

Аморфний матеріал компанії Bourne для осердь дроселів і трансформаторів ВЧ-перетворювачів

Переклад та редагування: Ігор Євлаш, к.ф.-м.н., м.н.с., Інститут металофізики (ІМФ) ім. Курдюмова НАН України

У статті розглядається аморфний матеріал, створений компанією Bourne. У цьому матеріалі не використовуються рідкісні мікродомішки, і він вигідно відрізняється від пермалоїв (NiFe), що широко використовуються на високих частотах. Втрати в цьому матеріалі майже на 30% менші, а магнітна проникність у 10 разів вища!

ВСТУП

До числа основних вимог, що висуваються до силових перетворювачів, належать енергоефективність і компактність. У реалізації цих вимог чимала роль належить дроселям вихідного фільтра перетворювача і трансформатора, якщо йдеться про ізольований перетворювач. Наприклад, втрати потужності в дроселі можуть сягати кілька відсотків від максимальної вихідної потужності перетворювача та відповідного меншого ККД усього пристрою, а також збільшують вимоги до охолодження. Тому компанії виробники дроселів прагнуть максимально зменшити втрати в цих пристроях, а розробники силової електроніки повинні вміти орієнтуватися в найширшому асортименті осердь та дроселів.

Як відомо, втрати в дроселях і трансформаторах складаються з втрат в обмотці та втрат в осерді. Можливості зменшення втрат завдяки вдосконаленню обмотки без зміни властивостей осердь практично вичерпані й основна увага виробників зосереджена на скороченні втрат в осерді завдяки використанню нових матеріалів. Використання нових матеріалів осердь також може дозволити зменшити кількість витків обмотки, і відповідно, втрати в ній.

У цій статті буде розглянуто досягнення компанії Bourne у цьому напрямку. Продукція компанії давно присутня

на вітчизняному ринку й добре відома розробникам. Перед описом матеріалу та його особливостей коротко нагадаємо деякі основні аспекти теорії магнітних матеріалів.

МАТЕРІАЛ ДЛЯ ОСЕРДЯ

Нагадаємо, що коли до магнітних матеріалів прикладається зовнішнє

магнітне поле, домени матеріалу вирівнюються вздовж осі легкого намагнічування (*easy axis*). Різним матеріалам потрібно затратити різну енергію для повороту всіх доменів в одному напрямку, тобто для насичення. Отже, насичення в цих матеріалах настає за різної величини магнітного поля.

На рисунку 1 показано індукцію насичення для наявних на сьогодні на ринку матеріалів.

В осердях силових дроселів найчастіше використовують залізнікелеві сплави. Їхня коерцитивна сила H_c менша порівняно з феритами, а також вища індукція насичення. Непоганим є і поєднання індукції насичення та коерцитивної сили в нанокристалічних матеріалах, що складаються з кобальту і заліза, змішаних із кремнієм і ніобієм.

