

6-1-2020

THE RESEARCH OF VARIOUS TRANSIENT PROCESSES IN CURRENT TRANSFORMERS

Sultan Fayzullayevich Amirov

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan

Shavkat Mukhsimov

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan, mukhsimov.uz@gmail.com

Otabek Tashmuhammadovich Boltayev

Tashkent Institute of Railway Engineers, Tashkent, 100167, Uzbekistan, otash_be@mail.ru

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



Part of the [Transportation Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Amirov, Sultan Fayzullayevich; Mukhsimov, Shavkat; and Boltayev, Otabek Tashmuhammadovich (2020) "THE RESEARCH OF VARIOUS TRANSIENT PROCESSES IN CURRENT TRANSFORMERS," *Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers*: Vol. 16 : Iss. 2 , Article 8.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/tashiit/vol16/iss2/8>

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.

УДК (UDC) 681.586:621.3.013.62

THE RESEARCH OF VARIOUS TRANSIENT PROCESSES IN CURRENT TRANSFORMERS

Амиров С.Ф.¹, Мухсимов Ш.С.¹, Болтаев О.Т.¹
Amirov S.F.¹, Mukhsimov Sh.S.¹, Boltayev O.T.¹

¹ – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, Узбекистан)

¹ – Tashkent institute of railway transport engineers (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract: In the article the transients occurring in current transformers are investigated and the values of secondary transient currents are determined using the operator's method with the help of a mathematical model of a wide-range current transformer using various primary sources. Using the obtained results, the regularities of secondary currents change over time are analyzed. It determined that, in the developed the wide-range current transformer, the influence of the aperiodic component of the primary current on the transformer current decreases with increasing the angle and creating a counter magnetomotive force in the core to expand the upper limit of the conversion of current leads to a simultaneous reduction in error of the current transformer from the influence of the aperiodic component of the primary current when in dynamic modes.

Key words: wide-range current transformers, mathematical model of current transformer, dynamic processes, anti-magnetic force, mathematical models of primary current, operator method, aperiodic components of current.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ В ТРАНСФОРМАТОРЕ ТОКА

Аннотация: В статье исследованы переходные процессы, происходящие в трансформаторах тока, и определены значения вторичных переходных токов с помощью метода оператора с помощью математической модели широкодиапазонного трансформатора тока с использованием различных первичных источников. С использованием полученных результатов проанализированы закономерности изменения вторичных токов во времени. Определены что, в разработанном широкодиапазонном трансформаторе тока влияние аperiodической составляющей первичного тока на работу трансформатора тока уменьшается с увеличением угла и создание противо магнитодвижущей силы в сердечнике с целью расширения верхнего предела преобразования тока приводит к одновременному снижению погрешности трансформатора тока от влияния аperiodической составляющей первичного тока при его работе в динамических режимах.

Ключевые слова: широкодиапазонные трансформаторы тока, математическая модель трансформатора тока, динамические процессы, противо магнитодвижущая сила, математических моделей первичного тока, операторный метод, аperiodические составляющие тока.

ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРИДА ЮЗ БЕРАДИГАН ТУРЛИ ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАРНИ ТАДҚИҚ ЭТИШ

Аннотация: Мақолада ток трансформаторларида юз берадиган ўткинчи жараёнлари

тадқиқ этилиб, турли бирламчи ток манбаларидан фойдаланиб кенг диапазонли ток трансформатори математик модели орқали оператор усулида иккиламчи ўткинчи ток қийматлари аниқланди. Олинган натижалардан фойдаланиб, иккиламчи токларнинг вақт бўйича ўзгариш қонуниятлари таҳлил қилинди. Тадқиқ қилинаётган кенг диапазонли ток трансформатори бирламчи чулғамининг α бурчаги ортиши билан бирламчи ток аperiодик ташкил этувчиларининг ток трансформатори ишига таъсирини камайиб бориши ҳамда ток ўзгартиришнинг юқори чегарасини кенгайтириш мақсадида ҳосил қилинган қарши магнит юритувчи куч бир вақтнинг ўзида ток трансформаторининг динамик иш режимида бирламчи токнинг аperiодик ташкил этувчилари таъсирида вужудга келадиган хатоликни камайишига олиб келиши аниқланди.

Калит сўзлар: Кенг диапазонли ток трансформатори, ток трансформаторининг математик модели, динамик жараёнлар, қарши магнит юритувчи куч, бирламчи ток математик модели, оператор усули, ток аperiодик ташкил этувчилар.

Электр узатиш линиялари, тортувчи генераторлар, тепловоз электродвигателлари, электровозлар, тортувчи нимстанцияларда трансформаторлар ва тўғирлагич агрегатлари ҳамда электрлашган темир йўллар электр таъминоти тизимларида бошқа қурилмаларнинг иш режимларини бошқариш ва назорат қилиш, шунингдек темир йўл транспортида ишлаб чиқарилаётган ва истеъмол қилинаётган электр энергия ҳисоби ўлчаш ўзгартиргичлари (ЎЎ) ёрдамида олинаётган катта тоқлар тўғрисидаги маълумотларга асосланган. Ўткинчи жараёнларда ўзгартириш хатолигини камайитириш ва кўп функцияликни таъминлаш орқали ток трансформаторларининг (ТТ) функционал имкониятларини кенгайтириш, шунингдек ушбу ЎЎнинг барқарор ишлашига эришиш электрлашган темир йўллар электр таъминоти қурилмалари иш режимларида автоматик бошқарув тизимларидан фойдаланиш самарадорлигини оширишга имкон яратади. Юқоридагиларни инобатга олиб электр таъминоти тизимларининг ўткинчи жараёнларида аниқлик юқори ва кенг функционал имкониятли ўзгарувчан катта ток ЎЎни (ЎКТЎЎ) ишлаб чиқиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади [6].

Мавжуд ЎКТЎЎ асосий характеристикаларининг қиёсий таҳлили шуни кўрсатадики, бошқарув ва назорат тизимларида катта ўзгарувчан тоқларни ўзгартиришда энг истиқболли ва маъқул келадиган қурилма кўп функцияли ток трансформаторлари ҳисобланади [10].

[8] да қайд этилишича, электроэнергетик тизимлари ва электротехник қурилмалари бошқарув объектларининг иш режими кескин ўзгариши натижасида тадқиқ қилинаётган ТТда динамик иш режими вужудга келади.

ТТ динамик режимларда ишлашининг асосий сабаби бирламчи тизим қурилмалари иш режимларининг тўсатдан ўзгариши, яъни қисқа туташувнинг юзага келиши ҳисобланади. Бундай режимлардаги ТТ ишлаш шароити уларнинг ўлчаш схемаларидаги ишлаш шароитидан сезиларли фарқ қилади. Одатда ТТ қиймати номиналдан ошмаган бирламчи тоқларни ўлчаш мақсадида талаб этилса, бошқарув ва назорат тизимларида эса кўп ҳолларда ТТ қиймати номиналдан сезиларли ошган ҳамда ўткинчи режим шартларида ва қисқа туташув натижасида вужудга келган тоқларни ўлчаш орқали ўз функциясини бажаради [3].

Ўзгартирилаётган токнинг, ўткинчи жараёнлар вақтида вужудга келувчи мустақил аperiодик ташкил этувчиларининг ТТ ишига таъсирини алоҳида таъкидлаш лозим. Улар қанча секин сўнса, шунча катта хатолик билан ўзгаради [5].

Юқорида қайд этилган шартлар сабабли ушбу режимларда хатолиги рухсат этилган қийматлардан ошмайдиган ТТ танлаш зарурияти вужудга келади [4].

Электроэнергетик тизимлар (ЭЭТ) ва Электротехник қурилмалари (ЭТҚ)нинг турли жойларидаги тоқлар ТТнинг кирувчи (бирламчи) сигналлари ҳисобланади. Умумий ҳолда улар ўзи орқали вақт функциясининг ихтиёрий кўринишини ифодалайди. ТТнинг аниқ иш шартларини эътиборга олган ҳолда бирламчи токнинг етарлича умумий, аниқ ва шу билан бир қаторда содда ҳамда қулай математик моделларини танлаш, кўп функцияли ТТни лойиҳалаш ва уларни асосий техник характеристикаларини тадқиқ қилишда муҳим аҳамият касб этади.

ЭЭТ ва ЭТҚнинг барқарор нормал ва авария режимларида ТТ бирламчи токининг математик модели сифатида қуйидаги аналитик боғлиқликлар қўлланилади:

1) ўзгармас ток

$$i_1 = I_1 = const ; \quad (1)$$

2) экспоненциал импульслар

$$i_1 = I_1 e^{-t/T_1} ; \quad (2)$$

3) сўнмайдиган амплитудали синусоидал тебранишлар

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) ; \quad (3)$$

4) синусоида ва апериодик ташкил этувчиси

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{a1} e^{-t/T_1} ; \quad (4)$$

5) косинусоида ва апериодик ташкил этувчиси

$$i_1 = I_{m1} \cos(\omega t + \psi_1) + I_{a1} e^{-t/T_1} ; \quad (5)$$

6) сўнувчи амплитудали синусоидал тебранишлар

$$i_1 = I_1 e^{-t/T_1} \sin(\omega t + \psi_1) . \quad (6)$$

Бу ерда T_1 - ТТ бирламчи занжирининг вақт доимийлиги, с.

ЭЭТ ва ЭТҚ иш режимларининг таҳлили шуни кўрсатадики, (6) - ифода бирламчи ток ўзгаришининг умумий қонуни ҳисобланади [2]. (6) - ифода орқали сигнал параметрларига турли қийматлар бериб, қолган учта сигналларни аниқлаш мумкин: агар $T \rightarrow \infty$ бўлса (4) ифодага, агар $\omega = 0$ ва $\psi_1 = 0$ бўлса - (2) ифодага, агар $\omega = 0$, $\psi_1 = 0$ ва $T \rightarrow \infty$ бўлса - (1) ифодага эга бўламиз.

Ўткинчи режимларда ЭЭТ ва ЭТҚ ишининг кўп ҳолларида ТТнинг бирламчи токи (6) тенглама орқали етарлича аниқ тавсифланади.

(3) тенглама бошқарув объектларининг барқарор иш режимларида ТТ бирламчи токининг математик модели сифатида кенг фойдаланилади. Ушбу ҳолат қуйидагича тушунтирилади, биринчидан, амалий жиҳатдан синусоидал ЭЮКларни барча ўзгарувчан ток манбалари генерация қилади ва иккинчидан, ўзгартирувчи, ўтказувчи ва сарфловчи қурилмалар амалий жиҳатдан чизиқли характерситикага эга бўлади.

Ушбу мақолада кўп функцияли ТТ - бошқарув тизими элементининг ток манбаси (5) ва (6)га уланган ҳолда, динамик характеристикаларини тадқиқ қиламиз.

Кўп функцияли ТТни динамик режимда тадқиқ қилиш учун қуйидаги математик моделдан фойдаланамиз [1]:

$$I_{\mathcal{E}2} = \frac{\frac{d}{dt} C_{\mu} K_{I_{\mathcal{E}1} U_{\mu 1}} K_{I_{\mu} U_{\mathcal{E}2}} [R_2(\alpha) - R_1(\alpha)] I_{\mathcal{E}1}}{2[(R_{\mathcal{E}2} + R_H) + \frac{d}{dt} w_2^2 C_{\mu} + \frac{d}{dt} (L_{\mathcal{E}2S} + L_H)] [R_1(\alpha) + R_2(\alpha) + R_{II}]} . \quad (7)$$

Унча қийин бўлмаган ўзгартиришлардан сўнг у қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$T \frac{di_2}{dt} + i_2 = (T - T_2) \Delta \frac{di_1}{dt} , \quad (8)$$

Бу ерда $T = \frac{L_{\mathcal{E}0} + L_{\mathcal{E}2}}{R_{\mathcal{E}2}}$ - иккиламчи ток ва магнитланиш чулғамлари орқали вужудга

келган контурнинг вақт доимийси; $T_2 = \frac{L_{\text{Э2}}}{R_{\text{Э2}}}$ - иккиламчи ток чулғамлари вақт доимийси;

$$\Delta = \frac{R_2(\alpha) - R_1(\alpha)}{R_1(\alpha) + R_2(\alpha) + R_{II}}.$$

(8) дифференциал тенгламага (5) ифодани қўйиб қуйидагига эга бўламиз:

$$T \frac{di_2}{dt} + i_2 = -(T - T_2)\omega \Delta I_{m1} \sin(\omega t + \psi) - \frac{\Delta I_{1a.o}}{T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} (T - T_2). \quad (9)$$

(9) дифференциал тенгламани ечиш, яъни $i_2(t)$ ни аниқлаш оператор усули орқали амалга оширилади [8]. Бошланғич режимларда $i_2(0_-) = i_2(0) = 0$, $i_1(0_-) = i_1(0) = 0$, $I_{1a.o} = -I_{m1} \sin \psi$ (9) тенглама оператор формасида қуйидаги кўринишга эга:

$$TpI_2(p) + I_2(p) = \frac{-\omega(T - T_2)\Delta I_{m1}(p \sin \psi + \omega \cos \psi)}{p^2 + \omega^2} - \frac{\Delta I_{1a.o}(T - T_2)}{T_1(p + \frac{1}{T_1})}$$

ёки

$$I_2(p) = -\frac{\omega(T - T_2)\Delta I_{m1}p \sin \psi}{(1 + pT)(p^2 + \omega^2)} - \frac{\omega^2(T - T_2)\Delta I_{m1} \cos \psi}{(1 + pT)(p^2 + \omega^2)} - \frac{\Delta I_{1a.o}(T - T_2)}{(1 + pT)(1 + pT_1)} = -\frac{H_1(p)}{G_1(p)} - \frac{H_2(p)}{G_1(p)} - \frac{H_3(p)}{G_2(p)}. \quad (10)$$

Оператор токининг оригинал ташкил этувчилари ёйиш теоремаси асосида аниқланади:

$$\begin{aligned} \frac{H_1(p)}{G_1(p)} \Big|_{\hat{i}} &= \sum_{k=1}^3 \frac{H_1(p_k)}{G_1'(p_k)} e^{p_k t} = \frac{H_1(-\frac{1}{T})}{G_1'(-\frac{1}{T})} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{H_1(j\omega)}{G_1'(j\omega)} e^{j\omega t} + \\ &+ \frac{H_1(-j\omega)}{G_1'(-j\omega)} e^{-j\omega t} = a_1(t) + a_2(t) + a_3(t), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\frac{H_2(p)}{G_1(p)} \Big|_o = \sum_{k=1}^3 \frac{H_2(p_k)}{G_1'(p_k)} e^{p_k t} = b_1(t) + b_2(t) + b_3(t), \quad (12)$$

$$\frac{H_3(p)}{G_2(p)} \Big|_o = \frac{H_3\left(-\frac{1}{T}\right)}{G_2'\left(-\frac{1}{T}\right)} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{H_3\left(-\frac{1}{T_1}\right)}{G_2'\left(-\frac{1}{T_1}\right)} e^{-\frac{t}{T_1}}. \quad (13)$$

(10)га мувофиқ иккиламчи токнинг оригинали (11), (12) ва (13) ифодаларнинг алгебраик йиғиндиси орқали аниқланади [8], яъни

$$i_2(t) = \frac{\omega(T-T_2)\Delta \cdot I_{m1}}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \psi + \varphi) + \frac{\omega(T-T_2)\Delta \cdot I_{m1} e^{-\frac{t}{T}}}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}} \sin(\psi + \varphi) + \frac{T-T_2}{T-T_1} \Delta \cdot I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T-T_2}{T-T_1} \Delta \cdot I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T}} = i_{2np}(t) + i_{2a}(t) = i_{21}(t) + i_{22}(t) + i_{23}(t) + i_{24}(t). \quad (14)$$

(14) тенлама кириш катталиги (4) ифода кўринишида бўлган ҳолат учун чиқиш токининг вақт бўйича ўзгариш қонунияти ҳисобланади. Энди кириш катталиги (6) ифода кўринишида бўлган ҳолат учун ТТ иккиламчи токининг вақт бўйича ўзгаришини аниқлаймиз [7].

Бунинг учун (8) дифференциал тенгламага (6) ифодани қўйиб қуйидагига эга бўламиз:

$$T \frac{di_2}{dt} + i_2 = (T - T_2) I_{m1} \left[\omega \cos(\omega t + \psi) e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{1}{T_1} \sin(\omega t + \psi) e^{-\frac{t}{T_1}} \right]. \quad (15)$$

Бошланғич режимларда $i_2(0_-) = i_2(0) = 0$, $i_1(0_-) = i_1(0) = 0$, $I_{1a.o} = -I_{m1} \sin \psi$ (15) тенглама оператор формасида қуйидаги кўринишга эга:

$$TpI_2(p) + I_2(p) = (T - T_2) I_{m1} \left(\omega \frac{(p + \frac{1}{T_1}) \cos \psi - \omega \sin \psi}{(p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2} - \frac{1}{T_1} \frac{(p + \frac{1}{T_1}) \sin \psi + \omega \cos \psi}{(p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2} \right) \quad \text{ёки}$$

$$I_2(p) = \frac{\omega(T-T_2)(p + \frac{1}{T_1}) I_{m1} \cos \psi}{(1+pT)((p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2)} - \frac{\omega^2(T-T_2) I_{m1} \sin \psi}{(1+pT)((p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2)} - \frac{\frac{1}{T_1}(T-T_2)(p + \frac{1}{T_1}) I_{m1} \sin \psi}{(1+pT)((p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2)} - \frac{\omega \frac{1}{T_1}(T-T_2) I_{m1} \cos \psi}{(1+pT)((p + \frac{1}{T_1})^2 + \omega^2)} = \frac{H_1(p)}{G_1(p)} - \frac{H_2(p)}{G_1(p)} - \frac{H_3(p)}{G_1(p)} - \frac{H_4(p)}{G_1(p)}. \quad (16)$$

Иккиламчи токнинг оригинали юқорида қайд этилгани каби ёйиш теоремаси асосида аниқланади [9]:

$$i_2(t) = \frac{(T-T_2) I_{m1}}{\sqrt{\left(\omega T + \frac{T}{T_1^2 2\omega} \right)^2 + \left(1 - \frac{T}{T_1} \right)^2}} e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot \omega \sin(\omega t + \psi + \varphi_1) + \frac{(T-T_2) I_{m1}}{\sqrt{\left(\omega T + \frac{T}{T_1^2 2\omega} \right)^2 + \left(1 - \frac{T}{T_1} \right)^2}} e^{-\frac{t}{T_1}} \cdot \frac{1}{T_1} \sin(\omega t + \psi + \varphi_2) -$$

$$- \frac{I_{m1}(T - T_2)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} (\omega T_1 \sin(\psi + \varphi_3) + \sin(\psi + \varphi_4)). \quad (17)$$

1-Жадвал

ТТнинг турли кириш катталиклари учун математик моделлари

№	ТТ бирламчи токи	ТТ иккиламчи токи
1	Ўзгармас ток $i_1 = I_1 = const$	$i_2(t) = \frac{T - T_2}{T} \Delta I_1 e^{-\frac{t}{T}}$
2	Экспоненциал импульслар $i_1 = I_1 e^{-\frac{t}{T_1}}$	$i_2(t) = \frac{T_1 - T_2}{T - T_1} \Delta I_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T - T_2}{T - T_1} \Delta I_1 e^{-\frac{t}{T}}$
3	Сўнмайдиган амплитудали синусоидал тебранишлар $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1)$	$i_2(t) = \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t + \psi + \varphi) - \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1} e^{-\frac{t}{T}}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\psi + \varphi)$
4	Синусоидалар ва аперидик ташкил этувчиси $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) + I_{a1} e^{-\frac{t}{T_1}}$	$i_2(t) = \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t + \psi + \varphi) - \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1} e^{-\frac{t}{T}}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\psi + \varphi) + \frac{T_1 - T_2}{T - T_1} \Delta I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T - T_2}{T - T_1} \Delta I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T}}$
5	Косинусоидалар ва аперидик ташкил этувчиси $i_1 = I_{m1} \cos(\omega t + \psi_1) + I_{a1} e^{-\frac{t}{T_1}}$	$i_2(t) = \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \psi + \varphi) + \frac{\omega(T - T_2) \Delta I_{m1} e^{-\frac{t}{T}}}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \sin(\psi + \varphi) + \frac{T_1 - T_2}{T - T_1} \Delta I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T - T_2}{T - T_1} \Delta I_{1a.0} e^{-\frac{t}{T}}$
6	Сўнувчи амплитудали синусоидал тебранишлар $i_1 = I_1 e^{-\frac{t}{T_1}} \sin(\omega t + \psi_1)$	$i_2(t) = \frac{(T - T_2) I_{m1}}{\sqrt{\left(\omega T + \frac{T}{T_1^2 2\omega}\right)^2 + \left(1 - \frac{T}{T_1}\right)^2}} e^{-\frac{t}{T_1}} (\omega \sin(\omega t + \psi + \varphi_1) + \frac{1}{T_1} \sin(\omega t + \psi + \varphi_2)) - \frac{I_{m1}(T - T_2)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} (\omega T_1 \sin(\psi + \varphi_3) + \sin(\psi + \varphi_4)).$

ТТнинг турли кириш катталиклари учун аниқланиши лозим бўлган математик моделлар ҳам юқорида кўриб чиқилган кетма-кетликда аниқланади. ТТнинг турли кириш катталиклари учун аниқланган иккиламчи ток ифодаларини 1-жадвалда келтирамиз.

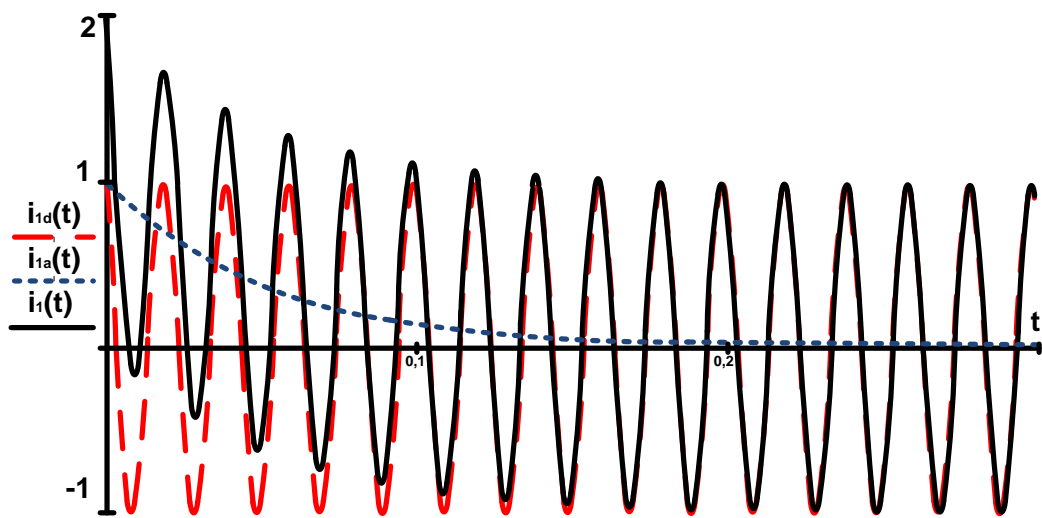
Ток трансформатори бирламчи (5) ва (6) тоқларининг ташкил этувчилари мос равишда 1 ва 2 расмларда ҳамда 3 ва 4 расмларда эса мос равишда ўткинчи иккиламчи (14) ва (17) тоқларнинг ташкил этувчилари келтирилган.

(14) тенгламанинг ўнг қисмидаги биринчи ташкил этувчиси ўткинчи иккиламчи токнинг мажбурий синусоидал ташкил этувчисини ифодалайди. Иккинчи ташкил этувчи – иккиламчи токнинг эркин аперидик ташкил этувчиси бўлиб, ўткинчи жараённинг бошланғич momenti $t = 0$ да иккиламчи токнинг даврий ташкил этувчисини компенсациялайди. (14) тенгламанинг таҳлили шуни кўрсатадики, коммутация momentiда иккинчи ташкил этувчи иккиламчи $i_{2a.0}$ ток умумий аперидик ташкил этувчисининг бошланғич қийматига тенг. Учинчи ташкил

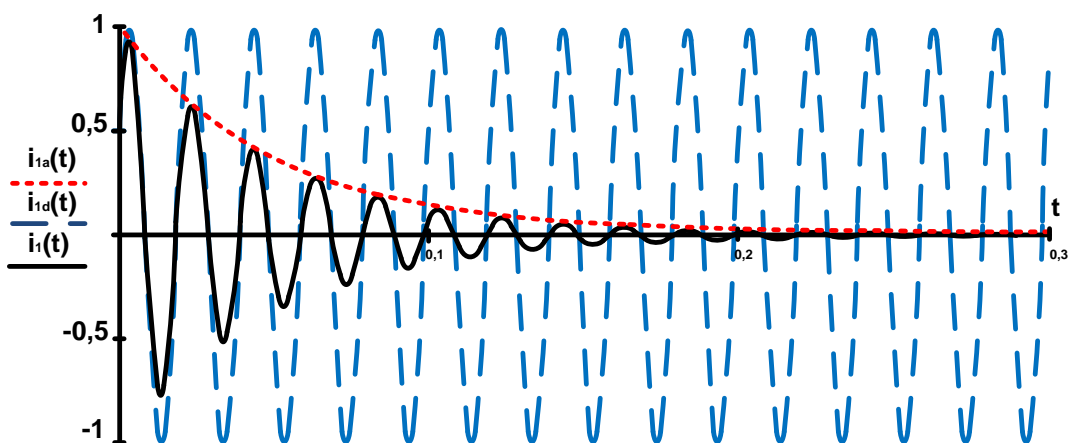
этувчи иккиламчи токнинг мажбурий аperiодик ташкил этувчиси ҳисобланади. Тўртинчи ташкил этувчи коммутация моментидан учинчи ташкил этувчини компенсацияловчи эркин аperiодик ташкил этувчи ҳисобланади. $i_{22}(t)$ ва $i_{24}(t)$ ташкил этувчилар иккиламчи ток шохобчалари ва ТТ магнитланишидан юзага келган контурда туташади.

$i_{23}(t)$ ташкил этувчисининг сўниши, i_{1a} бирламчи ток каби T_1 вақт доимийси билан аниқланади. $L_{\Sigma 2} = 0$ бўлганда, яъни тўлиқ актив юклагали тармоқ учун ва $\psi = 0$ бўлган ҳолатда $i_{22}(t) = 0$ ифодага эга бўламиз.

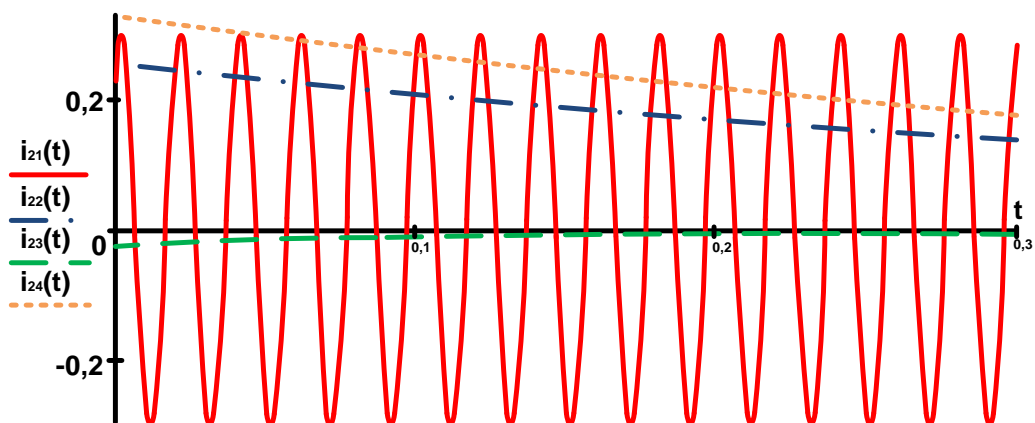
(17) тенгламанинг ўнг қисмидаги барча ташкил этувчилар ўткинчи иккиламчи токнинг мажбурий синусоидал ташкил этувчилари бўлиб, учинчи ташкил этувчи иккиламчи токнинг мажбурий аperiодик ташкил этувчиси ҳисобланади.



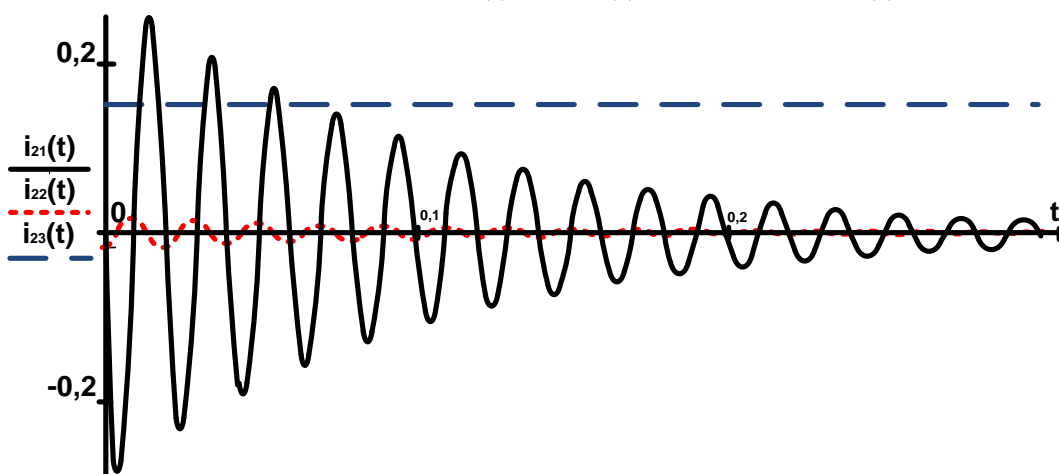
1-расм. Бирламчи $i_1 = I_{m1} \cos(\omega t + \psi_1) + I_{a1} e^{-t/T_1}$ токнинг эгри ташкил этувчилари: 1- $i_1(t)$; 2- $i_{1d}(t)$; 3- $i_{1a}(t)$



2-расм. Бирламчи $i_1 = I_1 e^{-t/T_1} \sin(\omega t + \psi_1)$ токнинг эгри ташкил этувчилари: 1- $i_1(t)$; 2- $i_{1d}(t)$; 3- $i_{1a}(t)$

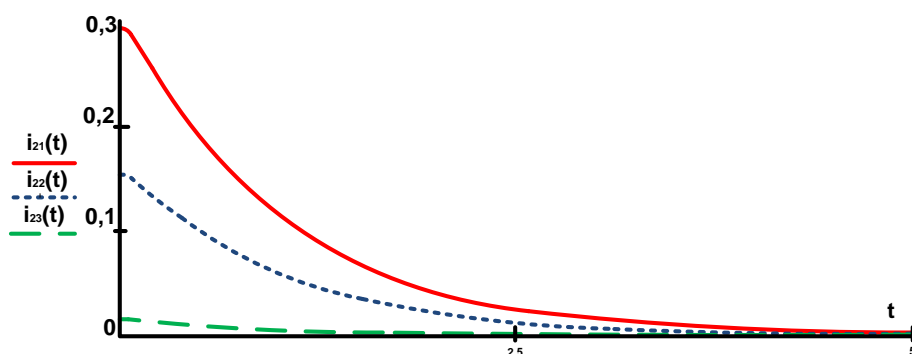


3-расм. $T_1 = 0.05$ с, $T_2 = 0,016$ с, $\psi = 30^\circ$ бўлганда иккиламчи $i_2(t)$ токнинг (14) ташкил этувчилари: 1 - $i_{21}(t)$; 2 - $i_{22}(t)$; 3 - $i_{23}(t)$; 4 - $i_{24}(t)$.

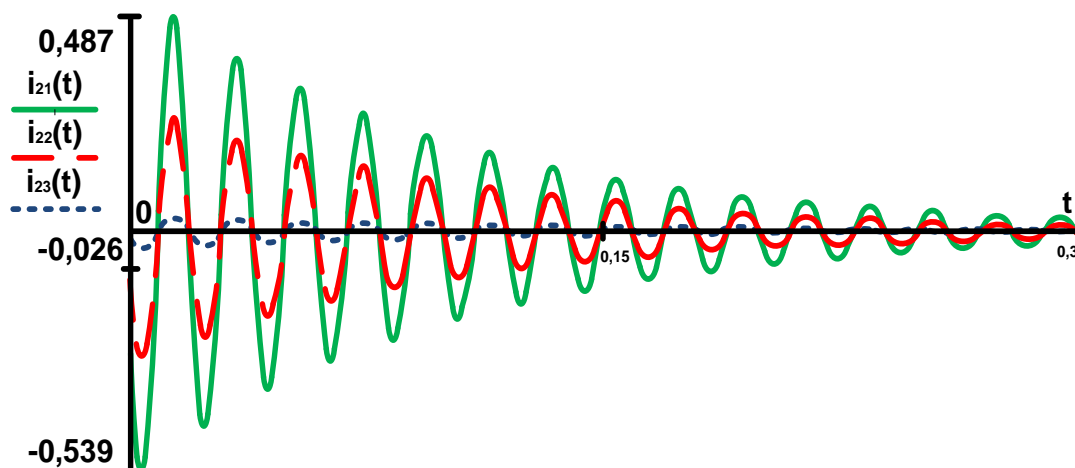


4-расм. $T_1 = 0.05$ с, $T_2 = 0,016$ с, $\psi = 30^\circ$ бўлганда иккиламчи $i_2(t)$ токнинг (17) ташкил этувчилари: 1 - $i_{21}(t)$; 2 - $i_{22}(t)$; 3 - $i_{23}(t)$; 4 - $i_{24}(t)$.

5 ва 6 расмларда мос равишда (14) ва (17) иккиламчи ўткинчи тоқлари аperiодик ташкил этувчиларининг α нинг 5° , 45° ва 85° қийматларидаги динамикаси келтирилган.



5-расм. $T_1 = 0.05$ с, $T_2 = 0,016$ с, $\psi = 30^\circ$ бўлганда иккиламчи $i_2(t)$ (14) токнинг аperiодик ташкил этувчилари: $i_{21}(t) - \alpha = 5^\circ$; $i_{22}(t) - \alpha = 45^\circ$; $i_{23}(t) - \alpha = 85^\circ$



6-расм. $T_1 = 0,05$ с, $T_2 = 0,016$ с, $\psi = 30^\circ$ бўлганда иккиламчи $i_2(t)$ (17) токнинг ташкил этувчилари: $i_{21}(t) - \alpha = 5^\circ$; $i_{22}(t) - \alpha = 45^\circ$; $i_{23}(t) - \alpha = 85^\circ$

Шундай қилиб, ишлаб чиқилган кенг диапазонли ток трансформаторида α бурчагининг ортиши билан бирламчи ток аperiодик ташкил этувчиларининг ток трансформатори ишига таъсири камайиб боради. Шунингдек, ток ўзгартиришнинг юқори чегарасини кенгайтириш мақсадида ўзақда қарши магнит юрутувчи кучнинг вужудга келиши бир вақтнинг ўзида ток трансформаторининг динамик иш режимида бирламчи токнинг аperiодик ташкил этувчилари таъсирида вужудга келадиган хатоликни камайишига олиб келади.

Литература

1. Патент РУз. №03858. Трансформатор тока / Амиров С.Ф., Халиков А.А., Хушбоков Б.Х., Шойимов И.Ю., Балгаев Н.Э. // Расмийахборотнома. - 2009. -№1. Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Рустамов Д.Ш., Атауллаев Н.О. Электромагнитные преобразователи больших токов для систем тягового электроснабжения. – Ташкент.: «Fan va texnologiya», 2018. – 360 с.
2. Афанасьев Ю.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С. Трансформаторы тока. - JL: Энергоатомиздат, 1989. -417 с.
3. Amirov S.F., Boltayev O.T., Axmedova F.A. Calculation of Magnetic Chains with Mobile Screens // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. India. - №6, Issue 5, May 2019 – pp. 9243-9245.
4. Амиров С.Ф., Болтаев О.Т. Тарқоқ параметрли ва қўзғалувчан экранли ўзгартиргичларда магнит оқими тақсимланишининг назарий ифодалари// ТошТЙМИ ахбороти. – Тошкент, 2018. – №4. – С.105-108.
5. Амиров С.Ф., Болтаев О.Т. Исследование динамических характеристик многопредельного трансформатора тока// ТошТЙМИ. Ёшилмийтадқиқотчи. 6-8 апрель 2010. – Тошкент, 2010. – С.24-26.
6. Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Рустамов Д.Ш., Атауллаев Н.О. Электромагнитные преобразователи больших токов для систем тягового электроснабжения. – Ташкент.: «Fan va texnologiya», 2018. – 360 с.
7. Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х. Исследование динамических характеристик широкодиапазонного трансформатора тока. //Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Сб. науч. тр. Респ. научно-технической конференции с участием зарубежных ученых. 2-3 декабря 2009. -Ташкент, 2009. - С. 72-75
8. Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Мухсимов Ш.С. Широкодиапазонные трансформаторы тока для систем тягового электроснабжения. –Т.: «Fan va texnologiya», 2018,164 стр.

9. Джикаев Г.В. Измерительные преобразователи больших переменных токов в электроэнергетике :Автореф. дис.... канд. техн. наук. - Ульяновск,2004.-28 с.

10.Черненко В.А. Исследование установившихся и переходных режимов работы одноступенчатых трансформаторов тока: Автореф. дис. ... канд. техн.наук. - Киев, 2002. - 28 с.

References

1. Patent RUz. №03858. Transformator toka / Amirov S.F., Halikov A.A., Hushbokov B.H., Shoyimov I.YU., Balgaev N.E. // Rasmiyahborotnoma. - 2009. -№1.

2. Afanasev YU.V., Adonev N.M., Kibel V.M., Sirota I.M., Stogniy B.S. Transformatori toka. - JL: Energoatomizdat, 1989. -417 s.

3. Amirov S.F., Boltayev O.T., Axmedova F.A. Calculation of Magnetic Chains with Mobile Screens // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. India. - №6, Issue 5, May 2019 - pp. 9243-9245.

4. Amirov S.F., Boltaev O.T. Tarqoq parametrli va qo'zgaluvchan ekranli o'zgartirgichlarda magnit oqimi taqsimlanishining nazariy ifodalari// ToshTYMI ahboroti. - Toshkent, 2018. - №4. - С.105-108.

5. Amirov S.F., Boltaev O.T. Issledovanie dinamicheskikh harakteristik mnogopredelnogo transformatora toka// ToshTYMI. Yoshilmiytadqiqotchi. 6-8 aprel 2010. - Toshkent, 2010. - С.24-26.

6. Amirov S.F., Safarov A.M., Rustamov D.SH., Ataulaev N.O. Elektromagnitnie preobrazovateli bolshih tokov dlya sistem tyagovogo elektrosnabjeniya. - Tashkent.: «Fan va texnologiya», 2018. - 360 с.

7. Amirov S.F., Hushbokov B.H. Issledovanie dinamicheskikh harakteristik shirokodiapazonnogo transformatora toka. //Resursosberegayushie tehnologii na jeleznodorojnom transporte: Sb. nauch. tr. Resp. nauchno-tehnicheskoy konferencii s uchastiem zarubejnih uchenih. 2-3 dekabrya 2009. - Tashkent, 2009. - S. 72-75

8. Amirov S.F., Hushbokov B.H., Mukhsimov SH.S. Shirokodiapazonnie transformatori toka dlya sistem tyagovogo elektrosnabjeniya. -Т.: «Fan va texnologiya», 2018,164 str.

9. Djikaev G.V. Izmeritelnie preobrazovateli bolshih peremennih tokov v elektroenergetike :Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk. - Ulyanovsk,2004.-28 s.

10. Chernenko V.A. Issledovanie ustanovivshihsiya i perehodnih rejimov raboti odnostupenchatih transformatorov toka: Avtoref. dis. ... kand. tehn.nauk. - Kiev, 2002. - 28 s.

Сведения об авторах / Information about the authors

Амиров Султон Файзуллаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение железных дорог», Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

Мухсимов Шавкат Суннат угли – докторант (PhD) кафедры «Электроснабжение железных дорог», Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, E-mail: mukhsimov.uz@gmail.com

Болтаев Отабек Ташмухамматович – доктор философских наук по техническим наукам, и.о. доцент кафедры «Электроснабжение железных дорог», Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, E-mail: otash_be@mail.ru

Amirov Sultan Fayzullayevich – doctor of technical sciences, professor, Department of "Railway power supply" of Tashkent Institute of railway engineers.

Mukhsimov Shavkat – doctoral student (PhD) of department of "Railway power supply", Tashkent Institute of railway engineers, E-mail: mukhsimov.uz@gmail.com

Boltayev Otabek Tashmuhammatovich - Tashkent Institute of railway engineers Department of railway power supply docent v.the b., doctor of philosophy in technical sciences (PhD), E-mail: otash_be@mail.ru