

УДК 621.313.17

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВЫСОКОМОМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**О. Нолле, Н. Нойбергер**

Эсслингенский университет прикладных наук
Hochschule Esslingen, Robert-Bosch-Str. 1, 73037, Göppingen, Germany.
E-mail: eugen.nolle@hs-esslingen.de, nikolaus.neuberger@hs-esslingen.de

А. С. Бешта, Н. В. Куваев

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»
просп. Карла Маркса, 19, 49600, Днепропетровск, Украина. E-mail: beshtaa@nmu.org.ua, kuvaevnv@ukr.net

Стремительное развитие высокоэффективных и альтернативных методов генерации и использования электрической энергии, а также возрастающие требования к ее эффективному использованию привели к созданию новых видов электрических машин, в том числе высокомоментных электродвигателей и генераторов, работающих на принципах использования поперечного магнитного потока. В работе изложены требования европейских нормативных документов к проведению испытаний электрических машин, приведена функциональная схема и описан испытательный стенд, специально разработанный для испытания высокомоментных электрических машин.

Ключевые слова: высокомоментные электрические машины, стенд, испытания.

СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ВИСОКОМОМЕНТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**О. Нолле, Н. Нойбергер,**

Есслінгенський університет прикладних наук
Hochschule Esslingen, Robert-Bosch-Str. 1, 73037, Göppingen, Germany.
E-mail: eugen.nolle@hs-esslingen.de, nikolaus.neuberger@hs-esslingen.de

О. С. Бешта, М. В. Куваев

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, 49600, Дніпропетровськ, Україна. E-mail: beshtaa@nmu.org.ua, kuvaevnv@ukr.net

Стрімкий розвиток високоефективних і альтернативних методів генерації та використання електричної енергії, а також зростаючі вимоги до її ефективного використання призвели до створення нових видів електричних машин, у тому числі високомоментних електродвигунів та генераторів, що працюють на принципах використання поперечного магнітного потоку. В роботі викладено вимоги європейських нормативних документів до проведення випробувань електричних машин, наведено функціональну схему та описано випробувальний стенд, спеціально розроблений для випробування високомоментних електричних машин.

Ключові слова: високомоментні електричні машини, стенд, випробування.

Постоянный рост мирового энергопотребления является одной из наиболее характерных особенностей деятельности современного человечества. При этом все более остро ставится задача обеспечения высокой эффективности преобразования и использования энергетических ресурсов с учетом постоянного роста уровня развития техники и технологий, а также задача соблюдения требований к охране окружающей среды. В этой связи резко возрастает роль экологически чистых и безопасных альтернативных источников и потребителей энергии, таких, как ветроэнергетические установки (ВЭУ) для генерации энергии и электромобили как потребители энергии.

На сегодняшний день ветроэнергетика продолжает стремительно развиваться, а ведущие автомобильные концерны вкладывают большие средства в создание электроприводных автомобилей. Этому способствуют последние достижения в области разработки новых видов электрических машин (ЭМ), например, синхронных машины с возбуждением от постоянных магнитов, высокомоментных электродвигателей и генераторов, работающих на принципах использования поперечного магнитного потока, достижения в области силовой электроники и использование новейших методов компьютерного моделирования. Эти новые разработки сегодня ак-

тивно используются в промышленности для повышения эффективности и снижения энергопотребления оборудования.

Например, замена редукторного привода генератора ВЭУ на безредукторный с использованием тихоходных генераторов позволяет значительно сократить габариты и вес подвижной части установки. Замена гидравлики на высокомоментные двигатели в прессовом оборудовании позволяет за счет увеличения числа циклов хода рабочего органа повысить производительность прессов.

Высокомоментные генераторы и электродвигатели, в особенности работающие на принципах использования поперечного магнитного потока, отличаются возможностью создания большого крутящего момента при низкой частоте вращения ротора. Поэтому для проведения испытаний таких ЭМ не подходят традиционные стенды, используемые для испытания асинхронных двигателей или машин постоянного тока.

Одним из важных видов испытания ЭМ является их испытание на нагрузочную способность и определение коэффициента полезного действия (КПД). В соответствии с европейскими нормами EN 60034-2-1, проведение таких испытаний может осуществляться несколькими методами, обусловлен-

ними наличием соответствующего испытательного оборудования.

КПД испытуемой машины может определяться методами прямого или косвенного измерений.

Метод прямого определения КПД заключается в том, что при проведении испытаний производится непосредственное измерение потребляемой и отдаваемой мощностей ЭМ. При этом отдаваемая механическая мощность может определяться с помощью т.н. «измерительного вала» или динамометра путем одновременного измерения крутящего момента и числа оборотов. К методу прямого измерения также относится метод, при котором валы двух идентичных машин жестко соединяются друг с другом и полные потери обеих машин определяются как разность между потребляемой электрической мощностью одной и отдаваемой электрической мощностью другой ЭМ (режим двигатель-генератор).

Метод косвенного определения КПД заключается в том, что при испытаниях производится непосредственное измерение потребляемой электрической мощности или отдаваемой механической мощности, а также посредством ряда дополнительных измерений производится определение суммарных потерь. Затем суммарные потери вычитаются из потребляемой электрической мощности и определяется отдаваемая механическая мощность. Если непосредственно измерялась отдаваемая механическая мощность, то к ней прибавляются суммарные потери и определяется потребляемая электрическая мощность ЭМ.

Суммарные потери ЭМ определяются из выражения $P_{\Sigma} = P_{const} + P_{stator} + P_{rotor} + P_{zusatz}$, где: P_{const} – не зависящие от нагрузки потери в стали и потери на трение, определяемые из испытаний в режиме холостого хода; $P_{stator} + P_{rotor}$ – зависящие от нагрузки потери в статоре и роторе, определяемые из испытаний при номинальной нагрузке; P_{zusatz} – дополнительные потери, определяемые в процентном отношении к потребляемой ЭМ мощности при номинальной нагрузке.

Нормативные документы также определяют порядок и последовательность проведения испытаний: измерение сопротивления обмоток статора в холодном состоянии; испытания ЭМ в режимах холостого хода, короткого замыкания и под нагрузкой при различных значениях напряжения питания, причем измерение сопротивления обмоток статора необходимо проводить как до, так и после каждого режима испытаний. Затем по соотношению отдаваемой и потребляемой мощностей определяется КПД ЭМ.

В лаборатории электропривода и электрических установок Эсслингенского университета прикладных наук был создан компьютеризованный испытательный стенд для испытания высокомоментных ЭМ с крутящим моментом до 800–900 Nm и числом оборотов до 500 min^{-1} , полностью отвечающий требованиям нормативных документов. Функциональная схема стенда приведена на рис. 1.

В качестве приводной (нагрузочной) машины используется двигатель постоянного тока (ДПТ) с

независимым возбуждением, имеющий следующие характеристики: номинальная механическая мощность на валу в двигательном режиме $P_N = 167 \text{ kW}$; число оборотов $n_N = 1670 \text{ min}^{-1}$; напряжение в цепи якоря $U_{AN} = 400 \text{ V}$; номинальный и холостой токи якоря $I_{AN} = 450 \text{ A}$, $I_{A0} = 5 \text{ A}$; сопротивление обмотки якоря $R_A = 0,054 \Omega$; ток в обмотке возбуждения $I_{EN} = 4,5 \text{ A}$; электромеханическая постоянная ДПТ $k = 13,5 \text{ V}\cdot\text{s}$.

