

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА

А.П. Сивкова

г. Челябинск, ЮУрГУ

AUTOMATED COMPLEX FOR THE MAGNETIC HYSTERESIS LOOP RESEARCH

A.P. Sivkova

Chelyabinsk, South Ural State University

Исследована возможность автоматизации получения статической петли гистерезиса на экране осциллографа.

Ключевые слова: статическая петля гистерезиса, динамическая петля гистерезиса, намагничивающая обмотка, вихревые токи, автоматизация.

The possibility of automation of obtaining of a static hysteresis loop on the oscillograph screen is researched.

Keywords: static hysteresis loop, dynamic hysteresis loop, magnetizing winding, eddy currents, automation.

При моделировании реальных систем управления возникает задача предварительной идентификации параметров используемых ферромагнитных элементов (трансформаторы, дроссели, статоры и роторы двигателей). Здесь привлекательным может оказаться способ автоматической регистрации статических гистерезисных петель [1]. Способ основан на возможности разделения физических явлений магнитного гистерезиса и вихревых то-

ков, когда действие последних может быть сведено к эквивалентному сопротивлению потерь на вихревые токи [2, 3]. Суть способа, реализованного средствами аналоговой техники, поясняется с помощью рис. 1.

Испытуемый ферромагнетик (сердечник трансформатора T на рис. 1) должен быть снабжен тремя обмотками: одной намагничивающей и двумя измерительными. Намагничивающая обмотка

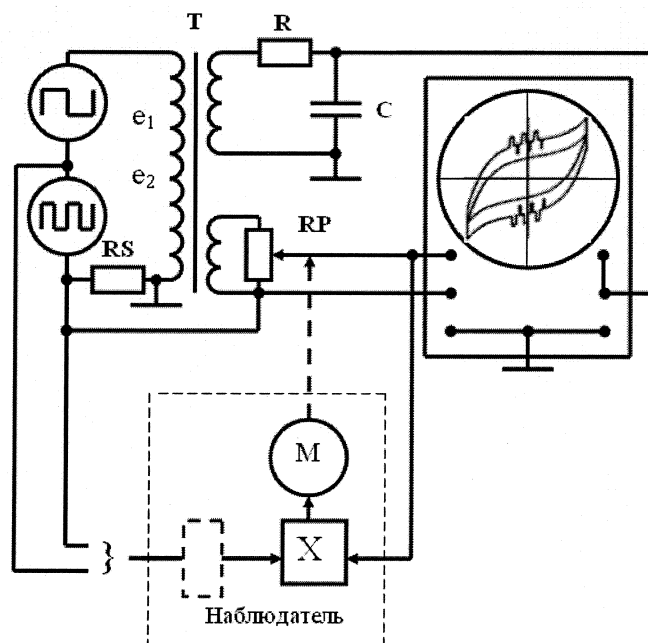


Рис. 1. Реализация способа средствами аналоговой техники

подключается к периодическому напряжению, представляющему сумму двух сигналов, имеющих разную частоту. Низкочастотная составляющая напряжения e_1 имеет большую амплитуду и формирует основной цикл перемагничивания. Высокочастотная составляющая e_2 должна иметь значительно меньшую амплитуду. Суммарное напряжение $e_1 + e_2$ подается на первичную обмотку исследуемого трансформатора T , в цепь которого включен шунт RS .

На выходе одной из измерительных обмоток с помощью интегрирующей цепочки R, C формируется сигнал пропорциональный индукции магнитного поля и подается на вертикальные входы двухлучевого осциллографа. Сигнал пропорциональный напряженности магнитного поля, снимаемый с шунта RS , подается на один из горизонтальных входов осциллографа. Сигнал ЭДС другой вторичной обмотки T , при соответствующей подстройке, пропорционален влиянию вихревых токов. Сигнал снимается с помощью потенциометра RP и вычитается (при соответствующем подключении второй измерительной обмотки) из сигнала, снимаемого с шунта RS . Результирующий сигнал (назовем его уточненным сигналом напряженности) подается на второй горизонтальный вход осциллографа. На рис. 1 обозначен блок, именуемый «наблюдатель», который управляет перемещением движка RP . Термин «наблюдатель» в физике и в теории автоматического управления распространяется и на человека, и на автомат.

На экране осциллографа формируются два цикла перемагничивания: наружный динамический цикл без компенсации вихревых токов и внутренний квазистатический цикл при определенной степени компенсации вихревых токов. Если влияние вихревых токов не скомпенсировано, петля гистерезиса представляет из себя зависимость такого вида, что на основную монотонную кривую наложен «гребень», форма зубцов которого определяется формой напряжения высокочастотной составляющей. При «недокомпенсации» петля будет шире статической кривой намагничивания, при «перекомпенсации», наоборот, будет уже. В случае, когда вихревые токи полностью скомпенсированы подстройкой движка потенциометра RP , петля гистерезиса имеет гладкую монотонную форму. Полученная с помощью подстройки «гладкая» петля и является статической петлей гистерезиса для данного магнитного образца.

Работоспособность способа наглядно демонстрирует эксперимент, проведенный автором. С помощью данного способа была определена статическая петля гистерезиса сердечника трансформатора малой мощности. Схема опыта с небольшими отличиями совпадает со схемой рис. 1, поэтому нет смысла ее приводить. В отличие от схемы рис. 1 в опыте в качестве низкочастотной составляющей использовалось синусоидальное напряжение частотой 50 Гц с выхода автотрансфор-

матора. Высокочастотная составляющая напряжения с частотой кратной сетевой (частота около 1000 Гц, кратность достигалась подстройкой) формировалась генератором частоты. Кривые намагничивания снимались для двух вариантов формы высокочастотного напряжения: прямоугольные импульсы и синусоидальное напряжение. Осциллограф, используемый в опыте, был однолучевым. На рис. 2 приведена осциллограмма динамической петли гистерезиса, снятая при частоте 50 Гц, без высокочастотной составляющей.

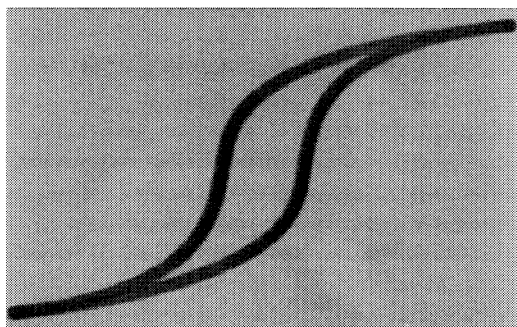


Рис. 2. Динамическая кривая перемагничивания сердечника трансформатора

На рис. 3 приведены осциллограммы последовательно с недокомпенсацией, полной компенсацией и перекомпенсацией вихревых токов. Высокочастотная составляющая напряжения сформирована прямоугольными импульсами.

На рис. 4 приведены осциллограммы последовательно с недокомпенсацией, полной компенсацией и перекомпенсацией вихревых токов для синусоидальной высокочастотной составляющей.

Сравнение кривых рис. 3 и рис. 4 показывает, что петля гистерезиса (средняя осциллограмма на обоих рисунках) при полной компенсации вихревых токов одинакова для двух разного вида высокочастотных сигналов. Таким образом, средняя осциллограмма и на рис. 3, и на рис. 4 является статической кривой перемагничивания исследуемого сердечника.

Для автоматизированного получения на экране осциллографа статической петли гистерезиса исследуемого образца требуется автомат с системой технического зрения и распознавания образов. В случае, когда «наблюдатель» на рис. 1 представлен автоматом, работа схемы происходит следующим образом. Уточненный сигнал напряженности умножается на высокочастотную составляющую e_2 напряжения, питающего намагничивающую обмотку. Выход умножителя подается на машину постоянного тока M , вал которой перемещает бегунок потенциометра (делителя напряжения) RP . При положительном напряжении на выходе умножителя машина вращается в одну сторону со скоростью пропорциональной напряжению, при отрицательном напряжении – в другую. В режиме полной компенсации среднее значение произведения, или напряжение на машине, равно ну-

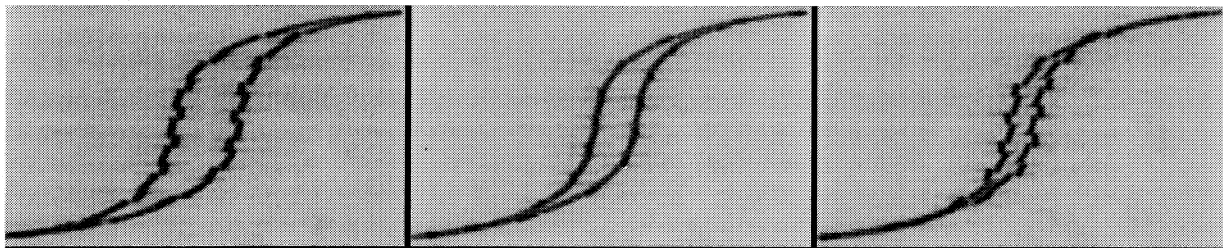


Рис. 3. Кривые перемagnetизации с различной степенью компенсации вихревых токов при прямоугольных высокочастотных импульсах

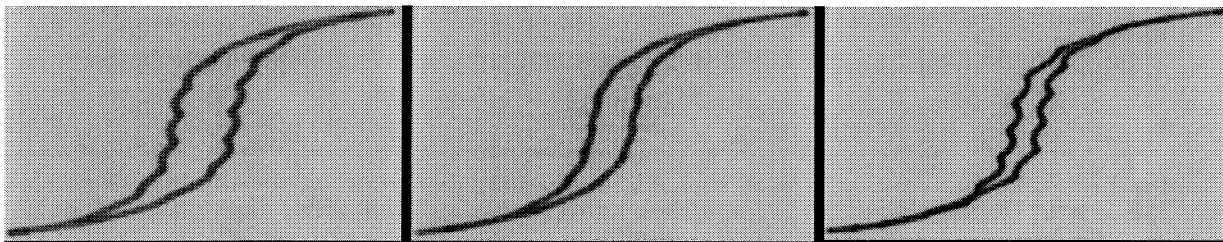


Рис. 4. Кривые перемagnetизации с различной степенью компенсации вихревых токов при синусоидальной высокочастотной составляющей

лю, и машина останавливается. Усреднение произведения осуществляется механической инерцией машины и, таким образом, меняет величину до получения нулевого среднего значения произведения. Лучше всего следить за средним значением произведения двух упомянутых сигналов, когда они в начале цикла совпадают по фазе, поэтому полезно сдвинуть один из сигналов динамическим блоком коррекции (показан пунктиром внутри блока «наблюдатель»). Работоспособность автоматизированного способа определения статической петли гистерезиса, реализованного средствами аналоговой техники, подтвердилась при моделировании на ЭВМ.

Рассмотрим возможность реализации автоматизированного способа определения статической петли гистерезиса средствами цифровой техники и ЭВМ. На рис. 5 приведена функциональная схема устройства, осуществляющего данный способ. Устройство содержит намагничивающую обмотку с образцовым резистором R , измерительную об-

мотку, управляющую электронно-вычислительную машину ЭВМ, цифро-аналоговый преобразователь ЦАП, двухвходовой аналого-цифровой преобразователь АЦП. Кодовый вход ЦАП подключен к выходу ЭВМ, а аналоговый выход – к намагничивающей обмотке. К первому аналоговому входу АЦП подключен выход измерительной обмотки, ко второму аналоговому входу АЦП подключен сигнал с образцового резистора. Кодовый выход АЦП подключен к входу ЭВМ. В устройстве ЭВМ выполняет все функции формирования сигнала возбуждения, измерения сигналов с обмоток образца, выполнения всех математических операций, включая операции наблюдателя, регистрации результатов в своей памяти и вывод их на экран монитора. При этом сохраняется возможность возложения функции наблюдателя на человека, который смотрит на экран монитора и корректирует значения коэффициента подстройки.

Человек может оперативно менять сложную форму сигнала возбуждения в рамках предложен-

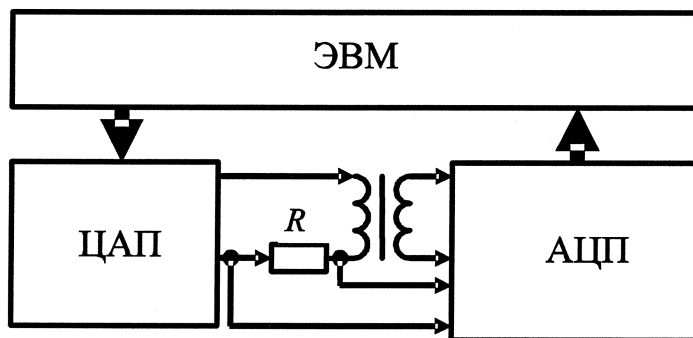


Рис. 5. Реализация способа средствами цифровой техники

ного способа. При перемагничивании магнитного образца на измерительных обмотках наводится ЭДС пропорциональная производной индукции. Интегрирование ЭДС позволяет получить сигнал пропорциональный индукции. В схеме рис. 1 роль интегратора выполняет RC -цепочка, в схеме рис. 5 интеграл вычисляет ЭВМ численными методами. В любом случае входное сопротивление интегрирующей цепочки или АЦП должно быть таким большим, чтобы их входные токи не влияли на процессы перемагничивания.

Литература

1. Патент РФ № 2376610.G01R33/14. Способ регистрации гистерезисной петли / Лохов С.П., Сивкова А.П. Приоритет 23.06.2008. Опубликовано 20.12.2009.
2. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей / Г.И. Атабеков. – М.: Энергия, 1969. – С. 194, 196.
3. Лохов, С.П. Разработка и исследование тиристорных регуляторов мощности нагревательных установок: дис. ... канд. техн. наук / С.П. Лохов. – Челябинск, 1972. – 182 с.

Поступила в редакцию 15.01.2010 г.

Сивкова Анна Прокопьевна – ассистент кафедры электропривода Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск. Область научных интересов – электротехника, силовая электроника. Контактный телефон: 8-(351) 267-93-21.

Sivkova Anna Prokopievna is assistant of the Electrical Drive Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: electrical engineering and power electronics. Contact phone: 8-(351) 267-93-21.