

## Дослідження електромагнітних перетворювачів струму для керування джерелами реактивної потужності

О.О. Мірошник<sup>1</sup>, А.І. Середа, В.Г. Пазій<sup>2</sup>

Державний біотехнологічний університет (м.Харків, Україна)  
email: <sup>1</sup> ais66@ukr.net; <sup>2</sup> pazziy@ukr.net

У роботі наведені результати дослідження електромагнітних перетворювачів струму для контролю реактивної потужності систем електропостачання, що є досить актуальним в даний час, оскільки дані пристрої використовуються в якості первинних елементів перетворення сигналу про роботу джерел і споживачів систем електропостачання для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання.

Проаналізовано розподіл магнітного потоку у магнітній системі електромагнітного перетворювача-датчика сигналу, тобто процес перетворення первинного електричного струму системи електропостачання у вихідний електричний сигнал (напруга), що зручний для прийому та обробки. Це дозволяє збільшити можливості розробки нових конструкцій на основі цифрової технології. В роботі наведена графова модель магнітного кола перетворення первинного електромагнітного перетворювача дозволяє визначити значення магніторушійних сил у вузлах даної графової моделі.

Вирішено питання можливості широкого застосування первинних електромагнітних перетворювачів струму з високою точністю, лінійністю вихідних характеристик, уніфікованими вихідними величинами, розширеними спектрами перетворюваних величин та вирішено питання обмеження їх використання через недостатнє формування принципів побудови, методів розрахунку і проектування розподілених магнітних систем перетворювачів струму. В роботі також наведено залежності магніторушійної сили і зміни магнітного потоку в залежності від кількості ділянок розбиття кола перетворення –  $n$ , статичні характеристики при зміні повітряного зазору, та залежність вихідної напруги від кількості витків.

В підсумку було встановлено, що використання моделі з розподіленими параметрами підвищило точність розрахунку сигналу керування при адаптивному керуванні гібридними джерелами реактивної потужності; проведені на основі графових моделей експерименти забезпечили уніфіковане значення вихідного сигналу при відповідних встановлених величинах повітряного зазору магнітопроводу та кількості витків чутливого елемента; стало значення вихідного сигналу керування відносно вхідного сигналу після включення первинного електромагнітного перетворювача струму у вторинну напругу досягнуто в інтервалі часу, що нижче гранично допустимого.

**Ключові слова:** перетворювач струму, датчик струму, джерело реактивної потужності, реактивна потужність, система електропостачання

**Постановка проблеми.** В даний час забезпечення безперебійної роботи електрообладнання вимагає великої уваги до вдосконалення первинних елементів перетворення сигналу про роботу джерел і споживачів систем електропостачання.

При забезпеченні безперебійного електропостачання особлива увага приділяється первинним інформаційно-вимірювальним засобам алгоритмів і програмного забезпечення, моделей керування джерелами реактивної потужності електропостачання, пов'язаних з величинами і параметрами стабільності, стійкості, достовірності контролю і керування. Проблема розробки і впровадження перетворювачів сигналу – датчиків процесу управління джерелами систем електропостачання на основі цифрових технологій – вважається одним із важливих завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз показав, що дослідження первинних елементів системи керування джерелами реактивної

потужності дозволяє збільшити можливості розробки нових конструкцій на основі цифрової технології. Застосування спеціальних чутливих елементів забезпечує уніфіковані значення як вихідного струму (100 мА), так і напруги (20 В), створює умови для використання цифрової техніки контролю, захисту і керування джерелами реактивної потужності а також в інших галузях, наприклад, у системах моніторингу стану повітряних ліній [1-3].

На основі графової моделі можна дослідити  $\Phi_{MU}$ ,  $\Phi_{\mu 11}$ ,  $\Phi_{\mu 21}$ ,  $\Phi_{x0}$ ,  $\Phi_{g1}$  магнітні потоки, що проходять між магнітним стрижнем і повітряним зазором, магніторушійні сили,  $G_{\mu 1} - G_{\mu 6}$  – магнітні провідності повітряного зазору,  $R_{\mu 11}$ ,  $R_{\mu 21}$  – магнітні опори верхньої і нижньої частин стрижнів магнітопроводу.

Графова модель магнітного кола перетворення первинного електромагнітного перетворювача дозволяє визначити значення магніторушійних сил в вузлах графової моделі, що являють собою наступні аналітичні вирази [6]:

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

$$\dots$$

$$\frac{U_{\mu 14} - U_{\mu 15}}{R_{\mu 14}} - \frac{U_{\mu 15} - U_{\mu 16}}{R_{\mu 15}} - U_{\mu 15} G_{\mu 5} = 0; \quad (1)$$

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

Першочерговим завданням вимірювальних та керуючих пристроїв електропостачання є перетворення первинного електричного струму – основної вимірюваної величини, знання рівня якої необхідно для керування, захисту, компенсації реактивної потужності, тощо. Це перетворення відбувається в основному на основі електромагнітних явищ, тому в даний час вельми оптимальними є електромагнітні перетворювачі сигналу первинного струму у вихідний сигнал у вигляді вторинної напруги для контролю і керування [4; 5].

Широке застосування первинних електромагнітних перетворювачів струму з високою точністю, лінійністю вихідних характеристик, уніфікованими вихідними величинами, розширеними спектрами величин що перетворюються обмежене через недостатнє формування принципів побудови, методів розрахунку і проектування розподілених магнітних систем перетворювачів струму [4; 5; 7].

**Мета роботи.** Дослідження та аналіз розподілу магнітного потоку у електромагнітних перетворювачах струму для контролю реактивної потужності систем електропостачання.

**Основні матеріали дослідження.** Результати дослідження показали, що електромагнітні первинні перетворювачі з розподіленими магнітними параметрами при управлінні реактивними джерелами електропостачання повністю відповідають вимогам за критерієм чутливості, оперативності, надійності і точності. Графова модель процесу перетворення магнітного потоку в муздрателі з розподіленими параметрами представлена на рис. 1.

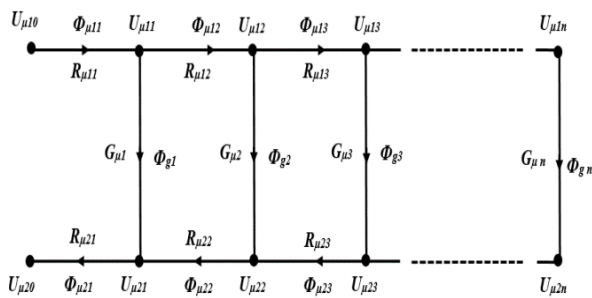


Рис.1. Графова модель процесу перетворення магнітного потоку

Магнітні потоки на кожній з ділянок перетворення визначаються на основі наступного виразу:

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

На основі виразів (1) і (2) визначається взаємозв'язок магніторушійної сили первинного електромагнітного перетворювача  $U_{\mu} = f(n)$  (а) і магнітного потоку  $\Phi_{\mu} = f(n)$  (б) в залежності від кількості ділянок розбиття кола перетворення –  $n$  (рис. 2).

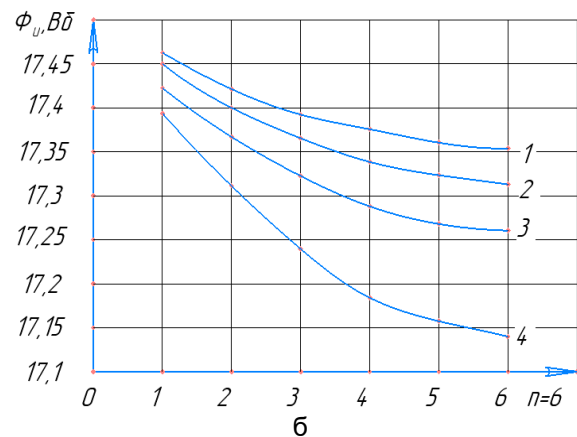
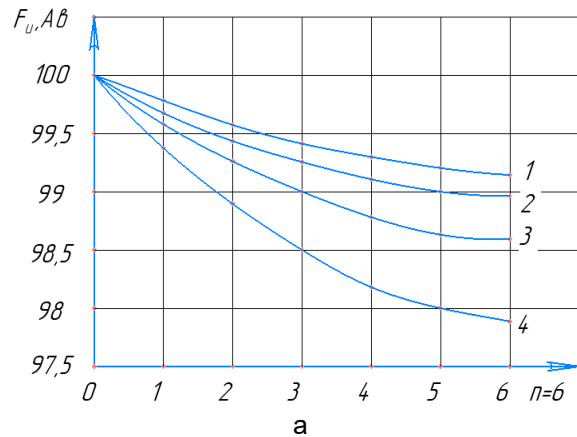


Рис.2. Графіки залежності магніторушійної сили (а) і зміни магнітного потоку (б) в залежності від кількості ділянок розбиття кола перетворення –  $n$

Як видно з графіків залежності магніторушійної сили (а) і зміни магнітного потоку (б) в залежності від кількості ділянок розбиття кола перетворення –  $n$ , зі зміною геометричних розмірів – параметрів датчика (1...50 мм, 2...40 мм, 3...30 мм, 4...20 мм) змінюються величини магніторушійних сил і значення магнітних потоків. Крім того, коли кількість ділянок розбиття графової моделі  $n = 6$ , точність розрахунку магнітного потоку електромагнітного перетворювача з розподіленими параметрами підвищується на 0,68...1,55% [4].

Середньоквадратична похибка електромагнітного перетворювача з розподільними параметрами визначається на основі: 1.  $I_{E1} \rightarrow U_{\mu}$  – похибка перетворення, тобто  $\delta_1 = 0,2$  ( $\pm 0,2\%$  – від номінального значення); 2.  $U_{\mu} \rightarrow \Phi_{\mu}$ , тобто  $\delta_2 = 0,1$  і 3.  $\Phi_{\mu} \rightarrow U_{E2}$ , тобто  $\delta_3 = 0,1$ .

Дослідження показали, що при збільшенні повітряного зазору магнітопроводу  $l_{в.з}$  значення вихідної напруги  $U_{Eвих}$  різко зменшується (рис. 3).

В результаті дослідження доведено, що якщо повітряний зазор чутливого елемента і кількість витків в ньому відповідно рівні:

$$l_{ч.е} = 0,002 \dots 0,003 \text{ м і } w_{ч.в} = 15 + 16,$$

то забезпечується нормоване значення вихідної напруги  $U_H = 20\text{В}$  (рис. 4).

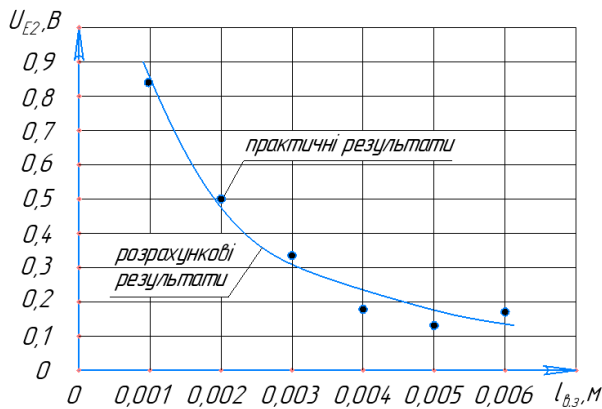


Рис. 3. Статичні характеристики при зміні повітряного зазору

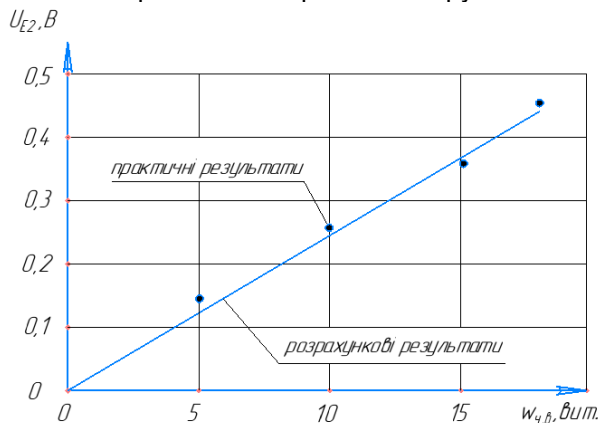


Рис. 4. Залежність вихідної напруги від кількості витків

### Висновки

1. Використання моделі з розподіленими параметрами підвищило точність розрахунку сигналу керування на 0,68-1,55% при адаптивному керуванні гібридними джерелами реактивної потужності.

2. Проведені на основі графових моделей експерименти забезпечили уніфіковане значення

вихідного сигналу (струм – 100 мА, напруга – 100 В) при установці величини повітряного зазору магнітопроводу, рівного 0,002 - 0,003 м, і кількості витків чутливого елемента, рівного 15...16 витків.

3. Стале значення вихідного сигналу керування відносно вхідного сигналу досягнуто в інтервалі часу 0,03-0,04 с після включення первинного електромагнітного перетворювача струму у вторинну напругу (за стандартними вимогами даний час не має перевищувати 0,1 с). При цьому сумарна похибка датчика склала  $\Delta = 0,49$  (дана похибка повинна бути  $\Delta < 0,5$ ).

### Література:

1. Лебедев В.Д. Измерительные преобразователи тока для цифровых устройств релейной защиты и автоматики / В.Д. Лебедев, Г.А.Филатова, А.Е. Нестерихин // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем. Екатеринбург: ИГЭУ, 2013.
2. Пазій, В. Г. Підвищення ефективності експлуатації електричних ліній 6-35 КВ за рахунок моніторингу аварійних ситуацій [Текст] / В.Г. Пазій, М.М. Черемісін, О.О. Мірошник // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. Техн. науки. - Харків : ХНТУСГ, 2018. - Вип. 195 : Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. - С. 15-17.
3. The analysis of use of typical load schedules when the design or analysis of power supply systems [Text] / I. Trunova, O. Miroshnyk, O. Moroz, V. Pazii, A. Sereda, S. Dydnikov // IEEE KhPI Week on Advanced Technology : Conference Proceedings, Kharkiv, 5 -10 October 2020. - Kharkiv : KhPI Week, 2020. - Ст. 9250120. - P. 61-64. - DOI 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250120.
4. Правила устроства електроустановок. - К.: Мінерговугілля України, 2017. – 617 с.
5. Циглер Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения. – Перевод с англ. / Под ред. Дьякова А. Ф. - М.: Знак. 2008. - 216 с.
6. C. Qingqian. H. Hou. D. You. Y. Xianggen. Y. Zhandong. "Research on improvements of using electronic current transformer on distance protection." in Proc. IEEE 42nd International Conf. Universities Power Engineering. Brighton. 2007. pp. 267-272.
7. Lj. A. Kojovic, "Innovative Non-conventional Current Transformers for Advanced Substation Designs and Improved Power System Performance", 42nd CIGRE Session 2008, Paris, France, 2008.

### References:

1. Lebedev, V., Filatova, G. and Nesterikhin, A., 2013. Izmeritelnye preobrazovateli toka dlya tsifrovoykh ustroystv releynoy zashchity i avtomatiki. Sovremennye napravleniya razvitiya sistem

releynoy zashchity i avtomatiki energosistem, [online] Available at: <[http://ispu.ru/files/ispu\\_pubs/Lebedev\\_Filatova\\_Nesterihin\\_Izmeritelnye\\_preobrazovateli\\_toka.pdf](http://ispu.ru/files/ispu_pubs/Lebedev_Filatova_Nesterihin_Izmeritelnye_preobrazovateli_toka.pdf)> [Accessed 1 December 2021].

2. Pazij, V., Cheremisin, M. and Miroshnyk, O., 2018. Pidvyshhennja efektyvnosti ekspluatatsiji elektrychnykh liniy 6-35 KV za rakhunok monitoryngnu avarijnykh sytuacij. Visnyk KhNTUSGh imeni P. Vasylenka, 195, pp.15-17.

3. Trunova, I., Miroshnyk, O., Moroz, O., Pazii, V., Sereda, A. and Dydnikov, S., 2020. The analysis of use of typical load schedules when the design or analysis of power supply systems. IEEE KhPI Week on Advanced Technology : Conference Proceedings, KhPI Week, 2020, pp.61-64.

4. 2017. Pravyla ulashtuvannja elektroustanovok. 1st ed. Kyjiv: Minenerghovughillja Ukrajinu, p.617.

5. Tsigler, G., 2008. Tsifrovaya differentsialnaya zashchita. Printsipy i oblast primeneniya. Moskva: Znak, p.216.

6. Qingqian, C., Hou, H., You, D., Xianggen, Y. and Zhandong, Y., 2007. Research on improvements of using electronic current transformer on distance protection. IEEE 42nd International Conf. Universities Power Engineering, pp.267-272.

7. Kojovic Lj. A., 2008. Innovative Non-conventional Current Transformers for Advanced Substation Designs and Improved Power System Performance., 42nd CIGRE Session, Paris, France.

## Аннотация

### Исследование электромагнитных преобразователей тока для управления источниками реактивной мощности

А.А. Мирошник, А.И. Серeda, В.Г. Пазий

В работе приведены результаты исследования электромагнитных преобразователей тока для контроля реактивной мощности систем электроснабжения, что является весьма актуальным в настоящее время, поскольку данные устройства используются в качестве первичных элементов преобразования сигнала о работе источников и потребителей систем электроснабжения для обеспечения бесперебойной работы электрооборудования.

Проанализировано распределение магнитного потока в магнитной системе электромагнитного преобразователя датчика сигнала, то есть процесс преобразования первичного тока системы электроснабжения в выходной электрический сигнал (напряжение), который удобен для приема и обработки. Это позволяет увеличить возможности разработки новых конструкций на основе цифровой технологии. В работе приведена графовая модель магнитной цепи преобразования первичного электромагнитного преобразователя позволяет определить значение магнитодвижущих сил в узлах данной графовой модели.

Решен вопрос возможности широкого применения первичных электромагнитных преобразователей тока с высокой точностью, линейностью выходных характеристик, унифицированными выходными величинами, расширенными диапазонами преобразуемых величин и решен вопрос ограничения их использования из-за недостаточного формирования принципов построения, методов расчета и проектирования распределенных магнитных систем преобразователей тока. В работе также приведены зависимости магнитодвижущей силы и изменения магнитного потока в зависимости от количества участков разбиения круга преобразования -  $n$ , статические характеристики при изменении воздушного зазора, и зависимость выходного напряжения от количества витков.

В итоге было установлено, что использование модели с распределенными параметрами повысило точность расчета сигнала управления при адаптивном управлении гибридными источниками реактивной мощности; проведены на основе графовых моделей эксперименты обеспечили унифицированное значение выходного сигнала при соответствующих установленных величинах воздушного зазора магнитопровода и количества витков чувствительного элемента; установившееся значение выходного сигнала управления относительно входного сигнала после включения первичного электромагнитного преобразователя тока в вторичное напряжение достигнуто в интервале времени, ниже предельно допустимого.

**Ключевые слова:** преобразователь тока, датчик тока, источник реактивной мощности, реактивная мощность, система электроснабжения

## Abstract

### Investigation of electromagnetic current converters for controlling sources of reactive power

O.O. Miroshnyk, A.I.Sereda, V.G. Pazii

In this paper, the results of the study of electromagnetic current converters to control the reactive power of power supply systems, which are quite relevant at present, since data devices are used as primary elements of transforming a signal about the work of sources and consumers of power supply systems to ensure uninterrupted operation of electrical equipment.

The distribution of a magnetic stream in the magnetic system of an electromagnetic transducer signal is analyzed, that is, the process of converting the primary electric current of the power supply system to the output electrical signal (voltage), which is convenient for reception and processing. This allows you to increase the development of new designs based on digital technology. In the work, the graph model of the magnetic circle transformation of the primary electromagnetic converter allows you to determine the values of magnetostatic forces in the nodes of this graph model.

The issue of the possibility of a wide use of primary electromagnetic current converters with high accuracy, the linearity of the output characteristics, unified output values, extended spectra of converted values and solved the issue of limiting their use due to the lack of formation of constructs, methods of calculation and design of distributed magnetic systems of current converters. In the work, the dependence of the magnetostatic force and changes in the magnetic stream, depending on the number of sections of the breakdown of the transformation circle -  $N$ , static characteristics when changing the air gap, and the dependence of the output voltage on the number of turns.

As a result, it has been found that the use of a model with distributed parameters increased the accuracy of the calculation of the control signal in adaptive control of hybrid sources of reactive power; Conducted on the basis of graph models, experiments provided a unified value of the output signal with the corresponding established values of the air gap of the magnetic circuit and the number of turns of a sensitive element; The steel value of the control signal relative to the input signal after the inclusion of the primary electromagnetic current converter to the secondary voltage is achieved in the time interval that is lower than the maximum allowable.

**Keywords:** *current converter, current sensor, reactive power source, reactive power, power supply system.*

**Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard**

Miroshnyk, O. O., Sereda, A. I. and Pazii, V. G. (2022) 'Investigation of electromagnetic current converters for controlling sources of reactive power', *Engineering of nature management*, (1(23)), pp. 115 - 119.

*Подано до редакції / Received: 23.11.2021*