

УДК 681.3

О. О. Войцеховська, асп.

ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОГО КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

Досліджено кодування вхідних та вихідних сигналів штучних нейронів частотою імпульсної послідовності. Проведено оцінку швидкодії операції множення та проаналізована завадостійкість сигналів синапсів. Запропоновано електричну схему мультиплікатора вхідного сигналу нейрона і ваги синапсу на біполярних транзисторах.

Вступ

Велика кількість сучасних нейронних мереж реалізується у вигляді комп'ютерних програм. Разом з тим у мікроелектронному виконанні такі мережі характеризуються значно вищою швидкістю і споживають менше енергії. Нейрони у таких мережах можуть бути аналоговими, цифровими або оптичними [1]. У всіх цих типах нейронів як вхідні та вихідні сигнали зручно застосовувати послідовності імпульсів [2]. При цьому значенню вхідної та вихідної дії відповідає один із параметрів імпульсної послідовності. Таким чином, у разі застосування амплітудно-імпульсного кодування вхідних та вихідних сигналів нейронів значення вхідної та вихідної дії відповідають амплітуді імпульсів, частотно-імпульсного — частоті появи імпульсів, широтно-імпульсного — тривалості імпульсів, фазо-імпульсного — зсуву імпульсів у часі, імпульсно-кодового — коду. Значення ваг синапсів можуть визначатися параметрами послідовності імпульсів або амплітудою постійної напруги. Варто зауважити, що у порівнянні з амплітудно-імпульсною, широтно-імпульсною і фазо-імпульсною модуляціями сигналів саме частотно-імпульсна модуляція є найбільш завадостійкою та відмовостійкою, має найбільшу швидкість та відрізняється простотою технічної реалізації.

Постановка задачі

Згідно з одним із способів здійснення синапсного множення, будь-який із параметрів імпульсу — амплітуда, частота, тривалість, зсув у часі — відповідає значенням вхідної інформації, а інший — вазі синапсу, два останні параметри є константами [1]. У даному випадку значення вхідної інформації нейрона задається частотою імпульсної послідовності, а вага синапсу задається амплітудою постійної напруги і визначає амплітуду вихідної імпульсної послідовності, частота якої збігається з частотою вхідної імпульсної послідовності. Множення значення вхідної дії на величину ваги синапсу здійснюється за допомогою мультиплікатора. У роботі [3] показана електрична схема мультиплікатора на МДН транзисторах та описана його робота.

Мета даної роботи — дослідження можливості і доцільності застосування частотно-імпульсного кодування вхідних та вихідних сигналів штучних нейронів для підвищення ефективності проектування нейронних мереж.

Для цього поставлено такі задачі:

- визначення основних параметрів вхідних та вихідних сигналів нейронів при частотно-імпульсному кодуванні;
- оцінювання швидкодії при множенні вхідних частотно-імпульсних сигналів з вагами синапсів, значення яких відповідають величині постійної напруги;
- оцінювання завадостійкості сигналів синапсів;
- розроблення схеми мультиплікатора вхідних сигналів і ваг синапсів на біполярних транзисторах;
- моделювання роботи мультиплікатора за допомогою програмного пакета MicroCap V.

Кодування сигналів

У даному випадку вхідні та вихідні сигнали нейрона є послідовностями імпульсів, які мають деякий постійний період $T_{\text{ЧІМ}}$ (рис. 1).

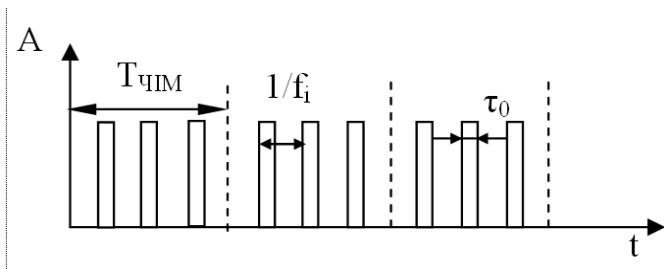


Рис. 1. Частотно-імпульсна послідовність

Значення вхідної дії нейрону x кодується частотою f_i імпульсів вхідного сигналу

$$f_i = f_{\min} x_i,$$

де f_{\min} — мінімальна частота слідування імпульсів, x_i — значення вхідної дії, що проходить по i -му синапсу.

Значення вихідної дії нейрону y кодується частотою f_j імпульсів вихідного

сигналу

$$f_j = f_{\min} y_j,$$

де y_j — значення вихідної дії j -го нейрона.

При цьому всі імпульси мають постійну тривалість τ_0 .

На практиці мінімальна частота слідування імпульсів у нейронних мережах складає від 50 кГц ... 500 кГц [1].

