



## MAGNITLOVCHI CHULG'AMLARI BO'YLAMA TARQOQ JOYLASHGAN DIFFERENSIAL MAGNIT ZANJIRLARINING MATEMATIK MODELLARI

Amirov Sulton Fayzullaevich<sup>1</sup>

Toshkent davlat transport universiteti "Elektr ta'minoti" kafedrasini mudiri professor texnika fanlari doktori,

Sharapov Shuxrat Azamatovich<sup>2</sup>

Toshkent davlat transport universiteti "Elektrotexnika" kafedrasini assistenti,

Sattorov Toshpo'lot Ahmad o'g'li<sup>3</sup>

Buxoro Muhandislik-texnologiyalari instituti, "Elektr mexanikasi va texnologiyalari" kafedrasini o'qituvchisi.

<https://www.doi.org/10.37547/ejar-v03-i02-p2-68>

### ARTICLE INFO

Received: 02<sup>nd</sup> February 2023

Accepted: 12<sup>th</sup> February 2023

Online: 13<sup>th</sup> February 2023

### KEY WORDS

Differensial transformator datchik, differensial magnit zanjiri, tarqoq parametrli zanjir, noxiziq magnit zanjiri, magnit oqimi, magnit sig'imi, ferromagnit material, magnitlanish xarakteristikasi, approksimatsiyalovchi funksiya, differensial tenglama.

### ABSTRACT

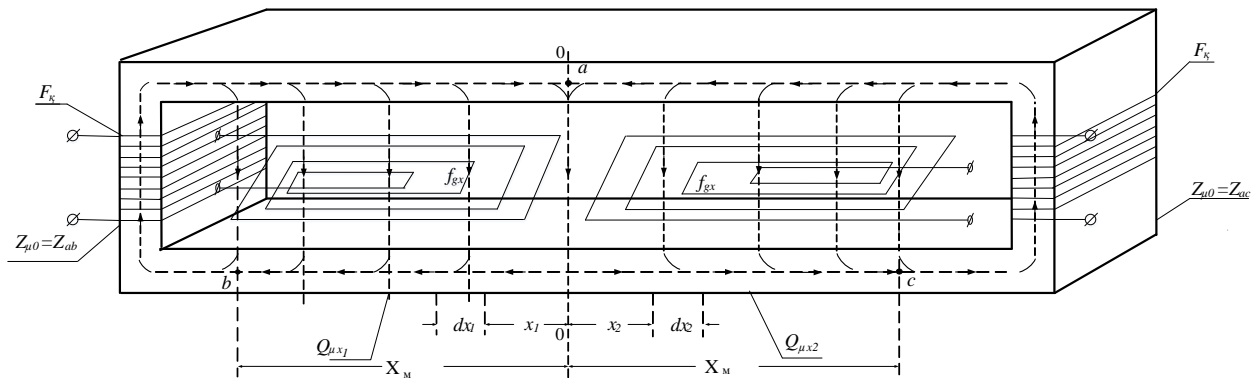
Ushbu maqolada siljishlarni o'lchashga mo'ljallangan sezgirligi butun o'lchash diapazonida yuqori va mo'tadil hamda statik xarakteristikasi chiziqli bo'lgan magnit zanjirlari oddiy va maxsus strukturaga ega bo'lgan ikkita differensial transformator datchigining noxiziq magnit zanjirlari tadqiq etilgan. Oddiy va maxsus strukturaga ega bo'lgan noxiziq differensial magnit zanjirlarida ishchi magnit oqimining zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishini ta'minlash uchun magnit o'tkazgich uzunligi bo'ylab ko'ndalang tarqoq holda o'ralgan qo'zg'atish chulg'amlari magnit yurituvchi kuch(MYuK)larini zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyatining ifodasi shu strukturadagi chiziqli magnit zanjiri magnit MYuKning qiymatining zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyati ifodasidan magnit zanjiridagi noxiziqlikni ifodalovchi koeffitsientlar hisobiga farq qilishi aniqlangan.

Turli xil texnologik jarayonlar avtomatik boshqarish tizimlarining elementi sifatida harakat (siljish, tezlik, tezlanish va vibratsiya) parametrlarini o'lchovchi differensial transformator datchik(DTD)lari keng qo'llaniladi [1].

Aksariyat ko'pchilik hollarda ushbu DTD lar statik xarakteristikalari chiziqli ko'rinishda bo'lishi talab etiladi [1]. Buning uchun esa DTD lar parametrlari tarqoq joylashgan differensial magnit zanjir(DMZ)larining uzunligi bo'ylab ishchi magnit oqimlarining taqsimlanishi chiziqli qonuniyat bilan o'zgarishini ta'minlash kerak bo'ladi [1].

Biz ushbu maqolada ishchi magnit oqimini DMZ uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishini ta'minlash maqsadida magnit o'tkazgich uzunligi bo'ylab ko'ndalang tarqoq holda o'ralgan qo'zg'atish chulg'amlari magnit yurituvchi kuch(MYuK)larini zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyatining analitik ifodalarini keltirib chiqaramiz, ya'ni ushbu holat uchun DMZ ning matematik modellarini ishlab chiqamiz.