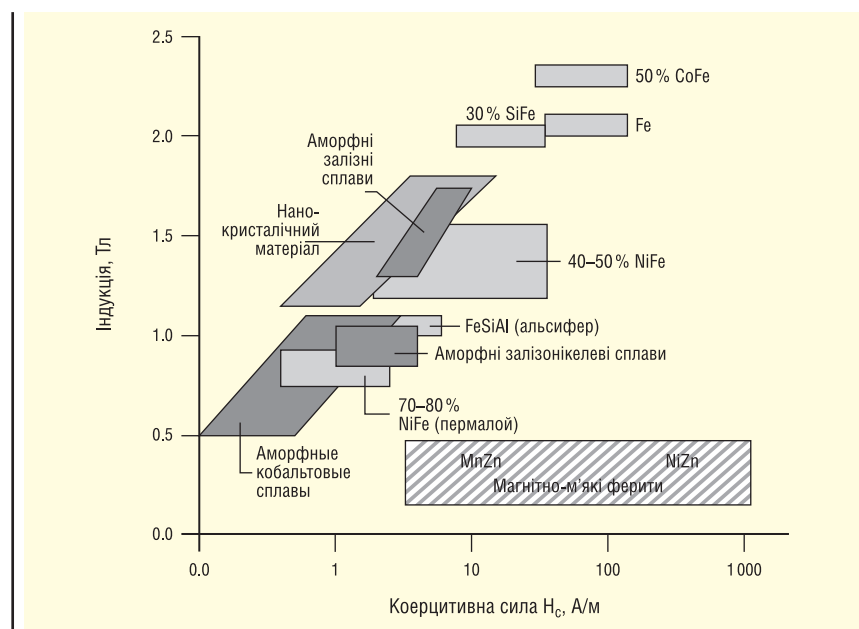


Рис. 1. Індукція насичення різних матеріалів, що пропонуються на ринку

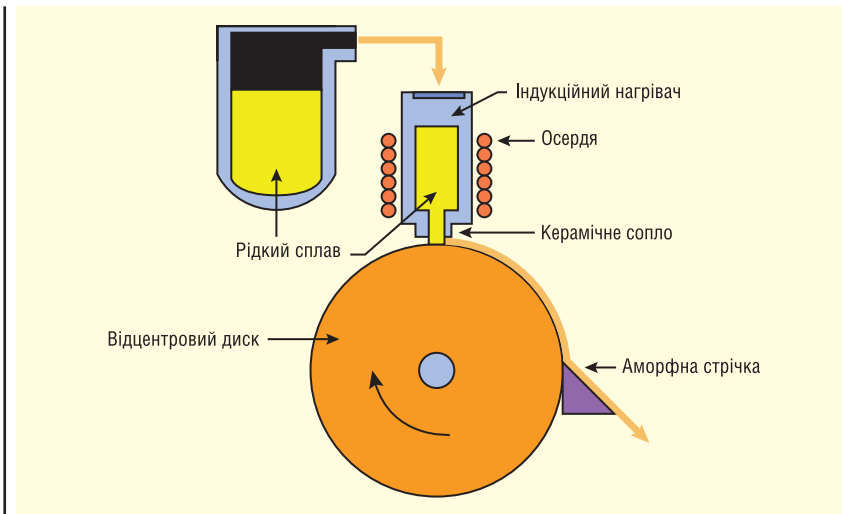


Рис. 2. Експериментальна установка для отримання аморфного матеріалу

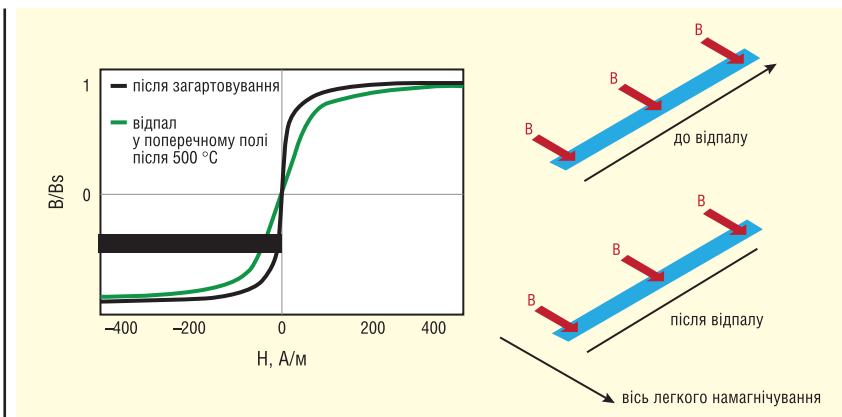


Рис. 3. Крива намагнічування В-Н матеріалу на основі кобальту та заліза

Однією з цілей досліджень компанії Bourgn став пошук нового аморфного матеріалу. Він був створений на основі кобальту і заліза з додаванням деяких інших елементів. Прикметно, що вартість такого матеріалу виявилася на 30% нижчою за вартість матеріалів, які традиційно використовуються для виготовлення осердя дроселя.

Під час експерименту матеріали були ретельно зважені, а потім спечені за допомогою дугового плавлення при 4000 °C. У результаті були отримані злитки масою 1 г. Їх помістили в індукційний нагрівач, а розплав ежектували на відцентровий гартувальний диск, де матеріал охолоджувався з дуже високою швидкістю близько 10^6 °C/с. Схематично експериментальна установка показана на рисунку 2. У результаті було отримано стрічку товщиною 20 мкм і шириною 1 мм.

Крива намагнічування В-Н отриманого матеріалу показана на рисунку 3 лінією чорного кольору. Магнітні домени вирівняні в поздовжньому напрямку. Щоб позбутися великих втрат,

використовується магнітний відпал в поперечному полі (величина поля до 5 Т) при температурі від 500 °C. Петля намагнічування В-Н після відпалу показана на рисунку 3 зеленим кольором. З рисунка видно, що після відпалу нахил кривої намагнічування зменшився. Отже, зросло й поле (H), необхідне для намагнічування.

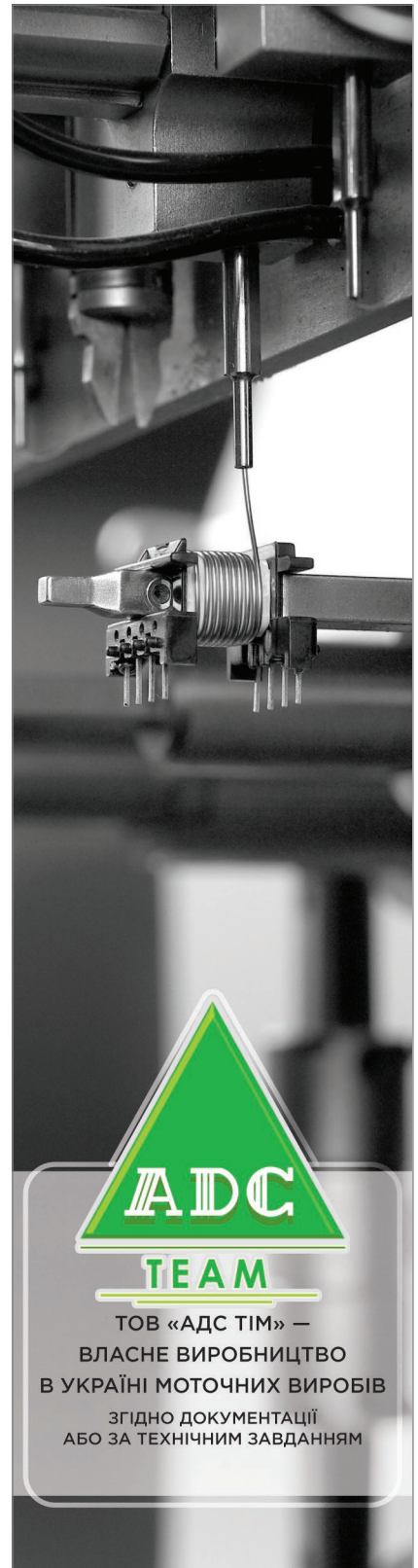
ВТРАТИ В ОСЕРДІ

Втрати в осерді складаються з трьох складників: втрати на перемагнічування; втрати на вихрові струми; аномальні втрати.

Коротко оцінимо втрати кожного виду. Втрати на гістерезис P_H визначаються кривою намагнічування. Вони залежать від частоти прикладеного магнітного поля і від магнітної індукції згідно з формулою (1):

$$P_H = 4fB^2 \cdot (H/B_{SAT}). \quad (1)$$

Втрати на вихрові струми P_E визначаються матеріалом осердя та поверх-



ТОВ «АДС ТІМ» —
ВЛАСНЕ ВИРОБНИЦТВО
В УКРАЇНІ МОТОЧНИХ ВИРОБІВ
ЗГІДНО ДОКУМЕНТАЦІЇ
АБО ЗА ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ

www.adcgr.com

тел. +38 044 206 22 52
моб. +38 067 249 77 58
+38 050 464 22 52

невим ефектом, тобто частотою прикладеного магнітного поля. Величина P_E виражається співвідношенням (2):

$$P_E = \frac{\omega^2 f^2 \sigma b \delta}{8L} \left(\frac{\sin h \frac{a}{\delta} - \sin \frac{a}{\delta}}{\cos h \frac{a}{\delta} - \cos \frac{a}{\delta}} \right), \quad (2)$$

де ω — кутова частота прикладеного магнітного поля; σ — питома провідність; a і b — відповідно, товщина і ширина листа, з якого набрано осердя; δ — товщина скін шару; L — довжина середньої лінії осердя.

Аномальні втрати становлять приблизно 70% від загальних втрат. Вони спричинені флуктуацією повороту доменної стінки. Ці втрати не мають аналітичного вираження, а визначаються дослідним шляхом. Спочатку вимірюють загальні втрати, а потім з них віднімають втрати, отримані зі співвідношень (1) і (2).

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вимірювання втрат в осерді використовували 5-см соленоїд радіусом 5 мм з обмоткою зі 150 витків мідного дроту і LCR-вимірювач. Оскільки обмотка охоплювала все осердя, його магнітне поле було однорідним по всій довжині. Імпеданс соленоїда вимірювали з новим матеріалом осердя і без нього. Втрати в осерді оцінювалися за формулою (3):

$$P_{LOSS} = RE(Z_C - Z_A) \cdot I^2, \quad (3)$$

де RE — дійсна частина різниці імпедансів; Z_C — імпеданс соленоїда з сердечником; Z_A — імпеданс соленоїда без сердечника; I — струм соленоїда.

Результати вимірювання втрат у соленоїді з новим матеріалом і в соленоїді з осердям із пермалою представлено на рисунку 4.

Вимірювання проводили на частоті 1 МГц за різної індукції магнітного поля. Видно, що втрати в осерді з нового матеріалу компанії Vourns помітно нижчі (приблизно на 30%) від втрат у соленоїді з осердям із традиційно використовуваного сплаву NiFe.

Відносна магнітна проникність нового матеріалу склала 770 од., тоді як у пермалою ця величина зазвичай менша за 100 од. Це дуже вагома перевага: нагадаємо, що величина індуктивності пропорційна магнітній проникності помноженій на кількість витків у квадраті.

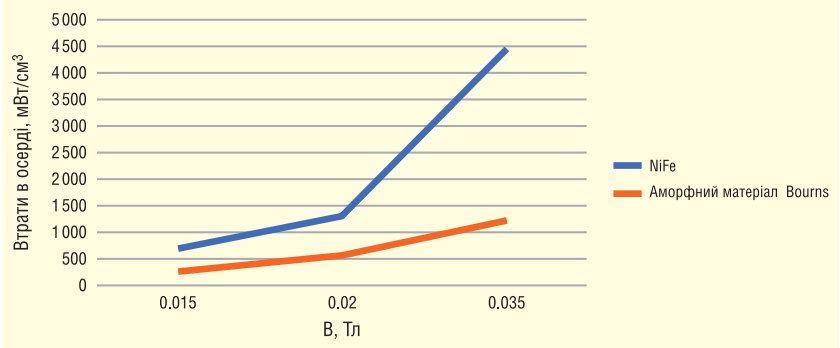


Рис. 4. Втрати в соленоїді з осердям із матеріалу компанії Vourns і в соленоїді з осердям зі сплаву NiFe, що традиційно використовується

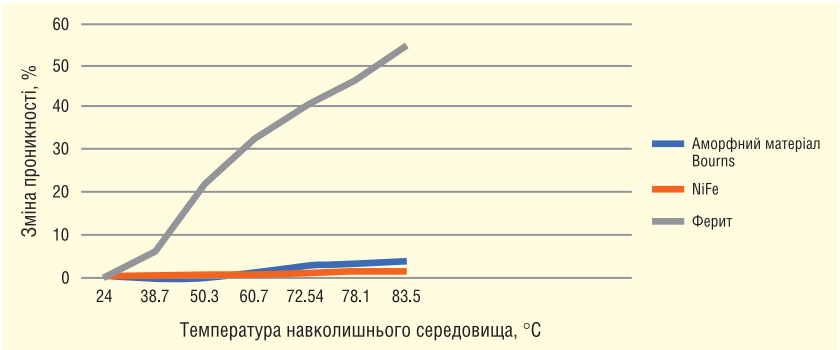


Рис. 5. Зміна проникності (%) залежно від робочої температури аморфного матеріалу Vourns у порівнянні з NiFe та феритом

Наприклад, якщо початкове значення відносної магнітної проникності осердя з пермалою дорівнює 77 од., тобто у 10 разів менше, ніж у нового матеріалу компанії Vourns, то у дроселя Vourns за тієї самої індуктивності виявиться у 3.16 раза менше витків. Отже, зменшиться розмір дроселя або трансформатора, значно знизиться і індуктивність розсіювання, і паразитна ємність, що призведе до покращення частотних властивостей, зниження втрат в обмотці та зменшення електромагнітних завад (ЕМЗ), що випромінюються.

Слід зазначити й високу температурну стабільність нового матеріалу — вона порівнянна з показником пермалою. Таким чином, дроселі Vourns чудово підійдуть для фільтрів ЕМЗ у застосуваннях, де робоча температура змінюється в широкому діапазоні: стабільність їхньої індуктивності не вплине на втрати, що вносять синфазними фільтрами.

Температурна стабільність вигідно відрізняє новий матеріал від феритів, у які для температурної стабільності доводиться вводити повітряний зазор; водночас зміна індуктивності дроселя зменшується під час зміни магнітної проникності феритового осердя залежно від температури.

Майже десятикратне збільшення проникності, яким характеризується

новий матеріал, дасть змогу використовувати дроселі та трансформатори компанії Vourns у застосуваннях, де потрібна вища індуктивність, ніж у моточних виробів із осердям з пермалою, але водночас існують обмеження за габаритами.

На рисунку 5 представлено температурну залежність проникності аморфного матеріалу Vourns, NiFe та комерційного феритового матеріалу. Єдиний спосіб зменшити температурну нестабільність фериту — введення немагнітного зазору в осердя. Проникність аморфного матеріалу у компанії Vourns визначали шляхом виготовлення тороїдального осердя та вимірювання його індуктивності у термокамері за різних температур.

ВИСНОВКИ

Компанії Vourns вдалося створити аморфний матеріал для осердь дроселів і трансформаторів для високо-частотних силових перетворювачів без використання рідкісних мікродомішок. Експериментальні результати засвідчили, що втрати в осерді дроселя з таким матеріалом на частоті 1 МГц набагато нижчі за втрати в дроселі з осердям із пермалою з тією ж індуктивністю. **СН**