напруга визначиться як $U_{\text{вих}} = R_0 \Sigma I$, тобто

$$U_{\text{вих}} = E_0 \frac{R_0}{2R} x_1 + \frac{1}{2} E_0 \frac{R_0}{2R} x_2 + \frac{1}{4} E_0 \frac{R_0}{2R} x_3 + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} E_0 \frac{R_0}{2R} x_n = E_0 \frac{R_0}{2R} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^{i-1}} x_i. \quad (3.24)$$

Приймаючи в (3.24) $x_i = 1$ та $i = n$, знаходимо максимальну вихідну напругу

$$U_{\text{вих max}} = E_0 \frac{R_0}{2R} \frac{1}{2^{n-1}} (2^n - 1). \quad (3.25)$$

Значення кроку квантування знайдемо як різницю між будь-якими двома суміжними членами (3.24):

$$h = \frac{1}{2^{n-1}} E_0 \frac{R_0}{2R}. \quad (3.26)$$

Діленням (3.25) на (3.26) знаходимо кількість кроків квантування в залежності від числа n двійкових розрядів

3.4. Проектування схем АЦП і ЦАП.

У програмному середовищі готуються і досліджуються схеми АЦП і ЦАП (відповідно до завдання 3). Програмне середовище для дослідження характеристик може бути обрано з наступного переліку:

- програмний додаток Multisim;
- програмний додаток Electronics Workbench;
- програмний додаток Proteus;
- програмний додаток PC WORX.

(відповідно до завдання 3).

Вимагається:

- скласти схеми аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворювачів у обраному програмному середовищі;
- експериментально визначити крок квантування та погрішність перетворення;
- побудувати характеристику перетворення ЦАП та АЦП;
- зняти залежність вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ від вхідного числа;
- зробити висновки щодо лінійності характеристик перетворення ЦАП та АЦП;

- провести дослідження ЦАП в статиці і динаміці. Зробити висновки щодо характеристик перетворення;
- провести дослідження АЦП в динаміці та зробити висновки щодо амплітуди пікових викидів на фронтах і їхнього походження;
- привести типи мікросхем ЦАП і АЦП, що відповідають заданим параметрам. Описати їх характеристики.

3.5 Висновки до курсового проекту

Викласти стисло перелік виконаних розрахунків. Зазначити, чи відповідають виконані розрахунки вихідним даним і завданню на КП, а якщо ні, то які розрахунки і чому не відповідають завданню.

Вказати переваги і недоліки розглянутих варіантів побудови схем АЦП і ЦАП. Який з варіантів, на Ваш погляд, є більш прийнятним для використання в реальній системі зв'язку і чому?

4 ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ

Виконаний згідно з стандартами, у відповідності із завданням і в повному обсязі курсовий проект, підписаний виконавцем, у розшитому вигляді подається на перевірку керівнику.

Крім текстової частини записки подаються результати дослідження – демонструється досліджувана комп'ютерна модель.

Проект подається на перевірку не пізніше, як за три робочих дні до захисту. Виявлені при перевірці курсового проекту неточності і помилки студент зобов'язаний виправити, а результати представити керівнику у встановлені терміни. Якщо ж при огляді встановлено, що проект в будь-якій частині потребує суттєвого доопрацювання, то визначається його обсяг і встановлюється термін подання виправленої роботи на повторну перевірку.

Роботи, що не відповідають затвердженій темі, без затвердженого завдання на курсовий проект, підписаного студентом та викладачем **до захисту не допускаються.**

Захист курсового проекту проходить в такій послідовності:

- доповідь студента про основні результати виконаної ним роботи;
- відповіді студента на запитання присутніх;
- обговорення доповіді;
- відповіді на зауваження.

Для доповіді про результати виконаної роботи студенту надається 5-10 хвилин. Доповідь повинна складатися з трьох частин: вступна частина, основна частина, висновки.

У вступній частині доповіді необхідно відмітити актуальність теми, дати загальний аналіз стану питання, сформулювати основні задачі, з розв'язанням яких пов'язане виконання роботи.

В основній частині доповіді необхідно привести короткі відомості про зміст виконаних досліджень, відмітити основні підходи та показати ефективність прийнятих рішень, навести короткі відомості про отримані результати. Основну

частину доповіді можна супроводжувати посиланням на графічні матеріали та демонструвати роботу програми.

У висновках необхідно чітко сформулювати основні результати курсового проекту, наголосивши на повноті розв'язання поставленої задачі.

Відповіді на питання повинні бути короткі, за суттю і не виходити за межі поставленого запитання.

При визначенні оцінки курсового проекту приймається до уваги рівень теоретичної та практичної підготовки студента.

Оцінювання курсового проекту проводиться за 100-бальною шкалою ВНЗ, ECTS та 5 бальною національною: "A" – "відмінно", "B/C" – "добре" "D/E" – "задовільно", "F/FX" – "незадовільно".

Оцінка "A" (90-100 балів) ставиться у випадку (задовольняються всі перераховані нижче вимоги):

- якщо в роботі немає суттєвих недоліків;
- проект повністю розв'язує поставлену задачу;
- у повному обсязі проаналізовано всі аспекти роботи досліджуваної комп'ютерної моделі;
- при захисті проекту студент аргументовано виклав основні технічні рішення, прийняті в процесі розробки та відповів на поставлені запитання;
- проект виконаний самостійно.

Проект оцінюється на "D/C" (75-90 балів), якщо:

- в проекті немає суттєвих недоліків;
- повністю вирішено поставлену задачу, але
- містить деякі незначні помилки або
- не розглянуто всі аспекти досліджуваного програмного забезпечення,
- при захисті студентом були допущені певні неточності або не було аргументованих відповідей на деякі із поставлених запитань.

Проект оцінюється на "D/E" (60-74 бали), якщо:

- в проекті є суттєві недоліки,

- не повністю вирішено поставлену задачу, проект містить значні помилки, які не розкривають деяких ключових аспектів обробки вхідних параметрів, або проект оформлений зі значними відхиленнями від стандартів та вимог або в процесі проектування були відхилення від затвердженого календарного плану або завдання,
- при захисті студентом допущені суттєві неточності або не було аргументованих відповідей на поставлені запитання.

Якщо комп'ютерне моделювання проєктованих пристроїв:

- не вирішує поставленої задачі або не оформлена належними чином,
 - якщо студент систематично порушував календарний план, не виконав більшу частину завдання,
 - програма містить значні недоліки, а наявні помилки не дають можливості встановити її працездатність для реальних вхідних даних,
 - якщо проєкт виконаний студентом не самостійно, при його захисті не було обґрунтовано прийняті рішення, а задані питання залишились без відповіді,
- то проєкт оцінюється на "F" (35-60 балів), а подальша процедура захисту роботи визначається чинними правилами навчального закладу. Якщо студент проігнорував виконання курсового проєкту: "FX" (1-35 балів), що передбачає повторне виконання курсового проєкту з новим завданням на роботу.

5. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

- 1 Які функції виконують аналого-цифрові (АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП)?
- 2 Як визначається основний принцип ЦА перетворення?
- 3 Які основні статичні параметри характерні для ЦАП?
- 4 Які параметри ЦАП називаються динамічними?
- 5 Що таке матриця на двійково-зважених резисторах?
- 6 Які вузли входять до складу схеми ЦАП на двійково-зважених резисторах?
- 7 Які переваги та недоліки мають ЦАП на основі матриці резисторів $R-2R$?
- 8 У чому полягає принцип АЦ перетворення? З яких процесів він складається?
- 9 Які параметри характерні для АЦП?
- 10 Що таке АЦП послідовного наближення? Які переваги та недоліки мають такі АЦП?
- 11 Що таке слідкуючі АЦП?
- 12 Що таке АЦП паралельного кодування? Які переваги та недоліки мають такі АЦП?
- 13 Що таке послідовно-паралельні АЦП? Які переваги та недоліки мають такі АЦП?
- 14 Принцип цифро-аналогового та аналого-цифрового перетворень.
- 15 Зв'язок між кількістю кроків квантування та місткістю лічильника.
- 16 АЦП послідовного наближення.
- 17 Слідкуючий АЦП.
- 18 Принцип дії ЦАП.
- 19 Пояснити призначення АЦП і ЦАП в системі передавання.
- 20 Які перетворення сигналів мають місце в АЦП?
- 21 Які перетворення сигналів мають місце в ЦАП?
- 22 Що таке шум квантування? Що таке відношення сигнал/шум квантування $\rho_{\text{кв}}$ (що в чисельнику, що в знаменнику)?

