

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕРДЕЧНИКОВ

Цыгулев Н.И., д.т.н., проф., Проус В.Р., к.т.н., доц.

(Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия)

В автономных электроэнергетических системах (АЭС) в качестве первичных датчиков тока устройств релейной защиты и автоматики находят применение трансреакторные преобразователи с магнитодиэлектрическими магнитопроводами шинного типа (магнитодиэлектрические преобразователи тока – МПТ) [1]. Последние имеют разъемную конструкцию и работают в режиме близком к холостому ходу, что обеспечивает им не критичность к длине и сечению соединительных линий связи и значительно меньшие массогабаритные параметры по сравнению с традиционными трансформаторами тока с замкнутыми ферромагнитными магнитопроводами.

На рисунке 1 представлены осциллограммы выходных напряжений МПТ в режиме короткого замыкания при различных первичных токах и постоянной времени сети $T_1 = 0,025$ с.

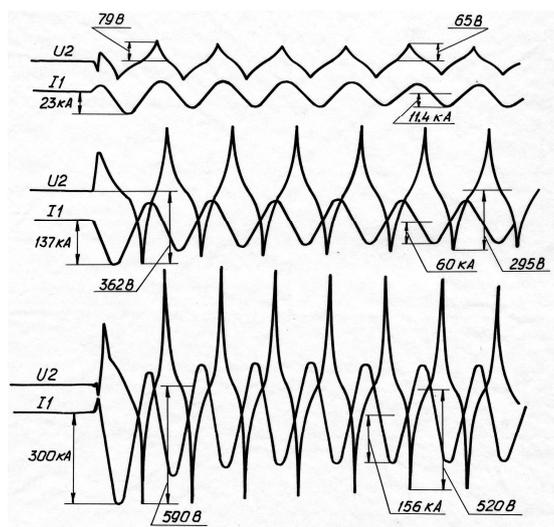


Рисунок 1 – Осциллограммы выходных напряжений МПТ при различных первичных токах

Характеристика намагничивания сердечника образцов МПТ $B_{\text{серд}}(H_{\text{серд}})$ отличается от характеристики намагничивания материала $B(H)$, приводимой в справочной литературе. Тем не менее, при расчетах параметров выходных сигналов датчиков защитных устройств, как правило, пользуются методами теории цепей, допуская, что при любой форме реальных первичных преобразователей, характеристики $B(H)$ и $B_{\text{серд}}(H_{\text{серд}})$ не отличаются друг от друга.

Такое допущение приводит к погрешности расчетов, но из-за сложности получения характеристики $B_{\text{серд}}(H_{\text{серд}})$ разработчики устройств РЗА вынуждены идти на это допущение. Погрешность не учета формы магнитопроводов первичных измерительных преобразователей компенсируется поправочными коэффициентами, что не обеспечивает точности расчетов в полной мере.

Магнитодиэлектрики на основе порошков карбонильного железа марок Р-10, Р-20, Р-100 или ПС изготавливают холодным прессованием по методике [2]. При этом

они обладают очень узкой петлей гистерезиса, что позволяет не делать различий по видам характеристик намагничивания и считать, что все они совпадают.

Характеристику намагничивания указанных магнитодиэлектриков аппроксимируют однозначной функциональной зависимостью [3]:

$$B = \frac{H}{\alpha + \gamma|H|}, \quad (1)$$

где α и γ – коэффициенты аппроксимации.

В режиме холостого хода МПТ является реальным нелинейным дифференцирующим звеном и его выходное напряжение u_2 в момент прохождения тока $i_1 = I_{1m}\sin\omega t$, где I_{1m} – амплитуда, ω – угловая частота, через нуль достигает максимального значения U_{2m} . При этом может быть определен коэффициент α с учетом условия:

$$\lim_{H \rightarrow 0} \frac{dB}{dH} = \mu_n, \quad (2)$$

где μ_n – начальная абсолютная магнитная проницаемость магнитодиэлектрика [4].

Подставляя (1) в (2), имеем $\alpha = 1/\mu_n$.

Выходное напряжение МПТ в режиме холостого хода определяется в соответствии с законом электромагнитной индукции, как

$$u_2 = w_2 S \frac{dB}{dH} = w_2 S \frac{d}{dH} \left(\frac{H}{\alpha + \gamma|H|} \right), \quad (3)$$

где напряженность магнитного поля H может быть найдена по закону полного тока при заданной средней силовой линии магнитопровода l_0 . Из (3) имеем

$$B = \frac{1}{w_2 S} \int_0^{\Delta t} u_2 dt.$$

При прохождении первичного тока i_1 через нулевое значение для момента времени $t_1 = 0$ имеем:

$$i_{11} = 0, \quad H_1 = 0, \quad B_1 = 0.$$

Для момента времени $t_2 = \Delta t$ будем иметь:

$$i_{12} = I_{1m}\sin\omega\Delta t; \quad H_2 = i_{12}/l_0; \quad u_2 = u_{21}; \quad B_2 = \frac{1}{w_2 S} u_{21} \frac{\Delta t}{2}.$$

Для момента времени $t_n = n\Delta t$ по аналогии можно записать:

$$i_{1n} = I_{1m}\sin\omega n\Delta t; \quad H_n = i_{1n}/l_0; \quad u_2 = u_{2n}; \quad B_n = \frac{1}{w_2 S} u_{2n} \frac{\Delta t}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, если получить оцифрованные осциллограммы выходного напряжения МПТ и первичного тока, то можно по выражениям (4) определить в каждой точке n значения индукции и напряженности магнитного поля и по ним построить характеристику $B_{серд}(H_{серд})$. После этого несложно определить коэффициенты аппроксимации α и γ характеристики намагничивания образца магнитодиэлектрического сердечника.

Обработку осциллограмм, аналогичных приведенным на рисунке 2, можно производить ручным способом в увеличенном масштабе, либо же получить

осциллограммы i_1 и u_2 с помощью цифровых регистраторов аналоговых сигналов, применяющихся в настоящее время в энергетике.

Проверка предложенного метода показала, что кривая намагничивания сердечников прямоугольной формы для магнитодиэлектриков на основе карбонильных порошков $B_{серд}(H_{серд})$ лежит ниже характеристики $B(H)$, полученной с помощью вибрационного магнитометра, например, для магнитодиэлектрика на основе карбонильного порошка Р-10 [4]. При этом оценка точности расчетов характеристик выходных сигналов МПТ с использованием кривой $B_{серд}(H_{серд})$ показала, что погрешность может быть снижена на 5-10%.

Перечень ссылок

1. Темирев А.П. Разработка и создание элементов интегрированных корабельных электроэнергетических систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 2005. – 546 с.
2. ГОСТ 13610-68. Железо карбонильное радиотехническое. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. 1972.
3. Рабкин Л.П. Высокочастотные ферромагнетики. – М.: Физматгиз. 1960. – 528 с.
4. Михайлов В.В., Проус В.Р. Анализ работы преобразователей тока с магнитодиэлектрическим магнитопроводом. – Электричество, 1981, № 3. С. 60 – 62.