

6-1-2020

## STUDY OF THE INFLUENCE OF AN ALTERNATING MAGNETIC FIELD ON THE OPERATION OF A CURRENT CONVERTER ON THE MAGNETOMODULATION EFFECT

Abdurauf Malikovich Safarov

*Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan*

Sarvarbek Khamrayevich Jumaboyev

*Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan, jumaboyev@tashiit.uz*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit>



Part of the [Transportation Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

Safarov, Abdurauf Malikovich and Jumaboyev, Sarvarbek Khamrayevich (2020) "STUDY OF THE INFLUENCE OF AN ALTERNATING MAGNETIC FIELD ON THE OPERATION OF A CURRENT CONVERTER ON THE MAGNETOMODULATION EFFECT," *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*: Vol. 16 : Iss. 2 , Article 9.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol16/iss2/9>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК (UDC) 621.317

## STUDY OF THE INFLUENCE OF AN ALTERNATING MAGNETIC FIELD ON THE OPERATION OF A CURRENT CONVERTER ON THE MAGNETOMODULATION EFFECT

Сафаров А.М.<sup>1</sup>, Жумабоев С.Х.<sup>1</sup>  
Safarov A.M.<sup>1</sup>, Jumaboev S.X.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
(Ташкент, Узбекистан)  
<sup>1</sup> – Tashkent Institute of Railway Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

**Abstract:** The paper proposes a design of a device for converting current to voltage with advanced functionality, designed to detect the asymmetry of three-phase currents in both DC and Made AC circuits. theoretical investigations and mathematical model of static characteristics of the Converter from changes in the magnetization curve of the magnetic material under the interaction of two fields generated by modulating current flowing in the modulation coil and an alternating magnetic field with a strength and created during the flow of DC buses DC field strength and shown that the nonlinearity of the dependence really is a principal factor responsible for the emergence of E. D. S., carrier information about the converted direct current.

**Key words:** mathematical model, static characteristic, current conversions, current load asymmetry, detection, non- linearity of the magnetization curve, output signal, current converters.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАБОТУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА НА МАГНИТОМОДУЛЯЦИОННОМ ЭФФЕКТЕ

**Аннотация:** В работе предложена конструкция устройства для преобразования тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями, предназначенного для выявления несимметричности трехфазных токов как в цепях постоянного, так и в цепях переменного тока. Произведены теоретические исследования и получен математический модель статической характеристики преобразователя от изменения кривого намагничивания магнитного материала под взаимодействии двух полей, создаваемого модулирующим током, протекающим по модулирующей обмотке и переменного магнитного поля с напряженностью и создаваемых при протекании постоянного тока по шинам постоянного поля с напряженностью и показано, что нелинейность зависимости действительно является принципиальным фактором, ответственным за появление э.д.с., несущей информацию об преобразуемом постоянном токе.

**Ключевые слова:** математический модель, статическая характеристика, преобразование тока, несимметричность токовой нагрузки, выявление, нелинейность кривого намагничивания, выходной сигнал, преобразователи тока.

## МАГНИТМОДУЛЯЦИОН ЭФФЕКТДАГИ ТОК ЎЗГАРТГИЧ ИШИГА ЎЗГАРУВЧАН МАГНИТ МАЙДОН ТАЪСИРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

**Аннотация:** Мақолада магнитмодуляцион эффектга асосланган ўзгармас токни кучланишга ўзгартирувчи қурилмани статик характеристикасига ўзгарувчан магнит майдоннинг таъсири кўриб чиқилган унинг математик модели олинган. Шу нарса кўрсатилганки ўзгартиргични ишлаш асоси унинг магнит ўзаги магнитланиш эгри чизиғи ўзгармас ток магнит майдони таъсирида чиқиш сигнаolini ҳосил қилмайди. Агарда бу майдон кучланганлигига модуляцияловчи чулғамдан ўтувчи ток ўзгарувчан магнит майдон кучланганлиги қўшилганда қурилма чиқиш чулғамида э.ю.к. ҳосил бўлади. Магнит майдон кучланганликлари ўзаро параллел ва перпендикуляр ҳолатда бўлиши мумкин. Хар иккала ҳол учун чиқиш сигнали э.ю.к. нинг математик моделлари олинган ва хар иккала ҳол учун ҳам ўзгармас ток магнит майдон кучланганлигига ва ўзгарувчан ток магнит майдон кучланганлиги чиқиш сигнаolini юзага келтирувчи асосий омиллардан иборат.

