

технологии [Электронный ресурс]. URL:

2. http://rus.dynamix.ua/news/press/chip_07.htm (дата звернення 08.03.2010).

3. Проблемы, связанные с применением ADSL. Параметры телекоммуникационной системы [Электронный ресурс]. URL:

4. <http://adsltech.pp.ru/problems.html> (дата звернення 09.03.2010).

5. Кочергов А.В. Нормирование ADSL – физический уровень / А.В. Кочергов // Вестник связи. – 2007. – № 6. – 14с.

6. Брискер А.С. и др. Городские телефонные кабели. Справочник. Москва, Радио и связь. 1991. – 208 с.

7. Кочергов А. В. Коварство простых методов оценки скоростного потенциала ADSL / А.В. Кочергов // Минск. Сетевые решения. – 2006. № 4. – 8с.

8. Рекомендація ITU-T G. 992.1 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL)).

Надійшла до редакції
2.10.2009 р.

УДК 621.373

О.В. ОСАДЧУК, Р.В. КРИНОЧКІН

Вінницький Національний Технічний Університет

МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТОВЩИНИ НА ОСНОВІ ВІД'ЄМНОГО ОПОРУ В ЧАСОВОМУ ДОМЕНІ

У роботі показаний процес розробки нелінійно-параметричної математичної моделі частотного перетворювача на основі від'ємного опору в динамічному режимі роботи. Показаний метод отримання функції перетворення та нормованої чутливості перетворювача. Наведено результати експериментальної перевірки адекватності розробленої моделі.

The paper shows the process of developing nonlinear dynamic mathematical model of parametric frequency converter based on negative resistance. Demonstrated method to obtain conversion function's and the normalized sensitivity of the converter. The results of experimental verification of the adequacy of the developed model are given.

Ключові слова: математична модель, частотний перетворювач.

Вступ

Впровадження у галузь вимірювання товщини частотних перетворювачів на основі від'ємного опору, відкриває шлях до подальшого спрощення та здешевлення приладів вимірювання і контролю з одночасним забезпеченням високих метрологічних стандартів. Основні переваги таких засобів вимірювання та можлива схема їх застосування були описані в роботі [1], а в роботі [2] показано та обґрунтовано методику вибору вимірювального конденсатора в якості первинного сенсора для даних перетворювачів.

Розвиток комп'ютерної техніки призвів до значного спрощення схемотехнічного моделювання схем. Проте іншою стороною такого прогресу стала суттєва втрата розробником контролю за поведінкою схеми. Можна лише взяти певні існуючі елементи, побудувати з них схему та отримати результати моделювання за жорстко визначеним алгоритмом. Не завжди прийнятними бувають як результати, так і тривалість такого моделювання, особливо при використанні аналізу в часовому домені [див. нап. 3-5]. Тому виникає необхідність звертатися до методів низькорівневого моделювання, з застосуванням еквівалентних схем та елементарних моделей.

Такий підхід має наступні переваги:

- можливість врахування важливих особливостей конкретних схем, вже на етапі створення моделей
- контроль роботи моделей в процесі моделювання
- можливість визначення елементів та параметрів, що мають більший вплив на час або точність моделювання
- підвищення точності за рахунок використання аналітичних обчислень на проміжних етапах або протягом всього моделювання
- здатність до побудови моделей, для пристроїв що працюють одночасно у електричному та неелектричному доменах, що є особливо цінним при розробці вимірювальних перетворювачів
- розширені можливості математичної обробки результатів моделювання (в т.ч. статистична обробка, знаходження похідних тощо)

Безпосереднім завданням даної роботи є розробка та перевірка низькорівневої математичної моделі частотного перетворювача товщини на основі від'ємного опору. Розроблена модель повинна мати можливість наступної легкої інтеграції з моделлю первинного чутливого елемента, для отримання сукупної системи параметричних залежностей, що описують роботу

всього вимірювального каналу.

Інструменти дослідження

Моделі елементів. Схеми-гіпотези, для дослідження, вибір яких був обґрунтований у [2] є параметричними і нелінійними [6]. Тому для їх розрахунку необхідно використовувати, нелінійні моделі радіоелектронних компонентів, що доволі точно описуються через статичні параметри пасивних елементів та залежних джерел напруг і струмів [7].

