

УДК 621.314

СНИЖЕНИЕ ПОМЕХОЭМИССИИ СИЛОВЫХ ДРОССЕЛЕЙ ТОРОИДАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.В. Шкоркин, Ю.М. Казанцев

ОАО «Научно-производственный центр «Полюс», г. Томск

E-mail: polus@online.tomsk.net

Для расчета поля рассеяния силовых дросселей тороидальной конструкции, используемых в импульсных источниках вторичного электропитания, предложена модель в виде эквивалентного витка с током. Показано, что для снижения помехоэмиссии дросселя целесообразно его разделение на два меньшего типоразмера. При их встречном включении и размещении на несущем основании таким образом, чтобы места установки выводов были в параллельных плоскостях, суммарное значение напряженности магнитного поля снижается не менее чем на 20 дБ.

Ключевые слова:

Источники вторичного электропитания; помехоэмиссия; рациональная компоновка; угловое распределение напряженности поля; расчет поля рассеяния тороидального дросселя.

Key words:

Secondary power supply of sources; emission of disturbances electromagnetic; rational grouping; angular distribution of field intensity; calculation of the toroidal throttle's extraneous field.

Силовые дроссели на кольцевых сердечниках из молибденового пермаллоя марки МП наиболее часто используются в импульсных источниках вторичного электропитания (ИВЭП). При минимизации площадей излучающих контуров в ИВЭП наибольший уровень помех отмечен у электромагнитных элементов – силовых дросселей и трансформаторов. Создаваемые ими паразитные излучения представляют собой поля рассеяния. При работе силового дросселя тороидальной конструкции часть магнитного потока уходит из сердечника, замыкаясь через воздух [1], и создает магнитный поток рассеяния (рис. 1).

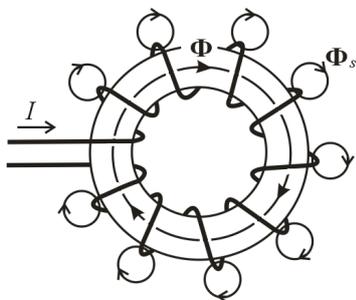


Рис. 1. Магнитный поток Φ в сердечнике и поток рассеяния Φ_s .

Поскольку напряженность магнитного поля \mathbf{H} произвольной системы токов на расстоянии r , значительно превышающем её линейные размеры, равна векторной сумме магнитных моментов отдельных замкнутых контуров [2], то для расчета поля рассеяния дросселя его можно заменить «магнитным диполем» (рис. 2) с моментом

$$p_m = IS_k,$$

где I – ток через обмотку дросселя, А; S_k – площадь контура, ограниченная средней длиной сердечника, м².

Таким образом, физическую модель дросселя как излучателя магнитного поля можно представить рамкой площадью S_k , обтекаемой током I , рис. 3.

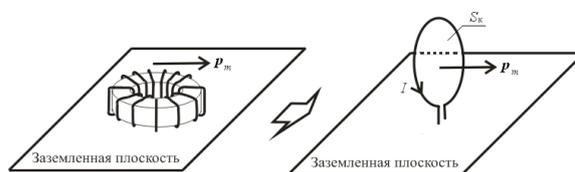


Рис. 2. Замена тороидального дросселя эквивалентным витком

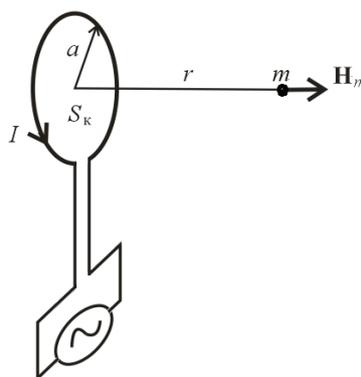


Рис. 3. Физическая модель дросселя как излучателя магнитного поля

Напряженность магнитного поля максимальна в направлении оси рамки и в непосредственной близости определяется законами магнитостатики [2]:

$$\mathbf{H}_m = \frac{p_m}{2\pi(a^2 + r^2)^{3/2}},$$

где a – радиус излучающей рамки; r – расстояние до точки наблюдения m .

При $r \gg a$

$$\mathbf{H}_m = \frac{p_m}{2\pi r^3}. \quad (1)$$

Рассмотрим кольцевой сердечник МП 140 типоразмера К17×10×6,5, имеющий среднюю длину сердечника $l_{с.ср}=4,24$ см, площадь эквивалентного витка $S_k=1,4 \cdot 10^{-4}$ м². При значении действующего

тока 1 А на расстоянии 1 м согласно формуле (1) напряженность магнитного поля должна быть 22,7 мкА/м, что соответствует 27,1 дБ (мкА/м). При равномерном распределении витков обмотки по периметру сердечника измеренное рамочной антенной П6-42 значение напряженности магнитного поля составило 27 дБ (рис. 4). Испытуемый дроссель размещался на поворотном столе из диэлектрического материала над заземленной алюминиевой пластиной. Антенна устанавливалась на расстоянии 1 м. Размеры маркеров на экспериментальной кривой соответствуют графику с отложенной погрешностью, обусловленной погрешностью средств измерения, а их положение – азимутальным углом, в которых проведено измерение напряженности поля. За единичный радиус-вектор принято максимальное значение напряженности поля.

Установлено, что фазовый сдвиг (положение максимумов в угловом распределении напряженности магнитного поля в относительной системе отсчета) у силовых дросселей тороидальной конструкции остается постоянным во всех режимах работы ИВЭП, не зависит от рабочей частоты, скважности, приложенного к обмотке напряжения и силы тока, равномерности намотки. На значение фазового сдвига (рис. 4, а) влияют геометрические размеры сердечника, количество витков в обмотке, тип ферромагнетика и значение его проницаемости.

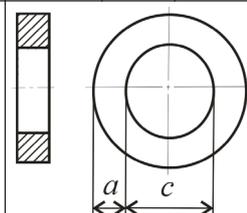
Для оценки адекватности предложенной модели дросселя тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля проведена экспериментальная проверка на сердечниках из Мо-пермаллоя марки МП 140 по ряду из наиболее часто применяемых типоразмеров (таблица) в схеме импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа.

Напряженность поля измерена в азимутальной плоскости при вращении исследуемых образцов на поворотном столе относительно антенны на угол 360° при работе импульсного стабилизатора напряжения в граничном режиме.

Таблица. Напряженность поля рассеяния силовых дросселей тороидальной конструкции на измерительном расстоянии 1 м

Типоразмер сердечника, их количество; индуктивность дросселя	Длина средней линии сердечника $l_{ср}$, см	Число слоев намотки	Действующее значение тока $I_{д}$, А	Значение напряженности поля, дБ (мкА/м)	
				измеренное	расчетное
K13×7×5, 24 мкГн	3,14	1	1,1	24	22,7
K15×7×6,7, 26,2 мкГн	3,45	1	1	25	23,5
K17×10×6,5, 59,7 мкГн	4,24	1	0,6	23	22,7
K17×10×6,5, 180 мкГн	4,24	2	1,1	36	30
K19×11×6,7, 62,3 мкГн	4,71	1	0,55	25	23,8
K24×13×5,2, 81,4 мкГн	5,81	1	0,48	26	26,2
K24×13×7, 180 мкГн	5,81	1	0,38	25	24,2
K24×13×5,2, 2 шт., 165 мкГн	5,81	1	0,45	32	25,7
K24×13×5,2, 2 шт., 30 мкГн	5,81	1	10	54	52,6
K24×13×5,2, 2 шт., 200 мкГн	5,81	2	0,63	38	28,6
K24×13×5,2, 600 мкГн	5,81	3	0,41	35	25,0
K36×25×7,5, 49 мкГн	9,58	1	5	56	55,2
K36×25×9,7, 50 мкГн	9,58	1	5	57	55,2
K44×28×10,3, 53 мкГн	11,31	1	10	64	64,2

Длина средней линии сердечника рассчитана в соответствии с рисунком по формуле $l_{ср} = \pi(a+c)$. Приведенная погрешность измерения не более 1 дБ



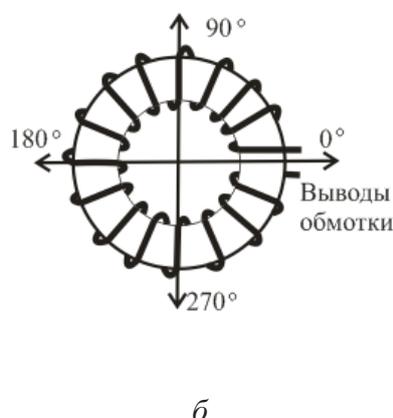
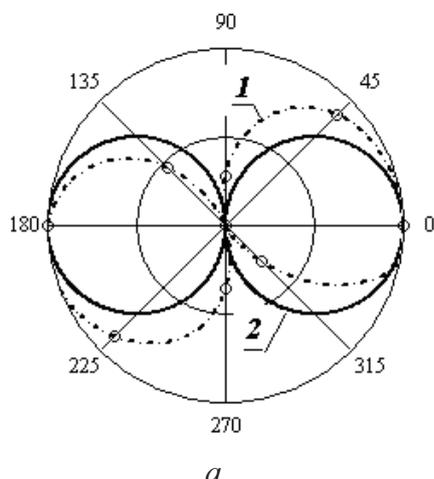


Рис. 4. Поле рассеяния силового дросселя в азимутальной плоскости (а) и условная система отсчета (б): 1) экспериментальные данные, $H_{max}=27$ дБ (мкА/м); 2) расчетные, $H_{max}=27,1$ дБ (мкА/м)

Из результатов экспериментов следует, что при равномерном распределении витков дросселя по периметру сердечника в один слой разница между измеренным и рассчитанным значениями напряженности поля не превышает 1 дБ и с уменьшением внешнего диаметра сердечника до 13...15 мм она достигает 2 дБ. При намотке в два слоя, а также при использовании двух склеенных сердечников разница составляет 6 дБ и при намотке в три слоя – 10 дБ.

Окончательно формула для расчета поля рассеяния силового дросселя тороидальной конструкции имеет вид

$$\mathbf{H} = \frac{nI_{\text{Лд}}S_{\text{к}}}{2\pi r^3}, \quad (2)$$

где \mathbf{H} – напряженность поля, А/м; n – число слоев намотки дросселя ($n=1, 2, 3$); $I_{\text{Лд}}$ – действующее значение пульсирующей составляющей тока, А; $S_{\text{к}}=l_{\text{с.ср}}^2/4\pi$ – площадь, ограниченная средней линией сердечника, м²; r – расстояние от контура до измерительной антенны, м.

В ближней зоне (при $r < \lambda/2\pi$) напряженность электрического поля максимальна в плоскости витка, и её значение можно рассчитать через волновое сопротивление [3, 4]:

$$\frac{E_{\ominus}}{H_{\phi}} = Z_0 2\pi r / \lambda, \quad (3)$$

где E_{\ominus} – напряженность электрического поля в плоскости витка, В/м; H_{ϕ} – напряженность магнитного поля на оси витка, А/м; $Z_0=377$ Ом – волновое сопротивление свободного пространства (в дальней зоне для $r \gg \lambda/2\pi$); λ – длина волны, м.

Таким образом, для наихудшего случая напряженность электрического поля E , В/м, создаваемая током I , протекающим по контуру с площадью $S_{\text{к}}$, в ближней зоне в соответствии с формулой (3) в скалярной форме записи

$$E = \frac{Z_0 I S_{\text{к}}}{\lambda r^2}.$$

Кольцевой сердечник МП 140 типоразмера К44×28×10,3 имеет среднюю длину $l_{\text{с.ср}}=11,31$ см. Площадь эквивалентного витка $S_{\text{к}}=1,02 \cdot 10^{-3}$ м². При значении действующего тока 0,89 А частотой 50,6 кГц на расстоянии 1 м согласно формуле (3) напряженность электрического поля должна быть 57 мкВ/м, что соответствует 35,1 дБ (мкВ/м). Измеренное активной антенной АДА-1 значение напряженности электрического поля составило 38 дБ.

