***Д. В. Волкова, асп.; рук. В. А. Камакин, д.т.н., проф.***

***(РГАТУ им. П. А. Соловьева, г. Рыбинск)***

**МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ ПЕТЕЛЬ ГИСТЕРЕЗИСА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

В настоящее время нелинейные устройства разнообразного назначения нашли широкое применение в различных областях техники. Точность расчетов подобных устройств, к которым относится и параметрический трансформатор, зависит от правильности выбора метода аппроксимации динамической кривой перемагничивания. Поскольку магнитопровод параметрического трансформатора изготавливается из электротехнической стали, то все дальнейшие рассуждения будут излагаться применительно к ней.

Многие известные способы аппроксимации петель гистерезиса электротехнических сталей не обеспечивают необходимой точности при расчетах. В работе [1] в качестве аппроксимирующей предлагается функция следующего вида:

 $B=B\_{m}∙th\left[\frac{\left(H\pm H\_{c}\right)}{k∙H\_{c}}\right],$ (3)

где *Bm* – индукция насыщения; *Hc* – коэрцитивная сила; *k* – коэффициент, подбор которого позволяет обеспечить схождение кривой расчета с экспериментальными данными.

В работе [2] приведен анализ данного метода аппроксимации и сделан вывод, что подбором *k* не удается добиться совпадения аппроксимирующей кривой с экспериментальными данными.

В работе [3] в качестве перспективного метода аппроксимации петель гистерезиса предложена функция вида:

 $H=f\left(B\right)+H\_{c}∙cos\left(ωt+φ\right);f\left(B\right)=a\_{1}B+a\_{2}B^{3},$ (2)

где *Hc* – коэрцитивная сила; *a1, a2* – коэффициенты аппроксимации кривой намагничивания; *φ* – фаза индукции относительно напряжения на входе цепи.

В [4] было отмечено, что использование данного выражения затруднено непосредственной привязкой изменений напряженности и индукции к входному напряжению и применению гармонической функции времени, тогда как токи и напряжения в подобных цепях несинусоидальные.

Аппроксимирующая функция петель гистерезиса электротехнической стали должна соответствовать следующим условиям: адекватная передача кривизны характеристики кривой перемагничивания, возможность получения аналитической кривой, хорошо согласующейся с экспериментальными данными, а также возможность моделирования динамической кривой перемагничивания с адекватной реакцией на изменение амплитуды и частоты магнитной индукции.

Наиболее перспективной аппроксимирующей функцией, отвечающей вышеперечисленным требованиям, является функция вида:

 $\left(\frac{2H}{H\_{s}}\right)=\left(\frac{B}{B\_{s}}\right)^{n}+\left(\frac{B}{B\_{s}}\right)cosα+\frac{sinα}{ω}\frac{d}{dt}\left(\frac{B}{B\_{s}}\right),$ (3)

где *H* – напряженность магнитного поля, *Hs* – напряженность магнитного насыщения, *B* – индукция магнитного поля, *Bs* – индукция магнитного насыщения, *α* – угол сдвига, изменение которого приводит к изменению площади петли гистерезиса, а также к изменению кривизны кривых.

Работа [5] содержит подробный анализ метода аппроксимации динамической кривой перемагничивания параметрического трансформатора с помощью системы параметрически заданных функций, приведенных после ряда математических преобразований к выражению вида (3).

Аппроксимирующая функция (3) позволяет получить аналитическую кривую, хорошо согласующуюся с экспериментальными данными и, следовательно, может быть использована для создания модели, максимально соответствующей динамической кривой перемагничивания электротехнической стали.

**Библиографический список**

1. **Врублевский А. Н., Григорьев А. Л., Бовда А. М.** Математическая модель быстродействующего электромагнита для топливной системы ДВС // Автомобильный транспорт (Харьков, ХНАДУ), 2006, №19, стр. 138-143.
2. **Цзяньхуэй Ч., Грехов Л. В.** Описание петель статического гистерезиса электротехнических сталей применительно к расчету быстродействующего электроуправляемого клапана топливной аппаратуры ДВС с электронным управлением. Материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», стр. 110-115.
3. **Король Е. Г.** Анализ методов моделирования петли гистерезиса ферромагнитных материалов/ Е. Г. Король// Електротехнiка i електромеханiка. – 2007. - №6. – стр. 44-47.
4. **Канов Л. Н.** Схемное моделирование электромагнитных цепей переменного тока с гистерезисом. Вiсник СевДТУ. Вип. 97: Механiка, енергетика, екологiя: зб. Нау. Пр – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2009, стр. 48-51.
5. **Камакин В. А., Волкова Д. В.** Система регулирования тока на базе параметрического трансформатора, Сборник материалов научной конференции «Энергия-2014», ИГЭУ, 2014, стр. 23-27.