

нератора для достижения максимальной точности.

Первый этап представляет собой плавное увеличение намагничивающего сигнала до вычисленного по априорным данным значения. Функция, используемая для движения на этом этапе, должна, во-первых, монотонно возрастать в области положительных значений оси ординат, во-вторых, иметь высокую скорость изменения вначале и низкую при приближении к заданному значению. В качестве такой функции можно использовать линейную суперпозицию экспоненциальных функций.

Для второго этапа вычисляются значения  $B_m$  и  $H_m$  для точки, на которой завершился первый этап ( $B_{m1}$  и  $H_{m1}$ ) и для точки, индукция которой выше на 1%, значения магнитной индукции и напряженности магнитного поля  $B_{m2}$  и  $H_{m2}$  соответственно. Угол наклона ОКН в этой точке вычисляется как:

$$dH = \frac{B_{m2} - B_{m1}}{H_{m2} - H_{m1}}.$$

УДК 621.317.43

## СИНУСОИЗАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Ерошенко А.С., Скурту И.Т., Брановицкий И.И.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси*

*Минск, Республика Беларусь*

При проведении магнитных измерений, в особенности эталонных, одной из наиболее важных задач является поддержание синусоидального режима перемагничивания исследуемого образца. Причиной появления искажений намагничивающего сигнала является активно-реактивный характер нагрузки намагничивающей системы. Вклад искажений для образцов электротехнической стали становится существенным на достаточно больших напряженностях магнитного поля (1000-2500 А/м), где они могут негативным образом влиять на результаты измерений. Количественной мерой оценки искажений может служить коэффициент нелинейных искажений (КНИ). Типовая эпюра искаженного сигнала показана на рисунке 1.

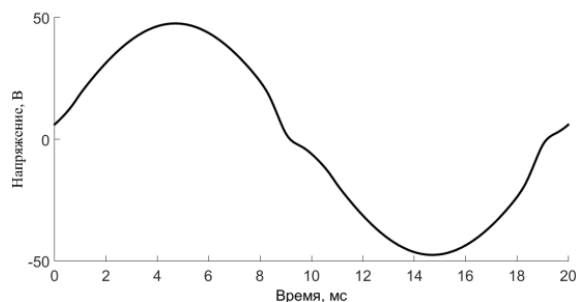


Рисунок 1 – Искаженный сигнал напряжения измерительной обмотки первичного преобразователя

Следующее значение индукции вычисляется как:

$$B_{m3} = B_{m2} + 0,75 \cdot dH \cdot (H_{m2} - H_{m1}).$$

Далее изменением амплитуды задающего генератора на минимальный дискрет осуществляется приближение к требуемому значению до момента достижения минимума ошибки.

Таким образом, данный трехстадийный подход позволяет отстроиться от упомянутых вначале факторов и обеспечить воспроизводимость эталонных измерений магнитных величин.

1. Брановицкий И.И., Путырский М.Н. Автоматическое задание амплитудных значений магнитной индукции при измерении характеристик электротехнических сталей // Энергетика. Известия высших научных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2005. – № 1. – С. 9-14.

Свести к минимуму искажения измеряемого сигнала можно путем корректировки намагничивающего сигнала. Уменьшения КНИ сигнала можно добиться используя аналоговую отрицательную обратную связь между измерительной обмоткой и входом усилителя мощности, обеспечивающего перемагничивание образца. Такой способ позволяет уменьшить КНИ до 0.1% на магнитной индукции 1.7 Тл.

В [1] показана возможность поддержания магнитного потока в образце в итерационном режиме, однако иногда изменение формы намагничивающего сигнала во время задания режима перемагничивания может быть затруднительно в силу сложности переходных процессов обновления сигнала при использовании цифровых генераторов. В таком случае можно привести форму потока к синусоидальной, используя алгоритм, основанный на наличии априорной информации.

Информацию об искажениях магнитного потока при различных значениях магнитного поля можно получить путем записи сигналов напряжения вторичной обмотки первичного преобразователя и напряжения на токосъемном шунте при размагничивании стандартного образца. Далее с помощью интерполяции двумерного массива можно получить искаженный сигнал для требуемого значения индукции или

напряженности магнитного поля.

