

References

1. Jagadish, C. Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures: Processing, Properties, and Applications [Text] / C. Jagadish, S. J. Pearton – Elsevier: Amsterdam, 2006. – 859 p.
2. Ozgur, U. ZnO devices and applications: a review of current status and future prospects [Text] / Umit Ozgur, Hadis Morkoc // Proceedings of the IEEE – 2010. – Vol. 89, № 7. – P. 1255-1268.
3. Banerjee, D. Large hexagonal arrays of aligned ZnO nanorods [Text] / D. Banerjee, J. Rybczynski, J. Y. Huang, D. Z. Wang, K. Kempa, Z. F. Ren // Appl. Phys. A. – 2005. – № 80. – P. 749-752.
4. Park, W. I. Metalorganic vapor-phase epitaxial growth of vertically well-aligned ZnO nanorods [Text] / W. I. Park, D. H. Kim, S. W. Jung, G. C. Yi // Appl. Phys. Lett. – 2002. – № 80. – P. 4232-4234.
5. Orlov, A. Synthesis of ZnO Nanorods for Acoustic Wave Sensor / A. Orlov, V. Ulianova, Yu. Yakimenko, O. Bogdan, G. Pashkevich [Text] // 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – 2013. – P. 25-27.
6. Solis-Pomar, F. Growth of vertically aligned ZnO nanorods using textured ZnO films [Text] / F. Solis-Pomar, E. Martinez, M. F. Melendez, E. Perez-Tijerina // Nanoscale Research Letters. – 2011. – 6:524. – 11 p.
7. Bai, Shr-Nan. Synthesis of ZnO nanowires by the hydrothermal method, using sol-gel prepared ZnO seed films [Text] / Shr-Nan Bai, Shich-Chuan Wu // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2011. – Vol. 22, № 4. – P. 339-344.
8. Haikuo, Sun. Room-temperature preparation of ZnO nanosheets grown on Si substrates by a seed-layer assisted solution route [Text] / Haikuo Sun, Ming Luo, Wenjian Weng, Kui Cheng, Piyi Du, Ge Shen, Gaorong Han // Nanotechnology. – IOP Publishing Ltd., 2008. – Vol. 19, № 12. – 5 p.
9. Bogdan, A. Growing parameters and quality of ZnO seed-layer film (Part 1) [Text] / A. Bogdan, A. Orlov, V. Ulianova // Electronics and Communications. – 2012. – Vol. 6(71). – P. 7-13.
10. Giri, P. K., Effect of ZnO seed layer on the catalytic growth of vertically aligned ZnO nanorod arrays [Text] / P. K. Giri, Soumen Dhar, Ritun Chakraborty // Materials Chemistry and Physics. – Elsevier, 2010. – Vol. 122. – P. 18-22.
11. Pashkevich, G. A. Crystallographic orientation of incomplete breakdown channels in ZnP2 and CdP2 monocrystals [Text] / G. A. Pashkevich, A. L. Gurskii, E. V. Lutsenko, G. P. Yablonskii, V. M. Trukhan, V. N. Yakimovich // Phys. Stat. sol. – 1991. – Vol. 123. – P. 75-78.

Аналізуються принципи розробки реактивних компонентів електричних кіл на рівні рівнянь Максвелла та встановлюються загальні принципи способів їх конструктивної реалізації. Отримані результати відкривають шлях до створення індуктивностей, ємностей та трансформаторів на засадах використання не лише струму провідності, але і струму зсуву, як похідної потоку вектора електричної індукції

Ключові слова: реактивні компоненти, конденсатор, котушка індуктивності, потік вектора індукції, ємнісний трансформатор

Анализируются принципы разработки реактивных компонентов электрических цепей на уровне уравнений Максвелла и устанавливаются общие принципы способов их конструктивной реализации. Полученные результаты открывают путь к созданию индуктивностей, емкостей и трансформаторов на основе использования не только тока проводимости, но и тока смещения, как производной потока вектора электрической индукции

Ключевые слова: реактивные компоненты, конденсатор, катушка индуктивности, поток вектора индукции, емкостной трансформатор

УДК 620.3

ТРАСФІЛДЕРИ ПОТОКІВ ВЕКТОРІВ ІНДУКЦІЇ ЕЛЕКТРО- МАГНІТНОГО ПОЛЯ РЕАКТИВНИХ КОМПОНЕНТІВ

В. Г. Кудря

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра інформаційних систем і мереж
Одеська національна академія
харчових технологій
вул. Дворянська, 1/3, Одеса, Україна, 65082
E-mail: tasir.onaft@gmail.com

1. Вступ

В роботі розглядаються засадничі принципи розробки компонентів радіо телевізійних та цифрових

електронних засобів. Зокрема йдеться про такі пасивні реактивні компоненти як індуктивність, ємність та трансформатор. Незважаючи на чималу кількість способів реалізації проблеми їх мікромініатюризації

і сьогодні представляють собою достатньо складну задачу, що заважає виробництву компактних нанотехнологічних монолітних інтегральних схем. То ж тема роботи представляється достатньо актуальною. Метою публікації є поєднання теоретичних концепцій ланцюгової і польової моделі реактивних компонентів та розробка на цій основі узагальнених способів та методів їх реалізацій.

Ціль публікації та методи дослідження – розширення типів реактивних компонентів, як трансфілдерів (перетворювачів полів) потоку векторів магнітної індукції в електричну і навпаки.

2. Актуальність дослідження

Реактивні компоненти електричних кіл: котушки індуктивності, конденсатори, трансформатори, – були винайдені ще в XIX столітті. Способи їх реалізації та конструкції достатньо відомі і детально описані в науковій літературі починаючи з робіт М. Фарадея (1791-1867), (Michael Faraday Experimental Researches in Electricity, що надруковані у вигляді трьох томів в період з 1839 по 1855 роки). Їх прикладне значення зростає з кожним днем у зв'язку з розробкою нанотехнологічних монолітних інтегральних схем [1 – 5]. Разом з тим, недостатньо адекватні способи їх фізичного та математичного моделювання гальмують застосування наноелектроніки [6], що сприяло виникненню наукового напрямку по системному моделюванню наноелектроніки [7 – 10], зокрема і реактивних компонентів електричних кіл. Про актуальність задач: мініатюризації; енергетичних втрат; теплових режимів; автономізації, – реактивних компонентів свідчить численний потік авторських винаходів за міжнародними патентними класифікаторами H01F та H01G. Аналіз патентів доводить, що класична уява про фізичні процеси реалізації пасивних реактивних компонентів практично вичерпала свої можливості. Дійсно, способи розробки орієнтуються на низькочастотні моделі, а конструкції трансфілдерів розрізняються лише зміною розмірів та умовами експлуатації. Саме тому метою даної роботи є розширення теоретичного обґрунтування та введення родових понять, на основі яких можна уніфікувати способи розробки та методи реалізації реактивних компонентів різноманітного призначення.

3. Елементи електродинамічного обґрунтування моделей трансфілдерів

Технологія розробки реактивних компонентів, як трансфілдерів потоків векторів індукції електромагнітного поля, ґрунтується на перетворенні струму провідності вільних зарядів в металевих провідниках в потоки вектора магнітної індукції в осердях індуктивних елементів та (або) в потоки вектора електричної індукції між металевими обкладинками конденсаторів. Реалізація ємнісних елементів здійснюється шляхом зміни потенціалів через накопичення зарядів на пластинках конденсатора, які викликають зміну потоку вектора електричної індукції у часі, що еквівалентно струму зсуву. Такий струм існує між пластинами у вигляді електричного поля. В існуючих трансфілдерах

