

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА В НАПРЯЖЕНИЕ

*Қурбонов Анвар Раззакович<sup>1</sup>, Назаров Фуркат Даминович<sup>2</sup>,  
Қурбанов Аброр Абдуносирович<sup>2</sup>, Қурбанова Барно Қурбон кизи-магистр<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Джизакский государственный педагогический институт*

*<sup>2</sup>Джизакский политехнический институт*

*e-mail: anvar.fizik@mail.ru*

***Аннотация:** Ушбу мақолада реактив қувват манбаларининг уч фазали электр тармоқларининг ясси улчов чулгам асосида қурилган электромагнит ток ўзгарткичларининг статик ва динамик таснифларини аналитик тадқиқ этиши натижалари келтирилган.*

***Калим сўзлар:** бирламчи ток, иккиламчи кучланиш, реактив қувват, магнит оқимлари*

\*\*\*

***Аннотация.** В статье приведены результаты аналитических исследований статических и динамических характеристик электромагнитных преобразователей тока трехфазной электрической сети источников реактивной мощности, построенные на основе плоской измерительной обмоткой.*

***Ключевые слова:** первичный ток, вторичное напряжение, реактивной мощности, магнитные потоки*

\*\*\*

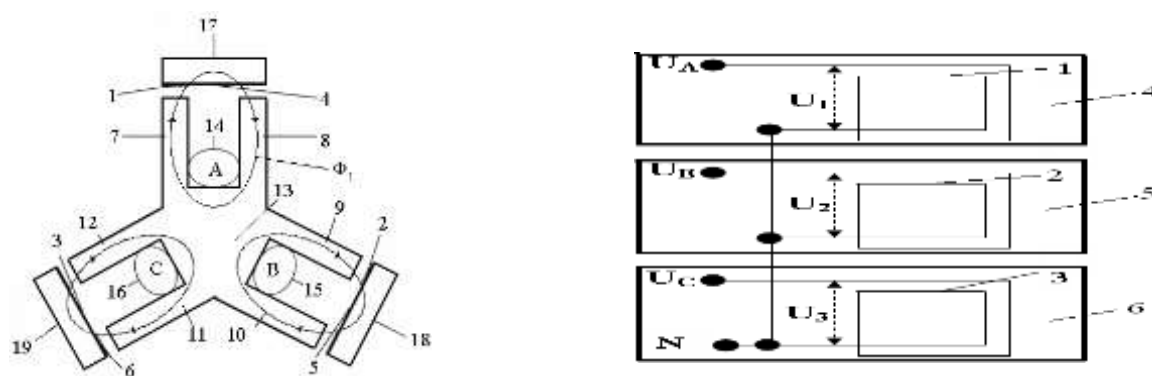
***Abstract:** In article given results of the analytical research of static's and dynamics characteristics of the electromagnetic converters of the current three-phase electric network of reactive power, constructed on base of the flat measuring windings.*

***Keywords:** primary current, secondary voltage, reactive power, magnetic fluxes*

Проблема энерго и ресурсосбережения напрямую связана с ущербом от срыва технологического процесса и недоотпуска электроэнергии, возникающим при авариях в трехфазных электрических сетях источников реактивной мощности системы электроснабжения (СЭС) [1-6]. Обеспечение надежности СЭС можно только при комплексном решении взаимосвязанных вопросов, начиная от выбора первичного преобразователя тока и напряжения, и заканчивая выбором систем и устройств учета, контроля и защиты источников реактивной мощности (ИРМ), построенные на основе современных многофазных (МФ) электромагнитных преобразователей тока в напряжение (ЭМПТН) с плоскими измерительными обмотками (ПИО) [3-10].

На рис.1.а и б представлена конструкция МФ ЭМПТН с ПИО трехфазного тока в напряжение: на рис.1.а. – общий вид конструкции МФ ЭМПТН с ПИО, на рис.1.б. – изоляционные пластинки с ПИО [3-10]. МФ ЭМПТН с ПИО в общем случае представляет собой электромагнитный

аппарат, предназначенный для преобразования переменные токи трехфазной электрической сети в переменный ток другого напряжений той же частоты унифицированных значениях (ток величиной 100 мА, напряжение 20 В), удобные для согласования с микропроцессорной системой управления и защиты. Принцип действия таких устройств основан на воздействии преобразуемого тока в площадь ПИО. В этом смысле они аналогичны электромагнитным электроизмерительным устройствам прямого преобразования, поэтому также разделяются на измерительные преобразователи электромагнитного типа, т.к. содержат магнитопровод, охватывающий трехфазные токопроводы электрической сети СЭС и ПИО. ПИО представляет собой совокупность большого количества витков медного провода, близко расположенных на изоляционной линейке - непроводящем каркасе (рис.1.б.) [11-16].



а- конструкция ЭМПТН

б – изоляционные пластинки с ПИО

Рис.1. Многофазный электромагнитный преобразователь тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками

МФ ЭМПТН с ПИО системы управления источников реактивной мощности (рис.1), содержит ПИО (рис.2), 1, 2 и 3, расположенные на изоляционные пластинки 4, 5 и 6, стержня 7, 8, 9, 10, 11 и 12 магнитопровода трехлучевой звездообразной формы с общим основанием 13, первичные обмотки 14 (фаза А), 15 (фаза В) и 16 (фаза С) – токопроводы трехфазной электрической сети и дополнительные сердечники 17, 18 и 19.

МФ ЭМПТН с ПИО работает следующим образом [1-3].

При протекании тока в одной 14, второй 15 или третьей 16 фазах трехфазной электрической сети, в стержнях 7, 8, 9, 10, 11 и 12 магнитопровода трехлучевой звездообразной формы с общим основанием 13 появляются магнитные потоки  $\Phi_{\mu 1}$ ,  $\Phi_{\mu 2}$ , и  $\Phi_{\mu 3}$  которые в зазорах между торцами стержней 7, 8, 9, 10, 11 и 12 магнитопровода трехлучевой звездообразной формы и дополнительными сердечниками 17, 18 и 19

пересекают витки ПИО 1, 2 и 3, при этом магнитные потоки определяются следующим образом:

$$\Phi_{\mu 1} = \frac{(I_{\text{эвxA}}W_{n1})}{R_{\mu 1\Sigma}}; \quad (1)$$

$$\Phi_{\mu 2} = \frac{(I_{\text{эвxB}}W_{n2})}{R_{\mu 2\Sigma}}; \quad (2)$$

$$\Phi_{\mu 3} = \frac{(I_{\text{эвxC}}W_{n3})}{R_{\mu 3\Sigma}}; \quad (3)$$

где  $I_{\text{эвxA}}, I_{\text{эвxB}}, I_{\text{эвxC}}$  - первичные токи, протекающие по токопроводам трехфазной электрической сети,  $W_{n1}, W_{n2}, W_{n3}$  - числа витков первичной обмотки возбуждения (в данной конструкции  $W_{n1} = W_{n2} = W_{n3} = 1$  - каждая первичная обмотка в виде одного витка токопровода, одна первичная обмотка располагается в выемке между стержнями магнитопровода),  $R_{\mu 1\Sigma} = R_{\mu 2\Sigma} = R_{\mu 3\Sigma}$  - соответственно суммарные магнитные сопротивления стержней магнитопровода трехлучевой звездообразной формы с общим основанием, воздушного зазора и дополнительного сердечника на пути магнитных потоков  $\Phi_{\mu 1}, \Phi_{\mu 2},$  и  $\Phi_{\mu 3}$  [1-6].