В ИВЭП с низковольтным напряжением питания напряженность электрического поля, создаваемого электромагнитными элементами в ближней зоне, не является определяющей, а её значение, как правило, ниже чувствительности пассивных измерительных антенн.

Очевидно, что суммарная напряженность магнитного поля двух одинаковых рамок, располо-

женных в одной плоскости, будет минимальна, если их включить встречно и пропустить один и тот же ток (рис. 5).

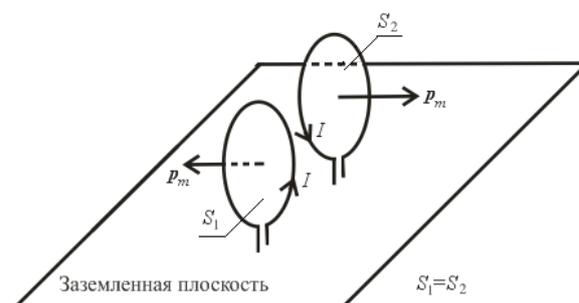


Рис. 5. Компенсация суммарного излучения от двух рамок

Этот эффект проявляется и при соответствующем размещении двух одинаковых дросселей. Для наибольшей компенсации суммарной напряженности поля дроссели должны быть включены встречно и размещены на несущем основании так, чтобы места установки выводов были в параллельных плоскостях (рис. 6, начало намотки обозначено точкой).

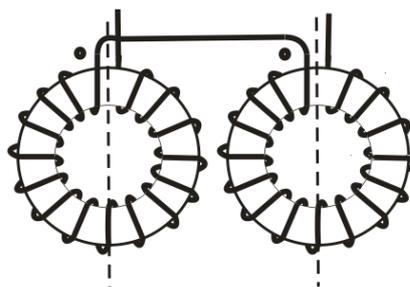


Рис. 6. Снижение суммарного поля рассеяния двух дросселей

При действующем значении тока 10 А силовой дроссель на сердечнике МП 140 типоразмера К44×28×10,3 создает поле рассеяния напряженностью $H_{\text{max}}=64$ дБ. При замене одного дросселя на два меньшего размера с тем же значением суммарной индуктивности $H_{\text{max}}=44$ дБ, в то время как напряженность поля рассеяния одного дросселя типоразмера К24×13×5,2 (2 шт.) при указанном значении тока $H_{\text{max}}=54$ дБ (мкА/м). Таким образом, она снижается не менее чем на 20 дБ.

На амплитуду напряженности поля рассеяния электромагнитных элементов, кроме значения напряжения, приложенного к обмотке (следовательно, значения рабочей индукции), и силы тока, протекающего через обмотку, влияет неравномерность намотки, рис. 7.

Для снижения поля рассеяния на 6...10 дБ предложено выводы витков обмотки направлять внутрь [5], рис. 8.

Установка между корпусом преобразователя и дросселем экранирующей прокладки из медной фольги с припаянной к ней экранирующей сеткой из проволоки дает дальнейшее снижение напря-

