

ПОГРЕШНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОТ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Мелибоев Яхъёжон Аъзамжон угли

Ташкентский государственный технический университет имени И.Каримова

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6634364>

Аннотация. В устройствах связи и коммуникации, силовом оборудовании, терминалах релейных защит и автоматики, в электроэнергетике “умных” городов и домов, в промышленности, на железнодорожном транспорте начинают применяться микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики, установки распределенной генерации, включая возобновляемые источники энергии, и накопители электроэнергии, а также «интеллектуальные» автоматизированные информационно-измерительные системы. В них широко применяются бесконтактные преобразователи постоянного и переменного токов систем контроля и управления. Их недостатки – узкий диапазон контролируемых токов, большие габариты и масса. Поэтому важным является их устранение. В работе рассмотрены общие принципы построения бесконтактных преобразователей больших постоянных токов, основные требования к ним и показаны результаты разработки одного из вариантов, предложенных нами, универсальных бесконтактных магнитомодуляционных преобразователей больших постоянных токов с расширенным диапазоном для различных систем контроля и управления. Они отличаются от известных расширенным контролируемым диапазоном при малых габаритах и массе и повышенными точностью и чувствительностью. Преобразователь имеет простую и технологичную конструкцию при низких их материалоемкости и стоимости и может бесконтактно контролировать большие постоянные токи, а также и переменные токи. В работе рассмотрены погрешности от внешних магнитных полей универсальных бесконтактных преобразователей систем контроля и управления. Показано, что погрешность от внешнего магнитного поля не превышает 0,08%, если количество секций измерительной обмотки будет четным и при их симметричном расположении, а при их четном увеличении – погрешность уменьшается.

Ключевые слова: бесконтактное измерение, магнитомодуляционный преобразователь, поверка счетчиков, возобновляемые источники энергии, лазерная установка, разъемный магнитопровод, интегрирующий контур, распределенные магнитные параметры.

ERRORS OF UNIVERSAL CONTACTLESS CONVERTERS OF MONITORING AND CONTROL SYSTEMS FROM EXTERNAL MAGNETIC FIELDS

Abstract. In communication and communication devices, power equipment, relay protection and automation terminals, in the electric power industry of “smart” cities and houses, in industry, in railway transport, microprocessor relay protection and automation devices, distributed generation installations, including renewable energy sources, and storage devices are beginning to be used. electricity, as well as “intelligent” automated information and measurement systems. They widely use non-contact converters of direct and alternating

currents of monitoring and control systems. Their disadvantages are a narrow range of controlled currents, large dimensions and weight. Therefore, it is important to eliminate them. The paper considers the general principles for constructing non-contact high DC converters, the main requirements for them, and shows the results of developing one of the options proposed by us, universal non-contact magneto-modulating high DC converters with an extended range for various monitoring and control systems. They differ from the known extended controllable range with small dimensions and weight and increased accuracy and sensitivity. The converter has a simple and technologically advanced design with low material consumption and cost, and can non-contactly control large direct currents, as well as alternating currents. The paper considers errors from external magnetic fields of universal contactless transducers of monitoring and control systems. It is shown that the error from the external magnetic field does not exceed 0.08% if the number of sections of the measuring winding is even and with their symmetrical arrangement, and with their even increase, the error decreases.

Keywords: *non-contact measurement, magneto-modulation converter, meter verification, renewable energy sources, laser installation, detachable magnetic circuit, integrating circuit, distributed magnetic parameters.*

ВВЕДЕНИЕ

Использование автоматизированных систем мониторинга и управления различными технологическими и физическими процессами в промышленности, металлургии и агропромышленной сфере характеризуется широким использованием первичных средств сбора и обработки информации [1]. В то же время первичный преобразователь является связующим звеном любой информационно - измерительной или управляющей системы и практически полностью определяет ее метрологические характеристики. Потери в точности и надежности конечного результата, связанные с неудачным использованием первичного преобразователя, не в состоянии восстановить даже самая совершенная система преобразования информации. Задача значительно усложняется в случае воздействия нестабильных факторов, таких как изменения температуры и влажности окружающей среды, воздействие агрессивных сред, электрических и магнитных полей, вибраций, радиации и т.д.

Необходимость преобразования больших токов в различных отраслях народного хозяйства и, в частности, в химической промышленности, на железнодорожном транспорте, в металлургии, мелиорации, ирригации и в сельском хозяйстве в целом возникает при мониторинге и управлении режимами работы мощных электродвигателей, подстанций и различных потребителей, где используются бесконтактные измерительные ферромагнитные преобразователи больших токов (ФПБТ) [4,5].

Необходимость разрыва цепи тока для временного включения электроизмерительных приборов, наличие больших потерь мощности в измерительных трансформаторах тока и шунтах, нежелательность или невозможность разрыва цепи по условиям технологического процесса, а также требования безопасности привели к бесконтактному преобразованию и измерению больших постоянных и переменных токов в цепях без их разрыва, т.е. без нарушения целостности шинпровода [5,6].

Рассмотрение вопросов преобразования больших постоянных токов (БПТ) в электроэнергетических системах и электротехнологических установках показало, что одной из причин их низкой эффективности являются неудовлетворительные технические характеристики их вторичных систем управления и контроля режимов работы электроэнергетических и электротехнологических установок и, в частности, используемый в них ФПБТ. Отмечается, что ФПБТ, используемые во вторичных системах электроэнергетических систем и электроустановок, должны обладать регулируемым диапазоном преобразования, лучшими динамическими свойствами в переходных режимах работы электроэнергетических систем и электроустановок, а также стабильностью характеристик в экстремальных условиях эксплуатации [7-28].

При рассмотрении мест неразрушающего бесконтактного контроля больших токов были определены основные требования к ФПБТ. К ним относятся: высокая точность, надежность, чувствительность, малый вес, габариты, материалоемкость и стоимость, технологичность конструкции, отсутствие погрешностей от воздействия внешних магнитных полей, обратная шина с током от центра интегрирующей схемы, ферромагнитные массы, отсутствие гальванической связи между измеряемым переменным током и измерительной схемой и наличие в некоторых случаях возможности как фиксированного регулирования чувствительности преобразователей в широком диапазоне преобразуемых больших переменных токов, так и гибкости интегрирующей схемы, а также конструкции ФПБТ как портативного, так и стационарного [28].

В связи с этим очень важно разработать и изучить такие ФПБТ, которые имели бы расширенный диапазон преобразуемых больших токов при малых габаритах и весе и повышенной точности, упрощенную и технологичную конструкцию с низким расходом материалов и стоимостью.

Решению этой проблемы может способствовать разработка универсальных магнитомодуляционных бесконтактных преобразователей (МБП) систем контроля и управления в промышленной и агроэлектроэнергетике.

MATERIALS AND METHODS) (МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основными задачами, которые необходимо решить при проектировании МБП в соответствии с современными тенденциями развития средств измерения и преобразования больших токов, в основном являются расширение диапазона измеряемых и преобразуемых значений больших токов, расширение их частотного диапазона в случае переменных токов, повышение точности и чувствительности, снижение масса и габаритные размеры МБП. Чаще всего эти задачи приходится решать в совокупности для одного МБП, выбирая схемы и конструкции, которые одновременно удовлетворяют требованиям широкого диапазона линейности статической характеристики, низкого порога чувствительности и широкого диапазона регулируемого тока при малом объеме и малом весе - габаритные характеристики МБП. В этой связи заслуживает особого внимания рассмотрение путей и методов,

Показано, что одной из эффективных возможностей расширения диапазона линейности МБП и снижения порога чувствительности является увеличение длины разъемного магнитопровода МБП и площади его поперечного сечения до максимально допустимого размера [2].

Нами разработан ряд МБП, в которых поставленные задачи решаются за счет использования в разработанных преобразователях специальных конструкций разъемных замкнутых магнитопроводов с поперечно и продольно распределенными магнитными параметрами и увеличенной длиной пути рабочего магнитного потока по стали [2,40]. Далее мы рассмотрим конструктивные особенности одного из разработанных МБП и исследуем его погрешности от воздействия внешних магнитных полей.

Обобщенный вариант разработанного МБП показан частично с основными размерами на рис. 1. Данная конструкция разработана на основе МБП[11] и представляет собой МБП с поперечно и продольно распределенными магнитными параметрами. Он отличается повышенной чувствительностью и расширенным диапазоном преобразуемых токов. МБП содержит замкнутую магнитную цепь, состоящую из двух групп трапециевидных ферромагнитных элементов 1 и 2. Первая группа в верхнем кольце включает идентичные ферромагнитные элементы 1, а вторая группа - в нижнем кольце - также включает идентичные пластинчатые ферромагнитные элементы 2 с одинаковыми зазорами между ними. Ферромагнитные элементы 1 и 2 собраны из отдельных пластин, изготовленных из тонколистовой электротехнической стали. Каждый ферромагнитный элемент имеет два сквозных отверстия, через каждый из которых намотана модуляционная обмотка, состоящая из секций 4 и 6. Секции 4 и 6 соединены последовательно и согласно.

