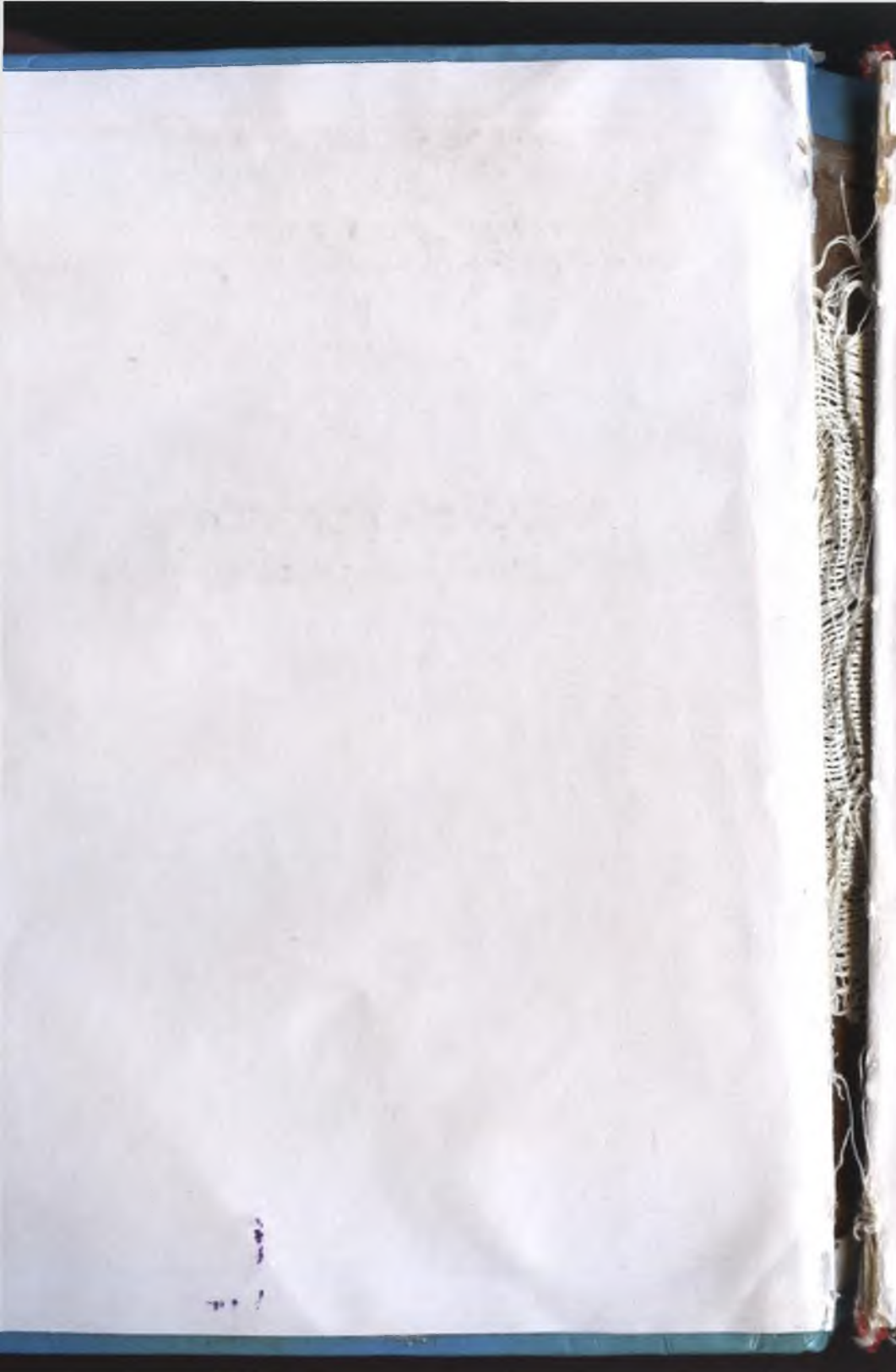


Қ. Р. АЛЛАЕВ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР





ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

621.31

Қ. Р. АЛЛАЕВ

А-45

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР

ТОШКЕНТ-«МОЛИЯ»-2007

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ 2-591

Электромеханик ўткинчи жараёнлар. //Қ. Р. Аллаев. Ўқув қўлланма. –Т.: «Молия» нашриёти, 2007 йил. 272 б.

Рус тилидан ўзбек тилига доцент Т. Ш. Ғойилов таҳрири остида таржима қилинган.

Ушбу ўқув қўлланма «Электр энергетикаси» ва ушбу йўналишга турдош таълим йўналиши ва мутахассисликлари бўйича таълим олаётган бакалавр ва магистрларга мўлжалланган. Қўлланмада келтирилган материаллардан электроэнергетика системасидаги ўтиш жараёнларини тадқиқ этиш билан шуғулланаётган илмий ходим ва мутахассислар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Қўлланмада асосий эътибор статик ва динамик турғунликлар тушунчасини билишга, уларнинг физик хусусиятларини очишга қаратилган. Электр энергетика тизимларида кузатиловчи ўтиш жараёнларининг кечиш қонуниятлари ва хусусиятлари, уларни таҳлил қилиш усуллари кенг қамровли кўриб чиқилган.

Тақризчилар: т.ф.д., проф. О. О. Хошимов
т.ф.н., доц. Р. А. Ситдиқов

Ўқув қўлланма Тошкент Давлат техника университетининг Илмий-методик Кенгашининг қарорига асосан чоп қилинди.

ISBN 978-9943-302-11-2

©Ўзбекистон Республикаси Банк-молия академияси, «Молия» нашриёти, 2007 й.

МУНДАРИЖА

Сўз боши.....	7
---------------	---

1. БАЗАВИЙ МАЪЛУМОТЛАР

1.1. Курс тавсифи. Асосий тушунчалар.....	8
1.2. Ўткинчи жараёнларнинг асосий турлари.....	12
1.3. Электр системалари элементларининг алмаштириш схемалари.....	13
1.4. Синхрон генераторларнинг кўзғатиш схемалари.....	22
1.5. Синхрон генераторларнинг кўзғатишини автоматик ростлаш системалари.....	30
1.6. Нисбий бирлик системаси.....	31
1.7. Синхрон машина роторининг нисбий ҳаракат тенгламаси.....	38
1.8. Синхрон генераторнинг асосий алгебраик- дифференциал тенгламалари.....	41
1.9. Электр системалари элементларининг тенгламалари.....	51
1.10. Аён ва ноён кутбли генераторларнинг вектор диаграммалари ва қувват характеристикалари.....	53
Синув саволлари.....	66

2. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ СТАТИК ТУРҒУНЛИГИ

2.1. Масаланинг умумий характеристикаси.....	68
2.2. Қувватнинг бурчак характеристикалари. Турғунлик муаммосининг маъноси.....	69
2.3. Тенгламаларни чиқиқдилаштириш.....	73
2.4. Ростланмайдиган системанинг кўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олмаган ҳолдаги статик турғунлиги.....	76

2.5. Ростланмайдиган системаларнинг кўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олган ҳолдаги статик турғунлиги.....	82
2.6 Статик турғунликнинг бузилиш турлари.....	87
2.7. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзғатиши.....	91
2.8. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши....	100
2.9. Кўзғатиш ростлагичларига эга бўлган электр систе- масининг статик турғунлиги.....	102
а) Пропорционал типдаги кўзғатишни ростлаш (ҚАР-П) ($E^1q = \dot{u}_{\text{згармас}}$).....	102
б) Кучли таъсир этувчи кўзғатишли автоматик рост- лагич (ҚАР-К) ($U_r = \dot{u}_{\text{згармас}}$).....	108
2.10. Кўзғатишни ростлашни турли усулларида синхрон генераторининг бурчак характеристикалари.....	111
2.11. Иккита генератор станциясидан ташкил топган электр системасининг статик турғунлиги.....	116
2.12. Генераторнинг система билан мураккаб боғланган ҳолатдаги қувват характеристикаси.....	120
2.13. Узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси.....	128
2.14. Электр системасининг статик турғунлиги захира- сини таъминлаш чоралари.....	131
Синов саволлари.....	142

3. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ ДИНАМИК ТУРҒУНЛИГИ

3.1. Масаланинг умумий характеристикаси.....	144
3.2. Динамик турғунликни ҳисоблашда қабул қилинадиган асосий фаразлар.....	145
3.3. Қисқа туташув ва нотўлиқ фазали ҳолатларида ал- маштириш схемаси.....	146
3.4. Системаларнинг динамик турғунлиги. Динамик турғунликни ҳисоблашнинг майдонлар усули. Динамик турғунликнинг оддий мезони.....	151
3.5. Қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати.....	158

3.6. Уч фазали қисқа туташув ҳолати учун роторнинг ҳаракат тенгламасини ечиш.....	159
3.7. Синхрон генераторнинг дифференциал тенгламасини ечиш усуллари.....	162
а) Усулларнинг умумий характеристикалари ва қўлланилувчи формулалар.....	162
б) Кетма – кет интерваллар усули.....	165
3.8. Икки генераторли системанинг динамик турғунлиги.....	170
3.9. Электр системаларининг динамик турғунлигини ошириш чоралари.....	179
Синов саволлар.....	193

4. ЮКЛАМА ТУГУНЛАРИДАГИ ЎТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

4.1. Электр системаларининг юкламалари.....	194
4.2. Юргизилувчи машиналарнинг механик характеристикалари.....	195
4.3. Электр энергияси истеъмолчиларининг характеристикалари.....	196
а) Ёритиш юкламаси.....	197
б) Асинхрон юклама ва унинг турғун ишлаш мезони.....	198
4.4. Юкламанинг частота ва кучланиш бўйича ростлаш эффекти.....	206
4.5. Ўзгармас қаршилиқ билан ифодаланган юкламанинг ростлаш эффекти.....	208
4.6. Асинхрон моторнинг кучланиш ва частота бўйича ростлаш эффекти.....	209
а) Асинхрон моторнинг кучланиш бўйича ростлаш эффекти ($f = \text{ўзгармас}$).....	209
б) Асинхрон моторнинг частота бўйича ростлаш эффекти ($U = \text{ўзгармас}$).....	212
в) Асинхрон моторнинг кучланиш U ва частота f нинг бир вақтда ўзгаришидаги ростлаш эффекти.....	214
4.7. Реактив қувват манбаларининг ростлаш эффекти.....	216
а) Синхрон компенсатор.....	216

б) Статик конденсатор.....	217
4.8. Комплекс юклама тугунининг турғунлик захирасини хисоблаш.....	218
4.9. Системадаги тебранишнинг электр маркази ва уни юклама турғунлигига таъсири.....	227
4.10. Юкламадаги ўткинчи жараёнларнинг система ди- намик турғунлигига таъсири.....	229
а) Асинхрон моторларнинг динамик характеристикаларн.....	230
б) Синхрон моторларнинг динамик характеристикаларн.....	234
в) Моторларни ишга тушириш.....	236
г) Моторларнинг ўз-ўзидан ишга тушиши.....	237
Синов саволлари.....	239

5. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ НАТИЖАВИЙ ТУРҒУНЛИКЛАРИ

5.1. Умумий характеристикалар.....	241
5.2. Асинхрон ҳолатнинг содир бўлиш жараёни.....	245
5.3. Синхрон генераторларни ресинхронизациялаш.....	251
5.4. Электр системаларининг натижавий турғунликларн.....	254
Синов саволлари.....	258

6. ЭНЕРГОСИСТЕМАЛАРДА ЧАСТОТА КЎЧКИСИ ВА УНИ БАРТАРАФ ҚИЛИШ ЧОРАЛАРИ

6.1. Частотани ўзгартириш ва ростлашнинг умумий характеристикаларн.....	259
6.2. Частота кўчкисн.....	264
6.3. Частота кўчкисининг олдини олиш чораларн.....	266
Синов саволларн.....	268
Адабиётлар.....	269

СЎЗ БОШИ

Ушбу ўқув қўлланма «Ўткинчи жараёнлар» курсининг иккинчи қисми бўлиб, «Электротехниканинг назарий асослари», «Электромеханика», «Энергетиканинг математик масалалари», «Электр энергияни ишлаб чақариш, узатиш ва тақсимлаш» каби фанларга асосланган. Қўлланмада келтирилган материаллар электроэнергетика ва электроэнергетик системалар соҳаси бўйича инженер-техник ҳолатни англашни ҳосил қилади.

Курснинг мазмуни электроэнергетик системаларда кечувчи физик ҳодисаларнинг асосини ўзлаштириш билан бирга уларда кечаётган электромеханик ўткинчи жараёнларни алоҳида элемент, юклама тугуни ва бутун система учун ўрганишни мақсад қилиб қўйган. Статик, динамик ва натижавий турғунликлар тушунчалари билан бир қаторда уларга синхрон генераторларнинг автоматик қўзғатиш тизимлари ва тезлик ростлагичларининг таъсири ўрганилган. Курс материалларини ёритиш мобайнида шундай сонли мисоллар келтирилганки, улар нафақат назарий материалларни мустаҳкамлаш, балки электр системаларини ишлатиш жараёнида пайдо бўлувчи конкрет ҳарактердаги масалаларни ечиш ва ўрганиш имконини беради.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати курснинг баъзи бўлимларини талабалар ва илмий ходимлар томонидан чуқур ўрганиш имконини беради.

Қўлланмани русчадан ўзбекчага доцентлар Т.Ш. Ғойибов, И.Х. Сиддиқов, С.Ж. Хайдаров, А.Т. Мирзаевлар ва т.ф.д., проф. Н.Б. Пирматов таржима қилишди. Уларга ва тақризчилар проф. О.О. Хошимовга ва доц. Р.А. Ситдиқовга ўз миннатдорчилигимни билдираман.

1. БАЗАВИЙ МАЪЛУМОТЛАР

1.1. Курс тавсифи. Асосий тушунчалар

Замонавий электр системалари турли қувватдаги кўп сонли электр станцияларини бирлаштирганликлари билан характерланади. Электр системаларининг тараққий қилиши билан уларни бирлаштиришнинг мақсадга мувофиқлиги ортиб боради.

Электр системаларини бирлаштириш ўзгарувчан ёки ўзгармас токли юқори кучланишли электр узатиш линиялари (ЭУЛ) кўринишидаги системалараро электр алоқа ёрдамида амалга оширилади. Ушбу бирлашиш қуйдагиларни таъминлайди:

- ишончлиликини оширади, яъни бирор бир элементни шикастланишига қарамасдан (генератор, трансформатор) истеъмолчи энергия олишни давом эттиради;

- системадаги қувват ва энергия захирасини камайтиради;

- бирлаштирилаётган системаларнинг қувватларини уларнинг иш ҳолатларини ҳисобга олган ҳолда оптимал ишлатилишига эришилади;

- бирор бир генератор, система ишдан чиққанда ёки бошқа ҳолларда ўзаро ёрдам кўрсата олинади.

Одатда, электр системалари орасидаги алоқа бир занжирли ёки икки занжирли юқори кучланишли ЭУЛ томонидан амалга оширилади. Электр энергиясини узатишда кучланишнинг катта қийматга эга бўлишлигининг муҳимлиги қуйдаги оддий тушунчалар билан изоҳланади.

Маълумки, уч фазали токнинг актив қуввати қуйдаги муносабатдан топилади:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (1.1)$$

Бу ерда, U, I – чизикли кучланиш ва ток; $\cos \varphi$ – актив қувват коэффициент; φ – фаза кучланиши ва фаза токи орасидаги фаза бурчаги.

(1.1) формуладан кўриниб турибдики, актив қувватни ток ёки кучланишни ошириш ҳисобига ошириш мумкин: токнинг ошиши исрофни унинг квадратига пропорционал тарзда ошишига олиб келади:

$$\Delta P = 3I^2 R \quad (1.2)$$

Бу ерда, R – битта фазанинг актив қаршилиги. Кучланишнинг ошиши, ўз навбатида, токнинг камайишига ва материал ишлатилишининг камайишига олиб келади, чунки ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзаси қуйидаги муносабатдан топилади:

$$F = \frac{P \cdot \ell \cdot 100}{\Delta U \cdot \gamma_a \cdot U^2} \quad (1.3)$$

Бу ерда, P – узатилаётган қувват; ℓ – ўтказгичнинг узунлиги; γ_a – материалнинг солиштира ўтказувчанлиги; ΔU – кучланиш исрофи, %; U – кучланиш.

Туташтирувчи линияларнинг ўтказиш қобилияти, биринчи навбатда, электр системалари ва электр станциялари синхрон генераторларининг параллел ишлашларининг турғунлик шарти билан белгиланади.

Замонавий электр станциялари генераторларининг қувватлари солиштириб бўлмайдиган даражада ошди: икки қутбли генераторларда уларнинг максимал қийматлари 1200 МВт га етди, 3000 айл/мин (Россия) ва тўрт қутбли генераторларда 1600 МВт, 1500 айл/мин (Германия). Ўзбекистонда Толлимаржон ИЭСида 800 МВтли генератор – Марказий Осиёда энг катта қувватли икки қутбли синхрон турбогенератор ўрнатилган. Хулоса қилиш мумкинки, бундай агрегат, ишлаётган энергосистеманинг турғунлигини таъминлашни талаб қилади.

Ўзбекистонда кучланиши 500 кВ гача бўлган маҳаллий ва юқори кучланишли ЭУЛ ли электр тармоқлар мавжуд. Мамлакатимизда умумий қуввати 12 млн.кВтли, йилига 45-50 млрд.кВт.соатгача ҳажмдаги электр энергияси ишлаб чиқара оладиган 9 та иссиқлик ва 30 та гидравлик электр станциялари ишлаб турибди. Республикамиз энергосистемаси Марказий Осиё ва Россия энергосистемасига уланган.

Энергетиканинг тараққиёти електроэнергетик мутахассисдан энергосистемада ва унинг алоҳида қисмларида юз бераётган

ходисалар ва жараёнларни яккол тасаввур қилишни талаб этади. Улар жараёнларни бошқариш нуктаи назаридан тушунишлари керак. Бунинг учун улар ушбу жараёнларни кўра билиши, ҳисоблай олиши ва системанинг параметрларини микдорий ўзгаришларини ҳолат параметрларининг ўзгаришларига боғлиқлигини кўра билиши керак.

Системада кечувчи жараёнлар система элементларида кечувчи жараёнлардан тубдан фарқ қилиши мумкин. Ушбу хусусият ўрганилаётган курснинг моҳиятини белгилайди.

Курснинг предмети – ўзаро боғланган электромагнит ва механик ўткинчи жараёнларни ўрганиш – бутун электр система ва унинг алоҳида олинган элементларидаги жараёнларнинг электро-механик ҳодиса ва қонуниятларини уларнинг биргаликда ишончли ишлашларини таъминлаш нуктаи назаридан ўрганишдир.

Асосий тушунчалар билан танишамиз.

Электр система – бу электроэнергетик системанинг электр қисми бўлиб, у қуйида келтирилган элементларнинг мажмуини ташкил этади:

а) куч элементлари - электр энергияни ишлаб чиқарувчи, ўзгартирувчи, узатувчи, тақсимловчи ва истеъмол қилувчи элементлардир; (генераторлар, турбиналар, трансформаторлар, подстанциялар);

б) бошқариш элементлари – система ҳолатини ўзгартирувчи ва бошқарувчи элементлар (тезлик, частота, қўзғатиш ростлагичлари).

Система ҳолатлари – бу системанинг ҳолати бўлиб, у система ва унинг элементларида ва уларнинг системадаги уланишларига боғлиқ ҳолда юз бераётган турли жараёнларнинг мажмуи кўринишида белгиланади.

Система ҳолати боғловчи тугунлардаги кучланишнинг қиймати U , частотаси f , генератор ишлаб чиқараётган актив ва реактив қувватлар билан характерланади. Система ҳолати микдор ва сифат кўрсаткичларига эга.

Микдор кўрсаткичлари: ишлаб чиқилаётган актив ва реактив (P, Q) қувватлар, Q ва P қувватлар оқимлари, ишлаб қақарилаётган электроэнергия.

Сифат кўрсаткичлари: системанинг боғловчи тугунларидаги кучланишнинг қиймати, частота f , кучланиш ва токнинг

синусоидал формалари, кучланиш ва тоқларнинг векторларини симметриклиги ва бошқалар.

Ҳолат параметрларига системанинг ҳолатини аниқловчи ва система ҳолати ўзгарганда ўзгарувчи P, Q, U, I, f каби параметрлар киради.

Система параметрлари. Бунга турли қаршиликлар, ўтказувчанликлар, система элементларининг коэффициентлари $X_R, X_T, r_R, r_T, X_\sigma, K_T, X_p$ ва ҳ.к.лар киради. Система параметрлари умумий ҳолда нозизиқлидир. Лекин ушбу курсни ўрганишда биз уларни ўзгармас катталиклар деб қабул қиламиз.

Электр системалари ҳолатлари **турғун ва нотурғун** – ўтувчан бўлишлари мумкин. Шунга мос равишда **нормал ва шикастланиш ҳолатлари** фарқланади. **Ўткинчи жараёнлар** нормал ва шикастланиш кўринишида бўлади.

Нормал ўткинчи жараёнлар нормал ишлатиш шароитида ростловчи қурилмаларнинг таъсирида ва система юкламасининг одатий ўзгаришида юз беради. Масалан, диспетчер иккита ишлаётган линиядан бирини узади ёки бирор бир генераторни улайди ва ҳоказо. Ушбу ҳолларда ўткинчи жараён юз беради ва у нормал деб аталади. Нормал ўткинчи жараёнларда ҳолат параметрлари ўзларининг турғун катталикларидан кичик миқдорда фарқ қиладилар.

Маълум бир кичик ўзгариш ҳосил қилувчи таъсирлар, масалан, юкламанинг ўзгариши, ростлагичлар фаолияти ва ҳоказолар узлуксиз давом этади ва бунинг натижасида системада ўткинчи жараёнларга сабаб бўлувчи **кичик турткилар** доимо кузатилади.

Кичик турткилар система турғун ишлашининг издан чиқишига сабаб бўлмасликлари керак. Шунинг учун система кичик турткида турғун бўлиши шарт ёки бошқача ифодалганда статик турғун бўлиши шарт.

Статик турғунлик – бу системанинг бошланғич ҳолатини ёки унга яқин бўлган ҳолатни системадаги кичик турткиларда мустақил тикланишидир.

Шикастланиш ўткинчи жараёнлари бир қисм электр генераторларининг, линияларнинг қисқа туташув ёки бошқа ҳолларда узилиши ва ҳолат параметрларининг шиддатли қутилмаган ўзгаришлари натижасида юз беради.

Шикастланиш натижасида ҳолат параметрлари катта микдорга ўзгаради (U , P камаяди), яъни электр системаси **катта туртки** таъсирида бўлади. Мисол тариқасида системадаги 3 фазали қисқа туташув кучланишнинг чуқур пасайиши, ҳаттоки нолгача пасайиши, генераторларнинг ҳолат параметрларининг тебраниши билан кузатиловчи туртки кўринишида содир бўлиши мумкин.

Система катта турткиларга турғун, яъни динамик турғунликка эга бўлиши шарт.

Динамик турғунлик - бу системанинг ҳолат параметрларини катта қийматга ўзгариши билан кузатиловчи турткилардан кейин бошланғич ёки унга яқин ҳолатларга мустақил тикланишидир.

1.2. Ўткинчи жараёнларнинг асосий турлари

Система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда (масалан, генератор ёки юкламаларни узилиши ёки қўшилиши) электр ва электромеханик занжир билан боғлиқ энергия микдорини ўзгариши кузатилади. Масалан, қисқа туташувларда, айниқса, уч фазали қисқа туташувда, барча энергия шикастланиш жойида сарфланади ва шунинг учун у ерда қурилмаларнинг механик бузилишини, равшан портлашни ёки шу кабиларни кузатиш мумкин. Бу жараён жуда тез содир бўлади, кучланиш деярли зудлик билан нолгача камаяди, лекин бошланғич моментда генератор ва моторларнинг айланиш тезликлари уларнинг инерционликлари туфайли ўзгаришсиз қолади. Айланувчи машиналарнинг валларидаги моментлар баланси ўзгариши ҳисобига уларнинг айланиш тезлиги секин аста ўзгаради. Бошқача сўз билан айтганда, агрегатларнинг электромагнит ва механик ҳолатлари ўзгариш тезлиги сезиларли фарқ қилади. Шунинг учун ўткинчи жараёнлар тадқиқот пайтида пайдо бўлиш сабаблари, тебранишлар частотаси, кечиш вақтига кўра турлича гуруҳларга бўлинади. Вақт бўйича фарқ қилувчи ўткинчи жараёнларни қисқача кўриб ўтамыз.

Ўткинчи жараёнларнинг биринчи кўриниши – бу **тўлқинсимон ўткинчи жараёнлар** бўлиб, улар ички, коммутация, момақалдирок ва бошқа ўтакучланишлар билан

боғлиқ. Система элементларининг механик ҳолатларини ўзгариши, масалан, генератор, турбина роторларининг айланиш тезлигини ўзгариши ва бошқалар ушбу жараёнларнинг кечишига таъсир кўрсатмайди. Ушбу жараёнларнинг юз бериш ва кечиш вақти $t_{\text{мех}} = (10^{-5} \div 10^{-8})$ с мобайнида бўлади. Ушбу ҳодиса маълумотларини юқори кучланиш техникаси курсида ўқитилади.

Электромагнит ўткинчи жараёнлар системада юз бераётган механик ҳолатларни ҳисобга олмаган ҳолда ўрганилади. Масалан, синхрон генераторлардаги електромагнит ўткинчи жараёнлар генератор роторларини айланиш тезлигининг ўзгармаслиги шартида $\omega_p = \text{const}$ кўрилади. Бундай жараёнларнинг содир бўлиш ва кечиш вақти $t_{\text{эм}} = 2(10^{-2} \div 10^{-3})$ с ни ташкил этади.

Ўткинчи жараёнларнинг учинчи тури - бу **электромеханик ўткинчи жараёнлардир**. Ушбу жараёнларга генератор, турбина, моторларнинг айланиш тезликларининг ўзгариши сезиларли даражада таъсир қилади. Биз системанинг електромагнит ва механик ҳолатларини бир вақтда кўриб чиқамиз ва бунда уларни биргаликда ва ўзаро таъсирларини ҳисобга оламиз. Ушбу ҳолатлардан курснинг таркиби, номи ва мазмуни келиб чиққан. Ушбу ўткинчи жараёнларнинг содир бўлиши ва кечиш вақти уни характерловчи (U , I ва бошқалар) физик катталикларнинг тарқалиш вақтидан сезиларли даражада катта бўлиб, $t_{\text{эм}} = 0,02 \div 10$ с. атрофида ва ундан катта бўлиши мумкин.

1.3. Система элементларининг алмаштириш схемалари

Электр системалари ва элементларидаги электромеханик ўткинчи жараёнларни ифодаловчи дифференциал ва алгебраик тенгламалар системаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$T_j \frac{dX_j}{dt} = F_j \quad (1.4)$$

$$A_j x_j = Y_j$$

Бу ерда, X_j — системанинг ҳолат параметрлари; T_j , A_j — ҳолат ва система параметрларига боғлиқ коэффициентлар;

Y_j, F_j – ўзгарувчиларнинг баъзи функциялари (масалан $U, f, \Delta U, \Delta f$ ва бошқа.) $j=1,2,3,\dots,n$ (курсни ўрганиш мобайнида ушбу ифодалар конкретлаштирилади).

(1.4) тенгламани ечиш натижалари бирор параметрни вақтга боғлиқлигини ифодалайди, ҳолатга турткиларнинг таъсирини ва турли таъсирларда электр системанинг турғун ёки нотурғунлигини аниқлаш имконини беради.

Электромеханик ўткинчи жараёнларни тадқиқ этишнинг асосий хусусиятларидан бири – бу электр системасининг ички алоқаларининг (системалар, станциялар, генераторлар, юкламалар ва ҳоказолар орасидаги боғлиқлик ва алоқалар), (1.4) кўринишидаги алгебраик ва дифференциал тенгламалар билан ёзилиши ва уларнинг жуда юқори кўрсаткичлари билан боғлиқ бўлган ечишдаги катта муаммолардир. Лекин шунга қарамасдан мутахассис, аввало, системани ҳолати ва унда мумкин бўлган жараёнларга сифат нуқтаи назаридан баҳо бериши лозим. Бундан ташқари, ушбу тенгламаларни тўла тўқис ечиш, умуман, мумкин эмас. Шунинг учун масалаларни ечишни соддалаштириш ва уларнинг зарурий ва конкрет ечишларини топиш мақсадга мувофиқдир.

Мураккаб тенгламалар асосида тадқиқ этилувчи жараёнларни соддалаштириш ва енгиллаштиришнинг воситаларидан бири алмаштириш схемаларини қўллашдир. Системанинг алмаштириш схемаси элементларининг алоҳида алмаштириш схемалари асосида қурилади. Система элементларининг алмаштириш схемалари кечаётган энергетик жараёнларни ифодалайди.

Алмаштириш схемалари ихтиёрий вақт моменти учун тўғридир (масалан, ЭУЛнинг занжирсимон алмаштириш схемаси) ёки тадқиқ этилаётган жараёни характерли моментларини (масалан, генераторни ўткинчи ёки ўта тез ўткинчи қаршилиқ сифатида алмаштириш) кўрсатади.

Электромеханик ўткинчи жараёнларни ўрганишда электр системаларининг асосий элементларини ифодаловчи алмаштириш схемалари билан танишамиз.

Электр узатиш линиялари. Ўткинчи жараёнларни тадқиқ этиш мобайнида ЭУЛлари Т ёки П - симон алмаштириш схемалари билан ифодаланади (1.1-расм).

300 км гача бўлган узунликдаги линияларнинг алмашти-
риш схемалари параметрлари қуйидагича аникланади:

$Z_{\pi} = r_{\pi} + jX_{\pi}$ - линиянинг тўла комплекс қаршилиги;

$r_{\pi} = r_o \cdot l$ - линиянинг актив қаршилиги;

$X_{\pi} = X_o \cdot l$ - линиянинг реактив қаршилиги;

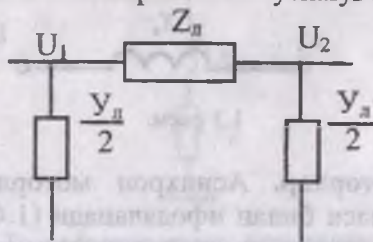
$Y_{\pi} = (g_o + j \epsilon_o) \cdot l$ - линиянинг тўла комплекс ўтказувчанлиги.

Бу ерда, r_o - линиянинг солиштирма актив қаршилиги, ом/км;

X_o - линиянинг солиштирма реактив қаршилиги, ом/км;

ϵ_o - линиянинг солиштирма ситим ўтказувчанлиги, 1/ом.км;

g_o - линиянинг солиштирма актив ўтказувчанлиги, 1/ом.км.



1.1-расм. ЭУЛнинг алмаштириш схемаси.

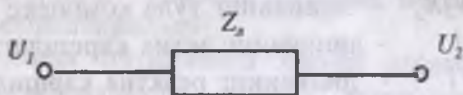
ЭУЛнинг актив ўтказувчанлиги g_o актив қувват исрофи-
нинг иккита ташкил этувчиси – тожли разряддаги ва изоля-
торлар орқали оқиб кетувчи токка мос келувчи исрофларни
характерлайди. Кучланиши 220 кВгача бўлган ЭУЛда g_o
ҳисобга олинмайди, кучланиш $U \geq 330$ кВ бўлган ЭУЛларда
ушбу исрофлар ҳисобга олиниши шарт.

ЭУЛнинг узунлиги 300-1000 км дан ортганда комплекс
тўғрилаш коэффицентларини киритиш лозим.

Агар ўта юкори кучланишли ЭУЛ (220 кВ ва ундан кат-
та) қўрилаётган бўлса, у ҳолда ЭУЛ қаршилигининг факат
реактив ташкил қилувчисини ҳисобга олиш мумкин, чунки
 $r_{\pi} \ll X_{\pi}$.

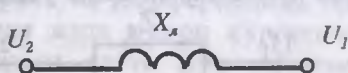
Агар ЭУЛдан узатилаётган қувват кичик бўлса ёки кабел ли-
нияси қўрилаётган бўлса, ушбу ҳолда, албатта, қаршиликнинг
актив ташкил қилувчисини ҳам ҳисобга олиш шарт.

Шундай килиб, ўткинчи жараёнларни кўраётганда ЭУЛнинг тўла қаршилигини Z_s шаклида ифодалаймиз:



1.2- расм.

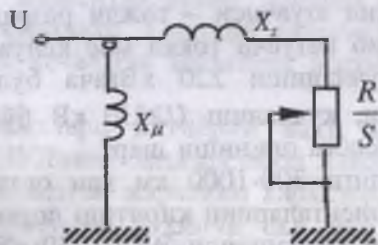
ёки фақат реактив қаршилик X_s сифатида қабул қиламиз, яъни линиянинг ўтказувчанлигини ҳисобга олмаймиз (1.2, 1.3-расмлар).



1.3-расм.

Асинхрон моторлар. Асинхрон моторлар Г – симон алмаштириш схемаси билан ифодаланади (1.4 расм).

Бу ерда: X_s – ротор ва статор чулғамларининг сочилма индуктив қаршилиги; X_μ – магнитлаш занжирининг индуктив қаршилиги; R – ротор чулғамининг келтирилган актив қаршилиги; S – сирпаниш.



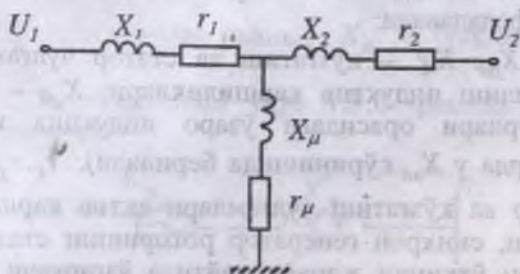
1.4-расм. Асинхрон моторнинг алмаштириш схемаси.
Сирпаниш қуйидаги формуладан топилади:

$$S = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s},$$

бу ерда: ω_s – статор магнит майдонининг айланиш тезлиги; ω_r – роторнинг айланиш тезлиги.

Ушбу алмаштириш схемасида статорнинг актив қаршилиги ташқи занжирга тегишли дейилиб, ҳисобга олинмайди, яъни статордаги исроф ҳисобга олинмайди.

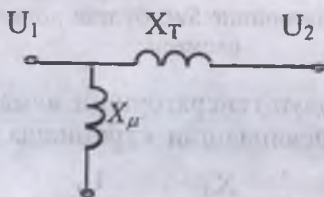
Трансформаторлар. Трансформаторлар турли алмаштириш схемалари билан тасвирланиши мумкин. Масалан, икки чулғамли трансформаторнинг Т – симон алмаштириш схемаси қуйидагича тасвирланади:



1.5-расм. Трансформаторнинг алмаштириш схемаси.

бу ерда, X_1, X_2 – бирламчи ва келтирилган иккиламчи чулғамларнинг сочилма индуктив қаршилиликлари; r_1, r_2 – шу чулғамларнинг актив қаршиликлари; X_μ, r_μ – магнитлаш занжирининг индуктив ва актив қаршиликлари.

Кўпгина ҳолларда трансформаторнинг алмаштириш схемаси қуйидагича ифодаланади:



1.6-расм.

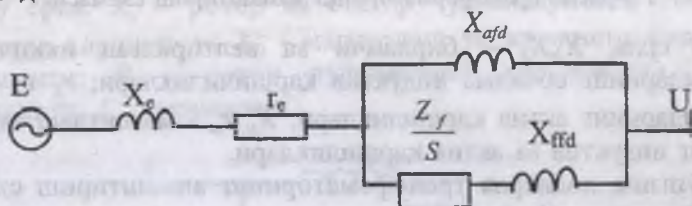
бунда қаршилиқнинг актив ташкил этувчиси ҳисобга олинмайди.

Умуман олганда, у ёки бу алмаштириш схемасини қабул қилиш ҳисоблаш мақсадидан келиб чиққан ҳолда қабул қилинади.

Трансформатор ва автотрансформаторларнинг алмашти-
риш схемалари каталог маълумотлари асосида аниқланади.

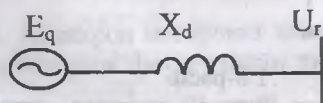
Синхрон генераторлар. Электр системаларнинг ҳолатларини таҳлил этиш пайтида генераторлар имкон қадар энг содда ал-
маштириш схемалари билан ифодаланилишлари керак. Лекин баъзи ҳолларда бунга эришиш осон эмас, чунки ё э.ю.к., ё бе-
рилган қаршилиқ ўткинчи жараёнлар мобайнида вақт бўйича ўзгаради. Ҳар бир кўринишдаги ўткинчи жараёнлар учун мумкин бўлган соддалаштиришлар аниқланади ва асосланади. Синхрон генераторнинг энг содда алмаштириш схемаси 1.7- расмдаги кўринишда ифодаланади:

Бу ерда, X_{ffd} , X_{fd} — кўзгатиш ва статор чулғамлари мос келувчи сочилиш индуктив қаршиликлари; X_{afd} — статор ва ротор контурлари орасидаги ўзаро индукция қаршилиги (баъзи ҳолларда у X_{ad} кўринишида берилади); r_e, r_f — мос ра-
вишда статор ва кўзгатиш чулғамлари актив қаршиликлари; s — сирпаниш, синхрон генератор роторининг статор майдо-
нига нисбатан ўткинчи жараён пайтида ўзгарувчи тезлигини ифолайди.



1.7-расм. Синхрон генераторнинг $S \neq 0$ бўлган ҳолат учун алмаштириш схемаси.

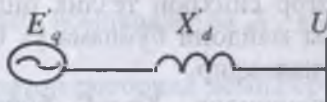
Турғун ҳолатлар учун генераторнинг алмаштириш схемаси одатда, 1.8- расмда тасвирланган кўринишда бўлади.



1.8-расм. Синхрон генераторнинг турғун ҳолат учун алмаштириш схемаси.

Бу расмда E_q - салт ишлаш ҳолати э.ю.к.; $X_d = X_e + X_{afd}$ - синхрон индуктив қаршилик.

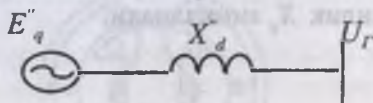
Ўткинчи жараёнлар учун 1.9,а-расмда тасвирланган аналогик схема қўлланилади



1.9,а- расм. Синхрон генераторнинг ўткинчи ҳолат учун алмаштириш схемаси.

унда E_q - ўткинчи э.ю.к.; X_d - ўткинчи индуктив қаршилик.

Ўта тез ўткинчи ҳолат учун 1.9,б- расмда тасвирланган схема ишлатилади.



1.9-б расм. Синхрон генераторнинг ўта тез ўткинчи ҳолат учун алмаштириш схемаси.

Унда E_q - ўта тез ўткинчи э.ю.к.; X_d - ўта тез ўткинчи индуктив қаршилик.

Умумий ҳолда бўйлама ўқ қаршилиги учун қуйидаги муносабат тўғридир:

$$X_d > X_d' > X_d'' \quad (1.5)$$

Аналогик схемалар синхрон генераторнинг кўндаланг ўқи эквивалент чулғамлари учун аниқланади.

Агар махсус чекловлар бўлмаса, келтирилган алмаштириш схемалари бирламчи яқинлашишда барча турдаги синхрон генераторлар учун қўлланилади. Лекин аён кутбли генераторларда (гидрогенератор) схема мураккаблашади.

Бўйлама ўқ бўйича (1.5) формулада келтирилган қаршилиқнинг физик маъносини тушинишга ҳаракат қиламиз.

Турғун ҳолатда, статорнинг асосий магнит оқими ротор массивига бемалол сингиб кирганда машинанинг магнит

қаршилиги кичик бўлади ва мос равишда фазанинг индуктивлиги $L \equiv \frac{\phi}{I}$ энг катта бўлади. Бу ерда, L статорнинг фаза чулғаида тўғри кетма-кетликнинг симметрик синусоидал токи оққан, ротор синхрон тезлик билан айланган ва статор токининг магнит майдони бўйлама ўқ бўйича мувофиқлашган ҳолдаги индуктивликдир.

Индуктив қаршилик $X = \omega L$ бўйлама ўқ «d» бўйича оқувчи тўла оқим билан характерланганлиги учун машинанинг бўйлама ўқ бўйича индуктив қаршилиги ҳам катта бўлади. Бу қаршилик бўйлама ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилик деб номланади, чунки у турғун ҳолатда синхрон ҳолат учун аниқланади ва индекс «d» (X_d) билан белгиланади (1.10 расм). Аналогик ҳолда кўндаланг ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилик X_q аниқланади.



1.10-расм. Синхрон генераторда турғун ҳолатда оқимнинг бўйлама ўқ бўйича ишлаши.

Ўткинчи жараён юз берганда, генераторнинг ҳолати ўзгаргани сабабли (юкламанинг уланиши, қисқа туташув ва ҳақозо) статорнинг магнит оқими ҳам ўзгаради. Натижада, эквивалент кўзғатиш чулғамларида кўшимча ток пайдо бўлади, у ток статор токи таъсирини камайтиради, чунки статор оқими ротор массивидан сикиб чиқарилади.

Ушбу ўзгаришлар генератор ҳолатини ўзгариши билан содир бўлади, яъни ўткинчи ҳолатда юз беради, шунинг учун бу индуктив қаршилик ўткинчи ҳолатни ифода қилади. Бунда

статор магнит оқими сочилиш йўли билан туташади. Бу ҳол ротордан ўтаётган статор оқимини сиқиб чиқарилиши сабабли индуктивликни камайишига олиб келади, бунинг натижасини белгиловчи қаршилик юқорида танишиб ўтилган X_d қаршиликдан кичик бўлади ва у бўйлама ўқ бўйича ўткинчи индуктив қаршилик деб номланади ва X_d кўринишида ёзилади (1.11- расм).

Агар синхрон генератор роторида демпфер чулғами бўлса, статор оқимини сиқиб чиқариш янада интенсивроқ бўлади, натижада, олдинги ҳолатдагига нисбатан индуктивлик ва мос қаршилик X_d га нисбатан камроқ бўлади. Ушбу қаршилик бўйлама ўқ бўйича ўта тез ўтувчан индуктив қаршилик деб юритилади ва X_d кўринишида белгиланади. (1.12- расм).



1.11-расм . Синхрон генераторда ўткинчи ҳолатда оқимнинг бўйлама ўқ бўйича ишлаши.

Демпфер бўлмаган ҳолда ўта тез ўтувчан индуктив қаршилик тушунчаси мавжуд бўлмайди.

Шундай қилиб, кўриб ўтилган индуктив қаршиликлар синхрон генератордаги юз бераётган реал жараёнларни кўрсатади:



1.12- расм. Синхрон генераторда демпфер чулғами мавжуд бўлганда оқимнинг бўйлама ўқ бўйича ишлаши (ўта тез ўтувчан ҳолат).

- X_d'' – бўйлама ўқ бўйича ўта тез ўтувчан индуктив қаршилик – синхрон генератор роторида тўла демпфер чулғам иштирок этиши билан ифодаланувчи қаршилик. Демпфер чулғамдаги тоқлар $0,03 \div 0,15$ с давомида сўнади;

- X_d' – ўткинчи индуктив қаршилик – демпфер контуридаги қўшимча тоқлар сўнган ва қўзғатиш чулғамидаги тоқлар оқиши давом этаётган пайтга мос келувчи қаршилик. Уларнинг сўниш вақти бироз узунроқ – $0,6$ секунддан бир неча секундгача давом этади (катта қувватли генераторлар учун);

- X_d – синхрон индуктив қаршилик – қўзғатиш чулғамидаги қўшимча тоқлар сўнган турғун ҳолатига мос келувчи қаршилик.

Индекс «d» қаршиликни бўйлама ўқ бўйича содир бўлаётган жараёнларга мос келишини билдиради.

Худди шу каби, кўндаланг ўқ бўйича индуктив қаршилик ҳам топилади.

Шундай қилиб, қуйидаги муносабатлар тўғри эканлигини назарда тутиш лозим:

умумий ҳолда

$$X_d > X_d' > X_d'';$$

турбогенераторлар учун

$$X_d = X_q \quad X_d' = X_q' \quad X_d'' = X_q'';$$

гидрогенераторлар учун

$$X_d > X_q \quad X_d' > X_q' \quad X_d'' > X_q''$$

ва тўлиқ бўлмаган демпферли системаларда

$$X_d = X_q.$$

1.4. Синхрон генераторларнинг қўзғатиш схемалари

Синхрон машиналарнинг қўзғатиш ва ростлаш схемаси (системаси)га қўзғатиш тоқини ҳосил қилувчи ва уларни бошқарувчи машина ва аппаратлар киради. Синхрон машиналарнинг қўзғатиш системаси генератор ёки мотор роторининг чулғами, ротор чулғамига берилувчи ўзгармас ток кучланиш манбаси ва коммутацион аппаратуралардан иборатдир. Қўзғатиш системасини ўрнатишдан асосий мақсад – машинада магнит майдони ташкил қилишдир.

Кўзғатиш системасининг ўткинчи жараёнга таъсири жуда катта. Шу сабабли, генераторларнинг кўзғаткичлари қуйидагиларни таъминлаши шарт:

- нормал ва авария ҳолатларида лозим бўлган кўзғатиш қувватини таъминлаш;

- кўзғатишни автоматик ёки қўлда ростлашда ротор токини берилган қонун бўйича ўзгартириш;

- имкони борича юқори кўзғатишнинг даражасини таъминлаш;

- улкан генераторлар узун муҳим ҳисобланган ротор токини ортиб бориш тезлигининг имкон борича максимал бўлиши.

Бироқ ҳолат параметрлари тез ўзгарганда (масалан, қиска туташув пайтида U нинг тушиб кетиши) кўзғатиш системасининг ишлаши кечикади, чунки кўзғаткич ва генераторнинг кўзғатиш чулғамлари ўзиндукцияга – электромагнит инерцияга эга бўлиб, бунинг таъсирида улардаги ток экспоненциал қонун бўйича ўзгаради (1.13-расм).

Кўзғатиш системалари конструктив ясалиши бўйича турларга бўлинади:

- 1) электр машинали ($N=5\div 100$ МВт номинал қувватли агрегатлар учун);

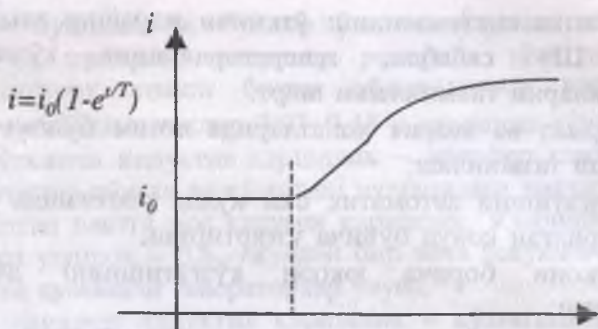
- 2) статик тиристорли системалар ($N=200\div 500$ МВт ва ундан юқори номинал қувватли агрегатлар учун) ва кўзғаткичнинг тури бўйича:

- 1) ўз-ўзини кўзғатишли;

- 2) мустақил кўзғатишли.

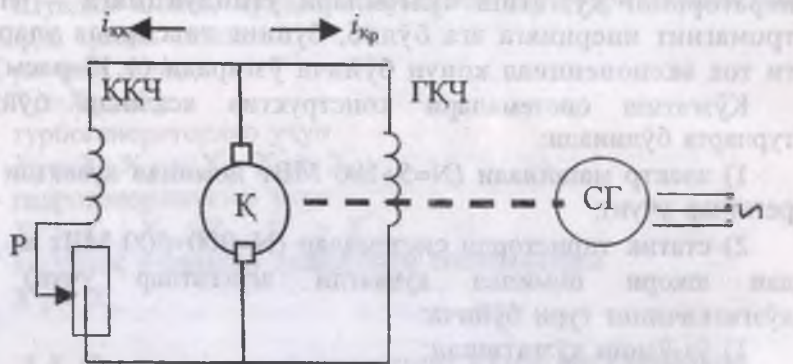
Синхрон генераторининг кўзғатиш токи экспоненциал тарзда ўзгаради (1.13-расм).

Бу ерда, $T=L/R$ бўлиб, чулғамнинг индуктивлиги ва актив қаршилиги уни инерционлигини характерлайди ва вақт доимийси деб аталади. Ҳозирги пайтда ушбу камчиликлардан ҳоли бўлган тўғриловчи схемали кўзғатиш системалари қўлланилади.



1.13- расм. Синхрон генератор кўзғатиш токининг ўзгариши.

Бундай кўзғатиш системаларини кискача кўриб ўтамиз.
Ўз-ўзини кўзғатишли кўзғаткич.

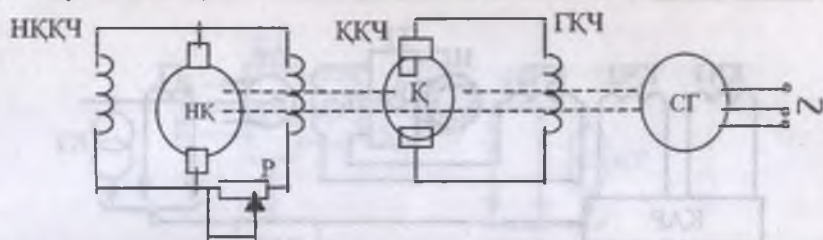


1.14-расм. Ўз-ўзини кўзғатишли кўзғаткич.

Аталишидан кўриниб турибдики, генератор ўз-ўзини кўзғатади, яъни кўзғаткич (ўзгармас ток генератори) генератор (ротор) билан битта валда жойлашган. Кўзғаткич ва синхрон генератор кучланишини ўзгартириш ростлагич P ёрдамида амалга оширилади (бу ерда СГ – синхрон генератор, К – синхрон генераторнинг кўзғаткичи, ККЧ – кўзғаткичнинг кўзғатиш чулғами, ГҚЧ – генераторнинг

кўзғатиш чулғами, $i_{кк}$, $i_{кр}$ – кўзғаткич ва синхрон генераторнинг кўзғатиш токлари).

Мустақил кўзғатишли кўзғаткич



1.15- расм. Мустақил кўзғатишли кўзғаткич.

Бу схемада кўзғатиш учун қўшимча ўзгармас ток генератори (НК – нимкўзғаткич) ўрнатилади. Бунда, аввало, нимкўзғаткич (НК) кўзғаткични (К) кўзғатади ва сўнгра, ўз навбатида, кўзғаткич синхрон генераторни кўзғатади. Ушбу схема бўйича НК ва К генератор билан битта валда жойлашади, бироқ НК алоҳида манбадан таъминланиши мумкин. Генератор кучланишини ўзгартирилиши ростлагич Р ёрдамида амалга оширилади. Юқорида кўрилган электр машинали кўзғатгичлар электромагнит инерцияга эга ва шу сабабли, қуввати катта бўлмаган синхрон генераторларда қўлланилади.

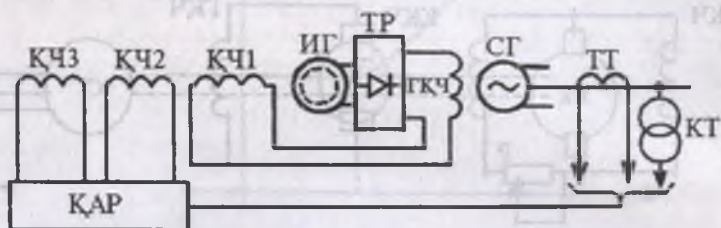
Статик тиристорли кўзғатиш системалари

Статик тиристорли системалар асосидаги кўзғатиш системасини кўриб ўтамыз.

Ҳозирги даврда 200 МВт ва ундан юқори қувватли генераторлар кўзғатиш системаларининг асоси бўлиб бошқарилмайдиган тўғрилагичли ўзгарувчан ток машиналари ёки юқори частотали, шеткасиз ва тиристорли бошқарилувчи тўғрилагичлар ҳисобланади.

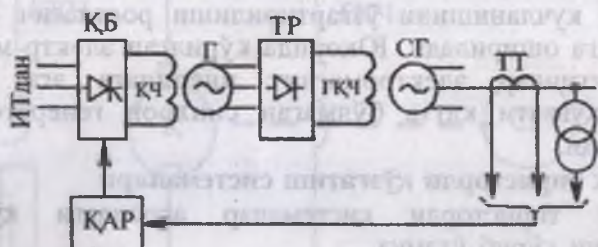
Юқори частотали система кўзғаткич сифатида синхрон генераторнинг валида жойлашиб, уни кўзғатиш чулғамини (ГКЧ) ростланмайдиган тўғрилагич (ТР) орқали таъминловчи юқори частотали (500 Гц) индукторли генератор (ИГ)га эга (1.16- расм). ИГнинг учта кўзғатиш чулғамидан икkitаси кўзғатиш токини берилган қонун бўйича ростлаб, уни ҳосил қилиб турувчи

кўзгатишни автоматик ростлагичи (ҚАР)га уланади. Юқори частотали кўзгатиш системасининг вақт доимийси $0,3 \pm 0,4$ с. ни ташкил этади.



1.16- расм. Юқори частотали кўзғатиш системаси.

СГнинг роторида контакт ҳалқаларининг мавжудлиги кўзғатиш токининг қийматини чегаралайди. Шу сабабли, генераторнинг қуввати 300 МВт ва ундан юқори бўлган ҳолларда айланувчи контактларга эга бўлмаган шчеткасиз кўзғатиш системалари қўлланилади (1.17- расм).

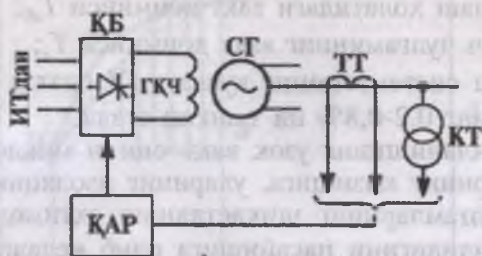


1.17- расм. Шёткасиз кўзгатиш системаси.

Кўзгаткич сифатида асосий генератор билан битта валда жойлашган тескари синхрон генератор (Г) фойдаланилади. Бу ерда, ҚАР тиристорларнинг юкори частотали индуктив генератор (ИГ)дан манбаланувчи ўзгарткич тиристорларининг бошқариш системасига таъсир этади. Бу системада эквивалент вақт доимийси $0,1 \div 0,15$ с.ни ташкил этади.

Тиристорли қўзғатиш системаси 300 МВт ва ундан юқори қувватли гидрогенератор ва турбогенераторларда қўлланилади. Тиристорли системанинг юқорида кўриб ўтилган системалардан

фарқи асосий генераторнинг кўзғатиш токини бошқариш контурида айланиб ишловчи машинанинг мавжуд эмаслигидир (1.18-расм). Унинг ишлаш вақти $0,02 \div 0,04$ с.ни ташкил этади.

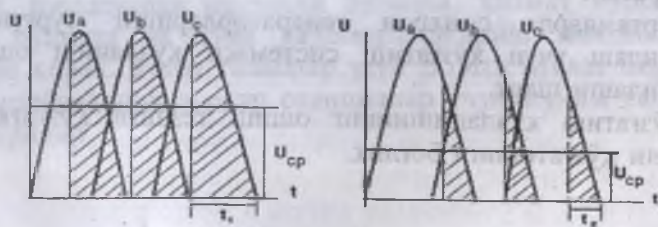


1.18- расм. Тиристорли кўзғатиш системаси.

Тўғриланган кучланишни ўзгартириш вентиллارнинг ёниш вақтини ростлаш орқали амалга оширилиши мумкин. Вентилларнинг тўрига маълум миқдордаги ёпувчи манфий кучланиш берилади. Лозим бўлган лаҳзада бу кучланишга махсус пик-генератор ёрдамида ҳосил қилинадиган очувчи мусбат импульс қўшилади. Бу жараён (1.19-расм)да келтирилган.

Бу диаграммалардан кўринадики, вентиллارнинг очилиш вақти қанчалик катта бўлса, тўғриланган кучланишнинг қиймати шунчалик катта бўлади. Бундай системаларда вақт доимийси электр машинали кўзғатиш системаларидагига нисбатан анча кам бўлади.

Кўзғатиш системалари қуйидаги кўрсаткичлар билан характерланади:



1.19- расм.

– қўзғатишнинг номинал кучланиши. Одатда, унинг қиймати $U_{нк}=200-400\text{ В}$ оралиғида бўлади;

– қўзғатишнинг номинал токи ($i_{нк}$);

– салт ишлаш ҳолатидаги вақт доимийси $T_{до}$;

– қўзғаткич чулғамининг вақт доимийси T_e ;

– қўзғатиш системасининг қуввати. У одатда агрегат умумий қувватининг 0,2-0,8% ни ташкил этади.

Ток ва кучланишнинг узоқ вақт ошган миқдорда бўлиши мос чулғамларнинг кизишига, уларнинг изоляциясини ишдан чиқишига, чулғамларнинг шикастланиш эҳтимолини ошириши орқали ишончилигини пасайишига олиб келади. Шу сабабли, қўзғатиш схемалари қўзғаткич токи ва кучланишининг энг юқори чегаралари билан характерланади.

Кучланиш бўйича энг юқори чегара юқори чегара кучланиши $U_{чю}$ нинг қўзғаткичнинг номинал кучланиши $U_{нк}$ га нисбати сифатида аниқланади. Ушбу нисбат:

турбогенераторлар учун ≥ 2 ;

гидрогенераторлар учун (1,8÷4).

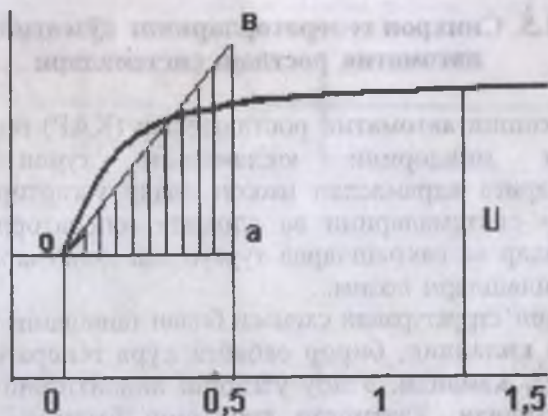
Кучланишнинг юқори қиймати кучланишни энг юқори белгиланган миқдордан ним қўзғаткичнинг қуввати ва унинг тўйинишига боғлиқ ҳолда оша олмаслиги билан аниқланади. Бундан ташқари, кучланишни жуда катта ошириши коллекторни ишдан чиқишига олиб келади.

Токнинг юқори қиймати нимқўзғаткич ва қўзғаткич чулғамларидан узоқ рухсат этилган ток оқишига боғлиқ.

Қўзғаткич санаб ўтилган характеристикалар билан бирга кучланиш ошишининг тезлиги билан ҳам характерланади (1.20-расм).

Турткиларда синхрон генераторларнинг турғунлигини таъминлаш учун қўзғатиш системаси кучланиш ошишини таъминлаши шарт.

Қўзғатиш кучланишининг ошиш тезлиги қўзғаткичнинг каррала қўзғатишига боғлиқ.



1.20-расм. Кўзгаткич кучланишининг ошиш тезлиги.

U_K кучланишнинг ўртача кўтарилиш вақти 0.5 секунд билан чегараланган тўғри чизиқнинг тангенс бурчаги 0ab юзага мос ва кучланишнинг ҳақиқий ортиш эгри чизиги билан аникланади;

$$\left(\frac{dU_K}{dt} \right)_{ур} = \frac{e - a}{0.5 \cdot U_{нк}} = (2000 \div 3000) \quad \frac{e}{c} \quad (1.8)$$

Кўзғатиш системаси шикастланиш ҳолатларида, майдонни ўчириш лозим бўлганда тезлик билан кўзғатишни тўхтатиш ва камайтириш хусусиятига эга бўлиши шарт. Кўзғатиш системаси барча тур ростлагичлар билан ишлай олиши, ишлатишда ишончли бўлиши, хизмат кўрсатишда содда бўлиши ва тўла автоматлаштириш имконига эга бўлиши керак. Ушбу талаблар узун ЭУЛга қувват бераётган катта генераторли электр станциялар учун муҳим талаблардан биридир.

1.5. Синхрон генераторларнинг қўзғатишни автоматик ростлаш системалари

Қўзғатишни автоматик ростлагичлар (ҚАР) генераторнинг кучланиш микдорини юкламанинг турли тебраниш ўзгаришларига қарамасдан имкон қадар ўзгартирмасликлари ва электр системаларини ва алоҳида генераторларни турли тебранишлар ва сакрашларда турғун иш ҳолатларини ишончли таъминлашлари лозим.

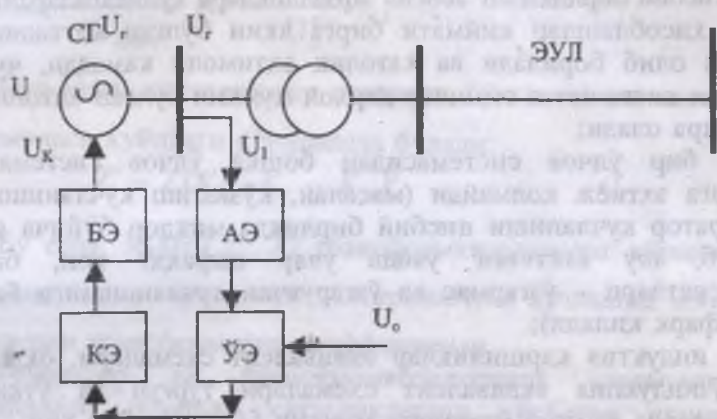
ҚАРнинг структуравий схемаси билан танишамиз (1.21-расм).

Фараз қилайлик, бирор сабабга кўра генераторнинг кучланиши U_r камайди. Ушбу ўзгариш айлантириш элементиға (АЭ) узатилади. Узатилган кучланиш ўзгармас катталиққа айлантирилади ва ўлчов элементиға (ЎЭ) узатилиб, реал кучланиш U_o , эталон ёки номинал кучланиш билан солиштирилади ва $\Delta U = U_r - U_o$, яъни кучланишлар фарқи топилади. ΔU нинг катталиғи ва ишорасига боғлиқ равишда кучайтириш элементи (КЭ) билан қайта ишланувчи сигнал ишлаб чиқарилади, кейин эса таъсир бажарувчи элементға (БЭ) узатилади. Генераторнинг қўзғатиш токи кучланишини ростлаш $\Delta U = 0$ шарт бажарилгунча давом этади, яъни генератор кучланиши номинал (эталон) ёки бошланғич ҳолатға қайтгунча давом этади. Ўзтиборға олиш керакки, ростлаш системасининг туридан қатъий назар, кучайтириш элементи – нимқўзғаткич, бажарувчи элемент эса қўзғаткичдир.

Агар ўлчов элементи U_r кучланишнинг ҳар қандай кичик ўзгаришини сезса, яъни юқори сезгирликка эга бўлса, бу ҚАР сезмаслик зонаси мавжуд бўлмаган система деб юритилади.

Агар ўлчов элементи механик қурилмаларни ўз ичига олса ва инерционлиғи ҳисобига U_r нинг кичик ўзгаришларини сезмаса, у ҳолда ушбу ҚАР сезмаслик зонасига эга система деб юритилади. Кўрсатиб ўтиш керакки, механик ҳаракатланувчи қисмли ростлагичлар албатта сезмаслик зонасига эга бўлади.

Ҳолатнинг ростланаётган параметрининг ишораси ва катталигини сезувчи автоматик қўзғатиш системаси (ҚАР-П) пропорционал типдаги ростлагичлар дейилади.



1.21-расм. Синхрон генератор кўзғатишини автоматик
ростлашнинг структуравий схемаси.

Энергетика системалари билан узун ЭУЛ орқали боғланган замоновий катта электр станциялари генераторларида анча мураккаб ҚАР, яъни (**ҚАР-К**) **кучли таъсир этувчи ростлагичлар** қўлланилади. Ушбу ҚАР генераторнинг кўзғатиш токи ва кучланишини мураккаб қонун бўйича ростлайди. Улар U_r ва I нинг нафақат ишораси ва катталиги, балки уларнинг ўзгариш тезлигини ва тезланишини ҳам сезади.

Яна бир қурилма борки, у статор токининг белгиланган микдордан четга оғишини сезади. Бу қурилма кўзғатишни **компаундлаш** қурилмаси дейилади. Компаундлашнинг принципи кўзғаткичнинг кўзғатиш чулғамини қўшимча ток билан таъминлаш асосида изоҳланади. Умумий ток компаундлаш ва кўзғаткичнинг кўзғатиш чулғами токидан иборат бўлади.

ҚАРни электр системасининг турғунлигига ва ҳолатига таъсирини курснинг кейинги қисмларида ўрганамиз.

1.6. Нисбий бирликлар системаси

Ҳисоблашлар, одатда, номли эмас балки нисбий бирликда, яъни бирор бир катталиқни шартли бирлик - **базис** деб ва барча бошқа катталиқларни ушбу бирликнинг қисми - ташкил қилувчиси деб олиб борилади.

Нисбий бирликнинг асосий афзалликлари қуйидагилардир:

- ҳисоблашлар қиймати бирга яқин бўлган катталиклар билан олиб борилади ва хатолик эҳтимоли камаяди, чунки бирдан катта четга оғишлар дарҳол мумкин бўлган хатоликни билдира олади;

- бир ўлчов системасидан бошқа ўлчов системасига ўтишга эҳтиёж қолмайди (масалан, кўзғатиш кучланиши ва генератор кучланиши нисбий бирликда миқдор бўйича яқин бўлиб, шу вақтнинг ўзида улар нафақат сон, балки хусусиятлари – ўзгармас ва ўзгарувчан кучланишлиги билан ҳам фарқ қилади);

- индуктив қаршиликлар эквивалент схемалари, окимлар ва ўзиндукция эквивалент схемалари турғун ва ўткинчи ҳолатларда частота ўзгариши мумкин бўлганда бир хил;

- жорий ва амплитуда қийматлари бир хил сон билан ифодаланади, ва шунинг учун жорий ва амплитуда қийматларини махсус белгилашга эҳтиёж йўқ.

Агар биз ток, кучланиш, қувват ва қаршиликни кўраётган бўлсак, нисбий бирликлар системасида улардан иккитаси танланади, қолгани эса улар ёрдамида топилади.

Масалан: $U_\delta = U_n$, $I_\delta = \sqrt{3} I_n$,

бу ерда, U_n , I_n – линия кучланиши ва токи.

Одатда фаза токи $\sqrt{3}$ га оширилади ва қуйидагича ёзилади:

$$S_\delta = U_\delta \cdot I_\delta; \quad Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = \frac{U_\delta^2}{S_\delta}. \quad (1.7)$$

Агар қаршилик Омда берилган бўлса, у қандай қилиб нисбий бирликка ўтказилади?

$$Z^* = \frac{Z_{[OM]}}{Z_{[OM]}} = \text{нисбий қаршилик.}$$

Системани ҳисоблаш учун барча қаршилик ва кучланишларни бир хил – базис деб қабул қилинган кучланиш поғонасига келтириш керак:

$$Z_{\delta\delta[OM]} = Z_{[OM]} K^2,$$

бу ерда, K - трансформация коэффиценти.

Нисбий бирликда:

$$Z_* = \frac{Z_{[OM]}}{Z_{\delta[OM]}} \cdot K^2 = \frac{Z_{[OM]}}{U_{\delta}^2} \cdot S_{\delta} \cdot K^2$$

Бир неча, кучланишлар поғонаси бўлган ҳолда келтириш формуласи қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Z^* = Z(K_{T1} \cdot K_{T2} \cdots K_{Tn})^2. \quad (1.8)$$

Бу ерда, $K_T (i=1, 2, \dots, n)$ трансформаторларнинг кўрилатган элемент билан тармоқнинг келтирилатган кучланиш поғонаси орасидаги трансформация коэффициентлари.

Генератор ва трансформаторларнинг қаршиликлари ўзларининг номинал катталикларига нисбатан процентда берилади.

Масалан: генератор учун S_H , U_H

$$Z_H = \frac{U_H^2}{S_H}.$$

Генераторнинг реактив қаршилиги:

$$X_d = \frac{X_d \%}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} [OM]$$

Нисбий бирликда

$$X_d^* = \frac{X_d [OM]}{Z_{\delta}} = \frac{X_d \%}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$$

Агар $K = \frac{U_{\delta}}{U_H} = 1$ деб танласак, у ҳолда

$$X_d^* = \frac{X_d \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_H}$$

Трансформатор учун: $X_T^* = \frac{e_k \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_H}$ бўлиб,

бу ерда, e_k - қисқа туташув кучланиши.

Электромеханик ўткинчи жараёнларни тадқиқ қилишда бошқа катталиклар ҳам ишлатилади.

Вакт. Вакт ўлчов бирлиги қилиб шундай вакт қабул қилинадики, бу вакт мобайнида ω_0 синхрон тезлик билан айланаётган генератор ротори 1 радианга бурилади:

$$\omega_0 \cdot t_\delta = 1; \quad t_\delta = \frac{1}{\omega_0}. \quad (1.9)$$

Нисбий бирликда

$$t^* = \frac{t}{t_\delta} = t \cdot \omega_0 \text{ радиан},$$

бу ерда, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{1}{с}$ – синхрон тезлик.

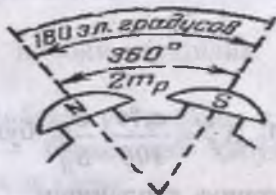
Шундай қилиб, нисбий бирликда радиандаги вакт секундда ифодаланган вактга нисбатан сон жиҳатида 314 маротаба катта.

Бурчак. Нисбий бирликлар системасида роторнинг синхрон ўққа нисбатан бурилиш бурчаги, одатда электр радианда ифодаланади, баъзи ҳолларда барча катталикларни ифодалашда бурчак электр градусда ифодаланади.

Генераторнинг шимол (С) ва жануб (Ю) қутблари орасидаги бурчак 180° электр градусига тенг, геометрик ушбу катталик ротор конструкциясига ва умумий ҳолда градусдаги айлана узунлигини жуфт қутблар сони нисбатига тенг (1.22-расм) ёки

$$\delta_{эл.град} = 180, \quad \delta_{геом.град} = \frac{360^\circ}{2m_p}.$$

Бу ерда, m_p – генератордаги жуфт қутблар сони



1.22- расм.

$$180_{\text{эл.град}} = \frac{360^\circ}{2m_p};$$

У ҳолда

$$\frac{\delta_{\text{эл.град}}}{\delta_{\text{геом.град}}} = 180 \cdot \frac{360^\circ}{2m_p} = 180 \cdot \frac{2}{360} m_p = m_p.$$

$$\delta_{\text{эл.град}} = m_p \cdot \delta_{\text{геом.град}}$$

Радиян ва градус бирликларида ушбу бурчаклар орасидаги муносабат қуйидагича:

$$\frac{\delta_{[\text{рад}]}}{\delta_{[\text{град}]}} = \frac{2\pi \cdot f}{360 \cdot f}$$

$$\text{ёки} \quad \delta_{[\text{рад}]} = \frac{314}{18000} \delta_{[\text{град}]} \approx \frac{[\delta \text{ град}]}{57,3^\circ}$$

$$(360^\circ = 2\pi; 1 \text{ рад} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ \text{ эканлигини эслайлик}).$$

Тезлик. Ушбу курсда электр ва механик жараёнлар ўрганилади, шунинг учун *электр* (ω) ва *механик* (Ω) тезликларни кўриб чиқамиз. Улар қуйидаги муносабат билан боғланган:

$$\omega = m_p \cdot \Omega.$$

Бу ерда, ω_0 – роторнинг синхрон айланиш тезлиги ва ω – амалдаги электр тезлик, шунинг учун $\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega = \omega - \omega_0$ ёки

$\omega = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt}$ бўлиб, бу ерда, δ - синхрон ўқга нисбатан ўлчаланиладиган бурчак, Бурчакнинг ошиши ёки ҳосиласи ҳолатнинг муҳим кўрсаткичларидан биридир ва у келгуси материалларда кенгрок кўрилади.