процес трансформації електричної енергії струму провідності (активної енергії) в реактивну енергію потоків векторів індукції здійснюється шляхом конструктивної деформації лінійних провідників вільних зарядів. Зокрема, для створення магнітного потоку лінійний провідник намотують у вигляді котушки, всередину якої для підсилення магнітного потоку вставляють осердя з достатньо великою магнітною проникністю, в ідеалі $\mu \rightarrow \infty$, а для створення потоку вектора електричної індукції, кінці розтину лінійного провідника виготовляють у вигляді металевих пластин, для збільшення електричного потоку між якими розташовують ізоляційні матеріали – діелектрики з достатньо високими значеннями діелектричної проникності, в ідеалі $\epsilon \rightarrow \infty$. Спосіб реалізації розглянутих видів реактивних компонентів ґрунтується на взаємному перетворенні інтегральних потоків векторів магнітного та електричного поля, внаслідок чого такі пристрої можна називати трансфілдерами потоків векторів індукції електромагнітного поля.

Основу обґрунтування способів їх реалізації складає теоретична та прикладна електродинаміка і теорія електричних кіл. Розглянемо її найпростіші положення, що пояснюють суть роботи будь-якого трансфілдера.

Перш за все, виокремимо трансфілдер, як компонент, що здатен накопичувати та видавати реактивну енергію. До множини компонентів такого роду, належать реактивні багатополіусники. Найбільше застосування найшли котушки індуктивності, конденсатори та трансформатори. Взаємозв'язок між струмом $i(t)$ та напругою $u(t)$ на ідеалізованих реактивних компонентах індуктивності (L) та ємності (C) [1], записують у вигляді інтегральних та диференціальних співвідношень:

Як впливає з закону Фарадея (електромагнітної самоіндукції)

$$u = L \frac{di}{dt}; \quad i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u dt, \quad (1)$$

де L – реактивний параметр котушки індуктивності з поперечним перетином, що має площу S, ϵ коефіцієнтом пропорційності між потоком Φ вектора магнітної індукції B

$$\Phi(t) = \oint_S \bar{B} ds \quad (2)$$

та струмом i, як джерелом магнітного поля.

$$\Phi(t) = Li(t). \quad (3)$$

Для ємнісного компонента з означенням поняття струму зсуву між пластинами конденсатора

$$i = C \frac{du}{dt}; \quad u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt, \quad (4)$$

де C – параметр, що відіграє роль коефіцієнта пропорційності між потоком N вектора електричної індукції

$$N = \oint_S \bar{D} ds \quad (5)$$

з поверхні S однієї пластини конденсатора на іншу

$$N(t) = Cu(t) \tag{6}$$

та напругою u , що є опосередкованим джерелом (різноміненних зарядів, які і створюють потік N).

Фізичні процеси багатополосних трансфілдерів (трансформаторів та інших реактивних багатополосників) відрізняються лише тим, що потоки векторів індукції (2), (5) відгалужуючись їх концентраторами направляються в інші котушки та місця накопичувачів заряду, для перетворення останніх відповідно в напругу (1) та струм (4).

Схематично фізичні процеси, що відбуваються в трансфілдерах можна описати у вигляді послідовності перетворень, рис. 1.

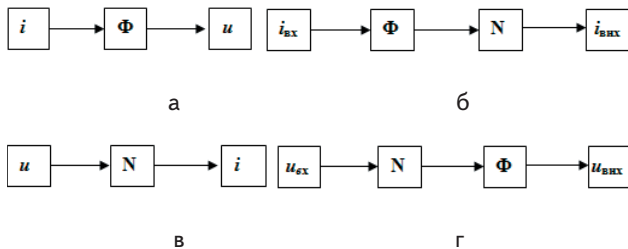


Рис. 1. Перетворення фізичних величин в: а – котушці індуктивності; б – індуктивному трансформаторі; в – конденсаторі; г – ємнісному трансформаторі, e і – вхідний (вихідний) струм, u – вхідна (вихідна) напруга, Φ , N – потоки векторів індукції відповідно магнітного та електричного поля

Вхідні та вихідні величини (напруги та струми), в свою чергу, також визначаються операціями (потік, циркуляція) над векторами

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \tag{7}$$

де \vec{E}, \vec{H} – вектори напруженості електромагнітного поля в «вакуумі», μ – магнітна проникність, ϵ – діелектрична проникність, σ питома електропровідність опору навантаження. Матеріальні рівняння (7) в навантаженні та генераторі не мають відношення до внутрішніх процесів, перетворень потоків, рис. 2, за схемами рис. 1 і тому в подальшому не деталізуються.

