

В. Г. СУХАРЕВСКИЙ, В. К. ГРИШИН, В. А. ВОРОНОВ,

ИМПУЛЬСНЫЕ МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРИТОВ В СИЛЬНЫХ НАМАГНИЧИВАЮЩИХ ПОЛЯХ

Широкое применение ферритов в быстродействующих радиотехнических устройствах ставит новые задачи по исследованию их свойств. Важными параметрами, характеризующими качество ферритового сердечника, например, для импульсного трансформатора или линейного индукционного ускорителя, являются импульсная проницаемость в заданном режиме намагничивания и удельные потери. Однако данные о магнитной проницаемости ферритов при длительности намагничивающих импульсов менее 0,1 мксек в полях до сотни эрстед в этих работах отсутствуют [1, 2].

Для проведения измерений импульсных магнитных характеристик был создан генератор однополярных импульсов напряжения с фронтами 5÷7 нсек, который является модификацией импульсного генератора, описанного в [3]. Генератор обеспечивал мощность в импульсе 100 квт, длительность импульсов 20, 50, 100, 200 и 300 нсек при частоте следования до 4 кгц. С помощью этого генератора были проведены измерения импульсной проницаемости и удельных потерь ферритов для ряда типовых марок (300-ННИ1, 700-НМ, 1000-НМЗ, 1500-НМЗ, 2500-НМС, 4000-НМ, 6000-НМ1) в диапазоне намагничивающих полей 2,5÷125 эрст при длительности импульсов от 20 до 300 нсек.

Измерения проводились по схеме, изображенной на рис. 1. Испытывались образцы ферритов типоразмера 20×12×6 мм по пять штук каждой марки. Данные

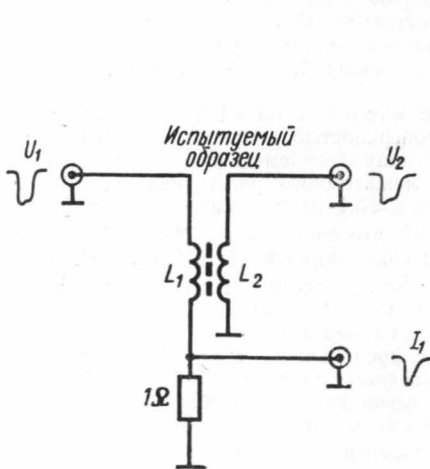


Рис. 1. Схема измерений

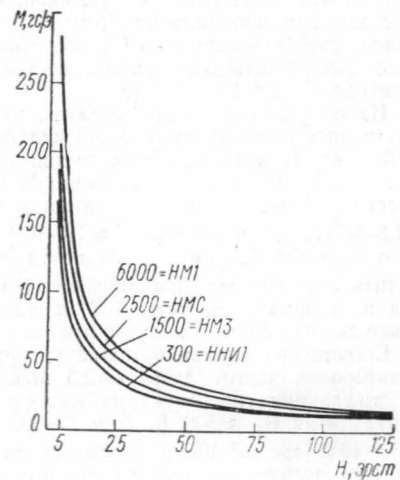


Рис. 2. Зависимость импульсной магнитной проницаемости от напряженности поля

измерений усреднялись. Проницаемость измерялась посредством осциллографирования импульсов тока в первичной обмотке (I_Φ) и напряжения на вторичной обмотке (U_2) образца. По результатам этих измерений рассчитывались величины перелома индукции в образце ΔB и его импульсная проницаемость μ_n :

$$\mu_n = \frac{\Delta B}{H_n} = \frac{U_2 \tau_n \cdot 10^8}{n_2 S} \cdot \frac{0,4 n_1 I_1}{d_{cp}}, \text{ эс/э},$$

где n_1 и n_2 — число витков в обмотках, τ_n — длительность импульсов (сек), d_{cp} и S — средний диаметр кольцевого сердечника (см) и площадь его сечения (см²), H_n — импульсная напряженность поля (эрст).

Форма импульсов контролировалась осциллографом С1-11; измерения амплитуд импульсов проводились на двухлучевом широкополосном импульсном осциллографе. Потери измерялись на абсолютном калориметре, разработанном в НИИ магнитных диэлектриков специально для измерения потерь в ферритах. Погрешность измерения потерь на данной установке составляла 8%.