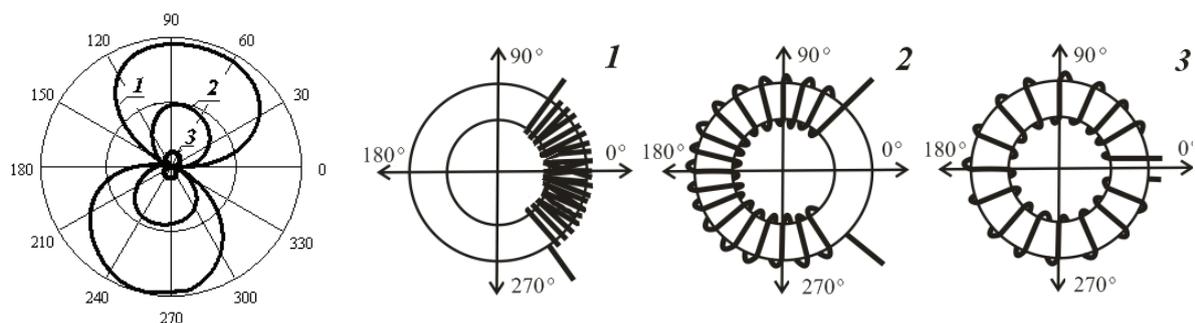


Рис. 7. Способы намотки дросселя: 1) секцией, $H_{\max}=84$ дБ (мкА/м); 2) виток к витку, $H_{\max}=78$ дБ (мкА/м); 3) с равномерным распределением витков по периметру, $H_{\max}=64$ дБ (мкА/м)

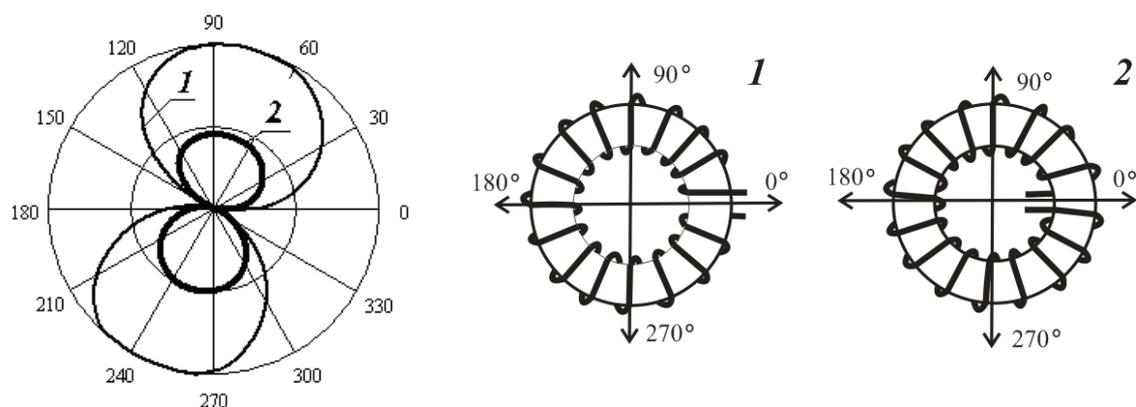


Рис. 8. Снижение поля рассеяния дросселя: 1) общепринятое исполнение, $H_{\max}=64$ дБ (мкА/м); 2) выводы направлены внутрь, $H_{\max}=58$ дБ (мкА/м)

женности поля еще на 6...7 дБ. Экран-шайба и сетка должны быть изолированы от корпуса и соединены с общей шиной входного напряжения ИВЭП.

Выводы

Для расчета поля рассеяния силовых дросселей тороидальной конструкции предложена модель в виде эквивалентного витка с током.

Показано, что для снижения поля рассеяния силового дросселя тороидальной конструкции це-

лесообразно его разделить на два меньшего типа-размера. При встречном включении обмоток и размещении на несущем основании источника питания таким образом, чтобы места установки выводов были в параллельных плоскостях, суммарное значение напряженности магнитного поля на расстоянии 1 м снижается не менее чем на 20 дБ.

Поле рассеяния силовых дросселей тороидальной конструкции уменьшается на 6...10 дБ, если выводы обмотки направить внутрь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
2. Нейман Л.А., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. Т. 2. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 407 с.
3. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 238 с.
4. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. В 3-х вып., вып. 3. Изме-

рение электромагнитных помех и измерительная аппаратура: Сокр. пер. с англ. / под ред. А.Д. Князева. – М.: Советское радио, 1979. – 464 с.

5. Конструкция установки выводов тороидального дросселя с минимальными полями рассеивания: пат. 66598 Рос. Федерация. № 2007112142/22; заявл. 02.04.2007; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 25. – 3 с.: ил.

Поступила 05.04.2010 г.