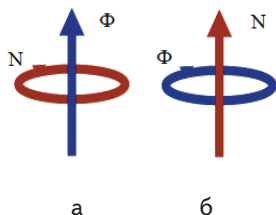


Рис. 2. Орієнтація електричного N та магнітного Φ потоків: а – початковим є магнітний потік; б – початковим є електричний потік

Фізичні процеси перетворення потоків трансфілдерами визначаються рівняннями Максвелла

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{8}$$

тобто змінне у часі магнітне поле породжує електричне і навпаки.

Нескладно довести можливість взаємозв'язку інтегральних потоків, рис. 2, через поверхні ненульової площі з диференціальними значеннями векторів напруженості електромагнітного поля (8) в окремих точках. У відповідності з чим слід відмітити два фактори: **взаємоотроgonальність** напрямів первинних потоків N та Φ , що на рис. 2 зображені вертикальними напрямими до вторинних – що відображені кільцевими траєкторіями; **витискання** вторинного інтегрального потоку з центральної (однорідної зони силових ліній) первинного потоку на периферію.

4. Конструктивна реалізація трансфілдерів

Керуючись викладеними вище загальнотеоретичними принципами пропонуються різноманітні шляхи удосконалення трансфілдерів за двома напрямками: заміна металевих дротів котушок, обмоток та пластин конденсаторів на напівпровідникові, діелектричні та магнітопровідні; використання струму зсуву, у відповідності з (8), як джерела магнітного потоку.

За варіантами схем трансфілдерів, рис. 1, можливі наступні варіанти:

- виготовлення діелектричної котушки індуктивності з сегнетоелектрика, магнітний потік якої створюється витком, або витками діелектричного дроту, що не торкаються один одного, та мають велику діелектричну проникність;
- створення обмоток трансформаторів з різними діелектричними, провідними (напівпровідними) та магнітними властивостями;
- застосування стрічкових конденсаторів, що володіють властивостями індуктивних імпедансів;
- розробка трансформаторів з ємнісним входом та (або виходом).

Для кожного з запропонованих варіантів нескладно привести структурні схеми реалізації трансфілдера, наприклад, за варіантом «с», що реалізує схему можна напрямів рис. 3. Як приклад розглянемо принцип дії трансфілдера за схемою перетворень, рис. 1, г.

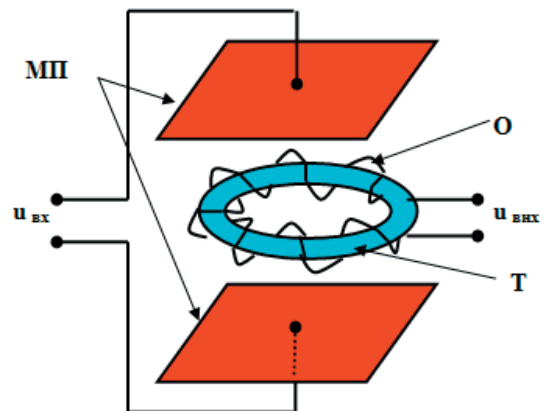


Рис. 3. Схема конструкції перетворювача напруг: МП – металеві пластини; Т – тор; О – обмотка

Вхідна напруга $u_{вх}$, розподіляючи різноміненні заряди на металевих пластинках (МП), створює в проміж-

ку між цими пластинами зосереджений електричний потік N , рис. 2, б, навколо якого автоматично утворюється зосереджений магнітний потік Φ . У відповідності з ефектом витискання магнітний потік ущільнюється формується у вигляді кільця, що має форму тора на периферії між пластинами конденсатора.

Розташування реєстратора цього поля в вигляді торової обмотки O з магнітом'яким осердям T призводить до виникнення в ній напруги $u_{\text{вих}}$, величину якої можна змінювати в залежності від кількості витків проводу торової котушки. Розташовуючи не одне, а декілька торових кілець, можна також отримати багатополісний трансфілдер. Як і в звичайних трансформаторах, у відповідності з законом збереження енергії потужність, при таких перетвореннях, на виході пристрою не може перевищувати потужність вхідного джерела електроенергії. Іншими словами, по відношенню до вхідних величин можна збільшувати вихідний струм за рахунок зменшення вихідної напруги і навпаки.

5. Висновок

В роботі проведено аналіз процесів, що характеризують пасивні компоненти, які здатні накопичувати та віддавати енергію електромагнітного поля в електричне коло. Представлено схеми коректного використання струму зсуву, для створення ним магнітного потоку.

На цій основі запропоновані способи побудови реактивних компонентів, як першого, так і вищого порядку (трансфілдерів).

Показано, що в рамках цих способів можна отримувати нові технологічні та конструктивні реалізації трансфілдерів, основу яких складають процеси перетворення потоків векторів індукції електромагнітного поля.

Такі конструкції дозволяють покращити їх експлуатаційні та технічні характеристики, зокрема: добротність; надійність; варіативність частотних характеристик; технологію виготовлення.

Література

1. Nazmul Islam. Microelectromechanical Systems and Devices [Electronic resource] / Dr. Nazmul Islam (Ed.), InTech, 2012, ISBN: 978-953-51-0306-6. Chapter 8: Petrenko A. I. "Macromodels of Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) // Mode of access: WWW.URL: http://cdn.intechopen.com/pdfs/33594/InTech-Macromodels_of_micro_electro_mechanical_systems_mems_.pdf.
2. Electronics from the Bottom Up: A New Approach to Nanoelectronic Devices and Materials [Electronic resource] // Created on 20 Jun 2008. Mode of access: WWW.URL: <http://nanohub.org/topics/ElectronicsFromTheBottomUp> - Last modified on 28 Aug 2012.
3. A resource for nanoscience and nanotechnology, nanoHUB.org was created by the NSF-funded Network for Computational Nanotechnology [Electronic resource] // Copyright © 2009 NCN - Mode of access: WWW.URL: <http://nanohub.org/>.
4. Балакирев, М. В. Радиопередающие устройства [Текст] / М. В. Балакирев, Ю. С. Вохмяков, А. В. Журиков и др. // М.: Радио и связь, 1982. 256с.
5. Синегуб, Н. И. Микропроцессоры звездобразной структуры с расширенными функциональными возможностями. [Текст] / Н. И. Синегуб, В. С. Ситников // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2010. – № 4. – С. 40-42.
6. Жоаким, К. Нанонауки. Невидимая революция [Текст] / К. Жоаким, Л. Плеввер. - М.: Колибри, 2009. - 235 с.
7. Кудря, В. Г. Моделивання нанотехнологічних електронних засобів. Монографія [Текст] // Одеська національна академія харчових технологій – Херсон. Олді-плюс, 2013. – 780 с. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/>.
8. Жан, М. Рабаи. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования [Текст] / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николіч // Москва*Санкт-Петербург*Киев: Изд-во ВИЛЬЯМС -W, 2007. 911 с. – Режим доступу <http://www.williamspublishing.com/Books/978-5-8459-1116-2.htm>.
9. Кудря, В. Г. Фізико-математичне моделювання в наноелектроніці. [Текст, Електронний ресурс] / В. Г. Кудря, Ю. О. Лемехов, Є. Л. Саркісян // Східно-Європейський журнал передових технологій.: Том 5 №3(59), 2012. С. 10 – 13/ – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4497>.
10. Кудря, В. Г. Системне проектування функціональних перетворювачів. // Труды пятой международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии", 17 – 21 мая 2004 г. , Одесса: СИЭТ, 2004, с. 165.