Методи розрахунку. Найбільше поширення для розрахунку систем динамічних рівнянь радіоелектронних кіл отримали два методи: вузлових потенціалів та змінних стану. Використаємо для розрахунку другий метод, враховуючи, що за ним ми отримуємо систему диференціальних рівнянь в максимально компактній та раціональній формі: число рівнянь дорівнює порядку кола, всі рівняння системи мають перший порядок [8].

Технічні засоби. Щодо технічного інструментарію дослідження, то для комп'ютерної реалізації розроблених моделей використовувався професійний математичний пакет Maple 13, що є найбільш пристосованим для символічних обчислень [9, 10].

Розробка моделі високочутливого частотного перетворювача товщини

Побудуємо еквівалентну схему частотного перетворювача з роботи [2], використавши другий варіант під'єднання первинного сенсора та дещо змінивши включення біполярного транзистора (рис. 1).

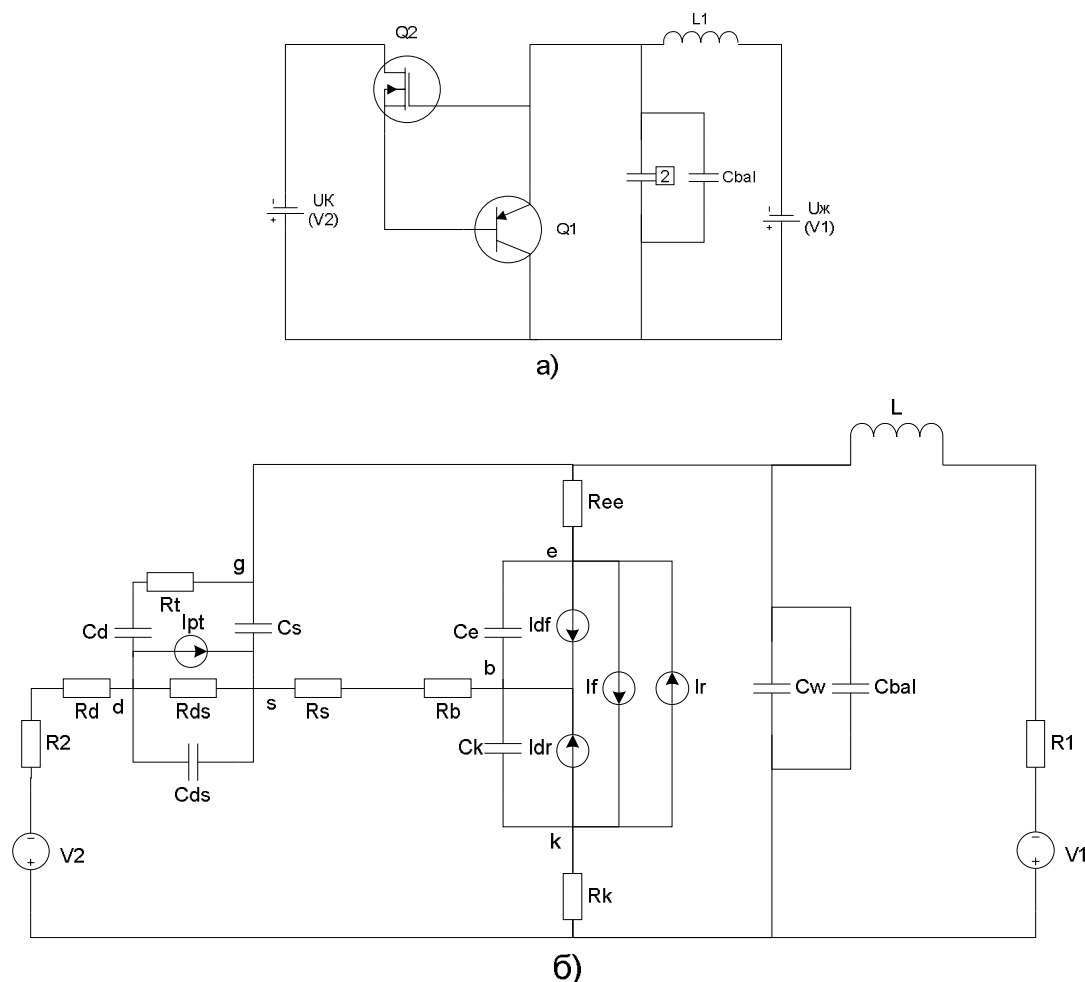


Рис. 1. Електрична принципова (а) та еквівалентна (б) схеми високочутливого частотного перетворювача товщини

Дана еквівалентна схема заснована на моделях окремих радіоелектронних компонентів, що входять до складу перетворювача [11, 12].

