

ТЕХНІКА ТА ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ. АНТЕННА ТЕХНІКА

УДК 621.3.011.74

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ СИНТЕЗУ МІКРОХВИЛЬОВИХ ПРИСТРОЇВ

*Адаменко В.О., аспірант; Мірських Г.О., к.т.н., доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Проектування мікрохвильових пристроїв в більшості випадків включає в себе етап експериментального корегування їх вихідних характеристик. В першу чергу це пов'язано з великою кількістю факторів, які не враховуються під час класичного синтезу. Інші методи проектування з використанням спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад MicroWave Studio) також не дозволяє в повній мірі врахувати вказані фактори, в тому числі й через значне зростання необхідних обчислювальних потужностей. В роботах [1, 2] показана можливість використання штучних нейронних мереж як розрахункового апарату, який накопичує знання та дозволяє внести в процес проектування елементи штучного інтелекту. Розглянуто особливості та основні труднощі у їх використанні в задачах, відмінних від тих, які вважаються класичними для розв'язання за допомогою нейронних мереж. Перспективність такого підходу визначає своєчасність та актуальність прискіпливого дослідження в цьому напрямку.

Окремий інтерес становить застосування нейронних мереж в задачах синтезу мікрохвильових пристроїв, на основі частотно-вибіркових елементів. Для цих пристроїв є характерним значний (десятки дБ) діапазон зміни вихідних характеристик та їх суттєва відмінність від розрахункових в смузі загородження, при чому ця відмінність на сьогодні важко (та з суттєвими похибками) піддається математичному прогнозуванню та має, по більшості, несиметричний характер відносно смуги пропускання.

Постановка задачі

Важливим та базовим етапом синтезу частотно-вибіркових фільтрів є визначення кількості резонаторів, які здатні забезпечити потрібне значення затухання в смугах загородження. В більшості випадків такі розрахунки проводяться за допомогою характеристик Батерворта та Чебишева [3], але як показує практика реальна кількість резонаторів буде відрізнятися від розрахункової за загально визначеними критеріями та методиками. Тому доцільно такий вибір проводити спираючись не тільки на класичні методики, а й на накопичений досвід, проектування та реалізації пристроїв визначе-

ного виду, тобто експериментальні дані. Обробку експериментальних даних можна проводити класичними методами апроксимації або застосовуючи нейронні мережі, як універсальний апроксимуючий апарат [4]. Причому саме використання останніх дозволяє вносити в розрахункову модель нові знання, отримані в ході експлуатації мережі, тобто створювати математичну модель фізичного об'єкту, а це викликає особливий інтерес науковців.

Розглянемо особливості використання нейронних мереж для апроксимації характеристик, отриманих в результаті практичної реалізації металодіелектричних мікрохвильових фільтрів на основі трьох та чотирьох резонаторів. Вхідними даними для нейронної мережі є частота та кількість резонаторів, а на виході — частотна характеристика затухання. Для таких фільтрів ця характеристика в смугах загородження різко не симетрична, причому має місце значне зростання затухання, при врахуванні якого можна скоротити кількість необхідних резонаторів. Таке зростання важко математично спрогнозувати, тому постає питання врахування накопичених експериментальних даних під час проектування нових пристроїв.

Апроксимація експериментальних даних

Основним завданням проектування фільтрів є забезпечення необхідного затухання в смугах загородження та пульсації в смузі пропускання. При цьому під час розроблення архітектури нейронної мережі потрібно враховувати значну відмінність в цих параметрах. Так, якщо кількість шарів та нейронів в них буде недостатньою, то нейронна мережа спотворить характеристику в смузі пропускання (див., наприклад, рис. 1а). Це обумовлено тим, що кількість точок для вдалого відображення пульсації повинна бути значною. При збільшенні кількості нейронів чутливість мережі до зміни функції зростає, але це в решті-решт призведе до так званого прокляття розмірності, яке проявиться в смузі загородження, де враховуючи монотонність функції, доцільно використовувати меншу кількість точок (що в свою чергу спростить отримання необхідної кількості експериментальних даних для підучування мережі). Проявом буде несприйнятлива поведінка нейронної мережі поза точками навчальної вибірки (див., наприклад, рис. 1б).

