

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ҚАРШИ МУХАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

«САНОАТ ТЕХНОЛОГИЯСИ» ФАКУЛЬТЕТИ
«АВТОМАТИКА ВА АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ» КАФЕДРАСИ

Номозов Жуманазар Пардаевичнинг

«Эгилувчан хусусиятли электро-механик объектларни автоматик
ростлаш системаси» мавзули

5523800 – «Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни
автоматлаштириш (тармоқлар бўйича)» йўналиши бўйича

бакалавр даражасини олиш учун

БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Кафедра мудири

т.ф.н., доц. Маллаев А.Р.

Раҳбар

т.ф.н., доц. Сиддиқов И.Х.

Тошкент – 2014 й.

МУНДАРИЖА

КИРИШ.	5
1 – БОБ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОБЪЕКТЛАРНИНГ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДАГИ ЭГИЛУВЧАНЛИКНИНГ СИСТЕМАГА ТАЪСИРИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ.	7
1.1 Эгилувчанликнинг келиб чиқиш сабаблари.	7
1.2 Эгилувчан электромеханик системаларнинг хусусиятлари.	9
1.3 Электромеханик система эгилувчанлигини ростлаш сифатига таъсирларини ўрганиш.	12
2 – БОБ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИ ДИНАМИКАСИНИ ТУЗИШ.	18
2.1 Эгилувчанли электромеханик системалар математик схемасини танлаш ва таҳлил қилиш.	18
2.2 Механик ҳаракатнинг соддалаштирилган модели.	25
2.3 Қуруқ ишқаланишли ва люфт компенсацияси.	29
3 – БОБ. ЭГИЛУВЧАН ХУСУСИЯТГА ЭГА ОБЪЕКТЛАР БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИНИ ЎРГАНИШ.	32
3.1 Эгилувчан хусусиятли система ва ростлагични моделлаштириш.	32
3.2 Двигател якор занжири электромагнит инерцияси ва ўзгартирувчининг таъсири.	35
3.3 Эгилувчан хусусиятли динамик объектларини бошқариш системаларини синтез қилиш.	39
3.4 МАТЛАБ ёрдамида Эгилувчан хусусиятли системаларнинг динамик характеристикаси тасирчанлигини таҳлил қилиш.	
Хулоса.	43
Адабиётлар	44

КИРИШ

Мустақил Республикамиз ресурсларини тежаш масаласи иқтисодий ривожланишнинг омилларидан биридир. Президентимиз И.А.Каримов таъкидлаганидек: «Электроэнергетика тизимини модернизация қилиш, энергия истеъмолини камайтириш ва энергия тежашни самарадорлик тизимини амалга ошириш иқтисодий рақобатбардошлилигини янада кучайтириш, аҳоли фаровонлигини юксалтириш кўп жиҳатдан бизнинг мавжуд ресурслардан қанчалик тежамкорли фойдалана олишимизга боғлиқдир» [1].

Ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишда ишлаб-чиқариш жараёнларини автоматлаштириш катта аҳамиятга эга. Кўп йиллар мобайнида мутахассисларнинг эластик электроюритмали механизмларга бўлган қизиқишлари жуда каттаки, шундай системаларни татқиқ қилиш ва ишлаб чиқариш долзарб вазифа бўлиб қолмоқда.

Одатда механизм ва двигател ўртасида, айрим вақтларда механизмнинг алоҳида қисмлари орасидаги боғланишларнинг чегараланган қаттиқлиги уларнинг конструктив тузилишига ва уларнинг оғирлиги камайишига ва ўлчамларининг кичрайишига бўлган талабларнинг интекосидир. Шунинг учун боғлам қаттиқ бўлишини хар доим хам бажариб бўлмайди. Электроюритмаларга бўлган талабларнинг ортиши уларнинг тезкорлигини оширишга олиб келади, эластик электроюритма ускуна ишлашига таъсир кўрсатиши мумкин. Системада тебраниш хосил бўлади. Бу эса системани тез эскиришига олиб келади, айрим вақтларда деталларнинг бузилишига ишлаб чиқариш самарадорлиги ва махсулот сифатига таъсир этиши мумкин.

Кўп тарқалган электроюритмани бошқариш системалари цархли бошқарув принципига асосланган. Аммо бундай принцип системаларнинг тезкорлигига таъсир қилиши мумкин.

Шунинг учун ҳамма талабларга жавоб бера оладиган, яъни тебранишсиз ишлай оладиган ва ишлаб чиқариш самарадорлигига салбий таъсир кўрсатмайдиган эластик электрон механизм системаларини автоматлаштиришни татқиқ қилиш муҳим аҳамиятга эга.

Бундай бошқарув системаларини татқиқ қилиш эса системанинг ички динамик жараёнларини ўрганишни талаб қилади. Буларнинг ҳаммаси системанинг мураккаблигини оширади ва уларни аналитик синтез қилишнинг умумий усуллари мавжуд эмас. Шунинг учун олдимизга қўйилган масалаларни осонлаштириш йўлларини топишимиз зарур. Бунинг учун системани турли режимларда татқиқ қилиш учун ЭХМ дан фойдаланиш муҳим роль ўйнайди.

1 – БОБ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОБЪЕКТЛАРНИНГ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДА ЭГИЛУВЧАНЛИКНИНГ СИСТЕМАГА ТАЪСИРИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ

1.1 Эгилувчанликнинг келиб чиқиш сабаблари

Замонавий машина ва механизмларда эластик боғламларга тез-тез дуч келишимиз мумкин. Уларнинг бўлиши кўплаб ноқулайликлар келтириб чиқиши мумкин. Катта амплитудали тебранишлар юзага келади, баъзи бир бўлимларнинг деформацияси натижасида механизмлар ишлаши аниқлиги камаяди ва х.к. Шу муносабат билан агрегатларнинг эластик боғланмаларини ўрганиш катта аҳамиятга эга.

Технологик агрегатларда эластик боғламлар келиб чиқишининг бир канча сабабларини ўрганамиз.

1. Сабаблардан бири агрегат қисмларининг нотекис ҳаракатланиши ҳар қандай звено механизмлари деформация натижасида ҳаракат кучланиши ва момент миқдори ўзгаради; оддий ҳолларда, звено идеал эластик деб ҳисобланади ва унинг деформацияси (чўзилиши, букилиши, эзилиши ва буралиши) битта ўзгарувчан x билан аниқланади ва берилган куч ёки моментнинг деформациясига нисбатан $F(x)$ функция орқали ифодаланади. Бу функция эластик характеристикаси дейилади ва унинг ҳосиласи:

$$c(x) = \frac{dF}{dx}(x). \text{ эластик звенонинг қаттиқлик даражаси дейилади.}$$

Звено қаттиқлиги $F(x) = cx$ га боғлиқ эмас айрим ҳолларда вақтга боғлиқ бўлади. Эластик характеристиканинг потенциаллиги турли сабабларга кўра юзага келиши мумкин. Биринчидан деформациясига учраган деталнинг материали Гук қонунларига бўйсинмаслиги мумкин; мисол учун резина шундай мисол бўлиши мумкин. Иккинчидан, кучнинг деформация боғлиқлиги конструкциясининг эластик элементи орқали аниқланиши мумкин.

Эластик звенолар кўп ҳолларда ҳаракатни чегараловчи ускуналар билан чегараланиши мумкин. Эластик боғлашлар эластик характеристикасига боғлиқ.

2. Ҳар қандай механик системаларда эластик боғланмаларга нисбатан қарши кучлар, кўп ҳолларда диссипатив кучлар деб номланади. Диссипатив кучлар турли сабабларга кўра пайдо бўлиши ва турли характерга эга бўлиши мумкин. Айрим ҳолларда улар демфирик ускуналарда, бундай ускуналар махсус ўрнатилади ва системада қувват тақсимланишини кучайтиради. Бундай демпферларга фрикцион, гидравлик ва ҳаво демпферлари киради. Айрим ҳолларда эса, қаршилик йуллари системанинг ҳаракатланувчи ва муайян қисмлари орасидаги ишқаланиш йуллари сифатида намоён бўлади. Диссипатив куч ва механик системанинг ҳаракатини кўрсатувчи параметрлар асосан нотекис характерга эга.

3. Технологик агрегат динамикасини текшириш вақтида машина ва двигателнинг нотекис характеристикасини кўзда тутиш мумкин.

Машинанинг ишлаш характеристикаси технологик кучланиш ва қаршилик кучларининг тезликка нисбати олинади. Бундай технологик кучланишга мисол қилиб металл станокларни олиш мумкин.

4. Эластик хусусиятга эга системаларнинг махсус синфи сифатида валнинг айланиши ва ишчи органнинг нотекис ҳаракати орасидаги механизмлар динамикасини татқиқ қилиш билан боғлиқ.

Замонавий эластик системаларни қуриш вақтида шу нарса маълум бўлдики, объектни бошқарувчи қаттиқ системалар билан бир қаторда объектнинг эластиклик даражасини ҳам назарда тутиш лозим. Бу соҳада системанинг ҳар хил режимларда ишлашини текшириш учун ЭХМ дан фойдаланган маъқул.

1.2 Эгилувчан электромеханик системаларнинг хусусиятлари

Технологик машина ва агрегатларни ўрганиш системадаги бошқарувчи ва ижрочи механизмларда юз бераётган динамик жараёнларни аниқ баҳолаш имкониятини беради.

Двигател моменти ва унинг бурчак тезлиги орасидаги функционал боғлиқлиги двигателнинг механик характеристикаси деб номланади. Электромеханик ва электромагнетик ўсиш жараёнларининг даражасига кўра механик характеристикалар қуйидаги турларга бўлинади.

- 1) Статистик механик характеристика;
- 2) Ўрнатилган режимдаги характеристиканинг электромеханик ўтиш жараёнларини назарда тутувчи динамик механик характеристика;
- 3) Динамик механик характеристика.

Технологик машиналарни инженерик ҳисоблаш чоғида статистик механик характеристика қўлланилади. Бунда электромагнит ўтиш жараёнлари двигателда ҳисобга олинмайди. Бу эса ҳисоб китобларнинг нотўғри баҳоланишига олиб келади. Айрим ҳолларда, айниқса пахта тозалаш машиналарида, улар паст тезликда ишлайди, двигателни механик статистик механик характеристикаси аниқ натижалар бериши мумкин.

Асинхрон двигател механик статик характеристикаси қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$M_{\partial} = \frac{2M_K(1 + \varepsilon)}{S / S_K + S_K / S + 2\varepsilon}$$

Бунда

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\Gamma^2 + \Gamma_K^2}} \quad (1.1)$$

M_{∂}, M_K - двигател валидаги момент ва унинг киритиш қиймати;

S, S_K - двигател сурилиши ва моментга мос сурилиш.

$$S_K = S_i \left(\frac{M_K}{M_i} + \sqrt{\frac{M_K^2}{M_i^2} + 1} \right) :$$

$$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} ;$$

ω_H , ω_0 -двигател ротори номинал ва эркин айланишига мос бурчак тезлиги;

M_H – электродвигател номинал моменти;

Γ , Γ_K - актив ва индуктив қаршиликлар.

Ўзгармас ток боғлиқсиз двигателлари учун статистик механик характеристика

$$\omega = \omega_0 (1 - \nu M_d), \quad \omega_0 = \frac{E_\Gamma}{K_e \Phi},$$

$$\nu = \frac{\Gamma_\gamma}{K_M E_\Gamma \Phi}, \quad K_M = 0.016 \frac{P_n}{a} \quad (1.2)$$

$$K_e = 9,81 K_M,$$

кўринишига ега.

Бу ерда

ν – статистик характеристика эгрилилик коэффициенти;

E_Γ – генератор электр юритувчи кучи;

Γ_γ – якорнинг актив қаршилиги;

p – якор ўрамлари актив ўтказувчилари сони;

P – жуфт қутублар сони;

a – якор ўрамлари параллел симлари сони;

Φ – двигател магнит оқими;

Асинхрон электродвигател ўрнатилган режимдаги ҳаракати динамик характеристикаси И.С. Пинчук томонидан аниқланган ва

$$\frac{1}{2\omega_k M_k} M_\partial + \frac{S_K}{2M_K} M_\partial = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (1.3)$$

кўринишига ега.

Бу ерда

ω_K – контурнинг бурчак частотаси.

Ўзгармас ток двигателлари учун динамик механик ҳарактеристика

$$\frac{r_{\text{я}}}{M_{\text{н}} \Phi} \left(\frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} M_{\delta} + M_{\delta} \right) = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (1.4)$$

қуйидаги қуринишига эга.

Бунда $R_{\text{я}}$ ва $L_{\text{я}}$ генератор ва электродвигател якоридаги тўлиқ актив ва тўлиқ индуктив қаршиликлар.

Кетма-кет қўзғалувчан ўзгармас ток электродвигателлари динамик ҳарактеристикаси

$$M_{\delta} = K_{\kappa} \Phi, \quad \dot{U} = K_K \Phi' \omega + (L_{\text{я}} + L_B) \frac{di}{dt} + (R'_{\text{я}} + R_p) i \quad (1.5)$$

Бунда K_K – электродвигател индуктив параметри;

Φ – магнит оқими;

i – якордаги ток;

$L_{\text{я}}, L_B$ – якор ва қўзғалиш ўрамларидаги индуктивлик;

$R'_{\text{я}}, R_p$ – якор ва ишга тушириш реостати актив қаршилик.

Электромагнит ўтиш жараёнларини қўзда тутган ҳолда асинхрон двигател динамик механик ҳарактеристикаси статор ва ротор оқими боғланиши векторларини қўзда тутган дифференциал тенгмалар системаси билан ифодаланади.

$$M_{\delta} = \frac{3PK_{\Gamma}}{2\sigma X_S} (\psi_{x_2} \psi_{y_1} - \psi_{x_1} \psi_{y_2}),$$
$$\psi_{x_1} = Um \cos \gamma - \omega_0 \alpha' \psi_{x_1} + \omega_0 \alpha'_S \psi_{x_1}.$$

Бунда

M_{δ} – двигател электромагнит моменти;

$\psi_{x_1} \psi_{y_1}$ – статорнинг умумлашган x ва y ўқлари бўйлаб оқимга боғланиш вектори;

$\psi_{x_2} \psi_{y_2}$ – роторнинг умумлашган x ва y ўқлари бўйлаб оқимга боғланиш вектори;

K_r – роторнинг бутун реактив қаршилиги ўзаро индуктив коэффициенти;

σ – Блондель тарқалиш коэффициенти;

X_s, X_r – статор ва роторнинг тўлиқ реактив қаршилиги;

U_m – фазаларга берилаётган кучланиш амплитудаси;

α'_r, α'_s – ротор ва статор ёпик ўрами учун статор ва ротор сўниши коэффициенти;

K_s – ўзаро индуктивлик тўлиқ индуктивлик қаршилиги X_Q статор тўлиқ актив қаршилиги X_s га нисбати коэффициенти;

C_0 – нисбатан синхрон тезлик;

Γ_1, Γ_2 – статор ва ротор фазалари актив қаршилиги;

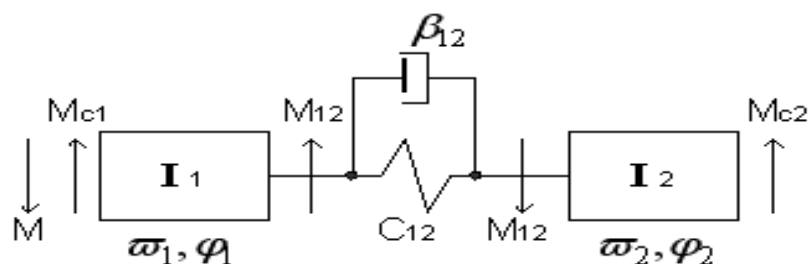
α_r, α_s – статор ва ротор фазалари актив қаршилигининг ротор ва статор тўлиқ реактив қаршилигига нисбати;

1.3 Электромеханик система эгилувчанлигининг ростлаш сифатига таъсирларини ўрганиш

Пахта тозалаш саноатининг кўпгина агрегатларида двигател ва ижрочи орган орасида қаттиқ боғлам кузатилади. Асосан технологик агрегатларнинг электродвигатели ижрочи орган билан тасма билан боғланади. Тасма юмшоқ бўлгани учун электропривод системаларида айланма тебраниш ҳолатлари юз беради. Улар эса ишчи органга таъсир қилиб, агрегатнинг тез йемирилишига ва пировардида бузилишига олиб келади ва шу билан тола сифатига ва унинг самарадорлигига таъсир кўрсатади.

Электропривод система ўтиш жараёнларини ўрганиш учун тасмали узатиш системаларини созлаш регуляторлари математик моделини ишлаб чиқиш керак.

Электропривод ҳаракатланиши тенгламасини тузиш учун ўзгармас ток двигатели эластик электромеханик система тузилиш схемасидан фойдаланамиз.



1.1 – расм. 2 массали эластик боғланишли электромеханик системанинг структуравий схемаси

Бу ерда M – двигател электромагнит моменти;

M_{C1} – двигател статик қаршилиги моменти;

M_{C2} – юклама статик қаршилиги моменти;

M_{12} – эластик боғлама қаршилиги моменти;

C_{12} – эластик боғлама қаттиқлиги коэффициенти;

β_{12} - демпфирик коэффициенти;

ω_1 - двигател вали айланиш тезлиги;

ω_2 - ишчи орган айланиш тезлиги;

I_1 – двигател инерцияси моменти;

I_2 – ишчи орган инерцияси моменти.

Электромеханик система математик формуласи қуйидаги дифференциал тенглама системаси билан белгиланади.

$$\begin{cases} U_{\epsilon} = i_{\epsilon} \cdot R_{\epsilon} + L_{\epsilon} \frac{di_{\epsilon}}{dt} = \frac{R_{\epsilon}}{K_{\phi}} \cdot (1 + T_{\epsilon} \cdot p) \cdot \Phi; \\ U_{\gamma} = i_{\gamma} \cdot R_{\gamma \Sigma} + L_{\gamma} \frac{di_{\gamma}}{dt} + K \cdot \Phi \cdot \varpi = R_{\gamma \Sigma} \cdot (1 + T_{\gamma} \cdot p) \cdot i_{\gamma} + K \cdot \Phi \cdot \varpi; \\ M = K \cdot \Phi \cdot i_{\gamma}; \\ M - M_c = I_{\Sigma} \frac{d\varpi}{dt}, \end{cases}$$

Бу ерда

U_B, U_{γ} – қўзғатиш ўраи ва якордаги кучланиш;

i_B, i_{γ} – қўзғатиш ўраи ва якордаги ток;

R_B, R_{Σ} – қўзғатиш ўраи ва якордаги қаршилик;

L_B, L_{Σ} – қўзғатиш ўраи ва якордаги индуктивлик;

Φ – қўзғатиш ўраи магнит оқими;

K – конструктив коэффиценти;

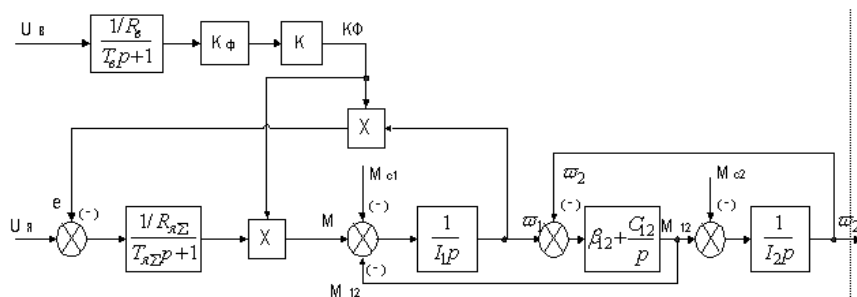
M – двигател электромагнит моменти;

M_C – двигател статик қаршилиги моменти;

I_E – двигател инерция моменти.

$$T_B = L_B / R_B, \quad T_{\Sigma} = L_{\Sigma} / R_{\Sigma}.$$

Математик моделга керакли элементларнинг қўшилиш схемаси куйидагича ифодаланади.



1.2 - расм. Электромеханик эластикли икки вазнли система тузилиш схемаси.

Электромеханик системалари динамикасини текшириш учун куйдаги параметрлар кабул килинди:

П 62 куввали двигатель $P_H = 6 \text{ кВт}$,

Номинал кучланиш $U_c = 220 \text{ В}$,

Номинал айланиш тезлиги $n = 750 \text{ айл/мин}$,

Якор номинал токи $I_{H.Y} = 33,5 \text{ А}$,

Якор занжири қаршилиги $R_{\Sigma} = 0,531 \text{ Ом}$,

Қўзғалиш ўраи (К Ў) қаршилиги $R_B = 154 \text{ Ом}$,

Якор актив ўтказгичлари сони $N = 744$

Якор паралел ўрамлари сони $2a = 2$

К. Ў. кутблари ўрамлари сони $w_B = 1800$,

Битта кутб фойдали магнит оқими $\Phi_K = 10,5 \text{ мВб}$

Ў.К. Наминал кўзғалиш токи $I_{HK} = 1,08 \text{ A}$

Максимал айланиш частатаси 1500 ай/мин

Якор инерция маменти $I_1 = 0,65 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$,

Икки кутбли двигател $P_K = 2$.

Моделлаштириш учун етишмайдиган параметрларни ҳисоблаб чиқарамиз.

Бурчак тезлиги:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 750}{30} = 78.53982 \text{ c}^{-1}$$

Двигател наминал электромагнит маменти:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{6000}{78.53982} = 76.39437 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Двигател конструктивлиги коэффициенти

$$K = \frac{P_{II} \cdot N}{2\pi \cdot a} = \frac{1 \cdot 744}{2\pi \cdot 1} = 236.82256$$

Номинал магнит оками:

$$\Phi_n = \frac{M_n}{K \cdot I_{ян}} = \frac{76,39437}{236.82256 \cdot 33.5} = 9.62927 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

К. Ў. вақт ўзгармаси:

$$T_\epsilon = \frac{L_\epsilon}{R_\epsilon} = \frac{2 \cdot P_{II} \cdot K_s \cdot \varpi \cdot \Phi_n}{R_\epsilon \cdot I_{н\epsilon}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1800 \cdot 9.629 \cdot 10^{-3}}{154 \cdot 1.08} = 0.50022 \text{ c}$$

Бу ерда $K_s 1.1 \dots 1,25$ интервал орасидан танланади.

Якор занжири вақт ўзгармаси :

$$T_\gamma = \frac{L_\gamma}{R_\gamma} = \frac{\gamma \cdot U_c}{R_\gamma \cdot P_{II} \cdot \omega_n \cdot I_{н,\gamma}} = \frac{0,25 \cdot 220}{0.531 \cdot 2 \cdot 78.53982 \cdot 33.5} = 0.01968 \text{ c}$$

Бу ерда $\gamma = 0.25$ га тенг. K_ϕ -коэффициенти

$$K_\phi = \frac{\Phi_n}{I_{н,\phi}} = \frac{9.62927 \cdot 10^{-3}}{1.08} = 8.91599 \cdot 10^{-3} \text{ Вб / A}$$

Эркин айланиш тезлиги

$$\omega_{xx} = \frac{U_c}{K \cdot \Phi_n} = \frac{220}{236.823 \cdot 9.62927 \cdot 10^{-3}} = 96.47307 \text{ c}^{-1}, \quad n_{xx} = \frac{\omega_{xx} \cdot 30}{\pi} = 921.25 \text{ об / мин}.$$

Олинган микдорларни MATLAB дастури ёрдамида тузилиш схемасига мостлаштирамиз.

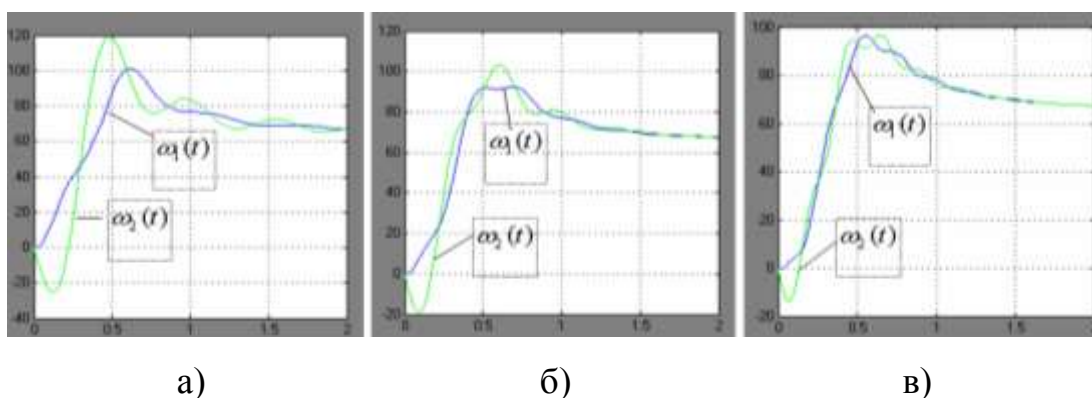
M_{c1} ва M_{c2} лар $M_{c1}=15$, $M_{c2}=100$ кийматларини эгаллайди. Колган параметрлар- номинал схеманинг чиқишдан бурчак тезлигини ўтиш характеристикаси ω_1 ва ω_2 двигател вали бурчак тезлиги ўтиш характеристикаси аниқлаб олинади.

Қуйидаги моментлар учун эластикликнинг таъсирини аниқлаш учун системани ишлаб чиқарамиз.

$$I_2=0.5I_1=0.0625 \text{ кг м}^2 \quad (1.3 \text{ ва } 1.4 - \text{расмлар})$$

a) $\varphi_1-\varphi_2=2^\circ$, каттиқлик коэффиценти $c_{12}=\frac{M_{12}}{\varphi_1-\varphi_2}=\frac{M_H}{\varphi_1-\varphi_2}=38.195$

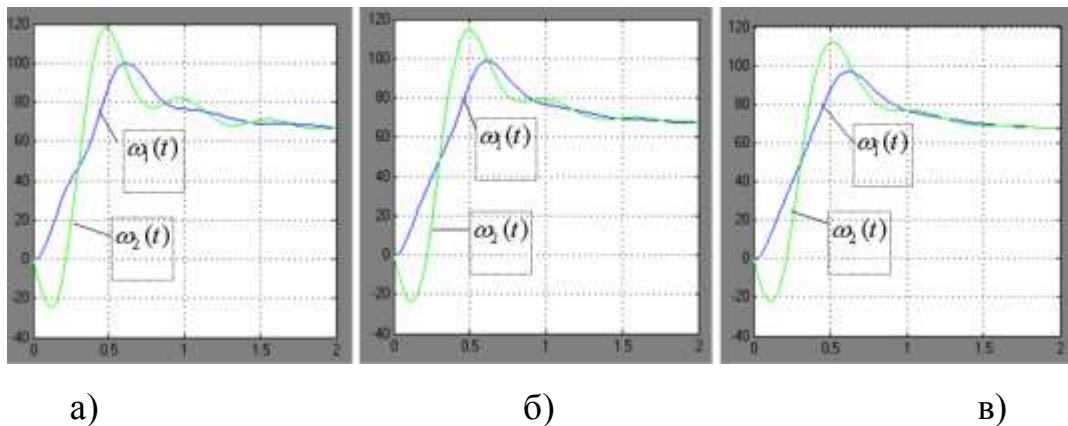
b) $\varphi_1-\varphi_2=0,5^\circ$, каттиқлик коэффиценти $c_{12}=\frac{M_{12}}{\varphi_1-\varphi_2}=\frac{M_H}{\varphi_1-\varphi_2}=76.39$



1.3 - расм. Ўткинчи жараён характеристикаси: $\omega_2(t)$ РО нинг айланиши ва $\omega_1(t)$ двигател вали.

Система таркибига демпфирик коэффицентини қўшамиз: β_{12} да $C_{12}=38,195$.

а) $\beta_{12}= 0,1$, б) $\beta_{12}= 0,3$, в) $\beta_{12}= 0,6$



1.4 - расм. Ишчи орган $\omega_2(t)$ ва двигател вали $\omega_1(t)$ айланиши ўтиш жараёни характеристикаси.

Шундай қилиб, айтиш мумкинки, демпфирик коэффициент қиймати ошгани сари тебраниш характеристикаси кескин камаяди. Қаттиқлик камайгани сари тебраниш характеристикаси ошади ва аксинча ошганда камаяди. Ишчи орган инерция моменти камайганда $\omega_2(t)$ ва $\omega_1(t)$ тебранишлар сўниши вақти кўпаяди, кўпайганда эса камаяди.

2 - БОБ. ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИ ДИНАМИКАСИНИ ТУЗИШ

2.1 Эгилувчанли электромеханик системалар математик схемасини танлаш ва таҳлил қилиш

Машина ва механизмларни ўрганишда механизмларнинг ҳақиқий қисмлари эмас, балки уларнинг динамик моделлари қуриб чиқилади.

Буни шу билан тушинтириш мумкинки, биринчидан ҳақиқий системанинг математик модели жуда ҳам катта ва уларни ўрганиш мураккаб бўлиши мумкин ва иккинчидан системанинг ишлашига кам таъсир кўрсатадиган иккинчи даражали элементларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

Пахтани дастлабки ишлаш машиналарининг аксарияти икки япроқли ва найзали барабандан иборат. Двигателга бўлган юкланиш жуда ҳам кичик ($0...3$ ай/мин), яни уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Иккинчи томондан қаралганда технология жараёнининг нормаллиги учун ишчи орган бурчак тезлиги ўзгаришини белгиланган даражасини ушлаб туриш талаб қилинади. Шунинг учун ҳисоб схемаларини тузиш вақтида конкрет механизм ва машиналар хусусиятларидан фойдаланамиз.

Аксарият машина ва механизмларда ҳисоб схемаларининг қуйидаги шартлари қўлланилади:

1. Эластик звенога эга механизмлар одатда кўп даражали эркинликка эга. Бундай схемаларни қулай қилиш учун эркинлик даражасини системани линеаризация қилиш, энергия тарқалишига йўл қўймаслик ва тутқичлар орасидаги бўшлиқларни камайтириш мумкин ва х.к.
2. Ҳисоблаш схемалари яхши ўрганилган типовой схемаларга мос қилиб тузиш тафсия қилинади.
3. Ҳисоб-китобларни ва ҳақиқий система ишчи параметрларини осонлаштириш учун механизмнинг ҳар қандай қулай звеноси қўлланиши мумкин.

4. Механизм ва машиналар ҳисоб схемасини тузиш учун двигателни ҳам кўзда тутиш лозим.

Мураккаб приводли пахта тозалаш машиналари динамик ҳисобини олиш учун эластик қисмлар характеристикасини ҳисобга олиш зарур.

Чизиқли эгиловчан элемент учун эгилиш кучи эгиловчан элемент деформациясига тўғри пропорционал, яъни

$$P_{ypr} = c \Delta x,$$

бу ерда c -эгиловчи элемент қаттиқлик коэффициенти.

Δx -эгиловчи элемент деформацияси. Тасманинг кичик деформациясида

$$\Delta x = \Delta \varphi_2 R_2,$$

$$M = [(P_0 + \Delta P) - (P_0 - \Delta P)] R_2 = 2c \Delta \varphi_2 R_2^2.$$

кўринишида ёзишимиз мумкин. Системанинг потенциал энергияси

$$\Pi = 1/2 M \Delta \varphi_2, \quad \Pi_{np} = 1/2 M_{np} \Delta \varphi_1.$$

потенциал энергия тенглиги ($M_{np} = c_{np} \Delta \varphi$) ни ҳисобга олиб,

$$2 \Delta \varphi_2^2 c R_2^2 = c_{i\theta} \Delta \varphi_1^2,$$

$$c_{i\theta} = \frac{2cR_2^2 \Delta \varphi_2^2}{\Delta \varphi_1^2} = 2cR_1^2.$$

Эластик узатиш қаттиқлиги коэффициенти қуйидаги формула билан ҳисобланади

$$c = \frac{EF}{l_p},$$

бу ерда EF -деформацияланган тасма қаттиқлиги;

l_p -тасма фойдали узунлиги.

Бундан,

$$c_{i\theta} = \frac{2EFR_1^2}{l_p}.$$

га эга бўламиз.

Эластик узатиш моменти қуйидаги билан ифодаланади.

$$M_{i\theta} = c(\varphi_1 - i\varphi_2).$$

Эгилувчан элементли механизмларни динамик ҳисоблаш учун эгилувчан элементларда энергиянинг тарқалиши коэффитциентини ҳисобга олиш зарур.

Муайян ишқаланиш коэффиценти ҳақиқий ва келтирилган схемалардан энергия тарқалишининг тенглилигига асосланган. Қаршилиқ кучининг қаршилиги одатда звено ҳаракатланиши тезлигига тўғри пропорционал. Бундай ҳолда Релейнинг тенгламаси узатиш учун диссипатив функцияси

$$\Phi = \frac{1}{2} M \Delta \dot{\varphi}_2,$$

кўринишига эга, келтирилган схема учун эса

$$\Phi_{i\delta} = \frac{1}{2} M_{i\delta} \Delta \dot{\varphi}_2.$$

Агар, $\Phi = \Phi_{np}$, $M = b \Delta \dot{\varphi}_2$, $M_{np} = b_{np} \Delta \varphi_1$, лигини ҳисобга олсак,

$$\frac{1}{2} b \Delta \dot{\varphi}_2^2 = \frac{1}{2} b \Delta \dot{\varphi}_1^2,$$

бу ерда b -эгилувчан узатиш қаршилиги коэффитциенти;

b_{np} - шкивга нисбатан қаршилиқ коэффиценти

Умумий ҳолларда қатор эластик боғламли системаларда, валларни 1,2...м.к деб ҳисобласак, келтирилган коэффицент куйидаги тенглик билан ифодаланади.

$$b_{ki\delta}^m = \frac{b_k}{i_{mk}^2},$$

Бунда b_k – валнинг эластик узатувчи демфирик коэффицентти.

$b_{ki\delta}^m$ – м вал учун b_k – демфирик коэффицентти.

i_{mk} - к ва м валлари оралиғидаги узатиш бирлиги.

Қўзғатувчи ва бошқарувчи таъсирлар ўзгармас бўлган статика тенгламалар асосан алгебраик тенглама ҳисобланади. Динамик тенгламалар асосан – дифференциал. Улар системанинг ўтиш даврида қўзғатиш кучлари таъсир тугагандан кейин системанинг ишлашини аниқлайди. Динамик тенгламалар автоматик система барча элементлари учун тузилиб, автоматик

бошқарув жараёнини белгилайди. (АБЖ). Автоматик системани ҳисоблашда асосий масала – АБЖ звенолари динамик тенгламаларини тузиш. Чунки озгина ноаниқлик бутун ҳисоб – китобни йўққа чиқариши мумкин. Шунинг учун динамик тенгламаларни саноат объектлари учун тузиш тадқиқотчининг масаласига ҳам боғлиқ.

Агар оддий звено киришига $X_{\text{кир}}$ физик катталиқ ва чиқишига $X_{\text{чик}}$ физик катталиқ таъсир қилади деб ҳисобласак, дифференциал тенглама

$$A_0 \frac{d^n x_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}}{dt^n} + A_1 \frac{d^{n-1} x_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}}{dt^{n-1}} + \dots + A_n x_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = B_0 \frac{d^m x_{\hat{a}\hat{o}}}{dt^m} + B_1 \frac{d^{m-1} x_{\hat{a}\hat{o}}}{dt^{m-1}} + \dots + B_m x_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}, \quad (2.1)$$

бу ерда n - $X_{\text{чик}}$ ўзгаришини белгиловчи дифференциал тенглама даражаси;

m - $X_{\text{кир}}$ ўзгаришини белгиловчи дифференциал тенглама даражаси;

t – вақт.

(2.1) - тенглама нозизиқли яъни A_i ва B_i коэффитциентлар x ёки t га боғлиқ бўлиши мумкин. Шунинг учун бу тенгламадан фойдаланиш ноқулайликлар келтириши мумкин.

Шу сабаб билан тенгламани чизиқли қилиш учун уни Тейлор ва Маклорен қаторига қўйамиз ва

$$X_{\text{кир}} = \frac{X_{\text{киро}}}{X_{\text{кир}}} ; \quad X_{\text{чик}} = \frac{X_{\text{чик}}}{X_{\text{чиқо}}} ;$$

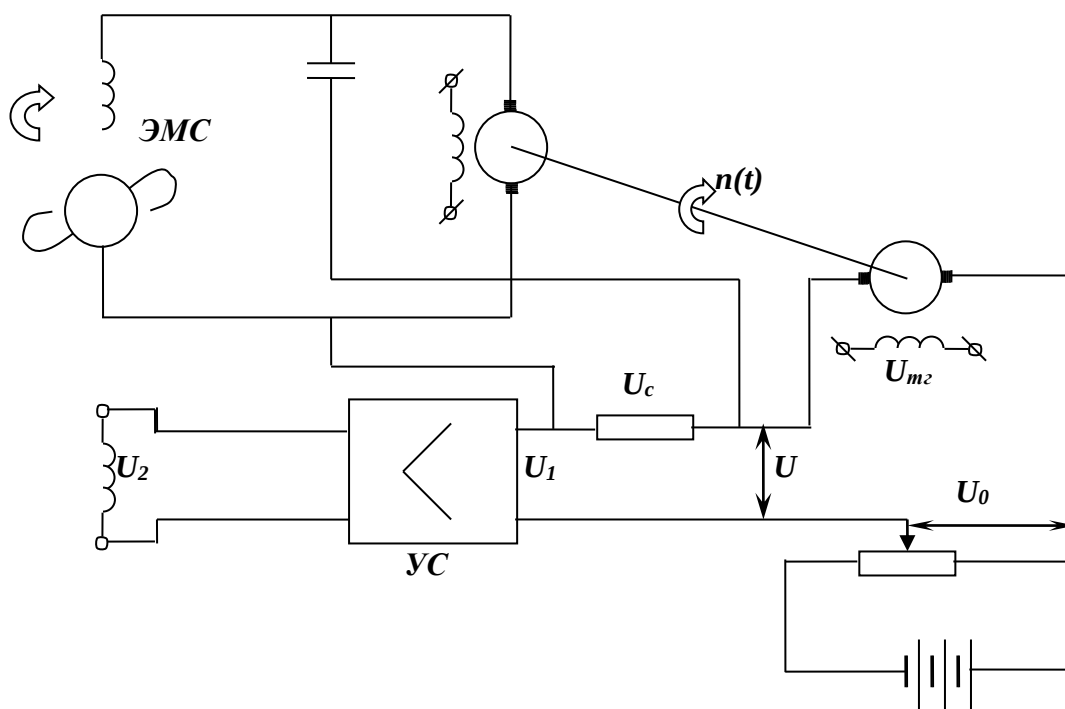
бу ерда $X_{\text{киро}}$ ва $X_{\text{чиқо}}$ x нинг максимал ёки номинал қиймати.

Нозизиқли тенгламаларни чизиқли тенгламаларга айлантириб (2.1) тенгламани қуйидагича язамиз.

$$a_0 \frac{d^n x_{\text{чик}}}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x_{\text{чик}}}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x_{\text{чик}} = b_0 \frac{d^m x_{\text{кир}}}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x_{\text{кир}}}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x_{\text{кир}} \quad (2.2)$$

бу ерда a_i ва b_i – ўзгармас коэффитциентлар.

Мисол учун АБ системаларини автоматик мослашнинг турли усулларини кўриб чиқамиз. Асосан тахогенератор ёрдамида $p(t)$ айланиш тезлигини бошқариш ҳисобланади.



2.1 – расм. Электродвигател айланиш тезлигини бошқариш системаси.

1. Электродвигател тенгламаси:

$$T_{\partial} \frac{dn(t)}{dt} + n(t) = k_{\partial} l_y(t), \quad (2.3)$$

бу ерда T_{∂} – двигател вақт бирлиги;

K_{∂} – двигател кучайтириш коэффициентини;

L_y – якор ЭЮКси.

2. Электромагнит кучайтиргич тенгламаси. ЭМК битта валдаги икки генератор комбинациясини билдиради. Улар кетма – кет уланган. Биринчи каскад занжири бошқариш тенгламаси:

$$T_y \frac{dl_{\partial}(t)}{dt} + l_{\partial}(t) = k_y u_2(t), \quad (2.4)$$

Иккинчи каскад кўндаланг занжири тенгламаси:

$$T_n \frac{dl_{\partial}(t)}{dt} + l_{\partial}(t) = k_n l_{\partial}(t), \quad (2.5)$$

бу ерда T_{δ} – ЭМК бошқарув занжири вақт ўзгармаси;

K_K – биринчи каскад кучайтириш коэффициентини;

T_K – кўндаланг занжир вақт ўзгармаси;

K_{K2} – иккинчи каскад кучайтириш коэффициенти;

$L_K(t)$ – иккинчи каскад қўзғатиш ЭЮК си;

$U_2(t)$ - ЭМК кириш кучланиши.

3. Электрон кучайтиргич тенгламаси:

$$u_2(t) = \kappa_{\varepsilon} u_1(t), \quad (2.6)$$

бу ерда K_K – кучайтириш коэффициенти.

4. Ички тескари боғланиш тенгламаси:

$$u_1(t) = u(t) - u_c(t), \quad (2.7)$$

$$T_{\tilde{n}} \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) = k_c \frac{dl'_y(t)}{dt} \quad (2.8)$$

бу ерда K_C – кучайтириш ёки аниқроғи пасайтириш коэффициенти.

T_K – вақт ўзгармаси. Келгусида $l'_y(t) = l_g(t)$ деб қабул қиламиз.

5. Хатолик тенгламаси:

$$u(t) = u_0(t) - u_{mz}(t) \quad (2.9)$$

6. Тахогенератор тенгламаси:

$$u_{mz}(t) = \kappa_{nu} n(t) \quad (2.10)$$

$K_{\text{айл}}$ – вал айланасининг кучланишга айланиш коэффициенти.

2.3 – 2.10. тенгламалар системаси двигател айланиш тезлигини белгилайди. Олинган юқоридаги тенгламалардан айрим аралик катталикларни чиқариб ташлаймиз. Лекин бу ўзгартиришлар катта меҳнатни талаб қилади. Шунинг учун ушбу операцияларни соддалаштириш талаб этилади. Бунинг учун вақт соҳасидан комплекс соҳасига ўтамиз, яъни Лаплас алмаштириши орқали дифференциал тенгламаларни оддий алгебраик тенгламалар кўринишига келтириб оламиз.

Лаплас алмаштириши қуйидаги муносабат орқали аниқланади:

$$X(p) = L\{x(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-pt} x(t) dt \quad (2.11)$$

бу ерда $x(p)$ – оригинал $X(p)$ – тасвир.

$W(p)$ функцияси кириш ва чиқиш катталиклари тасвири орасидаги боғлиқлигини ифодалайди ва элемент узатиш функцияси деб номланади.

Шундай қилиб, автоматик системанинг ҳар бир элементи ёки дифференциал тенглама ёки узатиш функцияси белгиланиши мумкин. Электродвигател вали айланиш тезлигини бошқариш системаси узатиш функцияси қуйидаги кўринишга эга:

1. Двигател учун

$$W(p) = \frac{k_{\delta}}{T_{\delta}p + 1} \quad (2.12)$$

2. Электромашина кучайтиргичи учун.

$$W_{\text{ЭМУ}_y}(p) = \frac{k_y}{T_y p + 1} \quad (2.13)$$

$$W_{\text{ЭМУ}_n}(p) = \frac{k_n}{T_n p + 1} \quad (2.14)$$

3. Электрон кучайтиргич учун

$$W_{\text{Э.р}} = \kappa_{\text{Э}} \quad (2.15)$$

4. Ички тескари боғланиш учун

$$W_{\text{И.Т.Б}}(p) = \frac{\kappa_c p}{T_c p + 1} \quad (2.16)$$

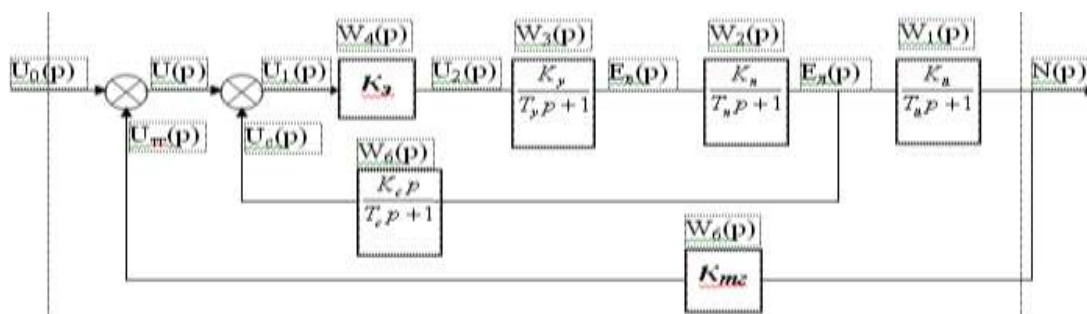
5. Тахогенератор учун

$$W_{\text{Т.Г}}(p) = k_{\text{Т.Г}} \quad (2.17)$$

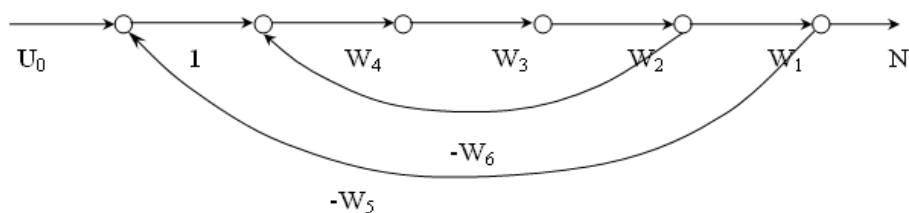
Автоматик бошқариш системаларининг узатиш функцияси алгебраик тенглама билан ёритилади. Бу эса жуда қулай.

$$X_{\text{чик}}(t) = L^{-1}[X_{\text{кир}}W(p)] \quad (2.18)$$

Юқорида кўрилган Автоматик бошқариш системали блок – схемаси расмдаги кўринишга эга



2.2 – расм. Двигател айланиш тезлиги автоматик бошқариш системасининг структуравий схемаси

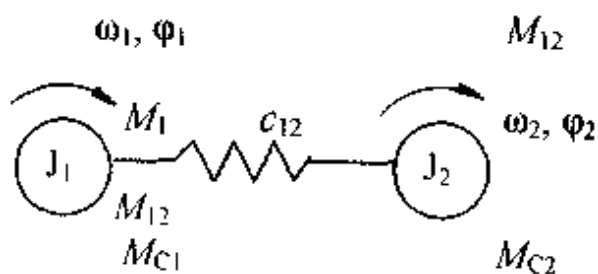


2.3 – расм. Двигател айланиш тезлиги автоматик бошқариш системасининг граф схемаси

2.2 Механик ҳаракатнинг соддалаштирилган модели

Икки бўлакдан иборат эластик боғлам билан боғланган системани кўриб чиқамиз. (Узун вал, узун арқон ёки кўтариш механизмлари троси)

C_{12} қаттиқликдаги элементли система ҳисоблаш схемаси 2.4-расмда келтирилган



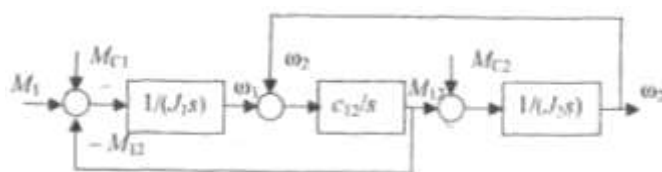
2.4 – расм. Икки бўлакли эластик звеноли система ҳисоблаш схемаси.

Эластик элементлар учун Гук қонуни

$M_{\Delta}C\Delta\phi$, $F_{\Delta}=c\Delta l$, бу ерда $\Delta\phi$, Δl - эластик элемент бурчак ёки чизиqli деформацияси; M_{Δ} , F_{Δ} - эластик элемент деформация моменти ва кучи;

C – қаттиқлик коэффициенти; н/м

Эластик стержен учун унинг чўзилиши ёки узилиши вақтида қаттиқлик коэффициенти $C = SE/l$, бу ерда l – стержен узунлиги, м; S – кўндаланг кесим юзаси, м²; E – чўзилиш ва эзилиш модули, Па.



2.5 - расм. Икки массали эластик звеноли системанинг структуравий схемаси.

Айланаётган вал учун $c = J_p G/l$, Нм, бу ерда l – стержен узунлиги, м;

$J_p = \pi R^2 / 2$ – вал кўндаланг кесим инерция моменти, м⁴; G – айланиш модули, Па.

$c = c_k / i^2_k$ – i инчи эластик элемент c_i – чўзилганда ва силжигандаги қаттиқлиги, Нм.

$c_1, c_2 \dots c_n$ эластик элементлар n қаттиқлик элементи кетма-кет уланганда

$$c_{\text{экв}} = 1/(1/c_1 + 1/c_2 + \dots + 1/c_n);$$

параллел уланганда эса

$$C_{\text{экв}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

юмшоқлик катталиги деб қаттиқликка тескари катталиқка айтилади.

$$e = 1/c.$$

Икки элементли система харакатини қуйидаги тенгламалар системаси билан белгилаймиз:

$$\left. \begin{aligned} M_1 - M_{c1} - M_{12} &= J_1 d\omega_1 / dt; \\ M_{12} - M_{c2} &= J_2 d\omega_2 / dt \\ M_{12} &= c_{12}(\phi_1 - \phi_2) \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

Бу ерда M_1, ω_1, J_1 – биринчи элемент моменти, тезлиги ва инерция моменти. M_{12}, c_{12} – эластик момент ва эластик момент қаттиқлиги; ω_2, J_2 – иккинчи элемент тезлиги ва инерция моменти; φ_1, φ_2 – биринчи ва иккинчи элементлар бурилиш бурчаги; M_{c1}, M_{c2} – қаршилик моментлари.

Механик системани таҳлил қилиш учун система двигатели параметрларини ўрганган мақул. M_1, N_1, P_1 – электромагнит моменти, тезлиги ва биринчи элемент ҳолати деб белгилаб оламиз; M_2, N_2, P_2 – юклама моменти, тезлиги ва иккинчи элемент ҳолати; J_1, J_2 – биринчи ва иккинчи элементлар инерция моменти; K_n, K_p – демпфирик ва эластиклик коэффициенти деб қабул қилсак, механик ҳаракатнинг осонлаштирилган тенгламалар системаси

$$dN_1/dt = (l/J_1)(M_1 - k_n(N_1 - N_2) - k_p(P_1 - P_2));$$

$$dP_1/dt = N_1;$$

$$dN_2/dt = (l/J_2)(k_n(N_1 - N_2) + k_p(P_1 - P_2) - M_L);$$

$$dP_2/dt = N_2;$$

деб ёзишимиз мумкин бўлади.

Бу ерда

$$M_1 = (M_{дв1} + M_{дв2})i; N_1 = (\omega_{\partial\delta 1} + \omega_{\partial\delta 2})/2i;$$

$$P_1 = (\Phi_{\partial\delta 1} + \Phi_{\partial\delta 2})/2i; P_1 = \Phi; N_1 = \Omega; k_n = 2c_1 = 2c_2;$$

$$k_p = 2c_{1\partial} = 2c_{2\partial}; J_1 = (J_{\partial\delta 1} + J_{\partial\delta 2})i^2.$$

Агар

$$d(N_1 - N_2)/dt = (l/J_1)(M_1 - k_n(N_1 - N_2) - k_p(P_1 - P_2)) - (l/J_2)(k_n(N_1 - N_2) + k_p(P_1 - P_2) - M_L) = 0;$$

$$d(P_1 - P_2)/dt = N_1 - N_2 = 0.$$

бўлса, эластик боғлам тебранма ҳаракати мавжуд эмас.

Бундан,

$$d(P_1 - P_2)/dt = (J_2 M_1 + J_1 M_L) / (J_1 + J_2).$$

келиб чиқади.

Биринчи ва иккинчи элементларга нисбатан юклама моменти қийматининг ўзгариши, тебранма ҳаракатга олиб келади. Уларни сўндириш

системасини синтез қилиш ва чиқиш вали билан параллел ишламоғини таънимлаш лозим. Бундай системада

$$d(N_1 - N_2)/dt = 0 \quad P_2 = \text{деб олиб, двигател вали моментини топамиз}$$

$$M_1 = M_2 + (dN_{2F}/dt)(J_1 + J_2)$$

$$P_{2F}; \quad P_{1F} = P_{2F} + (J_2(dN_{2F}/dt) + M_1)/K_p;$$

$$N_{2F} \quad N_{1F} = N_{2F}$$

$$N = N_1 - N_2; \quad P = P_1 - P_2; \quad 1/J = 1/J_1 + 1/J_2;$$

$$N_E = (J_1 N_1 + J_2 N_2)/(J_1 + J_2); \quad P_E = (J_1 P_1 + J_2 P_2)/(J_1 + J_2)$$

$$J_E = J_1 + J_2 \quad \text{деб белгилаб оламизю унда}$$

$$dN/dt = -(1/J)(K_n N + K_p) + M_1/J_1 + M_2/J_2;$$

$$dp/dt = N; \quad dN_E/dt = 1/J_E(M_1 - M_2);$$

$$dP_E/dt = N_E$$

Ҳосил қилинган система иккита мустақил бўлимга бўлинади: биринчи бўлим иккала система ўзаро ишлашини белгилайди, иккинчи бўлим система марказининг ҳаракатини белгилайди. Тебраниш ҳаракатланишини акс эттирувчи система матрицаси

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} P \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ M_1/J_1 + M_L/J_2 \end{bmatrix},$$

бу ерда

$$a_1 = K_p/J_1, \quad a_2 = K_n/J$$

системанинг асосли матрицаси

$$\Phi(t, 0) = e^{-\sigma t} \begin{bmatrix} (\cos \omega t + \frac{\sigma}{\omega} \sin \omega t) & (\frac{1}{\omega} \sin \omega t) \\ (\frac{a_1}{\omega} \sin \omega t) & (\cos \omega t - \frac{\sigma}{\omega} \sin \omega t) \end{bmatrix},$$

бу ерда $\omega = \sqrt{a_1 - 0,25a_2^2}$, $\sigma = 0,5a_2$

Тдискретизация даври учун $M = \frac{M_1}{J_1} + \frac{M_L}{J_2} = M^n = \text{const}$ Учун ўзаро ҳаракат

фарқли тенгламасини белгилаб оламиз [5].

$$\begin{bmatrix} P \\ N \end{bmatrix}^{n+1} = e^{-6t} \begin{bmatrix} \left(\cos\omega t + \frac{6}{\omega} \sin\omega t \right) & \frac{1}{\omega} \sin\omega t \\ \frac{-\sigma^2 + \omega^2}{\omega} \sin\omega t & \cos\omega t - \frac{\sigma}{\omega} \sin\omega t \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P \\ N \end{bmatrix}^n + \begin{bmatrix} \frac{M}{\sigma^2 + \omega^2} (1 - e^{\sigma T} \cos\omega T) - \frac{M_\sigma}{\omega(\sigma^2 + \omega^2)} e^{-\sigma T} \sin\omega T \\ \frac{M}{\omega} e^{-\sigma T} \sin\omega T \end{bmatrix}$$

Марказ ҳаракати фарқли тенгламаси қуйидаги кўринишга эга

$$N_E^{n+1} = N_E^n + \frac{T}{J_E} M^n ;$$

$$P_E^{n+1} = P_E^n + N_E^n T + \frac{T^2}{2J_E} M^n ,$$

2.3. Қуруқ ишқаланишли ва люфт компенсацияси

1. Қуруқ ишқаланиш компенсацияси. Қуруқ ишқаланиш юклама моменти билан муайян боғланган. Қуруқ ишқаланиш коэффициенти юклама моменти ва қуруқ ишқаланиш моменти йиғиндисига келтирилади. Шунингдек биринчи бўлим ҳолатини ҳам ўзгартириш керак.

$$P_{1z} = P_{2z} + (J_2(dN_{2z}/dt) + M_L + M \operatorname{sign}(W_2))/K_p$$

2. Люфт компенсацияси. люфт компенсацияси учун биринчи бўлим ҳолатини коррекция қилиш кифоя.

$$P_{1z} = P_{2z} + \frac{J_2(dN_{2z}/dt) + M_L + M \operatorname{sign}(W_2)}{K_p} + (\Delta/2) \operatorname{sign}(J_2(dN_{2z}/dt) + M_L + M \operatorname{sign}(N_2))$$

3. Динамик жараёнларда қуруқ ишқаланиш ва люфт компенсацияси.

Қуруқ ишқаланиш кучи ўзгаришида динамик жараёнларнинг бўлиши бешак. Қуруқ ишқаланиш бевосита система иккинчи бўлими эластик механик системасига таъсир кўрсатади. Буни фақат система биринчи бўлими электрон магнит моментини бошқариш билан компенсация қилиш мумкин. Қуруқ ишқаланишни компенсация қилиш учун, биринчидан, моментнинг ўзни ўзгартириш, иккинчидан, механик бўлим эластиклигини ҳисобга олиб,

биринчи бўлим ҳолатини ўзгартириш лозим. Эластик тебранишлар амплитудасини пасайтириш учун биринчи бўлим ҳолатини секин аста ўзгартириш керак. Шундай қилиб, биринчи бўлим ҳолатини ўзига хос “интенсивлигини чегараловчи” бўлиши шарт. Худди шундай ҳолат юклама ташқи моменти ўзгариши динамик жараёнлари учун ҳам ўринлидир. Биринчи элемент ҳолати учун компенсация қиймати катта эмас. Биринчи элемент ҳолатини ҳисоблаш учун

$$D_{1zk+1} = D_{1zk} - K_D T \left(D_{1zk} - M_{LK} + \frac{M \operatorname{sign}(N_{2zk})}{k_p} \right)$$

$$P_{1zk+1} = P_{1zk} + \int 2 \left(\frac{dN_{2z}}{dt} \right) + D_{1zk+1}$$

K_D катталик D катталикнинг қуйидагича яқинлашиши тезлигини аниқлайди.

$$\frac{(M_{LK} + M \operatorname{sign}(N_{2zk}))}{K_p}$$

Люфт зонасида ҳаракатланиш чоғида бўлимлар ҳаракати сифатли ўзгаришлари юз беради. люфт бўлимлар боғлиқлигига барҳам беради: биринчи бўлим фақат электрон магнит моменти ва инерция таъсирида ҳаракатланади. бу вақтда иккинчи бўлим ҳаракатида юклама ташқи моменти ва ишқаланиш таъсир қилади. люфт зонасида ҳаракатланиш вақтида нисбий ҳаракатланиш тезлиги ортиб боради ва зонани ўтиб бўлгандан сўнг бўлимларнинг зарбали юкламаси ишлаб чиқади. Бу эса механик мустаҳкамлик ва ишлаш захирасига таъсир кўрсатиши мумкин.

Яна шундай бўлиши мумкунки, биринчи бўлим инерция кучи биргалигида инерция кучидан кам бўлади ва электромагнит моментининг катта қийматларида унинг тезлиги етпрли даражада тез ўзгаради.

Бундай масалани ечиш учун биринчи ва иккинчи бўлимлар ўзаро ҳолати ҳақидаги ахборот керак бўлади. Шунинг учун етарли даражадаги кичик бўлимлар орасидаги ўзаро тезлик кичиклашади ва зарба моменти камаяди. Демак, биринчи бўлим ўзгариши тезлигини кескин қадар

камайтирилиши мумкин. Бундан келиб чиқиб, биринчи бўлим ҳолати ўзгаришини қуйидагича белгилаш керак:

$$D_{1zk+1} = D_{1zk} - K_D T \left(D_{1zk} - M_{LK} + \frac{M \operatorname{sign}(N_{2zk})}{k_p} + (\Delta/2) \operatorname{sign} \left(\int 2 \left(\frac{dN_{2z}}{dt} \right) + M_L + M \operatorname{sign}(N_{2z}) \right) \right);$$

$$P_{1zk} = P_{2zk} + \int 2 \left(\frac{dN_{2z}}{dt} \right) + D_{1zk+1}$$

K_D катталик моделлаштириш вақтида аниқланади. Шундай қилиб, курук ишқаланиш ва муфта тасирида келиб чиқадиган хатоликларни компенсация қило оладиган система синтез қилинади.

Бундан ташқари ҳолатни аниқлашнинг қуйидаги асослари мавжуд:

- бошқарув объекти ишчи полосадаги ҳисобланган моделдан фарқ қилади. Бундай ҳолат ҳисобларнинг аниқ эмаслигида, биргина электромагнит моментининг ноаниқлигида. Бундай ҳолатларда моделнинг хатоликлари йигиндисини компенсация қилиш лозим.

- датчиклар кўрсаткичи ва информацияни филтрлаштириш лозим.

Механик ҳаракатни бошқариш системаларида биринчи ва иккинчи бўлимлар ҳолати ва тезлигини ўлчашда датчиклардан фойдаланилади:

$$\begin{aligned} dN_1^*/dt &= (1/J_1) \left(M_1 - K_n(N_1^* - N_2^*) - K_p(P_1^* - P_2^*) \right) - K_1(N_1^* - N_2^*); \\ dP_1^*/dt &= N_1^* - K_2(P_1^* - P_2^*); \\ dN_2^*/dt &= (1/J_1) \left(K_n(N_1^* - N_2^*) + K_p(P_1^* - P_2^*) \right) - M_L - K_3(N_2^* - N_2); \\ dP_2^*/dt &= N_2^* - 4(P_2^* - P_2). \end{aligned}$$

Бу ердаги $K_1 \dots K_4$ корректсия коэффициентси бевосита белгиланади. Ҳолатни кузатувчи яна битта функцияни бажариш мумкин. Кузатувчи ёрдамида ўзгаришлар миқдорини бир қадам олдин билиш ва бошқарувчи контроллер ёрдамида компенсация қилиш мумкин бўлади.

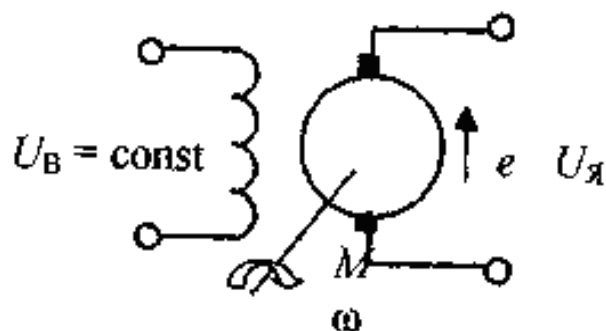
3 - БОБ. ЭГИЛУВЧАН ХУСУСИЯТГА ЭГА ОБЪЕКТЛАР БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИНИ ЎЗГАНИШ

3.1 Эгилувчанли система ва ростлагични моделлаштириш

Электротехнологик ускуналарни автоматик бошқариш системаларини яратиш учун элементларнинг қуриш принципи, функционал хусусиятлари ва айниқса, математик модели ва характеристикасини ўрганиш лозим бўлади.

Бажариш функциясига караб, автоматик бошқарув системаси элементларини бажарувчи, тескари боғлаш датчиклари ва хисоблагичларга бўлинади. Тескари боғлаш датчиклари бошқариладиган катталиқ кийматини ўлчайди. Хисоблаш ускунаси берилган ва бошқариладиган кийматларни солиштириб, бошқариш таъсирини ишлаб чиқаради. Бажарувчи элементлар бевосита бошқариш объектига таъсир кўрсатади. Юқорида кўрсатилган ҳар бир гуруҳ каттами кичикми бошқариш объектларига ўз таъсирини кўрсатади. Муболағаси шуни таъкидлаш мумкинки, ҳар бир бошқариш объекти учун маълум жихатдан махсус (яъни фақат шу ускуна учун қўлланиладиган) ва умумтехника (яъни турли ускуналарда қўлланиладиган) функционал элементлар мажмуи мавжуд.

Электротехнологик ускуналарни автоматик бошқариш системаларида асосан мустақил қўзғаладиган ўзгармас ток двигателлари кенг қўлланилади. Уларни бошқариш U_y - кучланишини ўзгартириш асосида амалга оширилади. Бунда U_y - якор занжирига узатилган ҳолда, қўзғалиш кучланиши U_k - ўзгармай қолади, демак магнит оқими $\Phi = const$. Электротехник ускуналарда U_k ни ўзгартириб, ўзгармас ток двигатели бошқарилмайди. Шундай қилиб, ўзгармас ток двигателини бошқариш U_y ни ўзгартириб, ω - тезликни ўзгартириш мумкин.

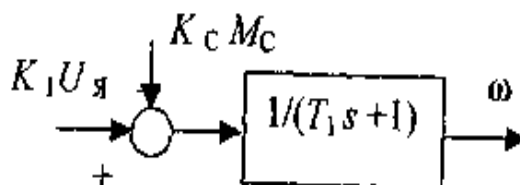


3.1 - расм. Муствақил кўзғалувчи ўзгармас ток двигатели уланиш схемаси.

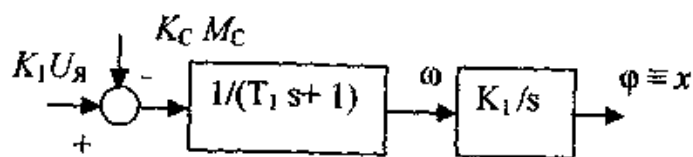
Муствақил кўзғалувчи ўзгармас ток двигатели уланиш схемасига мувофиқ, якор занжири ток $i_я$, Φ -момент оқими, M -двигател momenti, ω -айнаниш тезлиги ва e -ЕЮК бир-бири билан қуйидаги тенгламаларга асосан боғлиқ:

$$e = k \Phi \omega; \quad M = k \Phi i_я; \quad U_я = R_я i_я + e$$

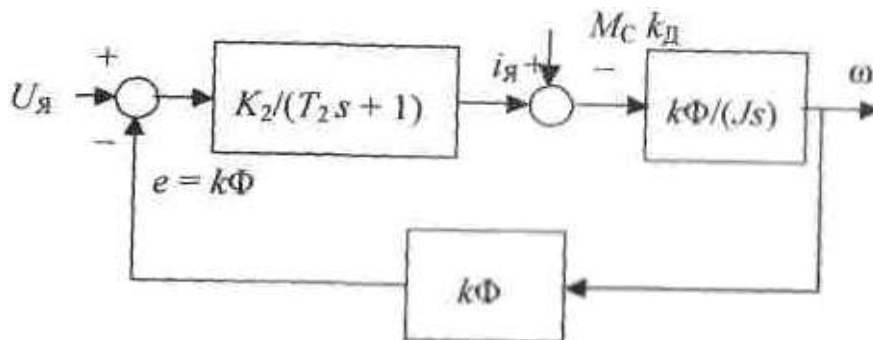
Бу ерда k -двигател ўрамларини характерловчи ўзгармас коэффициент; $R_я$ -якор занжири қаршилиги.



3.2 – расм. Якор кучланиши ва қаршилиги momenti баравар таъсири схемаси



3.3 - расм. Ишчи орган бурилиш бурчагини бошқариш схемаси.



3.4. Ўзгармас ток двигатели тўлиқ схемаси.

Юқоридаги тенгламалардан e ва i_a ни олиб ташлаб, қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$M = k\Phi\Phi_a / R_a - k^2\Phi^2 U_a \omega / R_a. \quad (3.1)$$

Тенгламадан кўриниб турибдики, ўзгармас ток двигатели тезлиги – ω -катталиқ кириш катталиги U_a га боғлиқ. Двигател динамик характеристикасини аниқлаш учун занжир индуктивлигини қуйидаги дифференциал тенгламани ёзишиз мумкин:

$$Jd\omega/dt = M - M_c - c\omega, \quad (3.2)$$

J - барча айланувчи жисмлар инерция моменти

M_c – двигател вали қаршилиги моменти

C – ишқаланиш коэффициенти.

3.2 – тенгламага 3.1 тенгламадаги M қийматини қўйиб.

$$Jd\omega/dt + (c + k^2\Phi^2 / R_a)\omega = k\Phi\Phi_a / R_a - M_c. \quad (3.3)$$

Тенгламани динамик характеристикаларини аниқлаш учун қулай тарзда ёзамиз.

$$T_1(d\omega/dt) + \omega = K_1 U_a - K_c M_c,$$

бу ерда

$$T_1 = \int R_a / (R_a + K^2\Phi^2) - \text{механик вақт ўзгармас катталиги}$$

$K_1 = K\Phi / (R_a C + K^2\Phi^2)$ - двигател кучланиши каналида узатиш коэффициенти

$R_a / (R_a C + K^2\Phi^2)$ - двигател қаршилиги каналида узатиш коэффициенти

$M_c = \text{const}$ лигини назарда тутиб

$$T_1(s+1)\Omega(s) = K_1 U_a(s)$$

бу ерда $\Omega(s)$ ва $U_a(s)$ – двигател якориға ва двигател тезлигига оид Лаплас кўриниши. Бунда ўзгармас ток двигатели ўзатиш функцияси тезликка нисбатан

$$W(s) = \Omega(s)/U_{\text{я}}(s) = K_1(T_1s + 1).$$

Бундай системани акс эттириш учун $U_{\text{я}}$ ва $M_{\text{с}}$ моментнинг баравар таъсирига асосан 3.2 - расмга оид уланиш мумкин. Кўпчилик механизмларнинг чиқиш функцияси сифатида $C_{\text{р}}$ айланиш бурчаги ёки х ишчи органи сурилиши

$$\varphi = \int_0^t \omega dt \equiv x$$

Бундай ҳолда двигателнинг узатиш функциясини иккита звено мутаносиблигида акс этади. Инерцион биринчи бўлим $1/(T_1s + 1)$ ва K_{φ}/s – механизм узатиш коэффициенти.

3.2 Двигател якор занжири электромагнит инерцияси ва ўзгартирувчининг таъсири

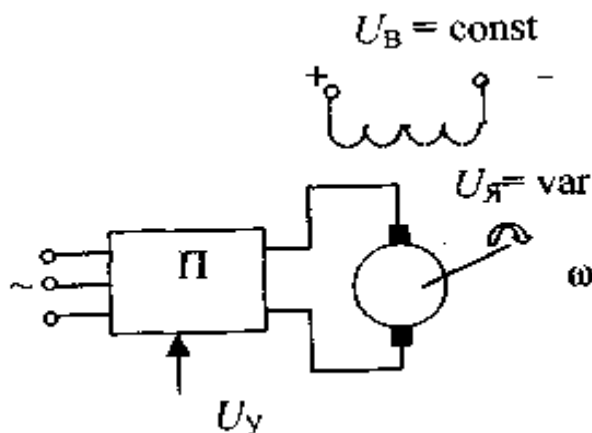
Якор занжири инерциясини назарга олмасак ва ўзгармас ток двигателини биринчи даражали инерцион звено сифатида кўриш ҳар доим ҳам тўғри келмайди. Бошқарувчи двигателлар (ўрта қувватли, ўртача 5 квт) учун якор занжири вақт ўзгармаси механик вақт ўзгариши билан мутаносиб бўлиб, уни ҳисобга олмаслик сезиларли хатоликларга олиб келиши мумкин. Якор занжири индуктивлигини ҳисобга олиш учун электрик тенгликни қуйидагича кўринишда ёзиш мумкин:

$$U_{\text{я}} = R_{\text{я}} i_{\text{я}} + e + L_{\text{я}} di_{\text{я}} / dt, \quad (3.4)$$

бу ерда $L_{\text{я}}$ двигател якор занжири индуктивлиги. Ушбу тенглик биринчи даражали дифференциал тенглик бўлиб, узатиш функцияли биринчи даражали инерциал звенони белгилайди.

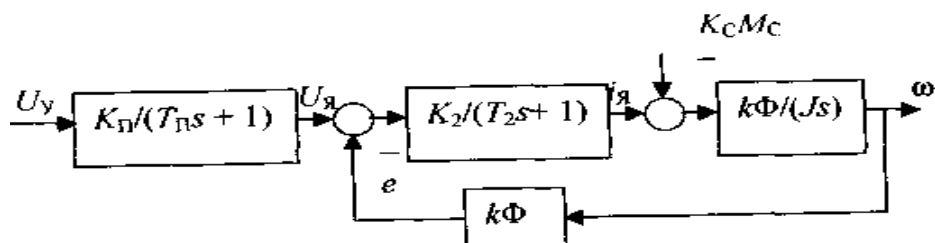
$$W_{\text{я}}(s) = K_2 / (T_2s + 1)$$

бу ерда $T_2 = L_{\text{я}}/R_{\text{я}}$ – якор занжири вақт ўзгармаси; $K_2 = 1/R_{\text{я}}$ – двигател якор занжири узатиш коэффициенти. $e = K\Phi\omega$ лигини назарда тутиб, ўзгармас ток двигатели тузилиш схемасини тузишимиз мумкин.

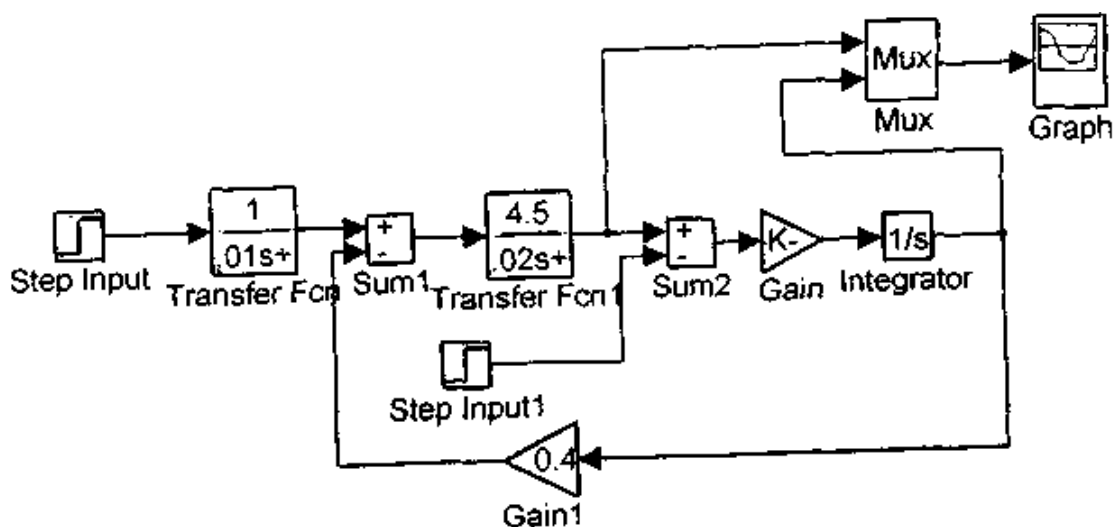


3.5 - расм. Ўзгармас ток двигатели функционал схемаси

Ўзгармас ток двигателлари, автоматик бошқариш системалари бажарувчи элемент сифатида турли хил ўзгартирувчилар билан биргаликда ишлатилади. Булар электромашина, электромагнит, тиристор ва транзистор ўзгартирувчилари. Уларнинг конструкцияси ва ишлаш принципи бир-биридан фарқ қилишига қарамай 3.5 - расмдаги тузилиш схемаси сақланиб қолади. Уларнинг характеристикаси орасидаги фарқ фақат коэффициент қийматлари орасида бўлади. Ўзгарувчан токни бошқариладиган ўзгармас токка ўзгартириш статистик ва динамик характеристикалари [2] да кўриб чиқилган. Чизиқли кўринишда хар қандай ўзгартирувчини биринчи даражали инерциал звено сифатида кўришимиз мумкин.



3.6 - расм. Кучланишни ўзгартирувчи ўзгармас ток юритмали тузилиш схемаси



3.7- расм. SIMULINK программасида тузилган двигател ва ўзгартирувчи блок – схемаси.

$$W(s) = K_n / (T_n s + 1) = U_n(s) / U_y(s)$$

бу ерда T_n – ўзгартирувчи вақт ўзгармаси. U хисоблаш ёки эксперимент йўллари билан аниқланади; K_n – кучланишни ўзгартириш кучайиш коэффициенти; U_b – ўзгартирувчини бошқариш кучланиши.

Хар қандай автоматик бошқариш системалари, шу жумладан бажарувчи юритма, тузилиш схемаси ёки узатиш функцияси турғунлигини созлаш сифати ва аниқлигини аниқлаш имкониятини беради.

Иккинчи даражадан ошиқ бўлмаган чизиқли система ўтиш функцияси аналитик усулда хисобланиши мумкин. Иккинчи даражадан юқори чизиқли ёки хар қандай даражали чизиқли системалар ўтиш функциясини аналитик усулда хисоблаб бўлмайди. Бундай системаларни хисоблаш учун график усулдан фойдаланилади. График усул анологик ва рақамли машина моделлаштириш усуллари яратилишидан аввал кенг фойдаланилган. Хозирги вақтда компьютерда моделлаштиришнинг бир қатор программалари ишлаб чиқилгандан сўнг, уларни чизиқли ва чизиқсиз системаларни тазлил қилувчи асосий математик аппарат деб айтишимиз мумкин.

Мисол. Ўзгармас ток двигатели мисолида юритма ўтиш қаршилигини ташлаш (қаршилик моментини кескин ўзгариши) жараёнларида хисоблаш.

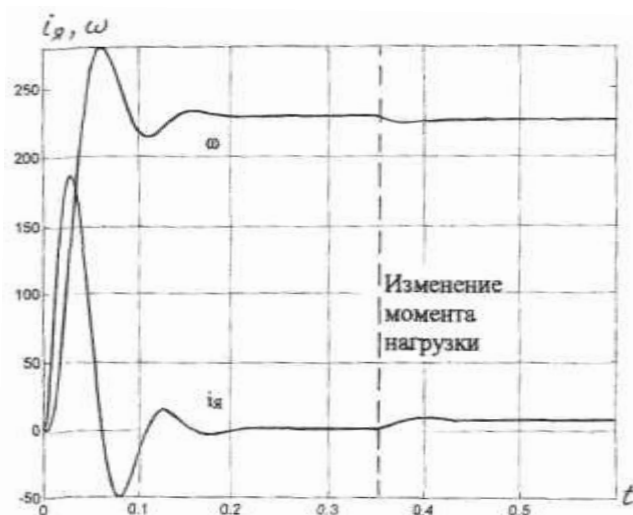
Двигател номинал қуввати $P_{\text{ном}} = 1,85 \text{ кВт}$, кучланиш $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$, якор токи $I_{\text{я}} = 7.6 \text{ А}$ ва тезлик $\omega_{\text{ном}} = 7300 \text{ айл/мин.}$, $J = 0.011 \text{ мм}^2$ тиристорлик ўзгартирувчи параметрлари $K_{\text{п}} = 1$ $T_{\text{п}} = 0,01 \text{ с}$. Хисоблашни 3.6-расмда берилган тузилиш схемаси асосида амалга оширамиз.

$$K_2 = 1/R_{\text{я}} = 4,5 \frac{1}{\text{Ом}}; \quad T_2 = 0.02 \text{ с};$$

$$K_{\Phi} = 0.48 \text{ Вс}; \quad K_c = 2 \frac{1}{\text{Вс}} \quad \text{қаршилиги momenti } M_{\text{ном}} = 3,7 \text{ Нм} \text{ деб қабул}$$

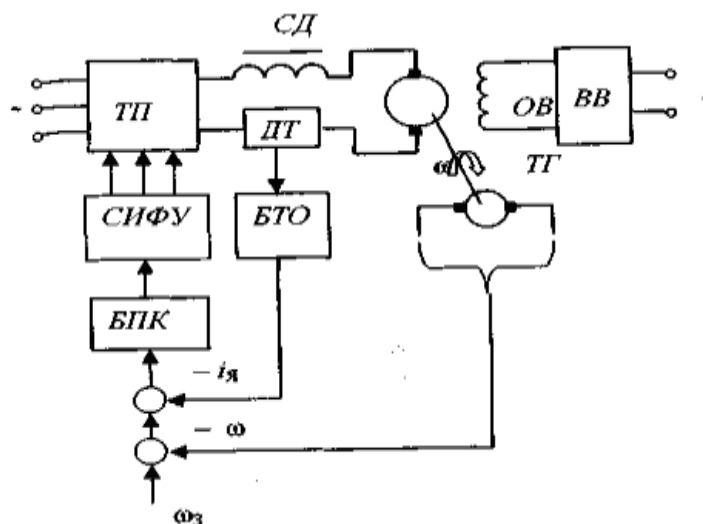
қиламиз. Ўтиш жараёнларини хисоблаш учун SIMULINK программасидан фойдаланамиз.

3.7- Блок схемага юқоридаги параметрларни жойлаштириб, тезлик $\omega(t)$ ва якор токи $i_{\text{я}}(t)$ ўтиш функцияларига эга бўламиз. Бу ерда $U_{\text{Б}}$ бошқариш кучланиши ва қаршилиқ momenti $M_{\text{С}}$ ни ўзгариши ҳисобга олинади.



3.8 - расм. Ишга тушириш ва қаршилиқни ўзгартириш вақтида якор токи ва двигател техлиги ўзгаришининг диаграммаси.

Диаграммадан кўриниб турибдики, двигателни ишга тушириш ва қаршилиқни ўзгартириш тезлик ва токнинг тебранишига олиб келади. Бу эса учинчи даражали системалар учун характерлидир. Ишга тушириш вақтида якор токининг номинал қийматдан ўн баравардан ортиқ қийматга эгаллигига аҳамият бериш зарур.



3.9 - расм. Тўғриланиши мумкин бўлган ўзгармас ток юритгичининг функционал схемаси.

