

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА НАТУРНО-МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ланкин А.М.¹, Ланкин М.В.¹, Кучеров В.А.¹, Наугольников О.А.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия (346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: lankinjohn@rambler.ru

В статье описан метод получения вебер-амперных характеристик рабочего цикла электромагнитов электротехнических систем с помощью алгоритма натурно-модельных испытаний. В качестве примеров электротехнических систем можно привести: электроприводы колодочных тормозов на транспорте и в лифтах, запорные устройства, электромагниты гидроклапанов и высоковольтных силовых выключателей, электромагнитные муфты и т.п. Целью исследования является разработка методики диагностики электротехнических систем, привод которых представляет собой электромагнит, состоящий из подвижной и неподвижной частей магнитопровода и катушки. Для диагностики использован метод натурно-модельных испытаний, объединяющий измерение на физическом объекте датчиками напряжения и тока и моделирование в персональный компьютер при помощи специального программного оборудования базирующегося на решении обратной задачи гармонического баланса для вычисления вебер-амперной характеристикой рабочего цикла.

Ключевые слова: вебер-амперная характеристика рабочего цикла, электротехническая система, электромагнит, натурно-модельные испытания.

APPLICATION OF THE ALGORITHM NATURNS-MODEL TESTS FOR THE DIAGNOSIS OF ELECTRICAL SYSTEMS

Lankin A.M.¹, Lankin M.V.¹, Kucherov V.A.¹, Naugolnov O.A.¹

¹ Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Educational "Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)", Novochoerkassk, Russia (346428, Novochoerkassk, st. Prosvesheniya, 132), e-mail: lankinjohn@rambler.ru

This article describes a method for obtaining weber-ampere characteristics of electromagnets of electrical systems using algorithms natural-model tests. As examples of electrical systems can cause: electric drum brakes on transport and in the elevators, locking devices, electromagnets and hydraulic valves high volt circuit breakers, electromagnetic coupling, etc. The aim of the research is to develop methods of diagnostics of electrical systems, the drive of which is an electromagnet consisting of fixed and movable parts of the magnetic core and the coil. For diagnostic method used natural-model testing, combining the physical object measurement of voltage and current sensors, and modeling in a personal computer with special software, power equipment based on the solution of the inverse problem of harmonic balance to compute the weber-ampere characteristic of the operating cycle.

Keywords: Weber-ampere characteristic of the operating cycle, electrical system, an electromagnet, natural-model tests

Электротехнические системы окружают нас в повседневной жизни. В качестве примеров таких систем можно привести: электроприводы колодочных тормозов на транспорте и в лифтах, запорные устройства, электромагниты гидроклапанов и высоковольтных силовых выключателей, электромагнитные муфты и т.п.

Главной частью подобных систем является её привод, представляющий собой электромагнит. Электромагниты в своем составе имеют подвижную и неподвижную части магнитопровода и, как минимум, одну рабочую катушку. В ходе их эксплуатации в рабочей катушке протекает ток, создается рабочий магнитный поток в магнитопроводе, приводящий в движение подвижную его часть. Величина магнитного потока определяется магнитными

свойствами и конструкцией частей магнитопровода, количеством витков в рабочей катушке и величиной протекающего тока. В настоящее время для диагностики электромагнитов проводят измерения их механических, электрических и магнитных характеристик. Для получения каждой из этих характеристик требуется применить свои средства испытания и, как правило, демонтировать электромагнит из системы. Известен подход [7], при котором для электромагнитов постоянного тока используют всего одну интегральную характеристику – зависимость магнитного потока в магнитопроводе от тока в катушке в ходе выполнения им стандартной операции. Эта характеристика называется вебер-амперной характеристикой рабочего цикла (ВАХРЦ), в зависимости от вида которой, можно идентифицировать тип неисправности.

Для устройств переменного тока предлагается описанный ниже метод. На не демонтированный из электротехнического устройства электромагнит подают синусоидальное напряжение, амплитуда которого ступенчато изменяется от нулевого значения до номинального и обратно (рисунок 1).