Застосуємо для розрахунку схеми метод змінних стану. На першому етапі перетворимо вищенаведену еквівалентну схему, представивши ємності у вигляді незалежних джерел напруги, а індуктивність – струму, та складемо для неї систему рівнянь за законами Кірхгофа та Ома. Крім того, два джерела I_f та I_r перетворимо в одне $I_{bit} = (I_f - I_r) / Q_B$, а дві ємності C_w та C_{bal} на одну $C_i = C_w + C_{bal}$. Потім розв'яжемо отриману систему відносно U_L , i_{C_d} , i_{C_s} , $i_{C_{ds}}$, i_{C_k} , i_{C_e} , i_{C_i} , вважаючи відомими значення напруг та струму через індуктивність. На другому етапі, підставимо отримані для кожного реактивного елемента розв'язки у рівняння виду

$U_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$ та $i_C(t) = C \cdot \frac{dU_C(t)}{dt}$. Врахувавши підстановки (2), отримаємо систему (1):

$$\left\{ \begin{aligned} L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} &= V1 - (U_{Li}(t) + i_L(t) \cdot R_L) \\ C_d \cdot \frac{dU_{Cd}(t)}{dt} &= U_{Cs}(t) - U_{Cds}(t) - U_{Cd}(t) \\ C_s \cdot \frac{dU_{Cs}(t)}{dt} &= \frac{B5 \cdot U_{Cs}(t) + B6 \cdot U_{Cds}(t) + B7 \cdot U_{Cd}(t)}{A4 \cdot B3 \cdot Rt} + \\ &+ \frac{(B4 \cdot U_{Ci}(t) + B8 \cdot U_{Ce}(t) - B9 \cdot U_{Ck}(t) - B3 \cdot V2) \cdot Rt}{A4 \cdot B3 \cdot Rt} \\ C_{ds} \cdot \frac{dU_{Cds}(t)}{dt} &= \frac{(A1 \cdot U_{Cs}(t) - A4 \cdot U_{Cd}(t)) \cdot Rds}{A4 \cdot Rt \cdot Rds} + \frac{(Rt \cdot (U_{Li}(t) + V2 + Ipt \cdot A4)) \cdot Rds}{A4 \cdot Rt \cdot Rds} - \frac{B10 \cdot U_{Cds}(t)}{A4 \cdot Rt \cdot Rds} \\ C_k \cdot \frac{dU_{Ck}(t)}{dt} &= \frac{(A6 \cdot (U_{Ci}(t) - U_{Ck}(t))) - A3 \cdot U_{Ca}(t) - U_{Cs}(t) \cdot Rce + (Ibit - Idr) \cdot B3}{B3} \\ C_e \cdot \frac{dU_{Ce}(t)}{dt} &= \frac{A5 \cdot U_{Cs}(t) + A3 \cdot U_{Ci}(t) - A3 \cdot U_{Ck}(t) + U_{Cs}(t) \cdot Rk + (Ibit + Idf) \cdot B3}{B3} \\ C_i \cdot \frac{dU_{Ci}(t)}{dt} &= \frac{-B11 \cdot U_{Li}(t) + B7 \cdot i_L(t) + B4 \cdot U_{Cs}(t) + A6 \cdot A4 \cdot U_{Ck}(t)}{A4 \cdot B3} \\ &+ \frac{A3 \cdot A4 \cdot U_{Ce}(t) + B3 \cdot (V2 - U_{Cds}(t))}{A4 \cdot B3} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\begin{aligned} B1 &= A1 \cdot Rk + A2 \cdot Rt + A3 \cdot A4 \\ B2 &= A2 \cdot Rt + A3 \cdot A4 \\ B3 &= A5 \cdot Rce + Rk \cdot A3 \\ B4 &= (A2 + Rk) \cdot Rce + Rk \cdot A3 \\ B5 &= -B1 \cdot Rce - B2 \cdot Rk \\ B6 &= A1 \cdot B3 \\ B7 &= A4 \cdot B3 \\ B8 &= A4 \cdot Rk \\ B9 &= A4 \cdot Rce \\ B10 &= A1 \cdot Rds + A4 \cdot Rt \\ B11 &= B4 + A3 \cdot A4 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A1 &= Rt + Rd + R2 \\ A2 &= Rd + R2 + Rs + Rb \\ A3 &= Rb + Rs \\ A4 &= R2 + Rd \\ A5 &= Rk + Rb + Rs \\ A6 &= Rce + Rs + Rb \end{aligned}$$