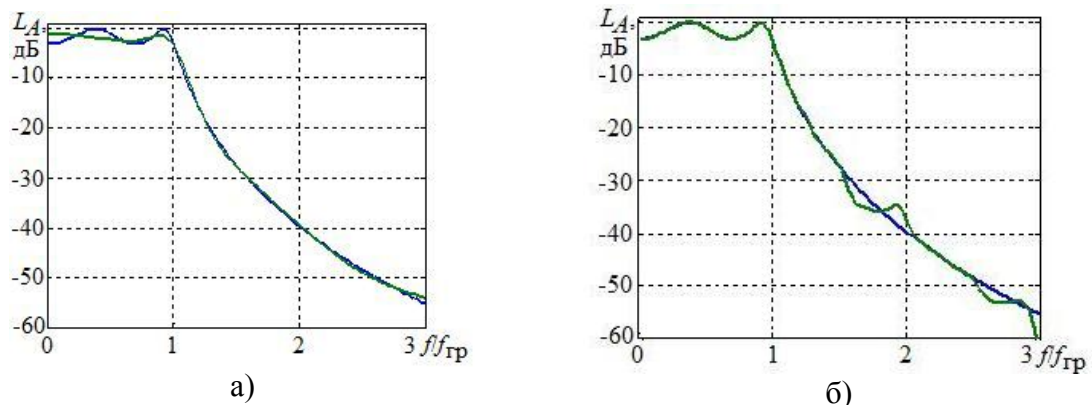


Рис. 1. Спотворення при апроксимації нейронною мережею:
а – недостатня кількість нейронів, б – надлишкова.

Одним з привабливих варіантів вирішення даної проблеми є використання ансамблю нейронних мереж [2], тобто поєднання окремих нейронних мереж в одну спільну архітектуру (рис. 2). Вхідні дані розподіляються між декількома окремими мережами (ШНМ-1 – ННМ-3), які можуть мати різну кількість нейронів та шарів. В класичному варіанті обробка даних в мережах йде паралельно, а об'єднуючий шар виконує функцію вибору оптимального виходу (який має найменшу похибку) в кожен момент часу. Проте така архітектура ансамблю не підходить для вирішення проблеми викликаній значним динамічним діапазоном вихідних значень, адже в кожній з мереж ансамблю виникатимуть ті самі проблеми. Отже необхідно здійснити відповідну модифікацію ансамблю для врахування вказаних особливостей характеристики фільтру.

Для успішного використання ансамблю мереж відомої архітектури необхідно забезпечити нормування та рівномірний розподіл вхідних даних по всьому робочому діапазону, але такі перетворення суттєво ускладнюють (а то й унеможливають) експлуатацію отриманої структури.

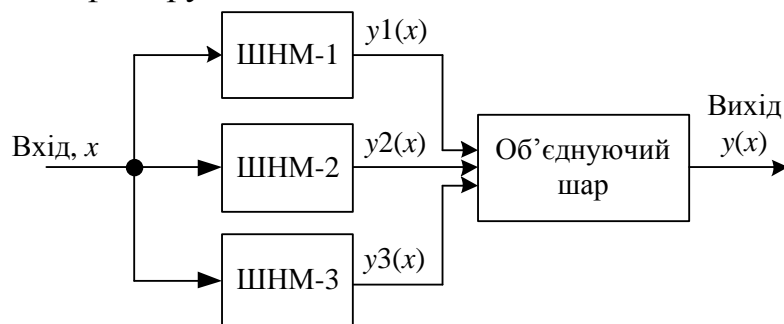


Рис. 2 Ансамбль нейронних мереж

Можна довести, що під час класичного синтезу частотно-вибіркових фільтрів на підставі моделей Батерворта та/або Чебишева в характеристиці їх затухання можна виокремити три мало пов'язані (одна з одною) ділянки, а саме смугу пропускання та дві смуги загородження, розміщені вище та нижче смуги пропускання. На підставі цього нами запропоновано розділити нейронні мережі, що входять до складу ансамблю та "відповідають" (апроксимують) за поведінку вихідної характеристик передачі фільтру у кожній з цих ділянок.

Як результат отримано модифікацію ансамблю нейронних мереж, приєднанням їх входів до виходів розгалужувача, який забезпечує розподіл вхідних даних між мережами (критерієм розподілу слугує значення граничної частоти), як показано на рис. 3. Обробка даних в ансамблі мереж запропонованої архітектури відбувається почергово, в залежності від значення вхідної частоти. Вихід кожної складової мережі ансамблю відповідає за значення затухання в смузі пропускання (ШНМ-1) та смугах загородження вище та нижче смуги пропускання (ШНМ-2 та ШНМ-3 відповідно)

Використання запропонованої архітектури дозволяє спростити структуру окремих нейронних мереж, тому витрати часу на навчання суттєво зменшуються. Крім того, отримана архітектура відрізняється високою гну-

чкістю, що обумовлює можливість швидкого та ефективного підучування такого ансамблю з використанням експериментальних даних. При цьому долається "прокляття" розмірності та забезпечується висока точність апроксимації.