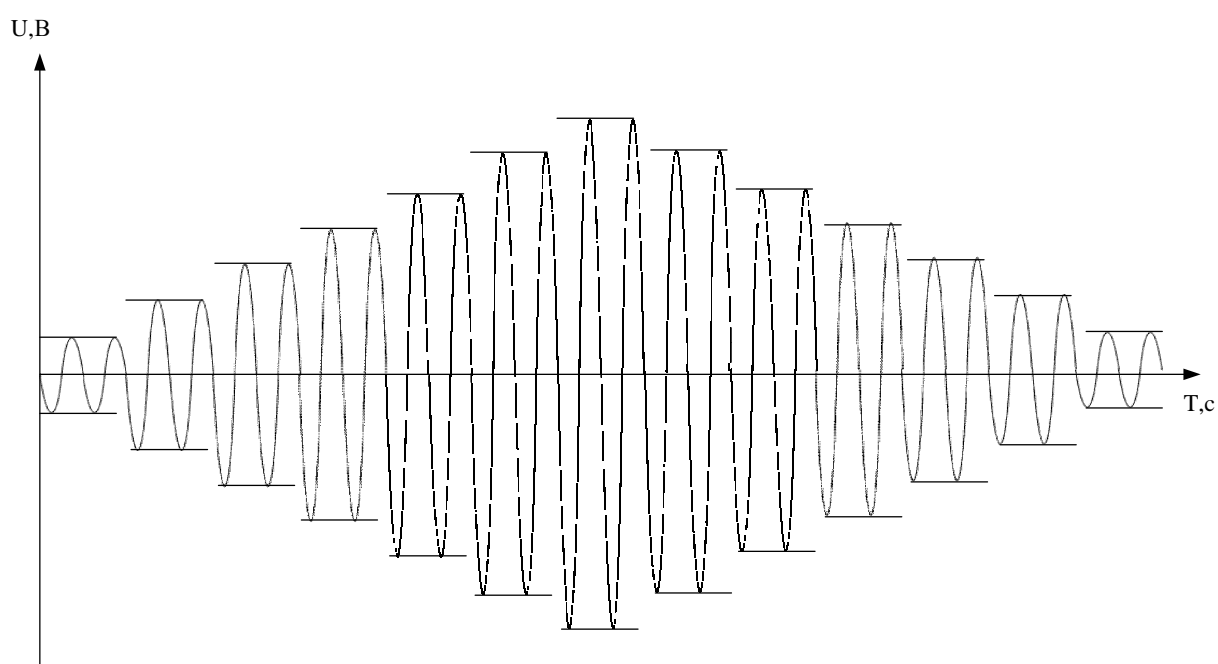


Рис.1. Подаваемое на устройство переменного тока синусоидальное напряжение

При этом электромагнит совершает рабочий цикл, преодолевая сопротивление исполнительных механизмов, соединенных с ним. На каждой ступени напряжения измеряется частная вебер-амперная характеристика (ВАХ) и амплитуда тока. Фиксируя местоположение конечных точек частных ВАХ получаем ВАХРЦ (рисунок 2).