Отримана система параметричних рівнянь є нелінійною оскільки містить в якості складових елементів нелінійні залежні джерела струмів Ipt , $Ibit$, Idf , Idr [13]. Також зауважимо, що при більш детальному розгляді виявляється, що ємнісні та резистивні елементи також мають непостійні значення [11]. Формули для обрахунку цих та інших елементів і параметрів моделі представлені в роботах [7, 11, 13].

Система (3.1) є динамічною математичною моделлю вторинного частотного перетворювача товщини, таким чином розв'язання цієї системи з використанням зворотної підстановки у систему рівнянь Кірхгофа, дозволить знайти значення напруги або струму у будь-якій точці кола в будь-який заданий момент часу. Здатність до інтеграції з моделлю первинного чутливого елемента забезпечується шляхом підстановки функції $C=f(h)$ (зміни ємності від вимірюваної товщини) в якості параметра елемента C_w .

Перевірка адекватності розробленої моделі

Розрахунок показує, що при використанні даної моделі на виході схеми дійсно будуть існувати періодичні коливання, частота яких залежить від величини підключеної вимірювальної ємності. На рис. 2 показано приклад змодельованих вихідних коливань ($t = 0..10$ мкс) при двох різних C_w .

Для перевірки адекватності розробленої моделі було створено програму (у термінах клієнт-серверної математичної мови Maple 13) розрахунку вихідної частоти генерації від величини ємності чутливого елемента. Актуальні параметри моделі, розраховувалися за даними та бібліотечними даними з використанням LSQ-методів [13, 14, 15].

На рис. 3 наведено порівняння результатів моделювання функції перетворення в динамічному режимі з експериментальним дослідженнями на натурній моделі пристрою.