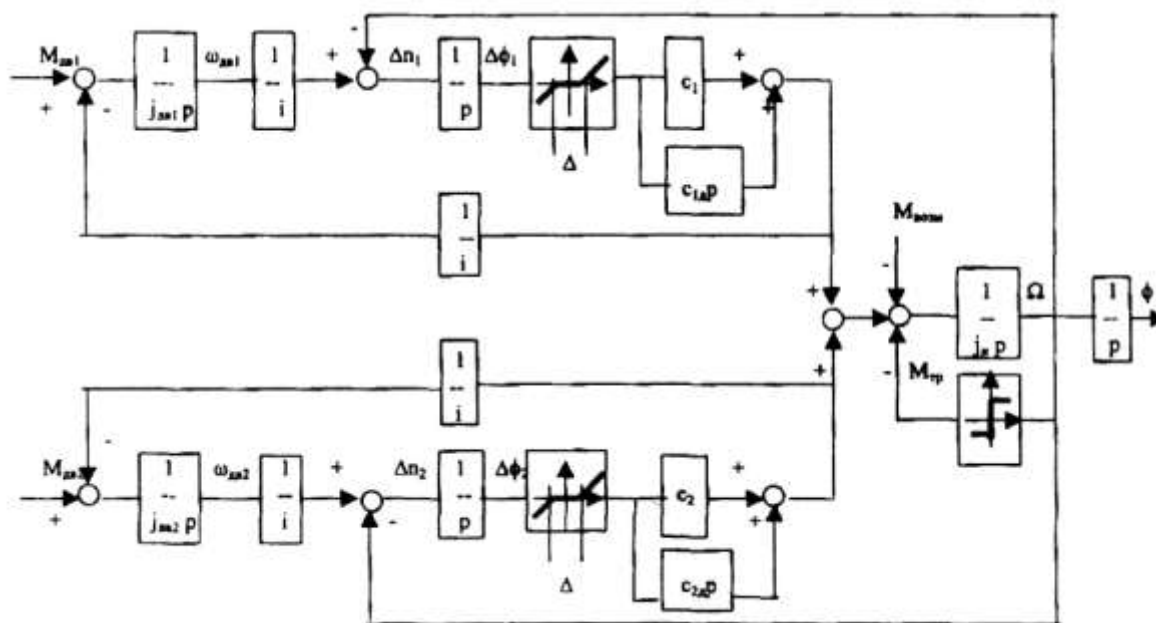
3.3 Эгилувчан хусусиятли динамик объектларини бошқариш системаларини синтез қилиш

Эластик механик боғламли мураккаб электромеханик объектларнинг бошқарув системаларини яратиш долзарб масала бўлиб қолмоқда. Бу бошқарув жараёнлари сифатига бўлган талабларнинг ошганлиги, тезликнинг кўтарилганлигига, ўтказиш йўлаги эластик боғламли система тебраниш резонанси частотаси билан тенг бўлиб, динамик созлашнинг аниқлигига боғлиқ. Мисол қилиб махсус объектлар бошқариш системаси, работларни бошқариш системаси, космик системаларни, замонавий саноат механик ишлаб чиқариш маркази ва бошқа мураккаб электромеханик ва мехатрон системалар.

Механик ҳаракат системаси қуйидаги элементлардан тузилган деб ҳисоблаймиз:

- Электродвигател (ёки бир неча двигателлар):
- редуктор (механик узатиш люфтига эга):
- чиқиш ускунасига:

Қуйида икки дивигатели механик система тузилиш схемаси келтирилган.3.10 - расм.



3.10 – расм. Эластик боғламли икки двигетелли ва катта чиқиш массасига эга механик система тузилиши.

$J_{дв1}$ ва $J_{дв2}$ инерция моментларига эга двигетеллар $M_{дв1}$ ва $M_{дв2}$ валларида мутаносиб электро магнит моментини юзага келтиради. Валларниг айланиш частотаси $\omega_{дв1}$ ва $\omega_{дв2}$ га тенг.

Дивигател валидан то юкламага узатиш редукция коэффиценти i га тенг. Инерцион юклама (инерсия моменти/н) двигател билан эластик механик боғлам орқали боғланади ва юмшоқлик кофицентлари c_1 , c_2 ва демпфирик коэффицент $c_{1д}$, $c_{2д}$ га тенг. Люфт катталиги Δ га тенг.

Эластик боғлам ва люфт таъсири Φ юклама вали ва двигател вали фарқи билан аниқланади. Юкламага M қўзғатувчи момет ва ишқаланиш кучи M ишқаланиш тасир қилади. M ишқ белгиси айланиш йўналишга қараб белгилнади. Ташқи тасир кучи чиқиш ускунасининг холатига боғлиқ. Эластик механик боғламли кузатувчи бошқарув алгоритмини синтез қилиш усуллари.

Бошқарувни синтез қилиш бир неча босқичда амалга оширилади.

1. Биринчи босқичда икки қисмли қисқартирилган модель ишлаб чиқарилади ва таҳлил қилнади.

2. Иккинчи босқичда механик ҳаркатни бошқаришнинг вақт бўйича дискрет характистикаси ҳисобга олинади ва жараёнларнинг фарқли модели ишлаб чиқарилади.
3. Учинчи босқичда қисқартирилган система учун регулятор ҳаракатларининг тебранишни сўниш синтези ва система чиқиш вали ҳолати ўрганилади. Бундай регулятор механик системани бошқаришнинг асоси ҳисобланади. Синтез усули ёпиқ система ҳаракатини модал бошқариш.
4. Бундай усул билан синтез қилинган ёпиқ система катта тесқари боғиқлик коэффиценти билан характерланади. Бу коэффицент тебраниш ҳаракатларни сўндириш ва кузатишни аниқлаштириш учун керак. Катта коэффицентга эга, бир қатор чекланишларга эга механик ҳаракатли системанинг барқарорлигини таминлаш жуда мураккаб масала ҳисобланади. Шунинг учун катта ўзгаришсиз, текис ва динамик тўсиқларга эга ёпиқ контур синтез қилинади.
5. Регулятор параметрлари оптимал ҳолга келтирилади, яъни ўтиш жараёни таҳлил қилинади, синусоидал ўзгарувчи топшириқга реакция, ёпиқ система ўтказиш йўлаги аниқланади.
6. Қуруқ ишқаланиш ва люфт компенсацияси келтирилади. Узиш - уланиш юклама моментлари характистикаси аниқланади люфт зонасида ва иккинчи бўлакнинг ўзгарувчан белгили ҳаракатида аниқланади.
7. Бошқарув системасини синтез қилиш вақтида бошқарув обектининг содда тузилишдан фойдаланилади. Шунинг учун бошқарув обекти ҳолатининг ўзгаришини кузатувчи ускунадан фойдаланиш лозим. Бундай ускунадан фойдаланишнинг зарур ҳолатлари қуйидагилар;
- обект модели (механик ҳаракат системалари)муқадам аниқ эмас (резонанс частоталардан юқори частоталарда). Бундай ҳолларда тесқари боғламнинг тўғри уланиш ҳолатликлари катта коэффиценти катта камчиликларга олиб келиши, ҳатто ёпиқ контурни бошқаришнинг муқаррарлигини йўқотиш мумкин. Қисқа қилиб айтганда кузатувчи ускунадан фойдаланиш тесқари боғламнинг катта коэффиценти пайтида системани бошқаришни синтез

қилишнинг методология асоси ҳисобланади. Шу билан асосан бошқарув системаларни синтез қилиш тугайди.

ХУЛОСА

Электромеханик объектларда эгилдувчанликнинг келиб чиқиш сабаблари ва уни бошқарув сифатига таъсири ўрганилди. Электромеханик система математик моделари ишлаб чиқилди. Электромеханик бошқарув сифатига таъсирни коммуникация қилишнинг асосий усулари аниқланди.

Коэффициентнинг оширилиш динамик характеристикаларнинг кескин камайишга олиб келиши камайганда эса ошишга олиб келиш аниқланди.

Бунда ишчи орган инерция моментининг камайиш, тебраниш, сўниш вақтининг ошишига олиб келади.

Имутацион эксперимент қилиш учун эластик боғламли электромеханик система моделаштириш схемаси ишлаб чиқилди.

Двигатель ва ўзгартиргич инерцион занжир электромагнит инерцияси тебраниш жараёнини коммункация қилувч эластик боғламли бошқариш системаси синтез қилинди.

МАТЛАБ прогирамаси ёрдамида электромеханик объектларни бошқариш системалари динамик характеристикалари сезувчанлиги таҳлил қилинди. Параметрларнинг ўзгариш диапазони ва параметрларнинг ўзгаришига кам сезгир боғланган системалар аниқланди.

АДАБИЁТЛАР

1. Каримов И.А. Жаҳон молиявий – иқтисодий инқирози, Ўзбекистон шароитида уни бартараф этишнинг йўллари ва чоралари. –Тошкент: Ўзбекистон, 2009. -56 б.
2. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. СПб.: Энергоатомиздат, 1992, 37-42 стр.
3. Microcomputer Control of Power Electronic and Drives (edit, by B. K. Bose). NY: IEEE PRESS, 1987, 138-142 стр.
4. Изосимов Д. Б. Новые подходы к синтезу цифрового управления электроприводом переменного тока // Приводная техника. 1997. № 4. С. 8-14 стр.
5. Ryykin S. E., Belkin S. Y., Izosimov D. B. and Kazachenko V. F. New approaches to solve digital control synthesis problem and advanced pulsewidth modulation algorithms for AC drive applications // Proc. of the 24th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, IECON'98. 1998. P. 1986-1991, 27-30 стр.
6. Джураев А. Моделирование динамики машинных агрегатов хлопноперерабатывающих машин. Ташкент, Издательство «Фан» 1984г, 45-50 стр.
7. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Линейные модели. Москва 1987г, 23-27 стр.
8. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели. Москва 1988г, 213-215 стр.
9. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами.— Л.: Энергоиздат, 1982 г, 83-87стр.
10. Беленький Ю. М., Зеленков Г. С, Микеров А. Г. Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов.— Л.: ЛДНТП, 1987г, 213-215.

11. Беленький Ю. М., Микеров А. Г. Выбор и программирование параметров бесконтактного моментного привода.— Л.: ЛДНТП, 1990г, 19-21 стр
12. Борцов Ю. А. Математические модели автоматических систем.— Л.: ЛЭТИ, 1981г, 128-132 стр.
13. Борцов Ю. А., Второе В. Б., Голик С. Е. Адаптивные алгоритмы для микропроцессорных систем управления электромеханическими объектами//Электромашиностроение и электрооборудование. — Киев, 1982.Вып. 35 стр.
14. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением.—Л.: Энергоатомиздат, 1984, 115стр.
15. Борцов Ю. А., Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями.— Л.: Энергия, 1979г, 198-201 стр.
16. Борцов Ю. А., Суворов Г. В. Методы исследования динамики сложных систем электропривода.— М.; Л.: Энергия, 1993г, 255 стр.
17. Борцов Ю. А., Юнгер И. Б. Автоматические системы с разрывным управлением.— Л.: Энергоатомиздат, 1986, 19-22 стр.
18. Бродовский В. Н., Каршавов Б. Н., Рыбкин Ю. П. Бесколлекторные тахогенераторы постоянного тока/Под ред. В. Н. Бродовского.— М.: Энергоиздат, 1982г 139 стр.
19. Времяимпульсные вычислительные устройства/Под ред. В. Б. Смолова, Е. А. Угрюмова.— М.: Радио и связь, 1983г, 39 стр.
20. Вукобратович М., Стокич Д. Управление манипуляционными роботами: Теория и приложения.— М.: Наука, 1985г 137 стр.
21. Гроп Д. Методы идентификации систем.— М.: Мир, 1979г, 115-117 стр.
22. Динамика электромашинных следящих систем/Е. С. Блейз, Ю. Н. Семенов, Б. К. Чемоданов, Н. М. Якименко.— М.: Энергия, 1987г, 49 стр.
23. Егоров В. Н., Шестаков В. М. Динамика систем электропривода.—Л.:

- Энергоатомиздат, 1983г, 123-124 стр.
24. Изерман Р. Цифровые системы управления.— М.: Мир, 1984г 76-78 стр.
25. Квартальное Б. В. Динамика электроприводов с упругими связями.— М.; Л.: Энергия, 1991г, 22-23 стр.
26. Киселев Н. В., Мядзель В. Н., Рассудов Л. Н. Электроприводы с распределенными параметрами.— Л.: Судостроение, 1985г, 83 стр.
27. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления/Пер.с англ.— М.: Машиностроение, 1986г, 219 стр.
28. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний.— М.:Наука, 1980г, 27 стр.
29. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы/Пер, с нем.; Под ред. Ю. А. Борцова.—Л.: Энергоатомиздат, 1985г, 87 стр.
30. Astrom K. J., Wittenmark B. Adaptive control (Lund Institute of Technology) Addison-Wesley Publishing Company, 1989г, 21 стр.
31. www.matlab.ru, www.emf.ispu.ru, www.ostu.ru, www.ael.ru
32. www.intellect.csti.ru, www.donntu.edu.ua, www.novtex.ru
33. www.csr.spbu.ru, www.nnspu.ru/MATLAB_RU, www.lib.susu.ac.ru