Сигнал предискажений получается путем вычитания искаженного сигнала из синуса той же амплитуды. Также следует учитывать дополнительный сдвиг, вносимый всей системой в целом, который сложно оценить аналитически.

Перед вычислением сигнала предискажений необходимо привести амплитуду искаженного сигнала к единичной и произвести его сдвиг. Разность полученного сигнала и синуса единичной амплитуды дадут искомым сигнал предискажений. Далее он складывается с синусоидальным сигналом и записывается в буфер ЦАП. Сигнал предискажений может быть представлен следующим образом:

$$U_n(i) = U_c(i) - \frac{U_B(i-n)}{\max(U_B)},$$

где  $U_c$  – сигнал синуса единичной амплитуды,  $U_B$  – искаженный сигнал измерительной обмотки первичного преобразователя,  $\max(U_B)$  – амплитуда искаженного сигнала измерительной обмотки первичного преобразователя,  $i = 0 \dots N - 1$  – текущий отсчет,  $N$  – количество отсчетов,  $n$  – сдвиг искаженного сигнала.

Оптимальный сдвиг искаженного сигнала зависит от разницы фаз между током и напряжением, который может быть вычислен как:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R}\right),$$

УДК 620.178

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

**Зинькевич Н.В., Ланцман Г.А.**

*Институт прикладной физики НАН Беларуси*

*Минск, Республика Беларусь*

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) появились в 1958-х начале 60-х и представляют собой графитовую или углеродную матрицу, упрочненную углеродными волокнами. В сравнении с графитами, УУКМ имеют более высокие прочностные характеристики, обладают высокой стойкостью к термоударам и рядом других преимуществ. В зависимости от структуры армирования различают одномерные (1D), двумерные (2D), трехмерные (3D), четырехмерные (4D) и т.д. углерод-углеродные композиционные материалы. [1]

Внедрение этих новых композиционных материалов сдерживается не только их большой стоимостью, но и отсутствием теоретических основ проектирования и технологии их изготовления. Кроме того, особенностью данных композитивов является то, что материал и конструкция создаются одновременно в рамках единого тех-

где  $R$  – суммарное активное сопротивление шунтирующего резистора и намагничивающей обмотки,  $f$  – частота намагничивающего сигнала,  $L$  – оценка индуктивности намагничивающей обмотки первичного преобразователя.

Эта зависимость может быть аппроксимирована функцией

$$n(\varphi) = \alpha_1 \cdot \exp(\beta \cdot \varphi) + \alpha_2,$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \beta$  – коэффициенты.

Таким образом, намагничивающий сигнал имеет форму смеси синусоидального сигнала и сигнала предискажений, что позволяет получить синусоидальный режим перемагничивания исследуемого образца при проведении измерения.

Используя вышеприведенную методику, удалось добиться снижения КНИ до величин менее 0.1% на индукции 1.9 Тл и выше.

1. Способ формирования синусоидальной индукции в ферромагнитном образце [Текст] : пат. 10958 Республик Беларусь, МПК G 01R 33/12. Брановицкий И.И., Путьрский М. Н.; заявитель и патентообладатель Институт прикладной физики НАН Беларуси. – № 20060894; заявлено 12.09.06; опубликовано 30.04.08. – 3 с.

нологического процесса. Поэтому создание конкурентоспособных изделий существенно зависит от наличия приемлемого на практике прогноза структуры и физико-механических свойств углеродного материала с учетом технологических особенностей его изготовления.

Разнообразие схем армирования УУКМ, большая стоимость материала, работа конструкций при высоких и сверхвысоких давлениях, и температуре требуют надежного прогнозирования механического поведения и несущей способности проектируемого изделия в реальных условиях эксплуатации.

Аналитические модели необходимы для связи параметров технологических процессов изготовления композиционного материала с его теплофизическими и механическими свойствами, реализуемыми в конструкциях или образцах. Эти модели составляют основу для проектирования