Измерительная обмотка 5 намотана между сквозными отверстиями поверх модуляционной обмотки. Все измерительные обмотки соединены последовательно друг с другом и замкнуты на измерительное устройство, а модуляционные обмотки также соединены последовательно и подключены к стабильному источнику переменного тока (не показан на рис. 1). Для того чтобы свободно захватывать шину 7 с регулируемым током, замкнутая магнитопроводная цепь 1 выполнена разъемной. Последовательное соединение модуляционных обмоток 4 и 6 друг с другом при наличии переменного тока и расположение измерительных обмоток 5 в промежутках между сквозными отверстиями в ферромагнитных элементах позволило секции 4 и 6 соединять последовательно и согласно. Измерительная обмотка 5 намотана на модуляционную обмотку между сквозными отверстиями. Все измерительные обмотки соединены последовательно друг с другом и замкнуты на измерительное устройство, а модуляционные обмотки также соединены последовательно и подключены к стабильному источнику переменного тока (не показан на рис. 1). Для того чтобы свободно захватывать шину 7 с регулируемым током, замкнутая магнитопроводная цепь 1 выполнена разъемной. Последовательное соединение модуляционных обмоток 4 и 6 друг с другом при наличии переменного тока и расположение измерительных обмоток 5 в промежутках между сквозными отверстиями в ферромагнитных элементах позволило секции 4 и 6 соединять последовательно и согласно. Измерительная обмотка 5 намотана между сквозными отверстиями поверх модуляционной обмотки.

Все измерительные обмотки соединены последовательно друг с другом и замкнуты на измерительное устройство, а модуляционные обмотки также соединены последовательно и подключены к стабильному источнику переменного тока (не показан на рис. 1). Для того чтобы свободно захватывать шину 7 с регулируемым током,

замкнутая магнитопроводная цепь 1 выполнена разъемной. Последовательное соединение модуляционных обмоток 4 и 6 друг с другом при наличии переменного тока и расположение измерительных обмоток 5 в промежутках между сквозными отверстиями в ферромагнитных элементах позволило все измерительные обмотки соединить последовательно друг с другом и замкнуть на измерительное устройство, а модуляционные обмотки также соединены последовательно и подключены к стабильному источнику переменного тока (не показан на рис. 1). Для того чтобы свободно захватывать шину 7 с регулируемым током, замкнутая магнитопроводная цепь 1 выполнена разъемной. Последовательное соединение модуляционных обмоток 4 и 6 друг с другом при наличии переменного тока и расположение измерительных обмоток 5 в промежутках между сквозными отверстиями в ферромагнитных элементах позволило все измерительные обмотки соединить последовательно друг с другом и замкнуть на измерительное устройство, а модуляционные обмотки также соединены последовательно и подключены к стабильному источнику переменного тока (не показан на рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы свободно захватывать шину 7 с регулируемым током, замкнутая магнитопроводная цепь 1 выполнена разъемной. Последовательное соединение модуляционных обмоток 4 и 6 друг с другом при наличии переменного тока и расположение измерительных обмоток 5 в промежутках между сквозными отверстиями в ферромагнитных элементах позволило осуществлять продольную модуляцию магнитного сопротивления магнитопровода по пути прохождения рабочего потока Φ , создаваемый управляемым постоянным током, и индуцирует ЭДС в измерительных обмотках 5 в зависимости от преобразованного постоянного тока. Разработанный также может управлять переменным током. В этом случае в секциях 4 и 6 модуляционной обмотки не должно быть переменного тока.

Расширение верхнего предела регулируемого постоянного тока в разработанной конструкции осуществляется за счет увеличения длины рабочего магнитного потока вдоль стали элементов магнитопровода и включения на его пути поперечных и продольных воздушных зазоров, т.е. создания разъемного магнитопровода с поперечно и продольно распределенными магнитными параметрами.

Для управления ВРТ с разъемной магнитопроводом МБП перекрывает шину 7. Из-за модуляции ампер-оборотов разъемная магнитопроводная цепь находится в состоянии насыщения в течение каждого полупериода напряжения питания. В этом случае проницаемость магнитопровода для продольного поля, создаваемого управляемым током, резко уменьшается. В момент, когда ток модуляции проходит через ноль, проницаемость магнитопровода повышается до исходного значения. Таким образом, при стабильности амперных оборотов модуляции в измерительной обмотке будет индуцироваться ЭДС двойной частоты в зависимости от контролируемого тока.

