

НЕТРАДИЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОССЕЛЕЙ

ЮРИЙ ШУВАЕВ, ведущий научный сотрудник, «Концерн «Вега»

В статье рассмотрена и описана конструкция предложенных автором обмоток электромагнитных устройств, выполненных из набора плоских элементов (скоб и круговых колец) различной конфигурации. Подобная конструкция позволяет уменьшить объем и массу трансформаторов и дросселей, улучшить их электрические характеристики, повысить технологичность и снизить трудоемкость изготовления.

Различные электромагнитные устройства — трансформаторы и дроссели — находят широкое применение в электронной и радиотехнической аппаратуре. Для обмоток трансформаторов и дросселей обычно применяются провода круглого или прямоугольного сечения [1]. В некоторых случаях одну из обмоток изготавливают из медной или алюминиевой фольги. Недостатками устройств с такими обмотками являются плохие удельные объемно-массовые характеристики вследствие низкого коэффициента заполнения окна магнитопровода проводниковым материалом, а также низкая технологичность и высокая трудоемкость изготовления обмоток, рассчитанных на низкие напряжения и большие токи нагрузки.

Известны также обмотки, выполненные из листового проводникового материала в виде плоской скобы с контактными площадками для присоединения внешних проводников [2, 3]. Однако скобы, примененные в них, имеют сложную конфигурацию, и как следствие, характеризуются низкой технологичностью и высокой стоимостью изготовления. В работах [2, 3] неудачно решена задача соединения скоб в многovitковую обмотку, видимо, именно по этим причинам обмотки этой конструкции не нашли практического применения.

Предложенная автором и защищенная тремя авторскими свидетельствами и патентом на изобретения [4—7] конструкция четырех основных видов обмоток из плоских элементов (которые в дальнейшем будем называть пластинчатыми), не имеет подобных недостатков. Однако, к сожалению, информация об этих изобретениях не стала достоянием разработчиков namotochnых изделий для радиоэлектронной аппаратуры. Хотя в ряде случаев

эти конструкции имеют несомненные преимущества перед традиционными, и могут быть применены для трансформаторов и дросселей мощных низковольтных и высокочастотных источников вторичного электропитания.

Основная особенность конструкции пластинчатых обмоток заключается в том, что все витки в них состоят из отдельных элементов — деталей одинаковых размеров и конфигурации (скоб или круговых колец) с разрезом, изолированных соответствующим образом друг от друга.

Изготовленные детали могут быть использованы:

- в качестве одновитковых обмоток (обмотки 1-го и 2-го видов);
- для создания обмоток, состоящих из двух витков (обмотки 1-го и 2-го видов);
- для получения многovitковой обмотки, состоящей из нескольких двухвитковых обмоток, соединенных между собой через контактные площадки дополнительными перемычками или без них, либо непосредственно (без специальных контактных площадок, обмотки 1-го и 2-го видов);
- из набора витков, состоящих из двух скоб или круговых колец без специальных контактных площадок, соединенных непосредственно между собой (обмотки 3-го и 4-го видов).

Соединение деталей между собой для получения двух- и многovitковой обмотки производится дуговой или контактной сваркой либо пайкой. Выбор вида пластинчатой обмотки определяется назначением электромагнитного устройства, его конструкцией и параметрами, а также типом примененного магнитопровода.

Изоляция витков, образующих пластинчатую обмотку, может быть различной. В частности, одновитковые обмотки, а также витки после их соединения

в двух- и многovitковую обмотку могут быть обмотаны вполнахлеста конденсаторной, кабельной пропиточной или микалентной бумагой либо фторопластовой лентой. Однако наиболее целесообразным является использование плоских изоляционных прокладок, устанавливаемых между витками обмотки при сборке namotochnого изделия. Прокладки изготавливаются в виде деталей одинаковой конфигурации, форма которых аналогична форме проводниковых элементов, и вырезаются (вырубаются) из листового изоляционного материала — электроизоляционного картона (прессшпана), изоляционной пропиточной бумаги и т.д. При сборке устройства изоляционные прокладки могут быть приклеены к скобам (кольцам) электроизоляционным клеем.

Электромагнитные устройства с пластинчатыми обмотками могут быть выполнены на магнитопроводах из стали различных типов: Ш, ШЛ, ПЛ, ТЛ, ОЛ и т.д., а также на ферритовых магнитопроводах типа Б, Ч, БЧ, Ш, ПК, КВ, К и т.д. Пластинчатые обмотки изготавливаются отдельно и при сборке трансформаторов и дросселей на магнитопроводах ШЛ, ПЛ, Б, КВ и т.д. вкладываются в магнитопровод и закрепляются обычным способом.

После изготовления и сборки пластинчатой обмотки ее пропитывают изоляционным лаком отдельно или совместно с другими обмотками namotochnого изделия. В ряде случаев делается заливка всего изделия герметизирующим составом (компаундом).

Обмотка электромагнитного устройства, изготовленная из плоских элементов, может занимать все окно магнитопровода, как в различных дросселях, или только его часть по ширине или высоте — в трансформаторах. Оставшаяся часть окна в этих случаях

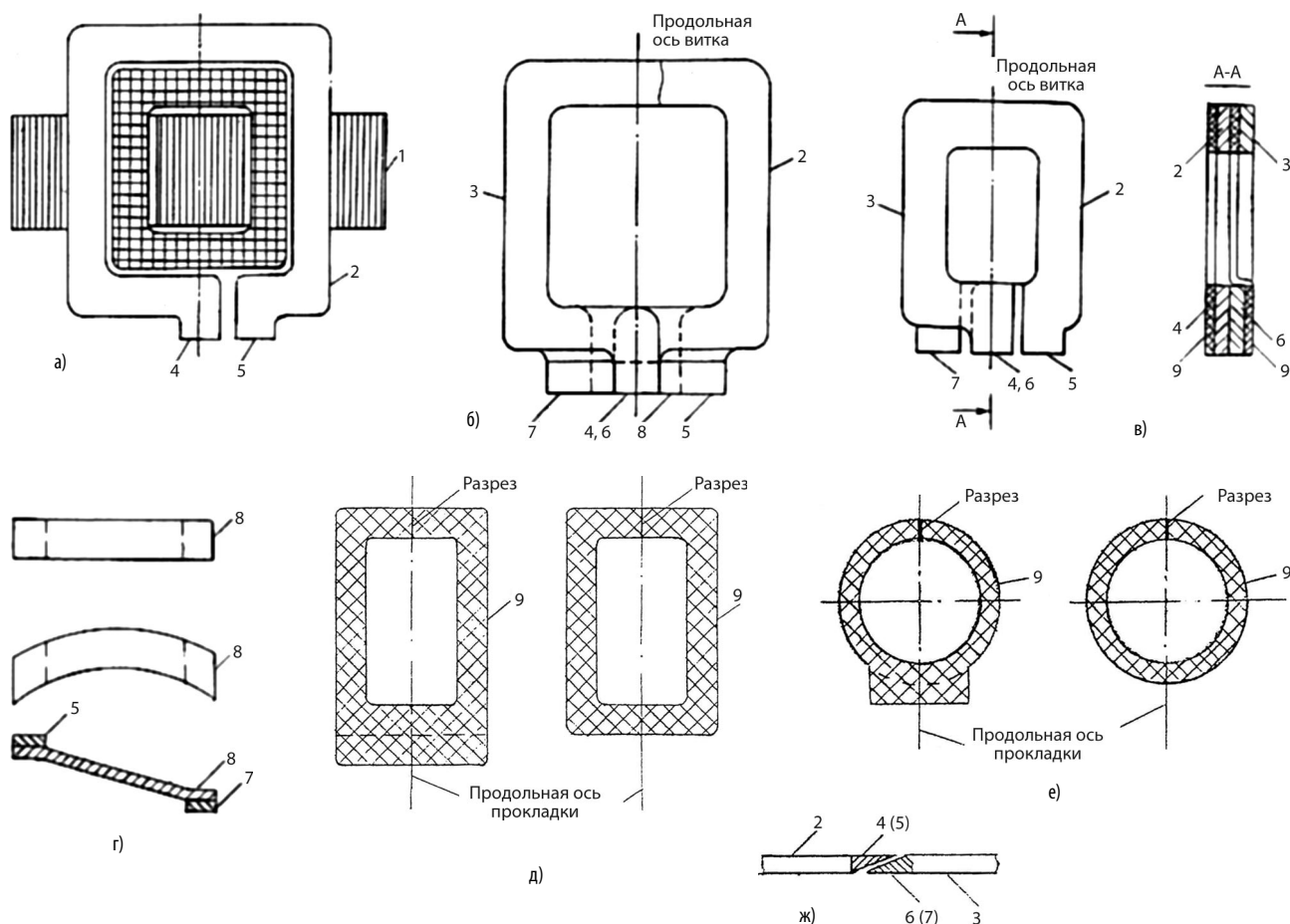


Рис. 1. Электромагнитное устройство с обмоткой 1-го вида: а) разрез; б) многослойная обмотка; в) двухвитковая обмотка; г) перемычки; д), е) модификации изоляционных прокладок; ж) вариант стыковочного соединения контактных площадок: 1 – магнитопровод; 2, 3 – нечетная и четная скобы и круговые кольца; 4, 5 и 6, 7 – специальные контактные площадки скоб и круговых колец; 8 – перемычки; 9 – изоляционные прокладки

занята другими обмотками, намотанными проводом круглого или прямоугольного сечения. В ряде трансформаторов ширина элемента пластинчатой обмотки равна части ширины окна, а оставшаяся часть ширины окна по всей его высоте занимают другие обмотки. В других трансформаторах ширина элемента равна всей ширине окна, а оставшаяся площадь окна по высоте занимают другие обмотки. При этом ширина обеих обмоток равна ширине окна.

Секционированный трансформатор содержит одну или несколько многослойных обмоток, намотанных проводом круглого или прямоугольного сечения и разделенных на несколько частей (секций, галет), и несколько одно-, двух- или многослойных пластинчатых обмоток, выполненных из плоских элементов (скоб или круговых колец). Ширина каждой секции и ширина каждой скобы (кольца) равны ширине окна магнитопровода, причем обмотки из скоб (колец) размещены поочередно между соответствующими секциями другой обмотки. Описанная конструкция секционированного трансформатора обеспечивает хорошую магнитную связь между обмотками.