Следовательно, магнитные потоки  $\Phi_{\mu 1}, \Phi_{\mu 2},$  и  $\Phi_{\mu 3}$  созданные токами одной фазы  $I_{\text{эвxA}}$ , двух фаз:  $I_{\text{эвxA}}, I_{\text{эвxB}}$ , или  $I_{\text{эвxB}}, I_{\text{эвxC}}$  и трех фаз:  $I_{\text{эвxA}}, I_{\text{эвxB}}, I_{\text{эвxC}}$  электрической сети, в трех торцах стержней 7, 8, 9, 10, 11 и 12 магнитопровода трехлучевой звездообразной формы и с общим основанием 13, и дополнительными сердечниками 17, 18 и 19 позволяют получить информацию о токах трехфазной электрической сети в виде выходных напряжений  $U_{\text{эвxA}}, U_{\text{эвxB}}$  и  $U_{\text{эвxC}}$  ПИО (рис.2) 1, 2 и 3, расположенные неподвижно на изоляционных пластинках 4, 5 и 6 с напряжениями  $U_{\text{эвxA}}, U_{\text{эвxB}}$  и  $U_{\text{эвxC}}$  с унифицированной величиной (до 20 В) на выходе ЭМПТН с ПИО. Выходные напряжения  $U_{\text{эвxA}}, U_{\text{эвxB}}, U_{\text{эвxC}}$  ЭМПТН с ПИО двух или трехфазного тока в напряжение определяются на основе соединения ПИО.

Статические характеристики ЭМПТН с ПИО представляет собой зависимость между входной и выходной величинами при установившихся их значениях. Как входные, так и выходные величины у одного и того же типа ЭМПТН с ПИО могут быть различными. Наиболее часто в качестве изменяющихся параметров и величин у ЭМПТН с ПИО используются: воздушный зазор, геометрические размеры магнитопровода, магнитная

проницаемость магнитных материалов магнитопровода, число витков и геометрические размеры ПИО и др [11-20].

Основным выражением для построения статических характеристик является [1,2,5] :

$$U_{\text{вых}} = (4,44 f \frac{W_{\text{ПИО}}}{R_{\mu\Sigma}}) W_1 I_{\text{вх}} \quad (4)$$

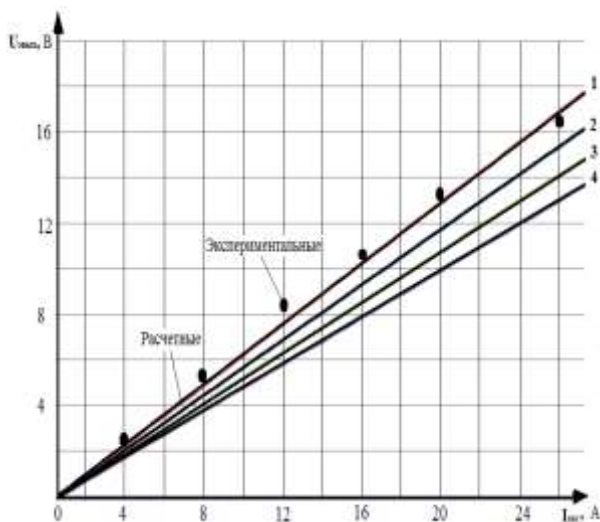
где:  $R_{\mu 1}, R_{\mu 2}, R_{\mu 3}$  – соответственно суммарные магнитные сопротивления магнитопровода с общим основанием, двух стержней, участков дополнительного сердечника и воздушных зазоров и на пути магнитных потоков  $\Phi_{\mu 1}, \Phi_{\mu 2}, \Phi_{\mu 3}, R_{\mu m}$  - магнитное сопротивление одного стержня магнитопровода;  $R_{\mu \text{серд}}$  - магнитное сопротивление участков дополнительного сердечника;  $l_{\mu m}$  – активная длина стержней магнитопровода и по которой протекает магнитный поток  $\Phi_{\mu 1}, \Phi_{\mu 2},$  и  $\Phi_{\mu 3}$ .

$R_{\mu \text{серд}} = \frac{l_{\mu \text{серд}}}{(\mu, F)}$  - магнитное сопротивление участков дополнительного сердечника;  $l_{\mu \text{серд}}$  – активная длина участков дополнительного сердечника, по которой протекает магнитный поток  $\Phi_{\mu}$ ;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха (окружающей среды);  $\mu$  – магнитная проницаемость материала магнитопровода;  $R_{\mu \text{возд}}$  - магнитное сопротивление воздушных зазоров между стержнями магнитопровода, участков дополнительного сердечника и воздушного зазора между торцами участков дополнительного сердечника, причем:  $R_{\mu \text{возд}} \gg R_{\mu}$  и  $R_{\mu \text{возд}} \gg R_{\mu \text{серд}}$ ;  $\delta$  - длина воздушного зазора между торцами параллельных стержней магнитопровода с общим основанием и участков дополнительного сердечника,  $\delta_1$  - длина воздушного зазора между торцами участков дополнительного сердечника.

Как видно из представленных графиков (рис.2.- рис.5.) при увеличении воздушного зазора  $\delta$  резко уменьшается величина выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$ , увеличение числа витков ПИО более плавно способствует на изменение величины выходного сигнала, а изменение площади сечения ПИО обеспечивает линейное изменение выходной величины в виде напряжения. Самые оптимальные значения выходного напряжения обеспечивается при величине воздушного зазора 0,002 – 0,003 м. и при числа витков  $W_{\text{ПИО}}$  равной 3 – 4 витков.

Динамические свойства МФ ЭМПТН с ПИО определяются структурной схемой, связывающей выходной сигнал с входным, но и характером продольных и поперечных параметров П и ПО электрической или магнитной

цепи преобразования ЭМПТН с ПИО. Ясно, что непостоянство параметров МФ ЭМПТН с ПИО в процессе эксплуатации, характер изменения этих параметров - это основные моменты, которые коренным образом могут изменить его динамические свойства, хотя структура оператора преобразования  $p$  входного сигнала может оставаться одной и той же. Исследование динамических характеристик МФ ЭМПТН с ПИО с учётом взаимодействия цепей различной физической природы затруднено в связи с возникающими трудностями получения дифференциальных уравнений [1-6].



(1 - 20 мм., 2 - 22 мм., 3 - 24 мм., 4 - 26 мм.)

Рис.2. Статические характеристики при различных значениях воздушного зазора

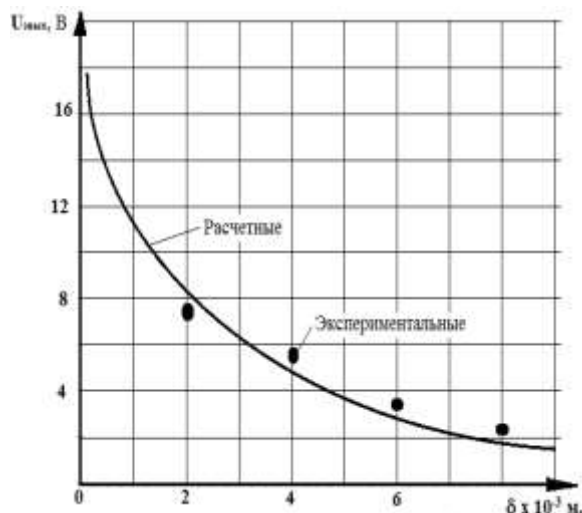


Рис.3. Изменение выходного напряжения  $U_{вых}$  МФ ЭМПТН с ПИО при различных значениях воздушного зазора  $\delta$ .

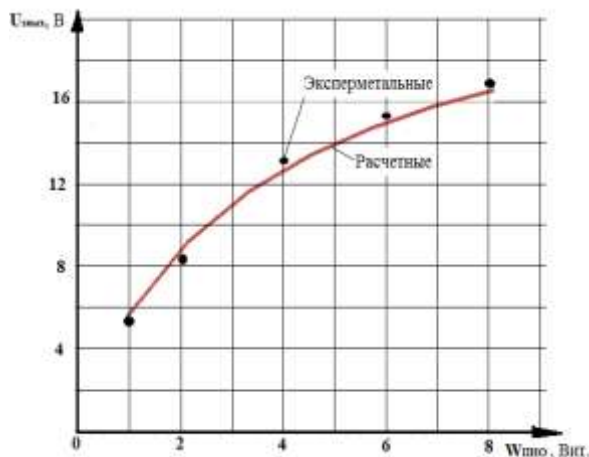


Рис.4. Изменение выходного напряжения  $U_{вых}$  при различных значениях числа витков ПИО –  $W_{пιο}$

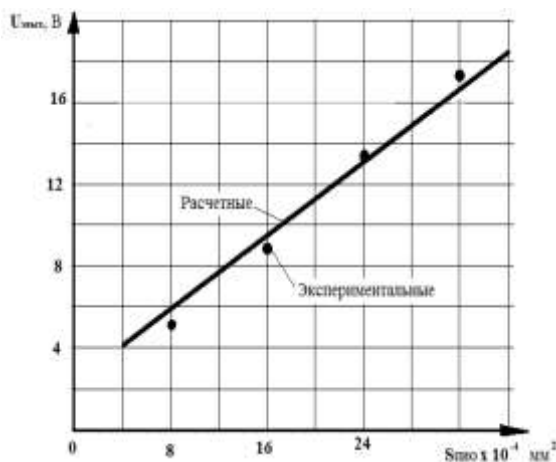


Рис.5. Изменение выходного напряжения  $U_{вых}$  при различных значениях площади сечения ПИО  $S_{пιο}$

Рассмотрим процесс включения источников реактивной мощности - синусоидальных трехфазных электрических нагрузок с токами  $i_{\text{эвхА}}, i_{\text{эвхВ}}, i_{\text{эвхС}}$ . На выходе каждой из ПИО МФ ЭМПТН индицируется напряжение  $U_{\text{эвх}(t)}$ . На основе конструкции МФ ЭМПТН с ПИО, расположения первичных обмоток, формы магнитопровода и числа витков и параметров ПИО составляем уравнения выходных напряжений контуров ПИО:

$$U_{\text{эвхА}(t)} = -R_{\text{э,нуо1}} \cdot i_{\text{эвхА}(t)} - L_{\text{э,нуо1}} \frac{di_{\text{эвхА}(t)}}{dt} + W_{\text{н2}} \frac{d\Phi_{\mu\text{B}(t)}}{dt} + W_{\text{П3}} \frac{d\Phi_{\mu\text{C}(t)}}{dt}, \quad (5)$$

$$U_{\text{эвхВ}(t)} = -R_{\text{э,нуо1}} \cdot i_{\text{эвхВ}(t)} - L_{\text{э,нуо2}} \frac{di_{\text{эвхВ}(t)}}{dt} + W_{\text{н1}} \frac{d\Phi_{\mu\text{B}(t)}}{dt} + W_{\text{П3}} \frac{d\Phi_{\mu\text{C}(t)}}{dt} \quad (6)$$

$$U_{\text{эвхС}(t)} = -R_{\text{э,нуо1}} \cdot i_{\text{эвхС}(t)} - L_{\text{э,нуо3}} \frac{di_{\text{эвхС}(t)}}{dt} + W_{\text{н1}} \frac{d\Phi_{\mu\text{B}(t)}}{dt} + W_{\text{П2}} \frac{d\Phi_{\mu\text{C}(t)}}{dt} \quad (7)$$

$$\text{где: } W_1 \frac{d\Phi_{\mu\text{A}(t)}}{dt} = -M_{\text{эА}} \left( \frac{di_{\text{эвхА}(t)}}{dt} \right), W_2 \frac{d\Phi_{\mu\text{B}(t)}}{dt} = -M_{\text{эВ}} \left( \frac{di_{\text{эвхВ}(t)}}{dt} \right), W_3 \frac{d\Phi_{\mu\text{C}(t)}}{dt},$$

где:  $R_{\text{эпио1}}, R_{\text{эпио2}}, R_{\text{эпио3}}, L_{\text{эпио1}}, L_{\text{эпио2}}, L_{\text{эпио3}}, M_{\text{эА}}, M_{\text{эВ}}, M_{\text{эС}}$  – активные сопротивления, индуктивности ПИО и взаимоиנדуктивности между первичной обмоткой и ПИО МФ ЭМПТН;  $W_{\text{пио1}}, W_{\text{пио2}}, W_{\text{пио3}}$  – число витков первичной обмотки,  $i_{\text{эвхА}}(t), i_{\text{эвхВ}}(t), i_{\text{эвхС}}(t)$  – токи в ПИО [3-7].

Для исследования динамической характеристики МФ ЭМПТН электрические токи ПИО представляем на основе соответствующих магнитных потоков участков цепи преобразований:  $\Phi_{\mu\text{A}}, \Phi_{\mu\text{B}}, \Phi_{\mu\text{C}}$ :

$$\frac{d\Phi_{\mu\text{A}}}{dt} + R_{\text{эI}} \Phi_{\mu\text{A}} L_{\text{эI}} = \left( \frac{U_{\text{mA}}}{W_{\text{I}}} \right) \sin(\omega t + \psi_{\text{I}}) \quad (8)$$

$$\frac{d\Phi_{\mu\text{B}}}{dt} + R_{\text{эII}} \Phi_{\mu\text{B}} L_{\text{эII}} = \left( \frac{U_{\text{mB}}}{W_{\text{II}}} \right) \sin(\omega t + \psi_{\text{II}} + 120^\circ) \quad (9)$$

$$\frac{d\Phi_{\mu\text{C}}}{dt} + R_{\text{эIII}} \Phi_{\mu\text{C}} L_{\text{эIII}} = \left( \frac{U_{\text{mC}}}{W_{\text{III}}} \right) \sin(\omega t + \psi_{\text{III}} - 120^\circ) \quad (10)$$

Эти уравнения решаются при условии постоянства параметров: электрических сопротивлений  $R_{\text{эI}}, R_{\text{эII}}, R_{\text{эIII}}$  и индуктивностей  $L_{\text{эI}}, L_{\text{эII}}$  и  $L_{\text{эIII}}$  при  $t = 0$ . При этом  $\Phi_{\mu\text{ост}}$  – остаточный магнитный поток,  $\omega = 2 * \pi * f$  – угловая частота изменения переменного тока.

Для трехфазной электрической сети СЭС с ИРМ типа косинусные конденсаторные установки с установленной реактивной мощностью  $Q_{Н\text{ ККУ}} = 50 \text{ кВАр}$  первичными токами  $I_{\text{эВХ А}} = I_{\text{эВХ В}} = I_{\text{эВХ С}} = 76 \text{ А}$ ,  $L_{\text{эI}} = L_{\text{эII}} = L_{\text{эIII}} = 10^{-3} \text{ Гн}$ ,  $C_{\text{эА}} = C_{\text{эБ}} = C_{\text{эВ}} = 10^{-7} \text{ Ф}$ , напряжением  $U_{\text{эВХА}} = U_{\text{эВХВ}} = U_{\text{эВХС}} = 380 \text{ В}$ , полным сопротивлением  $Z_{\text{эА}} = Z_{\text{эВ}} = Z_{\text{эС}} = 0.289 \text{ Ом}$  создает максимальный магнитный поток  $\Phi_{\text{максА}} = \Phi_{\text{максВ}} = \Phi_{\text{максС}} = U_{\text{макс}} / (\omega_1 \omega) = 380 / (1 * 2 * 3.14 * 50) = 0.70637 \text{ Вб}$ . На основе вышеприведенных формул, описывающих динамические режимы электрических сетей СЭС ИРМ, определяем динамические зависимости – графики изменения магнитных потоков во времени в магнитной цепи преобразования МФ ЭМПТН с ПИО системы управления ИРМ СЭС [16-20].

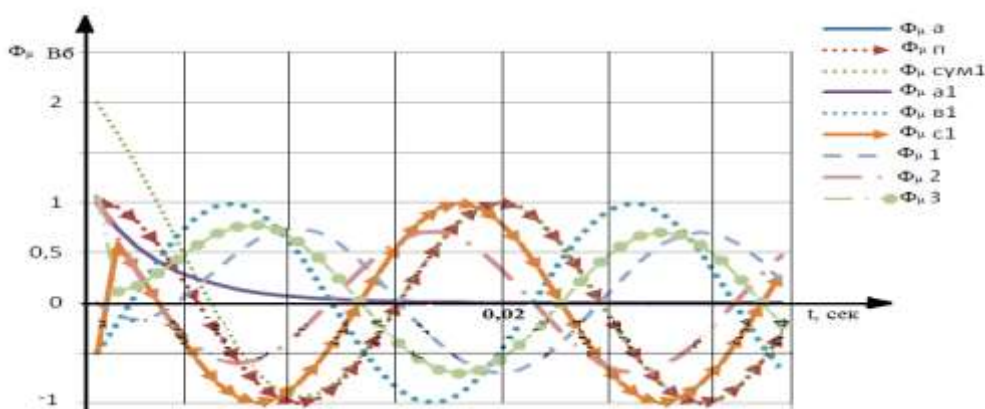


Рис.5. Изменение магнитных потоков  $\Phi_{\mu}$  в магнитной цепи преобразования МФ ЭМПТН с ПИО при протекании токов  $I_{\text{эВХ}}$  по токопроводам СЭС:

На основе графиков изменения магнитных потоков (рис.5.) можно сделать вывод, что установившийся режим в магнитной системе МФ ЭМПТН с ПИО достигается через 0,03 с. после включения электрической нагрузки к токопроводам расположенные между стержнями магнитопровода [3-20]. На основе расчета переходных процессов в магнитной системе, результаты который представлен на рис.5., можно сделать вывод о том, что разработанные авторами данной работы конструкция МФ ЭМПТН с ПИО не только по точности и унифицированности выходных величин, но и по быстродействию удовлетворяет требования современных микропроцессорных систем управления, защиты и контроля величинами трехфазной электрической сети ИРМ СЭС.

## Литература

1. Qurbonov A., Qurbonova B., Abdurashidova D. Inson tanasidagi radioaktivlik //Физико-технологического образование. – 2021. – №. 5.
2. Qurbonov A., Qurbonova B. Inson va uning hayotida radiatsiyaning tutgan o'rni //Физико-технологического образование. – 2021. – Т. 4. – №. 4.
3. Сиддиков И. Х., Назаров Ф. Д. Исследование характеристик электромагнитных преобразователей тока систем управления реактивной мощностью //Химическая технология. Контроль и управление. – 2012. – №. 2. – С. 46.
4. Abror Q. Research and Analysis of Ferromagnetic Circuits of a Special Purpose Transformer //Fazliddin, A., Tuymurod, S., & Nosirovich, OO (2020). Use of Recovery Boilers At Gas-Turbine Installations Of Compressor Stations And Thyristor Controls. The American Journal of Applied sciences. – 2020. – Т. 2. – №. 09. – С. 46-50.
5. Abror Q. Development of Magnetic Characteristics of Power Transformers //Fazliddin, A., Tuymurod, S., & Nosirovich, OO (2020). Use Of Recovery Boilers At Gas-Turbine Installations Of Compressor Stations And Thyristor Controls. The American Journal of Applied sciences. – 2020. – Т. 2. – №. 09. – С. 46-50.
6. Qurbonov A., Qurbonov A. Кўп функцияли токни кучланишга ўзгарткичларнинг ишончлилиқ кўрсаткичлари ва иш қобилияти эҳтимоллигини тадқиқ этиш //Физико-технологического образование. – 2021. – №. 2.
7. Qurbonov A. 3.25 A GeV/c impulsli 16Op-to'qnashuvlarida ko'zguli ( $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^7\text{Be}$ ) yadrolar va mezonlar ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) ning birgalikda hosil bo'lishi //Физико-технологического образование. – 2020. – №. 1.
8. Саъдуллаев Т. М., Курбанов А. А., Сайлиев Ф. О. Перспективное развитие ветроэнергетики в узбекистане //экспериментальная наука: механизмы, трансформации, регулирование. – 2020. – С. 48-50.
9. Жуманов А. Н. и др. Электр тармоқлардаги электр энергия исрофларни тузилиши //Academic research in educational sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 4.
10. Hasanov M. et al. Optimal Integration of Photovoltaic Based DG Units in Distribution Network Considering Uncertainties //International Journal of Academic and Applied Research (IJAAR), ISSN. – 2021. – С. 2643-9603.
11. Hasanov M. et al. Optimal Integration of Wind Turbine Based Dg Units in Distribution System Considering Uncertainties //Khasanov, Mansur, et al." Rider Optimization Algorithm for Optimal DG Allocation in Radial Distribution



Network." 2020 2nd International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems (SPIES). IEEE. – 2020. – С. 157-159.

12. Курбанов А. А. Ў., Жуманов А. Н., Муроджосимов Ж. Т. Ў. 0, 38 кв кучланишли тармоқни электр энергия исрофини қийматини аниқлаш //Academic research in educational sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 5. – С. 300-306.

13. Kurbanov A. et al. An Appropriate Wind Model for The Reliability Assessment of Incorporated Wind Power in Power Generation System //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264.

14. Khonturaev I. et al. Atom Search Optimization Algorithm for Allocating Distributed Generators in Radial Distribution Systems //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 264. – С. 04084.

15. Курбанов А. А. Ў., Маматкулов О. Р. Ў., Мелиев А. Ж. Ў. Линия ва трансформаторларда электр энергия исрофи //Academic research in educational sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 5. – С. 1176-1183.

16. Olimov K. K., Sattarov A. R., Kurbanov A. Correlation effects in formation of stable isotopes with 2-7 nucleons number in  $\{sup 16\}$  Op-collisions at 3.25 GeV/s impulse on nucleon; Korrelyatsionnye ehffekty v obrazovanii stabil'nykh izotopov s chislom nuklonov 2-7 v  $\{sup 16\}$  Op-vzaimodejstviyakh pri impul'se 3.25 GeV/s na nuklon. – 2008.

17. Olimov K. K., Sattarov A. R., Kurbanov A. Correlation effects in formation of stable isotopes with 2-7 nucleons number in 16 Op-collisions at 3.25 GeV/s impulse on nucleon. – 2008.

18. Kurbanov A. R., Petrov V. I., Yuldashev A. A. The formation seven-nucleon mirror systems and nuclei in 16 Op collisions at 3.25 A GeV/s. – 2013.

19. Kurbanov A. R., Petrov V. I., Yuldashev A. A. The formation seven-nucleon mirror systems and nuclei in  $\{sup 16\}$  Op collisions at 3.25 A GeV/s; Obrazovanie zerkal'nykh seminuklonnykh sistem i yader v  $\{sup 16\}$  Op-soudareniyakh pri 3.25 A GeV/s. – 2013.

20. Куланов Б. Я. Телекоммуникация тизимлари гибрид энергия таъминоти манбаларининг бошқарув усулларини таҳлили //Academic research in educational sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 5. – С. 307-314.