

СИЛЖИШЛАРНИ ЎЛЧОВЧИ ТУРЛИ ХИЛ ҚЎЗГАЛУВЧАН ЭЛЕМЕНТЛИ ВА МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ ОДДИЙ СТРУКТУРАЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТРАНСФОРМАТОР ДАТЧИКЛАР МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАРИ

Амиров С.Ф.

Шарапов Ш.А.

Аннотация: Мақолада силжишларни ўлчовчи турли хил қўзгалувчан элементли ва магнит занжирлари оддий структурали бўлган дифференциал трансформатор датчикларнинг ҳосил қилинган математик моделлари таҳлили қўзгалувчан қисми йиғиқ ўлчаш чулғами кўринишида ясалган датчиклар узун ферромагнит стерженлари оралиғидаги магнит сиғимларининг погон қиймати магнит занжири бўйлаб гиперболик функция кўринишида ўзгарадиган қилиб ясалганда стерженлардаги қўзғатиш чулғамининг индуктивлиги қўзгалувчан ўлчаш чулғами координатасига боғлиқ бўлмаслиги ва ишчи магнит оқимлари, қўзғатиш чулғамлари билан қўзгалувчан ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индуктивликлар ҳамда датчикларнинг чиқиш ЭЮК мутлақо чизикли қонуният билан ўзгариши аниқланган. Қўзгалувчан элементи экран кўринишида ясалган дифференциал трансформатор датчикларда ишчи магнит оқимлари экран координатасининг ночизик функцияси эканлиги, қўзғатиш чулғамининг индуктивлиги эса экран координатасига боғлиқ бўлиши кўрсатилган. Қўзгалувчан элементи ферромагнит ўзак кўринишида ясалган дифференциал трансформатор датчикларда эса узун ферромагнит стерженлар орасидаги масофа ушбу стерженлар орасида жойлаштирилган қўзгалувчан ферромагнит ўзак билан стерженлар орасидаги умумий масофадан анча катта ва узун ферромагнит стерженлар орасидаги масофа магнит занжирининг охиридан бошлаб чизикли ортиб борадиган бўлганда ишчи магнит оқимлари, қўзғатиш чулғамининг индуктивлиги ва ўзаро индуктивлик қўзгалувчан ферромагнит ўзак координатаси қийматига боғлиқ бўлмаслиги, чиқиш сигналининг қиймати эса ферромагнит ўзак координатасининг чизикли функцияси эканлиги аниқланган.

Калит сўзлар: дифференциал трансформатор датчик, дифференциал магнит занжири, қўзгалувчан элемент, чулғам, экран, ферромагнит ўзак, оддий структурали магнит занжири; тарқоқ параметрли занжирлар; магнит юритувчи куч; магнит қаршилиги; магнит сиғими, бўйлама ва қўндаланг чулғамлар, магнит оқими; магнит кучланиши; чизикли тақсимланиш.

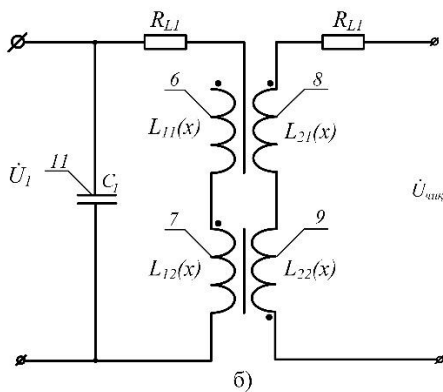
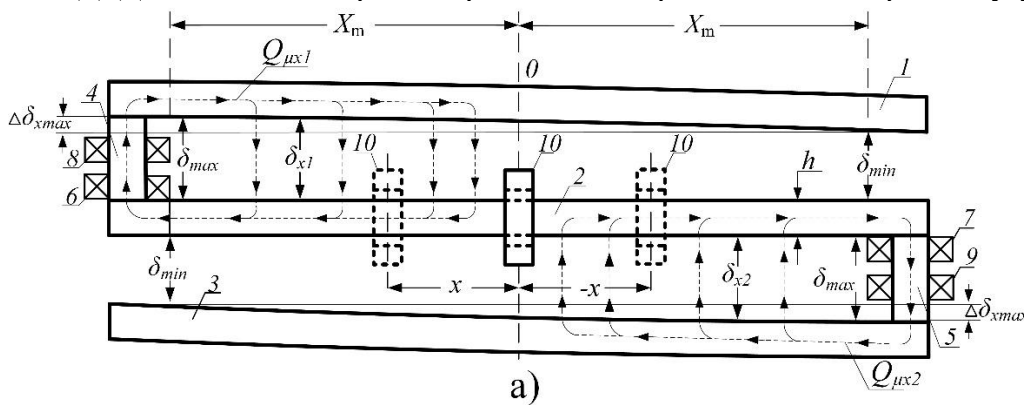
Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни автоматик бошқариш тизимларида бошқарилаётган объектлардаги қурилмалар силжишлари тўғрисидаги маълумотларни олишда турли хил русумдаги, хусусан дифференциал трансформатор датчик(ДТД)лар кенг қўламда қўлланилиб келинмоқда [1,2]. Ушбу ДТД лар асосий характеристикаларининг қиёсий таҳлили шуни кўрсатдики, улар ўлчаш диапазонида нисбатан паст сезгирликка ва ночизик ўзгартириш функциясига эга [3,4]. Бу камчиликларга эга бўлган ДТД ларнинг автоматик бошқариш тизимларида қўлланилиши бошқариш жараёнининг сифат кўрсаткичларини пасайишига олиб келади.

