



УДК 621.318.122.001.41

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ИМПЕДАНСА

*Леонов А.Г., hlfblood@gmail.com, Наракидзе Н.Д., ndaz@mail.ru,
Стеценко И.А., i.a.stetsenko@gmail.com, Шпакова Ю.С. schpakova23@yandex.ru*
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В данной статье рассматривается разработка устройства для измерения магнитного импеданса. Эффект магнитного импеданса заключается в сильном изменении полного сопротивления проводника переменному току во внешнем магнитном поле. В некоторых материалах было обнаружено изменение магнитного импеданса во внешнем магнитном поле в два и более раза. Такое значительное изменение импеданса называют эффектом гигантского магнитоимпеданса, или ГМИ-эффектом. Высокая чувствительность ГМИ-эффекта к внешним воздействиям открывает возможности для создания датчиков на его основе. В частности, ГМИ-датчики могут использоваться для магнитной дефектоскопии газо- и нефтепроводов, в медицине, в градиентометрах и др. Кроме того, магнитоимпедансные материалы используются в электронных устройствах, таких как замедляющие устройства, фильтры, фазовращатели, модуляторы. Миниатюрные ГМИ-элементы могут быть использованы для портативных устройств радиосвязи. В сравнении с другими материалами ГМИ-структуры имеют преимущества в чувствительности, скорости обработки и стоимости изготовления. Таким образом, исследование магнитного импеданса представляется весьма актуальным, так как дополняет знания об особенностях этого эффекта и может расширить область его практического применения. Для исследования влияния внешних факторов на импеданс ферромагнитных материалов разработана функциональная схема устройства для измерения магнитного импеданса и измерительная ячейка.

Ключевые слова: магнитный импеданс, магнитоимпедансные материалы, датчик на основе ГМИ-эффекта.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASURING A MAGNETIC IMPEDANCE

A.G. Leonov, N.D.Narakidze, I.A. Stetsenko, Y.S. Shpakova.
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the development of a device for measuring magnetic impedance. The effect of magnetic impedance is a strong change in the impedance of the conductor to alternating current in an external magnetic field. In some materials, a change in the magnetic impedance in an external magnetic field of two or more times was detected. Such a significant change in impedance is called the effect of a giant magnetic impedance, or GMI effect. The high sensitivity of the GMI effect to external influences opens up possibilities for creating sensors based on it. In particular, GM-sensors can be used for magnetic inspection of gas and oil pipelines, in medicine, in gradiometers, etc. In addition, magneto-impedance materials are used in electronic devices, such as decelerating devices, filters, phase shifters, modulators. Miniature GMI elements can be used for portable radio communication devices. In comparison with other materials, GMI structures have advantages in sensitivity, processing speed and manufacturing cost. Thus, the study of magnetic impedance seems to be very relevant, since it complements knowledge about the features of this effect and can expand the range of its practical application. To study the influence of external factors on the impedance of ferromagnetic materials, a functional diagram of a device for measuring magnetic impedance and a measuring cell has been developed.

Keywords: magnetic impedance, magnetoimpedance materials, GMI-based sensor.

Одной из основных задач исследований физики магнитных явлений, прикладной электродинамики и радиоэлектроники на протяжении последних более чем 10 лет является изучение эффекта магнитоимпеданса. Эффект магнитного импеданса заключается в сильном изменении полного сопротивления проводника переменному току во внешнем магнитном поле. Пристальное внимание исследо-

вателей на эффект магнитоимпеданса было обращено сравнительно недавно. Интерес к нему объясняется тем, что в некоторых материалах было обнаружено изменение импеданса во внешнем магнитном поле в два и более раз. Такое значительное изменение импеданса в литературе обычно называют эффектом гигантского магнитоимпеданса, или кратко, ГМИ-эффектом. Доступная технология и простая техника измерений стимулировали поиск новых материалов, обладающих свойствами ГМИ-эффекта, а также детальное исследование ГМИ на высоких и низких частотах. Высокая чувствительность ГМИ-эффекта к внешним воздействиям открывает возможности для создания датчиков на его основе. В частности, ГМИ-датчики могут использоваться для магнитной дефектоскопии газо- и нефтепроводов, в медицине, в градиентометрах и т.д. Кроме того, магнитоимпедансные материалы используются в электронных устройствах, таких как замедляющие устройства, фильтры, фазовращатели, модуляторы. Миниатюрные ГМИ-элементы могут быть использованы для портативных устройств радиосвязи. В сравнении с другими материалами ГМИ-структуры имеют преимущества в чувствительности, скорости обрабатывания и стоимости изготовления [1-4].

Таким образом, исследование магнитного импеданса представляется весьма актуальным, так как пополняет знания об особенностях этого эффекта и может расширить область его практического применения.