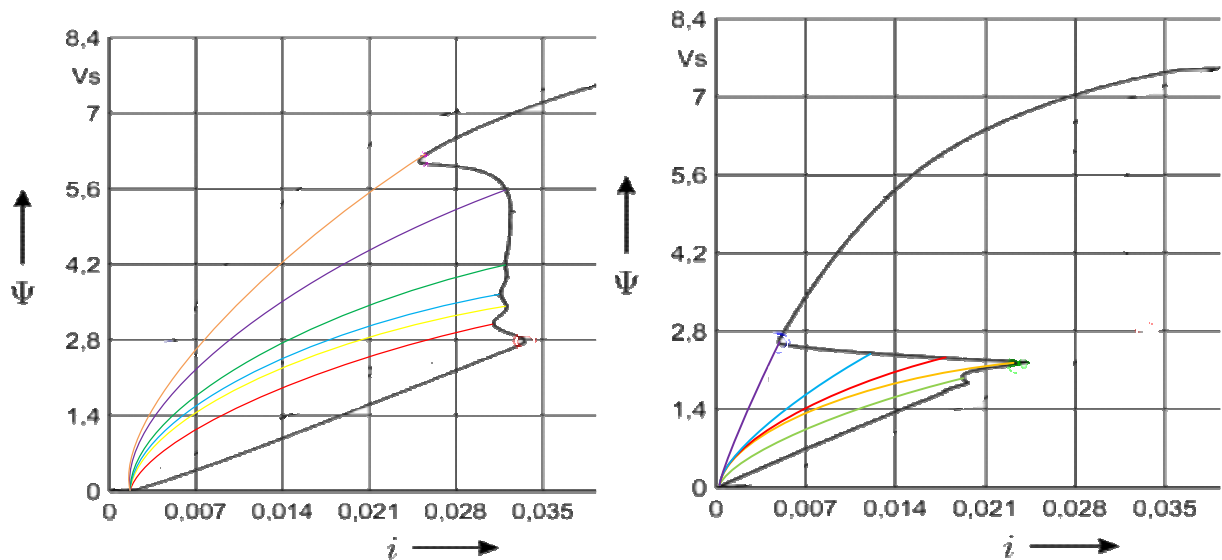


Рис.2. Методика получения ВАХРЦ

Для определения частных ВАХ будем использовать метод натурно-модельных испытаний [1-6, 8-10], объединяющий измерение на физическом объекте и моделирование в персональном компьютере при помощи специального программного обеспечения. Алгоритм натурно-модельных испытаний применительно к этой задаче состоит в следующем: на электромагнит подается синусоидальное напряжение и с помощью датчиков напряжения и тока производятся измерения подаваемого на рабочую катушку напряжения и ток в ней. Измеренные напряжение и ток поступают в персональный компьютер, где в модель электромагнита вводится напряжение и ею эмулируется выходной ток. С помощью оптимизационного алгоритма добиваются совпадения измеренного и эмулированного моделью электромагнита токов.

Для получения модели описывающей работу электромагнита запишем уравнение цепи:

$$u(t) = Ri + \frac{d\Phi}{dt}.$$

где $u(t) = U_a \sin(\omega t)$ – напряжение, приложенное к катушке электромагнита, U_a –

амплитуда напряжения, $i(t) = \sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t)$ – ток протекающий в рабочей катушке

электромагнита, $I_{(2m-1)}$ – амплитуда $(2m-1)$ – ой гармоники тока, n – количество гармоник

тока, $\Phi(i) = \sum_{m=1}^n k_{(2m-1)} i^{2m-1}$ – представленная в виде полинома ВАХ электромагнита.

Перепишем его с учетом выражений для тока, напряжения и ВАХ:

$$U_a \sin \omega t = R \sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) + \frac{d \sum_{m=1}^n k_{(2m-1)} \left(\sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) \right)^{2m-1}}{dt}.$$

Модель электромагнита построена в программном пакете Labview, внешний вид пользовательского интерфейса программы приведен на рисунке 3.

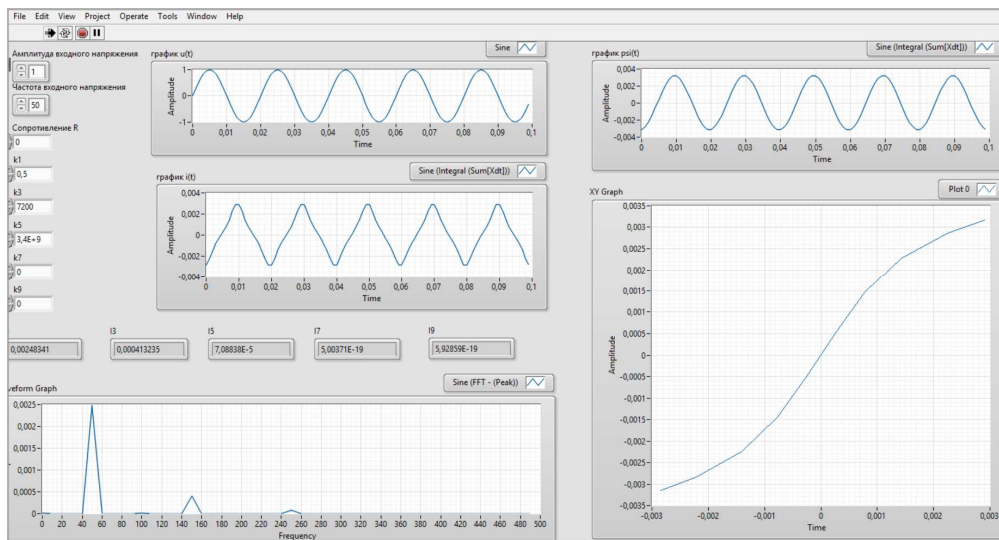


Рис.3. Пользовательский интерфейс программы-эмулятора

Для работы модели необходимо ввести исходные данные: амплитуду U_a , и частоту ω входного напряжения, а также коэффициенты аппроксимации ВАН $k_{(2m-1)}$. На выходе программы-эмулятора формируются значения гармоник тока $I_{(2m-1)}$, изображения графиков изменения напряжения «u(t)», тока «i(t)», потока «psi(t)», а также ВАН «XY Graph» и спектрограмма тока «Waveform Graph».

Оптимизационный алгоритм управляющей программы использует метод симплекс-оптимизации. Программа симплекс-оптимизации построена в программном пакете Turbo Delphi. Она рассчитана на работу с 2-5 факторами. Интерфейс программы с примером решения двухфакторной задачи представлен на рисунке 4.