Оцінка швидкодії

Швидкодія множення вхідного сигналу і ваги синапсу залежить не лише від конструктивних особливостей мультиплікатора, а й від періоду слідування імпульсів вхідних сигналів. Період визначається співвідношенням

$$T_{\text{ЧІМ}} = \frac{1}{f_{\min}}.$$

Тоді час t , необхідний для виконання операції множення одного вхідного сигналу на вагу синапсу визначається за формулою:

$$t \approx \frac{1}{f_{\min}}.$$

Оцінка завадостійкості

Завадостійкість синапсів залежить від похибок, які виникають при визначенні значень параметра вхідного сигналу і ваги синапсу [1]. Похибка синапсу має дві складові:

- 1) δ_B — похибка визначення ваги синапсу;
- 2) $\delta_{\text{сиг}}$ — похибка визначення величини параметра вхідного сигналу.

Похибка визначення ваги синапсу обчислюється за формулою:

$$\delta_B = \frac{\Delta_B}{B_{\max}},$$

де Δ_B — відхилення визначеної амплітуди напруги ваги синапсу від дійсного значення; B_{\max} — максимальна величина напруги синапсу.

Похибка визначення величини параметра вхідного сигналу у разі частотно-імпульсного кодування вхідних сигналів визначається за формулою

$$\delta_{\text{сиг}} = \frac{\Delta f}{f_{\max}},$$

де f_{\max} — максимально можлива частота слідування імпульсів вхідних сигналів.

Оскільки $\Delta f = \frac{1}{2T_{\text{ЧІМ}}}$ [1], тоді маємо

$$\delta_{\text{сиг}} = \frac{1}{2f_{\max} \cdot T_{\text{ЧІМ}}}.$$

Таким чином, величина похибки визначення величини параметра вхідного сигналу обернено пропорційна тривалості періоду $T_{\text{ЦІМ}}$ і максимальній частоті слідування імпульсів f_{max} .

Мультиплікація сигналів

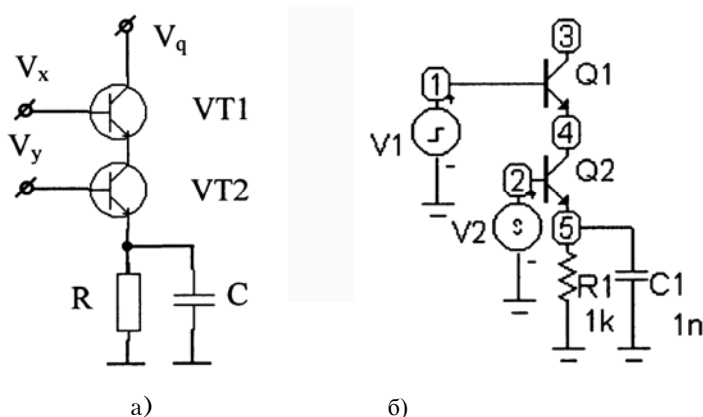


Рис. 2. Схема електрична принципова мультиплікатора: а) на БТ; б) у програмі Micro-Cap V

Розроблена електрична схема мультиплікатора вхідного сигналу нейрона і ваги синапсу, виконаного на двох біполярних транзисторах, показана на рис. 2а.

Схема працює таким чином: на базу першого транзистора VT1 подається послідовність імпульсів, частота слідування яких визначає значення вхідної дії нейрона. На базу другого транзистора VT2 подається постійна напруга, величина якої визначає значення ваги синапсу. Тоді напруга колектора першого транзистора VT1 являє собою послідовність імпульсів, частота слідування яких збігається з частотою вхідної імпульсної послідовності, а значення амплітуди змінюється залежно від ваги синапсу.

Для перевірки працездатності мультиплікатора його робота моделюється за допомогою програмного пакета MicroCap V. Схема мультиплікатора у програмі MicroCap V показана на рис. 2б. Для отримання амплітудно-часових характеристик мультиплікатора використано операцію Transient Analysis.

Вхідні імпульси, напруга синапсу і вихідні імпульси для частоти слідування імпульсів $f_i = 2$ МГц і напруги ваги синапсу $V_{\text{сін}} = 3$ В зображені на рис. 3, для $f_i = 1$ МГц і $V_{\text{сін}} = 8$ В — на рис. 4.