**Калит сўзлар:** разностный постоянный ток, магнитомодуляционный преобразователь, модуляционная цепь, трехконтурная магнитная цепь, измерительная цепь, несимметричный трехфазный ток, динамическая характеристика, переходная характеристика.

Кириш. Узоқ муддатли носимметрик режимларнинг тортучи электр таъминоти тизимида юзага келишининг асосий сабаблари электр энергия истеъмолчиларнинг электр тармоқ фазаларида носимметрик тақсимланишиндандир. Бундай истеъмолчиларга биринчи навбатда электротехнологик ускуналар бўлиб, улар электр тармоғида носимметрикликни юзага келтириши билан бир қаторда технологик жараёнларнинг кечиши таъминловчи электр тармоқнинг носимметриклигини келтириб чиқаради. Бу ўз навбатида таъминловчи тармоқда носимметрикликни келтириб чиқаради ва электр энергия сифат кўрсаткичларига салбий таъсир кўрсатади. Бундай истеъмолчиларнинг электр тармоғига тармоқда ток ва кучланиш носимметриклигини келтириб чиқаради. Бу эса тизимнинг барча звенолари ишларига салбий таъсир кўрсатади: генераторлар, узатиш тармоқлари ва трансформаторлар электр энергия истеъмолчилари.

Электр энергияси сифат кўрсаткичларини тадқиқ қилиш бўйича турли илмий тадқиқот ва олий юртлари лабораторияси тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, электр тармоқда кучланиши 0,38 кВ бўлган тармоқларда ток бўйича носимметрикликнинг юзага келиши салмоғи юқори бўлади. Уч фазали электр истеъмолчиларнинг ток носимметриклиги ўрнатилган стандарт қийматлардан анча ортиқ бўлади [1-4]. Бунга сабаб, ишлаб турган электр тармоқларнинг 80-йиллардаги юклама структураси асосида лойиҳаланганлиги ва у ҳозирги пайтда ҳақиқий сифат кўрсаткичларини инобатга олинмаганги туфайли.

Масаланинг қўйилиши. Ток носимметриклиги электр тармоқ ва унинг элементларидаги электр энергияни исрофини оширувчи омиллардан бири ҳисобланади.

Токлар носимметриклигининг электр тармоқ ва унинг элементларида электр энергия тақсимланишида энергия исрофларини орттиришнинг омилларидан бири ҳисобланади. Носимметрик токлар ва кучланишларнинг таъсири натижасида юзага келувчи иқтисодий зиён электр жиҳозларининг энергетик кўрсаткичларини ёмонлашувига, электр жиҳозларнинг хизмат кўрсатиш муддатини қискартириш, электр тармоқ ишончилигини қискартириш, актив қувват исрофини ошириш ва актив ва реактив қувватларни истеъмолини ортиши билан боғлиқ [5].

Тортувчи электр таъминоти тизимининг ишлатиш шартлари токлар носимметриклиги ва кучланишининг носинусоидаллиги билан характерланади. Натижада, актив ва реактив юкламаларни турли кучли электр жиҳозлар орасида параллел ишлашга (двигател, генератор,

тўғрилагич ва х.к.) ўтказиш ва токли ҳимояларнинг турли қурилмалари ичида ток ўзгартгичлар(ЎТ) ҳам кириши лозим.

Бироқ, куч электр жиҳозларнинг электр таъминоти носимметрик тизимдан озикланиши уларнинг ишлаш муддатини қисқаришига ва вақтдан илгари издан чиқишга олиб келади. Шунинг учун тортувчи электр таъминоти тизимида уч фазали ток носимметриклигини аниқлаш ва уни камайтириш масалалари долзарб ҳисобланади [7,8].

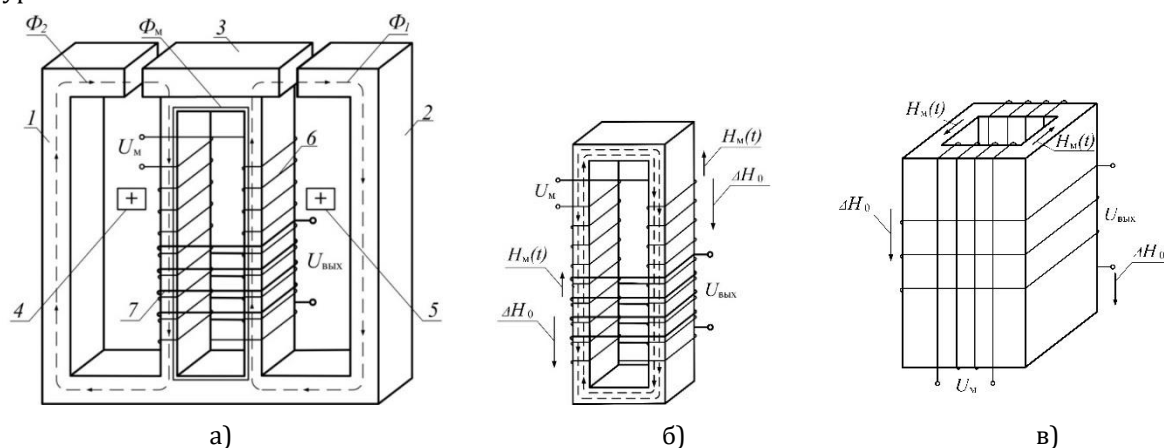
Масаланинг ечими. Ҳозирги пайтда уч фазали тоқлар носимметриклигини аниқлаш учун ток ўзгартгичларнинг турли конструкциялари, турли физик эффектларга асосланган (магнитмодуляция эффекти, Холл эффекти, трансформатор эффекти ва ш.к.) дан фойдаланилади.

Куйида келтирилган [9] ишда уч фазали юкламани фаза узилишидан ҳимоя қилувчи қурилма тоқлар этилган бўлиб, чиқиш чулғамлари юкламалардан иборат ток трансформаторлари бирламчи қисмига уланган. Чулғамлар умумий магнит ўзакда жойлашган бўлиб, учбурчак схемага кўра уланишга эга. Трансформаторнинг иккиламчи чулғами релега уланган. Ток трансформатори бирламчи чулғам занжирида релега уланувчи контактлардан иборат. Бундан ташқари, реле ғаракатга келтирувчи юритма механизми билан таъминланган. Барча тугунлар биргаликда ҳимоя узиш қурилмаси(УЗО) деб аталади.

Қурилманинг камчилиги унинг қўшимча бирламчи чулғамлари билан таъминланган бўлиб ток трансформатори магнит ўзаги барча уччала биридаги ўрамларни қамраб олган бўлиб, бу эса чулғамларидаги носимметрик тоқларни аниқлаш аниқлигини камайтиради. Ҳамда қурилмани ўрнатишда ноқулайликларни келтириб чиқаради.

Муаллифлар томонидан токни кучланишга ўзгартириб берувчи қурилма ишлаб чиқилган бўлиб, унинг функционал имкониялари кенгайтирилган ҳолда турли электр жиҳозларнинг ҳам ўзгармас тоқда, ҳам ўзгарувчан тоқда юкламалардаги тоқлар носимметриклигини аниқлаш учун мўлжалланган. 1, а- расмда қурилманинг конструктив схемаси келтирилган[10].

Қурилма чекка стерженлар 1 ва 2 ўртасида кесими бўлган марказий стержен 3 дан, икки ток ўтказувчи шиналар 4 ва 5 лардан иборат бўлиб бу шиналар стержинлар билан қопланган. Модуляцияловчи кучланиш манбаига уланган модуляцияловчи чулғам 6 ва чиқиш чулғами 7 дан иборат бўлиб, модуляция чулғами устидан тирқиши магнит ўзакни ўз чулғамлари билан ўраб олган.



**1- расм. Токни кучланишга ўзгартирувчи қурилманинг конструктив схемаси.  
а) қўзғатиш чулғами турлари: параллел б) кундаланг в) модуляцияли.**

Қурилманинг ишлаш асоси икки магнит майдон ўзаро таъсирларига асосланган. Улардан бири модуляцияловчи чулғам 6 дан оқиб ўтувчи ўзгарувчан магнит майдон кучланганлиги  $H_M(t)$  ва шиналар 4 ва 5 бўйича ўтувчи доимий ток магнит майдон кучланганлиги  $\Delta H_0$  (Уларнинг йўналиши 1- б расмда  $H_{0ч}$  ва  $H_{0ў}$  кучланганликлар орқали кўрсатилган. Улар 4 ва 5

шиналардан ўтувчи тоқларга мос ҳолда 3 стерженда бу кучланганликлар фарқи сифатида юзага келади. Демак,  $H_{0ч}$  ва  $H_{0ў}$  кучланганликлар ўзаро тенг бўлса,  $\Delta H_0 = H_{0ч} - H_{0ў} = 0$ . Бу ҳолда чиқиш чулғам 7 учларида сигнал бўлмайди. Бироқ  $\Delta H_0$  нолдан фарқли бўлган кучланганликка мос келса, стержен 3 да ўзгармас кучланганлик  $\Delta H_0$  ва ўзгарувчан модуляцияловчи тоқдан модуляцияловчи  $H_m(t)$  кучланганликларнинг қўшилиши юзага келади.

Умумий ҳолда бу майдонларнинг суперпозиция 3 стержендаги кучланганлиги қуйидаги ифода билан берилди [11].

$$H_{\Sigma}(t) = \Delta H_0 - H_m(t) \quad (1)$$

Магнит индукция вектори  $B$  магнитланувчи ўзаклар ичида таъсир этиб, уни ушбу боғланиш билан ифодалаш мумкин:

$$B = \varphi([H_{\Sigma}(t)]) \quad (2)$$

бунда  $\varphi$  – магнит ўзакнинг анизатронияси ва ночизиқли хусусиятини ифодаловчи функция вектори: квадрат қовс гистерезис ҳодисасига кўра функциянинг кўп қийматлилиги.

Чиқиш чулғамидаги Э.Ю.К. ни электромагнит индукция қонунига асосан қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$e(t) = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = w_2 S \frac{dB}{dt} \quad (3)$$

бунда  $W_2$  – чиқиш чулғамлар сони;

$\Phi = BS$  – магнит ўзакдаги магнит оқими;

$S$  – ўзгартгич ўзаклари кўндаланг кесим юзалари йиғиндиси.

Агар анизатропия ва гистерезис ҳодисаларини инобатга олмасак, мураккаб кўринишидаги (2) ифода фақат асосий магнитланиш эгри чизиғини ҳисобга олинган оддий кўринишдаги боғланишни оламиз  $B = f(H_{\Sigma})$ .

Йиғинди майдоннинг кучланганлиги оний қийматларининг модулини (1) ифодадан топамиз:

$$H_{\Sigma} = \sqrt{\Delta H_0^2 + 2\Delta H_0 H_m \cos \alpha + H_m^2} \quad (4)$$

бунда  $\alpha$  –  $\Delta H_0$  ва  $H_m$  векторлар орасидаги бурчак;

Қуйидаги ўзгартгични ўзаро параллел майдонлар, яъни:

$$\alpha = 0^{\circ}, \quad H_{\Sigma} = \Delta H_0 \pm H_m \quad (5)$$

Бу мақсадда амалда кенг тарқалган магнит модулятор (феррозонд) икки стерженли ўзакдан фойдаланамиз [12]. Бунда кучланганлик вектори  $\Delta H_0$  ўзакларнинг бўйлама ўқлари узунлигида йўналган, шунингдек ўзаклар ва уларни камраб олган чулғамлар бири – бирига жуда мос ва ўхшаш.

Ўрта стержен (3) ҳар бир параллел ўзакларида магнит индукция қуйидагига тенг бўлади:

$$\begin{aligned} B' &= f(\Delta H_0 + H_m); \\ B'' &= f(\Delta H_0 - H_m). \end{aligned} \quad (6)$$

Ўзгартгичнинг чиқиш чулғамида юзага келувчи Э.Ю.К. (3) ифодага кўра (6) ни ҳисобга олган ҳолда:

$$e(t) = w_2 s \frac{d}{dt} (B' + B'') \quad (7)$$

бунда  $s$  – битта ўзакнинг кўндаланг кесим юзаси.

Қуйидаги ҳолни кўриб утайлик, агар  $\Delta H_0 = const \neq 0$  (доимий ўзгарувчи майдон) бўлганда  $e(t)$  э.ю.к. нинг юзага келиши принципиал аҳамиятга эга бўлиб,  $B(H)$  боғланишда нозиклиқли боғланиш бўлганда амалга ошади.

Буни исботлаш учун  $B = aH$  боғланишни чизиқли деб ҳисоблайлик, бунда  $a$  – доимий коэффициент.

У ҳолда

$$\begin{aligned} B' + B'' &= 2a\Delta H_0; \\ e(t) &= -2asw \frac{d\Delta H_0}{dt} \Big|_{\Delta H_0 = const} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Энди  $B(H)$  боғланишни қисқартирилган учинчи даражали полином билан аппроксимациялаб [13,14]:

$$B = aH - bH^3 \quad (9)$$

Бунда  $a$  ва  $b$  аппроксимациянинг мусбат коэффициентлари.

У ҳолда (7) ифодани ҳисобга олган ҳолда қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} B' &= a\Delta H_0 + aH_m - b\Delta H_0^3 - 3b\Delta H_0^2 H_m - 3b\Delta H_0 H_m^2 - bH_m^3; \\ B'' &= a\Delta H_0 - aH_m - b\Delta H_0^3 + 3b\Delta H_0^2 H_m - 3b\Delta H_0 H_m^2 + bH_m^3; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$B' + B'' = 2a\Delta H_0 - 2b\Delta H_0^3 - \underline{6b\Delta H_0 H_m^2} \quad (10)$$

(10) ифодадаги тагига чизилган ҳад ўзгартирилувчи доимий ток фарқига тўғри келувчи  $\Delta H_0$  ва ўзгарувчан модуляцияловчи магнит майдон кучланганликлари кўпайтмасидан иборат.

Ҳосил қилинган ифода ўзгартгичнинг чиқиш чулғамида э.ю.к. ҳосил бўлишига олиб келади:

$$e(t) \Big|_{\Delta H_0 = const \neq 0} = 6bsw\Delta H_0 \frac{d}{dt} H_m^2(t) \neq 0 \quad (11)$$

Бундан кўриниб турибдики,  $B(H)$  боғланиш носизиқлиги ҳақиқатан ҳам ўзгартирилувчи ўзгармас ток тўғрисида ахборат берувчи э.ю.к. юзага келиши учун маъсул бўлиб, жиддий омиллардан бири ҳисобланади.

Энди ўзгартгичнинг ишини ўзаро перпендикуляр бўлган майдонлар билан, яъни модуляцияловчи чулғам токи ўлчанувчи ток майдонига нисбатан перпендикуляр йўналишда магнит майдони ҳосил қилсин:

$$\alpha = 90^\circ, \quad H_\Sigma = \Delta H_0 \pm H_m; \quad (12)$$

Бунинг учун 16-расмда кўрсатилган трубка кўринишидаги ўзакли магнит модулятордан фойдаланамиз.

Кучланганлик вектори  $\Delta H_0$  трубка ўқи бўйича йўналган деб ҳисоблаймиз. Трубкали ўзак бир жинсли ва унга ўралган ўлчов чулғам ўрамлари ўзгарувчан ток чулғамларига перпендикуляр жойлаштирилган. Бу шартлар бажарилганда ва ўлчанувчи майдон бўлмаганда ( $\Delta H_0=0$ ) ўзгартгичнинг чиқиш Э.Ю.К. нолга тенг бўлади чунки магнит индукциянинг бўйлама ташкил этувчиси нолга тенг.

Ўлчанувчи майдон мавжуд бўлганда ( $\Delta H_0 \neq 0$ ) ўзакдаги магнит индукция (2) ва (6) формулаларга кўра қуйидагича ёзилади:

$$B = f(\Delta H_0^2 + H_m^2)^{1/2}.$$

Бу ифодани қисқартирилган полином (8) билан аппроксимациялаб, қуйидагига эга бўламиз:

$$V = a(\Delta H_0^2 + H_m^2)^{1/2} - b(\Delta H_0^2 + H_m^2)^{3/2}.$$

Ўзакнинг изотроплигини ҳисобга олсак,

$$V_{\parallel}/H_{\parallel} = V_{\perp}/H_{\perp} = V/H.$$

Бунда  $\parallel$  ва  $\perp$  майдон индукцияси ва кучланганлигининг бўйлама ва қўндаланг ташкил этувчилари. Уларни қуйидагича топамиз:

$$V_{\parallel} = \Delta H_0. \quad (13)$$

(13) формулада тагига чизилган ҳад ўлчанувчи доимий ва ёрдамчи ўзгарувчан магнит майдон кучланганликлари кўпайтмасидан иборат; бу ифодани (10) формуладаги шунча ўхшаш ҳад билан таққослаб кўриш мумкин.

Ўзгартгичнинг ўлчов чўлғамида юзага келувчи Э.Ю.К. қуйидагича ёзилади:

$$e(t)|_{H_0=const \neq 0} = bsw_2 \Delta H_0 \frac{d}{dt} H_m^2 \neq 0 \quad (14)$$

Шундай қилиб, ўзаро перпендикуляр майдонлар бўлган ҳолда ўзгарткич учун  $V(H)$  боғланиш принципаал омиллардан бўлиб, ўзгартирилувчи ток ҳақида ахборот берувчи Э.Ю.К. ҳосил бўлиши учун маъсул экан.

Амалга ошириш. Қурилма куч Жиҳозлари (двигател, генератор, тўғрилагич ва ҳ.к.) нинг параллел шахобчаларида ток юкламаларини текислаб берувчи бошқариш ва ростлаш тизимларининг бирламчи датчиги сифатида қўлланилиши мумкин.

Бу қурилма уч фазали ўзгарувчан ток занжирларида ишлатилганда модуляцияловчи чўлғам манбадан узиб қўйилади. Бу ҳолда, чиқиш чўлғамидаги кучланиш икки фаза токлари носимметриклигига пропорционал бўлади. Уч фазали занжир симметрик режимда бўлса, чўлғам чиқишидаги кучланиш нолга тенг бўлади.

Хулоса. Ўзгартгич статик характеристикасининг математик модели олинди. Магнитланиш эгри чизиғининг икки хил магнит майдон, яъни модуляцияловчи чўлғамдан ўтувчи модуляция токи ҳосил қилган ўзгарувчан магнит майдон кучланганлиги ва шиналардан ўтувчи ўзгармас ток қилган магнит майдон кучланганлиги таъсири остида ўзгариши ва  $V(H)$  боғланиш нозичиқлиги ўзгартирилувчи ўзгармас ток ҳақида ахборот берувчи ва Э.Ю.К. ҳосил қилувчи асосий омил экан.

Таклиф этилувчи қурилма ўзгармас тоқлар фарқини ўзгарувчан кучланишга юқори аниқликда ўзгартириб бера олиши кўрсатилган.

### Литература

1. Наумов, И.В. Экспериментальное исследование показателей несимметрии при несимметричной системе напряжений источника питания / И.В. Наумов, Д.А. Иванов // Успехи современного естествознания. - 2006. - №11. - С. 64-65.
2. Пупин, В.М. Инструментальные измерения показателей качества электрической энергии на вводе установок наружного освещения и архитектурно-художественной подсветки зданий / В.М. Пупин, В.В. Саков, С.В. Соловьев // Промышленная энергетика. - 2007, № 2. - С. 36-43.
3. Коваленко, П.В. Анализ потерь мощности в электрических сетях при неравномерной и несимметричной нагрузке / П.В. Коваленко, О.А. Смышляева // Электрика. - 2009, №9. - С. 18-22.
4. Гринкруг, М.С. Несимметричные режимы работы электрических сетей / М.С. Гринкруг, И.А. Митин. - М.: Lambert Academic Publishing, 2011.-124 с.



5. Дед А. В. Учет несимметричного характера нагрузки при расчетах потерь мощности в распределительных сетях 0,38 кв: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: Омский государственный технический университет. – Омск, 2018. – 192 с.
6. Тамазов А.И. Несимметрия токов и напряжений, вызываемая однофазными тяговыми нагрузками / А.И. Тамазов. - М.: Транспорт, 1965. - 235 с.
7. Arango, L.G. Impact of electricity theft on power quality / L.G. Arango, E. Deccache, D. Bonatto, H. Arango, P.F. Ribeiro, P.M. Silveira // Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 17th International Conference on. - IEEE, 2016. - С. 557-562.
8. Esteves, J. Voltage quality monitoring, dips classification and responsibility sharing / J. Esteves, H.J. Math, J. Bollen, B. Karstein, K. Niall, M. Delfanti // Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 15th International Conference on. - IEEE, 2012. - С. 926-931.
9. Патент № 2258993. Устройство защиты трехфазной нагрузки от обрыва фазы/ Джус И.Н./Бюллетень изобретений. - 2005, №23.
10. А.с. № 1019503 (SU). Устройство для преобразования постоянного тока в переменный/ Зарипов И.Ф., Ахраров Н.А., Сафаров А.М., Петрова И.В.// Опубликовано "Бюллетень изобретений" -1983, №19.
11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.- Москва: Гардарики, 2006. – 701 с.
12. Афанасьев Ю.В. Феррозонды. – Л.: Энергия, 1969. – 166 с.
13. Зарипов М.Ф., Фикс-Марголина И.Г., Вахитова Х.З. Анализ различных методов аппроксимации кривой намагничивания. – ДАН УЗ СССР, 1974, № 3, с. 8–10.
14. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2011, № 2, с.3-35.

#### References

1. Naumov, I. V. Experimental study of asymmetry indicators for an asymmetric system of power supply voltages / I. V. Naumov, D. A. Ivanov // Successes of modern natural science. - 2006. - No. 11. - Pp. 64-65.
2. Pupin, V. M. Instrumental measurements of electric energy quality indicators at the input of outdoor lighting installations and architectural and artistic illumination of buildings / V. M. Pupin, V. V. Sakov, S. V. Solovyov // Industrial power engineering. - 2007, no. 2. - Pp. 36-43.
3. Kovalenko, P. V. Analysis of power losses in electrical networks under uneven and asymmetric load / P. V. Kovalenko, O. A. smyshlyaeva // Electrica. - 2009, no. 9. - Pp. 18-22.
4. Grinkrug, M. S. Asymmetric modes of operation of electric networks / M. S. Grinkrug, I. A. Mitin. - Moscow: Lambert Academic Publishing, 2011.-124 PP.
5. Ded A.V. taking into Account the asymmetric nature of the load when calculating power losses in 0.38 kV distribution networks: thesis for the degree of candidate of technical Sciences: Omsk state technical University. - Omsk, 2018. - 192 p.
6. Tamazov A. I. Current and voltage asymmetry caused by single-phase traction loads / A. I. Tamazov. - Moscow: Transport, 1965. - 235 p.
7. Arango, L.G. Impact of electricity theft on power quality / L.G. Arango, E. Deccache, D. Bonatto, H. Arango, P.F. Ribeiro, P.M. Silveira // Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 17th International Conference on. - IEEE, 2016. - С. 557-562.
8. Esteves, J. Voltage quality monitoring, dips classification and responsibility sharing / J. Esteves, H.J. Math, J. Bollen, B. Karstein, K. Niall, M. Delfanti // Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 15th International Conference on. - IEEE, 2012. - С. 926-931.
9. Patent no. 2258993. Device for protecting a three-phase load from phase breakage / jus I. N. // Bulletin of inventions. - 2005, no. 23.-562.
10. A. S. No. 1019503 (SU). Device for converting DC to AC/ Zarirov I. F., akhrorov N. A., Safarov a.m., Petrova I. V. // published " Bulletin of inventions" -1983, no. 19.
11. Bessonov L. A. Theoretical foundations of electrical engineering.- Moscow: Gardariki, 2006. – 701 p.
12. Afanasiev, Y. V. Ferroprobes. – Leningrad: Energiya, 1969. – 166 p.
13. Zarirov M. F., Fiks-Margolin, G. I., Vakhitova, H. Z. Analysis of different methods of approximation of the magnetization curve. - DAN UZ USSR, 1974, no. 3, p. 8-10.



14. Matyuk V. F., Osipov A. A. Mathematical models of the magnetization curve and magnetic hysteresis loops. - Non-destructive testing and diagnostics, 2011, no. 2, p. 3-35.

**Сведения об авторах / Information about the authors**

**Сафаров Абдурауф Маликович** – т.ф.н., доцент кафедры “Темир йўллар электр таъминоти” Тошкент темир йўл муҳандислари институти, E-mail:

**Жумабоев Сарварбек Хамраевич** – докторант (PhD), Тошкент темир йўл муҳандислари институти/ E-mail: [jumaboyev@tashiit.uz](mailto:jumaboyev@tashiit.uz)

**Safarov Abdurauf Malikovich** – c.t.s., docent of the department “The power supply of railways”, Tashkent Institute of Railway Engineers, e-mail

**Jumaboyev Sarvarbek Khamrayevich** – post graduate student, Tashkent Institute of railway engineering, E-mail: [jumaboyev@tashiit.uz](mailto:jumaboyev@tashiit.uz)