

УДК 621.3

ВИХРЕВЫЕ ТОКИ ФУКО

Малашук А.М., Сычик А.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Пекарчик О.А.

Токи Фуко (в честь Фуко, Жан Бернар Леон) — это вихревые замкнутые электрические токи, возникающие в массивном проводнике при изменении пронизывающего его магнитного потока.

Впервые вихревые токи были обнаружены французским учёным Араго в 1824 г. в медном диске, расположенном на оси под вращающейся магнитной стрелкой. За счёт вихревых токов диск приходил во вращение. Это явление, названное явлением Араго, было объяснено несколько лет спустя М. Фарадеем с позиций открытого им закона электромагнитной индукции: вращаемое магнитное поле наводит в медном диске токи (вихревые), которые взаимодействуют с магнитной стрелкой. Вихревые токи были подробно исследованы французским физиком Фуко и названы его именем. Фуко в 1855 г. обнаружил нагревание ферромагнитных сердечников электрических машин и других металлических тел в переменном магнитном поле и объяснил этот эффект возбуждением индукционных токов.

Токи Фуко возникают под воздействием переменного электромагнитного поля и по физической природе ничем не отличаются от индукционных токов, возникающих в линейных проводниках. Они вихревые, то есть, замкнуты в кольца. Электрическое сопротивление массивного проводника мало, поэтому токи Фуко достигают очень большой силы. В соответствии с правилом Ленца они выбирают внутри проводника такое направление и путь, чтобы противиться причине, вызывающей их. Поэтому движущиеся в сильном магнитном поле проводники испытывают сильное торможение, обусловленное взаимодействием токов Фуко с магнитным полем. Это свойство используется для подвижных частей гальванометров, сейсмографов и др.

Во многих случаях токи Фуко бывают нежелательными, поэтому приходится принимать специальные меры для их уменьшения. В частности, эти токи вызывают нагревание ферромагнитных сердечников трансформаторов и металлических частей электрических машин. Для снижения потерь электрической энергии из-за возникновения вихревых токов сердечники трансформаторов изготавливают не из сплошного куска ферромагнетика, а из отдельных металлических пластин, изолированных друг от друга диэлектрической прослойкой.

Вихревые токи возникают в самом проводнике, по которому течет переменный ток, что приводит к неравномерному распределению тока по сечению проводника. В моменты увеличения тока в проводнике индукционные вихревые токи направлены у поверхности проводника по первичному току, а у оси проводника – навстречу току. В результате внутри проводника ток уменьшается, а на поверхности увеличивается (ток «вытесняется» на поверхность проводника). Это явление называется электрическим скин-эффектом. Взаимодействие вихревых токов с основным магнитным потоком приводит проводящее тело в движение. Это явление используется в измерительной технике, в машинах переменного тока и т.д.

Если железный сердечник находится в переменном магнитном поле, то в нем под действием индукционного электрического поля наводятся внутренние вихревые токи – токи Фуко, ведущие к его нагреванию. Так как электродвижущая сила индукции всегда пропорциональна частоте колебаний магнитного поля, а сопротивление массивных проводников мало, то при высокой частоте в проводниках будет выделяться большое количество теплоты.

Полезное применение вихревые токи нашли в устройстве магнитного тормоза диска электрического счетчика. Вращаясь, диск пересекает магнитные силовые линии постоянного магнита. В плоскости диска возникают вихревые токи, которые, в свою очередь, создают свои магнитные потоки в виде трубочек вокруг вихревого тока. Взаимодействуя с основным

полем магнита, эти потоки тормозят диск. В ряде случаев, применяя вихревые токи, можно использовать технологические операции, которые невозможно применить без токов высокой частоты. Например, при изготовлении вакуумных приборов и устройств из баллона необходимо тщательно откачать воздух и иные газы. Однако в металлической арматуре, находящейся внутри баллона, имеются остатки газа, которые можно удалить только после заваривания баллона. Для полного обезгаживания арматуры вакуумный прибор помещают в поле высокочастотного генератора, в результате действия вихревых токов арматура нагревается до сотен градусов, остатки газа при этом нейтрализуются.

Вихревые токи находят полезное применение в электрометаллургии при индукционной плавке металлов и поверхностной закалке токами высокой частоты. Металл помещают в переменное магнитное поле, создаваемое током частотой 500 – 2000 Гц. В результате индуктивного разогрева металл плавится, а тигель, в котором он находится, при этом остается холодным. Например, при подведенной мощности 600 кВт тонна металла плавится за 40–50 минут.

Еще один интересный пример использования вихревого тока – применение его в электросчетчиках. В нижней части каждого счетчика расположен тонкий алюминиевый диск, который всегда вращается. Это диск движется в магнитном поле, так что там всегда есть вихревые токи, цель которых замедлить движения диска. Благодаря этому датчик работает точно и без перепадов.

В заключении отметим, что токи Фуко – достаточно любопытное явление. Они применяются во различных отраслях промышленности. В то же время они могут оказывать негативное влияние на работу электротехнического оборудования.

Литература

1. Токи Фуко (вихревые токи) [Электронный ресурс]: URL: http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/электромагнетизм/03-5.htm
2. Автоматизация и электрика [Электронный ресурс]: Вихревые токи // URL: <http://www.asutpp.ru/osnovy-elektrotexniki/vixrevye-toki.html>
3. Электротехника [Электронный ресурс]: Вихревые токи // URL: <http://electrono.ru/elektromagnetizm-i-elektromagnitnaya-indukciya/22-vixrevye-toki>