

Қўзғатиш Чулғами Резонансга Созланган Дифференциал Трансформатор Датчиклар Математик Моделлари

Амиров С. Ф., Шарапов Ш. А.

Тошкент Давлат Транспорт Университети

Аннотация: Қўзғатиш чулғами кучланишлар ёки тоқлар резонансига созланган янги дифференциал трансформатор датчикларининг ишлаб чиқилган математик моделлар таҳлили қўзғатиш занжири кучланишлар резонансига созланган янги датчикларнинг сезгирлиги тоқлар резонансига созланган датчиклар сезгирлигидан қўзғатиш занжирининг аслик қиймати марта юқори, ушбу датчикларнинг манбадан исьтемом қилаётган қувват бирлигига нисбатан олинганда эса тоқлар резонансига созланган янги датчиклар сезгирлиги кучланишлар резонансига созланган датчиклар сезгирлигидан худди шунча марта юқори бўлишини кўрсатди. Қўзғатиш занжири мос равишда кучланиш ва тоқлар резонансига созланган иккита бир хил янги дифференциал трансформатор датчикда юклама қаршилиги қиймати ва характерининг ўзгариши кучланишлар резонансига созланган ДТД қўзғатиш чулғамидаги тоқ қийматининг кўпроқ ўзгаришига олиб келиши аниқланди.

Калит сўзлар: дифференциал трансформатор датчик, математик модель, индуктивлик, конденсатор, кучланишлар резонанси, тоқлар резонанси, сезгирлик, актив қувват, тўла қувват, занжирнинг аслиги, ишчи ҳаво оралиғи, магнит қаршилиги; магнит сиғими

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 университетида 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:

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

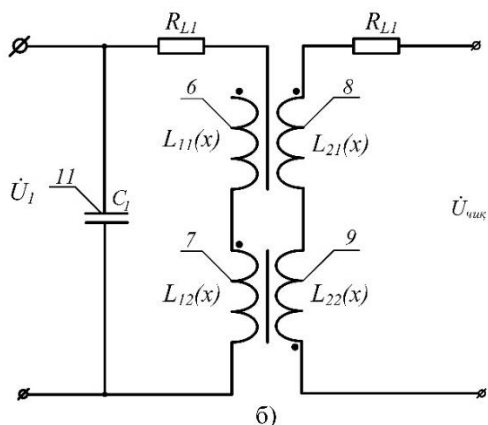
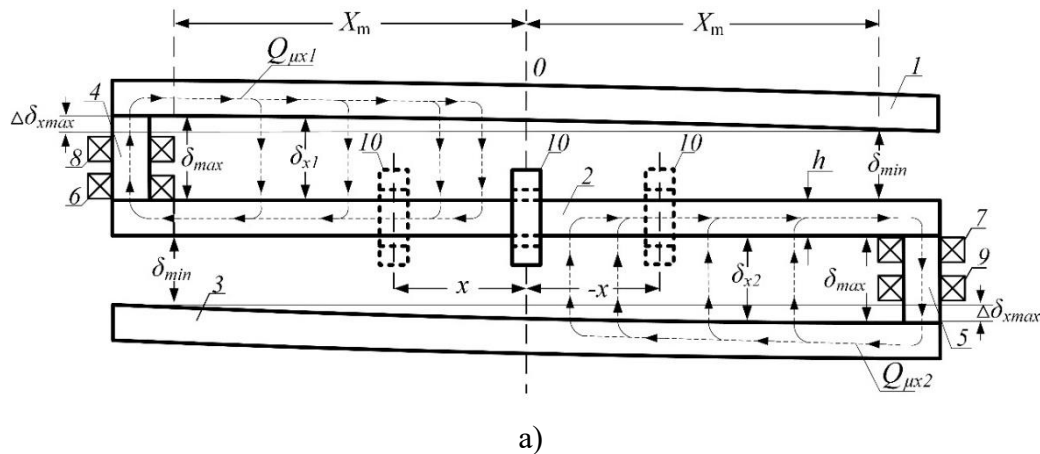
$$\delta_{x2} = \delta_{min} + \frac{1}{\mu h} (X_M - x)^2, (2)$$