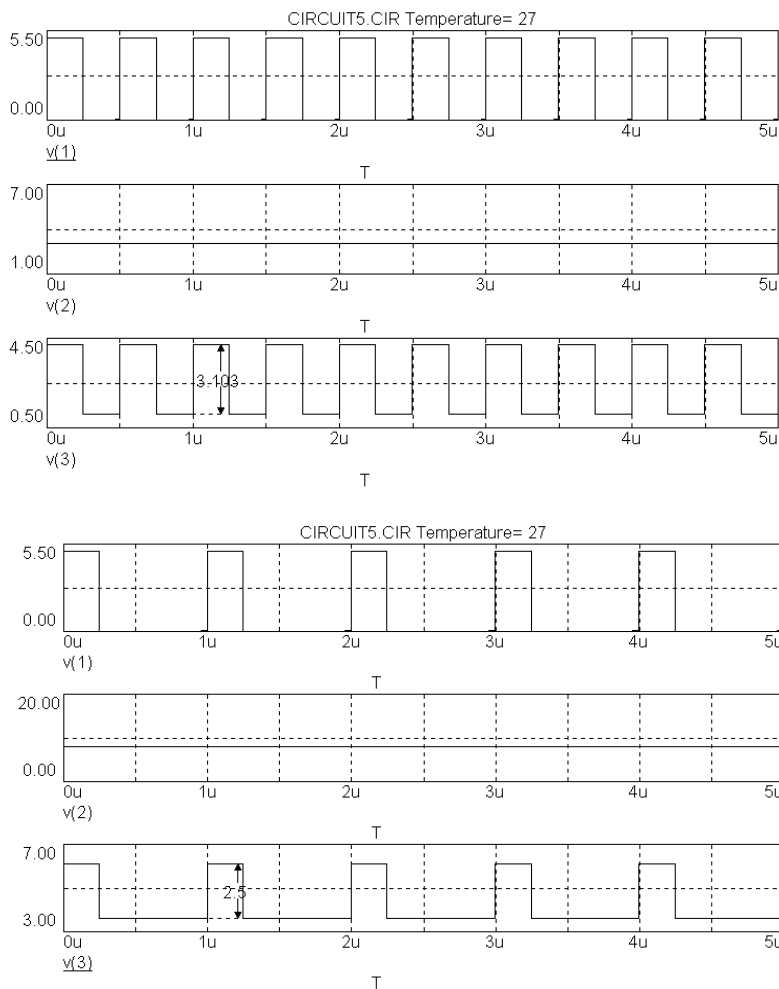


Рис. 4. Амплітудно-часові характеристики мультиплікатора на БТ

визначення завадостійкості сигналів синапсів. Показано, що завадостійкість залежить від максимальної частоти слідування імпульсів і постійного періоду вхідного сигналу.

Висновки

1. Наведено формули кодування вхідних і вихідних сигналів нейрона та ваг синапсів частотою слідування імпульсів.

2. Запропоновано формулу для визначення швидкодії множення вхідних сигналів нейронів з вагами синапсів. Швидкодія залежить від постійного періоду імпульсної послідовності, який визначається через мінімально можливу частоту слідування імпульсів.

Отримано співвідношення для

3. Отримано співвідношення для визначення завадостійкості сигналів синапсів. Показано, що завадостійкість залежить від максимальної частоти слідування імпульсів і постійного періоду вхідного сигналу.

4. Розроблено електричну схему мультиплікатора вхідних сигналів нейронів і ваг синапсів на біполярних транзисторах. Для перевірки працездатності мультиплікатора виконано моделювання його роботи у програмі Micro-Cap V. Значення вхідної дії задається послідовностями імпульсів з частотами 1 МГц і 2 МГц. Вага синапсу визначається значеннями напруги у 3 В і 8 В. На виході отримуємо послідовність імпульсів, частота яких збігається з частотою вхідного сигналу, а амплітуда залежить від значення ваги синапсу.

Таким чином, для підвищення ефективності розробки нейронних мереж варто застосувати часотно-імпульсне кодування вхідних та вихідних сигналів штучних нейронів, оскільки під час проектування можна досить просто розрахувати параметри імпульсних послідовностей, а також швидкодію множення і завадостійкість синапсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Reyneri L. M. A Performace Analysis of Pulse Stream Neural and Fuzzy Computing Systems // IEEE Trans. on Circuits and Systems — II. — Vol. 42. — № 10. — 1995. — P. 642—660.
2. Reyneri L. M. Neuro-Fuzzy Hardware: Design, Development and Performance // Proc. of FEPCONN III, Skukuza (South Africa), 12—15 July 1998.
3. Reyneri L. M., Withagen H. C. A. M., Hegt J. A., Chiaberge M. A Comparison between Analog and Pulse Stream VLSI Hardware for Neural Networks and Fuzzy Systems // Proc. of MICRONEURO 94, Int'l Conf. on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems, Torino (I), September 1994. IEEE Computer Society Press. — P. 77—86.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (2—5. 07.05)

Надійшла до редакції 11.07.05
Рекомендована до друку 21.07.05

Войцеховська Олена Олександрівна — аспірант кафедри телекомунікаційних систем і телебачення.
Вінницький національний технічний університет