

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕБЕР-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ БЕССЕНСОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Сахавова А.А.<sup>1</sup>, Широков К.М.<sup>1</sup>, Январёв С.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, Россия (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: [sahavova@gmail.com](mailto:sahavova@gmail.com)

Описывается практическая реализация нового метода косвенного определения вебер-амперных характеристик с учетом изменяющейся активной составляющей сопротивления обмотки электромагнитного механизма в зависимости от тепловой энергии, выделяемой в образце при измерении. Раскрывается принцип бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов, главным преимуществом которого является отсутствие сенсоров магнитных полей, так как первичным источником информации служит собственная обмотка электромагнитного механизма. Дается описание разработанного программного обеспечения для персонального компьютера в среде графического программирования *LabVIEW* для автоматизированной системы бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов. Программное обеспечение реализует определение вебер-амперных характеристик по трем способам интерполяции функции изменения в процессе измерения величины активной составляющей сопротивления обмотки (постоянное, линейное и согласно «энергетическому» методу, в зависимости от выделяемой тепловой энергии) с компенсацией влияний «оффсетов».

Ключевые слова: электромагнитный механизм, вебер-амперная характеристика, бессенсорная диагностика, графическое программирование.

## APPLICATION OF THE METHOD OF INDIRECT DETERMINATION OF WEBER-CURRENT CHARACTERISTICS IN THE AUTOMATED SYSTEM OF SENSOR-LESS DIAGNOSTICS OF ELECTROMAGNETIC MECHANISMS

Sakhavova A.A.<sup>1</sup>, Shirokov K.M.<sup>1</sup>, Yanvarev S.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Platov South Russian State Politechnical University (NPI), Novochoerkassk, Russia (346428, Novochoerkassk, street Prosvescheniya, 132), e-mail: [sahavova@gmail.com](mailto:sahavova@gmail.com)

Describes a practical implementation of the new indirect method of determining the flux-current characteristics, which takes into account changing the active component of resistance of a winding of the electromagnetic mechanism according to the heat energy released in the sample during measurement. We revealed the principle of sensorless of electromagnetic diagnostic mechanisms. The main advantage of that method is the lack of magnetic fields sensors as a primary source of information is the own winding of the electromagnetic mechanism. We describe the developed software for the personal computer in the *LabVIEW* graphical programming environment for automated system of sensorless diagnosis of electromagnetic mechanisms. The software implements the determination flux-current characteristics in three interpolation methods of changing function during measurement of the active component of the winding resistance (constant, linear and in accordance with the "energy" method, depending on the heat energy). There is a possibility of compensation of offset-errors.

Keywords: electromagnetic mechanism, weber-current characteristic, sensor-less diagnosis, graphic programming.

### Введение

Электромагнитные механизмы являются одними из основных узлов многих устройств управления и защиты и широко используются в автоматических выключателях и в системах дистанционного привода. При этом они служат для управления электрическими контактами непосредственно или через промежуточные устройства. Такая служебная функция электромагнитного механизма часто незаслуженно ставит его в ряд второстепенных узлов, характеристикам которых не всегда уделяют достаточно внимания. Между тем эти

характеристики существенно влияют на рабочие параметры устройства в целом, на его работоспособность и другие технико-экономические показатели [1].

### **Цель исследования**

В последнее время разрабатывается система бессенсорной диагностики и контроля магнитных и механических свойств электромагнитных механизмов с идентификацией их возможных неисправностей [4]. Главное преимущество такой системы заключается в использовании внутренних «сенсорных» свойств электромагнита, когда не требуются подключения дополнительных магнитометрических датчиков, а первичным источником информации служит собственная обмотка электромагнитного механизма. Таким образом, его вебер-амперная характеристика определяется не в результате прямых измерений магнитного потока, а косвенным образом с применением специальных вычислений.

Аппаратной компонентой системы бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов служит автоматизированная измерительная система (АИС) *MagHyst*, разработанная Штанбайс-центром Мехатроники (г. Ильменау, Германия) совместно с кафедрой информационных и измерительных технологий (ИИСТ) ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова.

С помощью АИС *MagHYST* осуществляется определение вебер-амперной характеристики электромагнитного механизма (зависимости магнитного потокосцепления от тока –  $\Psi(I)$ ) путем измерения временных зависимостей напряжения, тока и активной составляющей сопротивления обмотки электромагнитного механизма. Различают два режима измерения:

- квазистатическое измерение *QSM* (*quasistatische Messung*), при котором значение напряжения  $U_{\text{инд}}$ , индуцированного на обмотке электромагнитного механизма, поддерживается постоянным по модулю;
- реакция на ступенчатое возмущение – *SA* (*Sprungantwort*), при котором на обмотку электромагнитного механизма подается положительный импульс напряжения.

В обоих случаях измеряются входное напряжение  $U(t)$ , ток  $I(t)$ , протекающий в цепи электромагнитного механизма, и индуцированное напряжение  $U_{\text{инд}}(t)$ .

Недостатком АИС *MagHYST* является наличие погрешности при определении вебер-амперных характеристик электромагнитных механизмов, вызванной изменением активной составляющей сопротивления обмотки.

Цель исследования заключается в повышении точности определения вебер-амперных характеристик электромагнитных механизмов в автоматизированной системе бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов.

### **Материал и методы исследования**

Математической основой вычислительного модуля программного обеспечения автоматизированной системы бессенсорной диагностики является «энергетический» метод определения магнитных (вебер-амперных) характеристик электротехнических изделий [2].

Суть метода заключается в определении вебер-амперной характеристики с учетом изменяющейся активной составляющей сопротивления  $R$  обмотки электромагнитного механизма в зависимости от тепловой энергии, выделяемой в образце при измерении. При этом вычисляется коэффициент  $p$  соответствия приращения активной составляющей сопротивления  $\Delta R$  и вызвавшей это приращение суммарной тепловой энергии  $W_{\Sigma}$ :

$$p = \frac{\Delta R}{W_{\Sigma}}.$$

Далее вычисляются значения приращений  $\Delta R_k$ , соответствующие каждому шагу  $k$  измерения:

$$\Delta R_k = p \cdot W_k.$$

Значения  $R_k$ , соответствующие каждому шагу  $k$  измерения, определяются следующим образом:

$$R_k = R_{k-1} + \Delta R_k, \text{ при этом } R_1 = R_I, \text{ (при } k = 1).$$

Значения потокосцепления находятся по формуле:

$$\Psi_k = \int_0^t (U_k - I_k \cdot (R_k + R_{ш} + R_{пр})) \cdot (t_k - t_{k-1}) dt,$$

где  $U_k$ ,  $I_k$ ,  $t_k$  – значения напряжения, тока и времени при каждом  $k$  измерении;  $R_{ш}$  – сопротивление измерительного шунта;  $R_{пр}$  – сопротивление соединительных проводов, которым при малом значении  $R$  пренебрегать нельзя.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Метод косвенного определения вебер-амперных характеристик испытуемых электромагнитных механизмов реализован в программном обеспечении для персонального компьютера, включенного в автоматизированную систему диагностики. Программное обеспечение разработано в среде графического программирования *LabVIEW* и обладает следующей функциональностью:

- считывание предварительно измеренных и сохраненных на жестком диске компьютера с помощью АИС *MagHYST* данных ( $I(t)$ ,  $U(t)$ ,  $U_{инд}(t)$ ), полученных в режиме одного измерения (*QSM* или *SA*) или в режиме серии измерений (*SA1*, *QSM*, *SA2*) [5];

- расчет активной составляющей сопротивления обмотки образца (в режиме измерения *SA*);

- интерполяция функции изменения в процессе измерения величины активной составляющей сопротивления обмотки испытуемого образца;
- расчет характеристики  $\Psi(I)$  - с возможностью настроек различных вариантов расчета;
- визуальное отображение всех измеренных и рассчитанных характеристик в виде графиков на мониторе персонального компьютера.

Базовые значения активной составляющей сопротивления  $R1$  и  $R2$  обмотки испытуемого образца, используемые при расчете его вебер-амперной характеристики согласно описанному выше методу, могут быть введены пользователем в специальном диалоговом окне, которое открывается после выбора соответствующего пункта меню (рис. 1). При измерениях в режиме  $SA$  базовые значения активной составляющей сопротивления будут автоматически вычислены по напряжению и току.