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 фарқ қилмаса-да, янги ДТД да ишчи ҳаво оралиқлари катталиклари магнит занжирининг узунлиги бўйлаб мос равишда (1) ва (2) ифодаларга биноан ўзгарадиган қилиб танланганда, қўзғатиш ва ўлчаш чулғамларининг ҳар биридаги иккала индуктивлик ҚЭ координатаси ўзгарганда чизикли қонуният билан ўзгаради, қўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари ҳар биридаги умумий

индуктивликлар эса ҚЭ нинг бутун силжиш диапазолида ўзгармасдан сақланади. Бунинг натижасида эса қўзғатиш занжиридаги резонанс режими ҚЭ нинг исталган координатасида сақланади (1- расм, б), ДТД нинг статик тавсифи эса чизикли кўринишда бўлади.

Силжишларни ўлчовчи ДТД лар сезгирлигини кескин ошириш мақсадида уларнинг қўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари ёки улардан бири резонансга созилади [6,7]. Бунда ДТД лар ўлчаш чулғаида фақат кучланишлар резонанси юз бериши мумкин бўлса, қўзғатиш чулғаида кучланишлар ёки тоқлар резонанси режими ҳосил қилиниши мумкин бўлади.



а)

1- расм. Силжишларни ўлчовчи сезгирлиги юкори 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 қўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари; 10 – қўзғалувчан элемент (чулғам, экран, ўзак); 11 – конденсатор.

Ушбу диссертацияда тадқиқ этилаётган қўзғалувчан элементи узун ферромагнит стерженга йиғиқ кўринишда ўралган ўлчаш чулғаидан иборат бўлган ДТД ларида ўлчаш чулғамининг асллиги (чулғам индуктив қаршилигининг унинг актив қаршилигига нисбати) кичиклиги боис унда резонанс режимини ҳосил қилиш самарасиз ҳисобланади. Шунинг учун ҳам биз диссертацияда ДТД нинг фақат қўзғатиш чулғаида ҳосил қилинадиган резонанс режимларига тўхталиб ўтаимиз.

Дастлаб, ўлчаш чулғаи қаршилиги катта бўлган юклагамага уланган, яъни ўлчаш чулғаи салт иш режимига яқин бўлган режимда ишлаётган ДТД қўзғатиш занжиридаги резонанс режимларини тадқиқ этишда ўлчаш чулғаидаги тоқни қўзғатиш чулғаидаги электромагнит жараёнларга таъсирини инобатга олмаймиз [8]. ДТД қўзғатиш занжири кучланишлар (тоқлар) резонансига созилаш учун қўзғатиш чулғамининг индуктивлиги ва манба кучланиши частотасининг қийматларидан ҳамда резонанс шартидан келиб чиққан ҳолда қўзғатиш чулғаида кетма-кет (параллель) уланидиган конденсатор сиғимининг қиймати қуйидаги формулалар ёрдамида ҳисоблаб топилади [8]:

$$C_{к-к} = 1/(\omega_p^2 L_k), \quad (3)$$

$$C_{п-л} = L_k/(\omega_p^2 L_k^2 + R_k^2), \quad (4)$$

бу ерда R_k , L_k , $C_{к-к}$, $C_{п-л}$ – мос равишда қўзғатиш чулғамининг актив қаршилиги, индуктивлиги, унга кетма-кет ёки параллель уланган конденсатор сиғими; ω_p – резонанс частотаси.

Маълумки [9], кучланишлар (к.р.) ва тоқлар (т.р.) резонансида занжирдаги ток ва қувватлар қуйидагиларга тенг бўлади:

$$I_{к.р.} = U/R_{к}, (5) \quad I_{т.р.} = UR_{к}/(R_{к}^2 + X_{к,L}^2); I_{т.р.(L)} = U/\sqrt{R_{к}^2 + X_{к,L}^2}, (6)$$

$$S_{к.р.} = P_{к.р.} = U^2/R_{к}, (7) \quad S_{т.р.} = P_{т.р.} = U^2R_{к}/(R_{к}^2 + X_{к,L}^2). (8)$$

Тадқиқ этилаётган қўзғалувчан элементи ўлчаш чулғами кўринишида ясалган янги ДТД сезгирлиги қуйидагича топилади:

$$K = \frac{dE_2}{dx} = \omega w_{к} w_{ўлч.} I_1 \frac{C_{\mu\pi 0}}{\Delta} 2x, (9)$$

бу ерда $\Delta = 1 + Z_{\mu 0} C_{\mu\pi 0} X_M + Z_{\mu\pi} C_{\mu\pi 0} X_M^2, [-]$; $C_{\mu\pi 0}$ – иккита узун ферромагнит стержень орасидаги магнит сиғимининг δ_{min} даги погон(солиштирма) қиймати, $[H/m^{-1}]$; $Z_{\mu\pi}$ – узун ферромагнит стерженлар магнит қаршиликларининг погон қиймати, $[H^{-1} \cdot m^{-1}]$; $Z_{\mu 0}$ – ферромагнит тугаштиргичлар магнит қаршилиги, $[H^{-1}]$; $w_{к}, w_{ўлч.}$ – мос равишда қўзғатиш ва ўлчаш чулғамларидаги ўрамлар сони.

Қўзғатиш чулғами кучланишлар (к.р.) ва тоқлар (т.р.) резонансига созланган янги ДТД лар сезгирликлари ва уларнинг манбадан истеъмол қилаётган қувват бирлигига тўғри келадиган нисбий қийматлари мос равишда қуйидагиларга тенг бўлиши аниқланди:

$$K_{к.р.} = \omega w_{к} w_{ўлч.} \frac{2U_{к} C_{\mu\pi 0}}{R_{к} \Delta}, (10) \quad K_{т.р.} = \omega w_{к} w_{ўлч.} \frac{2U_{к} C_{\mu\pi 0}}{\left(\Delta \sqrt{R_{к}^2 + X_{к,L}^2}\right)}. (11)$$

$$K_{к.р.}^* = \omega w_{к} w_{ўлч.} \frac{2C_{\mu\pi 0}}{U_{к} \Delta}, (12) \quad K_{т.р.}^* = \omega w_{к} w_{ўлч.} \frac{2C_{\mu\pi 0}}{U_{к} \Delta} \sqrt{1 + (X_{к,L}/R_{к})^2}, (13)$$

бу ерда $U_{к}$ – манба кучланиши; $X_{к,L}$ – қўзғатиш чулғамининг индуктив қаршилиги.

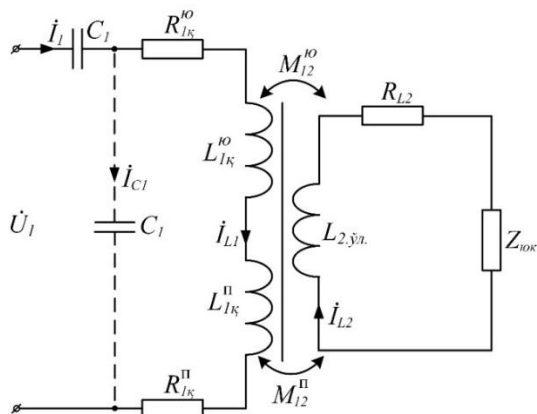
(10) ва (11) ҳамда (12) ва (13) ифодаларни ўзаро таққослаш шуни кўрсатадики, ДТД қўзғатиш занжирининг $R_{к}, L$ ва C параметрлари ва манба кучланишининг бир хил қийматларида қўзғатиш занжири кучланишлар резонансига созланган ДТД нинг сезгирлиги

тоқлар резонансига созланган ДТД сезгирлигидан $\sqrt{1 + (X_{к,L}/R_{к})^2}$ марта юқори бўлади, манбадан истеъмол қилаётган қувват бирлигига нисбатан олинганда эса тоқлар резонансига созланган ДТД сезгирлиги кучланишлар резонансига созланган ДТД нинг сезгирлигидан $\sqrt{1 + (X_{к,L}/R_{к})^2}$ марта юқори бўлади, масалан қўзғатиш занжирининг аслиги 10 га тенг

бўлган ДТД да юқорида таққосланаётган катталиклар $\sqrt{1 + (X_{к,L}/R_{к})^2} = 10,05$ га фарк қилади.

Энди ўлчаш чулғами $Z_{юк}$ қаршиликли юклагамага уланган ва қўзғатиш чулғами резонансга созланган ҳамда қўзғатиш ва ўлчаш чулғамлари ўзаро индуктив боғланган янги ДТД да юз берадиган электромагнит жараёнларни таҳлил этамиз (2- расм).

ДТД нинг 2- расмда келтирилган қўзғатиш занжири кучланишлар резонансига созланган варианты учун Кирхгофнинг иккинчи қонуни асосида қуйидаги мувозанат тенгламаларни тузамиз (бунда схемадаги узлукли чизиқ билан кўрсатилган шохобча инобатга олинмайди) [9]:



2- расм. Ўлчаш чулғами $Z_{\text{юк}}$ қаршиликли юкламага уланган ва қўзғатиш чулғами резонансга созланган янги ДТД электромагнит занжирининг алмашлаш схемаси

$$\dot{U}_1 = [R_K + j(\omega L_K - 1/\omega C_1)]\dot{I}_{L1} - j\omega M(x)\dot{I}_{L2}, \quad (14)$$

$$(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}} + j\omega L_{\text{ўлч.}})\dot{I}_{L2} - j\omega M(x)\dot{I}_{L1} = 0, \quad (15)$$

бу ерда $R_K = R_K^0 + R_K^1$; $L_K = L_K^0 + L_K^1$; $M(x) = M^0 - M^1 = w_K w_{\text{ўлч.}} \frac{C_{\mu\text{по}}}{\Delta} (X_M + x) - w_K w_{\text{ўлч.}} \frac{C_{\mu\text{по}}}{\Delta} (X_M - x) = 2w_K w_{\text{ўлч.}} \frac{C_{\mu\text{по}} x}{\Delta}$ – чулғамлари ўзаро кетма-кет ва индуктив жиҳатдан қарама-қарши уланган қўзғатиш ҳамда қўзғалувчан ўлчаш чулғамлари ўртасидасидаги ўзаро индуктивлик.

Кучланишлар резонансида $\omega L_K - \frac{1}{\omega C_1} = 0$ эканлигини инобатга олган ҳолда (14) ва (15) тенгламаларни \dot{I}_{L1} ва \dot{I}_{L2} тоқларга нисбатан биргаликда ечиб, уларнинг қуйидаги қийматларини ҳосил қиламиз:

$$\dot{I}_{L1} = \frac{\dot{U}_1}{R_K + \frac{[\omega M(x)]^2 (R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2} - j \frac{[\omega M(x)]^2 \omega L_{\text{ўлч.}}}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2}} = \frac{\dot{U}_1}{Z_{\text{кир}}}, \quad (16)$$

$$\dot{I}_{L2} = \frac{j\omega M(x)\dot{U}_1}{R_K (R_{\text{ўлч.}} + j\omega L_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}}) + [\omega M(x)]^2}, \quad (17)$$

бу ерда $Z_{\text{кир}} = R_K + \frac{[\omega M(x)]^2 (R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2} - j \frac{[\omega M(x)]^2 \omega L_{\text{ўлч.}}}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2}$ – ДТД электромагнит занжирининг манбага нисбатан кириш қаршилиги.

Қўзғатиш чулғами кучланишлар резонансига созланган ва ўлчаш чулғами юкламага уланган ДТД занжирларидаги тоқлар учун ҳосил қилинган (16) ва (17) ифодалар таҳлили шуни кўрсатадики, $Z_{\text{юк}} \rightarrow \infty$ бўлганда $I_{L2} = 0$ бўлиб, қўзғатиш чулғамидаги тоқ $\dot{I}_{L1(p)} = \frac{\dot{U}_1}{R_K}$ га тенг бўлади. $Z_{\text{юк}} \neq 0$ да эса $Z_{\text{кир}}$ қаршилик таркибида унинг резонанс режимидаги қиймати ($Z_{\text{кир}} = R_{1K}$) дан фарқли равишда актив $\left(\frac{[\omega M(x)]^2 (R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2} \right)$ ва реактив $\left(\frac{[\omega M(x)]^2 \omega L_{\text{ўлч.}}}{(R_{\text{ўлч.}} + Z_{\text{юк}})^2 + (\omega L_{\text{ўлч.}})^2} \right)$ ташкил этувчилари пайдо бўлади. Бу ташкил этувчилар, бир томондан, қўзғатиш чулғами тоқининг амплитудаси ва фазасини ўзгаришига олиб келса, иккинчи томондан, реактив ташкил этувчининг мавжудлиги резонансга созланган қўзғатиш занжири хусусий частотасини ўзгаришига олиб келади, натижада эса занжир резонанс режимдан маълум даражада оғади.

Энди ДТД қўзғатиш занжири тоқлар резонансига созланган варианты учун Кирхгоф қонунлари асосида қуйидаги мувозанат тенгламаларни тузамиз (бунда 2- расмда келтирилган схеманинг умумий шохобчадаги конденсатор инобатга олинмай, узлукли чизиқ билан кўрсатилган шохобча инобатга олинади):

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{L1} + \dot{I}_{C1}, \quad (18)$$

$$\dot{U}_1 = -jX_C \dot{I}_{C1}, \quad (19)$$

$$\dot{U}_1 = (R_K + j\omega L_K)I_{L1} - j\omega M(x)I_{L2}, \quad (20)$$

$$(R_{\dot{y}лч.} + Z_{юк} + j\omega \dot{y}лч.)I_{L2} - j\omega M(x)I_{L1} = 0, \quad (21)$$

(19) тенгламадан I_{C1} токни, (20) тенгламадан эса I_{L1} токни топиб, уларнинг қийматларини (18) га қўйиб, занжирнинг шохобчаланмаган қисмидаги I_1 ток учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$I_1 = \frac{R_K \dot{U}_1}{R_K^2 + (\omega L_K)^2} + j \frac{\omega C_1 [R_K^2 + (\omega L_K)^2 - \frac{L_K}{C_1}] \dot{U}_1}{[R_K^2 + (\omega L_K)^2] X_C} + j \frac{\omega M(x) I_{L2}}{R_K + j\omega L_K}, \quad (22)$$

Агар тадқиқ этилаётган ДТД кўзғатиш занжири тоқлар резонансига созланганлиги инобатга олинса, у ҳолда (22) тенглама ўнг томонидаги иккинчи қўшилувчи нолга тенг бўлади. Бунга иккинчи қўшилувчидаги бурчак частота ω ўрнига унинг резонанс режимидаги $\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_K C_1}} \sqrt{\frac{L_K / C_1 - R_K^2}{L_K / C_1}}$ қийматини қўйиб ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Юқоридагини эътиборга олиб ва (20) ҳамда (21) тенгламаларни биргаликда ечиб, I_1 , I_{L1} ва I_{L2} тоқларнинг қуйидаги қийматларини топамиз:

$$I_1 = \frac{R_{1K} \dot{U}_1}{R_{1K}^2 + (\omega L_{1K})^2} - j \frac{[\omega M(x)]^2 (R_{1K} - j\omega L_{1K}) \dot{U}_1}{[R_{1K}^2 + (\omega L_{1K})^2] [(R_{1K} + j\omega L_{1K})(R_{L2} + Z_{юк} + j\omega L_2) + [\omega M(x)]^2]}, \quad (23)$$

$$I_{L1} = \frac{(R_{L2} + Z_{юк} + j\omega L_2) \dot{U}_1}{(R_{1K} + j\omega L_{1K})(R_{L2} + Z_{юк} + j\omega L_2) + [\omega M(x)]^2}, \quad (24)$$

$$I_{L2} = \frac{j\omega M(x) \dot{U}_1}{(R_{1K} + j\omega L_{1K})(R_{L2} + Z_{юк} + j\omega L_2) + [\omega M(x)]^2}, \quad (25)$$

Айтиш лозимки, $Z_{юк} \rightarrow \infty$ бўлганда (23)-(25) тенгламалар мос равишда $I_{1(p)} = \frac{R_{1K} \dot{U}_1}{R_{1K}^2 + (\omega L_{1K})^2}$, $I_{L1(p)} = \frac{\dot{U}_1}{R_{1K} + j\omega L_{1K}}$ ва $I_{L2} = 0$ кўринишга ўтади.

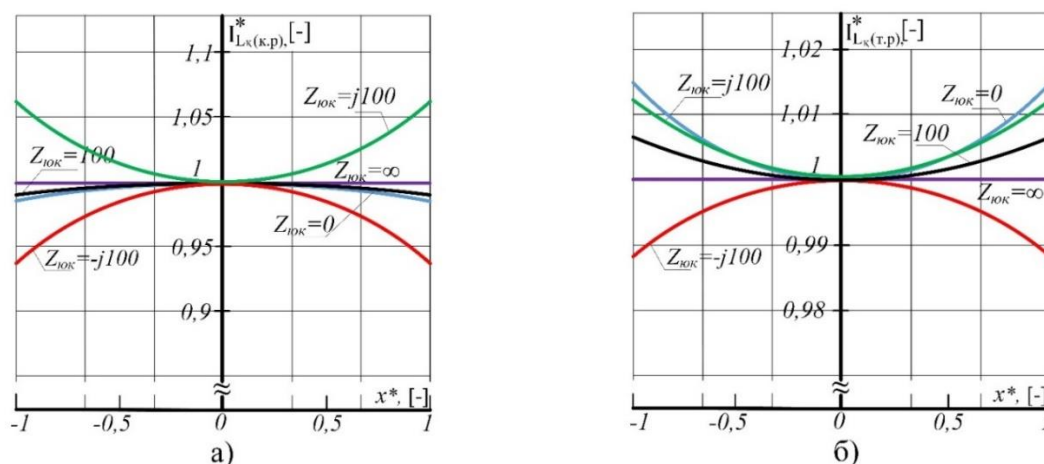
Кўзғатиш чулғамидаги токни унинг резонанс режимидаги қийматидан $Z_{юк}$ ва ДТД кўзғалувчан элементи бўлган ўлчаш чулғами координатасига боғлиқ равишда оғишини баҳолашда кучланишлар (тоқлар) резонанси(к.р. ва т.р)га созланган ДТД учун қуйидаги функциялардан фойдаланиш мумкин:

$$I_{L1(к.р.)}^* = \frac{I_{L1}}{I_{L1(p)}} = f_{к.р.}(x, Z_{юк}) = \frac{R_{1K}}{\sqrt{\left[R_{1K}^2 + \frac{[\omega M(x)]^2 (R_{L2} + Z_{юк})^2}{(R_{L2} + Z_{юк})^2 + (\omega L_2)^2} \right]^2 + \left[\frac{[\omega M(x)]^2 \omega L_2}{(R_{L2} + Z_{юк})^2 + (\omega L_2)^2} \right]^2}}. \quad (26)$$

$$I_{L1(т.р.)}^* = f_{т.р.}(x, Z_{юк}) = \sqrt{\frac{[(R_{L2} + Z_{юк})^2 + (\omega L_2)^2] [R_{1K}^2 + (\omega L_{1K})^2]}{[R_{1K}(R_{L2} + Z_{юк}) + [\omega M(x)]^2 - \omega^2 L_{1K} L_2]^2 + [R_{1K} \omega L_2 (R_{L2} + Z_{юк})]^2}}. \quad (27)$$

Янги ДТД нинг ясалган конструкцияси қуйидаги геометрик ўлчам ва электротехник параметрларга эга: $\mu_{\dot{y}п} = 1810$ (1512 маркали электротехник пўлат тунукалардан йиғилган магнит ўтказгичдаги магнит индукциянинг $0,4 \div 1,5 T$ диапазонидаги ўртача қиймати); $b = 0,02 m$; $h = 0,01 m$; $\delta = 0,02 m$; $X_M = 0,075 m$; $w_K = 500$; $w_{\dot{y}лч} = 50$. Кўзғатиш чулғами учун ишлатилган электр ўтказгич сим диаметри $d = 0,38 mm$ ва қаршилигининг погон қиймати $R = 0,152 \Omega/m$, ўлчаш чулғами учун эса мос равишда $d = 0,2 mm$ ва $R = 0,572 \Omega/m$. Занжир параметрларининг ўлчанган қийматлари: $R_K = 13,7 \Omega$; $R_{\dot{y}лч} = 2,6 \Omega$; $L_K = 0,19 H$; $L_{\dot{y}лч} = 9,5 \cdot 10^{-4} H$; $M_{п} = \frac{M}{X_M} = 1,27 \cdot 10^{-2} H/m$.

