

**ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С
ГИБРИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

А. Б. Абубакиров,

З. Мауленова

Нукусский горный институт при Навоийском государственном горно-технологическом университете, Нукус, Узбекистан. aziz1306@mail.ru

Аннотация

В работе представлена структура датчика преобразования трехфазных первичных токов во вторичные напряжения реактивной мощности электрических сетей с гибридных источников энергии, моделирования процессов в устройстве, подающем сигнал на устройства контроля и управления первичными токами, обеспечивает высокоформализованную графовую модель на основе аналитического выражения, статических характеристик, изучаемых на основе его аналитического выражения.

Ключевые слова: Трехфазных, мощность, первичные токи, устройства, управление, сигнал, статическая характеристика, графовая модель.

Introduction

1. ВВЕДЕНИЕ

В мире уделяется большое внимание совершенствованию электромагнитных преобразовательных устройств, элементов и средств, а также структур, обеспечивающих нормативное поддержание и строго заданное качество реактивной энергии и мощности трехфазного тока в сетях электроснабжения с гибридными источниками энергии. В развитых странах актуальной задачей является разработка структур первичных электромагнитных преобразователей, обеспечивающих высокую точность измерения и дистанционного контроля трехфазных токов реактивной мощности в электрических сетях с гибридными источниками энергии. Особое значение имеет создание, исследование и внедрение в практику новых типов этих преобразовательных устройств и принципов их построения.

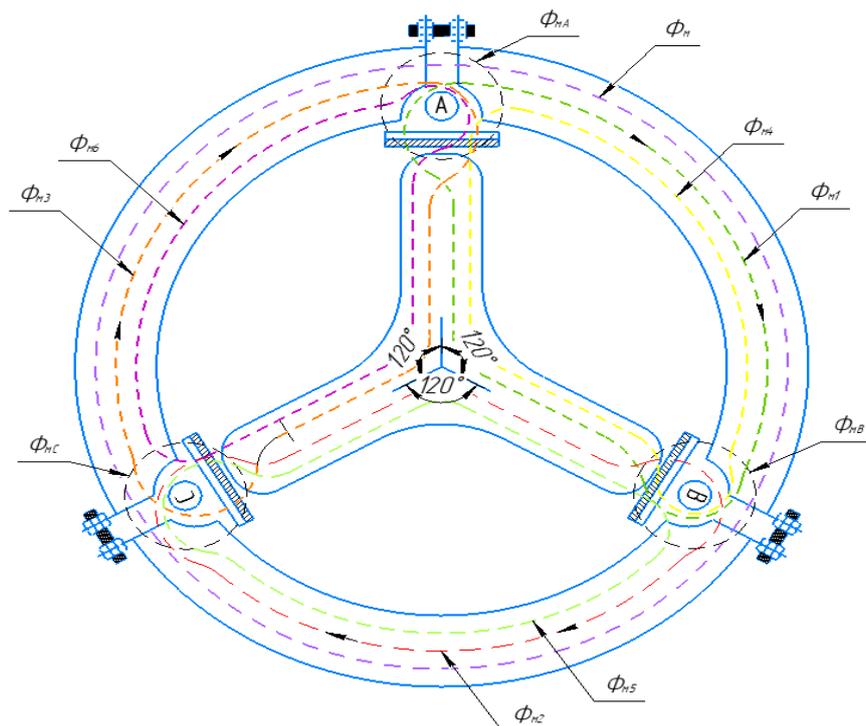
В настоящее время проводятся широкомасштабные научные исследования по исследованию первичных преобразующих устройств измерения и дистанционного контроля трехфазных токов реактивной мощности в сетях с гибридными источниками энергии. Эти исследования направлены на развитие принципов их построения и применения, а также на решение проблем энергоснабжения с использованием первичных преобразующих устройств для измерения и дистанционного контроля показателей качества реактивной мощности электроэнергии, с целью поиска эффективных, качественных и надежных решений.

