

УДК 621.317

Исследование параметров современных электроприводов с использованием информационно-измерительной системы

Н. В. Белов,

Московский институт энергобезопасности и энергосбережения, заведующий кафедрой электротехники и электроники, кандидат технических наук, доцент

В. П. Горкин,

Университет машиностроения (МАМИ), старший преподаватель кафедры автомобильной электроники

Д. В. Жматов,

Московский институт энергобезопасности и энергосбережения, доцент кафедры электротехники и электроники, кандидат технических наук

Проведены экспериментальные исследования на нагрузочном стенде с измерением входных и выходных мощностей: активной, реактивной и полной мощности электропривода и коэффициента используемой мощности. В результате исследования была создана информационно-измерительная установка, включающая аппаратно-программные средства управления и разработанное в среде LabVIEW программное обеспечение для сравнения различных типов электродвигателей.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, вентильный двигатель, информационно-измерительная система, нагрузочный стенд, LabVIEW.

В Московском институте энергобезопасности и энергосбережения разработан комплекс для решения учебно-исследовательских задач по идентификации электрических параметров электроприводов с асинхронными и вентильными электродвигателями с использованием информационно-измерительной системы. Испытания электроприводов на разработанном лабораторном стенде проводятся в режиме S1 (в нормативных документах для объектов стандартизации с продолжительным (S1) или повторно-кратковременным (S3) режимами работы установлены классы энергоэффективности согласно ГОСТ Р 52776-2007 (МЭК-60034-1-2004) «Машины электри-

ческие вращающиеся. Номинальные данные и характеристики»).

Для снятия рабочих характеристик электродвигателей используется нагрузочный стенд с электромагнитным тормозом. Диапазон измерений электромагнитного тормоза от 0 до 1,2 Н·м. Нагрузочные установки с асинхронным и вентильным электродвигателями и информационно-измерительная система показаны на рис. 1–3.

Стенд состоит из нагрузочной установки и информационно-измерительной системы и может быть использован для определения характеристик и сравнительной оценки различных электроприводов.