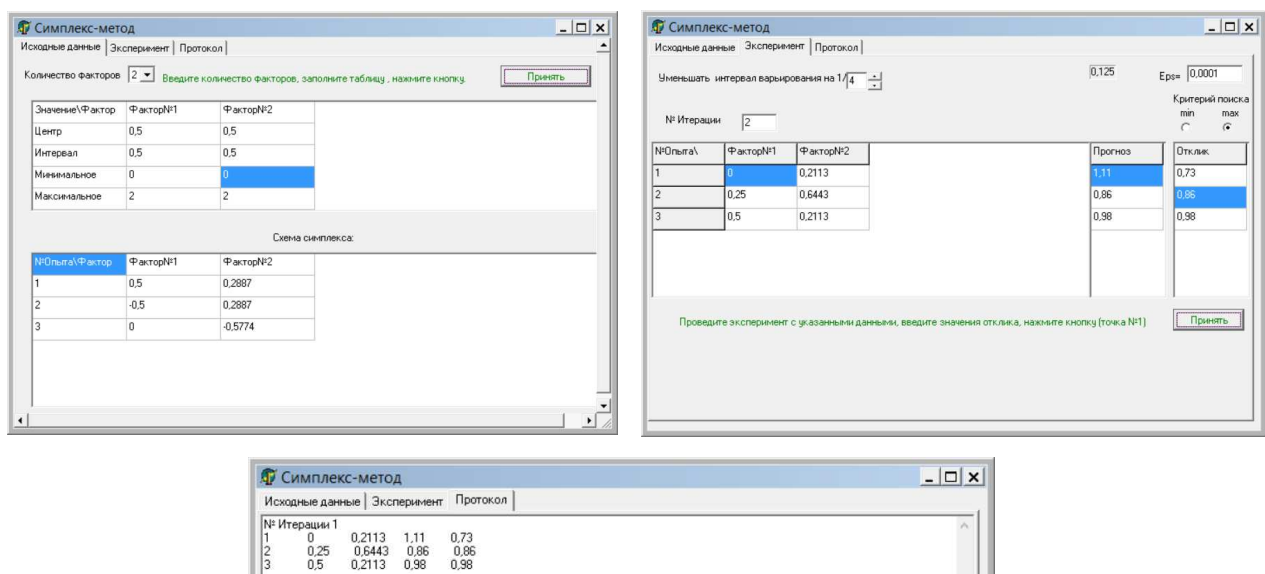


Рис.4. Программа симплекс-оптимизации

Во вкладке «Исходные данные» задается количество факторов, на основании чего формируется таблица, в которой необходимо задать центр плана, интервал варьирования и пределы изменения факторов. После чего программа составляет схему симплекса в нормированных единицах. Во вкладке «Эксперимент» выводятся координаты проведения эксперимента в физических величинах и заносятся его результаты, задается цель оптимизации (минимум или максимум) и значение различий отклика в вершинах симплекса, с достижением которого движение симплекса заканчивается. На каждом шаге программа определяет «наихудшую» точку и указывает пользователю условия следующего эксперимента. В случае вращения симплекса вокруг одной из вершин, интервал варьирования уменьшится кратно величине заданной в поле «уменьшить интервал варьирования». Во вкладке «Протокол» отражаются все пройденные шаги.

Факторами являются коэффициенты аппроксимации ВАХ k_{2m-1} , а функцией цели – площадь разности токов $i^3(t)$ – экспериментально полученного и $i^M(t)$ – полученного из модели за половину периода. При минимуме этой разности коэффициенты k_{2m-1} будут описывать искомую ВАХ.

Проанализируем выражение функции цели:

$$S = \int_0^{T/2} (i^3(t) - i^M(t)) dt = \int_0^{\pi/2} \left(\sum_{m=1}^n I^3_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) - \sum_{m=1}^n I^M_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) \right) dt,$$

Произведя преобразования получим: $S = \sum_{m=1}^n (I^M_{(2m-1)} - I^3_{(2m-1)}) \cdot (2m-1).$

Значит, в качестве функции цели следует взять сумму разности гармоник умноженную на коэффициент $2m-1$.

На рисунке 5 приведены истинная и полученная на модели ВАХ на первой итерации симплекс-оптимизации. Видно, что формы тока физического объекта и модели существенно различны.

