

УДК 621.318.434.1

В.А. Андрійчук, М.С. Наконечний, М.М. Липовецький

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНДУКТИВНИХ ПЛАНАРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ

Сучасні феромагнітні матеріали дають можливість проектувати індуктивні елементи з високими показниками якісних параметрів. В рамках дослідження авторами статті було проведено комп'ютерне моделювання індуктивного елемента, та досліджено його основні магнітні, електричні та температурні характеристики. Отримано залежності індуктивності та добротності від частоти. Проведено температурний розрахунок та показано основні причини теплових втрат, отримано температурні залежності індуктивного елемента для різних частот переміщення.

Ключові слова: планарні магнітні системи, індуктивність, добротність, феромагнетик.

Постановка проблеми

Індуктивні елементи (ІЕ), в світлотехнічній галузі в основному використовуються в якості компонентів електронних ПРА як баластні дроселі та котушки індуктивності в згладжуючі фільтрах та коректорах коефіцієнта потужності. До основних якісних характеристик ІЕ відносяться; індуктивність, діапазон робочих частот, добротність, інтервал робочих температур [1]. Для виготовлення дроселів найбільш широко використовується магнітна система Ш – типу. Недоліком даного типу магнітних систем є великі габаритні розміри, що є важливим параметром зважаючи на малі розміри цоколя компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ). Отже залишається важливим розробка ІЕ які б володіли високими значеннями якісних параметрів при збереженні малих геометричних розмірів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний час на основі планарних магнітних систем виготовляється великий асортимент дроселів та трансформаторів [2-4]. До переваг ІЕ такої системи можна віднести:

- високе значення магнітного зв'язку між витками обмотки, внаслідок зменшення габаритних розмірів елемента;
- малі габаритні розміри;
- малий розкид параметрів при серійному виробництві пристроїв;
- низький рівень електромагнітних перешкод.

До недоліків таких ІЕ можна віднести низьке значення добротності, та індуктивності порядку 20 мкГн [5]. Малі значення цих параметрів можна пояснити відсутністю феромагнітного матеріалу в конструкції ІЕ. Виготовлення таких елементів відбувалося методом фотолітографії (як

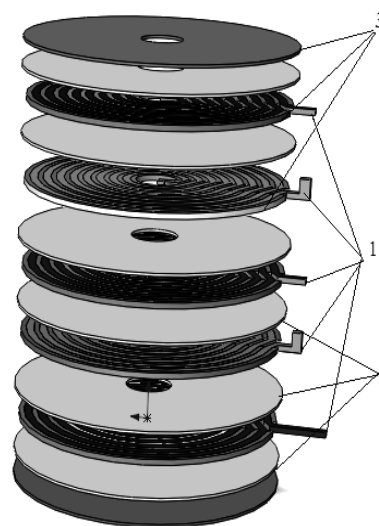
елемента гібридних мікросхем), або травленням доріжок в формі спіралі на друкованій платі.

Конструкція ІЕ розглянута в роботі [6], дає можливість досягнути більших значень індуктивності за рахунок використання в якості каркасу котушки фериту. Така конструкція дає можливість підвищити добротність елемента до 10.

Метою даної роботи було дослідити на основі комп'ютерної моделі магнітні, електричні та температурні характеристики планарних ІЕ.

Виклад основного матеріалу

Загальний вигляд моделі дроселя планарної системи зображено на рис. 1.



а)

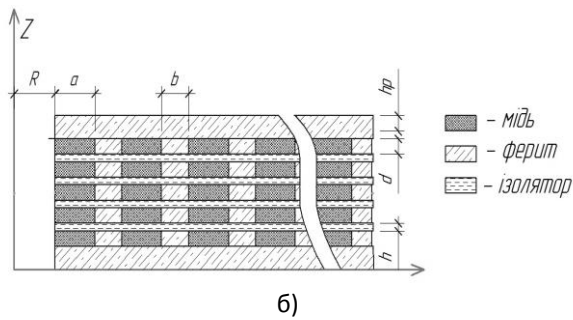


Рис 1 Загальний вигляд моделі індуктивного елемента – 1а, та його переріз площиною XZ – 3б

Конструкція ІЕ, дроселя в електричних схемах розрядних ламп складається з: обмотки 1, ізолятора 2, феромагнітної плівки 3. Витки обмотки являють собою нанесені у взаємно протилежних напрямках методом вакуумного осадження доріжки з міді [7].

Залежно від конкретних умов роботи електромагнітних елементів вимоги до магнітних матеріалів можуть бути різними, але найбільш загальні такі [8-9]:

- магнітний матеріал повинен легко намагнічуватися та розмагнічуватися, маючи вузьку петлю гістерезису, малу коерцитивну силу та великі значення початкової та максимальної магнітної проникності;

- магнітний матеріал повинен мати велику індукцію насичення, тобто забезпечити максимальний магнітний потік скрізь задану площу перерізу магнітопровода

- магнітний матеріал повинен мати по можливості мінімальну потужність втрат.

Між витками котушки для підвищення її індуктивності нанесено феромагнітний матеріал (NiZn ферит), який завдяки високому значенню питомого опору порядку 10^6 Ом·м, забезпечує надійний ізоляційний захист між витками.

Моделювання проводилося в програмному комплексі Comsol Multiphysics, для п'ятишарової котушки що складається із 10 витків. Котушка виготовлена із мідного прямокутного провідника розмірами $0,3 \times 0,1$ мм, та внутрішнім радіусом $R = 0,3$ мм, відстань між витками $b = 0,2$ мм, товщина феромагнітної плівки $h_p = 0,1$ мм, товщина діелектрика $h = 0,01$ мм, $d = 0,1$ мм. Збудження котушки відбувалося синусоїдним струмом з амплітудою 0,5 А.

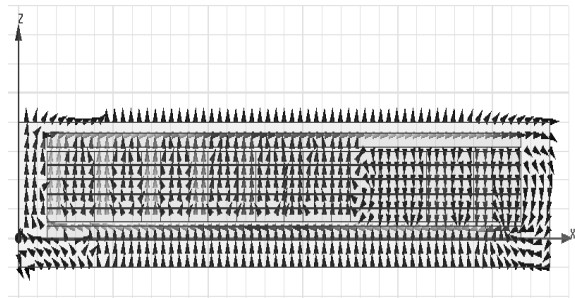


Рис 2 Напрямок циркуляції магнітного потоку в дроселі в площині Zr

З рисунка 2 можна побачити, що вектор магнітної індукції циркулює в площині плівки, тому шари ізолятора відіграють також роль розподіленого немагнітного зазору. Їх висота підібрана таким чином щоб при роботі дроселів не виходив в стан насичення.

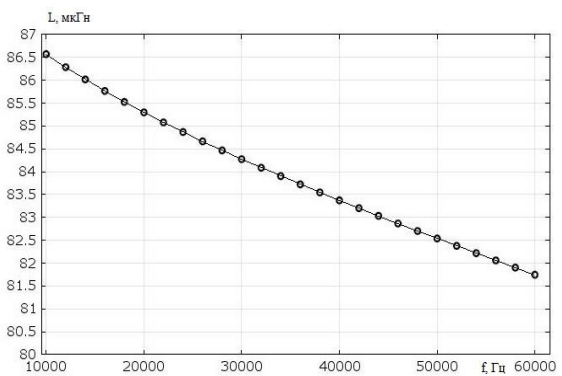


Рис. 3 Залежність індукцій дроселя від частоти

Графік залежності індуктивності дроселя від частоти зображено на рисунку 3, як видно з рисунку індуктивність залишається майже незмінною на інтервалі частот 10 – 60 кГц.

Однією з основних характеристик дроселя є його добротність Q . Дана величина визначається як відношення індуктивного опору до активного:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}, \quad (1)$$

де f – частота струму, R – активний опір котушки.

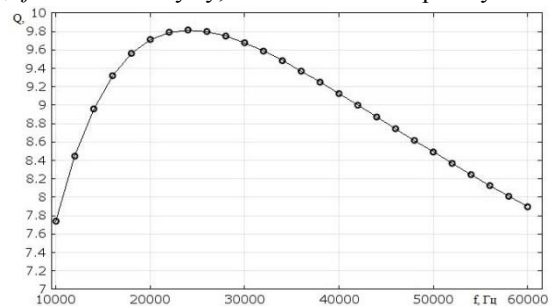


Рис. 4 Залежність добротності дроселя від частоти

Як видно з рисунка 4 максимальне значення добротності дроселя знаходиться в межах частот 20 – 30 кГц. Відносно малі значення добротності даного дроселя можна пояснити малими геометричними розмірами, та суттєвим впливом

ефекту близькості та скін – ефекту на розподіл густини струму в провіднику на високих частотах, і тим самим на омичний опір котушки. Розподіл густини струму для частот 10 та 50 кГц показано на рисунку 5.

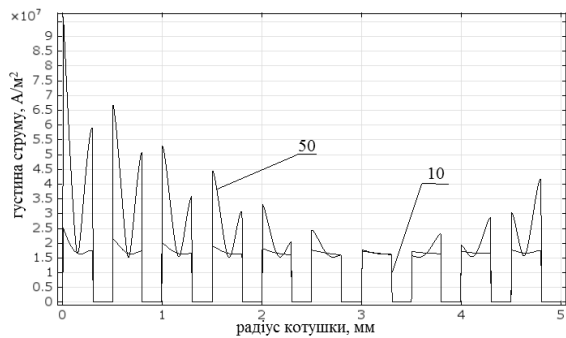


Рис 5 Залежність розподілу густини струму в котушці від частоти. (цифри біля графіків частота в кГц)

Нерівномірний розподіл густини струму на низьких частотах можна пояснити впливом ефекту близькості, оскільки нерівномірність густини струму спадає з Явище скін-ефекту та ефекту близькості є однією з причин теплових втрат в дроселях, що негативно впливають як на сам електричний компонент, так і на сусідні. Також суттєвий вклад в величину втрат вносять вихрові струми в самому магнітному матеріалі. Відносні магнітні втрати від вихрових струмів дорівнюють:

$$P = \iiint (E_x^2 + E_y^2 + E_z^2) dx dy dz, \quad (2)$$

де V - об'єм феромагнетика, T - період зміни магнітного поля. При зміні магнітної індукції за синусоїдальним законом $B = B_m \cos \omega t$, та врахувавши зв'язок між періодом та частотою, та при умові циркуляції вектора індукції в площині XZ рівняння (2) прийме вигляд:

$$P = \frac{\pi^2 B_m^2 f^2 h^2}{6\rho}, \quad (3)$$

де h - товщина феромагнетика.

Як видно з рівняння (3), величина втрат прямо пропорційна величині квадрату індукції магнітного поля, і обернено пропорційна питомому опору. На рисунку 5 зображено температурний розподіл індуктивного елемента при роботі з частотою 50 кГц.

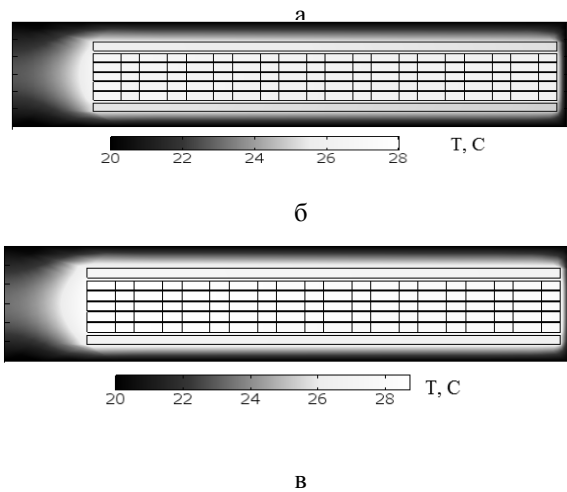
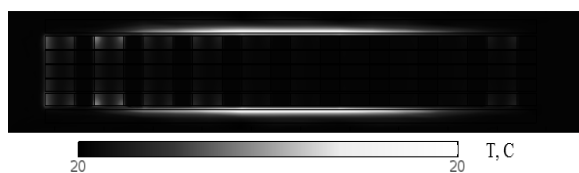


Рис.6 Температурний розподіл індуктивного елемента від часу: а – 0,01 с, б – 10 с, в – 60 с

Як видно з рисунку 6а в початковий момент часу найбільш інтенсивно температура починає зростати в феромагнетика у місці з найвищим значенням індукцій (рис 6б), що і було отримано в виразі 3. Зростання температури відбувається в тих провідниках де явище скін ефекту та ефекту близькості найбільше виражене. Подальше зростання температури відбувається рівномірно в об'ємі дроселя. Залежність температури індуктивного елемента від частоти показано на рисунку 7.