Нисбий бирликда электр ва механик бурчак тезликлари қуйидагига тенг:

$$\Omega^* = \frac{\Omega}{\Omega_0} = \frac{\omega \cdot m_p}{m_p \cdot \omega_0} = \omega^*$$

$$\Delta \omega^* = \frac{\Delta \omega}{\omega_0} = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \omega^* - 1 = \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

чунки

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0} = 1 + \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

Ўткинчи жараёнларда ω синхрон ω_0 тезликдан фарк қилади, лекин бу фарқ қанча?

$$\omega^* = 1 + \frac{1}{\omega_0} \cdot \frac{d\delta}{dt},$$

ва

$$\omega_0 = 2\pi f = 2 \cdot 180 \cdot 50 = 18000 \text{ эл.гр./с},$$

$$\text{у холда } \omega^* = 1 + \frac{1}{18000} \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

$$\text{Фараз қилайлик, } \frac{d\delta}{dt} = 180 \text{ эл.гр./сек ва натижада}$$

$\omega^* = 1 + 0,01 = 1,01$. Демак, тезликнинг ўзгариши жуда катта бўлганда ҳам хатолик 1% дан ошмайди.

Момент. Қувват ва айланувчи момент қуйидаги муносабат билан боғланган

$$P_{[мех]} = \Omega \cdot M_{[мех]} \quad (1.10)$$

ёки нисбий бирликда

$$P^* = \omega^* M^*$$

Ўткинчи жараёнларни ҳисоблашда тезлик синхрон деб ҳисобланганда қувват моментга тенг деб қабул қилинади (синхронизмдан оғишнинг бошланғич босқичи, тебраниш ва хоказо):

$$P^* = M^* \quad (1.11)$$

Мисол 1.1 ГЭСда 10 та бир турдаги генератор ва 10 уч фазали икки чулғамли трансформаторлар ўрнатилган. Генераторнинг параметрлари: номинал кучланиши $U_H=13,8$ кВ, номинал актив қувват $P_H=105$ МВт, номинал қувват коэффициентини $\cos\varphi_H=0,85$, буйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича индуктив қаршиликлари мос равишда $X_d=0,55$, $X_q=0,3$ га тенг.

Трансформаторларнинг параметрлари: номинал қуввати $S=123,5$ МВА, қисқа туташув кучланиши $e_K=14,5\%$, юқори томондаги кучланиши $U_{юк}=220$ кВ.

Талаб этилади: электр станциялари генераторларининг олимпиастириш схемалари параметрларини топиш, барча гидрогенератор ва трансформаторларни бир эквивалент генератор ва бир эквивалент трансформатор кўринишида ифодалаш.

Индуктив қаршилик Ом бирлигида генератор кучланишига келтирилган параметрларни, паспорт маълумотлари асосида аниқлаймиз:

$$X_{[ом]} = X \cdot \frac{U_H^2}{S_H}$$

Генератор:

$$X_d = X_d \cdot \frac{U_H^2}{P_H / \cos\varphi_H} = 0,55 \cdot \frac{(13,8)^2}{105 / 0,85} = 0,848 \text{ ом}$$

$$X_q = 0,3 \cdot \frac{(13,8)^2}{105 / 0,85} = 0,463 \text{ ом}$$

Трансформатор:

$$X_T = e_K \cdot \frac{U_H^2}{S_H} = 0,145 \cdot \frac{(13,8)^2}{123,5} = 0,224 \text{ ом}$$

Эквивалент генератор ва трансформаторнинг параметрлари:

$$X_{\Sigma} = \frac{X_d}{10} = \frac{0,848}{10} = 0,0848 \text{ ом}$$

$$X_{q\gamma} = \frac{X_q}{10} = \frac{0,463}{10} = 0,0463 \text{ ом}$$

$$X_{T\gamma} = \frac{X_r}{10} = \frac{0,224}{10} = 0,0224 \text{ ом}$$

Бу қаршиликлар 220 кВ юқори кучланиш томонига келтирилганда қуйидагига тенг бўлади:

$$X_d = 0,0848 \cdot \left(\frac{220}{13,8} \right)^2 = 21,55 \text{ ом}$$

$$X_{q\gamma} = 0,0463 \cdot \left(\frac{220}{13,8} \right)^2 = 11,76 \text{ ом}$$

$$X_{T\gamma} = 0,0224 \cdot \left(\frac{220}{13,8} \right)^2 = 5,69 \text{ ом}$$

Ўварда тутиш лозимки, қаршиликлар кучланишининг бир поғонасига келтирилганда алмаштириш схемасида трансформаторлар оддий индуктив қаршилик сифатида тасвирланади.

1.7. Синхрон машина роторининг нисбий ҳаракат тенгламаси

Механикадан маълумки, тезланиш

$$a = \frac{d\Delta\Omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J}$$

бўлиб, бу ерда: ΔM - ортиқча момент [кГ.м]; J - инерция моменти [кГм·сек²]; $\Delta\Omega$ - нисбий геометрик бурчак тезлик, рад/сек; a - роторнинг тезланиши [рад/сек²],

Формулани таҳлил қиламиз:

$$a = \frac{\Delta M \cdot \Omega_0^2}{\left(\frac{J \cdot \Omega_0^2}{2}\right) \cdot 2} = \frac{\Delta M}{T_j} \Omega_0^2$$

Бу ерда, $T_j = 2 \cdot \left(\frac{J \cdot \Omega_0^2}{2}\right)$ — инерция доимийси бўлиб, у

синхрон айланиш тезлигидати роторнинг иккиланган кинетик энергиясига тенг (кГм ёки кВт.сек да ўлчанади).

Моментдан қувватга ва механик тезликдан электр тезликка ўтамыз. Бу ўтишни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\Delta P = \Omega_0 \cdot \Delta M, \Delta \omega = m_p \cdot \Delta \Omega; \quad a = \frac{d\Delta \omega}{dt}$$

$$\text{Унда: } a_{\text{эл.}} \cdot \frac{1}{m_p} = \frac{\omega_0}{m_p} \cdot \frac{\Delta P}{T_j}; \quad \text{ва} \quad a_{\text{эл.}} = \omega_0 \cdot \frac{\Delta P}{T_j} = \frac{d\delta^2}{dt^2}$$

ёки якуний ҳолда

$$a = \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \omega_0 \cdot \frac{\Delta P}{T_j} = 314 \frac{\Delta P}{T_j}$$

Бу ерда, δ - ротор ўқининг синхрон ўққа нисбатан бурилиш бурчаги, эл.рад.,

$$a_{\text{эл.}} - \text{тезланиш, } \left[\frac{\text{эл.рад.}}{\text{сек}^2} \right];$$

$$\left\{ \frac{\Delta P - [\text{кВт}]}{T_j - [\text{кВт сек}]} \right\} \quad \text{ёки} \quad \left\{ \frac{\Delta P - \left[\frac{\text{кГм}}{\text{сек}} \right]}{T_j - [\text{кГм}]} \right\}$$

Агар δ бурчакни эл. градуса, тезликни мос равишда эл. град./сек да ифодаласак, формула қуйидагича кўринишга келади:

$$\frac{d\delta^2}{dt^2} = 18000 \frac{\Delta P}{T_j} \quad (1.12)$$

Вакт, инерция доимийлиги, бурчакни нисбий бирликда (рadians) ифодалаб, нисбий бирликдаги формулани ҳосил киламиз:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{T_j} \quad (1.13)$$

Тадқиқотларда бир хил баҳоланувчи охириги икки ифода (1.12) ва (1.13) асосий ҳисоблашиб, тенг кучлидир ва улар синхрон машина роторининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасидир. Ушбу тенгламалар бизнинг курсимизнинг тадқиқот материали ҳисобланади. Ушбу тенгламанинг физик маъноси билан танишамиз.

Генераторнинг электромагнит моментининг (куватнинг) оний қиймати унинг (ротор, статор, демпфер) чулғамларидан оқётган тоқларнинг ўзаро таъсиридан аниқланади. Турбинанинг нормал турғун ҳолатидаги айлантирувчи M_T ёки P_T механик моменти генераторнинг M_r ёки P_r тормозловчи электромагнит моменти билан тенглашади, шунинг учун қуйидаги шарт бажарилади:

$$\Delta M \quad M_T - M_r = 0 \text{ ёки } \Delta P = P_T - P_r = 0.$$

У ҳолда роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасидан қуйидаги шарт келиб чиқади:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta P = 0$$

Бу бурчакнинг ўзгармаслигини (доимийлигини) билдиради, $\delta = \text{const}$ (δ бурчакнинг маъноси ва миқдори ҳақида тўла ҳолдаги материаллар кейинроқ келтирилади). Бинобарин, $\Delta M = 0$ ёки $\Delta P = 0$ шарт турғун ҳолатга мос келади. Бу билдирадики, ротор ушбу ҳолда ω_b , яъни синхрон тезлик билан айланади.

Агар бирор сабабга кўра, масалан юклама узилганда, қисқа тугашувда ва ҳоказода M_r ўзгарса, унда $\Delta M \neq 0$ ($\Delta P \neq 0$) бўлиб, бу $M_T \neq M_r$ ($P_T \neq P_r$) ва мос равишда $\delta \neq \text{const}$ эканлигини билдиради. Бу ҳол роторнинг синхрондан фарқ қилувчи тез-

лик билан айлантиганини, яъни тургун ҳолат бузилгани ва ўткинчи жараён найдо бўлганлигини билдиради. Тадқиқотлар олиб бориб, генератор ушбу ҳолат бузилишида тургун ҳолатини сақлаб қоладими ёки йўқми деган саволга жавоб топиш керак. Математик асосда ушбу ҳол генератор роторининг нисбий ҳаракат тенгламаси (1.12) ёки (1.13) ни счиб, бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши $\delta=f(t)$ ни топиш лозимлигини билдиради. M_r ёки P_r ҳолат параметрларига боғлиқ бўлганликлари учун $P(t)$, M , $U(t)$ ва бошқа боғлиқликлар ҳам топилиши мумкин. Ушбу боғлиқликларни тадқиқ этиш курс вазифасининг асосини ташкил этади.

1.8. Синхрон генераторнинг асосий алгебро-дифференциал тенгламалари

Олдинги параграфда кўрсатилганидек, ўткинчи ҳолатларни тадқиқ қилишда асосий масала - генератор ва электр системаси ҳолат параметрларини вақт бўйича ўзгаришларининг характерини уларнинг ўзаро таъсирларини ҳисобга олган ҳолда, юклама ўзгарганда, қисқа туташувларда ва ҳоказоларда аниқлашдир. Ушбу масалани ечиш учун синхрон машиналарни ҳолат параметрларини ўзаро алоқаларини кўрсатувчи тенгламалар системасини тузиш керак. Қоида бўйича, ушбу тенгламалар системаси генератор роторининг механик ҳаракати ва электр занжирининг (чулғами) дифференциал ва алгебраик тенгламаларидан ташкил топади. Берилган шинада кучланишни таъминлаётган алоҳида синхрон генераторнинг иш ҳолатини кўриб чиқамиз.

Фаза чулғами учун электромагнит индукция қонунига асосан кучланиш баланси тенгламасини тузиш мумкин:

$$\begin{aligned} u_a &= -d\psi_a/dt - i_a \cdot r; \\ u_b &= -d\psi_b/dt - i_b \cdot r; \\ u_c &= -d\psi_c/dt - i_c \cdot r. \end{aligned} \quad (1.14)$$

Бу ерда, ψ_a, ψ_b, ψ_c - а, в, с фаза чулғамлари билан тула оқим илашиши; u_a, u_b, u_c ва i_a, i_b, i_c - фаза кучланиши ва тоқларининг олий қийматлари; r - фаза чулғамининг актив қаршилиги.

Кўзғатиш чулғамининг тенгламаси:

$$U_k = d\psi_k/dt + i_k r_k. \quad (1.15)$$

Бу ерда, U_k , i_k — кўзғатиш кучланиши ва токи; ψ_k , r_k — кўзғатиш чулғамининг тўла магнит оқими ва актив қаршилиги.

Уч фазали система чулғам магнит оқими билан танишамиз:

$$\begin{aligned} \Psi_a &= L_a i_a + M_{aa} i_a + M_{ac} i_c + M_{af} i_f \\ \Psi_c &= M_{ca} i_a + L_c i_c + M_{cc} i_c + M_{cf} i_f \\ \Psi_f &= M_{fa} i_a + M_{fc} i_c + L_f i_f \end{aligned} \quad (1.16)$$

Бу ерда, L_j — фаза чулғамининг индуктивлиги; M — чулғамлар орасида ўзаро индуктивлик.

Бу ерда демпфер чулғами ҳисобга олинмаган.

Агар L ва M коэффициентлар ўзгармас бўлганларида эди, кўриладиган тенгламалар системаси осон ечиладиган эди, чунки у чизикли дифференциал тенгламаларни ташкил этарди. Лекин маълумки, статор чулғами индуктивлиги ротор ҳолатига боғлиқ ва бунинг натижасида ҳар бир моментда ўз қийматини ўзгартиради, яъни периодик коэффициент бўлиб, γ бурчак фаза ўқи ва d кутб бўйлама ўқиға боғлиқ (1-23 расм).

Масалан, маълумки, фаза индуктивлиги ва ўзароиндуктивлиги мавжуд бўлиб, улар синхрон машиналарнинг аён кутбли статори учун қуйидагича кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} L_a &= L_{a0} + L_{a2} \cos 2\gamma + L_{a4} \cos 4\gamma + \dots \\ M_{ac} &= M_{a0} + M_{a2} \cos 2(\gamma + \pi/6) + M_{a4} \cos 4(\gamma + \pi/6) + \dots \end{aligned}$$

Аналогик равишда бошқа индуктивлик ва ўзароиндуктивликлар учун ҳам тенгламаларни ёзиш мумкин.

Демак, синхрон генераторнинг дифференциал тенгламаси нончизикли ва шу сабабли уни ечишда маълум қийинчиликлар вужуд келтирилади.

Ушбу муаммолардан **иккита реакция назариясини** қўллаб ҳалос бўлиш мумкин. Ушбу назарияға мувофиқ, фазага тегишли барча катталиклар ўзаро перпендикуляр бўлган икки ўқли системаға бўлган проекциялар билан алмаштирилади. Улардан бири роторнинг бўйлама ўқи бўйича йўналтирилган ва бу ўққа тегишли барча ҳолат параметрлари ва катталиклари d индекси билан ифодаланади, бошқа перпендикуляри эса кўндаланг ўқ ва унга мос параметр ва катталиклар q индекси билан ифодаланади.

Машина иккита реакция назариясига кўра, тенгламаларни тузишда идеал деб қабул қилинади:

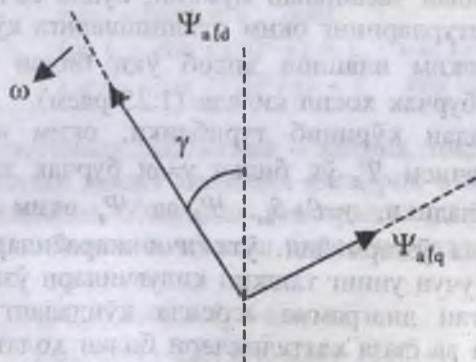
- 1) тўйинмаган;
- 2) статор чулғами тўла симметрикликка эга;
- 3) ҳаво оралиқда магнитлаш кучининг тарқалиши синусоидал.

Иккита реакция назарияси асоси билан танишамиз.

Роторнинг ўзгармас токи роторда ω тезликда айланувчи магнит оқим ва шунга мос равишда Ψ_{fd} ротор оқим илашишини ҳам ҳосил қилади. Ушбу майдонни ўзаро перпендикуляр ташкил қилувчиларга: бўйлама Ψ_{afd} ва кўндаланг Ψ_{afq} ташкил қилувчиларга бўлиш мумкин ва уларни ўқларга мос йўналган дейиш мумкин (1.23-расм).

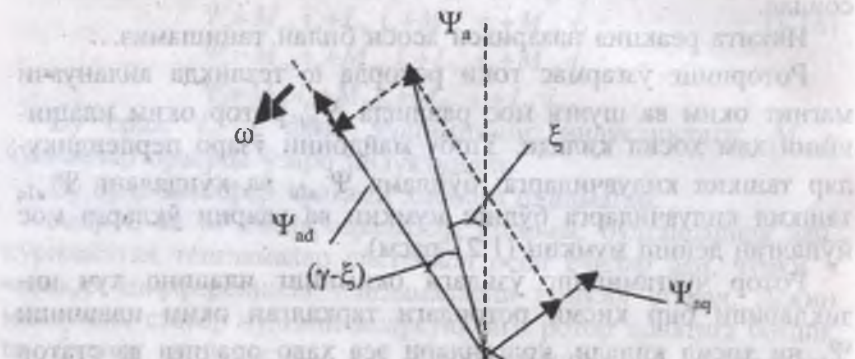
Ротор чулғамининг ўзидаги оқимнинг илашиш куч чизикларини бир қисми ротордаги тарқалган оқим илашиши Ψ_{fe} ни ҳосил қилади, қолганлари эса ҳаво оралиғи ва статор чулғамини кесиб ўтувчи оқим илашиши Ψ_{afd} ни ҳосил қилади. Ротор оқимининг майдонини статорга нисбатан ҳолати γ фазовий бурчак билан аниқланади.

Статор чулғами ҳосил қилган айланувчан магнит майдон ва унга мос келувчи Ψ_a оқим илашиши турғун мувозанат ҳолатида ротор билан синхрон айланади, лекин бўйлама ўқга нисбатан юқламанинг характеридан келиб чиқиб, маълум бир бурчакка бурилган бўлади.



1.23-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ротор оқим илашиши.

Статор майдонини ҳам худди шундай Ψ_{ad} , Ψ_{aq} бўйлама ва кўндаланг ўқларга бўлиш мумкин, бунда реал машина икки контурли система билан алмашади (1.24 расм). Худди шунингдек, бўйлама ва кўндаланг ўқларда бошқа ҳолат параметрларини ҳам бириш мумкин (сочилиш оқим илашиши, тоқлар ва ҳоказо).



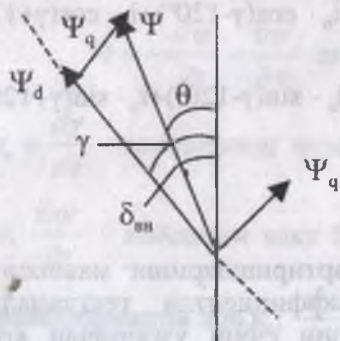
1.24-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича статор оқимининг илашиши.

Турғун мувозанат ҳолатида машинада ротор ва статорнинг синхрон айланивчи майдонлари таъсир қилади. Бунда ротор майдони айланиш жараёнида ҳисоб ўқи билан γ узлуксиз ўзгарувчан бурчак ҳосил қилади. Натижада машинада таъсир қилаётган барча оқимларни Ψ_q ва Ψ_d ўзаро перпендикуляр икки оқим билан тасвирлаш мумкин, бунда сочилиш магнит оқим мос контурларнинг оқим илашишларига қўшилади. Натижавий Ψ оқим илашиш ҳисоб ўқи билан вақт бўйича ўзгарувчан θ бурчак ҳосил қилади (1.25-расм).

Диаграммдан кўриниб турибдики, оқим илашишининг ташкил қилувчиси Ψ_d ўқ билан $\gamma = \omega t$ бурчак ташкил этади. Бундан кўринадики, $\gamma = \theta + \delta_{\text{ан}}$. Ψ_d ва Ψ_q оқим илашишлари турғун ҳолатда ўзгармайди, ўткинчи жараёнларда δ бурчак ўзгарганлиги учун унинг ташкил қилувчилари ўзгаради.

Келтирилган диаграмма асосида кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича ва Ҷаза катталиклари билан ҳолат параметрлари орасидаги алокани кўриш мумкин.

Масалан, δ'' фаза оқим илашишининг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ташкил қилувчилари қуйидагича аниқланади:



1.25-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича нативавий оқим илашиши.

$\Psi_a = \Psi_d \cdot \cos \gamma + \Psi_q \cdot \sin \gamma$ ва ҳоказо.

Бошқа фазалар ва ҳолат параметрлари бўйича ҳам аналогик ифодаларни ёзиш мумкин.

Ифоданинг тулиқлигини таъминлаш учун фаза токлари учун муносабатларни кўндаланг ва бўйлама ташкил этувчилари билан келтираимиз:

$$\begin{aligned} i_a &= i_d \cdot \cos \gamma + i_q \cdot \sin \gamma \\ i_b &= i_d \cdot \cos (120^\circ - \gamma) + i_q \cdot \sin (120^\circ - \gamma) \\ i_c &= i_d \cdot \cos (120^\circ + \gamma) + i_q \cdot \sin (120^\circ + \gamma). \end{aligned} \quad (1.17)$$

(1.17) системада нол кетма – кетлик токлари айланувчан магнит майдони ҳосил қилишда иштирок этмаганлиги сабабли кўрсатилмаган. Уларнинг таъсирини i_0 кўринишида тенгламанинг ўнг томонига қўшиш билан ифодалаймиз.

$$\begin{aligned} i_a &= i_d \cdot \cos \gamma + i_q \cdot \sin \gamma + i_0 \\ i_b &= i_d \cdot \cos (\gamma - 120^\circ) + i_q \cdot \sin (\gamma - 120^\circ) + i_0 \\ i_c &= i_d \cdot \cos (\gamma + 120^\circ) + i_q \cdot \sin (\gamma + 120^\circ) + i_0. \end{aligned} \quad (1.18)$$

(1.17) ва (1.18) системалардан d ва q ўқлар бўйича тоқларнинг ташкил қилувчиларини осон топиш мумкин. (1.17) системани ечиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} i_d &= \frac{2}{3} [i_a \cdot \cos \gamma + i_b \cdot \cos(\gamma - 120^\circ) + i_c \cdot \cos(\gamma + 120^\circ)]; \\ i_q &= \frac{2}{3} [i_a \cdot \sin \gamma + i_b \cdot \sin(\gamma - 120^\circ) + i_c \cdot \sin(\gamma + 120^\circ)]; \\ i_0 &= \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c). \end{aligned} \quad (1.19)$$

Кўриб ўтилган ўзгартиришларнинг маъноси синхрон машинани ўзгармас коэффицентли тенгламаларини ҳосил қилишдир, чунки уларни ечиш ўзгарувчан коэффицентли тенгмаларга нисбатан осон. Образли қилиб айтганимизда, қузатувчи нуқтаи назаридан, роторда жойлашилганда ва ротор билан бирга айланаётганда статорда кечаётган барча жараёнлар ўзгармасдай туюлади, ва бунинг тескарисси, агар статорнинг бирор бир фазасидан тоқ оққанда, d ва q координаталардаги тоқ гармоник ўзгарувчан қилиб тасвирланарди.

Энди асосий тенгламаларни келтириб чиқарамиз.

Машина контурларидаги оқим илашиши маълум бурчак тезлик $\omega = \frac{d\gamma}{dt}$ билан айланаётган вектор билан характерланади

ва бунда у бир вақтни ичида пулъсланувчи ҳамдир. Оқим илашишининг пулъсланиши ўткинчи жараёнда пайдо бўлган тоқ ва магнит оқимнинг ўзгариши билан изоҳланади.

Демак, чулғамнинг ψ оқими умумий ҳолда иккита параметрга: γ бурчак ва t вақтга боғлиқ ва умумий вектор билан ифодаланиши мумкин.

Ушбуни ҳисобга олган ҳолда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\psi = \Psi e^{j\gamma}.$$

Бу ерда, $\psi(\gamma, t)$ – статор чулғами оқимининг бошқа чулғам ва контурдаги ўзаро индукцияни ҳисобга олгандаги илтишоши.

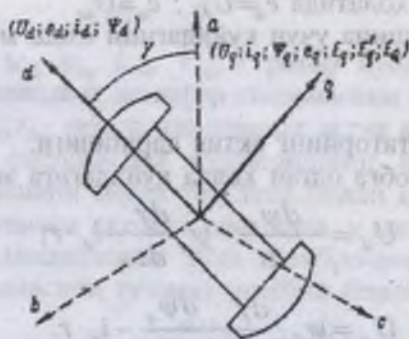
Умумий ҳолда юқоридаги ифодадан вақт бўйича ҳосила қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\partial\psi}{\partial t} + \frac{\partial\psi}{\partial\gamma} \cdot \frac{d\gamma}{dt} \quad (1.20)$$

ёки электромагнит индукция қонуни ҳисобга олинганда

$$e = -\frac{\partial\psi}{\partial t} - \frac{\partial\psi}{\partial\gamma} \cdot \omega \quad (1.21)$$

Бу ерда, $\omega_n = \frac{d\gamma}{dt}$ - майдоннинг чулғамга нисбатан силжиш бурчак тезлиги; $\frac{\partial\psi}{\partial t}$ - майдонни вақт бўйича ўзгариши билан изоҳланувчи трансформация э.ю.к.; $\frac{\partial\psi}{\partial\gamma}$ - чулғамга нисбатан майдоннинг амалда силжиши билан изоҳланувчи айланма э.ю.к.



1.26-расм. Буйлама ва кундаланг ўқлар ва фаза чулғамлари ўқларининг фазовий ҳолати

Шундай қилиб, машинадаги э.ю.к. иккита ташкил қилувчидан иборат: айланма ва трансформация.

d, q ўқларни кўллаб ва барча катталикларни иккита ташкил этувчига мос равишда d ва q ўқлар бўйича йўналган деб тасаввур қилиб, ψ ва e ни қийматини комплекс катталиклар

билан ифодалаймиз. Мавҳум ўқ бўйлама ўқ бўйича йўналган деб қабул қиламиз. У ҳолда

$$\begin{aligned}\dot{\psi} &= (\psi_q + j\psi_d) \cdot e^{j\gamma} \\ \dot{e} &= (e_q + je_d) \cdot e^{j\gamma}\end{aligned}\quad (1.22)$$

асосида қуйидагига эга бўламиз:

$$\dot{e} = -\frac{d\dot{\psi}}{dt} = -\left(\frac{d\psi_q}{dt} + j\frac{d\psi_d}{dt}\right) \cdot e^{j\gamma} - j(\psi_q + j\psi_d) \cdot e^{j\gamma} \frac{d\gamma}{dt}$$

Бу ерда

$$\begin{aligned}e_d &= -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt}; \\ e_q &= \psi_d \cdot \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi_q}{dt}.\end{aligned}\quad (1.23)$$

Салт ишлаш ҳолатида $e_d = U_{do}$; $e_q = U_{qo}$.

Юкланган машина учун қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned}e_d &= U_d + i_d \cdot r \\ e_q &= U_q + i_q \cdot r\end{aligned}\quad (1.24)$$

Бу ерда r — статорнинг актив қаршилиги.

(1.23) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$\begin{aligned}U_d &= -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt} - i_d \cdot r; \\ U_q &= \psi_d \cdot \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi_q}{dt} - i_q \cdot r.\end{aligned}\quad (1.25)$$

Ушбу тенглама Парк – Горев тенгламаси деб номланади. Ушбу тенгламани олдинги юз йилликнинг 30 йилларида америкалик олим Парк ва рус олими Горев кашф қилганлиги сабабли уларнинг номи билан аталади.

Ушбу тенгламалар генераторнинг қўзғатиш чулғамидаги, демпфер системаси чулғамидаги кучланишнинг балансини, бўйлама ва кўндаланг ўқлардаги электромагнит момент ёки кувват оқим илашишини тенгламалари билан тўлдирилиши

керак. Юқорида келтирилган тоқлар ифодаларидан аналогик ҳолда фойдаланиб, «d» ва «q» ўқлардаги ҳолат параметрлари учун боғлиқликни ҳосил қилиш мумкин.

Масалан, симметрик ҳолат учун электр қувват ёки генератор моменти қуйидаги маълум ифода билан аниқланади:

$$P = i_a u_a + i_b u_b + i_c u_c.$$

Бўйлама ва кўндаланг ташкил қилувчиларни тоқ ва кучланиш ифодаларига қўллаб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$P = U_q I_q + U_d I_d \quad (1.26)$$

ёки электромагнит момент учун

$$M = \psi_q i_d - \psi_d i_q \quad (1.27)$$

Демпфер чулғами учун (ёки эквивалент демпфер системаси), ушбу чулғамларда кучланиш йўқлигини ҳисобга олиб, қуйидагини ҳосил қилиш мумкин:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{sd}}{dt} + i_{sd} \cdot r_{sd} &= 0 \\ \frac{d\psi_{sq}}{dt} + i_{sq} \cdot r_{sq} &= 0 \end{aligned} \quad (1.28)$$

Бу ерда: ψ_{sd} , ψ_{sq} , i_{sd} , i_{sq} - ротор бўйлама ва кўндаланг ўқлардаги эквивалент демпфер системасини оқим илашишлари ва тоқлари; r_{sd} , r_{sq} - мос чулғамларнинг актив қаршиликлари.

Демпфер системасида кучланишнинг йўқлиги тенгламанинг ўнг томонини нолга тенглиги билан ифодаланади. Агар демпфер системаси ҳисобга олинмаса, у ҳолда $i_{sd} = i_{sq} = 0$.

Синхрон машинанинг тўла алгебро-дифференциал тенгламалар системасини тузамиз (нисбий бирликда):

$$U_d = -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt} - i_d \cdot r$$

$$U_q = \psi_d \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi_q}{dt} - i_q \cdot r$$

$$U_f = \frac{d\psi_f}{dt} + i_f \cdot r_f$$

$$U_0 = X_0 \frac{di_0}{dt} + i_0 \cdot r_0$$

$$\frac{d\psi_{sd}}{dt} + i_{sd} \cdot r_{sd} = 0 \quad (1.29)$$

$$\frac{d\psi_{sq}}{dt} + i_{sq} \cdot r_{sq} = 0$$

$$\psi_d = X_d \cdot i_d + X_{ad} \cdot i_f + X_{sd} \cdot i_{sd}$$

$$\psi_q = X_q \cdot i_q + X_{aq} \cdot i_{sq}$$

$$\psi_f = X_{ad} \cdot i_d + X_A \cdot i_A + X_{ad} \cdot i_{sd}$$

$$\psi_{sd} = X_{ad} \cdot i_d + X_{ad} \cdot i_f + X_{sd} \cdot i_{sd}$$

$$\psi_{sq} = X_{aq} \cdot i_q + X_{aq} \cdot i_{sf}$$

$$M_r = \psi_q i_d - \psi_d i_q$$

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta M}{T_j} = \frac{1}{T_j} (M_T - M_r) = \frac{1}{T_j} [M_1 - (\psi_q i_d - \psi_d i_q)]$$

Бу ерда: $\gamma = \theta + \delta = \omega_0 t + \delta$ ва $\frac{d\gamma}{dt} = \omega_0 + \frac{d\delta}{dt}$ ёки нисбий бир-

ликда $\frac{d\gamma}{dt} = 1 + \frac{d\delta}{dt}$.

Шуни назарда тутиш керакки, биринчи иккита тенглама-статор чулғамида кучланиш баланси тенгламаси; учинчи тенглама – кўзгатиш чулғаи тенгламаси; тўртинчи тенглама – нол ташкил этувчилар учун тенглама; бешинчи ва олтинчи тенглама – демпфер чулғамини характерловчи тенгламалар; кейинги бешта тенглама – мос чулғамларнинг оқим илашишлари ва охирги икки тенглама генераторнинг электр магнит моменти ва машина роторининг нисбий харакат тенгламаларидир.

Келтирилган тенгламалар генератор ҳолати параметрларини нормал ва ўткинчи ҳолатларда аниқлаш имконини беради. Электр системасининг ҳолат параметрларини топиш учун уларга аналогик тенгламалар ёзилиши керак. Шундай қилиб, ёпик тенгламалар системасини тузиш эҳтиёжи туғилади.

1.9. Электр системалари элементларининг тенгламалари

Электр тармоклари элементлари бўлиб, ЭУЛ, трансформатор, компенсацияловчи қурилма (реактор, сиғим) ва юклама ҳисобланади. Улар учун бўйлама ва кўндаланг ўқларда тенгламалар ёзилиши керак. Уларнинг ҳар бирини алоҳида кўриб чиқамиз.

Электр узатиш линияси (ЭУЛ)



1.27-расм.

ЭУЛнинг алмаштириш схемаси учун бирор фазага келтирилган қуйидаги тенглама тўғридир:

$$U_1 - U_2 = i_n \cdot r_n + L_n \frac{di_n}{dt} \quad (1.30)$$

a, x фаза катталикларидан бўйлама ва кўндаланг ўқлар катталикларига ўтиш худди юқорида келтирилган генератор тенгламалари каби амалга оширилади. Орalik ўзгартиришларни келтирмай, натижавий тенгламани ёзамиз:

$$\begin{aligned} U_{1d} - U_{2d} &= r_n \cdot i_{nd} + X_n \left(\frac{di_{nd}}{dt} + i_{nq} \frac{d\gamma}{dt} \right) \\ U_{1q} - U_{2q} &= r_n \cdot i_{nq} + X_n \left(\frac{di_{nq}}{dt} - i_{nd} \frac{d\gamma}{dt} \right) \end{aligned} \quad (1.31)$$

Худди шундай тенгламалар трансформатор ва реактор учун ҳам ёзилиши мумкин.

Юклама

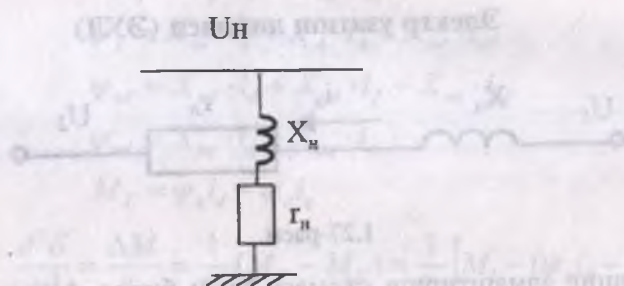
Юкламани ўзгармас актив ва реактив қаршилик шаклида ифодалаймиз, унда қуйидаги нисбат бўлади:

$$U_n = i_n \cdot r_n + L_n \frac{di_n}{dt} \quad (1.32)$$

Бўйлама ва кўндаланг ташкил қилувчилар қуйидаги кўринишда бўлади:

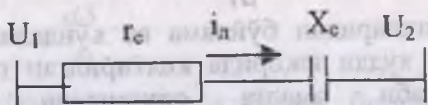
$$U_{nd} = r_n \cdot i_{nd} + X_n \left(\frac{di_{nd}}{dt} + i_{nq} \frac{d\gamma}{dt} \right) \quad (1.33)$$

$$U_{nq} = r_n \cdot i_{nq} + X_n \left(\frac{di_{nq}}{dt} - i_{nd} \frac{d\gamma}{dt} \right)$$



1.28-рasm.

Конденсатор



1.29-рasm.

Маълумки, конденсатор сифими тармоқда ЭУЛнинг индуктив қаршилигини компенсацияловчи қурилма сифатида фойдаланилади. Унга қуйидаги ифода тўғри келади:

$$U_1 - U_2 = i_c r_c + \int \frac{i_c dt}{C} \quad (1.34)$$

Бўйлама ва кўндаланг ташкил қилувчилар қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U_d}{dt} + \Delta U_q \frac{d\gamma}{dt} &= X_c \cdot i_{dc} + r_c \left(\frac{di_{dc}}{dt} + i_{qc} \frac{d\gamma}{dt} \right) \\ \frac{d(\Delta U_q)}{dt} - \Delta U_d \frac{d\gamma}{dt} &= X_c i_{qc} + r_c \left(\frac{di_{qc}}{dt} - i_{dc} \frac{d\gamma}{dt} \right) \end{aligned} \quad (1.35)$$

Бу ерда, $\Delta U_d = U_{1d} - U_{2d}$, $\Delta U_q = U_{1q} - U_{2q}$.

Электр тармоғининг ҳар бир тугуни учун мос ўқларда тоқлар баланси тенгламасини ёзамиз:

$$\sum_{k=1}^n i_{qk} = 0, \quad \sum_{k=1}^n i_{dk} = 0$$

(1.36)

Шуни таъкидлаш лозимки, келтирилган тенгламалар бошловчи сифатида қабул қилинган синхрон айланувчи битта ўққа нисбатан ёзилган. Мураккаб системаларда ҳар бир элемент ва генератор тенгламаси ўз ўқлари бўйича ёзилиши мумкин, бунда уларнинг барчаси бир ўққа мураккаб бўлмаган тригонометрик ўзгартиришлар йўли билан келтирилади (Ушбу амалиёт худди мураккаб тармоқларни бир кучланиш поғонасига келтириш каби амалга оширилади).

Шундай қилиб, келтирилган (1.29), (1.31)-(1.36) тенгламалар ихтиёрий мураккабликдаги электр системалардаги электромеханик ўткинчи жараёнларни тадқиқ қилиш ва алоҳида олинган генератор ёки бутун электроэнергетика системасининг турғун ёки нотурғун ишлашини аниқлаш имконини беради.

1.10. Аён ва ноён кутбلى генераторларнинг вектор диаграммалари ва қувват характеристикалари

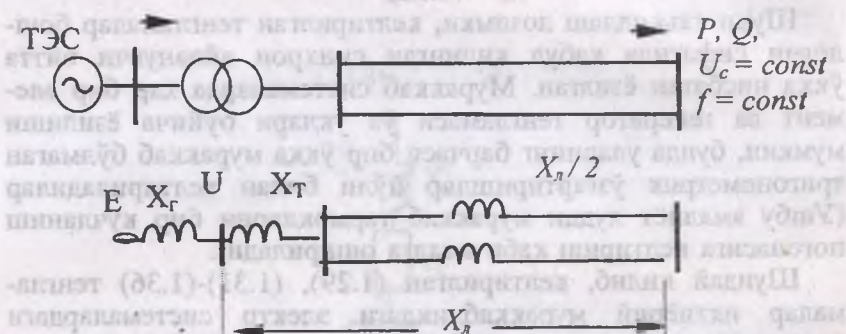
Бошлаб ноён кутбلى генераторларнинг вектор диаграммаларини таҳлил қиламиз.

Содда схемани қабул қиламиз (1.30- расм).

Генератор X_c қаршилик орқали чексиз қувватли система ($U_c = \text{const}$, $f = \text{const}$) - шинасига ишлайди, яъни унга энергия узатади.

Уланган генераторларнинг ҳолатларини турли ўзгаришларида кучланиш ва частотасини доимий деб ҳисоблаш мумкин бўлган тармоқ шинаси **чексиз қувват шинаси** деб ҳисобланади. Амалий жиҳатдан ушбу ҳолат куйидагини англатади: тармоқнинг умумий қуввати уланган генераторнинг қувватидан шунчалар каттаки, машинанинг иш ҳолатини ўзгариши тармоқ кучланиши ва частотасига таъсир қилмайди.

Жараёнларни ўрганишда, айниқса, турли турғун ҳолатларнинг электромагнит ва механик параметрларини ўзаро боғлашда вектор диаграммалар кучли қурол ҳисобланади. Вектор диаграммаларини қуриш системанинг берилган узатилувчи актив ва реактив қувватлари, кучланиш катталиги ва частотаси асосида амалга оширилади.



1.30-расм.

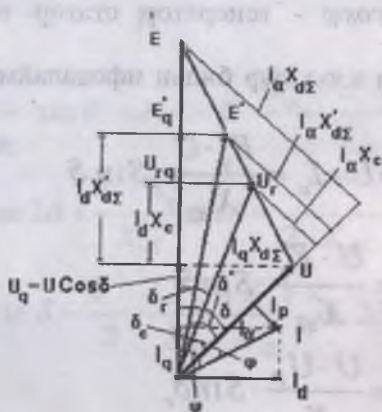
Генератор кучланиши U , кўзғатиш токи индукциялаган э.ю.к.дан X_{ad} , X_{aq} ўзаро индукция қаршиликларидаги, машина индуктив сочилиш қаршилигидаги кучланиш тушувларини айирмасига тенг. Агар бу ерга $X_c = X_a + X_T$ ва $r_c = r_T + r_a$ ни ҳисобга олиб, системанинг актив ва индуктив қаршиликларидаги кучланиш тушувларини қўшсак, у ҳолда ЭУЛ охиридаги U кучланишни топамиз. Куйида вектор диаграмма қуришни соддалаштириш учун актив қаршиликни ҳисобга олмаймиз.

Ушбу муносабатни ёзишимиз мумкин:

$$U_c = E_q - jX_{a2}I_a - jX_{a2}I_p. \quad (1.37)$$

Берилган P , Q , U_c лар асосида фаза бурчаги φ ни аниқлаб, сўнгра система кучланиши қийматини мос масштабда кўямиз ва уни актив ва реактив ташкил этувчиларга ажратиб, E_q , E' , U_r ва бошқа векторларни топамиз.

Шуни назарда тутиш керакки, U ва E_q векторлари орасидаги бурчак δ ($\angle(U \wedge E_q)$) сакраб ўзгара олмайди, чунки у ротор билан боғланган ва шунинг учун системанинг электромеханик ҳолатини характерловчи асосий параметр ҳисобланади, яъни системанинг ва генераторнинг турғунлигини белгилайди, $\delta_c - \angle(U \wedge U)$, $\delta_r - \angle(U \wedge E_q)$, $\delta' - \angle(U \wedge E')$ - бурчаклар эса сакраб ўзгаришлари мумкин ва улар фақат машинанинг электромагнит ҳолатини белгилайди.



1.31-рasm. Ноаён кутбли генераторнинг вектор диаграммаси
Бу ерда:

$$X_{d\sigma} = X_d + X_c;$$

$$X'_{d\sigma} = X'_d + X_c;$$

E_q – салт ишлаш э.ю.к.

Ушбу диаграмма асосида маълум муносабатларни келтириб чиқариш мумкин $P = f(E_q, \delta)$, $P = f(E', \delta')$, $P = (U \cdot \delta)$ ва ҳоказо.

Актив қувват тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$P = UI_a = E_q I_q. \quad (1.38)$$

Вектор диаграммадан ёзиш мумкин:

$$\sin \delta = \frac{I_a \cdot X_{d\Sigma}}{E_q} ; \rightarrow I_a = \frac{E_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta$$

$$\sin \delta' = \frac{I_a \cdot X_{d\Sigma}}{E'} ; \rightarrow I_a = \frac{E'}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta' \quad (1.39)$$

$$\sin \delta_c = \frac{I_a \cdot X_c}{U_r} ; \rightarrow I_a = \frac{U_r}{X_c} \cdot \sin \delta_c$$

Бу ерда, $I_a = I \cos \varphi$ - генератор статор токининг актив ташкил этувчиси.

Кувватни турли э.ю.к.лар билан ифодалаймиз:

$$P_{E_q} = U \cdot I_a = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta$$

$$P_{E_q} = \frac{U \cdot E_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta' \quad (1.40)$$

$$P_{U_r} = \frac{U \cdot U_r}{X_c} \cdot \sin \delta_c$$

δ' , δ_c бурчакларни формулалар ёрдамида δ бурчак билан ифодалаймиз. Унда ушбу муносабат тўғри бўлади:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos(\Psi - \delta) = \\ &= UI \cos \Psi \cdot \cos \delta + U \cdot I \cdot \sin \Psi \cdot \sin \delta = \\ &= U \cdot I_q \cdot \cos \delta + U \cdot I_d \cdot \sin \delta \end{aligned} \quad (1.41)$$

Бу ерда, $I_q = I \cos \varphi$ $I_d = I \sin \varphi$.

Вектор диаграммадан қуйидагиларни ёзишимиз мумкин:

$$I_q \cdot X_{d\Sigma} = U \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta; \quad (1.42)$$

$$I_d \cdot X_{d\Sigma} = E'_q - U \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{E'_q - U \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}}; \quad (1.43)$$

Ушбу тоқларнинг тенгламасини (1.41) тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot \frac{U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U \cdot \frac{E'_q - U \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}} \sin \delta = \\ &= \frac{U^2}{2 \cdot X_{d\Sigma}} \sin 2\delta + \frac{U \cdot E'_q}{X_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{U^2}{2 \cdot X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta \cdot \sin \delta = \\ &= \frac{U \cdot E'_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{(X_d - X'_d)}{X_{d\Sigma} \cdot X'_{d\Sigma}} \cdot \sin 2\delta, \quad (1.44) \end{aligned}$$

яъни қувват формуласи E'_q орқали ифодаланadi.

Вектор диаграммадан:

$$I_d \cdot X_c = U_{\Gamma q} - U_c \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{U_{\Gamma q} - U_c \cdot \cos \delta}{X_c};$$

$$I_q \cdot X_{d\Sigma} = U_c \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta.$$

Ушбу тенгламаларни (1.41) тенгламага қўямиз

$$\begin{aligned}
 P &= U_c \cdot I_q \cdot \cos \delta + U_c \cdot I_d \cdot \sin \delta = \\
 &= U_c \cdot \frac{U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U_c \cdot \frac{U_{\Gamma q} - U_c \cdot \cos \delta}{X_c} \cdot \sin \delta = \\
 &= \frac{U_c^2}{X_{d\Sigma}} \cdot \frac{\sin 2\delta}{2} + \frac{U_c \cdot U_{\Gamma q}}{X_c} \cdot \sin \delta - \frac{U_c^2}{X_c} \cdot \frac{\sin 2\delta}{2}
 \end{aligned}$$

ва натижада

$$P_{U_{\Gamma q}} = \frac{U_c \cdot U_{\Gamma q}}{X_c} \cdot \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{X_d}{X_{d\Sigma} \cdot X_c} \cdot \sin 2\delta. \quad (1.45)$$

Кувват формуласи генератор кучланишининг бўйлама ташкил этувчиси $U_q = U \cdot \cos \delta$ билан ифодаланади.

Энди синхрон генераторнинг реактив қуввати учун тенгламани ҳосил қиламиз. Ички реактив кувват қуйидаги тенгламадан олинади:

$$Q_{E_q} = E_q \cdot I_d \quad (1.46)$$

Вектор диаграммадан:

$$I_d \cdot X_{d\Sigma} = E_q - U_c \cdot \cos \delta \quad I_d = \frac{E_q - U \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}}$$

$$Q_{E_q} = \frac{E_q^2}{X_{d\Sigma}} - \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta. \quad (1.47)$$

Генераторнинг ички реактив қуввати

Генератор ишлаб чиқараётган реактив қувват:

$$Q_{\Gamma} = U_{\Gamma} \cdot I_{p\Gamma}; \quad (1.32\text{-расм});$$

$$\text{бу ерда: } I_{p\Gamma} \cdot X_c = U_{\Gamma} - U \cdot \cos \delta_c$$

$$I_{p\Gamma} = \frac{U_{\Gamma} - U \cdot \cos \delta_c}{X_c};$$

$$Q_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma}^2}{X_c} - \frac{U_{\Gamma} \cdot U}{X_c} \cdot \cos \delta_c. \quad (1.48)$$

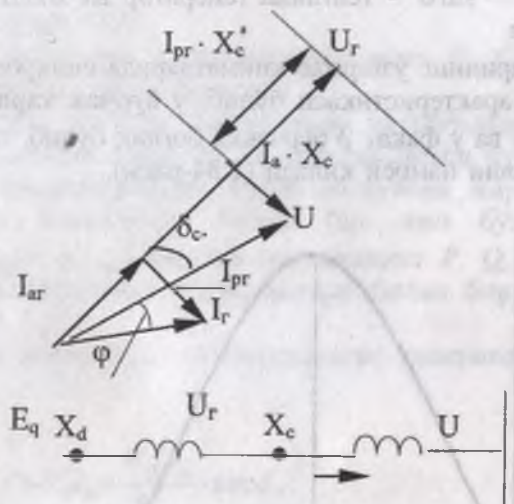
Вектор диаграммадан E_q генератор салт ишлаш э.ю.к.нинг аналитик тенгламасини ҳам топиш мумкин:

$$E_q^2 = (U_r + I_p \cdot X_d)^2 + (I_a \cdot X_d)^2,$$

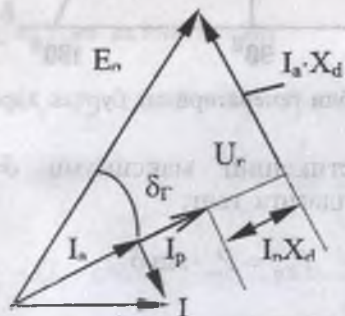
чунки $Q_r = U_r \cdot I_p$, $P_r = I_a \cdot U_r$

Шакл алмаштиришлардан сўнг қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$E_q = \sqrt{\left(U_r + \frac{Q_r \cdot X_d}{U_r}\right)^2 + \left(\frac{P_r \cdot X_d}{U_r}\right)^2}$$



1.32-расм.



1.33-расм.

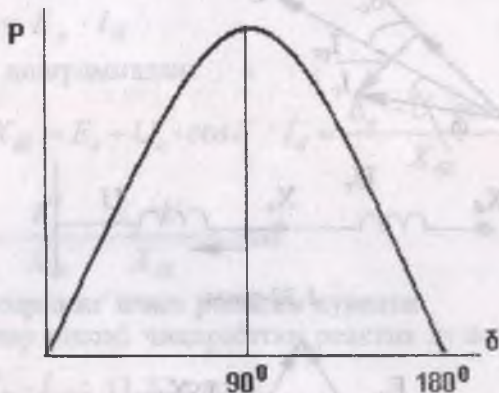
Генераторнинг ички бурчагини аниқлаймиз:

$$\operatorname{tg} \delta_r = \frac{P_r \cdot X_d}{U_r^2 + Q_r \cdot X_d}$$

$$\text{ва } \delta_r = \arctg \frac{P_r \cdot X_d}{U_r^2 + Q_r \cdot X_d};$$

$$P_{E_q} = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta - \text{тенглама генератор ва ҳолат параметр}$$

(E_q , U , $X_{d\Sigma}$) ларининг ўзгармас қийматларида синхрон машинанинг асосий характеристикаси бўлиб, у **бурчак характеристики**си дейилади ва у фақат δ бурчакка боғлиқ бўлиб, синусоидал характеристикани намоён қилади (1.34-расм).



1.34- расм. Ноаён кутбли генераторнинг бурчак характеристикаси.

Ушбу характеристиканинг максимуми $\delta=90^\circ$ бурчакда таъминланади ва қуйидагига тенг:

$$P_m = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \quad P_{E_q} = P_m \cdot \sin \delta. \quad (1.52)$$

Ушбу ифодадан максимум система ва ҳолатнинг қайси параметрларига боғлиқ эканлиги кўриниб турибди. E_q ёки

кўзғатиш токи қанчалик катта, шунингдек, индуктив қаршилиқ кичик бўлса, унинг қиймати шунчалик катта бўлади.

Энди аён қутбли синхрон генераторнинг вектор диаграммасини кўриб чиқамиз:

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_c$$

$$X_{q\Sigma} = X_q + X_c$$

$$X'_{d\Sigma} = X'_d + X_c$$

$$E_Q \text{ — хисобий э.ю.к.}$$

Вектор диаграмма худди юқоридагидек P , Q , U ларнинг берилган қийматларида қурилади.

Ҳолатларни, хусусан, турғунликни ҳисоблашда аён қутбли генератор ҳисобий э.ю.к. E_Q ли фиктив ноаён қутбли генератор билан алмаштирилади, бунда энергетик жараёнлар реал машинанинг жараёнлари билан бир хил бўлади. Бунда $X_{d \text{ фик}} = X_q \text{ фик} = X_q \text{ хак}$. Фиктив машинанинг P , Q , δ катталиклари реал машинанинг катталиклари билан бир хил бўлади (1.34а-расм).

Ҳисобий э.ю.к. орқали белгиланган генератор қувватини топамиз:

$$P = E_Q I_q = \frac{E_Q U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta. \quad (1.53)$$

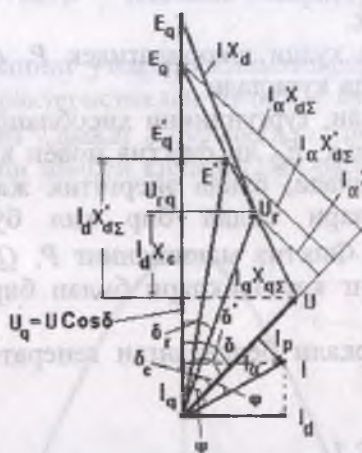
Генератор бераётган актив қувват

$$P = U_c \cdot I_a = U_c \cdot I_q \cdot \cos \delta + U_c \cdot I_d \cdot \sin \delta;$$

$$I_q \cdot X_{q\Sigma} = U_c \cdot \sin \delta; \quad I_q = \frac{U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta;$$

$$I_d \cdot X_{d\Sigma} = E_q - U_c \cdot \cos \delta; \quad I_d = \frac{E_q - U_c \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}};$$

$$\begin{aligned}
 P &= U_c \cdot \frac{U_c}{X_{q\Sigma}} \cdot \sin \delta \cdot \cos \delta + U_c \cdot \sin \delta \cdot \frac{E_q - U_c \cdot \cos \delta}{X_{d\Sigma}} = \\
 &= \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{1}{X_{q\Sigma}} \sin 2\delta + \frac{U_c \cdot E_q}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{\sin 2\delta}{X_{d\Sigma}} = \\
 P_{E_q} &= \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta + \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{d\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} \cdot \sin 2\delta. \quad (1.54)
 \end{aligned}$$

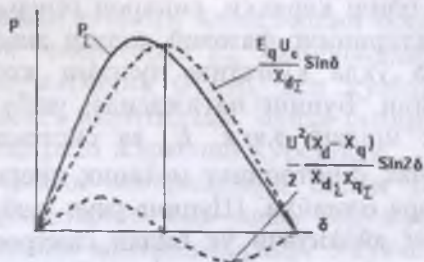


1.34а-расм. Аён қутбли генераторнинг вектор диаграммаси.

Демак, реал E_q билан ифодаланган аён қутбли машинанинг бурчак характеристикаси иккита синусоиданинг йиғиндиси шаклида бўлади, ваҳоланки $X_d = X_q$ бўлганда, иккинчи қўшилувчи нолга тенг бўлади, яъни аён қутблилик иккинчи қўшилувчи билан ҳисобга олинади (1.35-расм).

Аён қутбли машинанинг қувват формуласини вектор диаграмасига асосланиб E_q орқали ифодалаймиз:

$$P_{E_q} = \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{q\Sigma} \cdot X_{d\Sigma}} \cdot \sin 2\delta. \quad (1.55)$$



1.35- расм. Аён қутбли генераторнинг бурчак характеристикаси.

Аён қутбли генераторнинг шинасидаги реактив қувват:

$$Q_{E_q} = \frac{E_q \cdot U}{X_{dL}} \cdot \cos \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_{dL} + X_{qL}}{X_{dL} \cdot X_{qL}} + \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{dL} \cdot X_{qL}} \cdot \cos 2\delta \quad (1.56)$$

Энди барча э.ю.к.ларни боғловчи тенгламани тузамиз. Вектор диаграммадан қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$E_q = E_Q + I_d (X_{dL} - X_{qL}) \quad (1.57)$$

$$E_Q = E'_q + I_d (X_{qL} - X'_{dL}). \quad (1.58)$$

(1.58) дан

$$I_d = \frac{E_Q}{X_q - X'_d} - \frac{E'_q}{X_q - X'_d}$$

Уни (1.57) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$E_q = E_Q \cdot \frac{X_d - X'_d}{X_q - X'_d} - E'_q \cdot \frac{X_d - X_q}{X_q - X'_d};$$

Шундай қилиб, вектор диаграммадан барча зарур ҳолат параметрларини олиш мумкин.

Синхрон генераторнинг ҳосил қилинган электромагнит қувватини ва унинг бошқа ҳолат параметрларини аниқлашнинг аналитик кўриниши нафақат электр параметрлар, балки механик параметр – **юклама бурчаги** деб номланувчи бурчак δ билан ҳам амалга оширилган. Ушбу ҳол машинадаги электромеханик ўткинчи жараёнларни – машинанинг турғунлигини системада турли таъсирлар бўлганда ҳам тадқиқ этиш имконини беради.

Эътиборга олиш керакки, синхрон генератор ротори магнит оқими векторининг фазовий ҳолати анъанавий тузилишларда бўйлама ўқда қўзғатиш чулғами жойлашиши билан қаттиқ боғланган. Бунинг натижасида, ушбу ҳолатни характерловчи салт ишлаш э.ю.к. E_q ва система кучланиши U_c орасидаги бурчак δ роторнинг механик инерционлиги туфайли сакраб ўзгара олмайди, Шунинг учун ушбу бурчак генератор роторининг айланивчи ўқ билан синхрон ҳаракатини ва унинг турғунлигини аниқловчи ҳолатнинг асосий параметридир.

Бундан қуйидагилар келиб чиқади:

$$\text{- агар } \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d(\omega_p - \omega_0)}{dt} = 0 \text{ бўлса, } \delta = \text{const бўлиб,}$$

бу ерда, ω_p – роторнинг айланиш тезлиги, турғун ҳолатда у синхрон тезликка тенг, яъни $\omega_p = \omega_0$.

$$\text{- агар } \frac{d^2\delta}{dt^2} \neq 0 \text{ бўлса, у ҳолда } \omega_p \neq \omega_0, \delta \neq \text{const бўлиб, у}$$

генератор синхрон ишининг бузилиши натижасида ўткинчи жараёнларнинг пайдо бўлишини билдиради. Ҳолатни тадқиқ этиб, натижада қуйидаги боғлиқликларни аниқлаш мумкин:

$$\delta = f(t), P = f(\delta), U = f(t) \text{ ва ҳоказо.}$$

Шу билан бир вақтда бошқа бурчаклар δ_c , δ_r , φ ва ҳоказолар сакраб ўзгариши мумкин, чунки улар машинанинг электромагнит ҳолатини белгилайдилар.

Салт ишлаш э.ю.к. E_q машина роторининг қўзғатиш токи билан боғлиқ бўлиб, ўткинчи ҳолатда сакраб ўзгариши мумкин, шу сабабли бирламчи яқинлашишда э.ю.к. бирдан ўзгаради деб қабул қилиш мумкин. Ўткинчи э.ю.к. E қўзғатиш чулғамининг $\psi_{\text{нат}}$ натижавий тўла оқим илашишига боғлиқ. $\psi_{\text{нат}}$ оқим илашишининг доимийлиги назариясига боғлиқ ҳолда айтиш мумкинки, ўткинчи жараённинг бошланғич вақтида э.ю.к. $E_q = \text{const}$ ўзгармасдан қолади. Ушбуни

таъкидлаш жуда муҳим, чунки у жараёнларнинг бузилишига-
ча ва бузилишидан кейинги ҳолатларини боғлайди.

Аён кутбли генераторда E_0 ҳисоблашларни соддалашти-
рувчи ҳисобий катталиқ бўлиб, аён кутбли генераторнинг
ҳисобий схемасига киритилади. Бунда содир бўлаётган эне-
ретик жараёнлар реал жараёнини кўрсатади.

Курснинг бошқа материаллари билан танишишда ушбу
бобнинг материалларига бир неча бор мурожаат қиламиз.
чунки улар базавий материаллардир. Ўқувчи – талабгор жа-
раёнларни физикасини тушинишда баъзи муҳим бўлган
бўлимларни чуқур, мустақил, қайта-қайта катта эътибор би-
лан ўрганиб чиқиши зарур деб ҳисоблаймиз.

**1.2- мисол. 1.1- мисолда келтирилган шартлар учун ба-
зис қувват $S_0=1000$ МВА ва кучланиш $U_0=220$ кВ бўлганда
эквивалент генераторнинг э.ю.к. катталиги топилсин.**

Ечиш. Эквивалент генераторнинг э.ю.к.ини қуйидаги му-
носабатдан топамиз:

$$E_{\sigma} = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2}.$$

Бу ерда, $X_{\Sigma}=X_{d3}+X_{T3}$; U_c - трансформаторнинг юқсри
томонидаги кучланиш.

Эквивалент схеманинг параметрларини базис
шартларга келтираемиз.

Базис қаршиликни топамиз

$$Z_{\delta} = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} = \frac{(220)^2 \cdot 10^6}{1000 \cdot 10^6} = 48,4 \text{ ом}.$$

Базис шартларда эквивалент генератор ва трансфор-
маторнинг параметрларини нисбий бирликда аниқлаймиз:

$$X_{d\delta} = X_{d[ом]} \cdot / Z_{\delta} = X_{d[ом]} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 21,55 \cdot \frac{1000 \cdot 10^6}{(220)^2 \cdot 10^6} = 0,445 \text{ н.б.}$$

$$X_{T\delta} = X_{T[ом]} \cdot / Z_{\delta} = X_{d[ом]} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 5,69 \cdot \frac{1000 \cdot 10^6}{(220)^2 \cdot 10^6} = 0,117 \text{ н.б.}$$

$$X_{\Sigma} = X_{d\delta} + X_{T\delta} = 0,445 + 0,117 = 0,562 \text{ н.б.}$$

Трансформаторнинг юқори томонидаги кучланиш ва актив қувват:

$$U_c = \frac{U_{c[кв]}}{U_{\delta}} = \frac{220}{220} = 1 \text{ н.б.}$$

$$P = \frac{P_{MSM}}{S_{\delta}} = \frac{105 \cdot 10}{1000} = 1,05 \text{ н.б.}$$

Трансформаторнинг юқори томонидаги реактив қувват
 $Q_c = I_p \cdot U_c$

Бу ерда, $I_p = \sqrt{I^2 - I_a^2}$ - статор токи I нинг реактив ташиқил этувчиси; I_a - статор токининг актив ташиқил этувчиси

$$I = \frac{P}{U_c \cdot \cos \varphi} = \frac{1,05}{1 \cdot 0,85} = 1,23 \text{ н.б.}$$

$$I_a = I \cdot \cos \varphi = 1,23 \cdot 0,85 = 1,045 \text{ н.б.}$$

$$I_p = \sqrt{1,23^2 - 1,045^2} = 0,647 \text{ н.б.}$$

$$\text{Бунда } Q_c = 0,647 \cdot 1 = 0,647 \text{ н.б.}$$

$$E_s = \sqrt{\left(1 + \frac{0,647 \cdot 0,562}{1}\right)^2 + \left(\frac{1,05 \cdot 0,562}{1}\right)^2} = 1,485 \text{ н.б.}$$

Синув саволлари

1. Нима сабабдан қувватни истеъмолчига узатишда токни эмас, кучланишнинг қиймати оширилади?

2. Ҳолат ва система параметрлари орасида қандай фарқ бор?

3. Электр системаларининг статик ва динамик турғунлиги нима билан фарқ қилади?

4. Электромагнит ва электромеханик ўткинчи жараёнлар нима билан фарқ қилади?

5. X_ϕ , X_d , X_d' индуктив қаршиликлар нимани ифодалайди ва уларнинг физик маъноси қандай?

6. Қандай характеристика бурчак характеристикаси дейилади?

7. Нима учун э.ю.к. вектори E_q ва кучланиш вектори U орасидаги бурчак системанинг электромеханик ҳолатини харақтерловчи параметр ҳисобланади?

8. Аён ва поаён кутбли генераторларнинг бурчак характеристикалари нима билан фарқ қилади?

9. Кўзгатишнинг қандай автоматик ростлагичларини биласиз ва улар бир-биридан нима билан фарқ қилади?

10. Кўзгатишнинг қандай автоматик ростлагич системаларини биласиз ва улар бир-биридан нима билан фарқ қилади?

11. Нисбий бирликлар системасининг ҳисоблашларда қўлланилиши қандай имкониятларни ҳосил қилади?

2. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ СТАТИК ТУРҒУНЛИГИ

2.1. Масаланинг умумий характеристикаси

Нормал, барқарор ҳолатда ҳар бир генераторнинг валида турбина томонидан ишлаб чиқарилувчи P_T ва гармоққа бери-лузчи генераторнинг P_r актив қувват баланси $P_T = P_r$ таъмин-ланади ва шу сабабли барча генераторлар ўзгармас айланиш частотаси билан ишлайди. Бунда машиналарнинг э.ю.к. век-торлари ораларидаги бурчаклар ўзгаришсиз қолади.

Аммо, энергия истеъмолчиларнинг гармоққа уланиши ҳар хил вақтда бўлганлиги, уларнинг истеъмол қилаётган электр қувватларининг қийматлари бир-биридан фарқ қилганлиги электр системасининг юкламасини катта ва кичик оғишларига олиб келади. Бу бобда биз кичик оғишлар таъсирини ўрганамиз. Ўз навбатида кичик оғишлар электро-механик ўткинчи жараённинг (турткиларнинг) вужудга кели-шига ва э.ю.к. векторлари орасидаги бурчакларнинг ўзгаришига олиб келади. Бошқача айтганимизда, ҳолат пара-метрлари уларнинг нормал қийматларига нисбатан катта бўлмаган микдорларга оғади: $P = P_0 \pm \Delta P$, $U = U_0 \pm \Delta U$, $\delta = \delta_0 \pm \Delta \delta$ ва ҳ.к. Бу ерда ΔP , ΔU , $\Delta \delta$ - ҳолат параметрларининг кичик оғишлари. Шундай қилиб электр системасида барқарор ҳолат нисбий бўлади. Бундай ҳолларда электр системаси «нафас олянти» дейилади. Асосий муаммо бу кичик оғишлар турғунликнинг йўқолишига олиб келишининг олдини олиш ва энг асосийси, генераторлар ва бутун электр системаси-нинг параллел ишлашидаги турғунликни бузилиш эҳтимолининг ҳақиқий сабабларини аниқлаш ва тегишли чо-ралар кўришдан иборат.

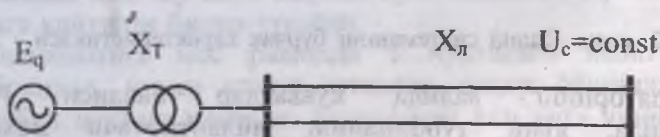
Бу масалани энг умумий ва шу билан бир қаторда қатъий ечимини кичик тебранишлар усулини қўллаш орқали топиш мумкин. Қуйида биз ушбу усул асосида кўрилатган масала -

электр системасининг кичик оғишлар (турткилар) мавжуд бўлган ҳолдаги турғулиги ёки статик турғулиги масаласини ўрганамиз.

2.2. Қувватнинг бурчак характеристикалари.

Турғулик муаммосининг маъноси

Электр энергетикасининг асосий вазифаси истемолчиларни электр энергия билан узлуксиз ва турғун таъминлашдан иборат. Қандай шароитларда генераторларнинг турғун ишлашини таъминлаш мумкинлигини, электр узатиш линияси орқали қандай миқдордаги қувватни узатиш мумкинлигини, турғуликни таъминлаш қандай факторларга боғлиқлигини, нормал ишлаётган синхрон генераторларнинг турғун, параллел ишлаши нима сабабдан бузилишини аниқлаш лозим. Бу масалаларни кўриб чиқишга киришамиз.

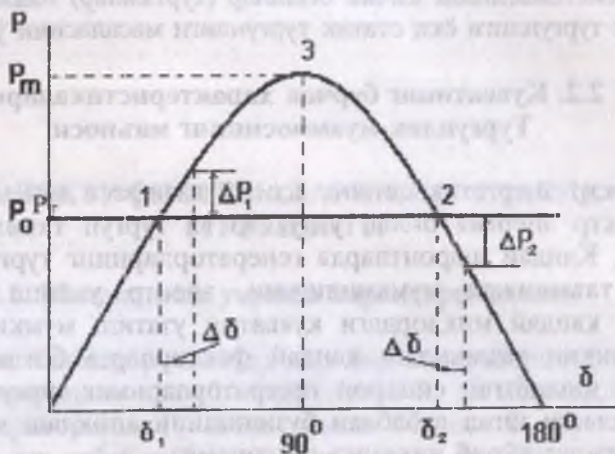


2.1- расм.

Бундан олдинги бўлимда 2.1-расмда тасвирланган электр узатиш схемаси учун бурчак характеристикаси деб юритилувчи электр қувватининг э.ю.к. E_q ва қабул қилувчи шиналар кучланиши U векторлари орасидаги бурчакка боғлиқ ифодаси келтириб чиқарилган эди:

$$P_e = \frac{E_q U_c}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta \quad (2.1)$$

E_q , U , X_{Σ} ларнинг қийматлари берилган ҳолда генераторнинг қуввати бурчакнинг функцияси бўлиб, бу боғланиш эри чизикли – синусоидалдир. Тўлиқ бўлиши учун ушбу графикнинг ўзида турбина қуввати P_T нинг характеристикаси қурилиб, у δ бурчакка боғлиқ бўлмаганлиги сабабли тўри чизик кўринишида тасвирланади (2.2- расм).



2.2- расм. Оддий системанинг бурчак характеристикаси.

Генераторнинг валида қувватлар баланси $P_G = P_T$ сақланганда, яъни турбинанинг айлантирувчи механик қуввати (моменти) ва генераторнинг тормозловчи электромагнит қуввати (моменти) тенг бўлганда синхрон ишлаш таъминланади. Ушбу тасдиқ, шунингдек, синхрон машина ротори нисбий ҳаракатининг олдинги параграфда кўриб ўтилган дифференциал тенгламасидан ҳам ҳосил бўлади:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{T_j} = \frac{1}{T_j}(P_T - P_G). \quad (2.2)$$

Агар $P_G = P_T$, $\delta = \text{ўзгармас}$ бўлади ва бу шарт турғуликни таъминлайди. 2.2- расмдаги графикдан кўринадики, $P_G = P_T$ шарт δ_1 ва δ_2 бурчаклар мос келувчи иккита 1 ва 2 нукталарда бажарилади. Бу нукталарнинг қайси бирида генератор турғун ишлашини аниқлаш лозим.

Фараз қилайлик, қандайдир таъсир натижасида 1 нуктада бурчак кичик миқдор $\Delta\delta$ га оғди. Буида генераторнинг электромагнит қуввати ва электр узатиш линияси орқали узати- лувчи қувват ΔP_1 га ортиб, турбинанинг механик қуввати инерция туфайли ўзгаришсиз қолди. $P_G + \Delta P_1 > P_T$ бўлиб қолганлиги сабабли валда қувватлар (моментлар) баланси бу-

зилди. Бунда тормозловчи момент катта бўлганлиги сабабли генераторнинг ротори тормозланади. Натижада, бурчак камайиб боради, яъни $\Delta\delta \rightarrow 0$, ва ротор моментлар мувозанати таъминланувчи 1 нуктага қайтади. Бу нуктада бурчак $\Delta\delta$ га камайган ҳолда ҳам шу каби жараён – 1 нуктага қайтиш юз беради.

Агар бурчакнинг $\Delta\delta$ микдорга ортиши 2 нуктада юз берса, у ҳолда $P_{r2} - \Delta P_2 < P_T$ бўлганлиги сабабли валда ортикча тезлаштирувчи момент ҳосил бўлади. Натижада, роторнинг айланиш тезлиги ортиб, у бурчакнинг янада ортишига олиб келади. Бурчакнинг ортиши, ўз навбатида, валдаги ортикча тезлаштирувчи моментни янада оширади ва ҳ.к. Шундай қилиб, ротор ва мос равишда ҳолат 2 нуктага қайтмайди. Бурчак камайганда ҳам шу каби жараён кузатилади ва у роторнинг 1 нуктага қайтиши билан тугайди.

Юқоридагига мос равишда 1 нуктадаги ҳолат турғун ҳисобланади, чунки кичик оғишлар содир бўлганда ротор дастлабки нуктага қайтади. Бошланғич ёки унга яқин бўлган ҳолатнинг қайта тикланиши синхрон генератор ва мос равишда электр системасини турғун ишлашининг асосий кўрсаткичи эканлигини ёдда тутиш лозим.

Турбина қуввати ва мос равишда линия орқали узатиловчи қувватнинг графикка мувофиқ ортиб бориши билан δ бурчак ҳам ортиб, ҳолат 3 нуктага яқинлашиб боради. Бу нукта, бир томондан, генераторнинг $\delta_m = 90^\circ$ бўлган ҳолда бериши мумкин бўлган максимал актив қувватни кўрсатади:

$$P_r = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta, \quad (2.3)$$

бу ерда, $P_m = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}}$ - максимал қувват. Бошқа томондан 3

нукта генераторнинг турғун ва нотурғун иш соҳаларини ажратувчи чегара ҳисобланади.

Бурчакнинг

- $\delta = 0 \div 90^\circ$ оралиги синхрон генераторнинг турғун ишлаш соҳаси;

- $\delta > 90^\circ$ бўлган қийматлари генераторнинг нотурғун ишлаш соҳаси эканлигини ёдда тутиш лозим.

$$P_m = \frac{E U}{X_{d\Sigma}} \quad \text{максимал қувват } U \text{ кучланишнинг ўзгармас}$$

қийматига мос келиб, узатиловчи қувватнинг идеал статик чегараси деб юритилади.

Амалий ҳисоблашларда статик турғунлик даражасини (кичик оғишлардаги турғунлиқни) микдорий жиҳатдан баҳолаш мақсадида қуйидаги муносабат бўйича аниқланувчи статик турғунлиқнинг захира коэффиценти тушунчаси киритилади:

$$K_c = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

K_c нинг қиймати

- нормал ҳолатларда 20%;

- авариядан кейинги ҳолатларда 8% белгиланади.

Юқорида синхрон генераторнинг турғун ишлаши бурчак ва қувват орттирма $\Delta\delta$ ва $\Delta P = P_T \pm P_r$ ларнинг ишоралари бир хил бўлган ҳолдагина таъминланиши кўрсатилган эди. Бундай ҳолда оғишлар учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\frac{\Delta P}{\Delta\delta} > 0 \quad \text{ёки ҳосилаларга ўтсак,}$$

$$\frac{d\Delta P}{d\delta} = \frac{d(P_T - P_r)}{d\delta} = \frac{dP}{d\delta} > 0, \quad \text{чунки } P_T = \text{ўзгармас.}$$

Шундай қилиб, статик турғунлик

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad (2.5)$$

шарт бажарилган ҳолда таъминланади.

Бу шарт синхрон машина статик турғунлигининг математик мезони ҳисобланади. Кичик турткиларда турғунлик муаммоси ва маъноси ушбу шартни бажариш учун чоралар қўришга келтирилади. Улар кейинроқ кўриб ўтилади.

Яна бир бор таъкидлаб ўтиш лозимки, электр узатиш линияси орқали актив қувватни узатиш имконияти айнан э.ю.к. E_0 ва қабул қилувчи система қучланиши векторлари орасида δ бурчак, бошқача айтганимизда, узатманинг чеккаларидаги қучланиш векторлари орасида бурчак мавжуд бўлиши билан боғлиқдир. Шундай қилиб, турбинага киритилувчи энергия ташувчининг (пар ёки сув) миқдори ва уларнинг механик қувватларини ўзгариши узатманинг электр ҳолатларида унинг турғунлиги ва чегаравий ҳолатини характерловчи миқдор ҳисобланувчи δ бурчакнинг ўзгариши орқали аке этади.

2.3. Тенгламаларни чизиклилаштириш

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, синхрон генератор актив қувватиинг бурчакка боғланиши — бурчак характеристикаси эгри чизиклидир. Агар системада характеристикалари эгри чизикли бўлган битта эмас, балки, кўплаб генератор ва бошқа элементларнинг мавжудлигини ҳисобга олсак, у ҳолда бугун электр системасини бошқариш учун ечилиши лозим бўлган масаланинг мураккаблашиш даражаси тушунарли бўлади. Замонавий компьютерлар ҳолат масалаларини улар қанчалик даражада мураккаб бўлишидан қатъий назар еча олади. Бироқ масалани ҳолат параметрлари орасидаги муносабатларни оддий ва аён кўринишга келтирувчи ва, энг асосийси, жараённинг физик маъносини тушунтирувчи мақсадга мувофиқ тарздаги соддалаштириш ҳар доим зарур.

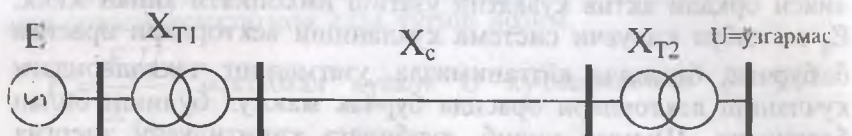
Юқорида аниқланганидек, нормал ҳолатда ҳолат параметрлари қатъий ўзгармас бўлиб қолмасдан, уларнинг қийматлари барқарор ҳолат атрофида кичик миқдорларга тебраниб туради, шу сабабли, қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\delta = \delta_0 \pm \Delta\delta, \quad P_r = P_0 \pm \Delta P, \quad U_r = U_0 \pm \Delta U, \quad \text{ва х.к.}$$

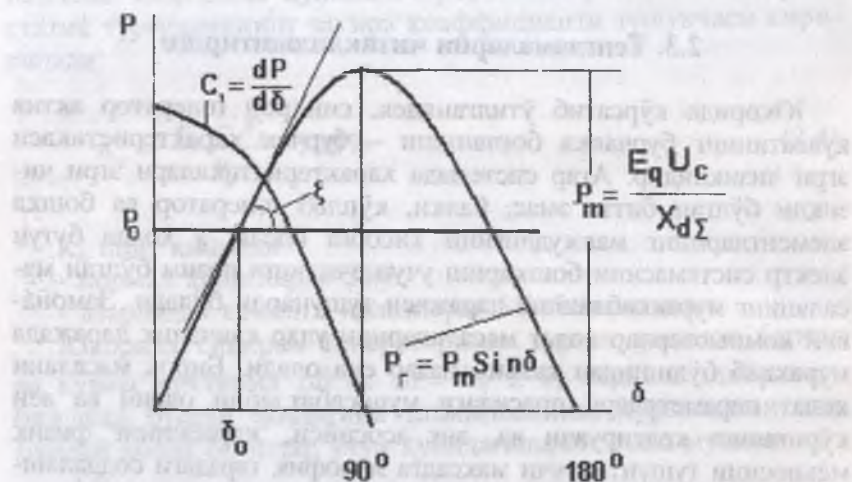
Бу ерда, $\Delta\delta$, ΔP , ΔU кичик миқдорлар.

Юқоридаги сабабларга кўра, ўткинчи жараённинг асосий тенгламаларини кичик турткилар ва кичик ўзгаришлар бўлган ҳолатлар учун кўриб ўтамыз.

Тебранишлар кичик бўлганлиги сабабли $\Delta M = \Delta P$ қабул қиламиз. Соддалик учун кўзгатиш чулғамидаги ўткинчи жараённи ҳисобга олмаймиз ($E_0 = \text{ўзгармас}$).



2.3- расм.



2.4- расм. Содда системанинг бурчак характеристикаси ва синхронловчи қуввати.

Ноаён кутбли генераторга эга бўлган келтирилган содда электр системаси учун (2.4-расм) бурчак характеристикасини қуйидаги характеристика билан тўлдирамиз:

$$\frac{dP}{d\delta} = \frac{d}{d\delta} \left(\frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \right) = P_m \cdot \cos \delta. \quad (2.6)$$

Бошқа томондан

$$\frac{dP}{d\delta} = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} = tg \xi = c_1 \quad (2.7)$$

$$c_1 = \frac{dP}{d\delta} = P_m \cdot \cos \delta \quad \text{миқдор синхронловчи қувват деб}$$

юрителиди (2.4- расм), чуқки кичик оғишларда бу қувват роторни бошланғич ҳолатга қайтаради (синхронлайди), яъни генераторнинг турғун ишлашини сақлайди.

Роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини кўриб ўтамыз ва уни соддалаштирамыз. Нормал ҳолат нуқтасида (P_o, δ_o) синусоидал боғланишни тўғри чизик билан алмаштирамыз, яъни қуйидаги тенгламани чизиклилаштирамыз:

$$T_i \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_o - P_m \cdot \sin \delta = \Delta P \quad (2.3)$$

Бунинг учун $P_m \cdot \sin \delta$ ни δ_o, P_o атрофида Тейлор қаторига ёямиз:

$$P_m \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta_o + \frac{\partial P}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial \delta^2} \cdot (\Delta \delta)^2 + \dots$$

Бу қаторда кичиклиги сабабли иккинчи тартибли ташкил этувчиларни ташлаб юбориб, қуйидагини қидирамыз:

$$T_i \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_o - P_m \cdot \sin \delta_o - \frac{dP}{d\delta} \Delta \delta. \quad (2.9)$$

$P_m \cdot \sin \delta_o = P_o$ эканлигини ҳисобга олиб,

$$T_i \frac{d^2 \delta}{dt^2} = - \frac{dP}{d\delta} \Delta \delta$$

ни ҳосил қиламыз. Сўнгра (2.7) ва

$$\delta = \delta_o + \Delta \delta; \quad d\delta = d(\Delta \delta)$$

ни ҳисобга олиб,

$$T_i \frac{d^2 (\Delta \delta)}{dt^2} + c_1 \cdot \Delta \delta = 0 \quad (2.10)$$

ни ҳосил қиламыз.

Бу тенглама содда электр системаси учун синхрон генераторнинг кичик тебранишларини чизиклаштирилган тенгламаси деб юритилади. Демпфер системаси мавжуд бўлган ва ротор контурларида ўтиш жараёнлари ҳисобга олинган ҳолат учун бу тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$T_j \frac{d^2(\Delta\delta)}{dt^2} + P_d \frac{d(\Delta\delta)}{dt} + c_1 \cdot \Delta\delta = 0. \quad (2.11)$$

Бу ерда, $P_d = \frac{U^2(X_d - X_d')}{X_d \cdot X_d'} \cdot T_d$ демпферловчи коэффициент бўлиб, генераторнинг демпфер чулғамлари, ротор массивининг ёпиқ контурлари ҳамда кўзгатиш чулғамларининг тормозловчи таъсирини ҳисобга олувчи коэффициент, T_d - ўткинчи вақт доимийси.

Юқорида биз E_q , U ларни ўзгармас деб фараз қилган эдик. Агар уларнинг ўзгаришини ҳисобга олсак, қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\Delta P = \frac{dP}{d\delta} \cdot \Delta\delta + \frac{dP}{dE_q} \cdot \Delta E_q + \frac{dP}{dU} \cdot \Delta U = c_1 \cdot \Delta\delta + b_1 \Delta E_q + d_1 \Delta U$$

У ҳолда,

$$T_j \frac{d^2(\Delta\delta)}{dt^2} + P_d \frac{d(\Delta\delta)}{dt} + c_1 \cdot \Delta\delta + b_1 \cdot \Delta E_q + d_1 \cdot \Delta U = 0 \quad (2.12)$$

Бу ерда, $c_1 = \frac{dP}{d\delta}$, $b_1 = \frac{dP}{dE_q}$, $d_1 = \frac{dP}{dU}$ бўлиб, ҳар бир

ҳосила қолган барча ҳолат параметрларининг ўзгармас бўлган ҳолати учун аниқланади.

Бу содда система кичик тебранишларининг асосий тенгламасидир.

2.4. Ростланмайдиган системанинг кўзгатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олмаган ҳолдаги статик турғунлиги

Электр системаларини ишлатиш тажрибалари бурчакнинг назоратсиз ортиши (монотон ёки тебранувчан) натижасида синхрон генератор аён бўлмаган сабабларга кўра, синхронизмдан чиқиб кетиши ёки синхрон тезликда генераторнинг қучланиши хавфли қийматларгача ортиб кетиши ҳолатларини кўрсатади.

Бундай ҳодисалар электр системаларининг генераторлар қувватлари кагга бўлмаган бошланғич босқичида кузатиладиган эди. Ҳосил қилинган тенгламалар асосида бундай ҳодисаларнинг сабабларини кўриб ўтамиз. Жараёнларнинг физикасини аниқлаш учун, аввало, ростланмайдиган машинани кўриб чиқамиз.

Демпфер моментини ҳисобга олувчи кичик тебранишлар тенграмаси (2.11) дан фойдаланамиз.

Дифференциаллаш символини p оператори билан алмаштириб, яъни $\frac{d}{dt} = p$ белгилаш киритиб, p ни алгебраик микдор сифатида қараймиз. У ҳолда

$$T_j \cdot p^2 \cdot \Delta\delta + P_d \cdot p \cdot \Delta\delta + c_1 \cdot \Delta\delta = 0. \quad (2.13)$$

(2.13) дан ўрганилаётган системанинг қуйидаги кўринишга эга бўлган **характеристик тенграмасини** тузамиз:

$$T_j \cdot p^2 + P_d \cdot p + c_1 = 0. \quad (2.14)$$

Унинг илдизлари қуйидагича аниқланади:

$$p_{1,2} = \frac{-P_d \pm \sqrt{P_d^2 - 4T_j \cdot c_1}}{2 \cdot T_j} = \pm \sqrt{\frac{P_d^2}{4T_j^2} - \frac{c_1}{T_j}} - \frac{P_d}{2T_j} = \alpha \pm j \gamma_D$$

Бу ерда, $\alpha = \frac{-P_d}{2T_j}$ - сўниш декременти, $\gamma_D = \sqrt{\frac{c_1}{T_j} - \alpha^2}$.

синхрон генератор роторининг хусусий тебранишлар частотаси.

Маълумки, (2.13) тенграманинг ечими қуйидаги кўринишга эга:

$$\Delta\delta = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} \quad (2.15)$$

A_1 ва A_2 ларни берилган ҳолат ва системанинг параметрлари орқали аниқлаб, $\Delta\delta = f(t)$ боғланишни топиш мумкин. Бирок, одатда, бу боғланишни сонли кўринишда ҳосил қилмасдан, унинг характерини, яъни δ аperiодик монотон ўзгарувчан ёки тебранувчан бўлишини, бунда сўнувчан ёки ортиб борувчан бўлишини аниқлашга ҳаракат қилинади.

Бу ерда, куйидагиларни эътиборга олиш лозим. Ҳатто компьютердан фойдаланилганда ҳам ўта ёки нисбатан кам мураккабликдаги электр схемаси учун ўткинчи жараёнлар тенгламалари системаларини тузиш ва ечиш жуда кўп меҳнат талаб қилувчи масала ҳисобланади, чунки тенгламалар сони юзлаб ва минглаб бўлиши мумкин. Шу сабабли, ўткинчи жараёнларнинг тенгламаларини ечмасдан туриб, электр системаси турғун ёки потурғун эканлигини аниқлаш имконини берувчи математик усуллар ишлаб чиқилган. Электр системасининг статик турғунлигини тадқиқ қилишда чизиклилаштирилган тенгламалар асосида характеристик тенглама (ёки аниқловчи) тузилади ва унинг илдизлари ишоралари таҳлил қилиниб, қизиқтирувчи маълумот олинади.

Статик турғунликнинг зарурий ва етарли шарти ўрганилувчи система характеристик тенгламаси:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_n = 0 \quad (2.16)$$

нинг барча илдизлари манфий ҳақиқий қисмга эга бўлганда бажарилади. (2.14) ёки (2.16) ларнинг коэффициентлари электр системаси учун система параметрлари билан белгиланганлиги ва доимо ҳақиқий бўлганлиги сабабли характеристик тенгламанинг илдизлари ҳақиқий ёки комплекс-қўшма бўлиши мумкин.

Маълумки, бир жинсли чизикли дифференциал тенгламалар системасининг ечими куйидаги кўринишда ифодаланади:

$$X = A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t} \dots + A_n \cdot e^{p_n t} \quad (2.17)$$

Бу ерда, $A_1, A_2, \dots$ - бошланғич шартлардан аниқланувчи ўзгармаслар; $p_1, p_2, \dots, p_n$ - характеристик тенгламанинг илдизлари. Кўриниб турибдики, агар (2.16) нинг илдизларидан бирортаси ҳақиқий мусбат бўлса, у ҳолда (2.17) га мувофиқ вақт ўтиши билан $X(t)$ монотон тарзда чексиз ортиб боради. Бу ўрганилаётган жараённинг турғун эмаслигини билдиради. Агар комплекс-қўшма илдизлар мусбат ҳақиқий қисмга эга бўлса, у ҳолда $X(t)$ нинг ортиб бориши тебранишлар кўринишида бўлади. Бунга мос равишда турғунликнинг таъминланиши учун барча илдизлар манфий ҳақиқий қисмга эга бўлиши шарт. Шу сабабли, ўрганилаётган системанинг статик турғунлигини тадқиқ қилиш учун қўлланилувчи барча усуллар характеристик тенглама илдизлари ҳақиқий

кисмларининг ишораларини текширишга келтирилади. Хара-
ктеристик тенгламанинг коэффициентлари ҳолат параметр-
лари ва система элементларидан фойдаланиб тузилган, шу
сабабли, агар электр системасида турғун-ликнинг бузилган
ҳолати кузатилса, уларга таъсир этиш орқали электр систе-
масини турғун ҳолатга қайтариш мумкин.

Илдизларнинг ишораларини ва хусусан уларнинг манфий
ҳақиқий қисмларга эга эканлигини текшириш имконини
берувчи қоида **турғунлик мезони** деб юритилади.

Турғунлик мезонлари икки гуруҳга – алгебраик ва частотали гуруҳларга бўлинади. Энг кенг тарқалган алгебраик мезонлар – бу Гурвиц ва Раусс мезонлари, частотали мезонлар эса – D – тақсимлаш ва Михайлов мезонларидир (бу мезонларнинг айримлари курсни баён этиш давомида, қолганлари эса – тажриба ишларини ёки назорат топшириқларини бажаришда кўриб чиқилади).

Яна бир бор белгилаймизки, жараёнинг характери-
аниклаш ва унинг турғунлигини текшириш қуйидагича амалга
оширилиши мумкин:

а) характеристик тенглама илдизларининг сон қийматларини топиш орқали;

б) турғунликнинг математик мезонларидан фойдаланиб, характеристик тенглама илдизлари ҳақиқий қисмларининг ишораларини сон қийматини топмасдан аниклаш орқали. Бу усул нисбатан кўргазмали ҳисобланади.

Кўрилатган ҳолат учун иккинчи даражага эга характери-
стик тенглама (2.14) илдизларининг ишоралари ва жараён-
нинг динамикаси ўртасидаги боғлиқликни ўрганиб ҳар
қандай даражали тенглама учун ўринли бўлган ёрқин тасав-
вурни ҳосил қилиши мумкин.

Эйлер формуласи $e^{j\gamma} = \cos\gamma + j\sin\gamma$ дан фойланиб, характе-
ристик тенглама (2.16) нинг ечимини мос шакл алмашти-
ришлардан сўнг қуйидагича ёзиш мумкин:

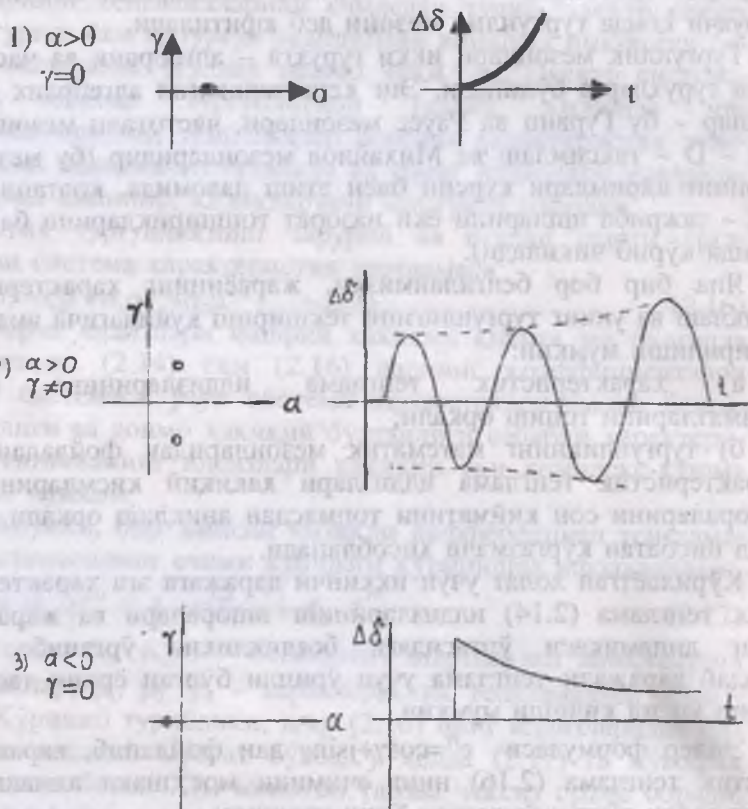
$$\Delta\delta = A_0 \cdot e^{\alpha t} \cdot \cos(\gamma \cdot t) \quad (2.18)$$

Бу ерда, A_0 бошланғич шартлардан топилади.

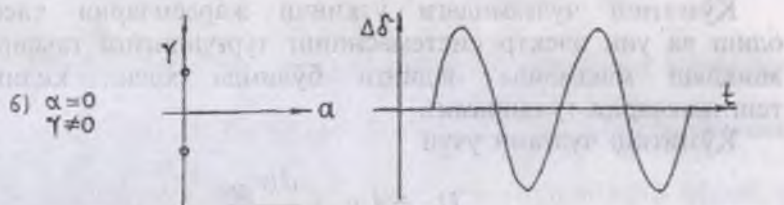
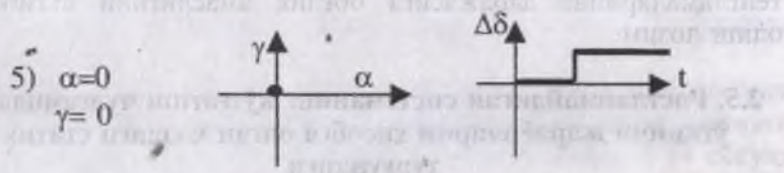
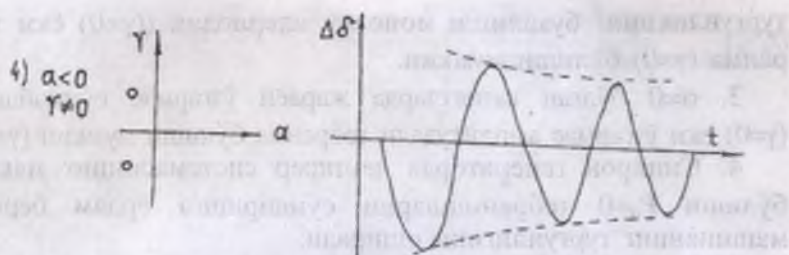
Илдизларнинг ҳақиқий қисмлари ва ўткинчи жараёнинг
характерини белгиловчи $\Delta\delta = f(t)$ боғланиш ўртасида қандай
боғлиқлик мавжудлигини кўриб ўтамиз. Бунинг учун илдиз-

лар текислигини сўниш декременти ва тебранишлар частотаси $\gamma \rightarrow \alpha$ текислигида кураимиз. Уларнинг ишоралари турлича бўлган ҳолларда бу текисликда жойлашувини кўриб ўтамиз (2.5-расм).

Илдишларнинг характери. Жараённинг характери



2.5- расм. Характеристик тенглама илдишларининг ишоралари ва жараённинг характери ўртасидаги боғлиқлик.



2.5- расмнинг давоми.

Келтирилган графикларни таҳлил қилиб, электр системасида кичик туртки содир бўлган ҳолатда ўткинчи жараённинг характери сифат жиҳатидан аниқлашимиз ва уни характеристик тенглама илдизлари ишораларининг характери билан боғлашимиз мумкин:

1. Агар илдизнинг ҳақиқий қисми манфий бўлса ($\alpha < 0$), система турғун бўлади ва ҳолат доимо дастлабки вазиятиги қайтади ($\Delta\delta \rightarrow 0$). Бунда ўткинчи жараённинг сўниши монотон аperiодик ($\gamma = 0$) ёки тебранма ($\gamma \neq 0$) бўлиши мумкин.

2. Агар илдизнинг ҳақиқий қисми мусбат бўлса ($\alpha > 0$), система нотурғун бўлади ва $\Delta\delta(t)$ нинг узлуксиз ортиши кузатилади, ҳамда ҳолат дастлабки вазиятиги қайтмайди. Бунда

турғунликнинг бузилиши монотон аperiодик ($\gamma=0$) ёки теб-
ранма ($\gamma \neq 0$) бўлиши мумкин.

3. $\alpha=0$ бўлган вазиятларда жараён ўзгармас сўнмайдиган
($\gamma=0$) ёки ўзгармас амплитудали тебранма бўлиши мумкин ($\gamma \neq 0$).

4. Синхрон генераторда демпфер системасининг мавжуд
бўлиши $R_d \neq 0$ тебранишларни сўндиришга ёрдам беради,
машинанинг турғунлигини оширади.

Ҳосил қилинган тасдиқлар умумий бўлиб, улар электр
системасининг мураккаблигига ва мос ҳолда уни ифодаловчи
тенгламаларнинг даражасига боғлиқ эмаслигини эътиборга
олиш лозим.

2.5. Ростланмайдиган системанинг кўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олган ҳолдаги статик турғунлиги

Кўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга
олиш ва уни электр системасининг турғунлигига таъсирини
аниқлаш мақсадида олдинги бўлимда ҳосил қилинган
тенгламаларни тўлдираимиз.

Кўзғатиш чулғами учун

$$U_f = i_f r_f + \frac{d\psi_{fd}}{dt}$$

ёки

$$i_{fe} = i_f + \frac{1}{r_f} \cdot \frac{d\psi_{fd}}{dt} \quad (2.19)$$

тенглик ўринлидир. Бу ерда, $i_{fe} = \frac{U_f}{r_f}$ - қўйилган кучланиш

U_f таъсирида кўзғатиш чулғамида оқувчи барқарор мажбурий
ток; ψ_{fd} - кўзғатиш чулғамининг бўйлама ўқ бўйича кесиб
ўтувчи натижавий оқими; i_f - роторнинг айни лаҳзадаги токи;
 r_f - кўзғатиш чулғамининг актив қаршилиги.

Охирги ифоданинг ҳар иккала томонини бўйлама ўқ
бўйича статор ва ротор контурлари ўртасидаги ўзаро индук-
ция индуктив қаршилиги X_{af} га кўпайтирамиз:

$$X_{afd}(i_{fe} - i_f) = \frac{X_{afd}}{r_f} \cdot \frac{d\psi_{fd}}{dt} = \frac{X_{ffd}}{r_f} \cdot \frac{X_{afd}}{X_{ffd}} \cdot \frac{d\psi_{fd}}{dt} \quad (2.20)$$

$$\text{ёки } E_{qe} - E_q = T_{do} \cdot \frac{dE_q^*}{dt}$$

$$\text{ва оғишларда } -\Delta E_q = T_{do} \cdot \frac{d(\Delta E_q^*)}{dt}$$

$$\text{Бу ерда, } E_{qe} = i_{fe} \cdot X_{afd}, \quad E_q = i_f \cdot X_{afd}, \quad T_{do} = \frac{X_{ffd}}{r_f} \quad \text{кўзғатиш}$$

чулғамининг демпфер системаси ҳисобга олинмаган ҳолдаги вақт доимийси. Статор чулғами очик бўлганда унинг қиймати генераторнинг тип ва қувватига боғлиқ равишда 2-14 секунд

оралиғида бўлади; $E_q^* = \psi_{fd} \frac{X_{afd}}{X_{ffd}}$ - ўткинчи э.ю.к.

Яна иккита параметр учун ўткинчи жараёнини характерловчи ифодани келтирамиз: $T_d^* = T_{do} \cdot \frac{X_d^*}{X_d}$ - статор чулғами

ёпиқ бўлганда кўзғатиш чулғамининг вақт доимийси бўлиб, у 0,4-3 секунд оралиғида ўзгаради; T_d'' - статор чулғами ёпиқ бўлганда демпфер чулғамининг ўта тез ўткинчи вақти доимийси бўлиб, у 0,03-0,08 секунд оралиғида ўзгаради.

Роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_r \quad (2.21)$$

демпфер системаси ва турбина қувватининг ўзгармаслигини ҳисобга олиб оғишлар орқали ифодаalaymиз:

$$T_j \cdot p^2 \cdot \Delta \delta + \Delta P_c + P_d \cdot p \cdot \Delta \delta = 0. \quad (2.22)$$

$\Delta P_c = P_T - P_I = \Delta P_T$ микдорни E_q ёки E'_q орқали ифодалаш мумкин:

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E_q}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E'_q}}{dE'_q} \cdot \Delta E'_q = c_1 \cdot \Delta\delta + b_1 \cdot \Delta E'_q \quad (2.23)$$

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E_q}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E'_q}}{dE'_q} \cdot \Delta E'_q = c_2 \cdot \Delta\delta + b_2 \cdot \Delta E'_q \quad (2.24)$$

c_1, c_2, b_1, b_2 коэффициентлар ҳолат параметрларининг ўзгаришларини кетма-кет кўриб ўтганимизда ўзгаришсиз қолади.

Куйидаги муносабат (2.20) асосида ўринлидир:

$$\Delta E_q = -T_{do} \cdot p \cdot \Delta E'_q \quad (2.25)$$

Тенгламалар системасини тузамиз:

$$(T_j p^2 + P_d \cdot p) \cdot \Delta\delta + \Delta P_c + 0 + 0 = 0$$

$$c_1 \cdot \Delta\delta - \Delta P_c + b_1 \cdot \Delta E'_q + 0 = 0 \quad (2.26)$$

$$c_2 \cdot \Delta\delta - \Delta P_c + 0 + b_2 \cdot \Delta E'_q = 0$$

$$0 + 0 + \Delta E_q + T_{do} p \cdot \Delta E'_q = 0$$

Бу тенгламаларда $\Delta\delta, \Delta P_c, \Delta E_q, \Delta E'_q$ лар номаълумлар ҳисобланади. $\Delta\delta = f(t)$ ва бошқа ҳолат параметрларининг ўзгариш характерини аниқлаш учун (2.26) ни $\Delta\delta$ га нисбатан ечамиз:

Маълумки, $\Delta\delta \rightarrow 0/D(p)$ бўлиб,

$$D(p) = \begin{vmatrix} T_j p^2 + P_d p & 1 & 0 & 0 \\ c_1 & -1 & b_1 & 0 \\ c_2 & -1 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & T_{do} p \end{vmatrix}$$

$D(p)=0$ бўлса, (2.26) система ечимга эга бўлади.

$D(p)$ ни характеристик тенглама (ёки аниқловчи) сифатида қараш, унинг илдизларини топиш ва уларнинг характери бўйича системанинг турғунлиги ва турғунмаслигини баҳолаш мумкин. $D(p)$ ни даражалар бўйича очганимиздан сўнг қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$D(p)=T_j T_{do} b_1 p^3 + (T_j b_2 + P_d T_{do} b_1) p^2 + (c_2 T_{do} b_1 + P_d b_2) p + c_1 b_2 = 0. \quad (2.27)$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{X'_{d\Sigma}}{X_{d\Sigma}} = \frac{X'_d + X_d}{X_d + X_c} \text{ ва } \frac{b}{b_2} \cdot T_{do} = T'_d$$

муносабатни ҳисобга олиб,

$$T_j T'_d p^3 + (T_j + T'_d P_d) p^2 + (c_2 T'_d + P_d) p + c_1 = 0 \quad (2.28)$$

ни ҳосил қиламиз.

Ушбу тенгламанинг илдизлари характерини тадқиқ қиламиз. Бунинг учун Гурвиц қоидаси (турғунликнинг алгебраик мезони)дан фойдаланамиз. Унга мувофиқ мусбат илдизларнинг мавжуд бўлмаслиги учун характеристик тенгламанинг барча коэффициентлари ва Гурвиц аниқловчилари $\Delta_{i, \text{Гур}}$ мусбат бўлиши талаб этилади. Қандай ҳолларда Гурвиц шартининг бузилиши ва мусбат ёки ҳақиқий қисмлари мусбат бўлган комплекс илдизларнинг пайдо бўлишини аниқлаш лозим. Энг аввало, келтирилган муносабатларни шакллантириш керак. Бунинг учун характеристик тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0. \quad (2.29)$$

Бу ерда, $a_0 = T_j \cdot T'_d$, $a_1 = T_j + T'_d P_d$, $a_2 = P_d + c_2 T'_d$, $a_3 = c_1$.

Гурвиц аниқловчиси маълум қоида бўйича тузилади: биринчи қатор ва устуннинг кесишиш жойига ушбу тенгламадаги энг катта даража кўрсаткичига нисбатан бирга кичик бўлган ташкил этувчи олдидаги коэффициент ёзилади. Диагонал бўйича қолган коэффициентлар индексларининг ортиб бориши тартибида ёзилади. Аниқловчининг диагоналидан юкорида жойлашган элементлари бўлиб индекслари бирга катта, пастда эса бирга кичик бўлган коэффициентлар ҳисобланади.

(2.16) тенглама учун Гурвиц аниқловчиси ва турғунлик шарти қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta_{Гур} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & - & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & - & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & - & 0 \\ - & - & - & - & - & 0 \\ 0 & 0 & - & - & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}, \quad (2.30)$$

$$\Delta_1 = a_1 > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0, \dots, \Delta_n > 0 \quad (2.31)$$

Охирги аниқловчида бутун Гурвиц матрицаси мавжуд бўлиб, агар уни охирги устун элементлари бўйича очсак, у ҳолда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\Delta_n = a_n \cdot \Delta_{n-1}.$$

Бу ерда, Δ_{n-1} - Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчиси.

Агар характеристик тенглама коэффициентлари турғунликнинг бузилиши томонига ўзгартирилганда, нол орқали биринчи бўлиб Δ_n нинг ўтиши аниқланган. Бунда агар $\Delta_{n-1} > 0$ бўлса, у ҳолда нол орқали a_n ўтади, яъни бу шарт ($a_n = 0$), турғунлик чегараси ҳисобланади. Агар $a_n > 0$ бўлганда $\Delta_{n-1} = 0$ бўлса, у ҳолда бу турғунликнинг бошқа чегарасини кўрсатади.

Ифодаланган қоида бўйича (2.29) учун Гурвиц аниқловчисини тузамиз:

$$\Delta_r = \begin{vmatrix} a_1 & c_3 & 0 \\ a_0 & c_2 & 0 \\ 0 & c_1 & a_3 \end{vmatrix}$$

Биз кўриб ўтаётган учинчи даражали тенглама (2.29) учун турғунлик шартларини аниқлаймиз.

Турғунликнинг алгебраик мезонларига мувофиқ характеристик тенглама илдизларининг ҳақиқий қисмларини манфийлигини таъминловчи шартлар қуйидагилар ҳисобланади:

1) коэффициентларнинг мусбатлиги, яъни
 $a_0 = T'_d \cdot T_j > 0$, $a_1 = (T_j + T'_d P_d) > 0$, $a_2 = (P_d + c_2 T'_d) > 0$, ва
 $a_3 = c_1 > 0$;

2) Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчисининг мусбатлиги:

$$\Delta_{\text{Гур}} = \begin{vmatrix} T_j + P_d \cdot T'_d & c_1 \\ T_j \cdot T'_d & c_2 \cdot T'_d + P_d \end{vmatrix} > 0$$

Характеристик тенглама коэффициентлари ҳолат ва система параметрлари билан белгиланганлиги учун уларнинг ўзгариши коэффициентларнинг мусбатлигини бузилишига олиб келувчи шартларини топамиз.

2.6. Статик турғунликнинг бузилиш турлари

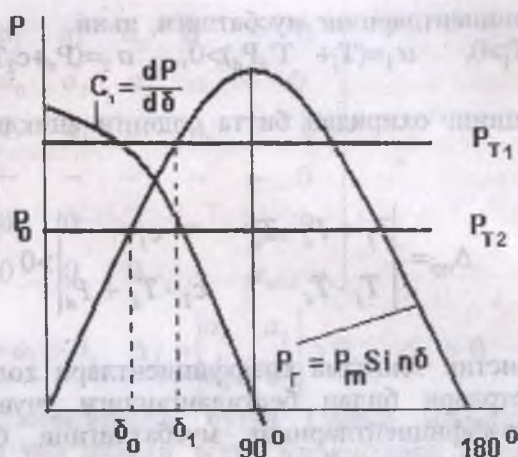
Юқорида келтирилган қоида асосида характеристик тенгламани тадқиқ қиламиз. Озод ҳаддан бошлаймиз. Гурвиц шarti

$$a_3 = c_1 = \frac{dP_r}{d\delta} = \frac{E_q U}{X_{\Sigma}} \cos \delta > 0 \quad (2.30)$$

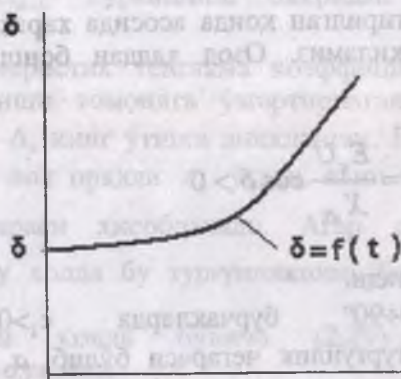
бўлишни талаб этади.

Барча $\delta = 0 \div 90^\circ$ бурчакларда $c_1 > 0$. Юқорида аниқланганидек турғунлик чегараси бўлиб $a_3 = c_1 = 0$ шарт ҳисобланади.

90° дан катта бўлган бурчакларда синхронловчи қувват қиймати манфий бўлиб қолади. $c_1 < 0$ бўлганда турғунликнинг секин бузилиши содир бўлади. Бунда жараён, ҳеч бўлмаганда бошланғич вазиятда, монотон электромеханик характерда бўлади (2.6 ва 2.7- расмлар). Шу сабабли, статик турғунлик бузилишининг бундай кўриниши турғунликнинг аperiодик бузилиши деб юритилади. $\Delta\delta = f(t)$ бурчанинг ортиб бориши чайқалишларсиз содир бўлади.



2.6- расм.



2.7-расм. Турғунликни аperiодик бузилишининг бошланғич боскичи характери.

Турғунликнинг бундай бузилиши генераторларда юклама катта, яъни ўта юкланиш бўлган ҳолларда содир бўлиши мумкин. Шу сабабли, статик турғунлик мезони бўлиб

$$\frac{dP}{d\delta} > 0$$

ҳисобланади.

Коэффициентларнинг мусбатлигини бузилиши куйидаги ҳолларда юз бериши мумкин:

$$a_2 = c_2 T_d + P_d, \quad T_d' < -\frac{P_d}{c_2} \text{ бўлган ҳолларда;}$$

$$a_1 = T_j + T_d' P_d, \quad T_d' < -\frac{T_d}{P_2} \text{ бўлган ҳолларда;}$$

$$a_0 = T_j T_d' < 0 \quad T_d' < 0 \text{ бўлган ҳолларда.}$$

Демак, a_2 , a_1 , a_0 коэффициентларнинг ишоралари T_d' га боғлиқ. Қандай шароитларда T_d' нинг манфий бўлишини кўриб ўтамиз. c_2 , P_d , T_j ларни мусбат деб ҳисоблаймиз.

Вақт доимийси T_d' куйидаги муносабатдан аниқланади:

$$T_d' = \frac{X_d' + X_c}{X_d + X_c} \cdot T_{d0}.$$

Унинг қиймати $X_d' < X_c < X_d$ ёки X_c манфий ишорага эга бўлганда манфий бўлиши мумкин, чунки кўзгатиш

чулгамининг вақт доимийси $T_{d0} = \frac{L_b}{r_b}$ доимо мусбатдир. Бун-

дай шарт генераторлар шинасига сиғим қаршилиқ уланганда бажарилиши мумкин. Реал шароитларда бундай схема синхрон генератор 220 кВ ва ундан юқори кучланишли узун электр узатиш линияларига уланган ёки линияларнинг реактив қаршиликларини бўйлама компенсациялашнинг катта қийматларида пайдо бўлади.

Генератор бундай линияга уланганда унинг ток ва кучланиши номинал қийматга нисбатан жуда тез бир неча марта ортади ва аварияга олиб келади.

Бундай ҳолатга мос келувчи турғунлик бузилиши ўз-ўзини кўзгатиш деб юритилувчи электромагнит жараёндир. У генераторнинг синхрон ишлаш ҳолатида юз беради ва шу сабабли, бурчак δ ўзгармас бўлади.

Ниҳоят, Гурвиц бўйича турғунликнинг охириги шартини кўриб ўтамиз: Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчиси мусбат бўлиши шарт:

$$\Delta_{\text{гуп}} = \Delta_{\text{гуп}} = \begin{vmatrix} T_j + P_d \cdot T_d' & c_1 \\ T_j \cdot T_d' & c_2 \cdot T_d' + P_d \end{vmatrix} = \quad (2.31)$$

$$= (T_j + P_d \cdot T_d') \cdot (c_2 \cdot T_d' + P_d) - c_1 \cdot T_j \cdot T_d' > 0;$$

$$c_2 \left(1 + \frac{P_d \cdot T_d'}{T_j}\right) \cdot \left(1 + \frac{P_d}{T_d' \cdot c_2}\right) - c_1 > 0 \quad ; \quad (2.32)$$

Фараз қиламиз, демпфер системаси мавжуд эмас, яъни $P_d=0$. Бундай ҳолда охиридан битта олдинги Гурвиц аниқловчиси мусбатлигининг бузилиши фақат $c_2 < c_1$ бўлган ҳолда содир бўлиши мумкин.

Бу тенгсизликни очамиз:

$$c_1 = \frac{dP}{d\delta} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta, \quad (2.33)$$

$$c_2 = \frac{dP_{E_q'}}{d\delta} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta - U^2 \frac{(X_d - X_d')}{X_{d\Sigma} \cdot X_{d\Sigma}} \cos 2\delta. \quad (2.34)$$

Вектор диаграммадан э.ю.к. E_q ва E_q' ларни боғловчи ифодани ҳосил қилишимиз мумкин:

$$E_q = E_q' \frac{X_{d\Sigma}}{X_{d\Sigma}} - U_q \frac{(X_d - X_d')}{X_{d\Sigma}}. \quad (2.35)$$

Бу ифодани (2.32) га қўйиб,

$$\frac{(X_d - X_d')}{X_{d\Sigma} \cdot X_{d\Sigma}} \cdot U^2 \cdot \sin^2 \delta > 0 \quad (2.36)$$

ни ҳосил қиламиз.

Тенгсизликнинг чап томонидаги ифода фақат $\delta=0$, ёки нолга яқин ҳоллардагина нолга айланиши мумкин. Унинг нолга тенг бўлган ҳолати критик ҳолатдир.

Шундай қилиб, демпферлаш мавжуд бўлмаганда турғунликнинг бузилиши бурчак нолга яқин бўлганда содир бўлиши мумкин. Бундай ҳолат салт ишлаш ҳолатида, яъни генератор юкланмаганда кузатилиши мумкин.

Статик турғушликнинг бундай бузилиши ўз-ўзини чайқатиш деб юритилади ва электромеханик ўтиш жараёни ҳисобланади. Бундай ҳолатда вақт давомида бурчакнинг теб-ранма ортиб бориши кузатилади. Тахлил кўрсатадики, ўз-ўзини чайқатиш статор занжирининг актив қаршилиги катта бўлганда ёки кўзғатиш ёки тезлик ростлагичлари нотўғри ростланганда содир бўлиши мумкин.

Ўз-ўзини чайқатишнинг кўриб ўтилган тури, юқорида белгилаб ўтилганидек, параметрик ҳисобланади, яъни генера-тор ва система параметрларининг нисбатига боғлиқдир. Ўз-ўзини чайқатишнинг кўзғатиш ва тезлик ростлагичлар канал-лари бўйича юз берувчи иккинчи тури кейинроқ кўриб ўтилади. Уни, шунингдек, ушбу китоб охирида келтирилган адабиётлар бўйича ҳам ўрганиш мумкин.

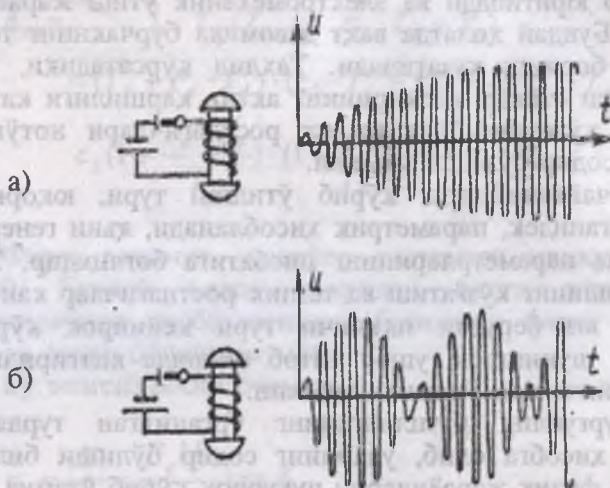
Статик турғушлик бузилишининг ўрганилган турлари муҳимлигини ҳисобга олиб, уларнинг содир бўлиши билан боғлиқ бўлган физик жараёнларни чуқурроқ кўриб ўтамыз.

2.7. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзғатиши

Ўз-ўзини кўзғатиш – бу система элементлари ва генератор чулғамларида кучланиш ва токнинг (U ва I) ўз-ўзидан ортиб кетиши билан характерланувчи электромагнит но-турғунликдир.

Ўз-ўзини кўзғатиш содир бўлишининг зарурий шarti ста-тор занжирида машинанинг индуктив қаршилиги билан теб-раниш контурини вужудга келтирувчи уланган сиғичнинг мавжуд бўлишидир. Машина чулғамларининг хусусий ва ўзаро қаршиликлари ротор айланганда вақт давомида ўзгарувчанлиги сабабли контурда электр тебранишлар сўнмасдан, аксинча ортиб борувчи шароит юзага келиши мумкин. Бу ўз-ўзини кўзғатишни ифодалайди.

Бундай жараён мақсадга мувофиқ эмас, чунки кучланиш ва токларнинг қийматлари жуда катта бўлиши мумкин ва энг асосийси уларни бошқариб бўлмайди. Генераторлар шинала-ри ва системанинг тугун нукталарида кучланишнинг ўзгариш характери бўйича ўз-ўзини кўзғатиши синхрон ва асинхрон турларга бўлинади.

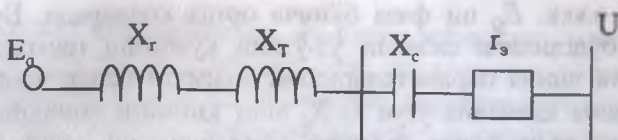


2.8-расм. Синхрон генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиши:
а) синхрон, б) асинхрон.

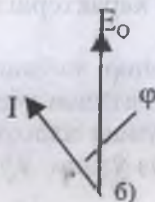
Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши нисбатан секин ва текис бўлса, у ҳолда ўз-ўзини қўзғатиш **синхрон** деб юритилади (2.8,а- расм). Статор ва ротор магнит майдонларининг айланиш тезликлари бир хил. Фақат аён кутбли генераторларда юз бериши мумкин.

Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши тез ва узилишлар орқали бўлса, у ҳолда ўз-ўзини қўзғатиш **асинхрон** деб юритилади (2.8,б- расм). Статор ва ротор магнит майдонларининг айланиш тезликлари турлича. Аён ва аёнмас кутбли генераторларда юз бериши мумкин. Маълум шароитларда синхрон ва асинхрон ўз-ўзини қўзғатишлар бир вақтнинг ўзида содир бўлиши мумкин.

Фараз қиламиз, аён кутбли генератор 2.9- расмда тасвирланган схема бўйича узун линияга уланган. Бу схемада X_c — сиғим компенсация қаршилиги; g_s — статор занжирининг эквивалент актив қаршилиги. Генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиши статор чулғами орқали генераторни магнитловчи сиғим токи окқанда содир бўлади.

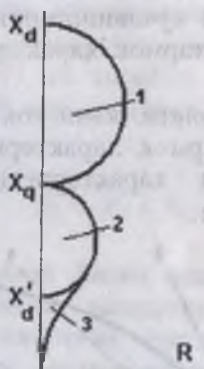


а)



б)

2.9- расм. Бўйлама компенсацияли электр узатма:
а) алмаштириш схемаси; б) вектор диаграммаси.



2.10- расм. Ўз-ўзини кўзғатиш соҳалари:
1 – синхрон ўз-ўзини кўзғатиш соҳаси, 2 – репульсион-синхрон ўз-ўзини кўзғатиш соҳаси, 3 – асинхрон ўз-ўзини кўзғатиш соҳаси.

Вектор диаграммадан кўринадики (2.9,б- расм), агар сиғим характеридаги эквивалент реактив қаршилиқнинг абсолют қиймати генераторнинг кўндаланг ўқ бўйича индуктив қаршилигидан катта, яъни

$$X_s > X_q, \quad (2.37)$$

бўлса, ток э.ю.к. E_Q ни фаза бўйича ортида қолдиради. Бу ерда $X_s = X_d + X_c$ бўлганлиги сабабли ўз-ўзини қўзғатиш генератор ва унга уланган линия параметрларининг қиймати билан чамбарчас боғлиқ. Линия қанчалик узун ва X_c нинг қиймати линиянинг параметрларига яқин бўлса ўз-ўзини қўзғатишининг содир бўлиш эҳтимоллиги шунчалик катта бўлади.

Ўз-ўзини қўзғатиш ўтиш характериға боғлиқ равишда мос соҳаларға бўлинади.

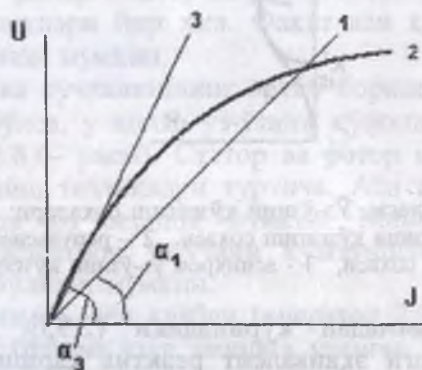
2.10-расмда синхрон генератор ўз-ўзини қўзғатишининг параметрлар қийматлари билан чегараланган учта соҳалари келтирилган. Иккинчи ва учинчи соҳалар ўз-ўзини асинхрон қўзғатишга киради.

Синхрон ва асинхрон ўз-ўзини қўзғатишларни алоҳида кўриб ўтамыз.

Синхрон машинанинг синхрон ўз-ўзини қўзғатиши

Синхрон генератор э.ю.к.ининг генераторнинг салт ишлаш-токиға ва сиғимдаги кучланишнинг токка боғланиш хараakterистикасини, яъни тармоқ хараakterистикасини қурамыз (2.11-расм).

Ўз-ўзини қўзғатиш ҳолати, яъни ток ва кучланишнинг узлуксиз ортиб бориши тармоқ хараakterистикаси (1) ва генераторнинг салт ишлаш хараakterистикаси (2) кесишган тақдирда бўлиши мумкин.



2.11- расм. Синхрон генератор ва тармоқнинг хараakterистикалари: (1 – тармоқнинг хараakterистикаси $U = X_s I$; 2 – генераторнинг салт ишлаш хараakterистикаси; 3 – генераторнинг тўғриланган салт ишлаш хараakterистикаси).

Бошқача айтганимизда, ўз-ўзини кўзғатиш мавжуд бўлиши учун (1) характеристика салт ишлашнинг тўғри чизикли характеристикасидан (салт ишлаш характеристикасига координаталар бошида уринмадан) пастда жойлашиши, яъни $\alpha_2 < \alpha_3$ бўлиши лозим. Сўнгги шарт қуйидаги тенгсизликка тўғри келади:

$$X_2 < X_3 \quad (2.38)$$

Буни қуйидаги фикрлар асосида кўрсатиш мумкин. Салт ишлаш характеристикасидан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = \operatorname{tg} \alpha_3. \quad (2.39)$$

Шу билан бирга, бу тенгликнинг чап қисми салт ишлаш ҳолатига мос иелувчи қаршилиқни характерлайди, яъни биринчи яқинлашишда уни машинанинг бўйлама ўқ бўйича индуктив қаршилиғи X_d деб ҳисоблаш мумкин.

Бундай ҳолда (2.37) ни ҳисобга олиб, синхрон ўз-ўзини кўзғатишнинг пайдо бўлиш ва мавжуд бўлиш шартини ҳосил қиламиз:

$$X_q < X_s < X_d \quad (2.40)$$

Ўз-ўзини кўзғатишнинг физик маъносини кўриб ўтамыз.

Маълумки, машинанинг индуктив қаршилиғи статор токнинг ўзгаришига нисбатан иккиланган частота билан ўзгаради ва шу сабабли, «статор-линия» блокида ёпиқ контур пайдо бўлиб, агар манба мавжуд бўлса, унда ток оқиб туради.

Шунингдек, маълумки, ҳар қандай темир қолдиқ магнетизм ва мос ҳолда қолдиқ э.ю.к. ΔE га эга. Ўз-ўзини кўзғатишнинг содир бўлишига ушбу қолдиқ э.ю.к. туртки ҳисобланади.

Фараз қилайлик, генератор, линия, трансформатор индуктивликлари ва линия сифимидан ташкил топган статор контурида э.ю.к. ΔE ҳисобига қиймат жихатидан катта бўлмаган ток пайдо бўлди. Ўз-ўзини кўзғатиш содир бўлишининг механизмини қисқартирилган кўринишда қуйидаги схема бўйича тасвирлаш мумкин (2.12- расм).

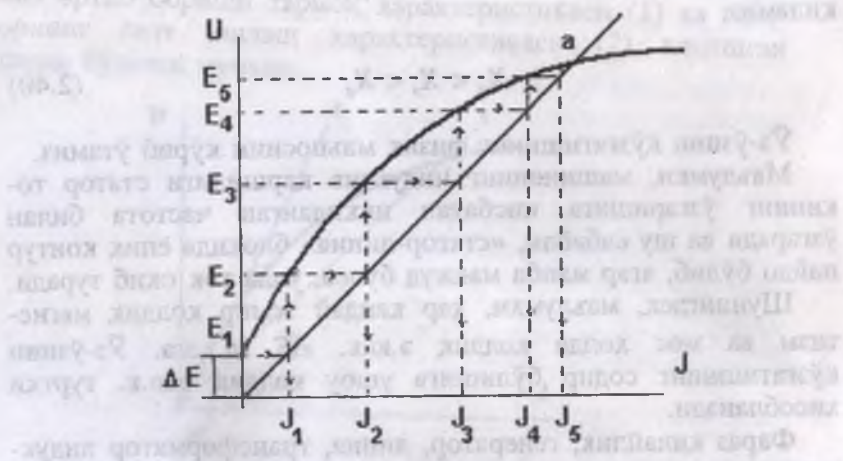
Қолдик э.ю.к. ΔE таъсирида ток I_1 пайдо бўлиб, у э.ю.к. E_2 ни индукциялайди. Бу э.ю.к. I_2 токнинг пайдо бўлишига олиб келади. Ток I_2 ўз навбатида, э.ю.к. E_3 ни ҳосил қилади ва жараён 1 ва 2 характеристикаларнинг кесишиш нуктасида барқарор ўз-ўзини кўзғатиш ҳолати ўрнатилмагунча давом этади.

Қўрилатган контурда ўсиб боровчи тебраниш содир бўлади ва кучланиш ортади.

Шундай қилиб, юқорида келтирилганлардан ўз-ўзини кўзғатишнинг биринчи мезонини ҳосил қилиш мумкин:

$$X_d > X_s > X_q \quad (2.41)$$

Ўз-ўзини кўзғатиш контурида ток оққанда актив қаршиликларда актив қувват исроф бўлади. Энергетик нуктаи назардан ўз-ўзини кўзғатиш жараёнини тутиб туриш учун генераторнинг валидан олинувчи энергия элементларнинг актив қаршиликлари r , да сарф бўлувчи энергиядан катта бўлиши шарт.



2.12- расм. Ўз-ўзини кўзғатишнинг содир бўлиш жараёни.

Маълумки, аён қутбли генераторнинг қуввати қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta + \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} \cdot \sin 2\delta. \quad (2.42)$$

Қўзғатиш токи бўлмаганлиги сабабли, албатта, $E_q = 0$ ва бунда юқоридагилардан келиб чиқадики, актив исрофлар бу формуланинг иккинчи ташкил этувчиси билан қопланади ва ўз-ўзини қўзғатиш ҳолатини тутиб туриш учун қуйидаги шартнинг бажарилиши лозим:

$$P = \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_{\Sigma} \cdot X_{q\Sigma}} \cdot \sin 2\delta > \frac{U^2}{Z_s^2} \cdot r_s \quad (2.43)$$

Бу ердан синхрон ўз-ўзини қўзғатишнинг иккинчи мезонини ҳосил қилишимиз мумкин:

$$\frac{X_d - X_q}{2} > r_s \quad (2.44)$$

Шундай қилиб, синхрон ўз-ўзини қўзғатишда бу ҳолатни тутиб турувчи энергия генератор томонидан унинг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича қаршиликларининг фарқи $X_d - X_q$ ҳисобига ишлаб чиқарилади. Бу қувват унинг манбаси - генераторнинг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича қаршиликлари фарқига урғу бериб, **параметрик қувват** деб юритилади. Мисоли равишда, синхрон ўз-ўзини қўзғатиш фақат аён кутбли машиналарда қўзғатиш чулғамлари ёпиқ ва очик бўлган ҳолларда содир бўлиши мумкин. Бунда ўз-ўзини қўзғатиш ҳолатига олиб келувчи бошланғич туртки - ҳеч бўлмаганда бир марта электромагнит майдонда бўлган (бу электр машиналарида таъминланади) ҳар қандай темирда мавжуд бўлган қолдиқ э.ю.к ΔE ҳисобланади.

ҚАР системаси ёрдамида синхрон ўз-ўзини қўзғатишни бартараф қилиш мумкин.

Синхрон генераторнинг асинхрон ўз-ўзини қўзғатиши

Иккинчи ва учинчи соҳалар 2, 3 (2.10- расм) асинхрон бўлиб, репульсион-синхрон ва асинхрон деб юритилади. Бундай ҳолат фақат кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича мос индуктив қаршиликларнинг фарқи ҳисобига бўлиши мумкин:

$$X_q \neq X_d, X_d \neq X_q' \quad (2.45)$$

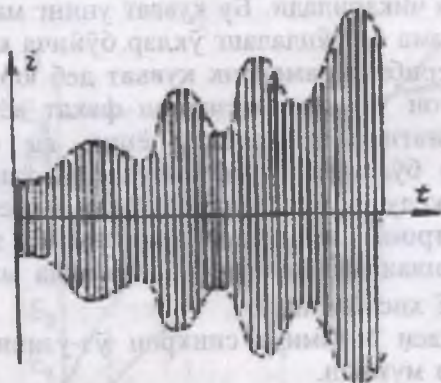
Ўз-ўзини кўзғатишни тутиб туриш учун энергия аён қутблиликнинг динамик моменти ҳисобига қопланади:

$$P \approx \frac{U^2}{2} \frac{(X_q - X_d')}{X_q \cdot X_d'} \quad (2.46)$$

Олдинги ҳолатдаги каби ўз-ўзини кўзғатиш мезонини ёзишимиз мумкин:

$$\begin{aligned} X_q > X_d, X_d > X_d' \\ \frac{(X_q - X_d')}{2} > r_2, \end{aligned} \quad (2.47)$$

Асинхрон ўз-ўзини кўзғатишнинг характерли белгиси бўлиб статор ва ротор магнит майдонлари орасидаги сирпаниш ҳисобланади. Соҳа 3 демпфер чулғамли синхрон машиналарда пайдо бўлади ва бунда, қоидага кўра, кучланиш ва токнинг тебранишлари узилишлар билан содир бўлади.



2.13- расм. Асинхрон ўз-ўзини кўзғатишга доир.

Асинхрон ўз-ўзини кўзғатиш кучланиш амплитудасининг тез ортиб бориши билан характерланади. Ҳар қандай контурда пайдо бўлувчи э.ю.к. оқимнинг ўзгариш тезлигига боғлиқ бўлганлиги учун синхрон ўз-ўзини кўзғатишда (куч-

ланиш секин ўзгарганда) статор оқими роторнинг ичига эркин кириб боради.

Асинхрон ўз-ўзини кўзғатишда эса роторнинг ёпик чулғамида ёки эквивалент ёпик контурларда (демпфер ёки бошқа чулғамларда) статор магнит оқимининг ротор ичига ўтишига тўсқинлик қилувчи э.ю.к.лар пайдо бўлади. Статор оқими тарқалиш йўллари орқали туташади. Генератор темирининг тўйиниши ўз-ўзини кўзғатишнинг узоқ вақт давомида мавжуд бўлишига тўсқинлик қилади ва роторда индукцияланувчи э.ю.к. ташқи ва салт ишлаш характеристикаларининг кесишиш нуқталарига яқинлашган сари камайиб боради (2.12-расм). Бу нуқтада ўз-ўзини кўзғатишнинг узилиши юз беради ва жараён қайтадан бошланади ва ҳ.к.

Юқорида қайд этиб ўтилганидек (§1.8) статор оқими тез ўзгарганда машинада индукцияланувчи э.ю.к. иккита ташкил этувчидан – бурчак тезликнинг синхрон тезликдан оғиши натижасида ҳосил бўлувчи айланиш э.ю.к. ва чулғамга сингиб кирувчи оқим абсолют кийматининг ўзгариши натижасида пайдо бўлувчи трансформация э.ю.к. ларидан иборат бўлади.

Узилиш содир бўлганда ротор майдонининг тезлиги ўзгариши натижасида э.ю.к. пайдо бўлади ва унинг таъсирида ўз-ўзини кўзғатиш тутиб турилади.

Асинхрон ўз-ўзини кўзғатишларни мавжуд ҚАР лар ёрдамида йўқотиш мумкин эмас, чунки шиналарда кучланишнинг ортиб бориши кўзғаткичларнинг вақт доимийларига нисбатан тезроқ содир бўлади.

Шундай қилиб, синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзғатиш шартлари Парк-Горев тенгламаларини ечиш асосида, бурчак δ ўзгармас (яъни генераторлар роторларининг айланиш тезликлари ўзгармас) деб қабул қилинган ҳолда, аниқланиши мумкин. Ўз-ўзини кўзғатиш содир бўлишининг зарурий шarti генераторнинг сиғим характеридаги юкламага ишлашидир. Кичик юкламали ёки салт ишлаш ҳолатидаги узун электр узатиш линияси сиғим юклама бўлиб ҳисобланиши мумкин. Бунда ўз-ўзини кўзғатиш соҳалари ярим доиралар билан аниқланади:

- синхрон ўз-ўзини кўзғатиш учун

$$(X_d - X_q) \cdot (X_q - X_e) + r_s^2 = 0 \quad (2.48)$$

ва асинхрон ўз-ўзини кўзғатиш учун

$$(X_q - X_d) \cdot (X_d - X_s) + r_s^2 = 0. \quad (2.49)$$

Ўз-ўзини кўзғатишнинг бу соҳалари 2.10- расмда келтирилган. Ўз-ўзини кўзғатиш содир бўлишининг етарли шarti бўлиб ташқи тармоқ параметрлари - x_s , r_s ларнинг қийматлари кўзғатишнинг келтирилган соҳалари ичида жойлашишидир.

Магнит нуқтаи назаридан турбогенераторлар симметриклиги ($X_d = X_q$) ва ротор контурларининг ёпиқлик шarti доимо bajarилганлиги (ротор массиви, демпфер системаси) сабабли уларда фақат асинхрон ўз-ўзини кўзғатиш содир бўлиши мумкин.

Асинхрон моторлар ҳам, хусусан, ишга тушириш пайтида, агар улар узун ёки индуктив қаршилиқни бўйлама сиғим компенсациялаш қурилмаларига эга бўлган линияларга уланган бўлса, ўз-ўзини кўзғатиши мумкин.

Ўз-ўзини кўзғатишни нотурғун, авария ҳолати сифатида бартараф этиш учун линияга бир вақтнинг ўзида бир нечта генераторни ёки у бўйлаб шунтловчи реакторларни улаш мумкин.

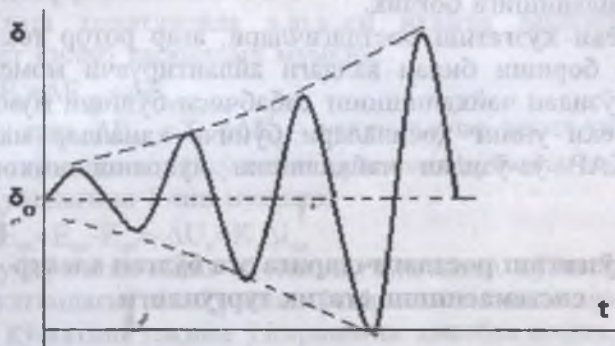
2.8. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши

Чайқалиш – бу синхрон генератор ҳолатининг электро-механик нотурғун жараёни бўлиб, у генераторнинг э.ю.к. вектори ва системанинг кучланиши вектори орасидаги бурчакнинг ўсиб боровчи тебраниши билан уйғушлашади. Ушбу жараён давомида машиналар чулғамларида тоқларнинг ўзилиши кузатилади.

Ўз-ўзидан чайқалишлар икки тили бўлади: биринчиси – параметрик деб юритилиб, генератор ва электр тармоқнинг параметрлари билан аниқланса, иккинчиси – параметрлари, яъни каналлар бўйича кучайтириш коэффициентлари ва вақт доимийлари нотўғри танланган кўзғатиш ва тезлик ростлагилилари ҳисобига содир бўлади.

Ўз-ўзидан чайқалишнинг биринчи тури синхрон генераторнинг статор занжири нисбатан катта актив қаршиликка эга бўлаган ҳолларда юзага келиши мумкин. Шу сабабли, ўз-ўзидан чайқалишнинг бу тури параметрик номини олган.

Бунда роторнинг тебранишлари синхрон ишлаш ҳолатида узоқ вақт давомида мавжуд бўлиши ёки ошиб бориб синхронизмнинг бузилишига олиб келиши мумкин.



2.14- расм. Ўз-ўзидан чайқалиш жараёни.

Ўз-ўзидан чайқалиш натижасида турғунлик бузилишининг мезони қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\alpha_{11} - \arcsin \frac{2E_g - \sin \alpha_{11}}{U} \leq \delta \leq \arctg \frac{R}{X_{q\Sigma}}. \quad (2.50)$$

Бу ерда, U – қабул қилувчи система шиналаридаги кучланиш; $\alpha_{11} = \arctg (R/X_{q\Sigma})$, R – схемадаги актив қаршилик; $X_{q\Sigma}$ – системанинг суммавий индуктив қаршилиги. Бу ифодадан кўринадики, генераторнинг ўз-ўзидан чайқалиши бурчак δ ўзгаришининг маълум чегараларида мусбат ва манфий бурчакларда бўлиши мумкин. Ўз-ўзидан чайқалишнинг машина-ни генератор ҳолатига мос келувчи юқори чегараси схеманинг актив ва реактив қаршиликлари муносабатига боғлиқдир. Пастки чегаранинг вазияти ҳолат параметрлари нисбати E/U ва система схемасининг параметри – бурчак α_{11} нинг функцияси ҳисобланади. Э.ю.к ва кучланишнинг таъсири қарама-қарши: E нинг ортиши ёки U нинг камайиши бурчакнинг ортишига олиб келади ва бундай ҳолда ўз-ўзидан чайқалиш содир бўлиши мумкин.

Кўндаланг демпфер чулғами, агар унинг параметрлари танланган бўлса, ўз-ўзидан чайқалиш имконини йўқотади,

чунки салт ишлашга якин ёки кичик юкламали ҳолатларда бу чулғам мусбат демпфер моментини ҳосил қилади.

Ўз-ўзидан чайқалишнинг иккинчи тури ростловчи қурилмаларнинг, биринчи навбатда, ҚАРнинг параметрларини тўғри танланишига боғлиқ.

Тезлик ёки қўзғатиш ростлагичлари, агар ротор тезлигининг ортиб бориши билан валдаги айлантирувчи моментни оширса, ўз-ўзидан чайқалишнинг сабабчиси бўлиши мумкин.

Бурчак ёки унинг ҳосилалари бўйича каналлар мавжуд бўлганда ҚАР ўз-ўзидан чайқалишни йўқотиш имконини беради.

2.9. Қўзғатиш ростлагичларига эга бўлган электр системасининг статик турғунлиги

Қўзғатишнинг автоматик ростлагичлари қўзғатиш ҳолатини ва электр системасининг турғунлигини таъминлайдиган ҳолатини бошқаришнинг талаб этилган қонунини танлаш имконини беради. Айрим ҳолларда ҳисоблаш учун ҚАРни қандайдир қаршилиқ ортидаги турлича ўзгармас э.ю.к. кўринишида ифодалаш мумкин. Юқорида биз ҚАР системасини умумий жиҳатдан кўриб чиққан эдик. Бирок уларнинг хусусиятлари ва электр системаси ҳолатига таъсирининг таҳлили анча чуқур ифодани талаб этади.

Уларнинг формулаларини максимал қисқартириб, бироқ жараённинг физик жиҳатларини аниқлашга зарар бермаслигини таъминлаб кўриб ўтамиз ва математик ифодалаймиз.

а) Пропорционал типдаги қўзғатишни ростлаш – ҚАР-П ($E^1q = \text{ўзгармас}$)

Ушбу тоифага мансуб қўзғатишнинг автоматик ростлагичлари ҳолат параметрларининг ўзгаришига мувофиқ ишлайди ва шу сабабли пропорционал типдаги қўзғатишни ростлаш деб юритилади (1.21-расм). Физик жиҳатдан бу генераторнинг реактив қаршилигини компенсациялашни билдиради ва бу қаршилиқ ортидаги э.ю.к.ни ўзгармас деб ҳисоблашга имкон беради.

Ушбу ҳолатда бу ўткинчи қаршилиқ ортидаги ўткинчи э.ю.к.дир. Ҳисобларда бу ҳол қуйидагича ёзилади: $E' = \text{const}$, X_d'

ҚАР схемасидаги ҳар бир элемент ростлагичнинг динамик хоссасини характерловчи хусусий вақт доимийси ва кучайтириш коэффициентига эга.

Ўтиш ҳолатларида э.ю.к.ни иккита ташкил этувчидан иборат қилиб тасвирлаш мумкин:

$$\Delta E_q = \Delta E_{q_{св}} + \Delta E_{q_e} \quad (2.51)$$

Бу ерда, $\Delta E_{q_{св}} = T_{d\alpha} \cdot p \Delta E_q'$ – эркин тоқлар ҳосил қилувчи э.ю.к.; ΔE_{q_e} – қўзғаткичнинг қўзғатиш чулғамига қўйилган э.ю.к.

Қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\Delta E_{q_e} = E_{q_0} - E_{q_e} = -\Delta U_B = K_B \Delta i_{кк} \quad (2.52)$$

Бу қўзғаткичнинг қўзғатиш чулғамига қўйилган э.ю.к. ва бу чулғамдаги ток $i_{кк}$ нинг ўзгариши натижасида генераторнинг қўзғатиш ўткини ўзгаришини ҳисобга олади.

$i_{кк}$ ва э.ю.к.нинг ўзгариши қуйидаги муносабатга мувофиқ амалга ошади:

$$\Delta e = R_e \Delta i_{кк} + L \cdot \frac{d(\Delta i_{кк})}{dt} = \Delta i_{кк} (R_e + L_e p).$$

Бу ерда, R_e , L_e – қўзғатиш чулғамининг параметрлари (базарувчи элемент).

Юқоридагидан:

$$\Delta i_{кк} = \frac{\Delta e}{(R_e + L_e \cdot p)} = \frac{\Delta e}{R_e (1 + T_e \cdot p)} \quad (2.53)$$

Бу ерда, $T_e = \frac{L_e}{R_e}$ – қўзғаткич қўзғатиш чулғамининг эквивалент вақт доимийси.

(2.53) ни (2.52) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\Delta E_{q_e} = \frac{k_e \cdot \Delta e}{R_e (1 + T_e \cdot p)} = \frac{k_e \cdot \Delta e}{(1 + T_e \cdot p)} \quad (2.53a)$$

Бу ерда, $k_e = \frac{k_e}{R_e}$ - бажарувчи элементнинг кучайтириш коэффициенти.

Кучайтиргич, шунингдек, вақт доимийси T_u ва кучайтириш коэффициенти K_u параметрларига эга бўлган инерцион элементдир. Бунга мос равишда

$$\Delta e = \frac{K_u \cdot \Delta U}{1 + T_u \cdot p} \quad (2.54)$$

Бундан кейин ўлчаш, алмаштириш ва ўзгартириш элементларини мос кучайтириш коэффициенти K_n ва вақт доимийси T_n билан бир бутун ва

$$\Delta U = \frac{K_n \cdot (-\Delta U_r)}{1 + T_n \cdot p} \quad (2.55)$$

деб караш мумкин.

(2.55) ва (2.54) ни (2.53а) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\Delta E_{qe} = \frac{K_u \cdot (-\Delta U_r) \cdot K_n \cdot K_e}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)} = \frac{K_{ou} \cdot (-\Delta U_r)}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)} ;$$

$$\Delta E_{qe} = \gamma(p) \cdot \Delta U_r. \quad (2.56)$$

$$\text{Бу ерда, } \gamma(p) = \frac{-K_{ou}}{(1 + T_u \cdot p) \cdot (1 + T_n \cdot p) \cdot (1 + T_e \cdot p)}$$

ростлаш системаси параметрларига боғлиқ бўлган функция.

$K_{ou} = K_u \cdot K_n \cdot K_e$ - системанинг кучайтириш коэффициенти.

Барқарор ҳолатда ҳолат параметрларининг, ростлаш системасини ишга туширувчи оғишлари мавжуд эмас ($p=0$). Шу сабабли,

$$\Delta E_{qe} = -K_{ou} \cdot \Delta U_r ; \quad \Delta U_r = U_r - U_{r0}.$$

$\Delta E_{qe} = E_{q0} - E_{qe}$ бўлганлиги сабабли кучайтириш коэффициентини қуйидагича топиш мумкин:

$$K_{ou} = \frac{-\Delta E_{qe}}{\Delta U_r} = \frac{E_{qe} - E_{q0}}{\Delta U_r}. \quad (2.57)$$

$$E_{qe} = E_{qo} - \frac{\partial E_q}{\partial U_r} \cdot \Delta U_r \text{ бўлганлиги сабабли}$$

системанинг кучайтириш коэффициенти

$$K_{om} = - \frac{\partial E_q}{\partial U_r}$$

Бундай K_{om} га эга бўлган ростлагичли система турғун ишлай олиши мумкинлигини текшириш учун ростланувчи система ишини ифодаловчи тенгламаларни турғунлик бўйича таҳлил қилиш лозим.

$$\Delta E_q = \Delta E_{q_{\text{ин}}} + \Delta E_{q_e} = T_{do} p \cdot \Delta E_q + \gamma(p) \cdot \Delta U_r$$

$$T_j p^2 \Delta \delta = -\Delta P;$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q} \cdot \Delta E_q = c_1 \cdot \Delta \delta + e_1 \cdot \Delta E_q. \quad (2.58)$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q} \cdot \Delta E_q = c_2 \cdot \Delta \delta + e_2 \cdot \Delta E_q$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{Uz}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{Uz}}{\partial U_z} \cdot \Delta U_z = c_3 \cdot \Delta \delta + e_3 \cdot \Delta U_r$$

Бу ерда:

$$c_1 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}; \quad b_1 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q}; \quad c_2 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}; \quad b_2 = \frac{\partial P_{Eq}}{\partial E_q};$$

$$c_3 = \frac{\partial P_{Uz}}{\partial \delta}; \quad b_3 = \frac{\partial P_{Uz}}{\partial U_z} - \text{генераторнинг салт ишлаш э.ю.к.,}$$

ўткинчи э.ю.к. ва кучланиш орқали ифодаланган қувватининг ҳосилалари.

Бу ерда, тенгламалар бешта бўлиб, номаълумлар ҳам бешта: $\Delta \delta$, ΔE_q , ΔE_q , ΔU_r , ΔP . Бунга мос ҳолда тенгламалар системаси ечилди. $T_u=0$ ва $T_n=0$ деб ҳисоблаймиз, яъни ўлчагич ва ростлагичларнинг инерционлигини ҳисобга олмаймиз. Бундай ҳолда соддалаштирилган характеристик тенглама қуйидаги тўртинчи тартибли кўринишда бўлади:

$$T_e T_d T_j \cdot p^4 + T_j \cdot (T_d' + T_e) \cdot p^3 + (T_j + T_d' \cdot T_e \cdot c_2 + K_{ou} \cdot T_j \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}) p^2 + (T_d' c_2 + T_e \cdot c_1) p + (c_1 + K_{ou} \cdot c_3 \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_3}) = 0 \quad (2.59)$$

ёки

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0 \quad (2.60)$$

Бу ерда: $a_0 = T_e T_d T_j$, $a_1 = T_j (T_d' + T_e)$, $a_2 = T_j + T_d' \cdot T_e \cdot c_2 + K_{ou} \cdot T_j \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$, $a_3 = T_d' c_2 + T_e c_1$, $a_4 = c_1 + K_{ou} c_3 \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_3}$.

Ушбу тенгламани Гурвиц мезони бўйича тадқиқ қиламиз. Агар $T_d' > 0$ бўлса a_0 ва a_1 доимо мусбат бўлади. $c_2 > 0$ ва $K_{ou} > 0$ бўлганда $a_2 > 0$ шарт доимо бажарилади. $a_3 = T_d' c_2 + T_e c_1 > 0$ бўлиши учун $c_2 > -c_1 \cdot \frac{T_e}{T_d'}$ бўлиши зарур. c_1 манфий бўлганда (чегаравий ҳолатларда) $c_2 > 0$ бўлади.

$$a_4 = c_1 + K_{ou} c_3 \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_3} > 0 \text{ шарт } K_{ou \min} = \frac{(-c_1) \epsilon_3}{c_3 \epsilon_1} \text{ бўлишини}$$

талаб этади, яъни қиймати қандайдир минимал рухсат этилган қийматдан катта бўлган кучайтириш коэффициентини ўрнатилган бўлиши талаб этилади.

U_r ни тутиб туриш учун катта қийматга эга бўлган кучайтириш коэффициентини $K_{ou \max}$ керак бўлади, бироқ K_{ou} нинг ҳаддан ташқари ортиб кетиши $\Delta_{гур}$ нинг камайишига олиб келади. Шу сабабли, кўзғатишни кучайтириш коэффициентини

$$K_{ou \min} \leq K_{ou} \leq K_{ou \max} \quad (2.61)$$

ораликда олиш лозим.

Бу ерда, $K_{ou \min} = \frac{|-c_1| \cdot b_3}{c_3 \cdot b_1}$,

$$K_{\text{onmax}} = \left[\frac{(c_2 - c_1) \cdot b_3}{(c_3 - c_2) \cdot b_1} \left(1 + \frac{T_e^2}{T_j} \cdot \frac{(T_d c_2 + T_e c_1)}{(T_d + T_e)} \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{T_e}{T_d} \cdot \frac{(c_3 - c_1)}{(c_3 - c_2)} \right). \quad (2.62)$$

Агар кучланишнинг оғишига боғлиқ ҳолда ишловчи ҚАР мавжуд бўлганда $K_{\text{ou}} < K_{\text{oumin}}$ бўлса, у ҳолда бурчакнинг монотон ошиб бориши билан характерланувчи турғунликнинг электромеханик бузилиши, яъни турғунликнинг **апериодик бузилиши** содир бўлади.

$K_{\text{ou}} > K_{\text{oumax}}$ бўлганда ҳам статик турғунликнинг электромеханик бузилиши содир бўлиб, у **тебранувчан характерда** бўлади, яъни система ўз-ўзидан чайқалади.

Белгилаш лозимки, пропорционал типдаги ҚАРни ишла-тиш тажрибалари асосида бу коэффициентнинг, генераторни ҳар хил ҳолатларида кучланишни тутиб туришнинг катта аниқлиги ва узатиловчи қувват чегарасининг ортиши таъмин-ланадиган қийматлари $K_{\text{ou}} \geq 25-50$ (қўзғатиш бирли-ги/кучланиш бирлиги) оралиқда аниқланган.

Кучланишнинг бирлиги сифатида генераторнинг номинал кучланиши, қўзғатиш бирлиги сифатида, салт ишлаш ҳолатида кучланишнинг номинал қиймати U_f ни таъминлов-чи, генератор қўзғатишининг статор чулғамига келтирил-ган қиймати қабул қилинади.

Электр системаларининг ҳолатларини, хусусан, оғир ҳолатларини, тадқиқ қилишда пропорционал типдаги ҚАР-нинг мавжудлиги, соддалаштириш мақсадида, ўткинчи қаршилик ортидаги ўзгармас ўткинчи э.ю.к. орқали тасвир-ланади. Бундай ҚАРнинг мавжудлиги генераторнинг ички қаршилигини қисман компенсациялашга эквивалент бўлиб, у синхрон генераторнинг бурчак характеристикаси максимуми-ни ортишида ифодаланади:

Шундай қилиб, пропорционал типдаги ҚАРга эга бўлган генераторнинг турғун ишлаши учун ҳолат параметрларининг оғиши бўйича ростлаш каналларидаги кучайтириш коэффи-циентлари:

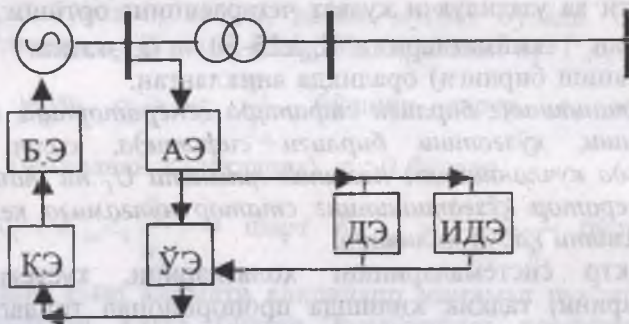
$$K_{\text{on min}} < K_{\text{on}} < K_{\text{on max}}$$

шарт бўйича танланиши лозим.

Бу шартнинг бузилиши турғунликнинг апериодик ($K_{\text{on}} < K_{\text{onmin}}$) ёки тебранма ($K_{\text{on}} > K_{\text{onmax}}$) бузилишига олиб келади.

б) Кучли таъсир этувчи кўзгатишли автоматик ростлагич ҚАР-К ($U_r = \text{ўзгармас}$)

Ҳолат параметрларининг нафақат оғиши, балки уларнинг ўзгариш тезлиги, яъни уларнинг биринчи ва иккинчи тартибли ҳосилалари бўйича ишловчи кўзгатишнинг автоматик ростлагичлари **кучли таъсир этувчи кўзгатишни** автоматик ростлагичлар деб юритилади (ҚАР-К) (2.15- расм). Бундай ҚАРни «кучли» деб юритилишига сабаб шундан иборатки, улар берилган ҳолат параметрини, масалан генератор кучланишини, генераторнинг ички қаршилигини тўлиқ компенсациялаб ўзгармас тутиб тура олади. Шу сабабли, ҳисоблашларда ҚАР-К генератор кучланишининг ўзгармаслиги билан тасвирланади.



2.15- расм. Кучли таъсир этувчи кўзгатишни автоматик ростлагичнинг структуравий схемаси (ҚАР-К).

ҚАР-К электр системасининг статик турғунлигини катта миқдорга яхшилаш имконини беради. ҚАР-П (1.21-расм) ва ҚАР-К ларнинг структуравий схемаларини солиштириб, кучли таъсир этувчи ростлагичларда ҳолат параметрларининг (ΔU , ΔI , Δf , $\Delta U''$, $\Delta I'$, $\Delta f'$) биринчи (ДЭ) ва иккинчи (И ДЭ) ҳосилаларига мос сигналлар ишлаб чиқарувчи қўшимча каналлар мавжудлигини кўрамиз.

Албатта, янги каналларнинг пайдо бўлиши ва ҚАР системасининг қўшимча элементларини ҳисобга олиш тенгламалар тузишдаги меҳнат ҳажмини, уларнинг тартибини оширади ва

энг асосийси, уларни аналитик тадқиқ қилиш, ҳаттоки битта синхрон генератор мавжуд бўлганда ҳам имконини йўқотади.

Масалан, генератор кучланиши ва токининг оғиши (ΔU , ΔI), уларнинг биринчи ва иккинчи тартибли ҳосилалари бўйича ишловчи ҚАР-к, ростлагичнинг дифференциалловчи ва икки марта дифференциалловчи вақт доимийлари тенг бўлган тақдирда $T_1=T_2=T_p$, еттинчи даражали характеристик тенглама билан ифодаланади. Агар ўлчаш ва кучайтириш элементларининг инерционлигини ҳисобга олмасак $T_n=T_u=0$, у ҳолда характеристик тенглама бешинчи даражали бўлади:

$$a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5 = 0 \quad (2.63)$$

Бу ерда:

$$a_0 = T_j T_d T_e T_p;$$

$$a_1 = T_j (T_d T_e + T_d T_p + T_e T_p) + k_{21} h_1;$$

$$a_2 = T_j (T_d + T_e + T_p) + T_d T_e T_p c_2 k_{11} h_1;$$

$$a_3 = T_j + T_e T_p c_1 + T_d (T_e + T_p) c_2 + k_{oi} T_j \frac{b_1}{b_3} + k_{oi} h_1 + k_{21} h_2;$$

$$a_4 = (T_e + T_p) c_1 + T_d c_2 + k_{11} h_2;$$

$$a_5 = c_1 + k_{oi} c_3 + k_{oi} h_2;$$

$$h_1 = -T_j \frac{(E_q - U \cos \delta)}{I \cdot X_{\Sigma}^2}$$

$$h_2 = b_1 \frac{U}{X_{\Sigma}} (I_q \cos \delta + I_d \sin \delta)$$

$$I_d = \frac{E_q - U \cos \delta}{X_{\Sigma}}; \quad I_q = \frac{U}{X_{\Sigma}} \sin \delta$$

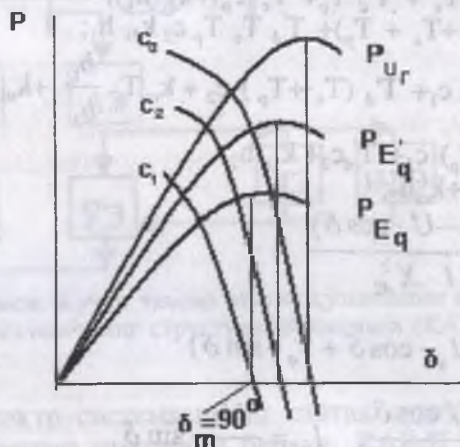
(I , I_d , I_q) коэффициентларга кировчи ҳолат параметрлари синхрон генераторнинг вектор диаграммасидан аниқланади. Бу ерда: k_{oi} — генератор статори токининг оғиш канали бўйича кучайтириш коэффициенти [кўзг.бирл./ном.ток бирл.], k_{11} — статор токининг биринчи ҳосиласи канали бўйича кучайтириш коэффициенти [кўзг.бирл./ном.ток бирл./сек.], k_{21} — статор токининг иккинчи ҳосиласи канали бўйича кучайтириш коэффициенти [кўзг.бирл./ном.ток

бирл./сек²]. Белгилаб қўйиш лозимки, ҚАР-к да кучланиш оғиши бўйича кучайтирувчи коэффициентлар киймати $k_{ou}=(100-200)$ [кўзг. бирл./кучланиш бирл.] оралиғида жойлашган.

Кўриниб турибдики, характеристик тенгламанинг коэффициентлари ҳолат, система параметрлари ва ҚАР каналлари бўйича кучайтириш коэффициентларига боғлиқ.

Келтирилган муносабатлардан кўринадик, қабул қилинган соддалаштиришларда характеристик тенглама коэффициентлари, ҳатто битта генератор мавжуд бўлганда, мураккаблашади ва натижада уларни аналитик тадқиқ қилиш мумкин бўлмай қолади.

Шу сабабли, хусусан қўзғатиш токини бир нечта ҳолат параметрлари бўйича ростлаш вазиятларида ҚАРнинг оптимал кучайтириш коэффициентларини аниқлашда сонли усуллар қўлланилади.



2.16-расм. ҚАР турлича бўлганда бурчак характеристикалари ва синхронловчи қувватларни солиштириш.

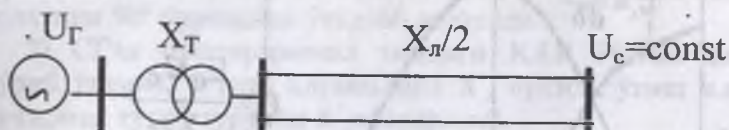
Механик элементларда люфтнинг мавжудлиги таъсирида ва инерционлик таъсирида пайдо бўлувчи сезмаслик соҳасини ҳисобга олиш, тенгламаларни тузиш ва таҳлил қилишни янада мураккаблаштиради. Бироқ бу факторлар генераторнинг турғун ишлаш шартларига кучли таъсир этиши

мумкин. Уларни нотўғри ҳисобга олиш ҚАРнинг нотўғри ишлаши натижасида синхрон генератор турғунлигининг бузилишига сабаб бўлиши мумкин.

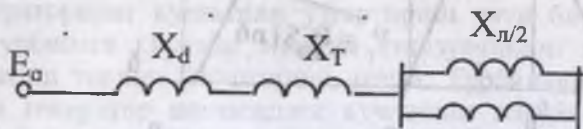
ҚАР-К нинг мавжуд бўлиши бурчак характеристикасининг максимумини оширади, чунки у $U_r = \text{const}$ ва $X_r = 0$ шарт билан ифодаланади (2.16- расм).

2.10. Қўзғатишни ростлашнинг турли усуларида синхрон генераторининг бурчак характеристикалари

Электр системаларининг турғунлигини ўрганишда бу масаланинг муҳимлигини ҳисобга олиб, синхрон генераторларнинг бурчак характеристикалари $P = f(\delta)$ ни, қўзғатишни ростлашнинг турли усуларида, одий схема учун яна бир бор кўриб ўтамиз (2.17, 2.18-расм).



2.17- расм.



2.18- расм.

Бунда биз қуйидаги ҳолларни кўриб ўтамиз:

- 1) ҚАР мавжуд эмас ($E_q = \text{ўзгармас.}$);
- 2) ҚАР-П, СГ да ўтиш қаршилиги X_d нинг ортидаги ўтиш э.ю.к нинг ўзгармаслигини таъминловчи пропорционал типдаги ҚАР мавжуд, ($E_q = \text{ўзгармас ва } X_d$);
- 3) ҚАР-К, СГда генератор кучланишининг ўзгармаслигини таъминловчи кучли таъсир этувчи ҚАР мавжуд ($U_r = \text{ўзгармас ва } X_r = 0$).

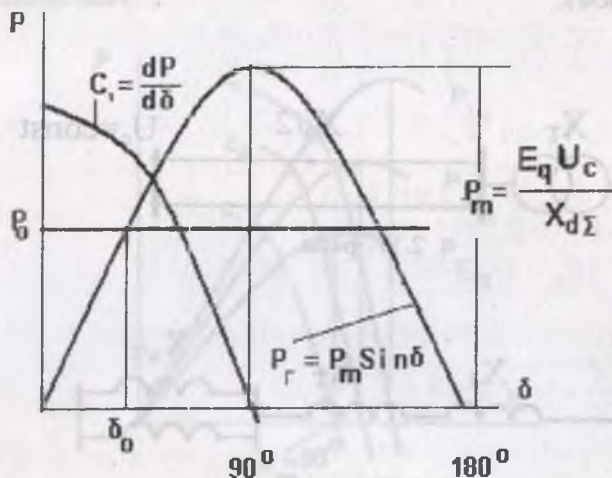
Ноаён кутбли генераторни кўриб ўтамиз.

$$P_{E_q} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta, \quad P_m = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}}$$

формулани таҳлил қиламиз ва муҳимлигини эътиборга олиб, айрим тушунчаларни яна бир бор такрорлаймиз.

1) $E_q = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолат (ҚАР мавжуд эмас). Бундай ҳолат кўзгатиш токининг ўзгармас қолиши билан характерланади. Бу, албатта, ростланмайдиган машина ҳолатининг секин ўзгаришига мос келади.

Генератор берувчи қувватни фақат агрегат турбинасига қирувчи буг ёки сув миқдорини ўзгартириш орқали ўзгартириш мумкин (2.6, 2.19- расм).



2.19- расм. Кўзгатишни ростлаш мавжуд бўлмаганда ($E_q = \text{ўзгармас}$) бурчак характеристикаси.

Юқорида белгиланганидек, максимал қувват бурчак $\delta = 90^\circ$ бўлганда таъминланади. Кичик орттирмалар учун қуйидаги муносабатни кўриб ўтиш мумкин:

$$\frac{\Delta P}{\Delta \delta} = C_1 = \frac{dP}{d\delta} = \frac{E_g \cdot U_c}{X_{\Sigma}} \cdot \cos \delta \quad (2.64)$$

Айтганимиздек, бу микдор синхронловчи қувват деб юритилади, чунки кичик оғишларда, $c_1 > 0$ бўлганда, яъни қувват ва бурчак орттирмалари бир хил ишорали бўлганда, бу қувват генераторни дастлабки ҳолатга қайтаради.

Демак, агар $C_1 = \frac{dP}{d\delta} > 0$ бўлса, турғунлик сакланади.

Турғунлик мезони $c_1 > 0$ бурчак $\delta = 0 \div 90^\circ$ ораллигида бўлганда таъминланади. Турбина қувватининг бундан кейинги ошишида, яъни бурчак янада ошганда c_1 манфий бўлиб қолади.

Бундан келиб чиқадики, узатилувчи қувват максимумга қанчалик яқин бўлса турғунликнинг бузилиш эҳтимоли шунчалик катга бўлади, чунки кичик тебраниш система ҳолатини 90° бурчакдан ўтказиб юборади.

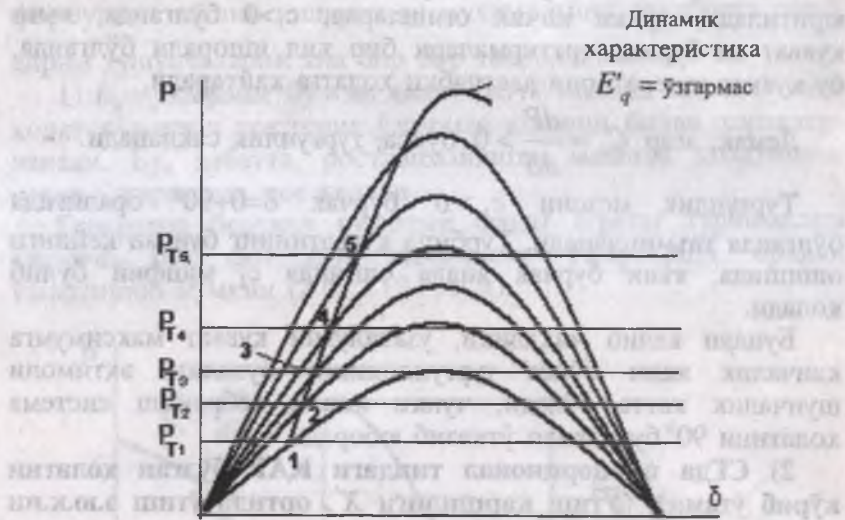
2) СГда пропорционал типдаги ҚАР бўлган ҳолатни кўриб ўтамиз. (Ўтиш қаршилиги X_d ортида ўтиш э.ю.к.ни ўз-гармас тутиб турувчи $E'_d = \text{ўзгармас}$).

Бу ҳолат машинанинг бўйлама ўқи бўйича натижавий магнит оқим илашишининг кўзғатиш токини ростлаш орқали таъминладиган ўзгармаслигига мос келади.

Генераторнинг қувватини ўзгартириш учун бир вақтнинг ўзида турбинага кирувчи энергия етказувчининг микдорини ва кўзғатиш токини ўзгартириш лозим. Турбинанинг қуввати ошганда генератор шинасидаги кучланиш генератор, трансформатор ва линия қаршиликларида кучланиш пасайишининг ортиши ҳисобига камаяди.

ҚАР буни сезиб, кўзғатиш чулғамида оқувчи токни ошириш орқали кучланишни $U_2 > U_1$ гача оширади. Бунда янги ҳолат турбина ва генераторнинг қувват характеристикаларининг кесишиш нуқтаси 2 билан аниқланади (2.20- расм). Бу жараён турбина қувватини ошириш ва кўзғатиш системаси имкониятлари билан белгиланувчи техник чегарагача давом этиши мумкин. Пайдо бўлувчи динамик характеристика си-

нусоидадан фарк килиб, қувват ва кучланиш бўйича бурчак характеристикасидаги 2, 3, 4, 5 ва ҳ.к. нуқталарга мос келувчи янги ҳолатлари билан белгиланади. Биринчи яқинлашишда узатилиши мумкин бўлган максимал қувват куйидагича аниклана



2.20-расм. Пропорционал типдаги кўзғатишни автоматик ростлаш мавжуд бўлганда бурчак характеристикаси ($E'_q = \text{ўзгармас}$).

$$\text{ди: } P_{mE'} = \frac{E'_q U}{X_d + X_T + X_n / 2} \quad (2.65)$$

Статик характеристика $i_x = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолда юклама секин ўзгарганда, динамик характеристика эса, ҳолатнинг ўзгариши вақтида кўзғатиш токи i_x $E'_q = \text{ўзгармас}$ ни таъминлайдиган шартга мувофиқ ўзгарганда ҳосил бўлади.

3) $U_r = \text{ўзгармас}$ ни тутиб турувчи ҚАР-к.

$U_r = \text{ўзгармас}$ кучланиш кўзғатиш кучли ростланганда тутиб турилади. Юқорида белгилаб ўтилганидек, кўзғатишни кучли ростлаш нафақат U, I, f ларнинг ўзгариши, балки уларнинг ўзгариш тезлиги, яъни ҳолат параметрларининг биринчи ва иккинчи ҳосилаларига U', I', f' ва $U'', I'', f'', I'', \delta''$

мувофиқ ишлайди. Кучли ростлашнинг маъноси аён: кучланиш авариявий тушиб кетганда (қисқа туташув, катта юкларнинг уланиши) уни номиналгача кўтариш лозим. Бунда кўзга тиш токи U_r нинг камайишига нисбатан тезроқ ошиши зарур. Мос ҳолда ростлаш илдам бўлиши шарт.

$E_q = \dot{U}_{\text{ўзгармас}}$ бўлган ҳолда қурилган характеристиканинг максимуми $E'_q = \dot{U}_{\text{ўзгармас}}$ бўлган ҳолатдагига нисбатан кичикдир ва шунга мос ҳолда $U_r = \dot{U}_{\text{ўзгармас}}$ бўлгандаги характеристика энг юқори қийматга эга бўлади (2.21-расм).

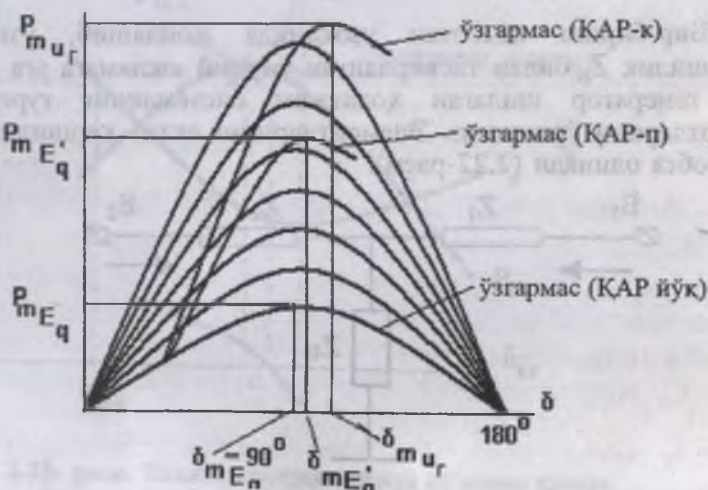
Бурчак характеристиканинг максимуми қуйидаги муносабатдан аниқланиши мумкин:

$$P_{m_r} = \frac{U_r U_c}{X_r + X_c} \quad (2.66)$$

Қуйидаги муносабатлар ўринлидир:

$$P_{m_{E_q}} < P_{m_{E'_q}} < P_{m_{U_r}}, \quad (2.67)$$

$$\delta_{m_{E_q}} = 90^\circ < \delta_{m_{E'_q}} < \delta_{m_{U_r}} \quad (2.68)$$



2.21- расм. Кучли таъсир этувчи автоматик ростлаш мавжуд бўлганда бурчак характеристикаси ($U_r = \dot{U}_{\text{ўзгармас}}$).

Табийий турғунлик соҳаси $\delta=0\div 90^\circ$ ораликдир, чунки бу соҳада $c_1 > 0$.

$\delta \geq 90^\circ$ бўлган оралик, яъни генераторнинг 90° бурчакдан кейинги турғун ишлаш соҳаси сунъий турғунлик соҳаси деб юритилади. Бу ерда, бурчакнинг 90° дан катта бўлган қийматларида турғунлик фақат кўзғатиш токини сезмаслик соҳасисиз ростлаш ёрдамида сақланиши мумкинлигини таъкидлаб ўтиш лозим.

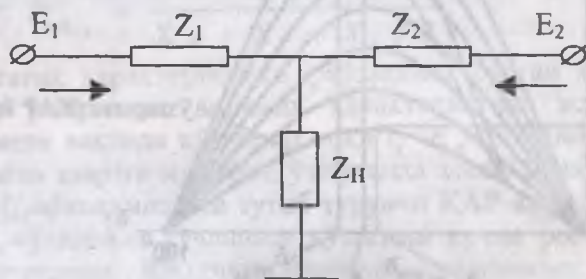
Генератор берувчи актив қувватнинг ортиб бориши билан бир вақтда генераторнинг реактив қуввати ҳам ўзгаради.

Кўзғатиш токи кичик бўлиб, актив қуввати берилганда генератор кам кўзғалган ҳолатда ишлаб, реактив токни истеъмол қилади ва унинг турғунлик коэффиценти захираси кам бўлади.

Кўзғатиш токи катта, актив қувват юқоридагидек бўлганда генератор ўта кўзғалган ҳолатда ишлаб, тармоққа реактив ток беради ва бу коэффицентнинг қиймати ошади, генератор турғун ишлайди.

2.11. Иккита генератор станциясидан ташкил топган электр системасининг статик турғунлиги

Бир-бирига нисбатан узоқликда жойлашиб, ўзгармас қаршилик Z_H билан тасвирланган умумий юкламага эга иккита генератор ишлаган ҳолатдаги системанинг турғунлик шартларини ўрганамиз. Элементларнинг актив қаршиликлари ҳисобга олинади (2.22-расм).



2.22- расм.

117

Кўриб ўтиладиган системанинг статик турғунлик шартларини аниқлаймиз. Бунинг учун бурчакларнинг барқарор ҳолатдан кичик микдорга окқан ҳолат учун генераторлар роторларининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламаларини ёзамиз:

$$T_{11} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \Delta P_1 = P_{10} - P_1 = P_{10} - \left[\frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \right] \quad (2.71)$$

$$T_{22} \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \Delta P_2 = P_{20} - P_2 = P_{20} - \left[\frac{E_2^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}) \right] \quad (2.72)$$

Бу ерда P_{10} , P_{20} нормал ҳолат қувватлари (турбиналар қувватлари). ΔP_1 , ΔP_2 ларни дастлабки ҳолат нуктасида Тейлор қаторига ёйиб, бу тенгламаларни чизиклилаштирамиз:

$$\Delta P_1 = P_{10} - \left[\frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{dP_1}{d\delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \dots \right] \quad (2.73)$$

Квадрат қавс ичидаги биринчи иккита ташкил этувчининг йиғиндиси генераторнинг нормал ҳолатдаги қувватига тенг

$$\Delta P_{10} = P_{10} = \frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \quad (2.74)$$

Бундай ҳолда қуйидаги муносабат ўринлидир:

$$\Delta P_1 = - \frac{dP_1}{d\delta_{12}} \Delta \delta_{12} \quad (2.75)$$

Иккинчи генератор учун ҳам бу каби ифодани ёзиш мумкин:

$$\Delta P_2 = - \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \Delta \delta_{12} \quad (2.76)$$

Бу ерда:

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= \delta_1 - \delta_2 = (\delta_{10} + \Delta \delta_1) - (\delta_{20} + \Delta \delta_2) = (\delta_{10} - \delta_{20}) + (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) = \\ &= \delta_{12_0} + \Delta \delta_{12}, \text{ ва } \delta_{12_0} = \delta_{10} - \delta_{20}, \Delta \delta_{12} = \Delta \delta_1 - \Delta \delta_2 \end{aligned} \quad (2.77)$$

эканлигини эътиборга олиш лозим.

(2.75), (2.76) ларни дастлабки тенгламалар (2.71) ва (2.72) ларга қўйиб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\frac{d^2 \delta_1}{dt^2} + \frac{1}{T_{j1}} \cdot \frac{dP_1}{d\delta_{12}} \cdot \Delta\delta_{12} = 0 \quad (2.78)$$

$$\frac{d^2 \delta_2}{dt^2} + \frac{1}{T_{j2}} \cdot \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \cdot \Delta\delta_{12} = 0 \quad (2.79)$$

(2.78) тенгламадан (2.79) тенгламани айирамиз:

$$\frac{d^2 (\delta_1 - \delta_2)}{dt^2} + \left(\frac{1}{T_{j1}} \cdot \frac{dP_1}{d\delta_{12}} - \frac{1}{T_{j2}} \cdot \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \right) \Delta\delta_{12} = 0. \quad (2.80)$$

(2.77) га мувофик

$$\frac{d^2 (\delta_1 - \delta_2)}{dt^2} = \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = \frac{d^2 (\Delta\delta_{12})}{dt^2},$$

эканлигини ҳисобга олиб, иккита генераторли система кичик тебранишларининг дифференциал тенгламаларини ҳосил қиламиз:

$$\frac{d^2 (\Delta\delta_{12})}{dt^2} + \xi \cdot \Delta\delta_{12} = 0. \quad (2.81)$$

Бу ерда: $\xi = \frac{1}{T_{j1}} \cdot \frac{dP_1}{d\delta_{12}} - \frac{1}{T_{j2}} \cdot \frac{dP_2}{d\delta_{12}}$ - биринчи ва иккинчи

станциялар генераторлари роторларининг солиштирма нисбий тезланиши.

Ушбу тенглама ҳолат параметрлари кичик микдорларга ўзгарганда генераторларнинг э.ю.к. векторлари орасидаги нисбий бурчак δ_{12} нинг ўзгаришини белгилайди. Агар ечим $\Delta\delta_{12}=f(t)$ вақт давомида ортиб борса, у ҳолда система нотурғундир, чунки бундай ҳолат битта ёки иккала генераторнинг роторлари тезлашган вазиятда бўлиши мумкин. Агар $\Delta\delta_{12}=f(t)$ камайиб борса, у ҳолда система турғундир.

Характеристик тенглама

$$p^2 + \xi = 0,$$

унинг илдизлари

$$p_{1,2} = \pm j\sqrt{\xi} \quad (2.82)$$

ва ўткинчи жараёнинг характери ξ га боғлиқ.

Агар $\xi < 0$ бўлса, у ҳолда ҳар иккала илдиз ҳам ҳақиқий бўлиб, улардан бири доимо мусбатдир ва шу сабабли, $\Delta\delta_{12}=f(t)$ вақт давомида ортиб боради. Бу, ўз навбатида, системанинг турғунлиги бузилишини билдиради, чунки система дастлабки ҳолатидан кетиб қолади.

Агар $\xi > 0$ бўлса, у ҳолда ҳар иккала илдиз ҳам мавҳум бўлиб, $\Delta\delta_{10}$ синусоидал тебранишлар қонуни бўйича ўзгаради. Реал исрофлар мавжуд бўлганлиги сабабли бу тебранишлар вақт ўтиши билан сўнади.

Шундай қилиб, ушбу ҳолатда системанинг статик турғунлик мезони бўлиб,

$$\xi = \frac{1}{T_{j1}} \cdot \frac{dP_1}{d\delta_{12}} - \frac{1}{T_{j2}} \cdot \frac{dP_2}{d\delta_{12}} > 0 \quad (2.83)$$

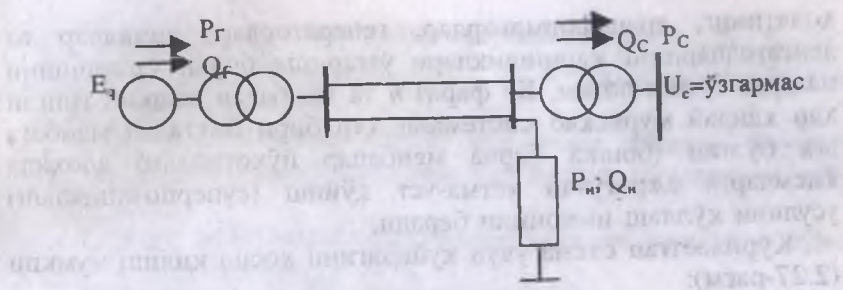
ҳисобланади.

2.23- расмда нол орқали биринчи генераторнинг ҳақиқий чегарасидан сўнг ўтувчи $\xi = f(\delta_{12})$ характеристика келтирилган (с нукта). Бу нукта системанинг турғунлик чегарасини аниқлайди. Кўриниб турибдики, системанинг турғунлик чегараси биринчи генератор бурчак характеристикасининг максимуми билан иккинчи генератор бурчак характеристикасининг минимуми орасида жойлашган. Бундан мураккаб системанинг қувват ва турғунлик бўйича чегаралари устма-уст тушмаслиги келиб чиқади. Бу чегаралар орасидаги фарқ машиналарнинг доимий инерциялари қийматлари ва ҳолатларига боғлиқ. «Генератор – система» кўринишидаги содда схема учун бу чегаралар устма-уст тушади.

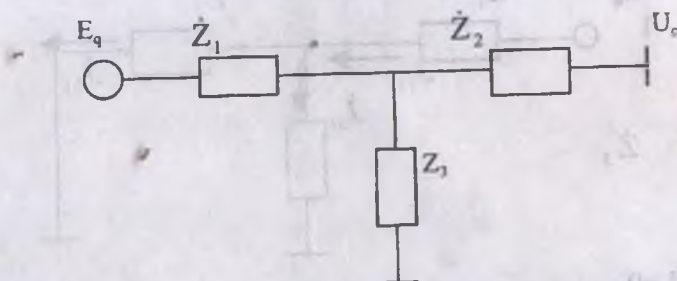
2.12. Генераторнинг система билан мураккаб боғланган ҳолатдаги қувват характеристикаси

Ихтиёрий мураккабликдаги электр системасида ишловчи синхрон генератор қувватининг умумий формуласини келтириб чиқариш лозим.

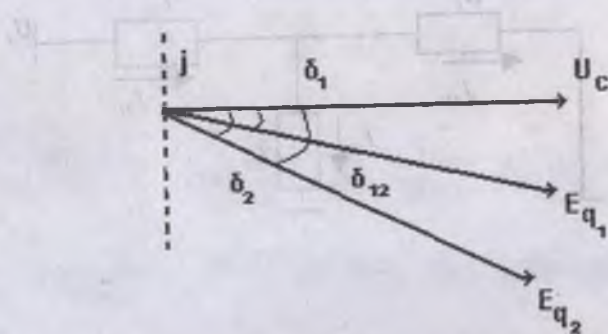
Ораликда актив ва реактив қувват юкламасига эга бўлган системанинг схемасини кўриб ўтамиз (2.24- расм).



2.24-расм.



2.25- расм.

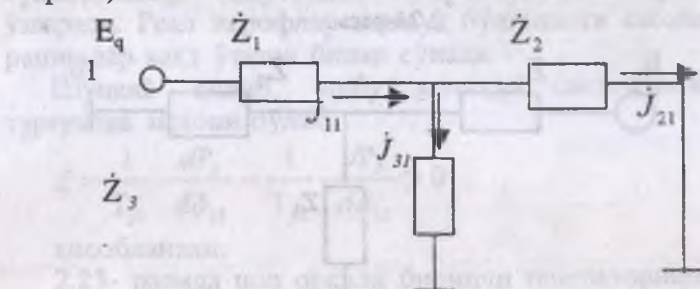


2.26- расм. Икки генераторли системада векторларнинг ўзаро жойлашуви.

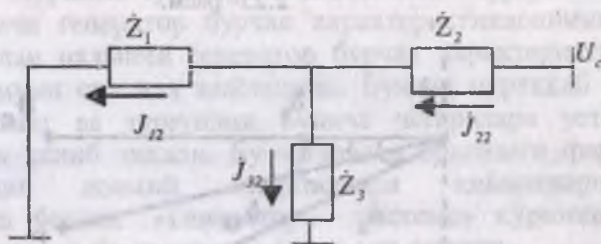
Фараз қиламиз, Z_1, Z_2, Z_3 ўзгармас микдорлар бўлиб, системанинг ҳолатига боғлиқ эмас (2.25-расм). Бундай фаразлар вақтнинг бирор аниқ лаҳзаси учун ўринли бўлиб,

ҳолатнинг, трансформаторлар, генераторлар, линиялар ва двигателларнинг қаршиликлари ўзгариши билан ўзгаришини назарда тутиш лозим. Бу фараз n та манбадан ташкил топган ҳар қандай мураккаб системани ҳар бири биттадан манбага эга бўлган (бошқа барча манбалар йўқотилади) алоҳида қисмларга ажратувчи устма-уст қўйиш (суперпозициялаш) усулини қўллаш имконини беради.

Қўрилатган схема учун қуйидагини ҳосил қилиш мумкин (2.27-расм):



а) $U_c=0$



б) $E_q=0$

2.27-расм. Устма-уст қўйиш усулини қўллаш:

- а) биринчи манбага эга бўлган схема ($E_q=\text{ўзгармас}$, $U_c=0$),
- б) иккинчи манбага эга бўлган схема ($E_q=0$, $U_c=\text{ўзгармас}$).

Бу ерда, j_{11} , j_{22} – комплекс хусусий тоқлар; j_{21} , j_{31} , j_{12} , j_{32} – комплекс ўзаро тоқлар; $\dot{Z}_1$, $\dot{Z}_2$, $\dot{Z}_3$ – шахобчаларнинг комплекс қаршиликлари.

Генератор токининг мусбат йўналиши сифатида берилувчи қувват йўналиши билан бир хил бўлган йўналишни қабул қиламиз.

Юклама қувватининг йўналиши, у кириб келаётган бўлса, мусбат қабул қилинади.

Қуйидаги муносабатларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_{11} &= \dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} \\ \dot{Z}_{22} &= \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3} \end{aligned} \right\} \quad (2.84)$$

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{\dot{Z}_3} \quad (2.85)$$

Бу ерда, $\dot{Z}_{11}$, $\dot{Z}_{22}$ – комплекс хусусий қаршиликлар; $\dot{Z}_{12}$, $\dot{Z}_{21}$ – комплекс ўзаро қаршиликлар.

Бирлаштириш натижасида қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} \dot{J}_1 &= \dot{J}_{11} - \dot{J}_{12} \\ \dot{J}_2 &= \dot{J}_{22} - \dot{J}_{21} \end{aligned} \right\} \quad (2.86)$$

$$\text{Бу ерда, } \dot{J}_{11} = \frac{\dot{E}_q}{\dot{Z}_{11}}; \quad \dot{J}_{22} = \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_{22}}; \quad \dot{J}_{12} = \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_{12}}; \quad \dot{J}_{21} = \frac{\dot{E}_q}{\dot{Z}_{21}}.$$

Маълумки, генераторнинг тўла қуввати қуйидагича аниқланади:

$$\dot{S}_r = P_r + jQ_r = \dot{E}_q \cdot \dot{J}_1 = \dot{E}_q \left(\frac{\dot{E}_q}{\dot{Z}_{11}} - \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_{12}} \right); \quad (2.87)$$

Бу ерда, $\hat{J}_1$, $\hat{E}_q \hat{U}_c$ - комплекс тоқлар ва кучланишларнинг қўшмалари, $\hat{Z}_{11}$ $\hat{Z}_{12}$ - комплекс қаршилиқларнинг қўшмалари.

Комплекс қаршилиқлар:

$$\hat{Z}_{11} = Z_{11} \cdot e^{j\psi_{11}}$$

$$\hat{Z}_{22} = Z_{22} \cdot e^{j\psi_{22}}$$

$$\hat{Z}_{12} = Z_{21} = Z_{12} e^{j\psi_{12}}$$

$$Z_{11} = \sqrt{r_{11}^2 + x_{11}^2} \cdot Z_{22} = \sqrt{r_{22}^2 + x_{22}^2}.$$

Бу ерда, $Z_{12} = \sqrt{r_{12}^2 + x_{12}^2}$ - мос комплекс қаршилиқларнинг модуллари;

$$\Psi_{11} = \arctg \frac{r_{11}}{x_{11}}; \quad \Psi_{22} = \arctg \frac{r_{22}}{x_{22}}; \quad \Psi_{12} = \arctg \frac{r_{12}}{x_{12}}; \quad - \text{мос}$$

комплекс қаршилиқларнинг аргументлари.

$\hat{U}_c$ вектори санок ўқи билан устма-уст тушади деб ҳисоблаймиз:

$$\hat{U} = U_c;$$

Бундан ташқари,

$$\hat{E}_q = E_q \cdot e^{+j\delta}, \quad \hat{E}_q = E_q e^{-j\delta} \quad \text{ва} \quad \hat{E}_q \cdot \hat{E}_q = E_q^2$$

эканлигини ҳисобга оламиз.

Бундай ҳолда қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} \hat{S} &= \hat{E}_q \left[\frac{\hat{E}_q}{\hat{Z}_{11}} - \frac{\hat{U}_c}{\hat{Z}_{12}} \right] = \hat{E}_q \left[\frac{E_q \cdot e^{-j\delta}}{Z_{11} \cdot e^{-j\psi_{11}}} - \frac{U_c}{Z_{12} \cdot e^{-j\psi_{12}}} \right] = \\ &= \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot e^{j\psi_{11}} - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot e^{j(\delta + \psi_{12})} = \\ &= \frac{E_q^2}{Z_{11}} (\cos \Psi_{11} + j \sin \Psi_{11}) - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} [\cos(\delta + \Psi_{12}) + j \sin(\delta + \Psi_{12})] \end{aligned} \quad (2.88)$$

Тенгламанинг чап ва ўнг томонларидаги ҳақиқий ва мавҳум қисмларни ўзаро тенглаштириш асосида ($\Psi_{11} + \alpha_{11} = 90^\circ$ ни назарда тутиб) қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$P_r = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \cos \Psi_{11} - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos(\delta + \Psi_{12}) =$$

$$= \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cos(90^\circ - \alpha_{11}) - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos[90^\circ - (\alpha_{12} - \delta)] \quad (2.89)$$

ёки

$$P_r = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \sin \alpha_{11} + \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.90)$$

Генераторнинг система билан мураккаб боғланган ҳолатида реактив қувват ҳам шу каби аниқланади:

$$Q_r = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \cos \alpha_{11} - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.91)$$

Системага берилувчи қувват ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\dot{S}_c = P_c + jQ_c = \dot{U}_c \cdot \dot{J}_2 = U_c(-J_{22} + J_{21}) =$$

$$= U_c \cdot \left[-\frac{U_c}{Z_{22} \cdot e^{-j\Psi_{22}}} + \frac{\dot{E}_q \cdot e^{-j\delta}}{Z_{21} \cdot e^{-j\Psi_{21}}} \right] =$$

$$= \frac{U_c^2}{Z_{22}} \cdot e^{j\Psi_{22}} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot e^{j(-\delta + \Psi_{21})} = \quad (2.92)$$

$$= \frac{U_c^2}{Z_{22}} \cdot (\cos \Psi_{22} + j \sin \Psi_{22}) + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} [\cos(-\delta + \Psi_{21}) + j \sin(-\delta + \Psi_{21})];$$

ёки

$$P_c = -\frac{U_c^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot \sin(\delta + \alpha_{21}) \quad (2.93)$$

$$Q_c = \frac{-U_c^2}{Z_{22}} \cos \alpha_{22} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot \cos(\delta + \alpha_{21}) \quad (2.94)$$

$\dot{Z}_{12}$ ва $\dot{Z}_{21}$ кучланишлар ва мос шахобчалар токлари орасидаги комплекс пропорционаллик коэффицентлари бўлганлиги учун (реал микдорларни характерламайди) бу коэффицентларни характерловчи бурчаклар α_{12} ва α_{21} лар манфий ёки мусбат бўлиши мумкинлигини ҳисобга олиш лозим. α_{11} ва α_{22} микдорлар доимо мусбатдир, чунки улар реал микдорларни характерлайди.

Қувват характеристикасини кураимиз. Характеристикаларнинг максимумлари бир-бирларига нисбатан ўзаро қаршиликлар Z_{12} нинг актив ташкил этувчисига боғлиқ бўлган $\pm \alpha_{12}$ бурчакка фарқ қилади (2.28- расм).

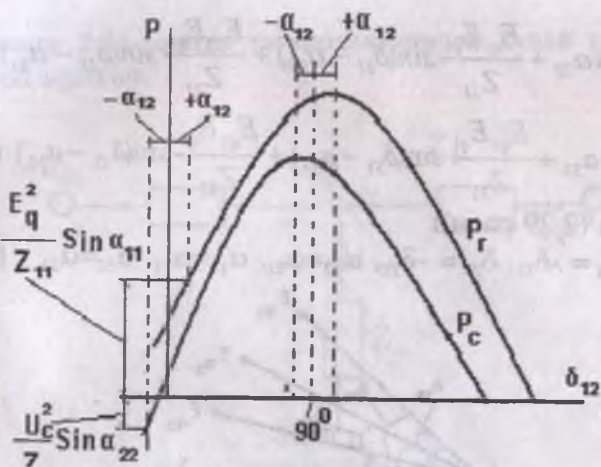
Характеристикаларнинг ординаталаридаги фарқ қувватни қабул қилувчи системага узатишдаги актив қувват исрофи $\Delta P = P_r - P_c$ ни ифодалайди.

Шу каби боғланишлар синхрон генераторда ишлаб чиқарилувчи ва қабул қилувчи системага узатилувчи реактив қувват учун қурилиши мумкин.

Юқоридагиларни умумлаштириб, ихтиёрий мураккабликдаги электр системасида ишловчи i - генераторнинг актив ва реактив қувватлари учун ифодаларни ёзишимиз мумкин:

$$P_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \sin(\delta_j - \alpha_j) \quad (2.95)$$

$$Q_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \alpha_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \cos(\delta_j - \alpha_j). \quad (2.96)$$



2.28-расм. Иккита станция мавжуд бўлганда система қувватининг бурчак характеристикалари.

Бу ерда, E_i – i - генераторнинг э.ю.к., E_j – узокдаги j - генераторнинг э.ю.к.

Қувватларнинг ифодаларидаги иккинчи ташкил этувчилар $j=n-1$ та манбанинг, ҳар бирининг қиймати синхрон ўққа нисбатан аниқланувчи ўзаро бурчаклар $\delta_{ji} = \delta_j - \delta_i$ га боғлиқ бўлган (бунда $j \neq i$ n - генераторлар сони), синусоидал бурчак характеристикалари йиғиндисини ифодалайди.

Юқорида келирилган электр системаси схемаси (2.25-расм) мисолида қувват ифодаларини ёзамиз. Фараз қиламиз, учинчи шахобчада E_{q3} ва $E_q = E_{q1}$, $U_c = E_{q2}$ э.ю.к.га эга бўлган генератор мавжуд.

Бундай ҳолда 1, 2, 3 генераторлар учун актив қувват ифодалари мос ҳолда қуйидаги кўринишларга эга бўлади:

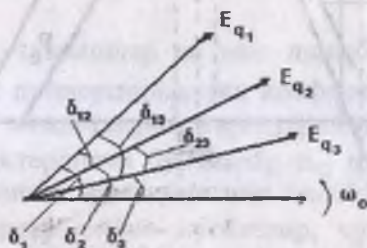
$$P_i = \frac{E_{q1}^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_{q1} E_{q2}}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{E_{q1} E_{q3}}{Z_{13}} \sin(\delta_{13} - \alpha_{13}) \quad (2.97)$$

$$P_2 = \frac{E_{q2}^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} + \frac{E_{q2} E_{q1}}{Z_{21}} \sin(\delta_{21} - \alpha_{21}) + \frac{E_{q2} E_{q3}}{Z_{23}} \sin(\delta_{23} - \alpha_{23}) \quad (2.98)$$

$$P_3 = \frac{E_{q3}^2}{Z_{33}} \sin \alpha_{33} + \frac{E_{q3} E_{q1}}{Z_{31}} \sin(\delta_{31} - \alpha_{31}) + \frac{E_{q3} E_{q2}}{Z_{32}} \sin(\delta_{32} - \alpha_{32}) \quad (2.99).$$

Бу ерда (2.29-расм):

$$\delta_{12} = -\delta_{21}, \delta_{13} = -\delta_{31}, \delta_{23} = -\delta_{32}, \alpha_{12} = \alpha_{21}, \alpha_{13} = \alpha_{31}, \alpha_{32} = \alpha_{23} \quad (2.100)$$



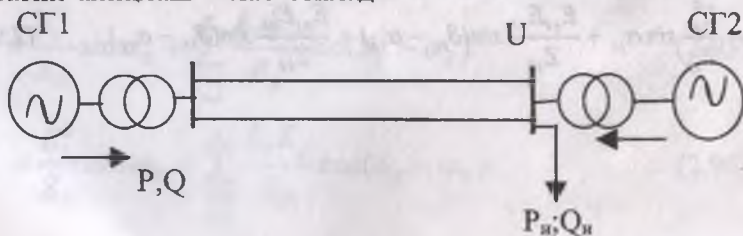
2.29- расм.

Шундай қилиб, ҳосил қилинган ифодадар бўйича мураккаб системадаги генераторларнинг қувватлари барча генераторлар роторларининг бурчаклари фаркига (ўзаро бурчакларга) боғлиқдир. Қувват тенгламаларидаги ташкил этувчилар сони доимо, устма-уст қўйиш принципларидан келиб чиққанидек, генераторлар (станциялар) сонига тенгдир.

2.13. Узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси

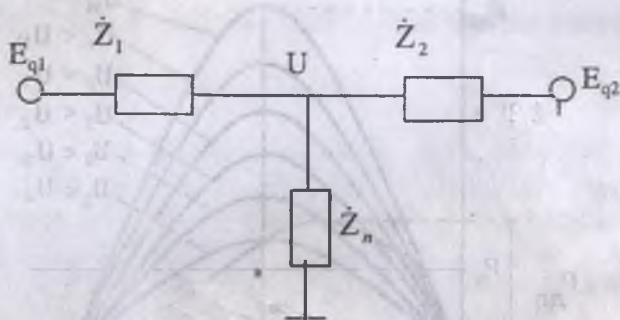
Иккита станциядан ташкил топган системанинг схемасини кўриб ўтамиз (2.30-расм).

Биринчи станциядан узатилиши мумкин бўлган максимал қувватни аниқлаш талаб этилади.



2.30- расм.

Схемани 2.31-расмда тасвирланганидек қулай кўринишга келтириш мумкин.



2.31- расм.

Комплекс қаршиликларнинг актив ташкил этувчилари реактив ташкил этувчиларига нисбатан жуда кичик деб ҳисоблаймиз. Бундай ҳолда

$$Z_1 = X_{r_1} + X_{T_1} + \frac{X_L}{2} = X_1$$

$$Z_2 = X_{r_2} + X_{T_2} = X_2$$

$$Z_n = \frac{U^2}{S_n} (\cos \alpha_n + j \sin \alpha_n) = X_n$$

$$Z_{12} = X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_n}$$

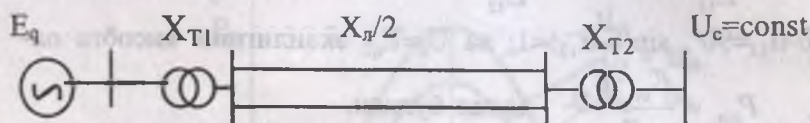
Генераторнинг бурчак характеристикаси $P=f(\delta)$ ни юклама шинасида қучланиш турлича бўлган ҳоллар учун қуйидаги формула асосида курамиз:

$$P = \frac{E_q \cdot U}{X_1} \sin \delta. \quad (2.101)$$

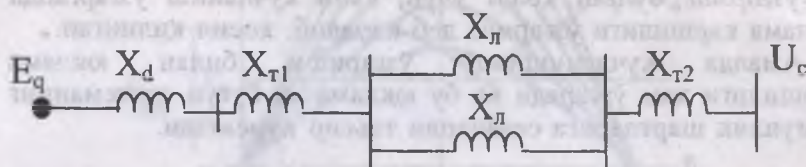
Бу ерда, $U=U_H$ – юкламадаги жорий қучланиш (номинал ҳолатда $U_H=U_{HO}$).

Узатиловчи қувват қандайдир микдорга ошганда юкламадаги қучланиш $U_1 < U_H$ гача пасаяди ва бу қучланишга мос келувчи бурчак характеристикасининг максимуми пастроқ $P_{m1} < P_{mH}$ бўлади. Агар бу жараёни давом эттирсак характеристикалар тўплами ҳосил бўлади (2.32-расм).

Улардан энг муҳимларини кўриб ўтамиз. Электр система-сининг содда схемаси берилган бўлсин (2.33- расм).



2.33- расм.



2.34- расм.

Генератордан узатилувчи қувват қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$P_1 = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.103)$$

Электр тармоқ элементларининг актив қаршиликлари ҳисобга олинмаганда ($r_i=0$) бу формула соддалашади:

$$P_r = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta \quad (2.104)$$

Бу ерда $P_m = \frac{E_q U_c}{X_{\Sigma}}$, $X_{\Sigma} = X_d + X_{T1} + \frac{X_{\pi}}{2} + X_{T2}$.

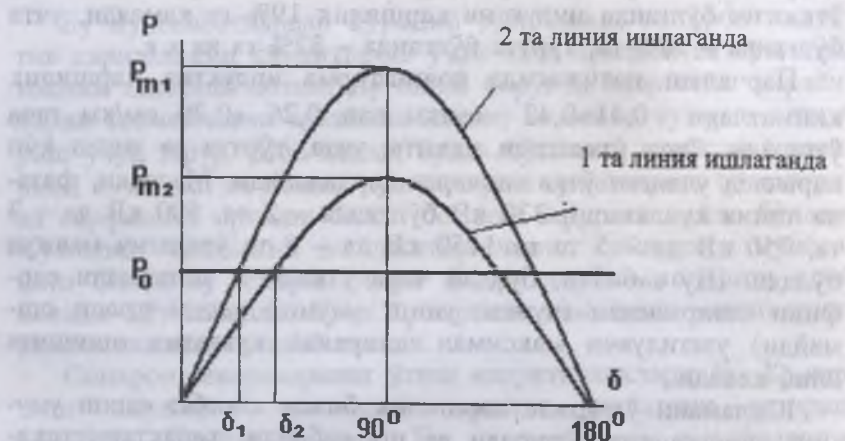
Формуланинг тузилишидан кўринадики, P_m нинг ифодасига кирувчи микдорларга таъсир этиш ёки уларни ўзгартириш орқали характеристиканинг максимумини ошириш, яъни узатилиши мумкин бўлган энг катта қувватни ошириш ва шу орқали қуйидаги муносабатдан аниқланувчи статик турғунлик захирасини ошириш мумкин:

$$K_c = \frac{P_m - P_o}{P_o} 100\% \quad (2.105)$$

Уларни алоҳида кўриб ўтамиз ва ўзгариш имкониятларини аниқлаймиз. Индуктив қаршиликлардан бошлаймиз.

Қаршиликлар. Трансформаторларнинг қаршиликлари ва уларнинг ўзгариши аппаратнинг конструктив хусусиятлари билан белгиланади, шу сабабли ишлатиш даврида трансформатор статик турғунликни ҳисоблашда номинал маълумотлар – қувват, қисқа туташув кучланишлари билан аниқланувчи берилган қаршилик кўринишида ифодаланади. Электр узатиш линияларининг формулага кирувчи қаршиликлари занжирлардан бири, бир қисми ва бўлаги узилган ҳоларда ўзгариши мумкин. X , қувват ифодасининг махражига кирганлиги сабабли мос ҳолда бурчак характеристикасининг максимуми ўзгаради: занжирлардан бири узилганда унинг қиймати P_{m1} дан P_{m2} гача камаяди, нормал ҳолатга мос келувчи бурчакнинг қиймати эса, δ_1 дан δ_2 гача ошади. P_m ни ошириш мақсадида янги занжир қўйилади.

Эътиборга олиш лозимки, узатилиши мумкин бўлган энг катта қувват ва статик турғунлик захирасини ошириш мақсадида электр узатиш линияларининг параллел занжирлари сонини ошириш қиммат турувчи тадбир ҳисобланади.



2.35- расм. Узатманинг битта занжири узилган ҳолда (2.33- расм) қувватнинг бурчак характеристикаси.

Шу сабабли, узун линияларда фаза ўтказгичларини парчалаш тадбири қўлланилади (кучланишнинг юқорироқ синфига

ўтишдан ташқари). Маълумки, линиянинг l км узунлигига келтирилган солиштирма индуктив қаршилик куйидагича аниқланади:

$$X_0 = 0.144 \lg \frac{D_{\text{фр}}}{r_s}$$



Бу ерда, $D_{\text{фр}}$ – фаза ўтказгичлари ораларидаги ўртача геометрик масофа; r_s – эквивалент радиус.

Фаза ўтказгичлари парчаланганда индуктив қаршиликнинг камайиши ўтказгичларнинг магнит майдонларини қайта тақсимланиши билан тушунтирилади: парчаланган ўтказгичлар ораларидаги майдон заифлашади ва гуё материал сарфи ўзгармаган ҳолда ўтказгич кесим юзасини ошириб, майдон ташқарига сиқиб чиқарилади. Белгилаш лозимки, ўтказгични парчалашда ҳар бир қўшимча ўтказгич янада камроқ ва камроқ самара беради. Масалан, фазада иккита ўтказгич бўлганда индуктив қаршилик 19% га камаёди, учта бўлганда – 28% га, тўртта бўлганда – 32% га ва ҳ.к.

Парчалаш натижасида солиштирма индуктив қаршилик қийматлари $0,41 \pm 0,42$ ом/км дан $0,26 \pm 0,29$ ом/км гача ўзгаради. Фаза ўтказгичи иккита, учта, тўртта ва ундан кўп параллел уланган ўтказгичларга парчаланadi. Масалан, фазада линия кучланиши 330 кВ бўлганда – 2 та, 500 кВ да – 3 та, 750 кВ да – 5 та ва 1150 кВ да – 8 та ўтказгич мавжуд бўлади. Шу сабабли, бундай чора ўтказгич материали сарфини оширмасдан (чунки, унинг умумий кесим юзаси ошмайди) узатилувчи максимал чегаравий қувватни ошишига олиб келади..

Юкламани ўзгармас қаршилик билан ҳисобга олиш умумий қаршиликни оширади ва шу сабабли, характеристиканинг максимумини пасайтиради.

Синхрон генераторларнинг индуктив қаршиликлари кўп факторларга боғлиқ.

Машина параметрларининг миқдорлари ва уларнинг нархи ўртасида маълум алоқа мавжуд, чунки индуктив қаршиликлар электромагнит юкламалар миқдори билан

аникланади. Синхрон генераторнинг индуктив қаршиликларини, хусусан X_d ни камайтириш машина габаритларини ошириш ва фойдали иш коэффициентини камайтириш билан боғлиқ бўлган ўта қийин ва қиммат йўлдир. Бу масалани тўлиқроқ кўриб ўтамиз.

Маълумки, синхрон индуктив қаршиликларнинг қийматлари машинанинг статор ва ротор ҳаво оралиғи микдорига тескари пропорционалдир:

$$X_d \equiv \frac{1}{\varepsilon} \quad X_q \equiv \frac{1}{\varepsilon}.$$

Бу ерда, ε - статор ва ротор орасидаги ҳаво оралиғи.

Шу билан бир вақтда X_d кўзғатиш токига ҳам тескари пропорционал:

$$X_d \equiv \frac{1}{i_f}.$$

Бу муносабатлардан кўриниб турибдики, синхрон индуктив қаршилиқни камайтириш учун ҳаво оралиғи ва кўзғатиш токини ошириш лозим. Бу ошиб боровчи энергетик жараёнларни таъминловчи қўшимча магнит оқимини вужудга келтириш учун зарур. Мос ҳолда, бунда кўзғатиш қувватини ошириш, кўзғатиш ва бошқа чулғамларни кучайтириш (у материал сарфининг ортиши билан боғлиқ) зарурати пайдо бўлади. Кўзғатиш чулғамини жойлаштиришнинг қийинлиги муносабати билан бу генераторнинг габаритларини ошишига олиб келади. Шу сабабли, X_d ва X_q ларнинг камайтиши машинанинг қимматлашишига олиб келади.

Синхрон генераторнинг ўтиш индуктивликлари X_d , X_q ларнинг камайтиши чулғамдаги токнинг зичлигини ошириш ҳисобига бўлиши мумкин. Бу ўз навбатида исрофларнинг ошиши, фойдали иш коэффициентининг камайтиши, генераторнинг оғирлиги ва мос ҳолда нархини ортишига олиб келади.

Белгиланган муаммолар замонавий, қуввати 200-1200 МВт бўлган генераторларни қуришда ўта муҳим ҳисобланади. Уларда турли типдаги ҚАРларни қўллаш самаралироқ ҳисобланиб, амалда улар ёрдамида генераторларнинг синхрон

Кўндаланг компенсация ўзида узатиш линиясига трансформатор орқали уланган синхрон компенсатор (СК)ни ифодалайди. СК уланиш нуқтасида кучланишни тутиб туриб, линия узунлиги ва мос ҳолда унинг қаршилигини камайтириш эффекттини беради.

Хозирги даврда реактив қувватнинг ўта самарали, тез ишловчи, ишлаш вақти 0,02-0,06 сек бўлган, статик манбалари (реактив қувватнинг статик манбаси - РКСМ) қўлланилади. Бу қурилмалар ростланувчи реактор ва ростланмайдиган конденсатор ҳамда бошқариш системасига эга. Улар қувватни оширишдан ташқари, кенг доирадаги вазифаларни бажаради: ҳолат параметрларини фазалар бўйича ростлашни амалга оширади, ўта кучланишларни бартараф этади, кучланишни кенг диапазонда ростлайди, статик ва динамик турғунлик захирасини оширади.

Компенсаторлар оиласига, шунингдек, электр узатиш линияларининг сиғимларини компенсацияловчи ва уланиш нуқтасида кучланишни, ўзакнинг тўйиниш характеристикасини эгри чизиклилиги ҳисобига, тутиб турувчи ростланувчи ва ростланмайдиган реакторлар ҳам киради.

Синхрон генераторнинг статик турғунлик мезони бўлиб $\frac{dP}{d\delta} > 0$ шарт ҳисобланиши ва узатилувчи максимал қувват P_m да синхронловчи қувват нолга тенг бўлиб қолишини яна бир бор эслатиб ўтиш лозим.

Шу сабабли, амалий шароитларда бу қувватни узатиш мумкин эмас, чунки юкламанинг кичик миқдорга туртилиши генераторнинг синхронизмдан чиқиб кетишига олиб келади, шунинг учун нормал узатилувчи P_0 қувват P_{max} га нисбатан кичик бўлиши шарт. Унинг миқдори системанинг статик турғунлиги захира коэффициентидан келиб чиқиб аниқланади.

Юқорида баён этилганлардан қуйидаги хулосани ҳосил қилиш мумкин:

1. Узатилувчи қувватнинг идеал чегараси деб қабул қилувчи шиналардаги кучланишлар ўзгармас деб қаралганда системага узатилувчи максимал қувватга айтилади.

2. Содда системанинг статик турғунлиги мезони бўлиб, узатилувчи қувватнинг генераторнинг э.ю.к. ва узатманинг

кабул килувчи чеккасидаги кучланиш ўртасидаги бурчак бўйича ҳосиланинг мусбатлиги ҳисобланади, $\frac{dP}{d\delta} > 0$.

3. Статик турғунликнинг захира коэффиценти электр системаси турғунлигининг бузилишини олдини олиш учун станциядан тармоққа узатилувчи қувватни қанча микдорга ошириш мумкинлигини кўрсатади.

4. Кўзгатишнинг замонавий автоматик ростлагичлари (ҚАР-к, ҚАР-п) элементларнинг индуктив қаршиликларини, шу билан биргаликда синхрон генераторнинг индуктив қаршилигини ҳам, кўзгатиш системасини электр системаси параметрларига боғлиқ ҳолда самарали ростлаш ҳисобига компенсациялаши мумкин.

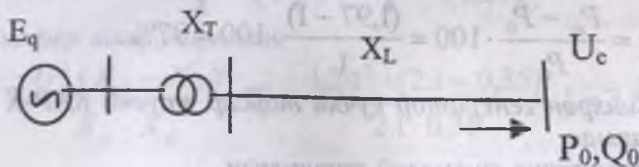
Қувватнинг статик чегарасини оширишнинг келтирилган барча чораларини баҳолаб, энг иқтисодий чоралар генератор ва юкламалар шиналаридаги кучланишларни ўзгармас тутиб туришга йўналтирилган чоралар деб хулоса ҳосил қилиш мумкин. Генераторларда турли типдаги ҚАРлар ва реактив қувватнинг замонавий тез ишловчи статик манбаларини қўллаш амалда, алоҳида узатма ва бутун электр системасида узатилувчи қувват чегаралари ва статик турғунлик захирасини оширишнинг энг рационал ва иқтисодий чораси ҳисобланади

2.1- мисол:

1. Генераторда

- ҚАР мавжуд бўлмаган;
- пропорционал типдаги ҚАР-П мавжуд;
- кучли таъсир этувчи ҚАР-К мавжуд бўлган ҳоллар учун статик турғунлик захирасини аниқланг.

2. Гурвиц мезонидан фойдаланиб, ҚАР мавжуд бўлмаган ҳолат учун системанинг турғунлик шартини аниқланг. Параметрлар: $U_c=1$, $P_0=1$, $Q_0=0,4$, $X_L=0,3$, $X_T=0,12$, $X_d=2,1$, $X_d'=0,35$, $T_j=7$ сек, $T_d'=1$ сек.



Ечиш. 1) Синхрон генераторда ҚАР мавжуд бўлмаган ҳолат, $E_q = \text{ўзгармас}$.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_T + X_L = 2,1 + 0,12 + 0,3 = 2,52.$$

Салт ишлашнинг синхрон э.ю.к.

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,4 \cdot 2,52)^2 + (1 \cdot 2,52)^2} = 3,22$$

Узатиловчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} = \frac{3,22 \cdot 1}{2,52} = 1,278.$$

Статик тургунликнинг захира коэффиценти

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(1,278 - 1)}{1} \cdot 100 = 27,8\%.$$

2) Синхрон генератор пропорционал типдаги ҚАР-П га эга, $E = \text{ўзгармас}$.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_T + X_L = 0,35 + 0,12 + 0,3 = 0,77.$$

Ўткинчи э.ю.к.

$$E' = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,4 \cdot 0,77)^2 + (1 \cdot 0,77)^2} = 1,512$$

Узатиловчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{E' \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} = \frac{1,512 \cdot 1}{0,77} = 1,97.$$

Статик тургунликнинг захира коэффиценти

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(1,97 - 1)}{1} \cdot 100 = 97\%.$$

3) Синхрон генератор кучли таъсир этувчи ҚАР-К га эга, $U_r = \text{ўзгармас}$.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X_{\Sigma} = X_T + X_L = 0,12 + 0,3 = 0,42.$$

Генератор шиналаридаги кучланиш

$$U_r = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_o \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_o \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{0,4 \cdot 0,42}{1} \right)^2 + (1 \cdot 0,42)^2} = 1,24$$

Узатиловчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{U_r \cdot U_c}{X_{\Sigma}} = \frac{1,24 \cdot 1}{0,42} = 2,95.$$

Статик турғунликнинг захира коэффициенти

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(2,95 - 1)}{1} \cdot 100 = 195\%.$$

Берилган шароитларда тадқиқ қилинаётган система учун характеристик тенглама (2.29) га мувофиқ учинчи даражали бўлади:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

$$\text{Бу ерда: } a_0 = T_j \cdot T_d ; \quad a_1 = T_j + T_d \cdot P_d ; \quad a_2 = c_2 T_d + P_d ;$$

$$a_3 = c_1 = \frac{\partial P}{\partial \delta}.$$

Параметрларнинг коэффициентларига кирувчи қийматларни топамиз.

Инерция доимийси

$$T_j = \frac{T_j [c]}{\omega_0} = \frac{7}{314} = 0,022$$

$$c_1 = \frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{E \cdot U_c}{X_{\Sigma}} \cos \delta = \frac{3,22 \cdot 1}{2,52} \cdot 0,623 = 0,795$$

$$\text{Бу ерда, } \cos \delta = \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_m} \right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{1,278} \right)^2} = 0,623.$$

Демпфер коэффициенти

$$P_d = \frac{U_r^2 (X_d - X'_d)}{X_d \cdot X'_d} \cdot T_d = \frac{1,24^2 \cdot (2,1 - 0,35)}{2,1 \cdot 0,35} \cdot 1 = 3,66$$

$$c_2 = \frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{E_q' U_c}{X_{\Sigma}} \cos \delta - U_c^2 \cdot \frac{(X_d - X_d')}{X_{\Sigma} \cdot X_{\Sigma}} \cdot \cos 2\delta =$$

$$= \frac{(1,37 \cdot 1)}{0,77} \cdot 0,623 - \frac{(2,1 - 0,35)}{2,52 \cdot 0,77} \cdot 0,223 = 1,795,$$

Характеристик тенглама коэффициентлари

$$a_0 = T_j \cdot T_d' = 0,022 \cdot 1 = 0,022$$

$$a_1 = T_j + T_d' \quad P_d = 0,022 + 3,66 \cdot 1 = 3,682$$

$$a_2 = c_2 T_d' + P_d = 1,795 \cdot 1 + 3,66 = 5,455$$

$$a_3 = c_1 = 0,795$$

Гурвиц мезони шартлари бўйича тадқиқ қилинаётган система статик турғунлигининг зарурий ва етарли шартлари бўлиб, характеристик тенгламанинг барча коэффициентлари ва Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчисини мусбат бўлиши ҳисобланади.

Биринчи шарт бажарилади – бурча коэффициентлар мусбат.

Иккинчи шартни текшириш учун Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчиси қийматини топамиз:

$$\Delta_{Гур2} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0,$$

$$\Delta_{Гур2} = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 3,682 \cdot 5,455 - 0,022 \cdot 0,795 = 20,06$$

Шундай қилиб, тадқиқ қилинаётган система статик турғун, яъни кичик тебранишлар содир бўлганда улар сўнади ва система дастлабки ҳолатига қайтади, чунки барча илдизлар манфий ҳақиқий қисмларга эга.

Синов саволлари

1. Кичик оғишларда турғунлик муаммосининг маъноси нимадан иборат?

2. Узатилувчи қувватнинг идеал чегараси нима? У нима-ларга боғлиқ?

3. Статик турғушликнинг захира коэффициенти нима?
4. Синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини чизиклилаштиришнинг маъноси нимадан иборат?
5. Тадқиқ қилинаётган системанинг характеристик тенгламаси илдизлари ва улардаги ўтиш жараёнининг характери ўртасида қандай аълоқа мавжуд?
6. Гурвиц статик турғушлик мезони қандай ифодаланади?
7. Статик турғушлик бузилишининг қандай кўринишларини биласиз ва улар қачон юзага келади?
8. Суперпозициялаш (устма-уст кўйиш) усули. Унинг маъноси нимадан иборат? *
9. Узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси нима?
10. Узатилувчи қувват чегараси. Қачон у турғушлик чегараси билан бир хил бўлади?
11. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзғатиши. Уларнинг турлари ва фарқлари.
12. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши ва уни содир бўлишининг сабаблари.
13. Статик турғушлик захирасини оширишнинг қандай чораларини биласиз? Уларни санаб ўтинг ва тушунча беринг.

3. ЭЛЕКТР СИСТЕМАСИНИНГ ДИНАМИК ТУРҒУНЛИГИ

3.1. Масаланинг умумий тавсифи

Электр системаси истъеомолчиларни электр энергия билан нафақат ҳолат параметрларининг кичик ўзгаришида, балки унинг кескин ўзгаришларида ҳам узлуксиз ва турғун таъминлаши шарт. Бу ўзгаришлар катта кувватли юкламалар, ҳаво электр узатиш линиялари, генераторларни ихтиёрсиз равишда ўчирилиши ёки системада содир бўладиган қисқа туташувлар натижасида юз бериши мумкин. Булар орасида энг оғири генераторлар шинасига яқин жойда содир бўладиган қисқа туташувлар ҳисобланади. Бу кўринишдаги шикастланишлар учун ҳолат параметрларининг салмоқли ўзгариши характерли бўлиб, у генераторлар ва юкламаларнинг электромеханик тебранишларига сабаб бўлади. Масалан, юклама шинасида содир бўладиган уч фазали қисқа туташув таъсирида юклама электр энергиясисиз қолишидан ташқари генератор роторининг тезланиши туфайли унинг тезлиги ўсиши ва синхронизмдан чиқиши натижасида унинг тебраниши бутун системага узатилиши мумкин. Роторда тебраниш содир бўлишига асосий сабаб – турбинанинг айлантирувчи $P_0 = P_r$ ва генераторнинг электромагнит тормозловчи P_r моментлари орасидаги мувозанатнинг бузилишидир. Синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасидан кўринадики, турбинанинг бутун энергияси

$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - P_r = P_0 - \frac{E_q \cdot U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta, \quad (3.1)$$

генератор роторининг авариявий тезланишига сарфланади, чунки $P_r = 0$. Бу ички э.ю.к. E_q билан система кучланиши U орасидаги бурчак δ нинг вақт бўйича узлуксиз ўсишини билдиради. Ҳолат параметрларининг кескин ва катта

ўзгаришларида система ҳолатини текширишнинг асосий вазифаси – бу бурчак ва бошқа ҳолат параметрларининг, яъни $\delta=f(t)$, $U=f(t)$, $I=f(t)$ ва бошқаларнинг вақт бўйича ўзгариш характери аниқлаш, ҳамда генератор ва бутун системанинг динамик турғунлигини таъминлаш тадбирларини қўллашдир.

Бундан кейин жараён қаралаётганда система барқарор ҳолатининг оний бузилиши деб назарда тутамиз. Бу ҳақиқатга мос келади, чунки турбинанинг қуввати P_T ва бурчак δ инерционлик туфайли жараённинг биринчи лаҳзасида ўзгармасдан қолсада, электромагнит катталиклар тез ўзгаради.

3.2. Динамик турғунликни ҳисоблашда қабул қилинадиган асосий фаразлар

Системанинг динамик турғунлигини ўрганишда дифференциал тенгламани ечиш орқали асосан генератор э.ю.к. Еқ билан система кучланиши U_0 орасидаги бурчак $\delta = f(t)$ ва бошқа параметрларнинг вақт бўйича ўзгариши аниқланади.

Ўрганилаётган жараённинг мурраккаблигини ҳисобга олиб, динамик турғунликни ҳисоблашни соддалаштириш мақсадида қуйидаги фаразларни қабул қиламиз:

- ўтиш жараёни даврида энергетика системаси схемаларининг ўзгариши унинг хусусий ва ўзаро қаршилиқларининг ўзгариши орқали ҳисобга олинади;

- қисқа туташув даврида статор қисқа туташув токининг аperiодик ташкил этувчиси ва роторнинг магнит майдони ҳосил қилувчи тормозловчи момент генератор шинасига яқин жойда содир бўладиган 3- фазали қисқа туташувда турбинанинг айлантирувчи моментини, тахминан, 15%га камайтириш орқали ҳисобга олинади. Уч фазали қисқа туташув нуқтаси шинадан узоқда бўлганида бу тормозловчи моментнинг қиймати камлиги сабабли умуман ҳисобга олинмайди. Ўтиш жараёни даврида статор пўлатидаги исроф ўта магнитланиш ҳисобига ошади. Бу қувват исрофининг ошиши статор актив қаршилигини 1,2-2 бараварга ошириш билан ҳисобга олинади;

- носимметрик ҳолатлар симметрик ташкил этувчилар усули ёрдамида симметрик ҳолатлар билан алмаштирилади;

- носимметрик қисқа туташувда пайдо бўлувчи токнинг нолинчи ташкил этувчиси генератор орқали окмаганлиги сабали тормозловчи момент ҳосил қилмайди;

- генераторлар ва трансформаторларнинг тўйиниши уларнинг реактив қаршиликларини тахминан 20-30% га камайтириш орқали ҳисобга олинади. Барча катологларда, одатда, генераторлар ва трансформаторлар қаршиликларининг тўйинмаган қийматлари берилади;

- тахминий ҳисоблашларда ҚАРнинг таъсири ўткинчи X_d қаршилиқдан кейин қўйилувчи ўткинчи э.ю.к. E' ни ўзгармас деб қараш орқали ҳисобга олинади;

- генераторнинг электр қуввати оний равишда ўзгарса, турбинанинг қуввати ўтиш жараёнининг бошланғич лаҳзасида ўзгармасдан қолиб, фақат 0,2 – 0,3 секунддан кейин тезлик ростлагич таъсирида ўзгара бошлайди;

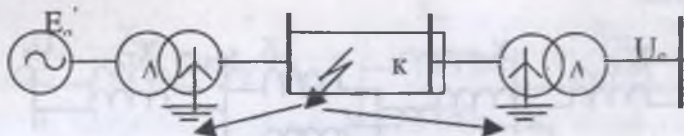
- тескари кетма-кетлик токлари ротор айланишига тескари йуланишда айланувчи магнит майдонини ҳосил қилади ва бу майдоннинг иккиланган частота билан айланиши натижасида иккиланган частота билан ўзгарувчи момент ҳосил бўлади. Роторнинг механик инерцияси катта бўлганлиги сабали роторнинг тезлиги тескари кетма-кетлик токи ҳосил қилувчи моментнинг ўзгаришига эргаша олмайди. Шу сабабли натижавий қувват нолга тенг бўлади. Тескари кетма-кетлик токи ҳосил қилувчи қувват исрофи алмаштириш схемасига тегишли қаршилиқни киритиш орқали ҳисобга олинади.

3.3. Қисқа туташув ва нотўлиқ фазали ҳолатларида алмаштириш схемаси

3.1- расмда келтирилган схемани кўриб ўтамиз. Бунда генераторда пропорционал таъсир этувчи ҚАР ўрнатилган, яъни X_d қаршилиқ ортидаги ўткинчи э.ю.к. E_q ўзгармас деб ҳисоблаймиз.

Бурчак характеристикаси ва ҳолат параметрларини шартли равишда қуйидагича белгилаймиз:

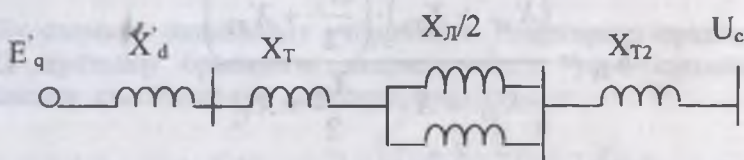
- I – нормал ҳолат;
 II – авариядан кейинги ҳолат;
 III – авария ҳолати.



3.1- расм. Электр системасининг схемаси.

Нормал ҳолат.

Нормал ҳолат учун схема (3.2-расм):



3.2- расм.

Системанинг суммавий қаршилиги:

$$X'_{d\Sigma_1} = X'_d + X_T + X_{T2} + \frac{X_L}{2}. \quad (3.2)$$

Нормал ҳолат бурчак характеристикасининг максимуми:

$$P_{m_1} = \frac{E'_q \cdot U_c}{X'_{d\Sigma_1}}. \quad (3.3)$$

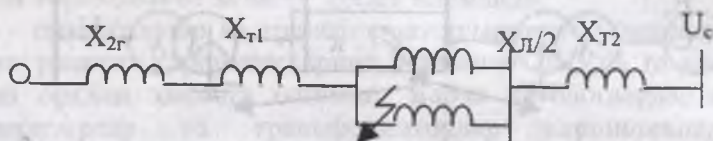
Авария ҳолати

Фараз қиламиз, ҳаво электр узатиш линиясининг бошланишида носимметрик қиска туташув содир бўлди. Авария ҳолатининг қаршилигини топиш учун симметрик ташкил этувчилар усулидан фойдаланамиз.

Ушбу усулга кўра, одатда, носимметрик қиска туташувни «авария шунти» деб аталувчи қушимча қаршилик ортида содир бўлган симметрик қиска туташув билан алмаштирилади. Бунинг учун токнинг тўғри, тескари ва нолинчи ташкил этувчилари учун алмаштириш схемасини тузиш за-

рур. Тўғри кетма- кетлик токи учун бошланғич схемадан фойдаланилади.

Тескари кетма- кетлик токи учун схема 3.3- расмда тасвирланган.

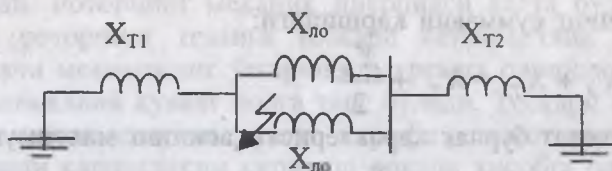


3.3- расм.

Тескари кетма- кетликнинг суммавий қаршилиги:

$$X_{2r} = \frac{(X_{2r} + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_{\text{Л}}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{2r} + X_{T1} + \frac{X_{\text{Л}}}{2} + X_{T2}} \quad (3.4)$$

Нолинчи кетма-кетлик токи учун схема 3.4- расмда тасвирланган.



3.4- расм.

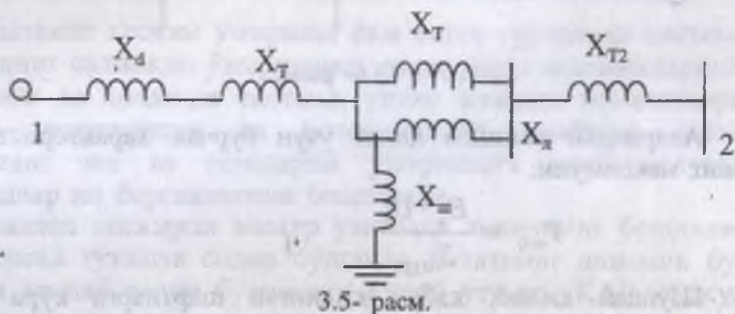
Нолинчи кетма-кетлик токи учун суммавий қаршилик:

$$X_{0r} = \frac{X_{T1} \cdot \left(\frac{X_{\text{Л0}}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{T1} + \frac{X_{\text{Л0}}}{2} + X_{T2}} \quad (3.5)$$

Линиянинг нолинчи кетма-кетлик қаршилиги:

$$X_{\Sigma 0} = (2+3)X_{\Gamma}.$$

Авария ҳолати учун комплекс схема авария шунтини ҳисобга олиб тузилади (3.5- расм).



Бу схеманӣ эквивалент учбурчакка ўзгартириш орқали 1 ва 2 нуқталар орасидаги, авария ҳолати учун суммавий қаршилиқ ҳисобланувчи қаршилиқни топамиз:

$$X_{\Sigma III} = (X_d' + X_{T1}) + \left(\frac{X_{T2}}{2} + X_{T2} \right) + \frac{(X_d' + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_{T2}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{\Sigma}}; \quad (3.5a)$$

Авария шунтининг қиймати қуйидагича қабул қилинади:

- бир фазали қисқа туташув учун $X_{\Sigma} = X_{2\Sigma} + X_{20}$;
- икки фазали қисқа туташув учун $X_{\Sigma} = X_{2\Sigma}$;
- ер орқали икки фазали қисқа туташув учун

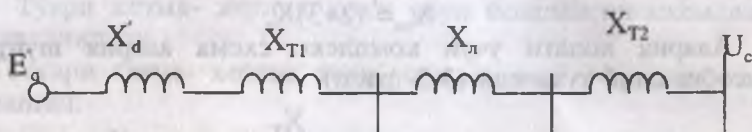
$$X_{\Sigma} = \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{\Sigma 0}}{X_{2\Sigma} + X_{\Sigma 0}}. \quad (3.6)$$

Авария ҳолати учун бурчак характеристикасининг максимуми:

$$P_{m_{III}} = \frac{E_q' \cdot U_c}{X_{\Sigma III}} \quad (3.7)$$

Авариядан кейинги ҳолат. Линиянинг битта занжири узилган авариядан кейинги ҳолатнинг суммавий қаршилиги (3.6-расм):

$$X_{d\Sigma U} = X_d' + X_{T1} + X_{\Sigma} + X_{T2} \quad (3.8)$$



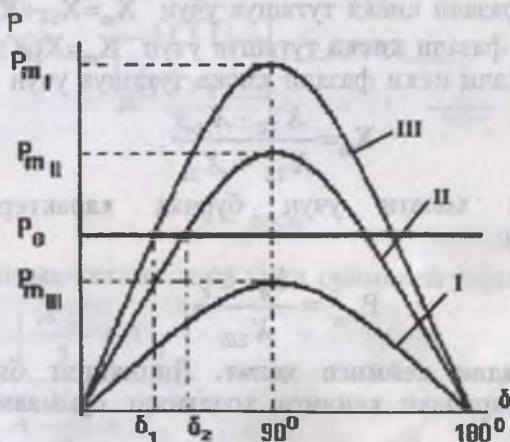
3.6- расм.

Авариядан кейинги ҳолат учун бурчак характеристикасининг максимуми:

$$P_{mII} = \frac{E'_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma\Pi}} \quad (3.9)$$

Шундай қилиб, қабул қилинган шартларга кўра оддий электр системасининг динамик турғунлигини ҳисоблаш юқорида кўрилган алмаштириш схемасидан келиб чиқиб бажарилади. Агар қиска туташув жойи, тури ва авария шунтининг қиймати етарлича аниқ топилган бўлса, у ҳолда олинувчи натижалар электромеханик ўтиш жараёнларини, асосан, тўғри ифодалайди. Чунки электр системасининг айланувчи элементлари – генератор, двигател, компенсатор ва ҳ.к.ларда жамланган энергиянинг қайта тақсимланиши бунга боғлиқдир.

3.7-расмда тегишли характеристикалар келтирилган.



3.7- расм. Нормал (I), авариядан кейинги (II) ва авария (III) ҳолатларининг бурчак характеристикаси.

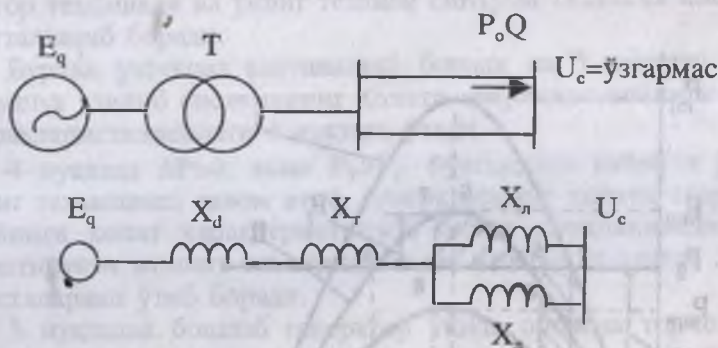
3.4. Системанинг динамик турғунлиги.

Динамик турғунликни ҳисоблашнинг майдонлар усули.

Динамик турғунликнинг оддий мезони

Ҳолатнинг кескин ўзгариши ёки катта турткилар система ҳолатининг салмоқли ўзгаришини, яъни унинг элементларида, схемасида ва ҳолатида система, унинг алоҳида элементлари орқали узатилаётган ва истемолчилар олаётган актив қувватнинг тез ва сезиларли ўзгаришига олиб келувчи ўзгаришлар юз берганлигини билдиради.

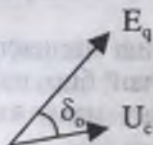
Параллел занжирли электр узатмада линиянинг бошланишида қисқа туташув содир бўлганда ҳолатнинг динамик бузилиши қандай содир бўлишини кўриб ўтамиз. ҚАР мавжуд бўлмаган ҳолатни оламиз (3.8- расм).



3.8- расм.

Агар P_o , Q_o , U_c аниқ булса, у ҳолда:

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_o \cdot X_{d\sum}}{U_c}\right)^2 + \left(\frac{P_o \cdot X_{d\sum}}{U_c}\right)^2} \quad (3.10)$$



E_q билан U_o орасидаги бурчак:

$$\delta_0 = \arctg \frac{P_0 \cdot X_{\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 \cdot X_{\Sigma}} \quad (3.11)$$

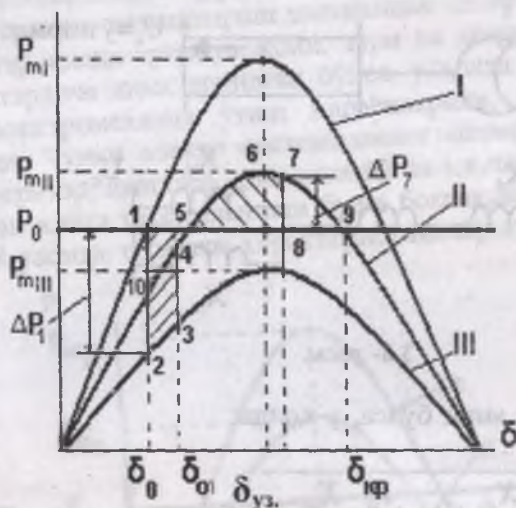
Системанинг бошланғич ҳолатига мос келувчи бурчак хара-
ктеристикаси қуйидаги муносабат бўйича аниқланилади:

$$P = \frac{E_q U_c}{X_{\Sigma 1}} \sin \delta \quad (3.12)$$

Хара-ктеристиканинг ма-ксиму-ми:

$$P_{m1} = \frac{E_q \cdot U_0}{X_{d\Sigma 1}} \quad (3.13)$$

Бу ерда, $X_{\Sigma 1} = X_d + X_T + X_n / 2$



3.9- расм. Майдонлар усулини тушунтиришга доир.

Фараз қиламиз, электр узатиш линиясининг битта занжи-
ри қисқа туташувни узиш билан бир пайтда ўчирилди. Бу
ҳолатда кувват формуласининг махражи қуйидагига тенг
бўлади:

$$X_{\Sigma_{\text{н}}} = X_d + X_T + X_{\text{л}} \quad (3.14)$$

ва авариядан кейинги ҳолат характеристикасининг максимуми

$$P_{\text{мII}} = \frac{E_q \cdot U_0}{X d_{\Sigma \text{II}}} \quad (3.15)$$

Нормал ҳолат характеристикасидан (I) авария ҳолат характеристикасига (III) ўтиш (3.9- расм) бурчакнинг нормал ҳолатдаги киймати δ_0 да содир бўлади (1 нуктадан 2 нуктага).

Генераторнинг валида пайдо бўладиган баланслашмаган момент $\Delta P_1 = P_T - P_r$ тезлаштирувчи бўлади, чунки бунда турбинанинг қуввати инерционлиги туфайли ўзгармасдан қолиб, генераторнинг тормозловчи қуввати камаяди $P_T > P_r$. Натижада, ротор тезлашади ва унинг тезлиги синхрон тезликка нисбатан катталашиб боради.

Бурчак узлуксиз катталашиб боради ва 3 нуктада қисқа туташув узилиб системанинг ҳолати авариядан кейинги ҳолат характеристикасидаги 4 нуктага ўтади.

4 нуктада $\Delta P > 0$, яъни $P_T > P_r$ бўлганлиги сабабли роторнинг тезлашиши давом этиб, генераторнинг ҳолати авариядан кейинги ҳолат характеристикаси билан аниқланилади. Тезлаштирувчи момент таъсирида ҳолат кетма-кет тарзда 5, 6, 7 нукталардан ўтиб боради.

5 нуктадан бошлаб генератор ўқида ортикча тормозловчи момент пайдо бўлади, чунки бу нуктадан кейин $\Delta P < 0$, яъни $P_T < P_r$ ва 7 нуктада роторнинг нисбий ҳаракати тугайди ва унинг тезлиги яна синхрон тезликка тенглашади. Бу нуктада ҳолат нотурғун, чунки $\Delta P < 0$ ($P_T < P_r$) бўлганлиги сабабли генератор валида тормозловчи характерга эга бўлган ортикча қувват устунлик қилади ва унинг таъсирида бурчак камая бошлайди, генераторнинг ҳолати кетма-кет тарзда 7, 6, 5, 4, 10, нукталар билан аниқланиб, авариядан кейинги характеристика II бўйлаб пастга йўналади.

Шундай қилиб, жараён тебранувчан бўлади ва доимо сўниб боради. Ротор 2 нуктадан 5 нуктагача бўлган ораликда тезлашади ва 5 нуктадан 7 нуктагача бўлган ораликда тормозланади. Шунинг учун 1-2-3-4-5 майдон тезланиш майдони ($S_{\text{тез}}$), 5-6-7-

8 майдон эса тормозланиш майдони дейилади ($S_{\text{тор}}$). 5-6-7-9-8-5 майдон мумкин бўлган тормозланиш майдони дейилади ($S_{\text{тм}}$). Ротор бир печта тебранишлардан сўнг 5 нуктага қайтади. Бундай ҳолат динамик **турғун ҳолат** дейилади.

Агар 1-2-3-4-5 майдон чегарасида ротор олган энергиясини 5-6-7-9-8-5 майдон чегарасида қисман сарфласа, қолган энергия ҳисобига у 9 нуктадан ўтиб кетади ва тезланишини давом этиради. Бурчак ҳамма вақт ўсиб боради. Бундай ҳолат **нотурғун ҳолат** дейилади. Динамик ўтиш жараёни турғун бўлиши учун тезланиш майдони мумкин бўлган тормозланиш майдондан кичик бўлиши шарт. Бошқа сўз билан айтганда, роторнинг тезланишда олган қўшимча кинетик энергияси тормозланиш даврида тўлалигича сарфланиши лозим.

Шундай қилиб, динамик турғунлик сақланиши учун қўйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$S_{\text{тм}} > S_{\text{тез}} \quad (3.16)$$

Бу ерда, $S_{\text{тм}}$, $S_{\text{тез}}$ - мумкин бўлган тормозланиш ва тезланиш майдонлари.

Кўриб чиқилган жараён энергетик асосда бўлиб, адабиётларда турғунликни аниқлашнинг майдонлар усули ёки майдонлар принципи деб юритилади.

Кейинчалик бу усул батафсилроқ қараб чиқилади.

Роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси

$$T_j \cdot \frac{d^2 \delta}{dt} = P_o - P_m \cdot \sin \delta \quad (3.17)$$

эгри чизикли ҳисобланади ва у умумий ечимга эга эмас. Шу сабабли, уни ечиш учун майдонлар усулини қўллаш мумкин.

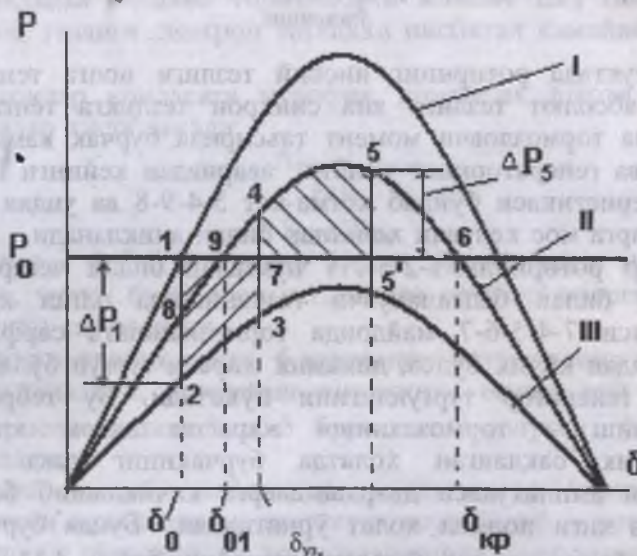
Бу ҳолатда генератор ротори ҳаракатининг характерини ва $\delta=f(t)$ боғланишни роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини ечмасдан, унинг механик энергияси ўзгаришини кўриб чиқиш орқали аниқлаш мумкин.

Носимметрик ёки узоклашган қисқа туташув учун динамик турғунликнинг бузилиш жараёнини яна бир бор кўриб ўтамиз ва шу мисолда бурчакнинг вақт бўйича ўзгариш характеристикаси $\delta=f(t)$ ни кураимиз.

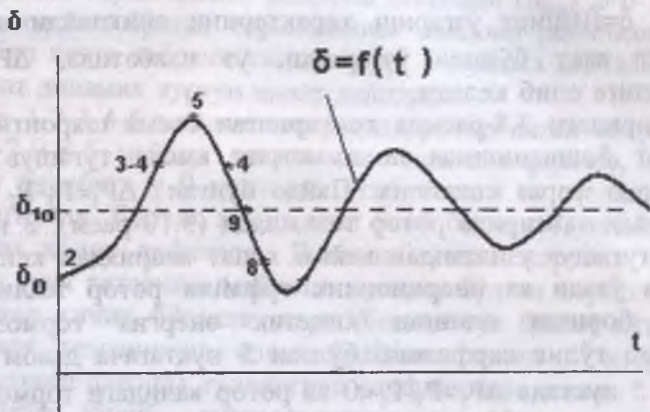
Генератор валида моментлар балансининг бузилиши натижасида пайдо бўлувчи қувват ортирмаси $\Delta P = P_T - P_G = P_o -$

бурчак $\delta=f(t)$ нинг ўзгариш характерини аниқлайди ва бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши, ўз навбатида, ΔP нинг ўзгаришига олиб келади.

Юқоридаги 3.8-расмда келтирилган схема шароитида линиянинг бошланишида носимметрик қисқа туташув содир бўлди деб фараз қилайлик. Пайдо бўлган $\Delta P_1 = P_T - P_r$ қувват ортимаси таъсирида ротор тезлашади (3.10-расм). 3 нуктада қисқа туташув узилгандан кейин ҳолат авариядан кейинги 4 нуктага ўтади ва инерционлик туфайли ротор тезлигининг ортиб бориши олинган кинетик энергия тормозланиш хисобига тўлиқ сарфланиб, бўлган 5 нуктагача давом этади. Бироқ 5 нуктада $\Delta P_5 = P_T - P_r < 0$ ва ротор валидаги тормозловчи момент ортикча бўлганлиги сабабли ҳолат нотурғун бўлади.



3.10- расм. $\delta=f(t)$ боғланишни аниқлаш учун майдонлар усулини қўллаш.



3.11- расм. Майдонлар усулида аниқланган бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши.

5 нуктада роторнинг нисбий тезлиги нолга тенг, яъни унинг абсолют тезлиги яна синхрон тезликга тенглашади. Ортиқча тормозловчи момент таъсирида бурчак камая бошлайди ва генераторнинг ҳолати авариядан кейинги II ҳолат характеристикаси бўйлаб кетма-кет 5-4-9-8 ва ундан пастки нукталарга мос келувчи ҳолатлар билан аниқланади.

Агар роторнинг 1-2-3-7-1 нукталар билан чегараланган майдон билан белгиланувчи тезланишида олган қушимча энергияси 7-4-5-6-7 майдонда тормозланишга сарфланувчи энергиядан кичик бўлса, динамик жараён турғун бўлади. Акс ҳолда генератор турғунлигини йўқотади. Бу тебранувчан «тезланиш – тормозланиш» жараёни давом этади ва турғунлик сақланган ҳолатда бурчакнинг вақт бўйича ўзгариш амплитудаси даврдан-даврга кичиклашиб бориб, 9 нуктада янги нормал ҳолат ўрнатилади. Бунда бурчакнинг вақтга боғлиқ ҳолда ўзгариш жараёни $\delta=f(t)$ 3.11- расмда тасвирланганидек кўринишда бўлади. Бу расмдаги 3-4, 5, 4, 9, 8 нукталар 3.10-расмдагига мос келади.

Бурчак δ_0 дан δ_{01} гача ортганда роторнинг тезлашиши натижасида унда жамланган энергия қуйидагича аниқланади:

$$A_{\text{Тез}} = \int_{\delta_0}^{\delta_{01}} \Delta P_1 d\delta = \text{майдон } 123791 = S_{\text{Тез}} \quad (3.18)$$

Шундай қилиб роторнинг тезлашишида унда жамланган кўшимча кинетик энергия тезланиш майдонига эквивалентдир.

Тормозланишда сарфланадиган энергия куйидаги ифода орқали аниқланилади:

$$A_{\text{Тор}} = \int_{\delta_{01}}^{\delta_5} \Delta P_5 d\delta = \text{майдон } 74557 = S_{\text{Тор}} \quad (3.19)$$

5 нуктада роторнинг тезлашиш натижасида олган кинетик энергияси тўлиқ сарф этилиб, унинг нисбий тезлиги нолга тенг, яъни $\Delta \omega = 0$ ёки $\omega_p = \omega_0$ бўлади.

5 нуктадан бошлаб тормозловчи момент ΔP_5 таъсирида роторнинг тезлиги синхрон тезликка нисбатан камайиб боради.

Майдонлар қондасига мувофиқ турғунлик шарти бўлиб куйидагилар ҳисобланади:

$$A_{\text{ТЕЗ}} < A_{\text{ТОР}} \quad (3.20)$$

ёки

$$S_{\text{ТЕЗ}} \leq S_{\text{ТМ}} \quad (3.21)$$

Майдон 7 4 5 6 7 мумкин бўлган тормозланиш майдони дейилади, чунки бу майдон чегарасида ортиқча энергия тормозланишга сарфланади.

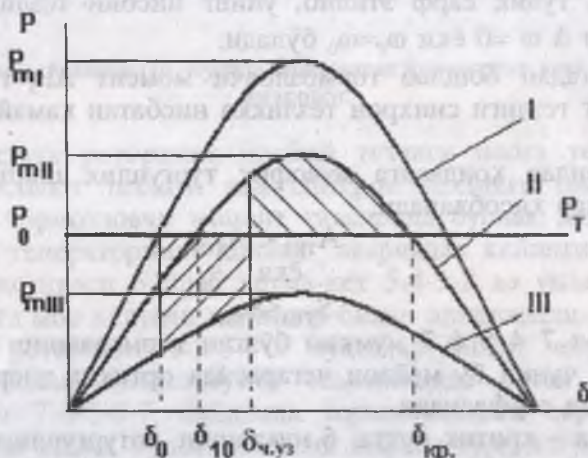
6 нукта – критик нукта. 6 нуктанинг нотурғунлиги шу билан аниқланадики, роторнинг кичиккина оғиши ҳам роторнинг тормозланишига ёки δ бурчакнинг узлуксиз ўсишига олиб келади.

Шундай қилиб, майдонлар усули катта турткиларда турғунликни аниқлайдиган энергетик усул бўлиб, у роторнинг тезланишида тўпловчи ва тормозланишида сарфловчи энергияларни аниқлашга асосланган. Бурчак δ ротор билан чамбарчас боғланган бўлиб, унинг тебранишини бурчак характеристикасидан аниқлаш ва $\delta = f(t)$ боғланишни ўрганиш мумкин, яъни динамик туртки натижасида турғунликнинг сақланишини ёки унинг йўқолишини аниқлаш мумкин.

3.5. Қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати

Майдонлар коидаси қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қийматини аниқлашга имкон беради. Фараз қиламиз, қаралаётган схемада бурчакнинг δ_0 қийматида қисқа туташув содир бўлди ва маълум вақтдан кейин у узилди. Қисқа туташувни узиш бурчагининг система турғунлигини сақлаб қоладиган чегаравий қиймати $\delta_{ч.уз}$ ни аниқлаймиз.

Ҳосил бўлган δ_0 дан $\delta_{ч.уз}$ гача ($S_{тез}$) ва $\delta_{ч.уз}$ дан $\delta_{кр}$ гача ($S_{тор}$) чегараланган тезланиш ва тормозланиш майдонларини тенглаштирамиз.



3.12- расм. Қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қийматини аниқлашга доир.

$$S_{тез} = S_{тор} \quad (3.22)$$

Қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{ч.уз}} (P_0 - P_{mII} \cdot \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{ч.уз}}^{\delta_{кр}} (P_{mIII} \cdot \sin \delta - P_0) d\delta. \quad (3.23)$$

(3.23) ни берилган ораликда интеграллаб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$P_0(\delta_{y,yz} - \delta_0) - P_{mII}(\cos \delta_{y,yz} - \cos \delta_0) - P_{mI}(\cos \delta_{kp} - \cos \delta_{y,yz}) + P_0(\delta_{kp} - \delta_{y,yz}) = 0 \quad (3.24)$$

$$\cos \delta_{y,yz} = \frac{P_0(\delta_{kp} - \delta_0) + P_{mII} \cos \delta_{kp} - P_{mI} \cos \delta_0}{P_{mI} - P_{mII}} \quad (3.25)$$

Бу ерда, δ_{kp} – бурчакнинг критик қиймати бўлиб, бурчакнинг бундан катта қийматларида генератор турғун ишлай олмайди:

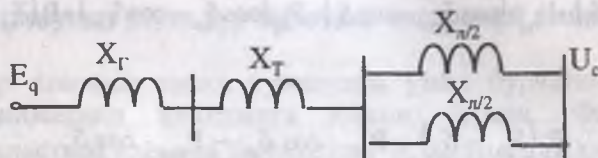
$$\delta_{kp} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_{mII}} \quad (3.26)$$

Критик бурчак δ_{kp} нинг (3.26) формуласини (3.25) тенгламага қўйиб, қисқа туташувни узиш бурчагининг синхрон генератор ва электр системанинг динамик турғунлиги ҳали сақланиб қолувчи чегаравий қийматини аниқлаймиз.

Амалий ҳисоблар учун қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қийматини топиш етарли эмас. Релели ҳимоя қурилмалари ёки ўчиргичлар учун қисқа туташувни узиш вақти узиш бурчагини чегаравий қийматига мос ҳолда берилган бўлиши шарт. Майдонлар қоидада ёрдамида қисқа туташувни узиш вақтининг чегаравий қийматини аниқлаш мумкин эмас. Бунинг учун дифференциал тенгламани ечишнинг сонли усуларидан фойдаланиш лозим. Фақат битта ҳолатда – уч фазали қисқа туташув учун синхрон генераторнинг дифференциал тенгламасини аналитик усулда ечиб, бурчакнинг вақт буйича ўзгариши $\delta=f(t)$ ни аниқлаш мумкин.

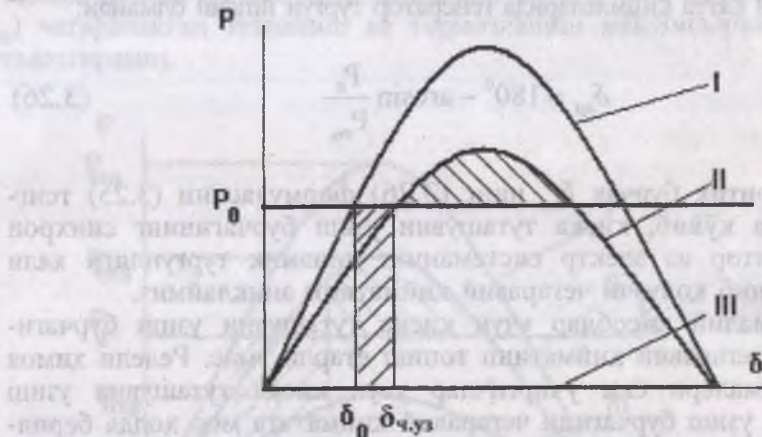
3.6. Уч фазали қисқа туташув ҳолати учун роторнинг ҳаракат тенгламасини ечиш

Фақат генератор шинасида уч фазали қисқа туташув бўлган ҳолат учун қисқа туташув вақтининг чегаравий қийматини аналитик усулда ечиш мумкин, чунки бунда синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат тенгламаси чиққли кўринишга келади. Ушбу ҳолатни кўриб ўтамиз.



3.13. - расм.

Фараз қиламиз, линиянинг бошланишида уч фазали қисқа туташув содир бўлди.



3.14-расм. Уч фазали қисқа туташув ҳолатида роторнинг нисбий ҳаракат тенгласини ечишга доир.

Машина роторининг ҳаракат тенгласи:

$$T_j \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_0 - P_{\text{эл}} \cdot \sin \delta. \quad (3.27)$$

Уч фазали қисқа туташувда қуйидаги муносабат ўринли бўлади:

$$P_{\text{III}} = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma_{\text{III}}}} \cdot \sin \delta = 0,$$

чунки $X_{\Sigma_{\text{III}}} = 0$ ва бу ерда $X_{\Sigma_{\text{III}}} = \infty$.

Бу ҳолатда синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$T_j \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_0 \quad (3.29)$$

Пайдо бўлган дифференциал тенглама чизикли ва унинг ечими қуйидаги ифода билан аниқланилади:

$$\delta = \frac{P_0}{2T_j} \cdot t^2 + C_1 + C_2. \quad (3.30)$$

Бу ерда, C_1 , C_2 лар бошланғич шартдан аниқланилиши мумкин.

Қуйидаги муносабатни ҳисобга оламиз:

$$a = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\delta^2}{dt^2} = 18000 \cdot \frac{0,85 \cdot P_0}{T_j}.$$

Коэффициент 0,85 генератор шинасига яқин жойда содир бўлган уч фазали қисқа туташувда турбинанинг айлантирувчи механик қувватини қабул қилинган фараз асосида 15% га камайтиришни ҳисобга олади.

Бу ерда, $d\omega = a dt$; $\int d\omega = \int a dt$; $\Delta\omega = at + C_1$ дан

$t = 0$, $\Delta\omega = 0$ бўлган ҳолда $C_1 = 0$ ҳосил бўлади.

$d\delta = \Delta\omega \cdot dt = a \cdot t \cdot dt$, $\int d\delta = \int a \cdot t \cdot dt$ муносабатлардан

$$\delta = a \frac{t^2}{2} + C_2 \quad (3.31)$$

ҳосил бўлади.

Сўнгги ифодада $t=0$ бошланғич ҳолат учун

$\delta = \delta_0$, $C_2 = \delta_0$ бўлиб, ундан қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\delta = \frac{at^2}{2} + \delta_0 \quad \text{ёки} \quad \delta - \delta_0 = \frac{at^2}{2} \quad \text{ва}$$

$$t = \sqrt{\frac{2(\delta - \delta_0)}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j (\delta - \delta_0)}{18000 \cdot 0,85 \cdot P_0}}. \quad (3.32)$$

Маълумки, қисқа туташувни узишнинг чегаравий вақти $t_{\text{ч}}$, қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати $\delta_{\text{ч.уз}}$ га мос келади. Шу сабабли, уч фазали қисқа туташув учун, қисқа туташувни узиш вақтининг чегаравий қийматини аниқлаш формуласи қуйидаги кўринишни олади:

$$t_{\text{ч.уз}} = \sqrt{\frac{T_f(\delta_{\text{ч.уз}} - \delta_0)}{7650 \cdot P_0}}, \quad (3.33)$$

3.7. Синхрон генераторнинг дифференциал тенгламасини ечиш усуллари

а) Усулларнинг умумий характеристикаси ва қўлланилувчи формулалар

Электр системасида кечаётган электромеханик ўткинчи жараёнини ўрганиш, синхрон генераторнинг эгри чизиқли дифференциал тенгламаси билан тармоқнинг алгебраик тенгламаларини биргаликда ечишни талаб этади.

Уларни ечишнинг аналитик усуллари мавжуд бўлмаганлиги сабабли муҳандис-техник масалаларни ечишда умумий бўлган, сонли интеграллаш усуллари қўлланилади. Улар ҳисоблашни ҳар хил ростлагичлар (кўзгатиш, тезлик ростлагичлари кабилар)ни эътиборга олиб амалга ошириш, мос келувчи ростлаш коэффициентларини танлаш, динамик турғунлик бўйича чегаравий ҳолат ва вақтни аниқлаш, реле-ли ҳимоя ва аварияга қарши автоматиканинг тўғрилаш параметрларини танлаш ва ҳ.к.лар имконини беради.

Қоидага кўра, дифференциал тенгламалар Эйлер, Рунге-Кутт, Милн классик усуллари, алгебраик тенгламалар эса Гаусс, Ньютон ва бошқа усуллар ёрдамида ечилади.

Дифференциал тенгламани сонли ечишнинг асосий маъноси реал интеграл эгри чизиқни тўғри чизиқли бўлақлар билан алмаштириш билан боғлиқдир. Ҳар бир кейинги бўлақни (қадамни) ҳисоблашда хатолик қўшилиб боради, шунинг учун хатоликни камайтириш мақсадида, қўлланилувчи усулларда қадам хатоликнинг рухсат этилган қийматини таъминлаш шартидан келиб чиқиб, автоматик танланади.

Юқорида номлари келтирилган усуллар «Энергетиканинг математик масалалари» фанида ўрганилади, шунинг учун фақат система элементларининг саноат дастурларида қўлланиладиган тенгламаларини кўриб чиқамиз. Фойдаланилувчи моделлар турлича бўлганлиги сабабли уларнинг фақат кенг тарқалган модификацияларини келтирамыз.

Синхрон генераторнинг дифференциал тенгламалари:

- роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_T - P_r}{T_j}. \quad (3.34)$$

Бу ерда, P_T , P_r - турбинанинг айлантирувчи қуввати ва генераторнинг электромагнит тормозловчи моменти; T_j - агрегатнинг инерцион доимийси;

- кўзғатиш чулғамининг тенгламаси:

$$\frac{dE_q}{dt} = \frac{E_{qe} - E_q}{T_{do}}. \quad (3.35)$$

Бу ерда, E_q , E_{qe} - мос ҳолда салт юриш, ўткинчи ва кўзғатишни ростилаш ҳисобига ҳосил бўлувчи э.ю.к.; T_{do} - кўзғатиш чулғамининг статор чулғами очик бўлган ҳолдаги вақт доимийси;

- кўзғаткичнинг тенгламаси:

$$\frac{dE_{qv}}{dt} = \frac{E_{qv} - E_{qe}}{T_e}. \quad (3.36)$$

Бу ерда, E_{qv} , E_{qe} - ростлагич чиқишидаги кучланиш ва унинг бошқарувчи сигнали; T_e - кўзғаткичнинг вақт доимийси;

- кўзғатиш ростлагичнинг тенгламаси:

$$\frac{dE_{qp}}{dt} = \frac{E_{qp} - E_{qv}}{T_p}. \quad (3.37)$$

Бу ерда, T_p - ростлагичнинг вақт доимийси;

- статор токи I , кучланиш U , частота f ва уларнинг ҳосилалари бўйича ростилашни ҳисобга олган ҳолдаги ростилаш қонуни:

$$E_{\psi} = E_{\text{бер}} + K_{0I}I + K_{0U}(U - U_0) + K_{1U} \frac{dU}{dt} + K_{1I} \frac{dI}{dt} + K_{2I} \frac{d^2 I}{dt^2} + K_{0f}(f - f_0) + K_{1f} \frac{df}{dt}; \quad (3.38)$$

Бу ерда, $E_{\text{бер}}$ - статор кучланишига келтирилган салт юриш э.ю.к.нинг сигнални маҳкамловчи ташкил этувчиси.

Қолган белгилашлар юқорида келтирилган.

Ростлагичлар ҳолат параметрининг максимум ва минимум бўйича чегаралашларни ҳисобга олиш имконини беради.

Турбина ва уни ростлагичининг тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dP_T}{dt} = \frac{1}{T_n} (\alpha_1 \mu - P_T); \quad (3.39)$$

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{1}{T_s} (\alpha_2 \cdot S - \mu); \quad (3.40)$$

$$P_T = P_{T_0} (1 - \gamma) + \gamma P_{\text{ном}} \cdot P_T. \quad (3.41)$$

Бу ерда, γ - оралик кизишга эга бўлган турбина қувватининг ростланувчи қисми; μ - ростлаш аппаратининг очилиши; s - генераторнинг сирпаниши; T_n , T_s - буғ ҳажми ва тезлик ростлагичларининг вақт доимийлари; α_1 , α_2 - тезлик ростлагичнинг статизмига боғлиқ бўлган доимийлар. Ростловчи аппаратнинг очилиш тезлиги ва қиймати бўйича чегараланишлар ҳисобга олинади. Аниқ ҳисоблашларида ўчоқ, қозон ва бошқа элементларнинг тенгламалари ҳам «Ёқилги - буғ» занжирида фойдаланилиши мумкин.

Интеграллашнинг ҳар бир қадамида система учун тугун кучланишлари тенгламалари ечилади ва генераторларнинг қувватлари аниқланилади:

$$P_r = \frac{E_q U}{X} \sin \delta. \quad (3.41)$$

Бу ерда, X - U кучланиш қўйилган ва э.ю.к. ўрнатишган нукталар орасидаги эквивалент қаршилик. Соддалаштирилган ҳолатда X нинг ортидаги E_q = ўзгармас модел фойдаланилади.

Юкламалар ўзларининг статик характеристикалари, ўзгармас қаршиликлари ёки асинхрон юкламаларнинг дифференциал тенгламалари билан ҳисобга олинади.

Генератордан ташқари схемадаги барча элементларнинг тенгламалари синхрон тезликда айланувчи ўқлар асосида ёзилса, қўзғатишни автоматик ростлагичи бўлган генераторларники эса ўзларининг ўқлари асосида ёзилиб, кейинчалик синхрон тезлик билан айланувчи ўққа келтирилади (I-боб).

Юқорида келтирилганлар, электр системасининг диспетчирлик бошқарувида қўлланиладиган саноат дастурларида фойдаланилади.

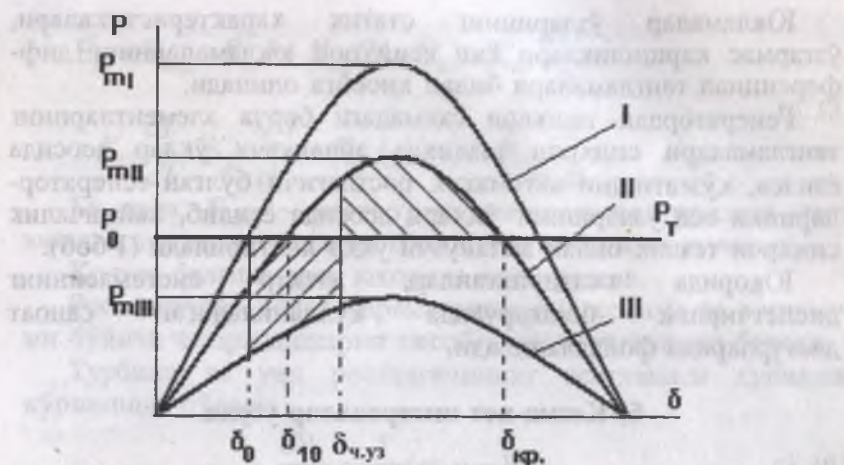
б) Кетма-кет интерваллар усули

Амалда унчалик катта аниқлик талаб этмайдиган ва ҳолат параметрлари тебранишининг, биринчи цикли учун етарли маълумотлар лозим бўлган соддалаштирилган ҳисоблашларда, содда – унчалик кўп меҳнат талаб этмайдиган сонли интеграллаш усули – кетма кет интерваллар усули қўлланилади.

Ҳар қандай турдаги қисқа туташувда синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат тенгламасини ечиш учун кетма-кет интерваллар усули қўлланилади. Кетма-кет интерваллар усули ўткинчи жараёнга таъсир кўрсатувчи барча факторларни ҳисобга олишга имкон беради. Бу усулнинг маъноси шундан иборатки, бутун ўткинчи жараён унчалик катта бўлмаган Δt вақт интервалларига бўлиниб, ҳар бир интервалда ҳолат параметрларининг ўзгариши аниқланади.

3.13 - расмда келтирилган икки занжирли линиядан иборат бўлган электр системасини кўриб чиқамиз.

Линиянинг бошланишида носимметрик қисқа туташув содир бўлди деб фараз қиламиз. Бу ҳолда генераторнинг ҳолати авария ҳолати характеристикаси III га ўтади ва бурчакнинг δ_{uz} қийматида қисқа туташув узилади ва генератор авариядан кейинги ҳолат характеристикаси IIга ўтади. Генератор вадида $\Delta P = P_T - T_r \neq 0$ нобаланс пайдо бўлиши натижасида, роторнинг тезлиги катталашиб синхрон тезликдан ошиб бораверади (3.15-расм).



3.15- расм. Кетма-кет интерваллар усулини қўллаш.

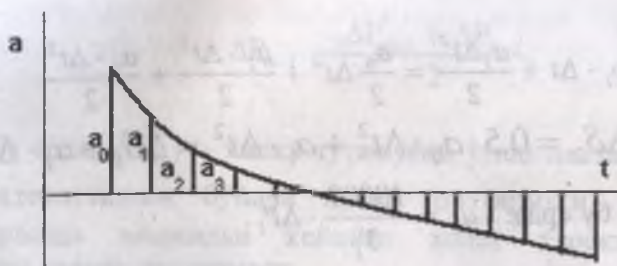
Генератор қисман тормозлансада, бироқ у синхронизмдан чикиб кетади, чунки $S_{тез} > S_{тм}$. Критик бурчак $\delta_{кр}$ дан кейин унинг тезланиши давом этади. Қўйилган масала – $\delta=f(t)$ функционал боғланишни ва бошқа ҳолат параметрларини аниқлашдир.

Ҳисоблаш натижасининг аниқлиги ҳамда ўткинчи жараённинг давомийлиги ҳисоблаш қадамининг қиймати – вақтлар интервали Δt га боғлиқдир. Ҳар бир интервал ҳолат параметрлари ҳисобланувчи бурчак, қувват, ток ва ҳ.к.ларнинг бошланғич ва охири қийматлари билан характерланади. Масалан, Δt вақт ичида бурчакнинг $\Delta\delta$ қийматга ўзгаришига боғлиқ равишда қувватнинг, токнинг ва бошқа ҳолат параметрларининг ортирмаси ҳам ўзгаради.

Масалани соддалаштириш мақсадида бир неча фаразлар қабул қиламиз:

- 1) Ҳар бир Δt интервалда пайдо бўлувчи ортиқча қувват ΔP ўзгармас деб оламиз.
- 2) Ҳар бир интервалда тезланиш ўзгармасдан қолади:

$$a = \frac{18000 \cdot \Delta P}{T_j} = \text{ўзгармас.}$$



3.16- расм.

Биринчи интервал давомиди бурчак орттирмасининг нимага тенглигини топамиз. Бунинг учун текис тезланувчан ҳаракат йўл формуласидан фойдаланамиз. Бунда қисқа тугашув содир бўлган лахзада роторнинг тезлиги синхрон ва нисбий тезлиги $\Delta\omega=0$ эканлигини ҳисобга оламиз.

Бундай ҳолда $S = V_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$ да $V_0=0$, $\Delta\omega=0$ эканлигини ҳисобга олиб, бурчакнинг биринчи интервал охиридаги орттирмасини аниқлаймиз:

$$\Delta\delta_1 = \frac{a_0 \cdot t^2}{2} = \frac{18000}{T_j} \Delta P_0 \cdot \Delta t^2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{18000 \Delta t^2}{T_j} \cdot \frac{\Delta P_0}{2} = k \cdot \frac{\Delta P_0}{2},$$

бу ерда, $k = \frac{18000 \Delta t^2}{T_j}$.

Бурчакнинг биринчи интервал охиридаги қиймати:

$$\delta_1 = \delta_0 + \Delta\delta_1.$$

Қувватнинг биринчи интервал охиридаги орттирмаси:

$$\Delta P_1 = P_0 - P_{mn} \cdot \sin \delta_1.$$

Шу тарзда бурчакнинг иккинчи интервал охиридаги орттирмасини топамиз. Бунинг учун биринчи интервал охиридаги нисбий тезликни унинг боши ва охиридаги тезланишлар йиғиндисининг ярми орқали ифодалаймиз:

$$\Delta\omega = \left(\frac{a_0 + a_1}{2} \right) \cdot \Delta t.$$

У ҳолда

$$\Delta\delta_2 = \Delta\omega_1 \cdot \Delta t + \frac{a_1 \Delta t^2}{2} = \frac{a_0}{2} \Delta t^2 + \frac{a_1 \cdot \Delta t^2}{2} + \frac{a_1 \cdot \Delta t^2}{2}$$

ёки
$$\Delta\delta_2 = 0,5 \cdot a_0 \cdot \Delta t^2 + a_1 \cdot \Delta t^2 = \Delta\delta_1 + a_1 \cdot \Delta t^2$$

ҳосил бўлиб, бу ерда:
$$a_1 = \frac{18000}{T_j} \cdot \Delta P_1.$$

Шундай қилиб, иккинчи интервал охирида бурчакнинг натижавий ортимаси

$$\Delta\delta_2 = \Delta\delta_1 + a_1 \cdot \Delta t^2,$$

бурчакнинг иккинчи интервал охиридаги қиймати

$$\delta_2 = \Delta\delta_2 + \delta_1.$$

Қувватнинг иккинчи интервал охиридаги қиймати:

$$\Delta P_2 = P_0 - P_{m_{\text{н}}} \cdot \sin \delta_2.$$

Шунга ўхшаш муносабатларни учунчи интервал учун ҳам ёзишимиз мумкин:

$$\Delta\delta_3 = \Delta\delta_2 + a_2 \cdot \Delta t^2; \quad (3.43)$$

$$\delta_3 = \Delta\delta_3 + \delta_2; \quad (3.44)$$

$$\Delta P_3 = P_0 - P_{m_{\text{н}}} \cdot \sin \delta_3 \quad (3.45)$$

ва ҳ.к.

Ҳисоблаш жараёни ўхшаш схема бўйича давом этади, шунинг учун уни компьютерда дастурлаштириш ва олиб бориш қулайдир.

Шуни таъкидлаш лозимки, узиш пайтларида ёки электр системадаги ҳар қандай коммутация ҳолатларида генераторнинг бурчак характеристикаси ўзгаради. Бу эса ҳисоблашларда бироз қийинчилик туғдиради. Масалан, авария ҳолати характеристикасидан авариядан кейинги ҳолат характеристикасига ўтишда шундай ҳолатни кузатамиз.

Қисқа туташув узилгандан кейинги биринчи интервалда, яъни (n-1) -нчи қадамда қувват орттирмаси нимага тенг? Бундай ҳолатларда қувват орттирмаси, умумий ҳолда, қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\Delta P_{n-1} = \frac{\Delta P'_{n-1} + \Delta P''_{n-1}}{2}$$

Бу ерда, $\Delta P'_{n-1}$ - қисқа туташувни узиш лахзасида авария характеристикаси бўйича қувват орттирмаси; $\Delta P''_{n-1}$ - шу интервалда авариядан кейинги ҳолат характеристикаси бўйича қувват орттирмаси.

Биз кўриб чиқаётган ҳолатда

$$\Delta P'_{n-1} = \Delta P'_{y3} = P_0 - P_{mIII} \cdot \sin \delta_{y3} \text{ ва}$$

$$\Delta P''_{n-1} = \Delta P''_{y3} = P_0 - P_{mII} \cdot \sin \delta_{y3}.$$

$$\Delta P_{y3} = \frac{\Delta P'_{y3} + \Delta P''_{y3}}{2}; \quad (3.46)$$

Бу жараённи давом эттира бориб куйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\Delta \delta_n = \Delta \delta_{n-1} + a_{n-1} \cdot \Delta t^2 = \Delta \delta_{n-1} + \kappa \cdot \frac{\Delta P'_{(n-1)} + \Delta P''_{(n-1)}}{2} \quad (3.47)$$

$$\delta_n = \delta_{n-1} + \Delta \delta_n, \quad (3.48)$$

$$\Delta P_n = P_0 - P_{mII} \cdot \sin \delta_n \quad (3.49)$$

Шу тартибдаги ҳисоблаш берилган вақтнинг тугаши ёки системанинг турғунлиги ёки нотурғунлиги бўйича талаб этилаётган маълумот олингандан кейин тугалланади.

Агар ҳисоблаш натижасида интервал қийматини ўзгартиришга эҳтиёж туғилса (динамик турғунлик бўйича чегаравий ҳолатларни ҳисоблашда, характеристиканинг кескин ўзгариши-да), у ҳолда бурчак орттирмаси куйидаги муносабат бўйича аниқланилади:

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{n-1} \cdot K_{\Delta} + K \cdot \frac{\Delta P_{(n-2)} \cdot (1 - K_{\Delta}) + \Delta P_{(n-1)} \cdot (1 + 3K_{\Delta})}{4 \cdot K_{\Delta}} \quad (3.50)$$

Бу ерда, $K_{\Delta} = \frac{\Delta t_n}{\Delta t_c}$.

Δt_n , Δt_c – вақтнинг янги ва эски интервалларига мос келувчи қиймати.

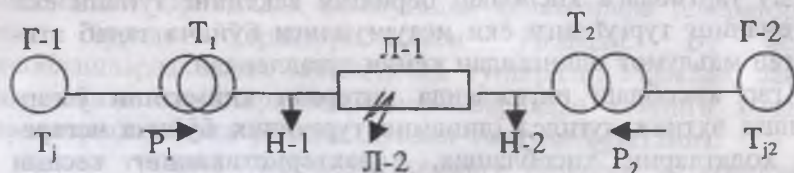
Кетма-кет интерваллар усули бир қанча камчиликларга эга:

- хатоликни назорат қилиш кўзда тутилмаган;
- ҳисоблаш аниқлиги берилган аниқликдан пасайганда автоматик равишда ўзгартиришлар киритиш ва интеграллаш қадамини ўзгартириш кўзда тутилмаган.

Кетма-кет интерваллар усули майдонлар усули билан биргаликда қўлланилади. Масалан, майдонлар қондаси бўйича қиска туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати δ_c аниқланади ва кейинчалик кетма-кет интерваллар усули ёрдамида бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши – $\delta=f(t)$ боғланиш аниқланиб, ундан вақтнинг чегаравий қиймати топилади.

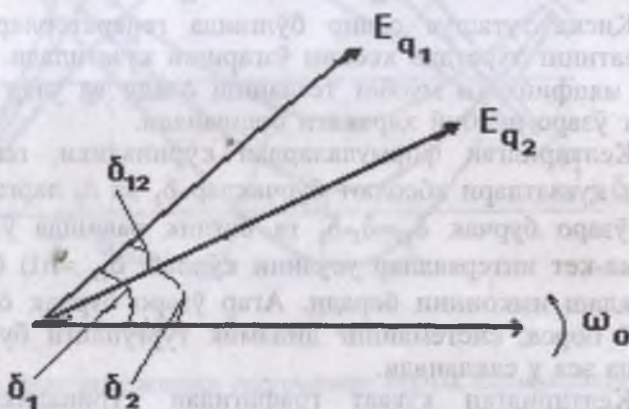
3.8. Икки генераторли системанинг динамик турғунлиги

Қувватлари бир-бирига яқин бўлган иккита станциядан ташкил топган системани (3.17- расм) кўриб ўтамиз.



3.17- расм.

Кўрилаётган схемада юкламаларнинг қаршилигини ўзгармас деб қабул қиламиз. Таҳлилни битта станциянинг электр қуввати ўзгарганда иккинчи станциянинг ҳам қуввати, мос ҳолда ўзгариши, яъни, масалан, камайганда, иккинчи станциянинг қуввати ошишини назарда тутиб олиб борамиз.



3.18- расм.

Системанинг схемада кўрсатилган нуктасида носимметрик қисқа туташув содир бўлиб, кейинчалик у узилди деб фараз қиламиз. Системанинг нормал, авария ва авариядан кейинги ҳолатларига мос келувчи хусусий ва ўзаро қаршилиқларни топиш мумкин. Бунда қаршилиқларнинг қийматлари кўрилаётган ҳолатнинг хусусиятларидан келиб чиқиб аниқланиши лозим. Масалан, авария ҳолати учун бу қаршилиқ қисқа туташув нуктасига авария шунти уланган ҳолатда аниқланилади. Авариядан кейинги ҳолат учун авария шунти ва линиялардан бири олиб ташланади. Генераторлар эса, ўзларининг ўткинчи индуктив қаршилиқлари X_{d1} ва X_{d2} лар ортидаги ўзгармас ўткинчи электр юритувчи кучлар E_1 , E_2 лар орқали тасвирланади. Қуйида келтирилган формулалардан фойдаланиб, ҳар бир станциядан узатилаётган қувватнинг тегишли ҳолатга мос келувчи характеристикаларини қурамиз (3.19- расм):

$$P_1 = \frac{(E_1')^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1' \cdot E_2'}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}); \quad (3.51)$$

$$P_2 = \frac{(E_2')^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1' \cdot E_2'}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}). \quad (3.52)$$

Қисқа туташув содир бўлганда генераторлар бераётган қувватнинг тўсатдан кескин ўзгариши кузатилади. Генераторлар манфий ёки мусбат тезланиш олади ва улар роторларининг ўзаро нисбий ҳаракати бошланади.

Келтирилган формулалардан кўринадики, генераторларнинг қувватлари абсолют бурчаклар δ_1 ва δ_2 ларга эмас, балки ўзаро бурчак $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ га боғлиқ равишда ўзгаради. Бу кетма-кет интерваллар усулини қўллаб, $\delta_{12} = f(t)$ боғланишни аниқлаш имконини беради. Агар ўзаро бурчак δ_{12} узлуксиз ўсиб борса, системанинг динамик турғунлиги бузилади, акс холда эса у сақланади.

Келтирилган қувват графигидан кўринадики, схемада кўрсатилган нуктада қисқа туташув содир бўлганда:

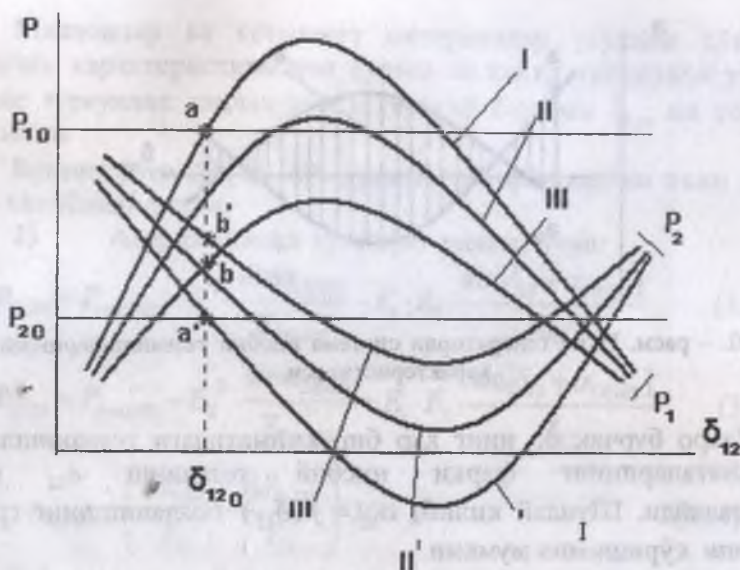
- биринчи станция генераторининг ротори ΔP_1 ($P_1 > P_{эл}$) қувват ортгирмаси таъсирида тезланиш олади;

- $a_1 = \frac{\Delta P_1}{T_{j1}} \cdot \omega$ бўлиб, бу δ_1 бурчакнинг ошишини билдиради, чунки бу генератор ҳолатининг а нуктадан б нуктага ўтганлиги билан белгиланади.

- иккинчи станция генераторининг ротори ΔP_2 ($P_2 < P_{эл}$) таъсирида тормозланиш олади ва тормозловчи қувват таъсирида

$\dot{E}_2$ векторнинг $\dot{E}_1$ вектордан $a_2 = \frac{\Delta P_2}{T_{j2}} \cdot \omega$ тезланиш

билан характерланадиган прогрессияланувчи ортда қолиш жараёни бошланади (3.18-расм) ва мос равишда δ_2 бурчакнинг ўзини бошланғич ҳолатига нисбатан камайиши кузатилади (а нуктадан б га ўтилади).



3.19- расм. Икки генераторли системанинг бурчак характеристикаси.

Агар генераторлар роторларининг инерцион доимийлари T_{j1} , T_{j2} ларни секундларда, тезланишни квадрат секундлардаги градусларда ифодаласак,

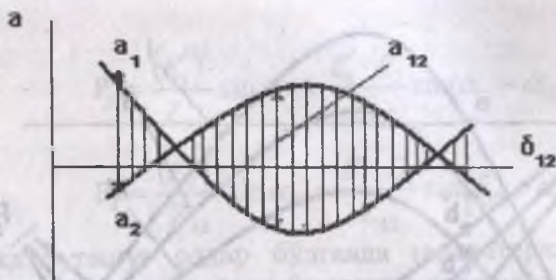
$$a_1 = \frac{360f}{T_{j1}} \Delta P_1, \quad a_2 = \frac{360f}{T_{j2}} \Delta P_2 \quad (3.53)$$

ҳосил бўлади.

Ҳар бир станциядаги генератор ротори тезланишининг ўзаро бурчак $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ га боғланиш характеристикасини

$$a_{12} = a_1 - a_2 = 360 \cdot f \cdot \left(\frac{\Delta P_1}{T_{j1}} - \frac{\Delta P}{T_{j2}} \right) \quad (3.54)$$

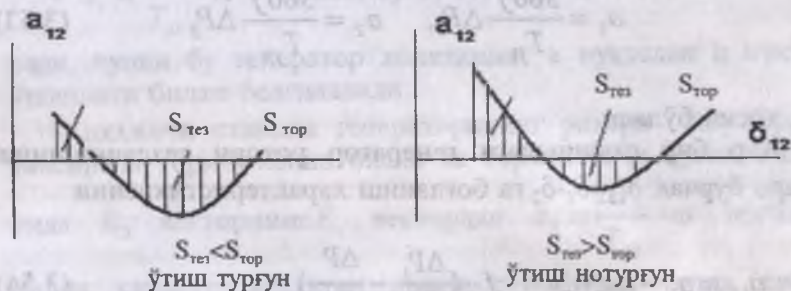
муносабат бўйича ўзаро бурчакка 0° дан 180° гача ораликда турлича қийматларни бериш асосида аниқлаймиз (3.20-расм):



3.20. – расм. Икки генераторли система нисбий тезланишларининг характеристикаси.

Ўзаро бурчак δ_{12} нинг ҳар бир қийматидаги тезланишлар ординаталарининг фарқи нисбий тезланиш a_{12} ни ифодалайди. Шундай қилиб, $a_{12} = f(\delta_{12})$ боғланишнинг графигини қуришимиз мумкин.

Абцисса ўқи ва $a_1 = f(\delta_{12})$, $a_2 = f(\delta_{12})$ эгри чизиклар билан чегараланган майдонлар мос равишда генераторлар роторларининг тормозланиш ва тезлашиш энергияларини белгилайди. Агар туртки таъсирида тезлатувчи энергия кўп бўлса, у ҳолда $S_{тез} > S_{тор}$ ва система нотурғун, акс ҳолда эса турғун бўлади (3.21-расм).



3.21- расм. Турғун ва нотурғун ўтишлар учун нисбий тезланиш характеристикалари.

Майдонлар ва кетма-кет интерваллар усулини қўллаб, бурчак характеристикасини қуриш ва қисқа туташувни узишнинг турғунлик сақланувчи чегаравий бурчаги $\delta_{\text{ч.уз}}$ ни топиш мумкин.

Бунинг учун ΔP_1 ва ΔP_2 қувват орттирмаларини икки марта ҳисоблаш лозим:

1) Авария (қисқа туташув) ҳолати учун:

$$\Delta P_{1(ш)} = P_{\max(ш)} - E_1^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{1(ш)}}{Z_{11(ш)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} - \alpha_{12(ш)}]}{Z_{12}} \quad (3.55)$$

$$\Delta P_{2(ш)} = P_{\max(ш)} - E_2^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{22(ш)}}{Z_{22(ш)}} + E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} + \alpha_{12(ш)}]}{Z_{12}} \quad (3.56)$$

$$\text{ва } a_{12(ш)} = \left(\frac{\Delta P_{1(ш)}}{T_{j1}} - \frac{\Delta P_{2(ш)}}{T_{j2}} \right) \cdot 360 \cdot f \quad (3.57)$$

2) Авариядан кейинги ҳолат учун

$$\Delta P_{1(п)} = P_{\max(п)} - E_1^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{1(п)}}{Z_{11(п)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} - \alpha_{12(п)}]}{Z_{12}} \quad (3.58)$$

$$\Delta P_{2(п)} = P_{\max(п)} - E_2^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{22(п)}}{Z_{22(п)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} + \alpha_{12(п)}]}{Z_{12}} \quad (3.59)$$

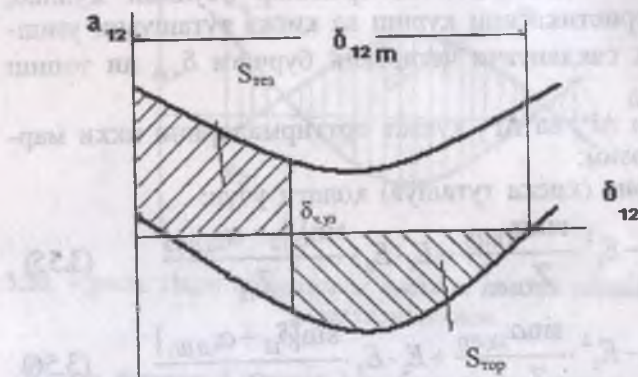
$$\text{ва } a_{12(п)} = \left(\frac{\Delta P_{1(п)}}{T_{j1}} - \frac{\Delta P_{2(п)}}{T_{j2}} \right) 360 \cdot f.$$

Ҳосил бўлган формулалар бўйича авария ва авариядан кейинги ҳолатлар учун мос $a_{12}=f(\delta_{12})$ графикларни қўришимиз ҳамда тезланиш ва тормозланиш майдонларининг тенглигидан фойдаланиб, қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати $\delta_{\text{ч.уз}}$ ни аниқлашимиз мумкин (3.22-расм).

Бу ерда иккита масала қўйилиши мумкин.

1) Қисқа туташувни узиш вақти $t_{\text{уз}}$ берилган ҳолда системанинг турғунлиги сақланиш ёки сақланмаслигини аниқлаш.

2) Қисқа туташувни узишнинг чегарвий вақти $t_{\text{ч.уз}}$ ни аниқлаш.



3.22- расм. Икки генераторли системада қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қийматини аниқлаш.

Бу масалалар кетма-кет интерваллар усулида ҳам ечилиши мумкин.

Биринчи масала. Қисқа туташув содир бўлгандан кейин ΔP_1 , ΔP_2 ва

$$k_1 = \frac{18000 \cdot \Delta t^2}{T_{j1}}, \quad k_2 = \frac{18000 \cdot \Delta t^2}{T_{j2}}$$

муносабатлардан биринчи интервал охирида бурчаклар орттирмаларини

$$\Delta \delta_{1(1)} = k_1 \cdot \frac{\Delta P_{1(o)}}{2}, \quad \Delta \delta_{2(1)} = k_2 \cdot \frac{\Delta P_{2(o)}}{2}$$

биринчи интервал охирида бурчакларни

$$\delta_{1(1)} = \Delta \delta_{1(1)} + \delta_{1(o)}, \quad \delta_{2(1)} = \Delta \delta_{2(1)} + \delta_{2(o)}$$

ва биринчи интервал охиридаги нисбий бурчакни

$$\delta_{12(1)} = \delta_{1(1)} - \delta_{2(1)} \quad (3.60)$$

топишимиз мумкин.

Бундан сўнг худди шу каби ҳисоблашлар иккинчи интервал учун такрорланади:

$$\begin{aligned} \Delta P_{1(1)} & \quad \Delta P_{2(1)} \\ \Delta \delta_{1(2)} &= \Delta \delta_{1(1)} + k_1 \cdot \Delta P_{1(1)} \quad \Delta \delta_{2(2)} = \Delta \delta_{2(1)} + k_2 \cdot \Delta P_{2(1)} \\ \delta_{12(2)} &= \delta_{1(2)} - \delta_{2(2)} \end{aligned} \quad (3.61)$$

ва ҳоказо.

Берилган t_{yx} да қисқа туташув узилгандан кейин генераторлар II характеристикага ўтади ва ҳисоблашда худди юқоридаги тартибда ҳар бир интервал охирида ортиқча қувват ΔP_i ва бурчак орттирмаси аниқланилади. Кетма-кет интерваллар усули бўйича ҳисоблашни бурчак камая бошлагунга қадар давом эттириш лозим. Бу турғунлик сақланишини билдиради.

Агар бурчакнинг ўсиши давом этиб, у 180° га етса, ҳисоблаш тўхтатилади. Бундай ҳолат t_{yx} нинг берилган қийматида турғунлик сақланмаслигини билдиради.

Иккинчи масала

Кетма-кет интерваллар усули ёрдамида биринчи ва иккинчи станция генераторлари роторларининг нисбий ҳаракат теңгемаларини ечамиз ва ҳар бир интервалда қисқа туташув ҳолати учун нисбий бурчак δ_{12} ни топамиз. Сўнгра, $\delta_{12}=f(t)$ боғланиш эгри чизигини қуриб, қисқа туташувни узиш вақтининг чегаравий қиймати t_{yx} ни аниқлаймиз (3.23-расм).

Шуни назарда тутиш лозимки, генераторли станциялардан узатилаётган қувватларнинг максимумлари 1 ва 2 станция генераторлари э.ю.к. векторларининг абсолют бурчаклари δ_1 ва δ_2 га боғлиқ бўлмасдан, балки бу векторлар орасидаги бурчак δ_{12} га боғлиқдир. Бу векторлар орасидаги бурчак қанчалик катта бўлса, станциялардан узатилаётган қувватлар шунчалик кичик бўлади.

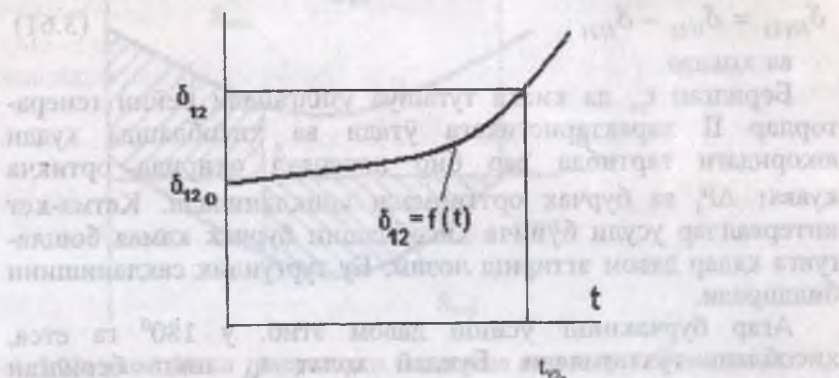
Бу ерда, қуйидагиларни таъкидлаш лозим. Ҳар бир интервалдаги генераторлар абсолют бурчакларининг орттирмаси қўйидаги муносабатлардан аниқланиши мумкин:

Биринчи генератор учун:

$$\Delta \delta_{1(n)} = k_1 \cdot \frac{\Delta P_{1(n-1)}}{2} = 360 \cdot f \cdot \Delta t^2 \cdot \frac{\Delta P_{1(n-1)}}{2T_{J1}}, \quad (3.62)$$

иккинчи генератор учун:

$$\Delta\delta_{2(n)} = k_2 \cdot \frac{\Delta P_{2(n-1)}}{2} = 360 \cdot f \cdot \Delta t^2 \cdot \frac{\Delta P_{2(n-1)}}{2T_{j2}}, \quad (3.63)$$



3.23- расм. Икки генераторли системада қисқа туташув ўчирилишининг чегаравий вақтини аниқлаш.

Бурчаклар ортгирмаларининг фарқи ўзаро бурчакнинг нисбий ортгирмасидир:

$$\Delta\delta_{12(n)} = \Delta\delta_{1(n)} - \Delta\delta_{2(n)} = 360 f \cdot \left(\frac{\Delta P_{1(n-1)}}{T_{j1}} - \frac{\Delta P_{2(n-1)}}{T_{j2}} \right) \frac{\Delta t^2}{2}. \quad (3.64)$$

Бирок

$$360 \cdot f \cdot \left(\frac{\Delta P_{1(n-1)}}{T_{j1}} - \frac{\Delta P_{2(n-1)}}{T_{j2}} \right) = a_{12(n)} \quad (3.65)$$

бўлганлигидан қуйидаги муносабатни ҳосил қилишимиз мумкин:

$$\Delta\delta_{12(n)} = a_{12(n-1)} \cdot \frac{\Delta t^2}{2}.$$

Демак,

$$\Delta\delta_{12(n)} = \Delta\delta_{12(n-1)} + a_{12(n-1)} \cdot \Delta t^2. \quad (3.66)$$

Шундай қилиб, ҳисоблашларни бевосита бурчак учун олиб бориш мумкин. Натижада ҳисоблашлар таркиби бўйича бир генераторли система учун ҳисоблашлар кўринишига келтирилади.

3.9. Электр системасининг динамик турғунлигини ошириш чоралари

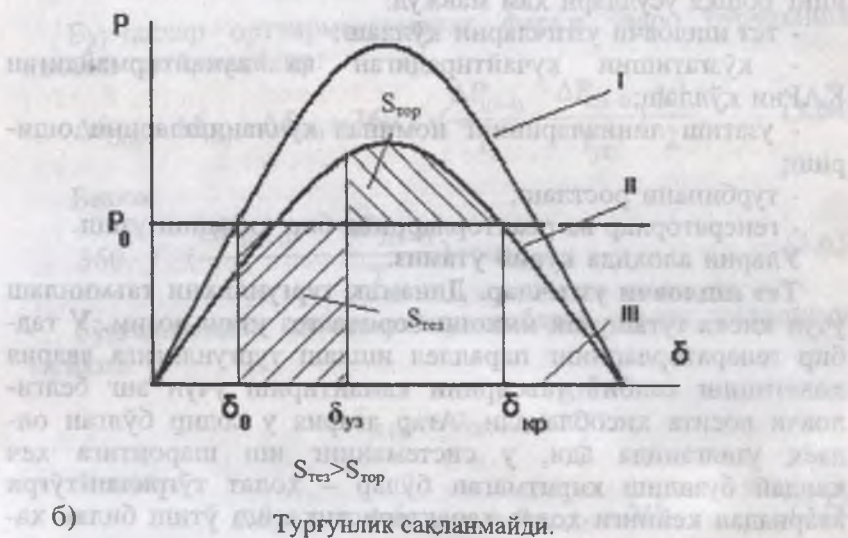
Ўткинчи жараённинг пайдо бўлиши ва синхрон генератор турғун ишлаши бузилишининг асосий сабабчиси машиналар валидаги моментлар балансининг бузилиши ҳисобланади. $P_t = P_r$ мувозанатнинг бузилиши ҳар хил сабаблар, жумладан, қисқа туташувлар, юклама ва генераторларнинг бир қисмини узиш ва ҳоказолар, натижасида юз бериши мумкин. Генераторларнинг шиналарига яқин бўлган жойда юз берувчи уч фазали қисқа туташув энг оғир оқибатларга олиб келади Шу сабабли, генераторлар ва мос ҳолда электр системасининг турғунлигини сақлаш учун қўлланиладиган тадбирлар ушбу балансни таъминлашга йўналтирилган.

Электр системасининг статик турғунлигини таъминлаш учун кўриб ўтилган тадбирлар динамик турғунлик захирасини ҳам оширади. Шунингдек, динамик турғунликни оширишнинг бошқа усуллари ҳам мавжуд:

- тез ишловчи узгичларни қўллаш;
- кўзғатишни кучайтирадиган ва кучайтирмайдиган ҚАРни қўллаш;
- узатиш линияларининг номинал кучланишларини ошириш;
- турбинани ростлаш;
- генераторлар ва реакторларнинг бир қисмини узиш.

Уларни алоҳида кўриб ўтамиз.

Тез ишловчи узгичлар. Динамик турғунликни таъминлаш учун қисқа туташувни имкони борича тез узиш лозим. У тадбир генераторларнинг параллел ишлаш турғунлигига авария ҳолатининг салбий таъсирини камайтириш учун энг белгилловчи восита ҳисобланади. Агар авария у содир бўлган ондаёқ узилганида эди, у системанинг иш шароитига ҳеч қандай бузилиш киритмаган бўлар — ҳолат тўғридан-тўғри авариядан кейинги ҳолат характеристикасига ўтиш билан характерланар эди.



3.24- расм. Киска туташувни узиш вақтининг (δ_z) динамик турғунликка таъсири:

- а) турғунлик сакланди, t_{y1} , $S_{тез} < S_{тор}$;
 б) турғунлик сакланмади, $t_{y1} > t_{y1}$, $S_{тез} > S_{тор}$.

3.24- расмда келтирилган графиклардан кўринадики, қисқа туташувнинг тез узилиши тезлашиш майдонини камайтириш, мумкин бўлган тормозловчи майдонни кўпайтиради ва шу сабабли динамик турғунликнинг захира коэффициенти $K_q = S_{\text{тор}} / S_{\text{тез}}$ ни оширади.

6-20 кВ кучланишга мўлжалланган узгичларнинг узиш вақти саноат частотаси бўйича тебранишнинг 5-10 та (0,1-0,2 сек), 35 кВ ва ундан юқори кучланишга мўлжалланган узгичларники эса 2-5 та (0,04-0,1 сек) даврини ташкил этади. Бунда аварияни мойли узгичлар ёрдамида узиш тезлиги 0,18-0,2 сек, ҳавояи узгичлар ёрдамида эса 0,08-0,1 сек брелигида бўлишини назарда тутиш лозим. Ҳозирги шароитларда ўта тез ишловчи синхронлашган узгичларни қўллаш кенгайиб бормоқда. Синхронлашган узгич деб контактлари узиловчи токнинг нолга келиш вақтини тахминан 1,5-2,5 мс илдамлаб, қатъий белгиланган вақтда ажратувчи узгичга айтилади. Қисқа туташув содир бўлган занжирни синхронлашган узгич ёрдамида узишнинг тўлиқ вақти бир давр атрофида (0,02 сек) бўлади.

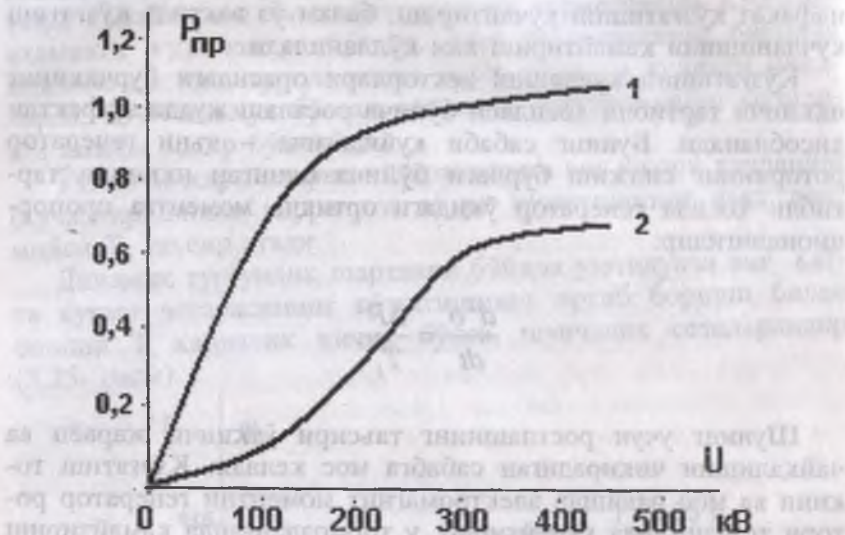
Мавжуд талабларга мувофиқ, қоидага кўра, синхрон динамик турғунлик линиянинг энг ноқулай нуктасида қуйидаги турдаги қисқа туташув содир бўлган ҳолларда сақланиши лозим:

- 35 кВ кучланишли тармоқлар учун – ер орқали икки фазали қисқа туташув содир бўлганда;

- 500 кВ ва ундан юқори кучланишли тармоқлар учун – ер орқали икки фазали қисқа туташув содир бўлганда. Агар бу катта капитал маблағларни талаб этса, у ҳолда синхрон динамик турғунликни фақат бир фазали қисқа туташувлар учун автоматик қайта улаш (АҚУ)нинг муваффақиятсиз ишлашини ҳисобга олиб таъминлашга рухсат этилади. АҚУ, хусусан линиядаги АҚУ, динамик турғунликнинг сақланишига катта таъсир кўрсатишини назарда тутиш лозим.

Қўзғатишни кучайтирадиган ва кучайтирмайдиган ҚАРларни қўллаш

Автоматик ростлагичлар бутун ўтқинчи жараён давомида динамик турғунликка сезиларли таъсир этади. Қисқа туташув даврида қўзғатиш токининг ортиши ҳали сезиларли натижаларни бериб улгурмайди. Шикастланган жойни узишдан бе-



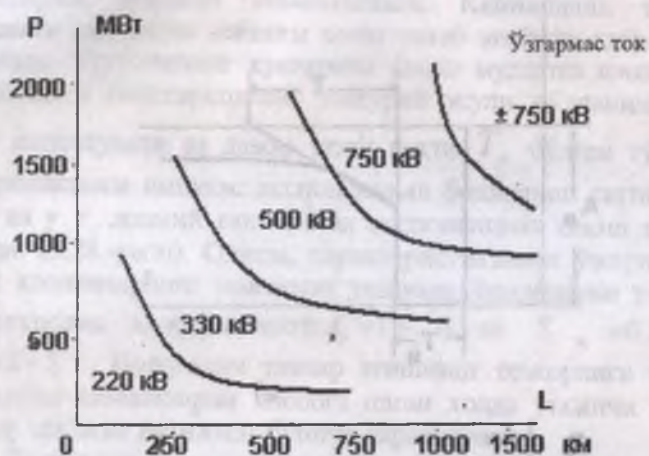
3.26 - расм. Узатилаётган қувватнинг кучланишга боғлиқлиги:

1- линиянинг узунлиги 200 км, 2- линиянинг узунлиги 800 км.

Қуйидаги 3.27-расмда номинал кучланишнинг иқтисодий қўллаш соҳасининг электр узатиш линияси узунлигига боғлиқлиги келтирилган.

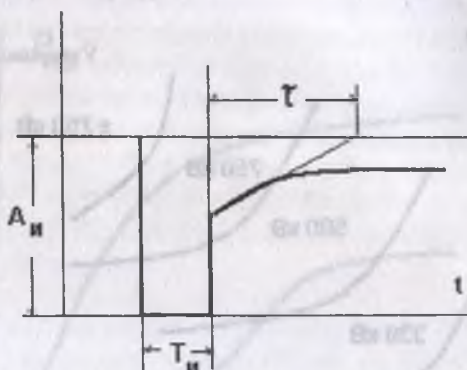
Кучланишни икки марта қўпайтириш, қаршилиқни тўрт марта камайитишга тенг кучли – яъни бу занжирлар сонини тўрт марта қўпайтирилганини билдиради. Лекин кучланишни қўпайтириш занжирлар сонини оширишга қараганда иқтисодий самарадорлироқ. Ҳар хил номинал кучланишни иқтисодий қўллаш соҳаси расмда келтирилган, ундан кўринадики ўзгарувчан ток кучланишида қувват узатиш катта истикболга эга.

Бу ерда, узунлиги 3000 км ва ундан ортиқ – ярим тўлқин узунлиги деб аталувчи ёки ярим тўлқин узунлигига мосланган линия ўрганилмаган. Аммо бундай линия ажойиб ҳолат ҳосасига эга, бу эса махсус курснинг ўрганиш соҳаси ҳисобланади.

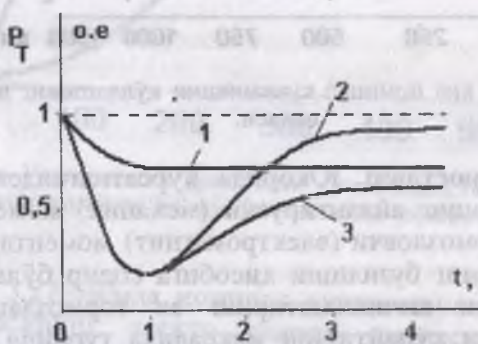


3.27- расм Ҳар хил номинал кучланишни қўллашнинг иқтисодий соҳаси.

Турбинани ростлаш. Юқорида кўрсатилгандек, ўткинчи жараён турбинанинг айлантирувчи (механик) моменти ва генераторнинг тормозловчи (электромагнит) моментлари орасидаги мувозанатнинг бузилиши ҳисобига содир бўлади. Тезлашиш майдонини кичиклаштириш ва тормозлаш мумкин бўлган майдонни кўпайтириш мақсадида турбина қувватини камайтириш зарур, бошқача сўз билан айтганда авария пайтида электр узатишни юксизлантириш зарур. Бу тадбир кўпинча сув электр станциялар (СЭС)лар учун бир қисм генераторларни узиш орқали амалга оширилади, чунки бу технологик жараён унча мураккаб эмас. Иссиқлик ва атом электр станцияларида генераторларни узиш ва қўшиш технологияси анча мураккаброқ, шу сабабдан, турбиналар қувватини камайтиришнинг бошқачароқ услуби қўлланилади. Бу буг турбиналарнинг қувватини авария ҳолатида бошқариш деб номланган услуб (ТҚАБ). ТҚАБ буг турбиналарининг ростлаш системасига электрогидравлик ўзгартиргич (ЭГУ) ва қувватни бошқариш механизми (КБМ) орқали таъсир кўрсатади.



а)



б)

3.28 - расм. Турбинани авария ҳолатида бошқариш:

а) авария ҳолатида юксизлантириш импульсининг формаси;

б) турбина характеристикасини ўзгартириш.

Характеристика 2 динамик турғунлик шартидан келиб чиқиб турбогенераторни қисқа вақтга юксизлантириш ва кейинчалик қувватни авариядан олдинги ҳолатидаги кийматиғача тиклаш ҳолига мос келади.

Статик турғунлик шартига кўра авариядан кейинги ҳолатда қисман юксизлантириш талаб этилади (1,3 характеристика).

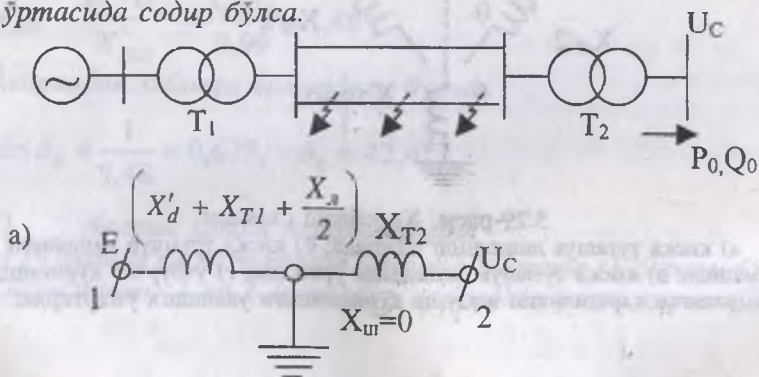
Бу таъсир билан системанинг динамик турғунлигини сақлаш мақсадида агрегатлар роторларидаги ортиқча кинетик энергияни тезликда сўндириш турбинани қисқа муддатли импульсли юксиз-

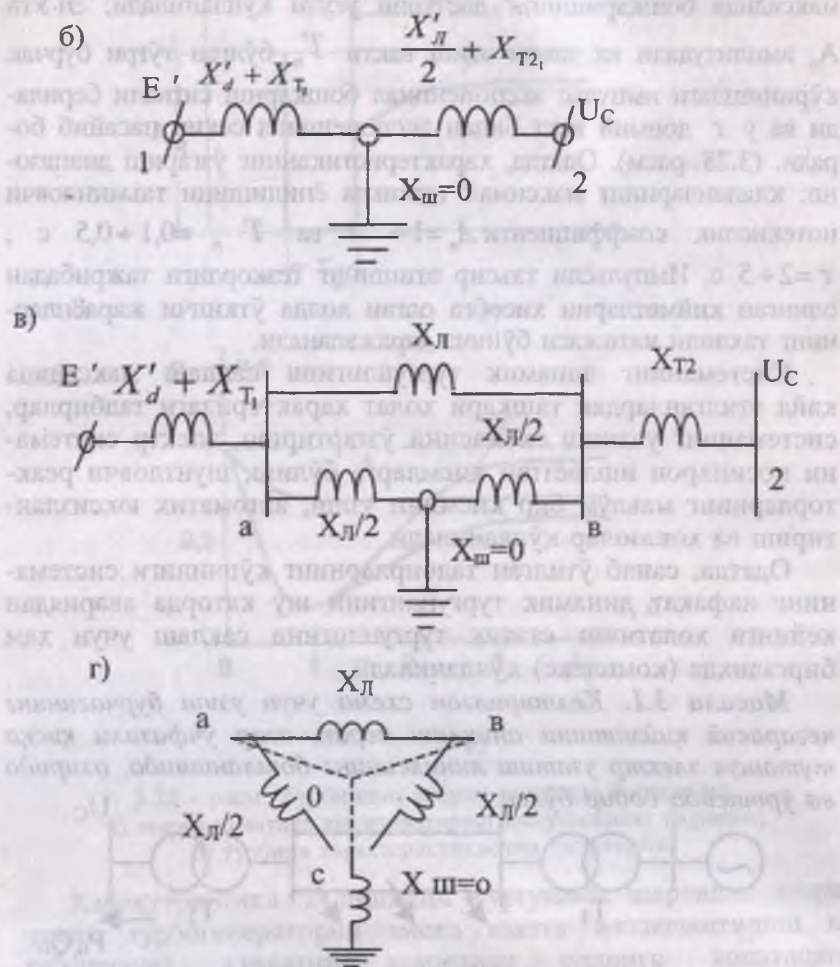
лантириш туфайли таъминланади. Кейинчалик турбинанинг қуввати авариядан кейинги ҳолат талаб этаётган қийматгача тикланади. Турбинанинг қуввати қисқа муддатга юксизлантириш мақсадида бошқаришнинг дастурий усули қўлланилади: ЭГУга A_n амплитудали ва давом этиш вақти T_n бўлган тўғри бурчак кўринишдаги импульс экспоненциал бошқариш сигнали берилади ва у τ доимий вақт билан экспоненциал секин пасайиб боради. (3.28.-расм). Одатда, ҳарактеристиканинг ўзгариш диапазони: клапанларнинг максимал тезликда ёпилишини таъминловчи нотекислик коэффициенти $A_n = 1 \div 4$ ва $T_n = 0,1 \div 0,5$ с, $\tau = 2 \div 5$ с. Импульсли таъсир этишнинг тезкорлиги тажрибадан олинган қийматларни ҳисобга олган ҳолда ўткинчи жараёнларнинг таҳлили натижаси бўйича даражаланаяди.

Системанинг динамик турғунлигини сақлаш мақсадида қайд этилганлардан ташқари ҳолат характеридаги тадбирлар, системанинг уланish схемасини ўзгартириш, электр системани носинхрон ишлаётган қисмларга бўлиш, шунтловчи реакторларнинг маълум бир қисмини узиш, автоматик юксизлантириш ва ҳоказолар қўлланилади.

Одатда, санаб ўтилган тадбирларнинг кўпчилиги системанинг нафақат динамик турғунлигини шу қаторда авариядан кейинги ҳолатнинг статик турғунлигини сақлаш учун ҳам биргаликда (комплекс) қўлланилади.

Масала 3.1. Келтирилган схема учун узиш бурчагининг чегаравий қийматини аниқлаш керак, агар учфазали қисқа туташув электр узатиш линиясининг бошланишида, охирида ва ўртасида содир бўлса.





3.29-расм. Ҳисоблаш схемаси:

а) қисқа туташув линиянинг охирида; б) қисқа туташув линиянинг бошида; в) қисқа туташув линиянинг ўртасида; г) учбурчак кўринишда уланган қаршилиқни юлдузча кўринишдаги улаишга ўзгартириш.

Синхрон генератор пропорционал турдаги ҚАР-П билан жихозланган ва ўткинчи ЭЮК ҳолат бузилганда ўзгармас қолади ($E = \text{ўзгармас}$). Системанинг параметрлари: $P_0=1$, $Q_0=0,3$ $U_c=1$, $X_d=0,35$ $X_T=0,12$ $X_L=0,4$ $X_{T0}=0,12$.

1) Нормал ҳолат параметрларини аниқлаймиз.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X'_{\Sigma I} = X'_d + X_{T1} + X_L/2 + X_{T2} = 0,35 + 0,12 + 0,2 + 0,12 = 0,79$$

Ўткинчи ЭЮК

$$E' = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X'_{\Sigma I}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X'_{\Sigma I}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,3 \cdot 0,79)^2 + (1 \cdot 0,79)^2} = 1,467$$

Нормал ҳолатдаги чегаравий қувват

$$P_{ml} = \frac{E' \cdot U_c}{X'_{\Sigma I}} = \frac{1,467}{0,79}$$

Нормал ҳолатдаги бурчак

$$\sin \delta_0 = \frac{P_0}{P_{ml}} = \frac{1}{1,857} = 0,538, \quad \delta_0 = 33^\circ$$

2) Авариядан кейинги ҳолат параметрлари (битта занжир узилади).

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X'_{\Sigma II} = X'_d + X_{T1} + X_L + X_{T2} = 0,35 + 0,12 + 0,4 + 0,12 = 0,99$$

Авариядан кейинги ҳолатдаги чегаравий қувват

$$P_{ml} = \frac{E' \cdot U_c}{X'_{\Sigma II}} = \frac{1,467}{0,99} = 1,48$$

Авариядан кейинги ҳолатдаги бурчак

$$\sin \delta_0 = \frac{1}{1,48} = 0,675, \quad \delta_0 = 42,4^\circ$$

2) Авария ҳолат параметрлари.

а) Уч фазаги қисқа туташув линиянинг бошида (3.29-расм б)

Системанинг 1 ва 2-нуқталар орасидаги ўзаро қаршилиқ:

$$X_{1ш} = (X_d + X_{T1}) + \left(\frac{X_s}{2} + X_{T2} \right) + \frac{(X_d + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_s}{2} + X_{T2} \right)}{X_{ш}} = \infty$$

бу ҳолда авария шунти $X_{ш}=0$ га тенгдир.

Генератор ва система орасида электрик боғланиш йўқ, шунинг учун

$$P_{мш} = \frac{E' \cdot U_{\epsilon}}{X_{12ш}} = 0$$

б) Уч фазали қисқа туташув линиянинг охириди (3.29-расм. а)

Системанинг 1 ва 2 -нчи нуқталар орасидаги ўзаро қаршилиқ:

$$X_{12ш} = \left(X_d + X_{T2} + \frac{X_s}{2} \right) + X_{T2} + \frac{\left(X_d + X_{T2} + \frac{X_s}{2} \right) \cdot X_{T2}}{X_{ш}} = \infty$$

Максимал қувват

$$P_{мш} = \frac{E' \cdot U_{\epsilon}}{X_{12ш}} = 0$$

в) Уч фазали қисқа туташув электр узатиш линиясининг ўртасида (3.29.в-расм). Линиянинг а ва б нуқталари орасидаги схемасини учбурчакдан юлдузчага ўзгартирамиз.

Юлдузча нурларининг қаршилиги тенг.

$$X_{\epsilon 0} = X_{a0} = \frac{X_L \cdot X_{L/2}}{X_L + X_{L/2} + X_{L/2}} = \frac{0,4 \cdot 0,2}{0,4 + 0,2 + 0,2} = \frac{0,08}{0,8} = 0,1$$

$$X_{oc} = \frac{(X_{L/2}) \cdot (X_{L/2})}{X_{L/2} + X_{L/2} + X_L} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,2 + 0,2 + 0,4} = \frac{0,04}{0,8} = 0,05$$

Системанинг охириги (натижавий) алмаштириш схемасини оламиз. Системанинг 1 ва 2 нуқталари орасидаги қаршилиқ

$$X_{12III} = (X_d' + X_{T1} + X_{a0}) + (X_{b0} + X_{T2}) + \frac{(X_d' + X_{T1} + X_{a0}) \cdot (X_{b0} + X_{T2})}{(X_{c0} + X_{III})} =$$

$$= (0,35 + 0,12 + 0,1) + (0,1 + 0,12) + \frac{(0,35 + 0,12 + 0,1) \cdot (0,1 + 0,12)}{(0,05 + 0)} = 3,29$$

Демак, уч фазали қисқа туташув холида ҳам, агар у электр узатиш линиясининг ўртасида содир бўлганда генератор билан система орасида электрик боғланиш мавжуд ва авария ҳолатида узатилаётган чегаравий қувват нолга тенг бўлмасдан, маълум қийматга эга:

$$P_{mIII} = \frac{E' \cdot U_c}{X_{12III}} = \frac{1,467 \cdot 1}{3,29} = 0,44$$

Линиянинг бошидаги ва охиридаги уч фазали қисқа туташувда, қисқа туташув узилишининг чегаравий бурчаги

$$\cos \delta_{ч.б.} = \frac{P_0 \cdot (\delta_{кр} - \delta_0) + P_{mII} \cdot \cos \delta_{кр} - P_{mIII} \cdot \cos \delta_0}{P_{mIII} - P_{mIII}} =$$

$$= \frac{1 \cdot (137^\circ - 33^\circ) \cdot \frac{\pi}{180} + 1,48 \cdot \cos 137^\circ}{1,48} = 0,49 \text{ ва } \delta_{н.о.} \cong 60^\circ$$

бу ерда,

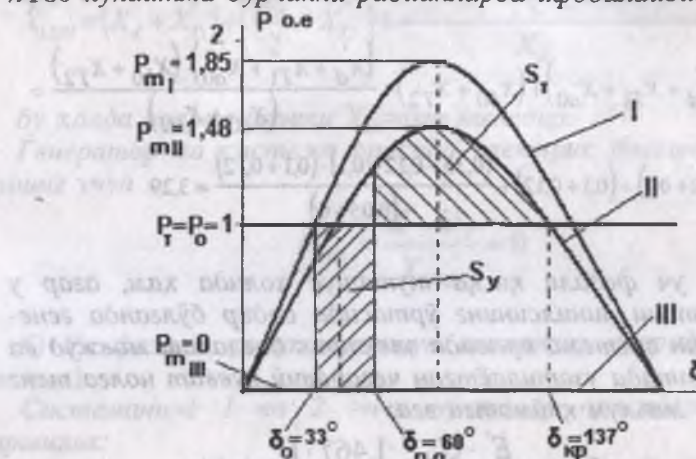
$$\delta_{кр} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_{mIII}} = 180^\circ - \arcsin \frac{1}{1,48} = 137^\circ.$$

Худди шу бурчак линиянинг ўртасидаги уч фазали қисқа туташувда тенг

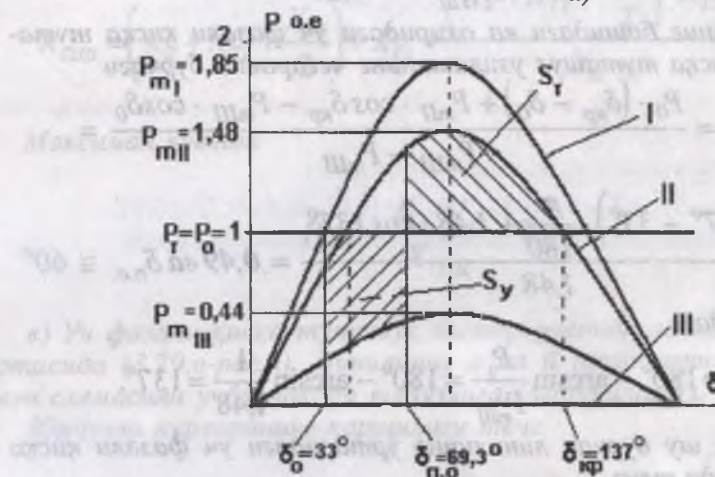
$$\cos \delta_{ч.б.} = \frac{1 \cdot (137^\circ - 33^\circ) \cdot \frac{\pi}{180} + 1,48 \cdot \cos 137^\circ - 0,44 \cdot 0,84}{1,48 - 0,44} = 0,346$$

ва $\delta_{ч.б.} \cong 69^\circ,3$

Чегаравий бурчакни аниқлашда касрнинг суратидаги $\pi 180$ кўпайтма бурчакни радианларда ифодалайди.



а)



б)

3.30-расм. Тезлашиш ва тормозланиш майдонлари:

- а) уч фазали қисқа туташув линиянинг бошида ва охирида;
- б) уч фазали қисқа туташув линиянинг ўртасида.

Тезлашиш ва тормозланиш майдонлар катталигини солиштиришдан кўринадикки, электр узатиш линиясининг бошида ва охирида қисқа туташув содир бўлиши энг огир ҳолат ҳисобланади.

Синов саволлари

1. Электромеханик ўткинчи жараённинг пайдо бўлишига нима сабаб?
2. Электр системанинг динамик турғунлигини текширишнинг асосий вазифаси нимадан иборат?
3. Авария шунти нима ва у ҳар хил турдаги носимметрик қисқа туташувлар учун қандай аниқланилади?
4. Нима учун майдонлар усули системанинг динамик турғунлигини текширишдаги энергетик усул ҳисобланади?
5. Кетма-кет интервал усули ва уни қўллашда қабул қилинадиган фаразлар?
6. Нима учун динамик турғунликни ҳисоблашнинг бошланғич босқичида турбинанинг кувватини ўзгармас деб ҳисоблаймиз?
7. Динамик турғунлик чегарасини оширишнинг қандай тадбирларини биласиз?
8. Нима учун тезкор узгичларни қўллаш система динамик турғунлигини оширади?
9. Нима учун турбиналарни ростлаш ва автоматик ростлагичлар динамик турғунлик шарти бўйича кувватнинг узатиш чегарасини оширади?
10. Қисқа туташувни узишнинг чегаравий бурчаги нима?

4. ЮКЛАМА ТУГУНЛАРИДАГИ ЎТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

4.1. Электр системаларининг юкламалари

Электр энергияси истеъмолчилари ўз таркиби ва характериға кўра турличадир. Булар саноат корхоналари, транспорт, қишлоқ хўжалиғи истеъмолчилари, коммунал-маиший юклама ва бошқалар. Система элементларининг ҳар бирининг юкласини ростлаш, нафақат ушбу элементнинг ҳолатини белғилайди, балки бутун система ҳолатига таъсир қилади. Истеъмолчиларнинг энг кўп тарқалган тури актив ва реактив қувват истеъмол қилувчи асинхрон моторлардир. Ўсиб боровчи аънаға эға бўлган - ёритиш, иситиш асбоблари каби маиший-коммунал юклама, асосан актив қувват истеъмол қилади.

Юкламалар тармокка уланганда, уларнинг иш шароитлари ўзгарганда ёки система ҳолатининг бузилишларида (кучланиш, частота, узатиш линияси ва тармок параметрларининг ўзгариши) ўткинчи жараёнлар юз беради. Бу жараёнларға юкламанинг реакциясини ёки ўзини тутишини ва ушбу шароитларда электр тизими ҳолатларига таъсирини ўрганиш зарур. Бунда, нафақат алоҳида юкламалар, балки йирик подстанцияға, юқори кучланиш халқасига, электр узатиш линиясига ва х.к.ларға уланган юкламалар тугуни, яъни юкламалар гуруҳи кўрилади.

Истеъмолчилар таркиби етарлича кенг чегараларда ўзгариши мумкин, лекин статистик тадқиқотлар асосида уларнинг тахминий нисбатлари ўрнатилган:

кичик асинхрон моторлар	34%
йирик асинхрон моторлар	14%
ёритиш	25%
синхрон моторлар	10%
тўғрилагичлар, печлар	10%
тармоклардаги исрофлар (тижорий исрофлар ҳисобға олинмаганда)	7%.

Бундан кўриниб турибдики, саноат юкламасининг бир қисми асинхрон моторлар бўлиб ҳисобланади ва уларнинг ўткинчи жарёнларда ўзини тутиши система ҳолатларига сезиларли таъсир кўрсатади.

4.2. Юргизилувчи машиналарнинг механик характеристикалари

Асинхрон моторлар билан юргизилувчи (ҳаракатга келтирилувчи) механизмларнинг механик характеристикаларини қандай ўзгаришини кўриб чиқамиз. Бу характеристикалар моторларнинг ишлаб-чиқариш ва қувват ҳарактерига боғлиқ бўлиб, улар ўз навбатида, таъминловчи тармоқ ҳолатига боғлиқдир.

Ишчи машиналарнинг $M_{мех} = f(\omega)$ механик характеристикалари шартли равишда учта асосий типга бўлиниши мумкин:

1) Механик момент доимий ёки моторнинг айланиш тезлигига деярли боғлиқ эмас, яъни $M_{мех} \approx \text{ўзгармас}$ ва $P_{мех} \approx \omega$.

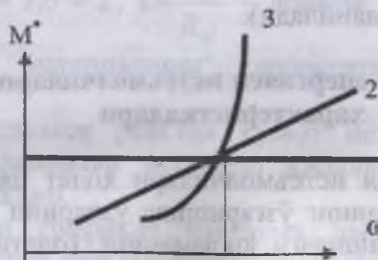
Машиналарнинг бундай типига кўтариш кранлари, транспорт механизмлари қиради.

2) Механик момент тахминан моторнинг айланиш тезлигига тўғри пропорционал, яъни $M_{мех} \approx \omega$ ва $P_{мех} \approx \omega^2$.

Бундай типдаги машиналарга, асосан, тўқимачилик саноатида фойдаланилувчи механизмлар қиради.

3) Механик момент тезликнинг квадратига тўғри пропорционал, яъни $M_{мех} \approx \omega^2$ ва $P_{мех} \approx \omega^3$.

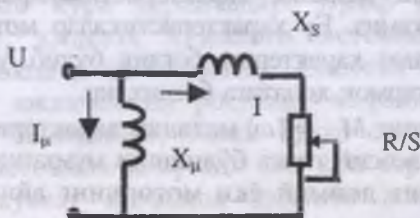
Бундай типдаги машиналарга вентиляторлар, марказдан кочмали насослар қиради.



4.1- расм. Ишчи механизмларнинг механик характеристикалари.

4.1-расмда нисбий тезликка боғлиқ бўлган моментларнинг тегишли характеристикалари $\omega^* = \omega/\omega_n$ кўрсатилган бўлиб, бу ерда, ω_n - машинанинг номинал тезлиги.

Соддалаштириш учун ишчи машинанинг механик моментини сирпанишга боғлиқ эмас деб қабул қиламиз. Унда тургун ҳолат учун асинхрон моторнинг Г-симон алмаштириш схемасининг асосий занжири (4.2-расм) бўйича оқиб ўтадиган I токни эътиборга олган ҳолда қуйидагини ёзишимиз мумкин:



4.2-расм. Асинхрон моторнинг Г-симон схемаси.

$$M_{\text{мех}} = M = \frac{P}{\omega_o} = \frac{I^2 R}{\omega_o S} = \text{ўзгармас.} \quad (4.1)$$

$$\text{Агар } \omega_o = 1 \text{ бўлса, у ҳолда } S = \frac{I^2 R}{P} \text{ ёки } S \equiv I^2 \quad (4.2)$$

Шундай қилиб, валдаги доимий механик тормозловчи моментда асинхрон моторнинг сирпаниши токнинг квадратига пропорционалдир (бу тасдиқни эслаб қолиш зарур, чунки қуйида ундан фойдаланилади).

4.3. Электр энергияси истеъмолчиларининг характеристикалари

Электр энергияси истеъмолчилари ҳолат параметрлари – кучланиш ва частотанинг ўзгаришида ўзларини турлича тутади. Уларнинг ўзгаришидаги юкламанинг ҳолатини миқдорий баҳосини олиш учун истеъмолчи характеристикаси деган тушунча киритилган. Истеъмолчининг характеристикалари деб

улар истеъмол қилувчи актив ва реактив қувватларни, айлантирувчи момент ёки токни кучланиш ёки частотага боғлиқлиги тушунилади:

$$P, Q, M = f(U) \text{ ёки } P, Q, M = \varphi(f) \quad (4.3)$$

Характеристикалар икки турга - статик ва динамик характеристикаларга бўлинади.

Статик характеристика деб қувватни, моментни ёки токни ҳолатнинг ҳар бир нуқтаси турғун ҳолатга тегишли деб ҳисобласа бўладиган секин ўзгаришларида олинган кучланиш ёки частотага боғланишга айтилади.

Масалан: $P=f(U)$, $Q=f(U)$, $P=\varphi(f)$ $Q=\varphi(f)$ ва х.к.

Динамик характеристика деб худди шундай, фақат ҳолатни тез ўзгаришларда параметрларни вақт бўйича ўзгариш тезлигини ҳисобга олган ҳолда олинган боғланишга айтилади.

$$P = \varphi(U, f, \frac{dU}{dt}, \frac{df}{dt}, \frac{d^2U}{dt^2}, \dots) \text{ ва х.к.} \quad (4.4)$$

Юклама элементларининг баъзи бир статик ва динамик характеристикаларини кўриб чиқамиз.

а) Ёритиш юкламаси

Таркибида чўғланма лампа мавжуд бўлган юкламанинг истеъмол қилувчи актив қуввати частотага боғлиқ эмас ва у тахминан кучланишнинг квадратига пропорционалдир:

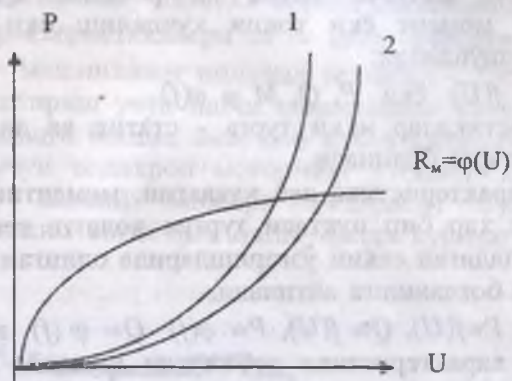
$$P = \frac{U^n}{R_H} = K \cdot U^n, \quad (4.5)$$

Бу ерда, $n = 1,6 \div 2$, $k = \frac{1}{R_H}$ - доимий деб ҳисобланувчи,

лекин амалда материалнинг ҳароратига боғлиқ бўлган қиймат.

Ёритиш юкламаси реактив қувват истеъмол қилмайди. Люминисцент лампалар истеъмол қиладиган актив қувват частотага боғлиқдир.

4.3.-расмдаги графикда чўғланма лампалардан ташкил топган юкламанинг $P=f(U)$ характеристикалари келтирилган.



4.3- расм. Ёритиш юкласининг статик характеристикаси.

4.3- расмда 1- юкламанинг қаршилиги ўзгармас, яъни $R_n = \frac{U^2}{P} = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолатда истеъмол қилинувчи актив қувватнинг кучланишга боғлиқлиги; 2 - сим материалнинг қизиши натижасида актив қаршилиқнинг ўзгаришини $R = \varphi(U)$ ҳисобга олган ҳолатда, истеъмол қилинувчи қувватнинг кучланишга боғлиқлиги.

Агар қизиш натижасида қаршилиқнинг ортиши ҳисобга олинса, юклама истеъмол қилаётган қувват камаяди.

Ёритиш ускуналарининг динамик характеристикалари электр механик ўткинчи жараёнларни таҳлил қилишда уларнинг статик характеристикаларига мос келади деб қабул қилинади.

б) Асинхрон юклама ва унинг турғун ишлаш меъзони

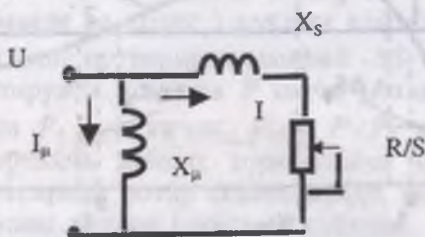
Асинхрон мотор юклама сифатида актив ва реактив қувватларни истеъмол қилади. Шартли равишда актив қувват айлантирувчи моментни ҳосил қилишга, реактив қувват эса машинанинг магнит майдонини ҳосил қилишга сарф бўлади деб ҳисоблаш мумкин. Айланувчан қисм - роторнинг мавжудлиги мотордаги электр магнит ва механик жараёнларни биргаликда ўрганишни талаб этади. Шу сабабли, асинхрон моторнинг сирпаниши машинанинг комплекс параметри

бўлиб, уни ҳам статик, ҳам динамик ҳолатларда характерлайди.

Асинхрон юкламанинг статик ва динамик характеристикалари турлича. Бу фарқ моторнинг сирпаниши тез ўзгарганда эркин тоқларнинг ҳосил бўлиши билан шартланади.

Ушбу бўлимда, аввал, асинхрон моторнинг статик характеристикаларини кўриб чиқамиз.

Асинхрон моторнинг соддалаштирилган Г-симон алмаштириш схемасидан фойдаланамиз (4.4- расм). Бунда статордаги исрофларни тармоққа тегишли деб оламиз. Шунингдек, пўлатнинг магнитланиши билан боғлиқ актив қувват исрофини ҳам эътиборга олмаймиз.



4.4.-расм.

4.4- расмда X_s – статор ва роторнинг сочилма қаршилиги; R/S – ротор чулғамининг келтирилган актив қаршилиги;

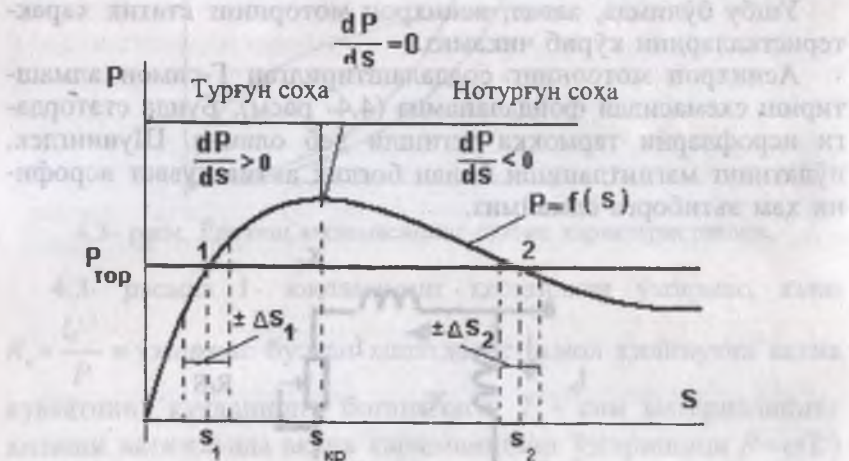
$S = \frac{\omega_o - \omega_p}{\omega_o}$ – сирпаниш; ω_o, ω_p – роторнинг синхрон ва ишчи

бурчак тезликлари; X_μ – магнитланиш тармоғининг қаршилиги.

Одатда, кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторлар учун $S = 0,03 \div 0,05$, катта қувватли асинхрон моторлар учун $S = 0,01$.

Мотор истеъмол қилувчи актив қувватни алмаштириш схемаси бўйича аниқлаш мумкин:

$$P = I^2 \cdot \frac{R}{S} = \frac{U^2}{\left(\sqrt{X_s^2 + \left(\frac{R}{S} \right)^2} \right)^2} \cdot \frac{R}{S} = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s \cdot S)^2 + R^2} \quad (4.6)$$



4.5- расм. Асинхрон моторнинг электр магнит айлантйрувчи моменти.

$P=f(S)$ харахтеристикаси 4.5-расмда келтирилган кўринишда бўлади. Одатда, бу харахтеристика ишчи механизмининг тормозлаш харахтеристикаси $P_{\text{тор}}$ билан тўлдирилади. Маълумки, асинхрон моторнинг дифференциал тенгламаси куйидаги кўринишга эга:

$$T_D \frac{dS}{dt} = P - P_T. \quad (4.7)$$

Бу ерда, T_D - моторнинг ишчи механизм билан биргаликдаги инерция доимийси, P , P_T - моторнинг айлантйрувчи ва ишчи механизмнинг тормозловчи моментлари. Асинхрон моторнинг турғун ишлаш шартларини кўриб чикамиз.

Турғун ҳолатнинг асосий шарти бўлиб валдаги айлантйрувчи момент (мотор) ва тормозловчи моментларнинг (ишчи механизм) тенглиги $P=P_T$ хисобланади.

У ҳолда

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P - P_T}{T_D} = 0. \quad (4.8)$$

$P = P_T$ бўлиши, $S = \text{ўзгармас}$, яъни сирпаниш ўзгармас бўлган турғун иш ҳолатини характерлайди. Бу ҳолат 1 ва 2 нукталарда бўлиши мумкин.

Фараз қилайлик, 1-нуктада сирпаниш кичик маълум миқдорга ўзгаради $\pm \Delta S_1$ (4.5-расм). Сирпанишнинг мусбат орттирмаси $+\Delta S$ да моторнинг айлантирувчи моменти P ишчи механизмнинг тормозловчи момент P_T дан катта, яъни $P > P_T$ ва $\Delta P = P - P_T > 0$ бўлиб, валдаги ортикча момент айлантирувчи характерга эга бўлади. Унинг таъсирида ротор тезлашади, сирпаниш камаёди ва ҳолат 1-нуктага қайтади. Агар ушбу нуктада сирпанишнинг орттирмаси манфий $-\Delta S_1$ бўлса, у ҳолда моторнинг айлантирувчи моменти P ишчи механизмнинг тормозловчи моменти P_T дан кичик, яъни $P < P_T$ ва $\Delta P = P - P_T < 0$ бўлиб, валдаги ортикча момент тормозловчи характерга эга бўлади. Унинг таъсирида ротор секинлашади, сирпаниш ўсиб боради ва моторнинг ҳолати 1-нуктага қайтади.

Энди фараз қилайлик, дастлабки ҳолат 2- нуктада бўлиб, сирпаниш орттирма олсин. 4.5- расмдан кўринадики, агар бу орттирма мусбат бўлса, моторнинг айлантирувчи моменти P ишчи механизмнинг тормозловчи моменти P_T дан кичик, яъни $\Delta P = P - P_T < 0$ бўлиб қолади ва унинг таъсирида ротор тормозланиб, сирпаниш ортиб боради. Бу эса, ўз навбатида, моторнинг айлантирувчи моменти P ни янада камайишига олиб келади ва ҳ.к. шу тариқа 2-нуктадан узлуксиз узоклашиш кузатилади. Агар орттирма манфий бўлса, моторнинг айлантирувчи моменти P тормозловчи момент P_T дан катта, яъни $\Delta P = P - P_T > 0$ бўлиб қолади ва унинг таъсирида ротор тезлашиб, сирпаниш камайиб боради. Бу эса, ўз навбатида, моторнинг электр магнит қуввати P ни янада ортишига олиб келади ва ҳолат 1-нукта томон йўналишида кетади. Бошқача қилиб айтганимизда, бу вазиятда ҳам турғун ҳолат нуктасидан узоклашиш кузатилади.

Шундай қилиб, 1-нуктадаги кичик орттирмада ҳолат дастлабки нуктага қайтади, 2-нуктадаги ҳудди шундай орттирма эса

бу нуктадан узлуксиз узоклашишга олиб келади. Демак, 1-нукта моторнинг **турғун** ишлаш нуктаси, 2-нукта эса **нотурғун** ишлаш нуктаси бўлиб ҳисобланади.

Мотор қувватининг (момент) максимумини, қувват характеристикасини сирпаниш бўйича дифференциаллаб, уни нолга тенглаш орқали топиш мумкин:

$$\frac{dP}{dS} = 0;$$

$$\frac{dP}{dS} = \frac{U^2 R(R^2 + X_s^2 \cdot S^2) - U^2 \cdot R \cdot S \cdot X_s^2 \cdot 2 \cdot S}{(R^2 + X_s^2 \cdot S^2)^2} = 0;$$

$$U^2 \cdot R[R^2 + X_s^2 \cdot S^2] - 2 \cdot S^2 \cdot X_s^2 = 0;$$

$$R^2 - S^2 \cdot X_s^2 = 0; \quad S = \frac{R}{X_s}. \quad (4.9)$$

Сирпанишнинг қувват максимумига мос келувчи бу қиймати унинг критик қиймати деб аталади ва у $S_{кр}$ кўринишида белгиланади. Қувват максимумини (4.6) га $S_{кр}$ ни қўйиб топиш мумкин:

$$P_m = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s^2 \cdot S^2)^2 + R^2} = \frac{U^2 \cdot R \cdot \frac{R}{X_s}}{X_s^2 \cdot \frac{R^2}{X_s^2} + R^2} = \frac{U^2 \cdot R^2}{2R^2 \cdot X_s} = \frac{U^2}{2X_s}.$$

Шундай қилиб, мотор қувватининг максимуми қуйидагига тенг:

$$P_m = \frac{U^2}{2X_s} \quad (4.10)$$

Сирпанишнинг нолдан критик қийматгача ўзгариш интервали $S = 0 \div S_{кр}$ турғун ишлаш интервали, $S > S_{кр}$ бўлган интервал эса нотурғун ишлаш интервали ҳисобланади. $P=f(S)$ характеристканинг максимуми $S_{кр}$ сирпаниш билан

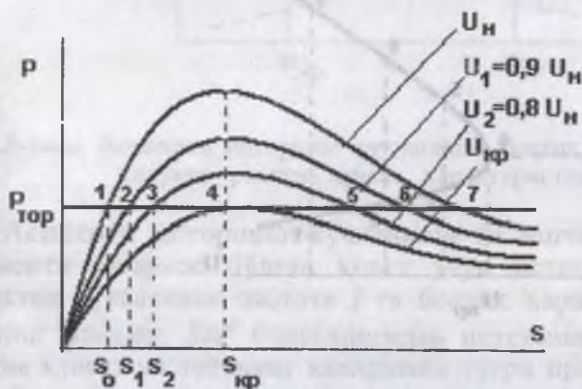
аниқланади. Агар $\frac{dP}{ds} > 0$. шарт бажарилса, мотор турғун ишлайди. Шундай қилиб, асинхрон моторнинг турғун ишлаш мезони

$$\frac{dP}{ds} > 0. \quad (4.11)$$

муносабат билан белгиланади.

Шуни қайд этиш лозимки, критик сирпаниш кучланишга боғлиқ бўлмасдан, фақат машинанинг параметрларига боғлиқдир.

Моторнинг $P=f(S)$ электр магнит характеристикасига асосан, кучланиш пасайганда унинг максимуми кучланишнинг квадратига пропорционал равишда, бир хил критик сирпанишда, камайди (4.6- расм). Бунда моторнинг ишчи сирпаниши ўсиб боради ва айланиш тезлиги мос равишда камайди.



4.6-расм. Машина шиналарида кучланиш ўзгарганда моторнинг айлантирувчи моменти ўзгариши.

Мотор электр магнит қувватининг максимуми ишчи механизмнинг тормозловчи қувватига тенг бўлиш ҳолатига мос келувчи кучланиш U_k критик кучланиш деб аталади. Ушбу нуктага $P=f(S)$ графикда (4.6- расм) 4-нукта мос келади ва $S=f(U)$ боғланишда $U_4=U_{кр}$ (4.7.-расм).

Кучланишни янада пасайиши моторни тўхтаб қолишига олиб келади, чунки мотор эришаётган айлантирувчи момент моторнинг тормозловчи моментидан кичик бўлиб қолади.

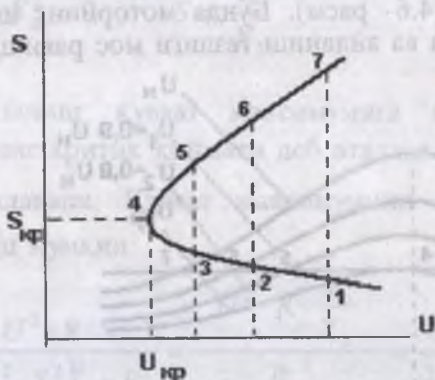
Асинхрон мотор истеъмол килаётган реактив қувватни аниқлаймиз.

4.4- алмаштириш схемасидан кўриниб турибдики, реактив қувват 2 та ташкил этувчидан иборат:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\mu} + Q_s \quad (4.12)$$

Бу ерда: $Q_{\mu} = \frac{U^2}{X_{\mu}} = I_{\mu} \cdot U$ - магнитловчи токка боғлиқ

бўлган магнитловчи реактив қувват бўлиб, $I_{\mu} = (0,2 \div 0,6) I_N$ - моторнинг қуввати ва айланиш тезлигига боғлиқ бўлган салт ишлаш токи; I_N - моторнинг номинал токи; $Q_s = I^2 X_s$ - ста-тор ва роторнинг сочилиш майдонини ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлган сочилиш реактив қуввати.

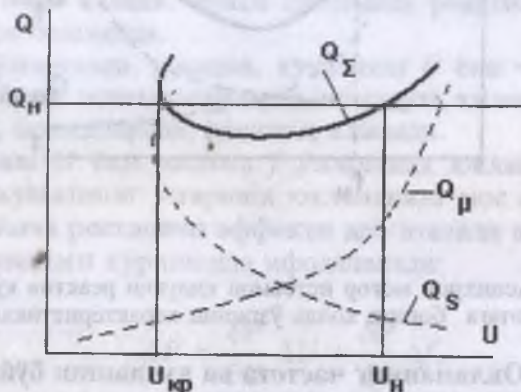


4.7-расм. Асинхрон моторнинг критик сирпаниши ва кучланишини аниқлаш.

Кучланишнинг ортиб бориши билан машинанинг тўйиниши ўсиб боради, бу моторнинг индуктив қаршилиги, жумладан, магнитланиш занжири қаршилиги X_{μ} нинг камайишига олиб келади. Бунда реактив қувват истеъмоли ортиб, $Q_{\mu} = f(U)$ боғланиш квадратик характеристикага яқинлашади.

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, валда ўзгармас қаршилик моменти мавжуд бўлса сирпаниш токнинг квадратага пропорционал бўлади $S \propto I^2$. Худди шу сингари, Q_s реактив

қувват токнинг квадратиға пропорционал бўлганлиги сабабли, $Q_s=f(U)$ ва $S=f(U)$ боғлиқликлар ҳам айнан шу кўринишда бўлиб, улар фақат масштаби билан фарқ қилади деб ҳисоблашимиз мумкин. Бундан келиб чиқиб, частота ўзгармас $f=\text{ўзгармас}$ бўлган ҳолат учун (4.8.-расм) $Q_\Sigma=f(U)$ боғланишни кўриш мумкин.

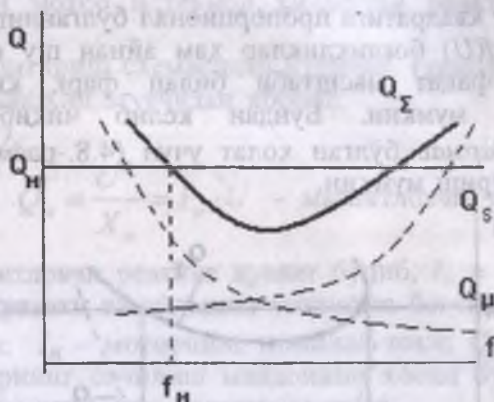


4.8-расм. Асинхрон моторнинг кучланишга боғлиқ ҳолда истеъмол қилувчи реактив қувват характеристикаси.

Асинхрон моторнинг кучланиши ва ишчи механизмнинг моменти ўзгармас бўлган ҳолат учун истеъмол қилинувчи реактив қувватнинг частота f га боғлиқ характеристикасини кўриш мумкин. $S=f^2$ бўлганлигидан истеъмол қилинувчи реактив қувват частотанинг квадратиға тўғри пропорционаллиги $Q_\mu \propto f^2$, магнитловчи қувват эса частотанинг пасайиши билан ортиб бориши келиб чиқади:

$$Q_\mu = \frac{U^2}{X_\mu} \equiv \frac{1}{f}.$$

Бу ифодаларнинг графиклари 4.9-расмда келтирилган. Асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувват частотанинг ошиши билан олдин камаяди ва кейинчалик ошади. Бундай ҳолат асинхрон мотор учун, электр системаси учун ҳам оғир ҳолат ҳисобланади, чунки исрофни ошишига олиб келади ва система тугунларишнинг кучланишини пасайтиради.



4.9-расм. Асинхрон мотор истеъмол қилувчи реактив қувватнинг частотага боғлиқ ҳолда ўзгариш характеристикаси.

4.4. Юкларнинг частота ва кучланиш бўйича ростлаш эффекти

Электр системасида кучланиш ва частота ўзгарганда юк-лама истеъмол қилаётган актив ва реактив қувват ўзгаради.

Система тугунларида кучланиш бўйича ҳолатнинг ўзгариши актив ва реактив қувват оқимларининг ўзгариши ҳамда электр системаси элементларидаги исрофлар билан боғлиқ. Оқимлар турлича бўлганлиги учун электр системаси тугунларида кучланиш даражалари ҳам бир-биридан фарк қилади.

Кучланишнинг ўзгариши реактив қувват баланси билан боғлиқ бўлиб, унинг манбалари бўлиб синхрон генераторлар, турлича тузилишдаги реактив қувват компенсаторлари, синхрон моторлар, юклама тугунларида ва электр узатиш линиялари бўйлаб ўрнатиловчи реактив қувватнинг статик манбалари ва ҳ.к.лар ҳисобланади.

Частотанинг ўзгариши электр системасида актив қувват балансининг бузилиши билан боғлиқдир. Бу баланс системага уланган истеъмолчиларнинг актив юкласи ва электр станцияларида ишлаб чиқарилувчи умумий актив қувват мос бўлмаган ҳолатларда бузилади. Бунда частотанинг ўзгариши

бутун электр системасида бир вақтда ва бир хилда юз беради. Тезлик ростлагичларининг таъсири натижасида актив қувват ишлаб чиқариш ва истеъмол илиш ўртасида янги мувозанат (баланс) юзага келади.

Қайд этиш керак, частотанинг янги қиймати дастлабкисидан фарқ қилса, масалан кам бўлса, у кучланишнинг ҳам камайишига олиб келади, чунки системада реактив қувват истеъмоли ўса бошлайди.

Ҳолат ўзгарганда, масалан, кучланиш U ёки частота f пасайганда айрим истеъмолчиларда истеъмол қилинаётган қувват ортади, бошқаларида, ақсинча, камаёди.

Кучланиш U ёки частота f ўзгарганда юклама истеъмол қилаётган қувватнинг ўзгариши юкламанинг мос кучланиш ва частота бўйича **ростловчи эффекти** деб аталади ва математик равишда қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f, \\ \Delta Q &= \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f,\end{aligned}\quad (4.13)$$

Бу ерда, dP/dU , dP/df , dQ/dU , dQ/df – кучланиш ва частота бўйича ростловчи эффектлар бўлиб, улар ҳолат параметрларини ўзгаришига юкламанинг реакциясини характерлайди (бу ерда ҳосилалар фақат битта параметр учун бошқалари ўзгармас бўлган ҳолат учун аниқланган).

Бундан сўнг $\frac{\partial P}{\partial \Pi} = \frac{dP}{d\Pi}$ деб ҳисоблаймиз. Бу ерда: Π – ҳолат параметри.

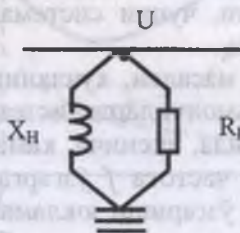
Ҳосиланинг қиймати қанчалик катта бўлса, кучланиш ёки частота ўзгарганда юклама истеъмол қилаётган қувват шунча кескин ўзгаради.

Агар U ёки f пасайганда P ва Q нинг истеъмоли камайса, бунда ростловчи эффект мусбат, акс ҳолда манфий деб юригилади.

Баъзи турдаги юкламаларнинг ростловчи эффектини кўриб ўтамиз.

4.5. Ўзгармас қаршилик билан ифодаланган юкламанинг ростилаш эффекти

Доимий қаршилик билан ифодаланган юкламанинг ростилаш эффектини келтирилган схема асосида кўриб чиқамиз (4.10-расм):



4.10-расм.

Маълумки, ўзгармас қаршилик билан ифодаланган юкламанинг истеъмол қилаётган актив ва реактив қувватлари куйидаги ифодалардан аникланади:

$$P_{\text{ю}} = \frac{U^2}{R_{\text{н}}}; \quad Q_{\text{ю}} = \frac{U^2}{X_{\text{н}}} \quad (4.14)$$

Ростилаш эффектнинг таърифига мувофиқ ҳосилаларни аниқлаймиз:

$$\frac{dP_{\text{н}}}{dU} = \frac{2U \cdot U}{R_{\text{н}} \cdot U} = \frac{2}{U} \cdot \frac{U^2}{R_{\text{н}}} = \frac{2P_{\text{н}}}{U} \quad (4.15)$$

$$\frac{dQ_{\text{н}}}{dU} = \frac{2U \cdot U}{X_{\text{н}} \cdot U} = \frac{2}{U} \cdot \frac{U^2}{X_{\text{н}}} = \frac{2Q_{\text{н}}}{U}$$

$$Q_{\text{н}} = P_{\text{н}} = U = I \text{ бўлганда}$$

$$\frac{dP_{\text{н}}}{dU} = \frac{dQ_{\text{н}}}{dU} = 2.$$

Шундай қилиб, ўзгармас қаршилик билан ифодаланган юклама мусбат ростилаш эффектига эга, яъни кучланиш пасайганда у истеъмол илаётган актив ва реактив қувватлар камаяди ва шу билан системанинг нормал ҳолати бузилмайди.

4.6. Асинхрон моторнинг кучланиш ва частота бўйича ростлаш эффекти

Юқорида кайд этиб ўтилганидек, саноат корхоналарида барча электр истеъмолчиларининг, тахминан, ярмини асинхрон моторлар ташкил этади, шу сабабли, U ва f ўзгарганда уларда қувват истеъмолининг ўзгариш характери энг кўп кизиқиш уйғотади.

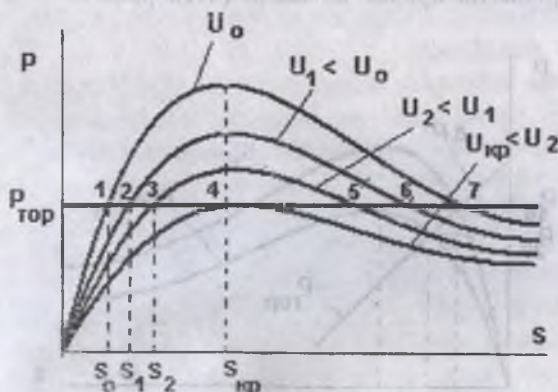
Бу ерда, биз берилган кучланишли шиналардан таъминланувчи якка асинхрон моторнинг ростлаш эффектини кўриб чиқамиз.

а) Асинхрон моторни кучланиш бўйича ростлаш эффекти ($f = \text{ўзгармас}$)

Юқорида қуйидаги муносабат ҳосил қилинган эди:

$$P = \frac{U^2 \cdot R_r S}{(X_s \cdot S)^2 + R^2} \quad (4.16)$$

Кучланиш пасайганда ишчи сирпаниш ўсиб боради ва бунга мос равишда роторнинг эквивалент қаршилиги R/S камаяди. Ҳолат 1-нуктадан 2-нуктага ўтади (4.11-расм), бу ерда, яна тормозловчи ва айлантирувчи моментлар тенглигига риоя қилинади.



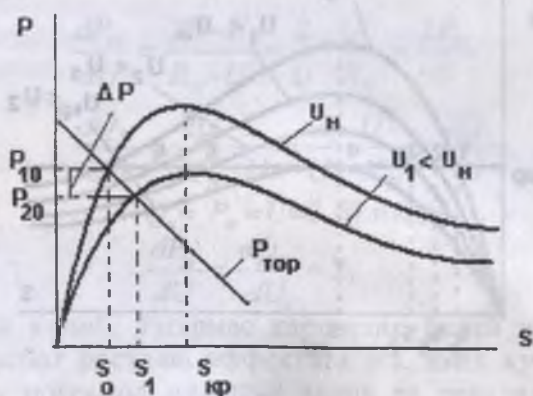
4.11-расм. Кучланиш ўзгаришининг асинхрон мотор характеристикаларига таъсири. Тормозловчи момент-ўзгармас ($M_{\text{тор}} = \text{ўзгармас}$).

Агар статик ўтиш кўриб чиқилса, электр қувватнинг қиймати ўзгармаслигидан, ростлаш эффектининг нолга тенг эканлиги, яъни $\frac{dP}{dU} = 0$ келиб чиқади (соддалаштириш учун исрофларни эътиборга олмаймиз).

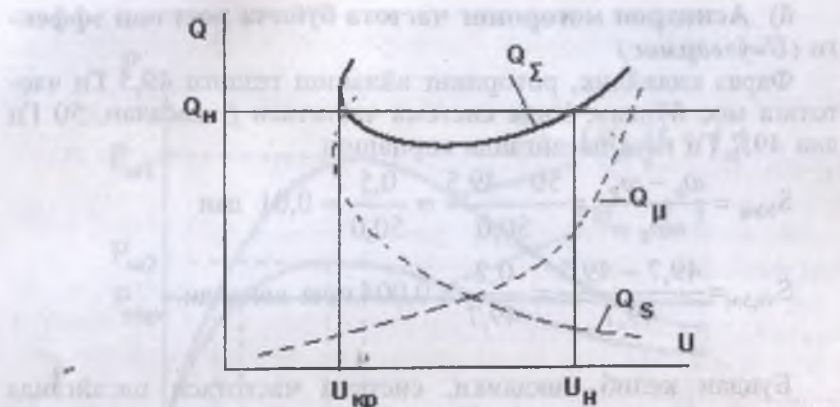
Агар тормозловчи момент 4.12- расмда келтирилган кўринишга эга бўлса, унда кучланишни U_H дан U_1 гача камайиши мотор истеъмол қилаётган актив қувватни P_{10} дан P_{20} гача ΔP га камайишига ва сирпанишни S_0 дан S_1 гача ортишига олиб келади. Шунинг учун ростлаш эффекти мусбат, яъни $\frac{dP}{dU} > 0$.

Энди асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувватни кучланиш бўйича ростлаш эффектини кўриб чиқамиз.

Кучланиш ўзгарганда йиғинди реактив қувватни ўзгаришини кўриб чиқиб, ростлаш эффекти номинал кучланиш соҳасида мусбатлиги, яъни $\frac{dQ}{dU} > 0$ эканлигини аниқлаймиз. Чунки кучланиш пасайганда истеъмол қилинувчи реактив қувват камаяди (4.13-расм).



4.12-расм. Кучланиш ўзгаришининг асинхрон мотор характеристикаларига таъсири. Тормозловчи момент тезликка боғлиқ ($M_{\text{тор}} \propto \omega$).



4.13-расм. Асинхрон моторнинг кучланиш бўйича ростлаш эффекти.

Критик кучланиш $U_{кр}$ га мос келувчи нуктада $\frac{dQ}{dU} = -\infty < 0$ бўлганлиги сабабли, мотор кўпроқ реактив қувватни истеъмол қилади.

Шундай қилиб, асинхрон мотор фақат битта интервалда турғун ишлайди. Бу интервал синхрон ишлашдаги мос сирпаниш $S=0$ ва критик сирпаниш $S_{кр}$ орасидаги интервалдир. Кучланиш пасайганда ёки қаршилиқ моменти ортганда мотор критик ҳолатга тушиб қолиши мумкин. Агар бунда юклама шиналари электр жиҳатдан кучланиш ёки э.ю.к.ни ўзгармас ёки мотор ҳолатига боғлиқ эмас деб ҳисоблаш мумкин бўлган нуктадан узоқда жойлашган бўлса, моторнинг тўнтарилиши (тўхташи) ва кучланишни назорат қилиб бўлмайдиган даражада пасайиши туфайли нотурғун ҳолат юз бериши мумкин. Бундай ҳолат системанинг тугунли нукталари учун, айниқса, хавфли бўлиб, уларда **кучланиш кўчкиси** деб аталувчи - кучланишни ривожланиб боровчи пасайиши ва тегишли равишда истеъмол қилинаётган реактив қувватни кескин ортиб кетиши натижасида моторларнинг ёппасига тўнтарилиши (тўхташи) юз бериши мумкин.

б) Асинхрон моторнинг частота бўйича ростлаш эффекти ($U=\text{ўзгармас}$)

Фараз қилайлик, роторнинг айланиш тезлиги 49,5 Гц частотага мос бўлсин. Унда система частотаси f , масалан, 50 Гц дан 49,7 Гц гача пасайганда сирпаниш

$$S_{50\text{Гц}} = \frac{\omega_0 - \omega_P}{\omega_0} = \frac{50 - 49,5}{50,0} = \frac{0,5}{50,0} = 0,01 \text{ дан}$$

$$S_{49,5\text{Гц}} = \frac{49,7 - 49,5}{49,7} = \frac{0,2}{49,7} = 0,004 \text{ гача камаяди.}$$

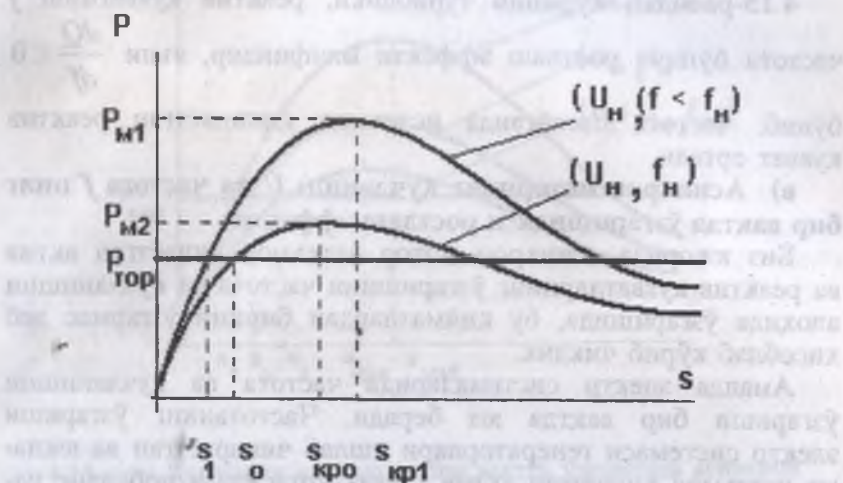
Бундан келиб чиқадики, система частотаси пасайганда ишчи сирпаниш камаяди. Бунда қувват максимуми ва моторнинг критик сирпаниши мос ҳолда $P_m = \frac{U^2}{2X_s}$ ва $S_{кр} = \frac{R}{X_s}$ бўлганлиги учун критик сирпаниш ва қувват максимуми ортади.

Шундай қилиб, асинхрон моторнинг частотанинг номиналга нисбатан пасайган $f_1 < f_H$ қийматидаги электр магнит қувват характеристикаси частота номинал f_H бўлган дастлабки ҳолатдагига нисбатан юқорироққа кутарилади (4.14.-расм). Бунда куйидаги муносабатлар ўринли бўлади:

$$\begin{aligned} P_{m1}(f_1 < f_H) &> P_{m0} f_H \\ S_{\varphi}(f_1 < f_H) &> S_{\varphi} f_H \\ S_o(f_1 < f_H) &< S_o f_H \end{aligned} \quad (4.17)$$

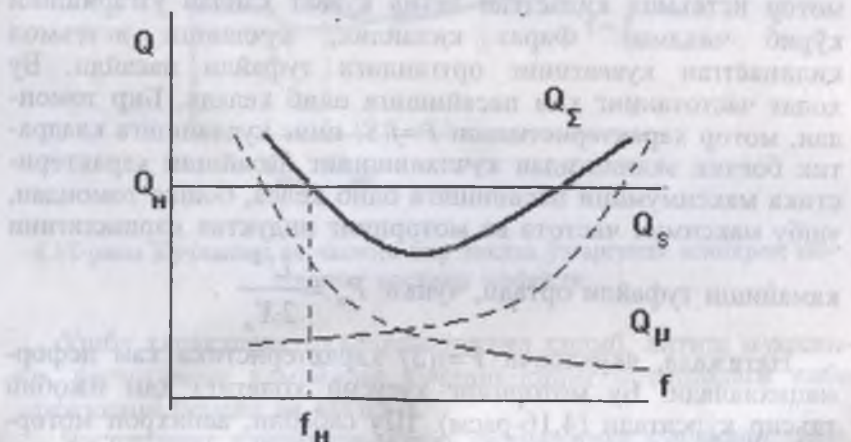
Бошқача қилиб айтганимизда, частота пасайишининг таъсири кучланиш ортишининг таъсири билан бир хил бўлади. Ўтиш ҳолати учун бунда частота f_H дан f_1 гача па-

сайганда ростлаш эффекти манфий, яъни $\frac{dP}{df} < 0$, турғун ҳолат учун эса $\frac{dP}{df} = 0$ бўлади.



4.14-расм. Асинхрон моторнинг частота бўйича ростлаш эффеки.

Частота f пасайганда асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив кувватнинг қандай ўзгаришини кўриб чиқиш мумкин (4.15- расм).



4.15- расм. Асинхрон моторнинг частота бўйича ростлаш эффеки.

4.15-расмдан кўриниб турибдики, реактив қувватнинг f частота бўйича ростлаш эффекти манфийдир, яъни $\frac{dQ}{df} < 0$

бўлиб, частота пасайганда истеъмол қилинаётган реактив қувват ортади.

в) Асинхрон моторнинг кучланиш U ва частота f нинг бир вақтда ўзгаришидаги ростлаш эффекти

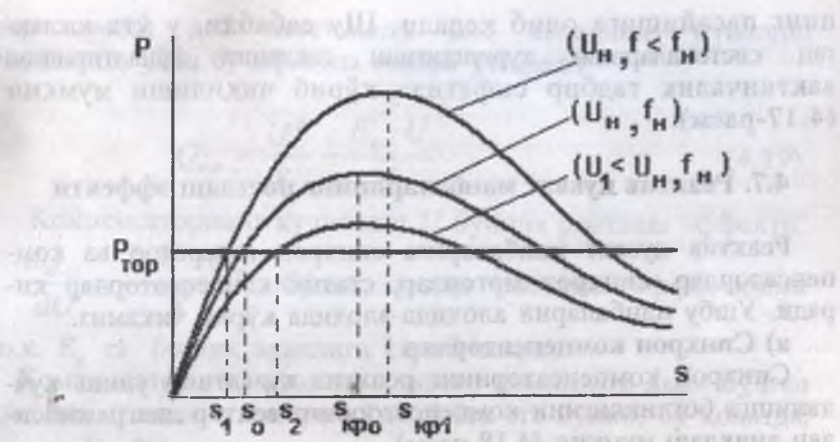
Биз юқорида асинхрон мотор истеъмол қилаётган актив ва реактив қувватларнинг ўзгаришини частота ва кучланишни алоҳида ўзгаришида, бу қийматлардан бирини ўзгармас деб ҳисоблаб кўриб чикдик.

Амалда электр системаларида частота ва кучланишни ўзгариши бир вақтда юз беради. Частотанинг ўзгариши электр системаси генераторлари ишлаб чиқараётган ва юклама истеъмол қилаётган актив қувват ўртасидаги нобаланс натижаси бўлиб ҳисобланади. Бу нобаланс нафакат электр механик ўткинчи жараённинг манбаи бўлиб ҳисобланади, балки электр системасининг тугунларидаги кучланишнинг ҳам ўзгаришига олиб келади. Масалан, юкламанинг ортиши натижасида кучланиш U пасайса, частота f ҳам пасаяди.

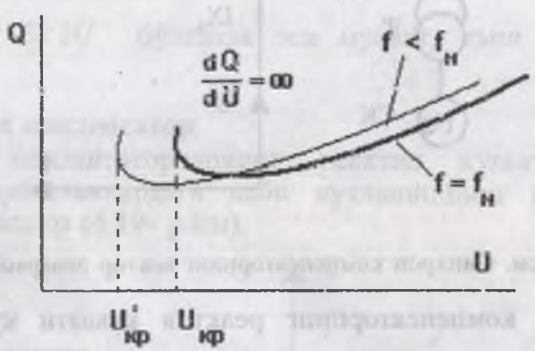
Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгаргандаги асинхрон мотор истеъмол қилаётган актив қувват қандай ўзгаришини кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, кучланиш истеъмол қилинаётган қувватнинг ортганлиги туфайли пасайди. Бу ҳолат частотанинг ҳам пасайишига олиб келади. Бир томондан, мотор характеристикаси $P=f(S)$ нинг кучланишга квадратик боғлиқ эканлигидан кучланишнинг пасайиши характеристика максимумини пасайишига олиб келса, бошқа томондан, ушбу максимум частота ва моторнинг индуктив қаршилигини

камайтиши туфайли ортади, чунки $P_m = \frac{U^2}{2X_s}$.

Натижада, яқунловчи $P=f(S)$ характеристика кам деформацияланади. Бу моторнинг хусусий ҳолатига ҳам ижобий таъсир кўрсатади (4.16-расм). Шу сабабли, асинхрон моторлар ҳолат параметрларининг тебранишларида анча тургун ишлайди.



4.16-расм Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгарганда асинхрон моторнинг роллаш эффекти.



4.17-расм Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгарганда асинхрон моторнинг роллаш эффекти.

Ушбу характеристикаларни таҳлил қилиб, айтиш мумкин-ки, частотанинг камайиши кучланишнинг ортишидаги каби эффектини беради ва аксияча.

Частотанинг камайиши мотор турғунлигига кучланиш ортишининг таъсири каби таъсир қилади ва бундан ташқари, U_{kp}

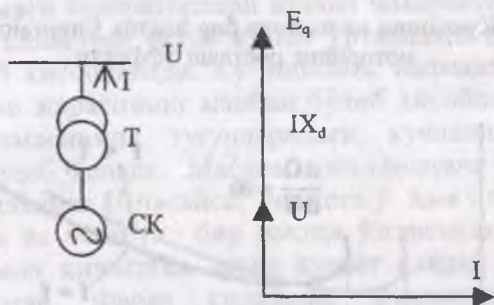
нинг пасайишига олиб келади. Шу сабабли, у ўта юкланган системаларнинг турғунлигини сақлашга йўналтирилган вақтинчалик тадбир сифатида кўриб чиқилиши мумкин (4.17-расм).

4.7. Реактив қувват манбаларининг ростлаш эффекти

Реактив қувват манбаларига синхрон генератор ва компенсаторлар, синхрон моторлар, статик конденсаторлар ки-ради. Ушбу манбаларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз.

а) Синхрон компенсаторлар

Синхрон компенсаторнинг реактив қувватини унинг куч-ланишга боғлиқлигини компенсаторнинг вектор диаграммаси-дан аниқлаш мумкин (4.18-расм).



4. 18-расм. Синхрон компенсаторнинг вектор диаграммаси.

Синхрон компенсаторнинг реактив қуввати қуйидагича аниқланади:

$$E_q - U = I \cdot X_d; \quad I = \frac{E_q - U}{X_d}$$

$$Q_{\text{ск}} = U \cdot I = \frac{E_q \cdot U}{X_d} - \frac{U^2}{X_d} \quad (4.18)$$

Бу ифодада реактив қувватнинг мусбат йўналиши сифати-да тармоққа берилувчи қувват йўналиши қабул қилинган.

Агар мусбат деб истеъмолга мос келадиган йўналиш ҳисобланса, унда бу ифодада ишора ўзгаради:

$$Q_{cx} = \frac{U^2}{X_d} - \frac{E_q \cdot U}{X_d} \quad (4.19)$$

Компенсаторнинг кучланиш U бўйича ростлаш эффекти:

$$\frac{dQ_{cx}}{dU} = \frac{2 \cdot U - E_q}{X_d} \text{ бўлиб, ундан ростлаш эффектининг}$$

э.ю.к. E_q га боғлиқ эканлиги келиб чиқади.

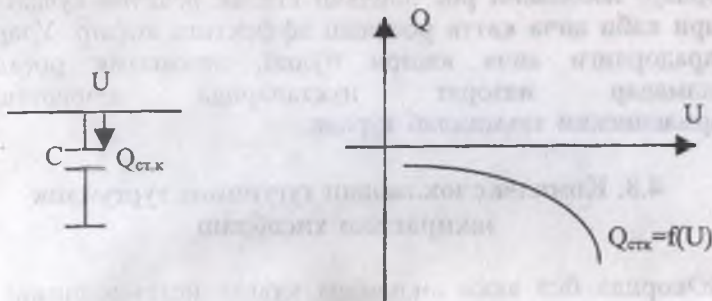
Компенсаторнинг реактив қуввати номиналга яқин бўлган қийматга етганда, у юкори қўзғатишга эга бўлиб, бу ҳолатда, одатда, $E_q > 2U$ ва мос ҳолда ростлаш эффекти манфий,

яъни $\frac{dQ_{cx}}{dU} < 0$ бўлади.

$E_q = 2U$ бўлганда ростлаш эффекти нолга тенг, яъни $\frac{dQ_{cx}}{dU} = 0$, $E_q < 2U$ бўлганда эса мусбат, яъни $\frac{dQ_{cx}}{dU} > 0$ бўлади.

б) Статик конденсатор

Статик конденсаторларнинг реактив қуввати худди ўзгармас қаршиликлардаги каби кучланишнинг квадратиға пропорционалдир (4.19- расм).



4.19-расм. Статик конденсаторнинг ростлаш эффекти.

$$Q_{\text{ст.к.}} = -\frac{U^2}{X_c}. \text{ Бу ерда. } X_c = \frac{1}{\omega C}$$

Конденсаторлар реактив қувватни тармоққа узатади, демак, улар тармоқдан олувчи реактив қувватни манфий деб қараш мумкин (4.19- расм).

Статик конденсаторларнинг ростлаш эффекти манфий ва куйидагига тенгдир:

$$\frac{dQ_{\text{ст.к.}}}{dU} = -\frac{2U}{X_c} = -\frac{2Q_{\text{ст.к.}}}{U}.$$

Хусусий ҳолатда агар $Q_{\text{ст.к.}}^* = Q_{\text{ст.к.}} = 1$ ва $U = 1$ бўлса, у ҳолда

$$\frac{dQ_{\text{ст.к.}}}{dU} = -2.$$

Синхрон моторлар системада кучланиш ва частота пасайганда реактив қувват ишлаб чиқаришни оширади, шунинг учун U ва f бир вақтда пасайганда синхрон моторлар ҳам тўлалигича олинса юкламанинг турғунлигига худди асинхрон моторлар каби таъсир кўрсатади.

Шундай қилиб, реактив қувват манбаларининг кучланиш бўйича ростлаш эффекти кагта эмас ва 2 атрофида бўлади. Бу уларнинг статик характеристикалари билан тушунтирилади.

Ушбу қилинган хулосалар реактив қувват манбалари ростланмайдиган ҳолатлар учун ўринли эканлигини назарда тутиш лозим. Бўйлама-кўндаланг қўзғатишли синхрон конденсаторлар, замонавий ростланувчи статик реактив қувват манбалари каби анча катта ростлаш эффектига эгадир. Уларнинг самарадорлиги анча юкори бўлиб, автоматик ростловчи қурилмалар назорат нуқталарида кучланишнинг ўзгармаслигини таъминлаб туради.

4.8. Комплекс юкламали тугуннинг турғунлик захирасини ҳисоблаш

Юкорида биз якка юкламада қувват истеъмолининг кучланиш U га боғлиқлигини кўриб чиқдик. Бироқ, одатда, айрим электр тугунларидан якка истеъмолчилар эмас, балки бир қатор истеъмолчилар таъминлашиб, уларнинг таркибига

айланувчи машиналар ҳам киради. Айланувчи машиналарнинг, айниқса, асинхрон моторларнинг мавжудлиги ўткинчи жараёнларнинг боришига ўзгаришлар киритади ва комплекс юкламанинг нотўғун бўлишига олиб келиши мумкин.

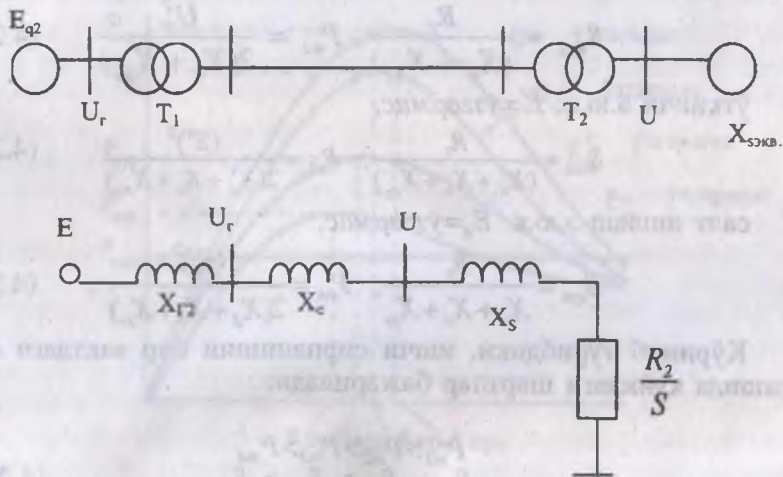
Одатда, асинхрон моторлар катта турғунлик захирасига эга бўлади. Уларда максимал айлантирувчи моментнинг ишчи

моментга нисбати $\frac{P_m}{P_o} = 1,5 \div 1,7$ га тенг бўлганлиги сабабли,

кучланишнинг кичик миқдорга камайиши уларнинг турғун ишлашларга таъсир кўрсатмайди. Бу хулосаларнинг барчаси мотор ҳолатига боғлиқ бўлмаган кучланиш манбаидан таъминланадиган якка мотор учун ўринлидир.

Агар мотор ёки моторлар гуруҳи таққосланувчи қувватли генератордан таъминланса ва бунга мос ҳолда юклама шиналаридаги кучланиш ҳолатга боғлиқ бўлса, турғунлик сифати ўзгаради.

Узатма охирида комплекс юкламали тугун бўлган схемани кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, юклама эквивалент мотор билан ифодаланган (4.20- расм).



4.20-расм. Комплекс юкламали тугунни ҳисоблаш (Юклама эквивалент мотор билан ифодаланган).

Кўриниб турибдики, эквивалент мотор характеристикаси $P=f(S)$ нинг максимум қуввати, кучланиш ўзгармас деб ҳисобланадиган нуқтадаги кучланишнинг ўзгармаслигидан келиб чиқиб аниқланиши лозим. Кўриб чиқилаётган ҳолат учун бундай нуқта бўлиб, генераторнинг салт ишлаш э.ю.к. қўйилувчи нуқта ҳисобланиши мумкин. Қувватлар максимумини қуйидаги муносабатдан аниқлаймиз.

$$P_{м1} = \frac{E_q^2}{2X_{с3}} \quad (4.20)$$

Бу ерда: $X_{с3}=X_d+X_c+X_s$ - эквивалент қаршилик; $X_c=X_{T1}+X_{Л}+X_{T2}$ - системанинг қаршилиги. Ҳисоблашларни барча юкламалар битта эквивалент мотор, узатувчи томон генераторлари эса битта эквивалент генератор билан алмаштирилган ҳолат учун келтирамиз (4.21-расм):

мотор шиналаридаги кучланиш $U=\text{ўзгармас}$,

$$S_{кп1} = \frac{R_2}{X_{с3}}, \quad P_{м1} = \frac{U^2}{2X_{с3}}; \quad (4.21)$$

генератор шиналаридаги кучланиш $U_f=\text{ўзгармас}$,

$$S_{кп2} = \frac{R_2}{(X_c + X_{с3})}, \quad P_{м2} = \frac{U_f^2}{2(X_c + X_{с3})} \quad (4.22)$$

ўткинчи э.ю.к. $E=\text{ўзгармас}$,

$$S_{кп3} = \frac{R_2}{(X_d^1 + X_c + X_{с3})}, \quad P_{м3} = \frac{(E^1)^2}{2(X_d^1 + X_c + X_{с3})} \quad (4.23)$$

салт ишлаш э.ю.к. $E_q=\text{ўзгармас}$,

$$S_{кп4} = \frac{R_2}{X_d + X_c + X_{с3}}, \quad P_{м4} = \frac{(E_q)^2}{2(X_d + X_c + X_{с3})} \quad (4.24)$$

Кўриниб турибдики, ишчи сирпанишни бир вақтдаги ортишида қуйидаги шартлар бажарилади:

$$\begin{matrix} P_{м1} > P_{м2} > P_{м3} > P_{м4} \\ S_{кп1} > S_{кп2} > S_{кп3} > S_{кп4} \end{matrix} \quad (4.25)$$

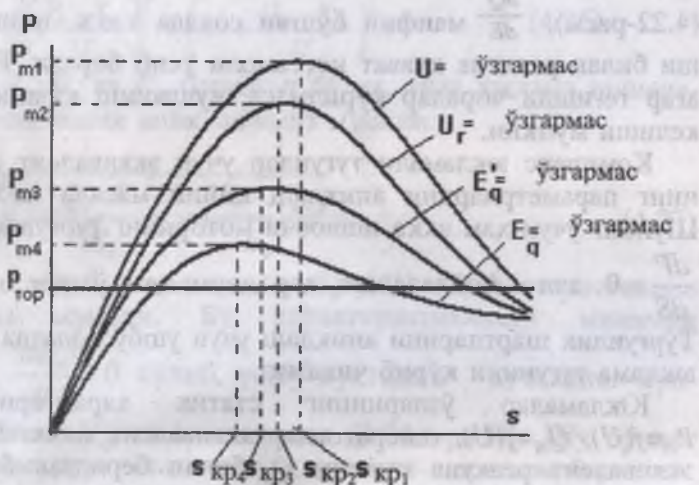
Турғунликнинг энг катта захираси мотор шиналаридаги кучланиш ўзгармас бўлганда таъминланади, мотор тўнтарилишининг энг катта хавфи эса турғунлик шarti

$\frac{dP}{ds} > 0$ бажарилишига қарамай, $\frac{P_m}{P_0}$ энг кичик қийматга эга

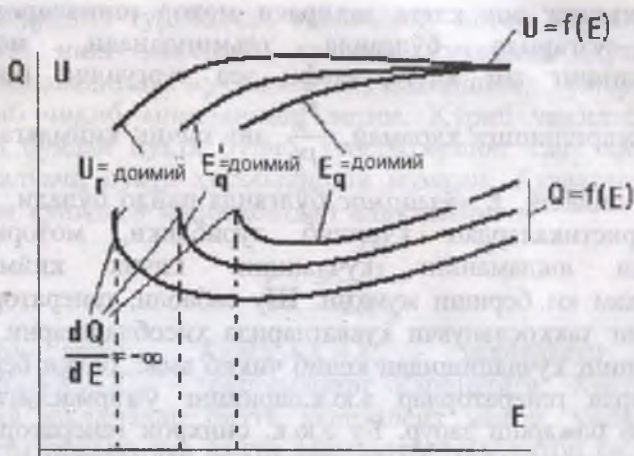
бўлганлиги сабабли, $E_q = \text{ўзгармас}$ бўлганда пайдо бўлади.

Характеристикалардан кўриниб турибдики, моторнинг тўнтарилиши юкламанинг кучланиши кичик қийматга ўзгарганда ҳам юз бериши мумкин. Шу сабабли, генератор ва моторларнинг таққосланувчи қувватларида ҳисоблашларни мотор шинасининг кучланишидан келиб чиқиб эмас, балки берилган шартларда генераторлар э.ю.к.ларининг ўзгармаслигидан келиб чиқиб бажариш зарур. Бу э.ю.к. синхрон генераторларнинг қўзғатиши турлича ростланишларида турличадир:

- $E_q = \text{ўзгармас}$, $X_r = X_d$ - ҚАР мавжуд эмас;
- $E'_q \approx E = \text{ўзгармас}$, $X_r = X'_d$ - пропорционал типдаги ҚАР-п мавжуд;
- $U_s = \text{ўзгармас}$, $X_r = 0$ - кучли таъсир этувчи ҚАР-к мавжуд.



4.21-расм. Эквивалент асинхрон моторнинг доимий кучланиш қийматларига боғлиқ электр магнит характеристикаси.



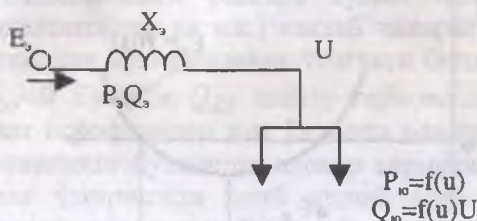
4.22-расм. Комплекс юklamали тугуннинг турли нуқталаридаги кучланишлар ўзгармас бўлган ҳоллар учун характеристикалари.

Кўрилган характеристикалардан кўриниб турибдики, (4.22-расм), $\frac{dQ}{dE}$ манфий бўлган соҳада э.ю.к. нинг камайиши билан реактив қувват истеъмоли ўсиб боради. Бу ҳодиса, агар тегишли чоралар кўрилмаса, кучланиш кўчкисига олиб келиши мумкин.

Комплекс юklamали тугунлар учун эквивалент моторларнинг параметрларини аниқлаш қийин масала ҳисобланади. Шунинг учун ҳам яқка ишловчи моторнинг турғунлик мезони $\frac{dP}{dS} > 0$ дан фойдаланиш ҳар доим ҳам ўзини оқламайди.

Турғунлик шартларини аниқлаш учун ушбу ҳолатда комплекс юклама тугунини кўриб чиқамиз.

Юklamалар ўзларининг статик характеристикалари $P_H=f(U)$, $Q_H=f(U)$, генераторлар эквивалент э.ю.к. E_g ва ички эквивалент реактив қуввати Q_g билан берилган бўлсин. Бу шартларда биз эквивалент э.ю.к.ни тугун кучланишига боғлиқлик характеристикаси $E_g=f(U)$ ни кўришимиз мумкин.



4.23- расм.

Бунинг учун комплекс юклама шинасида кучланишнинг турли қийматлари U_i ни беғамиз ва унинг ҳар бир қиймати учун ҳар бир юклама ва бутун комплекс юкламали тугун истеъмол қилаётган актив P_i ва реактив Q_i қувватларни уларнинг статик характеристикалари бўйича аниқлаймиз. Сўнгра ўрнатилган U_i учун эквивалент э.ю.к. E_s қийматини аниқлаймиз. Бунда иккита вариант бўлиши мумкин:

- агар юкламанинг актив ва реактив қувватлари берилган бўлса, унда

$$E_s = \sqrt{\left(\frac{P_u \cdot X_s}{U}\right)^2 + \left(U + \frac{Q_u \cdot X_s}{U}\right)^2}; \quad (4.26)$$

- агар P_s , Q_s ва E_s , берилган бўлса, унда юклама шиналаридаги кучланишни аниқлашимиз мумкин:

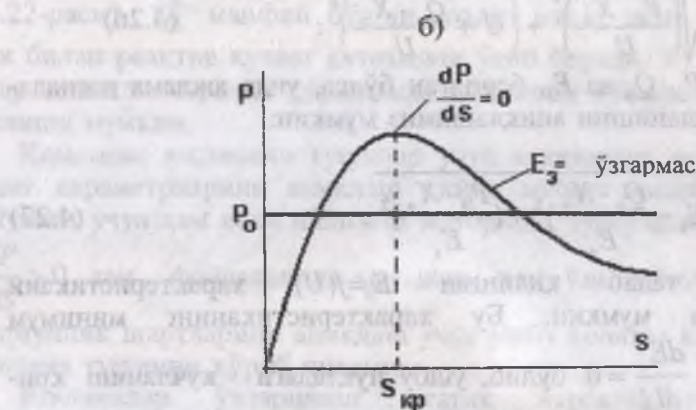
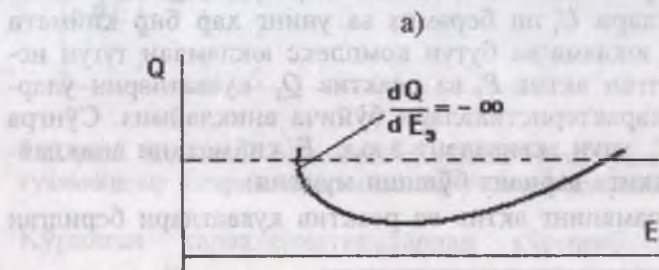
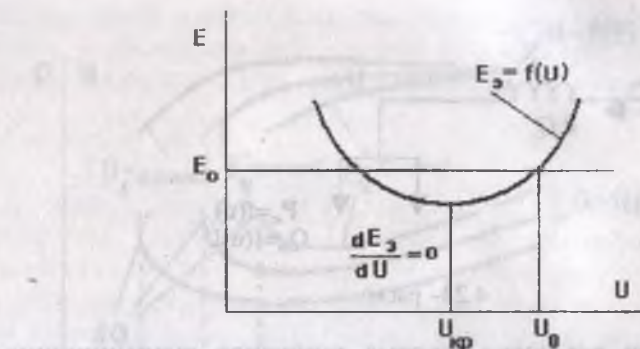
$$U = \sqrt{\left(E_s - \frac{Q_s \cdot X_s}{E_s}\right)^2 + \left(\frac{P_s \cdot X_s}{E_s}\right)^2}. \quad (4.27)$$

Энди талаб килинган $E_s = f(U)$ характеристикани куришимиз мумкин. Бу характеристиканинг минимум

нуктасида $\frac{dE_s}{dU} = 0$ бўлиб, ушбу нуктадаги кучланиш кри-

тик кучланиш $U_{кр}$ га мос келади (4.24, а-расм). Шу ернинг ўзида юклама турғунлигининг эквивалент шартлари берилган:

$$\frac{dQ}{dE_s} = -\infty \quad \text{ва} \quad \frac{dP}{ds} > 0.$$

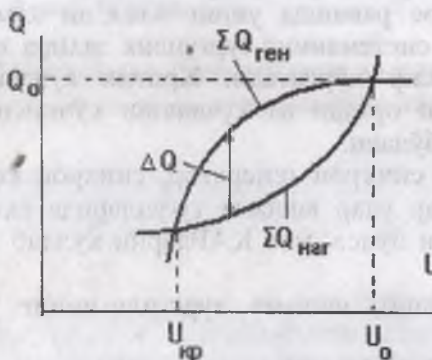


4.24-расм. Юклама тургунлигининг бир хил кучга эга бўлган мезонлари:

- а) $E_3 = f(U)$ эквивалент э.ю.к.нинг юклама кучланишига боғлиқлиги;
- б) $Q = f(E_3)$ реактив қувватнинг эквивалент э.ю.к.га боғлиқлиги;
- в) якка асинхрон моторнинг характеристикаси.

Электр системасидаги реактив қувват баланси манбалар (СГ,СК, конденсаторлар ва х.к.) ишлаб чиқараётган ва юклама истеъмол қилаётган қувватларнинг тенглиги билан белгиланади: $\Delta Q = Q_{\Sigma} - Q_{\Sigma H} = 0$. Бу ерда, $Q_{\Sigma H}$ электр тармоғи элементларидаги реактив қувват исрофларини ҳам ўз ичига олади.

Ушбу баланснинг бузилиши электр тармоғи тугунларидаги кучланишнинг ўзгаришига олиб келиб, ишчи механизмлар электр моторларининг иш унумдорлигига таъсир қилади.



4.25-расм. Реактив қувват баланси ва комплекс юклама турғунлигига доир.

4.25- расмдаги графикдан кўриниб турибдики, кучланиш U_0 дан $U_{кр}$ гача диапазонда ўзгарганда манбалар ишлаб чиқараётган реактив қувват юклама истеъмол қилаётганидан кўп ва шу сабабли, кучланишнинг пасайиши ΔQ фарқни ортишига олиб келади. Ушбу шарт комплекс юкламали тугуннинг кучланиш бўйича турғунлик шарт сифатида олиниши мумкин. Турғунлик меъзони бўлиб, $\frac{d(\Delta Q)}{dU} < 0$ шарт ҳисобланади.

Захира коэффициенти, ушбу характеристика учун ҳам, комплекс юкламали тугун характеристикаси $E_s = f(U)$ учун ҳам қуйидагича аниқланади:

$$K_{\text{см}} = \frac{U_0 - U_{\text{кр}}}{U_0} \quad (4.28)$$

Унинг киймати нормал ҳолат учун 15÷20% ва авариядан кейинги ҳолат учун 5÷10%.

Одатда, юкламанинг қувват коэффициентини ошириш учун унинг шиналарига статик конденсаторлар уланади. Бу билан системадан олинаётган реактив қувват оқими камаяди. Бирок, бу тадбир генераторлар ишлаб чиқараётган реактив қувватни ва мос равишда унинг э.ю.к.ни камайишига олиб келади. Бу эса системанинг турғунлик захира коэффициентига салбий таъсир кўрсатади. Критик кучланиш $U_{\text{кр}}$ нинг киймати кескин ортади ва кучланиш кўчкиси юз беришига шароит ҳосил бўлади.

Бу ҳолатни синхрон генератор, синхрон компенсатор, ва моторларда, агар улар юклама тугунларида ёки бутун системада ўрнатилган бўлса, мос ҚАРларни қўллаб тўғрилаш мумкин.

Шундай қилиб, юклама турғунлигининг учта шартини ҳосил қилдик:

$$\frac{dP}{dS} > 0, \quad \frac{dQ}{dE_s} \rightarrow -\infty, \quad \frac{dE}{dU} > 0. \quad (4.29)$$

Улар, баъзан, амалий мезонлар деб юритилиб, ўзаро тенг кучлидир. Ушбу шартларнинг барчаси асинхрон моторнинг ёки комплекс юклама шиналаридаги кучланишнинг даражасига боғлиқдир. Ушбу барча мезонлар асинхрон моторнинг тўнтарилиши (тўхташи) ва кучланиш кўчкисининг содир бўлиши билан боғлиқ.

Комплекс юкламанинг кучланиш бўйича ростлаш эффекти реактив қувват учун 1,5÷3,5 ва актив қувват учун 0,3÷0,75 ни ташкил этади. Комплекс юкламанинг частота бўйича ростлаш эффекти актив қувват учун 1,5÷3 ва реактив қувват учун 1 дан 5÷6 гачани ташкил этади.

Ўтказилган таҳлилдан келиб чиқадики, комплекс юклама тугунларидаги жараёнлар, асосан асинхрон мотор ёки мотор гуруҳларида кечаётган жараёнларга боғлиқдир. Асинхрон мотор ишлаш турғунлигининг бузилиши бутун юклама тугунида турғунликнинг кучланиш кўчкиси кўринишида бузилишига

олиб келиши мумкин. Юклама тугунларининг ишлашидаги оғир шароитлар улар системадаги чайқалишларнинг электр марказида ёки унга яқин жойлашган ҳолларда пайдо бўлади. Юклама тугунларидаги турғунликнинг бузилишига йўл қўймаслик учун уларнинг нормал иш шароитларида актив ва айниқса реактив қувват бўйича резервлар таъминланган бўлиши шарт. Синхрон генераторлар ва моторларда замонавий ҚАРларни ўрнатиш, шунингдек, синхрон компенсаторлар ва ростловчи статик реактив қувват манбаларини улаш ушбу талабга жавоб беради.

4.9. Системадаги тебранишнинг электр маркази ва унинг юклама турғунлигига таъсири

Қувват формуласига кўра

$$P = \frac{E \cdot U}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta. \quad (4.43)$$

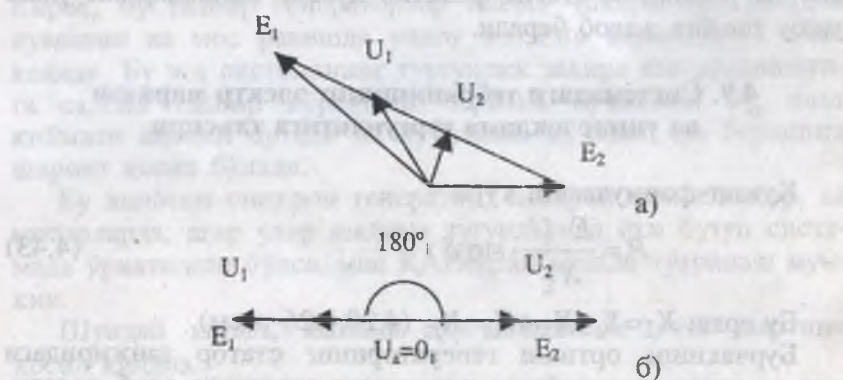
Бу ерда: $X_{\Sigma} = X_d + X_{T1} + X_L + X_{T2}$ (4.20, 4.26-расм).

Бурчакнинг ортиши генераторнинг статор занжиридаги ток ва ундан узатилаётган қувватнинг ортишига олиб келади. Шу сабабли, электр узатманинг оралиқ нуқталарида кучланиши пасаяди.

Агар э.ю.к E ва қабул қилувчи томондаги кучланиш U ўзгармас бўлса, унда ўрта нуқтадаги кучланишнинг энг кичик қийматига ва токнинг энг катта қийматига E ва U векторлар орасидаги бурчак 180° га яқин бўлганда эришилади. Демак, ушбу ҳолда э.ю.к E ва қабул қилувчи система кучланиши U нинг векторлари карама-қарши томонга йўналган бўлади. Бундай ҳолат генераторларнинг чайқалиши ёки синхрон генераторнинг машинани қўзғатиш системасидаги авария туфайли асинхрон юриши ёки қисқа туташув ёки линиянинг ўта юкланиши туфайли турғунликнинг бузилиши натижасида содир бўлиши мумкин. Бунда системада, берилган бошланғич ҳолатда, кучланиши минимал бўлган нуқта мавжуд бўлади. Бу нуқта системанинг **электр маркази** деб юритилади. Юклама турғунлиги бузилишининг энг катта хавфи, у системанинг электр марказида ёки унга яқинда жойлашган ҳолларда юзага келиши мумкин.

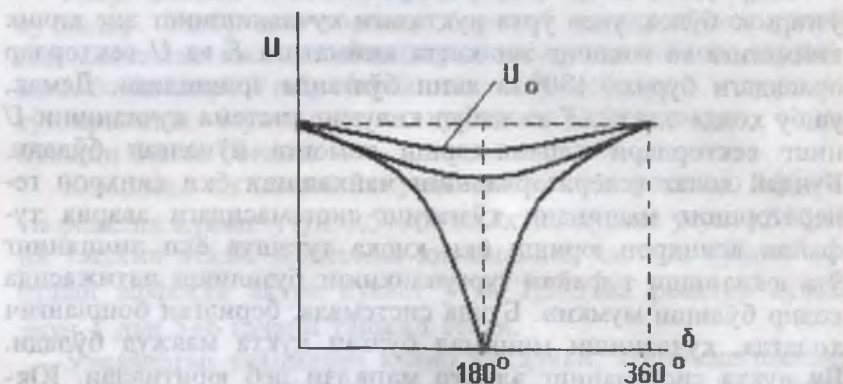
Агар система бутунлай симметрик бўлса, яъни генераторларнинг э.ю.к.лари модули бўйича тенг ва ўзгармас, қаршилиқлар бир жинсли бўлса, у ҳолда узатишнинг ўртасида жойлашган электр марказида қучланиш нолгача пасаяди, генераторларнинг э.ю.к. векторларининг йўналишлари 180° га фарқ қилади. (4.26, 4.27- расмлар).

Бундан келиб чиқадики, электр марказида жойташган истеъмолчилар даврий равишда уч фазали қисқа туташув билан тенг ҳолатга тушиб қолади.



4.26- расм. Системанинг электр маркази:

а) вектор диаграмма; б) симметрик системадаги қучланиш.



4.27-расм. Системанинг электр марказида қучланишининг ўзгариши.

Элементлари бир жинсли бўлмаган ҳамда э.ю.к.ларининг қиймат ва вақт давомида ўзгаришлари турлича бўлган реал электр системасида электр марказ тушунчаси симметрик система ҳолатидагига нисбатан мавҳумроқдир.

Шундай қилиб, электр марказида жойлашган истеъмолчилар линия бошланишидаги кучланиш доимий бўлишига қарамасдан нотурғун иш ҳолатига тушиб қолишлари мумкин.

4.10. Юкларнинг ўткинчи жараёнларини системанинг динамик турғунлигига таъсири

Юклама тугунларидаги ўткинчи жараёнларнинг хусусиятлари. Юкламадаги ўткинчи жараёнлар катта турткиларда электр системасининг турғунлигига сезиларли таъсир кўрсатиши мумкин. Бу таъсир ҳолат параметрлари, кўпроқ асинхрон моторли саноат юкларига жамланган тугунлардаги кучланишда акс этади.

Бу тугунлардаги ўткинчи жараёнлар катта турткиларда биз кўриб ўтган кичик турткилардаги ўткинчи жараёнлардан фарқ қилади. Бундан ташқари, катта турткилардаги ўткинчи жараёнлар бир қатор хусусиятларга эга.



Электр системалари тугунларининг ҳолатларига таъсир этувчи энг характерли ўткинчи жараёнларга моторларни ишга тушириш пайтида юзага келувчи жараёнлар киради.

Замонавий катта қувватли моторлар катта ишга тушириш токига эга. Маълумки, катта ишга тушириш токи, агар юклама қувват бўйича система билан таққосланувчан бўлса, юклама ишналаридаги кучланишнинг кучли пасайишига олиб келади.

Электр узатиш линияларида шамол таъсирида фазалараро қисқа туташувлар юз бериши мумкин. Бирок бу қисқа туташувлар ўткинчи бўлиб, қисқа туташувли қисмни узилиши натижасида ўз-ўзидан бартараф бўлади, бироқ бу қисм истеъмолчилари узилиш моментида линияни автоматик қайта

уланиш (АКУ)гача бўлган вақт орлигида манбасиз қолади. АКУ моментида яна катта ишга тушириш токлари ҳосил бўлади.

Айнан шундай масалалар моторларни ўз-ўзидан ишга тушишида ҳам ҳосил бўлади. Ўз-ўзидан ишга тушиш шартлари шундай ҳисобланган бўлиш керакки, бунда ўз-ўзидан ишга тушиш пайтида бутун системани турғун нормал ишлашини бузилишига олиб келиши мумкин бўлган кучланиш U ва частота f нинг камайишига йўл қўйилмаслиги зарур.

Навбатдаги хусусиятлар ишлаб чиқариш зарурати туфайли юзага келиб, системадаги кучланишни турткисимон ўзгаришига олиб келадиган турткилар ва кескин ўзгарувчан юкламалар таъсирида намоён бўлади.

Динамик таъсирларда ҳолат параметрларининг ўзгаришига юкламалар ўзларининг динамик характеристикаларига мос равишдаги таъсир билан жавоб беради. Шунинг учун бу характеристикаларни юкламанинг асосий турлари учун кўриб чиқамиз.

а) Асинхрон моторларнинг динамик характеристикалари. Биз юқорида асинхрон моторнинг ҳолатни секин ўзгаришларида олинган статик характеристикаларини кўриб чикдик. Бундан ташқари, биз система ҳолатини ўзгариш харақтерига механик жараёнлар таъсирини эътиборга олмадик. Юқорида асинхрон моторни Г-симон алмаштириш схемаси асосида электр магнит айлантирувчи моментнинг сирпанишга боғлиқлик формуласи ҳосил қилинган эди:

$$P = \frac{U^2 R_2 \cdot S}{(X_s \cdot S)^2 + R_2^2} \quad (4.30)$$

Ундан яна бир формулани осонгина ҳосил қилиш мумкин:

$$P = \frac{2P_m}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}} \quad (4.31)$$

Бу ерда, $P_m = U^2/2X_s$; $S_{\text{кр}}$ асинхрон моторнинг критик ва жорий сирпанишлари.

Мотор роторининг ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$T_D \frac{dS}{dt} = P - P_T \quad (4.32)$$

Бу ерда: T_D – моторнинг ишчи механизми билан биргаликдаги инерция доимийси; P_T – ишчи механизмнинг қаршилиқ моменти.

Бу тенгламани ечиб, сирпанишни берилган таъсирдаги вақт бўйича ўзгаришини кўрсатувчи $S = f(t)$ боғланишни ҳосил қилиш мумкин:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P - P_T}{T_D} = \frac{\Delta P}{T_D} \quad (4.33)$$

ёки $dt = T_D \cdot \frac{dS}{\Delta P} = \frac{T_D}{\Delta P} \cdot dS$ дан қуйидаги кўринишдаги якуний ечимни ҳосил қиламиз:

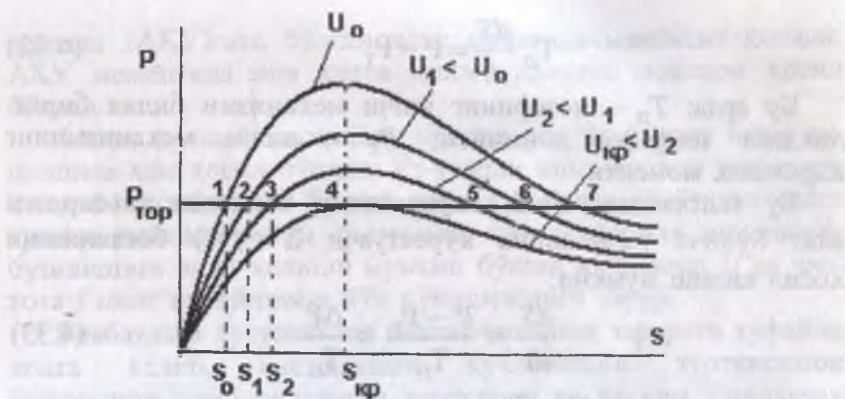
$$t = T_D \int_{S_0}^S \frac{dS}{\Delta P}. \quad (4.34)$$

Кучланишнинг турли кийматларини бериб, машинанинг моменти ва сирпанишнинг вақт бўйича ўзгариш характеристикаларини кўриш мумкин. Қайд этиш керакки, кучланиш ўзгарганда асинхрон моторнинг электр магнит қуввати максимуми кучланиш квадратига пропорционал равишда ўзгаради (4.28-расм).

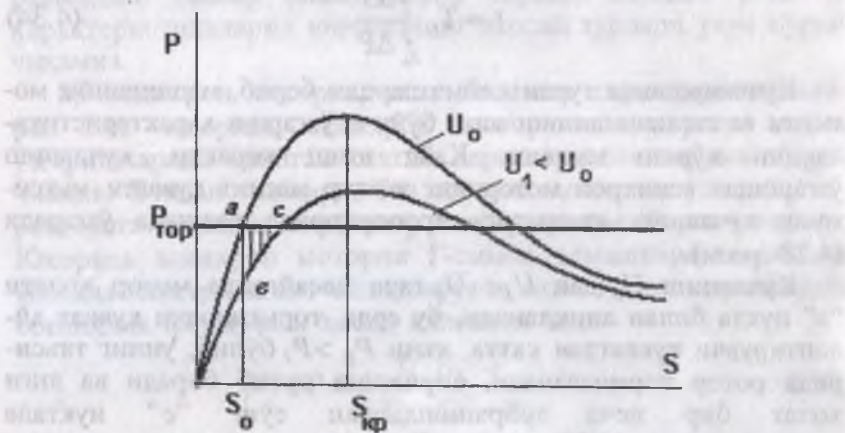
Кучланиш U_0 дан $U_1 < U_0$ гача пасайганда мотор ҳолати “в” нукта билан аниқланади, бу ерда, тормозловчи қувват айлантирувчи қувватдан катта, яъни $P_T > P$, бўлиб, унинг таъсирида ротор тормозланади, сирпаниш ортиб боради ва янги ҳолат бир неча тебранишлардан сўнг “с” нуктада турғунлашади (4.29-расм). Бунда машинанинг реактив қуввати ҳам (кучланиш ва роторнинг тебранишларига мос равишда) тебранади.

“a-b-c” характеристикаси кучланишни U_0 дан U_n гача ўзгаришидаги динамик характеристика ҳисобланади.

Юклама моменти кескин ўзгарганда сирпанишнинг ўзгариши туфайли машинанинг қаршилиги ўзгаради, бу эса статор ва ротор тоқларини ўзгаришига олиб келади.



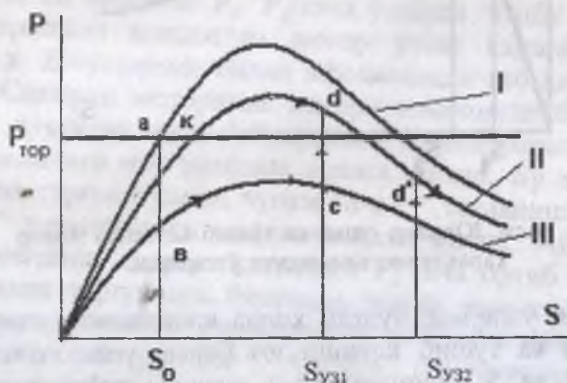
4.28- расм. Асинхрон мотор шиналаридаги кучланишнинг турлича қийматлари учун электр магнит характеристикалари.



4.29- расм. Машина шиналаридаги кучланиш ўзгарганда мотор характеристикасининг ўзгариши.

Бундан келиб чиқадики, мотор ҳолатини характерловчи қийматлар ва унинг турғунлик шартлари статик характеристикаларга татбиқ қилиб аниқланган қийматлардан фарқ қилади.

Агар юклама шиналари яқинида қисқа туташув содир бўлса, моторнинг динамик характеристикалари ўзгаришини 4.30-расм асосида кузатиш мумкин. Кўриниб турибдики, бунда моторнинг айлантирувчи моменти камаяди, сирпаниш ортиб боради ва мотор ҳолати III характеристикадаги "в" нукта билан аниқланади.

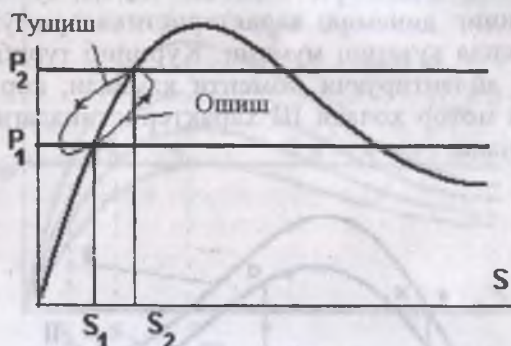


4.30- расм. Машина шиналари яқинидаги қисқа туташувда мотор характеристикасининг ўзгариши:

I нормал ҳолат характеристикаси (U_n), II авариядан кейинги ҳолат характеристикаси, III қисқа туташув ҳолати характеристикаси.

Қисқа туташув узилганда S_{y31} да валда ортиқча айлантирувчи момент ҳосил бўлади ($P_T < P$), чунки мотор ҳолати "d" нукта билан аниқланади. Бунинг таъсирида моторнинг айланиш тезлиги ортади ва "к" нуктада янги турғунлашган ҳолат ўрнатилади.

Агар қисқа туташувнинг узилиши S_{y32} га мос келувчи моментда юз берса, унда моторнинг ҳолати II характеристика ва ундаги "d'" нукта билан аниқланади. Валда тормозловчи момент, аввалгидек, юқори бўлади ($P_T > P$). Унинг таъсирида ротор янада кўпроқ тормозланади ва жараён моторнинг тўхташи билан якунланади. Бундай саноат тугунида ва асинхрон юклама кўпроқ бўлган ҳолларда реактив қувватнинг кўп миқдордаги истеъмол қилиниши туфайли моторларнинг ёппасига тўнгарилиши ва қучланиш кўчкиси содир бўлиши мумкин. Бу эса бутун системанинг турғунлигини бузилишига сабаб бўлиши мумкин.



4.31- расм. Юклама ошиб ва тушиб кетганда мотор характеристикасининг ўзгариши.

Кучланиш ўзгармас бўлган ҳолда юкламанинг даврий равишда ошиб ва тушиб кетиши юз берса, унда ҳолат параметрлари S_1 ва S_2 сирпанишлар орасида тебранади (4.31-расм).

Юклама тугунларида асинхрон моторлардан ташқари йирик синхрон моторлар ҳам ўрнатилган бўлиши мумкин. Бундай ҳолларда улар ҳам комплекс юклама тугунининг турғунлигини ҳисоблашда эътиборга олинади.

б). Синхрон моторларнинг динамик характеристикалари. Асинхрон мотордан фарқли синхрон моторлар кўзғатиш системасига эга бўлиб, бу эса уларнинг динамик характеристикаларини турлича бўлишига олиб келади.

Кучланиш ўзгарганда, синхрон моторнинг куввати ва айлантирувчи моменти қуйидаги ифодага кўра, кучланишни қийматиға тўғри пропорционал равишда ўзгаради:

$$P = \frac{E_s \cdot U}{X_d} \sin \delta \quad \text{ва} \quad M = \frac{P}{\omega} \quad (4.35)$$

Юклама ҳолатларини ўзгаришида синхрон моторнинг характерловчи хусусияти бўлиб, унинг кўзғатиш системаси ва эркин тоқлар ҳисобига кўзғатиш чулғамининг илашувчи оқими, ҳеч бўлмаганда вақтнинг дастлабки моментида ўзгаришсиз қолишидир. Бу машинани ўткинчи қаршилиқ X_d

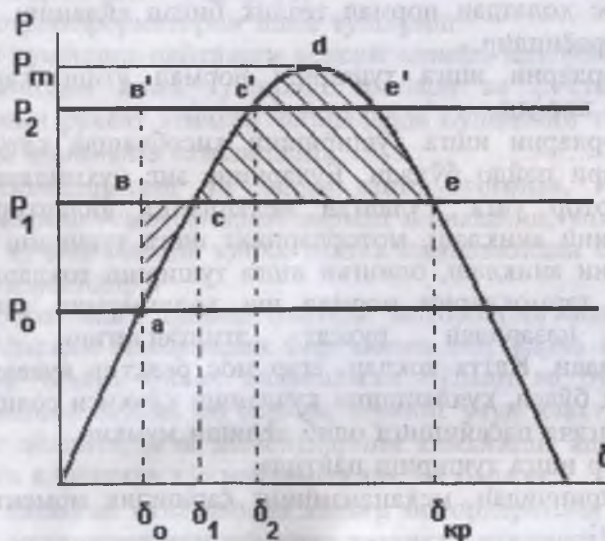
ортидаги ўзгармас ўткинчи э.ю.к. $E' = \text{ўзгармас}$ кўринишда ифодалаш имконини беради.

Юклама турткилари ёки сакрашларидаги динамик характеристикаларни кўриб чиқамиз (4.32- расм).

Фараз қилайлик, ишчи механизми томонидан қувват сакраши юз берди ва P_0 , P_1 гача ўзгарди. Ушбу ҳолда кучланиш ўзгаришсиз қолади ва мотор ўтиш қаршилиги ўзгармас э.ю.к. $E' = \text{ўзгармас}$ билан ифодаланади деб қараймиз.

Синхрон моторнинг ротори инерцияли бўлганлиги учун, "а" нуқтадан янги "с" нуқтага ўтиши агрегатнинг инерция доимийсига мос равишда амалга ошади. Бу ҳолатда динамик ҳолат турғун бўлади, чунки "а-в-с" тезланиш майдончаси "с-d-e" тормозланиш майдончасидан кичик. Агар тормозловчи моментнинг сакраш катталиги P_2 гача ортиб кетса, унда моторнинг турғунлиги бузилади, чунки «а-в-с» тезланиш майдончаси «с'-d-e'» тормозланиш майдончасидан катта бўлади.

Айнан шундай жараён кучланишнинг кескин ўзгаришларида, масалан, узоқдаги қисқа туташув таъсирида унинг қисқа вақтга пасайиши натижасида ҳам юз беради.



4.32- расм. Синхрон моторда юклама сакраши.

Ушбу ҳолатда моторнинг бурчак характеристикасини амплитуда қиймати камаяди ва агар тезланиш майдончаси тормозланиш майдончасига нисбатан катта бўлса, унда мотор турғунликни йўқотади.

Турғунликни сақлаш учун шиналардаги кучланишни бурчак ошиб, у моторнинг турғунлигини сақлаб бўлмайдиган қийматгача етмасдан тиклаш зарур. Тормозловчи момент тикланишининг чегаравий бурчаги қийматини биз кўриб чиқаётган ҳолат учун, 3-бобда бажарилгани каби, тезланиш майдончасини тормозланиш майдончасига тенглаштириб аниқлаш мумкин:

$$\delta_{ч.б.} = \frac{P_1 \cdot \delta_0 - P_0 \cdot \delta_{кр} - P_{m_0} (\cos \delta_{кр} - \cos \delta_0)}{P_1 - P_0} \quad (4.36)$$

Сўнгра кетма-кет интервалар усули бўйича ҳали моторнинг турғунлигини таъминлаш мумкин бўлган кучланиш ёки дастлабки моментнинг тикланиш вақтини аниқлаш мумкин.

в) Моторларни ишга тушириш. Моторларни ишга тушириш — бу моторларни ва мос ҳолда ишчи механизмларни қўзғалмас ҳолатдан нормал тезлик билан айланиш ҳолатига ўтиш жараёнидир.

Моторларни ишга тушириш нормал ўтиш жараёнлари қаторига киради.

Моторларни ишга туширишни ҳисоблашда қатор ҳолат масалалари пайдо бўлади. Буларнинг энг муҳимлари бўлиб, ушбу мотор унга уланган механизмни айлантира олиш шартларини аниқлаш, моторларнинг ишга тушириш тоқлари қийматини аниқлаш, олинган ишга тушириш тоқларини система ва тармоқларни нормал иш ҳолатларини таъминлаш нуқтаи назаридан рухсат этилганлигини аниқлаш ҳисобланади. Катта тоқлар, агар мос реактив қувват манбалари йўқ бўлса, кучланишни кучланиш кўчкиси содир бўлиш даражасигача пасайишига олиб келиши мумкин.

Мотор ишга тушириш пайтида:

1) биринчидан, меҳанаизмнинг қаршилик моментини енгиш учун;

2) иккинчидан, агрегатни айланувчи массаларининг маълум кинетик энергиясини ҳосил қилиш учун зарур бўлган айлантирувчи моментни ҳосил қилиши лозим.

Одатда, ишга тушириш токининг номинал токка нисбатан карралиги куйидагичадир:

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_n} = 1,5 - 2 - \text{фаза роторли асинхрон моторлар учун};$$

5 – 8 – қисқа туташган роторли моторлар учун.

Ишга тушириш шароитлари одатда куйидагиларга бўлинади:

- енгил, бунда айлантирувчи момент $M_{\text{ном}}$ нинг 10÷40% ни ташкил этади;

- нормал, бунда айлантирувчи момент $M_{\text{ном}}$ нинг 50÷75% ни ташкил этади;

- оғир, бунда айлантирувчи момент $M_{\text{ном}}$ нинг 100% ни ташкил этади.

Ўткинчи жараёнлар моторни ишга тушириш қандай схема бўйича амалга оширилишига ҳам боғлиқ. Моторларни ишга туширишнинг, асосан 3 та усули мавжуд:

- тўғридан-тўғри ишга тушириш;

- реакторли ишга тушириш;

- автотрансформаторли ишга тушириш.

Ишга тушириш пайтидаги асосий вазифа моторнинг айланиш тезлигини ишга тушириш токлари ва кучланишнинг пасайишини рухсат этилган чегараларда бўлишини таъминлаган ҳолда номиналга етказишдир.

г). Моторларнинг ўз-ўзидан ишга тушиши. Ўз-ўзидан ишга тушириш – моторларни нормал ишлашини, уни иш жараёнини кучланишнинг қисқа вақтга камайишидан сўнг тикланиш жараёнидир.

Ўз-ўзидан ишга тушиш пайтида моторларни ишга туширишдан фарқли моторларни бир қисми ёки барча моторлар қандайдир тезлик билан айланаётган бўлади ва бу жараён одатда юклама остида юз беради, шунинг учун электр моторларининг айлантирувчи моментларини камайиши ишга туширишдагига қараганда кўпроқ даражада юз беради.

Агар пасайган кучланишда электр моторларининг ортиқча momenti механизмларни номинал тезликка етказишгача етарли бўлса ва агар бу вақт ичида электр моторлари чулғамларининг қизиши йўл қўйилмайдиган қийматгача ет-

маса, ўз-ўзидан ишга тушиш таъминланган деб ҳисоблаш мумкин.

Шундай қилиб, асинхрон моторни ўз-ўзидан ишга тушириш имкониятини аниқлаш иккита масалани ечишга келтирилади:

1. Электр моторини айлантирувчи моментини ўз-ўзидан ишга тушиш вақтида кучланишни пасайишини ҳисобга олган ҳолда етарлилигини аниқлаш.

2. Электр моторини тезлик олиш вақтини чўзилганлиги билан боғлиқ қўшимча қизишини аниқлаш.

Ушбу масалаларни қуйидагиларга келтириш мумкин:

1. Электр таъминотини бузилиши вақтидаги ишдан чиқиб кетишни аниқлаш.

2. Ўз-ўзидан ишга тушиш учун зарур бўлган кучланиш ва ортиқча моментни аниқлаш.

3. Ўз-ўзидан ишга тушиш вақтини ва қўшимча қизишни аниқлаш.

Буларнинг баъзиларини алоҳида кўриб чиқамиз.

Ўз-ўзидан ишга тушиш momentiдаги руҳсат этилган сирпаниш таъминотдаги узилиш вақти бўйича моторнинг ҳаракат тенгмасини ечиш йўли билан топилиши мумкин:

$$T_j \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_{\text{мех}} = \Delta M. \quad (4.37)$$

(4.37) ни интеграллаб қуйидагини ҳосил қиламиз

$$S_c = S_y + \frac{1}{T_j} \int_0^{t_c} M_{\text{мех}} dt \quad (4.38)$$

Бу ерда: S_c - ўз-ўзидан ишга тушиш momentiдаги сирпаниш; t_c - таъминотдаги узилиш вақти.

Ўзгармас қаршилиқ momentiда бу ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$S_c = S_y + \frac{M_{\text{мех}}}{T_j} \cdot t_c \quad (4.39)$$

Ўз-ўзидан ишга тушиш пайтида юклама шиналаридаги кучланиш, биринчидан, тезлик ошишининг бугун жараёни давомида моторларнинг ортиқча мусбат моментини таъмин-

лаши, иккинчидан, ушбу тугунга уланган бошқа турлардаги юкламаларнинг нормал ишлаши учун етарли бўлиши лозим.

Минимал кучланиш ўз-ўзидан ишга тушишни амалга ошириш имконияти шартидан келиб чиқиб қуйидагича аниқланади:

а) Қаршилик моменти ўзгармас бўлган механизмлар учун

$$U^2 M_{min} \geq 1,1 M_{max}. \quad (4.40)$$

б) Қаршилик моменти вентилятор характеристикали бўлган механизмлари учун:

$$U^2 M_{max} \geq 1,1 M_{max}. \quad (4.41)$$

Бу ерда: M_{min} и M_{max} — моторнинг минимал ва максимал айлантириш моменти.

Агар электр таъминотининг узилиш вақти катта бўлмаса, ва ортикча момент ўз-ўзидан ишга тушишнинг бошланишида ва охирида 20-25% дан кўпроққа фарқ қилмаса, ўз-ўзидан ишга тушиш вақти ўртача ортикча момент бўйича аниқланиши мумкин:

$$t_c = T_j \cdot \frac{S_c}{\Delta M_{cp}}. \quad (4.43)$$

Моторларнинг ўз-ўзидан ишга тушишини таъминлаш учун ҚАРЛИ ва кўзғатишни жадаллаштиришли синхрон моторлардан фойдаланиш лозим. Ўз-ўзидан ишга тушишда иштирок этаётган электр моторларининг умумий қувватларини камайтириш учун тақсимлаш қурилмаларини секциялашни қўллаш зарур.

Шунингдек, аввало майда моторлар ўз-ўзидан ишга тушиб, кучланиш тикланганидан сўнг оғир агрегатлар ўз-ўзидан ишга тушувчи кетма-кет ишга тушиш ҳам қўлланилади. Линиялар, трансформаторлар, моторларни автоматик қайта улаш ва резервни автоматик киритишларни қўллаш анча самаралидир.

Синов саволлари

1. Ишчи механизм механик характеристикаларининг қандай типларини биласиз?

2. Юкламаларнинг статик ва динамик характеристикалари, уларнинг фарқлари.

3. Асинхрон моторнинг характеристикаси ва унинг турғун ишлаш мезони.
4. Критик сирпаниш нима ва у нимага боғлиқ?
5. Критик кучланиш нима ва у нимага боғлиқ?
6. Юкланинг ростлаш эффекти. Унинг маъноси нима?
7. Асинхрон моторни кучланиш ва частота бўйича ростлаш эффекти?
8. Система қаршилигини ҳисобга олиш асинхрон юкланинг турғунлигига қандай таъсир қилади?
9. Комплекс юклама турғунлигининг амалий мезонлари.
10. Система чайқалишларининг электр маркази.

5. ЭЛЕКТР СИСТЕМАСИНИНГ НАТИЖАВИЙ ТУРҒУНЛИКЛАРИ

5.1. Умумий характеристика

Электр энергиясининг маҳсулот сифатидаги ноёблиги шундаки, у ишлаб чиқариш жараёнида истеъмол қилинади, чунки электр энергиясини катта миқдорда узоқ муддат сақлашнинг имконияти йўқ. Генераторлар турғунлигининг бузилишига улар ишлаб чиқараётган қувват ва истеъмолчи истеъмол қилаётган қувватлар балансининг бузилиши сабаб бўлади. Ростлагич керакли балансни таъминлаунга қадар авария ҳолатидаги параметрларнинг тебраниши табиийдир, чунки электр системасининг барча элементлари инерцияга эга, яъни ишни бажариш, сигналларни узатиш ва бошқаларда кечикиш бўлади. Демак, агар генераторнинг қувватини ўзгартириб турбинанинг қувватини ўзгартириш кечиктирилмасдан амалга оширилганда эди, у ҳолда машина валидаги нобаланслик минимумга туширилган ва турғунликнинг бузилиши ҳам бўлмас эди.

Синхрон генераторнинг характеристикасига

$$P_r = \frac{E_q \cdot U}{X_{dE}} \sin \delta \quad (5.1)$$

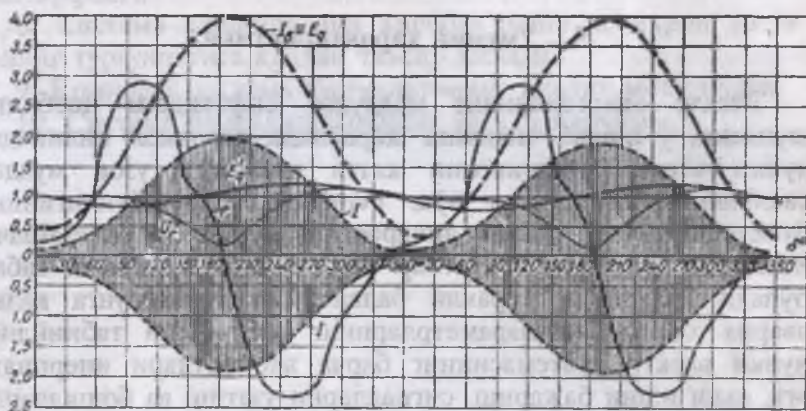
ва роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt} = P_T - P_r = P_T - \frac{E_q U}{X_{dE}} \sin \delta \quad (5.2)$$

ларга мувофиқ нобаланслик $\Delta P = P_T - P_r \neq 0$, $P_T \neq P_r$ натижасида машинанинг айланиш тезлиги синхрон айланиш тезликдан оғади, яъни $\omega \neq \omega_0$ бўлиб қолади. Бу бурчак δ , қувват P , кучланиш ва бошқалар ҳолат параметрларининг тебранишига олиб келувчи сабаб ҳисобланади. Синхрон генератор роторининг электр ва магнит носимметриклиги ($Z_d \neq Z_q$, $X_d \neq X_q$,

кўзғатиш чулғамининг бир ўқлилиги) ҳолат параметрлари тебранишнинг яна бир сабаби ҳисобланади.

Генераторда узоқ муддатли қисқа туташув ёки ўта юкланиш бўлса, бурчак δ нинг тебраниши 90° дан катта бўлиши натижасида машина синхронизмдан чиқиб кетади ва оқибатда турғун асинхрон ҳолат бошланади.



5.1- расм. Асинхрон иш ҳолатида ҳолат параметрларининг ўзгариши.

Асинхрон ҳолатда кучланиш вектори ва бошқа параметрларнинг даврий ўзгариши кузатилади, синхронизмдан чиққанда бурчак 360° дан катта бўлади (5.1-расм). Шунини таъкидлаш лозимки, асинхрон ҳолатга роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликдан фарқ қиладиган барча ҳолатлар киради: ўз-ўзини синхронлаш, кўзғатишнинг ўз-ўзидан узилиши ёки қисқа туташув натижасида статик ва динамик турғунликнинг бузулиши, турғунликнинг бузилишидан сўнг синхрон ҳолатнинг тикланиши-ресинхронизация ва бошқалар. Генератор синхронизмдан чиққанда кучланиш ёки э.ю.к. га пропорционал бўлган электромагнит момент турбинанинг айлантирувчи моментидан кичик бўлади ва шу сабабли, валда ортиқча тезлаштирувчи момент бўлиб, унинг таъсирида ротор тезлашади, сирпаниш ўсади. Генератор асинхрон генераторга ўхшаб қўшимча қувват ишлаб чиқаради, шу сабабли, бу қувват асинхрон деб аталади.

Шундай қилиб, валга моментнинг учта ташкил этувчиси – э.ю.к. Е га пропорционал бўлган синхрон электромагнит, асинхрон (сирпанишга боғлиқ) ва турбинанинг айланувчи моментлари таъсир этади. У ҳолда роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_r - P_a. \quad (5.3)$$

Бу ерда: P_a – синхрон генераторнинг асинхрон momenti (қуввати).

Электр системаларини ишлатиш тажрибаси шунини кўрсатадики, синхронизмдан чиққан генераторларни маълум вақтгача тармоқдан узмасдан, ундаги қўзғатишни ва турбинанинг тезлигини ростлаш ёки бошқа тадбирларни қўллаш ёрдамида валдаги қувватларнинг балансини тиклаш мумкин. Бу ушбу ҳолатда генераторлар маълум миқдордаги актив қувватни бера олиши билан тушунтирилади. Масалан, катта қувватли турбогенератор номинал актив қувватнинг 50-70% гача бериши мумкин. Шу сабабли, қуйидаги ҳолларда асинхрон ҳолатда ишлашга рухсат этилади:

– турбогенераторда қўзғатиш бўлмаганда 30 минутгача, қўзғатиш бўлганда эса бир оз кам;

– гидрогенераторларда қўзғатиш бўлганда 4 минутгача.

Кўрстилган вақт ичида қўзғатиш системасидаги носозлик бартараф этилиши, яъни генераторни захирадаги қўзғатишга ёки юклamani бошқа станцияга ўтказиш лозим.

Синхрон генераторнинг асинхрон ҳолатда ишлаш вақтининг давомийлиги бўйича чегара, электр системаси нормал ишловчи қисми турғунлигининг асинхрон ишловчи генератор параметрларининг тебраниши ва юклама тугунларида кучланишнинг пасайиши таъсирида бузилиш эҳтимолига боғлиқдир. Чунки бунда генератор тармоқдан катта миқдордаги реактив қувватни истеъмол қилади.

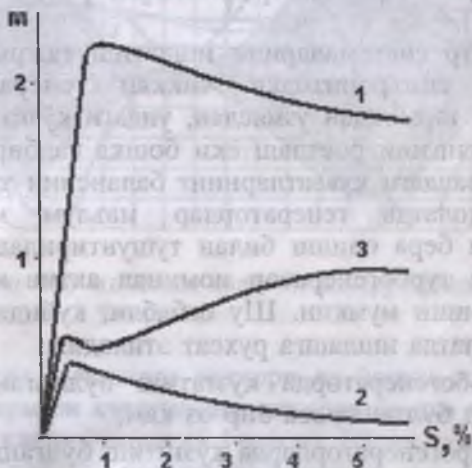
Бунда генератор тармоқдан олаётган магнитловчи ток қуйидаги боғланишдан аниқланади:

$$I_{\mu} = \frac{2U}{X_d + X_q} \quad (5.4)$$

Одатда, турбогенераторлар учун $I_{\mu} = (0.4 \div 0.65) I_N$, гидрогенераторлар учун эса $I_{\mu} > I_N$ бўлиб, бу ерда: I_N — статорнинг номинал токи.

Асинхрон қувватнинг қиймати генераторнинг тузилишига ва машинанинг барқарорлашган сирпанишига боғлиқ бўлади.

Турбогенераторларда массивли ротор кучли демпферловчи система ҳисобланади. Шу сабабли, генератор ишлаб чиқараётган асинхрон қувватнинг қиймати номинал қувватга тенг бўлиши мумкин (5.2-расм).



5.2- расм. Синхрон генераторнинг уртача асинхрон моментлари:

1- турбогенератор, 2 — демпфер чулгами бўлмаган гидрогенератор,

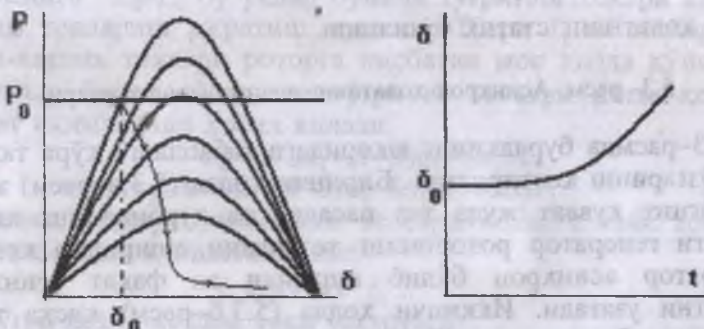
3- демпфер чулгами бўлган гидрогенератор.

Агар турбогенераторлар учун асинхрон момент характеристикаси асинхрон моторнинг характеристикаси каби бўлса, гидрогенераторлар учун характеристикадаги эгиклик демпферловчи системанинг мавжудлиги билан тушунтирилади. Гидрогенераторларнинг демпферловчи системаси турбогенераторларнинг массивли ротори сингари тўла симметрик ва бақувват ҳисобланмайди ва шу сабабли, кам самаралидир.

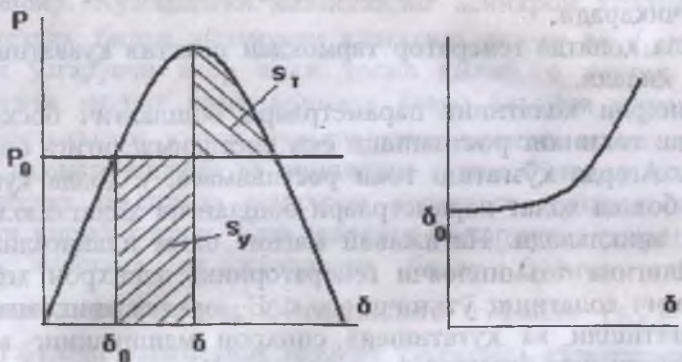
5.2. Асинхрон ҳолатнинг содир бўлиш жараёни

Асинхрон ҳолат турли сабабларга кўра юзага келиши мумкин. Уларни 3 та асосий гуруҳга ажратиш мумкин (5.3-расм):

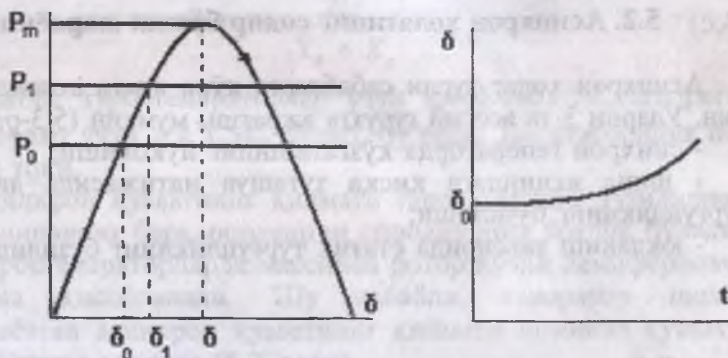
- синхрон генераторда кўзғатишнинг йўқолиши;
- шина яқинидаги қисқа туташув натижасида динамик турғунликнинг бузилиши;
- юкланиш таъсирида статик турғунликнинг бузилиши.



а) кўзғатишнинг йўқолиши;



б) ҳолатнинг динамик бузилиши;



в) ҳолатнинг статик бузилиши.

5.3- расм. Асинхрон ҳолатнинг содир бўлиш турлари.

5.3-расмда бурчакнинг юқоридаги сабабларга кўра тахминий ўзгариши келтирилган. Биринчи ҳолда (5.3,а-расм) электромагнит қувват жуда тез пасаяди ва турбинанинг ҳамма қуввати генератор роторининг тезлигини оширишга кетади. Генератор асинхрон бўлиб ишлайди ва фақат асинхрон қувватни узатади. Иккинчи ҳолда (5.3,б-расм) қисқа тугашувнинг чўзилганлиги ($S_y > S_T$) натижасида генераторларнинг синхронизмдан чиққан ҳолати келтирилган. Учинчи ҳолда (5.8,-расм) ўта юкланиш натижасида асинхрон ҳолат содир бўлади. Бунда ҳам генератор асинхрон ва синхрон қувват ишлаб чиқаради.

Учала ҳолатда генератор тармокдан реактив қувватни истеъмол қилади.

Асинхрон ҳолатнинг параметрлари бошланғич босқичда қўзғатиш токининг ростланиши ёки ростланмаслигига боғлиқ бўлади. Агарда қўзғатиш токи ростланмаса, у ҳолда қувват, ток ва бошқа ҳолат параметрлари бошланғич ҳолат э.ю.к. E_q бўйича аниқланади. Натижавий магнит оқим илаштимлигини доимийлигини таъминловчи генераторнинг асинхрон ҳолати бошланғич ҳолатнинг ўтқинчи э.ю.к. E_q орқали аниқланади.

Қўзғатишли ва қўғатишсиз синхрон машинанинг асинхрон ҳолати бир-биридан фарқ қилади. Қўзғатишли синхрон машинанинг асинхрон ҳолатини қўзғатишсиз асинхрон машина ва қўзғатишли синхрон генераторлар ҳолатларининг

йиғиндиси шаклида кўриш мумкин. Агарда машина кўзғатилмаган бўлса, у ҳолда машинанинг тормозловчи электромагнит моменти сирпаниш ва динамик аён кутблилиқ моменти $x_d \neq x_q$, $x_q \neq x_q$ га боғлиқ бўлган асинхрон моментдан иборат бўлади. Статор токлари айланувчи майдонни ҳосил қилади. Бу майдон носимметрик роторга нисбатан s силжиш ва $f_2 = s \cdot f_1$ частота билан ҳаракатланади. Бу ерда f_1 — саноат частотаси. Юқорида таъкидланганидек, бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича қаршилиқларнинг ўзаро тенг бўлмаслиги $Z_d \neq Z_q$ бу ўқлар бўйича тўғри ва тескари кетма-кетлик тоқларига ажратиш мумкин. Тўғри I_1 ва тескари I_2 кетма-кетлик тоқлари роторга нисбатан мос ҳолда қуйидаги тезлиқлар билан айланувчи тўғри ва тескари кетма-кетлик магнит оқимларини ҳосил қилади:

$$\begin{aligned} n_{1c} &= n + Sn_1 = (1-S)n_1 + Sn_1 = n, \\ n_{2c} &= n - Sn_1 = (1-S)n_1 - Sn_1 = (1-2S)n_1. \end{aligned} \quad (5.5)$$

Демак, статор чулғамидаги тескари кетма-кетлик токи I_2 нинг частотаси қуйидагига тенг:

$$f_{2c} = (1-2s) \cdot f_1. \quad (5.6)$$

Тўғри кетма-кетлик токи частотаси:

$$f_{1c} = f_1 \quad (5.7)$$

Шундай қилиб, статор чулғамларидаги тоқлар ҳар хил частотали ташкил этувчилардан иборат бўлиб, улар носинусоидалдир. Кўзғатилган машинанинг асинхрон ҳолатида $(1-S)n$ тезлиқ билан айланувчи кўзғатиш оқими ва f_1 частота билан ўзгарувчи якор токи ҳосил қилиб, n тезлиқ билан ўзгарувчи магнит оқимларининг ўзаро таъсири натижасида Sf_1 частотадаги кучли пульсланувчи момент юзага келади. Агар валдаги юклама ва сирпаниш s кам бўлса, у ҳолда бу моментлар таъсирида асинхрон ҳолатдаги машина синхронизмга кириб кетади. Уша шартлар бажарилган гидрогенераторда бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича индуктив қаршилиқларнинг тенг бўлмаганлиги туфайли ($x_d \neq x_q$) у ҳосил бўлган параметрик момент таъсирида кўзғатишсиз ҳам синхронизмга киради:

$$\frac{U^2}{2} \cdot \frac{(x_d - x_q)}{x_d \cdot x_q} \sin 2\delta. \quad (5.8)$$

Синхрон генераторни синхронизмдан чиқиб кетиши ва динамик турғувликнинг бузилиши натижасида барқдорлашган асинхрон ҳолатга ўтиш жараёнларини кўриб чиқамиз.

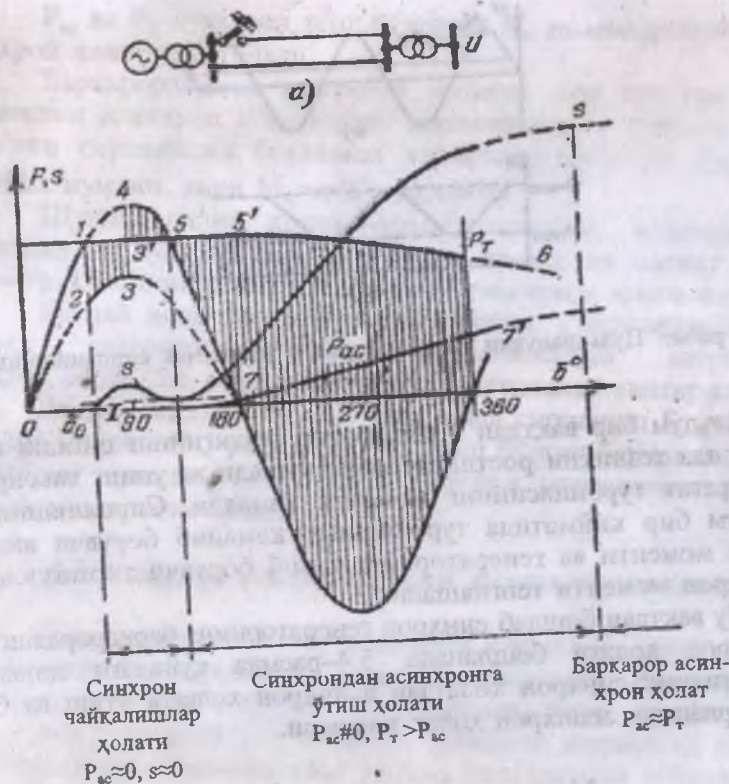
Икки занжирли электр узатиш схемасини кўрамиз (5.4, а-расм). Линиялардан бири узилиб, қайта уланган деб фараз қиламиз. Генератор синхронизмдан чиқиб кетиши учун вақт етарли бўлади. Машинанинг кўзғатиш системаси сақланиб қолади ва X_d қаршилик ортида $E = \text{ўзгармас таъминланади}$ деб фараз қиламиз.

Синхронизмдан чиқиб кетишни майдонлар усули асосида таҳлил қиламиз. Бирор линиянинг узилишидан кейин генераторнинг иш ҳолати II характеристика билан аниқланади. Линия қайта улангунча машинанинг ротори ортикча тезлантувчи момент $\Delta P = P_T - P_G > 0$ таъсирида тезлашади, чунки 1233' тезланувчи майдон 3' 4 5 тормозланувчи майдондан кайта ва шу сабабли $P_T > P_G$. 3 нуктадан генераторнинг ҳолати ўзгаради: линиянинг қайта уланиши натижасида валда ортикча тормозловчи момент $\Delta P < 0$ ҳосил бўлиб, ҳолат 4 нуктага ўтади. $S_{\text{тор}} < S_{\text{тез}}$ бўлганлиги сабабли ротор 5 нуктадан ўтади ва валда яна ортикча тезлаштирувчи момент ҳосил бўлади. Бунинг оқибатида бурчак узлуксиз ошиб боради, сирпанишнинг қиймати ўсади ва мос равишда генераторнинг асинхрон моменти ўсади.

Юқорида айтилганидек, асинхрон момент сирпаниш ва машинанинг параметрларига боғлиқ бўлади ва у қуйидагича аниқланади:

$$P_a = \frac{U^2 (x_d - x'_d)}{x_d \cdot x'_d} \cdot \frac{T'_d \cdot S}{\left(1 + (T'_d \cdot S)^2\right)} \quad (5.9)$$

бу ерда: T'_d – ўткинчи вақт доимийси.



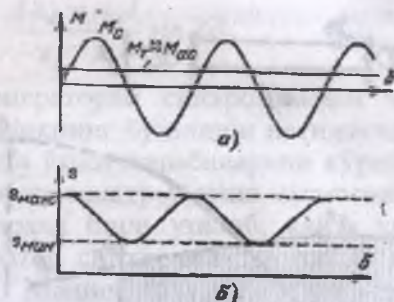
5.4- расм. Асинхрон ҳолатнинг юзага келиш жараёни.

Ортиқча момент қуйидагига тенг:

$$\Delta P = P_T - P_r - P_s = (P_T - P_s) - P_r. \quad (5.10)$$

Бу ерда: $(P_T - P_s)$ монотон ўсади, P_r эса пульсланади, чунки у синусоидал қонун асосида ўзгаради. Шунга мос ҳолда сирпаниш ҳам иккита ва ўртача пульсланувчи ташкил этувчилардан иборат бўлади.

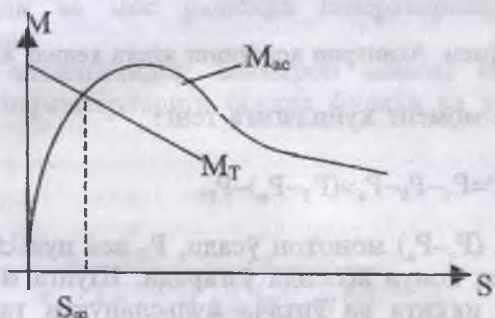
Бурчак, тахминан, $200-300^\circ$ бўлганда генератор валига унча катта бўлмаган тезлаштирувчи момент таъсир қилади.



5.5- расм. Пульсациявчи синхрон момент (а) ва мос сирпанишнинг (б) ўзгариши.

Маълум бир вақтдан кейин ротор тезлигининг ошиши натижасида тезликни ростлагич ишга тушади ва унинг таъсирида агрегат турбинасининг моменти камаяди. Сирпанишнинг маълум бир қийматида турбинанинг камайиб борувчи айланивчи моменти ва генераторнинг ошиб борувчи тормозловчи асинхрон моменти тенглашади.

Шу вақтдан бошлаб синхрон генераторнинг барқарорлашган асинхрон ҳолати бошланади. 5.4-расмда қуйидаги зоналар кўрсатилган: синхрон ҳолатдан асинхрон ҳолатга ўтиш ва барқарорлашган асинхрон ҳолат зоналари.



5.6- расм. Сирпанишнинг ўзгариши билан синхрон генераторнинг асинхрон моменти ва турбина моментининг ўзгариши.

P_{ac} ва P_T нукталар тенг бўлганда S_{∞} га мос келувчи асинхрон ҳолат ўрнатилади.

Барқарорлашган асинхрон ҳолатга мос келувчи сирпанишни асинхрон моментнинг сирпанишга ва турбина моментини сирпанишга боғланиш характеристикасини куриб топиш мумкин, яъни $M_{ac}=\varphi(S)$, $M_T=\varphi(S)$.

Шундай қилиб, ҳолат параметрларининг, жумладан силжишнинг пулсланиши роторнинг электр ва магнит носиметриклигининг синхрон momenti таъсирида юзага келади.

Бундай ҳолат синхронизмга қайтиш – асинхрон ишлаётган генераторнинг ресинхронизациялаш шартларини аниқлайди (5.6-расмда бу ҳарактеристикалар келтирилган).

Демак, синхрон момент таъсирида сирпаниш S_{max} дан S_{min} гача ўзгариб (5.5-расм), 180° га яқин бўлган бурчакда энг кам қиймат орқали ўтади. Бунда синхрон моментнинг қиймати ҳам нолга яқин бўлади.

5.3. Синхрон генераторларни ресинхронизациялаш

Ресинхронизация – бу асинхрон ишлаётган синхрон генераторнинг синхронизмга кириш жараёнидир. Ресинхронизациянинг асосий зарурий шартларидан бири сирпанишнинг нолдан ўтишидир. Шу сабабли, асинхрон ишлаётган синхрон генераторда сирпанишнинг ўртача ўзгариши ва тебраниш чегараларини кўриб чиқамиз.

Юқорида таъкидланганидек, кўрилатган ҳолатда роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P_d \cdot \frac{d\delta}{dt} + P_r = P_T. \quad (5.11)$$

Бу ерда: $P_r = P_m \sin \delta = \frac{E U}{X_d} \sin \delta$ – машинанинг э.ю.к. га про-

порционал бўлган синхрон қуввати ва $P_d \frac{d\delta}{dt}$ – асинхрон қувват, P_d – демпферлик коэффициенти (2.11-тенглама).

Кувватлар йиғиндиси

$$P_a + P_m \cdot \sin \delta \quad (5.12)$$

синхрон тезликдан фарқ қилувчи тезликда генератор ишлаб чиқариётган умумий электр қувватни кўрсатади. Бу ерда, агар кўзғатиш токи узилмаса қувватнинг ўртача қиймати нолга яқин ва синхрон қувват машинанинг э.ю.к. га пропорционал пульсланади. Асинхрон қувват демпфер системасига боғлиқ.

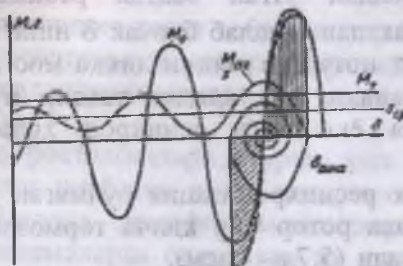
Агар машина ротори тезланиш олса, юқорида кўрсатилганидек бурчак δ ўсади, натижада $\frac{d\delta}{dt} = S$ ҳосила ва мос ҳолда

қувват P_a ҳам мусбат бўлади. Бошқача айтганимизда, ротор тезлашган даврда демпферловчи чулғам ва роторнинг қиска туташган эквивалент контурлари генераторнинг электромагнит қувватини оширади, бу эса тормозланишга ва мос равишда бурчак δ нинг камайишига олиб келади.

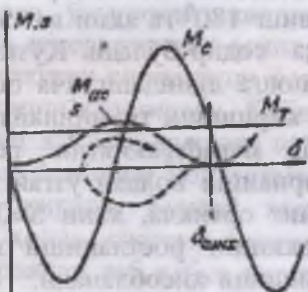
Фараз қилайлик, кўзғатиш токининг оқиши P_r амплитуда қийматини ва сирпанишни оқишига олиб келади. P_r қувватнинг тебраниши оқибатида сирпаниш ўзининг ўртача қиймати чегарасида сезиларли амплитуда билан тебраниб туради. Э.ю.к. қанча катта бўлса, бу тебраниш ҳам шунчалик катта бўлади. (5.7-расм). Сўнгра тезлик, ростлагичнинг таъсирида турбина клапани ёки йўналтирувчи аппаратнинг ёпилиши натижасида тезликнинг ўртача қиймати пасайиб боради.

5.5 ва 5.7- расмлардан кўринадик, сирпанишнинг минимал қиймати унинг ўртача қийматидан анчагина кам бўлади. Сирпаниш нолдан ўтганда роторнинг тезлиги синхрон тезликка тенг бўлади, яъни бир онда синхрон ҳолат содир бўлади. Генераторнинг синхрон ҳолатда қолиш ёки қолмаслиги синхрон генераторнинг қуввати ва турбина қувватининг нисбатига боғлиқ бўлади, chunki $S=0$ бўлганда асинхрон қувват нолга тенг бўлади.

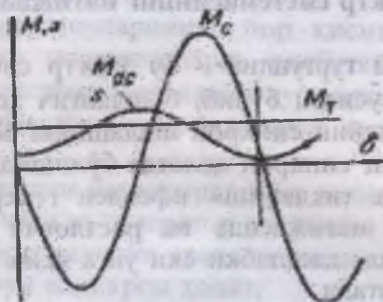
Шунинг учун машина валидаги моментларнинг мумкин бўлган нисбатларини бурчакнинг ортиши билан кўзғатиш токи оқиши ва сирпаниш нолга яқинлашган ҳолат учун кўриб чиқамиз. 5.7,а- расмда валга ортикча пульсланувчи тормозловчи момент таъсир этиб, $P_r > P_T$ бўлган вазиятда генераторнинг сирпанишини нол орқали ўтишига мос келувчи муваффақиятли ресинхронизация ҳолати кўрсатилган.



a)



б)



в)

5.7- расм. Синхронизмга кириш жараёни:

а) муваффақиятли синхронизация; б) критик ҳолат, в) муваффақиятсиз синхронизация.

Синхрон моментнинг амплитудаси даврдан давргача ошади ва шу сабабли, сирпаниш амплитудасининг тебраниши ҳам оша-

ошади ва нолдан ўтган вақтда ресинхронизация содир бўлади. Шу вақтдан бошлаб бурчак δ нинг қиймати камаяди.

$P_r = P_T$ шарт нотурғун тенгсизликка мос келувчи чегаравий ҳолат ҳисобланади: ҳар қандай таъсир муваффақиятли ресинхронизация ёки янги асинхрон ҳолатга олиб келади (5.7,б-расм).

$P_r < P_T$ шарт ресинхронизация бўлмаган ҳолга тўғри келади, чунки бунда ротор бир қанча тормозланишдан сўнг яна қайта тезлашади (5.7,в- расм).

Демак, асинхрон ишлайтган синхрон генераторда ресинхронизация бурчакнинг 180° га яқин ва турбина моментининг кичик қийматларида содир бўлади. Қўзғатиш токини сирпанишнинг қиймати нолга яқинлашгунча ошириш генераторни синхронизмга тинч киришини таъминлайди.

Шундай қилиб, муваффақиятли ресинхронизациянинг шартлари бўлиб сирпаниш нолдан ўтган вақтда валдаги тормозловчи моментнинг ортиқча, яъни $S=0$ ва $P_r < P_T$ бўлиши, ҳамда қўзғатиш токининг ростланиши шу талабдан келиб чиқиб амалга оширилиши ҳисобланади.

5.4. Электр системасининг натижавий турғунлиги

Натижавий турғунлик – бу электр системаси ҳолатининг ўзига хос хусусияти бўлиб, бошланғич ҳолатнинг турғунлиги бузилгандан кейин синхрон ишлашнинг мустақил тикланиши ва системанинг синхрон ҳолатда бўлишидир.

«Мустақил тикланиш» ифодаси генераторларнинг ҳолат хусусиятлари натижасида ва ростловчи қурилмалар (ҚАР, ТАР) таъсирида дастлабки ёки унга яқин бўлган ҳолатга қайтишини англатади.

Бу айрим генератор ёки электр системаси бўлагининг ишига тегишли бўлиб, ҳолатнинг параметрлари синхрон ҳолат параметрларидан сезиларли фарқ қилади. Бундай ҳолатлар қисқа муддатли бўлиб, у учун рухсат этилган вақт қийматлари юқорида келтирилган эди. Қисқа муддатли асинхрон ҳолатдан фойдаланишдан воз кечиш, юкламаларни узиш ва бу орқали ишлаб чиқаришга маълум зарарларни етказган бўлур эди.

Электр системаларининг катта тебранишлар билан боғлиқ бўлган ўткинчи ҳолатларини тадқиқ қилиш натижавий турғунлик ни таъминлашда юзага келувчи шартларнинг турли хиллигини кўрсатади.

Турбиналарнинг ростлагичлари, турли хил ҚАРларнинг мавжудлиги, вақтнинг нисбатан катта интервалларида тебранишлар содир бўлганда демпфер моментларини ҳисобга олиш, мураккаб системаларда системани на динамик турғун, на нотурғун деб ҳисоблаш учун лозим бўлган асосларни бера олмайдиган характерда ўзгариши аниқланган. Жараённинг бошланғич босқичида генераторнинг асинхрон ҳолатини юзага келганлигини кўрсатувчи сирпаниши ўсади ва нисбий бурчакнинг сезиларли ўсиши кузатилади. Кейинчалик, ростлагич таъсирида турбинанинг қуввати камаяди ва шунга мос равишда бурчак камаяди ва сирпаниш нол қийматдан ўтганда генератор синхронизмга киради. Бундай ҳолатлар, натижавий турғунлик сақланган ҳолда, система динамик турғунлигининг бузилишини характерлайди деб қабул қилинган. Чунки бунда генераторлар асинхрон ҳолатда ишлаб, унинг системага қувват бериши давом этади.

Агар система генераторларининг бир қисми қандайдир вақт давомида бошқа генераторларга нисбатан носинхрон ишласа, у ҳолда бу система натижавий турғунлик шартларини бажаради деб қаралади. Бунда асинхрон ҳолат уч хилда бўлиши мумкин:

- ўзгармас сирпанишли барқарорлашган асинхрон ҳолат;
- синхронизмдан чиққан генератор ростлагич ва асинхрон момент таъсирида персоналнинг аралашувисиз синхронизмга кириб кетувчи нотурғун асинхрон ҳолат;

- асинхрон ҳолатдаги генератор синхрон ишини тиклаши ва ресинхронизация шартининг бажарилмаганлиги натижасида яна асинхрон ҳолатга ўтувчи синхронли–асинхрон ҳолат.

Кўриб ўтилган асинхрон ҳолатларда уларнинг мумкинлик шарти, бундай ҳолатнинг вақти, ресинхронизацияни амалга ошириш учун ҳолат параметрларини ростлаш конунларининг мослиги аниқланган бўлиши шарт. Одатда, синхронизмдан чиққан электр системаларида кучланиш кўчкиси ва частотанинг руҳсат этилмаган даражагача оғишининг олдини олиш мақсадида реактив қувват баланси ва частотани ростлаш

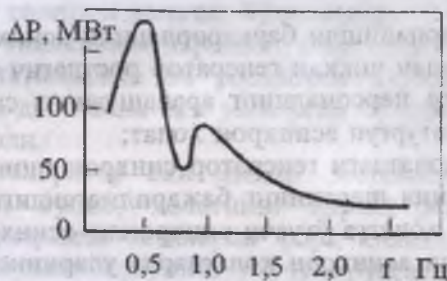
шартлари текширилади. Бунда агар синхронизация ихтиёрий лаҳзада, яъни синхронизмдан чиққан генератор ёки система қисмини носинхрон улаш натижасида содир бўлса, у ҳолда ресинхронизация шартнинг бажарилиши қуйидаги муносабат бўйича аниқланади:

$$|S_{\text{ўрт}}| \leq S_{\text{ўрт.кр}} \quad (5.13)$$

Бу ерда: $S_{\text{ўрт.кр}}$ – ўртача критик сирпаниш бўлиб, бу сирпанишда ресинхронизация синхрон момент таъсирида амалга ошади ва сирпаниш ўзининг ўртача қийматига яқин қиймат билан тебранади.

Актив ва реактив қувватлар баланси тугунлардаги кучланиш ва тоқларнинг ортиқчалиги, тебранишнинг электр маркази ва юкламалар ишининг шарти ҳамда унинг яқинлигини топиш мақсадида аниқланади.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, статик тургунлик бузилганда ўз-ўзидан ресинхронизация содир бўлади, аммо бундай ресинхронизация, одатда, истеъмолчилар асинхрон ҳолатда юклама тугунларининг электр марказ яқинида кучланишнинг пасайиши оқибатида истеъмолни камайтириш асосида содир бўлади.



5.8-расм. 500 кВли электр узатиш актив қуввати тебранишнинг таъсир этувчи частотага боғлиқлик эгри чизиги.

Асинхрон ҳолатлар аварияларнинг ривожланиши, тургунликнинг қўшимча бузилиши ва жуда хавфли ҳисобланган

бир ва кўп частотали ҳолатнинг юзага келишига сабаб бўлиши мумкин. Бу ерда, авария ҳолати ҳисобланиб, ресинхронизация ва асинхрон ҳолат жараёнида синхрон ишлаётган генераторлар ёки энергосистема ўз частотасининг таъсир этувчи частотага яқинлашгани сабабли электромеханик резонанснинг юзага келиш эҳтимоли мавжудлигини таъкидлаш лозим.

5.8—расмда реал электр узатмаларнинг бирида актив қувват тебранишларининг гармоник таъсир этувчи частотага боғланиш характеристикаси келтирилган бўлиб, бунда иккита $-0,5$ Гц частотадаги — асосий ва $0,95$ Гц частотадаги — иккинчи резонанс пиклари мавжуд. 200 ва 1200 МВт қувватли, инерция доимийлиги 7 ва $9,3$ с, синхронловчи қуввати $1,5$ га тенг бўлган турбогенераторларнинг хусусий тебранишлар частотаси мос ҳолда қуйидагича бўлади (демпферловчи моментни ҳисобга олмаганда, §2.4 га қаранг).

$$\alpha = \sqrt{\frac{\partial P}{\partial \delta} \cdot \frac{\omega_0}{T_j}} = 8,20 \text{ ва } 7,1 \text{ рад/с} \quad (5.14)$$

$$f_{\xi} = \frac{\alpha}{2\pi} = 1,3 \text{ ва } 1,13 \text{ Гц.} \quad (5.15)$$

Демак, бунда хусусий тебраниш частотаси гармоник таъсир частотасига яқинлиги учун, оқибати оғир бўлган авария электромеханик резонанс бўлиши мумкин.

Шундай қилиб, мураккаб электр системасидаги якка генератор ёки электр системасининг бир қисмидаги асинхрон ҳолат натижасида кўп частотали асинхрон ҳолат содир бўлиши мумкин.

Битта электр чайқалиш маркази мавжуд бўлувчи бир частотали ёки икки частотали асинхрон ҳолатлардан фарқли равишда, уч ва кўп частотали асинхрон ҳолатларда ишлаётган генераторларнинг э.ю.к. векторларининг айланиши натижасида тебраниш марказининг жойи ўзгариши ва силжиши мумкин. Бунда кучланишнинг қиймати жуда пасайиб кетувчи бир нечта чайқалиш марказлари мавжуд бўлиши мумкин. Бундай ҳолат юклама тугунлари ишининг бузилишига ва бу ҳудудда генераторлар ёки электр станцияларнинг синхронизмдан чиқиб кетиш хавфини келтириб чиқаради. Аварияни носинхрон ишлаётган генератор-

лар ёки система бўлаги сонининг ортиб бориши ҳисобига ривожланиш эҳтимоли пайдо бўлади.

Замонавий электр системаларида узоқ муддатли ва рухсат этиб бўлмайдиган асинхрон ҳолатлардан сақловчи турли хил, жумладан, маълум бир рухсат этилган вақтдан ошиб кетувчи узоқ муддатли асинхрон ҳолатларда системани ажратиш орқали асинхрон ҳолатни бартараф этувчи, автоматик қурилмалар қўлланилади. Бу қурилмалар чайқалиш марказини аниклаш мақсадида генераторларнинг э.ю.к. векторлари орасидаги бурчаклар, бу бурчакларнинг ўзгариш тезлиги, генераторнинг сирпаниши, кучланиш қиймати каби ҳар хил параметрларни назорат қилади. Улар шунингдек, носинхрон ишлаётган электр системасининг бир қисмини ресинхронизациялашни ёки синхронизм бузилганда уларни ажратиш, энергосистеманинг дефицит қисмида юкламаларни ва ортиқча қисмида генераторларни узишни ҳам таъминлайди. Шу сабабли, системани бўлакларга бўлиб асинхрон ҳолатларни олдини олиш, частота ва кучланиш кўчкисининг олдини олиш мақсадида юксизлаш, локаллаштирувчи бўлакларга бўлинган энергосистемани бирлаштириш ва истеъмолчиларнинг электр билан таъминлашни тикловчи тадбирлари ҳисобланади.

Синов саволлари

1. Электр системаларида вужудга келувчи асинхрон ҳолатларни характерлаб беринг.
2. Асинхрон ҳолатларга йўл қўйиш мумкинми ва нимага?
3. Сиз асинхрон ҳолатларни келтириб чиқарувчи қандай сабабларни биласиз?
4. Барқарорлашган асинхрон ҳолат қандай вужудга келади?
5. Кўзғатилган ва кўзғатилмаган машинанинг асинхрон ишида қандай фарқлар бор?
6. Ресинхронизация нима?
7. Ресинхронизациянинг зарурий шарти нимадан иборат ва нега?
8. Натижавий турғунлик деб нимага айтилади?
9. Кўп частотали асинхрон ҳолат нега хавфли ҳисобланади?

6. ЭНЕРГОСИСТЕМАЛАРДА ЧАСТОТА КЎЧКИСИ ВА УНИ БАРТАРИФ ЭТИШ ЧОРАЛАРИ

6.1. Частотани ўзгартириш ва ростлашнинг умумий характеристикаси

Электр системасининг юкламалари, шиналардаги кучланиш ва система частотасига боғлиқ бўлган актив ва реактив қувватлар билан ифодаланadi. Актив қувватлар баланси бутун системада частотанинг стабиллигини, реактив қувватлар баланси эса электр системасининг тугунларидаги кучланишларни белгилайди.

Электр системаси ҳолатининг параметрлари берилганда турбинанинг қуввати фақат тармоқ частотасига боғлиқ бўлади ва шу сабабли, генераторнинг электромагнит қуввати ҳам частотага боғлиқ бўлади, яъни $P_T = \varphi(f)$. Аммо истеъмол қилинаётган актив қувватининг ўзгариши фақатгина частотанинг ўзгаришигагина эмас, балки кучланишнинг ўзгаришига ҳам олиб келади, чунки бунда генераторларнинг э.ю.к. ҳам ўзгаради. Шу билан биргаликда системанинг ҳамма шахобчаларидаги реактив қаршилиқлар, актив ва реактив қувватлар баланслари ҳам ўзгаради. Масалан, истеъмолчиларнинг актив қуввати ошса ёки генераторларники камайса, у ҳолда частотанинг камайиши кузатилади. Бу частотанинг камайиши, албатта, баланснинг тикланишига олиб келади: биринчидан шинадаги кучланишнинг пасайиши юкламалар истеъмол қилаётган актив қувватнинг камайишига олиб келса, иккинчидан, бирламчи моторларнинг тезлик ростлагичлари турбинага кирувчи буг ёки сув микдорини оширади. Шу сабабли, системанинг актив қуввати ошади ва баланс тикланади.

Демак, вақтнинг ҳар қандай лаҳзасида параллел ишлаётган генераторлар шундай актив қувват ишлаб чиқаришлари керакки, бу қувват истеъмолчиларнинг қувватига тенг бўлиб, бунда

тармоқ элементларидаги исрофларни ҳисобга олган ҳолда куйидаги баланс бажарилиши лозим:

$$\Sigma P_r = \Sigma P_{\text{юк}} + \Sigma \Delta P = \Sigma P_{\text{ист}} \quad (6.1)$$

Бу ерда: ΣP_r — электр системаси ишлаб чиқараётган қувват; $P_{\text{юк}}$ — юклар амалар истеъмол қилаётган қувват; $\Sigma \Delta P$ — умумий қувват исрофи; $\Sigma P_{\text{ист}}$ — истеъмол қилинаётган натижавий актив қувват.

Актив қувват балансининг бузилишига ва частотанинг ўзгаришига генераторларнинг узилиши, қувватнинг ошиши, электр узатиш линиясининг узилиши сабаб бўлиши мумкин.

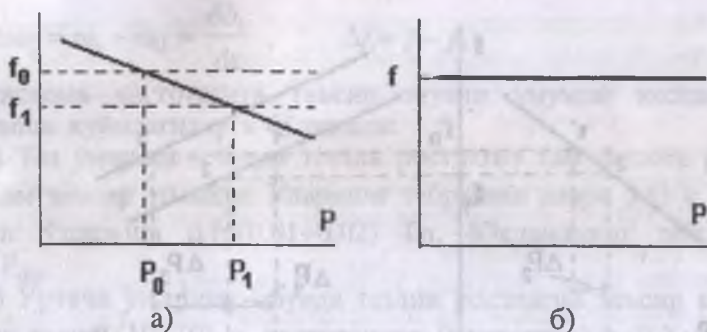
Генераторлар ишлаб чиқараётган актив қувватни юклама қувватига мослаштириш турбинанинг тезлик ростлагичи ёрдамида амалга оширилади. Бунда ростлаш турли хил қонунлар асосида амалга оширилади: астатик, яъни тезлик (частота)нинг бошланғич қийматига қайтиш орқали ва статик, яъни тезлик (частота)нинг бошланғич қийматидан фарқли қийматларга қайтиш орқали. Иккинчи ҳолатда $\Delta f = f_0 - f$ бўлиб, бу ерда f_0 — бошланғич частота, f — айни пайтдаги частота (6.1-расм). Одатда ростлагичнинг статизм коэффиценти деб аталиб, частота ўзгарганда актив қувватнинг тақсимланишида агрегатнинг қатнашиш даражасини ҳаракатловчи куйидаги муносабатдан аниқланувчи параметр кўрилади:

$$\delta = \frac{\Delta f}{\Delta P} = \frac{f_0 - f}{P_0 - P} \quad (6.2)$$

Замонавий турбиналар учун бу коэффицентнинг қиймати 3÷6% оралиғида ўзгаради.

Частотанинг оғиши нормал ҳолатларда $\pm 0,2$ Гц ва максимал ҳолатларда $\pm 0,4$ Гц гача рухсат этилади. Авариядан кейинги ҳолатлар учун у $\pm 0,5$ Гц дан ± 1 Гц гача (умумий вақти бир йилда 90 соатгача) бўлиши мумкин.

Таъкидлаш лозимки, астатик ростлаш якка ҳолда кам қўлланилади, чунки юклама қувватининг тақсимланиши ноаниқ бўлади ва частотага боғлиқ бўлмайди (масалан, қувват $P_{\text{он}}$ дан $P_{\text{ин}}$ гача ўзгарганда частотанинг қиймати ўзгармайди (6.1-расм, б).



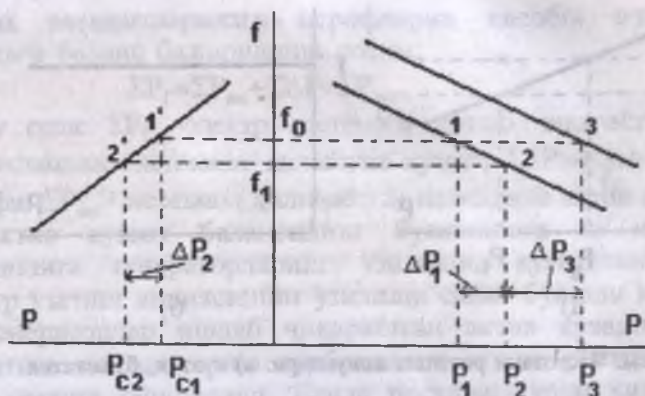
6.1-расм. Частотани ростлаш қонунари: а) статик, б) астатик.

Ростлашнинг статик қонуни генератор ишлаб чиқараётган кувват ва частота орасида қатъий боғлиқликни кўрсатади. Кувват $P_{0н}$ дан $P_{1н}$ гача ўзгарганда частота $\Delta f = f_0 - f$ га камаяди. Тезлик ростлагич фақат кувватни оширади, частота эса ўзининг бошланғич қийматига ҳам тикланмайди. Шу сабабли, бундай ростлаш *бирламчи ростлаш*, $\Delta f = f_0 - f$ эса ростлашнинг қолдиқ тенгсизлиги дейилади.

Частотанинг бу фарқи иккиламчи ростлаш ёрдамида барта- раф этилади. Электр системасидаги битта ёки станциялар гу- руҳида частота ростлагич ўрнатилади ва у частотали баланс- лаш, яъни частотани ростлаш вазифасини бажаради.

6.2-расмда ҳар хил статизм коэффицентларига эга бўлган иккита генератор учун статик характеристикалар келтирилган. ΣP_n юкламанинг улар орасидаги тақсимланиши статик характе- ристикаларга мувофик, яъни уларнинг статизм коэффицентлари- га тесқари пропорционал равишда, амалга ошади. Статизм ко- эффиценти қанча катта бўлса, генератор узатаётган кувват ўзгариш шунчалик кичик ва аксинча бўлади.

Частотани бошланғич ҳолатгача тиклаш учун характери- стикани ўзига параллел қилиб $f = f_0$ гача силжитиш лозим, бу айла- ниш тезлигини ўзгартирувчи механизми (АТУМ) ёрдамида амалга оширилади.



6.2-расм. Частотани битта электр станцияси ёрдамида ростлаш.

Мисол келтирамиз. Частота бўйича балансланадиган станция бошланғич пайтида P_1 , қолган станциялар эса P_{c1} қувватни берапти дейлик. Системанинг умумий юкламаси

$$\Sigma P_c = P_1 + P_{c1}. \quad (6.3)$$

Юклама қувватининг ортиши натижасида частота f_0 дан f_1 гача камаяди. Агарда бу юклама системанинг ҳамма генераторлари томонидан қабул қилинса, у ҳолда частотани ростловчи станциянинг қуввати $P_2 = P_1 + \Delta P_1$ гача, қолган станцияларники эса $P_{c2} = P_1 + \Delta P_2$ гача ортади, аммо бунда частота f_0 гача тикланмайди. Агарда бу юклама $\Delta P_1 + \Delta P_2$ ни частотани ростловчи станция қабул қилса, у ҳолда АТУМ характеристикани 3-нуктагача кўчириб, бунда актив қувват баланси таъминланади ва частота f_0 гача тикланади.

Характеристиканинг ўзига нисбатан параллел кўчиши 30÷40 с ичида амалга ошади.

Одатда, частотани ростловчи агрегат турбиналарининг тезлик ростлагичлари частотанинг иккиламчи ростлагичлари (АТУМ) билан ҳам таъминланади.

Юклама ва генератор қувватлари орасидаги фарқ станция ва генератор тезлиги орасидаги нисбий тезликни келтириб чиқаради.

$$\Delta\omega_i = \omega_i - \omega_0 = \frac{d\delta_i}{dt}, \quad \Delta f_i = f_i - f_0 \quad (6.4)$$

Система частотасига таъсир этувчи умумий юкламанинг ўзгариши куйидагиларга бўлинади:

1) Тез ўзгариш – бунда тезлик ростлагич ҳам частота ростлагич ҳам таъсир этмайди. Уларнинг тебраниш даври $1 \div 3$ с, частотанинг ўзгариши $\Delta f = (0,01 \div 0,02)$ Гц. Юкламанинг тебраниши $0,001 P_{ген}$.

2) Уртача ўзгариш – бунда тезлик ростлагич таъсир қилади. Унинг даври $(10 \div 30)$ с, частотанинг ўзгариши $\Delta f = (0,1 \div 0,2)$ Гц, юкламанинг тебраниши $0,01 P_{ген}$.

3) Секин ўзгариш – бу ҳолда тезлик ва частота ростлагичлари ишга тушади. Унинг даври 1 мин дан 10 мин гача бўлади.

Система бўйлаб частотани тенглаштириш системага кировчи элементларнинг параметрларига боғлиқ бўлади.

Агарда системада юклама ΔP_n га ортса, у генераторлар орасида куйидаги муносабатга асосан тақсимланади:

$$\Sigma \Delta P_n = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \dots + \Delta P_n.$$

$$\text{Бунда } \Delta P_1 = \frac{\Delta f}{\sigma_1}, \quad \Delta P_2 = \frac{\Delta f}{\sigma_2}, \quad \dots \quad \Delta P_n = \frac{\Delta f}{\sigma_n}. \quad (6.5)$$

Δf - система частотасининг ўзгариши.

Юқорида таъкидланганидек, кўшимча қувватлар турбина ростлагичининг статизм характеристикасига тескари пропорционал тақсимланади.

Электр системасининг умумий қувватига боғлиқ ҳолда бир ёки бир неча генераторлар частота ростлагич сифатида ажратилади. Одатда, гидрогенераторлар частота ростлагич сифатида бўлиб, улар кўшимча юкламани қабул қилиб олади ва шу тариқа системанинг частотасини тиклайди. Бунинг учун частота ростлагич сифатидаги агрегат ёки агрегатлар гуруҳи қувватни ростлаш имкониятига, яъни қувват бўйича захирага эга бўлиши лозим. Масалан, частотани $\pm 0,2\%$ аниқлик билан ушлаб туриш учун иссиқлик агрегатлари юкламасининг ўзгариши $3 \div 4\%$ билан чегараланади. Электр системаларидаги частотани ростлаш

масалалари системанинг структурасига боғлиқ бўлади. Бу структура, ўз навбатида, уч турга бўлинади:

Биринчи турга энергияга танқис бўлган системалар киради, бунга сув омборида кунлик ростлаш чекланган гидро-станциялар, юқори сифатли ёки танқис ёқилғи билан ишлайдиган иссиқлик электр станциялари киради. Бундай системаларда энергияга танқис станциялар юклама пикларини ва частотани коплаш учун қўлланилади.

Иккинчи турга энергияга танқис бўлмаган станциялар киради, аммо унинг таркибида частотани ростловчи гидростанциялар ҳам бўлади.

Учинчи турга энергияга танқис бўлмаган ва гидростанцияларга эга бўлмаган системалар киради. Уларда частотани ростлаш вазифасини ажратилган иссиқлик электр станцияси бажаради.

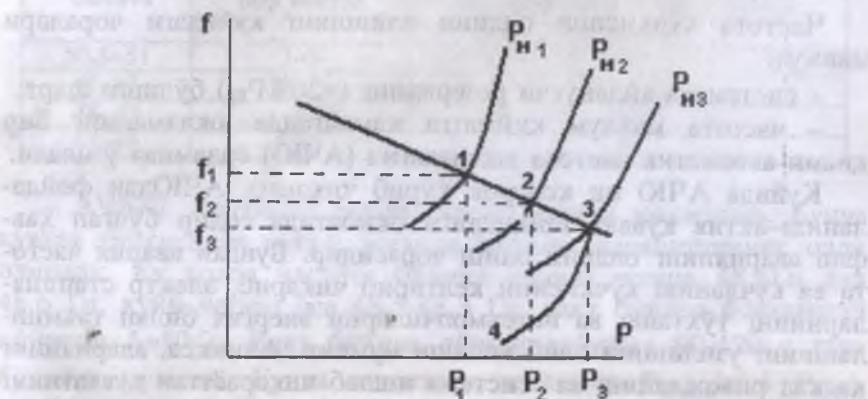
6.2. Частота кўчкиси

Биз юқорида кучланишнинг кўчкисимон пасайишини кўриб ўтдик. Худди шундай ҳол система частотасининг ўзгариши ҳам содир бўлиши мумкин. Агар системада резерв мавжуд бўлмасдан актив қувват баланси таъминланмаса, унда частота кўчкиси содир бўлади. Унинг кичик қийматга камайиши частотанинг тез ва кучли камайишига олиб келади.

Бунинг нимага боғлиқлигини кўриб чиқамиз. 6.3-расмда тасвирланганидек, юкламанинг $P_{н1}$ дан $P_{н3}$ гача ортиши натижа-сида генераторнинг қуввати тезлик ростлагич таъсирида ошади. Бу жараён йўналтирувчи аппарат ва буғ очиш клапани максимал очилган ҳолат – 3 нуқтагача давом этади.

Йўналтирувчи аппарат ёки буғ очиш клапани тўлиқ очилган вақтда, генератор қуввати ошмайди ва қувват характеристикасининг ўзгариши табиий характеристика, яъни максимал очи-лишига мос келувчи агрегатнинг 3-4 характеристикаси бўйича амалга ошади.

Частотанинг камайиши билан иссиқлик электр станцияла-ридаги ўз эҳтиёж қурилмаларининг ишлаб чиқариш даражаси ҳам камаяди: 3-4 характеристика иссиқлик электр станцияси ўз эҳтиёж қурилмаларининг ишлаб чиқариши кам бўлган ҳолга туғри келади.



6.3-расм.

Электр системасида қувват бўйича резерв бўлмаса юклама қувватининг ортиши частотани назорат қилиб бўлмас даражада пасайишига олиб келади. Бу жараён *частота кўчкисиси* деб юритилади.

Частота кўчкисининг сабаби системада айланувчи резерв мавжуд бўлмаган ёки резерв тўла фойдаланиб бўлинган ҳолатда частота камайиши генераторнинг бераётган қувватининг камайиши билан боғлиқ.

Системада частотанинг камайиши узатилаётган реактив қувватнинг камайишига ва шу билан бирга юклама истеъмол қилаётган реактив қувватнинг ортишига олиб келади. Чунки бунда система элементларининг индуктив қаршиликлари камайиб, у ўз навбатида, системанинг асосий нуқталаридаги қучланишнинг камайишига сабаб бўлади. Бу ҳол частота $f=43\div 45$ Гц гача пасайганда бўлганда қучланиш кўчкисини келтириб чиқаради.

Частота ва қучланиш кўчкиси бир неча ўн секунд ёки минут давом этиши мумкин.

Бундай авариялар содир бўлганда уларни бартараф этиш бир неча соатлаб давом этиши мумкин.

6.3. Частота кучкисининг олдини олиш чоралари

Частота кучкисини олдини олишнинг қуйидаги чоралари мавжуд:

- системада айланувчи резервнинг ($\approx 20\%P_{\Sigma 0}$) бўлиши шарт;
- частота маълум қийматга камайганда юкламанинг бир қисми автоматик частота юксизлагич (АЧЮ) ёрдамида узилади.

Қуйида АЧЮ ни кенгроқ кўриб чиқамиз. АЧЮдан фойдаланиш—актив қувват танқислиги оқибатида содир бўлган хавфли авариянинг олдини олиш чорасидир. Бундай авария частота ва кучланиш кучкисини келтириб чиқариб, электр станцияларининг тўхташи ва истеъмолчиларни энергия билан таъминлашнинг узилишига олиб келиши мумкин. Айниқса, авариянинг каскад ривожланиш ва система ишлаб чиқараётган қувватнинг пасайиб кетиши жуда хавфли ҳисобланади.

АЧЮ қурилмасига 45 Гц частотадан паст бўлган частоталарда, 47,5 Гц дан паст частоталарда 20 с дан кўп, 48,5 Гц дан паст частотада 60 с кўп ишлашга рухсат этмаслик каби талаблар қўйилади. Бу талабнинг бажарилиши иссиқлик электр станцияларининг ўз эҳтиёж қурилмалари ишининг бузилишини олдини олади, чунки бундай частоталарда насосларнинг иши жуда пасайиб кетади, вентиляторлар узилиши мумкин ва ҳ.к.

Электр системаларини ишлатиш тажрибалари асосида частота ўзгаришида буғ турбиналарининг ишлаш муддатлари бўйича чегаралар белгиланган (жадвалга қаранг).

АЧЮнинг асосий ҳолат талабларига авариявий қувват танқислигининг бутун диапазони давомида лозим бўлган минимал юксизлашни таъминлашдан иборат бўлган талаб киради.

Юксизлаш миқдорини мувофиқлаштириш учун қуйидаги АЧЮ тоифалари қўлланилади:

- АЧЮ1—частотанинг камайишини олдини олиш учун мўлжалланган тез таъсир этувчи юксизлаш. Бунда АЧЮ даги қўйилманинг юқори чегараси 48,5 Гц дан 49,2 Гц гача ўзгариб, энг паст чегара 46,5 Гц, вақт бўйича 0,3 сек гача бўлади.

Нативавий юксизлаш ҳажми, бу ҳолда, $P_{АЧЮ1} \geq \Delta P_r + 0,05$ нисбатдан аниқланади. Бу ерда ΔP_r — қувват танқислиги миқдори; 0,05—захира.

Частота	Рухсат этилган вақт, мин	
	Бир вақтда	Ишлатишнинг бутун муддати давомида
50,5–51	3–5	500
49–47	2–5	500–700
48–47	1	180
47–46	0,17	30

– АЧЮII – нисбатан секин таъсир этувчи юксизлаш. Бунда қувват танқислиги секин ўсганда частота пасайишининг олди олинади. Бу ҳолда частота бўйича юқори чегара 48,8 Гц дан 48,6 Гц, қуйи чегара эса 48,5–48,3 Гц, вақт бўйича бошланғич қўйилма 5÷10 с. Вақт бўйича сўнгги қўйилма 90–120 с гача бўлиши мумкин. Бунда юксизлаш қиймати $P_{АЧЮII} \geq 0,4 P_{АЧЮI}$ нисбатдан аниқланади.

– қўшимча – катта қувват танқислиги шароитларида АЧЮI ва АЧЮII ларнинг имкониятларини етишмаслиги натижасида частотанинг хавфли пасайишини олдини олиш мақсадида қўлланилади. Демак, қўшимча енгиллаштиришнинг фарқ қилувчи хусусияти унинг тезлигидир. Актив қувват танқислигининг рухсат этилган қийматдан катта бўлиши (генераторларнинг, линиянинг, трансформаторларнинг тармоқдан узилиши натижасида) частотани 45 Гц дан паст қийматгача пасайишига олиб келади. Қўшимча юксизлаш, шунингдек, кучланиш кўчкисига сабаб бўлувчи кучланиш пасайишини ҳам олдини олади.

Энергосистеманинг қувват жуда танқис бўлган қисмларида АЧЮI, АЧЮII ва қўшимча юксизлаш эффектив бўлмаганда ҳолатнинг тўла ишдан чиқишини олдини олишнинг муҳим чораси бўлиб частота бўйича бўлувчи *автоматика* ҳисобланади. Частота бўйича бўлувчи автоматиканинг эффектив таъсири натижасида энг асосий истеъмолчиларнинг электр таъминоти сақланиб қолади. Бу автоматикада иккита ишга тушириш органи мавжуд бўлиб, улардан биринчисининг ишлаб кетиш частотаси 45–46 Гц ва вақт бўйича ишлаши 0,5 с, иккинчининг эса ишлаб кетиш частотаси 47 Гц атрофида ва вақт бўйича ишлаши 30–40 с.

Таъкидлаш лозимки, автоматика номинал частотадан юқори частоталарда ҳам (52,5–53,5 Гц) таъсир этади.

Шундай қилиб, частота ва кучланиш қийматларининг нормал бўлиши қуйидагиларнинг бажарилишига олиб келади:

1) Станцияда мавжуд бўлган актив қувват системадаги барча актив юкларни ҳамда кучланиши ва частотаси нормал бўлган тармоқлардаги актив қувват исрофини қоплай олиши шарт. Бу шартнинг бажарилмаслиги частотанинг ўзгаришига олиб келади.

2) Генератор ва синхрон компенсаторларда реактив қувват системанинг барча реактив юкларини ҳамда кучланиши ва частотаси нормал бўлган тармоқлардаги реактив қувват исрофини қоплай олиши шарт. Бу шартнинг бажарилмаслиги кучланишнинг ўзгаришига олиб келади.

3) Системада реактив қувватнинг тақсимланиши шундай бўлиши керакки, бунда узун линияли ҳар бир ҳудуддаги истеъмолчиларнинг реактив қуввати ва унинг исрофи жойлардаги генератор ва компенсаторларнинг реактив қувватлари ҳисобига қоплансин.

4) Актив қувват бўйича юклама, авария, таъмирлаш ва компенсация резервларини ўз ичига олувчи лозим бўлган умумий резерв таъминланган бўлиши шарт. Юклама резерви юкланишнинг қўйилмаган ўзгаришини қоплаш, авария резерви авария натижасида ишдан чиққан агрегатларни алмаштириш, таъмирлаш резерви электр станциялардаги қурилмаларни жорий ва капитал таъмирлаш ва компенсация резерви электр энергиясини истеъмол қилишни режалаштирилганига нисбатан ошириш учун хизмат қилади. Энергосистеманинг умумий резерви электр станциянинг ўрнатилган қувватига нисбатан эмас, системанинг максимал юкларига нисбатан фоизларда баҳоланади.

Синов саволлари

1. Система частотасининг стабиллиги нимага боғлиқ?
2. Системадаги актив қувват балансини ушлаб туришда тезлик ва частота ростлагичларнинг роли нимада?
3. Тезлик ростлагичнинг статизм коэффициенти нима?
4. Турбина тезлигини статик ва астатик ростлашнинг фарқи нимада?
5. Частота кўчкиси қандай содир бўлади?
6. Сиз частота кўчкисини олдини олишнинг қандай чоратadbирларини биласиз?

Адабиётлар

1. В.А. Веников. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., «Энергия», 1964, 378 б, 1978, 414 с.
2. П.С. Жданов. Вопросы устойчивости электрических систем. М., «Энергия», 1979, 456 с.
3. И.М. Маркович. Режимы энергетических систем. М., «Энергия», 1969, 350 с.
4. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях Под ред. В.А. Веникова. М., «Энергоатомиздат» 1983. 502 с.
5. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики. Под ред. В.А. Веникова. М., «Высшая школа», 1981. 287 с.
6. В.М. Блок. Электрические сети и системы. М., «Высшая школа», 1986. 431 с.
7. В.И. Идельчик. Электрические системы в сети. М., «Энергоатомиздат», 1989, 591 с.
8. А.И. Важнов. Электрические машины. Л., «Энергия» 1969, 786 с.
9. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С.С.Рокотяна и И.М. Шапиро. М., «Энергия», 1977, 287 с.
10. Автоматизация управления энергообъединениями. М., «Энергия», 1979, 428 с.
11. Проектирование электрической части воздушных линий электропередач 330–500 кВ. Под ред. С.С. Рокотяна. Изд. 2-ое. М., «Энергия», 1974, 468 с.
12. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике. Под ред. Ю.Н. Руденко. М., МЭИ, 2000, 646 с.
13. Э.С. Лукашов. Уравнения малых колебаний дальних электропередач и исследование их на устойчивость. Новосибирск, «Наука», 1966, 215 с.
14. С.А. Совалов. Режимы единой энергосистемы. М., «Энергоатомиздат», 1983, 348 с.
15. И.А. Глебов. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин. Под ред. С.И. Логинова. Л., «Наука», 1988, 332 с.

16. Электрические системы. Автоматизированные системы управления энергосистем. Под ред. В.А. Веникова. М., «Высшая школа», 1979, 448 с.

17. И.В. Литкенс, В.И. Пуго. Колебательные свойства электрических систем. М., «Энергоатомиздат», 1988, 215 с.

18. С.А. Совалов, В.А. Семенов. Противоаварийное управление в энергосистемах. М., «Энергия». 1988, 415 с.

19. Электрические системы. Управление переходными режимами электроэнергетических систем. М., «Высшая школа», 1982, 247 с.

20. А.И. Вольдек. Электрические машины. Л., «Энергия», 1974, 840 с.

21. В.А. Строев, Н.Г. Филиппова, Т.И. Шелухина. Исследование переходных процессов и устойчивости сложных регулируемых электроэнергетических систем. Учеб. пособие. М., МЭИ, 2003, 65 с.

22. Р.В. О कोरोков, Г.А. Першиков, С.В. Смоловик. Основы переходных процессов электроэнергетических систем. Конспект лекций. Часть II, Санкт-Петербургский политехнический университет, 2003, 76 с.

23. М.Г. Ахматов. Синхронные машины. Специальный курс. М., «Высшая школа», 1984, 135 с.

24. Н.И. Соколов. А.К. Фокин и др. Сравнение эффективности работы статических и синхронных компенсаторов на линии электропередачи 1150 кВ. М., Электрические станции, 1987, №8, 45–52 с.

Қайдлар учун

КАХКАН РИОМНАХА НОМАНАХА

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЭЛЕМЕНТ

КАРАЧЛАР

Телури - 100000 - 1000

Адреси - 100000 - 1000

Телефони - 100000 - 1000

Компьютерга қўйилган - 100000 - 1000

Босмада босилган 21.08.2007 й. Босмада 00:24:00
Телури 100000. Босмада 10:12. Босмада 10:12
Телури 100000. Босмада 10:12.

Телури 100000. Босмада 10:12. Босмада 10:12
Телури 100000. Босмада 10:12.

Босмада 10:12. Босмада 10:12. Босмада 10:12
Телури 100000. Босмада 10:12.

ҚАҲРАМОН РАХИМОВИЧ АЛЛАЕВ

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ
ЖАРАЁНЛАР**

Тошкент – «Молия» – 2007

Муҳаррир – Қ.М. Авесбаев

Тех.муҳаррир: – Р.А. Ситдиқов

Компьютерда саҳифаловчи – А. Мойдинов

Босишга рухсат этилди 22.08.2007 й. Бичими 60x84^{1/16}. Босма
табоғи 17,0. Нашриёт ҳисоб табоғи 16,15. Букюртма №150
Адади 600. Нархи шартнома асосида.

«Молия» нашриёти, Тошкент ш. Ҳ. Орипов кўчаси, 16-уй.
Шартнома №12-07.

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi»да чоп этилди.
Тошкент ш. Олмазор кўчаси, 171-уй.

