

## Перечень ссылок

1. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 2. Цифрова схемотехніка: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков, А. А. Зорі та ін. – 2-ге вид., допов і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 423с.
2. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков, А. А. Зорі та ін. – 2-ге вид., допов і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 423с.

[www.kazus.ru](http://www.kazus.ru)

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНДУКТИВНЫХ КАТУШЕК ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СЕРДЕЧНИКОВ

Снисарь Н.А., группа ЭлС-03

Руководитель: доц. В.Ю.Ларин

Изучение влияния конструкции и материала сердечника на параметры катушки позволит расширить рабочий диапазон катушки по частоте, увеличить добротность, а также снизить потери в сердечнике на перемагничивание.

Для практических расчетов индуктивностей катушек, изготавливаемых для радиоэлектронной аппаратуры, используют эмпирические формулы, выведенные для конкретных типов и размеров сердечников при данном характере намотки.

Индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником обычно определяется по формуле

$$L_c = \mu_c L, \quad (1)$$

где  $\mu_c$  - эффективная магнитная проницаемость сердечника,

$L$  - индуктивность катушки без сердечника.

Для случая тонких катушек, намотанных непосредственно на сердечник,

длина которого превышает длину катушки, эффективную магнитную проницаемость сердечника можно определить по формуле

$$\mu_c = \frac{\mu_H}{1 + 0.84 \left[ \frac{D_c}{l_c} \right]^{1.7} (\mu_H - 1)}, \quad (2)$$

где  $\mu_H$  - начальная магнитная проницаемость материала сердечника,

$D_c$  - диаметр цилиндрического сердечника,

$l_c$  - длина сердечника.

Если катушка намотана на каркас, эффективная магнитная проницаемость сердечника снижается. Ее можно определить по формуле

$$\mu_c = \left[ \frac{D_c}{D_k} \right]^2 (\mu_c - 1) + 1, \quad (3)$$

где  $D_k$  - средний диаметр катушки.

Основным недостатком применения подобных зависимостей является их приближенность и ограниченность: эмпирические зависимости для одного типа сердечников не будут иметь никакого практического смысла для сердечников иной формы или из иного материала. Приведенные зависимости применимы для режимов малых сигналов, проходящих через обмотку катушки, когда намагничивание сердечника идет на обратимом участке его кривой намагничивания, или когда режим работы можно приближенно считать безгистерезисным. Считают, что при увеличении частоты в сердечнике происходит искривление петли гистерезиса и увеличение потерь при перемагничивании, приведенные зависимости не отображают данные явления.

В ТОЭ при рассмотрении нелинейных индуктивностей, которыми являются катушки с ферромагнитными сердечниками, строят зависимость

потокосцепления от тока  $\psi(i)$ , которую получают на основании кривой гистерезиса с учетом того, что

$$\psi = BS \quad \text{и} \quad i = \frac{H}{W}, \quad (4)$$

где  $B$  – индукция,

$H$  – напряженность,

$S$  – площадь сердечника,

$W$  – число витков.

Несинусоидальные токи и напряжения заменяют эквивалентными синусоидами, имеющими такое же действующее значение, при этом истинную петлю перемагничивания  $\psi(i)$  заменяют эквивалентным эллипсом, площадь которого пропорциональна потерям энергии в сердечнике за один период (рис.1). Электрическая схема замещения индуктивной катушки в данном случае примет вид как на рис.2, где  $r$  – учет тепловых потерь,  $r_0$  – потери в магнитопроводе,  $L_s$  – индуктивность рассеяния, соответствует потоку рассеяния,  $L_0$  – собственная индуктивность основного магнитного потока.

Данный подход применим для катушек любой конструкции в различных режимах работы, необходимое условие проведения анализа – петля гистерезиса для данного режима.

**Постановка задачи:** для различных конструкций индуктивных катушек получить математическое описание основных ее параметров и законов их изменения в зависимости от режима эксплуатации (частоты проходящего сигнала, амплитуды), а также решить задачу синтеза конструктивного исполнения катушки по требуемым характеристикам.

Катушка является одним из основных элементов электронного устройства. Требования, предъявляемые к катушке при условии, что она создает необходимую м. д. с. следующие:

- минимальные габариты и технологичность в изготовлении;
- достаточная механическая прочность;

- превышение температуры не больше допустимого, в любых режимах;
- влагостойкость,
- определенный запас диэлектрической прочности изоляции по сравнению с номинальным напряжением.

В качестве материала обмотки катушки применяются различные обмоточные провода, по большей части изолированные.

Сопротивление катушки прямо пропорционально квадрату числа витков и средней длине витка. Последнее говорит о том, что при одном и том же числе витков и обмоточном пространстве сопротивление зависит от формы обмоточного пространства. При высокой катушке средняя длина витка меньше и сопротивление меньше, и, наоборот, при низкой катушке (при уменьшении высоты  $h$ ) средняя длина витка увеличивается и сопротивление растет.

При расчете сопротивления следует обязательно учитывать повышение сопротивления при нагреве, Ом, по известной формуле

$$R_{\text{ГОР}} = R_{\text{ХОЛ}}(1 + \alpha \times \tau), \quad (5)$$

где  $\tau$  — разница температур холодной и горячей катушки, °С;  $\alpha = 0,004$  — температурный коэффициент повышения сопротивления меди при нагреве,  $1/^\circ\text{C}$ .

Величина активного сопротивления катушки, Ом,

$$R = \rho \times L / q, \quad (6)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление проводникового материала, Ом×см;  $L$  — полная длина обмоточного провода, см.

При расчете сопротивления следует обязательно учитывать повышение сопротивления при нагреве, ом, по известной формуле

$$R_{\text{ГОР}} = R_{\text{ХОЛ}}(1 + \alpha \times \tau), \quad (7)$$

где  $\tau$  — разница температур холодной и горячей катушки, °С;  $\alpha = 0,004$  — температурный коэффициент повышения сопротивления меди при нагреве,  $1/^\circ\text{C}$ .

Катушка должна обеспечивать определенную магнитодвижущую силу (м. д. с.) и не перегреваться свыше допустимой температуры.

что  $\tau_{\text{уст}} \leq \tau_{\text{доп}}$

Подставляя в уравнение теплового баланса значение  $R$  и  $S$ , получим:

$$I^2 \times w^2 \times \rho / k_{3.M} \times a \times h = 2k \times h \times \tau_{уст} \quad (8)$$

Так как  $l \times w = F_M$ , то  $F_M^2 \times \rho / k_{3.M} \times a \times h = 2k \times h \times \tau_{уст}$ , где  $F_M$  — м.д.с. катушки, а, откуда

$$\tau_{уст} = \rho \times F_M^2 / 2k_{3.M} \times k \times h^2 \times a. \quad (9)$$

Таким образом, установившаяся температура пропорциональна квадрату ампер-витков и обратно пропорциональна размерам обмоточного пространства и квадрату высоты.

Задаваясь отношением  $a/h$ ,

$$h = \sqrt[3]{\frac{F_M^2 \times \rho}{2 \times k \times k_{3.M} \times a / h \times \tau_{дон}}} \quad (10)$$

Решая уравнение (8.15) относительно м. д. с. катушки, имеем

$$F_M = h \times \sqrt{2k_{3.M} \times k \times a \times \tau_{уст} / \rho}. \quad (11)$$

Это уравнение показывает, что м. д. с. катушки зависит от размеров обмоточного пространства, особенно от его высоты, и не зависит от напряжения, если коэффициент заполнения по меди не меняется. При увеличении напряжения уменьшается сечение обмоточного провода и коэффициент заполнения уменьшается, что ведет к некоторому уменьшению ампер-витков одинакового обмоточного пространства.

По изменению сопротивления катушки можно судить о степени ее перегрева:

$$R_{хол} = \frac{R_{гор}}{1 + \alpha(\theta_{гор} - \theta_{хол})} \quad (12)$$

Таким образом, величина потерь зависит от частоты переменного тока и от степени насыщенности магнитопровода, а также от толщины листов шихтовки магнитопровода и от его химического состава.

Удобнее пользоваться таблицами удельных потерь в стали, приведенными в ГОСТах на электротехническую сталь, в которых объединены как потери на вихревые токи, так и потери на гистерезис. Рассчитать достаточно точно теплоотдачу магнитопровода — задача довольно сложная; поэтому условно

принимают, что все активные потери, вызывающие нагрев, происходят в катушке, т. е. что и потери в стали относятся к катушке. Тогда тепловой баланс катушки переменного тока

$$P_{ст} + P_M = k \times S \times \tau_{уст} \quad (13)$$

$$\Phi_{max} = u/4,44 \times f \times w.$$

Выполненный анализ свойств катушки, как одного из основных составляющих элементов электронных устройств, показывает, что основным направлением при их проектировании, является проведение исследований, связанных с влиянием таких параметров как магнитная проницаемость сердечника, частота источника питания и использование керамических проводов. Такие исследования в настоящий момент не обнаружены.

#### Перечень ссылок

1. Основы теории цепей: Учеб. для вузов /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. –5-е изд., перераб. –М.: Энергоатомиздат, 1989. -528с.
2. Малогабаритная радиоаппаратура: Справочник радиолюбителя. Р.М.Терещук, К.М.Терещук, А.Б.Чаплинский. – 3-е изд. – К.: Наукова думка,1975. – 560с.
3. Ферромагнетизм. Акулов Н.С. – М.: 1939.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП В МЕДИКОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИИС

Вацнер С.А.

Руководитель: ас Штепа А.А.

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) - один из самых важных электронных компонентов в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия. Даже если Вы работаете только с цифровыми сигналами, скорее