Під час експерименту подібний ансамбль нейронних мереж навчався на апроксимацію характеристики Чебишева для трьох та чотирьох резонаторного фільтру, а в подальшому підучувався на основі даних, отриманих в ході натурального експерименту, що значно відрізнялися від розрахункових в смугах загородження вище та нижче смуги пропускання. На рис. 4 показано відмінність між ідеалізованими даними (криві 1-1 та 1-2) та експериментальними даними (крапки) в смузі загородження. Також видно, що характеристика підученої мережі не зважаючи на незначну кількість експериментальних даних веде себе достатньо прогнозовано, на всіх ділянках, включаючи ті, для яких відсутні експериментальні дані (криві 2-1 та 2-2).

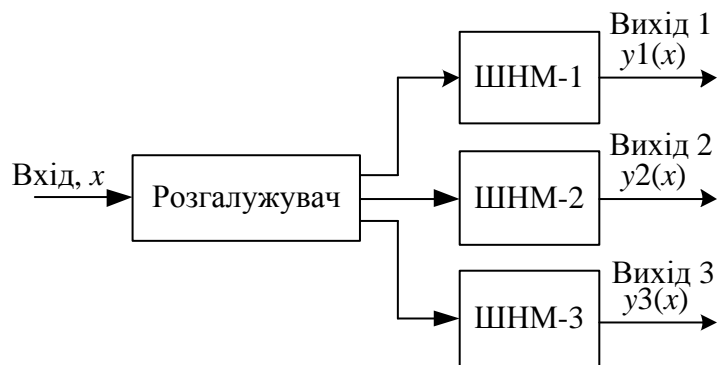


Рис. 3. Модифікований ансамбль нейронних мереж.

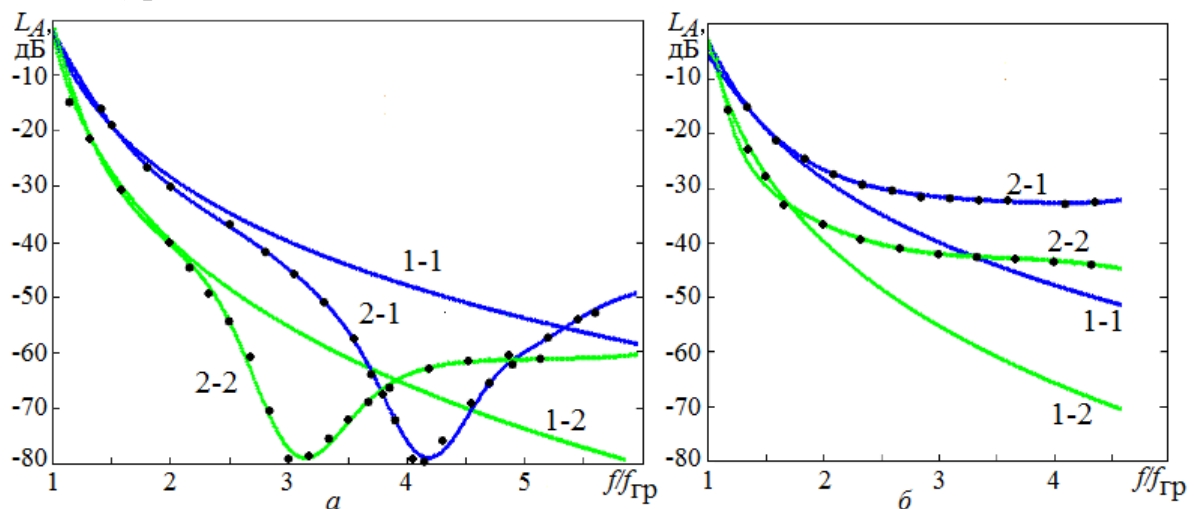


Рис. 4. Характеристики частотних фільтрів з 3-ма (криві 1-1, 2-1) та 4-ма (криві (1-2, 2-2) резонаторами вище (а) та нижче (б) смуги пропускання

Висновки

Застосування ансамблю нейронних мереж для розв'язання задач синтезу частотно-вибіркових пристроїв (як і будь-яких матеріальних об'єктів) дозволяє суттєво спростити структуру кожної нейронної мережі (складової ансамблю), що в свою чергу сприяє створенню більш гнучкого інтелектуального математичного апарату, який здатний до швидкого підучування на основі експериментальних даних, отриманих в ході спеціальних дослі-

джень та/або виробництва.