(26) ва (27) тенгламалар ва улар асосида юқорида қайд этилган маълумотлар бўйича қурилган $I_{L1(к.р.)}^* = f_{к.р.}(x, Z_{юк})$ ва $I_{L1(т.р.)}^* = f_{т.р.}(x, Z_{юк})$ функциялар графиклари (3- расм) таҳлили шуни кўрсатадики, кўзғатиш чулғамлари мос равишда кучланиш ва



3- расм. Тадқиқ этилаётган силжишларни ўлчовчи ва қўзғатиш чулғами кучланишлар (а) ҳамда тоқлар (б) резонансларига созланган ДТД лар $I_{L_{к(к.р)}}^* = f_{к.р.}(x, Z_{юк})$ ва

$$I_{L_{к(т.р)}}^* = f_{к.р.}(x, Z_{юк})$$

тоқлар резонансига созланган иккита бир хил янги ДТД да юклама қаршилиги қиймати ва характерининг ўзгариши кучланишлар резонансига созланган ДТД қўзғатиш чулғаидаги ток қийматининг кўпроқ ўзгаришига олиб келади.

Шундай қилиб, ушбу мақолада қўзғатиш чулғаи кучланишлар ёки тоқлар резонансига созланган янги ДТД нинг математик моделлари (10)- (13), (16), (17), (23)-(27) аналитик тенгламалар кўринишида ҳосил қилинди. Улар ёрдамида қўзғатиш чулғаи кучланишлар ёки тоқлар резонансига созланган янги ДТД техник имкониятларини ўзаро солиштириш ҳамда техник тавсифларини назарий тадқиқ этишда фойдаланиш мумкин бўлади. Қўзғатиш чулғаи кучланишлар ёки тоқлар резонансига созланган ДТД лар учун ишлаб чиқилган математик моделлар таҳлили шуни кўрсатдики, қўзғатиш занжири кучланишлар резонансига созланган ДТД нинг сезгирлиги тоқлар резонансига созланган ДТД лар сезгирлигидан $\sqrt{1 + X_{кL}^2/R_{к}^2}$ марта юқори бўлади, манбадан исьтемом қилаётган қувват бирлигига нисбатан олинганда эса тоқлар резонансига созланган ДТД сезгирлиги кучланишлар резонансига созланган ДТД нинг сезгирлигидан $\sqrt{1 + X_{кL}^2/R_{к}^2}$ марта юқори бўлади, масалан қўзғатиш занжирининг аслиги 10 га тенг бўлган ДТД да юқорида таққосланаётган катталиқлар $\sqrt{1 + X_{кL}^2/R_{к}^2} = 10,05$ га фарқ қилади. Қўзғатиш чулғамлари мос равишда кучланиш ва тоқлар резонансига созланган иккита бир хил янги ДТД да юклама қаршилиги қиймати ва характерининг ўзгариши кучланишлар резонансига созланган ДТД қўзғатиш чулғаидаги ток қийматининг кўпроқ ўзгаришига олиб келади.

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. Федотов А.В. Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля: монография /. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с.
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. Баратов Р.Ж. Бипараметрические электромагнитные резонансные преобразователи механических величин для систем управления: дис. ... к.т.н. Ташкент, ТГТУ, 1996. – 173 с.
7. Суллийев А.Х. Бипараметрические резонансные датчики движения для систем контроля и управления: дисс ... к.т.н., Ташкент, ТГТУ, 2011.-211с.
8. Калашников А.М., Степук Я.В., Колебательные системы (Основы радиотехники и радиолокации). Учебное пособие. Военное изд., Москва, 1972. – 376 с.
9. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: Учебное пособие. 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2009. – 592 с.