

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛА ВЕЛИЧИНЫ ТОКА  
ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ****И. Х. Сиддиқов\***, **М. А. Анарбаев\*\***, **М. Т. Махсудов\*\*\****\* Ташкентский университет информационных технологий им. Мухаммад ал-Хоразми (г. Ташкент, Узбекистан)**\*\* Джизакский политехнический институт (г. Джизак, Узбекистан)**\*\*\* Андижанский машиностроительный институт (г. Андижан, Узбекистан)*

В работе рассмотрены вопросы обеспечения бесперебойного и надежного энергоснабжения потребителей как активной, так и реактивной мощностью электроэнергии требуется не только обеспечение надежной работы силового оборудования, но и элементов, устройств контроля и управления ими. В преобразовательных элементах, устройствах контроля и управления величинами электроснабжения происходит преобразование электрической энергии в выходной электрический сигнал (напряжение, ток), удобный для приема и обработки.

**Ключевые слова:** преобразователь, сигнал, величина, ток, напряжение, контроль и управление, конструкции, характеристики, реактивная мощность, системы электроснабжения.

**THE TRANSDUCERS SIGNAL MAGNITUDE CURRENT  
TO CONTROL SYSTEMS REACTIVE POWER SOURCES****I. H. Siddikov\***, **M. A. Anarbaev\*\***, **M. T. Mahsudov\*\*\****\*Tashkent University of information technologies Muhammad al-Khwarizmi (Tashkent, Uzbekistan)**\*\* Jizzakh Polytechnic Institute (Jizzakh, Uzbekistan)**\*\*\* Andijan engineering Institute (Andijan, Uzbekistan)*

The paper addresses the issues of ensuring uninterrupted and reliable energy supply to consumers with both active and reactive power of electric power. It requires not only ensuring the reliable operation of power equipment, but also elements and devices for monitoring and controlling them. In the converter elements, devices for monitoring and controlling the values of the power supply, electrical energy is converted into an output electrical signal (voltage, current), convenient for reception and processing.

**Keywords:** converter, signal, magnitude, current, voltage, control and management, structures, characteristics, reactive power, power supply systems.

В мире при обеспечении бесперебойной работы электрооборудования уделяется большое внимание совершенствованию элементов контроля и управления источниками электроснабжения на основе современных первичных преобразователей.

В этом направлении, в частности, при обеспечении особое внимание уделяется разработке информационно-измерительных и технических средств, алгоритмов и программного обеспечения, моделей адаптивного управления источниками электроснабжения, связанных с параметрами стабильности, устойчивости, достоверности. В этом направлении, в частности в США, Великобритании, Германии, Дании, Голландии, Японии, Китае и России уделяется особое внимание развитию источников энергоснабжения, таких как солнечные, ветряные установки, аккумуляторные батареи и дизель (газовые) генераторов.

Проблема разработки и внедрения устройства дистанционного мониторинга процесса управления гибридными источниками энергоснабжения телекоммуникационных систем на основе цифровой технологии, считается одной из важных задач в мире.

В нашей Республике осуществляются широкомасштабные меры, направленные на дальнейшее совершенствование сферы информационных технологий, разработку систем управления гибридными источниками бесперебойного энергоснабжения телекоммуникационных систем. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017–2021 годах отмечены ряд задач, в том числе «... внедрение

информационно-коммуникационных технологий в экономику, ... социальную сферу, системы управления, ... сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий». Создание имитационной модели и разработка информационно-измерительных средств преобразования и формирующих сигналы управления, обеспечивающие принятие решений при осуществлении процесса адаптивного управления, считаются одной из важных задач.

Комплексное исследование элементов системы управления источниками реактивной мощности позволили увеличить возможности синтеза новых элементов, конструкции и систем управления на основе новых типов первичных преобразователей. Места установки токопроводов одной и трехфазной электрической сети, обеспечиваемая формой магнитопровода с воздушным зазором, создали условия для улучшения таких характеристик, как, точность управления, а применение специального чувствительного элемента с унифицированными значениями выходного тока (100 мА) и напряжения (20 В), регулируемые параметрами сосредоточенными или распределенными параметрами создает условия для использования микропроцессорной техники контроля, защиты и управления источниками реактивной мощности [2-5].

Преобразование первичного электрического тока основной величины источников электроснабжения с целью получения сигнала управления источниками реактивной мощно-

сти осуществляется в основном на основе электромагнитных явлений, поэтому в настоящее время весьма оптимальными являются элементы и преобразователи на основе электромагнитного преобразования сигнала о первичном токе, выходной сигнал которых подается в виде напряжения для системы контроля и управления [1–3].

Для обоснованного выбора оптимальных типов и геометрических первичных измерительных преобразователей следует подробно рассмотреть принципы работы существующих преобразователей тока, применяемых в системах управления источниками реактивной мощности систем электроснабжения.

Применение электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного тока с высокой точностью, линейностью выходных характеристик, унифицированными выходными величинами, расширение спектра преобразуемых электрических величин ограничено из-за недостаточного формирования принципов построения,

методов расчета и проектирования распределенных магнитных систем преобразователей [4–9].

Применяемые классические методы исследования магнитных цепей и систем преобразования не обеспечивают необходимую точность, особенно при несимметрии трехфазного первичного тока электрической сети, не обладают достаточной общностью, охватывая только величины и параметры цепей электрической и магнитной природы. Магнитные системы преобразования с нелинейными и неоднородными параметрами в расчетах рассматриваются как объекты с сосредоточенными параметрами [2, 4, 6–12].

Результаты исследования показали, что датчики с распределенными магнитными параметрами при адаптивном управлении гибридными источниками электроснабжения полностью соответствуют требованиям по критерию чувствительности, оперативности, надежности и точности. Процесс исследования преобразования магнитного потока в магнитопроводе с распределенными параметрами представлен с помощью графовой модели (рис.1).

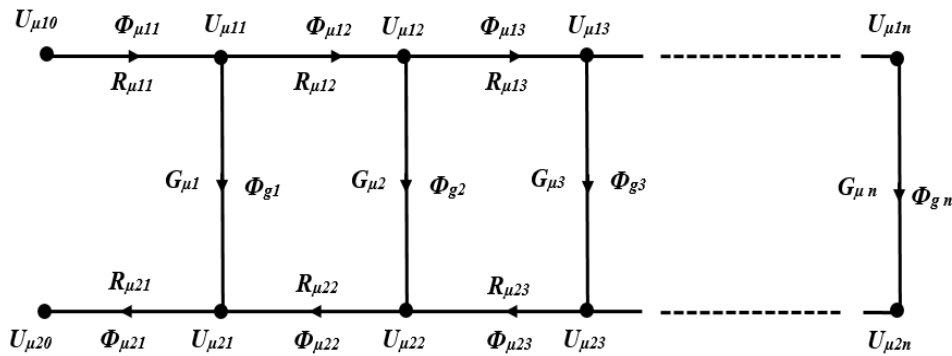


Рис. 1. Графовая модель процесса преобразования сигнала в структуре магнитопровода с распределенными параметрами

На основе графа исследованы  $\Phi_{\mu 1}, \Phi_{\mu 21}, \Phi_{\mu 22}, \Phi_{\mu 23}, \Phi_{g1}$  магнитные потоки, проходящие между магнитным стержнем и воздушным зазором,  $U_{\mu 10}-U_{\mu 1n}-U_{\mu 20}-U_{\mu 2n}$  магнитодвижущие силы,  $G_{\mu 1}-G_{\mu 6}$  магнитные проводимости воздушного зазора,  $R_{\mu 11}, R_{\mu 21}$  магнитные сопротивления верхнего и нижнего частей стержней магнитопровода.

Данная модель электромагнитного преобразования позволяет определить значения магнитодвижущих сил для соответствующих точек графовой модели, представляющая следующие аналитические выражения [8].

$$\frac{U_{\mu 10} - U_{\mu 11}}{R_{\mu 11}} - \frac{U_{\mu 11} - U_{\mu 12}}{R_{\mu 12}} - U_{\mu 11} G_{\mu 1} = 0;$$

$$\frac{U_{\mu 14} - U_{\mu 15}}{R_{\mu 14}} - \frac{U_{\mu 15} - U_{\mu 16}}{R_{\mu 15}} - U_{\mu 15} G_{\mu 5} = 0;$$

$$\frac{U_{\mu 15} - U_{\mu 16}}{R_{\mu 15}} - U_{\mu 16} G_{\mu 6} = 0.$$

(1)

При этом магнитные потоки в каждой из

участков преобразования определяются на основе следующего обобщённого выражения :

$$\Phi_{\mu n} = \frac{U_{\mu n} - U_{\mu n+1}}{R_{\mu}} \quad (2)$$

В результате аналитических исследований на основе выражений (1) и (2) определена взаимосвязь магнитодвижущей силы датчика с распределёнными параметрами  $U_{\mu}=f(n)$  и магнитного потока  $\Phi_{\mu}=f(n)$  с количеством участков разбиения графовой модели (рис. 2).

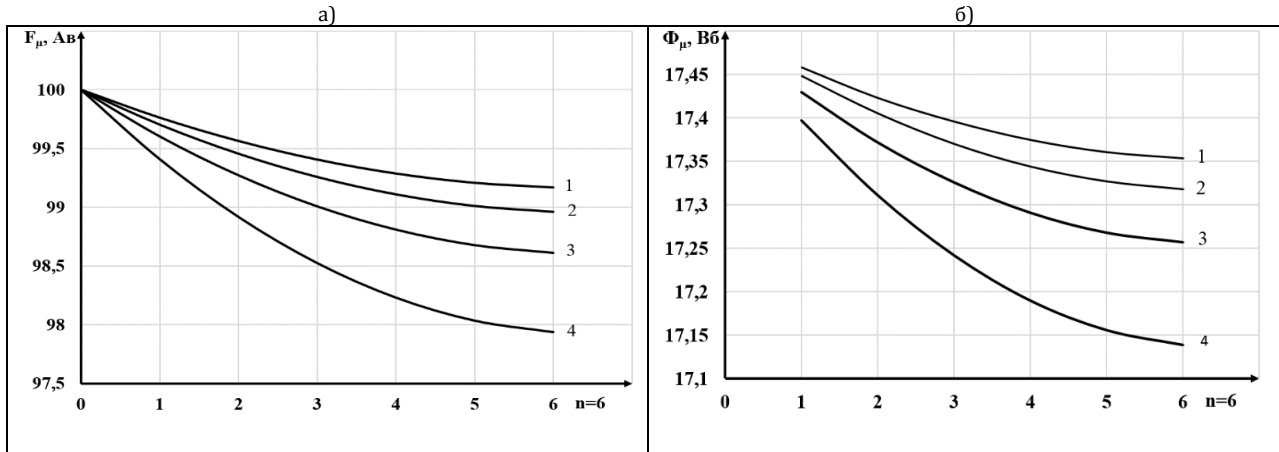


Рис. 2. Графики зависимости магнитодвижущей силы (а) и изменения магнитного потока (б)

Как видно из графиков, с изменением геометрических размеров – параметров датчика (1–50 мм, 2–40 мм, 3–30 мм, 4–20 мм) изменяются величины магнитодвижущих сил и значения магнитных потоков. Кроме того, когда количество участков разбиения графовой модели  $n = 6$ , точность расчета магнитного потока датчика с распределёнными параметрами повышается на 0,68–1,55 % [15].

Исследования показали, что при увеличении

воздушного зазора  $l_{в.з}$ , значение выходного напряжения  $U_{\text{Эв}}$  резко уменьшается (рис. 3). В результате исследования доказано, что если воздушный зазор чувствительного элемента и количество витков в нем соответственно равны:  $l_{ч.э}=0,002 \div 0,003$  м и  $w_{ч.в}=15 \div 16$ , то обеспечивается нормированное значение выходного напряжения  $U_n=20$  В (рис. 4).

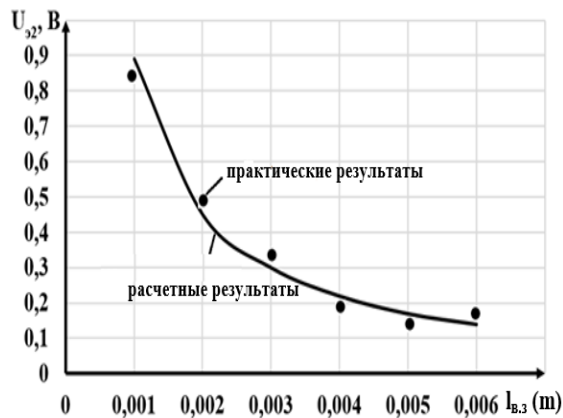


Рис. 3. Статические характеристики датчика при изменении воздушного зазора

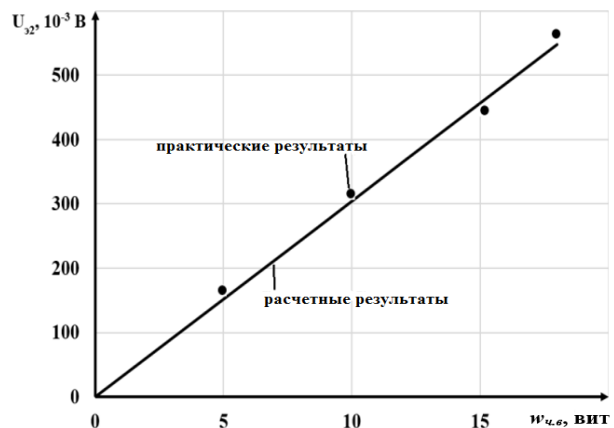


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения датчика от количества витков

Магнитный поток, формирующий сигнал на выходе датчика, в динамическом режиме в соответствии с изменениями определяется выражением:

$$\Phi = \Phi_{\text{макс}} \left( e^{-\frac{Rt}{L}} - \cos(\omega t) \right) \pm \Phi_{\text{ост}} \cdot e^{-\frac{Rt}{L}}, \quad (3)$$

где  $R$ - активное сопротивление цепи преобразования;  $L$ - магнитная индуктивность;  $\Phi_{\text{макс}}$ -

максимальный магнитный поток;  $\Phi_{\text{ост}}$ - остаточный магнитный поток.

Динамическая характеристика, полученная на основе графовой модели, показывает, что увеличение выходного напряжения при переходном процессе в системе энергоснабжения сопровождается увеличением значений амплитуды магнитного потока. Исследования пока-

зали, что после 0,03-0,04 сек. с момента включения первичного тока в датчик, достигается стабильность магнитного потока в цепи магнитопровода в распределенном магнитном участке преобразования.

В целях оценки надежности датчика адаптивного управления источников энергии разработана графовая модель (рис. 5). Данная модель отличается наглядностью и позволяет исследовать источники погрешностей преобразования.

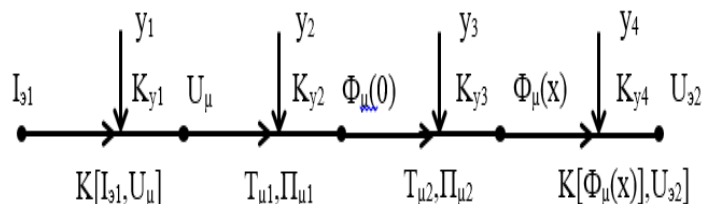


Рис. 5. Графовая модель для исследования и оценки источников погрешностей датчика

где:  $u_1-u_4$  – влияющие величины;  $K_{y1}-K_{y4}$  – коэффициенты связи величин от соответствующих источников.

Среднеквадратическая погрешность датчика определяется на основе: 1.  $I_{31} \rightarrow U_{\mu}$  - погрешность преобразования, т.е.  $\delta_1=0,2 (\pm 0,2\% - \text{от первичного номинального значения})$ , 2.  $U_{\mu} \rightarrow \Phi_{\mu}$ , т.е.  $\delta_2=0,1$  и 3.  $\Phi_{\mu} \rightarrow U_{32}$ , т.е.  $\delta_3=0,1$ .

Тогда суммарная погрешность датчика определяется следующим образом:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 0,1^2} = 0,24. \quad (4)$$

Значение энтропии погрешностей для датчика составляет:

$$\Delta = \delta_{\Sigma} \cdot K_3 = 0,24 \cdot 2,07 = 0,49, \quad (5)$$

где  $\delta_{\Sigma}$  – суммарное значение погрешностей,  $K_3$  – коэффициент энтропии (для нормального закона распределения вероятности  $K_3=2,07$ ).

В результате вычислений и экспериментов определено, что энтропийная погрешность электромагнитного датчика преобразования тока в напряжение составляет  $\Delta=0,49$ , что вполне допустимо для применения в при управлении реактивной мощности систем электропитания

#### Список литературы

- Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин : учеб. пособие. М.: Дрофа, 2005. 415 с.
- Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2006. 701 с.
- Бороденко В. А. Ресурсосбережение как главный принцип создания устройств автоматики энергосистем // Вестник НИИ РК. М., 2006. № 2. 12 с.
- Зарипов М. Ф., Петрова И. Ю. Предметно-ориентированная среда для поиска новых технических решений «Интеллект» // IV Санкт-Петербургская международная конф. «РИ-95»: тез. докл. СПб., 1995. С. 60–61.
- Лукашкин В. Г., Гарипов В. К., Слепцов В. В., Вишнеков А. В. Автоматизация измерений, контроля и управления. М.: Машиностроение, 2005. 663 с.
- Патент РУз. № 04475. Преобразователь тока в напряжение / С. Ф. Амиров, Р. К. Азимов, И. Х. Сиддиков, М. Х. Хакимов // Расмий ахборотнома. 2012. № 2.
- Патент РУз. № 04907. Преобразователь тока в напряжение / Р. К. Азимов, И. Х. Сиддиков, М. Ж. Курбанова, М. А. Анарбаев // Расмий ахборотнома. 2014. № 6
- Плахтиев А. М. Преобразователи электрических и неэлектрических величин с распределенными параметрами. Ташкент: ТашПИ, 1978. 50 с.
- Положение о порядке организации работ по компенсации реактивной мощности // Б. М. Тешабаев, М. М. Юсупалиев, А. Г. Салиев, И. Х. Сиддиков, Ф. У. Умаров / Утв. N 1864 от 10.10.2008. Минюст. РУз. Ташкент, ГИ Уздаээнергоназорат. 2008. 24 с.
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ) (Официальное издание) / Б. Х. Гуломов, А. Г. Салиев, Б. Т. Ташпулатов, Б. М. Тешабаев, Т. М. Кадыров. Ташкент: ГИ Узгосээнергоназорат. 2007. 450 с.
- Сиддиков И. Х., Хакимов М. Х., Сиддиков О. И. Исследование элементов и устройств релейной защиты и автоматики, соответствующих принципам ресурсосбережения // АСТИНТЕХ. 2007 : тез. докл. Всероссийской конф. 18–20 апреля 2007. Астрахан, Россия, 2007. С. 62–63.
- Siddikov I. Kh., Khakimov M. Kh., Anarbaev M., Bedritskiy I. M. Research of the electromagnetic transducers of the primary current to secondary voltage // Science and Education. Materials of the II International Research and practice conference. Vol. I, Publishing office of «Vela Verlag Waldkraiburg», Munich. Germany. December. 18–19. 2012. P. 222–225.
- Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E. Management Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JEP-10328 – 97. TU – Berlin (Germany), TEI – Athens (Athens, Greece). TashGTU (Tashkent, Uzbekistan). 1997–2001. 234 p.
- Сиддиков И. Х., Хужаматов Х. Э. Программное обеспечение для выбора номинального значения мощности источников реактивной электроэнергии // № DGU 05354 Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент. 01.05.2018.

© И. Х. Сиддиков, М. А. Анарбаев, М. Т. Махсудов

#### Ссылка для цитирования:

Сиддиков И. Х., Анарбаев М. А., Махсудов М. Т. Преобразователи сигнала величины тока для систем управления источниками реактивной мощности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 53–56.