

Тема 1. Электрорадиоматериалы радиоэлектронных средств

Лекция 3: Магнитные материалы

1. Основные параметры магнитных материалов.
Классификация материалов по магнитным свойствам.
2. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы и области их применения
3. Ферриты и магнитодиэлектрики.

1 Основные параметры магнитных материалов.

Классификация материалов по магнитным свойствам

Магнитные материалы, магнетики – материалы, вступающие с магнитным полем во взаимодействие, выражающееся в его изменении, а также в других физических явлениях: изменении физических размеров, температуры, проводимости, возникновению электрического потенциала и т.д.

Классификация магнитных материалов:

- магнитомягкие;
 - магнитотвердые;
 - магнитострикционные;
 - магнитооптические;
 - термомагнитные.
- } получены в последнее время

Параметры, определяющие магнитные свойства материалов

Напряженность магнитного поля H

Намагниченность M

Магнитная восприимчивость χ

Магнитная индукция B

Абсолютная магнитная проницаемость ε_a

1. Напряженность H магнитного поля (А/м):

- для прямолинейного проводника $H = I / (2\pi r)$;

- для кольцевого проводника $H = N_{\text{в}} I / \pi d_{\text{ср}}$,

здесь I - постоянный ток в проводнике;

r - расстояние от проводника до точки, в которой определяется H ;

$N_{\text{в}}$ - число витков намагничивающей обмотки;

$d_{\text{ср}}$ - средний диаметр кольцевого проводника.

2. *Намагниченность (интенсивность намагничивания) M (А/м)*

$$M = m / V,$$

где V – объем тела; m – магнитный момент тела.

3. *Магнитная восприимчивость χ_m (безразмерная величина)*

$$\chi_m = M / H$$

характеризует способность вещества изменять свой магнитный момент под действием внешнего магнитного поля.

4. *Магнитная индукция B (Тл) $B = \mu_0(H + M)$,*

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м = $1,257 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная.

5. *Абсолютная магнитная проницаемость μ_a (Гн/м или Тл/А/м)*

$$\mu_a = B / H = \mu_0 \mu$$

Перечисленные выше формулы связаны соотношениями:

$$\mu = \frac{B}{H\mu_0}$$

$$\mu = 1 + \chi_m$$

По поведению в магнитном поле все материалы делят на группы:

- диамагнетики ($\chi_m < 0, \mu < 1$);
- парамагнетики ($\chi_m > 0, \mu > 1$) (марганец, вольфрам, платина);
- ферромагнетики ($\mu \gg 1$) (железо, кобальт, никель);
- ферримагнетики ($\mu \gg 1$).

Принадлежность к группе определяется строением электронных оболочек атомов.

Материалы, магнитное поле которых ослабляет результирующее поле, называются ***диамагнитными***.

Материалы, слабо усиливающие магнитное поле, называются ***парамагнитными***.

Материалы, в которых значительно усиливается магнитное поле, называются ***ферромагнитными*** (железо, никель, кобальт, гадолиний и их сплавы).

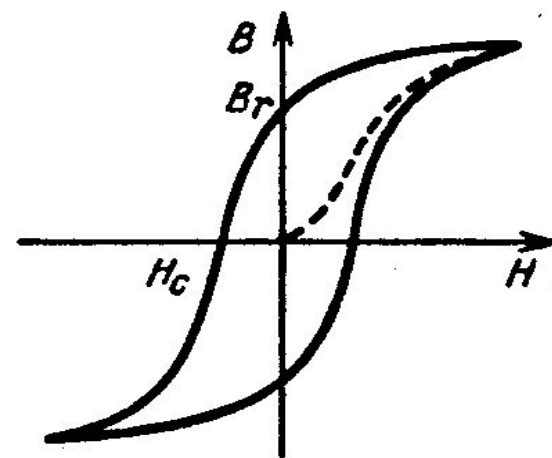
Материалы, магнитное поле которых ослабляет результирующее поле, называются *диамагнитными*.

Материалы, слабо усиливающие магнитное поле, называются *парамагнитными*.

