



040008. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРИТА. ТОЧКА КЮРИ

Цель работы: Ознакомиться с методами измерения магнитной проницаемости и точки Кюри для ферритов.

Требуемое оборудование, входящее в состав модульно учебного комплекса МУК-РМ1:

1. Измеритель индуктивности и емкости ЛСМ1
2. Измерительная камера ИК1-4

Краткое теоретическое введение

Ферриты – магнитные материалы на основе оксидов металлов, обладающие ферромагнитными свойствами. Промышленные магнитомягкие ферриты – это моно и поликристаллические материалы, синтезируемые по керамической технологии, включающей в себя составление смеси оксидов в заданной пропорции, ферризацию смеси, формирование изделий и их последующее спекание.

Наибольшее распространение получили две группы магнитомягких ферритовых материалов:

1. Марганцево-цинковые ферриты (Mn-Zn) – твердые растворы феррита марганца ($MnFe_2O_4$) и феррита цинка ($ZnFe_2O_4$).
2. Никель-цинковые ферриты (Ni-Zn) – твердые растворы феррита никеля ($NiFe_2O_4$) и феррита цинка ($ZnFe_2O_4$).

Разнообразие марок Mn-Zn и Ni-Zn-ферритов определяется, главным образом, соотношением главных компонентов, наличием легирующих присадок и режимами синтеза.

В процессе твердофазных реакций при ферритизации и спекании в условиях высоких (до 1400°C) температур образуются твердые растворы ферритов с кубической решеткой типа шпинели. Как правило, время спекания составляет от 3 до 7 часов. Ферриты никель-цинковой группы синтезируются в воздушной атмосфере, а марганцево-цинковой группы – в контролируемой атмосфере с понижением давления кислорода при охлаждении.

Основными легирующими присадками, влияющими на улучшение электромагнитных характеристик ферритовых изделий, являются вводимые в небольших количествах оксиды Co, Li, Ti, Ca и некоторых других элементов.

Одним из основных электромагнитных параметров магнитомягких ферритов является начальная магнитная проницаемость μ_n , измеряемая в слабых синусоидальных полях (при напряженности поля $H_m \rightarrow 0$) заданной частоты.

Температурная зависимость магнитной проницаемости характеризуется температурным коэффициентом ТК μ_n , при этом в некотором интервале температур ее условно принимают линейной:

$$TK\mu_n = \frac{\mu_{T_2} - \mu_{T_1}}{\mu_{T_1}(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

Ферромагнитные свойства ферритов проявляются вплоть до температуры Кюри θ_K , являющейся в силу этого важным параметром магнитомягких ферритовых материалов. Выше θ_K

ферриты становятся парамагнетиками. По своей сути в точке Кюри происходит фазовый переход второго рода.

Временная нестабильность магнитомягких ферритов проявляется в уменьшении магнитной проницаемости при длительном хранении или воздействии положительных температур.

Исходя из условий эксплуатации и области применения ферритовых сердечников магнитомягкие ферриты могут быть условно разделены на одиннадцать групп:

- Для общего применения;
- Термостабильные;
- Высокопроницаемые;
- Для телевизионной техники;
- Для импульсных трансформаторов;
- Для перестраиваемых контуров;
- Для широкополосных трансформаторов;
- Для магнитных головок;
- Для датчиков температуры;
- Для магнитного экранирования;
- Для устройств, работающих на эффекте ядерного спинового эха.

Так, например, группа ферритов общего применения включает в себя никель-цинковые ферриты марок 1000НН, 2000НН и марганцево-цинковые ферриты марок 1000НМ, 1500НМ, 2000НМ, 3000НМ. Ферриты данной группы используются в слабых и сильных полях в диапазоне частот до 30 МГц в качестве сердечников трансформаторов, дросселей, магнитных антенн и в другой аппаратуре, где нет особых требований к температурной и временной стабильности параметров. Для этих ферритов устанавливаются нормы только на значение начальной магнитной проницаемости и тангенса угла магнитных потерь.

Магнитные потери марганцево-цинковых ферритов значительно ниже, чем никель-цинковых при близких значениях начальной магнитной проницаемости.

Марганцево-цинковые ферриты, входящие в группу общего применения, обладают меньшей зависимостью магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля по сравнению с никель-цинковыми. Ширина петли гистерезиса у них меньше ввиду меньших значений остаточной индукции и коэрцитивной силы при достаточно высоких значениях индукции.

Особенностью марганцево-цинковых ферритов является более высокое значение температуры Кюри θ_k по сравнению с никель-цинковыми ферритами и меньшие значения температурного коэффициента магнитной проницаемости $TК_{\mu_n}$.

Из ферритов группы общего применения выпускаются детали различной конфигурации и размеров: кольцевые, броневые, Ш, Е, П, Г-образные сердечники, пластины, стержни, трубки и др.

В состав группы ферритов для датчиков температуры входят никель-цинковые ферриты марок 1200НН, 1200НН1, 1200НН2, 1200НН3, 800НН. Эти ферриты отличаются тем, что их магнитная проницаемость резко уменьшается в области температуры Кюри. Температурный интервал спада магнитной проницаемости составляет всего несколько градусов. Это позволяет использовать такие ферриты в качестве чувствительных элементов термореле.

Использование никель-цинковых ферритов для датчиков температуры объясняется тем, что в этих ферритах почти не происходит необратимых изменений магнитной проницаемости при воздействии температурных циклов нагрева выше температуры Кюри и последующего охлаждения. Кроме того, некоторые марки никель-цинковых ферритов с достаточно высокой магнитной проницаемостью имеют температуру Кюри ниже 100 °С.

Методика эксперимента

В ходе лабораторной работы предлагается исследовать температурную зависимость феррита марки 1200НН, входящего в группу ферритов для датчиков температуры.

Для нахождения магнитной проницаемости можно измерить с помощью прибора ЛСМ1 индуктивность L катушки, намотанной на тороидальной сердечник прямоугольного сечения из

исследуемого материала. Поскольку прибор проводит измерения в режиме малого синусоидального сигнала, то в этом случае после измерения L можно рассчитать начальную магнитную проницаемость μ_n :

$$\mu = \alpha L, \quad (2)$$

где α можно вычислить по формуле:

$$\alpha = \frac{10^9}{2N^2 h \ln \frac{d_n}{d_в}}, \quad (3)$$

где N – число витков однорядной сплошной катушки,
 h – высота сердечника (см),
 d_n – наружный диаметр тора (см),
 $d_в$ – внутренний диаметр тора (см).

Рекомендуемое задание

1. Поместите измерительную камеру в печь прибора ЛСМ1. Переключите прибор в режим измерения индуктивности. Установите режим измерения канала 1. Установите требуемую температуру. Установите нужный диапазон измерения. По достижении заданной температуры произведите измерение индуктивности. Рекомендуется проводить измерения индуктивности с шагом температуры 10 °С, а вблизи точки Кюри 5 °С.

2. Рассчитайте начальную магнитную проницаемость μ_n по формуле 2 для всех измеренных значений индуктивности. Постройте график зависимости $\mu_n(t)$.

3. На линейных участках графика рассчитайте значения температурного коэффициента магнитной проницаемости ТК μ_n .

Список используемых источников

1. Справочник по электротехническим материалам/ Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынского, Б. М. Тареева. – Т. 3. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 728 с.: ил. ISBN 5-283-04416-5