

Програмна реалізація моделі аналогового генератора за допомогою цифрових хвильових фільтрів

В.А. Ровінський
кафедра інформатики
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
x_audio.info@gmail.com

О.В. Євчук
кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій
та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
olga.yevchuk@gmail.com

Software implementation of analog oscillator model using wave digital filters

V. Rovinsky
Department of Informatics
Vasyl Stefanyk Precarpatian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
x.audio.info@gmail.com

O. Yevchuk
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olga.yevchuk@gmail.com

Анотація — Реалізована модель роботи аналогового LC-генератора гармонічних коливань. Запропоновано використати теорію цифрових хвильових фільтрів для імітації неточностей роботи реальних аналогових схем.

Abstract — Software model of analog harmonic LC-oscillator is realized. A wave digital filters theory for simulation of real analog circuits inaccuracy is used.

Ключові слова — цифровий хвильовий фільтр, ЦХФ, аналоговий генератор, гармонічне коливання

Keywords — wave digital filter, WDF, analog oscillator, harmonic oscillation

I. ВСТУП

Сучасні музичні синтезатори будуються з використанням цифрових сигнальних процесорів та у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, яке виконується в реальному часі на персональних комп'ютерах. Методи синтезу, які широко використовуються для створення музичних звуків, базуються на алгоритмах, які використовувались в повністю аналогових синтезаторах ще в 60х-80х рр. XX ст. Поліфонічні аналогові синтезатори містять в своєму складі

значну кількість інтегральних схем (ІС), і оскільки алгоритм їх роботи визначається апаратно - такі пристрої мають значну вартість. Крім того, їм притаманна неідеальність форм генерованих сигналів і шуми, однак історично склалось так, що ці вади і визначають характерну художню якість «аналогового» звуку. Тому в останній час зусилля розробників спрямовані на відтворення хиб аналогових схем в вигляді цифрових алгоритмів, придатних для використання в системах реального часу дії [1]. В зв'язку з вищенаведеним пропонується спосіб побудови цифрової моделі генератора гармонічних коливань, який не використовує блок тригонометричних функцій процесора, табличний синтез, тощо, а ґрунтований на прямому моделюванні процесів, які відбуваються в аналогових електронних генераторах.

II. ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ

Для цифрової реалізації аналогових схем використана теорія цифрових хвильових фільтрів (ЦХФ) [2]. На відміну від моделювання аналогових схем за допомогою інших способів розв'язку диференційних рівнянь, технологія ЦХФ дозволяє значно скоротити процесорний час розрахунків, а також забезпечити стійкість результатів моделювання, проте результати моделювання можуть мати

похибку розрахунків до 5%, що однак корелює з точністю обробки електричних сигналів за допомогою аналогових схем.

III. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА

В якості схеми-прототипу використана схема LC генератора гармонічних коливань, представлена на рис.1. Внаслідок того, що реальна індуктивність має значний власний опір, такий генератор буде мати погані характеристики на низьких частотах (НЧ). Проте у випадку математичного моделювання, цей ефект можна виключити з розгляду, і тоді форма синусоїди не буде залежати від робочої частоти.

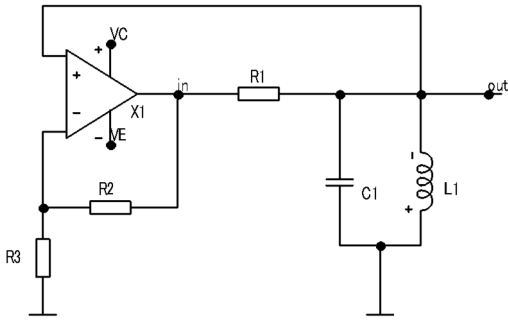


Рис. 1. LC-генератор на операційному підсилювачі

В даній схемі формування гармонічного сигналу здійснюється в коливальному контурі. Синхронне додавання енергії в контур здійснюється позитивним зворотним зв'язком за допомогою операційного підсилювача (ОП). Резистор R1 використаний, оскільки вихідний опір ОП є незначним, і безпосереднє його включення до коливального контуру, призводить до швидкого затухання коливань. У випадку коли коефіцієнт передачі підсилювача на ОП $K_U < 1$, генератор продукує затухаючі коливання, коли $K_U > 1$ - коливання підтримуються зі зростаючою амплітудою, і у випадку $K_U = 1$ - маємо коливання з постійною амплітудою. Реальні аналогові схеми містять обмеження по вихідній напрузі на рівні приблизно $\pm U_{ж}$ ОП, при цьому замість синусоїдних матимемо коливання, які нагадують меандр. Тому алгоритм роботи генератора має бути наступним: при запуску коефіцієнт передачі підсилювача $K_U \gg 1$, а при досягненні заданого рівня вихідного сигналу коефіцієнт повинен динамічно змінюватись, коливаючись навколо значення 1. Частота коливань генератора при цьому визначається власною частотою коливань LC контура: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Побудова RLC ланки в термінах ЦХФ виглядає наступним чином (див. рис.2)