При взаимном перемещении половин 2 и 3 разъемного магнитопровода МБП изменяется размер зазоров между трапециями, что приводит к изменению всего магнитного сопротивления магнитопровода на пути рабочего магнитного потока Φ , создаваемого управляемым постоянным током. Это приводит к изменению пределов регулируемого тока, т.е. позволяет сделать МБП многолимитным.

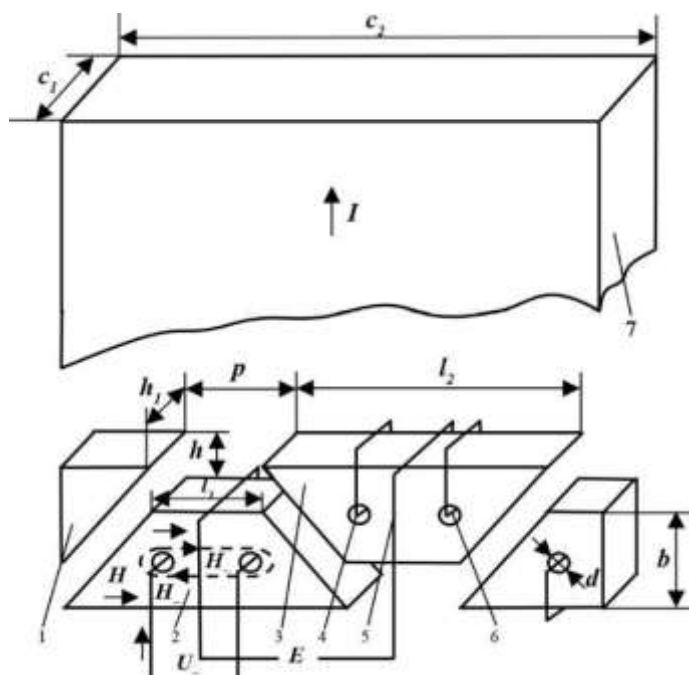


Рис. 1. Часть универсального бесконтактного магнитомодуляционного преобразователя для больших постоянных токов.

Для широкого использования разработанных в мультидисциплинарных системах мониторинга и управления они должны быть свободны от влияния внешних магнитных полей. Поэтому давайте исследуем влияние внешних магнитных полей на развитую ОСО.

При наличии внешнего магнитного поля появляется дополнительная погрешность МБП, вызванная индукцией ЭДС в измерительной обмотке от тангенциальной составляющей напряженности внешнего магнитного поля.

ВЫВОДЫ

Разработаны универсальные бесконтактные широкодиапазонные магнитомодулирующие преобразователи больших постоянных, а также переменных токов для современных систем контроля и управления в металлургии, железнодорожном транспорте, солнечной и лазерной технике, возобновляемых источниках энергии, промышленности, агропромышленной сфере, а также для поверки электросчетчиков на месте их установки, характеризуется расширенным регулируемым диапазоном преобразуемых постоянных токов при малых габаритах и весе, повышенной точностью и чувствительностью, простота и технологичность конструкции при низкой материалоемкости и стоимости и возможности бесконтактного управления постоянным и переменным токами с погрешностью 1,5%, а также для контроля электроэнергии и поверки счетчиков электроэнергии на месте их установки. Рассмотрены погрешности универсальных бесконтактных преобразователей систем контроля и управления от внешних магнитных полей. Представлены результаты их исследований. Показано, что погрешность от внешнего магнитного поля не превышает 0,08% при четном количестве секций измерительной обмотки и при их симметричном расположении, а при равномерном их увеличении погрешность уменьшается.

Список литературы

1. М.К.Казakov, "Methods and means of measuring high voltages and high amperage currents in power engineering", Author's abstract Doctoral dissertation thesis, 1998.

