



УДК 620.179.14
doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-9



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Методы измерения параметров магнитомягких материалов

Диана Евгеньевна Тузова

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
diana.tuzova.02@bk.ru

Артем Вячеславович Волик

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
minor401@gmail.com

Екатерина Анатольевна Печерская

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
peal@list.ru

Аннотация. Систематизированы параметры магнитомягких материалов по основным классификационным признакам. Рассмотрены основные характеристики магнитных веществ и методы их измерения – баллистический, магнитометрический, индукционный, электродинамический, мостовой, пондеромоторный, ваттметрический и потенциометрический.

Ключевые слова: магнитомягкий материал, магнитные характеристики, метод измерения магнитных параметров

Для цитирования: Тузова Д. Е., Волик А. В., Печерская Е. А. Методы измерения параметров магнитомягких материалов // Инжиниринг и технологии. 2022. Т. 7(1). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-9

Methods for measuring parameters of soft magnetic materials

Diana E. Tuzova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
diana.tuzova.02@bk.ru

Artem V. Volik

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
minor401@gmail.com

Ekaterina A. Pecherskaya

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
peal@list.ru

Abstract. The concept of soft magnetic materials along with classification thereof is given. The main characteristics of magnetic substances and methods for their measurement (ballistic, magnetometric, induction, electrodynamic, bridge, ponderomotor, wattmetric, and potentiometric) are considered.

Keywords: soft magnetic material, magnetic characteristics, method for measuring magnetic parameters

For citation: Tuzova D.E., Volik A.V., Pecherskaya E.A. Methods for measuring parameters of soft magnetic materials. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2022;7(1):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2022-7-1-9

Введение

В настоящее время в электронной технике применяют магнитомягкие материалы. К ним относят вещества, которые обладают малой коэрцитивной силой и высокой магнитной проницаемостью [2]. Из-за относительно небольшого значения коэрцитивной силы магнитомягкие материалы характеризуются узкой петлей гистерезиса и способностью легко намагничиваться и размагничиваться под действием магнитного поля.



Магнитомягкие материалы классифицируют на две группы:

1) низкочастотные – материалы, предназначенные для работы в низкочастотных и статических полях. К ним относят технически чистое железо, электротехническую нелегированную сталь, кремнистую сталь, аморфные и низкокоэрцитивные сплавы;

2) высокочастотные – вещества, которые должны выполнять функции магнетиков при частотах свыше нескольких сотен или тысяч герц [3]. К ним относятся магнитодиэлектрики – порошки высокопроницаемых материалов на основе карбонильного железа; ферриты – системы окислов железа, цинка, никеля, марганца и некоторых других металлов.

Магнитомягкие материалы характеризуются рядом параметров: коэрцитивной силой, потерей на перемагничивании, удельным электрическим сопротивлением, магнитной индукцией насыщения и многими другими. Основным параметром, который определяет «мягкость» материала является относительная магнитная проницаемость. Она показывает результат реагирования материала на приложенное магнитное поле.

Основные методы исследования магнитных свойств материалов

Для измерения параметров магнитомягких материалов применяют методы, приведенные на рис. 1.

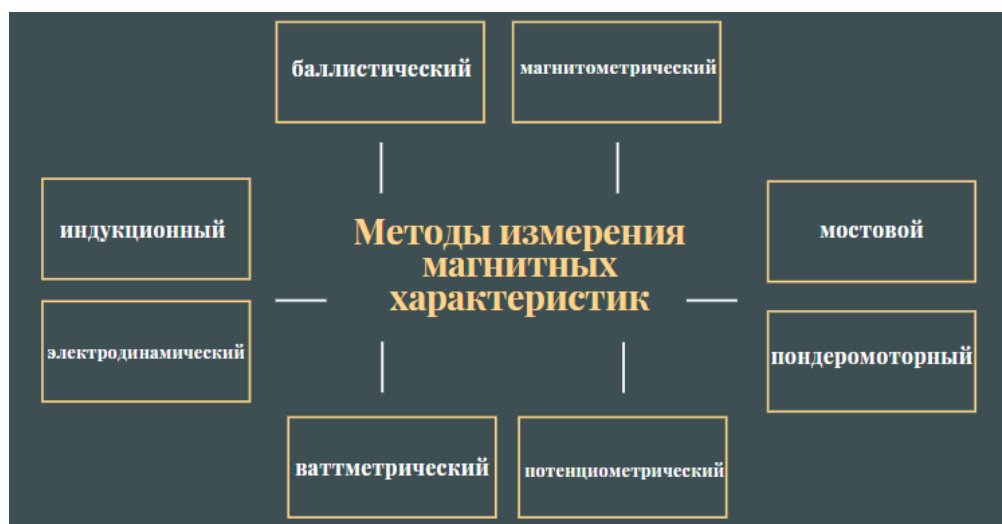


Рис. 1. Методы измерения магнитных свойств вещества

1. Баллистический метод применяется в основном для получения петель гистерезиса, а также основных кривых намагниченности и магнитной проницаемости. Петля гистерезиса магнитомягких материалов строится по отдельным точкам различных напряженностей внешнего магнитного поля с высокой точностью. Снятие этих точек определяется отклонением баллистического гальванометра, угол отклонения которого пропорционален количеству электричества, протекающего через его рамку. Зная величину угла отклонения, можно определить изменение напряженности электрического поля, а далее магнитные характеристики образца.

2. Магнитометрический метод определяет основную кривую намагниченности, магнитную восприимчивость и петлю гистерезиса. Данный метод основан на вычислении магнитной индукции и напряженности внешнего магнитного поля. Эти величины определяются с помощью магнитного момента образца, который получают посредством угла отклонения магнитной стрелки, расположенной вблизи исследуемого материала, от ее первоначального положения.

3. Электродинамический метод измерения параметров магнитомягких материалов позволяет определить петлю гистерезиса и основную кривую намагниченности исследуемого материала. В магнитное поле исследуемого образца помещают рамку с током, угол поворота которой позволяет определять параметры магнитомягких материалов – индукции или напряженности поля. К преимуществам этого метода относится возможность градуирования шкалы прибора непосредственно в единицах измеряемой величины (индукции или напряженности поля) [1, 4].

4. Индукционный метод применяют для измерения магнитной восприимчивости и определения основной кривой намагниченности. На исследуемый образец наматываются две обмотки – первичная и вторичная. Переменный ток, проходящий через первичную обмотку исследуемого образца, создает



магнитное поле. Оно в свою очередь намагничивает вторичную обмотку, в которой возбуждается электродвижущая сила магнитной индукции. С помощью измерения этой величины рассчитываются характеристики магнитомягкого материала.

5. Пондеромоторный метод позволяет определять магнитную восприимчивость и намагниченность материала. Данный метод основан на измерении механической силы, действующей на исследуемый образец в магнитном поле [1].

6. Мостовой метод определяет различные виды магнитной проницаемости, магнитное сопротивление, магнитную индукцию, величину намагничивающего поля, коэффициент потерь. Данный способ не требует наличия сложной аппаратуры, поэтому он получил большое распространение в лабораторной практике. Принцип этого метода состоит в следующем: пропуская переменный ток через катушку с сердечником, в качестве которого используется исследуемый материал, измеряется ее активное сопротивление и индуктивность путем уравнивания измерительного моста с помощью переменных активного сопротивления и индуктивности (емкости). Недостатком данного метода является зависимость результатов измерений от взаимного влияния индуктивных и емкостных элементов друг на друга, из-за чего снижается точность полученных характеристик.

7. Потенциометрический метод определяет магнитное сопротивление, зависимость магнитной индукции и намагниченности от величины намагничивающего поля, коэффициент потерь. Данный способ заключается в следующем – во вторичной обмотке исследуемого материала возникает электродвижущая сила, которую измеряют по напряжению с помощью потенциометра переменного тока на образцовом резисторе [4].

8. Ваттметрический способ используют с целью измерения потерь на гистерезисе, если совершается синусоидальное изменение магнитной индукции во времени. Для перемагничивания материала используют катушку, которая поглощает определенное количество мощности в цепи. Утраты на перемагничивание образца находят как разность между свидетельствами ваттметра и показаниями в измерительных приборах на намагничивающей обмотке.

При выборе метода измерения характеристик материала необходимо исходить из формы, геометрических размеров образца, типа материала; учитывать не только инструментальные погрешности, но и методические, обусловленные погрешностями адекватности принятых моделей взаимосвязей между параметрами материалов и воздействующих параметров.

Анализ перечисленных методов измерений показал, что наиболее перспективным с точки зрения автоматизации измерений представляется баллистический метод, взятый за основу стандарта [5]. Об этом свидетельствуют следующие характеристики измерительной установки, которая представлена на рис. 2:

- намагничивающие устройства имеют относительную погрешность, не превышающую $\pm 5\%$;
- средства измерения тока обеспечивают измерения с погрешностью не более 5% ;
- в качестве измерения магнитного потока используют баллистический гальванометр или веберметр, основная приведенная и относительная погрешности которых имеют не более $1,5\%$ измеряемого значения;
- измеряются параметры как прямолинейных, так и кольцевых образцов;
- термостат, используемый для измерения температурных коэффициентов магнитных параметров, обеспечивает создание необходимой температуры с погрешностью, не превышающей $\pm 2^\circ\text{C}$.