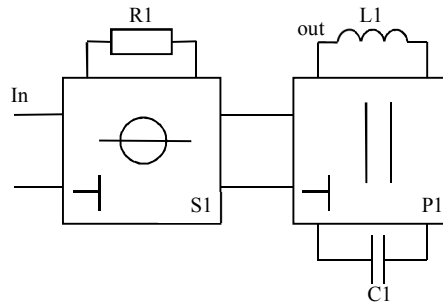


Рис. 2. RLC-коливальний контур в позначеннях адаптерів ЦХФ

Реалізація одержаної ЦХФ схеми мовою C++ з використанням бібліотеки ЦХФ [4] має наступний вигляд:

```
bool detectZeroCross(double in) {
    static double prevVal = 0; bool trigg = false;
    if (prevVal >= 0 && in < 0) trigg = true;
    if (prevVal < 0 && in >= 0) trigg = true;
    prevVal = in;
    return trigg;
}

double getKu(double in){
    currentLevel = -RC.process(abs(in));
    if (currentLevel > maxLevel && detectZeroCross(in))
        Ku = minLevel / (currentLevel);
    if (currentLevel < maxLevel && detectZeroCross(in))
        Ku = 1.0;
    return currentLevel;
}

double LC_contour(double in) {
    P1.do_b3(C1.state, -L1.state);
    S1.do_b123(P1.b3, 0.0, in);
    P1.do_b1b2(S1.b1);
    C1.state = P1.b1;
    L1.state = P1.b2;
    double res = -(P1.a1 + P1.b1)*0.5;
    return res;
}

double main_process() {
    res = LC_contour(res * Ku);
    getKu(res);
    return res;
}
```

Метод `getKu()` застосовується для автоматичного підстроювання коефіцієнту передачі підсилювача генератора в залежності від значень огинаючої, одержаної внаслідок біжучого згладжування модуля дискретизованих значень генерованого сигналу. Для початкового виведення системи зі стану рівноваги вхідному значенню однократно присвоюється значення 0.5. Зміна коефіцієнтів підсилення в алгоритмі стабілізації амплітуди вихідного сигналу здійснюється тільки в моменти переходу сигналу через нуль, що дозволяє зменшити загальний рівень нелінійних спотворень.

Після виконання розрахунків можемо спостерігати експоненціальне наростання амплітуди вихідного сигналу і спрацьовування програмної системи автоматичного регулювання підсилення сигналу генератора, яка стабілізує рівень вихідного сигналу (див. рис.3) :

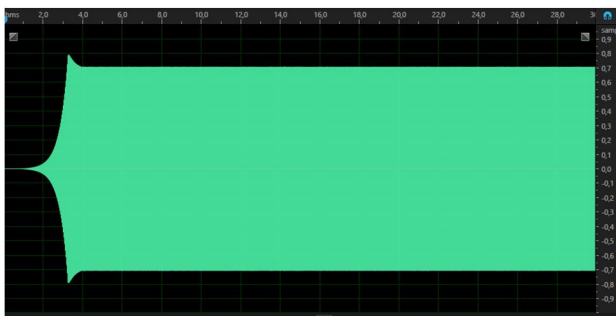


Рис. 3. Перехідні процеси при запуску генератора

Часова форма вихідного сигналу представлена на рис.4 і не містить видимих спотворень.

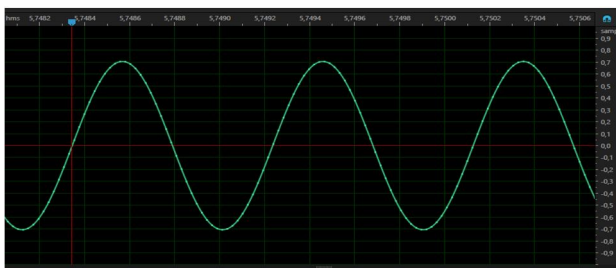


Рис. 4. Часова форма генерованих коливань

Частотний аналіз одержаних коливань (див. рис.5) свідчить про наявність незначної кількості гармонік.

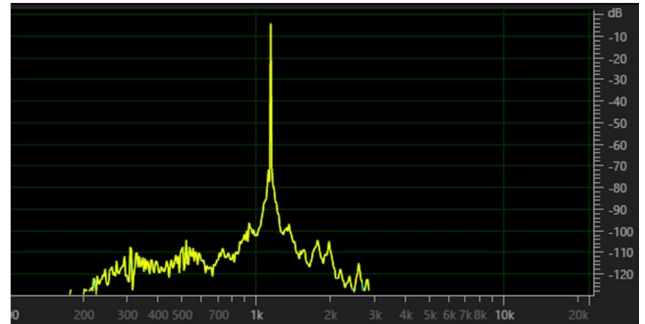


Рис. 5. Частотна форма генерованих коливань

Рівень паразитних гармонік складає -70дБ, що відповідає рівню шумових і паразитних спотворень, які притаманні аналоговій техніці кінця ХХст. Експериментально виміряне навантаження на процесор при генерації одного гармонічного сигналу в режимі реального часу складає близько 0.4%.

Висновки

Була розроблена модель аналогового генератора гармонічних коливань з використанням теорії ЦХФ. Реалізація моделі з використанням бібліотеки ЦХФ довела її дієздатність та ефективність з точки зору використання обчислювальних ресурсів ЕОМ. Нерозглянутими залишились експериментальні характеристики роботи генератора в режимі частотної модуляції.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] J. Mačák and J. Schimmel, "Real-time guitar tube amplifier simulation using approximation of differential equations," in Proceedings of the 13th International Conference on Digital Audio Effects DAFx10, Graz, Austria, Sep. 6-10, 2010.
- [2] A. Fettweis. Wave digital filters: theory and practice // Proc. IEEE, vol. 74, no. 2, pp.270-327. – Feb. 1986
- [3] У Титце., К. Шенк Полупроводниковая схемотехника. Том 2: Пер.с нем. – М.:ДМК Пресс, 2008. С.165–166
- [4] В. А. Ровінський, О. В. Євчук, Ю. Й. Стрілецький Використання цифрових хвильових фільтрів у задачах технічної вібродіагностики. // Метрологія та прилади. – 2011. - №6(32). – С.67-70