Для исследования влияния внешних факторов на импеданс ферромагнитных материалов разработана структурная схема, представленная на рис. 1.



Рис. 1 – Структурная схема разрабатываемого устройства для измерения магнитного импеданса

На рис.1 использованы следующие условные обозначения: 1 – измерительная ячейка; 2 – кольца Гельмгольца; 3 – воздуховод; 4 – электронагревательный элемент; 5 – электронагреватель; 6 – три пары компенсационных колец Гельмгольца; 7 – термопары.

Основной частью данного устройства является прецизионный анализатор импеданса Agilent 4294A, краткие технические характеристики которого следующие:

1. Частотный диапазон 40 Гц – 110 МГц с разрешением 1мГц;
2. Интервал измеряемых значений импеданса 3мОм – 50 МОм;
3. Возможность измерения активной и реактивной компонент импеданса;

4. Пробный сигнал: сила тока 200 мкА с разрешением 20 мкА; напряжение – 1 В с разрешением 1 мВ;
5. Стабилизация по току и по напряжению;
6. Напряжение смещения ± 40 В, ток смещения ± 100 мА;
7. Основная погрешность не выше 0,1 %.

Анализатор импеданса позволяет производить компенсацию собственного импеданса измерительной ячейки. Данная операция необходима при измерении импеданса на частотах порядка десятков мегагерц, так как на этих частотах импеданс самой измерительной ячейки становится соизмерим с импедансом образца.

Исследуемые образцы изготавливаются по следующей технологии. От исследуемой проволоки (ленты) отрезается необходимой длины заготовка, которая затем тщательно обрабатывается. Для хорошего контакта заготовки с зажимами держателя, края тщательно зачищаются с помощью мелкой наждачной бумаги. Для того, чтобы не повредить исследуемый образец наждачной бумагой, его обработка проводится вращением вокруг собственной оси. С каждой стороны образца обрабатывается расстояние примерно равное 1 мм. Схема разработанной ячейки представлена на рис. 2.

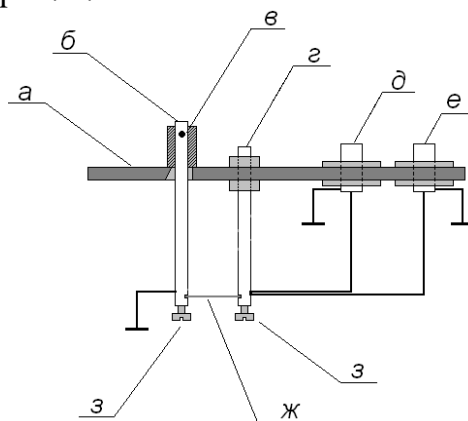


Рис. 2 - Схема измерительной ячейки (крепление подвижного стержня дано в разрезе): а – пластина; б – подвижный стержень; в – ось подвижного стержня; г – неподвижный стержень; д – разъем для подключения вольтметра; е – разъем для подключения генератора переменного тока; ж – образец; з – болты для зажима образца

Несущей частью ячейки является пластина, изготовленная из миканита – прессованной молотой слюды. На выбор данного материала повлияли его термостойкость и требуемая механическая прочность. Кроме того, миканит является хорошим диэлектриком. На пластине крепятся стержни, один из которых подвижный. Стержни изготовлены из латуни, так как данный материал является парамагнетиком и слабо окисляется при нагреве. В латунных стержнях находятся две группы контактов: 1) для подключения образца; 2) для подключения генератора переменного тока и вольтметра. Контакты для подключения образцов выполнены в виде механических зажимов, что обеспечивает необходимую надежность при воздействии упругих растягивающих напряжений. Зажимные болты изготовлены из посеребренной латуни, что исключает опасность нарушения контакта в результате окисления. Для предотвращения кручения образца во время зажима, он располагается между двумя шайбами. Шайбы также изготовлены из посеребренной латуни. Контакты второй группы соединены проводниками с коаксиальными разъемами для подключения генератора и вольтметра.



1. Бозорт Р. Ферромагнетизм./Пер. с англ./Под ред. Е.И. Кондорского, Б.Г. Лившица. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956.
2. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2005.
3. Курляндская Г.В. Гигантский магнитный импеданс и его связь с магнитной анизотропией и процессами намагничивания ферромагнитных структур: докт. дис. – Екатеринбург, 2007.
4. Сокол-Кутыловский О.Л. Исследование магнитоупругих свойств аморфных ферромагнетиков с целью их применения в магнитных и механических датчиках: докт. дис. – Екатеринбург, 1997.

© А.Г. Леонов, Н.Д. Наракидзе, И.А. Стеценко, Ю.С. Шпакова, 2019