

**ЕМУЛЯЦІЯ АНАЛОГОВОГО АУДІООБЛАДНАННЯ
У ЦИФРОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ: ПРИЧИНИ ПОПУЛЯРНОСТІ
ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ**

Давидич І.М., Шейко С.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. МІРЕС,
науковий гурток «Запис, зведення і майстеринг звуку»,
тел. (057) 702-15-87, e-mail: d_res@nure.ua

The paper examines the role of analog equipment emulation in modern digital audio production. The study discusses the fundamental differences between digital and analog signal processing, with particular emphasis on nonlinear characteristics that give analog devices their distinctive sonic properties. Special attention is devoted to the main approaches used in digital modeling of analog audio equipment, including algorithmic modeling, circuit modeling, black-box modeling and machine learning techniques. The paper highlights the importance of these technologies in contemporary audio engineering practice, where they allow producers and engineers to combine the flexibility of digital environments with the sonic qualities of classic analog devices.

Упродовж останніх десятиліть цифрові технології кардинально змінили процес створення та обробки музики. Поява цифрових аудіо робочих станцій (Digital Audio Workstation, DAW), програмних ефектів та віртуальних інструментів зробила музичне виробництво значно доступнішим, гнучкішим і технологічно ефективнішим. Проте, попри стрімкий розвиток цифрових технологій, аналогове студійне обладнання й надалі вважається еталоном якості звучання у багатьох аспектах аудіоінженерії. Саме тому у сучасному аудіопродакшені широкого поширення набули програмні емуляції класичних аналогових пристроїв обробки звуку.

Цифрова емуляція аналогового обладнання сформувалася як окремий напрям досліджень у галузі цифрової обробки сигналів. Основною метою таких технологій є відтворення акустичних та електронних характеристик традиційних аналогових пристроїв у програмному цифровому середовищі.

Цифрові алгоритми обробки аудіосигналів здебільшого базуються на математичних моделях лінійних систем. У межах таких моделей система прагне максимально точно відтворити вхідний сигнал без внесення додаткових змін у його спектральну або динамічну структуру. У результаті цифрова обробка часто характеризується високою точністю, прозорістю звучання та стабільністю параметрів.

Саме така передбачуваність стала однією з причин широкого поширення цифрових технологій наприкінці ХХ століття. Цифрові ефекти дозволяють легко автоматизувати параметри обробки, точно повторювати

результати та уникати небажаних побічних ефектів, притаманних аналоговим електронним схемам. Однак у професійній практиці звукорежисури поступово сформувалося розуміння того, що надмірна лінійність цифрових процесів іноді призводить до відчуття «стерильності» звучання.

На відміну від цього, аналогові аудіопристрої працюють на основі фізичних електронних компонентів – ламп, транзисторів, трансформаторів та резистивно-ємнісних схем. Поведінка таких систем є нелінійною і залежить від рівня сигналу та фізичних властивостей елементів схеми. Саме ця нелінійність призводить до появи гармонічних спотворень, насичення сигналу та м'якого обмеження амплітуди, що часто сприймається слухачем як більш «тепле» та «музичне» звучання.

З розвитком цифрових технологій у професійному аудіопродакшені сформувалася практика програмної емуляції аналогових пристроїв. Її метою стало поєднання точності та гнучкості цифрового середовища з характерними акустичними властивостями традиційного аналогового обладнання.

Популярність цифрових емуляцій пояснюється кількома факторами. По-перше, оригінальні студійні пристрої часто є дуже дорогими, рідкісними або складними в обслуговуванні. Багато класичних моделей компресорів та еквайзерів випускалися обмеженими серіями і сьогодні можуть коштувати десятки тисяч доларів.

По-друге, програмні емуляції значно підвищують доступність таких інструментів. Сучасні аудіоплагіни дозволяють використовувати моделі легендарного студійного обладнання без необхідності придбання фізичних пристроїв.