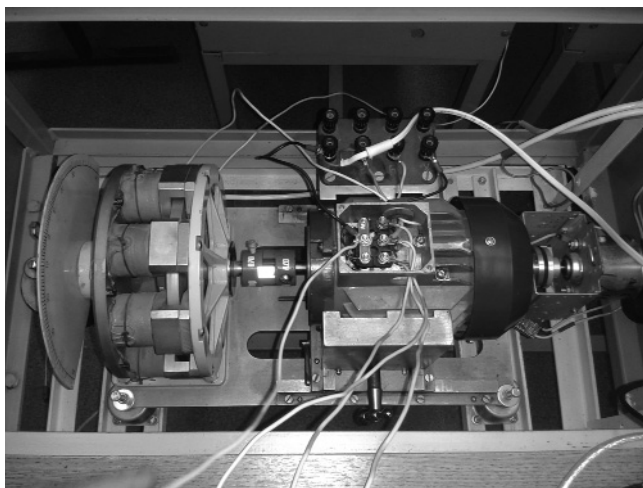


Рис. 1. Нагрузочная установка. Электропривод с асинхронным двигателем

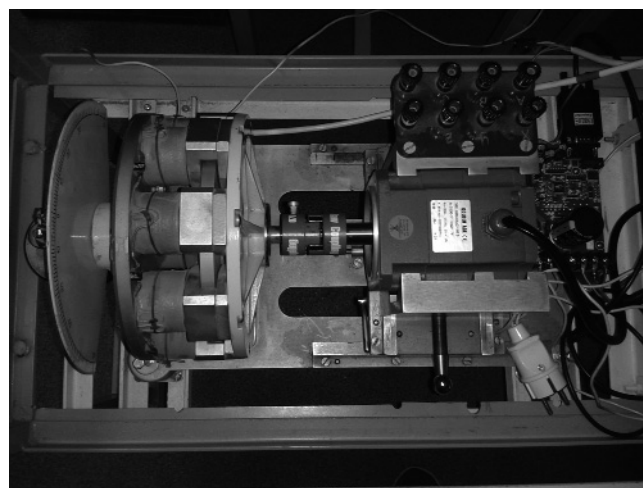


Рис. 2. Нагрузочная установка. Электропривод с вентильным двигателем

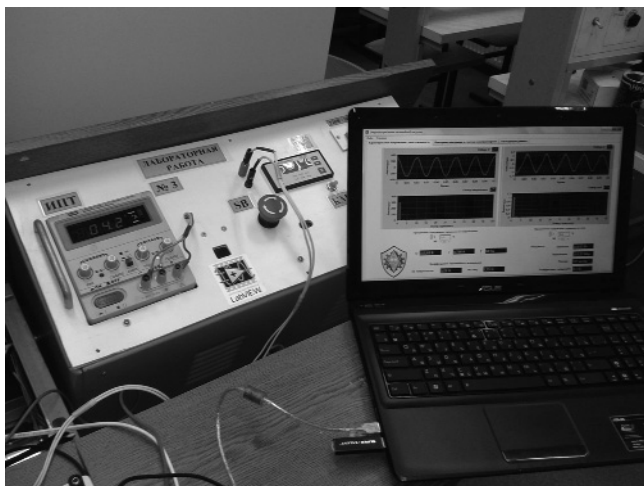


Рис. 3. Информационно-измерительная установка для испытаний двигателей

Основа аппаратной и программной части измерительного комплекса – технические и программные средства компании National Instruments: среда графического программирования LabVIEW и устройство сбора данных USB 6009. Устройство сбора данных имеет 8-канальный 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь с максимальной частотой дискретизации 48 кГц и входным напряжением ± 10 В. В отличие от текстовых языков, таких как C++, Delphi, Pascal, где программы составляются в виде строк текста, в LabVIEW программы создаются в виде графических блок-диаграмм.

Блок-диаграмма программного кода информационно-измерительного комплекса представлена на рис. 4. Основа кода в среде LabVIEW – графические

примитивы в виде пиктограмм, в основе каждой из которых лежит виртуальный прибор. Связи между виртуальными приборами являются переменными, через которые происходит передача данных.

Информационно-измерительная система обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение значения действующих напряжений и силы переменного тока в одно- и трёхфазной сети;
- измерение активной, реактивной и полной мощности, определение коэффициента мощности в одно- и трёхфазной сети;
- измерение частоты основной гармоники сетевого напряжения;
- измерение угла между напряжением и током в каждой фазе, построение векторных диаграмм;
- измерение гармонических составляющих токов и напряжений в интервале до 50-й гармоники;
- отображение уровней гармоник напряжения и тока в виде графика амплитудного спектра;
- определение коэффициента нелинейных искажений по напряжению и току;
- определение несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности;
- определение отклонения основной частоты;
- регистрация параметров сети электроснабжения с заданным интервалом времени и сохранение их в электронные счетные таблицы формата MS Excel.

Методика проведения испытаний асинхронного и вентильного электроприводов на нагрузочном стенде заключается в идентификации параметров с использованием разработанной информационно-измерительной системы по следующим идентификаторам: P , Q , S , K_p , $\cos \phi$.

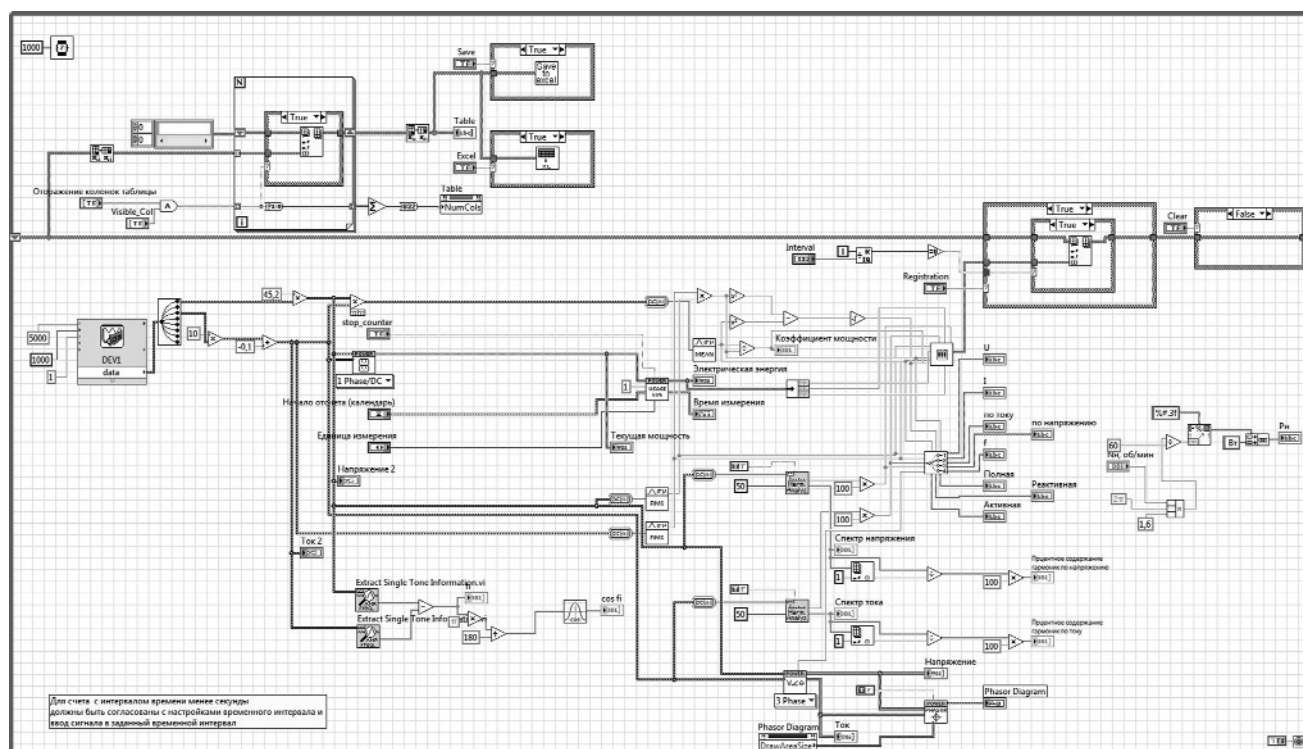


Рис. 4. Блок-диаграмма информационно-измерительной системы в среде LabVIEW

Объектами исследования являются:

- асинхронный двигатель АИР 63А2УЗ: 3 фазы, 50 Гц, 370 Вт, $n = 2760$ об./мин, КПД – 72 %, $\cos \varphi = 0,86$, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном}} = 0,91$ А;
- синхронный вентильный двигатель GK 6040-6AC31-WE: 3 фазы, 50–60 Гц, 450 Вт, $n = 2686$ об./мин, $\cos \varphi = 1$, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном}} = 2,1$ А.

Для каждого двигателя проводится по семь экспериментов на нагрузочном стенде с моментами M от 0,36 до 1,14 Н·м, включая работу двигателей на холостом ходу. Результаты экспериментов работы асинхронного и вентильного двигателей приведены в табл. 1 и 2.

В системе используется ряд расчётных математических моделей. Под активной мощностью P несинусоидального тока понимают среднее значение мгновенной мощности за период первой гармоники:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T [U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)] \times \\ &\times [I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k)] \cdot dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T U_0 I_0 \cdot dt + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \times \\ &\times I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k - \varphi_k) \cdot dt + \\ &+ \sum_{k=0, i=0, k \neq i}^{\infty} \frac{1}{T} \int_0^T U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \cdot I_{im} \sin(i\omega t + \psi_i - \varphi_i) \cdot dt = \\ &= U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{km} I_{km}}{2} \cos \varphi_k = \\ &= U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = \sum_{k=0}^{\infty} P_k. \end{aligned}$$

Для измерения активной мощности необходимо вычислить произведения мгновенного значения напряжения и тока (аналоговые осциллограммы, поступающие в компьютер с устройства ввода данных через DAQ Assistant) и вычислить среднее значение за период с помощью функций Cycle Average and RMS 1 chan, Mean VI или Basic Averaged DC RMS.

Таким образом, активная мощность несинусоидального тока равна сумме активных мощностей отдельных гармоник:

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} P_k. \quad (2)$$

Аналогично для реактивной мощности можно записать

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} Q_k = \sum_{n=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k. \quad (3)$$

Полная мощность

$$S = UI = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2 \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \neq \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (4)$$

где D – мощность искажений, определяемая произведениями действующих значений разномпорядковых гармонических тока и напряжения.

Для несинусоидальных токов и напряжений коэффициент мощности K_p определяется отношением активной мощности P к полной мощности S , определённых по вышеприведённым зависимостям:

$$K_p = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} P_k}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_N^2 \cdot \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_N^2}}} \quad (5)$$

Частота переменного тока определяется функцией извлечения информации о единственном гармоническом сигнале (Extract Single Tone Information VI) или экспресс-вычислительным прибором Tone Measurements (для измерения гармонического колебания). Определяется гармоническое колебание с наибольшей амплитудой или производится поиск такого колебания в заданном диапазоне частот (как центр тяжести спектра). Для найденного колебания могут быть определены такие параметры, как частота и фаза. В соответствии с методикой эксперимента полученные результаты указаны в табл. 1 и 2.

Исходя из проведённых экспериментов с различными нагрузками и отношением момента M к номинальному моменту $M_{\text{ном}}$ в табл. 1 отображены сводные показатели: № – номер эксперимента; I – ток (А); P – активная мощность (Вт); n – частота вращения двигателя (об./мин); K_p – коэффициент используемой мощности.

Таблица 1

Сводные параметры экспериментов (асинхронный двигатель)

№	M	$M/M_{\text{ном}}$	I	P	$\cos \varphi$	n	K_p
1	0,00	0,00	0,55	16,83	0,78	2800	0,13
2	0,36	0,28	0,60	56,27	0,79	2709	0,43
3	0,51	0,39	0,65	81,24	0,78	2686	0,57
4	0,63	0,48	0,72	99,12	0,79	2626	0,64
5	0,78	0,60	0,84	135,91	0,79	2565	0,74
6	0,96	0,74	0,94	160,62	0,79	2490	0,78
7	1,14	0,88	1,07	190,63	0,80	2414	0,82

По результатам табл. 1 построены графики рабочих характеристик электропривода, которые приведены на рис. 5.

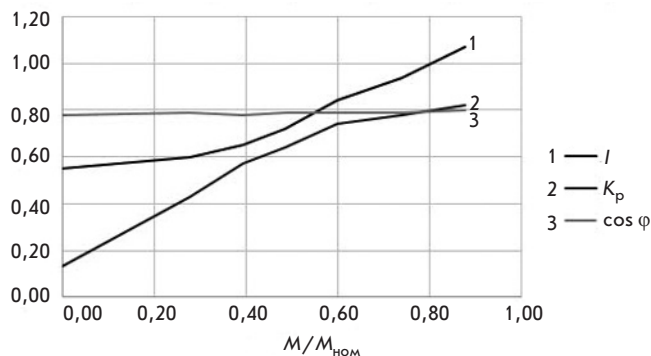


Рис. 5. Рабочие характеристики электропривода с асинхронным двигателем (АД)

В табл. 2 отображены сводные показатели по вентильному двигателю: № – номер эксперимента; I – ток (А); P – активная мощность (Вт); n – частота вращения двигателя (об./мин); K_p – коэффициент используемой мощности.

По результатам табл. 2 построены графики рабочих характеристик электропривода, которые приведены на рис. 6.

Сравнительная характеристика асинхронного и вентильного двигателей показала преимущество синхронного вентильного двигателя, а именно

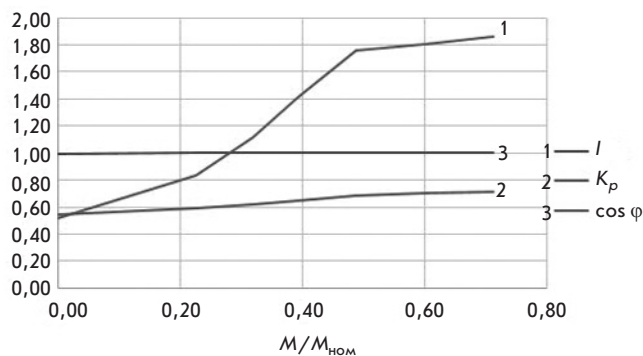


Рис. 6. Рабочие характеристики электропривода с вентильным двигателем (ВД)

эффективность коэффициента используемой мощности. Благодаря корректору коэффициента мощности $\cos \varphi$ у вентильного двигателя составляет 1, частота вращения двигателя под различными нагрузками не меняется и составляет 2686 об./мин, в отличие от асинхронного.

На рис. 7 и 8 приведены сравнительные характеристики электроприводов с асинхронным и вентильным электродвигателями по потреблённой из сети активной мощности и частоты вращения двигателей.

В настоящее время вентильные двигатели являются перспективным классом электрических машин для электроприводов. Они обладают высокой энергетической эффективностью, повышенными

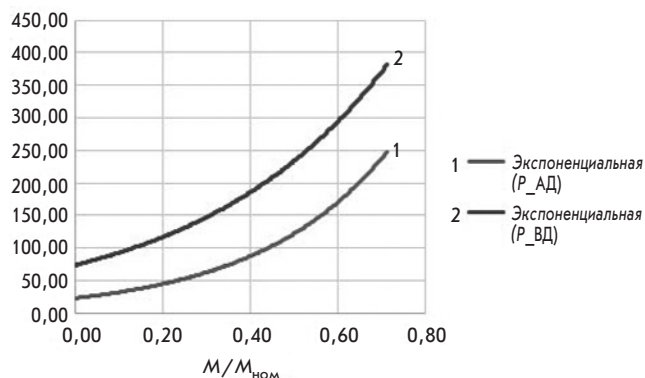


Рис. 7. Сравнение активной мощности потребления из сети вентильным и асинхронным двигателями

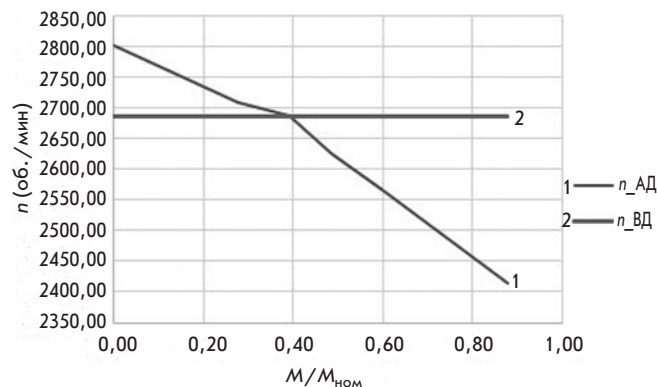


Рис. 8. Сравнение частоты вращения асинхронного и вентильного двигателей

Таблица 2

Сводные параметры экспериментов (вентильный двигатель)

№	M	$M/M_{ном}$	I	P	$\cos \varphi$	n	K_p
1	0,00	0,00	0,52	66,30	0,99	2686	0,54
2	0,36	0,23	0,83	114,64	1,00	2686	0,59
3	0,51	0,32	1,11	160,75	1,00	2686	0,62
4	0,63	0,39	1,41	211,90	1,00	2686	0,65
5	0,78	0,49	1,76	280,17	1,00	2686	0,68
6	0,96	0,60	1,81	294,80	1,00	2686	0,70
7	1,14	0,71	1,86	306,22	1,00	2686	0,71

динамическими свойствами, малыми массой и габаритами, лучшей управляемостью.

Анализ имеющихся способов управления асинхронными и вентильными двигателями переменного тока показал, что классическая релейная схема «прямого» пуска уступает место частотному и векторному управлению. Современная электроника на основе цифровых сигнальных процессоров позволяет управлять электродвигателями, не имеющими датчика положения ротора, что существенно упрощает конструкцию электродвигателя с сохранением энергетических и моментных характеристик.

Векторное управление с использованием обратной связи по постоянному току (обеспечиваемое

токовым шунтовым датчиком) существенно снижает стоимость электронной системы управления и способствует плавной регулировке момента вращения. С точки зрения энергоэффективности такое управление обеспечивает питание электродвигателя синусоидальным напряжением, что снижает шум и повышает КПД.

Созданный в МИЭЭ аппаратно-программный измерительный комплекс, разработанный в среде графического программирования LabVIEW и состоящий из нагрузочной установки и информационно-измерительной системы, может быть использован для определения характеристик и сравнительной оценки различных электроприводов.

Литература

1. Murray, Aengus. Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives / / Power Electronics Technology. June 2006. Pp. 14–16, 18, 20–21.
2. Takahashi, Toshio. Motion Control Engine for Advanced Motion Control Application – A New Architecture Microcontroller Proposal. Appliance magazine.com.
3. Andraka R. A Survey of CORDIC Algorithms for FPGA Based Computers: Proc. of ACM/SIGDA 6th International Symposium on FPGAs. 1998. Monterey, Calif. G.
4. Ильинский Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. – М.: Академия, 2008. – 208 с.
5. Каланчев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика). – М.: ЭФО, 2012. – 63 с.
6. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет, 2008. – 298 с.
7. Сизякин А. В., Румянцев М. Ю. Без датчика положения ротора: решения компании IR для управления вентильными двигателями / / Новости электроники. – 2011. – № 10. – С. 22–28.
8. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. – СПб.: Корона-Век, 2012. – С. 57–74.
9. Беспалов В. Я. Электрические машины. – М.: Академия, 2008. – 320 с.

Research of modern electric drives' parameters with the information measuring system

N. V. Belov,
Moscow Institute of Energy-Safety and Energy-Economy, PhD

V. P. Gorkin,
Moscow State Technical University "MAMI"

D. V. Zhmatov,
Moscow Institute of Energy-Safety and Energy-Economy, PhD

Research of active, reactive and complex power and used power coefficients of electric drives was performed. As a result, we develop the information measuring system which includes hardware and software control tools and a LabVIEW-based program for different types of electric motors' comparison.

Keywords: electric drive, induction motor, brushless motor, information measuring system, LabVIEW.