

УДК 621.314

С.А. Бычков, В.В. Шкоркин

Физическая модель трансформатора тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля

Для расчета поля рассеяния силовых трансформаторов тороидальной конструкции, используемых в импульсных источниках вторичного электропитания, предложена модель в виде двух эквивалентных витков с током.

Ключевые слова: источники вторичного электропитания, рациональная компоновка, угловое распределение напряженности поля, расчет поля рассеяния тороидального трансформатора.

Постановка задачи. Совершенствование частотных свойств полупроводниковых приборов сопровождается ростом скоростей нарастания/спада токов и напряжений, что ведет к снижению электромагнитной совместимости электромагнитных элементов (дросселей и трансформаторов) с питающей сетью, нагрузкой и собственной цифровой системой управления. Магнитное поле в ближней зоне, создаваемое силовыми трансформаторами и дросселями, представляет собой поле рассеяния, которое является источником помех.

В настоящее время требования к приборам по помехоэмиссии ужесточаются. Обеспечение защиты в источниках вторичного электропитания с повышением быстродействия и плотности компоновки элементов от помех становится важнейшей задачей конструирования. В данной статье предложена формула для расчета поля рассеяния трансформатора тороидальной конструкции на этапе проектирования.

Физическая модель трансформатора. Известна физическая модель дросселя тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля, где обмотка заменена эквивалентным витком с током [1].

Продолжая исследования в данном направлении, авторы провели измерения углового распределения напряженности магнитного поля трансформаторов тороидальной конструкции. Для расчета значения напряженности поля, создаваемого трансформатором, предложено заменить каждую обмотку своим «магнитным диполем» (рис. 1) с моментами $p_{m1} = I_1 S_k$ и $p_{m2} = I_2 S_k$, где I_1 и I_2 – токи, протекающие через первичную и вторичную обмотки соответственно, А; S_k – площадь контура, ограниченная средней длиной сердечника, м².

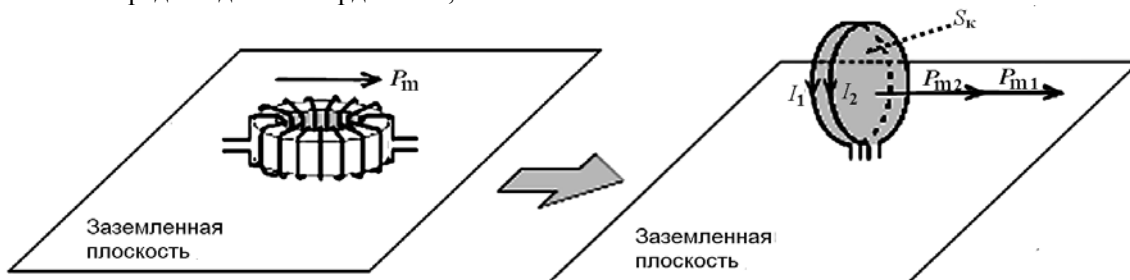


Рис. 1. Замена двухобмоточного трансформатора тороидальной конструкции двумя эквивалентными витками

Формула для расчета поля рассеяния трансформатора тороидальной конструкции имеет вид

$$H = \frac{(I_1 + I_2) S_k}{2\pi r^3},$$

где H – напряженность поля, А/м; I_1, I_2 – действующее значение пульсирующей составляющей тока первичной и вторичной обмотки соответственно, А; $S_k = l_{с.ср}^2 / 4\pi$ – площадь, ограниченная средней линией сердечника, м²; r – расстояние от контура до измерительной антенны, м.

Экспериментальная проверка. Для оценки адекватности предложенной модели трансформатора тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля проведена экспериментальная проверка (рис. 2).

Три рамки одинаковой площадью $S_k = 2 \cdot 10^{-4}$ м располагались в одной плоскости на минимальном расстоянии друг от друга. Через них протекали токи I_1, I_2, I_3 синусоидальной формы. Расстояние до измерительной антенны Пб-42 равнялось 0,3 м.

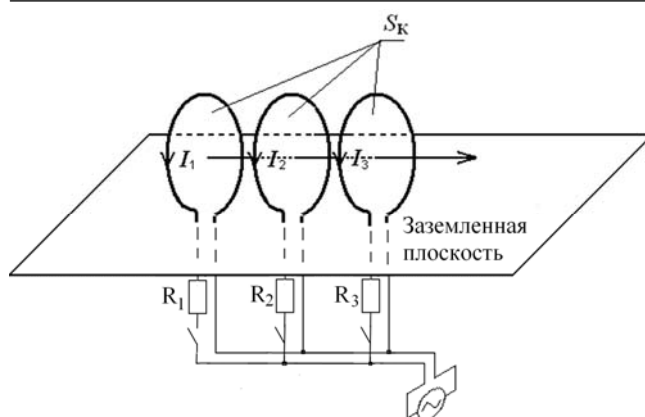


Рис. 2. Схема экспериментальной проверки, где $R_1=8$ Ом, $R_2=24$ Ом, $R_3=50$ Ом

Известно, что напряженность магнитного поля по обе стороны от плоскости рамки в текущий момент времени имеет разные знаки, а в плоскости рамки происходит их компенсация.

В начале эксперимента провели измерение магнитного поля отдельно от каждой рамки, от двух и от трех рамок, включенных параллельно. Затем первую рамку включали встречно к двум другим (в табл. 1 действующее значение тока первой рамки показано со знаком «-»).

Таблица 1

Напряженность поля рассеяния трех рамок одинаковой площади

Действующее значение тока, А			Значение напряженности поля, дБ (мкА/м)	
1	2	3	измеренное	расчетное
0,650	-	-	55,1	57,7
-	0,230	-	49,0	48,6
-	-	0,107	41,9	42,0
-	0,228	0,107	53,1	52,0
0,646	-	0,102	59,4	58,9
0,633	0,217	0,100	59,3	61,0
- 0,630	0,217	0,101	52,2	51,5
-	0,231	0,106	52,5	52,0
- 0,646	0,220	-	56,0	54,1
- 0,650	-	0,104	59,3	56,2

Из результатов экспериментов можно сделать вывод, что при параллельном включении трех рамок в одной плоскости их магнитные поля складываются, а при встречном включении одной из них по отношению к другим происходит частичная их компенсация.

При условии равномерного распределения витков обмоток по периметру сердечника проведены расчет и измерение значения напряженности магнитного поля, создаваемого трансформаторами в схемах источников вторичного электропитания (табл. 2).

Таблица 2

Напряженность поля рассеяния силовых трансформаторов тороидальной конструкции

Схема источника вторичного электропитания	Расстояние до антенны, м	Типоразмер и количество сердечников	Действующее значение тока, А		Значение напряженности поля, дБ (мкА/м)	
			первичная обмотка	вторичная обмотка	измеренное	расчетное
Мостовая	0,5	МП160 K19×11×6,7; 2 шт.	0,930	0,434	54,1	49,0
	0,5	МП140 K24×13×5,2; 1 шт.	1,440	0,300	58,5	54,43
	0,5	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	1,050	0,438	54,0	53,0
	0,5	Феррит K20×12×6; 1 шт.	0,494	0,480	44,0	47,0
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	1,500	1,180	66,3	64,0
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	1,320	0,485	65,0	60,5
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,590	0,695	63,0	57,6
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,700	0,690	63,0	58,3
Однотактная обратнoходовая	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,360	0,570	63,2	54,8
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,425	0,760	57,0	56,9
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,650	0,540	60,3	57,0
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,563	0,563	62,0	56,5
	0,4	МП140 K24×13×5,2; 2 шт.	0,356	0,530	55,5	54,4

Из экспериментов видно, что угловое распределение напряженности магнитного поля силового трансформатора тороидальной конструкции в азимутальной плоскости имеет форму «восьмерки» (рис. 3), как у магнитного диполя.

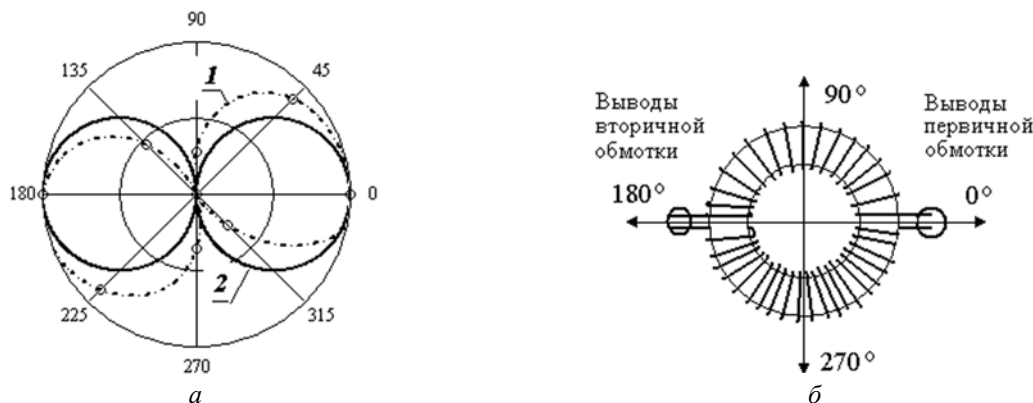


Рис. 3. Поле рассеяния силового трансформатора в азимутальной плоскости (а) и условная система отсчета (б): 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные

Заключение. На основе проведенных исследований возможно сделать следующие выводы:

1. Физическую модель трансформатора тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля можно представить соответствующим количеством рамок одинаковой площади S_k (по количеству обмоток) с действующим значением тока, протекающего через каждую обмотку.

2. По приведенной формуле можно рассчитать минимальную напряженность магнитного поля трансформатора тороидальной конструкции при условии равномерности намотки. Любые неоднородности и несимметричность намотки приводят к увеличению напряженности магнитного поля трансформатора, что негативно влияет на электромагнитную совместимость источника вторичного электропитания.

3. Угловое распределение напряженности магнитного поля силового трансформатора тороидальной конструкции в азимутальной плоскости имеет форму «восьмерки». Для снижения уровня помехоэмиссии в конструкциях источников электропитания располагать силовой трансформатор нужно таким образом, чтобы максимумы напряженности магнитного поля не были направлены на собственные восприимчивые элементы схемы.

Литература

1. Шкоркин В.В. Снижение помехоэмиссии силовых дросселей тороидальной конструкции / В.В. Шкоркин, Ю.М. Казанцев. – Изв. ТПУ. – 2010. – Т. 316, № 4. – С. 107–110.

Бычков Сергей Алексеевич

Аспирант каф. промышленной электроники ТУСУРа,
инженер по испытаниям 3-й кат. ОАО «Научно-производственный центр «Полус»
Тел.: 8 (382-2) 55-59-90
Эл. почта: polus@online.tomsk.net

Шкоркин Вячеслав Васильевич

Канд. техн. наук, начальник сектора ЭМС ОАО «Научно-производственный центр «Полус»
Тел.: 8 (382-2) 55-59-90
Эл. почта: polus@online.tomsk.net

Bychkov S.A., Shkorkin V.V.

Physical model of the transformer toroidal structure as the magnetic field emitter

In the article we propose the model in the form of two equivalent coils with current in order to calculate the scattering field of the toroidal power transformer design used in pulsed sources of secondary power.

Keywords: secondary power sources, rational layout, angular distribution of the field intensity, calculation of the scattering field of the toroidal transformer.