Крім того, цифрові рішення мають низку функціональних переваг:

- можливість використання великої кількості екземплярів ефекту в одному проєкті;
- автоматизацію параметрів обробки сигналу;
- інтеграцію у середовище цифрових аудіоробочих станцій.

На рис.1 показано зовнішній вигляд інтерфейсу деяких емуляцій аналогових пристроїв від компанії Waves.

Сучасні програмні емуляції аналогового обладнання створюються за допомогою різних підходів до цифрового моделювання. Основні підходи до цифрової емуляції аналогового аудіообладнання наведено на рис. 2.

Одним із базових підходів є алгоритмічне моделювання. У цьому випадку поведінка пристрою описується математичними алгоритмами, які відтворюють ключові ефекти обробки сигналу. Наприклад, для моделювання компресорів використовуються алгоритми, що описують зміну амплітуди сигналу залежно від його рівня та параметрів атаки і релізу.

Більш складним підходом є моделювання електронних схем (circuit modeling). У цьому випадку програмна модель відтворює реальну структуру аналогового пристрою на рівні електронних компонентів. Кожен елемент описується відповідними математичними рівняннями, а їх взаємодія розраховується у цифровому середовищі. Такий підхід дозволяє точніше відтворювати нелінійні властивості обладнання, проте потребує значно більших обчислювальних ресурсів.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд інтерфейсу деяких емуляцій аналогових пристроїв від компанії Waves

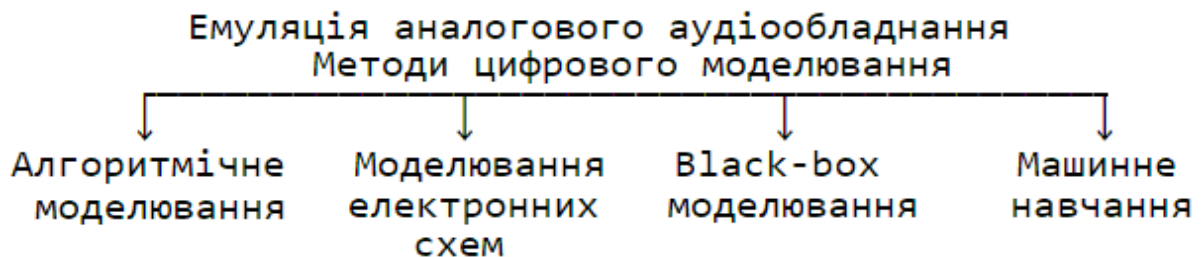


Рис. 2 – Основні методи цифрового моделювання аналогового аудіообладнання

Ще одним методом є black-box моделювання, при якому внутрішня структура пристрою не відтворюється безпосередньо. Натомість аналізується залежність між вхідним та вихідним сигналами реального обладнання. На основі великої кількості вимірювань формується математична модель, яка відтворює поведінку системи без детального опису її електронної схеми.

У сучасних дослідженнях дедалі активніше використовуються методи машинного навчання. Нейронні мережі можуть навчатися на великій кількості аудіоприкладів, аналізуючи різницю між вхідним сигналом та сигналом після обробки аналоговим пристроєм. Після етапу навчання така модель здатна відтворювати складну нелінійну поведінку аудіоефекту з високою точністю.

Таким чином, цифрові емуляції аналогового обладнання стали важливим інструментом сучасної аудіоінженерії. Поєднання методів цифрової обробки сигналів, моделювання електронних схем та машинного навчання дозволяє створювати дедалі точніші моделі аналогових ефектів і інтегрувати їх у сучасні цифрові робочі процеси музичного виробництва.

Перелік джерел:

1. Zölzer U. DAFX: Digital Audio Effects. – Chichester: Wiley, 2011.
2. Reiss J., McPherson A. Audio Effects: Theory, Implementation and Application. – Boca Raton: CRC Press, 2014.
3. Välimäki V., Parker J., Smith J., Abel J. Virtual Analog Effects. – Foundations and Trends in Signal Processing, 2016.