УДК 621.314

С.А. Бычков, В.В. Шкоркин

Трансформатор тороидальной конструкции с заданным распределением напряженности магнитного поля

Для снижения помехоэмиссии импульсных источников вторичного электропитания предложена конструкция тороидального трансформатора с заданным распределением напряженности магнитного поля в ближней зоне.

Ключевые слова: источники вторичного электропитания, помехоэмиссия, рациональная компоновка, угловое распределение напряженности поля трансформатора тороидальной конструкции.

В настоящее время требования к энергопреобразующей аппаратуре по помехоэмиссии ужесточаются. Обеспечение защиты от помех в источниках вторичного электропитания (ИВЭП) с повышением частот преобразования и плотности компоновки элементов становится важнейшей задачей конструирования аппаратуры в целом.

Исследование промышленных образцов ИВЭП показало, что при минимизации площадей излучающих контуров наибольший уровень помех создают электромагнитные элементы – силовые дроссели и трансформаторы. Создаваемые ими паразитные излучения представляют собой поля рассеяния. Поля рассеяния силовых электромагнитных элементов (трансформаторов, дросселей) оказывают паразитное влияние своими кондуктивными наводками на печатные проводники и компоненты электронных схем преобразовательных устройств, что приводит к ложному срабатыванию электронных элементов и повышению кондуктивных электромагнитных помех на входных и выходных цепях преобразователей. Как правило, электромагнитные помехи, создаваемые электромагнитными элементами, являются определяющими в общем уровне радиопомех от преобразовательных устройств.

Графическое изображение характеристики направленности поля в ближней зоне называют угловым распределением напряженности (магнитного или электрического) поля [1]. Угловое распределение напряженности магнитного поля силового трансформатора тороидальной конструкции с равномерным распределением витков обмоток по периметру магнитопровода в азимутальной плоскости имеет форму «восьмерки» (рис. 1), как у магнитного диполя [2].

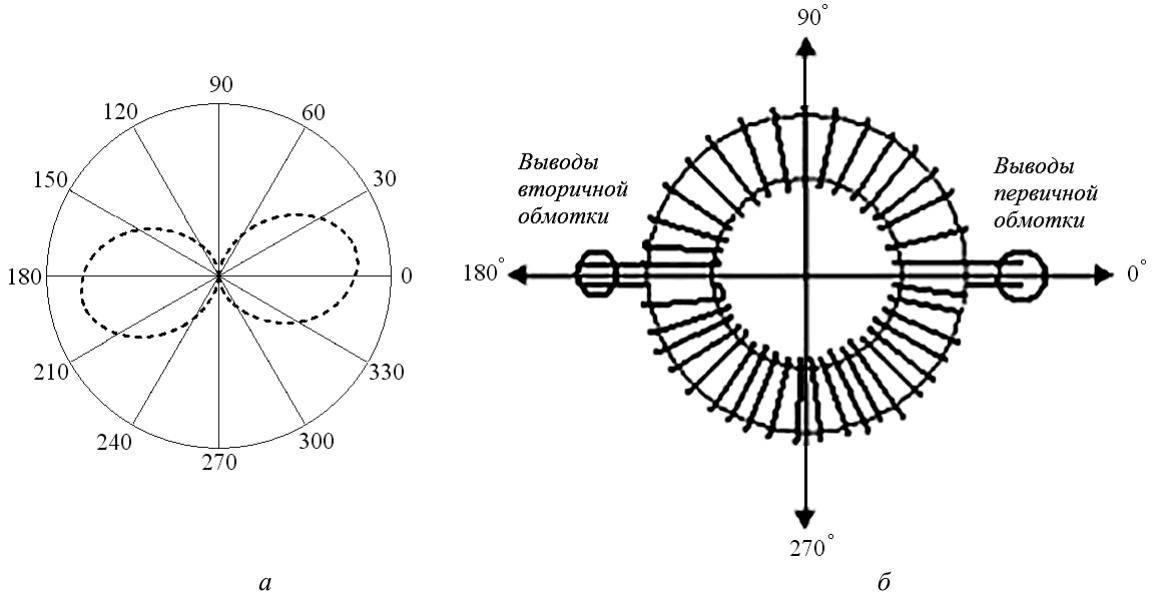


Рис. 1. Поле рассеяния силового трансформатора в азимутальной плоскости (*а*) и условная система отсчета (*б*)

Для обеспечения устойчивой работы преобразователя и снижения уровня кондуктивных помех на входных и выходных цепях преобразователей необходимо учитывать направление максимумов напряженности внешнего магнитного поля с целью уменьшения их влияния на восприимчивые элементы схемы преобразователей, а также на входные и выходные цепи, уровень кондуктивных помех которых ограничен техническими требованиями. Особенно остро этот вопрос стоит при настройке полупроводниковых преобразовательных устройств с высокой плотностью монтажа элементов при промышленном производстве.