Анализ показал, что вопросы комплексного применения современных цифровых техники и технологий для преобразования первичных реактивных токов трехфазных

электрических сетей с гибридными источниками энергии во вторичные сигналы, а также вопросы моделирования, алгоритмизации и исследования процессов в устройствах дистанционного измерения и контроля, недостаточно рассмотрены. Кроме того, вопросы определения возможности передачи тока в электрических сетях с гибридными источниками энергии, структурного и параметрического исследования устройств для измерения и дистанционного контроля токов, которые являются основными величинами, а также разработки современных принципов построения устройств преобразования трехфазных токов реактивной мощности и их внедрения в практику, недостаточно исследованы.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

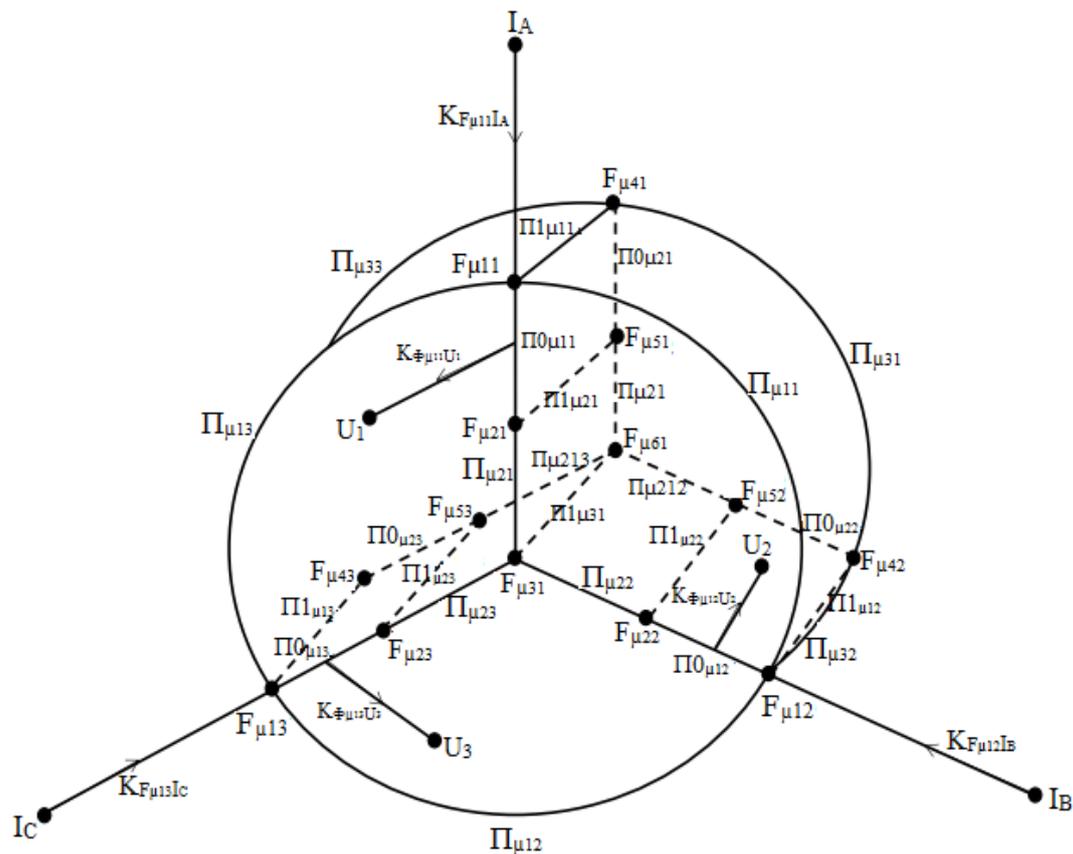
Принципы построения преобразовательных устройств реактивных токов для трёхфазных сетей с изолированной нейтралью. Устройство обеспечивает замкнутые контуры магнитного потока, создаваемые трехфазными токами реактивной мощности. Оно обладает расширенными функциональными возможностями для изменения величин и характеристик несимметричных трехфазных токов, и оснащено магнитопроводом с регулируемым воздушным зазором. Принципы построения трехфазных преобразователей токов реактивной мощности представлены на рис. 1.



