

ИНДУКТОР С ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ДЛЯ ЗАЧИСТКИ ЛАКИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ МЕТОДОМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Р.Г. Калинин, В.Д. Семенов, В.А. Федотов
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск, rokali@mail.ru

Моточные изделия одни из самых трудоемких устройств в электротехнике. До сих пор их производство до конца не автоматизировано. В частности, зачистка концов обмоток с целью дальнейшего лужения и пайки(сварки) до сих пор производится вручную.

Для повышения скорости и качества зачистки медных лакированных проводов нами разработано устройство Zetta[1]. Прибор состоит из блока управления и блока нагрева.

Блок управления включает в себя вторичный источник питания на основе однотактного обратного преобразователя с многоканальным стабилизированным выходом, и микроконтроллерную систему управления нагревом.

Блок нагрева представляет собой высокочастотный полумостовой инвертор с автоподстройкой частоты и последовательным резонансным LC-контуром, состоящим из индуктора L, на основе концентратора магнитного потока, и резонансной емкости C.

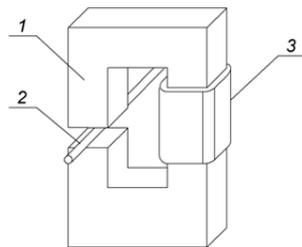


Рис 1. Индуктор с концентратором магнитного потока. 1 – магнитопровод, 2 – зачищаемый участок провода, 3 – обмотка индуктора.

Зачищаемый провод помещается в зазор концентратора (рис 1), где под воздействием высокочастотного магнитного поля на его поверхности наводятся вихревые токи (токи Фуко)[2]. Вихревые токи разогревают жилу изнутри, что ведет не только к разрушению лака под действием температуры, но и к нарушению целостности лакового покрытия при расширении материала провода.

При разработке индуктора с концентратором, прежде всего, необходимо задаться его рабочей частотой, конструкцией и материалом магнитопровода. Далее производится расчет мощности требуемой для нагрева провода помещенного в зазор индуктора. Из-за малых размеров зачищаемого провода (от 0,15мм до 1мм) необходимо работать в области высоких частот, лежащих в диапазоне от сотен килогерц до единиц мегагерц, что в свою очередь является сложной задачей для разработки транзисторного инвертора. При таких рабочих частотах наиболее приемлемым магнитным материалом является феррит U-образного типа. Известно [3], что для концентрации магнитного потока используются специальные конусообразные наконечники с углом раствора усеченного конуса $\Theta = 110-120^\circ$. Ширина зазора магнитопровода однозначно определяется диаметром зачищаемого провода.

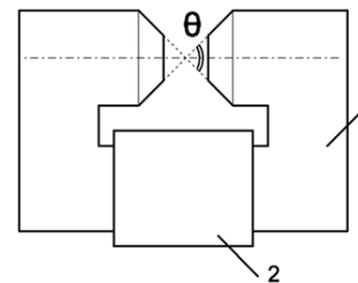


Рис 2. Концентратор с обточенными кернами. 1 – магнитопровод, 2 – обмотка индуктора.

Кроме того, немаловажное значение имеет правильное размещение обмотки. Если разделить обмотку индуктора и намотать на каждом керне вблизи зазора(рис. 3), это позволит сформировать более однородное поле.

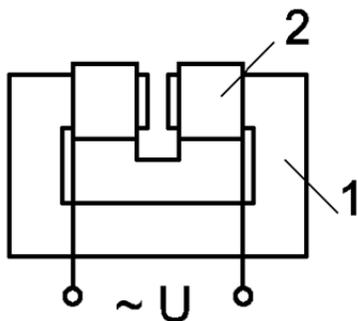


Рис 3. Эффективное размещение обмотки. 1 – магнитопровод, 2 – обмотка индуктора.

Наиболее распространенными проводами для намотки являются провода марок ПЭВ и ПЭТВ, с изоляцией на основе полиэфирных смол. Разрушение полиэфирных смол происходит при температурах около 360°C. Рассчитаем мощность, требуемую для нагрева участка провода за заданное время и обеспечивающую разрушение лака, при допущении, что вся мощность уходит в нагрев этого участка. Мощностью излучения в окружающую среду и передачей тепла по проводу пренебрежём. Зная физические свойства нагреваемого объекта, можно оценить мощность нагрева на единицу длины провода.

$$\frac{P}{l} = \frac{\pi d^2 \rho c \Delta T}{4 \Delta t} \approx 543 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Для того, чтобы нагреть конец медного провода (диаметром $d = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, плотностью $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, теплоемкостью $0,385 \text{ кДж/(кг К)}$) до температуры $T = 400^\circ \text{C}$, требуется в течении 300мс обеспечивать мощность нагрева 543 Вт/м. Оценить тепловложения при индукционном нагреве можно путем математического моделирования процесса нагрева провода с применением метода конечных элементов.

Математическая модель индукционного нагрева медного провода построена с применением модуля AC/DC магнитостатики программного пакета Comsol Multiphysics[4]. Цилиндрический объект с физическими параметрами меди помещается в однородное поперечное поле с заданными параметрами частоты и индукции магнитного поля. Измеряются значения тепловых потерь на единицу длины путем изменения частоты магнитного поля для разных значений индукции (0,1Тл, 0,2Тл, 0,3Тл). Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

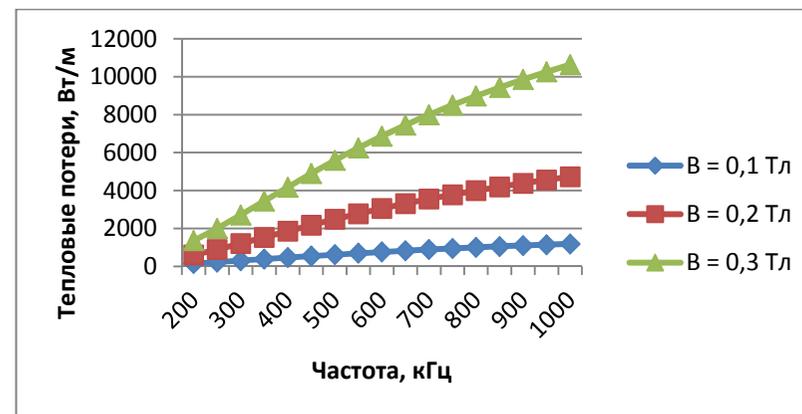


Рис 4. Зависимости тепловых потерь на единицу для провода 0,3мм.

По результатам полученным в эксперименте видно, что расчетной мощности можно достичь при частоте магнитного поля 450кГц с индукцией в зазоре индуктора равной 0,1Тл. Увеличив индукцию до 0,2Тл, можно получить рассчитанную мощность на более низких частотах, в районе 200кГц. Уменьшение частоты рабочего тока ведет к уменьшению динамических потерь ключей силового инвертора, что в целом положительно влияет на работу всего устройства.

Полученные результаты позволяют уточнить параметры индуктора и его тепловые режимы, используя при этом известные методы расчета потерь в магнитоприводе и обмотке.

Литература:

1. Пат. 97011 Российская Федерация, МПК H02G 1/12. Устройство для снятия изоляции с проводов [Текст] / Артеев М.С., Сарин П.С., Семенов В.Д., Федотов В.А., Вааль В.В.; опубл. 20.08.2010. Бюл. №23.
2. Калашников С.Г. Электричество / С.Г. Калашников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.
3. Гайдуков Ю.П. Физические основы и методы получения магнитного поля // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 4. – С. 97-105.
4. Калинин Р.Г., Федотов В.А. Исследование влияния продольного и поперечного высокочастотных магнитных полей на медный проводник с использованием программного пакета Comsol Multiphysics // Научная сессия ТУСУР–2013. – Томск: В-Спектр, 2013: В 5 частях. – Ч. 2. – С. 185-188