$Z_{\mu px} = Z_{\mu p} = const; C_{\mu px} = C_{\mu p} = const; f_{rx} = 0$  bo'lgan oddiy strukturali, ya'ni magnit oqimlari va magnit kuchlanishlarining taqsimlanish qonuniyati xuddi ikkita simli elektr energiyasini uzatish va telegraf liniyalarida tok hamda kuchlanishlarni liniya uzunligi bo'ylab taqsimlanish qonuniyati singari bo'lgan tarqoq parametrlil DMZ da magnit oqimining zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishini ta'minlash imkonini beruvchi  $f_{gx} = var$  ning o'zgarish qonuniyatini aniqlaymiz.



1- rasm. Differensial magnit zanjirining konstruktiv sxemasi

1- rasmda keltirilgan oddiy taqsimlanish strukturasi ega bo'lgan magnit zanjiri chap yarim bo'lagining  $dx_1$  uzunlikdagi elementar qismi uchun Kirxgof qonunlari asosida quyidagi differensial tenglamalarni tuzamiz:

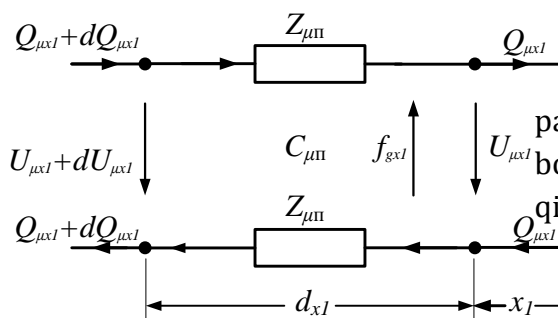
$$Q'_{\mu x1} = U_{\mu x1} C_{\mu p} - f_{gx1} C_{\mu p}, \quad (1) \quad U'_{\mu x1} = 2Z_{\mu p} Q_{\mu x1}, \quad (2)$$

bu yerda  $U_{\mu x1}, Q_{\mu x1}$  - mos ravishda DMZ chap yarmidagi ikkita uzun ferromagnit sterjenlar orasidagi magnit kuchlanish va ushbu sterjenlardagi magnit oqimi;  $Z_{\mu p}, C_{\mu p}$  - magnit zanjirining uzunlik birligiga to'g'ri keladigan uzun ferromagnit sterjenlar magnit qarshiligi va ular orasidagi havo oralig'i magnit sig'imining pogon (solishtirma) qiymatlari;  $f_{gx1}$  - ikkita uzun ferromagnit sterjenlar orasidagi havo oralig'ida bo'ylama ko'rinishida tarqoq joylashtirilgan qo'zg'atish chulg'ami MYuKining pogon qiymati.

Biz tadqiq etayotgan magnit zanjiridagi magnit oqimlari magnit zanjiri uzunligi bo'ylab chiziqli, ya'ni  $Q_{\mu x} = kx + b$  qonuniyat asosida taqsimlangan bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi lozim bo'ladi:

$$Q''_{\mu x1} = 0. \quad (3)$$

Magnit oqimi magnit zanjiri uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlangan bo'lishiga erishish uchun magnit zanjirining tarqoq parametrlaridan birining o'zgarish qonuniyatini (3) shart asosida aniqlash zarur bo'ladi.



2- rasm. Oddiy strukturali tarqoq parametrlil magnit zanjirining eng murakkab bo'lagi  $dx_1$  uzunlikdagi elementar qismlarining almashlash sxemalari



Bu holat uchun (3) shartni inobatga olgan holda (1) differensial tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\begin{aligned} Q''_{\mu x_1} &= C_{\mu p}(U_{\mu x_1} - f_{gx_1})' = 0, \\ (U_{\mu x_1} - f_{gx_1})' &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

(4) differensial tenglamani integrallab, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$U_{\mu x_1} - f_{gx_1} = A_1. \quad (5)$$

(2) tenglamadan hosila olib va natijaga (1) va (5) larni qo'yib, quyidagi differensial tenglamani hosil qilamiz:

$$U''_{\mu x_1} = 2Z_{\mu p}C_{\mu p}A_1. \quad (6)$$

(5) ni ikki karra integrallab, quyidagi funksiyani hosil qilamiz:

$$U_{\mu x_1} = Z_{\mu p}C_{\mu p}A_1x_1^2 + A_2x_1 + A_3. \quad (7)$$

Magnit oqimi:

$$Q_{\mu x_1} = \frac{1}{2Z_{\mu p}}U'_{\mu x_1} = C_{\mu p}A_1x_1 + \frac{A_2}{2Z_{\mu p}}. \quad (8)$$

Ko'ndalang va o'ramlari tarqoq joylashtirilgan qo'zg'atish chulg'ami MYuK pogon qiymati (5) tenglamadan topiladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$f_{gx_1} = Z_{\mu p}C_{\mu p}A_1x_1^2 + A_2x_1 + A_3 - A_1. \quad (9)$$

$A_1$ ,  $A_2$  va  $A_3$  integrallash doimiylari qiymatlarini topishda tadqiq etilayotgan magnit zanjiri uchun o'rinli bo'lgan quyidagi chegaraviy shartlardan foydalanamiz:

$$\begin{aligned} Q_{\mu x_1} \Big|_{x_1=0} &= \frac{A_2}{2Z_{\mu p}} = 0; \quad U_{\mu x_1} \Big|_{x_1=0} - f_{gx_1}(0) = A_1; \\ U_{\mu x_1} \Big|_{x_1=0} &= U_{\mu x_1}(0) = A_3. \end{aligned} \quad (10)$$

$f_{gx_1}(0)$  ning qiymati magnit zanjirining xususiyatlaridan kelib chiqqan holda tanlanadi va zanjir uchun berilgan parametr hisoblanadi. Biz  $f_{gx_1}(0) = 0$ , deb qabul qilamiz.

$U_{\mu x_1} \Big|_{x_1=0}$  ning qiymatini topishda esa, yuqorida amalga oshirilganidek, tadqiq etilayotgan magnit zanjirining berk konturi uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida tuzilgan quyidagi algebraik tenglamadan foydalanamiz:

$$F_q = Q_{\mu x_1} \Big|_{x_1=X_m} \cdot Z_{\mu 0} + 2Z_{\mu p} \int_0^{X_m} Q_{\mu x_1} dx_1 + U_{\mu x_1} \Big|_{x_1=0}. \quad (11)$$

bu yerda  $Z_{\mu 0}$  - DMZ chet qismlarining qarshiligi.

(11) tenglamaga  $Q_{\mu x_1}$  va  $U_{\mu x_1}$  larning  $x_1 = 0$  dagi qiymatlarini qo'yib, undan  $U_{\mu x_1}(0)$  ning quyidagi qiymatini topamiz:

$$U_{\mu x_1}(0) = \frac{F_q - f_{gx_1}(0)}{\Delta} + f_{gx_1}(0). \quad (12)$$

bu yerda  $\Delta = Z_{\mu 0}C_{\mu p}X_m + Z_{\mu p}C_{\mu p}X_m^2 + 1$

(11) ni (9) tenglamalarga qo'yib, ulardan  $A_1$ ,  $A_2$  va  $A_3$  integrallash doimiylari qiymatlarini topamiz, ularni (6)-(8) larga qo'yib esa, izlanayotgan kattaliklarning quyidagi yakuniy ifodalarini hosil qilamiz:



$$U_{\mu x_1} = \frac{F_q - f_{gx_1}(0)}{\Delta} (1 + Z_{\mu p} C_{\mu p} x_1^2) + f_{gx_1}(0), \quad (13)$$

$$Q_{\mu x_1} = C_{\mu p} \frac{F_q - f_{gx_1}(0)}{\Delta} x_1, \quad (14)$$

$$f_{gx_1} = Z_{\mu p} C_{\mu p} \frac{F_q - f_{gx_1}(0)}{\Delta} x_1^2 + f_{gx_1}(0). \quad (15)$$

Tadqiq etilayotgan DMZ ning o'ng yarmi uchun ham yuqorida keltirib chiqarilgan ifodalar hosil qilinadi va ular (13)- (15) lardan  $x_1$  o'rniga  $x_2$  yozilishi bilan farq qiladi, xolos.

Agar  $x_1 = x$  va  $x_2 = -x$ , deb olinsa, u holda oddiy strukturali DMZ uchun (15) funksiya quyidagicha yozilishi mumkin:

$$f_{gx} = Z_{\mu p} C_{\mu p} \frac{F_q - f_{gx}(0)}{\Delta_1} x^2 + f_{gx}(0). \quad (15)$$

Ko'pchilik hollarda, DTD lar sezgirligini oshirish maqsadida qo'zg'atish chulg'amlaridagi tok yoki ishchi magnit oqimlari yo'lidagi magnit sig'imlari qiymatlarini oshirish hisobiga magnit o'tkazgich magnit material asosiy magnitlanish egri chizig'ining to'g'ri chizikli qismidan uning to'yinish qismiga o'tib ketadi. Bunday hollarda DMZ lari noxiziq magnit zanjirlariga turkumiga mansub bo'lib, ularni hisoblashda ferromagnit materialning tajribada grafik ko'rinishda olingan asosiy magnitlanish egri chizig'i analitik funksiya yordamida ifodalash, ya'ni approksimatsiyalash zarurati tug'iladi.

Ma'lumki [7], ferromagnit materiallarning tajriba yo'li bilan olingan asosiy magnitlanish egri chizig'i magnit maydoni induksiyasi ( $B$ ) ning maydon kuchlanganligi ( $H$ ) ga quyidagi bog'lanishi ko'rinishida elektrotexnik ma'lumotnoma (spravochnik) larda beriladi:

$$B = f(H) = \mu \mu_0 H, \quad (16)$$

bu yerda  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , [ $H/m$ ] – magnit doimiysi.

Asosiy magnitlanish egri chizig'ini ikkita haddan tashkil topgan to'liqsiz polinom ko'rinishidagi approksimatsiyalovchi funksiyasi eng sodda va muhandislik hisoblashlarda yetarlicha aniqlikka ega bo'lib, u quyidagi ko'rinishda yoziladi :

$$H = pB + qB^3, \quad (17)$$

bu yerda  $p, q$  – approksimatsiya koeffitsientlari bo'lib, ularning qiymatlari magnitlanish egri chizig'i grafigidan eng kichik kvadratlar yoki tanlangan nuqtalar usullari yordamida topiladi [5].

(16) ni hisobga olib, (17) ni quyidagicha o'zgartiramiz:

$$\frac{H}{B} = \frac{1}{\mu \mu_0} = \rho_{\mu} (Q_{\mu x}) = p + qB^2 = p + q \frac{Q_{\mu x}^2}{S_{\mu}^2}, \quad (18)$$

bu yerda  $\rho_{\mu}$  – ferromagnit materialning solishtirma magnit qarshiligi, [ $m/H$ ];  $S_{\mu}, Q_{\mu x}$  – mos ravishda uzun ferromagnit sterjen kesimi yuzasi va undagi magnit oqimi, [ $m^2$ ]; [ $Wb$ ].

(18) ni ferromagnit materialdan yasalgan magnit o'tkazgich magnit qarshiligining pogon qiymati va noxiziq magnit zanjiri tarkibidagi ferromagnit tutashtirgichning magnit qarshiligi ifodalariga qo'yib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$Z_{\mu p} (Q_{\mu x}) = \rho_{\mu} (Q_{\mu x}) \frac{1}{S_{\mu}} = p \frac{1}{S_{\mu}} + q \frac{1}{S_{\mu}^3} Q_{\mu x}^2 = a_1 + a_2 Q_{\mu x}^2, \quad (19)$$

$$Z_{\mu 0} (Q_{\mu x_1}) = \rho_{\mu} (Q_{\mu x_1}) \frac{l_{\mu 0}}{S_{\mu}} = p \frac{l_{\mu 0}}{S_{\mu}} + q \frac{l_{\mu 0}}{S_{\mu}^3} Q_{\mu x_1}^2 = a_3 + a_4 Q_{\mu x_1}^2. \quad (20)$$

(10) ga  $Z_{\mu 0} (Q_{\mu x_1})$  va  $Z_{\mu p} (Q_{\mu x_1})$  lar qiymatlarini hamda  $Q_{\mu x_1}$  va  $U_{\mu x_1}$  larning chegaraviy qiymatlarini qo'yib,  $A_1$  ga nisbatan quyidagi kubik algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$S_{\mu p}^3 X_m^3 \left( a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m \right) A_1^3 + [C_{\mu p} X_m (a_3 + a_1 X_m) + 1] A_1 - F_q = 0. \quad (21)$$

(21) tenglamani Kardano formulasi yordamida yechib,  $A_1$  ning quyidagi qiymatini hosil qilamiz [8]:

$$A_1 = \sqrt[3]{-\frac{d}{2} + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{d}{2} - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{3}\right)^3}}, \quad (22)$$

bu yerda  $c = \frac{1 + C_{\mu p} a_3 X_m + C_{\mu p} a_1 X_m^2}{C_{\mu p 0} X_m^3 (a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m)}$ ,  $d = -\frac{F_q}{C_{\mu p 0} X_m^3 (a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m)}$ .

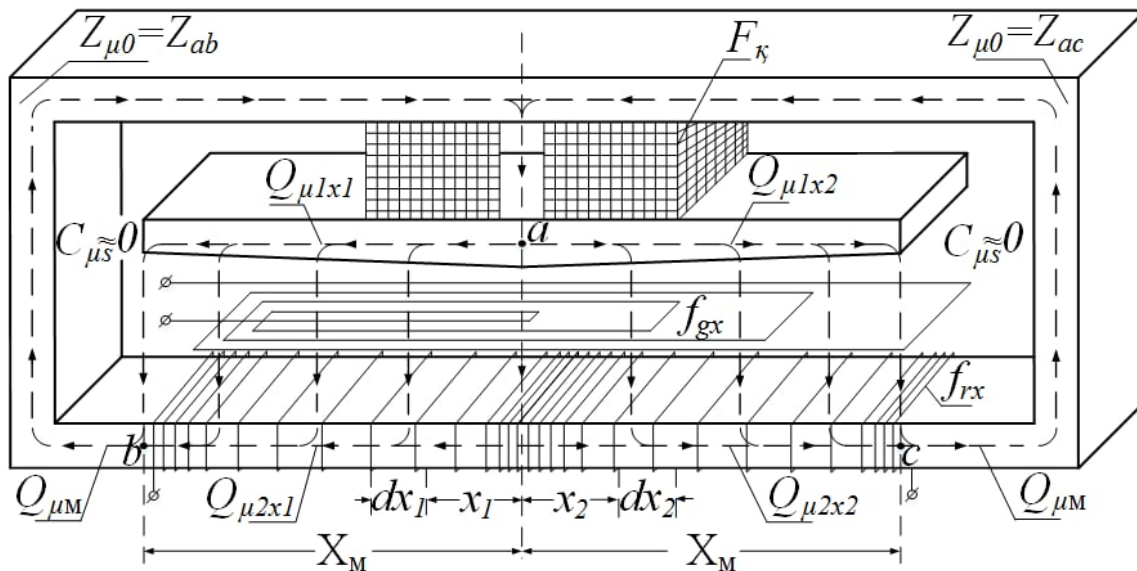
$A_3$  ni topishda (10) shartdan va (12) tenglamadan foydalanamiz.

$f_{gx1}$  - qiymatini topishda (21) tenglama o'rniga quyidagi va (9) chegaraviy shartdan foydalanildi.

Keltirib chiqarilgan (12), (13) va (14) ifodalarning to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun tenglamalardagi magnit zanjiri noxiziqiligini ifodalovchi  $a_2$  va  $a_4$  koeffitsientlarni nolga teng hamda  $a_1 = Z_{\mu p}$  va  $a_3 = Z_{\mu 0}$  ekanligi inobatga olinsa, (12), (13) va (14) ifodalar shu rusumdagi chiziqli magnit zanjirlari uchun hosil qilingan ifoda va tenglamalarga aylanadi. Xususan, chiziqli magnit zanjiri uchun uning chap va o'ng yarmidagi bo'ylama va tarqoq joylashgan chulg'amlar mos ravishdagi MYuK larining ( $f_{gx}$ , [A]) pogon (solishtirma) qiymatlarining zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

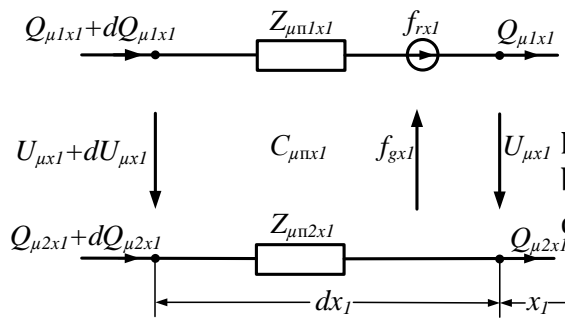
$$f_{gx1} = a_1 C_{\mu p} A_1 x_1^2 + a_2 S_{\mu p}^3 A_1^3 x_1^4 \quad (23)$$

$Z_{\mu p x} = Z_{\mu p} = const$ ;  $C_{\mu p x} = C_{\mu p} = const$ ;  $f_{rx} = 0$  bo'lgan tarqoq parametrlil maxsus strukturali DMZ da magnit oqimining zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishini ta'minlash imkonini beruvchi  $f_{gx} = var$  ning o'zgarish qonuniyatini aniqlaymiz.



3- rasm. Maxsus taqsimlanish strukturasi ega bo'lgan tarqoq parametrlil differensial magnit zanjirining konstruktiv sxemasi

Endi maxsus strukturali (3- rasm) magnit zanjirining differensial tenglama ko'rinishidagi matematik modelini hosil qilish maqsadida uning  $dx_1$  uzunlikdagi elementar qismi (4- rasm) uchun Kirxgof qonunlari asosida quyidagi differensial teng



4- rasm. Maxsus strukturali tarqoq parametrli magnit zanjirining eng murakkab bo'lagi  $dx_1$  uzunlikdagi elementar qismlarining almashlash sxemalari

lamalarni tuzamiz:

$$Q'_{\mu 1x1} = U_{\mu x1} C_{\mu px1} - f_{gx1} C_{\mu px1}, \quad (24)$$

$$Q'_{\mu 2x1} = -U_{\mu x1} C_{\mu px1} + f_{gx1} C_{\mu px1}, \quad (25)$$

$$U'_{\mu x1} = (Z_{\mu p1x1} Q_{\mu 1x1} - Z_{\mu p2x1} Q_{\mu 2x1}) - f_{rx1}. \quad (26)$$

Tadqiq etilayotgan magnit zanjiri uchun quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi

$$Q_{\mu 1x1} + Q_{\mu 2x1} = Q_{\mu m}, \quad (27)$$

bu yerda  $Q_{\mu m}$  - magnit oqimining maksimal qiymati

(24) dan hosila olib, natijaga (27) ni inobatga olgan holda (26) qo'yib, tadqiq etilayotgan magnit zanjirining o'rta ferromagnit sterjendagi magnit oqimi orqali yozilgan quyidagi ikkinchi tartibli, o'zgaruvchan koeffitsientli va bir jinsli bo'lmagan chiziqli differensial tenglama ko'rinishidagi matematik modelini hosil qilamiz:

$$Q''_{\mu 1x1} - \frac{C'_{\mu px1}}{C_{\mu px1}} Q'_{\mu 1x1} - Z_{\mu px1} C_{\mu px1} Q_{\mu 1x1} = C_{\mu px1} [Z_{\mu 2px1} Q_{\mu m} + f'_{gx1} + f_{rx1}], \quad (28)$$

bu yerda  $Z_{\mu px1} = Z_{\mu p1x1} + Z_{\mu p2x1}$ .

Hosil qilingan (28) differensial tenglamalar maxsus strukturali tarqoq parametrli magnit zanjirlarining differensial tenglamalar ko'rinishidagi matematik modellari hisoblanadi. Ularning tahlili shuni ko'rsatadiki, magnit oqimi va magnit kuchlanishining zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyati undagi tarqoq parametrlarning o'zgarish qonuniyatiga bog'liq bo'ladi.

$Z_{\mu px} = Z_{\mu p} = const$ ;  $C_{\mu px} = C_{\mu p} = const$ ;  $f_{rx} = 0$  bo'lgan tarqoq parametrli maxsus strukturali DMZ da magnit oqimining zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishini ta'minlash imkonini beruvchi  $f_{gx} = var$  ning o'zgarish qonuniyatini aniqlaymiz. Bu holat uchun (3) shartni inobatga olgan holda (28) differensial tenglamaning umumiy yechimlari oddiy strukturali DMZ uchun hosil qilingan (7) va (9) ifodalar bilan bir hil ko'rinishda bo'ladi.

(26) dan  $Q_{\mu 1x1}$  ni topib hamda (27) ni inobatga olib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$Q_{\mu 1x1} = \frac{1}{2Z_{\mu p}} U'_{\mu x1} + \frac{1}{2} Q_{\mu m} = C_{\mu p} A_1 x_1 + \frac{1}{2Z_{\mu p}} A_2 + \frac{1}{2} Q_{\mu m}. \quad (29)$$

$A_1$  va  $A_2$  larni ushbu zanjir uchun o'rinli bo'lgan quyidagi chegaraviy shartlardan foydalanib topamiz:

$$Q_{\mu 1x1} \Big|_{x_1=0} = \frac{1}{2Z_{\mu p}} A_2 + \frac{1}{2} Q_{\mu m} = Q_{\mu m}; \quad f_{gx1} \Big|_{x_1=0} = -A_1 + A_3 = f_{gx1}(0);$$



$$Q_{\mu 1 x_1} \Big|_{x_1 = X_m} = C_{\mu p} A_1 X_m + \frac{1}{2 Z_{\mu p}} A_2 + \frac{1}{2} Q_{\mu m} = 0. \quad (30)$$

$$A_1 = -\frac{Q_{\mu m}}{C_{\mu p} X_m}; A_2 = Z_{\mu p} Q_{\mu m}; A_3 = f_{g x_1}(0) - \frac{Q_{\mu m}}{C_{\mu p} X_m}, \quad (31)$$

bu yerda  $f_{g x_1}(0)$ - ko'ndalang chulg'am MYuK pogon qiymatining  $x_1 = 0$  dagi qiymati bo'lib, u berilgan hisoblanadi.

$A_1$  va  $A_2$  larning topilgan qiymatlarini (7), (9) va (29) larga qo'yib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$U_{\mu x_1} = -\frac{Z_{\mu p} Q_{\mu m}}{X_m} x_1^2 + Z_{\mu p} Q_{\mu m} x_1 - \frac{Q_{\mu m}}{C_{\mu p} X_m} + f_{g x_1}(0), \quad (32)$$

$$f_{g x_1} = -\frac{Z_{\mu p} Q_{\mu m}}{X_m} x_1^2 + Z_{\mu p} Q_{\mu m} x_1 + f_{g x_1}(0), \quad (33)$$

$$Q_{\mu 1 x_1} = Q_{\mu m} \left(1 - \frac{x_1}{X_m}\right). \quad (34)$$

$Q_{\mu 2 x}$  ning qiymati esa:

$$Q_{\mu 2 x_1} = Q_{\mu m} \frac{x_1}{X_m}. \quad (35)$$

$Q_{\mu m}$  qiymatini topishda tadqiq etilayotgan zanjir berk konturi uchun Kirxgofning ikkinchi qonuni asosida tuzilgan quyidagi tenglamadan foydalanamiz:

$$F_q = Z_{\mu 0} Q_{\mu m} + Z_{\mu p} \int_0^{X_m} Q_{\mu 2 x_1} dx_1 + U_{\mu x_1} \Big|_{x_1 = 0}. \quad (36)$$

ga  $Z_{\mu 0}(Q_{\mu m})$  va  $Z_{\mu p}(Q_{\mu m})$  lar qiymatlarini hamda  $Q_{\mu 2 x_1}$  va  $U_{\mu x_1}$  larning chegaraviy qiymatlarini qo'yib,  $Q_{\mu m}$  ga nisbatan quyidagi kubik algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$C_{\mu p} X_m \left(a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m\right) Q_{\mu m}^3 + \left[C_{\mu p} X_m \left(a_3 + \frac{1}{2} a_1 X_m\right) - 1\right] Q_{\mu m} + C_{\mu p} X_m (f_{g x_1}(0) - F_q) = 0. \quad (37)$$

(21) tenglamani Kardano formulasi yordamida yechib,  $Q_{\mu m}$  ning quyidagi qiymatini hosil qilamiz [8]:

$$Q_{\mu m} = \sqrt[3]{-\frac{d}{2} + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{3}\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{d}{2} - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{3}\right)^3}}, \quad (38)$$

$$\text{bu yerda } c = \frac{C_{\mu p} X_m (a_3 + \frac{1}{2} a_1 X_m) - 1}{C_{\mu p} X_m (a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m)}; d = \frac{f_{g x_1}(0) - F_q}{a_4 + \frac{1}{2} a_2 X_m}.$$

Keltirib chiqarilgan (32), (33) va (44) ifodalarning to'g'riligiga ishonch hosil qilish uchun tenglamalardagi magnit zanjiri nochiqliqligini ifodalovchi  $a_2$  va  $a_4$  koeffitsientlarni nolga teng hamda  $a_1 = Z_{\mu p}$  va  $a_3 = Z_{\mu 0}$  ekanligi inobatga olinsa, (32), (33) va (34) ifodalar shu rusumdagi chiziqli magnit zanjirlari uchun hosil qilingan ifoda va tenglamalarga aylanadi. Xususan, chiziqli magnit zanjiri uchun uning chap va o'ng yarmidagi bo'ylama va tarqoq joylashgan chulg'amlar mos ravishdagi MYuK larining ( $f_{g x}$ , [A]) pogon (solishtirma) qiymatlarining zanjir uzunligi bo'ylab o'zgarish qonuniyati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

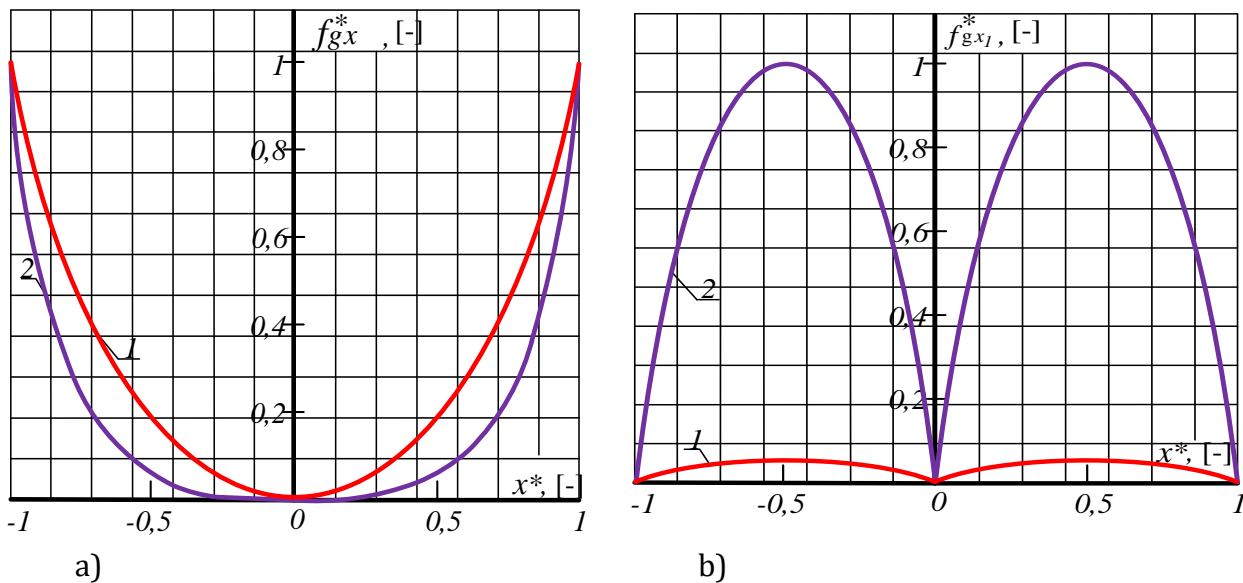
$$f_{g x_1} = a_1 C_{\mu p} A_1 x_1^2 + a_2 S_{\mu p}^3 A_{1_1}^3 x_1^4 \quad (23)$$

Yuqorida keltirilgan ikkala DTD ning yasalgan tajriba nusxalarida  $X_m = 0,05 \text{ m}$ ;  $b = 0,02 \text{ m}$ ;  $h = 0,005 \text{ m}$ ;  $\delta_{min} = 0,01 \text{ m}$ ;  $-0,05 \text{ m} \leq x_1 \leq 0,05 \text{ m}$  bo'lib, 155 markali elektrotexnik po'lat materialning tajriba yo'li bilan olingan asosiy magnitlanish egri chizig'i  $H = pB + qB^3$  ko'rinishdagi to'liqsiz polinom orqali approksimatsiya qilinganda eng kichik

kvadratlar usuli yordamida hisoblab topilgan approksimatsiya koeffitsientlari mos ravishda  $p = 64,82 [A/m]$  va  $q = 393,86 [A/(T^3 \cdot m)]$  tashkil etdi.

DTD lar magnit zanjirlari chiziqli zanjirlar deb qaralib hisoblanganda, ulardagi ferromagnit materialning solishtirma magnit qarshiligi(material nisbiy magnit singdiruvchanligi)ning qiymati, odatda, magnit o'tkazgichdagi induksiyaning o'zgarish diapazonidagi o'rtacha qiymati  $\rho_{\mu o'r} = \frac{1}{2}(\rho_{\mu min} + \rho_{\mu max})$  yoki  $(\mu_{o'r} = \frac{1}{2}(\mu_{boshl.} + \mu_{oxir.}))$  olinadi [3]. Bu bilan magnit zanjiridagi nochiziqlik ma'lum darajada hisobga olinadi. 155 markali po'lat uchun magnit induksiyasi  $0,4 \div 1,5 T$  diapazonda o'zgarganda  $\rho_{\mu min} = 240 [m/A]$ ,  $\rho_{\mu max} = 2566,7 [m/A]$  va  $\rho_{\mu o'r} = 1403,4 [m/A]$  hamda  $\mu_{boshl.} = 3300$ ,  $\mu_{oxir.} = 310$  va  $\mu_{o'r} = 1805$  larni tashkil etadi.

Ferromagnit materialning yuqorida keltirilgan ma'lumotlari asosida (15) va (23) bo'yicha qurilgan  $f_{gx} = f(x)$  funksiya grafiklari 3- rasmda keltirilgan. (15) va (22) funksiyalar va ular grafiklarining tahlili shuni ko'rsatadiki, bu zanjirda bo'ylama magnit yurituvchi kuchning zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli yoki nochiziqli taqsimlanishi, magnit zanjirini magnitlanish darajasini ifodalovchi koeffitsientlarning qiymatiga bog'liqligini va shu koeffitsientlar hisobiga farq qilishini ko'rsatdi.



5- rasm. Oddiy (a) va maxsus (b) strukturalarga ega bo'lgan nochiziq DMZ lar uchun  $f_{gx}^* = f(x^*)$  funksiya grafiklari: 1 - chiziqli magnit zanjiri uchun; 2 - nochiziq magnit zanjiri uchun, bu yerda  $f_{gx}^* = f_{gx}/f_{max}$ ;  $x^* = x/X_m$ .

Shunday qilib, ushbu maqolada magnit zanjirdagi bo'ylama magnit yurituvchi kuchining uzunligi bo'ylab chiziqli yoki nochiziqli taqsimlanishi ifodalovchi matamatik modelari tadqiq etildi. Unga ko'ra Oddiy va maxsus strukturaga ega bo'lgan nochiziq differensial magnit zanjirlarida ishchi magnit yurituvchi kuchi zanjir uzunligi bo'ylab chiziqli taqsimlanishiga nisbattan ularni ifodalovchi koeffitsientlar hisobiga farq qilishi aniqlandi.





## References:

1. Yusupbekov N.R., Igamberdiev X.Z., Malikov A.V. Основы автоматизации технологических процессов: Учебное пособие для высшего и среднего специального образования. В 2-х ч. – Ташкент: TGTU, 2007. ч.1, 2. – 152 с., 173 с.
2. Amirov S.F., Sharapov Sh.A. Mathematical models of transformer sensors of large linear displacements of increased sensitivity // International scientific and technical journal «Shemical technology. Sontrol and management», Tashkent, 2022, №6, pp 18-29.
3. Konyuxov N.E., Mednikov F.M., Nechaevskiy M.L. Elektromagnitnye datchiki mexanicheskix velichin. – Moskva: Mashinostroenie, 1987. – 256 s.
4. Zaripov M.F. Preobrazovateli s raspredelennymi parametrami dlya av-tomatiki i informatsionno-izmeritelnoy texniki. Moskva, Energiya, 1969, 177s.
5. Bedriskiy I.M. Sravnitelnyy analiz analiticheskix vyrazeniy dlya approksimatsii krivyx namagnichivaniya elektrotexnicheskix staley // Elektriya. – Moskva, 2011. – №7. – S. 38-40.
6. Yuldashev N.R. Nazorat va boshqaruv tizimlari uchun burchak siljishlari farqini o'lchovchi transformator o'zgartirgichlar: dissertatsiya (PhD). Toshkent, TDTU, 2022. – 177 b.
7. Elektrotexnicheskii spravochnik: v 4-x t – 10-ye izd., stereotip. / pod red. V.G. Gerasimova i dr.–Moskva: Izdatelskiy dom MEI, 2009. – T.1 – 963 s.
8. Bronshteyn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya injenerov i uchashixsya vtuzov. Izd.,13-e, ispravlennoe – Moskva: Nauka. Gl. red. Fiz.–mat. lit., 1986. – 544 s.
9. Amirov S.F., Sulliev A.X., Sharapov Sh.A. Matematicheskie modeli magnitnyx sepey biparametricheskix rezonansnyx datchikov // Jurnal «Vestnik TashIIT». – Tashkent, 2010.– №2. – S.53-57.