1-рис. Принципы построения трехфазных преобразователей токов с изолированной нейтралью реактивной мощности

здесь: $\Phi_{\mu A}$, $\Phi_{\mu B}$, $\Phi_{\mu C}$ – основные магнитные потоки, создаваемые токами фаз А, В, С электрической сети, которые пересекают соответствующие чувствительные элементы; $\Phi_{\mu 1}$, $\Phi_{\mu 2}$, $\Phi_{\mu 3}$, $\Phi_{\mu 4}$, $\Phi_{\mu 5}$, $\Phi_{\mu 6}$ – магнитные потоки, создаваемые токами между фазами, не являющиеся основными для чувствительных элементов; δ – воздушный зазор ути прохождения магнитных потоков через магнитопровод

Исследовательская модель. Графовые модели преобразовательных устройств реактивных токов для трёхфазных сетей с изолированной нейтралью с распределенными параметрами трехфазного проводов для преобразования первичных реактивных токов трехфазной системы электроснабжения в вторичный сигнал, приведены на рис. 2.



2- рис. Объемные распределенные параметрические графовой модели электромагнитных преобразовательных устройств, преобразующих трехфазные первичные токи реактивной мощности во вторичный сигнал в виде напряжения. Из полученных объемных графовых моделей, образующих систему уравнений (1), значения неизвестных магнитных параметров $F_{\mu ij}$, которые распространяются в магнитном преобразующем элементе, определяются в зависимости от магнитных параметров и задают значения функции передачи. Основываясь на исследовательской модели для устройства с распределенными параметрами и практических расчетах, можно сделать вывод, что при исследовании процессов в электромагнитных устройствах рекомендуется использовать математический аппарат теории электрических цепей с распределенными параметрами.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 12}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 121}}{\Pi_{0 \mu 11}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 13}}{\Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 41}}{\Pi_{1 \mu 11}} = K_{I_A F_{\mu 111}} I_A; \\ \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 11}}{\Pi_{0 \mu 11}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 51}}{\Pi_{1 \mu 21}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 12}-F_{\mu 11}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 12}-F_{\mu 22}}{\Pi_{0 \mu 12}} + \frac{F_{\mu 12}-F_{\mu 13}}{\Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 12}-F_{\mu 42}}{\Pi_{1 \mu 12}} = K_{I_B F_{\mu 12}} I_B; \\ \frac{F_{\mu 22}-F_{\mu 12}}{\Pi_{0 \mu 12}} + \frac{F_{\mu 22}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 22}} + \frac{F_{\mu 22}-F_{\mu 52}}{\Pi_{1 \mu 22}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 13}-F_{\mu 12}}{\Pi_{\mu 12}} + \frac{F_{\mu 13}-F_{\mu 22}}{\Pi_{0 \mu 13}} + \frac{F_{\mu 13}-F_{\mu 11}}{\Pi_{\mu 13}} + \frac{F_{\mu 13}-F_{\mu 43}}{\Pi_{1 \mu 13}} = K_{I_C F_{\mu 13}} I_C; \\ \frac{F_{\mu 23}-F_{\mu 13}}{\Pi_{0 \mu 13}} + \frac{F_{\mu 28}-F_{\mu 13}}{\Pi_{\mu 23}} + \frac{F_{\mu 23}-F_{\mu 53}}{\Pi_{1 \mu 23}} = 0; \\ \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 21}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 22}}{\Pi_{\mu 22}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 23}}{\Pi_{\mu 23}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 61}}{\Pi_{1 \mu 31}} = 0. \end{array} \right.$$

здесь: $K_{I_A F_{\mu 111}}$, $K_{I_B F_{\mu 12}}$, $K_{I_C F_{\mu 13}}$ – количество витков чувствительных элементов (W_1 , W_2 , W_3 , W_4);

I_A , I_B , I_C – первичные токи;

Π_{ij} , Π_{0ij} – соответственно магнитные параметры сопротивлений магнитного сердечника (стержня) и воздушного зазора устройства;

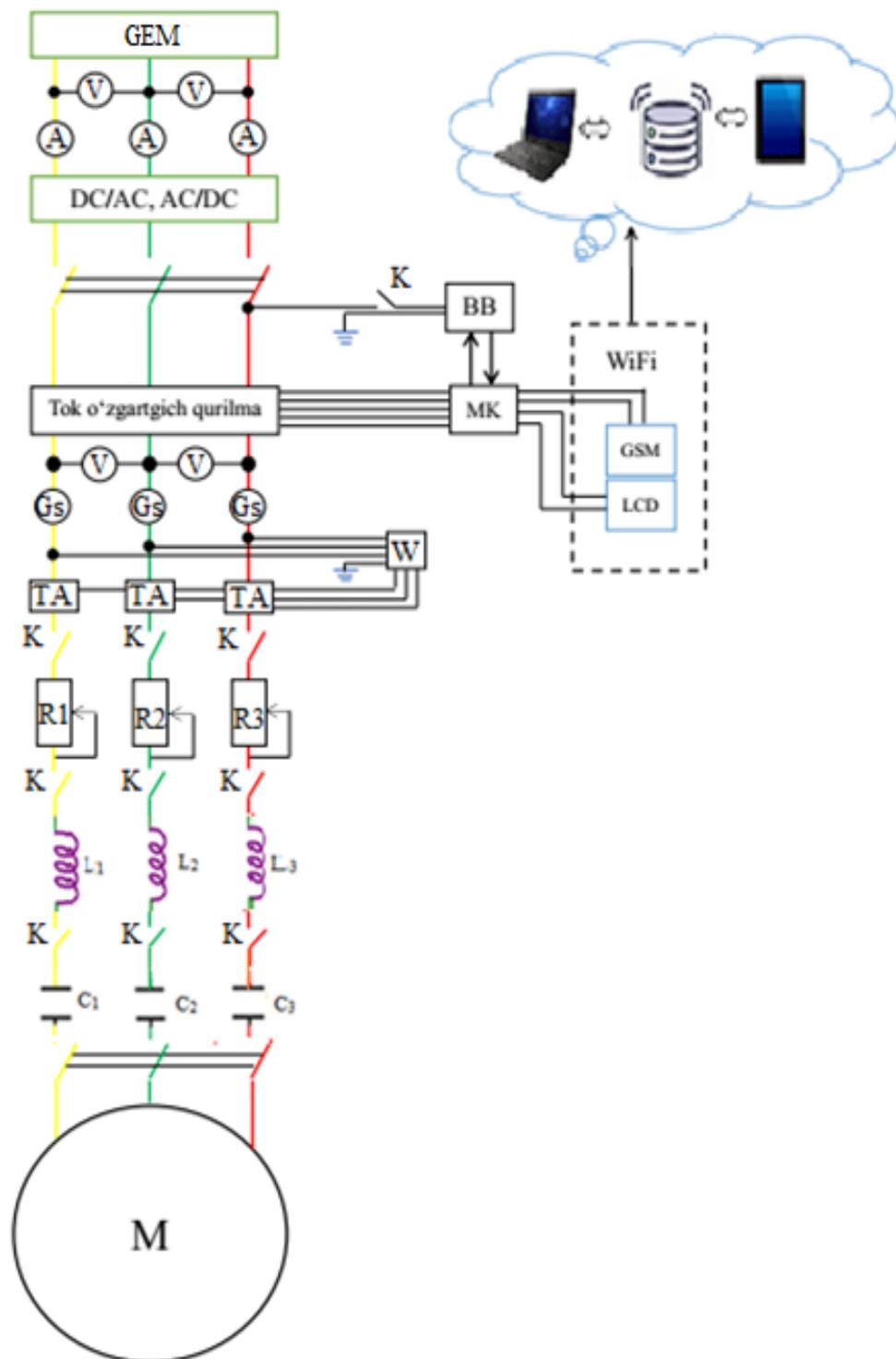
$F_{\mu i,j}$ – магнитные параметры.

Полученная графовая модель и её аналитическое выражение позволяют исследовать распределение магнитных потоков $\Phi_{\mu i}$ и магнитных параметров $F_{\mu i,j}$ в магнитном сердечнике и воздушном зазоре в зависимости от конструкции частей устройства. Магнитный поток $\Phi_{\mu i,j}$, характеризующий первый столбец модели, происходит от общей части магнитного сердечника. Потоки второго столбца представляют распространяющиеся магнитные потоки, потоки второго и третьего столбцов пересекают чувствительные элементы, а потоки четвертого столбца указывают на магнитные потоки, пересекающие чувствительные элементы устройства.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

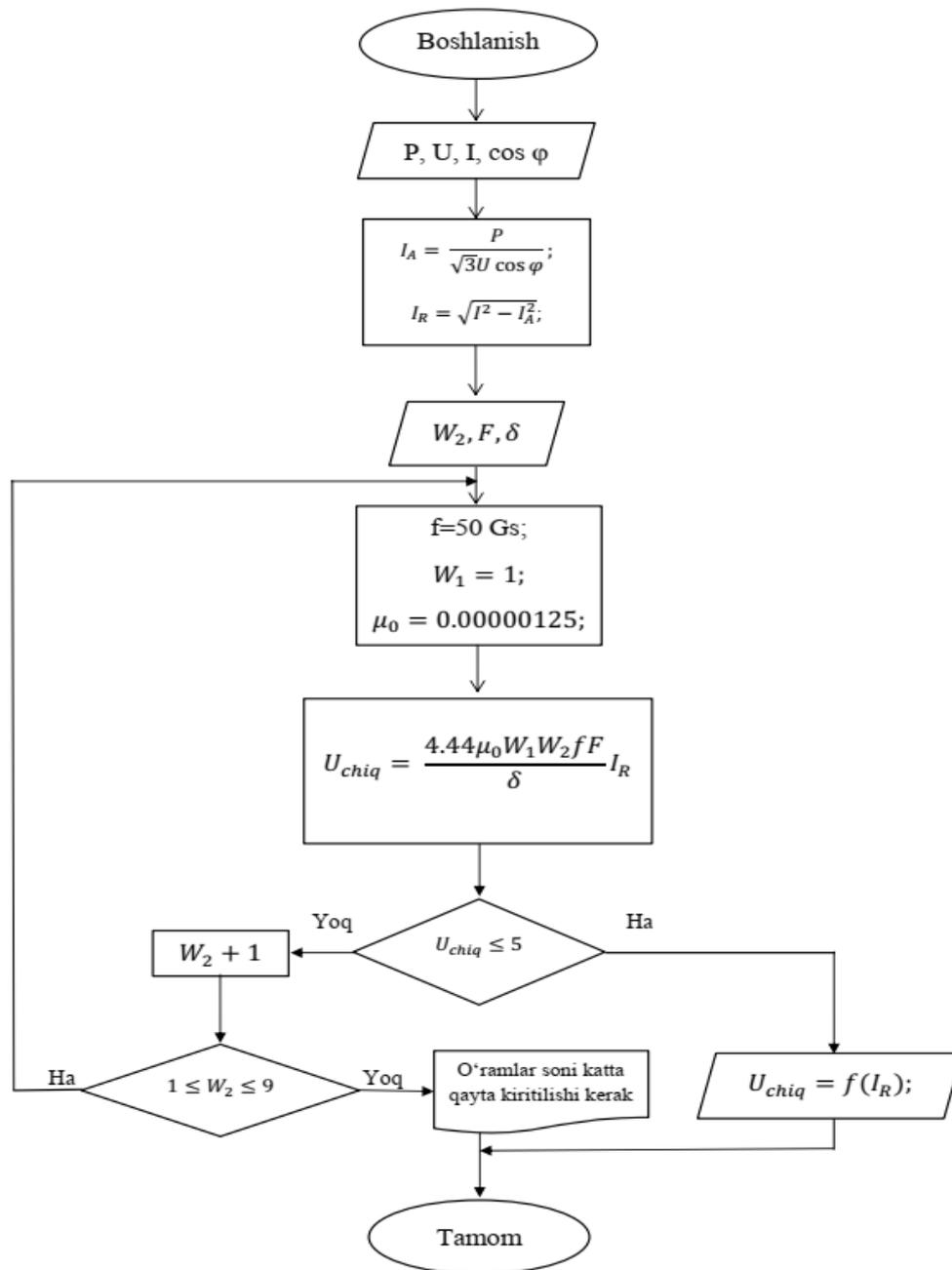
Для эффективной организации дистанционного измерения и контроля в системах с гибридными источниками энергии (ГИЭ ЭС), важным аспектом является описание устройств преобразования первичных токов реактивной мощности трехфазной системы в выходной сигнал вторичного напряжения. Поэтому статические и динамические характеристики этих преобразующих устройств, метрологические параметры и показатели надежности работы рассматриваются как основные характеристики в исследовании.

Схема исследования устройства преобразования первичных токов реактивной мощности трехфазной системы в выходной сигнал вторичного напряжения, подключенного к нагрузкам, представлена на рис. 3.



3-рис. Схема исследования устройства преобразования первичных токов реактивной мощности гибридных источников энергии в выходной сигнал вторичного напряжения, подключенного к нагрузкам

Статическое характеристика электромагнитного преобразователя токов для преобразования первичных реактивных токов трехфазной системы в выходное напряжение вторичной величины в системе ГИЭЭС представлено в алгоритме исследования на рис. 4.



4-рис. Алгоритм исследования электромагнитного преобразователя для преобразования первичных трехфазных токов реактивной мощности системы в системе ГИЭЭС. Статические характеристики устройства, применяемого для измерения и контроля реактивной мощности системы электроснабжения с гибридными источниками энергии (ГЭМ), выражены на основе объемного распределенного параметрического граф-моделя

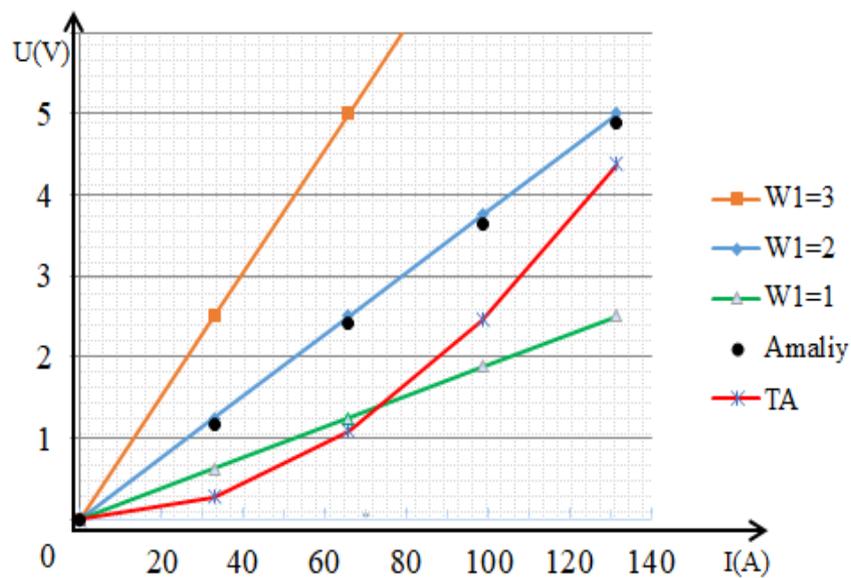
электромагнитного преобразователя реактивных токов трехфазной несинусоидальной электрической сети с нейтральным проводом (рисунок 3) и рассчитываются согласно аналитическим выражениям (1).

$$U_1 = K_{\Phi_{\mu 11}} U_1 \left(\frac{K_{I_A} F_{\mu 11}}{P O_{\mu 11}} I_A - \frac{F_{\mu 21}}{P O_{\mu 11}} - \frac{F_{\mu 41}}{P I_{\mu 11}} \right);$$

$$U_2 = K_{\Phi_{\mu 12}} U_2 \left(\frac{K_{I_B} F_{\mu 12}}{P O_{\mu 12}} I_B - \frac{F_{\mu 22}}{P O_{\mu 12}} - \frac{F_{\mu 42}}{P I_{\mu 12}} \right);$$

$$U_3 = K_{\Phi_{\mu 13}} U_3 \left(\frac{K_{I_C} F_{\mu 13}}{P O_{\mu 13}} I_C - \frac{F_{\mu 23}}{P O_{\mu 13}} - \frac{F_{\mu 43}}{P I_{\mu 13}} \right);$$
(1)

В приведенной модели в качестве основных переменных рассматриваются I_A , I_B , I_C , I_N — первичные токи (в пределах 1–131,5 ампер). W_A , W_B , W_C — число витков входных обмоток (1–3 витка), W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 — число витков выходных обмоток чувствительных элементов (обмоток), изменяющихся в диапазоне от 1 до 9 витков. На основе сформированных моделей устройств проводились исследования, результаты которых включают теоретические и практические данные, а также сравнительный анализ с выходными сигналами от классических трансформаторов тока (рис. 5).



5 рис. Относительная статическая характеристика зависимости вторичного выходного сигнала о реактивной мощности в трехфазных электрических сетях с нейтральным проводом и изолированными токопроводами при первичном токе $I = 131,5$ А здесь W_1 - характеристика зависимости выходного напряжения, полученного на основе модели от изменения тока при изменении числа витков вторичной обмотки (U - изменение выходного напряжения, соответствующее току). TA - характеристика классического трансформатора тока.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны принципы построения преобразовательных устройств первичных трехфазных токов реактивной мощности в электрических сетях с гибридными источниками энергии во вторичные сигналы в виде выходные электрические напряжения.
2. Разработаны модели для расчета значений выходных напряжений U_1 , U_2 , U_3 , U_4 и U_5 , основанные на критериев протекания распределенных магнитных потоков через чувствительные элементы преобразователя, а также на учете распределенности магнитодвижущих сил и магнитных потоков в преобразовательных элементах на основе на использовании графовых моделей с сосредоточенными и распределенными параметрами.
3. Разработана модель формирования сигналов в виде напряжения во вторичных обмотках, соответствующих величинам и изменениям взаимовлияющих магнитных потоков, создаваемых несимметричными первичными трехфазными токами реактивной мощности в электрических сетях. На основе созданной модели разработана структура преобразователя, на которую получен патент на полезную модель «Электромагнитный преобразователь асимметрии трехфазного тока в напряжение» в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (Патент № FAP 02157, 27.05.2022 г., срок действия – 5 лет).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Siddikov I.X., Abubakirov A.B., Kurbaniyazov T.U., Bekimbetov M.N., Uch fazali tokning nosimmetrikligini kuchlanishga o'tkazuvchi elektromagnitli o'zgartirgich // Patent RUz (UZ) № FAP 02157 U.S. 27.05. 2022 y.
2. Abubakirov A.B. Analysis of cloud computing of digital monitoring of nonlinear values and parameters of electric networks // Journal of Engineering and Technology (JET), ISSN(P):2250-2394; ISSN(E): Applied Vol. 12, Issue 2, Dec 2022, 35–44.
3. Azizjan Abubakirov, Timur Kurbaniyazov and Muratbay Bekimbetov. Analysis of three-phase asymmetrical currents in the secondary voltage of signal change sensors in the power supply system using graph models // E3S Web of Conferences 525, 03013 (2024), GEOTECH-2024, -T. №1.
4. Azizjan Abubakirov, Naurizbek Eshmuratov, Gulayim Esemuratova, and Muzaffar Nazarov. Electromagnetic converter of reactive power and monitoring of high-voltage induction motors // E3S Web of Conferences 525, 03016 (2024), GEOTECH-2024, -T. №1.
5. I.Kh.Siddikov, P.D.Chelyshkov, A.B.Abubakirov, N.M.Nazhimatdinov, R.Zh.Tanatarov. Structure of control sensors of multi-phase reactive power currents in power supply systems // Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 839 (5), 052045. pp. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/839/5/052045. (AGRITECH-V - 2021). Publication Year: 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/839/5/052045/pdf>
6. A. Djalilov, O. Matchonov, A. Abubakirov, J. Abdunabiev, A. Saidov. System for measuring and analysis of vibration in electric motors of irrigation facilities // Agricultural Engineering

and Green Infrastructure Solutions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 868, International Conference on Agricultural Engineering and Green Infrastructure Solutions (AEGIS 2021) 12th-14th May 2021, Tashkent, Uzbekistan. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/868/1/012032>

7. I.Siddikov, A.B.Abubakirov, R.Seytimbetov, Sh.Kuatova, Yu.Lezhnina. Analysis of current conversion primary sensors dynamic characteristics of a reactive power source with renewable energy sources into secondary voltage // Part 1. E3S Web of Conferences 281, 09028. CATPID-2021. Publication Year: 2021.

8. I.Kh.Siddikov, M.A.Anarbaev, A.A.Abdumalikov, A.B.Abubakirov, M.T.Maxsudov, I.M.Xonturaev. «Modelling of transducers of nonsymmetrical signals of electrical nets» // International Conference On Information Science And Communications Technologies Applications, Trends And Opportunities // Publication Year: 2019, Page(s): 1–6. <http://WWW.ICISCT2019.Org>

9. I.X.Siddikov, A.B.Abubakirov, A.J.Allanazarova, R.M.Tanatarov, Sh.B.Kuatova // Modeling the secondary strengthening process and the sensor of multiphase primary currents of reactive power of renewable electro energy supply // Solid State Technology, Volume: 63 Issue: 6, Publication Year: 2020, pp: 13143-13148.

10. I.Siddikov, Kh.Sattarov, A.B.Abubakirov, M.Anarbaev, I.Khonturaev, M.Maxsudov. «Research of transforming circuits of electromagnets sensor with distributed parameters» // 10 th International Symposium on intelgent Manufacturing and Service Systems. 9-11 September 2019. Sakarya. Turkey. c.831-837.

11. Abubakirov A.B. «Research of the electromagnetic transducers for control of current of three phases nets» // European science review, Scientific journal № 5–6 Vienna, Austria. 2018.- pp. 269-273.

12. Siddikov I.KH., Abubakirov A.B., Yo'ldashov A.A., Babaxova G.Z., Xontoraev I.M., Mirzoev N.N. «Methodology of calculation of techno-economic indices of application of sources of reactive power» // European science review, Scientific journal № 1–2 Vienna, Austria. 2018.- pp. 248-251.

13. Сиддиков И.Х., Саттаров Х.А., Абубакиров А.Б., Есенбеков А.Ж., Сарсенбаев Д.Б. «Применение управляемых компенсирующих устройств в системах электроснабжения» // Вестник ККОАНРУз. №2. Нукус, 2018.- С. 27-32.

14. Сиддиков И.Х., Абубакиров А.Б., Нажматдинов К.М., Есенбеков А.Ж. «Электромагнитные преобразователи несимметрии трехфазного тока с расширенными функциональными возможностями» // Вестник ККОАНРУз. №2. Нукус, 2017.- С. 66-68.

15. Лукашкин В.Г., Гарипов В.К., Слепцов В.В., Вишнеков А.В. Автоматизация измерений, контроля и управления. – М.:Машиностроение, 2005.– 663 с.