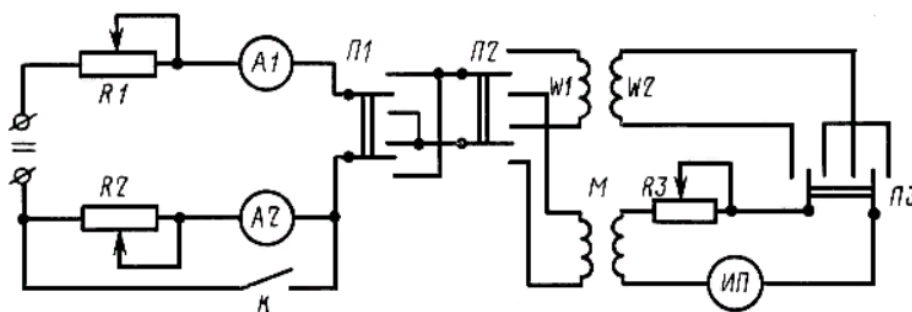


Рис. 2. Схема установки для измерения параметров магнитомягких материалов баллистическим методом [5], где R_1 и R_2 – регулирующие устройства; R_3 – магазин сопротивлений; A_1 и A_2 – амперметры; Π_1, Π_2, Π_3 – двухполюсные переключатели; K – ключ; W_1 и W_2 – намагничивающая обмотка образца и измерительная обмотка образца соответственно; M – образцовая катушка взаимной индукции; ИП – баллистический гальванометр или веберметр



Все вышеперечисленные признаки позволяют получать результаты измерений высокой точности. Например, погрешность результата измерений нижеперечисленных магнитных параметров находятся в следующий пределах:

- магнитной индукции – $\pm 3 \%$;
- напряженности поля – $\pm 2 \%$;
- коэрцитивной силы по намагниченности – $\pm 2 \%$.

Вывод

Магнитомягкие материалы используются в разных сферах – приборостроении, электронике, радиотехнике, вычислительной технике. Из них изготавливаются магнитные усилители, магнитопровода, трансформаторы, сердечники дросселей и многое другое. Поэтому важно повышать точность способов измерения параметров магнитных материалов для повышения технико-экономической эффективности технологических процессов изготовления изделий и компонентов на их основе.

Список литературы

1. Матюк В. Ф., Осипов А. А. Измерение магнитных характеристик магнитомягких материалов и изделий при квазистатическом перемагничивании // *Неразрушающий контроль и диагностика*. 2011. № 4. С. 3–34.
2. Преображенский А. А., Бишард Е. Г. *Магнитные материалы и элементы : учебник для студ. вузов по спец. «Полупроводники и диэлектрики»*. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1986. 352 с.
3. Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П. *Материалы и элементы электронной техники : учебник*. Т. 2. 2-е изд. 2016. 379 с.
4. Чечерников В. И. *Магнитные измерения : учебник для студентов вузов*. М. : МГУ, 1969. 387 с.
5. ГОСТ 8.377-80. Государственная система обеспечения единства измерений. *Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик*.

References

1. Matyuk V.F., Osipov A.A. Measuring magnetic characteristics of soft magnetic materials and products in quasistatic remagnetization. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika = Nondestructive Testing and Diagnostics*. 2011;(4): 3–34. (In Russ)
2. Preobrazhenskiy A.A., Bishard E.G. *Magnitnye materialy i elementy: uchebnik dlya stud. vuzov po spets. «Poluprovodniki i dielektriki»*. 3-e izd., pererab. i dop = *Magnetic materials and elements: A textbook for university students specializing in semiconductors and dielectrics*. 3rd ed., revised and added. Moscow: Vyssh. shk., 1986:352. (In Russ.)
3. Sorokin V.S., Antipov B.L., Lazareva N.P. *Materialy i elementy elektronnoy tekhniki: uchebnik. T. 2. 2-e izd = Materials and elements of electronic technology: A textbook. V. 2. 2nd ed*. 2016:379. (In Russ.)
4. Chechernikov V.I. *Magnitnye izmereniya: uchebnik dlya studentov vuzov = Magnetic measurements: A textbook for university students*. Moscow: MGU, 1969:387. (In Russ.)
5. GOST 8.377-80. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Materialy magnitomyagkie. Metodika vypolneniya izmereniy pri opredelenii staticheskikh magnitnykh kharakteristik = State system for ensuring the uniformity of measurements. Soft-magnetic materials. Methods of determination of static magnetic characteristics*. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 03.04.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 04.05.2022

Принята к публикации / Accepted 21.05.2022