

# Сглаживающий дроссель с открытой магнитной цепью

Мирослав Лукевский

"Eland Transformatory" является производителем сглаживающих дросселей, предназначенных для работы в выходных цепях высокомоощных выпрямителей. В статье представлены технические характеристики дросселей с открытой магнитной цепью.

## Индуктивность дросселя с разомкнутым сердечником

Сглаживающие дроссели с открытой магнитной цепью предназначены для взаимодействия с высокомоощными выпрямителями. В выходной цепи выпрямителей различают доминирующую постоянную составляющую тока и пульсации, которые часто бывают высокочастотными. Сглаживающий дроссель представляет собой индуктивный фильтр, ограничивающий амплитуду пульсаций.

Магнитный поток, возникающий в обмотке дросселя, как правило, концентрируется в магнитной системе. Таким образом, средняя длина пути прохождения магнитного потока определяется непосредственно размерами сердечника. В открытой магнитной цепи поток покидает сердечник и, проходя сквозь окружающее дроссель пространство, закрывается воздухом. Путь магнитного потока зависит от формы и типа обмотки дросселя (коэффициент формы  $\Psi$ ). Правильное вычисление средней длины пути прохождения магнитного потока в открытой магнитной цепи определяет точность всех последующих проектных расчётов [1,2].



Рис.1 Сглаживающий дроссель с открытой магнитной цепью

Сравнив общую зависимость индуктивности воздушной катушки и зависимость, описывающую индуктивность катушки с замкнутым контуром, определяем среднюю длину пути магнитного потока в воздушной катушке:

$$l = \frac{\pi^2 \cdot D}{\Psi} \quad (1)$$

Результирующая магнитная проницаемость разомкнутого сердечника  $\mu_{ot}$  зависит от распределения плотности магнитного потока по всей длине колонны сердечника.

$$\mu_{ot} = \frac{1}{1 - \frac{b}{l} \left( 1 - \frac{1}{\mu_r} \right)} \quad (2)$$

В случае, если длина обмотки меньше длины сердечника, плотность магнитного потока в сердечнике неравномерна, что влияет на уменьшение значения результирующей магнитной проницаемости сердечника.

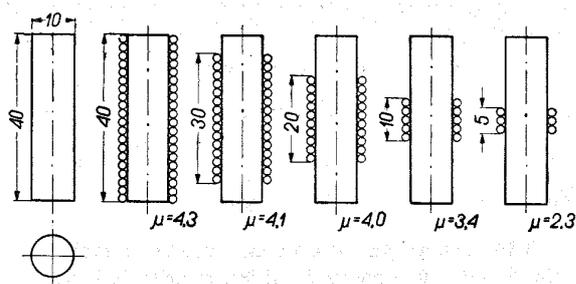


Рис.2 Иллюстрация зависимости результирующей магнитной проницаемости от длины обмотки дросселя [1]

Индукцию в разомкнутом сердечнике описывает отношение:

$$B_{ot} = \frac{4 \cdot \pi \cdot n \cdot I \cdot \sqrt{2} \cdot \mu_r}{10 \cdot l \cdot \left[ \mu_r - \frac{b}{l} (\mu_r - 1) \right]} \quad (3)$$

Магнитный поток, возникающий в обмотке дросселя, определяется из отношения:

$$\Phi_{ot} = \frac{4 \cdot \pi \cdot n \cdot I \cdot \sqrt{2} \cdot S \cdot \mu_{ot}}{10 \cdot l} \quad (4)$$

Зная значение магнитного потока, возникающего в обмотке, можно вычислить индуктивность дросселя с разомкнутым сердечником:

$$L_{ot} = \frac{\Phi_{ot} \cdot n}{I \cdot \sqrt{2}} \quad (5)$$

где:

$\Psi$  – коэффициент формы катушки,

$D$  – диаметр воздушной катушки,

$b$  – длина обмотки,

$n$  – количество витков катушки дросселя,

$S = \pi D^2 / 4$  – площадь сечения сердечника,

$l$  – средняя длина магнитного пути в воздушной катушке,

$\mu_{ot}$  – результирующая магнитная проницаемость сердечника,

$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала катушки, [1]

## Потери дросселя с разомкнутым сердечником

В разомкнутой магнитной системе дросселя различают потери от гистерезиса, вводящие сопротивление  $R_h$ , потери, вызванные вихревыми токами  $R_w$ , и потери  $R_{pm}$  от магнитных остатков [1,3]:

$$R_h = \delta_h \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_o \cdot \mu_{ot} \cdot H \cdot \frac{l_{Fe}}{l} \quad (6)$$

$$R_w = \delta_w \cdot 2\pi \cdot f^2 \cdot L_o \cdot \mu_{ot} \cdot \frac{l_{Fe}}{l} \quad (7)$$

$$R_{pm} = \delta_{pm} \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_o \cdot \mu_{ot} \cdot \frac{l_{Fe}}{l} \quad (8)$$

В электрической цепи возникают теплотери провода  $R_p$ , дополнительно усиленные явлением поверхностного эффекта, а также потери, вызванные

вихревыми токами, возникающими в обмотке  $R_w$ . Потери индуцируются магнитным полем соседних обмоток, а также потоком рассеивания, возникающим вокруг воздушных щелей сердечника. Разомкнутая конструкция сердечника, которая предусматривает, что магнитный поток проходит, в основном, по воздуху, вызывает в окружении катушки индуктивные потери  $R_{in}$  [1,4]

Диэлектрические потери возникают в изоляции обмотки. Они зависят от класса и количества используемых диэлектрических материалов, влажности воздуха, которая ухудшает потери изоляционного материала, напряжённости электрического поля и частоты [1].

$$R_d = \frac{\omega^3 \cdot L^2 \cdot C_o \cdot tg\delta}{\left[1 - \left(\frac{f}{f_r}\right)^2\right]^2} \quad (9)$$

где:

$\delta_w, \delta_h, \delta_{pm}$  – коэффициенты потерь от токов Фуко, гистерезиса и магнитных остатков соответственно,

$H = B_{от} / \mu_{от}$  – напряжённость магнитного поля в сердечнике,

$l_{Fe}$  – длина магнитного пути в сердечнике,

$\omega = 2\pi f$  – пульсация напряжения питания,

$L_o$  – индуктивность катушки без сердечника,

$L$  – индуктивность дросселя,

$C_o$  – собственная ёмкость катушки,

$tg\delta$  – коэффициент потерь изоляции,

$f, f_r$  – частота напряжения питания и резонансная частота катушки [1].

## Литература

[1] – Poradnik Radio-i Teleelektryka [Справочник радио- и телеэлектрика] том В, Ред. Й. Антоневиц, PWT, Варшава 1959г.

[2] – Obwody Magnetyczne [Магнитные контуры], Якуб Ельбаум, PWT Варшава 1959г.

[3] – Budowa i obliczanie rdzeni transformatorów energetycznych [Строение и расчет сердечников силовых трансформаторов], Коллективный труд под руководством Еугениуша Езерского, WNT, Варшава 1979г.

[4] – Uzwojenia transformatorów energetycznych- budowa i obliczanie [Обмотки силовых трансформаторов – строение и расчёт], Коллективный труд под руководством Еугениуша Езерского, WNT, Варшава 1982г.