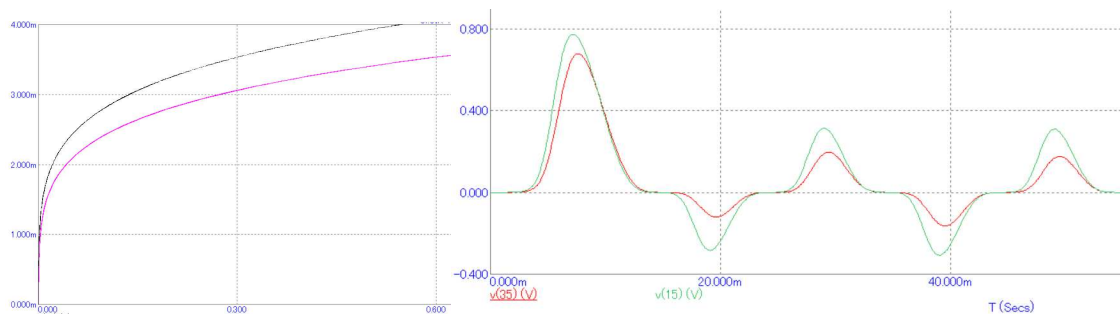


Рис.5. ВАХ и токи, полученные на первой итерации

После семидесяти двух итераций, форма тока эмулятора приблизилась к форме тока физического объекта. При этом различия ВАХ составили 0,1%. Это означает, что полученная на последней итерации ВАХ и является искомой.

Проведены исследования влияния погрешности измерения гармоник тока на погрешность ВАХ. С использованием теории планирования многофакторного эксперимента, получена зависимость погрешности алгоритма от значений первых пяти нечетных гармоник тока:

$$y = 281,52 - 44,37I_1 + 5,16I_1^2 + 52,92I_3^2 + 429,52I_5^2 - 8,09I_7 - 351,59I_9 + 1247,54I_9^2$$

Значения гармоник тока варьировались в интервале $\pm 4,4\%$, погрешность получения ВАХ не превысила 1%. Обработка результатов эксперимента осуществлялась с помощью программного продукта Statistica 10.

Результаты работы получены при поддержке гранта РФФИ № 15-38-20652 «Развитие теории бессенсорных прогнозирующих методов управления и диагностики электроприводов» с использованием оборудования ЦКП "Диагностика и энергоэффективное электрооборудование" ЮРГПУ (НПИ).

Список литературы

1. Ланкин А.М., Ланкин М.В. Решение обратной задачи метода гармонического баланса // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 4-й научно-практической internet-конференции. Ульяновск, 2014. С. 117-122.
2. Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод измерения вебер-амперной характеристики электротехнических устройств // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/115-12186>
3. Ланкин А.М., Ланкин М.В., Наракидзе Н.Д., Наугольнов О.А. Управление магнитным состоянием изделий из магнитомягких материалов // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-5. С. 1005-1009.
4. Ланкин А.М., Ланкин М.В., Наракидзе Н.Д. Метод измерения вебер – амперной характеристики базирующийся на решении обратной задачи МГБ // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 167.
5. Ланкин М.В., Наракидзе Н.Д., Ланкин А.М. Топография магнитного поля в окрестностях образца из магнитомягкого материала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 178.

6. Наракидзе Н.Д., Ланкин А.М., Ланкин М.В. Адаптивный алгоритм управления магнитным состоянием изделия из магнитомягкого материала при определении основной кривой намагничивания // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 181.
7. Gadyuchko, A. Magnetische Messung - Neue Wege der Funktionsprüfung bei der Herstellung von Magnetaktoren /A. Gadyuchko, E. Kallenbach // Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik. – Würzburg. – 2010. – S. 59-64.
8. Gorbatenko N. I., Lankin A. M., Lankin M. V., Shayhutdinov D. V. Determination Of Weber-Ampere Characteristic For Electrical Devices Based On The Solution Of Harmonic Balance Inverse Problem // International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 3 (2015) pp. 6509-6519; Research India Publications.
9. Lankin A. M., Lankin M. V., Aleksanyan G. K., Narakidze N. D. Development Of Principles Of Computer Appliance Functioning, Determination Of Characteristics Of The Biological Object // International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 3 (2015) pp. 6489-6498; Research India Publications.
10. Lankin A.M., Lankin M.V Getting weber - voltage characteristics using the method of harmonic balance// The Second International Conference on Eurasian scientific development Proceedings of the Conference. 2014. С. 264-270.

Рецензенты:

Савелов Н.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский политехнический университет им. Платонова», г. Новочеркасск;

Елсуков В.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский политехнический университет им. Платонова», г. Новочеркасск.