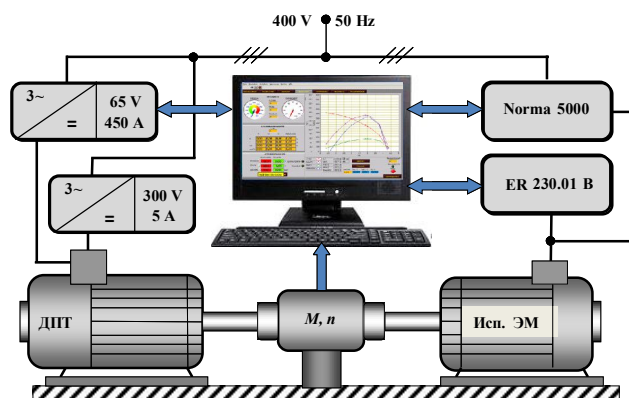


Рисунок 1 – Функциональная схема испытательного стенда

Питание якорной обмотки ДПТ осуществляется от регулируемого источника постоянного тока 65 V / 450 A, что позволяет развивать на его валу крутящий момент $M = (k / 2\pi)(I_{AN} - I_{A0}) \approx 956 \text{ Nm}$. Число оборотов выходного вала при этом составляет: $n = (U_A - I_A R_A) / k = (65 - 450 \cdot 0,054) / 13,5 \cdot 60 = 181 \text{ min}^{-1}$.

Увеличение числа оборотов ДПТ до максимального значения 500 min^{-1} осуществляется за счет установки меньшего тока возбуждения во втором регулируемом источнике постоянного тока 300 V / 5 A, питающего цепь обмотки возбуждения. Минимальное значение этого тока может быть определено из соотношения: $I_{Emin} = I_{EN} (k/k_{500}) = I_{EN} (n/n_{500}) = 4,5(181/500) = 1,63 \text{ A}$.

Приводная (нагрузочная) машина соединена с испытуемой ЭМ через измерительный вал (M, n) с номинальным моментом измерения 1000 Nm. Помимо непосредственного измерения крутящего момента и числа оборотов электронный блок вала обеспечивает текущий расчет механической мощности и отображает результаты измерений на цифровом дисплее. Связь с персональным компьютером (ПК) осуществляется через последовательный порт RS-232 или USB-порт.

Электрические параметры испытуемой ЭМ измеряются с помощью шестиканального анализатора мощности LEM Norma 5000. Этот прибор позволяет измерять переменные и постоянные напряжения уровнем до 1000 V, а также токи до 10 A (с дополнительным шунтом до 30 A). Наличие шести измерительных каналов позволяет производить измерения на ЭМ, запитываемых через частотный преобразователь, а также анализировать спектральный состав токов и напряжений. Связь с ПК осуществляется через последовательный порт RS-232.

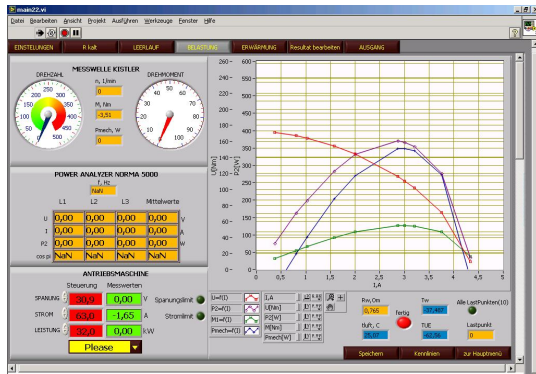


Рисунок 2 – Інтерфейс испытательного стенда

Для измерения сопротивлений обмоток испытуемой ЭМ используется измеритель сопротивлений типа ER 230.01B фирмы «Stahl». Наличие в нем емкостной связи с обмотками позволяет производить текущее измерение сопротивлений непосредственно в процессе испытаний и под напряжением. Наличие внешнего датчика температуры окружающей (охлаждающей) среды обеспечивает оперативный перерасчет текущей температуры нагрева обмоток ЭМ. Прибор ER230.01B также соединен с ПК посредством RS-232.

Общее управление приборами стенда и выбор последовательности испытаний осуществляет ПК. Программное обеспечение стенда разработано в программной среде „Lab VIEW“. Пример интерфейса стенда приведен на рис. 2.

В верхней части окна расположены кнопки выбора различных режимов испытаний. После проведения измерений их результаты автоматически заносятся в протокол. Снятые диаграммы можно трансформировать в Excel-формат для дальнейшей обработки данных.

Описанный выше компьютеризованный испытательный стенд позволяет проводить полуавтоматические прямые и косвенные испытания высокомоментных электрических машин (как двигателей, так и генераторов), в том числе бурно развивающихся высокомоментных электрических машин с поперечным (аксиальным) магнитным потоком в соответст-

вии с требованиями европейских норм.

Техническая характеристика испытательного стенда.

1. Режимы испытаний:

- холостой ход;
- короткое замыкание;
- под нагрузкой.

2. Вид испытаний:

- полуавтоматический.

3. Измеряемые и рассчитываемые величины:

- U , I , P_{el} , M , n , P_{mech} , f , $\cos\phi$, η (кпд).

4. Предельные параметры:

- максимальная механическая мощность 20 kW;
- максимальный крутящий момент 850 Nm;
- максимальное число оборотов 500 min^{-1} ;
- максимальная высота оси ЭМ 270 mm.

На рис. 3 представлена нагрузочная характеристика испытательного стенда, соответствующая предельному значению механической мощности в 20 kW.

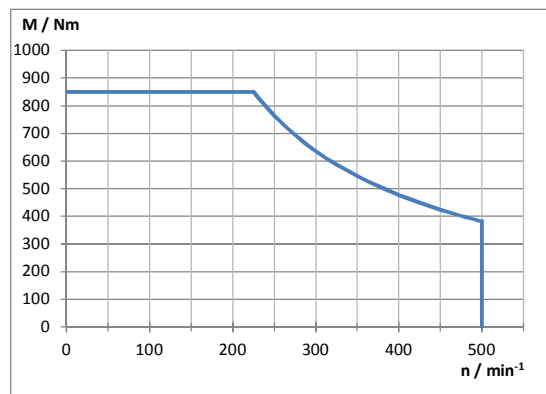


Рисунок 3 – Нагрузочная характеристика испытательного стенда

ЛИТЕРАТУРА

1. Nürnberg W., Hanitsch R. *Die Prüfung elektrischer Maschinen*. – Springer Verlag, 1987. – 348 p.
2. Deutsche Norm DIN EN 60034-2-1. – VDE, 2008.

TEST BENCH FOR TESTING HIGH-TORQUE ELECTRIC MACHINES

O. Nolle, N. Nueberger

Hochschule Esslingen, University of Applied Sciences

Hochschule Esslingen, Robert-Bosch-Str. 1, 73037, Göppingen, Germany.

E-mail: eugen.nolle@hs-esslingen.de, nikolaus.nueberger@hs-esslingen.de

A. Beshta, M. Kuvaiev

National Mining University

prosp. Karla Marxa, 19, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine. E-mail: beshtaa@nmu.org.ua, kuvaevnv@ukr.net

The rapid development of highly efficient and alternative methods of generating and using electric energy, as well as the increasing demand for its effective usage, led to the creation of new types of electric motors, including high-torque electric motors and generators, that operates on the principles of the transverse magnetic flux. This paper sets out the requirements of European regulations for the testing of the electrical machines. The functional diagram of the test bench and its description are presented. The test bench was specially developed for testing high-torque electrical machines.

Key words: high-torque electrical machines, test bench, test.

REFERENCES

1. Nürnberg W., Hanitsch R. *Die Prüfung elektrischer Maschinen*. – Springer Verlag, 1987. – 348 p.
2. *Deutsche Norm DIN EN 60034-2-1*. – VDE, 2008.

Стаття надійшла 23.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Садовим О.В.