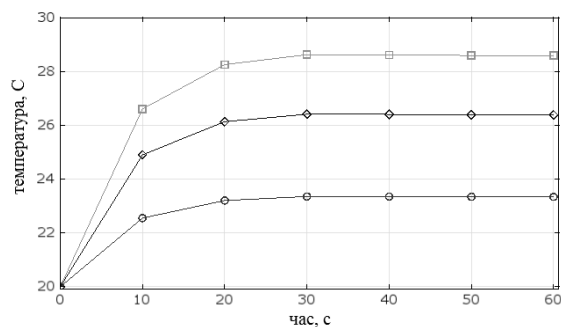


Рис. 7 Залежність температури дроселя від частоти, \circ – 10 кГц, \diamond - 30 кГц, \square – 50 кГц

Як можна побачити загальна температура дроселя зростає із ростом частоти але залишається достатньо низькою для нормальної роботи як самого елемента так і оточуючих.

Висновки

Використання методів вакуумного наплення в поєднанні з сучасними феромагнітними матеріалами дає можливість отримувати індуктивні елементи з малими геометричними розмірами при збереженні якісних параметрів.

В рамках дослідження авторами проведено комп'ютерне моделювання індуктивного елемента планарної системи з використанням в якості магнітопроводу тонких ферромагнітних плівок. Показано що використання нікель-цинкових феритів дає можливість отримати високі значення індуктивності та добротності. За рахунок збільшення площі поверхні елемента температура планарних ІЕ залишається низькою в процесі перемагнічування.

Література

1. Сидоров И.Н. Индуктивные элементы радиоэлектронной аппаратуры/ Сидоров И.Н., Биинатов М.Ф., Шведова Л.Г. М.: Радио и Связь. Год: 1992. – 287 С
2. Планарные трансформаторы на основе многослойных печатных пла // Режим доступу: http://www.kit.ru/articles/elcomp/2003_6_28.php
3. Планарные устройства фирмы Rayton. // Режим доступу: http://www.power-e.ru/pdf/2005_02_4.pdf
4. Проектирование планарных силовых трансформаторов. // Режим доступу: http://www.compitech.ru/html.cgi/archiv/03_06/stat_106.htm
5. Варадан В. ВЧ МЭМС и их применение./ Варадан В., Виной К., Джозе К – М.: Техносфера, 2004. – 528 с.

6. Ferrite polyimide composite thick film for low-Voltage and large-current DC-DC converter," *Magnetics, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 3991-3993, – 2005.
7. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. – 415 С
8. Горский А.Н Расчет электромагнитных элементов вторичного электропитания/ Горский А.Н., Русин Ю.С., Иванов Н.Р., Сергеева Л.А.– М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
9. Минайчев В. Б. Нанесение пленок в вакууме М. Высшая школа, 1989 – 111 С.

Автор: АНДРІЙЧУК Володимир Андрійович
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, Тернопіль, доктор технічних наук, професор
E-mail – kaf_es@tu.edu.te.ua

Автор: НАКОНЕЧНИЙ Мирослав Степанович
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, Тернопіль, асистент
E-mail – nakmiron@ukr.net

Автор: ЛИПОВЕЦЬКИЙ Микола Миколайович
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, Тернопіль, асистент
E-mail – lm19@ukr.net

АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНДУКТИВНЫХ ПЛАНАРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

В. А. Андрійчук, М. С. Наконечный, Н. Н. Лыповецкий

Современные ферромагнитные материалы дают возможность проектировать индуктивные элементы с высокими показателями качественных параметров. В рамках исследования авторами статьи было проведено компьютерное моделирование индуктивного элемента, и исследованы его основные магнитные, электрические и температурные характеристики. Получены зависимости индуктивности и добротности от частоты. Проведено температурный расчет и показаны основные причины тепловых потерь, получено температурные зависимости индуктивного элемента для различных частот перемагничивания.

Ключевые слова: планарные магнитные системы, индуктивность, добротность, ферромагнетик.

ANALYSIS OF QUALITATIVE INDUCTANCE PARAMETER OF PLANAR SYSTEMS BY A COMPUTER MODEL

V, Andriichuk, M, Nakonechniy, M, Lypovetskiy

Modern ferromagnetic materials make it possible to design the inductive elements with high quality parameters. In the study, the authors were carried out computer simulations of the inductive element, and investigated its basic magnetic, electrical and thermal characteristics. The dependences of the inductance and quality factor of frequency. A temperature calculation and shows the main causes of heat loss, obtained by the temperature dependence of the inductive element for different frequencies of magnetization reversal. In the study, the authors conducted a computer simulation inductive element planar system using as magnetic thin ferromagnetic films. It is shown that the use of nickel-zinc ferrites makes it possible to obtain high values of inductance and quality factor. By increasing the surface area of the planar element temperature is low during remagnetization.

Keywords: planar magnetic systems, inductance, quality factor, a ferromagnet.