Юқорида қайд этилган камчиликларни бартараф этиш мақсадида Тошкент давлат транспорт университетиде силжишни ўлчовчи ДТД нинг янги конструкцияси ишлаб чиқилган (1-расм) [5]. Ушбу ДТД да чет ва ўртада жойлашган узун ферромагнит стерженлар орасидаги иккита ишчи ҳаво оралиқларининг қийматлари занжир узунлиги бўйлаб мос равишда қуйидаги қонуниятлар билан ўзгарадиган қилиб ясалган:

$$\delta_{x1} = \delta_{\min} + \frac{1}{\mu h} (X_M + x)^2, \quad (1) \quad \delta_{x2} = \delta_{\min} + \frac{1}{\mu h} (X_M - x)^2, \quad (2)$$

бу ерда μ – ферромагнит стерженлар магнит материалининг нисбий магнит сингдирувчанлиги бўлиб, магнит занжирининг тегишли геометрик ўлчамлари 1- расм, а да келтирилган.

Янги ДТД ишлаш принципи унинг прототиби [3] ишлаш принциpidан фарк қилмаса-да, янги ДТД да ишчи ҳаво оралиқлари катталиклари магнит занжирининг узунлиги бўйлаб



1- расм. Силжишларни ўлчовчи сезирлиги юқори бўлган ДТД: а – конструктив схемаси; б – чулғамлар индуктивликлари ва конденсаторнинг уланиш схемаси: 1,2,3 – узун ферромагнит стерженлар; 4,5 – ферромагнит туташтиргичлар; 6,7 ва 8,9 – мос равишда кўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари; 10 – кўзғалувчан элемент (чулғам, экран, ўзак); 11 – конденсатор.

мос равишда (1) ва (2) ифодаларга биноан ўзгарадиган қилиб танланганда, кўзғатиш ва ўлчаш чулғамларининг ҳар биридаги иккала индуктивлик ҚЭ координатаси ўзгарганда чизикли қонуният билан ўзгаради, кўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари ҳар биридаги умумий индуктивликлар эса ҚЭ нинг бутун силжиш диапазонида ўзгармасдан сақланади. Бунинг натижасида эса кўзғатиш занжиридаги резонанс режими ҚЭ нинг исталган координатасида сақланади (1- расм, б), ДТД нинг статик тавсифи эса чизикли кўринишда бўлади.

Ушбу мақолада силжишларни ўлчовчи турли хил кўзғалувчан элемент(чулғам, экран ва ферромагнит ўзак)ли магнит занжирлари оддий структурали бўлган ДТД ларнинг математик моделларини янги ишлаб чиқилган ДТД магнит тизими мисолида кўриб чиқамиз (1- расм, а) [5]. Бунда кўзғалувчан элементга эга бўлган тарқоқ параметрли магнит занжирларини ҳисоблашда энг қулай бўлган ва профессор Зарипов М.Ф. томонидан ишлаб чиқилган “Магнит занжирларини маълум бўлақларга ажратиш” усулидан фойдаланамиз [3,6].

Ҳисоблашларни бирмунча соддалаштириш мақсадида ушбу туркум занжирларни назарий тадқиқ этишда одатда қабул қилинадиган қуйидаги чекловларни киритамиз [7,8]: 1) магнит занжири чизикли, яъни занжир ферромагнит материал асосий магнитланиш эгри чизигининг тўғри чизикли қисмида ишлайди; 2) сочилган магнит оқимларини ҳисоблашларда инobatга олмаймиз; 3) йиғиқ ҳолда жойлаштирилган чулғамлар бўйлама ўлчамларини ҳам ҳисобга олмаймиз. Бу чекловлар ҳисоблашлар аниқлигига сезиларли таъсир этмаса-да, аммо занжирлар таҳлилини анча осонлаштиради.

Тадқиқ этилаётган ДМЗ учун координата бошини занжирнинг ўрта кесимидан бошлаш мақсадга мувофиқ бўлади [9]. Бу ҳолат учун $x_1 = X_m + x$ ва $x_2 = X_m - x$ деб олинади.

Агар $C_{\mu\text{пх}1=0} = C_{\mu\text{пх}2=0} = \mu_0 b / \delta_{\text{min}}$, $Z_{\mu\text{п}} = 1 / \mu \mu_0 b h$, ва $Z_{\mu\text{т}} = \delta_{\text{max}} / \mu \mu_0 b h$ эканлиги инobatга олинса, у ҳолда (1.11) қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$C_{\mu\text{пх}1} = \mu_0 b / \delta_{x1}, \quad (3)$$

$$C_{\mu\text{пх}2} = \mu_0 b / \delta_{x2}, \quad (4)$$

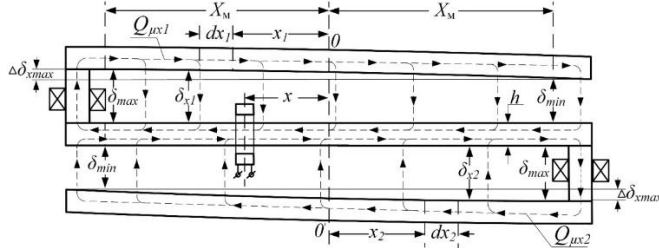
бу ерда $Z_{\mu\mu}$, $C_{\mu\mu x_1}$, $C_{\mu\mu x_2}$ – мос равишда узун ферромагнит стерженлар магнит қаршиликлари ва иккита ёндош стерженлар орасидаги ишчи ҳаво ораликлари магнит сиғимларининг стерженлар узунлик бирлигига тўғри келадиган погон(солиштирма) қийматлари; $Z_{\mu\tau}$ – ферромагнит туташтиргичларнинг магнит қаршилиги; $\delta_{x1} = \delta_{\min} + 1/\mu h (X_M + x)^2$ ва $\delta_{x2} = \delta_{\min} + 1/\mu h (X_M - x)^2$.

Юқоридаги ифодалардан кўриниб турибдики, δ_{x1} ва δ_{x2} ларнинг қийматлари магнит занжирининг геометрик ўлчамлари (X_M , h ва δ_{\min}) ва магнит параметри (μ)нинг қийматларига боғлиқ бўлади. Масалан, янги ДТД ясалган тажриба нусхасида $X_M = 0,05$ м; $h = 0,005$ м; $\delta_{\min} = 0,01$ м ва $\mu = 1000$ бўлиб, μ нинг қиймати 1512 маркали электротехник пўлат материал учун индукциянинг $0 \div 0,8$ Т оралиғида ўзгармайди, деб қабул қилиш мумкин бўлади [10]. Юқоридаги қийматлар учун:

$$\delta_{x1} = 0,01 + 0,2(0,05 + x)^2, \quad (5) \quad \delta_{x2} = 0,01 + 0,2(0,05 - x)^2. \quad (6)$$

Координата магнит занжири бўйлаб $-0,05 \leq x \leq 0,05$ ораликда ўзгарганда δ_{x1} и δ_{x2} ҳаво ораликларининг қийматлари мос равишда $0,01 \leq \delta_{x1} \leq 0,012$ ва $0,012 \leq \delta_{x2} \leq 0,01$ диапазонда ўзгаради, яъни $\Delta\delta_{x\max} = \delta_{x\max} - \delta_{\min} = 0,002$ м = 2 мм га, яъни δ_{\min} нинг 20% га ўзгаради.

1. Кўзгалувчан элементи йиғиқ чулғам кўринишида ясалган ДТД (2- расм). Бу ҳолатда ДТД мос узун ферромагнит стерженлари чет қисмларини ўзаро улаб турувчи



2- расм. Кўзгалувчан элементи йиғиқ чулғамдан иборат бўлган ДТД конструктив схемаси

ферромагнит туташтиргичларда жойлаштирилган ўлчаш чулғамлари бўлмайди. Ушбу магнит занжири учун тегишли стерженлардаги магнит оқимлари мос равишда қуйидагича ёзилади [5,11]:

$$Q_{\mu x1} = F_K C_{\mu\mu 0} (X_M + x) / \Delta_1. \quad (7); \quad Q_{\mu x2} = F_K C_{\mu\mu 0} (X_M - x) / \Delta_1. \quad (8)$$

Тадқиқ этилаётган ДТД кўзғатиш чулғамларининг индуктивликлари қуйидаги ифодалар кўринишида аниқланади:

$$L_{1K}^{ю} = w_1 Q_{\mu x1} \Big|_{x=X_M} / I_1 = L_{1K}^{п} = w_1 Q_{\mu x2} \Big|_{x=-X_M} / I_1 = w_1^2 2 C_{\mu\mu 0} X_M / \Delta_1 = \text{const}. \quad (9)$$

Кўзғатиш чулғамлари ва ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индуктивликлар мос равишда қуйидагича аниқланади:

$$M_{12}^{ю} = w_2 Q_{\mu x1} \Big|_{x_1=X_M+x} / I_1 = w_1 w_2 C_{\mu\mu 0} (X_M + x) / \Delta_1, \quad (10)$$

$$M_{12}^{п} = w_2 Q_{\mu x1} \Big|_{x_1=X_M-x} / I_1 = w_1 w_2 C_{\mu\mu 0} (X_M - x) / \Delta_1. \quad (11)$$

ДТД кўзғалмас ва йиғиқ кўринишида жойлаштирилган кўзғатиш чулғамларида ҳосил бўладиган ўзиндукция ЭЮК қуйидагича топилади:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} = -j\omega w_1 \dot{Q}_{\mu x1} - j\omega w_1 \dot{Q}_{\mu x2} = -j\omega w_1^2 \dot{I}_1 C_{\mu\mu 0} 4X_M / \Delta_1 = \text{const}. \quad (12)$$

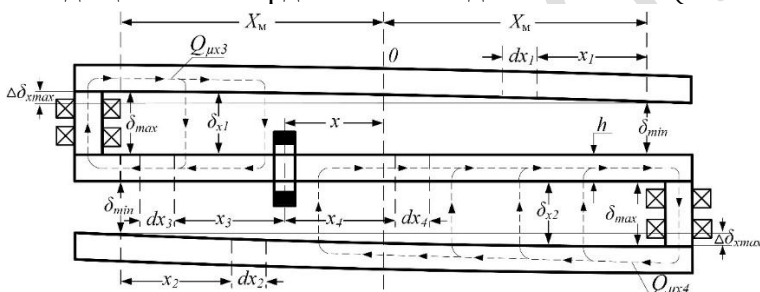
ДТД кўзғалмас ва йиғиқ кўринишида жойлаштирилган кўзғатиш чулғамлари ва кўзгалувчан ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индукция сабабли ўлчаш чулғамида ҳосил бўладиган ўзароиндукция ЭЮК қуйидагича топилади:

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_{21} - \dot{E}_{22} = -j\omega w_2 \dot{Q}_{\mu x1} - j\omega w_2 \dot{Q}_{\mu x2} = -j\omega 2w_1 w_2 \dot{I}_1 C_{\mu\mu 0} x / \Delta_1. \quad (13)$$

Кўзгалувчан қисми йиғиқ жойлаштирилган чулғам кўринишида ясалган оддий структурали ва тарқоқ параметрли магнит занжирига эга бўлган ҳамда силжишни ўлчашга мўлжалланган ДТД учун ҳосил қилинган (7)-(13) математик моделлар таҳлили шуни кўрсатадики, унинг узун ферромагнит стерженлари оралиғидаги магнит сиғимларининг погон қиймати магнит занжири бўйлаб (3) ва (4) функциялар кўринишида ўзгариши сабабли ушбу стерженлардаги кўзғалмас ва йиғиқ кўринишида жойлаштирилган кўзғатиш чулғамларининг индуктивликлари, кетма-кет ва индуктив жиҳатдан ўзаро қарама-қарши уланган кўзғалмас чулғамларида ишчи магнит оқимлари ҳосил қиладиган ўзиндукция ЭЮК кўзгалувчан элемент (чулғам) координатасига боғлиқ бўлмайди ва ДТД нинг бутун ўлчаш диапазонида уларнинг қиймати ўзгармасдан сақланади, ишчи магнит оқимлари, кўзғатиш чулғамлари ва кўзгалувчан ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индуктивликлар ҳамда ДТД нинг чиқиш ЭЮК ушбу магнит занжирларини ҳисоблашда қабул қилинган чекловлар доирасида мутлақо чизиқли қонуният билан ўзгаради.

(9) ифодадан кўришиб турибдики, кўзғатиш чулғамларининг индуктивлиги кўзгалувчан чулғам координатасининг исталган қийматида ҳам ўз қийматини ўзгартирмайди. Бундан келиб чиқадики, ДТД нинг бирламчи электр занжирида ҳосил қилинган $(L_{1к}^{ю} + L_{1к}^{п}) \cdot C = const$ резонанс шarti датчикнинг бутун ўлчаш диапазонида сақланади, натижада эса сезгирлиги юқори ва доимий бўлади.

2. Кўзгалувчан элементи электромагнит экран кўринишида ясалган ДТД (3- расм). Ушбу ДМЗ ни ҳисоблашда электромагнит экранни идеал, яъни ўзгарувчан магнит оқими йўлидаги унинг магнит қаршилиги чексиз катта ($R_{эм} \rightarrow \infty$) (мисдан ясалган ва ўртадаги ферромагнит стерженни ўраб олган ҳалқанинг электр қаршилиги нолга тенг), деб қабул қиламиз. [12] ларда ўтказилган назарий ва экспериментал тадқиқотлар саноат частотали ўзгарувчан токда мисдан ясалган электромагнит экран магнит қаршилигини чексиз катта қийматга тенг, деб олиш оқибатида ҳисоблашларда юзага келадиган хатолик (2 ÷ 4) % дан ошмаслиги таъкидланган.



3- расм. Кўзгалувчан элементи электромагнит экрандан иборат бўлган ДТД конструктив схемаси

Ушбу ДМЗ ни ҳисоблашда, яъни занжирда ҳосил бўладиган магнит оқимлари ва магнит кучланишлари ифодаларини келтириб чиқаришда координата бошини экрандан бошлаб олиш қулай ҳисобланади [3,8].

Тадқиқ этилаётган ДМЗ нинг фақат юқори қисмидаги МЮК манбаидан занжирда ҳосил бўладиган магнит оқими ва магнит кучланиш ифодаларини келтириб чиқаришда қуйидаги тенгламалардан фойдаланамиз [11]:

$$U_{\mu x3} = Z_{\mu\mu} A_1 x_3^2 + A_2 x_3 + A_3. \quad (14) \quad C_{\mu\mu x3} = A_1 / (Z_{\mu\mu} A_1 x_3^2 + A_2 x_3 + A_3). \quad (15)$$

$Q_{\mu x3}$ магнит оқимининг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$Q_{\mu x3} = U_{\mu x3} / 2Z_{\mu\mu} = A_1 x_3 + A_2. \quad (16)$$

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

$$Q_{\mu x3=0} = A_2 = 0; \quad U_{\mu x3=X_m-x} = F_{\kappa} - Q_{\mu x3=X_m-x} \cdot Z_{\mu 0}; \quad C_{\mu\mu x3=0} = C_{\mu\mu x1} = A_1 / A_3. \quad (17)$$

(17) дан A_1, A_2 ва A_3 ларни топиб, уларни (14)-(16) ларга қўйиб, қуйидаги якуний ифодаларни ҳосил қиламиз:

$$U_{\mu x3} = \frac{F_K (Z_{\mu 0} C_{\mu x3} x_3^2 + 1)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x3} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu x3} X_M^2} \cdot (18) \quad C_{\mu x3} = \frac{C_{\mu x3=0}}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x3=0} x_3^2} = \frac{C_{\mu 0}}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} (x_1^2 + x_3^2)} \cdot (19)$$

$$Q_{\mu x3} = \frac{1}{2Z_{\mu 0}} U'_{\mu x3} = \frac{F_K C_{\mu x3} x_3}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x3} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu x3} X_M^2} = \frac{F_K C_{\mu 0} (X_M - x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M + x)^2]} \cdot (20)$$

бу ерда $C_{\mu x3=0} \equiv C_{\mu x3} = C_{\mu 0} / (1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} x_1^2)$; $x_1 = X_M + x$.

Тадқиқ этилаётган ДМЗ нинг паст қисмидаги МЮК манбаидан занжирда ҳосил бўладиган магнит оқими ва магнит кучланиш ифодалари ҳам худди юқоридаги тартибда келтириб чиқарилади. Биз қуйида уларнинг якуний ифодаларини келтириш билан чекланамиз:

$$U_{\mu x4} = \frac{F_K (Z_{\mu 0} C_{\mu x4} x_4^2 + 1)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x4} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu x4} X_M^2} \cdot (21) \quad C_{\mu x4} = \frac{C_{\mu x4=0}}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x4=0} x_4^2} = \frac{C_{\mu 0}}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} (x_2^2 + x_4^2)} \cdot (22)$$

$$Q_{\mu x4} = \frac{1}{2Z_{\mu 0}} U'_{\mu x4} = \frac{F_K C_{\mu x4} x_4}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu x4} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu x4} X_M^2} = \frac{F_K C_{\mu 0} (X_M + x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M - x)^2]} \cdot (23)$$

бу ерда $C_{\mu x4=0} \equiv C_{\mu x4} = C_{\mu 0} / (1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} x_2^2)$; $x_2 = X_M - x$.

Тадқиқ этилаётган ДТД қўзғатиш чулғамларининг индуктивликлари ҳамда қўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари ўртасидаги ўзаро индуктивликлар мос равишда қуйидагича аниқланади:

$$L_{1KX}^{I\omega} = \frac{w_1 Q_{\mu x3}}{I_1} = \frac{w_1^2}{I_1} \frac{C_{\mu 0} (X_M - x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M + x)^2]} \cdot (24)$$

$$L_{1KX}^{II} = \frac{w_1 Q_{\mu x4}}{I_1} = \frac{w_1^2}{I_1} \frac{C_{\mu 0} (X_M + x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M - x)^2]} \cdot (25)$$

$$M_{12X}^{I\omega} = \frac{w_2 Q_{\mu x3}}{I_1} = \frac{w_1 w_2}{I_1} \frac{C_{\mu 0} (X_M - x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M + x)^2]} \cdot (26)$$

$$M_{12X}^{II} = \frac{w_2 Q_{\mu x4}}{I_1} = \frac{w_1 w_2}{I_1} \frac{C_{\mu 0} (X_M + x)}{1 + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} X_M + Z_{\mu 0} C_{\mu 0} [X_M^2 + (X_M - x)^2]} \cdot (27)$$

ДТД қўзғатиш чулғамларида ҳосил бўладиган ўзиндукция ЭЮК ва ўлчаш чулғамларидаги ўзароиндукция ЭЮК мос равишда қуйидагича топилади:

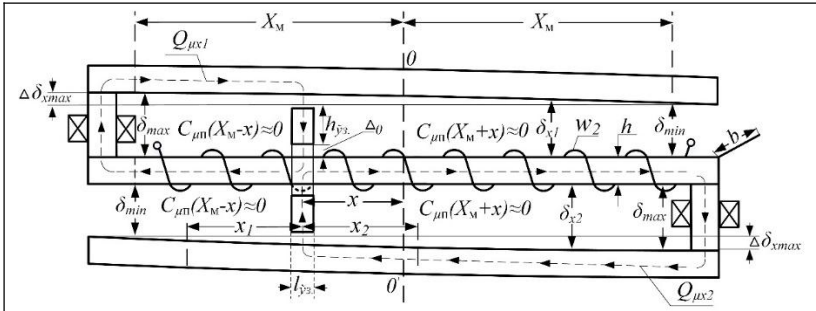
$$\dot{E}_1 = -j\omega w_1 (\dot{Q}_{\mu x3=X_M-x} - \dot{Q}_{\mu x4=X_M+x}), \quad (28) \quad \dot{E}_2 = -j\omega w_2 (\dot{Q}_{\mu x3=X_M-x} + \dot{Q}_{\mu x4=X_M+x}). \quad (29)$$

Ҳосил қилинган (20) ва (23) ҳамда (24) ва (25) функциялар таҳлили шуни кўрсатадики, қўзғалувчан элементи электромагнит экран кўринишида ясалган янги ДТД да ишчи магнит оқимлари экран координатасининг нозик функцияси ҳисобланади, қўзғатиш чулғамларининг умумий индуктивлиги эса экран координатасига боғлиқ равишда ўлчаш диапазонида ўз қийматини ўзгартиради. Бунинг оқибатида ДТД нинг резонансга созланган бирламчи занжирда экран координатасига боғлиқ равишда резонанс режимдан оғиш ҳолатлари кузатилади.

2. Қўзғалувчан элементи ферромагнит ўзак кўринишида ясалган ДТД (4- расм). Бу ҳолатда агар иккита ёндош узун ферромагнит стерженлар орасидаги масофа δ_x ушбу стерженлар орасида жойлаштирилган қўзғалувчан ферромагнит ўзак билан стерженлар орасидаги умумий масофа $\Delta_{x,ум}$ дан анча катта, масалан, $\delta_x > 10\Delta_{x,ум}$. бўлса, у ҳолда тезкор муҳандислик ҳисобларида қўзғалувчан ферромагнит ўзакдан ўнгда ва ундан чапда δ_x ҳаво оралиғи орқали бирлашаётган магнит оқимларини инобатга олмаслик мумкин бўлади [4].

Агар юқорида қабул қилинган чеклов инобатга олинса, у ҳолда тадқиқ этилаётган ДМЗ нинг юқори ярмидаги ишчи магнит оқими учун қуйидаги ифодани ёзишимиз мумкин бўлади:

$$Q_{\mu x1} = F_K / Z_{\mu \Sigma x1} = F_K / (Z_{\mu 0} + 2Z_{\mu 1} x_1 + Z_{\mu \dot{u}3} + Z_{\mu \Delta x1}), \quad (30)$$



4- расм. Қўзғалувчан элементи ферромагнит ўзакдан иборат бўлган ДТД конструктив схемаси

бу ерда $Z_{\mu 0} = \delta_{\max} / \mu_0 b h$ - магнит занжирининг қўзғатувчи чулғам ўралган қисми магнит қаршилиги; $Z_{\mu \Sigma} = 1 / \mu_0 b h$ - узун ферромагнит стерженлар магнит қаршиликларининг занжир узунлик бирлигига тўғри келадиган погон қиймати; $Z_{\mu \dot{y}_3} = \frac{h_{\dot{y}_3}}{\mu_0 b_{\dot{y}_3} l_{\dot{y}_3}}$ $Z_{\mu \Delta_{x1}} = \frac{\Delta_{x1}}{\mu_0 b_{\dot{y}_3} l_{\dot{y}_3}}$ - узун ферромагнит стерженлар билан қўзғалувчан ферромагнит ўзак ўртасидаги оралик Δ_x нинг магнит қаршилиги. Ҳисоблашларда $b = b_{\dot{y}_3}$, деб олинган.

(30) тенгламанинг таҳлили шуни кўрсатадики, x_1 координатанинг исталган қийматида $Q_{\mu x1} = \text{const}$ шарт бажарилиши учун қуйидаги шарт бажарилиши керак бўлади:

$$Z_{\mu \Sigma x1} = \text{const} \quad \text{ёки} \quad (Z_{\mu \Sigma})' = 0. \quad (31)$$

Сўнгги шартдан қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$(\Delta_{x1})' = l_{\dot{y}_3} / \mu h \quad (32)$$

(32) тенгламани интеграллаб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\Delta_{x1} = [l_{\dot{y}_3} / (\mu h)] x_1 + A. \quad (33)$$

Интеграллаш доимийси A ни $\Delta_{x1=0} = \Delta_0$ чегаравий шартдан топамиз ва у $A = \Delta_0$ га тенг бўлади.

(33) тенгламага $A = \Delta_0$ ни қўйиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\Delta_{x1} = \Delta_0 + [l_{\dot{y}_3} / (\mu h)] x_1. \quad (34)$$

Ҳосил қилинган (34) ифодани (30) га қўйиб, ишчи магнит оқими учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$Q_{\mu x1} = \frac{F_k}{Z_{\mu \Sigma}} = \frac{F_k}{\frac{\delta_{\max}}{\mu_0 b h} + \frac{2X_m}{\mu_0 b h} + \frac{\Delta_0}{\mu_0 b l_{\dot{y}_3}}} = \text{const}. \quad (35)$$

Келтириб чиқарилган (34) ва (35) ифодалар таҳлили шуни кўрсатадики, агар иккита узун ферромагнит стерженлар билан улар оралиғида жойлаштирилган қўзғалувчан ферромагнит ўзак ўртасидаги оралик масофа Δ_x нинг қиймати x_1 координата боши деб олинган магнит занжирининг охиридан бошлаб (34) асосида чизиқли ортиб борса, у ҳолда қабул қилинган чекловлар доирасида узун ферромагнит стерженлардаги ишчи магнит оқимининг қиймати қўзғалувчан ферромагнит ўзак координатаси x_1 қийматига боғлиқ бўлмайди.

Тадқиқ этилаётган ДТД юқори ярмидаги қўзғатиш чулғамининг индуктивлиги ва ушбу чулғам билан узун ферромагнит стерженда бир текис тарқоқ кўринишида ўралган ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индуктивлик қуйидаги ифодалар ёрдамида топилади:

$$L_{1k}^{ю} = w_1^2 / Z_{\mu \Sigma} = \text{const}. \quad (36) \quad M_{12}^{ю} = w_1 w_{2п} (X_m - x) / Z_{\mu \Sigma}, \quad (37)$$

ТД юқори ярмининг чиқиш сигнали, яъни йиғиқ жойлашган қўзғатиш чулғами билан узун ферромагнит стерженда бир текис тарқоқ кўринишида ўралган ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индукция ЭЮК $x_1 = X_m - x$ эканлигини эътиборга олган ҳолда қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$\dot{E}_{21} = -j\omega w_{2п} (X_m - x) \dot{Q}_{\mu x}, \quad (38)$$

бу ерда $w_{2п}$ – бир текис тарқоқ ўралган ўлчаш чулғамининг магнит занжири узунлик бирлигига тўғри келадиган погон қиймати.

Тадқиқ этилаётган ДТД пастки ярми учун кўзғатиш чулғамининг индуктивлиги, ўзаро индуктивлик ва чиқиш сигнали ифодалари ҳам худди юқорида келтирилган тартибда ҳосил қилинади. Биз бу ерда уларнинг якуний ифодаларини келтириш билан чекланамиз:

$$L_{1к}^п = w_1^2 / Z_{μΣ} = \text{const.} \quad (39) \quad M_{12}^п = w_1 w_{2п} (X_m + x) / Z_{μΣ}, \quad (40)$$

$$\dot{E}_{22} = -j\omega w_{2п} (X_m + x) \dot{Q}_{μx}. \quad (41)$$

ДТД кўзғатиш чулғамларининг умумий индуктивлиги ва улар билан ўлчаш чулғами ўртасидаги умумий ўзаро индуктивлик қуйидаги ифодалар орқали аниқланади:

$$L_{1к} = 2w_1^2 / Z_{μΣ} = \text{const.} \quad (42) \quad M_{12} = 2w_1 w_{2п} X_m / Z_{μΣ}, \quad (43)$$

Кўзғалувчан қисми ферромагнит ўзакдан иборат бўлган ДТД чиқиш сигналининг натижавий қиймати қуйидаги ифода асосида аниқланади:

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_{22} - \dot{E}_{21} = -j\omega w_{2п} \dot{Q}_{μx} 2x. \quad (44)$$

(35)-(44) ифодалардан кўришиб турибдики, иккита узун ферромагнит стерженлар билан улар оралиғида жойлаштирилган кўзғалувчан ферромагнит ўзак ўртасидаги оралиқ масофа Δ_x нинг қиймати x_1 координата боши деб олинган магнит занжирининг охиридан бошлаб (34) асосида чизикли ортиб борадиган ДТД да ишчи магнит оқимлари, кўзғатиш чулғами индуктивлиги ва ўзаро индуктивлик магнит занжирини ҳисоблашда қабул қилинган чекловлар доирасида кўзғалувчан ферромагнит ўзак координатаси қийматига боғлиқ бўлмайди, чиқиш сигналининг натижавий қиймати эса ферромагнит ўзак координатасининг чизикли функцияси ҳисобланади.

Шундай қилиб, силжишларни ўлчовчи турли хил кўзғалувчан элементли ва магнит занжирлари оддий структурали бўлган ДТД ларнинг ҳосил қилинган математик моделлари таҳлили шуни кўрсатадики, кўзғалувчан қисми йиғиқ ўлчаш чулғами кўринишида ясалган ДТД лар узун ферромагнит стерженлари оралиғидаги магнит сиғимларининг погон қиймати магнит занжири бўйлаб (3) ва (4) функциялар кўринишида ўзгариши сабабли ушбу стерженлардаги кўзғалмас ва йиғиқ кўринишда жойлаштирилган кўзғатиш чулғамларининг индуктивликлари, кетма-кет ва индуктив жиҳатдан ўзаро қарама-қарши уланган кўзғалмас чулғамларида ишчи магнит оқимлари ҳосил қиладиган ўзиндукция ЭЮК кўзғалувчан элемент (чулғам) координатасига боғлиқ бўлмайди ва ДТД нинг бутун ўлчаш диапозонида уларнинг қиймати ўзгармасдан сақланади, ишчи магнит оқимлари, кўзғатиш чулғамлари билан кўзғалувчан ўлчаш чулғами ўртасидаги ўзаро индуктивликлар ҳамда ДТД нинг чиқиш ЭЮК ушбу магнит занжирларини ҳисоблашда қабул қилинган чекловлар доирасида мутлақо чизикли қонуният билан ўзгаради.

Кўзғалувчан элементи электромагнит экран кўринишида ясалган ДТД ларда ишчи магнит оқимлари экран координатасининг ночизик функцияси ҳисобланади, кўзғатиш чулғамларининг умумий индуктивлиги эса экран координатасига боғлиқ равишда ўлчаш диапозонида ўз қийматини ўзгартиради, кўзғалувчан элементи ферромагнит ўзак кўринишида ясалган ДТД ларда узун ферромагнит стерженлар орасидаги масофа δ_x ушбу стерженлар орасида жойлаштирилган кўзғалувчан ферромагнит ўзак билан стерженлар орасидаги умумий масофа $\Delta_{x,ум}$ дан анча катта ва Δ_x магнит занжирининг охиридан бошлаб чизикли ортиб борадиган бўлгандагина ишчи магнит оқимлари, кўзғатиш чулғамининг индуктивлиги ва ўзаро индуктивлик магнит занжирини ҳисоблашда қабул қилинган чекловлар доирасида кўзғалувчан ферромагнит ўзак координатаси қийматига боғлиқ бўлмайди, чиқиш сигналининг натижавий қиймати эса ферромагнит ўзак координатасининг чизикли функцияси ҳисобланади.

Юқорида келтирилган хулосалардан келиб чиқадики, кўзғатиш чулғами индуктивлигини кўзғалувчан элемент координатасига боғлиқсизлиги, ишчи магнит оқимларининг магнит занжири

узунлиги бўйлаб қатгий равишда чизиқли тақсимланиши ва қўзғалувчан элементи массасининг кичиклиги қўзғалувчан элементи йиғиқ ўлчаш чулғами кўринишида ясалган оддий структурали ДТД ларда таъминланади.

Адабиётлар:

1. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулирования: справочные материалы / 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1965. — 928 с.
2. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Маликов А.В. Основы автоматизации технологических процессов: Учебное пособие для высшего и среднего специального образования. В 2-х ч. – Ташкент: ТГТУ, 2007. ч.1, 2. – 152 с., 173 с.
3. Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для ав-томатики и информационно-измерительной техники. Москва, Энергия, 1969, 177с.
4. Magnitlovchi chulg'amlari bo'ylama tarqoq joylashgan differensial magnit zanjirlarining matematik modellari/. – Eurasian Journal Of Academic Research, Volume 3 Issue 2, Part 2 February 2023 p 129-137.
5. Патент РУз (UZ) № IAP 07234. Трансформаторный датчик больших линейных перемещений повышенной чувствительности / Амиров С.Ф., Шарапов Ш.А., Суллийев А.Х., Болтаев О.Т., Каримов И А.//Официальный вестник – 2022. - №4.
6. 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.
7. Конюхов Н.Е., Медников Ф.М., Нечаевский М.Л. Электромагнитные датчики механических величин. – Москва: Машиностроение, 1987. – 256 с.
8. Абдуллаев Я.Р. Теория магнитных систем с электромагнитными экранами. Москва, «Наука», 2002, 288 с.
9. Зарипов М.Ф., Ураксеев М.А. Расчет электромеханических счетно-решающих преобразователей. Москва, «Наука», 1976. – 103 с.
10. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2009. – 592 с.
11. 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.
12. Mathematical Models of Differetial Transformer Sensors Tuned to the Excitation Winding Resonance - INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN COMPUTING STUDIES Volume: 05 Issue: 02 Feb 2023 pp. 38-44.