

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Энергосберегающие технологии, используемые в промышленности, представляют собой достаточно обширный перечень мероприятий, нацеленных на повышение энергоэффективности производства. Однако все эти мероприятия в конечном итоге преследуют одну цель: снижение производственных издержек на единицу продукции. Или иными словами, нацелены на повышение коэффициента полезного действия производства.

Однако какими бы ни были мероприятия по повышению энергоэффективности, их основой является та часть энергии, которая теряется в процессе производства. Или иными словами это потери энергии. Поиск величины потерь энергии является ключевым моментом при выборе мероприятий по энергосбережению.

Электрические машины в последнее время всё чаще рассматриваются как объект использования энергосберегающих технологий. Хотя, сам по себе потенциал энергосбережения в электрических машинах практически отсутствует (как правило, электрические машины спроектированы на режим максимально возможного КПД), однако при возникшей в последнее время проблеме качества электроэнергии (особенно при высоких уровнях гармонических составляющих), потери в электрических машинах могут достигать достаточно большой величины. Последние негативно сказываются как на энергопотреблении, так и на сроке службы электрических машин, который снижается вследствие превышения допустимой температуры изоляции обмоток.

Определение величины потерь в электрических машинах является достаточно сложной задачей. Если с определением величины потерь в меди проблем, как правило, не возникает, то определение потерь в стали становится достаточно трудоемкой задачей, поскольку потери в стали обусловлены как конструктивными параметрами машины, так и магнитными свойствами электротехнической стали, используемой в магнитопроводе.

Различают два типа потерь в стали: потери на гистерезис и потери, обусловленные вихревыми токами. Потери на гистерезис обусловлены величиной остаточной намагниченности и характеризуются величиной коэрцитивной силы – значением напряженности магнитного поля, необходимой

для снятия остаточной намагниченности. Величина потерь от вихревых токов обусловлена, как правило, конструкцией магнитопровода, а также скоростью изменения величины магнитной индукции в магнитопроводе.

Вихревые токи, помимо нагрева магнитопровода, оказывают еще одно негативное влияние: вектор магнитной индукции вихревого тока противоположно направлен основному магнитному потоку. В результате чего общее значение магнитного потока уменьшается. Что сказывается на величине коэффициента полезного действия электрической машины.

Одной из основных характеристик магнитного материала является кривая намагничивания (статическая характеристика), и её следствие - петля гистерезиса (динамическая характеристика). Петля гистерезиса магнитного материала представлена на рисунке 1.

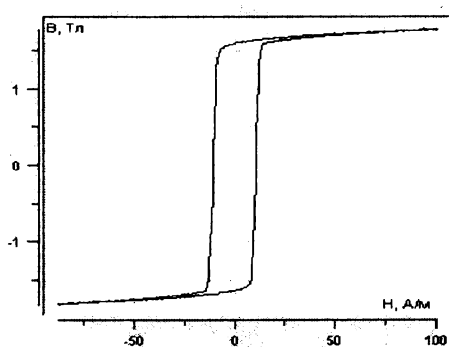


Рис. 1. Петля гистерезиса магнитного материала

Петля гистерезиса характеризует потерю энергии на перемагничивание, и пропорциональна площади петли гистерезиса.

Следует отметить, что значение магнитной индукции при снятии петли гистерезиса с образца электротехнической стали будет учитывать потери не только на гистерезис, но и на вихревые токи. Таким образом, петля гистерезиса, снятая с образца магнитного материала будет характеризовать потери в стали.

Предлагаемый способ снятия петли гистерезиса магнитного материала отличается от остальных тем, что для его реализации нет необходимости иметь две магнитосвязанные катушки. Данный способ, на основании конструктивных параметров катушки (длина средней линии, площадь сечения магнитопровода и

пр.), а также осциллограмм тока и напряжения позволяет построить петлю гистерезиса. Для вычисления параметров петли гистерезиса достаточно снять один период колебаний тока и напряжения в любой момент времени. В основе способа лежит взаимосвязь между электрическими и магнитными параметрами. Для определения напряженности магнитного поля используется теорема о циркуляции вектора напряженности:

$$\oint B dL = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (1)$$

Для замкнутого магнитопровода, одинакового по всей длине средней линии сечения теорема (1) будет выглядеть следующим образом:

$$H = \frac{IW}{l}, \quad (2)$$

где I – ток протекающий по катушке; W – число витков; l – длина средней линии магнитопровода.

Вычисление магнитной индукции происходит в несколько этапов:

1. Вычисляется ЭДС самоиндукции по выражению:

$$E_{en} = I \cdot R - U \quad (3)$$

где I – ток протекающий по катушке; R – активное сопротивление катушки; U – приложенное напряжение;

2. Производится численное интегрирование функции ЭДС самоиндукции $\int E_{en} dt$, результатом которой является потокосцепление ψ .

3. На основании значения потокосцепления ψ , а также конструктивных параметров катушки производится вычисление значения магнитной индукции,

$$B = \frac{\psi}{WS} \quad (4)$$

где W – число витков; S – площадь сечения магнитопровода. Следует отметить, что в выражениях (1) – (4) значения периодически изменяющихся величин – это мгновенные значения.

Структурная схема математической модели рассматриваемого способа в программе *MATLAB*, приложении *Simulink* приведена на рисунке 2. Данный способ был использован для снятия петли гистерезиса низковольтного трансформатора.

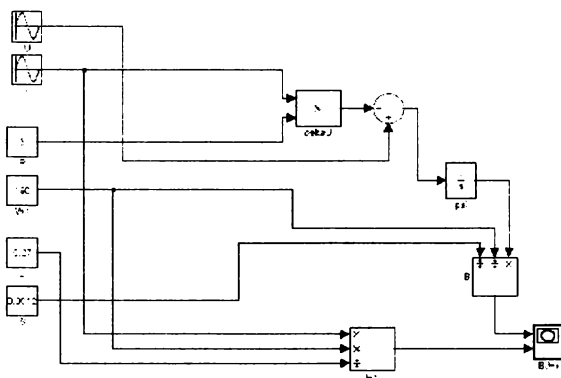
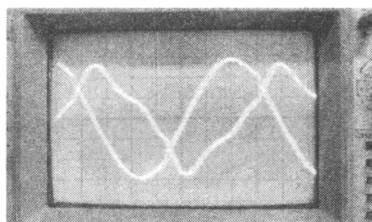
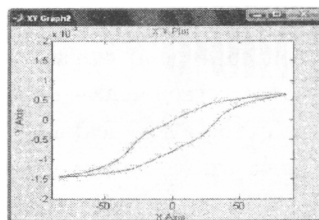


Рис. 2. Структурная схема математической модели способа

Диаграммы тока и напряжения вторичной обмотки трансформатора представлены на рисунке 4 а (для опыта была использована только одна обмотка – вторичная). На рисунке 4 б представлена петля гистерезиса, полученная при помощи предложенного способа.



а)



б)

Рис. 4. Опытные данные: а) – осциллограммы тока и напряжения, б) – петля гистерезиса

Данный способ имеет следующие преимущества:

- отсутствуют операции численного дифференцирования, что снижает погрешность;
- отсутствует необходимость наличия магнитосвязанных катушек;
- нет необходимости производить специальный опыт. Для трансформатора петля может быть снята при сетевом напряжении, при разомкнутой вторичной обмотке на основании осциллограмм тока и напряжения.