

## КАК ОПРЕДЕЛИТЬ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ФЕРРИТА

Предлагаемая методика и соответствующая ей программа (MUCalculator.exe) предназначены для измерения и расчета магнитной проницаемости материалов магнитопроводов импульсных блоков питания. Это позволяет использовать магнитопроводы без маркировки или с неизвестной маркировкой.

На страницах сайта и на страницах радиолюбительских журналов опубликовано множество описаний импульсных блоков питания. Один из основных элементов такого устройства — импульсный трансформатор, от правильного расчета которого зависят работоспособность, надежность и долговечность блока и питаемого прибора. В описаниях этих устройств указаны материал и типоразмер магнитопровода, а также намоточные данные трансформатора, поэтому проблем с изготовлением устройства не возникает. А как быть радиолюбителю, который решил повторить устройство, но не может найти нужный магнитопровод? На помощь приходят методики и программы расчета импульсного трансформатора [1, 2]. Зачастую у радиолюбителя накапливаются трансформаторы от различных блоков питания телевизоров, компьютеров и прочей бытовой техники. Если магнитопровод имеет маркировку, то нужную для расчета информацию находят в справочниках [3, 4] или на сайтах в Интернете (особенно для зарубежных ферритов). Эти параметры подставляют в формулы или вводят в программы. Но попадаются магнитопроводы, которые не имеют никаких опознавательных знаков (а если и имеют, то что-либо определить по ним трудно). Предлагаемая методика была разработана именно для таких магнитопроводов.

Она основана на известной формуле расчета индуктивности тороидальной обмотки

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot S \cdot w^2}{l} \quad (1)$$

где  $L$  — индуктивность, Гн;  $w$  — число витков;  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м — абсолютная магнитная проницаемость вакуума;  $\mu$  — магнитная проницаемость материала магнитопровода;  $l$  — средняя длина магнитной силовой линии в магнито-проводе, м;  $S$  — площадь поперечного сечения магнитопровода, м<sup>2</sup>.

Из (1) получаем формулу для расчета магнитной проницаемости

$$\mu = \frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot S \cdot w^2} \quad (2)$$

Для практических расчетов более удобна формула, полученная из (2), в которой индуктивность выражена в микрогенри, а размеры — в миллиметрах:

$$\mu = \frac{796 L \cdot l}{S \cdot w^2} \quad (3)$$

Кроме индуктивности, для расчета магнитной проницаемости материала магнитопровода нужно еще знать параметры  $l$  и  $S$ . Следует учесть, что формула (3) приближенная и дает наиболее точный результат для тороидальных (кольцевых) магнитопроводов. Для других типов (Ш-образный, П-образный, броневой), которые имеют разветвленную магнитную цепь, сложно вывести точные формулы, связывающие индуктивность, магнитную проницаемость и размеры магнитопровода. Поэтому расчеты ведут, используя так называемые эквивалентные размеры  $l$  и  $S$  ([5], с. 20—36), которые подставляют в формулу (3). Для радиолюбительской практики такой точности достаточно. В таблице перечислены формулы для определения  $l$  и  $S$  для наиболее распространенных

типов магнитопроводов [5].

Работу ведут в определенной последовательности.

1. На исследуемый магнитопровод наматывают пробную обмотку, например, из 10...20 витков провода диаметром 0,3...0,4 мм (их число и диаметр роли не играют). Важно, чтобы витки равномерно по всей длине разместились на магнитопроводе. Для удобства расчета по формуле (3) лучше намотать 10 витков. Затем измеряют индуктивность пробной обмотки в микрогенри. Если магнитопровод состоит из нескольких частей (Ш-образный, П-образный, броневой), то его нужно сжать, чтобы устранить или минимизировать немагнитный зазор, который уменьшает индуктивность пробной обмотки и занижает вычисленное значение магнитной проницаемости материала. Также следует учесть влияние инструментов, стягивающих болтов и шпилек, поэтому желательно, чтобы они были изготовлены из немагнитных материалов.

2. Далее из таблицы выбирают тип исследуемого магнитопровода и по соответствующему чертежу делают все необходимые измерения в миллиметрах. Измерять лучше штангенциркулем, чтобы результаты были как можно точнее. Затем по соответствующим формулам вычисляют среднюю длину магнитной линии  $l$  в миллиметрах и площадь поперечного сечения  $S$  в квадратных миллиметрах.

3. Измеренную в микрогенри индуктивность, число витков  $w$ , а также значения  $l$  и  $S$  подставляют в формулу (3) и определяют магнитную проницаемость материала магнитопровода.

Номер рисунка	Тип магнитопровода	Формулы для расчета	
		$l$	$S$
1	Тороидальный	$l = \pi \cdot (D+d)/2$	$S = h \cdot (D-d)/2$
2	Ш-образный, с круглым центральным стержнем	$l = A+B+F-E$	$S = \pi \cdot E^2/4$
3	Ш-образный, с квадратным или прямоугольным центральным стержнем	$l = A+B+F-E$	$S = C \cdot E$
4	Броневой (из двух чашек)	$l = d1-d2+2 \cdot (h1+h2)$	$S = \pi \cdot (d2^2-d3^2)/4$
5	П-образный	$l = A+B+D+F$	$S = \pi \cdot C^2/4 - G \cdot l$

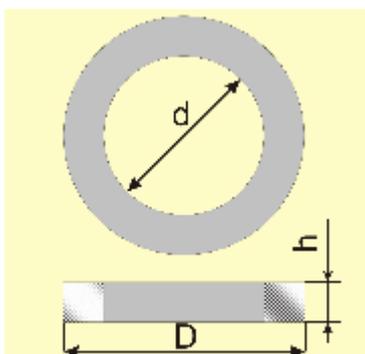


Рис.1

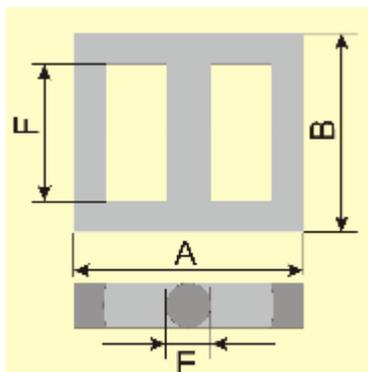


Рис.2

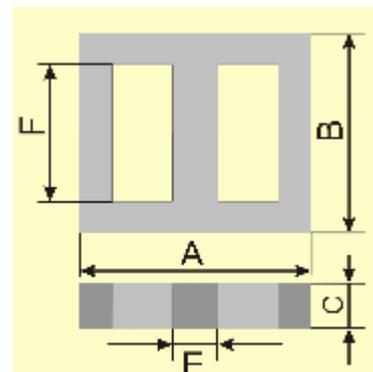


Рис.3

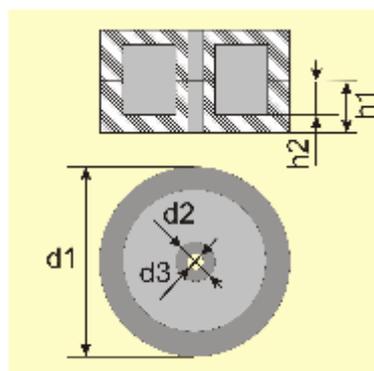


Рис.4

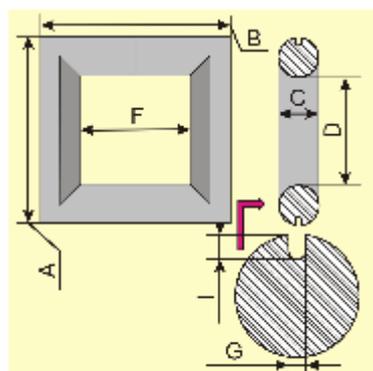


Рис.5

Для упрощения расчетов и экономии времени разработана программа "? -Калькулятор" для ПК, которая по предлагаемой методике рассчитывает магнитную проницаемость магнитопроводов распространенных типов. Программа написана в среде Visual Studio 2008 фирмы Microsoft на языке Visual Basic 2008 EE. Она также определяет сечение магнитопровода и среднюю длину магнитной линии, которые тоже нужны для дальнейших расчетов импульсного трансформатора. Зная магнитную проницаемость материала магнитопровода, можно по справочникам найти ближайший аналог и определить необходимые параметры (индукцию насыщения, удельные потери и др.).

Папка с программой может иметь любое удобное имя и храниться на любом носителе или разделе жесткого диска. В ней имеются исполняемый файл MUCalculator.exe и файл справки Help.chm (его можно запустить отдельно, чтобы изучить работу с программой до ее использования).

После запуска программы MUCalculator.exe открывается ее окно (рис. 6). В его верхней части расположена строка меню, содержащая два пункта: Файл и Справка. Пункт меню Файл состоит из команд: Сохранить — сохраняет текущий расчет в текстовом файле внутри папки с программой, Печать — печатает текущий расчет на системном принтере, Рассчитать — выполняет расчет магнитной проницаемости выбранного магнитопровода, Выход — выход из программы без сохранения текущего расчета. Пункт меню Справка информирует пользователя о программе и ее авторе.

Часть окна программы ниже строки меню состоит из пяти панелей (рис. 6):

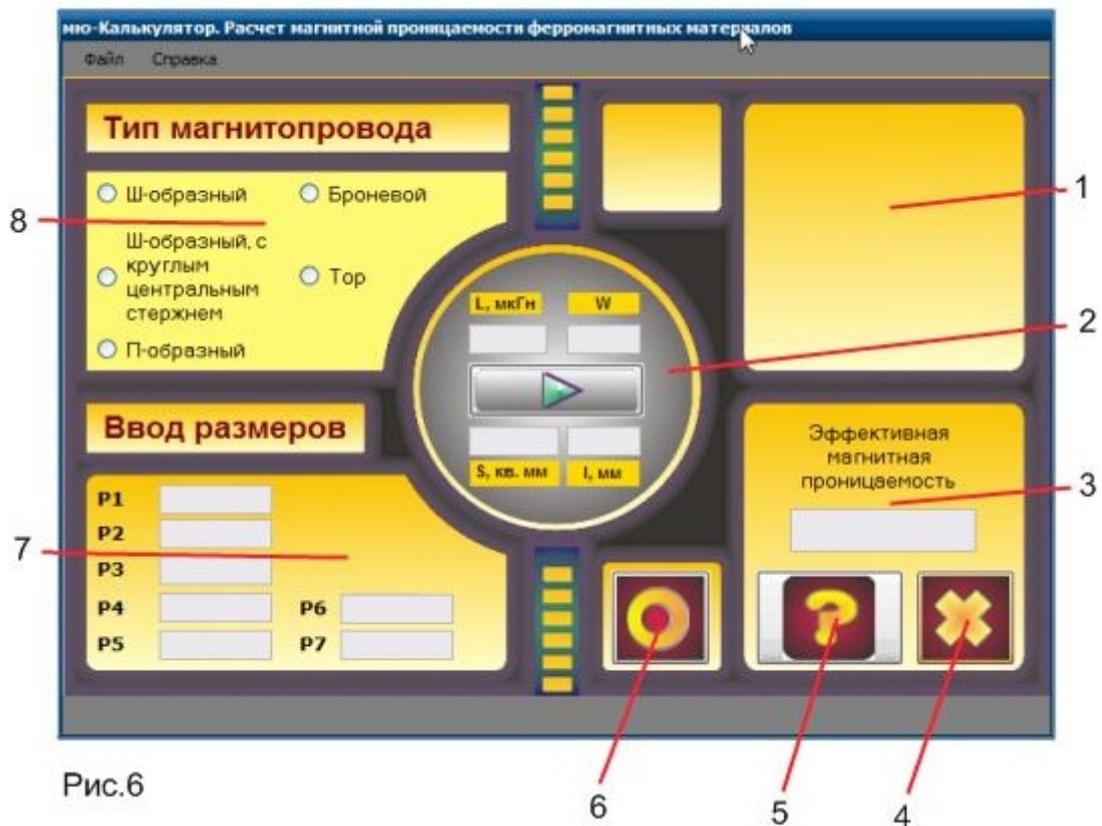


Рис.6

8 — выбор типа магнитопровода, 7 — ввод его размеров, 1 — вывод изображения чертежа магнитопровода, 2 — расчет, 3 — вывод результата расчета. Последняя панель имеет три кнопки: 6 — очистка полей ввода, 5 — вызов справки, 4 — выход из программы.

Панель расчета, показанная с увеличением на рис. 7, содержит элементы: 5 и 4 — поля для ввода индуктивности  $L$  и числа витков  $w$  пробной обмотки; 3 — кнопка Рассчитать, 2 и 1 — поля для вывода вычисленных значений  $S$  и  $I$ .

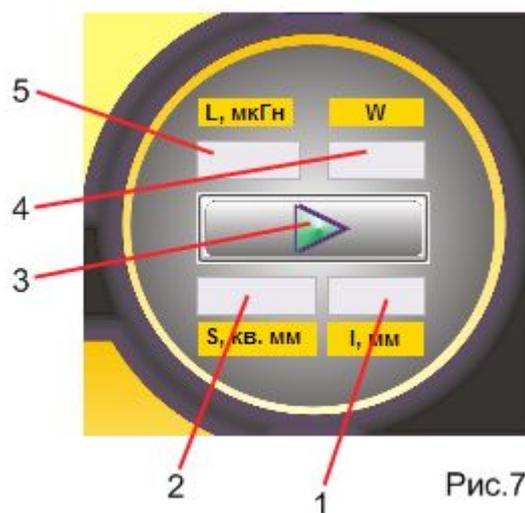


Рис.7

На панели выбора типа магнитопровода щелчком левой кнопки мыши выбирают тип исследуемого магнитопровода. После этого в правом верхнем углу панели появляется чертеж выбранного магнитопровода с указаниями необходимых размеров, а также

надписи возле полей. Далее как можно точнее измеряют в миллиметрах все необходимые размеры исследуемого магнитопровода и записывают их в соответствующие поля.

На панели расчета вводят измеренную в микрогенри индуктивность пробной обмотки и число ее витков. При наличии дробной части ее вводят после разделительной точки (не запятой). После ввода всей информации нажимают на кнопку Рассчитать или выполняют команду меню Файл -> Рассчитать. После этого в полях вывода появятся вычисленные значения  $\mu$  и  $S$ , а также  $\mu$  — магнитной проницаемости материала магнитопровода.

Для проведения нового расчета нужно очистить все поля нажатием на кнопку Очистить. Для удобства программа показывает всплывающие подсказки при наведении указателя мыши на основные объекты панелей и сообщения об ошибках, если какой-нибудь параметр не введен или введен неверно, с указанием названия этого параметра.

Распечатку результатов расчета выполняют командой меню Файл—>Печать. По этой команде системный принтер печатает стандартную страницу А4 с результатами текущего расчета и чертежом магнитопровода.

Для сохранения результатов расчета в текстовый файл следует выполнить команду меню Файл—>Сохранить. При этом откроется стандартное окно сохранения файла. В поле Имя файла нужно ввести имя сохраняемого файла (расширение .txt программа добавляет автоматически) и нажать на кнопку Сохранить. Если файла с таким именем не существует, программа спросит, нужно ли его создать. На этот вопрос надо ответить утвердительно (нажать на кнопку ОК). В результате будет создан текстовый файл с информацией об исследуемом магнитопроводе, результатами и датой расчета. Если файл с таким именем существует, программа об этом предупредит и спросит, нужно ли его создать. Если на этот вопрос также ответить утвердительно, программа дописывает новые результаты расчета в конец этого файла, не стирая ранее сделанные записи.

Сохраненный файл можно прочитать, удалить в нем ненужные записи и распечатать с помощью любого подходящего текстового редактора, например, Notepad++ (рис. 8).

```
*C:\Documents and Settings\UserXP\Мои документы\mucalc.txt - Notepad++
Файл  Правка  Поиск  Вид  Кодировки  Синтаксис  Опции  Макросы  Запуск  TextFX  Плагины  Окна  ?
X
mucalc.txt
1  ТИП МАГНИТОПРОВОДА - ТОР
2
3
4  Наружный диаметр - D = 85 мм.
5
6  Внутренний диаметр - d = 65 мм.
7
8  Высота - h = 10 мм.
9
10 Площадь сечения магнитопровода S = 100 кв.мм.
11
12 Средняя длина магнитного пути - l = 235.5 мм.
13
14 Индуктивность пробной обмотки L = 123 мкГн.
15
16 Число витков пробной обмотки - w = 10
17
18
19 Эффективная магнитная проницаемость магнитопровода - 2306.255
20
length : 798  lines Ln : 22  Col : 1  Sel : 0  Dos\Windows  UTF-8  INS
```

Ю. ИЛИТИЧ, пгт. Верховина Ивано-Франковской обл., Украина

Радио, №4 2011г стр. 30-32

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Косенко С. Расчет импульсного трансформатора двухтактного преобразователя Радио, 2005, № 4. с. 35-37, 44.
2. Москатов Е, Методика и программа расчета импульсного трансформатора двухтактного преобразователя. — Радио, 2006, № 6, с. 35-37
3. Куневич А. В., Сидоров И. Н. Индуктивные элементы на ферритах. Ферритовые сердечники в узлах радиоаппаратуры. Справочник домашнего мастера. — Л.: Лениздат, 1997.
4. Сидоров И. Н., Христинин А. А., Скорняков С. В. Малогабаритные магнитопроводы и сердечники. — М.: Радио и связь, 1989.
5. Гликман И. Я., Русин Ю. С, Горский А. Н. Электромагнитные элементы радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. — М.: Радио и связь, 1991.

[СКАЧАТЬ ПРОГРАММУ](#)

Программа для определения проницаемости проверялась на WIN XP SP3, необходим Net framework 3.0