Використання запропонованої модифікації ансамблю нейронних мереж для практичної реалізації металодіелектричних мікрохвильових фільтрів, після проведення підучування на основі експериментальних даних дозволяє під час подальшого проектування враховувати особливості їх характеристик в смугах загородження як нижче, так і вище смуги пропускання, тобто використовувати притаманне таким фільтрам «аномальне зростання» величини затухання для зменшення кількості резонаторів.

Подальші дослідження в цьому напрямку є актуальними, адже дозволять застосовувати нейронні мережі в задачах синтезу мікрохвильових пристроїв різних класів, в тому числі там, де значно ускладнюється використання традиційних розрахункових методів. Є всі підстави вважати, що запропонована архітектура ансамблю нейронних мереж сприятиме максимальному врахуванню результатів експериментальних досліджень та/або досвіду розроблення відповідних пристроїв. В тому числі отриманню для цілей проектування математичних моделей на основі вказаних досліджень та досвіду.

Література

1. Адаменко В.О. Штучні нейронні мережі в задачах реалізації матеріальних об'єктів. Частина 1. Принципи побудови та класифікація / В.О. Адаменко, Г.О. Мірських // Вісник НТУУ "КПІ". Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2011. — №47 — С. 176 — 189.
2. Адаменко В.О. Штучні нейронні мережі в задачах реалізації матеріальних об'єктів. Частина 2. Особливості проектування та застосування / В.О. Адаменко, Г.О. Мірських // Вісник НТУУ "КПІ". Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2012. — №48. — С.213-221.
3. Маттей Д.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи / Д.Л. Маттей, Л. Янг, Е.М.Т. Джонс / Пер. с англ. / Под ред. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнира. — М.: Связь, 1971. — т.1. — 248 с.
4. Горбань А.Н. Обобщенная аппроксимационная теорема / А.Н. Горбань // Сибирский журнал вычислительной математики, 1998. — Т.1 — № 1. — С.12–24. .

Адаменко В.О., Мірських Г.О. Використання нейронних мереж для синтезу мікрохвильових пристроїв. В роботі розглянуто переваги застосування нейронних мереж для синтезу мікрохвильових пристроїв. Охарактеризовано проблеми, які можуть виникнути при використанні нейронної мережі, як універсального апроксимуючого апарату в задачах синтезу частотно-вибіркових мікрохвильових пристроїв. Обґрунтована доцільність вирішення цих проблем за допомогою ансамблю нейронних мереж. Запропоновано архітектуру ансамблю, який використаний для практичної реалізації металодіелектричних мікрохвильових фільтрів, з врахуванням їх особливостей в смугах загородження вище та нижче смуги пропускання. Вказано на доцільність подальшого дослідження використання запропонованої архітектури в задачах синтезу матеріальних об'єктів.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, частотно-вибіркові металодіелектричні мікрохвильові пристрої, синтез частотних фільтрів, ансамблі нейронних мереж.

Адаменко В.А., Мирских Г.А. Использование нейронных сетей для синтеза микроволновых устройств. В работе рассмотрены преимущества применения нейронных сетей для синтеза микроволновых устройств. Охарактеризованы проблемы, которые могут возникнуть при использовании нейронной сети, как универсального аппроксимирующего аппарата в задачах синтеза частотно-выборочных микроволновых устройств. Обоснованно целесообразность решения этих проблем с помощью ансамбля нейронных сетей. Предложено архитектуру ансамбля, который использован для практической реализации металлодиэлектрических микроволновых фильтров, с учетом их особенностей в полосах заграждения выше и ниже полосы пропускания. Указано на целесообразность последующего исследования использования предложенной архитектуры в задачах синтеза материальных объектов.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, частотно выборочные металлодиэлектрические микроволновые устройства, синтез частотных фильтров, ансамбли нейронных сетей.

Adamenko V., Mirskykh G. Using neural networks for the synthesis of microwave devices. In this work the advantages of neural networks for the synthesis of microwave devices are considered. The problems which can occur using neural networks as the universal approximating system in problems of frequency-selective microwave devices synthesis are characterized. The expediency of solving these problems by using ensemble of neural networks is substantiated. Offered the architecture group which used for the practical implementation metal dielectric microwave filters, taking into account their characteristics in the stop bands above and below the pass band. The expediency of the further investigation of the proposed architecture in problems of synthesis of material objects is shown.

Keywords: artificial neural network, frequency-selective metal dielectric microwave devices, frequency filters synthesis, ensemble of neural networks.