На рис. 2 приведены результаты измерений зависимости импульсной проницаемости от напряженности поля для различных марок ферритов при фиксированной длительности импульсов $\tau_{и} = 50$ нсек. Характерно, что чем выше начальная проницаемость ферритов, тем резче и при меньших значениях напряженности поля начинает уменьшаться проницаемость. Аналогичное явление наблюдается при уменьшении длительности импульса. На рис. 3 представлены результаты измерений зависимости

импульсной проницаемости ферритов от длительности импульсов для намагничивающих полей: а — 2,5; б — 25 и 125 эрст. С уменьшением длительности импульса от 300 до 20 нсек $\mu_{и}$ сильно падает для всех приведенных марок ферритов приблизительно в 3—4 раза во всем интервале напряженностей поля. Относительное же уменьшение $\mu_{и}$ ферритов различных марок от длительности импульсов тем больше, чем выше их начальная проницаемость. В сильных полях ($H_{и} \geq 5$ эрст) при коротких длительностях импульсов высокопроницаемые

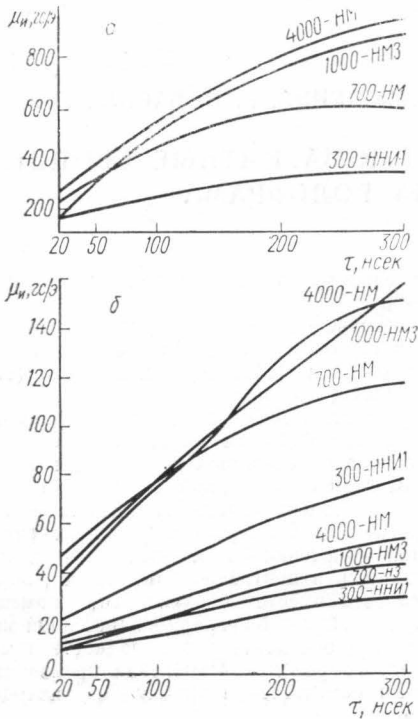


Рис. 3. Зависимость импульсной проницаемости ферритов от длительности импульсов

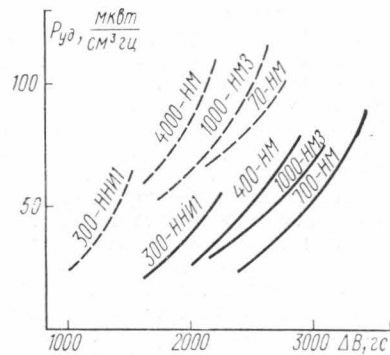


Рис. 4. Зависимость удельных потерь от индукции для ферритов различных марок при длительности импульсов 50 и 100 нсек

ферриты имеют тот же порядок величины $\mu_{и}$, что и низкопроницаемые. Так, при $H_{и} = 10$ эрст и $\tau_{и} = 50$ нсек феррит марки 6000-НМ1 имеет $\mu_{и} = 100$ гс/э, а феррит марки 300-НН11 70 гс/э, в то время как начальная магнитная проницаемость у них отличается в 20 раз.

Падение импульсной проницаемости с уменьшением длительности намагничивающих импульсов зависит, очевидно, от проводимости, диэлектрической проницаемости и магнитной вязкости материала сердечника. Одним из критериев оценки вязкостных свойств ферритов при импульсном намагничивании является время перемангничивания ферритов при намагничивании их однополярными прямоугольными импульсами тока с крутыми фронтами. Измеренные данные зависимости импульсной проницаемости от длительности импульсов при больших полях намагничивания получены впервые; в начальной области намагничивания они согласуются с данными измерения времени перемангничивания ферритов различных марок, приведенными в работе [4], которые были выполнены при малых полях и $\tau_{и} \geq 0,3$ мксек.

