

Дрова. Исследовано множество путей использования древесины, например, для производства компостов, органических удобрений, брикетирование и последующее использование в качестве промышленного и бытового топлива и др. На сегодня, Беларусь – одно из немногих государств в Европе, обладающее огромным количеством зеленых насаждений (соответственно и древесины). Исходя из этого, теоретически, пятую часть необходимой энергии мы можем получать из древесины, но тогда потребуются свернуть деревообрабатывающие производства или подготовить себя к тому, что в один прекрасный день в Беларуси абсолютно не останется лесов. Так как стоимость древесины на мировых рынках будет расти, потому экономически не целесообразно использовать древесину на топливо.

Твердые бытовые отходы. В Республике Беларусь ежегодно накапливается около 2,4 млн. т твердых бытовых отходов, которые направляются на свалки и два мусора-перерабатывающих завода (Минский и Могилевский). Потенциальная энергия, заключенная в твердых бытовых отходах, образующихся на территории республики, равноценна 470 тыс. т у.т. Эффективность данного направления следует оценивать не только по выходу биогаза, но и по экологической составляющей, которая в данной проблеме будет основной.

Республика Беларусь относится к категории стран, не обладающих значительными запасами топливно-энергетических ресурсов. Несмотря на это наша страна способна обеспечить порядка 30 % собственных нужд в энергетике, используя нетрадиционные источники энергии.

Литература

1. Лаврентьев, Н.А. Белорусская ветроэнергетика – реалии и перспективы // Энергия и менеджмент. – 2002. – № 4. – С. 10–12.
2. Основы энергосбережения: цикл лекций / Под ред. Н.Г. Хутской. – Минск: УП «Технология», 1999. – 100 с.
3. expo2000.bsu.by/mail_document.idc?id=47&ps=98.

УДК 621.316.176

АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ СЕРДЕЧНИКОВ МАГНИТОПРОВОДОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Воробей А.М.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент СОНЧИК Л.И.

Намагничивание сердечников электромагнитных устройств сопровождается сложным комплексом явлений, одним из которых является необратимое изменение намагниченности ферромагнетика, выражающееся в неоднозначной зависимости между величинами, характеризующими его магнитное поле [1]. В качестве таких характерных величин магнитного поля в данной работе приняты индукция и напряженность магнитного поля.

При установлении связи между индукцией и напряженностью магнитного поля следует пользоваться семейством динамических частных циклов, наиболее полно отражающих истинную картину поведения ферромагнетика в переменных магнитных полях и обеспечивающих точность расчетов при их применении [2].

В некоторых случаях расчетов электромагнитных устройств возможна замена неоднозначной зависимости между индукцией и напряженностью магнитного поля однозначной кривой намагничивания. При этом важным вопросом аналитического пред-

ставления характеристик намагничивания сердечников из ферромагнитных материалов является выбор типа кривой намагничивания.

При исследовании различных электромагнитных устройств, в том числе и преобразователей частоты, часто используется основная кривая намагничивания, являющаяся геометрическим местом вершин установившихся симметричных петель гистерезиса [3]. Однако более оправданным при выборе однозначной зависимости между индукцией и напряженностью магнитного поля для расчетов преобразовательных устройств является применение средней кривой намагничивания, отличающейся от основной кривой отсутствием начального изгиба и располагающейся ближе к оси ординат на координатной плоскости.

Широкое распространение основной кривой намагничивания объясняется ее большей доступностью, наличием в различных справочниках [4], в то время как при получении средней кривой намагничивания обнаруживаются трудности, заключающиеся в необходимости экспериментального определения семейства петель гистерезиса для ее построения, что является трудоемким процессом.

Однако аппроксимация основной кривой намагничивания может привести к принципиально ошибочным результатам, в особенности, если использовать аппроксимацию начального участка основной кривой намагничивания [5]. Поэтому некоторые авторы рекомендуют при аналитических расчетах аппроксимировать «среднюю» кривую намагничивания, а еще лучше – семейство «средних» кривых намагничивания.

Кривую намагничивания можно легко аппроксимировать, зная информацию о гармоническом спектре кривой тока. Однако для этой цели требуется специальное оборудование – анализатор гармоник тока.

В данной работе решена задача аппроксимации кривой намагничивания сердечника, если известна вольтамперная характеристика индуктивной катушки для действующих значений.

Выберем в качестве выражения, аппроксимирующего кривую намагничивания для мгновенных значений, гиперболический синус, который часто используется при аналитическом расчете цепей, содержащих катушки с ферромагнитными сердечниками:

$$h = \alpha \operatorname{sh} \beta b, \quad (1)$$

где h и b – мгновенные значения напряженности магнитного поля и мгновенной индукции;

α и β – коэффициенты аппроксимации.

Найдем действующее значение напряженности магнитного поля:

$$H = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T h^2 dt}.$$

Откуда с учетом выражения (1):

$$H^2 = \frac{1}{T} \int_0^T h^2 dt = \frac{\alpha^2}{T} \int_0^T \operatorname{sh}^2 \beta b dt.$$

Учитывая известное соотношение:

$$\operatorname{sh}^2 \beta b = \frac{1}{2} \operatorname{ch} 2\beta b - \frac{1}{2}. \quad (2)$$

Таким образом:

$$H^2 = \frac{\alpha^2}{2T} \int_0^T (\operatorname{ch} 2\beta b - 1) dt. \quad (3)$$

Пусть магнитная индукция изменяется по закону:

$$b = B_{\max} \cos \omega t .$$

Тогда, учитывая формулу разложения гиперболического косинуса от его аргумента в ряд Фурье в выражении (3) и, выполняя интегрирование, получим:

$$H^2 = \frac{\alpha^2}{2} [J_0(2\beta B_{\max}) - 1],$$

где $J_0(2\beta B_{\max})$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Коэффициенты аппроксимации могут быть определены по двум характерным точкам кривой намагничивания. Подставляя координаты этих точек в выражение (2), получим систему двух уравнений:

$$H_1^2 = \frac{\alpha^2}{2} [J_0(2\beta B_{1\max}) - 1]; \quad (4)$$

$$H_2^2 = \frac{\alpha^2}{2} [J_0(2\beta B_{2\max}) - 1].$$

Из этой системы уравнений находим коэффициенты аппроксимации.

Так, разделив первое уравнение на второе, получим:

$$\left(\frac{H_1}{H_2}\right)^2 = \frac{J_0(2\beta B_{1\max}) - 1}{J_0(2\beta B_{2\max}) - 1}. \quad (5)$$

Учитывая, что:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{I_1}{I_2},$$

окончательно получим:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{J_0(2\beta B_{1\max}) - 1}{J_0(2\beta B_{2\max}) - 1}.$$

Используя приближенные приемы вычислений, находим из (5) коэффициент β .

Коэффициент α находим из (4):

$$\alpha = \frac{H_1}{\sqrt{\frac{1}{2} [J_0(2\beta B_{1\max}) - 1]}} = \frac{H_2}{\sqrt{\frac{1}{2} [J_0(2\beta B_{2\max}) - 1]}} , \quad (6)$$

где H_1 и $B_{1\max}$, H_2 и $B_{2\max}$ – находятся по вольтамперной характеристике для действующих значений.

В настоящей работе разработан и другой простой метод аппроксимации «средних» кривых намагничивания, устраняющий некоторый произвол в выборе рабочей точки аппроксимирующей кривой и также не требующий предварительного определения петель гистерезиса. Метод основан на измерении двух характеристик катушки с ферромагнитным сердечником: вольтамперной характеристики по действующим значениям и вольтамперной характеристики по амплитудным значениям.

Выберем в качестве выражения, аппроксимирующего «среднюю» кривую намагничивания, выражение (1).

При синусоидальном законе изменения магнитной индукции:

$$b = B_{\max} \sin \omega t ,$$

действующее значение напряженности поля можно определить из выражения:

$$H = \alpha \sqrt{\frac{1}{2} [J_0(2\beta B_{\max}) - 1]}. \quad (7)$$

Амплитуда напряженности магнитного поля связана с амплитудой магнитной индукции соотношением:

$$H_{\max} = \alpha \operatorname{sh} \beta B_{\max}. \quad (8)$$

Решая систему уравнений (6) и (8) находим коэффициенты аппроксимации.

Так, коэффициент β находится из выражения:

$$\frac{H_{\max}}{H} = \frac{\sqrt{2} \alpha \operatorname{sh} \beta B_{\max}}{\sqrt{J_0(2\beta B_{\max}) - 1}}.$$

С учетом найденного значения β коэффициент α определяется из выражения (8):

$$\alpha = \frac{H_{\max}}{\operatorname{sh} \beta B_{\max}}$$

или выражения (7):

$$\alpha = \frac{\sqrt{2} H}{\sqrt{J_0(2\beta B_{\max}) - 1}}.$$

Амплитудные значения индукции и напряженности магнитного поля, и действующее значение напряженности магнитного поля, необходимые для определения коэффициентов аппроксимации, рассчитываются по показаниям измерительных приборов:

$$B_{\max} = \frac{U}{4.44 fWS};$$

$$H = \frac{IW}{l}; \quad H_{\max} = \frac{I_{\max} W}{l},$$

где

$$I_{\max} = \frac{U_{cp}}{4 fM}.$$

Коэффициенты аппроксимации «средних» кривых намагничивания зависят от амплитуды магнитной индукции.

Литература

1. Вонсовский, С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971.
2. Матханов, П.Н. Основы анализа электрических цепей. (Нелинейные цепи). – М.: Высшая школа, 1977.
3. Кифер, И.И. Испытания ферромагнитных материалов. (Магнитные измерения). – 2-е изд. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.
4. Кифер, И.И. Характеристики ферромагнитных элементов. – М.: Энергия, 1967.
5. Янус, Р.И., Фридмен, Л.А. О случаях неправильного применения коммутационной кривой магнитности при расчетах цепей с ферромагнетиками. – М.: Электричество, 1968.

УДК 621.3

СВЕТОДИОДНЫЕ ПРИНТЕРЫ: ДОСТОИНСТВА ТЕХНОЛОГИИ

Ханцевич О.В., Новиков П.В.

Научный руководитель – ЖУКОВСКАЯ Т.Е.

С давних уже (по компьютерным меркам) времен мировой рынок печатающих устройств делит между собой всего несколько технологий вывода на бумагу. Это: