

О.А. ОНИЩЕНКО, канд. техн. наук, **А.С. ПОРАЙКО, И.Н. РАДИМОВ**, канд. техн. наук, **В.В. РЫМША**, канд. техн. наук (г. Одесса)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЬНЫХ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Наведено результати досліджень по ідентифікації параметрів вентильного реактивного двигуна. Зроблено порівняльний аналіз експерименту та розрахунку.

The results of the research of the parameters identification of the switched reluctance motor are present. The comparative analysis of the experimental and calculation dates are execute.

При получении электропривода с вентильно-реактивным двигателем (ВРД) от производителя, либо после длительной эксплуатации или ремонта, необходимо знать параметры ВРД для подтверждения его исправного состояния, а также с целью настройки системы регулирования преобразователя.

Для определения основных параметров ВРД (индуктивности фазы L_f , сопротивления фазы обмотки статора постоянному току R_f) достаточно провести оперативные исследования с помощью несложного лабораторного оборудования (рис. 1), используя импульсный способ идентификации параметров [1].

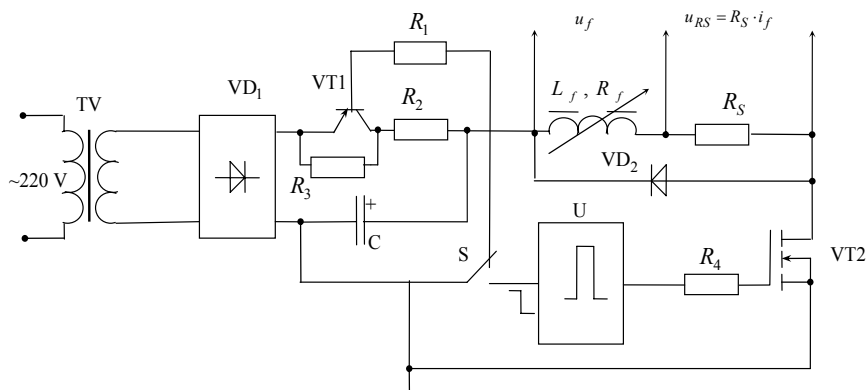


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

При этом требуемые параметры могут быть получены измерением напряжения u_f , приложенного к фазе ВРД, а также падения напряжения на токоизмерительном резисторе R_s , которое пропорционально току фазы i_f двигателя. Измерения проводятся при неподвижном роторе для двух характерных его положений относительно статора: согласованном (оси полюсов возбуждаемой фазы статора и оси полюсов ротора совпадают) и полностью рассогласованном (оси полюсов возбуждаемой фазы статора находятся посередине между осями полюсов ротора).

В экспериментальную установку входят: понижающий трансформатор TV ; мостовой выпрямитель VD_1 ; конденсатор C ; ключ VT_1 на биполярном транзисторе; токоизмерительный резистор R_s ; обратный диод VD_2 ; механический ключ S ; одновибратор U ; ключ VT_2 на N-канальном MOSFET транзисторе.

Схема работает так. В исходном положении ключа S происходит заряд конденсатора C через открытый транзистор VT_1 . При переключении S в нижнее положение разрывается цепь заряда конденсатора C , на выходе одновибратора U формируется короткий положительный импульс, включающий транзистор VT_2 . Происходит разряд конденсатора C через фазу обмотки ВРД. При этом с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) типа ADC-1280 записываются сигналы, пропорциональные напряжению u_f и току фазы цепи i_f .

Тогда потокосцепление фазы ψ из уравнения электрического равновесия $\frac{d\psi}{dt} = u_f - R_f \cdot i_f$, может быть получено интегрированием при начальном условии $\psi(t=0) = 0$:

$$\psi(t) = \int_0^t [u_f(t) - i_f(t)R_f] dt.$$

При обработке результатов эксперимента выполняется численное интегрирование с шагом по времени Δt , который определяется частотой выборки данных АЦП. При этом потокосцепление на n -ом шаге интегрирования:

$$\psi_n = \psi_{n-1} + \Delta\psi_n,$$

где ψ_{n-1} - потокосцепление, рассчитанное на $n-1$ шаге,

$\Delta\psi_n = (u_{fn} - R_f \cdot i_{fn}) \cdot \Delta t$ - приращение потокосцепления на n -ом шаге.

В качестве объекта при экспериментальных исследованиях принят ВРД с соотношением полюсов статора к ротору – 16/12. Основные геометрические

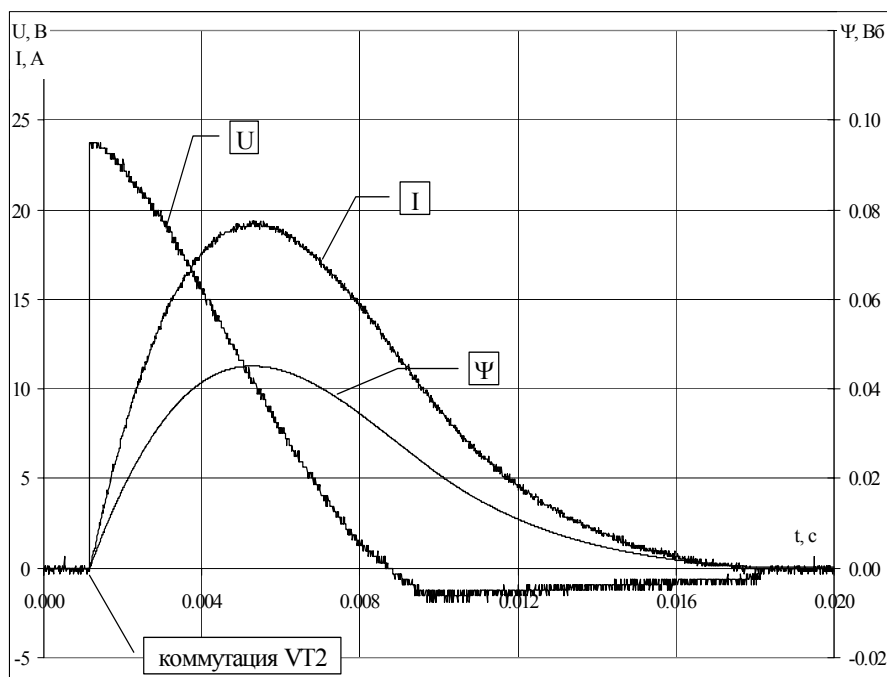
размеры и обмоточные данные ВРД приведены в табл. 1.

Таблица 1

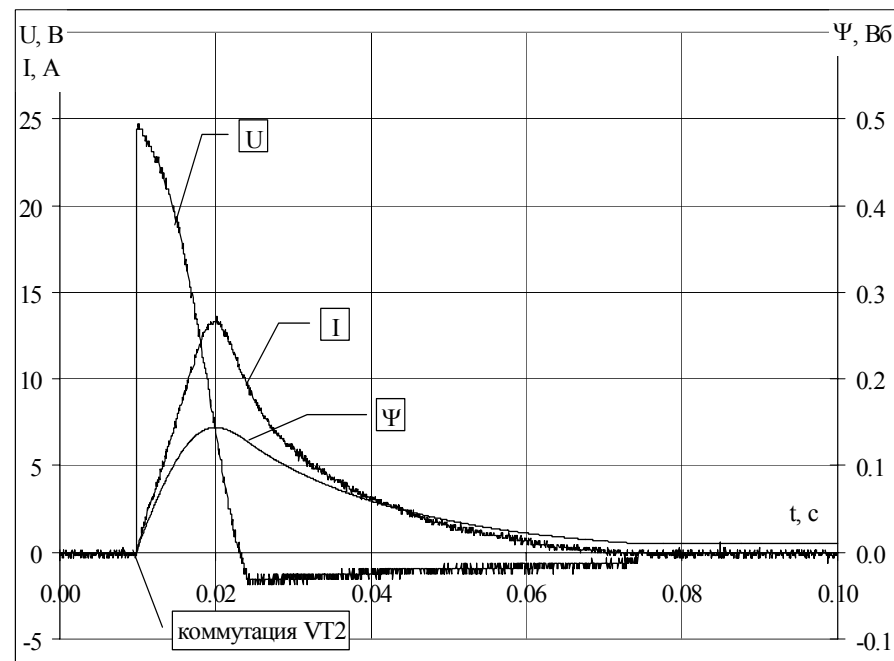
Основные размеры и обмоточные данные экспериментального ВРД

Число фаз	4
Наружный диаметр статора, мм	130
Диаметр ротора, мм	80,5
Воздушный зазор, мм	0,25
Длина пакета статора, мм	80
Число витков катушки фазы	33
Сопротивление фазы (при 20 ⁰ C), Ом	0,525

Экспериментально полученные осциллограммы напряжения и тока для указанных положений ротора относительно статора, после масштабирования, представлены на рис. 2. На этом же рисунке приведены значения изменения потокосцепления фазы обмотки статора, полученные численным интегрированием с использованием экспериментальных данных напряжения и тока, что позволяет назвать данные значения потокосцепления экспериментальными.



а) рассогласованное положение



б) согласованное положение

Рис. 2. Зависимости токов и напряжений обмотки фазы ВРД

На рис. 3 представлены экспериментальные зависимости $\psi = f(i_f)$ и, для сравнения, аналогичные зависимости, полученные в результате моделирования магнитного поля [2] (рис. 4), демонстрирующие достаточную для практики сходимость.

Полученные данные позволяют:

1. На основе зависимостей $\psi = f(i_f)$ рассчитать статическую

$$L_{f_stat} = \frac{\psi(i_f)}{i_f} \text{ и динамическую } L_{f_дин} = \frac{\Delta\psi(i_f)}{\Delta i_f} \text{ индуктивности}$$

фазы ВРД, а также соответствующие им электромагнитные постоянные времени.

2. Оценить расчетным способом сопротивление фазы статора R_f . Это определение возможно по результатам записи изменения тока i_f и напряжения u_f для момента времени, когда ток проходит через максимальное значение и производная от потокосцепления (противо-ЭДС) стремится к нулевому значению.

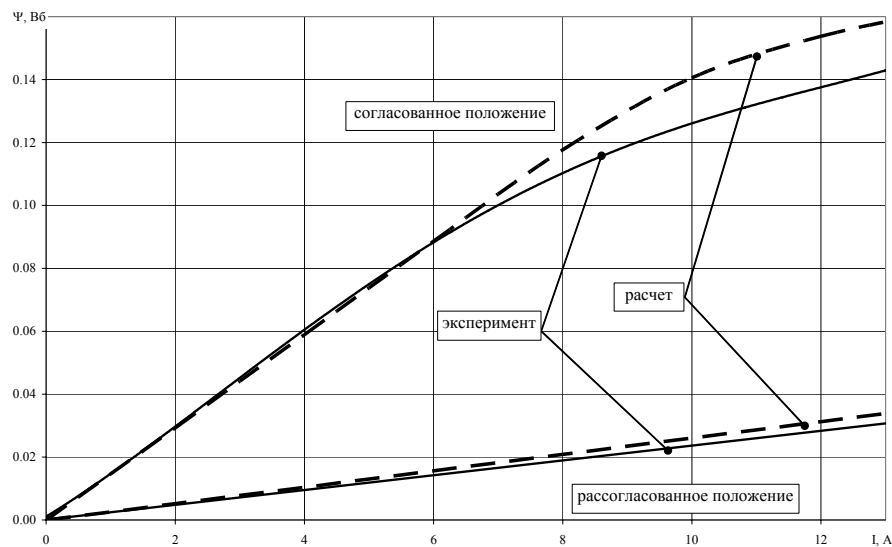
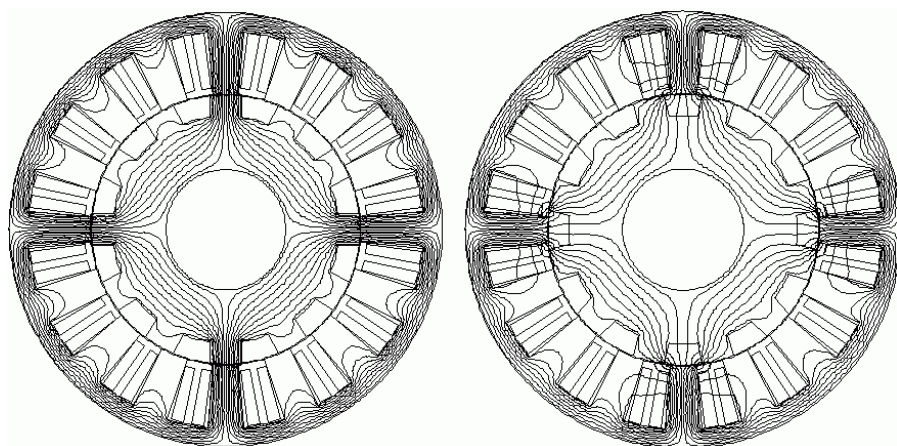


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей $\psi = f(i_f)$



согласованное положение рассогласованное положение
Рис. 4. Магнитное поле исследуемого ВРД

Например, для согласованного положения $R_f = \frac{u_f(i_{f \max})}{i_{f \max}} = \frac{7,02}{13,61} = 0,516 \text{ Ом}$,

а для рассогласованного положения $R_f = \frac{10,06}{19,1} = 0,527 \text{ Ом}$. Измеренное омметром $R_f = 0,525 \text{ Ом}$.

3. Определить зависимость среднего момента за период коммутации от тока i_f по изменению коэнергии магнитной системы ВРД:

$$M_{cp} = \frac{\Delta W_{кэ}}{\Delta \Theta} \cdot k_M,$$

где $\Delta W_{кэ}$ - изменение коэнергии, соответствующее площади фигуры, ограниченной зависимостями $\psi = f(i_f)$ для двух характерных положений ротора (см. рис. 3); $\Delta \Theta$ - изменение угла поворота ротора между согласованным и рассогласованным положением; k_M - коэффициент, учитывающий изменение коэнергии на периоде коммутации (для трехфазной системы k_M может быть принят равным 1,3, а для четырехфазной – 1,4). Результаты расчета M_{cp} для исследуемого ВРД при $I_f = 10 \text{ А}$ сведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные расчета M_{cp}

k_M	$\Delta \Theta$	Расчет		Эксперимент	
		$\Delta W_{кэ}$	M_{cp}	$\Delta W_{кэ}$	M_{cp}
1,4	0,2618	0,595	3,178	0,503	2,688

Расхождение между расчетным и экспериментальным значением M_{cp} , равное 18%, связано с отличием реальной кривой намагничивания стали от табличной.

4. Оценить степень эксцентриситета ротора и, соответственно, отличие величины воздушного зазора под полюсами статора от расчетного. Для этого необходимо провести аналогичные опыты для всех фаз ВРД.

5. Рассмотренный подход к идентификации параметров ВРД может быть применен при создании специальной программы мониторинга аналогично тому, как это выполняется в частотном электроприводе с векторным управлением.

Список литературы: 1. *Порайко А.С.* Экспериментальная оценка адекватности полевых математических моделей вентильно-реактивных двигателей // *Электромашиностроение та електрообладнання: Респ. міжвід. наук.-техн. зб.* 2004. Вип.63. С. 77-81. 2. *Радимов И.Н., Рьмша В.В., Малеваный О.Е.* Моделирование режимов работы вентильного индукторного двигателя // *Электротехника и электромеханика.* 2002. № 2. С. 60-64.