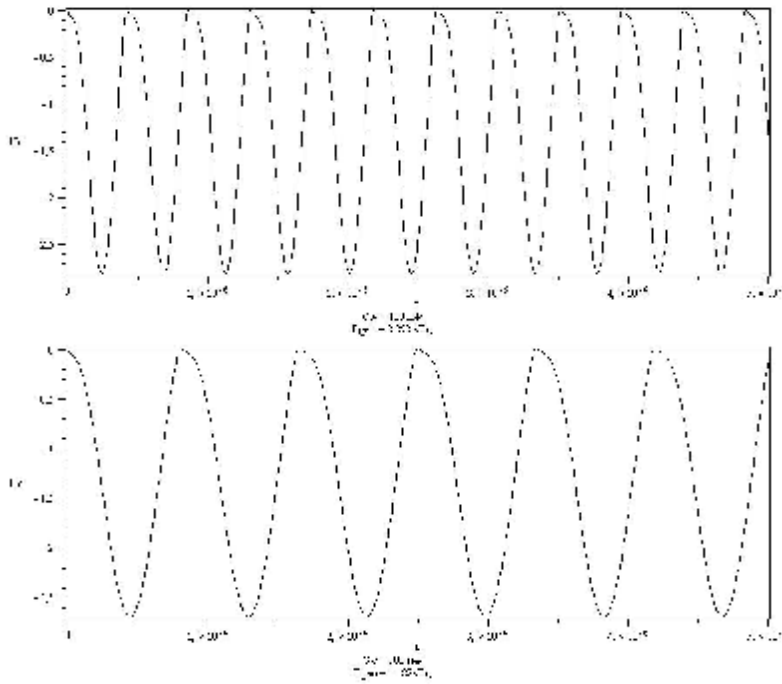


Рис. 2. Змодельовані вихідні коливання при двох різних CW

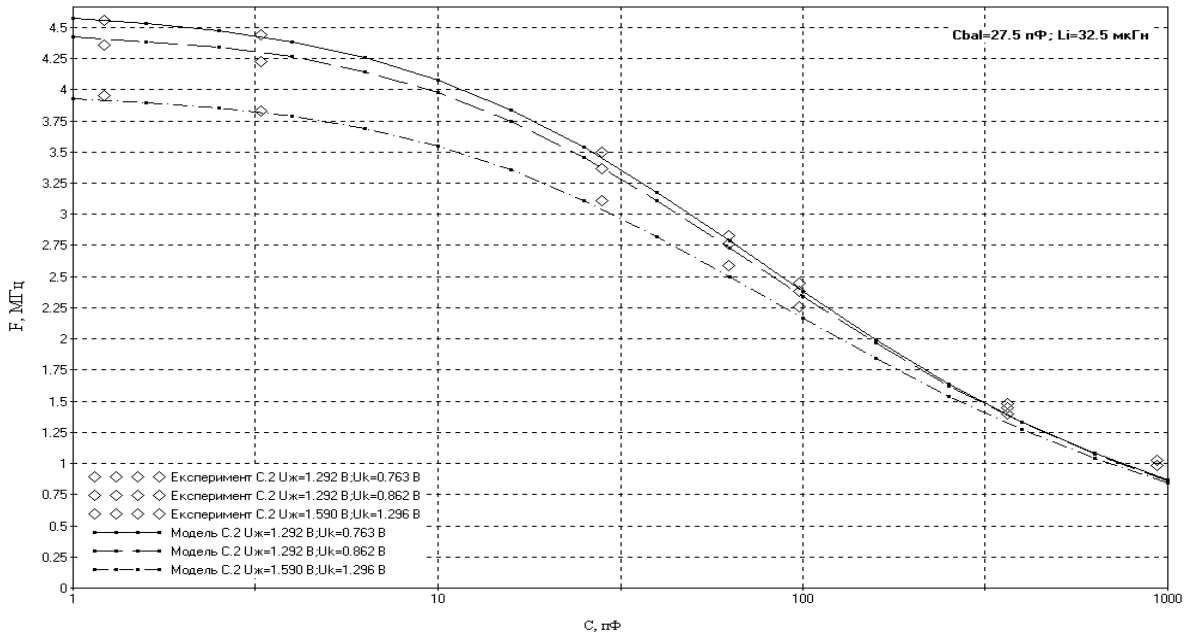


Рис. 3. Експериментальна та змодельована функції перетворення в різних режимах роботи

В таблицях 1 та 2 наведені похибки моделювання обраховані окремо в кожному вимірювальному діапазоні для кожного з режимів роботи по живленню. При експериментальній перевірці найбільш стійким виявився третій режим роботи, стабільна генерація існувала аж до декількох нанофарад, втім і чутливість у цьому режимі найменша.

Таблиця 1

Режим	Максимальна абсолютна похибка моделювання перетворювача		
	Діапазон вимірювання		
	1-10 пФ	10-100 пФ	100 – 1000 пФ
V1=1.292 В. V2=0.763 В	24 кГц	64 кГц	90 кГц
V1=1.292 В. V2=0.863 В	31 кГц	35 кГц	90 кГц
V1=1.590 В. V2=1.296 В	40 кГц	90 кГц	100 кГц

Максимальна відносна похибка моделювання перетворювача

Режим	Діапазон вимірювання		
	1-10 пФ	10-100 пФ	100 – 1000 пФ
V1=1.292 В. V2=0.763 В	0.57 %	2.24 %	6 %
V1=1.292 В. V2=0.863 В	0.72 %	1.49 %	9.89 %
V1=1.590 В. V2=1.296 В	1.02 %	4.16 %	10 %

На рис. 4 наведені результати моделювання зміни нормованої чутливості від ємності вимірювального елемента $S_C = \frac{S \cdot C}{F_b}$ (S – чутливість при ємності C). Нормувальна частота $F_b = 1$ МГц. Очевидно, що найбільше значення приведеної чутливості спостерігається в діапазоні від 15 до 300 пФ, що є енергетично оптимальним режимом роботи приладу.