2. A.M.Plakhtiev, "Effective informational contactless converters for modern monitoring and control systems in the agroindustrial complex", *International Scientific and Practical Conference. "Agrarian science - to agriculture*, Collection of scientific articles, Barnaul, pp. 37-39, 2017.
3. N.G.Semenko, Yu.A.Gamazov, *Measuring transducers of large electric currents and their metrological support*. Moscow: Publishing house of standards, 1984, 132 p.
4. Mukhamedkhanov UT 2008 Concepts and methods of constructing quality control systems for technological environments of industrial production. Abstract of dissertation of Doctor of technical Sciences.
5. V.A.Andreev, *Relay protection and automation of power supply systems*. Moscow: Higher school, 1991, 496 p.
6. N.R.Yusupbekov, H.Z.Igamberdiev, Sh.M.Gulyamov, F.T.Adilov, "Technologies of automation of industrial processes", *Chemical technology. Management control*, no. 1, pp. 50-55, 2007.
7. S.A.Spektor, *Measurement of large constant currents*. Leningrad: Energy, 1988, 136 p.
8. O.Bolotin, G.Portnoy, K.Razumovsky, "Primary sensors for energy enterprises", *Energy security and energy saving*, no. 5, pp. 28-32, 2012.
9. A.Danilov, "Modern industrial current sensors", *Modern electronics*, no. 10, pp. 38-43, 2004.
10. O.Bolotin, G.Portnoy, K.Razumovsky, "Modern sensors for measuring current and voltage", *ISUP*, no. 1(61), pp. 18-25, 2016.
11. M.Gilardi, "New Horizons in Hall Effect Current Sensor Technology", *Power Electronics*, no. 3, pp. 48-52, 2013.
12. A.M.Plakhtiev, G.P.Petrov, H.S.Minikeev, "Meter of large direct currents", A.S. 792152, IPC G01R 19/00, 2735180/18- 21; Stated 11.03.79; Publ. 12/30/1980, Bul. 48.
13. A.L.Gurtovtsev, "Optical transformers and current converters. Principles of operation, device, characteristics", *Electrical Engineering News*, no. 5, pp. 48 -52, 2010.
14. B.Kh.Khushbokov, "Multi-range current transformers for control systems of power supply devices for railway transport", Dis. ... can. those. Sciences, Tashkent State Technical University, Tashkent, 2010
15. S.F.Amirov, A.M.Safarov, D.Sh.Rustamov, N.O.Ataullaev, *Electromagnetic converters of high currents for traction power supply systems*. Tashkent: Fan, 2019, 279 p.
16. V.E.Kazansky, *Measuring current transducers in relay protection*. Moscow: Energoatomizdat, 1988, 240 p.
17. S.A.Zaitsev, D.D.Gribonov, A.N.Tolstov, *Control and measuring devices and instruments*. Moscow: Academy, 2006, 463 p.
18. A.M.Safarov, "Application of current converters in the systems of technical diagnostics of electrical equipment", *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Current state and prospects of energy development"*, Tashkent, Tashkent State Technical University, 2006,

pp. 173-175.

19. U.T.Mukhamedkhanov, Concepts and methods of constructing quality control systems for technological environments of industrial production, Abstract dis. doc. those. Sciences, Tashkent, 2008.

20. D.Borkman, "Hochstrommessung mit Hallgeneratoren", *Elektrie*, vol. 18, no. 2, pp. 46-50, 1997.

21. W.Krämer, "Gleichstrom - Wandlerschaltung hoher Genauigkeit für p. 65 - 71 wellige Gleichstrom", *ETZ-A*, no. 18, pp. 28 - 33, 1996.

22. F.Lappe, "Ein neues Meßgerät für hohe Gleichström", *Chemi-Ingenier-Technick*, vol. 42, no. 19, pp. 1228-1229, 1998.

23. T.N. Yuki, "Electromagnetic noncontacting measuring apparatus", US Patent no. 5234844, MKI G01R 27/04, NCI 324 - 58 dated, 11.18.2016.

24. Nils Bardahl, "Einrichtung zur Erfassung des Belastungsstromes in Hochstromanlagen", German Patent no. 3148654, Cl. 21e36 / 01, 28.11.2016.

25. E.M.Eadie, "Complete specification improvements in multi-range hook-on electrical indication instrument", UK Patent no. 3966443, NCI G1U, 21.12.2015.

26. Standard Telefones & Cables LTD, "Current monitoring circuits including hall effect devices", UK Patent no. 4575111, MKI G01R 19/165, NCI GIU, 17.09.2016.

27. TOKYO SHIBAURA, "Transducers", UK patent no. 3036984, MKI G01R 19/22, NCI GIU dated 02.07.2017.

28. E.A.Meierovich, L.I.Andreevskaya, "Dispositif pour la mesure de l'intensite du courant", French patent no. 4347944, MKI G01R, 24.02.2017.