На рис. 4 показана измеренная зависимость удельных потерь от индукции в ферритах некоторых марок при импульсном намагничивании и двух значениях длительности импульсов. Потери заметно растут с уменьшением длительности импульсов и увеличением индукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник «Ферриты и магнитодиэлектрики». М., «Советское радио», 1968.
2. Материалы к III Научно-техническому совещанию по проблемам магнитных измерений и магнитно-измерительной аппаратуры. Ленинград, 1968.
3. Колотов О. С., Погожев В. А., Телеснин Р. В. Методы и аппаратура для исследования импульсных свойств тонких магнитных пленок. Изд-во МГУ, 1970.
4. Пирогов А. И., Шмаев Ю. М. Магнитные сердечники в автоматике и вычислительной технике. М., «Энергия», 1967.

Поступила в редакцию
20.5 1972 г.

НИИЯФ

УДК 538.63.665.538.18

О. К. КУВАНДИКОВ, А. В. ЧЕРЕМУШКИНА, Р. П. ВАСИЛЬЕВА

ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ И ТЕРМОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА ВОЛЬФРАМА

Гальваномагнитные и термомагнитные свойства монокристалла вольфрама при низких температурах описаны в работах [1—3].

Однако ни одна из них не посвящена изучению свойств этого кристалла при высоких температурах. В настоящей работе в широком температурном интервале изучалась температурная зависимость эффектов Холла и Нернста-Эттингсгаузена (Н—Э), электрического сопротивления, термоэлектродвижущей силы.

Измерения были проведены на монокристаллических образцах вольфрама. Исследуемые образцы в виде пластины размером $0,4 \times 5 \times 16$ мм вырезались электроэрозионным методом из монокристаллического слитка вольфрама. Образцы первоначально шлифовались ручным способом, потом подвергались травлению в растворе щелочи. Контакты к образцам приваривались с помощью электронного луча. Токовыми контактами служила платиновая проволока диаметром 0,4 мм, которая приваривалась ко всей поверхности торцевой части образца, а потенциальные электроды из платиновой проволоки диаметром 0,2 мм приваривались в центре боковых сторон образца.

Для измерения указанных эффектов образец вместе с зажимами помещался в общую печь, представляющую собой медную трубку с бифилярно нанесенной нихромовой обмоткой. Массивный медный каркас печи обеспечивал однородность температуры по длине образца и устойчивость теплового режима. Измерения производились в вакууме, для чего образец вместе с печью помещался в трубку из кварцевого стекла, откачанную до добавления 10^{-3} мм рт. ст.

Вначале измерялись термоэдс и эд.с. Н—Э одновременно при одном и том же температурном градиенте от 3 до 10°C на см. Затем измеряли эд.с. Холла и удельного электрического сопротивления. Стабилизация первичного тока, протекающего через образец, осуществлялась стабилизатором постоянного тока типа У-1199. Эд.с. Холла и Нернста — Эттингсгаузена измерялись потенциометрическим методом с использованием усилителя типа ФЭОУ-18. Чувствительность установки при этом составляла $2 \cdot 10^{-9}$ в/мм. Максимальная напряженность магнитного поля составляла 15 кес. Температура образца измерялась хромель-алюмелевыми термомпарами.

Постоянные R_H и $Q_{H-\text{Э}}$, характеризующие поле Холла и поле Н—Э, определялись из соотношений

$$E_x = R_H j b H \text{ и } E_{H-\text{Э}} = Q_{H-\text{Э}} \frac{\Delta T}{\Delta x} b H,$$

где E_x и $E_{H-\text{Э}}$ — эд.с. Холла и Н—Э, H — напряженность магнитного поля, j — плотность тока, $\Delta T/\Delta x$ — градиент температуры, b — расстояние между потенциальными контактами.

На рис. 1 приводятся кривые, характеризующие изменения константы Холла, электрического сопротивления константы Н—Э, и термоэдс в зависимости от температуры. Из рисунка видно, что все коэффициенты растут по абсолютной величине.

Теоретический расчет зонной структуры [4] и опытные данные по эффекту де Гааз Ван Альфена [5] показали, что вольфрам имеет сложную поверхность Ферми, состоящую из дырочных и электронных частей. В [1], где применялась модификационная теория Вильсона—Зондхаймера, было найдено, что в монокристалле вольфрама число электронов и дырок приблизительно равны между собой, а именно: