



Magnit tranzistorli kuchaytirgichga asoslangan qurilmalarning tahlili

Baxtiyar Abdullaev¹, Moxira U. Idrisxodjayeva^{1,a)}, Xoljan E. Xolbutayeva^{1,b)}
Moldagali B. Peysenov^{1,d)}

¹ dots, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston;

^{1, a)} dots, v.v.b., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; i.moxiraxon@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7738-1671>

^{1, b)} katta o'qituvchi. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; xolbutayevatdtu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7957-5664>

^{1, d)} katta o'qituvchi. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; peysenovmoldagali@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8150-9408>

Dolzarbliigi: zamonaviy sharoitlarda ekologik toza qurilmalarni yaratish vazifasi tobora dolzarblashmoqda. Ushbu talablardan kelib chiqqan holda aholi turmush tarzini yaxshilash maqsadida yaratilayotgan sharoitlar va ijtimoiy, iqtisodiy va ekologik parametrlar tizimining barqarorligini ta'minlovchi muhim omillardan hisoblangan elektroenergetik qurilmalarni takomillashtirish elektroenergetika sohasining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi. "Magnit-tranzistorli kuchaytirgichga asoslangan qurilmalarning tahlili" mavzusining dolzarbliigi zamonaviy elektronika, energetika va o'zgartirish texnologiyalarining rivojlanishi bilan bog'liq bir qator omillar bilan asoslanadi. Magnit-tranzistor o'zgartirgichlar turli qurilmalar va tizimlarning energiya samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Bu ayniqsa elektr energiyasiga bo'lgan talabning doimiy o'sishi va energiyani o'zgartirish jarayonida yo'qotishlarni minimallashtirish zarurati sharoitida dolzarbdir. Shuning uchun ushbu taklif etilayotgan maqoladagi magnit tranzistorli kuchaytirgichga asoslangan o'zgartirgich samarador elektrotexnik qurilma sifatida magnit - tranzistorli impuls kengligi modulyatorlari bilan funktsional o'zgartirgichlarni loyihalashda asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Maqsad: elektrotexnik qurilmalarining rivojlanishi bilan ixcham va samarali o'zgartirgichlarni yaratish tobora muhim bo'lib bormoqda. Magnit-tranzistor o'zgartirgichlar yuqori quvvat zichligi va kichik o'lchamlari tufayli joy cheklangan qurilmalarda, masalan, axborot tashuvchi asboblar va vositalar, turli sohalarda qo'llaniladigan asbob-uskunalar va qurilmalarda keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

Usullari: magnit-tranzistorli o'zgartirgichlar energiya iste'molini kamaytirishga va issiqxona gazlari chiqindilarini qisqartirishga yordam beradi. Magnit-tranzistor o'zgartirgichlar yuqori ishonchlilik va uzoq xizmat muddatiga ega bo'lib, ularni elektr transport, telekommunikatsiya, uzluksiz quvvat tizimlari kabi sohalarda uchun muhim komponentga aylantiradi. Yarimo'tkazgich texnologiyalari rivojlanishi va kremniy karbidi va gallyi nitridi asosidagi yangi turdagi tranzistorlarning yaratilishi magnit-tranzistorli o'zgartirgichlar samaradorligini oshirish uchun yangi imkoniyatlar yaratmoqda.

Natijalar: magnit-tranzistor o'zgartirgichlarining asosiy sxemasini tahlil qilish dolzarb hisoblanadi, chunki bu mavzu energiya samaradorligi, ishonchlilik, ekologik xavfsizlik va elektron qurilmalar samaradorligini oshirish kabi muhim masalalarni qamrab oladi.

Kalit so'zlar: o'zgartirgich, analiz, histerezis sirtmog'i, kompensatsiya, xatolik, kommutatsiya, generator, o'tish jarayoni, kuchaytirish rejimi, hisoblash, modulyator, grafiklar, tranzistor, induksiya, magnit o'tkazuvchanlik.

For citation: B. Abdullaev, M.U. Idrisxodjayeva, Kh.E. Xolbutayeva, M.B. Peysenov. Cogeneration and Clean Air. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 27-35.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14562787>

Received: 15.10.2024

Revised: 17.11.2024

Accepted: 16.12.2024

Published: 27.12.2024

Copyright: © Baxtiyar Abdullaev, Moxira U. Idrisxodjayeva, Xoljan E. Xolbutayeva, Moldagali B. Peysenov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Анализ устройств на основе магнитного транзисторного усилителя

Бахтияр Абдуллаев¹, Мохира У. Идрисходжаева^{1,a)}, Холжан Э. Холбутаева^{1,b)},
Молдагали Б. Пейсенов^{1,d)}

¹ доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан

^{1, a)} доц, и.о. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; i.moxiraxon@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7738-1671>

^{1, b)} старший преподаватель. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; xolbutayevatdtu@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-7957-5664>

^{1, d)} старший преподаватель. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; peysenovmoldagali@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-8150-9408>

Актуальность: в современных условиях задача создания экологически чистых устройств становится всё более актуальной. Исходя из этих требований, одной из важных задач электроэнергетической отрасли является совершенствование энергетических устройств, которые обеспечивают улучшение условий жизни населения и стабильность системы социальных, экономических и экологических параметров. Актуальность темы «Анализ устройств на основе магнитно-транзисторного усилителя» обусловлена развитием современной электроники, энергетики и преобразовательных технологий. Магнитно-транзисторные преобразователи играют важную роль в повышении энергоэффективности различных устройств и систем. Это особенно важно в условиях постоянного роста спроса на электрическую энергию и необходимости минимизации потерь в процессе её преобразования. Поэтому предложенный в данной статье преобразователь на основе магнитно-транзисторного усилителя может служить основой для проектирования функ-



циональных преобразователей с использованием магнитно-транзисторных импульсных широтно-импульсных модуляторов как эффективного электротехнического устройства."

Методы: с развитием электротехнических устройств создание компактных и эффективных преобразователей становится всё более важным. Магнитно-транзисторные преобразователи благодаря высокой мощности и малым размерам широко используются в устройствах с ограниченным пространством, таких как средства передачи информации, а также в оборудовании и устройствах, применяемых в различных сферах.

Результаты: магнитно-транзисторные преобразователи помогают снизить энергопотребление и сократить выбросы парниковых газов. Они обладают высокой надежностью и длительным сроком службы, что делает их важным компонентом для таких областей, как электрический транспорт, телекоммуникации и системы бесперебойного питания. Развитие полупроводниковых технологий и создание новых типов транзисторов на основе карбида кремния и нитрида галлия открывают новые возможности для повышения эффективности магнитно-транзисторных преобразователей. Анализ основных схем магнитно-транзисторных преобразователей актуален, так как эта тема охватывает такие важные вопросы, как энергоэффективность, надежность, экологическая безопасность и повышение эффективности электронных устройств.

Ключевые слова: преобразователь, анализ, петля гистерезиса, компенсация, погрешность, коммутация, генератор, переходной процесс, усилительный режим, расчёт, модулятор, графы, транзистор, индукция, магнитная проницаемость.

Analysis of devices based on magnetic transistor amplifier

Baxtiyar Abdullaev¹, Mokhira U. Idriskhodjaeva^{1, a)}, Kholjan E. Kholbutaeva^{1, b)},
Moldagali B. Peysenov^{1, d)}

¹ Ph.D., Assoc. p.t.f., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan

^{1, a)} Assoc. p.t.f., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; imoxiraxon@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7738-1671>

^{1, b)} Assis. Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; xolbutayevatdu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7957-566>

^{1, d)} Assis. Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; peysenovmoldagali@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-8150-9408>

Relevance: in modern conditions, the task of creating environmentally friendly devices is becoming increasingly relevant. Based on these requirements, one of the important tasks of the energy sector is the improvement of energy devices that ensure better living conditions for the population and the stability of social, economic, and environmental parameters. The relevance of the topic 'Analysis of Devices Based on Magnetic Transistor Amplifier' is due to the development of modern electronics, energy, and conversion technologies. Magnetic transistor converters play an important role in increasing the energy efficiency of various devices and systems. This is particularly important in the context of the constant growth in demand for electrical energy and the need to minimize losses during the energy conversion process. Therefore, the converter based on the magnetic transistor amplifier proposed in this article may serve as the foundation for designing functional converters using magnetic transistor pulse-width modulation as an efficient electrical device.

Aim: with the development of electrical engineering devices, the creation of compact and efficient converters is becoming increasingly important. Magnetic transistor converters, due to their high power density and small size, are widely used in space-constrained devices such as information transmission systems, as well as in equipment and devices utilized across various fields.

Methods: magnetic transistor converters help reduce energy consumption and decrease greenhouse gas emissions. They offer high reliability and a long service life, making them an important component for areas such as electric transportation, telecommunications, and uninterruptible power supplies. The development of semiconductor technologies and the creation of new types of transistors based on silicon carbide and gallium nitride are opening new opportunities to enhance the efficiency of magnetic transistor converters.

Results: analyzing the main circuit of magnetic transistor converters is relevant as this topic addresses important issues such as energy efficiency, reliability, environmental safety, and improving the performance of electronic devices.

Key words: converter, analysis, hysteresis loop, compensation, error, switching, generator, transitional process, amplifier mode, calculation, modulator, graphs, transistor, induction, magnetic permeability.

1. Kirish (Introduction)

Ko'paytiruvchi-bo'linuvchi qurilmalar va boshqa funktsiyalarga ega bo'lgan o'zgartgichlarning salmoqli qismi magnit tranzistorli kuchaytirgichlarga (MTK) asoslangan bo'lib, ular impuls kengligi modulatorlari sifatida qo'llaniladi. Shuning uchun MTKga ega o'zgartgichlar magnit tranzistorli (MTO) deb ataladi. Mavjud adabiyotlarda [3,4,5] MTO'ni loyihalashga umumiy yondashuv to'liq yoritilmagan. Bunday sxemani tanlash va uni tadqiq qilish MTO'ni hisoblashning universal usulini ishlab chiqish, funktsional transformatsiyadagi xatolik manbalarini izlash va ularni kompensatsiya

qilish yo'llarini aniqlashga imkon beradi.

2. Metodlar va materiallar (Methods and materials)

Ikkita I va II magnit o'zaklariga asoslangan MTKning asosiy sxemasini mumkin bo'lgan variantlaridan birini ko'rib chiqamiz (1-rasm). Sxema o'zgarmas tok manbaiga ulangan bo'lib, boshqaruv w_b va ishchi w_{ish} cho'lg'amlari tranzistorlar orqali transformator Tr orqali kommutatsiyalanadi, bunda aylanish chastotasi generator (G) orqali belgilanadi. Sxema oddiy, tejamkor, yuqori ishonchlilikka, tezkorlikka va barqarorlikka ega, uning ish holatlari T_1+T_4 tranzistorlarining kommutatsiyasi bilan aniqlanadi va 1- jadvalda batafsil keltirilgan.

1-jadval. Sxema ish holatlarining tavsiflari

Table 1. Descriptions of the scheme operating states

Elementlar	1-holat	2-holati
T_1 va T_4 tranzistorlari	Ochiq	Yopiq
T_1 va T_3 tranzistorlari	Yopiq	Ochiq
O'zak I	Ishchi yarim davr	Boshqariladigan yarim davr
O'zak II	Boshqariladigan yarim davr	Ishchi yarim davr

Tranzistorlarning idealligini va statik histerezis sirtmog'ining to'g'riburchakli shaklini hisobga olingan holda, 1-holat uchun boshlang'ich tenglamalar:

$$w_{ish}S\omega \frac{dB_I}{d\tau} + i_{ish}R_\Sigma = U_n ; \quad (1)$$

$$w_bS\omega \frac{dB_B}{d\tau} + i_bR_b = U_b; \quad (2)$$

$$i_{ish}w_{ish} = H_I l; ; \quad (3)$$

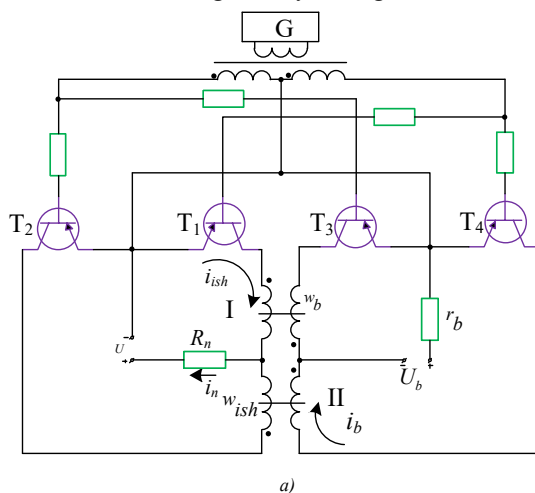
$$-i_bw_b = H_{II} l; \quad (4)$$

bu yerda B_I, H_I va B_{II}, H_{II} – I va II o'zaklaridagi magnit induksiyasi va maydon kuchlanganligi;

U_n, i_{ish}, R_Σ - ko'riyatotgan zanjirdagi manba kuchlanishi, tok va umumiy aktiv qarshiligi;

U_b, i_b, R_b - boshqariladigan zanjirdagi kuchlanish, tok va umumiy aktiv qarshiligi;

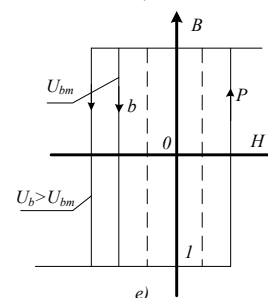
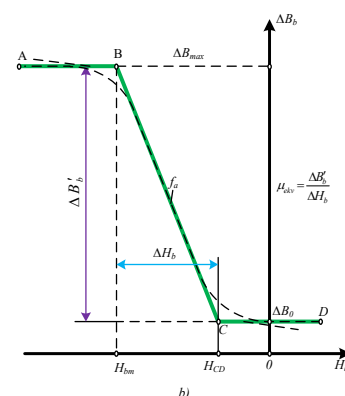
S, l - o'rtacha kuch magnit liniyasining o'zak kesimi yuzasi va uzunligi.



1-rasm. Magnit tranzistorli kuchaytirgichning: a) asosiy sxemasi; b) o'tish tavsifi; e) o'z-o'zini to'yinganlik qismi.

Fig.1. Basic circuit of a magnetic transistor amplifier:

a) passage characteristic b) self-saturation area



3. Natijalar (Results)

Magnit tranzistorli kuchaytirgichga asoslangan o'zgartgichni samarador elektrotexnika qurilma sifatida, jumladan magnit - tranzistorli impuls kengligi modulyatorlari bilan funktsional o'zgartgichlarni loyihalashda kuchaytirish rejimi misolida ko'rib chiqamiz.

Kuchaytirish rejimi. O'zaklarning magnitlanishining o'zgarishi gisterezis sirtmog'ining ma'lum bir dinamik aylanishi [2, 3]ga muvofiq quyidagicha ifodalanadi:



$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_{ekv}}{\pi} (H \mp H_S); \quad (5)$$

$$0 < |U_b| \leq |U_{bs}|. \quad (6)$$

μ_{ekv} – dinamik demagnetizatsiya egri chizig'idan (DDCh) aniqlanadigan ekvivalent magnit o'tkazuvchanlik; H_S - majburiy statik kuch.

(5)- formuladagi “-” belgisi o'zakdagi induksiyaning ortishiga, “+” esa uning kamayishiga mos keladi. Bunda (2) va (5) tenglamalardan boshqarish tokining ifodasi hosil bo'ladi:

$$i_b = \frac{U_b}{r_b} - \frac{x_{ekv}}{\pi r_b} \cdot \frac{L}{w_b k^2} (H_{II} + H_S). \quad (7)$$

Bu yerda $k = \frac{w_{ish}}{w_b}$, $x_{ekv} = \omega \frac{\mu_{ekv} w_{ish}^2 S}{L}$ ishchi cho'lg'aming ekvivalent induktiv reaktivligi.

(4) ifodani (7) o'rniga qo'yib, II o'zagining magnit maydon kuchiga ega bo'lamiz:

$$H_{II} = \frac{\frac{U_b w_b}{r_b l} - \frac{x_{ekv} H_S}{\pi r_b w_b k^2}}{\frac{x_E}{\pi r_b r_b k^2 - 1}}. \quad (8)$$

MTKning manba kuchlanishini hisobga olgan holda:

$$U = \frac{l}{w_{ish}} (R_N + r_{ish}) H_{ish m}, \quad (9)$$

bu erda $H_{ish m}$ - yarim davrdagi maydon kuchlanishining amplitudasi, (1), (5) va (9) ifodalardan I o'zagining kuchlanishini aniqlaymiz:

$$H_I = \frac{H_{ish m} (R_N + r_{ish}) + x_{ekv} \frac{H_S}{\pi}}{\frac{x_{ekv} + R_N + r_{ish}}{\pi}}. \quad (10)$$

Ko'riyotgan zanjirdagi tokning ifodasi:

$$i_{ish} = \frac{L}{w_{ish}} \frac{H_{ish m} \rho_x H_S}{1 + \rho_x}. \quad (11)$$

Zanjirda to'yinganlik ($\alpha + \pi$) va magnitlanish ($0 + \alpha$) oraliqlaridagi tokning qiymatlarini (11) ifodaga asosan olinadi. Ko'rinib turibiki magnitlanish yuzaga kelganda $x_{ekv} \gg R_S \pi$, $\rho_x \rightarrow 0$ shuning uchun:

$$i_{ish nom} \cong \frac{L}{w_{ish}} H_S; \quad (12)$$

to'yinganlik oralig'ida:

$$l_N = \lim_{\rho_x \rightarrow \infty} \frac{1}{w_{ish}} \frac{x_{ekv} \rightarrow 0, \rho_x \rightarrow \infty;}{H_{ish m} \rho_x + H_S} = \frac{1}{w_{ish}} H_{ish m}. \quad (13)$$

Fizik jarayonlar nuqtai nazaridan, 2-holat 1-holatdan tubdan farq qilmaydi, I va II o'zaklari rollarni o'zgartiradi, shuning uchun (11) va (13) ifodalarni birlashtirib, davrdagi yuklama kuchlanishining o'rtacha qiymatini aniqlaymiz:

$$U_{N.ort} = \frac{R_N l}{\pi w_{ish}} \left[\frac{H_{ish m} \rho_x + H_S}{1 + \rho_x} \alpha + H_{ish m} (\pi - \alpha) \right]. \quad (14)$$

Boshqa tomondan, o'z-o'zidan to'yingan an'anaviy magnit kuchaytirgachlar (MK) kabi [1], MTK uchun ham yozishimiz mumkin:

$$U_{N.ort} = \eta U_{chiq ort} - \eta (U - 2f w_{ish} S |\Delta B_b|), \quad (15)$$

Bunda $\eta = \frac{R_N}{R_N + r_{ish}}$; $|\Delta B_b|$ - boshqariluvchi yarim davr mobaynida o'zakdagi induksiya o'zgarishining absolyut qiymati.

Shuni hisobga olgan holda $U_n = 4f w_{ish} S B_S$ (14) va (15) tenglamalardan MTK to'yinganlik buchagini aniqlaymiz:

$$\alpha = \frac{\pi(1 + \rho_x)}{H_{ish m} - H_S} H_{ish m} - \frac{2f \eta S w_{ish}^2 [2B_S(1 + \rho_x) - |\Delta B_b|]}{R_N l}. \quad (16)$$

1-holat uchun asosiy induksiylarning joriy va yakuniy qiymatlarini hisoblash uchun quyidagilarni olamiz:

$$B_I = \frac{l(R_N + r_{ish})(H_{ish m} - H_S)}{w_{ish}^2 S \omega (1 + \rho_x)} (\tau - \theta_S) + B_S; \quad (17)$$

$$B_{II} = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_b + \frac{U_b - \frac{x_{ekv} l H_S}{\pi w_b k^2}}{1 - \frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2}} \right] \tau + B_S; \quad (18)$$

bu yerda $0 \leq \tau \leq \alpha$; $U_y < 0$.

MTK ning o'tkinchi tavsifi. DDCh uchun biz uchta to'g'ri bo'laklar bilan approksimatsiya qabul qilamiz (1-rasm, b):

$\Delta B_b = \Delta B_0$, da ($H_b \geq H_{c.d}$); $H_b < 0$ (C-D qismi);

$\Delta B_b = \mu_{ekv}(H_b + H_{c.d})$ da ($H_{bm} \leq H_{bm} \leq H_{c.d}$) (B-C qismi);

$\Delta B_b = \Delta B_{max}$, da da ($H_b \leq H_{bm}$) (A-B qismi).

Taxminan parametrlar H_{bm} va H_{cd} to'g'ridan-to'g'ri eksperimental DDCh dan yoki nazariy jihatdan aniqlanishi mumkin. Masalan, H_{bm} (8) formuladan "B" nuqtasida ekanligini hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$U_{bm} = 4f S w_b B_S;$$



$$H_{bm} = \frac{4fSw_bB_s \frac{x_{ekv}LH_S}{\pi r_b k^2}}{\frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2} \frac{L}{w_b}}; \quad (19)$$

va induksiyaning chiziqli o'zgarishi bilan dinamik koertsitiv kuchni quyidagicha ifodalash mumkin [3]:

$$H_{cd} = H_s + 0,125\omega\delta d^2 B_s; \quad (20)$$

bu yerda δ -ferromagnitning solishtirma elektr o'tkazuvchanligi; d -lenta yoki plastinkaning qalinligi.

Soddalashtirish uchun quyidagini qabul qilamiz $B_{\max} = 2B_s$ va $B_{\max} \rightarrow 0$. Bunda DDChning CD qismi uchun yuklamadagi kuchlanish $U_{yuk} = \tau U_n$ ga teng, BC qismi uchun esa:

$$U_{N.ort} = \tau(U_n - 2fw_{ish}S|\mu_{ekv}|) \cdot (H_b - H_{N.ort}). \quad (21)$$

AB qismi uchun:

$$U_{N.ort} = R_N \frac{L}{w_{ish}} H_{CD}. \quad (22)$$

(22) ifodan MTKning o'tish tavsifi chap qismining gorizontalligini ko'rish mumkin, bu uni odatiy o'z-o'zidan to'yingan MKdan ajralib turadi. Bu shunga bo'g'liqlik, $|U_b| > 4fSw_bB_s$ dinamik histerezis sirtmog'i induksiya o'qiga nisbatan assimetrik bo'ladi (1-rasm, e) va o'zaklar ishchi yarim davr davomida magnitlanganda sirtmoqning kengayishi kuzatilmaydi. Darhaqiqat, (17) va (18) tenglamalardan ishchi va boshqaruv yarim davrlari uchun induksiyaning o'zgarish tezligini aniqlash mumkin:

$$\frac{dB_{rab}}{d\tau} = \frac{LR_s(H_{ishm} - H_s)}{\omega^2 S w (1 + \rho_x)}; \quad (23)$$

$$\frac{dB_b}{d\tau} = \frac{1}{w_b S \omega} \left(U_y - \frac{x_{ekv} L H_c}{\pi w_b k^2} \right). \quad (24)$$

(23) ifoda ko'rsatadiki, ishchi yarim davrida induksiyaning o'zgarish tezligi doimiy bo'lib, boshqaruv signalining qiymatiga bog'liq emas. Tranzistor kommutatsiyasi tufayli boshqarish yarim davrining oxirida MTK ning ishchi nuqtasi har doim 1 nuqtaga qaytadi, undan ishchi yarim davri boshlanadi. Manbaning maksimal kuchlanishida to'liq magnitlanishning histerezis sirtmog'i bo'ylab sodir bo'ladi, bu esa yuklama tokining doimiylikini taminlaydi, bu esa o'z navbatida MTKning salt ishlashdagi tokiga teng. Ushbu holat, kontaktiz magnit rele ishlab chiqish uchun yaxshi shart-sharoit yaratadi, chunki sirtmoq kengligi tartibga solinadi, o'zgarish koeffitsienti esa saqlab qolinadi.

Ma'lumki, kuchaytirish rejimida ishlash uchun DDChning BC qismi qo'llaniladi, bunda MTKning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsienti K_u ga ega bo'lib, (8) va (21) ifodalardan aniqlanadi:

$$K_u = 2fw_{ish}\mu_{ekv}\tau \frac{\pi w_b k^2}{L(x_{ekv} - \pi r_b)}. \quad (25)$$

4. Muhokama (Discussion)

Taqdim etilgan magnit-tranzistorli kuchaytirgichni tadqiqot natijalarini ko'rsatish uchun o'tkinchi jarayonlar misolida yoritamiz. Oldindan qabul qilingan taxminlarni saqlab qolgan holda, boshqaruv signali U_b boshlangich holatdan sakrab o'zgaradi va bu (6) ifodaga mos keladi. Umumiy holatda boshqaruv kuchlanishining sakrashi generator chastotasining yarim davri oralig'ida sodir bo'lganda, uning oxiri yoki boshlanishi mos kelmaydi.

Taxmin qilamizki, sakrash momenti τ_0 ($n - 1$) yarim davr ichida sodir bo'ladi, bu yarim davr I o'zagi uchun boshqaruvchi va II o'zagi uchun ishchi hisoblanadi. Shu vaqt mobaynida B_I induksiya quyidagiga teng:

$$B_I/\tau_0 = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_{b0} - \frac{U_{b0} \frac{x_{ekv} L H_{CD}}{\pi w_b k^2}}{1 - \frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2}} \right] \tau_0 + B_s, \quad (26)$$

I o'zaginging magnit holati esa dinamik gisterezis sirtmog'idagi 1-nuqtasi bilan aniqlanadi (2-rasm). τ_0 dan boshlanganda:

$$U_b = |U_{bT}| > |U_{b0}|,$$

ishchi nuqtasi 1-2 qism bo'ylab harakatlanadi, I o'zagi kengroq xususiy sikl bo'ylab magnitsizlanadi va uning induksiyasi quyidagicha o'zgaradi:

$$B_I/\tau_0 < \tau < (n - 1)\pi = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_{b1} - \frac{U_{b0} - \frac{x_{ekv} L}{\pi w_b k^2} H_{CD}}{\frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2} - 1} \right] \tau [(n - 2)\pi + \tau_0] + \frac{B_I}{\tau_0}.$$

Yarim davrning oxiriga kelib, $\tau = (n - 1)\pi$ da induksiya quyidagi qiymatni oladi :

$$B_I/(n - 1)\pi = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_{bT} + \frac{\frac{x_{ekv} L H_{CD}}{\pi w_b k^2}}{\frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2} - 1} \right] [(\pi - \tau_0)] + \frac{B_I}{\tau_0}. \quad (27)$$

Keyingi n -chi yarim davr I o'zak uchun ishchi va II o'zagi uchun boshqaruvchi hisoblanadi. II o'zak darhol U_b ga mos keluvchi yangi o'rnatilgan sikl bo'yicha qayta magnitlanadi va yarim davr

oxirida uning induksiyasi yangi barqaror qiymati:

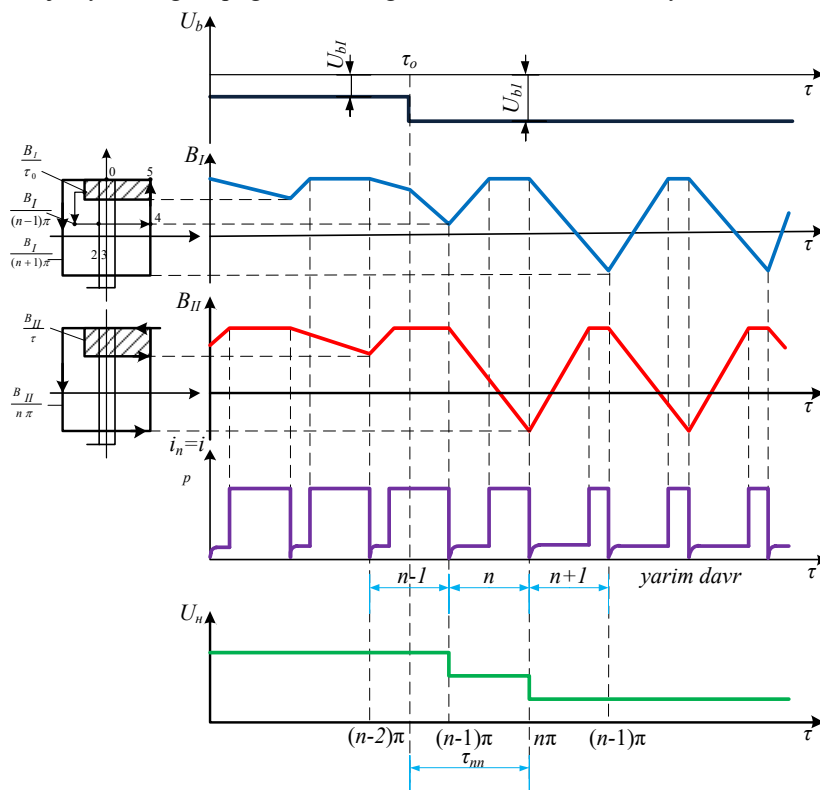
$$B_{II}/n\pi = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_{bT} + \frac{\frac{x_{ekv} L H_{CD}}{\pi w_b k^2}}{\frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2} - 1} \right] \pi + B_S. \quad (28)$$

Bu bilan yuklamadagi kuchlanish uchun o'tkinchi jarayon yakunlanadi.

Keyingi $(n + 1)$ yarim davrda I o'zining tasvirlanadigan nuqtasi yangi o'rnatilgan sikl bo'ylab siljidi. MTKdagi o'tkinchi jarayonining egri chiziqlari 2-rasmda ko'rsatilgan. Shunday qilib, o'tkinchi jarayonining davomiyligi o'rtacha qiymatlari quyidagilarga teng:

$$\tau_{nn} = (\pi - \tau_0) + \pi = 2\pi - \tau_0, \quad (29)$$

bular o'tkinchi jarayonining vaqti generatorning bir chastota davri ichida yotadi.



2-rasm. O'tkinchi jarayon

Fig. 2. Transition process

Muayyan holat, boshqaruv kuchlanishining sakrashi $(n - 1)$ -chi yarim davrning boshlanishiga to'g'ri keladi. Shunda I o'zining ifodalovchi nuqtasi, bu yarim davr davomida, yangi o'rnatilgan - davr bo'ylab harakatlanadi va induksiya chiziqli qonunga muvofiq o'zgaradi:

$$B_I = \frac{1}{w_b S \omega} \left[U_{b0} + \frac{U_{b0} \frac{x_{ekv} L H_{CD}}{\pi w_b k^2}}{1 - \frac{x_{ekv}}{\pi r_b k^2}} \right] [\tau - (n - 2)\pi] + B_S. \quad (30)$$

Shunda, keyingi yarim davrda, yuklamadagi kuchlanish o'zining yangi o'rnatilgan qiymatiga ega bo'ladi va MTK generator chastotasining yarim davriga teng bo'lgan sof kechikish bo'g'ini bo'ladi.

5. Xulosa (Conclusion)

Maqolada keltirilgan MTK sxemalaridan birini dinamik histerezis sirtmog'ini inobatga olgan holda tahlil qilish natijalari magnit - tranzistorli impuls kengligi modulyatorlari bilan funksional o'zgartgichlarni loyihalashda asos bo'lib xizmat qilishi mumkin, jumladan, kirish qiymatining berilgan diapazonida konvertatsiya aniqligini dastlabki baholash uchun qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi.

Adabiyot

1. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии». Ташкент, 25.04.1997, №412-I.
2. Закон Республики Узбекистан «Об электроэнергетике». Ташкент, 2009, ЗРУ №225.
3. Закон Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии», 21 мая 2019 г., № ЗРУ-539.



4. Закон Республики Узбекистан «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии»», 14.07. 2020, № ЗРУ-628.
5. Указ Президента РУз № УП-6079 от 05.10.2020 «Об утверждении стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" и мерах по её эффективной реализации».
6. Указ Президента Республики Узбекистан от 1 февраля 2019 г. № УП-5646 «О мерах по коренному совершенствованию системы управления топливно-энергетической отраслью Республики Узбекистан».
7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 июля 2016 года № ПП-2559 «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики».
8. Постановление Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 г. № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии».
9. Абдуллаев Б. Обобщенные модели пассивных нелинейных элементов электрических цепей и систем. Изд. ТашГТУ-2015. 180 с.
10. Абдуллаев Б.А. Обобщенные модели и параметры пассивных нелинейных элементов электроэнергетических систем // Журнал Проблемы энерго- и ресурсосбережения - Т., 2013. № 3-4. – С. 161-167.
11. В.А. Abdullaev, A.A. Alimov, D.A. Xalmanov. To the problem of the calculation capacity of the nonlinear inductance // Seventh World Conference on Intelligent Systems.
12. Абдуллаев В., Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. О методах коррекции качественных показателей преобразователей и элементов электрических цепей и систем. //Электронный журнал «Инновации в нефтегазовой отрасли» №1/2020.-С.39-43.
13. В.А. Abdullaev, X. Xolbutayeva, M.Idrisxodjayeva. Elektr zanjirlari va tizimlaridagi nochiziqli passiv elementlarining umumlashtirilgan modellari. Monografiya. Toshkent – “TDTU nashriyoti” - 2020. 10,75 b.t.
14. Бегматов Ш.Э., Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. Графо-аналитический способ построения статических характеристик вторичного источника электропитания. Евразийский союз ученых (ЕСУ) (ежемесячный научный журнал) №5(62). 2019. – С.36-39. DOI: 1031618ESU.2413-9335.2019.1.62.
15. Бурханходжаев О.М., Иксар Е.В., Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. Алгоритм расчета минимума электрических потерь мощности в асинхронном тяговом двигателе магистральных локомотивов. Сборник трудов международной конференции «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы». Карши 24-25 сентября 2021 г.- С. 66-71.
16. Абдуллаев Б., Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. Улучшения качества сигнала в блоках управления при использовании быстродействующего магнитно-транзисторного квадратора. Журнал «Инновации в нефтегазовой отрасли» № 1/2022.
17. А.А. Алимов, Х.Э. Холбутаева, М.У. Идрисходжаева. Анализ базовой схемы феррорезонансно-транзисторных параметрических стабилизаторов постоянного напряжения с встроенным функциональным преобразователем. Журнал «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари». Махсус сон (№84) 2023. С.187-192.
18. Абдуллаев Б., Х.Э.Холбутаева, Идрисходжаева М.У. Методика определения источников погрешностей устройств. Журнал «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» 2022, № 4. -С. 51-56.
19. Begmatov S.; Dusmukhamedova S.; Holbutayeva K. Study of ferro resonance using generalized models of Passive nonlinear elements. E3S Web of Conferences 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202021601115](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601115).
20. Burkhanhodjaev A., Iksar E., Idriskhodjayeva M.U. An algorithm for controlling a traction asynchronous drive that minimizes electrical power losses (2020) E3S Web of Conferences, 216, статья № 01107, 1) Тип документа: Conference Paper Стадия публикации: Final Источник: Scopus<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221167017&eid=2-s2.0-85098453474>.
21. Abidov K.G., Zaripov O.O., Idriskhodjayeva M.U., Khamudkhanova N.B., and others. Specific Features of Operating Pumping Units and the Tasks of Ensuring Energy-Saving Modes of Operation by Controlling Them. (AIP Conference Proceedings, 2552, **030022**, 2022), <https://doi.org/10.1063/5.0112384>.
22. N.Khamudkhanova, M.Idriskhodjaeva, Kh.Kholbutayeva. E3S Web of Conf., 384, 01057, (2023), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401057>.
23. A. Burkhanhodjaev, B. Nurmatov, and others. AIP Conference Proceedings, 2552, 030024, (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0133920>.



24. Ахмедов А.П., Худойберганов С.Б., Идрисходжаева М.У., Холбутаева Х.Э. Возможность выработки электроэнергии ветрогенераторами в Кашкадарьинской области Республики Узбекистан "Energetika kompleksining dolzarb muammolari: uzatish va ekologiya" xalqaro ilmiy-texnik anjumani, Qarshi, 25-26 aprel 2024 yil. 192-198 betlar.

25. Идрисходжаева М.У., Холбутаева Х.Э., Зайниева О.Э. Энергоэффективность при применении энергосберегающего устройства на основе управляемого преобразователя "Energetika kompleksining dolzarb muammolari: uzatish va ekologiya" xalqaro ilmiy-texnik anjumani, Qarshi, 25-26 aprel 2024 yil, 262-266 betlar.

References

1. Law of the Republic of Uzbekistan "On Rational Use of Energy". Tashkent, 25.04.1997, No. 412-I.
2. Law of the Republic of Uzbekistan "On Electric Power Industry". Tashkent, 2009, ZRU No. 225.
3. Law of the Republic of Uzbekistan "On the Use of Renewable Energy Sources", May 21, 2019, No. ZRU-539.
4. Law of the Republic of Uzbekistan "On Amendments and Additions to the Law of the Republic of Uzbekistan "On Rational Use of Energy", 14.07. 2020, No. ZRU-628.
5. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-6079 dated 05.10.2020 "On Approval of the Strategy "Digital Uzbekistan-2030" and Measures for its Effective Implementation".
6. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 1, 2019 No. UP-5646 "On measures to radically improve the management system of the fuel and energy sector of the Republic of Uzbekistan".
7. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated July 13, 2016 No. PP-2559 "On measures to further improve scientific and technical activities in the field of electric power engineering".
8. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated August 22, 2019 No. PP-4422 "On accelerated measures to improve the energy efficiency of economic and social sectors, the introduction of energy-saving technologies and the development of renewable energy sources".
9. Abdullaev B. Generalized models of passive nonlinear elements of electrical circuits and systems. Publ. TashGTU-2015. p.180.
10. Abdullaev B.A. Generalized models and parameters of passive nonlinear elements of electric power systems //Journal of Problems of Energy and Resource Saving, 2013. No. 3-4 –pp.161-167.
11. B.A. Abdullaev, A.A. Alimov, D.A. Xalmanov. To the problem of the calculation capacity of the nonlinear inductance // Seventh World Conference on Intelligent Systems.
12. Abdullaev V., Kholbutaeva Kh.E., Idriskhodzhaeva M.U. On methods for correcting the quality indicators of converters and elements of electrical circuits and systems. Electronic journal "Innovations in the Oil and Gas Industry" No. 1 / 2020.-P.39-43.
13. B.A. Abdullaev, H. Kholbutaeva, M. Idriskhodzhaeva. Generalized models of nonlinear passive elements in electrical circuits and systems. Monograph. Tashkent – "TDTU na-shriyoti" - 2020. 10.75 p.t.
14. Begmatov Sh.E., Kholbutaeva Kh.E., Idriskhodzhaeva M.U. Graph-analytical method for constructing static characteristics of a secondary power source. Eurasian Union of Scientists (ESU) (monthly scientific journal) No. 5 (62). 2019. - P. 36-39. DOI: 1031618ESU.2413-9335.2019.1.62.
15. Burkhanhodjaev O.M., Iksar E.V., Kholbutaeva H.E., Idriskhodjaeva M.U. Algorithm for calculating the minimum electrical power losses in an asynchronous traction motor of mainline locomotives. Proceedings of the international conference "Energy and resource saving: new research, technologies and innovative approaches". Karshi, September 24-25, 2021. Pp. 66-71.
16. Abdullaev B., Kholbutaeva H.E., Idriskhodjaeva M.U. Improving the signal quality in control units using a high-speed magnetic-transistor squarer. Journal "Innovations in the Oil and Gas Industry" No. 1/2022.
17. A.A. Alimov, H.E. Kholbutaeva, M.U. Idriskhodjaeva. Analysis of the basic circuit of ferroresonance-transistor parametric constant voltage stabilizers with a built-in functional converter. Journal of Energy and Natural Resources. Mahsus son (No. 84) 2023. Pp. 187-192.
18. Abdullaev B., Kh.E. Kholbutaeva, Idriskhodzhaeva M.U. Methodology for determining sources of device errors. Journal of Energy and Natural Resources 2022, No. 4. Pp. 51-56.
19. Begmatov S.; Dismukhamedova S.; Holbutaeva K. Study of ferro resonance using generalized models of Passive nonlinear elements. E3S Web of Conferences 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202021601115](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601115).
20. Burkhanhodjaev A., Iksar E., Idriskhodjayeva M.U. An algorithm for controlling a traction asynchronous drive that minimizes electrical power losses (2020) E3S Web of Conferences, 216,



№01107, 1) Document type: Conference Paper Publication stage: Final
Source: Scopus <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221167017&eid=2-s2.0-85098453474>.

21. Abidov K.G., Zaripov O.O., Idriskhodjayeva M.U., Khamudkhanova N.B., and others. Specific Features of Operating Pumping Units and the Tasks of Ensuring Energy-Saving Modes of Operation by Controlling Them. (AIP Conference Proceedings, 2552, 030022, 2022), <https://doi.org/10.1063/5.0112384>.

22. N. Khamudkhanova, M. Idriskhodjaeva, Kh. Kholbutayeva. E3S Web of Conf., 384, 01057, (2023), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401057>.

23. A. Burkhankhodjaev, B. Nurmatov and others. AIP Conference Proceedings, 2552, 030024, (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0133920>.

24. Akhmedov A.P., Khudoyberganov S.B., Idriskhodzhaeva M.U., Kholbutaeva H.E. Possibility of generating electricity by wind turbines in the Kashkadarya region of the Republic of Uzbekistan “Energy complex energy: trends and ecology” scientific-technical conference, Qarshi, 25-26 April 2024, pp. 192-198.

25. Idriskhodzhaeva M.U., Kholbutaeva H.E., Zainieva O.E. Energy efficiency in the use of an energy-saving device based on a controlled converter “Energy efficiency in the production of electricity: results and ecology” scientific journal, Qarshi, 25-26 April 2024, pp. 262-266.