

Рис. 1. Структурна схема імпульсного передавача із застосуванням накопичувача енергії

$$P_i = P_{вд}q, \quad (1)$$

де  $P_i$  – імпульсна потужність генератора НВЧ;  $q = T / \tau$  – шпаруватість зондуючих імпульсів.

Проте, коефіцієнт корисної дії модулятора визначається не тільки параметрами зондуючих імпульсів, а і режимом роботи накопичувального елемента, оскільки в будь-якому варіанті його виконання (індуктивність, конденсатор або їх комбінація) у взаємодії з паразитними ємностями та індуктивностями утворюються коливальні контури з певними резонансними властивостями. При великій шпаруватості зондуючих імпульсів, коли часу для накопичення енергії достатньо існують жорсткі обмеження на величину вихідного струму та напруги модулятора, які визначаються енергетичною ємністю накопичувального елемента. У загальному випадку амплітуда вихідної напруги визначається з виразу [1]:

$$u_{max} = u_n + (U_{зд} - u_n) \left(1 + e^{-\frac{\pi}{2Q}}\right), \quad (2)$$

де  $U_{зд}$  – напруга вторинного джерела живлення;  $u_n$  – напруга на накопичувальному елементі до моменту підключення його до джерела живлення;  $Q$  – добротність контура, з накопичувальним елементом.

З виразу видно, що для досягнення великого значення амплітуди імпульсів, за такого підходу, необхідно досягти великого значення  $Q$ , що може бути здійснено або за рахунок збільшення індуктивності, або за рахунок збільшення ємності:  $Q = \sqrt{LC}/R_{вд}$ , і саме другий

випадок розглядається в статті. Слід зазначити, що при такій реалізації схеми накопичення, як показують результати дослідження, амплітуда імпульсу на виході модулятора залежить не тільки від добротності, але й від режиму роботи накопичувального елемента, що показано на рис. 2.

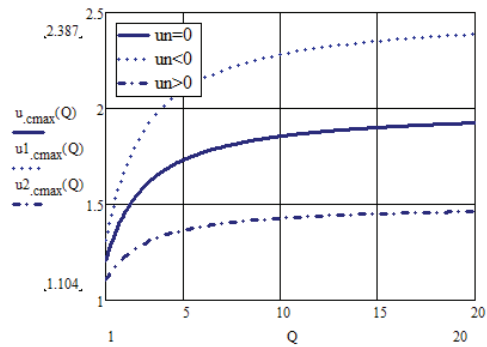


Рис. 2. Залежність амплітуди імпульсу від добротності контура

Таким чином, у схемі модулятора, що пропонується для імпульсних РЛЗ, з метою досягнення значного скорочення тривалості фронтів імпульсу, окрім збільшення струму, який безпосередньо залежить від ємності накопичувального елемента, необхідно забезпечити особливий (резонансний) режим роботи накопичувального елемента, що значно простіше зробити при великих ємностях накопичувального елемента, для притаманного імпульсним методам часового розподілу.

### Список використаної літератури

1. Вамберский, М. В. Передающие устройства СВЧ : учебное пособие для радиотехнических спец. вузов / М. В. Вамберский, В. И. Казанцев, С. А. Шелухин ; под ред. М. В. Вамберского. – М. : Высш. шк., 1984. – 448 с.
2. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольника; пер. с англ. (в четырех томах) под общей ред. К. Н. Трофимова. Т. 3. Радиолокационные устройства и системы; под ред. А. С. Вницкого. – М. : Сов. радио, 1978. – 528 с. : с ил.

## КЛАСИФІКАЦІЯ НЕЛІНІЙНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

О. М. Шинкарук  
В. В. Мартинюк

Електрохімічні конденсатори або іоністори набувають широкого застосування в різних електричних пристроях, таких як електромобілі, гібридний транспорт, пристрої запуску дизельних та бензинових двигунів

внутрішнього згорання, потужній електроніці та телекомунікаціях для створення імпульсів струму великої амплітуди. Вони також застосовуються в мікропотужних резервних джерелах живлення елементів пам'яті,

рідинно-кристалічних дисплеїв та мікроконтролерів з ультранизьким споживанням електроенергії.

Наявність внутрішніх фізико-хімічних процесів накопичення, вивільнення та абсорбції електричного заряду електрохімічних конденсаторів [1–6] викликає частотну дисперсію та нелінійний характер електричних параметрів електрохімічних конденсаторів, до яких відносяться еквівалентна ємність та еквівалентний активний опір.

Частотна дисперсія і нелінійний характер еквівалентної ємності та еквівалентного активного опору електрохімічних конденсаторів призводять до появи похибок при використанні в процесі вимірювання електричних параметрів електрохімічних конденсаторів лінійних математичних моделей без частотної дисперсії, які використовуються в процесі вимірювання електричних параметрів звичайних конденсаторів.

Це означає, що для підвищення точності вимірювання електричних параметрів електрохімічних конденсаторів необхідно використовувати нелінійні математичні моделі із частотною дисперсією, які якомога ближче відповідають особливостям фізико-хімічних процесів накопичення, вивільнення та абсорбції електричного заряду електрохімічних конденсаторів.

Дослідженню математичних моделей електрохімічних конденсаторів присвячена значна кількість робіт, але в більшості з них розглядаються математичні моделі, еквівалентна ємність та еквівалентний активний опір яких не завжди з високою точністю відповідають виміряним значенням цих параметрів електрохімічних конденсаторів. Також відсутня чітка класифікація нелінійних математичних моделей електрохімічних конденсаторів, що ускладнює їх застосування в процесі вимірювання електричних параметрів електрохімічних конденсаторів.

З точки зору вимірювальної техніки електрохімічних конденсаторів – це пасивний нелінійний реактивний двополіусник із частотною дисперсією його електричних параметрів. Відповідно до теорії математичного моделювання будь-яку математичну модель можна представити у графічному та аналітичному вигляді.

Виходячи із цього, під нелінійною математичною моделлю електрохімічних конденсаторів у графічному вигляді будемо розуміти її нелінійну еквівалентну схему заміщення. В аналітичному вигляді нелінійною математичною моделлю електрохімічних конденсаторів виступає аналітичний вираз, який поєднує параметри елементів еквівалентної схеми заміщення з електричними параметрами електрохімічних конденсаторів.

Ураховуючи вищесказане можна зробити висновок, що під нелінійною математичною моделлю електрохімічних конденсаторів в аналітичному вигляді будемо розуміти вираз нелінійної вхідної функції її еквівалентної схеми заміщення, а саме вираз нелінійного комплексного опору або нелінійної комплексної провідності електрохімічних конденсаторів.

Вихідними даними в процесі розробки нелінійної математичної моделі електрохімічних конденсаторів виступають експериментальні значення їх нелінійного комплексного опору (нелінійної комплексної провідності), за якими можна визначити вираз нелінійної вхідної функції електрохімічних конденсаторів.

З теорії кіл відомо, що за експериментальними значеннями комплексного опору (комплексної провідності) двополіусника можна побудувати багато різних його еквівалентних схем заміщення з відповідними їм виразами вхідних функцій.

Звідси можна зробити висновок, що для електрохімічних конденсаторів адекватними можуть бути різні нелінійні математичні моделі у вигляді різних нелінійних еквівалентних схем заміщення з відповідними їм виразами вхідних функцій. Ступінь адекватності кожної нелінійної математичної моделі електрохімічних конденсаторів можна оцінити, використовуючи критерій Фішера:

$$F_D < F_{\hat{O}}, \quad (1)$$

де  $F_p = \frac{S_{AD}^2}{S_B^2}$  – розрахунковий критерій Фішера;  $S_{AD}^2$  – дисперсія адекватності;  $S_A^2$  – дисперсія відтворюваності;  $F_{\hat{O}}$  – табличний критерій Фішера.

На основі аналізу математичних моделей електрохімічних конденсаторів можна зробити висновок, що частотну дисперсію і нелінійний характер еквівалентної ємності та еквівалентного активного опору електрохімічних конденсаторів можна промоделювати двома способами:

за допомогою частотнозалежних нелінійних елементів, подібних до імпедансу Варбурга;

допомогою топології еквівалентної схеми заміщення електрохімічних конденсаторів, які складаються з нелінійних елементів без частотної дисперсії.

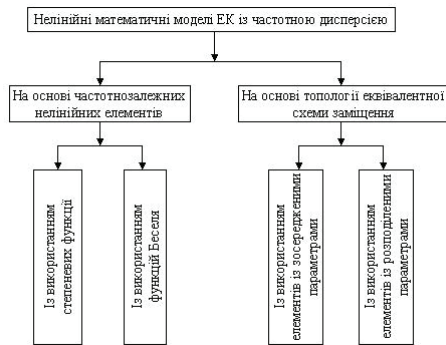
Базуючись на такому підході запропонуємо класифікацію нелінійних математичних моделей електрохімічних конденсаторів із частотною дисперсією еквівалентної ємності та еквівалентного активного опору, яка зображена на рисунку.

Відповідно до проведеного аналізу математичних моделей електрохімічних конденсаторів можна зробити висновок, що при моделюванні частотної дисперсії використовують степеневі функції (наприклад, імпеданс Варбурга), а також моделі які використовують функції Бесселя (наприклад, модель Р. де Лев'є).

Нелінійні математичні моделі із частотною дисперсією на основі топології еквівалентної схеми заміщення поділяються на моделі з використанням елементів із зосередженими та розподіленими параметрами (див. рисунок).

Наведена класифікація нелінійних математичних моделей електрохімічних конденсаторів із частотною дисперсією показує, що використання таких математичних моделей дозволить автоматизувати процес ви-

мірювання електричних параметрів електрохімічних конденсаторів за допомогою обчислювальної техніки. Це дозволить значно підвищити точність отриманих результатів та здійснювати математичне моделювання роботи електрохімічних конденсаторів в різних режимах експлуатації.



Класифікація нелінійних математичних моделей електрохімічних конденсаторів із частотною дисперсією

#### Список використаної літератури

1. Conway, B. E. *Electrochemical Supercapacitors : Scientific Principles and Technological Application* / B. E. Conway – New York : Plenum, 1999. – 906 p.

2. Shynkaruk, O. Supercapacitor modeling and Testing for Hybrid Vehicle / O. Shynkaruk, V. Martynyuk // *Proceedings of the IXth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2008)*, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19–23, 2008, pp. 497–499.

3. Шинкарук, О. М. Дослідження температурних властивостей суперконденсатора / О. М. Шинкарук, В. В. Мартинюк, А. В. Остапова // *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – Хмельницький, 2008. – № 2. – С. 30–34.

4. Шинкарук, О. М. Синтез еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора на змінному струмі / О. М. Шинкарук, В. Д. Косенков, В. В. Мартинюк // *Механіка та інформатика : Тези наукових праць. VIII Українсько-польська конференція молодих науковців, 12–14 травня 2011 р., м. Хмельницький (Україна)*. – Хмельницький національний університет, 2011. – С. 138–140.

5. Шинкарук, О. М. Синтез еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора на змінному струмі / О. М. Шинкарук, В. Д. Косенков, В. В. Мартинюк // *Вісник Хмельницького національного університету*. – Технічні науки. – Хмельницький. – 2011. – № 3. – С. 161–166.

6. Шинкарук, О. М. Принципи побудови нелінійних математичних моделей електрохімічних конденсаторів / О. М. Шинкарук, В. Д. Косенков, В. В. Мартинюк // *Електротехнічні та комп'ютерні системи. Тематик. вип. "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика"*. – Технічні науки. – К. : Техніка, 2011. – № 3(79). – С. 337–338.

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ФЛУКТУАЦІЙНИХ МОДУЛЯЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ ЗОНДУЮЧИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ НА СТУПІНЬ ЇХ РОЗРІЗНЕННЯ

О. М. Шинкарук  
І. І. Чесановський  
О. В. Карпова

Синтез моделей зонduючих сигналів при реалізації активної радіолокації, проводиться з умовою максимізації ступеня розрізнення, забезпечення оптимальних енергетичних співвідношень і досягнення максимальної ефективності алгоритмів обробки [1]. Визначальним моментом при цьому є кореляція комплексної обвідної сигналу [3]. У випадку застосування простих імпульсних радіолокаційних сигналів, комплексна обвідна має прямокутну форму і її потенційна кореляція визначається виключно їх тривалістю. Проте, як показує аналіз, імпульсні генератори НВЧ володіють достатньо високою нестабільністю частоти, що з однієї сторони є негативним явищем, а з іншої – дає змогу реалізувати максималь-

ну частку енергії сигналу [2, с. 4]. Це можливо, якщо сприймати наявні короточасні частотні флуктуації як корисну кутову модуляцію, при цьому реальна кореляція зонduючих сигналів, як показано в низці робіт [4] стають значно вищими. Реалізація такого підходу можлива з тих міркувань, що передавач сигналу та приймач змонтовані в одному пристрої, їх робота синхронізована в часі і необхідно лише їх синхронізувати за модуляцією.

За певними допущеннями та обмеженнями, з урахуванням дії дестабілізуючих факторів у передавачі, узагальнена математична модель обмеженого в часі та на частотній осі зонduючого сигналу може бути представлена у вигляді: