

ЭНЕРГЕТИКА

ENERGETICS

УДК 621.314

Применение асинхронного двигателя с фазным ротором в малой энергетике в качестве межсистемной связи*

А.Ю. АРЕСТОВА¹, В.И. БОБРИК², В.М. ЧЕБАН³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, старший преподаватель. E-mail: arestova@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент. E-mail: bobrik@corp.nstu.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: cheban@corp.nstu.ru

Вопрос строительства установок генерации малой мощности и тем более их подключения к распределительным сетям не теряет своей актуальности и, более того, вызывает активные дискуссии в энергетическом сообществе. В качестве установок малой генерации могут выступать устройства с переменной частотой вращения, которые требуют повышенного внимания в вопросах управления электроэнергетическим режимом, обеспечения надежности и устойчивости функционирования.

Наряду с этим существует ряд проблем, связанных с повышением эффективности использования межсистемных связей. К ним можно отнести недостаточную пропускную способность межсистемных связей, неоптимальное распределение потоков мощности, слабую управляемость электрических сетей и сложность в регулировании напряжения и реактивной мощности.

На сегодняшний день повышение эффективности работы межсистемных связей достигается за счет управляемых межсистемных связей. Такие конструкции позволяют осуществлять независимое регулирование режимов по частоте и напряжению в объединяемых системах. Наиболее часто используемым устройством управляемой межсистемной связи является вставка постоянного тока. Кроме этого, можно выделить электромашинные устройства и другие устройства на основе высоковольтных полупроводниковых элементов.

Как известно, устройства на основе высоковольтных полупроводниковых элементов, в том числе вставки постоянного тока, позволяют значительно увеличить эффективность использования межсистемных связей, однако их повсеместному внедрению препятствует существенная стоимость самих устройств и сопутствующих элементов (компенсирующие устройства, фильтры и др.).

В работе предложена модель межсистемной электрической связи на базе асинхронного двигателя с фазным ротором, которая может быть использована в энергетике для асинхронной связи малых электрических установок с системой. Межсистемная связь способна осуществлять

* Статья получена 13 сентября 2017 г.

обмен мощностью между двумя асинхронно работающими системами. Регулирование потока межсистемной активной мощности осуществляется изменением момента на валу ротора асинхронного двигателя. При этом достигнуто упрощение и значительное удешевление межсистемной связи между двумя несинхронно работающими системами благодаря использованию серийного оборудования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, межсистемная электрическая связь, энергосистема, малая генерация, распределенная генерация, вращающийся трансформатор, фазовое управление, статор, ротор, синхронизм, физическая модель, предельный переток, момент на валу

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-129-138

ВВЕДЕНИЕ

Значительное внимание, уделяемое в последнее время вопросам малой энергетики – генераторам на промышленных предприятиях, ветроэнергетическим установкам, мини-ГЭС – во многих случаях обуславливает необходимость решать вопросы их несинхронной параллельной работы с энергосистемой, на территории которой они расположены. В качестве примера можно привести работу установок малой энергетики при аварийном отделении от системы либо работу ветроэнергетических установок параллельно с системой при слабом ветре.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Для решения задач устойчивой работы электрических систем с различными электрическими параметрами хорошо известны устройства межсистемных установок в виде так называемых вставок постоянного тока (ВПТ) [1–3]. Они могли бы решать также вопросы согласования работы объектов малой генерации в случае возникновения аварии, а также обеспечить объединение сетей с разными номинальными частотами, параллельную работу ветроустановок с системой при слабом ветре и пониженной частоте и др. Однако применение ВПТ в области распределенной генерации может оказаться слишком дорогим решением, особенно из-за стоимости тиристорных преобразователей и фильтров для устранения высших гармоник, порожденных применением преобразователей.

Объективно следует отметить применение в последний период времени в разных странах электромашинных устройств межсистемной связи на основе фазорегулирующих устройств, так называемых вращающихся трансформаторов [4, 5]. Судя по литературным источникам, установки являются альтернативой вставкам постоянного тока, уступая последним в быстродействии. Также следует отметить большую стоимость вращающихся трансформаторов и уникальность исполнения, что особенно в настоящее время делает невозможным их использование в малой энергетике.

В случае выбора варианта исполнения межсистемной связи необходимо учитывать, насколько сильно отличаются частоты в объединяемых системах, а также необходимость демпфирования межсистемных колебаний мощности, быстродействие, стоимость установки, реакцию устройства при близких коротких замыканиях и др.

Впервые вращающийся трансформатор был установлен в конце 2003 г. на подстанции Langlois (Hydro-Quebec, Канада) для обмена активной мощностью между Канадой и США. Установка состоит из следующих основных компонентов: вращающегося трансформатора, приводного двигателя для ускорения или торможения вращающегося трансформатора и коллектора. Приводной двигатель используется для приложения крутящего момента к ротору вращающегося трансформатора и изменения положения ротора относительно статора, тем самым контролируя величину и направление передачи мощности между системами. Скорость вращения ротора зависит от разницы в частотах сетей и может достигать величины около трех оборотов в минуту. Объединяемые системы работают несинхронно с номинальной частотой 60 Гц, а изменение перетоков активной мощности в прилегающих линиях электропередач (120 кВ и 230 кВ) могут достигать сотен мегаватт. Вращающийся трансформатор рассчитан на передачу мощности 100 МВА в обоих направлениях, тем самым обеспечивая возможность дополнительного обмена мощностью между энергосистемами США и Канады.

Особенности конструкции, математическое моделирование электромагнитных и механических переходных процессов, анализ устойчивости и применение вращающихся трансформаторов представлены в [6–15].

В качестве основных задач вращающегося трансформатора можно выделить следующее [16, 17]:

- минимизация отклонений от графика при оптимальном КПД гидроагрегатов;
- почасовые изменения потока мощности по графику вместо коммутационных переключений;
- поддержание режима в период максимума нагрузки с возможностью использования большего числа блоков в Hydro-Quebec;
- стабилизация частоты в сети;
- демпфирование колебаний мощности;
- регулирование напряжения.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследования направлены на удешевление межсистемной связи, пригодной для устройств малой энергетики. По мнению авторов, снижение стоимости установки может быть получено на основе описанного выше электромеханического преобразователя, основой которого был бы серийный асинхронный двигатель с фазным ротором, стоимость которого несоизмеримо меньше.

Функциональность такой межсистемной связи может быть ограничена следующим:

- подключением источников малой генерации к энергосистеме, включая ветроэнергетические установки и мини-ГЭС;
- объединением систем с разной частотой;
- объединением синхронных систем с различными требованиями к качеству электроэнергии;
- регулированием перетока межсистемной активной мощности.

3. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕЖСИСТЕМНОЙ СВЯЗИ

На практике межсистемная связь различного исполнения основана на принципах модульного и фазного управления. При этом модульное управление реализуется с помощью трансформаторов, регулирующих напряжение в пунктах примыкания электрических систем, а фазовое управление – с помощью средств непрерывного фазового управления, выполненного в виде электромашинного преобразователя. По мнению авторов, особенно для установок малой энергетики, в том числе ветроэнергетических установок и мини-ГЭС, для этого может быть использован серийный асинхронный двигатель с фазным ротором мощностью, соответственно равной необходимому предельному перетоку активной мощности по межсистемной связи. Мощность, передаваемая через асинхронный двигатель, выступающий в качестве межсистемной связи, будет вычисляться по формуле

$$P = \frac{U_c U_p}{X_{АД}} \sin \delta,$$

где U_c – напряжение на шинах статора асинхронного двигателя; U_p – напряжение на шинах ротора асинхронного двигателя; $X_{АД}$ – полное реактивное сопротивление асинхронного двигателя; δ – угол между векторами напряжений ротора и статора асинхронного двигателя. В свою очередь, предельное значение мощности будет достигнуто при $\delta = 90^\circ$. Принципиальная электрическая схема и векторная диаграмма межсистемной связи представлена на рис. 1.

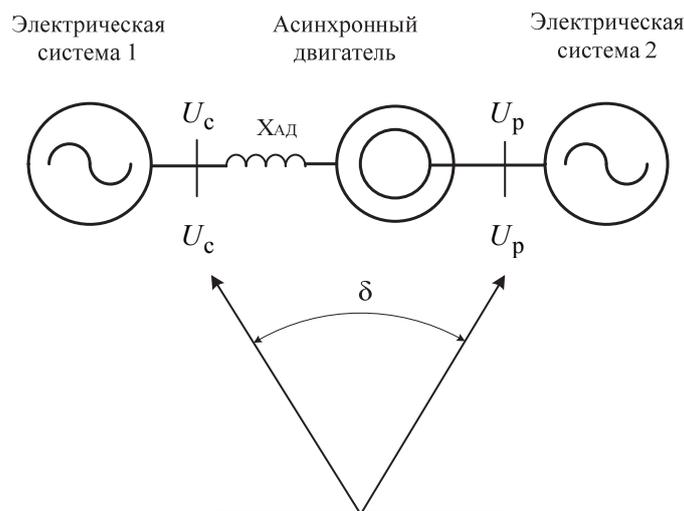


Рис. 1. Структурная схема межсистемной связи на основе асинхронного двигателя с фазным ротором

Обмен активной мощностью между двумя асинхронными системами возможен путем регулирования момента, приложенного к ротору асинхронного двигателя. С помощью вращения ротора со скоростью вращения, равной разности частот объединяемых систем, согласуется синхронизм связи, а фазовые соотношения определяют направление перетока активной мощности и его величину, что реализуется посредством ускоряющего или тормозного момента, прилагаемого к валу двигателя.

В случае синхронно работающих систем ротор не вращается и устанавливается по отношению к статору в положении, соответствующем желаемому направлению и величине перетока активной мощности. Если ротор притормаживается, то передача энергии происходит от обмотки статора к обмотке ротора. Если к ротору приложен ускоряющий момент, то передача энергии происходит от обмотки ротора к обмотке статора. Передача активной мощности пропорциональна величине приложенного момента.

В случае нарушения синхронной работы ротор асинхронного двигателя будет вращаться непрерывно, а скорость вращения будет пропорциональна разности частот между двумя энергосистемами. В таком случае активная мощность будет передаваться от одной системы к другой.

Применение асинхронного двигателя с фазным ротором в качестве межсистемной связи обеспечивает непрерывное регулирование потока активной мощности даже в случае колебаний частоты в обеих энергосистемах.

Рассматриваемая межсистемная связь имеет следующие направления практического применения:

- регулирование потока активной мощности в синхронно работающих системах;
- объединение асинхронных энергосистем на параллельную работу;
- регулирование потока активной мощности в асинхронно работающих системах;
- подключение устройств малой генерации к единой энергосистеме;
- демпфирование колебаний нагрузки в энергосистеме.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На кафедре автоматизированных электроэнергетических систем (АЭЭС) НГТУ была собрана установка по физическому моделированию предлагаемой межсистемной связи и выполнены необходимые экспериментальные исследования, подтвердившие целесообразность межсистемной связи на основе асинхронного двигателя с фазным ротором.

Предлагаемое устройство (рис. 2) содержит типовой (серийный) асинхронный электродвигатель с фазным ротором; тормозное устройство, соединенное с валом электродвигателя; трехфазный синхронный генератор мощностью 12 кВт и линейным напряжением 220 В, моделирующий ту или иную установку малой энергетики (например, ветроэнергетическую установку, работающую с переменной частотой f_1), и трехфазная сеть лаборатории НГТУ с линейным напряжением 220 В и частотой $f_2 = 50$ Гц.

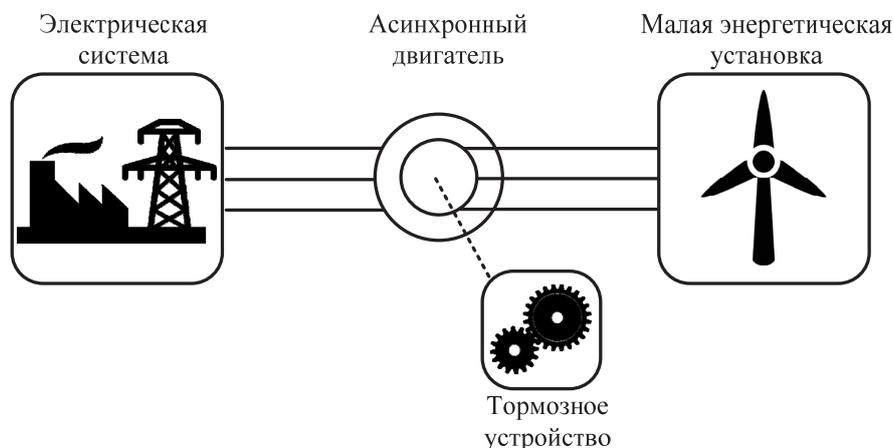


Рис. 2. Структурная схема межсистемной связи на основе асинхронного двигателя с фазным ротором

Одна из обмоток асинхронного двигателя (ротор или статор) подключалась к синхронному генератору, а другая к сети 220 В.

Использовалось подтормаживание вала асинхронного двигателя. Желаемое направление перетока активной мощности между генератором и системой определялось тем, к какой обмотке асинхронного двигателя (статору или ротору) была подключена электрическая система, а к какой – синхронный генератор. Величина перетока активной мощности задавалась степенью подтормаживания – прилагаемым к валу двигателя тормозным моментом.

При одинаковых частотах $f_1 = f_2$ ротор асинхронного двигателя не вращался и, следовательно, асинхронный двигатель работал как трансформатор. Ротор двигателя занимал положение в соответствии с фазами напряжения генератора и системы.

Результаты физического моделирования подтвердили работоспособность предлагаемой межсистемной связи

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мнению авторов, предлагаемая межсистемная электрическая связь, основанная на использовании типового (серийного) оборудования, благодаря ее простоте и невысокой стоимости может быть использована для электрической связи двух электрических систем с разной частотой, особенно в малой энергетике для связи малых электрических станций и ветроэнергетических установок с системой.

Испытания асинхронного двигателя с фазным ротором в качестве межсистемной связи, проведенные на физической модели, показали эффективность обмена мощностью несинхронно работающих систем.

В дальнейшем планируется проведение технико-экономического анализа для уточнения диапазона передаваемой мощности, при которой данное устройство целесообразно использовать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивакин В.Н., Сысоева Н.Г., Худяков В.В. Электропередачи и вставки постоянного тока и статические тиристорные компенсаторы. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 335 с.
2. Flourentzou N., Agelidis V.G., Demetriades G.D. VSC-based HVDC power transmission systems: an overview // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2009. – Vol. 24, N 3. – P. 592–602.
3. Saeedifard M., Iravani R. Dynamic performance of a modular multilevel back-to-back HVDC system // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2010. – Vol. 25, N 4. – P. 2903–2912.
4. Bakhsh F.I., Khatod D.K. Variable frequency transformer-state of the art review // International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS 2013). – Piscataway, NJ: IEEE, 2013. – P. 1012–1017.
5. Merkhouf A., Upadhyay S., Doyon P. Variable frequency transformer – an overview // 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. – Piscataway, NJ: IEEE, 2006. – P. 1–4.
6. Piwko R.J., Larsen E.V. Variable frequency transformer – FACTS technology for asynchronous power transfer // IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. – New Orleans, 2005. – P. 1426–1428.
7. Evaluation of the performance of back-to-back HVDC converter and variable frequency transformer for power flow control in a weak interconnection / B. Bagen, D. Jacobson, G. Lane, H.M. Turanli // 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting. – Piscataway, NJ: IEEE, 2007. – P. 1–6.
8. Piwko R.J., Larsen E.V., Wegner C.A. Variable frequency transformer – a new alternative for asynchronous power transfer // 2005 IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa. – Piscataway, NJ: IEEE, 2005. – P. 393–398.
9. Gesong C., Xiaoxin Z. Digital simulation of variable frequency transformers for asynchronous interconnection in power system // IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Proceedings. – Dalian, China, 2005. – P. 1–6.
10. Truman P., Stranges N. A direct current torque motor for application on a variable frequency transformer // 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting. – Piscataway, NJ: IEEE, 2007. – P. 1–5.
11. Ambati B.B., Khadkikar V. Variable frequency transformer configuration for decoupled active-reactive powers transfer control // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2016. – Vol. 31, iss. 3. – P. 906–914.
12. Abdelkader M.I., Abdelsalam A.K., Hossam A.A. Asynchronous grid interconnection using brushless doubly fed induction machines: assessment on various configurations // 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC 2014). – Piscataway, NJ: IEEE, 2014. – P. 406–412.
13. Bakhsh F.I. VFT application for asynchronous power transfer // International Journal on Control System and Instrumentation. – 2013. – Vol. 4, N 1. – P. 1–7.
14. Simulation model and characteristics of variable frequency transformers used for grid interconnection / R. Yuan, Y. Chen, G. Chen, Y. Sheng // 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM 2009). – Piscataway, NJ: IEEE, 2009. – P. 1–5.
15. Geetha T., Jayashankar V. Stability assessment of power system models for higher wind penetration // 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, POWERCON 2008. – Piscataway, NJ: IEEE, 2008. – P. 1–5.
16. Алексеев Б.А., Шакарян Ю.Г. Испытания вращающегося трансформатора типа VFT для связи несинхронно работающих энергосистем // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2005. – № 3. – С. 7–10.
17. Макаров А.В., Таламанов О.В. Математическая модель управляемой межсистемной связи на основе ферромагнитных управляемых элементов // Вестник ИГЭУ. – 2003. – № 3. – С. 62–69.

Арестова Анна Юрьевна, старший преподаватель кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем факультета Энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – математическое моделирование электромеханических переходных процессов, анализ динамической устойчивости, разработка алгоритмов противоаварийной автоматики. Имеет более 40 публикаций, в том числе монографию и авторское свидетельство. E-mail: arestova@corp.nstu.ru

Бобрик Валентин Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем факультета Энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – исследование и моделирование устойчивости синхронных двигателей. Имеет более 30 работ. E-mail: bobrik@corp.nstu.ru

Чебан Владимир Матвеевич, доктор технических наук, профессор кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем факультета Энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – динамическая устойчивость энергосистем, фазовое управление в энергосистемах. Имеет более 150 научных и методических работ, 10 авторских свидетельств и патентов на изобретение. E-mail: cheban@corp.nstu.ru

The use of a wound rotor induction motor in distributed power generation as an interconnection tie *

A.Yu. ARESTOVA¹, V.I. BOBRIK², V.M. CHEBAN³

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, senior teacher. E-mail: arestova@corp.nstu.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, Ph.D. (Eng.), associate professor. E-mail: bobrik@corp.nstu.ru*

³ *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.), professor. E-mail: cheban@mail.ru*

The issue of constructing distributed generation units and their connection to the power system remains relevant, and, moreover, causes active discussions in the energy community. Distributed generation units could be represented by variable speed generators which require special attention in terms of power control, reliability and stability of operation.

In addition, there are a number of problems associated with improving the effectiveness of the interconnection tie. These include insufficient interconnection tie capacity, non-optimal distribution of power flows, poor controllability of electrical networks and difficulties in regulating voltage and reactive power.

Today the efficiency of an interconnection tie is achieved through controlled interconnections. It allows independent regulation of the frequency and voltage regimes in the connected systems. HVDC and BtB are the most commonly used devices for controlled interconnection. Besides, rotating electric machines and devices based on high-voltage semiconductor elements are applied.

It is known that devices based on high-voltage semiconductor elements, including BtB, can significantly increase the efficiency of interconnection ties, but their widespread use is limited by a high cost of devices.

The paper presents a model of the interconnection tie based on a wound rotor induction motor. The interconnection tie could be used in power engineering for the integration of small power-generating units with the power systems. The interconnection tie is capable of exchanging power between two asynchronous systems. The control of an active power flow is carried

* Received 13 September 2017.

out by changing the torque on the rotor shaft of the induction motor. Finally, the simplification and a significant cost reduction of the interconnection tie between two asynchronous systems due to the use of typical equipment are described in the paper.

Keywords: wound rotor induction motor, interconnection tie, electric power system, small distributed generation, variable frequency transformer, phase control, stator, rotor, synchronism, physical model, maximum power transfer, mechanical torque

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-129-138

REFERENCES

1. Ivakin V.N., Sysoeva N.G., Khudyakov V.V. *Elektroperedachi i vstavki postoyannogo toka i staticheskie tiristornye kompensatory* [DC transmission lines and BtB and static VAR compensator]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1993. 335 p.
2. Flourentzou N., Agelidis V.G., Demetriades G.D. VSC-based HVDC power transmission systems: an overview. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2009, vol. 24, no. 3, pp. 592–602.
3. Saeedifard M., Irvani R. Dynamic performance of a modular multilevel back-to-back HVDC system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2010, vol. 25, no. 4, pp. 2903–2912.
4. Bakhsh F.I., Khatod D.K. Variable frequency transformer-state of the art review. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS 2013)*. Piscataway, NJ, IEEE, 2013, pp. 1012–1017.
5. Merkhouf A., Upadhyay S., Doyon P. Variable frequency transformer – an overview. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Piscataway, NJ, IEEE, 2006, pp. 1–4.
6. Piwko R.J., Larsen E.V. Variable frequency transformer – FACTS technology for asynchronous power transfer. *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, New Orleans, 2005, pp. 1426–1428.
7. Bagen B., Jacobson D., Lane G., Turanli H.M. Evaluation of the performance of back-to-back HVDC converter and variable frequency transformer for power flow control in a weak interconnection. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Piscataway, NJ, IEEE, 2007, pp. 1–6.
8. Piwko R.J., Larsen E.V., Wegner C.A. Variable frequency transformer – a new alternative for asynchronous power transfer. *2005 IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa*. Piscataway, NJ, IEEE, 2005, pp. 393–398.
9. Gesong C., Xiaoxin Z. Digital simulation of variable frequency transformers for asynchronous interconnection in power system. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Proceedings*, Dalian, China, 2005, pp. 1–6.
10. Truman P., Stranges N. A direct current torque motor for application on a variable frequency transformer. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Piscataway, NJ, IEEE, 2007, pp. 1–5.
11. Ambati B.B., Khadkikar V. Variable frequency transformer configuration for decoupled active-reactive powers transfer control. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2016, vol. 31, iss. 3, pp. 906–914.
12. Abdelkader M.I., Abdelsalam A.K., Hossam A.A. Asynchronous grid interconnection using brushless doubly fed induction machines: assessment on various configurations. *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC 2014)*. Piscataway, NJ, IEEE, 2014, pp. 406–412.
13. Bakhsh F.I. VFT application for asynchronous power transfer. *International Journal on Control System and Instrumentation*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 1–7.
14. Yuan R., Chen Y., Chen G., Sheng Y.. Simulation model and characteristics of variable frequency transformers used for grid interconnection. *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM 2009)*. Piscataway, NJ, IEEE, 2009, pp. 1–5.

15. Geetha T., Jayashankar V. Stability assessment of power system models for higher wind penetration. *2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, POWERCON 2008*. Piscataway, NJ, IEEE, 2008, pp. 1–5.

16. Alekseev B.A., Shakaryan Yu.G. Ispytaniya vrashchayushchegosya transformatora tipa VFT dlya svyazi nesinkhronno rabotayushchikh energosistem [Tests of a rotating transformer for the communication of non-synchronously operating power systems]. *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost' – Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'*, 2005, no. 3, pp. 7–10.

17. Makarov A.V., Talamanov O.V. Matematicheskaya model' upravlyaemoi mezhsystemnoi svyazi na osnove ferromagnitnykh upravlyaemykh elementov [Mathematical model of controlled interconnection based on ferromagnetic controlled elements]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta – Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University*, 2003, no. 3, pp. 62–69.

Для цитирования:

Арестова А.Ю., Бобрик В.И., Чебан В.М. Применение асинхронного двигателя с фазным ротором в малой энергетике в качестве межсистемной связи // Научный вестник НГТУ. – 2017. – № 4 (69). – С. 129–138. – doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-129-138.

For citation:

Arestova A.Yu, Bobrik V.I., Cheban V.M. Primenenie asinkhronnogo dvigatelya s faznym rotorom v maloi energetike v kachestve mezhsystemnoi svyazi [The use of a wound rotor induction motor in a distributed power generation as an interconnection tie]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (69), pp. 129–138. doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-129-138.