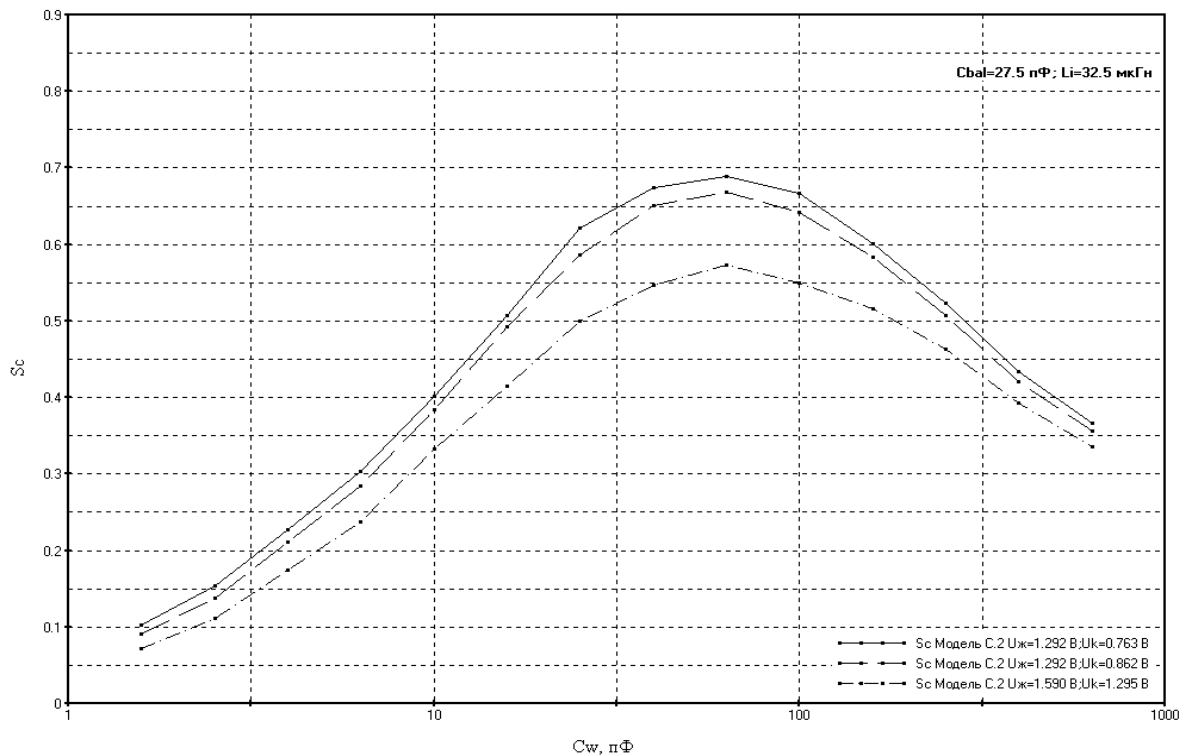


Рис. 4. Зміна нормованої чутливості від ємності вимірювального елемента в різних режимах роботи

Висновки

1. Розроблена динамічна математична модель частотного перетворювача на основі від'ємного опору в часовому домені. Отримана модель дозволяє знаходити реакцію схеми (зміну частоти) на зовнішній вплив (напр. зміну ємності чутливого елемента) і в такий спосіб придатна для подальшого використання у моделюванні вимірювальної поведінки частотних перетворювачів товщини.

2. Показаний метод отримання функції перетворення та нормованої чутливості перетворювача за допомогою розробленої моделі.

3. Наведено результати експериментальної перевірки адекватності розробленої моделі. Відносні похибки моделювання складають від 0.57 % до 10 % залежно від значення ємності чутливого елемента.

Література

1. Осадчук О.В. Проблеми вимірювання товщини нанесеного покриття та методи підвищення його точності / О.В. Осадчук, Р.В. Криночкін // Нові Технології. – 2009. – № 1. – С. 102-105. – ISSN: 1810-3049

2. Осадчук О.В. Вплив зовнішньої вимірювальної ємності на ЧПВО / О.В. Осадчук, Р.В. Криночкін // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009): матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції, Вінниця, 8-10 жовтня 2009 року. – Вінниця, 2009. – Частина 2. – С. 78

3. Болотовский Ю. Опыт моделирования систем силовой электроники в среде OrCAD 9.2.Ч.1 / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 90-95

