

МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ МАХСУС СТРУКТУРАЛИ БЎЛГАН ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТРАНСФОРМАТОР ДАТЧИКЛАР МАГНИТ ОҚИМЛАРИ ТАҚСИМЛАНИШ ЧИЗИҚЛИЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ

АМИРОВ С.Ф., ШАРОПОВ Ш.А.

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

Аннотация. Мақолада силжишларни ўлчовчи дифференциал трансформатор датчиклар махсус структурали тарқоқ параметрли дифференциал магнит занжирларидаги магнит оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имкониятини берувчи иккита узун ферромагнит ўзак орасидаги ҳаво оралигининг магнит сизими, занжир бўйлаб бўйлама ва кўндаланг тарқоқ жойлашган қўзғатиш чулғамлари магнит юритувчи кучларининг погон(солиштирма) қийматларининг магнит занжири узунлиги бўйлаб ўзгаришининг аналитик ифодалари келтириб чиқарилган. Ушбу аналитик ифодаларга кўра таклиф этилган махсус структурага эга бўлган дифференциал магнит занжирлар таҳлили асосида иккита узун ферромагнит ўзак орасидаги ҳаво оралиги магнит сизимининг погон қийматини занжир узунлиги бўйлаб ўзгартириш ҳисобига магнит оқими қийматининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имконияти юзага келадиган магнит занжирининг конструкцияси технологик жиҳатдан нисбатан содда ҳамда ортиқча рангли металл (мис) талаб этмаслиги аниқланган.

Калит сўзлар: дифференциал трансформатор датчик, дифференциал магнит занжири; махсус структурали магнит занжири; тарқоқ параметрли занжирлар; магнит юритувчи куч; магнит қаришилиги; магнит сизими, бўйлама ва кўндаланг чулғамлар, магнит оқими; магнит кучланиши; чизиқли тақсимланиш.

Силжишларни ўлчовчи дифференциал трансформатор датчик(ДТД)лар магнит занжирлари тарқоқ параметрли занжирлар туркумига мансуб бўлиб,

уларнинг тарқоқ магнит параметрларига магнит занжирининг узунлик (бурчак) бирлигига тўғри келадиган узун ферромагнит стерженлар ёки халқасимон ферромагнит ўзаклар магнит қаршиликлари ($Z_{\mu\pi x}, [1/H \cdot m]$), улар орасидаги ҳаво оралиғининг ($C_{\mu\pi x}, [H \cdot m^{-1}]$) магнит сиғими ($C_{\mu\pi x}, [H \cdot m^{-1}]$), бўйлама ва кўндаланг тарқоқ жойлашган чулғамлар мос равишдаги МЮК ларининг ($f_{rx}, [A \cdot m^{-1}]$) ва ($f_{gx}, [A]$) погон (солиштира) қийматлари киради [1,2].

Тарқоқ параметрли магнит занжирларига эга бўлган электромагнит датчикларда занжирларнинг ишчи қисмида магнит оқимларининг тақсимланиш қонуниятига кўра магнит занжирлари асосан қуйидаги иккита туркумга бўлинади [3,4]: 1) магнит оқимлари оддий тақсимланиш структурасига эга бўлган (худди иккита симли электр энергиясини узатиш ва телеграф линияларида ток ҳамда кучланишларни линия узунлиги бўйлаб тақсимланиш қонуниятини сингари) магнит занжирлари; 2) магнит оқимларининг магнит занжири бўйлаб бирлашиш йўли бир хил бўлган махсус структурали магнит занжирлари.

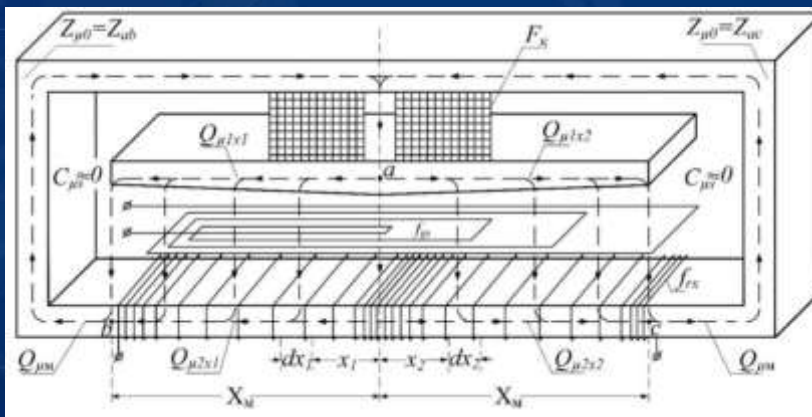
Тарқоқ параметрли магнит занжирларни ташкил этувчи узун ферромагнит стерженларга эга бўлган электромагнит датчикларда, шу жумладан, ДТД ларда ушбу стерженлар магнит қаршиликларининг магнит оқимлари тақсимланишига таъсири туфайли улар ўлчаш диапазони бўйлаб нозик тақсимланади [5]. Бу ҳолат ДТД ларнинг статик характеристикалари нозик кўринишда, сезгирликларининг эса ўлчаш диапазони бўйлаб ўзгарувчан бўлишига ҳамда аниқликнинг пасайишига сабабчи бўлади.

Ушбу мақолада параметрлари ва ишчи магнит оқимлари махсус структура бўйича тақсимланган дифференциал магнит занжир(ДМЗ)лари оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб тақсимланиш қонуниятини чизикли бўлишини таъминловчи усулларни ишлаб чиқиш масаласини кўриб чиқамиз (1- расм).

Маълумки [6], тарқоқ параметрли занжирларда юз берадиган электромагнит жараёнларни тадқиқ этиш учун ушбу занжирларни тавсифловчи катталиклар(хусусан, магнит занжирлари учун магнит оқими $Q_{\mu x}$ ва магнит

кучланиши $U_{\mu x}$)ни занжир узунлиги бўйлаб ўзгариш қонуниятларини аниқлаш зарур бўлади. Буни амалга оширишда, кўпинча, тадқиқ этилаётган тарқок параметрли занжирлар учун Кирхгоф қонунлари асосида дифференциал тенгламаларни тузиш ва ечишга асосланган классик усулдан кенг фойдаланилади [7,8].

Ҳисоблашларни бирмунча соддалаштириш мақсадида ушбу туркум занжирларни назарий тадқиқ этишда одатда қабул қилинадиган қуйидаги чекловларни киритамиз [3]: 1) магнит занжири чизиқли, яъни занжир ферромагнит материал асосий магнитланиш эгри чизиғининг тўғри чизиқли қисмида ишлайди; 2) сочилган магнит оқимларини ҳисоблашларда инобатга олмаймиз; 3) йиғиқ ҳолда жойлаштирилган чулғамлар бўйлама ўлчамларини ҳам ҳисобга олмаймиз. Бу чекловлар ҳисоблашлар аниқлигига сезиларли таъсир этмаса-да, аммо занжирлар таҳлилини анча осонлаштиради.



1- расм. Махсус структурали тарқок параметрли дифференциал магнит занжирининг энг мураккаб бўлаги

ДМЗ да унинг чап ва ўнг ярим қисмлари занжирнинг ўрта кесимига нисбатан симметрик бўлганлиги сабабли таҳлилни унинг битта (масалан, чап) ярим қисми учун амалга ошириш етарли бўлади [4].

1- расмда келтирилган махсус структурали магнит занжирининг dx_1 узунликдаги элементар қисми учун Кирхгоф қонунлари асосида қуйидаги дифференциал тенгламаларни тузамиз (2- расм) [7]:

$$Q_{\mu 1 x 1}+d Q_{\mu 1 x 1}-U_{\mu x 1} C_{\mu \mu x 1} d x_1+f_{g x 1} C_{\mu \mu x 1} d x_1-Q_{\mu 1 x 1}=0 \quad \text { ёки }$$

$$Q'_{\mu 1 x 1}=U_{\mu x 1} C_{\mu \mu x 1}-f_{g x 1} C_{\mu \mu x 1}, \quad (1)$$

$$-U_{\mu x1} - dU_{\mu x1} + Z_{\mu \pi 1 x1} Q_{\mu 1 x1} dx_1 + U_{\mu 1 x1} - Z_{\mu \pi 2 x1} Q_{\mu 2 x1} dx_1 = f_{rx1} dx_1 \quad \text{ёки}$$

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

Тадқиқ этилаётган магнит занжири учун қуйидаги тенглик ўринли бўлади.

$$Q_{\mu 1 x1} + Q_{\mu 2 x1} = Q_{\mu \mu}, \quad (3)$$

бу ерда $Q_{\mu \mu}$ – ДМЖ ярмидаги магнит оқимининг максимал қиймати.

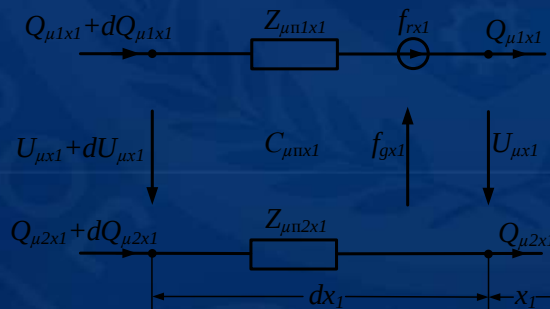
(1) тенгламадан $U_{\mu x1}$ магнит кучланишни ва (3) ифодани инобатга олган ҳолда (2) дан $Q_{\mu 1 x1}$ магнит оқимини қуйидагича топамиз:

$$U_{\mu x1} = \frac{Q'_{\mu 1 x1}}{C_{\mu \pi x1}} + f_{gx1}. \quad (4) \quad Q_{\mu 1 x1} = \frac{U'_{\mu x1}}{Z_{\mu \pi x1}} + \frac{Z_{\mu \pi 2 x1} Q_{\mu \mu}}{Z_{\mu \pi x1}} + \frac{f_{gx1}}{Z_{\mu \pi x1}}. \quad (5)$$

бу ерда $Z_{\mu \pi x1} = Z_{\mu \pi 1 x1} + Z_{\mu \pi 2 x1}$.

(1) тенгламанинг икки томонидан x координата бўйича ҳосила олиб, ҳосил бўлган тенгламага (2) ва (4) ларни қўйиб, магнит оқимиға нисбатан иккинчи тартибли бир жинсли бўлмаган ўзгарувчан коэффициентли қуйидаги дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз [3,4]:

$$Q''_{\mu 1 x1} - C'_{\mu \pi x1} Q'_{\mu 1 x1} / C_{\mu \pi x1} - Z_{\mu \pi x1} C_{\mu \pi x1} Q_{\mu 1 x1} = C_{\mu \pi x1} (Z_{\mu 2 \pi x1} Q_{\mu \mu} + f'_{gx1} + f_{rx1}). \quad (6)$$



2- расм. Махсус структурали тарқоқ параметрли магнит занжирининг dx_1 узунликдаги элементар қисмининг алмашлаш схемаси

Энди (2) дан ҳосила олиб, натижага (1) ва (5) ларни қўйиб, магнит кучланишиға нисбатан иккинчи тартибли бир жинсли бўлмаган ўзгарувчан коэффициентли қуйидаги дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз:

$$U''_{\mu x1} - Z'_{\mu \pi x1} U'_{\mu x1} / Z_{\mu \pi x1} - Z_{\mu \pi x1} C_{\mu \pi x1} U_{\mu x1} = \\ = (Z'_{\mu \pi x1} Z_{\mu \pi 2 x1} / Z_{\mu \pi x1} - Z'_{\mu \pi 2 x1}) Q_{\mu \mu} + Z'_{\mu \pi x1} f_{rx1} / Z_{\mu \pi x1} - Z_{\mu \pi x1} C_{\mu \pi x1} f_{gx1} - f'_{rx1} \quad (7)$$

Ҳосил қилинган (6) ва (7) дифференциал тенгламалар таҳлили шуни кўрсатадики, тарқоқ параметрли магнит занжиридаги магнит оқими ва магнит кучланишининг занжир узунлиги бўйлаб ўзгариш қонуниятини ундаги тарқоқ параметрларнинг ўзгариш қонуниятига боғлиқ бўлади.

ДМЖ ларининг магнит оқимлари магнит занжири узунлиги бўйлаб чизиқли, яъни $Q_{\mu x} = kx + b$ қонуният асосида тақсимланган бўлиши учун қуйидаги шарт $Q''_{\mu x} = 0$ (8) бажарилиши лозим бўлади [8]:

Демак, магнит оқими магнит занжири узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланган бўлишига эришиш учун магнит занжири тарқоқ параметрларининг ўзгариш қонуниятини (8) шарт асосида аниқлаш зарур бўлади.

1. $Z_{\mu 1x} = Z_{\mu 2x} = Z_{\mu p} = \text{const}$, $f_{rx} = 0$; $f_{gx} = 0$ бўлган махсус структурали тарқоқ параметрли ДМЗ да магнит оқимининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланишини таъминлаш имконини берувчи $C_{\mu px} = \text{var}$ нинг ўзгариш қонуниятини аниқлаймиз. Бу ҳолат учун (8) шартни инобатга олган ҳолда (6) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$Q''_{\mu 1x1} = (U_{\mu x1} C_{\mu px1})' = 0 \quad (9)$$

(9) дифференциал тенгламани интеграллаб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$U_{\mu x1} C_{\mu px1} = A_1. \quad (10)$$

Кўрилатган магнит занжири учун (1) ва (2) тенгламаларни (3) тенгламани инобатга олган ҳолда қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Q'_{\mu x1} = U_{\mu x1} C_{\mu px1}, \quad (11) \quad U'_{\mu x1} = 2Z_{\mu p} Q_{\mu 1x1} - Z_{\mu p} Q_{\mu m} \quad (12)$$

(12) тенглама икки томонидан ҳосила олиб, ҳосил бўлган тенгламага (10) ва (11) ларни қўйиб, қуйидаги дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз:

$$U''_{\mu x1} = 2Z_{\mu p} A_1. \quad (13)$$

Агар (13) тенглама кетма-кет икки марта интегралланса, у ҳолда қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$U_{\mu x1} = Z_{\mu\mu} A_1 x_1^2 + A_2 x_1 + A_3. \quad (14)$$

Махсус структурали ДМЗ учун (2), (3) ва (14) лар асосида топилган $Q_{\mu 1x1}$ ва $Q_{\mu 2x1}$ магнит оқимлари қуйидагига тенг бўлади:

$$Q_{\mu 1x1} = A_1 x_1 + \frac{A_2}{2Z_{\mu\mu}} + \frac{Q_{\mu\mu}}{2}, \quad (15) \quad Q_{\mu 2x1} = -A_1 x_1 - \frac{A_2}{2Z_{\mu\mu}} + \frac{Q_{\mu\mu}}{2}. \quad (16)$$

Ишчи ҳаво оралиғи магнит сиғимининг магнит занжири узунлиги бўйича погон қиймати (10) ва (14) лар асосида қуйидагича топилади:

$$C_{\mu\mu x1} = A_1 / (Z_{\mu\mu} A_1 x_1^2 + A_2 x_1 + A_3). \quad (17)$$

A_1 , A_2 ва A_3 интеграллаш доимийлари қийматларини топишда тадқиқ этилаётган магнит занжири учун ўринли бўлган қуйидаги чегаравий шартлардан фойдаланамиз:

$$Q_{\mu x1=0} = Q_{\mu\mu}; \quad C_{\mu\mu x1=0} = C_{\mu\mu 0} = A_1 / A_3; \quad Q_{\mu x1=X_M} = 0. \quad (18)$$

A_1 , A_2 ва A_3 ларнинг топилган қийматларини (14), (15) ва (16) ларга қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$Q_{\mu 1x1} = Q_{\mu\mu} x_1 / X_M. \quad (19) \quad Q_{\mu 2x1} = Q_{\mu\mu} (1 - x_1 / X_M). \quad (20)$$

$$U_{\mu x1} = Q_{\mu\mu} (Z_{\mu\mu} C_{\mu\mu 0} x_1^2 - Z_{\mu\mu} C_{\mu\mu 0} X_M x_1 + 1) / C_{\mu\mu 0} X_M \quad (21)$$

$$C_{\mu\mu x1} = C_{\mu\mu 0} / (Z_{\mu\mu} C_{\mu\mu 0} x_1^2 - Z_{\mu\mu} C_{\mu\mu 0} X_M x_1 + 1). \quad (22)$$

Айтиб ўтиш жоизки, $C_{\mu\mu 0}$ нинг қиймати магнит занжирининг хусусиятларидан келиб чиққан ҳолда танланади ва занжир учун берилган параметр ҳисобланади [9].

Тадқиқ этилаётган магнит занжиридаги МЮК манбаи ҳисобидан ДМЖ ярмида ҳосил бўлаётган ишчи магнит оқимининг максимал қиймати $Q_{\mu\mu}$ ни топиш учун берк контур учун тузилган қуйидаги тенгламадан фойдаланамиз:

$$F_K = Z_{\mu 0} Q_{\mu\mu} + Z_{\mu\mu} \int_0^{X_M} Q_{\mu 1x1} dx + U_{\mu x1=0}. \quad (23)$$

бу ерда $F_K, [A]$, $Z_{\mu 0}, [H^{-1}]$ – магнит занжири чап томони чет қисмида йиғик кўринишда жойлашган кўзғатиш чулғамининг МЮК ва унинг ички магнит қаршилиги.

(23) дан $Q_{\mu m}$ нинг қуйидаги қийматини аниқлаймиз:

$$Q_{\mu m} = F_k C_{\mu p0} X_m / \Delta \quad (24)$$

бу ерда $\Delta = Z_{\mu 0} C_{\mu p0} X_m + Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m^2 / 2 + 1, [-]$.

(24) ни инобатга олиб, тарқоқ параметрли ва махсус структурали магнит занжиридаги магнит оқимлар ва магнит кучланишининг қуйидаги якуний ифодаларини ҳосил қиламиз:

$$Q_{\mu 1x1} = F_k C_{\mu p0} x_1 / \Delta, \quad (25) \quad Q_{\mu 2x1} = F_k C_{\mu p0} (X_m - x_1) / \Delta, \quad (26)$$

$$U_{\mu x1} = F_k (Z_{\mu p} C_{\mu p0} x_1^2 - Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m x_1 + 1) / \Delta. \quad (27)$$

1- расмдаги ДМЗ нинг иккинчи (ўнг) ярми учун ҳам тегишли катталиқ ва параметрлар худди юқоридаги кетма-кетликда келтириб чиқарилади. Биз қуйида уларнинг якуний ифодаларини келтириш билан чекланамиз:

$$Q_{\mu 1x2} = F_k C_{\mu p0} x_2 / \Delta, \quad (28) \quad Q_{\mu 2x2} = F_k C_{\mu p0} (X_m - x_2) / \Delta, \quad (29)$$

$$U_{\mu x2} = F_k (Z_{\mu p} C_{\mu p0} x_2^2 - Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m x_2 + 1) / \Delta, \quad (30)$$

$$C_{\mu px2} = C_{\mu p0} / (Z_{\mu p} C_{\mu p0} x_2^2 - Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m x_2 + 1). \quad (31)$$

(22) ва (27) ҳамда (30) ва (31) ифодалар таҳлилидан уларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$C_{\mu px} = C_{\mu p0} / (Z_{\mu p} C_{\mu p0} x^2 - Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m |x| + 1), \quad (32)$$

$$U_{\mu x} = F_k (Z_{\mu p} C_{\mu p0} x^2 - Z_{\mu p} C_{\mu p0} X_m |x| + 1) / \Delta. \quad (33)$$

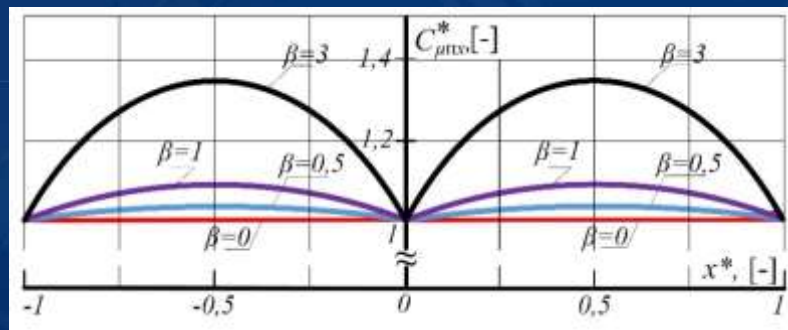
(32) ифодадан кўриниб турибдики, махсус структурага эга бўлган тарқоқ параметрли ДМЗ даги ишчи магнит оқимлари (25), (26) ва (28), (29) бўйича чизиқли қонуният билан ўзгариши учун ишчи ҳаво оралиғи магнит сиғимининг погон қиймати ДМЗнинг ўрта кесимидан бошлаб унинг иккала четига қараб гиперболик камайиб бориши талаб этилади.

(32) ифодани қуйидагича ўзгартирамиз:

$$C_{\mu px}^* = 1 / 0,5\beta^2 x^* (x^* - 1) + 1. \quad (34)$$

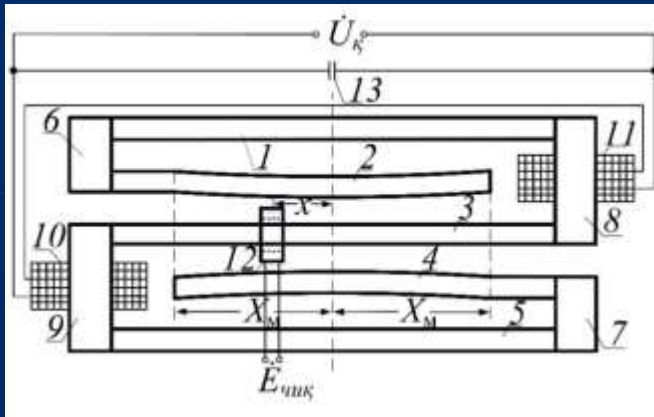
бу ерда $C_{\mu\pi x}^* = C_{\mu\pi x}/C_{\mu\pi 0}$, $[-]$; $x^* = x/X_M$, $[-]$ – мос равишда магнит сиғими погон қиймати ва координатанинг нисбий қийматлари;

Келтириб чиқарилган (22), (25)-(27) ва (28)-(32) ифодалар ва (34) асосида қурилган $C_{\mu\pi x}^* = f(x^*)$ функция графикларининг таҳлили шуни кўрсатадики (3-расм), $Z_{\mu\pi x1} = Z_{\mu\pi x2} = Z_{\mu\pi} = const$; $f_{rx} = 0$; $f_{gx} = 0$ бўлган тарқоқ параметрли ва махсус структурали ДМЗ да тегишли ишчи магнит оқимлари занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиши учун узун ферромагнит стерженлар орасидаги ҳаво оралиғи магнит сиғимининг магнит занжири узунлиги бўйича погон қиймати гиперболик функция кўринишида ўзгариб, ДМЗ ҳар бир ярмининг боши ва охирида бир хил минимал, ўртасида эса максимал қийматларда бўлиши талаб этилади ҳамда β нинг қиймати ортиб бориши билан магнит сиғими магнит занжири узунлиги бўйича погон қийматининг ўзгариш тезлиги ортиб боради.



3- расм. β нинг турли қийматлари учун $C_{\mu\pi x}^* = f(x^*)$ функция графиклари

Ишчи магнит оқимлари магнит занжирининг узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиши ишчи ҳаво оралиғи магнит сиғими погон қийматининг занжир узунлиги бўйлаб (32) қонуният бўйича ўзгариши асосида ДТД конструкцияси 4-расмда келтирилган [9].



4- расм. Магнит занжири махсус структурага эга бўлган силжишни ўлчовчи ДТД конструктив схемаси: 1-5 – узун ферромагнит стерженлар; 6-9 – ферромагнит туташтиргичлар; 10, 11 кўзгатиш чулғамининг секциялари; 12 – кўзгалувчан элемент; 13 - конденсатор.

2. $C_{\mu px} = C_{\mu p} = const$; $f_{rx} = 0$; $f_{gx} = 0$ махсус структурали тарқоқ параметрли ДМЖ да магнит оқимининг занжир узунлиги бўйлаб чизикли тақсимланишини таъминлаш имконини берувчи $Z_{\mu px} = var$ нинг ўзгариши қонуниятини аниқлаймиз. Бу ҳолат учун (8) шартни инобатга олган ҳолда (5) дифференциал тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$Q''_{\mu 1x1} = (Z_{\mu 1px1} + Z_{\mu 2px1})C_{\mu p}Q_{\mu 1x1} - Z_{\mu 2px1}C_{\mu p}Q_{\mu m} = 0. \quad (35)$$

$$\text{Бундан:} \quad Q_{\mu 1x1} = Z_{\mu 2px1}Q_{\mu m}/Z_{\mu px1}. \quad (36)$$

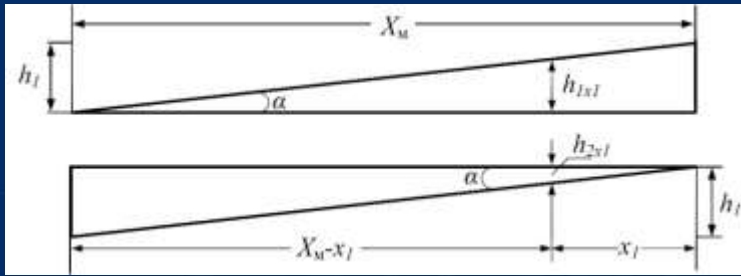
Агар $Z_{\mu 1px1} = 1/\mu\mu_0bh_{1x}$ ва $Z_{\mu 2px1} = 1/\mu\mu_0bh_{2x}$ эканлиги инобатга олинса ($b = const$ бўлиши лозим, акс ҳолда $C_{\mu p} = const$ шарт бажарилмай қолади), у ҳолда (36) қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Q_{\mu 1x1} = h_{1x}Q_{\mu m}/(h_{1x} + h_{2x}). \quad (37)$$

(37) функция таҳлили шуни кўрсатадики, $Q_{\mu 1x1}$ функция чизикли қонуният билан ўзгариши учун узун ферромагнит стерженлар қалинликлари уларнинг узунлиги бўйлаб қуйидаги қонуниятлар билан ўзгариши талаб этилади:

$$h_{1x1} = -kx_1 + b \text{ ва } h_{2x2} = -kx_1. \quad (38)$$

(38) даги k ва b лар қийматларини топиш учун тадқиқ этилаётган махсус структурали магнит занжири узун ферромагнит стерженлари қалинликларининг ўзгариши акс эттирилган 5- расмда келтирилган чизмага мурожаат қиламиз. Унга кўра юқори ва пастдаги стерженлар учун мос равишда:



5- расм. Махсус структурали магнит занжири узун ферромагнит стержен-лари қалинликларининг ўзгариши акс эттирилган схема

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{1x1}}{(X_m - x_1)} = \text{ва } h_{1x1} = h \left(1 - \frac{x_1}{X_m}\right); \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{X_m} \text{ ва } h_{2x1} = \frac{h}{X_m} x_1. \quad (39)$$

Агар (39) инобатга олинса, у ҳолда (37) қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Q_{\mu 1x1} = Q_{\mu m}(1 - x_1/X_m). \quad (40)$$

$Q_{\mu 2x1}$ магнит оқимининг (3) ва (40) асосида топилган ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q_{\mu 2x1} = Q_{\mu m} x_1/X_m. \quad (41)$$

Демак, (39)-(41) функциялар таҳлили шуни кўрсатадики, $C_{\mu px} = C_{\mu p} = \text{const}$; $f_{rx} = 0$; $f_{gx} = 0$ ва $Z_{\mu px} = \text{var}$ бўлган махсус структурали ва иккита узун ўзаро параллель ферромагнит стерженлардан ташкил топган ДМЗ ларидаги магнит оқимлари занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиши учун ферромагнит стерженлардан бирининг қалинлиги унинг ўрта кесимидан магнит оқими максимал бўлган учларига қараб чизиқли ортиб бориши, иккинчи ферромагнит стерженнинг қалинлиги эса унинг магнит оқими максимал бўлган ўрта кесимидан учларига қараб чизиқли камайиб бориши лозим бўлади [8].

3. $Z_{\mu px} = Z_{\mu p} = \text{const}$; $C_{\mu px} = C_{\mu p} = \text{const}$; $f_{gx} = 0$ бўлган тарқоқ параметрли махсус структурали ДМЗ да магнит оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланишини таъминлаш имконини берувчи $f_{rx} = \text{var}$ нинг ўзгариш қонуниятини аниқлаймиз. Бу ҳолат учун (8) шартни инобатга олган ҳолда (6) дифференциал тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Q''_{\mu x1} = C_{\mu p} U'_{\mu x1} = 0, \quad \text{ёки } U'_{\mu x1} = 0. \quad (42) \quad U_{\mu x1} = A_1. \quad (43)$$

(46) ни (1) га ($f_{gx} = 0$ эканлигини инобатга олган ҳолда) қўйиш натижасида ҳосил бўлган дифференциал тенгламани интеграллаб ва (3) ни инобатга олган ҳолда қуйидаги ифодаларни ҳосил қиламиз:

$$Q_{\mu 1x1} = C_{\mu\pi} A_1 x_1 + A_2, \quad (44)$$

$$Q_{\mu 2x1} = Q_{\mu\pi} - C_{\mu\pi} A_1 x_1 - A_2. \quad (45)$$

(2) тенглама тадқиқ этилаётган занжир учун (41) ни инобатга олган ҳолда қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$U'_{\mu x1} = 2Z_{\mu\pi} Q_{\mu 1x1} - Z_{\mu\pi} Q_{\mu\pi} - f_{rx1} = 0, \quad (46) \quad f_{rx1} = 2Z_{\mu\pi} Q_{\mu 1x1} - Z_{\mu\pi} Q_{\mu\pi}. \quad (47)$$

A_1 ва A_2 ларни топишда ушбу занжир учун ўринли бўлган қуйидаги чегаравий шартлардан фойдаланамиз (1- расм):

$$Q_{\mu 1x1=0} = A_2 = Q_{\mu\pi}; \quad Q_{\mu 1x1=X_M} = C_{\mu\pi} A_1 X_M + A_2 = 0. \quad (48)$$

A_1 ва A_2 ларнинг топилган қийматларини (43)-(45) ва (47) ларга қўйиб, қуйидаги функцияларни ҳосил қиламиз:

$$U_{\mu x1} = Q_{\mu\pi} / C_{\mu\pi} X_M, \quad (49)$$

$$Q_{\mu 1x1} = Q_{\mu\pi} (1 - x_1 / X_M), \quad (50)$$

$$Q_{\mu 2x1} = Q_{\mu\pi} x_1 / X_M, \quad (51)$$

$$f_{rx1} = Z_{\mu\pi} Q_{\mu\pi} (1 - 2x_1 / X_M). \quad (52)$$

$Q_{\mu\pi}$ қийматини топишда тадқиқ этилаётган занжир берк контури учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тузилган қуйидаги тенгламадан фойдаланамиз:

$$F_K + F_{rx1} = Z_{\mu 0} Q_{\mu\pi} + Z_{\mu\pi} \int_0^{X_M} Q_{\mu 1x} dx_1 + U_{\mu x1=0}. \quad (53)$$

$$\text{Сўнгги тенгламадан} \quad Q_{\mu\pi} = (F_K + F_{rx}) C_{\mu\pi} X_M / \Delta. \quad (54)$$

ДМЗ нинг ўнг ярми учун тегишли катталиклар ифодалари ҳам худди юқоридаги кетма-кетликда топилади. Биз қуйида уларнинг якуний ифодаларини келтириш билан чекланамиз (49)-(52) ва (55)-(58) ифодалар таҳлили шуни кўрсатадики, махсус структурага эга бўлган тарқоқ параметрли ДМЗ нинг ҳар бир ярмидаги узун феромагнит стерженига магнитловчи кучининг погон қиймати ушбу стержень ўрта кесимидан унинг четларига қараб чизиқли ортиб борувчи

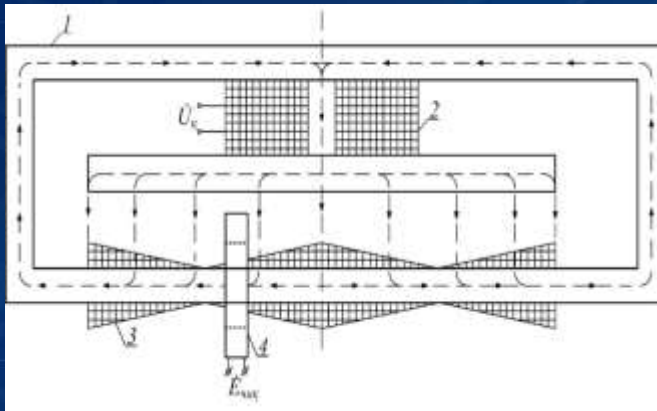
чулғамни ўраш тегишли ишчи магнит оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имконини беради (6- расм).

$$U_{\mu x2} = Q_{\mu m} / C_{\mu n} X_m, \quad (55) \quad Q_{\mu 1x2} = Q_{\mu m} (1 - x_2 / X_m), \quad (56)$$

$$Q_{\mu 2x2} = Q_{\mu m} x_2 / X_m, \quad (57) \quad f_{rx2} = Z_{\mu n} Q_{\mu m} (1 - 2x_2 / X_m). \quad (58)$$

(52) ва (58) ларни ўзаро солиштириб ва (54) ни инобатга олган ҳолда уларни куйидаги битта ифода кўринишида ёзиш мумкин:

$$f_{rx} = (F_k + F_{rx}) Z_{\mu n} C_{\mu n} X_m |1 - 2|x^*|| / \Delta. \quad (59)$$



6- расм. Магнит занжири махсус структурага бўлган ДТД нинг конструктив схемаси: 1 – магнит ўтказгич; 2 – қўзғатиш чулғами; 3 – тарқок жойлашган ва махсус қонуният билан ўралган бўйлама қўзғатиш чулғами; 4 – йиғиқ жойлашган ўлчаш чулғами

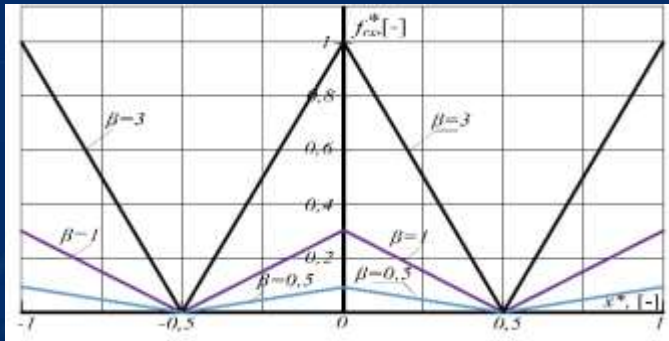
f_{rx} нинг нисбий бирликлардаги куйидаги ифодасини ёзамиз:

$$f_{rx}^* = f_{rx} / f_{rxmax} = \left(\frac{\beta}{\beta_{max}} \right)^2 \cdot \frac{(k_{0max} + 0,25\beta_{max}^2 + 1)}{(k_0 + 0,25\beta^2 + 1)} |1 - 2|x^*||, \quad (60)$$

бу ерда $f_{rxmax} = f_{gx x^*=1} = (F_k + F_{rx}) \frac{1}{2} \beta_{max}^2 / X_m (k_{0max} + 0,25\beta_{max}^2 + 1)$; $\beta = \sqrt{2Z_{\mu n} C_{\mu n} X_m}$; $\beta_{max} = 3$; $k_0 = Z_{\mu 0} C_{\mu n} X_m$; k_{0max} - k_0 нинг β_{max} га мос келадиган қиймати; $x^* = x / X_m$.

(60) функция ва унинг 7- расмда келтирилган графиклари таҳлили шуни кўрсатадики, тадқиқ этилаётган ДТД махсус структурали ДМЗ да ишчи магнит оқимларини занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиши учун узун ферромагнит стерженга бўйлама ўраладиган чулғам МЮК нинг погон қиймати ДМЗ ҳар бир ярмининг ўрта кесимидан бошлаб уларнинг иккала четиға томон магнит оқимини магнит занжиридаги сўниш коэффиценти β нинг қийматига

боғлиқ равишда чизиқли қонуният билан ортиб боради, яъни β нинг қиймати ортиб бориши билан f_{rx} нинг қиймати ҳам ортиб бораверади.[6]



7- расм. $f_{rx}^* = F(x^*)$
 функциянинг β нинг турли
 кийматларидаги графиклар

4. $Z_{\mu\pi x} = Z_{\mu\pi} = \text{const}$; $C_{\mu\pi x} = C_{\mu\pi} = \text{const}$; $f_{rx} = 0$ бўлган тарқоқ параметрли махсус структурали ДМЗ да магнит оқимининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланишини таъминлаш имконини берувчи $f_{gx} = \text{var}$ нинг ўзгариш қонуниятини аниқлаймиз. Бу ҳолат учун (8) шартни инобатга олган ҳолда (6) дифференциал тенглама қуйидаги кўринишда келади:

$$Q''_{\mu 1 x 1} = U'_{\mu x 1} - f'_{g x 1} = 0. \quad (61)$$

Сўнгги тенгламани интеграллаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$U_{\mu x_1} = f_{qx_1} + A_1. \quad (62)$$

(1) ни (2) га қўйиб (тадқиқ этилаётган занжир учун $f_{rx} = 0$) ва $U_{\mu x1} - f_{gx1} = A_1$ эканлигини инобатга олиб, қуйидаги дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз: $U''_{\mu x1} = 2Z_{\mu\mu}C_{\mu\mu}A_1$. (63)

(63) ни икки карра интеграллаб, қуйидаги функцияни ҳосил қиламиз:

$$U_{ux1} = Z_{u\cap} C_{u\cap} A_1 x_1^2 + A_2 x_1 + A_3. \quad (64)$$

(62) дан f_{qx1} нинг қуйидаги ифодасини топамиз:

$$f_{qx_1} = (Z_{\mu\Pi} C_{\mu\Pi} x_1^2 - 1)A_1 + A_2 x_1 + A_3. \quad (65)$$

(2) ва (3) лардан $Q_{\mu 1 x_1}$ ни топиб ҳамда (64) ни инобатга олиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$Q_{\mu 1 x_1} = C_{\mu \Pi} A_1 x_1 + A_2 / 2 Z_{\mu \Pi} + Q_{\mu \Pi} / 2. \quad (66)$$

A_1 ва A_2 ларни ушбу занжир учун ўринли бўлган қуйидаги чегаравий шартлардан фойдаланиб топамиз:

$$Q_{\mu 1 x_1=0} = A_2/2Z_{\mu\pi} + Q_{\mu\pi}/2 = Q_{\mu\pi}; f_{gx1=0} = -A_1 + A_3 = f_{gx1}(0);$$

$$Q_{\mu 1 x_1=X_M} = C_{\mu\pi} A_1 X_M + A_2/2Z_{\mu\pi} + Q_{\mu\pi}/2 = 0. \quad (67)$$

бу ерда $f_{gx1}(0)$ – кўндаланг чулғам МЮК погон қийматининг $x_1 = 0$ даги қиймати бўлиб, у берилган ҳисобланади.

A_1 , A_2 ва A_3 ларнинг топилган қийматларини (64)-(66) ларга қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз: $U_{\mu x_1} = -\frac{Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}x_1^2}{X_M} + Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}x_1 - \frac{Q_{\mu\pi}}{C_{\mu\pi}X_M} + f_{gx1}(0)$, (68)

$$f_{gx1} = -\frac{Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}x_1^2}{X} + Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}x_1 + f_{gx1}(0), \quad (69)$$

$$Q_{\mu 1 x_1} = Q_{\mu\pi}(1 - x_1/X_M). \quad (70) \quad Q_{\mu 2 x_1} = Q_{\mu\pi} x_1/X_M. \quad (71)$$

$Q_{\mu\pi}$ қийматини топишда тадқиқ этилаётган занжир берк контури учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида тузилган қуйидаги тенгламадан фойдаланамиз:

$$F_K = Z_{\mu 0}Q_{\mu\pi} + Z_{\mu\pi} \int_0^{X_M} Q_{\mu 2 x_1} dx_1 + U_{\mu x_1=0}. \quad (72) \quad Q_{\mu\pi} = \frac{[F_K + f_{gx1}(0)]C_{\mu\pi}X_M}{\Delta}. \quad (73)$$

Тадқиқ этилаётган ДМЗ нинг ўнг ярми учун тегишли катталиклар ифодалари ҳам худди юқоридаги кетма-кетликда топилади. Уларнинг якуний ифодалари (68)-(71) ва (73) ифодалар билан бил хил кўринишда бўлиб, x_1 координата ўрнида x_2 бўлади.

Агар $x_1 = x$ ва $x_2 = -x$ эканлиги инобатга олинса (1- расм), у ҳолда махсус структурали ДМЗ учун функция қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$f_{gx} = -Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}x^2/X_M + Z_{\mu\pi}Q_{\mu\pi}|x| + f_{gx}(0). \quad (74)$$

(68)-(71) ифодалар таҳлили шуни кўрсатадики, махсус структурага эга бўлган тарқоқ параметрли ДМЗ нинг иккита ўзаро параллель узун ферромагнит стерженлари ўртасидаги ҳаво оралиғида магнитловчи кучининг қийматлари ДМЗ ҳар бир ярим қисмидаги ферромагнит стерженлар ўрта кесимида минимал, уларнинг иккала четида эса максимал бўлган квадратик функция кўринишида ўзгариб боровчи чулғамни жойлаштириш ишчи магнит оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имконини беради.

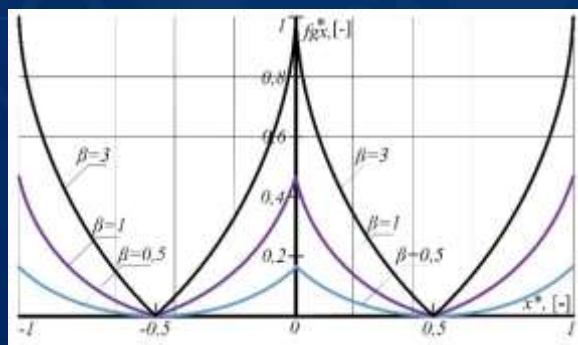
(74) ифодадаги $Q_{\mu m}$ нинг ўрнига (73) даги қийматини қўйиб ва $f_{gx}(0) = 0$ ҳолат учун уни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$f_{gx}^* = f_{gx}/f_{gx\max} = -(\beta/\beta_{\max})^2 \cdot 2x^*(x^* - 1), \quad (75)$$

$$\text{бу ерда } f_{gx\max} = f_{gx\ x^*=\frac{1}{2}} = 0,5 F_k \beta_{\max}^2 / (k_{0\max} + 0,25\beta_{\max}^2 + 1).$$

(75) функция ва унинг 8-расмда келтирилган графиклари таҳлили шуни кўрсатадики, магнит оқимининг ДМЗ бўйлаб сўниш коэффициенти β қийматининг ортиб бориши билан узун ферромагнит стерженлар оралиғида жойлаштирилган кўндаланг чулғам МЮК погон қийматининг занжир узунлиги бўйича ўзгариш тезлиги ортиб боради [9].

Юқорида назарий тадқиқ этилган махсус структурага эга бўлган дифференциал магнит занжирларининг таҳлили шуни кўрсатадики, иккита узун ферромагнит ўзак орасидаги ҳаво оралиғи магнит сиғимининг погон қийматини занжир узунлиги бўйлаб ўзгартириш ҳисобига магнит оқими қийматини занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имконияти юзага келадиган ДТД нинг конструкцияси технологик жиҳатдан нисбатан содда ҳамда ортиқча рангли металл (мис) талаб этмайди. Шу боис келгусида назарий ва экспериментал тадқиқотларни ушбу магнит занжирлари қўлланилган ДТД лар устида олиб борамиз.



8- расм. $f_{gx}^* = F(x^*)$ функциянинг β нинг турли қийматлари учун қурилган графиклар

Шундай қилиб, ушбу мақолада силжишларни ўлчовчи ДТД лар махсус структурали тарқоқ параметрли ДМЗ ларидаги магнит оқимларининг занжир узунлиги бўйлаб чизиқли тақсимланиш имкониятини берувчи иккита узун

ферромагнит ўзак орасидаги ҳаво оралиғининг магнит сиғими, занжир бўйлаб бўйлама ва кўндаланг тарқоқ жойлашган қўзғатиш чулғамлари МЮК ларининг погон(солиштира) қийматларининг магнит занжирлари узунлиги бўйлаб ўзгаришининг аналитик ифодалари келтириб чиқарилди. Юқорида назарий тадқиқ этилган махсус структурага эга бўлган ДМЗ ларининг таҳлили шуни кўрсатадики, иккита узун ферромагнит ўзак орасидаги ҳаво оралиғи магнит сиғимининг погон қийматини занжир узунлиги бўйлаб ўзгартириш ҳисобига магнит оқими қийматининг занжир узунлиги бўйлаб чизикли тақсимланиш имконияти юзага келадиган магнит занжирининг конструкцияси технологик жиҳатдан нисбатан содда ҳамда ортиқча рангли металл (мис) талаб этмайди.

Адабиётлар:

1. Абдуллаев Я.Р. Теория магнитных систем с электромагнитными экранами. Москва, «Наука», 2002, 288 с.
2. Амиров С.Ф., Суллийев А.Х., Шаропов Ш.А. Влияние распределенных параметров магнитных цепей на резонанс в недифференциальных бипараметрических датчиках перемещения // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2012. – №6. – С.62-66.
3. Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для автоматики и информационно-измерительной техники. Москва, Энергия, 1969, 177с.
4. Конюхов Н.Е., Медников Ф.М., Нечаевский М.Л. Электромагнитные датчики механических величин. – Москва: Машиностроение, 1987. – 256 с.
5. Зарипов М.Ф., Ураксеев М.А. Расчет электромеханических счетно-решающих преобразователей. Москва, «Наука», 1976. – 103 с.
6. Федотов А.В. Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля: монография /– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.– 176 с.
7. Амиров С.Ф., Суллийев А.Х., Балгаев Н.Е. Краткий обзор методов расчета

магнитных цепей с распределенными параметрами// Журнал ТашГТУ «Проблемы энерго– и ресурсосбережения» – Ташкент, 2010.– №1/2 – С. 195-202.

8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Изд.,13–е, исправленное – Москва: Наука. Гл. ред. Физ.–мат. лит., 1986. – 544 с.

9. Амиров С.Ф., Шарапов Ш.А. Исследование электромагнитных цепей трансформаторных датчиков больших линейных перемещений повышенной чувствительности // Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув. – Тошкент, 2023. – №6. – С.50-54.