Электромагнитное устройство с обмоткой 1-го вида содержит магнитопровод 1 и обмотку, выполненную из набора плоских элементов — скоб или круговых колец 2 и 3 одинаковой конфигурации, изготовленных из листового проводникового материала. Каждая скоба (круговое кольцо) имеет контактные площадки для соединения в многослойную обмотку и для присоединения внешних проводников, каждая нечетная скоба — контактные площадки 4 и 5, а каждая четная скоба — контактные площадки 6 и 7. Эскиз устройства и входящих в него деталей представлен на рисунке 1.

Первые контактные площадки 4 и 6 расположены симметрично относительно оси скоб 2 и 3, причем скобы уста-

новлены таким образом, что каждая последующая скоба повернута относительно предыдущей вокруг продольной оси на 180°. Устройство содержит также перемычки 8 в виде плоских пластин и изоляционные прокладки 9.

Отличие пластинчатой обмотки 2-го вида от обмотки 1-го вида заключается в том, что в ней используются скобы другой конфигурации, в которых специальные контактные площадки расположены на разных уровнях относительно поперечной оси скобы, причем обе площадки выполнены симметричными относительно продольной оси скобы. Вследствие этого для образования двух- и многослойных обмоток контактные площадки могут быть соединены непосредственно между собой (без дополнительной перемычки). Это позволило упростить обмотку 2-го вида по сравнению с обмоткой 1-го

ООО СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные КОМПОНЕНТЫ
для ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- держатель SD-карточки
- керамический резонатор на 16 МГц

Москва, ул. Балтийская, 13; e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

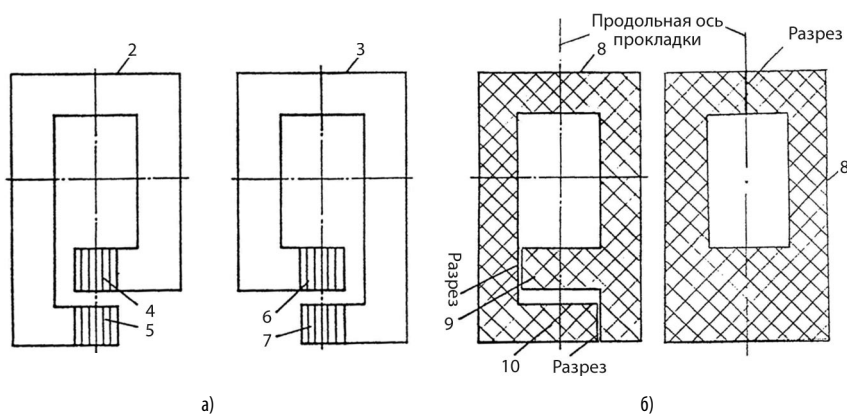


Рис. 2. Пластиначая обмотка 2-го вида: а) четная и нечетная скобы; б) модификации изоляционных прокладок: 2, 3 – нечетная и четная скобы; 4, 5 и 6, 7 – специальные контактные площадки нечетной и четной скобы; 8 – изоляционная прокладка; 9, 10 – перемычки в изоляционных прокладках

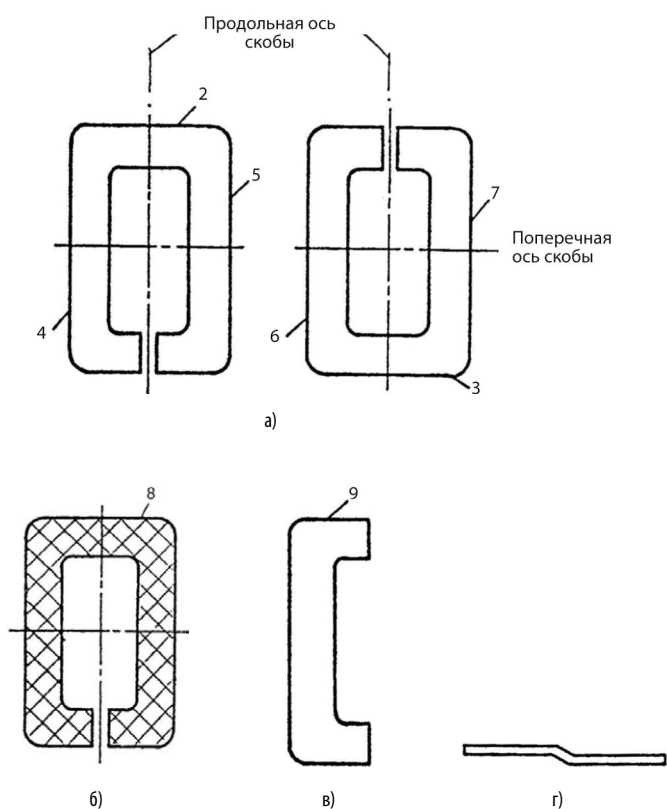


Рис. 3. Пластиначая обмотка 3-го вида: а) нечетная и четная скобы; б) изоляционная прокладка; в) половина скобы; г) скоба, вид с торца; 2, 3 – нечетная и четная скобы; 4, 5 и 6, 7 – половины нечетной и четной скобы; 8 – изоляционная прокладка; 9 – половина скобы

вида, уменьшить ее массу, а также повысить надежность за счет исключения перемычек (см. рис. 2а).

Скобы 2 и 3 этой обмотки, как и в обмотке 1-го вида, снабжены специальными контактными площадками 4, 5 и 6, 7, однако они расположены на разных параллельных уровнях относительно поперечной оси скобы, причем оси симметрии контактных площадок совпадают с продольной осью скобы. Скобы установлены таким образом, что каждая последующая скоба повернута относительно предыдущей вокруг продольной оси на 180° , а между скобами

2 и 3 помещена межвитковая изоляция — изоляционные прокладки 8.

Изоляционные прокладки 8 выполнены в виде пластин и имеют одинаковую форму для каждой обмотки 2-го вида. Могут применяться две модификации прокладок, представленные на рисунке 2б. Первая модификация имеет П-образную форму с односторонними разрезными перемычками 9, 10 в местах расположения контактных площадок 4, 5 и 6, 7 скобы 2 и 3, а вторая модификация имеет форму прямоугольного кольца с разрезом в его верхней части. Пластины устанавливаются в таком положении, что

каждая последующая повернута относительно предыдущей на 180° относительно продольной оси скобы.

Отличие пластиначатой обмотки 3-го вида от предыдущих заключается в том, что в ней для соединения скоб в двух- и многослойную обмотку не предусмотрено специальных контактных площадок, а ее каждый виток образуют две одинаковые скобы, сложенные и соединенные вместе. Обмотка 3-го вида выполнена из набора О-образных плоских скоб одинаковой конфигурации с разрезом, расположенным симметрично относительно их продольной оси.

Скобы, образующие обмотку, можно условно разделить на нечетные 2 и четные 3. Нечетная скоба состоит из первой и второй половин 4 и 5, а четная — из первой и второй — 6 и 7 (см. рис. 3 а). Половины скоб 2 и 3 — первые 4 и 6 и вторые 5 и 7 — могут быть соединены между собой по всей поверхности или по части их поверхности, составляющей 5–10% от площади скобы, вблизи разреза каждой скобы. При этом внутренняя поверхность скоб, образующих виток, может быть покрыта изоляционным лаком. При соединении скоб только по части их площади уменьшается поверхностный эффект — явление отеснения тока к внешней поверхности проводника под действием собственного переменного магнитного поля. Это приводит к уменьшению необходимого сечения проводникового материала и к снижению объема и массы устройства.

Основное отличие обмоток 3-го вида заключается в том, что в нем применены скобы, в которых нет специальных контактных площадок, и соединение половин нечетных и четных скоб производится непосредственно по всей или части поверхности скоб. Исключив контактные площадки, удалось упростить конструкцию скоб и изоляционных прокладок. Снизить трудоемкость изготовления обмотки позволило также упрощение конструкции штампа и технологии соединения скоб между собой. Благодаря этому снизилась и средняя длина витка (на 20–25%) и уменьшились объем и масса устройства. В обмотках 3-го вида элементы, образующие виток, могут быть смещены по продольной оси на толщину плоского проводникового материала, из которого изготовлены элементы. В обмотках 4-го вида в таких операциях нет необходимости.

Пластиначая обмотка 4-го вида является дальнейшим совершенствованием предыдущих конструкций, в частности обмотки 3-го вида. От нее обмотка 4-го вида отличается тем, что разрез в скобах или круговых кольцах этой обмотки расположен несимметрично относительно продольной оси

Светодиоды Sunnix8



SAMSUNG LED

Мощные 1-ваттные светодиоды
Лучшее предложение в классе

Группа компаний «Симметрон» — официальный дистрибьютор Samsung LED



Симметрон

ГРУППА КОМПАНИЙ

Москва (495) 797-5545
moscow@symmetron.ru

Новосибирск (383) 361-3424
sibir@symmetron.ru

Харьков +38 (057) 750-8022
kharkov@symmetron.ua

Санкт-Петербург (812) 449-4000
spb@symmetron.ru

Киев +38 (044) 239-2065
kiev@symmetron.ua

Минск +375 (17) 336-0606
minsk@symmetron.ru

www.symmetron.ru

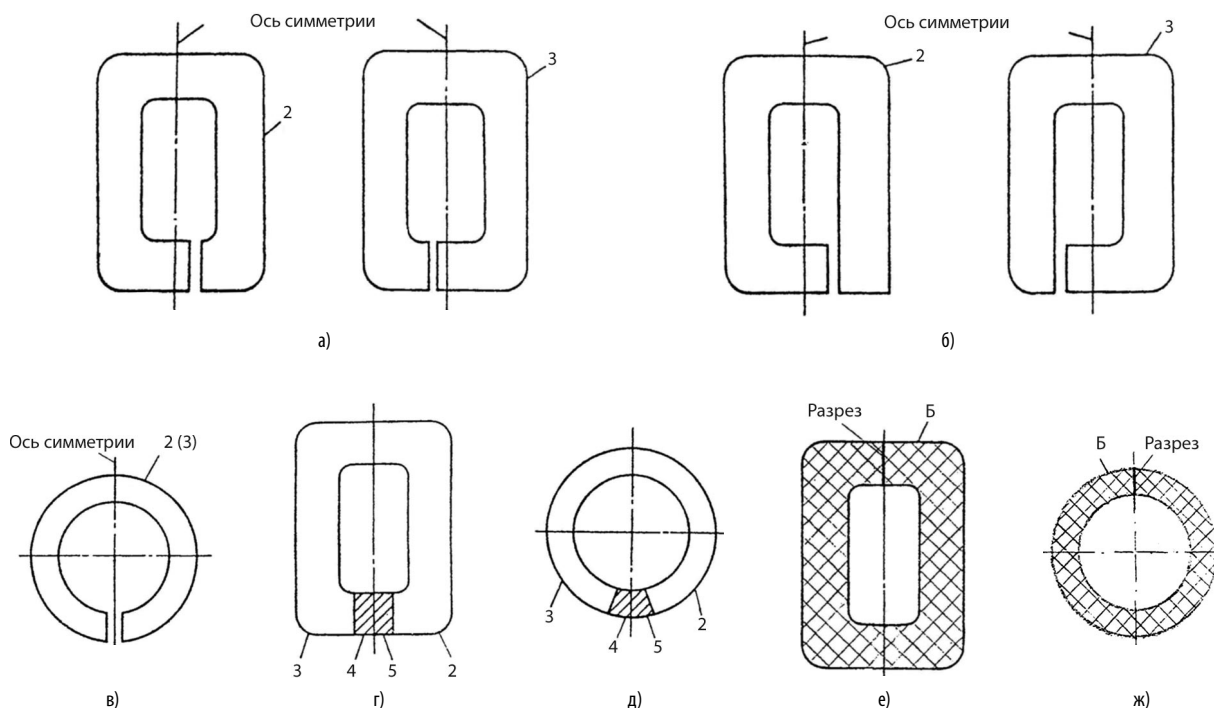


Рис. 4. Пластиная обмотка 4-го вида: а), б) первая и вторая скобы с различным расположением разреза; в) круговое кольцо с радиальным разрезом; г), д) один виток обмотки, состоящий из двух скоб или двух круговых колец; е), ж) — изоляционные прокладки для скоб и круговых колец; 2, 3 — первая и вторая скобы или круговые кольца; 4, 5 — контактные площадки скобы или кругового кольца; 6 — изоляционная прокладка

скобы или смещен относительно одной из осей симметрии. В обмотках 4-го вида, так же как и в обмотках 3-го вида, нет специальных контактных площадок.

Обмотка 4-го вида выполнена из набора плоских элементов одинаковых размеров и конфигурации с разрезом

(см. рис. 4). При сборке обмотки витки, состоящие из двух скоб или двух круговых колец, скрепляются заранее до их соединения в многослойную обмотку.

Для трансформаторов и дросселей, собранных на магнитопроводах типа Ш, ШЛ, ПЛ, ТЛ, ОЛ и т.д., применяются скобы с несимметричным разрезом, а

при использовании ферритовых магнитопроводов типа Б, Ч, БЧ, Ш, ПК, КВ, К и т.д. элементы обмотки должны быть выполнены в виде круговых колец с радиальным разрезом, при этом каждый виток обмотки образует два кольца, сложенные и соединенные вместе, причем одно из колец

повернуто вокруг центра на некоторый угол.

Основное отличие обмоток 4-го вида заключается в том, что разрез в элементах (скобах) смещен параллельно одной из осей симметрии или выполнен радиальным способом (для круговых колец). Каждый виток обмотки образует два элемента, сложенные и соединенные вместе, причем один из элементов (одна из скоб) повернут относительно другого на 180° вокруг оси симметрии или один из элементов (одно из круговых колец) повернут вокруг центра на некоторый угол.

В результате такого соединения образуются части элементов, не соединяемые вместе, которые расположены в разных плоскостях и являются контактными площадками для соединения витков в многовитковую обмотку и для присоединения внешних проводников. Подобная конструкция позволила упростить пластинчатую обмотку и снизить трудоемкость ее изготовления. Все части двух элементов, которые служат для их соединения в один виток, и контактные площадки для соединения витков в многовитковую обмотку расположены с одной стороны относительно магнитопровода, поэтому отсутствует необходимость смещения половин элементов относительно друг друга по продольной оси на толщину проводникового материала (как в обмотке 3-го вида).

Соединение витков в многовитковую обмотку позволяет также при различной конфигурации элементов (скоб или круговых колец) использовать эту обмотку с магнитопроводами различных типов, что расширяет область ее применения.

Применение пластинчатых обмоток позволяет улучшить следующие технические характеристики трансформаторов и дросселей:

- уменьшить объем и массу за счет увеличения коэффициента заполнения окна магнитопровода проводниковым материалом;
- улучшить охлаждение, т.к. плоские витки хорошо отводят тепло из внутреннего объема и выводят его наружу, а контактные площадки являются дополнительным теплоотводом;
- улучшить электрические характеристики — обеспечить идентичность параметров одинаковых обмоток, т.е. активного сопротивления, индуктивности рассеяния и т.д.;
- уменьшить индуктивность рассеяния обмоток и обеспечить хорошую магнитную связь между обмотками;
- в ряде случаев повысить технологичность, снизить трудоемкость и стоимость изготовления за счет применения унифицированных, например,

штампованных, деталей одинаковой конфигурации.

Вместе с тем следует отметить, что пластинчатые обмотки не являются универсальными и не могут во всех случаях заменить собой традиционные обмотки из проводов круглого и прямоугольного сечения.

Особенности и недостатки пластинчатых обмоток:

- низкий коэффициент использования проводниковых и изоляционных материалов;
 - необходимость изготовления специальных штампов для вырубки скоб и прокладок;
 - их целесообразно использовать для ограниченной номенклатуры намоточных изделий;
 - необходимость тщательного анализа технических характеристик изделия с целью оценки экономической целесообразности применения пластинчатых обмоток.
- Пластинчатые обмотки целесообразно применять в намоточных изделиях при их крупносерийном производстве, когда экономически оправданы изготовление специального технологического оборудования и автоматизация процесса изготовления скоб и их соединения в обмотки.

Другой случай применения пластинчатых обмоток — в намоточных изделиях, устанавливаемых в уникальных космических объектах (комплексах), где определяющими являются объем и масса элементов. Пластинчатые обмотки целесообразно использовать в трансформаторах и дросселях, рассчитанных на низкие напряжения и большие токи нагрузки, а также в тех случаях, когда намоточные изделия имеют небольшое число витков. В частности, такие обмотки успешно применяются в секционированных низковольтных выпрямителях, силовой трансформатор которых содержит одну многовитковую первичную обмотку, намотанную проводом круглого или прямоугольного сечения, а дроссель фильтра имеет N пластинчатых обмоток с небольшим количеством витков.

В заключение проиллюстрируем преимущества пластинчатых обмоток несколькими примерами. Был произведен расчет, проектирование, экспериментальная проверка и внедрение в реальную аппаратуру следующих намоточных изделий.

Пример 1. Трехфазный трансформатор с первичным питающим напряжением 3...200 В, 400 Гц. Первичная обмотка намотана проводом круглого сечения. Напряжение каждой вторичной обмотки 2 В, ток нагрузки 15 А. Число вторичных обмоток каждой фазы — 24, число витков каждой вто-

ричной обмотки — 1. Трансформатор с пластинчатыми обмотками имеет объем (на 18%) и массу (на 14%) меньше, чем аналогичный трансформатор с вторичными обмотками, намотанными проводом прямоугольного сечения. Параметры вторичных обмоток названных трансформаторов отличаются друг от друга на $\pm 0,5\%$ и $\pm 2\text{—}3\%$ соответственно.

Пример 2. Дроссель фильтра, рассчитанный на номинальный ток подмагничивания 40 А и индуктивность 2,5 мГн. Обмотка первого дросселя была намотана проводом прямоугольного сечения, а второго — собрана из скоб 4-го вида. Дроссель с пластинчатыми обмотками имеет объем в 1,8 раза и массу в 1,4 раза меньше, чем дроссель с обмоткой из провода прямоугольного сечения.

Пример 3. Секционированный трансформатор с пластинчатыми обмотками, собранный на магнитопроводе СБ-48 и рассчитанный на частоту 30 кГц, применен в сетевом ИВЭП с выходным напряжением 5 В и током нагрузки 30 А, работающим от сети 220 В, 50 Гц [8].

Первичная обмотка состоит из трех секций, намотанных проводом с диаметром 0,75 мм, а вторичная обмотка представляет собой четыре двухвитковые секции из круговых колец, изготовленных из листовой меди толщиной 0,5 мм. Подобная конструкция обмоток трансформатора позволила существенно снизить его индуктивность рассеяния и улучшить другие электрические характеристики по сравнению с традиционными конструкциями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каретникова Е.И., Рычина Т.А., Ермаков А.И. Трансформаторы питания и дроссели фильтра для радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Советское радио, 1973.
2. Патент Франции №2476898, Кл. НОИФ 27/28, 1981.
3. Патент США №4367450, Кл. 336-200, 1983.
4. Шуваев Ю.Н. Электромагнитное устройство//Авторское свидетельство №1358009, НОИФ 27/28, Б.И. 1987, №45.
5. Шуваев Ю.Н. Электромагнитное устройство//Авторское свидетельство №1410118, НОИФ 27/28, Б.И. 1988, №26.
6. Шуваев Ю.Н., Грищенко Г.Ф. Электромагнитное устройство//Авторское свидетельство №1601647 НОИФ 27/28, Б.И. 1988, №39.
7. Шуваев Ю.Н. Электромагнитное устройство//Патент №2040059 РФ, НОИФ 27/28, Б.И. 1995, №20.
8. Поликарпов А.Г., Сергиенко Е.Ф. Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА. — М.: Радио и связь, 1989.