4. Болотовский Ю. Опыт моделирования систем силовой электроники в среде OrCAD

- 9.2.Ч.1 / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2004. – № 2. – С. 96-103.
 5. Болотовский Ю. Опыт моделирования систем силовой электроники в среде OrCAD 9.2.
 Ч.3 / Ю. Болотовский, Г. Таназлы // Силовая электроника. – 2006. – № 1. – С.88-92
 6. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: Учебн. пособие для вузов. – Москва: Радио и связь, 1982. – 280 с.
 7. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – Москва: Горячая Линия-Телеком, 2003. – 368 с. – ISBN 5-93517-127-9
 8. Кузнецов Ю.В., Тронин Ю.В. Основы анализа линейных радиоэлектронных цепей (Временной анализ). – Москва: Издательство МАИ, 1992. – 60 с. – ISBN 5-7035-0250-0
 9. Сдвижков О.А. Математика на компьютере: Maple 8. – Москва: Солон-Пресс, 2003. – 176 с.
 10. Дьяконов В.П. Maple 8 в математике, физике и образовании. – Москва: Солон-Пресс, 2003. – 656 с.
 11. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. – Москва: Солон-Пресс, 1999. – 698 с. – ISBN 5-85954-082-5
 12. Петраков О. Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов.Ч.1 // Схемотехника. – 2001. – № 2. – С. 36-37 с.
 13. Недолужко И. Модели мощных биполярных транзисторов и определение их параметров / И. Недолужко, А. Лебедев // Силовая электроника. – 2005. – № 1. – С. 12-17
 14. Златин И. Создание и редактирование моделей в OrCAD 15.7. Ч.1 // Компоненты и технологии. – 2007. – № 6. – С. 124-128
 15. Златин И. Создание и редактирование моделей в OrCAD 15.7. Ч.2 // Компоненты и технологии. – 2007. – № 7. – С. 149-154 с.

Надійшла до редакції
 22.11.2009 р.

УДК 389.638.011

С.В. БЕХ, О.О. КУШНІР

Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

В роботі розглянуто класифікацію методів вимірювання потужності електричних сигналів за різними класифікаційними ознаками. Наведені основні недоліки цих методів. Показана доцільність використання електротеплових методів для вимірювання активної та реактивної потужності гармонічних сигналів складної форми.

Classification of methods of measuring of power of electric signals is in-process considered on different classification signs. The basic lacks of these methods are resulted. Rotined expedience of the use electro-thermal methods for measuring of active and reactive power of harmonic signals of difficult form.

Ключові слова: вимірювання потужності, активна потужність, реактивна потужність.

Вступ

Характерною рисою науково-технічного прогресу є використання електроніки у всіх галузях народного господарства у всіх галузях народного господарства. Історія розвитку науки і техніки свідчить, що науково-технічний прогрес нерозривно пов'язаний з можливостями здійснення і вдосконалення вимірювань. З прогресом науки і техніки відбувається неухильне розширення сфери фізичних процесів та явищ, охоплених вимірюваннями. Безперервно зростає кількість та різноманіття вимірюваних фізичних величин, параметрів технологічних процесів, характеристик сигналів та кіл, ускладнюються методи отримання, обробки та використання вимірювальної інформації, зростає роль наукового приладобудування, автоматизації експерименту, мікромініатюризації сенсорів та приладів, створення засобів вимірювань з малим споживанням електричної енергії, з автоматичною корекцією похибок вимірювань і т.д.

Серед фізичних величин важливе місце займає електрична потужність, як сукупність властивостей, загальних в якісному відношенні для багатьох електричних кіл та енергетичних систем, їх станів і процесів, які в них протікають, але в кількісних відношеннях індивідуальних для кожного електричного кола, джерела та приймача енергії.

Об'єктом дослідження є існуючі методи вимірювання електричної потужності.

Результати та їх обговорення

Важливим енергетичним параметром електричних і радіотехнічних кіл, технічних засобів, систем, приладів, приймальних та передавальних пристроїв є електрична потужність. Протікання струму по електричному колу супроводжується споживанням енергії від джерела, а швидкість поступання цієї енергії характеризує потужність. Розрізняють активну, реактивну та повну потужність.

Існує велика кількість різноманітних методів вимірювання електричної потужності. Їх класифікують за різними класифікаційними ознаками (рис. 1) [1].