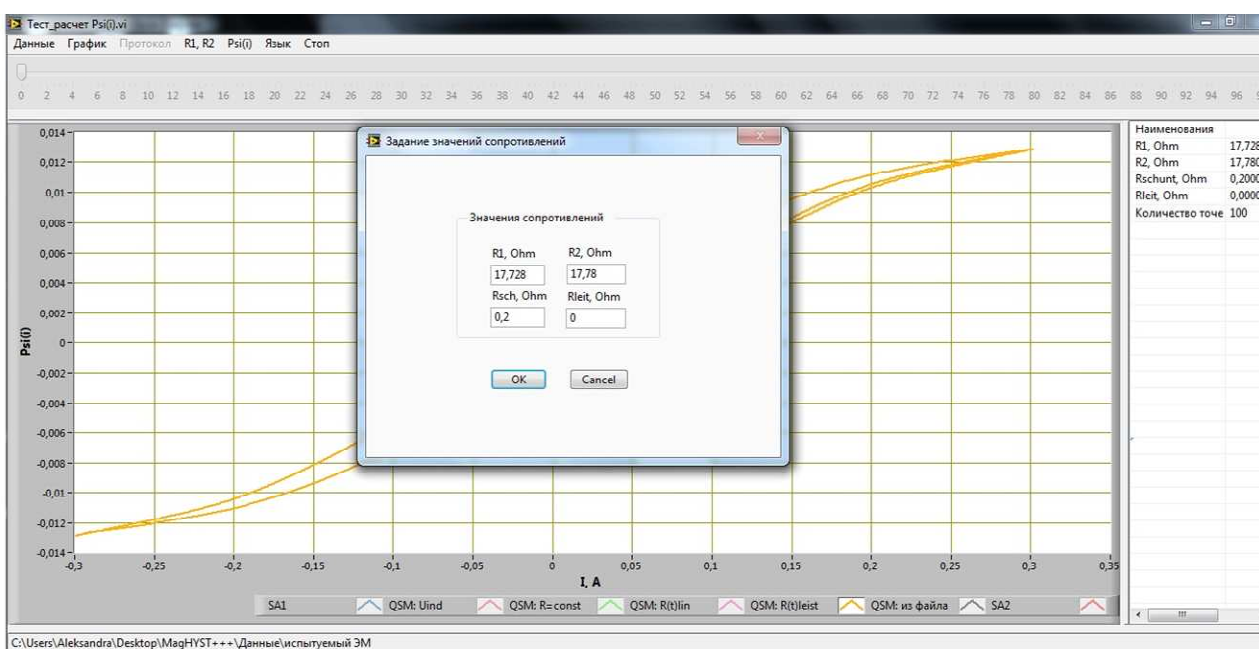


Рисунок 1 – Задание пользователем базовых  $R1$  и  $R2$  значений активной составляющей сопротивления обмотки электромагнитного механизма

В настройках расчета вебер-амперных характеристик имеется возможность выбора способа интерполяции функции изменения в процессе измерения величины активной составляющей сопротивления обмотки испытуемого образца: постоянное, линейное или согласно «энергетическому» методу, когда изменение учитывается в зависимости от выделяемой тепловой энергии (рис. 2).



Рисунок 2 – Различный характер изменения активной составляющей сопротивления обмотки электромагнитного механизма, принимаемый при расчете его вебер-амперной характеристики (1 - постоянное сопротивление, 2 - линейное сопротивление, 3 – сопротивление, изменяющееся в зависимости от выделяемой тепловой энергии)

Включенные настройки «Центровать», «Замыкать» (рис. 3) дают возможность с помощью дополнительных математических преобразований в некоторой степени компенсировать влияние «оффсетов» на рассчитываемые вебер-амперные характеристики. Понимание точного характера влияния таких погрешностей и разработка способов их полной компенсации является следующей задачей исследований в этом направлении.