- 23 Як вибираються інтервал дискретизації T_d і число рівнів квантування L в АЦП?
- 24 Від чого залежить тривалість символу і швидкість цифрового сигналу на виході АЦП?
- 25 Як визначити ймовірність помилки двійкового символу на вході ЦАП?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / А. Г. Зюко и др. – М.: Радио и связь, 1986.
2. Панфілов І. П., Дирда В. Ю., Капацін А. В. Теорія електричного зв'язку: Підручник для вузів першого та другого рівнів акредитації. – К.: Техніка, 1998.
3. Бабич Н.П., Жуков И.А. Основы цифровой схемотехники: Учебное пособие. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», К.: «МК-Пресс», 2007. – 480 с.
4. О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко. Основы схемотехніки: підручник. – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – 388 с.
5. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Промислова електроніка» / Укладачі: Воробйова О.М., Савицька М.П., Флейта Ю.В., Альошина Л.О. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – 96 с.
6. Процюк Р.О., Корнейчук В.И., Кузьменко П.В., Тарасенко В.П. Компьютерная схемотехника (краткий курс). – К.: «Корнійчук», 2006. – 433 с.
7. Кривуля Г.Ф., Рябенський В.М., Буряк В.С. Схемотехніка: Навч. посібник. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2007. – 250 с.
8. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. В 2-х кн.– М.: Мир, 1984. – 598 с. В.А.Скаржепа, А.Н.Луценко. Электроника и микросхемотехника. К.: «Высшая школа», 1989, кн.1, кн 2.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Вихідні дані

Номер варіанту	Параметри джерела повідомлень			$\rho_{\text{вих.}}$, дБ	$\rho_{\text{кв. доп.}}$, дБ	Схема ЦАП на основі	Схема АЦП
	P_b, B^2	K_a	$F_{\text{max}}, \text{кГц}$				
1	1,0	5	5	25	28	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
2	1,2	8	10	24	27	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
3	2,5	3	4	30	33	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
4	1,3	5	6	26	29	матриці типу R – 2R	послідовного наближення
5	0,3	6	8	24	27	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
6	0,5	3	3	23	26	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
7	0,7	2	7	30	33	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовних АЦП
8	0,9	4	9	33	36	матриці типу R – 2R	послідовного наближення
9	1,2	3	5	32	35	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
10	1,5	5	3	37	40	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
11	1,8	4	5	32	35	двійково-зважених резисторах	паралельно-послідовних АЦП
12	2,0	3	3	33	37	матриці типу R – 2R	послідовного наближення
13	2,5	5	10	25	28	матриці двійково-зважених резисторів	паралельного кодування
14	1,8	3	11	31	34	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
15	3,0	3	8	34	37	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовних АЦП
16	0,2	5	12	35	38	матриці типу R – 2R	послідовного наближення
17	1,7	3	6	31	34	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
18	2,0	4	3	32	35	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
19	2,0	5	10	30	33	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовних АЦП
20	2,5	3	4	33	36	матриці типу R – 2R	послідовного наближення
21	1,2	4	5	30	33	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовний АЦП
22	2,0	5	7	34	37	матриці типу R – 2R	слідкуючому АЦП
23	0,8	3	9	35	37	матриці двійково-зважених резисторів	паралельно-послідовних АЦП

ДОДАТОК Б

Приклад заповнення титульного аркуша

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка»

на тему: «Розрахунки та проектування аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів»

Студента __-го курсу, групи **KI**-__

напряму підготовки

123 «Комп'ютерна інженерія»

Іванова І. І.

Керівник

доц. каф. КСМ, канд. техн. наук Іщенко М.О.

Національна шкала: _____

Кількість балів: _____

Оцінка ECTS: _____

Члени комісії:

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Кривий Ріг

20__ рік