Авторами статьи экспериментально установлено, что положение максимумов в угловом распределении напряженности магнитного поля в относительной системе отсчета у силовых трансформаторов и дросселей тороидальной конструкции при равномерном распределении витков обмотки на сердечнике зависит от качества намотки. Так как практически невозможно изготовить электромагнитный элемент с идеальной равномерной намоткой, то малейшее (случайное) отклонение намотки от равномерной приводит к появлению поля рассеяния со случайным распределением напряженности магнитного поля в азимутальной плоскости. Таким образом, угловые распределения максимумов напряженностей магнитных полей электромагнитных элементов из одной партии при производстве будут иметь разные азимутальные направления.

Авторами спроектирован трансформатор тороидальной конструкции с заданным угловым расположением минимумов и максимумов напряженности магнитного поля путем преднамеренного создания неоднородностей в намотке, расположенных друг против друга. Витки обмоток трансформатора равномерно распределены по периметру магнитопровода. Между выводами первичной обмотки создана первая неоднородность в виде пропуска трех витков. Вторая неоднородность, созданная между выводами вторичной обмотки, также выполнена в виде пропуска трех витков. Выводы первичной и вторичной обмоток расположены друг против друга.

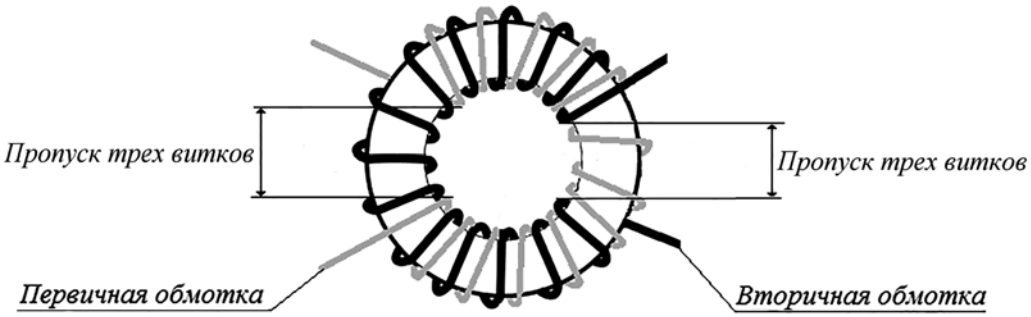
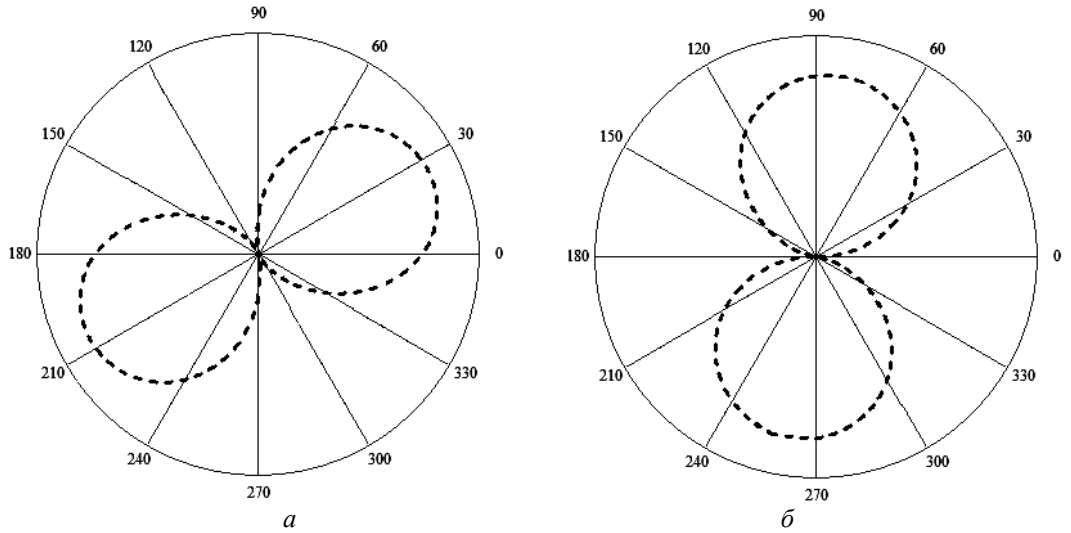


Рис. 2. Неоднородности в обмотках трансформатора

Для исследования углового распределения напряженности магнитного и электрического полей изготовлен поворотный стол из диэлектрического материала, позволяющий установить испытуемый образец на любой угол в трех ортогональных плоскостях относительно измерительной антенны [2]. Измерения напряженности магнитного поля, создаваемого трансформаторами, проводятся в соответствии с ГОСТ Р 51320–99 [3] при условии равномерного распределения витков обмоток по периметру сердечника и при введении в них зазоров. Силовые трансформаторы мостовой и однотактной обратноходовой схем преобразователей выполнены на кольцевых сердечниках молибденового пермаллоя марки МП 140 (2 шт.) с разным количеством витков первичной и вторичной обмоток. В ходе измерений находятся максимальные значения напряженности магнитного поля при прочих равных условиях.

Угловое распределение напряженности магнитного поля трансформатора в азимутальной плоскости построено по экспериментально снятым данным с использованием программы MathCAD в полярной системе координат. За 0° в азимутальной плоскости принято место установки выводов первичной обмотки, а выводы вторичной обмотки совмещены со 180°. Результаты экспериментов показали (рис. 3), что при создании двух неоднородностей в намотке трансформатора их угловые положения совпадают с угловыми положениями минимумов напряженности магнитного поля в азимутальной плоскости, и такое положение «восьмерки» не зависит от схемы преобразователя и количества витков обмоток трансформатора. Однако создание этих неоднородностей в намотке приводит к увеличению напряженности магнитного поля трансформатора на 6–10 дБ.



а *б*

Рис. 3. Угловое распределение напряженности магнитного поля трансформатора:
а – равномерная намотка; *б* – введены неоднородности в намотку

Полученные результаты можно использовать для обеспечения устойчивой работы ИВЭП и снижения уровня кондуктивных помех на входных и выходных цепях. Поле рассеяния трансформатора наводит ток помех на всех цепях ИВЭП. Минимальные и максимальные значения напряженности поля отличаются друг от друга не более чем на 40 дБ, поэтому необходимо размещать силовой трансформатор в конструкции таким образом, чтобы максимумы напряженности магнитного поля не были направлены на восприимчивые элементы схемы, а также на входные и выходные цепи, уровень кондуктивных помех которых оценивается.

Литература

1. Белоцерковский Г.Б. Антенны. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Оборонгиз, 1962. – 492 с.
2. Бычков С.А. Физическая модель трансформатора тороидальной конструкции как излучателя магнитного поля / С.А. Бычков, В.В. Шкоркин // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 1 (31). – С. 51–53.
3. ГОСТ Р 51320–99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи индустриальные. Методы испытаний технических средств – источников индустриальных радиопомех. – М.: Госстандарт РФ, 2000. – 27 с.

Бычков Сергей Алексеевич
Аспирант каф. промышленной электроники ТУСУРа,
инженер по испытаниям 3-й кат. ОАО «Научно-производственный центр «Полюс»
Тел.: 8 (3-822) 55-59-90
Эл. почта: polus@online.tomsk.net

Шкоркин Вячеслав Васильевич
Канд. техн. наук, начальник сектора ЭМС ОАО «Научно-производственный центр «Полюс»
Тел.: 8 (3-822) 55-59-90
Эл. почта: polus@online.tomsk.net

Bychkov S.A., Shkorkin V.V.

Toroidal transformer with preset magnetic field distribution

We offer a toroidal transformer with preset near-field distribution to reduce interference emission of switched mode secondary power supply.

Keywords: Secondary power sources, emission, rational layout, angular distribution of the field strength of the toroidal transformer design.