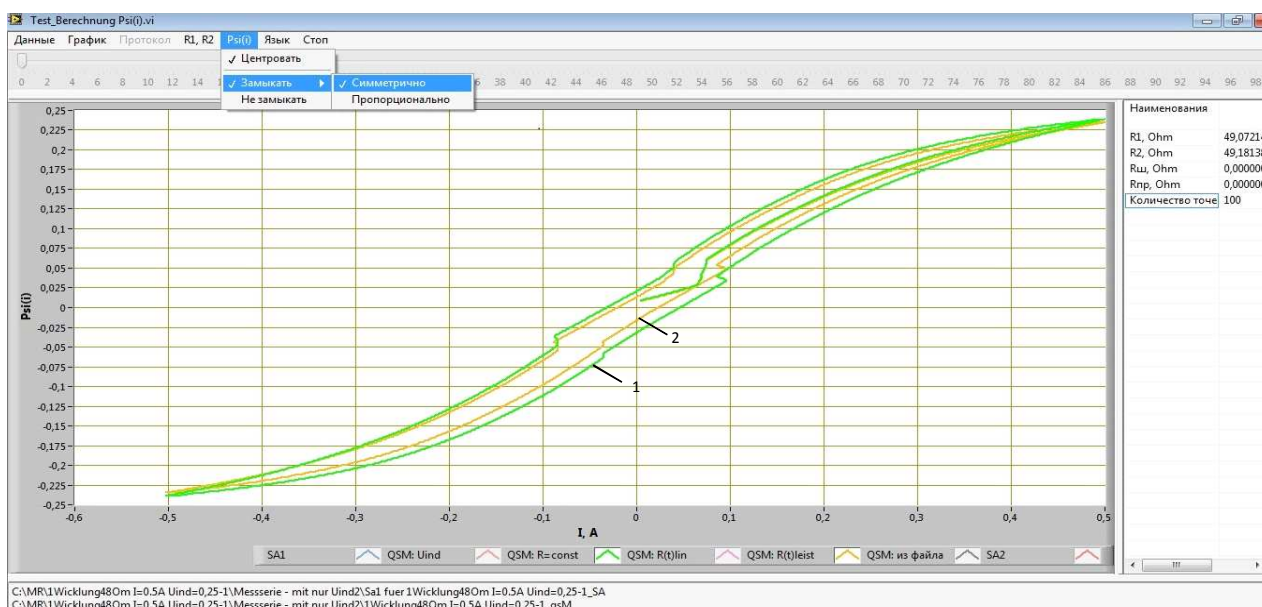


Рисунок 3 – Вебер-амперные характеристики электромагнитного механизма с включенными настройками «Центровать» и «Замыкать» (1 - с учетом неизменяющейся активной

составляющей сопротивления обмотки, 2 – с учетом изменяющейся в зависимости от выделяемой тепловой энергии активной составляющей сопротивления обмотки)

### **Выводы**

Метод косвенного определения вебер-амперных характеристик электромагнитных механизмов был экспериментально проверен на электромагните *Staiger*, при этом были измерены базовые значения активной составляющей сопротивления:  $R_1 = (17,728 \pm 0,0001)$  Ом;  $R_2 = (17,780 \pm 0,0001)$  Ом;  $R_{ш} = (0,2 \pm 0,0001)$  Ом;  $R_{пр} = (0,01 \pm 0,0001)$  Ом. Измерения проводились цифровым мультиметром Tektronix DMM4050.

Результаты показали, что предложенный алгоритм обеспечивают повышение точности за счет снижения погрешности, вызванной изменением активной составляющей сопротивления обмотки [3].

Таким образом, применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик при разработке программного обеспечения для автоматизированной системы бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов подтверждает практическую направленность проведенных ранее теоретических исследований.

*Статья подготовлена в рамках государственного задания на 2013-2014 год (проект № 11.7199.2013).*

### **Список литературы**

1. Намитоков К.К. Испытания аппаратов низкого напряжения. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – С. 164
2. Широков К.М. «Энергетический» алгоритм определения магнитных характеристик электротехнических изделий // Академические фундаментальные исследования молодых ученых России и Германии в условиях глобального мира и новой культуры научных публикаций : материалы международной молодежной конференции (г. Новочеркасск, 4-5 октября 2012 г.). – Новочеркасск : Лик, 2012. – С. 200-203.
3. Широков К.М. Алгоритм определения магнитных характеристик электротехнических изделий // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2013. – № 1. – С. 70-73.
4. Январев С.Г., Сахавова А.А., Широков К.М., Боровой В.В. Разработка программного обеспечения в среде LABVIEW для прибора диагностики электромагнитных механизмов: научный и образовательный аспекты // MATERIALS OF THE II INTERNATIONAL RESEARCH AND PRACTICE CONFERENCE. – 2012. – Vol. I. – P. 245-247.

5. Baumbach J.; Kallenbach E.; Kucera U.; Neumann K.; Radler. MagHyst®-modular — ein universelles Gerät zur Messung magnetischer Größen und Kennlinien an Materialien, Halbzeugen und Magnetaktoren. Messeartikel für die Sensor+Test, 2009.

**Рецензенты:**

Гречихин В.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск.

Кириевский Е.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова», г.Новочеркасск.