Материалы, в которых значительно усиливается магнитное поле, называются *ферромагнитными* (железо, никель, кобальт, гадолиний и их сплавы). (*Петля гистерезиса* - явление отставания кривой намагниченности при многократном перемагничивании; B_r - остаточная индукция; H_c - коэрцитивная сила).

Назначение магнитных материалов:

- придание особых свойств элементам радиоэлектронных устройств;
- создание устройств, обладающих запасом энергии;
- использование в качестве конструкционных материалов и электромагнитных экранов.



2 Магнитомягкие и магнитотвердые материалы и области их применения

К *магнитомягким материалам* относят материалы, намагничивающиеся до насыщения и перемагничивающиеся в относительно слабых магнитных полях (напряженностью порядка 8..800 А/м).

Характеризуются высокой магнитной проницаемостью, низкой коэрцитивной силой, малыми потерями на гистерезис и вихревые токи.

Подразделяются на

- материалы для техники слабых токов (например, пермаллой, пермендюр, смешанные ферриты, феррогранаты),
- электротехнические стали.

К магнитомягким материалам специального назначения относятся термомагнитные сплавы и магнитострикционные материалы.

Применяются магнитомягкие материалы в тех случаях, когда необходимо при наименьшей затрате энергии достичь наибольшей индукции. Из них изготавливаются сердечники для трансформаторов, электромагниты, измерительные приборы.

Магнитотвердые материалы намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях напряженностью в тысячи и десятки тысяч А/м.

Характеризуются высокими значениями коэрцитивной силы, остаточной магнитной индукции, магнитной энергии на участке размагничивания («спинка» петли гистерезиса).

В качестве магнитотвердых материалов *используются*, например, сплавы типа магнико, ални, викаллоу, некоторые ферриты, соединения редкоземельных элементов с кобальтом.

Применяются для изготовления

- постоянных магнитов;
- материалов для записи и длительного хранения информации.

3 Ферриты и магнитоэлектрики

Ферриты относят к классу ферримагнетиков и представляют собой соединения оксида железа с оксидами других металлов.

Наибольшее распространение получили никель-цинковые и марганцево-цинковые ферриты.

Изготовление ферритов во многом напоминает изготовление керамики.

По структуре различают:

- одинарные (моноферриты) – магнетит $FeO - Fe_2O_3$;

- двойные ферриты (биферриты) – никельцинковый $(Ni_a + Zn_b)Fe_2O_4$;

- многокомпонентные (полиферриты) $(Ca_a + Ni_b + Zn_c)Fe_iO_4$.

Относительная магнитная проницаемость ферритов достигает 5-6, тангенс потерь близок к диэлектрикам, сочетание свойств обусловило широкое применение в РЭА.

Основные параметры ферритов:

1. Высокое ($10^7 \times 10^8$ Ом·м) удельное электрическое сопротивление.
2. Электродинамические свойства ферритов зависят от частоты, но изменяются в различных пределах. В диапазоне СВЧ на сантиметровых волнах величина относительной магнитной проницаемости приближенно равна единице.
3. Рабочий диапазон частот ферритов - от 20МГц до 150ГГц. Для работы на разных частотах используются различные материалы.

Применение:

1. Построение аттенюаторов, быстродействующих переключателей на основе применения в диапазоне СВЧ явления резонансного поглощения.
2. Построение вентиляльных устройств в дециметровом диапазоне волн, а также управляемых модуляторов в инфракрасном диапазоне.
3. Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса - в вычислительной технике, в устройствах автоматического управления в качестве элементов, обладающих устойчивым состоянием.

Основные параметры ферритов:

Магнитодиэлектрики – это материалы, формируемые из размельченного ферромагнетина с применением связующих диэлектрических компонентов.

Позволяют расширить степени управления электромагнитным полем, возбуждаемым антеннами.

Основой для магнитодиэлектриков является низкокоэрцитивный ферромагнетик. Его свойства в значительной степени зависят от выбранного материала или сплава.

Наибольшее распространение получили:

- *альсифер* (отрицательный коэффициент температурной стабильности - температурная компенсация);
- *карбонильное железо* (для броневых сердечников, подстроечных сердечников, гладких и резьбовых тороидов);
- *пермаллой* (для тороидальных, цилиндрических и броневых сердечников катушек, дросселей, трансформаторов);
- *магнетит*.