

Қ. Р. АЛЛАЕВ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

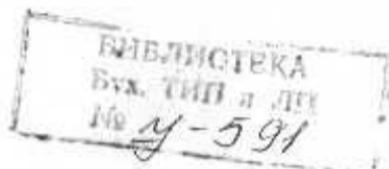
621.31

H-45

Қ. Р. АЛЛАЕВ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР

ТОШКЕНТ—«МОЛИЯ»—2007



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

Рус тилидан ўзбек тилига доцент Т. Ш. Ғойибов тахрири остида таржума 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 қўзғатилувчи ўтиш жараёнларининг кечип 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. Сятдиқов

Ўқув қўлланма Тошкент Давлат техника университетининг Илмий-методик Кенгашининг қарорига асосан chop 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 қўзғатиш схемалари.....	22
1.5. Синхрон генераторларнинг қўзғатишсини 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 ноаён кутбли генераторларнинг вектор диаграммалари ва қувват характеристикалари.....	53
Синув саволлари.....	66
2. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ СТАТИК ТУРГУНЛИГИ	
2.1. Масаланинг умумий характеристикаси.....	68
2.2. Қувватнинг бурчак характеристикалари. Турғунлик муаммосининг маъноси.....	69
2.3. Тенгламаларни чиқиштириш.....	73
2.4. Ростлашмайдиған системанинг қўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олмаган ҳолдаги статик турғунлиги.....	76

2.5. Ростланмайдиган системаларнинг қўзғатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олган ҳолдаги статик турғунлиги.....	82
2.6. Статик турғунликнинг бузилиш турлари.....	87
2.7. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини қўзғатиши.....	91
2.8. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши....	100
2.9. Қўзғатиш ростлагичларига эга бўлган электр системасининг статик турғунлиги.....	102
а) Пропорционал тиздаги қўзғатишни ростлаш (ҚАР-П) ($E^1q = \dot{u}$ згармас).....	102
б) Кучли таъсир этувчи қўзғатишли автоматик ростлагич (ҚАР-К) ($U_1 = \dot{u}$ згармас).....	108
2.10. Қўзғатишни 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 захирасини таъминлаш чоралари.....	131
Синув саволлари.....	142

3. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ ДИНАМИК ТУРГУНЛИГИ

3.1. Масаланинг умумий характеристикаси.....	144
3.2. Динамик турғунликни ҳисоблашда қабул қилинадиган асосий фаразлар.....	145
3.3. Қисқа туташув ва нотўлиқ фазали ҳолатларида алмаштириш 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
Синув саволлар.....	193

4. ЮКЛАМА ТУГУНЛАРИДАГИ ЎТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

4.1. Электр системаларининг юкламалари.....	194
4.2. Юргизилувчи машиналарнинг механик характеристикалари.....	195
4.3. Электр энергияси истъомчиларининг 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 ($f = \dot{u}$ згармас).....	209
б) Асинхрон моторнинг частота бўйича ростлаш эффекти ($U = \dot{u}$ згармас).....	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 ҳисоблаш.....	218
4.9. Системадаги тебранишнинг электр маркази ва уни юклама турғунлигига таъсири.....	227
4.10. Юкламадаги ўткинчи жараёнларнинг система динамик турғунлигига таъсири.....	229
а) Асинхрон моторларнинг динамик характеристикалари.....	230
б) Синхрон моторларнинг динамик характеристикалари.....	234
в) Моторларни ишга тушириш.....	236
г) Моторларнинг ўз-ўзидан ишга тушиши.....	237
Синов саволлари.....	239

5. ЭЛЕКТР СИСТЕМАЛАРИНИНГ НАТИЖАВИЙ ТУРГУНЛИКЛАРИ

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

6. ЭНЕРГОСИСТЕМАЛАРДА ЧАСТОТА КЎЧКИСИ ВА УНИ БАРТАРАФ ҚИЛИШ ЧОРАЛАРИ

6.1. Частотани ўзгартириш ва ростлашнинг умумий характеристикалари.....	259
6.2. Частота кўчкиси.....	264
6.3. Частота кўчкисининг олдини олиш чоралари.....	266
Синов саволлари.....	268
Адабиётлар.....	269

СЎЗ БОШИ

Ушбу ўқув қўлланма «Ўткинчи жараёнлар» курсининг иккинчи қисми бўлиб, «Электротехниканинг назарий асослари», «Электромеханика», «Энергетиканинг математик масалалари», «Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш» каби фанларга асосланган. Қўлланмада келтирилган материаллар электроэнергетика ва электроэнергетик системалар соҳаси бўйича ишженер-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 бугун система учун ўрганишни мақсад қилиб қўйган. Статик, динамик ва натижавий турғунликлар тушунчалари билан бир каторда уларга синхрон генераторларнинг автоматик кўзгатиш 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 характердаги 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 орғиб боради.

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

– ишончлилиқни 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 қатта қийматга эга бўлишлигининг муҳимлиги қуйидаги оддий тушунчалар билан изоҳланади.

Маълумки, уч фазали тоқнинг актив қуввати қуйидаги муносабатдан топилади:

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

Бу ерда, U, I – чизикли кучланиш ва тоқ; $\cos \varphi$ – актив қувват коэффициентини; φ – фаза кучланиши ва фаза тоқи орасидаги фаза бурчаги.

(1.1) формуладан кўриниб турибдики, актив қувватни тоқ ёки кучланишни ошириш ҳисобига ошириш мумкин: тоқнинг ошиши исрофини унинг квадратига пропорционал тарзда ошишига олиб келади:

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

Бу ерда, R – битта фазанинг актив қаршилиғи. Кучланишнинг ошиши, ўз навбатида, тоқнинг 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 солиштирма ўтказувчанлиғи; ΔU – кучланиш исрофи, %; U – кучланиш.

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

Замонавий электр станциялари генераторларининг қувватлари солиштириб бўлмайдиган даражада ошди: икки кутбли генераторларда уларнинг максимал қийматлари 1200 МВт га етди, 3000 айл/мин (Россия) ва тўрт кутбли генераторларда 1600 МВт, 1500 айл/мин (Германия). Ўзбекистонда Толлимаржон ИЭСида 800 МВтли генератор – Марказий Осиёда энг қатта қувватли икки кутбли 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 электроэнергетик мутахассисдан энергосистемада ва унинг алоҳида қисмларида юз бераётган

ходисалар ва жараёнларни яққол тасаввур қилишни талаб этади. Улар жараёнларни бошқариш нуқтаи назаридан тушунишлари керак. Бунинг учун улар ушбу жараёнларни кўра билиши, ҳисоблай олиши ва системанинг параметрларини миқдорий 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 нуқтаи назаридан ўрганишидир.

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, кўзгатиш ростлагичлари).

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

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

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

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

синусоидал формалари, кучланиш ва тоқларнинг векторларини симметриклиги ва бошқалар.

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

Система параметрлари. Бунга турли қаршиликлар, ўтказувчанликлар, система элементларининг коэффициентлари $X_p, X_r, r_{px}, r_{pr}, X_p, K_p, X_p$ ва ҳ.к.лар киради. Система параметрлари умумий ҳолда ночизиклидир. Лекин ушбу курсни ўрганишда биз уларни ўзгармас катталиқлар 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 ишлаш шароитида ростловчи қуришмаларнинг таъсирида ва система юкламасининг одатий ўзгаришида юз беради. Масалан, диспетчер иккита ишлаётган линиядан бирини узати 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 катталиқларидан кичик миқдорда фарқ қилашади.

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 ишлашнинг 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 миқдорга ўзгаради (U, P камаёлади), яъни электр системаси катта туртки таъсирида бўлади. Мисол тариқасида системадаги 3 фазали қисқа тугашув 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 юкларни узилиши ёки қўшилиши) электр ва электромеханик занжир билан боғлиқ энергия миқдорини ўзгариши кузатилади. Масалан, қисқа тугашувларда, айниқса, уч фазали қисқа тугашувда, барча энергия шикастланиш жойида сарфланади ва шунинг учун у ерда қурilmаларнинг механик бузилишини, равшан портлашни ёки шу кабиларни кузатиш мумкин. Бу жараён жуда тез содир бўлади, кучланиш деярли зудлик билан нолгача камаёди, 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, момақалдиروқ 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 $t_{\text{мех}} = (10^{-5} + 10^{-3})$ 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 электромагнит ўткинчи жараёнлар генератор роторларини айланиш тезлигининг ўзгармаслиги шартида $\omega_p = \text{const}$ кўрилади. Бундай жараёнларнинг содир бўлиш ва кечиш вақти $t_{\text{эм}} = 2(10^{-2} + 10^{-3})$ 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 электромагнит ва механик ҳолатларини бир вақтда кўриб чиқамиз ва бунда уларни биргаликда ва ўзаро таъсирларини ҳисобга оламиз. Ушбу ҳолатлардан курсинг 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, $t_{\text{эм}} = 0,02 + 10$ 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 конкретлаштирилди).

(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, юктамалар 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 назардан 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 қўллангидир. 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 жараённи 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 ифодалангани (1.1-расм).

300 км гача бўлган узунликдаги линияларнинг алмаштириш схемалари параметрлари қуйидагича аниқланади:

$$Z_s = r_s + jX_s \quad - \text{ линиянинг тўла комплекс қаршилиги;}$$

$$r_s = r_o \cdot l \quad - \text{ линиянинг актив қаршилиги;}$$

$$X_s = X_o \cdot l \quad - \text{ линиянинг реактив қаршилиги;}$$

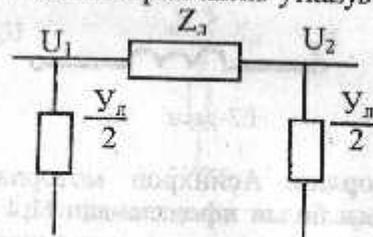
$$Y_s = (g_o + j \sigma_o) \cdot l \quad - \text{ линиянинг тўла комплекс ўтказувчанлиги.}$$

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

X_o – линиянинг солиштирма реактив қаршилиги, ом/км;

σ_o – линиянинг солиштирма ситим ўтказувчанлиги, 1/ом.км;

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



1.1-расм. ЭУЛнинг алмаштириш схемаси.

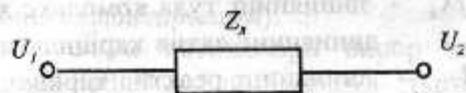
ЭУЛнинг актив ўтказувчанлиги g_o актив қувват исрофининг иккита ташкил этувчиси – тожли разряддаги ва изоляторлар орқали оқиб кетувчи токка мос келувчи исрофларни характерлайди. Кучланиши 220 кВгача бўлган ЭУЛда g_o ҳисобга олинмайди, кучланиш $U \geq 330$ кВ бўлган ЭУЛларда ушбу исрофлар ҳисобга олиниши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

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

Агар ўта юқори кучланишли ЭУЛ (220 кВ ва ундан катта) кўриляётган бўлса, у ҳолда ЭУЛ қаршилигининг фақат реактив ташкил қилувчисини ҳисобга олиш мумкин, чунки $r_s \ll x_s$.

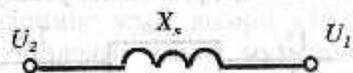
Агар ЭУЛдан узатилаётган қувват кичик бўлса ёки кабел линияси кўриляётган бўлса, ушбу ҳолда, албатта, қаршилиқнинг актив ташкил қилувчисини ҳам ҳисобга олиш шарт.

Шундай қилиб, ўткинчи жараёнларни кўраётганда ЭУЛнинг тўла қаршилигини Z_x шаклида ифодалаймиз:



1.2-расм.

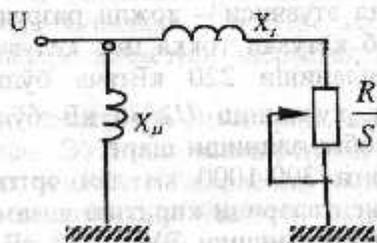
ёки фақат реактив қаршилик X_x сифатида қабул қиламиз, яъни линиянинг ўтказувчанлигини ҳисобга олмаймиз (1.2, 1.3-расмлар).



1.3-расм.

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

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



1.4-расм. Асинхрон моторнинг алмаштириш схемаси.

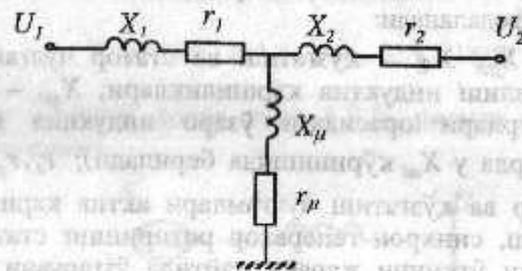
Сираниш куйидаги формуладан топилади:

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

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.

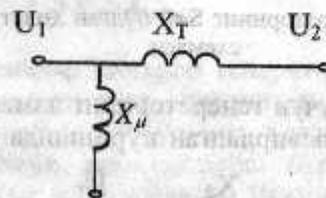
Трансформаторлар. Трансформаторлар турли алмаштириш схемалари билан тасвирланиши мумкин. Масалан, икки чулғамли трансформаторнинг Т – симон алмаштириш схемаси куйидагича тасвирланади:



1.5-расм. Трансформаторнинг алмаштириш схемаси.

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

Кўпгина ҳолларда трансформаторнинг алмаштириш схемаси куйидагича ифодаланади:



1.6-расм.

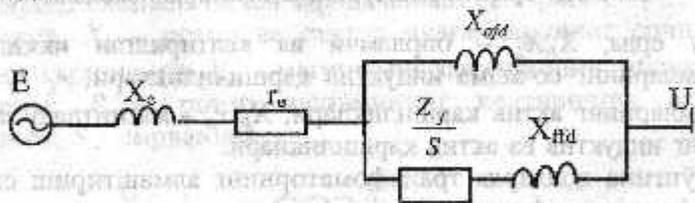
бунда қаршилиқнинг актив ташкил этувчиси ҳисобга олинмайди.

Умуман ошганда, у ёки бу алмаштириш схемасини қабул қилиш ҳисоблаш мақсади билан келиб чиққан ҳолда қабул қилинади.

Трансформатор ва автотрансформаторларнинг алмаштириш схемалари каталог маълумотлари асосида аниқланади.

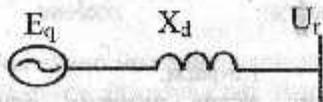
Синхрон генераторлар. Электр системаларнинг ҳолатларини таҳлил этиш пайтида генераторлар имкон қадар энг содда алмаштириш схемалари билан ифодаланилишлари керак. Лекин баъзи ҳолларда бунга эришиш осон эмас, чунки ё э.ю.к., ё берилган қаршилик ўткинчи жараёнлар мобайнида вақт бўйича ўзгаради. Ҳар бир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

Бу ерда, $X_{\text{эф}}$, X_{ℓ} – кўзгатиш ва статор чулғамлари мос келувчи сочилиш индуктив қаршиликлари; $X_{\text{эфд}}$ – статор ва ротор контурлари орасидаги ўзаро индукция қаршилиги (баъзи ҳолларда у $X_{\text{ад}}$ кўринишида берилади); r_{ℓ} , r_s – мос равишда статор ва кўзгатиш чулғамлари актив қаршиликлари; s – сирпаниш, синхрон генератор роторининг статор майдонига нисбатан ўткинчи жараён пайтида ўзгарувчи тезлигини ифолайди.



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

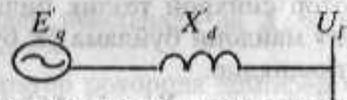
Турғун ҳолатлар учун генераторнинг алмаштириш схемаси одатда, 1.8-расмда тасвирланган кўринишда бўлади.



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

Бу расмда E_q – салт ишлаш ҳолати э.ю.к.; $X_d = X_c + X_{\text{эфд}}$ – синхрон индуктив қаршилик.

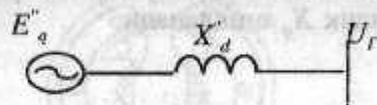
Ўткинчи жараёнлар учун 1.9,а-расмда тасвирланган аналогик схема қўлланилади



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 кўидаланг ўқи эквивалент чулғамлари учун аниқланади.

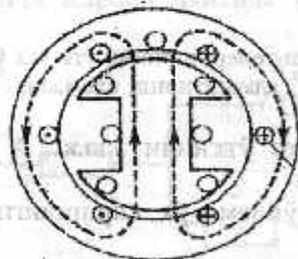
Агар махсус чекловлар бўлмаса, келтирилган алмаштириш схемалари бирламчи яқинлашишда барча турдаги синхрон генераторлар учун қўлланилади. Лекин аён кутбли генераторларда (гидрогенератор) схема мураккаблашади.

Бўйлама ўқ бўйича (1.5) формулада келтирилган қаршиликнинг 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 $L = \frac{\phi}{I}$ энг катга бўлади. Бу ерда, L статорнинг фаза чулғамида тўғри кетма-кетликнинг симметрик синусоидал токи оққан, ротор синхрон тезлик билан айланган ва статор токнинг 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 катга 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.



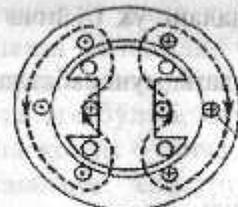
1.10-расм. Синхрон генераторда турғун ҳолатда оқимнинг бўйлама ўқ бўйича ишлаши.

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

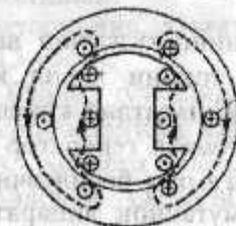
Агар синхрон генератор роторида демпфер чулғами бўлса, статор оқимини сиқиб чиқариш янада интенсивроқ бўлади, натижада, олдинги ҳолатдагига нисбатан индуктивлик ва мос қаршилик X_d га нисбатан камроқ бўлади. Ушбу қаршилик бўйлама ўқ бўйича ўта тез ўтувчан индуктив қаршилик деб юритилади ва X_d'' кўринишида 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 $0,03+0,15$ с давомида сўнади;

- X''_d – ўткинчи индуктив қаршилик – демпфер контуридаги кўшимча тоқлар сўнган ва кўзгатиш 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 – кўзгатиш чулғамидаги кўшимча тоқлар сўнган турғун ҳолатига мос келувчи қаршилик.

Индекс «d» қаршиликни бўйлама ўқ бўйича содир бўлаётган жараёнларга мос келиши 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

$$X_d = X_q, X'_d = X'_q, X''_d = X''_q;$$

гидрогенераторлар учун

$$X_d > X_q, X'_d > X'_q, X''_d > X''_q$$

ва тўлиқ бўлмаган демпферли системаларда

$$X'_d = X_q.$$

1.4. Синхрон генераторларнинг кўзгатиш схемалари

Синхрон машиналарнинг кўзгатиш ва ростлаш схемаси (системаси)га кўзгатиш тоқни ҳосил қилувчи ва уларни бошқарувчи машина ва ашпаратлар киради. Синхрон машиналарнинг кўзгатиш системаси генератор ёки мотор роторининг чулғами, ротор чулғамига берилувчи ўзгармас тоқ кучланиш манбаси ва коммутацион ашпаратлардан иборатдир. Кўзгатиш системасини ўрнатишдан асосий мақсад – машинада магнит майдони ташкил қилинишидир.

Кўзгатиш системасининг ўткинчи жараёнга таъсири жуда катта. Шу сабабли, генераторларнинг кўзгатишлари қуйидагиларни таъминлаш шарт:

– нормал ва авария ҳолатларида лозим бўлган кўзгатиш қувватини таъминлаш;

– кўзгатишни автоматик ёки қўлда ростлашда ротор тоқини берилган қонун бўйича ўзгартириш;

– имкони борича юқори кўзгатишнинг даражасини таъминлаш;

– улкан генераторлар учун муҳим ҳисобланган ротор тоқини ортиб бориш тезлигининг имкон борича максимал бўлиши.

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

Кўзгатиш системалари конструктив ясалиши бўйича турларга бўлинади:

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

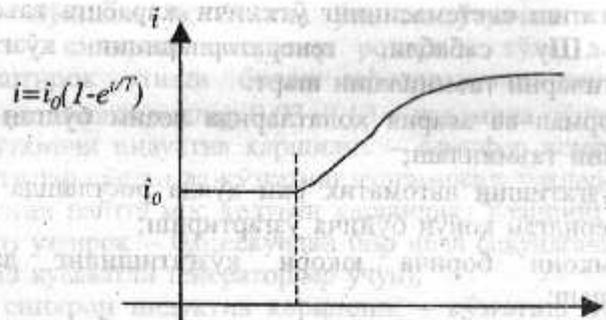
2) статик тиристорли системалар ($N=200+500$ МВт ва ундан юқори номинал қувватли агрегатлар учун) ва кўзгатишнинг тури бўйича:

1) ўз-ўзини кўзгатиши;

2) мустақил кўзгатишли.

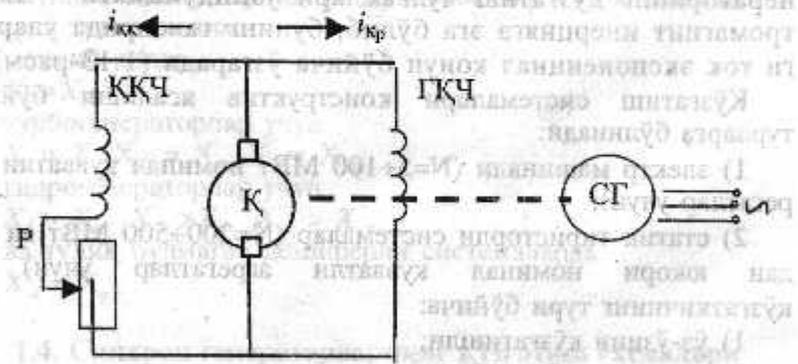
Синхрон генераторининг кўзгатиш тоқи экспоненциал тарзда ўзгаради (1.13-расм).

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 кўзгатиш системалари қўлланилади.



1.13- расм. Синхрон генератор кўзғатиш токининг ўзгариши.

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

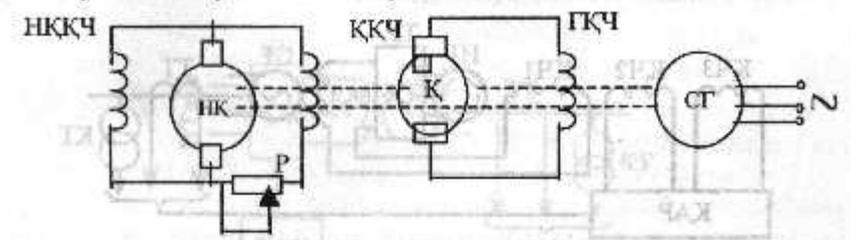


1.14-расм. Ўз-ўзини кўзғатишли кўзғаткич.

Аталишидан кўришиб турибдики, генератор уз-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, КҚЧ – кўзғаткичининг кўзғатиш чулғами, ГКЧ – генераторнинг

кўзғатиш чулғами, $i_{кк}$ $i_{кп}$ – 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) кўзғаткичи (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 P ёрдамида амалга оширилади. Юқорида кўрилган электр машинали кўзғаткичлар электромагнит инерцияга эга ва шу сабабли, куввати катта бўлмаган синхрон генераторларда қўлланилади.

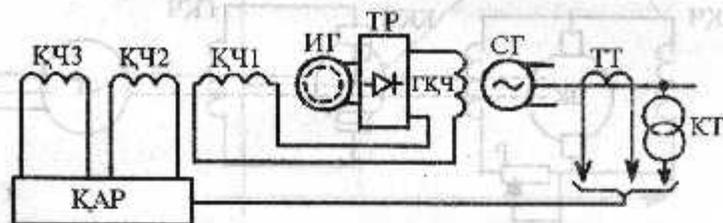
Статик тиристорли кўзғатиш системалари

Статик тиристорли системалар асосидаги кўзғатиш системасини кўриб ўтамиз.

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

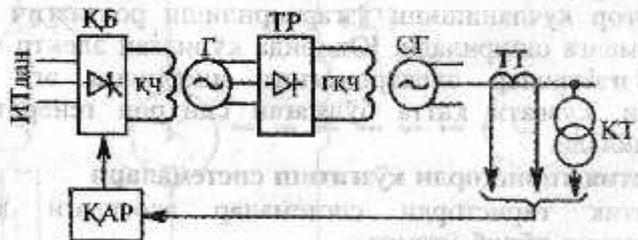
Юқори частотали система кўзғаткич сифатида синхрон генераторнинг валида жойлашиб, уни кўзғатиш чулғамини (ГКЧ) ростланмайдиган тўғрилагич (ТР) орқали таъминловчи юқори частотали (500 Гц) индукторли генератор (ИГ)га эга (1.16- расм). ИГнинг учта кўзғатиш чулғамидан икkitаси кўзғатиш токини берилган қонун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

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

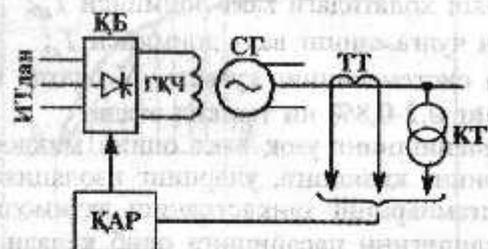


1.17- расм. Шчёткасиз кўзгатиш системаси.

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

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

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

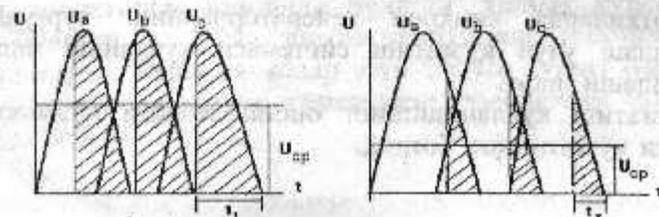


1.18- расм. Тиристорли кўзгатиш системаси.

Тўзрилган кучланишни ўзгартириш вентилярнинг 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, вентилярнинг очилиш вақти қанчалик катта бўлса, тўзрилган кучланишнинг қиймати шунчалик катта бўлади. Бундай системаларда вақт доимийси электр машинани кўзгатиш системаларидагига нисбатан анча кам бўлади.

Кўзгатиш системалари қуйидаги кўрсаткичлар билан характерланади:



1.19- расм.

– кўзғатишнинг номинал кучланиши. Одатда, унинг қиймати $U_{нк} = 200-400 В$ оралигида бўлади;

- кўзғатишнинг номинал токи ($i_{нк}$);
- салт ишлаш ҳолатидаги вақт доимийси $T_{ав}$;
- кўзғаткич чулғамининг вақт доимийси T_c ;
- кўзғатиш системасининг куввати. У одатда агрегат умумий кувватининг 0,2-0,8% ни ташкил этади.

Ток ва кучланишнинг узок вақт ошган миқдорда бўлиши мос чулғамларнинг кизишига, уларнинг изоляциясини ишдан чиқишига, чулғамларнинг шикастланиш эҳтимolini ошиши орқали ишончилигини пасайишига олиб келади. Шу сабабли, кўзғатиш схемалари кўзғаткич токи ва кучланишининг энг юқори чегаралари билан характерланади.

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

турбогенераторлар учун ≥ 2 ;

гидрогенераторлар учун (1,8-4).

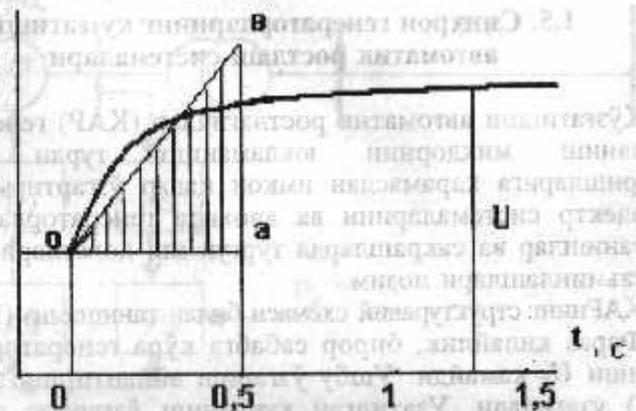
Кучланишнинг юқори қиймати кучланишни энг юқори белгиланган миқдордан ним кўзғаткичнинг куввати ва унинг тўйинишига боғлиқ ҳолда оша олмаслиги билан аниқланади. Бундан ташқари, кучланишни жуда катта ошиши коллекторни ишдан чиқишига олиб келади.

Токнинг юқори қиймати нимкўзғаткич ва кўзғаткич чулғамларидан узок рухсат этилган ток оқишига боғлиқ.

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

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

Кўзғатиш кучланишининг ошиш тезлиги кўзғаткичнинг қаррала кўзғатишига боғлиқ.



1.20-расм. Кўзғаткич 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 чизиғи билан аниқланади;

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

Кўзғатиш системаси шикастланиш ҳолатларида, майдонни ўчириш лозим бўлганда тезлик билан кўзғатишни тўхтатиш ва камайитириш 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 кувват бераётган катта генераторли электр станциялар учун муҳим талаблардан биридир.

1.5. Синхрон генераторларнинг кўзғатишни автоматик ростлаш системалари

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

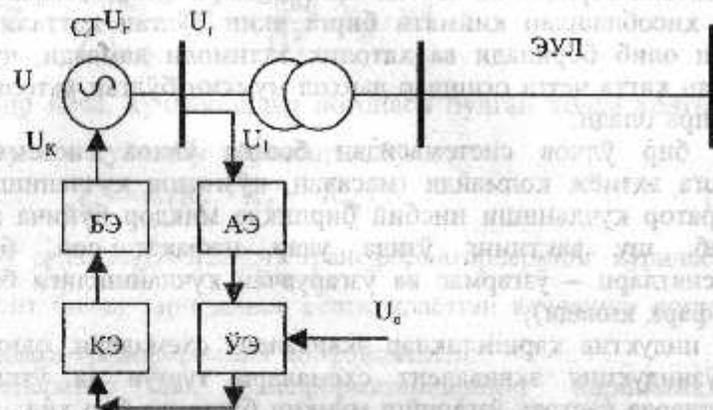
ҚАРнинг структуравий схемаси билан танишамиз (1.21-расм).

Фараз қилайлик, бирор сабабга кўра генераторнинг кучланиши U_r камайди. Ушбу ўзгариш айлантириш элементига (АЭ) узатилади. Узатилган кучланиш ўзгармас катталиқка айлантирилади ва ўлчов элементига (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 элементга (БЭ) узатилади. Генераторнинг кўзғатиш токи кучланишини ростлаш $\Delta U = 0$ шарт бажарилгунча давом этади, яъни генератор кучланиши номинал (эталон) ёки бошланғич ҳолатга қайтгунча давом этади. Эътиборга олиш керакки, ростлаш системасининг гуридан қағий назар, кучайтириш элементи – нимкўзғаткич, бажарувчи элемент эса кўзғаткичдир.

Агар ўлчов элементи U_r кучланишининг 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 инерционлиги ҳисобига U_r нинг кичик ўзгаришларини сезмаса, у ҳолда ушбу ҚАР сезмаслик зонасига эга система деб юритилади. Кўрсатиб ўтиш керакки, механик ҳаракатланувчи қисми ростлагичлар албатта сезмаслик зонасига эга бўлади.

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



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

Энергетика системалари билан узун ЭУЛ орқали боғланган замонавий 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 катталиғи, балки уларнинг ўзгариш тезлигини ва тезланишини ҳам сезади.

Яна бир қурилма борки, у статор токининг белгиланган миқдордан четта 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 курсининг кейинги қисмларида урганамиз.

1.6. Нисбий birlikлар системаси

Ҳисоблашлар, одатда, номли эмас балки нисбий birlikда, яъни бирор бир катталиқни шартли birlik - базис деб ва барча бошқа катталиқларни ушбу birlikнинг 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 огишлар дарҳол мумкин бўлган хатоликни билдира олади;

- бир ўлчов системасидан бошқа ўлчов системасига ўтишга эҳтиёж қолмайди (масалан, кўзгагиш 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 ўзидукция эквивалент схемалари тургун ва ўткинчи ҳолатларда частота ўзгариши мумкин бўлганда бир хил;

- жорий ва амплитуда қийматлари бир хил сон билан ифодаланadi, ва шунинг учун жорий ва амплитуда қийматлари 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: $U_\delta = U_x$, $I_\delta = \sqrt{3} I_x$,

бу ерда, U_x , I_x – линия кучланиши ва токи.

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

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

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

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

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

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

бу ерда, K – трансформация коэффициенти.

Нисбий бирликда:

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

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, $K_{Ti} (i=1, 2, \dots, n)$ трансформаторларнинг кўрилаётган элемент билан тармоқнинг келтирилаётган кучланиш поғонаси орасидаги трансформация коэффициентини.

Генератор ва трансформаторларнинг қаршиликлари ўзларининг номинал катталикларига нисбатан процентда берилadi.

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

бу ерда, e_s – қисқа туташув кучланиши.

Электромеханик ўткинчи жараёнларни тадқиқ қилишда бошқа катталиклар ҳам ишлатилади.

Вақт. Вақт ўлчов бирлиги килиб шундай вақт қабул қилинадики, бу вақт 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, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \frac{1}{c}$ – синхрон тезлик.

Шундай килиб, нисбий бирликда радиандаги вақт секунда ифодаланган вақтга нисбатан сон жиҳатида 314 мартаба катта.

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

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

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

Бу ерда, m_p – генератордаги жуфт кутблар сони



1.22- расм.

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

У ҳолда

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

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

Радиан 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 ўққа нисбатан

ўлчаланиладиган бурчак, Бурчакнинг ошиши ёки ҳосиласи ҳолатнинг муҳим кўрсаткичларидан биридир ва у келгуси материалларда кенгроқ кўрилади.

Нисбий бирликда электр ва механик бурчак тезликлари қуйидагича 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 фарк қанча?

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

ва

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

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

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. Кувват ва айланувчи момент куйидаги 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 кувват моментга гегг деб қабул қилишдади (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 $\cos \varphi_n = 0,85$, бўйлама 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 $e_s = 14,5\%$, юқори томондаги кучланиши $U_{ок} = 220$ кВ.

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

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

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

Генератор:

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

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

Трансформатор:

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

Эквивалент генератор ва трансформаторнинг параметрлари:

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

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

$$X_{\sigma r} = \frac{X_r}{10} = \frac{0,224}{10} = 0,0224 \text{ ом}$$

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

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

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

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

Иварда тутуши лозимки, қаршиликлар кучланишининг бир поғонасига келтирилганда алмаштирилиш 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 - ортикча момент [кГм.]; J - инерция моменти [кГм.сек²]; $\Delta\Omega$ - нисбий геометрик бурчак тезлик, рад/сек; a - роторнинг тезланиши [рад/сек²].

Формулаи 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 тезлигидаги роторнинг иккиланган кинетик энергиясига тенг (кГм ёки кВт.сек да ўлчанади).

Моментдан қувватга ва механик тезликдан электр тезликка ўтаемиз. Бу ўтишни куйидагича ёзиш мумкин:

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

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

ёки яқуший 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 ўқка нисбатан бурилиш бурчаги, эл.рад.,

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P - [\text{кВт}] \\ T_j - [\text{кВт.сек}] \end{array} \right\} \quad \text{ёки} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta P - \left[\frac{\text{кГм}}{\text{сек}} \right] \\ T_j - [\text{кГм}] \end{array} \right\}$$

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

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

Вақт, инерция доимийлиги, бурчакни нисбий бирликда (радианда) ифодалаб, нисбий бирликдаги формулани ҳосил қиламиз:

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

Тадқиқотларда бир хил баҳоланувчи охириги икки ифода (1.12) ва (1.13) асосий ҳисобланиб, 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 қисмати унинг (ротор, статор, демпфер) чулғамларидан оқётган тоқларнинг ўзаро таъсиридан аниқланади. Турбинанинг нормал турғун ҳолатидаги айлангирувчи M_T ёки P_T механик моменти генераторнинг M_r ёки P_r тормозловчи электромагнит моменти билан тенглашади, шунинг учун қуйидаги шарт бажарилади:

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

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 микдори 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 тутанувда ва ҳоказода M_T 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 айланётганини, яъни турғун ҳолат бузилгани ва ўткинчи жараён пайдо бўлганлигини билдиради. Тадқиқотлар олиб бориб, генератор ушбу ҳолат бузилишида турғун 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 ечиб, бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши $\delta = f(t)$ ни топиш лозимлигини билдиради. M_r ёки P_r ҳолат параметрларига боғлиқ бўлганликлари учун $P(t)$, $M(t)$, $U(t)$ 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:

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

Бу ерда, ψ_a, ψ_b, ψ_c - a, b, c фаза чулғамлари билан тўла оқим илашиши; u_a, u_b, u_c ва i_a, i_b, i_c - фаза кучланиши ва тоқларининг оний қийматлари; r - фаза чулғамининг актив қаршилиги.

Кўзгатиш чулгамининг тенгламаси:

$$U_x = d\psi_x/dt + i_x r_x \quad (1.15)$$

Бу ерда, U_x , i_x — кўзгатиш кучланиши ва токи; ψ_x , r_x — кўзгатиш чулгамининг тўла магнит оқими ва актив қаршилиги.

Уч фазали система чулгам магнит оқими билан танилсамиз:

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

Бу ерда, L_f — фаза чулгамининг индуктивлиги; M — чулғамлар орасида ўзаро индуктивлик.

Бу ерда демпфер чулғами ҳисобга олинмаган.

Агар L ва M коэффицентлар ўзгармас бўлганларида эди, кўриладиган тенгламалар системаси осон ечилар 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 коэффицент бўлиб, γ бурчак фаза ўқи ва d » қутб бўйлама ўқига боғлиқ (1-23 расм).

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

$$L_a = L_{a0} + L_{a2} \cos 2\gamma + L_{a4} \cos 4\gamma + \dots$$

$$M_{aa} = M_{a0} + M_{a2} \cos 2(\gamma + \pi/6) + M_{a4} \cos 4(\gamma + \pi/6) + \dots$$

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

Демак, синхрон генераторнинг дифференциал тенгламаси нонизикли ва шу сабабли уни ечишда маълум қийинчиликлар туғилади.

Ушбу муаммолардан **иккита реакция назариясини** қўллаб хатос бўлиш мумкин. Ушбу назарияга мувофиқ, фазага тегишли барча катталиқлар ўзаро перпендикуляр бўлган икки ўқли системага бўлган проекциялар билан алмаштирилади. Улардан бири роторнинг бўйлама ўқи бўйича йўналтирилган ва бу ўққа тегишли барча ҳолат параметрлари ва катталиқлари d » индекси билан ифодаланади, бошқа перпендикуляри эса кўндаланг ўқ ва унга мос параметр ва катталиқлар 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 ораликда 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 илашини ҳам ҳосил қилади. Ушбу майдонни ўзаро перпендикуляр ташкил қилувчиларга: бўйлама Ψ_{afd} ва кўндаланг Ψ_{a1q} ташкил қилувчиларга бўлиш мумкин ва уларни ўқларга мос ёўналган дейиш мумкин (1.23-расм).

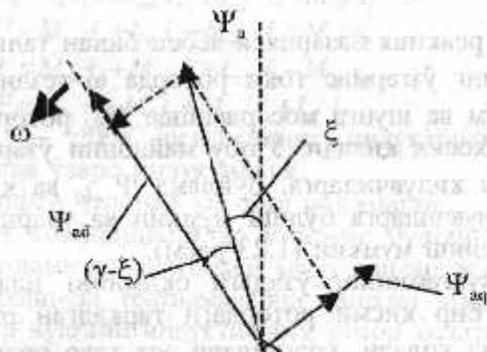
Ротор чулгамининг ўзидаги оқимнинг илашиш куч чизикларини бир қисми ротордаги тарқалган оқим илашини Ψ_{fd} ни ҳосил қилади, қолганлари эса ҳаво оралиғи ва статор чулғамини кесиб ўтувчи оқим илашини Ψ_{afd} ни ҳосил қилади. Ротор оқимининг майдонини статорга нисбатан ҳолати γ фазовий бурчак билан аниқланади.

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



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

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 билиш мумкин (сочилиш оқим илашини, тоқлар ва ҳоказо).



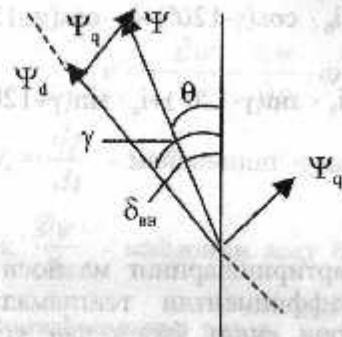
1.24-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича статор оқимининг илашини.

Турғун мувозанат ҳолатида машинада ротор ва статорнинг синхрон айланувчи 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 илашини ҳисоб ўқи билан вақт бўйича ўзгарувчан θ бурчак ҳосил қилади (1.25-расм).

Диаграммадан кўришиб турибдики, оқим илашинининг ташкил қилувчиси Ψ_d ўқ билан $\gamma = \omega t$ бурчак ташкил этади. Бундан кўринадики, $\gamma = \theta + \delta_{avr}$, Ψ_d ва Ψ_q оқим илашинлари турғун ҳолатда ўзгармайди, ўткинчи жараёнларда δ бурчак ўзгарганлиги учун унинг ташкил қилувчилари ўзгаради.

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

Масалан, d'' фаза оқим илашинининг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ташкил қилувчилари қуйидагича аниқланади:



1.25-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича натижавий оқим илашини.

$$\Psi_o = \Psi_d \cos \gamma + \Psi_q \sin \gamma \text{ ва ҳоказо.}$$

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

Ифоданинг тўлиқлигини таъминлаш учун фаза тоқлари учун муносабатларни кўндаланг ва бўйлама ташкил этувчилари билан келтираемиз:

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

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

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

(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 ўзгаришларнинг маъноси синхрон машинани ўзгармас коэффициентли тенгламаларини ҳосил қилишдир, чунки уларни ечиш ўзгарувчан коэффициентли тенгламаларга нисбатан осон. Образли қилиб айтганимизда, қузатувчи нуқтани назаридан, роторда жойлашилганда ва ротор билан бирга айланаётганда статorda кечаётган барча жараёнлар ўзгармасдай туюлади, ва бунинг тескараси, агар статорнинг бирор бир фазасидан ток оққанда, d ва q координаталардаги ток 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 пульсланувчи ҳамдир. Оқим илашишининг пульсланиши ўткинчи жараёнда пайдо бўлган ток 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 илашиши.

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

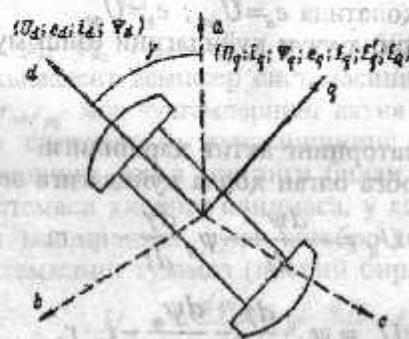
$$e = -\frac{\partial \Psi}{\partial t} - \frac{\partial \Psi}{\partial \gamma} \cdot \omega \quad (1.21)$$

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.; $\frac{d\gamma}{dt} \Psi$ – чулғамга нисбатан

майдоннинг амалда силжиши билан изоҳланувчи айланма э.ю.к.



1.26-расм. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар ва фаза чулғамлари ўқларининг фазовий ҳолати

Шундай қилиб, машинадаги э.ю.к. иккита ташкил қилувчидан иборат: айланма ва трансформация. d ва q ўқларни қўллаб 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. Мавхум ўқ бўйлама ўқ бўйича йўналган деб қабул қиламиз. У ҳолда

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

асосида қуйидагига эга бўламиз:

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

Бу ерда

$$e_d = -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt};$$

$$e_q = \psi_d \frac{d\gamma}{dt} - \frac{d\psi_q}{dt} \quad (1.23)$$

Салт ишлаш ҳолатида $e_d = U_{d0}$; $e_q = U_{q0}$.

Юқланган машина учун қуйидагини ёзиш мумкин:

$$e_d = U_d + i_d \cdot r \quad (1.24)$$

$$e_q = U_q + i_q \cdot r$$

Бу ерда r — статорнинг актив қаршилиги.

(1.23) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$U_d = -\frac{d\psi_d}{dt} - \psi_q \frac{d\gamma}{dt} - i_d \cdot r; \quad (1.25)$$

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

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

Ушбу тенгламалар генераторнинг кўзгатиш чулғамидаги, демпфер системаси чулғамидаги кучланишнинг балансини, бўйлама ва кўндаланг ўқлардаги электромагнит момент ёки қувват 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 momenti 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:

$$\frac{d\psi_{sd}}{dt} + i_{sd} \cdot r_{sd} = 0 \quad (1.28)$$

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

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):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

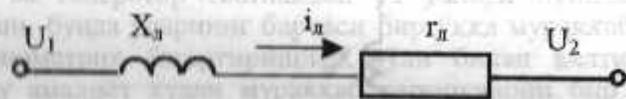
Шуни назарда тутиш керакки, биринчи иккита тенглама-статор чулғамида кучланиш баланси тенгламаси; учинчи тенглама – кўзгатиш чулғаи тенгламаси; тўртинчи тенглама – нол ташкил этувчилар учун тенглама; бешинчи ва олтинчи тенглама – демпфер чулғамини характерловчи тенгламалар; кейинги бешта тенглама – мос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

1.9. Электр системалари элементларининг тенгламалари

Электр тармоқлари элементлари бўлиб, ЭУЛ, трансформатор, компенсацияловчи қурилма (реактор, сизим) 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, k фаза катталикларидан бўйлама ва кўндаланг ўқлар катталикларига ўтиш ҳудди юқорида келтирилган генератор тенгламалари каби амалга оширилади. Оралик ўзгартиришларни келтирмай, натижавий тенгламани ёзамиз:

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

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

Ҳудди шундай тенгламалар трансформатор ва реактор учун ҳам ёзилиши мумкин.

Юклама

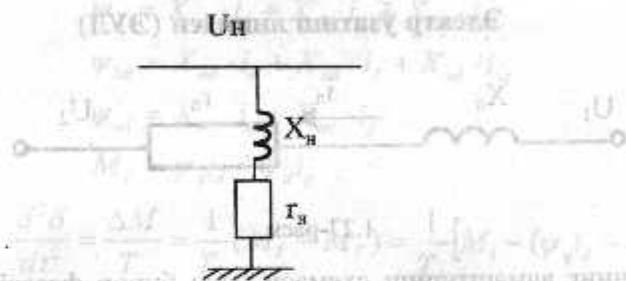
Юкламани ўзгармас актив ва реактив қаршилик шаклида ифодалаймиз, унда қуйидаги нисбат бўлади:

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

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-расм.

Конденсатор



1.29-расм.

Маълумки, конденсатор сизими 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:

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

$$\frac{d(\Delta U_q)}{dt} - \Delta U_d \frac{d\gamma}{dt} = X_c i_{qc} + r_c \left(\frac{di_{qc}}{dt} - i_{dc} \frac{d\gamma}{dt} \right)$$

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 тенгласини 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 тенгласи ўз ўқлари бўйича ёзилиши мумкин, бунда уларнинг барчаси бир ўққа мураккаб бўлмаган тригонометрик ўзгартиришлар йўли билан келтирилади (Ушбу амалиёт худди мураккаб тармоқларни бир қучланиш 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 ноаён кутбли генераторларнинг вектор диаграммалари ва қувват характеристикалари

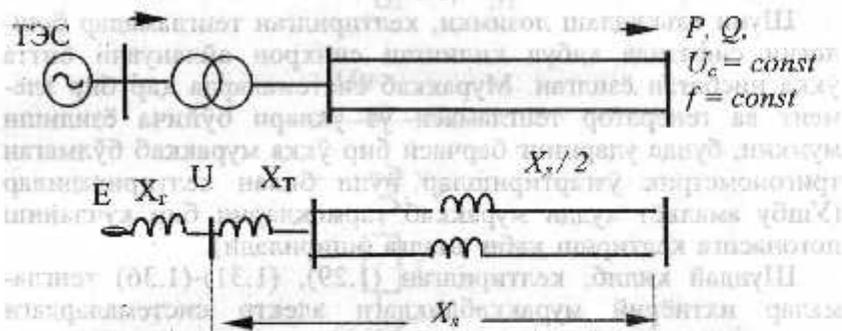
Бошлаб ноаён кутбли генераторларнинг вектор диаграммаларини таҳлил қиламиз.

Соғда схемани қабул қиламиз (1.30- расм).

Генератор X_c қаршилиқ орқали чексиз қувватли система ($U_c = const$, $f = const$) - шинасига ишлайди, яъни унга энергия узатади.

Уланган генераторларнинг ҳолатларини турли ўзгаришларида қучланиш ва частотасини доимий деб ҳисоблаш мумкин бўлган тармоқ шинаси чексиз қувват шинаси деб ҳисобланади. Амалий жиҳатдан ушбу ҳолат қуйидагини аниқлатади: тармоқнинг умумий қуввати уланган генераторнинг қувватидан шунчалар каттаки, машинанинг иш ҳолатини ўзгариши тармоқ қучланиши 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.

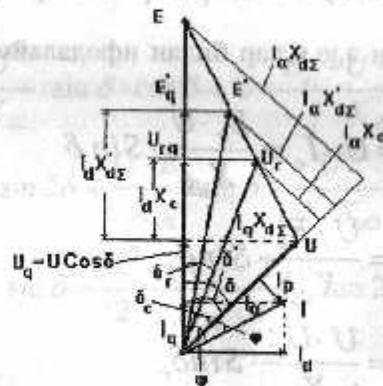
Генератор кучланиши U_r кўзгатиш токи индукциялаган э.ю.к.дан X_{ad} , X_{aq} ўзаро индукция қаршиликларидаги, машина индуктив сочилиш қаршилигидаги кучланиш тушувларини айирмасига тенг. Агар бу ерга $X_c = X_a + X_r$ ва $r_c = r_r + r_a$ ни ҳисобга олиб, системанинг актив ва индуктив қаршиликларидаги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

Ушбу муносабатни ёзишимиз мумкин:

$$U_c = E_q - jX_{ad}I_a - jX_{aq}I_p \quad (1.37)$$

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

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



1.31-расм. Ноаён қутбли генераторнинг вектор диаграммаси
Бу ерда:

$$X_{ad} = X_d + X_c;$$

$$X'_{ad} = X'_d + X_c;$$

E_q - салт ишлаш э.ю.к.

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

Актив қувват тенгиламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$P = UI_c = E_q I_q \quad (1.38)$$

Вектор диаграммадан ёзиш мумкин:

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

яъни кувват формуласи E_q орқали ифодаланadi.

Вектор диаграммадан:

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

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

Ушбу тенгламаларни (1.41) тенгламага қўямиз

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

ва натижада

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

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

Энди синхрон генераторнинг реактив куввати учун тенгламани ҳосил қиламиз. Ички реактив кувват куйидаги тенгламадан олинади:

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

Вектор диаграммадан:

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

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

Генераторнинг ички реактив куввати

Генератор ишлаб чиқараётган реактив кувват:

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

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

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

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

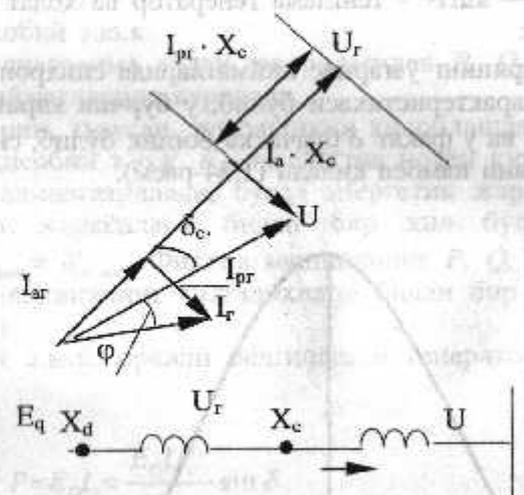
Вектор диаграммадан E_q генератор салт ишлаш э.ю.к.нинг аналитик тенгламасини ҳам топиш мумкин:

$$E_q^2 = (U_{\Gamma} + I_p \cdot X_d)^2 + (I_a \cdot X_d)^2,$$

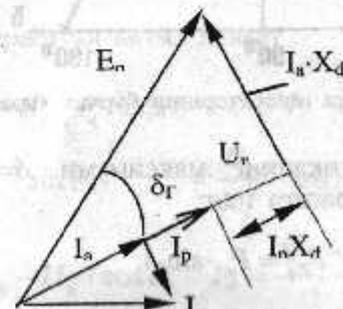
чунки $Q_{\Gamma} = U_{\Gamma} \cdot I_p$, $P_{\Gamma} = I_a \cdot U_{\Gamma}$

Шакл алмаштиришлардан сўнг куйидагини ҳосил қиламиз:

$$E_q = \sqrt{\left(U_{\Gamma} + \frac{Q_{\Gamma} \cdot X_d}{U_{\Gamma}}\right)^2 + \left(\frac{P_{\Gamma} \cdot X_d}{U_{\Gamma}}\right)^2}$$



1.32-расм.



1.33-расм.

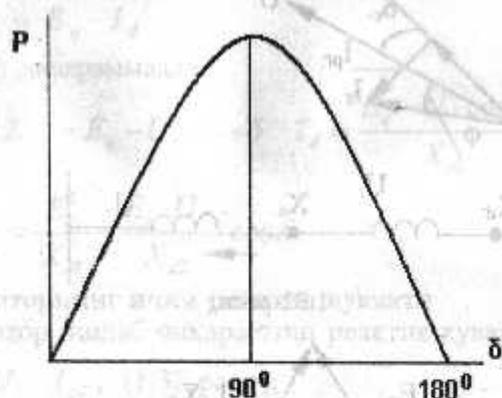
Генераторнинг ички бурчагини аниқлаймиз:

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

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

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

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



1.34- расм. Ноаён кутбلى 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

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

Энди аён кутбلى 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 - ҳисобий э.ю.к.

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

Ҳолатларни, хусусан, турғунликни ҳисоблашда аён кутбلى генератор ҳисобий э.ю.к. E_Q ли фиктив ноаён кутбلى генератор билан алмаштирилади, бунда энергетик жараёнлар реал машинанинг жараёнлари билан бир хил бўлади. Бунда $X_{d \text{ фикт.}} = X_{q \text{ фикт.}} = X_{q \text{ ҳис.}}$ 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:

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

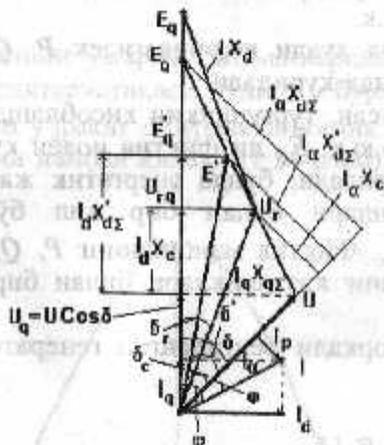
Генератор бераётган актив қувват

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

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

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

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

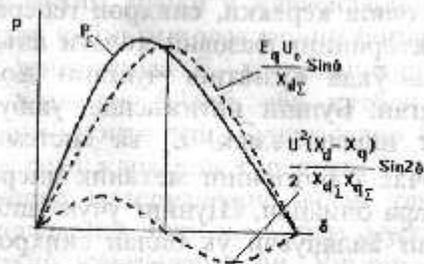


1.34а-расм. Аён кутбли генераторнинг вектор диаграммаси.

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

Аён кутбли машинанинг қувват формуласини вектор диаграмасига асослашиб E'_q орқали ифодалаймиз:

$$P_{E_q} = \frac{E'_q \cdot U}{X_{dz}} \cdot \sin \delta - \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_q - X_d}{X_{qz} \cdot X_{dz}} \sin 2\delta. \quad (1.55)$$



1.35- расм. Аён кутбли генераторнинг бурчак характеристикаси.

Аён кутбли генераторнинг шинасидаги реактив қувват:

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

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

$$E_q = E_Q + I_d(X_{d\sigma} - X_{q\sigma}) \quad (1.57)$$

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

(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 таъқиқ этиш имконини беради.

Эътиборга олиш керакки, синхрон генератор ротори магнит оқими векторишнинг фазовий ҳолати анъанавий тузилишларда бўйлама ўқда кўзгатиш 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 айланувчи ўқ билан синхрон ҳаракатини ва унинг турғунлигини аниқловчи ҳолатнинг **асосий параметри**дир.

Бундан қуйидагилар келиб чиқади:

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

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

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

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

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

Шу билан бир вақтда бошқа бурчаклар $\delta_s, \delta_r, \varphi$ ва ҳоказолар сакраб ўзгариши мумкин, чунки улар машинанинг электромагнит ҳолатини белгилайдилар.

Салт ишлаш э.ю.к. E_q машина роторининг кўзгатиш 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 кўзгатиш 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_Q ҳисоблашларни соддалаштирувчи ҳисобий катталиқ бўлиб, аён кутбли генераторнинг ҳисобий схемасига киритилади. Бунда содир бўлаётган энергетик жараёнлар реал жараённи кўрсатади.

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

1.2- мисол. 1.1- мисолда келтирилган шартлар учун **базис қувват** $S_\delta = 1000 \text{ МВА}$ ва кучланиш $U_\delta = 220 \text{ кВ}$ бўлганда **эквивалент генераторнинг э.ю.к. катталиги** топилсин.

Ечиш. Эквивалент генераторнинг э.ю.к.ни қуйидаги муносабатдан **топамиз:**

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

Бу ерда, $X_\Sigma = X_{\delta\delta} + X_{T\delta}$; U_c – трансформаторнинг юқри томонидаги кучланиш.

Эквивалент схеманинг параметрларини **базис шартларга келтира**миз.

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 трансформаторнинг параметрларини **нисбий бирликда аниқлай**миз:

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

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

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

Трансформаторнинг юқори томонидаги қучланиш ва актив қувват:

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

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

Трансформаторнинг юқори томонидаги реактив қувват:

$$Q_c = I_p \cdot U_c$$

Бу ерда, $I_p = \sqrt{I^2 - I_0^2}$ - статор токи I нинг реактив ташиқил этувчиси; I_0 - статор тоқининг актив ташиқил этувчиси

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

$$I_0 = I \cdot \cos \varphi = 1,23 \cdot 0,85 = 1,045 \text{ н.б.}$$

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

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

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

Синув саволлари

1. Нима сабабдан қувватни истеъмолчига узатишда токни эмас, қучланишнинг 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_a , X_j , 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_s ва қучланиш вектори U орасидаги бурчак системанинг электромеханик ҳолатини характерловчи параметр ҳисобланади?

8. Аён ва ноаён қутбли генераторларнинг бурчак характеристикалари нима билан фарқ қилади?

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

10. Қўзғатишнинг 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 ТУРГУНЛИГИ

2.1. Масаланинг умумий характеристикаси

Нормал, барқарор ҳолатда ҳар бир генераторнинг ваёнда турбина томонидан ишлаб чиқаришувчи P_T ва тармоққа берилувчи генераторнинг P_G актив қувват баланси $P_T = P_G$ таъминланади ва шу сабабли барча генераторлар ўзгармас айланиш частотаси билан ишлайди. Буида машиналарнинг э.ю.к. векторлари ораларидаги бурчаклар ўзгаришсиз қолади.

Аммо, энергия истеъмолчиларнинг тармоққа 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 келишига ва э.ю.к. векторлари орасидаги бурчакларнинг ўзгаришига олиб келади. Бошқача айтганимизда, ҳолат параметрлари уларнинг нормал қийматларига нисбатан катта бўлмаган миқдорларга 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. Буидай ҳолларда электр системаси «нафас оляпти» дейилади. Асосий муаммо бу кичик оғишлар турғунликнинг йўқолишига олиб келишининг олдини олиш ва энг асосийси, генераторлар ва бутун электр системасининг параллел ишлашидаги турғунликни бузилиш эҳтимолининг ҳақиқий сабабларини аниқлаш ва тегишли чора-рлар 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 кўрилаётган масъала -

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

2.2. Қувватнинг бурчак характеристикалари. Турғунлик муаммосининг маъноси

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

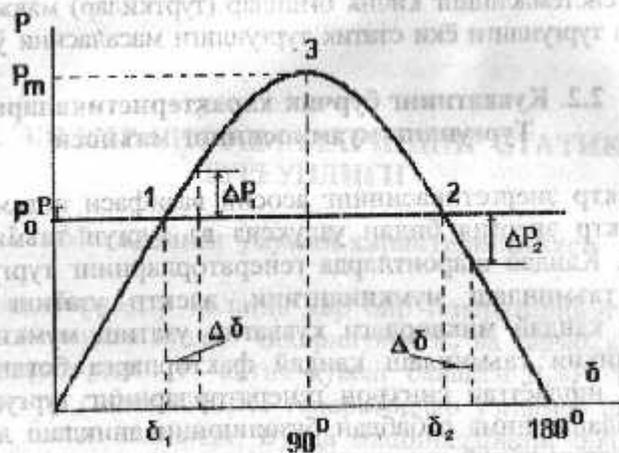


2.1- расм.

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

$$P_c = \frac{E_g U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta \quad (2.1)$$

E_g , U , $X_{d\Sigma}$ ларнинг қийматлари берилган ҳолда генераторнинг қуввати бурчакнинг функцияси бўлиб, бу боғланиш эгри чизиқли - синусоидалдир. Тўлиқ бўлиши учун ушбу графикнинг ўзида турбина қуввати P_T нинг характеристикаси қурилиб, у δ бурчакка боғлиқ бўлмаганлиги сабабли тўғри чизиқ кўринишида тасвирланади (2.2- расм).



2.2- расм. Одний системанинг бурчак характеристикаси.

Генераторнинг — валда — қувваглар баланси $P_T = P_T$ 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:

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

Агар $P_e = P_T$, δ ўзгармас бўлади ва бу шарт турғунликни таъминлайди. 2.2- расмдаги графикдан кўриналики, $P_T = P_T$ шарт δ_1 ва δ_2 бурчаклар мос келувчи иккита 1 ва 2 нукталарда бажарилади. Бу нукталарнинг ҳайси бирида генератор турғун ишлашни аниқлаш лозим.

Фараз қилайлик, қандайдир таъсир натижасида 1 нуктада бурчак кичик миқдор $\Delta \delta$ га оғди. Бунда генераторнинг электромагнит қуввати ва электр узатиш линияси орқали узати- лувчи қувват ΔP_1 га ортиб, турбинанинг механик қуввати инерция туфайли ўзгаришсиз қолди. $P_{e1} + \Delta P_1 > P_T$ бўлиб қолганлиги сабабли валда қувватлар (моментлар) баланси бу-

зилди. Бунда тормозловчи момент катта бўлганлиги сабабли генераторнинг ротори тормозланади. Натижада, бурчак ка- майиб 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 $\Delta \delta$ миқдорга ортиши 2 нуктада юз берса, у ҳолда $P_{e2} - \Delta P_2 < P_T$ бўлганлиги сабабли валда ортикча тез- лаштирувчи момент ҳосил бўлади. Натижада, роторнинг ай- ланиш тезлиги ортиб, у бурчакнинг янада ортишига олиб ке- лади. Бурчакнинг ортиши, ўз навбатида, валдаги ортикча тез- лаштирувчи моментни янада оширади ва х.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 ра- вишда электр системасини турғун ишлашнинг асосий кўрсаткичи эканлигини ёдда тутиш лозим.

Турбина қуввати ва мос равишда линия орқали узати- лувчи 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 мум- кин бўлган максимал актив қувватни кўрсатади:

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

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

нукта генераторнинг турғун ва нотурғун иш соҳаларини аж- ратувчи чегара ҳисобланади.

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

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

$$P_m = \frac{E_q U}{X_d \Sigma} \text{ максимал кувват } U \text{ кучланишнинг ўзгармас}$$

қиймагига мос келиб, узатилувчи қувватнинг идеал статик чегараси деб юритилади.

Амалий ҳисоблашларда статик турғунлик даражасини (кичик оғишлардаги турғунликни) микдорий жиҳатдан баҳолаш мақсадида қуйидаги муносабат бўйича аниқланувчи статик турғунликнинг захира коэффициентини тушунчаси киритилади:

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

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:

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

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

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 кўришга келтирилади. Улар кейинроқ кўриб ўтилади.

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

2.3. Тенграмаларни чизиклилаштириш

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, синхрон генератор актив қувватининг 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 кўришишга келтирувчи ва, энг асосийси, жараённинг физик маъносини тушунтирувчи мақсадга мувофиқ тарздаги соддалаштириш ҳар доим зарур.

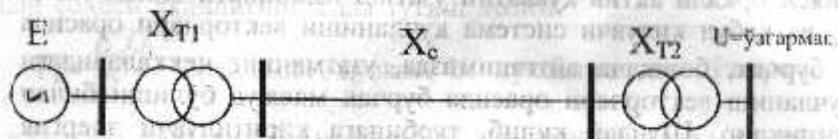
Юқорида аниқланганидек, нормал ҳолатда ҳолат параметрлари қатъий ўзгармас бўлиб қолмасдан, уларнинг қийматлари барқарор ҳолат атрофида кичик микдорларга тебраниб туради, шу сабабли, қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$\delta = \delta_0 \pm \Delta\delta, \quad P_r = P_{r0} \pm \Delta P, \quad U_r = U_{r0} \pm \Delta U, \text{ ва х.к.}$$

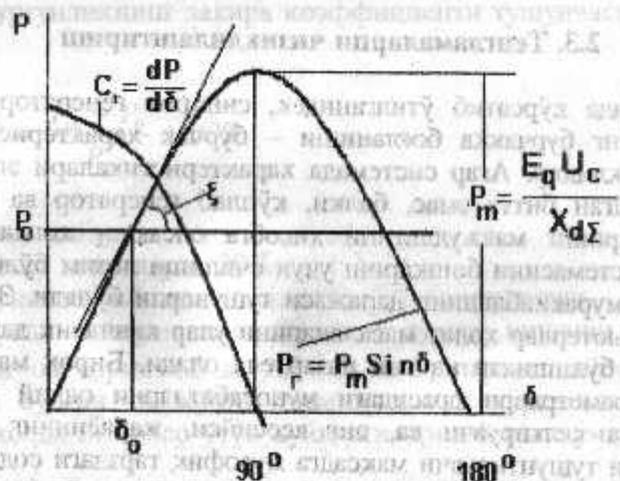
Бу ерда, $\Delta\delta$, ΔP , ΔU кичик микдорлар.

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

Тебранишлар кичик бўлганлиги сабабли $\Delta M = \Delta P$ қабул қиламиз. Соддалик учун кўзатиш чулғамидати ўткинчи жараёни ҳисобга олмаيمиз ($E_q = \text{ўзгармас}$).



2.3- расм.



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

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

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

Бошқа томондан

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

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

юритилади (2.4- расм), чунки кичик оғишларда бу кувват роторни бошланғич ҳолатга қайтарали (синхронлайди), яъни генераторнинг турғун ишлашини сақлайди.

Роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини кўриб ўтамиз ва уни соддалаштираемиз. Нормал ҳолат нуқтасида (P_0, δ_0) синусоидал боғланишни тўғри чизик билан алмаштираемиз, яъни қуйидаги тенгламани чизиклилаштираемиз:

$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - P_m \cdot \sin \delta = \Delta P \quad (2.3)$$

Бунинг учун $P_m \cdot \sin \delta$ ни δ_0, P_0 атрофида Тейлор қаторига ёямиз:

$$P_m \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta_0 + \frac{\partial P}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial \delta^2} \cdot (\Delta \delta)^2 + \dots$$

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

$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - P_m \cdot \sin \delta_0 - \frac{dP}{d\delta} \Delta \delta. \quad (2.9)$$

$P_m \cdot \sin \delta_0 = P_0$ эканлигини ҳисобга олиб,

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

ни ҳосил қиламиз. Сўнгра (2.7) ва

$$\delta = \delta_0 + \Delta \delta; \quad d\delta = d(\Delta \delta)$$

ни ҳисобга олиб,

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

ни ҳосил қиламиз.

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 масивининг 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 чулғамдаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олмаган ҳолдаги статик турғунлиги

Электр системаларида ишлатиш тажрибалари бурчакнинг назоратсиз ортиши (монотон ёки тебранувчан) натижасида синхрон генератор аёл бўлмаган сабабларга кўра, синхронизмдан чиқиб кетиши ёки синхрон тезликда генераторнинг кучланиши хавfli қийматларгача ортиб кетиши ҳолатларини кўрсатади.

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

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

Дифференциаллаш символини p оператори билан алмаштириб, яъни $\frac{d}{dt} = p$ белгилаш киритиб, p ни алгебраик миқдор 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 тенгламасини тузамиз:

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

Унинг илдизлари қуйидагича аниқланади:

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

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

синхрон генератор роторининг хусусий тебранишлар частотаси.

Маълумки, (2.13) тенгламанинг 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, $\Delta\delta = f(t)$ боғланишини топиш мумкин. Бироқ, одатда, бу боғланишни сонли кўринишда ҳосил қилмасдан, унинг характерици, яъни δ алериодик монотон ўзгарувчан ёки тебранувчан бўлишини, булда сўнувчан ёки ортиб борувчан бўлишини аниқлашга ҳаракат қилинади.

Бу ерда, куйидагиларни эътиборга олиш лозим. Хатто 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 сонини юзлаб ва миңлаб бўлиши мўмкин. Шу сабабли, ўткинчи жараёнларнинг тенгламаларини ечмасдан туриб, электр системаси турғун ёки нотурғун эканлигини аниқлаш имконини берувчи математик усуллар ишлаб чиқилган. Электр системасининг статик турғунлигини талқин қилишда чизиқлиштирилган тенгламалар асосида характеристик тенглама (ёки аниқловчи) тузилади ва унинг илдизлари ишоралари таҳлил қилиниб, кизиқтирувчи маълумот олинади.

Статик турғунликнинг зарурий ва етарли шартини ўрnatuvчи 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 мўмкин.

Маълумки, бир жинсли чизиқли дифференциал тенгламалар системасининг ечими куйидаги кўринишда ифодаланadi:

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

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 талқин қилиш учун қўлланилувчи барча усуллар характеристик тенглама илдизлари ҳақиқий

қисмларининг ишораларини текширишга келтирилади. Характеристик тенгламанинг коэффициентлари ҳолат параметрлари ва система элементларидан фойдаланиб тузилган, шу сабабли, агар электр системасида турғун-ликнинг бузилган ҳолати кузатилса, уларга таъсир этиш орқали электр системасини турғун ҳолатга қайтариш мўмкин.

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, жараённинг характерини аниқлаш ва унинг турғунлигини текшириш куйидагича амалга оширилиши мўмкин:

а) - характеристик тенглама илдизларининг сон қийматларини топиш орқали;

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

Кўрилаётган ҳолат учун иккинчи даражага эга характеристик тенглама (2.14) илдизларининг ишоралари ва жараённинг динамикаси ўртасидаги боғлиқликни ўрганиб ҳар қандай даражали тенглама учун ўришли бўлган ёрқин тасаввурни ҳосил қилиши мўмкин.

Эйлер формуласи $e^{j\gamma} = \cos\gamma + j\sin\gamma$ дан фойланиб, характеристик тенглама (2.16) нинг ечимини мос шакл алмаштиришлардан сўнг куйидагича ёзиш мўмкин:

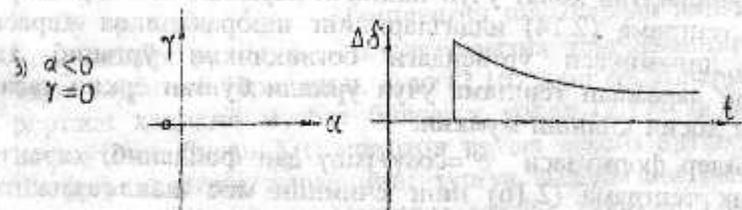
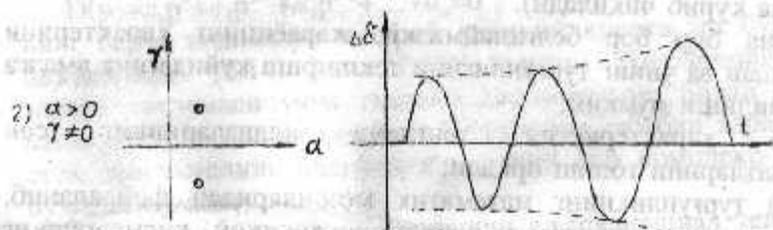
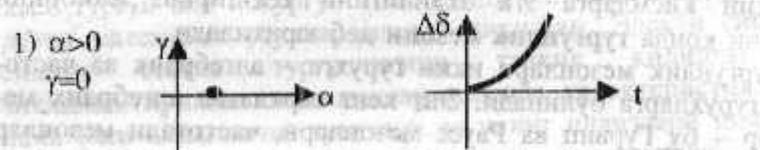
$$\Delta\delta = A_0 \cdot e^{\alpha t} \cdot \cos(\gamma t) \quad (2.18)$$

Бу ерда, A_0 бошланғич шартлардан топилади.

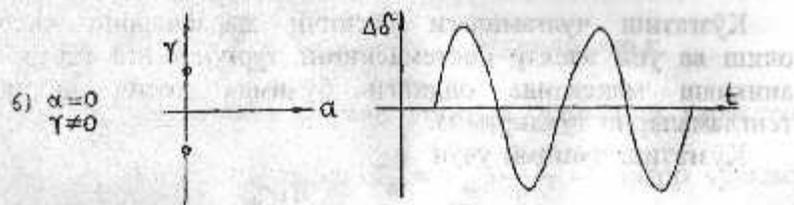
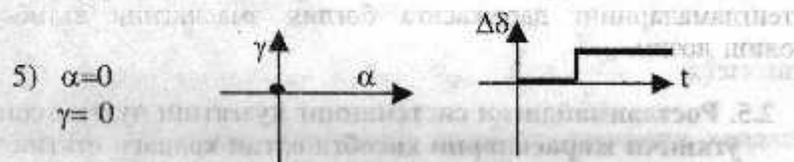
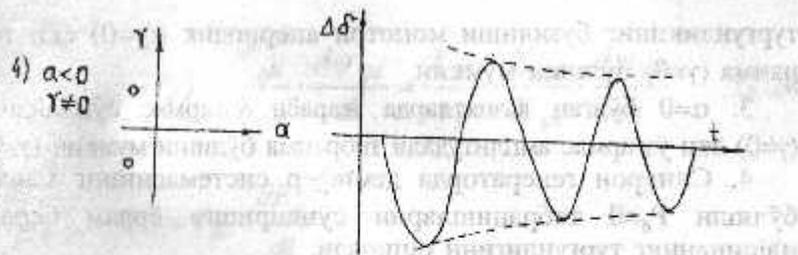
Илдизларнинг ҳақиқий қисмлари ва ўткинчи жараённинг характерини белгиловчи $\Delta\delta = f(t)$ боғланиш ўртасида қандай боғлиқлик мавжудлигини кўриб ўтамиз. Бунинг учун илдиз-

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

Илдизларнинг характери. Жараёнинг характери



2.5- расм. Характеристик тенглама илдизларининг ишоралари ва жараёнинг характери ўргасидаги боғлиқлик.



2.5- расмининг давоми.

Келтирилган графикларни таҳлил қилиб, электр системасида кичик туртки содир бўлган ҳолатда ўткинчи жараёнинг характери сифат жиҳатида 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 вазиятига қайтади ($\Delta\delta \rightarrow 0$). Бунда ўткинчи жараёнинг 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 вазиятига қайтмайди. Бунда

турғунликнинг бузилиши монотон аperiодик ($\gamma=0$) ёки тебранма ($\gamma \neq 0$) 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 $P_d \neq 0$ 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 кўзгатиш чулғамидаги ўткинчи жараёнларни ҳисобга олган ҳолдаги статик турғунлиги

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

Кўзгатиш чулғами учун

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

ёки

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

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

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

Охириги ифоданинг ҳар иккала томонини бўйлама ўк бўйича статор ва ротор контурлари ўртасидаги ўзаро индукция индуктив қаршилиги X_{ad} га кўпайтирамиз:

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

$$\text{ёки } E_{qe} - E_q = T_{do} \cdot \frac{dE'_q}{dt}$$

$$\text{ва оғишларда } -\Delta E_q = T_{do} \cdot \frac{d(\Delta E'_q)}{dt}$$

Бу ерда, $E_{qe} = i_{fe} \cdot X_{afd}$, $E_q = i_f \cdot X_{afd}$, $T_{do} = \frac{X_{fd}}{r_f}$ кўзгатиш

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

оралиғида бўлади; $E'_q = \psi_{fd} \frac{X_{afd}}{X_{fd}}$ - ўткинчи э.ю.к.

Яна иккита параметр учун ўткинчи жараёни характерловчи ифодани келтирамиз: $T'_d = T_{do} \cdot \frac{X'_d}{X_d}$ - статор чулғами

ёпиқ бўлганда кўзгатиш 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

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

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

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

$\Delta P_c = P_T - P_r = \Delta P_c$ микдорни E_q ёки E_q орқали ифодалаш мумкин:

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E_c}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E_q}}{dE_q} \Delta E_q = c_1 \cdot \Delta\delta + b_1 \cdot \Delta E_q \quad (2.23)$$

$$\Delta P_c = \frac{dP_{E_c}}{d\delta} \Delta\delta + \frac{dP_{E_q}}{dE_q} \Delta E_q = c_2 \cdot \Delta\delta + b_2 \cdot \Delta E_q \quad (2.24)$$

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

Куйидаги муносабат (2.20) асосида ўрилади:

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

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 турғунмаслиги баҳолаш мумкин. $D(p)$ ни даражалар бўйича очганимиздан сўнг куйидаги 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 қондаси (турғунликнинг алгебраик мезони)дан фойдаланамиз. Унга мувофиқ мусбат илдизларнинг мавжуд бўлмаслиги учун характеристик тенгламанинг барча коэффициентлари ва Гурвиц аниқловчилари $\Delta_{Гур}$ 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 куйидаги кўринишда ёзамиз:

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

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

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

(2.16) тенглама учун Гурвиц аниқловчиси ва турғунлик шarti куйидаги кўринишга эга бўлади:

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

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

Охирги аниқловчида бутун Гурвиц матричаси мавжуд бўлиб, агар уни охирги устуви 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. Бу ерда 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:

$$\Delta_{Гур} = \begin{vmatrix} T_j + P_d \cdot T_d & c_1 \\ T_j \cdot T_d & c_2 \cdot T_d + P_d \end{vmatrix} > 0$$

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

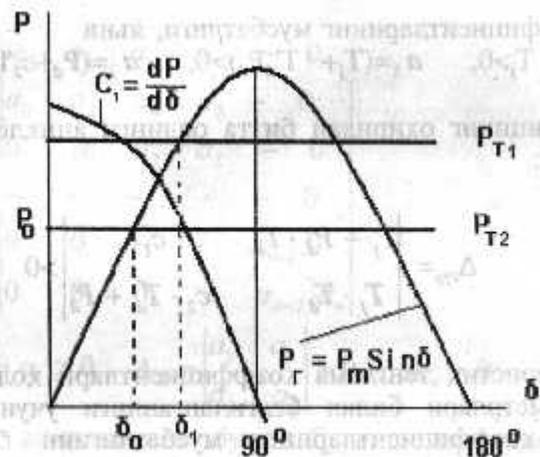
Юқорида келтирилган қоида асосида характеристик тенгламани тадқиқ қиламиз. Озод ҳаддан бошлаймиз. Гурвиц шarti

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

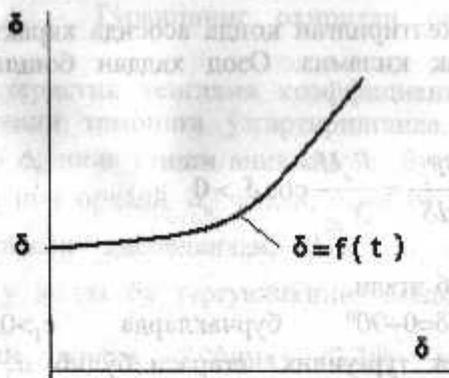
бўлишни талаб этади.

Барча $\delta = 0 + 90^\circ$ 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 аперидик бузилишининг бошлангич босқичи характери.

Турғунликнинг бундай бузилиши генераторларда юклама катта, яъни ўта юклиниш 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:

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

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

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

Демак, a_2 , a_1 , a_0 коэффициентларнинг ишоралари T_d' га боғлиқ. Қандай шароитларда T_d' нинг манфий бўлишини кўриб ўтаемиз. 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 кўзғатиш чулғамининг вақт доимийси $T_{d0} = \frac{L_b}{r_b}$ доимо мусбатдир. Бун-

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

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

Бундай ҳолатга мос келувчи турғунлик бузилиши ўз-ўзини кўзғатиш 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 ўтаемиз: Гурвицнинг охиридан битта олдинги аниқловчиси мусбат бўлиши шарт:

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

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

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

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 ларини 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 юклашмаганда кузатилади.

Статик турғунликнинг бундай бузилиши ўз-ўзини чайқатиш деб юритилади ва электромеханик ўтиш жараёни ҳисобланади. Бундай ҳолатда вақт давомида бурчакнинг тебранма ортиб бориши кузатилади. Таҳлил кўрсатадики, ўз-ўзини чайқатиш статор занжирининг актив қаршилиги катта бўлганда ёки кўзгатиш ёки тезлик ростлагичлари потўғри ростланганда содир бўлиши мумкин.

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

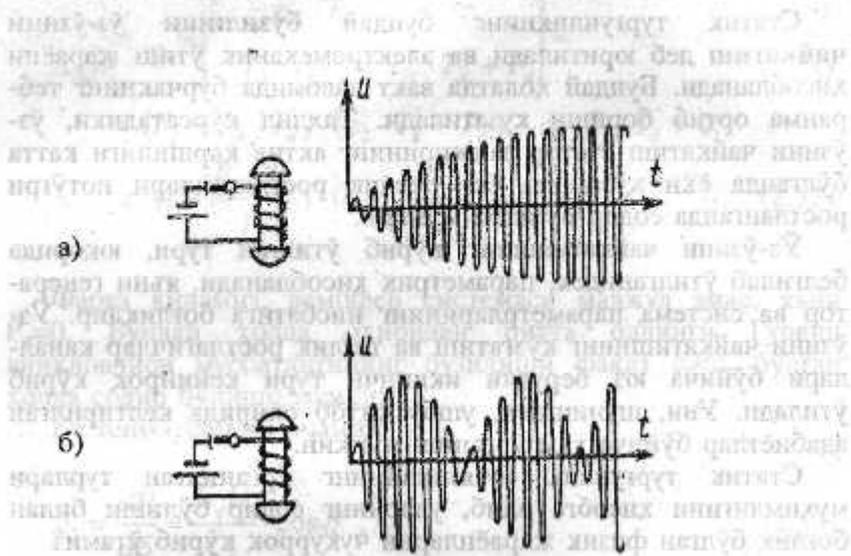
Статик турғунлик бузилишининг ўрганилган турлари муҳимлигини ҳисобга олиб, уларнинг содир бўлиши билан боғлиқ бўлган физик жараёнларни чуқурроқ кўриб ўтамиз.

2.7. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзгатиши

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

Ўз-ўзини кўзгатиш содир бўлишининг зарурий шarti статор занжирида машинанинг индуктив қаршилиги билан тебраниш контурини вужудга келтирувчи уланган сифимнинг мавжуд бўлишидир. Машина чулғамларининг хусусий ва ўзаро қаршиликлари ротор айланганда вақт давомида ўзгарувчанлиги сабабли контурда электр тебранишлар сўнмасда, аксинча ортиб борувчи шароит юзага келиши мумкин. Бу ўз-ўзини кўзгатишни ифодалайди.

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

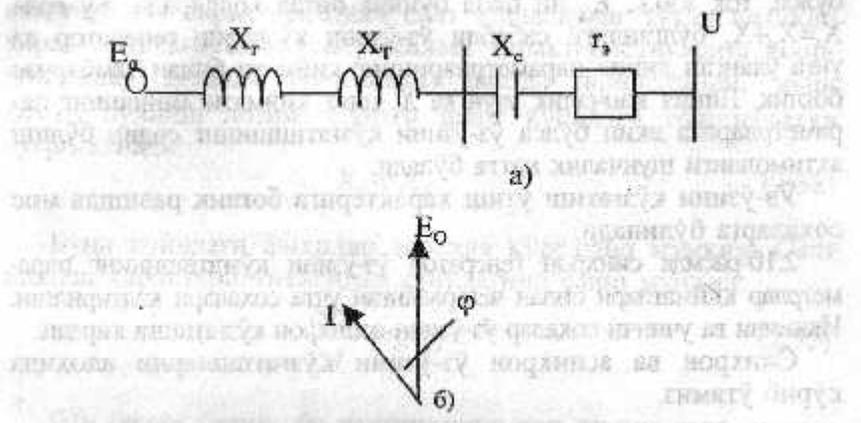


2.8-расм. Синхрон генераторнинг ўз-ўзини кўзгатиши: а) синхрон, б) асинхрон.

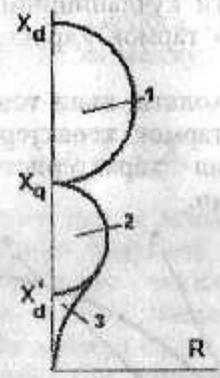
Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши нисбатан секин ва текис бўлса, у ҳолда ўз-ўзини кўзгатиш **синхрон** деб юритилади (2.8,а- расм). Статор ва ротор магнит майдонларининг айланиш тезликлари бир хил. Фақат аён кутбли генераторларда юз бериши мумкин.

Агар ток ва кучланишнинг ортиб бориши тез ва узилишлар орқали бўлса, у ҳолда ўз-ўзини кўзгатиш **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 кўзгатишлар бир вақтнинг ўзida содир бўлиши мумкин.

Фараз қиламиз, аён кутбли генератор 2.9- расмда тасвирланган схема бўйича узун линияга уланган. Бу схемада X_c – ситим компенсация қаршилиги; r_s – статор занжирининг эквивалент актив қаршилиги. Генераторнинг ўз-ўзини кўзгатиши статор чулғами орқали генераторни магнитловчи ситим токи окканда содир бўлади.



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



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

Вектор диаграммадан кўринадики (2.9,б- расм), агар ситим характеридаги эквивалент реактив қаршиликнинг абсолют қиймати генераторнинг кўндаланг ўқ бўйича индуктив қаршиликданда катта, яъни

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

бўлса, ток э.ю.к. E_0 ни фаза бўйича ортда қолдиради. Бу ерда $X_s = X_l + X_c$ бўлганлиги сабабли ўз-ўзини кўзгатиш генератор ва унга уланган линия параметрларининг қиймати билан чамбарчас боғлиқ. Линия қанчалик узун ва X_c нинг қиймати линиянинг параметрларига яқин бўлса ўз-ўзини кўзгатишнинг содир бўлиш эҳтимоллиги шунчалик катта бўлади.

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

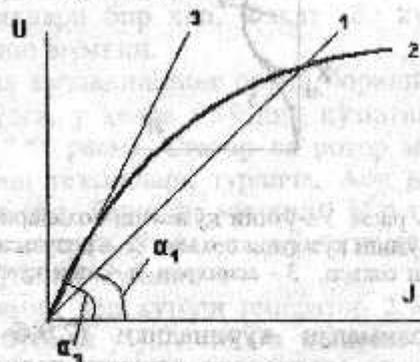
2.10-расмда синхрон генератор ўз-ўзини кўзгатишнинг параметрлар қийматлари билан чегараланган учта соҳалари келтирилган. Иккинчи ва учинчи соҳалар ўз-ўзини асинхрон кўзгатишга кирати.

Синхрон ва асинхрон ўз-ўзини кўзгатишларни алоҳида кўриб ўтамыз.

Синхрон машинанинг синхрон ўз-ўзини кўзгатиши

Синхрон генератор э.ю.к.нинг генераторнинг салт ишлаш токиға ва сифмдаги кучланишнинг токка боғланш характеристикасини, яъни тармоқ характеристикасини курамыз (2.11-расм).

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



2.11- расм. Синхрон генератор ва тармоқнинг характеристикалари: (1 – тармоқнинг характеристикаси $U=X_c I$; 2 – генераторнинг салт ишлаш характеристикаси; 3 – генераторнинг дўғриланган салт ишлаш характеристикаси).

Бошқача айтганимызда, ўз-ўзини кўзгатиш мавжуд бўлиши учун (1) характеристика салт ишлашнинг тўғри чизикли характеристикасидан (салт ишлаш характеристикасига координаталар бошида уринмадан) пастда жойлашиши, яъни $\alpha_1 < \alpha_3$ бўлиши лозим. Сўнгги шарт қуйидаги тенгсизликка тўғри келади:

$$X_s < X_d \quad (2.38)$$

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 ҳолатиға мос келувчи қаршилиқни характерлайди, яъни биринчи яқинлашишда уни машинанинг бўйлама ўқ бўйича индуктив қаршилиғи X_d деб ҳисоблаш мумкин.

Бундай ҳолда (2.37) ни ҳисобға олиб, синхрон ўз-ўзини кўзгатишнинг пайдо бўлиш ва мавжуд бўлиш шартини ҳосил қиламыз:

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

Ўз-ўзини кўзгатишнинг физик маъносини кўриб ўтамыз.

Маълумки, машинанинг индуктив қаршилиғи статор токининг ўзгаришиға нисбатан иккиланган частота билан ўзгаради ва шу сабабли, «статор-линия» блокада 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 кўзгатишнинг содир бўлишиға ушбу қолдиқ э.ю.к. туртки ҳисобланади.

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

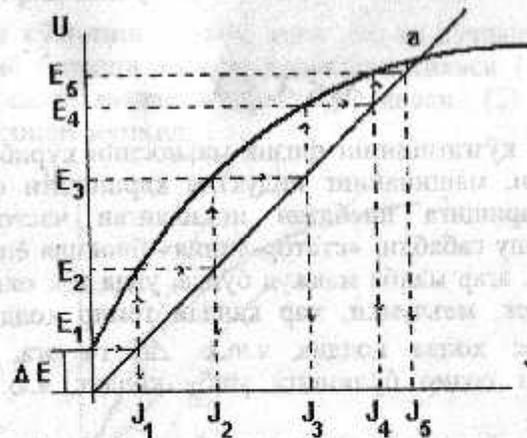
Қолдиқ э.ю.к. ΔE таъсирида ток I_1 пайдо бўлиб, у э.ю.к. E_2 ни индукциялайди. Бу э.ю.к. I_2 токнинг пайдо бўлишига олиб келади. Ток I_2 ўз навбатида, э.ю.к. E_3 ни ҳосил қилади ва жараён 1 ва 2 характеристикаларнинг кесишиш нуктасида барқарор ўз-ўзини кўзгатиш ҳолати ўрнатилмагунча давом этади.

Кўрилатган контурда ўсиб боровчи тебраниш содир бўлади ва қучланиш ортади.

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

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

Ўз-ўзини кўзгатиш контурида ток оққанда актив қаршилиқларда актив қувват исроф бўлади. Энергетик нуқтаи назардан ўз-ўзини кўзгатиш жараёнини тутиб туриш учун генераторнинг валилан олинувчи энергия элементларнинг актив қаршилиқлари r , да сарф бўлувчи энергиядан кагга бўлиши шарт.



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

Маълумки, аён қутбли генераторнинг қуввати қуйидаги формула бўйича аниқланади:

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

Кўзгатиш токи бўлмаганлиги сабабли, албатта, $E_q = 0$ ва буида юқоридагилардан келиб чиқадики, актив исрофлар бу формуланинг иккинчи таъкил этувчиси билан қопланади ва ўз-ўзини кўзгатиш 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 кўзгатишнинг иккинчи мезонини ҳосил қилишимиз мумкин:

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

Шундай қилиб, синхрон ўз-ўзини кўзгатишда бу ҳолатни тутиб туривчи энергия генератор томонидан унинг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича қаршилиқларининг фарқи $X_d - X_q$ ҳисобига ишлаб чиқарилади. Бу қувват унинг маъноси - генераторнинг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича қаршилиқлари фарқига ургу бериб, параметрик қувват деб юритилади. Мас равишда, синхрон ўз-ўзини кўзгатиш фақат аён қутбли машиналарда кўзгатиш чулғамлари ёпиқ ва очик бўлган ҳолларда содир бўлиши мумкин. Буида ўз-ўзини кўзгатиш 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 кўзгатишни бартараф қилиш мумкин.

Синхрон генераторнинг асинхрон ўз-ўзини кўзгатиши

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

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

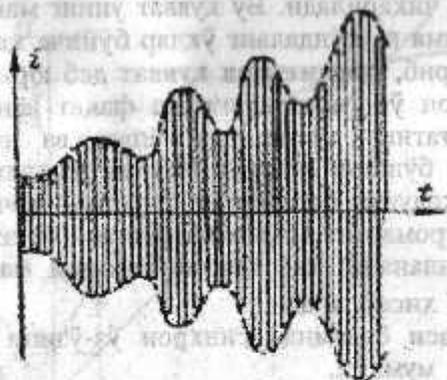
Ўз-ўзини кўзгатишни тутиб туриш учун энергия аён кутблеликнинг динамик моменти ҳисобига қопланади:

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

Олдинги ҳолатдаги каби ўз-ўзини кўзгатиш мезонини ёзишимиз мумкин:

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

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



2.13- расм. Асинхрон ўз-ўзини кўзгатишга доир.

Асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш қучланиш амплитудасининг тез ортиб бориши билан характерланади. Хар қандай контурда пайдо бўлувчи э.ю.к. окимнинг ўзгариш тезлигига боғлиқ бўлганлиги учун синхрон ўз-ўзини кўзгатишда (қуч-

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

Асинхрон ўз-ўзини кўзгатишда эса роторнинг ёпиқ чулғамида ёки эквивалент ёпиқ контурларда (демпер ёки бошқа чулғамларда) статор магнит окимининг ротор ичига ўтишига тўсқинлик қилувчи э.ю.к.лар пайдо бўлади. Статор окими тарқалиш йўллари орқали туташади. Генератор темирининг тўйиниши ўз-ўзини кўзгатишнинг узок вақт давомида мавжуд бўлишига тўсқинлик қилади ва роторда индукцияланувчи э.ю.к. ташқи ва салт ишлаш характеристикаларининг кесишиш нукталарига яқинлашган сари камайиб боради (2.12-расм). Бу нуктада ўз-ўзини кўзгатишнинг узилиши юз беради ва жараён қайтадан бошланади ва х.к.

Юқориди қайд этиб ўтилганидек (§1.8) статор окими тез ўзгарганда машинада индукцияланувчи э.ю.к. иккита ташқил эгувчидан – бурчак тезликнинг синхрон тезликдан оғиши натижасида ҳосил бўлувчи айланиш э.ю.к. ва чулғамга сингиб қирувчи оким абсолют қийматининг 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 кўзгатиш тутиб турилади.

Асинхрон ўз-ўзини кўзгатишларни мавжуд ҚАР лар ёрдамида йўқотиш мумкин эмас, чунки шиналарда қучланишнинг ортиб бориши кўзгатишларнинг вақт доимийлигига нисбатан тезроқ содир бўлади.

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

$$\begin{aligned} & \text{- синхрон ўз-ўзини кўзгатиш учун} \\ & (X_d - X_q) \cdot (X_q - X_d) + r_s^2 = 0 \quad (2.48) \\ & \text{ва асинхрон ўз-ўзини кўзгатиш учун} \end{aligned}$$

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

Ўз-ўзини кўзгатишнинг бу соҳалари 2.10- расмда келтирилган. Ўз-ўзини кўзгатиш содир бўлишининг старли шarti бўлиб ташқи гармоқ параметрлари — x_s , r_s ларнинг кийматлари кўзгатишнинг келтирилган соҳалари ичида жойлашишидир.

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

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

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

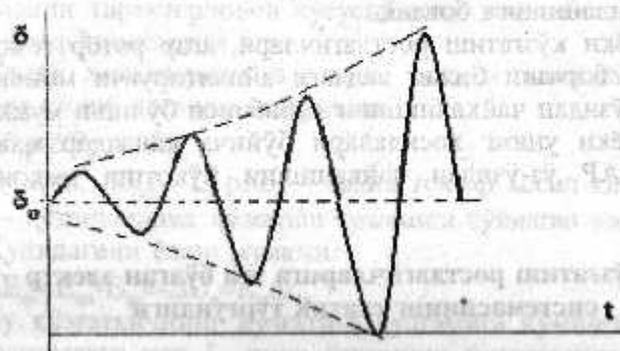
2.8. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши

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 уйғунашади. Ушбу жараён давомида машиналар чулғамларида тоқларнинг узилиши кузатилади.

Ўз-ўзидан чайқалишлар икки типли бўлади: биринчиси — параметрик деб юритилиб, генератор ва электр тармоқнинг параметрлари билан аниқланса, иккинчиси — параметрлари, яъни каналлар бўйича кучайтириш коэффициентлари ва вақт доимийлари нотўғри танланган кўзгатиш ва тезлик ростлагичлари 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 узок 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 суммарий индуктив қаршилиги. Бу ифодадан кўринадик, генераторнинг ўз-ўзидан чайқалиши бурчак δ ўзгаришининг маълум чегараларида мусбат ва манфий бурчакларда бўлиши мумкин. Ўз-ўзидан чайқалишнинг машинани 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 яқин ёки кичик юкламали ҳолатларда бу чулғам мусбат демпфер моментини ҳосил қилади.

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

Тезлик ёки кўзгатиш ростлагичлари, агар ротор тезлигининг ортиб бориши билан вақдаги айлантурувчи 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. Кўзгатиш ростлагичларига эга бўлган электр системасининг статик турғунлиги

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

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

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

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

Ушбу ҳолатда бу ўткинчи қаршилик 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 тасвириш мумкин:

$$\Delta E_q = \Delta E_{qcs} + \Delta E_{qe} \quad (2.51)$$

Бу ерда, $\Delta E_{qcs} = T_{dk} \cdot p \Delta E'_q$ – эркин тоқлар ҳосил қилувчи э.ю.к.; ΔE_{qe} – кўзгатишнинг кўзгатиш чулғамига кўйилган э.ю.к.

Қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\Delta E_{qe} = E_{q0} - E_{qe} = -\Delta U_a = K_y \Delta i_{xy} \quad (2.52)$$

Бу кўзгатишнинг кўзгатиш чулғамига кўйилган э.ю.к. ва бу чулғамдаги ток i_{xy} нинг ўзгариши натижасида генераторнинг кўзгатиш тоқини ўзгаришини ҳисобга олади.

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

$$\Delta e = R_e \Delta i_{xy} + L_e \frac{d(\Delta i_{xy})}{dt} = \Delta i_{xy} (R_e + L_e p)$$

Бу ерда, R_e, L_e – кўзгатиш чулғамининг параметрлари (бажарувчи элемент).

Юқоридагидан:

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

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

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

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

Бу ерда, $k_s = \frac{k_s}{R_s}$ - бажарувчи элементнинг кучайтириш коэффициенти.

Кучайтиригич, 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 ўлчап, 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 қараш мумкин.

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

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

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

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

ростлаш системаси параметрларига боғлиқ бўлган функция.

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

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

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

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

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

$$E_{qe} = E_{q0} - \frac{\partial E_q}{\partial U_r} \cdot \Delta U_r \text{ бўлганлиги сабабли}$$

системанинг кучайтириш коэффициенти

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

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

$$\Delta E_q = \Delta E_{q_{oa}} + \Delta E_{qe} = T_{oa} \cdot p \cdot \Delta E_q + \gamma(p) \cdot \Delta U_r$$

$$T_{oa} p^2 \Delta \delta = -\Delta P;$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{E_q}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{E_q}}{\partial E_q} \cdot \Delta E_q = c_1 \cdot \Delta \delta + a_1 \cdot \Delta E_q \quad (2.58)$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{E_q}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{E_q}}{\partial E_q} \cdot \Delta E_q = c_2 \cdot \Delta \delta + a_2 \cdot \Delta E_q$$

$$\Delta P = \frac{\partial P_{U_g}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{U_g}}{\partial U_g} \cdot \Delta U_g = c_3 \cdot \Delta \delta + a_3 \cdot \Delta U_r$$

Бу ерда:

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

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

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

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

$$T_d T_d' p^4 + T_j \cdot (T_d + T_e) \cdot p^3 + (T_j + T_d \cdot T_e \cdot c_2 + K_{ov} \cdot T_j \cdot \frac{\theta_1}{\theta_2}) p^2 + (T_d' c_2 + T_e \cdot c_1) p + (c_1 + K_{ov} \cdot c_3 \cdot \frac{\theta_1}{\theta_3}) = 0 \quad (2.59)$$

ёки

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

Бу ерда: $a_0 = T_e T_d' T_j$, $a_1 = T_j (T_d + T_e)$, $a_2 = T_j + T_d'$
 $T_e c_2 + K_{ov} \frac{b_1}{b_3} T_j$, $a_3 = T_d' c_2 + T_e c_1$, $a_4 = c_1 + K_{ov} c_3 \frac{b_1}{b_3}$.

Ушбу тенгламани Гурвиц мезони бўйича тадқиқ қиламиз. Агар $T_d > 0$ бўлса a_0 ва a_1 доимо мусбат бўлади. $c_2 > 0$ ва $K_{ov} > 0$ 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.

$$a_4 = c_1 + K_{ov} c_3 \frac{\theta_1}{\theta_3} > 0 \text{ шарт } K_{ov \min} = \frac{(-c_1) \theta_3}{c_3 \theta_1} \text{ бўлишини}$$

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 $K_{ov \max}$ керак бўлади, бироқ K_{ov} ниш хаддан ташқари ортиб кетини $\Delta_{\text{тур}}$ нинг камайишига олиб келади. Шу сабабли, кўзгатишни кучайтириш коэффициентини

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

ораликда олиш лозим.

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

$$K_{ov \max} = \left[\frac{(c_2 - c_1) \cdot b_1}{(c_3 - c_2) \cdot b_1} \left(1 + \frac{T_e}{T_j} \cdot \frac{(T_d c_2 + T_e c_1)}{(T_d + T_e)} \right) \right] \left(1 + \frac{T_e}{T_d} \cdot \frac{(c_3 - c_1)}{(c_3 - c_2)} \right) \quad (2.62)$$

Агар кучланишнинг оғишига боғлиқ ҳолда ишловчи ҚАР мавжуд бўлганда $K_{ov} < K_{ov \max}$ бўлса, у ҳолда бурчакнинг монотон ошиб бориши билан характерланувчи турғунликнинг электромеханик бузилиши, яъни турғунликнинг аperiодик бузилиши содир бўлади.

$K_{ov} > K_{ov \max}$ 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 хар хил ҳолатларида кучланишни тутиб туришнинг катта аниқлиги ва узатиувчи қувват чегарасининг ортиши таъмин-ланадиган қийматлари $K_{ov} \geq 25-50$ (кўзгатиш бирли-ги/кучланиш бирлиги) ораликда аниқланган.

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

Электр системаларининг ҳолатларини, хусусан, оғир ҳолатларини, тадқиқ қилишда пропорционал типдаги ҚАР-нинг мавжудлиги, соддалаштириш мақсадида, ўткинчи қаршилиқ ортидаги ўзгармас ўткинчи э.о.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:

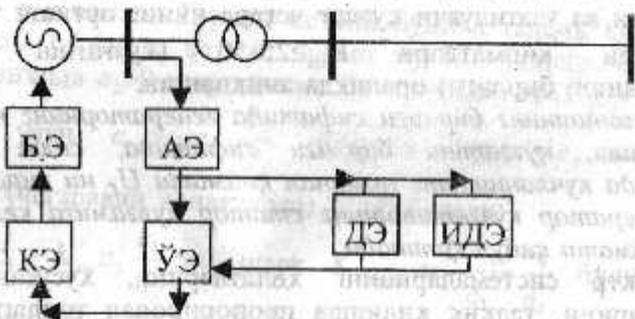
$$K_{ov \min} < K_{ov} < K_{ov \max}$$

шарт бўйича танланиши лозим.

Бу шартнинг бузилиши турғунликнинг аperiодик ($K_{ov} < K_{ov \min}$) ёки тебрана ($K_{ov} > K_{ov \max}$) 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 кўзгатишлининг автоматик ростлагичлари кучли таъсир этувчи кўзгатишли 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 кўзгатишли автоматик ростлагичнинг структуравий схемаси (ҚАР-К).

ҚАР-К электр системасининг статик турғулигини 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 (ИДЭ) ҳосилаларига мос сигналлар ишлаб чиқарувчи кўшимча каналлар мавжудлигини кўраимиз.

Албатта, янги каналларнинг пайдо бўлиши ва ҚАР системасининг кўшимча 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 тоқининг оғиши (ΔU , ΔI), уларнинг биринчи ва иккинчи тартибли ҳосилалари бўйича ишловчи ҚАР-к, ростлагичнинг дифференциалловчи ва икки марта дифференциалловчи вақт доимийлари тенг бўлган таҳдирда $T_1 = T_2 = T_p$, еттинчи даражали характеристик тенглама билан ифодаланади. Агар ўлчан ва кучайтириш элементларининг инерционлигини ҳисобга оломасак $T_0 = T_3 = 0$, 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:

$$a_0 = T_1 T_d T_e T_p;$$

$$a_1 = T_1 (T_d T_e + T_e T_p + T_e T_p) + k_{21} h_1;$$

$$a_2 = T_1 (T_d + T_e + T_p) + T_d T_e T_p c_2 k_{11} h_1;$$

$$a_3 = T_1 + T_e T_p c_1 + T_d (T_e + T_p) c_2 + k_{00} T_1 \frac{b_1}{b_3} + k_{01} h_1 + k_{21} h_2;$$

$$a_4 = (T_e + T_p) c_1 + T_d c_2 + k_{11} h_2;$$

$$a_5 = c_1 + k_{00} c_3 + k_{01} h_2;$$

$$h_1 = -T_1 \frac{(E_q - U \cos \delta)}{I \cdot X_{d\sigma}^2}$$

$$h_2 = b_1 \frac{U}{X_{d\sigma}} (I_q \cos \delta + I_d \sin \delta)$$

$$I_d = \frac{E_q - U \cos \delta}{X_{d\sigma}}; \quad I_q = \frac{U}{X_{d\sigma}} \sin \delta$$

(I_d , I_q) коэффициентларга кिरувчи ҳолат параметрлари синхрон генераторнинг вектор диаграммасидан аниқланади. Бу ерда: k_{01} — генератор статори тоқининг оғиш канали бўйича кучайтириш коэффициентини [кўзг.бирл./ном.ток бирл.], k_{11} — статор тоқининг биринчи ҳосиласи канали бўйича кучайтириш коэффициентини [кўзг.бирл./ном.ток бирл./сек.], k_{21} — статор тоқининг иккинчи ҳосиласи канали бўйича кучайтириш коэффициентини [кўзг.бирл./ном.ток

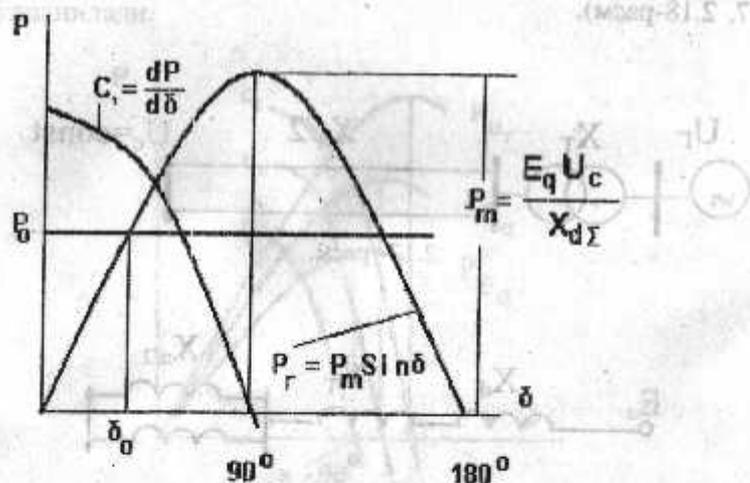
Ноён қутбли генераторни кўриб ўтамыз.

$$P_{E_q} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta, \quad P_m = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}}$$

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 кирувчи буг ўки 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:

$$\frac{dP}{d\delta} = C_1 = \frac{dP}{d\delta} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} \cdot \cos \delta \quad (2.64)$$

Айтганимиздек, бу миқдор 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 сақланади.

Турғунлик мезони $C_1 > 0$ бурчак $\delta = 0 \div 90^\circ$ оралиғида бўлганда таъминланади. Турбина қувватининг бундан кейинги ошишида, яъни бурчак янада ошганда C_1 манфий бўлиб қолади.

Бундан келиб чиқадики, узатиловчи қувват максимумга қанчалик яқин бўлса турғунликнинг бузилиш эҳтимоли шунчалик катта бўлади, чунки кичик тебраниш система ҳолатини 90° бурчакдан ўтказиб юборади.

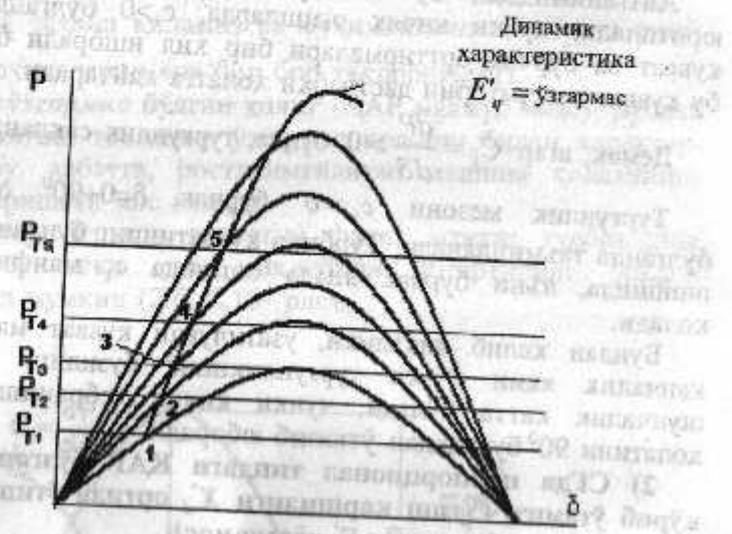
2) СГда пропорционал типдаги ҚАР бўлган ҳолатни кўриб ўтамыз. (Ўтиш қаршилиги X_d ортида ўтиш э.ю.к.ни ўзгармас тутиб турувчи $E'_q = \text{ўзгармас}$).

Бу ҳолат машинанинг бўйлама ўки бўйича натижавий магнит оқим илашишининг кўзгатиш токини ростлаш орқали таъминланадиган ўзгармаслигига мос келади.

Генераторнинг қувватини ўзгартириш учун бир вақтнинг ўзида турбинага кирувчи энергия етказувчининг миқдорини ва кўзгатиш токини ўзгартириш лозим. Турбинанинг қуввати ошганда генератор шинасидаги кучланиш генератор, трансформатор ва линия қаршиликларида кучланиш пасайишининг ортиши ҳисобига камаяди.

ҚАР буни сезиб, кўзгатиш чулғамида оқувчи токни ошириш орқали кучланишни $U_2 > U_1$ гача оширади. Бунда янги ҳолат турбина ва генераторнинг қувват характеристикаларининг кесилиш нуқтаси 2 билан аниқланади (2.20- расм). Бу жараён турбина қувватини ошириш ва кўзгатиш системаси имкониятлари билан белгиланувчи техник чегарагача давом этиши мумкин. Пайдо бўлувчи динамик характеристика си-

нусоидадан фарқ қилиб, қувват ва кучланиш бўйича бурчак характеристикасидаги 2, 3, 4, 5 ва х.к. нуқталарга мос келувчи янги ҳолатлари билан белгиланади. Биринчи яқинлашишда узатилиши мумкин бўлган максимал қувват қуйидагича аниқлана



2.20-расм. Пропорционал типдаги кўзгатишни автоматик ростлаш мавжуд бўлганда бурчак характеристикаси ($E_q = \text{ўзгармас}$).

ди:
$$P_{mE_q} = \frac{E_q U}{X_d + X_T + X_n / 2} \quad (2.65)$$

Статик характеристика $i_n = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолда юклама секин ўзгарганда, динамик характеристика эса, ҳолатнинг ўзгариши вақтида кўзгатиш токи i_n , $E_q = \text{ўзгармас}$ ни таъминлайдиган шартта мувофиқ ўзгарганда ҳосил бўлади.

3) $U_T = \text{ўзгармас}$ ни тутиб турувчи ҚАР-к. $U_T = \text{ўзгармас}$ кучланиш кўзгатиш кучи ростланганда тутиб турилади. Юқорида белгилаб ўтилганидек, кўзгатишни кучли ростлаш нафақат U, I, f ларнинг ўзгариши, балки уларнинг ўзгариш тезлиги, яъни ҳолат параметрларининг биринчи ва иккинчи ҳосилаларига U, I, f ва $\dot{U}, \dot{I}, \dot{f}, \dot{I}, \dot{\delta}$

мувофиқ ишлайди. Кучли ростлашнинг маъноси аён: кучланиш авариявий тушиб кетганда (қисқа туташув, катта юкларнинг уланиши) уни номиналгача кўтариш лозим. Бунда кўзгатиш токи U_T нинг камайишига нисбатан тезроқ ошиши зарур. Мос ҳолда ростлаш илдам бўлиши шарт.

$E_q = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолда қурилган характеристиканинг максимуми $E_q = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолатдагига нисбатан кичикдир ва шунга мос ҳолда $U_T = \text{ўзгармас}$ бўлгандаги характеристика энг юқори қийматга эга бўлади (2.21-расм).

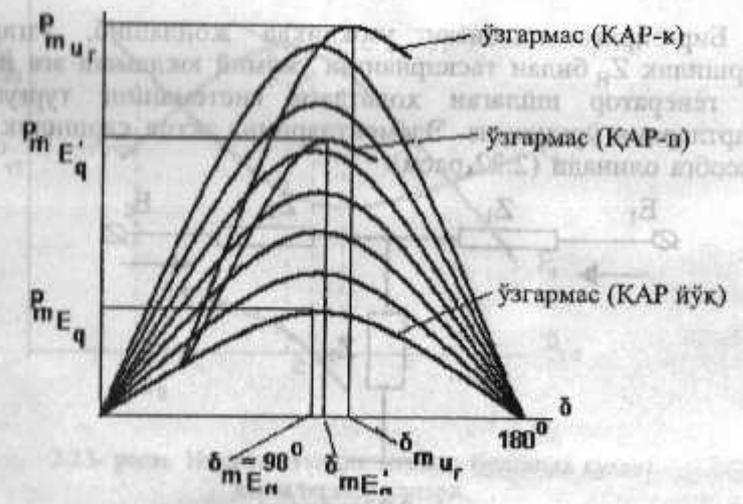
Бурчак характеристиканинг максимуми қуйидаги муносабатдан аниқланиши мумкин:

$$P_{mU_T} = \frac{U_T U_c}{X_T + X_c} \quad (2.66)$$

Қуйидаги муносабатлар ўринлидир:

$$P_{mE_q} < P_{mE_q'} < P_{mU_T} \quad (2.67)$$

$$\delta_{mE_q} = 90^\circ < \delta_{mE_q'} < \delta_{mU_T} \quad (2.68)$$



2.21-расм. Кучли таъсир этувчи автоматик ростлаш мавжуд бўлганда бурчак характеристикаси ($U_T = \text{ўзгармас}$).

Табий турғунлик соҳаси $\delta=0-90^\circ$ оралықдир, чунки бу соҳада $c_1 > 0$.

$\delta > 90^\circ$ бўлган оралық, яъни генераторнинг 90° бурчакдан кейинги турғун ишлаш соҳаси сунъий турғунлик соҳаси деб юритилади. Бу ерда, бурчакнинг 90° дан катта бўлган кийматларида турғунлик фақат кўзгатиш токни сезмаслик соҳасисиз ростлаш ёрдамида сақланиши мумкинлигини таъкидлаб ўтиш лозим.

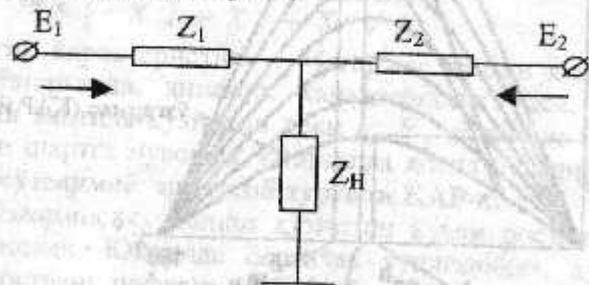
Генератор берувчи актив қувватнинг ортиб бориши билан бир вақтда генераторнинг реактив қуввати ҳам ўзгаради.

Кўзгатиш токи кичик бўлиб, актив қуввати берилганда генератор кам кўзгалган ҳолатда ишлаб, реактив токни истеъмол қилади ва унинг турғунлик коэффициенти захираси кам бўлади.

Кўзгатиш токи катта, актив қувват юқоридагидек бўлганда генератор ўта кўзгалган ҳолатда ишлаб, тармоққа реактив ток беради ва бу коэффициентнинг киймати ошади, генератор турғун ишлайди.

2.11. Иккита генератор станциясидан ташкил топган электр системасининг статик турғунлиги

Бир-бирига нисбатан узокликда жойлашиб, ўзгармас қаршилиқ Z_H билан тасвирланган умумий юқламага эга иккита генератор ишлаган ҳолатдаги системанинг турғунлик шартларини ўрганамиз. Элементларнинг актив қаршиликлари ҳисобга олинади (2.22-расм).



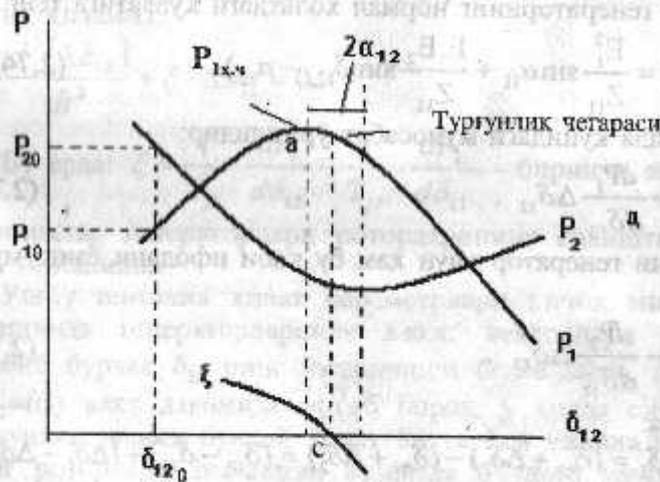
2.22- расм.

Фараз қиламиз, биринчи станция қувватининг ортиб бориши билан иккинчи станция қуввати камаяди. Кўриб ўтилаётган система учун бу шароитда генераторларнинг қувватлари қуйидагича ифодаланлади:

$$P_1 = \frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \quad (2.69)$$

$$P_2 = \frac{E_2^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}) \quad (2.70)$$

Бу ифодаларда юқлама шинасидаги қучланиш U аён кўринишда катнашмайди, аммо ўзаро бурчак $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ ва мос ҳолда узатилувчи қувватнинг ортиб бориши билан қучланишнинг пасайиши ўзаро қаршилиқ Z_{12} орқали ҳисобга олинади. Шу сабабли биринчи генератордан узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси $P_{1x.c}$ бу характеристиканинг максимуми билан бир ҳил бўлади (2.23- расмдаги а нукта)



2.23- расм. Иккита станция маъжуд бўлганда қувват характеристикалари.

Кўриб ўтиладиган системанинг статик турғунлик шартларини аниқлаймиз. Бунинг учун бурчакларнинг барқарор ҳолатдан кичик микдорга оққан ҳолат учун генераторлар роторларининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламаларини ёзамиз:

$$T_{j1} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \Delta P_1 = P_{10} - P_1 = P_{20} - \left[\frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \right] \quad (2.71)$$

$$T_{j2} \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \Delta P_2 = P_{20} - P_2 = P_{20} - \left[\frac{E_2^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}) \right] \quad (2.72)$$

Бу ерда P_{10} , P_{20} нормал ҳолат қувватлари (турбиналар қувватлари), ΔP_1 , ΔP_2 ларни дастлабки ҳолат нуктасида Тейлор қаторига ёйиб, бу тенгламаларни чизиклилаштираемиз:

$$\Delta P_1 = P_{10} - \left[\frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{dP_1}{d\delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \dots \right] \quad (2.73)$$

Квадрат қавс ичидаги биринчи иккита ташкил эгувчининг йиғиндисини генераторнинг нормал ҳолатдаги қувватига тенг

$$\Delta P_{r10} = P_{10} = \frac{E_1^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) \quad (2.74)$$

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:

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2 = (\delta_{10} + \Delta \delta_1) - (\delta_{20} + \Delta \delta_2) = (\delta_{10} - \delta_{20}) + (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) = \delta_{12_0} + \Delta \delta_{12}, \text{ ва } \delta_{12_0} = \delta_{10} - \delta_{20}, \Delta \delta_{12} = \Delta \delta_1 - \Delta \delta_2 \quad (2.77)$$

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 мувофиқ

$$\frac{d^2 (\delta_1 - \delta_2)}{dt^2} = \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = \frac{d^2 (\Delta \delta_{12})}{dt^2}$$

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 орғиб 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 ўтқинчи 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,

$$\xi = \frac{1}{T_{j1}} \cdot \frac{dP_1}{d\delta_{12}} - \frac{1}{T_{j2}} \cdot \frac{dP_2}{d\delta_{12}} > 0 \quad (2.83)$$

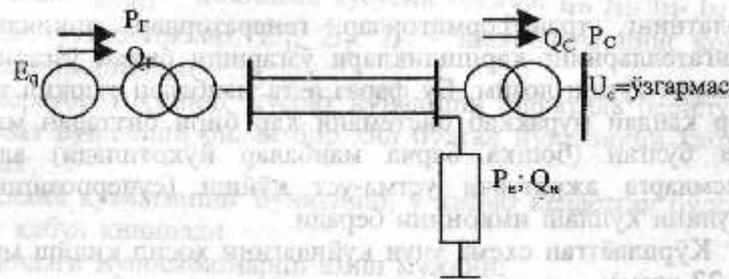
ҳисобланади.

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.

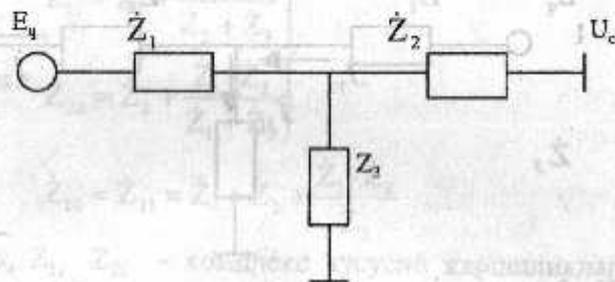
2.12. Генераторнинг система билан мураккаб боғланган ҳолатдаги қувват характеристикаси

Ихтиёрий мураккабликдаги электр системасида ишловчи синхрон генератор қувватининг умумий формуласини келтириб чиқариш лозим.

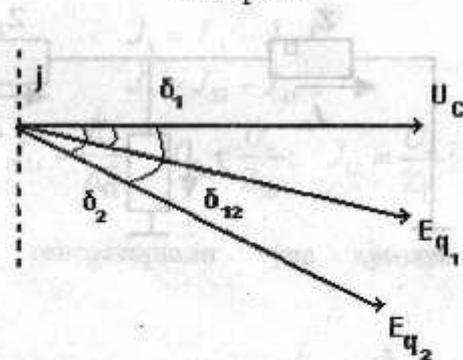
Оралиқда актив ва реактив қувват юқламасига эга бўлган системанинг схемасини кўриб ўтамиз (2.24- расм).



2.24-расм.



2.25- расм.

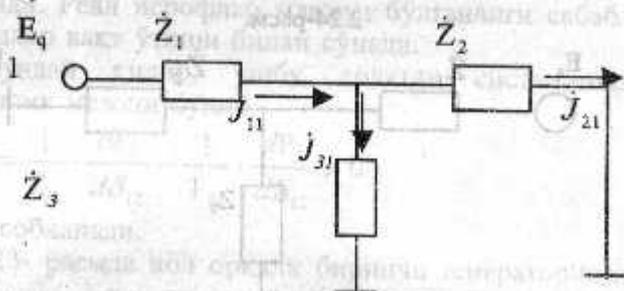


2.26- расм. Икки генераторли системанинг векторларнинг ўзаро жойлашуви.

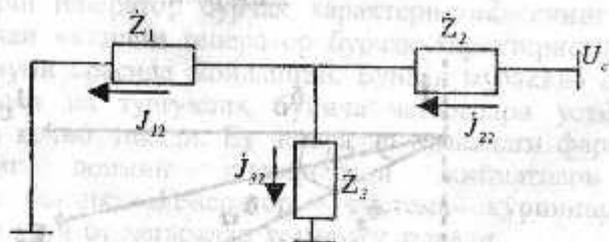
Фараз қиламиз, Z_1, Z_2, Z_3 ўзгармас миқдорлар бўлиб, системанинг ҳолатига боғлиқ эмас (2.25-расм). Бундай фаразлар вақтнинг бирор аниқ лаҳзаси учун ўришли бўлиб,

холатнинг, трансформаторлар, генераторлар, линиялар ва двигателларнинг қаршиликлари ўзгариши билан ўзгаришини назарда тутиш лозим. Бу фараз l 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.

Кўрилатган 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 =ўзгармас, $U_c=0$),

б) иккинчи манбага эга бўлган схема ($E_q=0$, U_c =ўзгармас).

Бу ерда, J_{11} , J_{22} – комплекс хусусий тоқлар; J_{21} , J_{31} , J_{12} , J_{32} – комплекс ўзаро тоқлар; Z_1 , Z_2 , Z_3 – шахобчаларнинг комплекс қаршиликлари.

Генератор тоқининг мусбат йўналиши сифатида берилувчи қувват йўналиши билан бир хил бўлган йўналишни қабул қиламиз.

Юқлама 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, Z_{11} , Z_{22} – комплекс хусусий қаршилиқлар; Z_{12} , Z_{21} – комплекс ўзаро қаршилиқлар.

Бирлаштириш натижасида қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} j_1 &= j_{11} - j_{12} \\ j_2 &= j_{22} - j_{21} \end{aligned} \right\} \quad (2.86)$$

$$\text{Бу ерда, } j_{11} = \frac{\dot{E}_q}{\dot{Z}_{11}}; \quad j_{22} = \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_{22}}; \quad j_{12} = \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_{12}}; \quad j_{21} = \frac{\dot{E}_q}{\dot{Z}_{21}}.$$

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 қучланишларнинг қўшмалари, \hat{Z}_{11} , \hat{Z}_{12} - комплекс қаршиликларнинг қўшмалари.

Комплексе қаршиликлар:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_{11} &= Z_{11} \cdot e^{j\psi_{11}} \\ \hat{Z}_{22} &= Z_{22} \cdot e^{j\psi_{22}} \\ \hat{Z}_{12} &= Z_{21} = Z_{12} e^{j\psi_{12}} \\ Z_{11} &= \sqrt{r_{11}^2 + x_{11}^2} \cdot Z_{22} = \sqrt{r_{22}^2 + x_{22}^2}.\end{aligned}$$

Бу ерда, $Z_{12} = \sqrt{r_{12}^2 + x_{12}^2}$ - мос комплекс қаршиликларнинг модуллари;

$$\psi_{11} = \arctg \frac{r_{11}}{x_{11}}; \quad \psi_{22} = \arctg \frac{r_{22}}{x_{22}}; \quad \psi_{12} = \arctg \frac{r_{12}}{x_{12}}; \quad - \text{мос}$$

комплексе қаршиликларнинг аргументлари.

\hat{U}_c вектори санок ўқи билан устма-уст тушади деб ҳисоблаймиз:

$$\hat{U} = U_c;$$

Бундан тапқари,

$$\hat{E}_q = E_q \cdot e^{j\delta}, \quad \hat{E}_q = E_q e^{-j\delta} \cdot e^{j\alpha} \quad \hat{E}_q \cdot \hat{E}_q = E_q^2$$

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:

$$\begin{aligned}P_r &= \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \cos \psi_{11} - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos(\delta + \psi_{12}) = \\ &= \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cos(90^\circ - \alpha_{11}) - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos[90^\circ - (\alpha_{12} - \delta)]\end{aligned} \quad (2.89)$$

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 аниқланadi:

$$Q_r = \frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \cos \alpha_{11} - \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.91)$$

Системага берилувчи қувват ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned}\hat{S}_c &= P_c + jQ_c = \hat{U}_c \cdot \hat{J}_2 = U_c (-J_{22} + J_{21}) = \\ &= U_c \cdot \left[-\frac{U_c}{Z_{22} \cdot e^{-j\psi_{22}}} + \frac{\hat{E}_q \cdot e^{-j\delta}}{Z_{21} \cdot e^{-j\psi_{21}}} \right] = \\ &= \frac{U_c^2}{Z_{22}} \cdot e^{j\psi_{22}} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot e^{j(-\delta + \psi_{21})} = \\ &= \frac{U_c^2}{Z_{22}} (\cos \psi_{22} + j \sin \psi_{22}) + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} [\cos(-\delta + \psi_{21}) + j \sin(-\delta + \psi_{21})];\end{aligned} \quad (2.92)$$

ёки

$$P_c = -\frac{U_c^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot \sin(\delta + \alpha_{21}) \quad (2.93)$$

$$Q_c = \frac{-U_c^2}{Z_{22}} \cos \alpha_{22} + \frac{U_c \cdot E_q}{Z_{21}} \cdot \cos(\delta + \alpha_{21}) \quad (2.94)$$

Z_{12} ва Z_{21} кучланишлар ва мос шахобчалар тоқлари орасидаги комплекс пропорционалик коэффициентлари бўлганлиги учун (реал микдорларни характерламайди) бу коэффициентларни характерловчи бурчаклар α_{12} ва α_{21} лар манфий ёки мусбат бўлиши мумкинлигини хисобга олиш лозим. α_{11} ва α_{22} микдорлар доимо мусбатдир, чунки улар реал микдорларни характерлайди.

Кувват характеристикасини курамыз. Характеристикаларнинг максимумлари бир-бирларига нисбатан ўзаро қаршиликлар Z_{12} нинг актив ташкил этувчисига боғлиқ бўлган $\pm \alpha_{12}$ бурчакка фарқ қилади (2.28- расм).

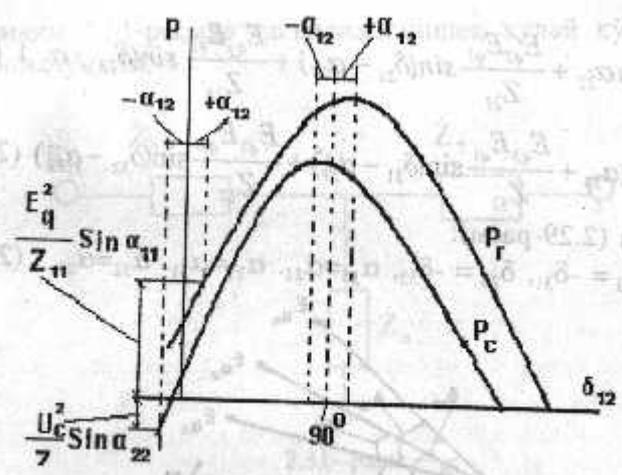
Характеристикаларнинг ординаталаридаги фарқ кувватни қабул қилувчи системага узатишдаги актив кувват исрофи $\Delta P = P_r - P_c$ ни ифодалайди.

Шу каби боғланишлар синхрон генераторда ишлаб чиқарилувчи ва қабул қилувчи системага узатилувчи реактив кувват учун қурилиши мумкин.

Юқоридагиларни умумлаштириб, ихтиёрый мураккабликдаги электр системасида ишловчи i - генераторнинг актив ва реактив кувватлари учун ифодаларни ёзишимиз мумкин:

$$P_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \sin \alpha_{ii} + \sum_{j \neq i}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \sin(\delta_{ij} - \alpha_{ij}) \quad (2.95)$$

$$Q_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \alpha_{ii} - \sum_{j \neq i}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \cos(\delta_{ij} - \alpha_{ij}). \quad (2.96)$$



2.28-расм. Иккита станция мавжуд бўлганда система кувватининг бурчак характеристикалари.

Бу ерда, E_i - i - генераторнинг э.ю.к., E_j - узокдаги j - генераторнинг э.ю.к.

Кувватларининг ифодаларидаги иккинчи ташкил этувчилар $j \neq i$ та маъбанинг, ҳар бирининг киймаги синхрон ўкка нисбатан аниқланувчи ўзаро бурчаклар $\delta_{ij} = \delta_j - \delta_i$ га боғлиқ бўлган (бунда $j \neq i$ - генераторлар сони), синусоидал бурчак характеристикалари йиғиндисини ифодалайди.

Юқорида келирилган электр системаси схемаси (2.25- расм) мисолида кувват 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 кувват ифодалари мос ҳолда куйидаги кўринишларга эга бўлади:

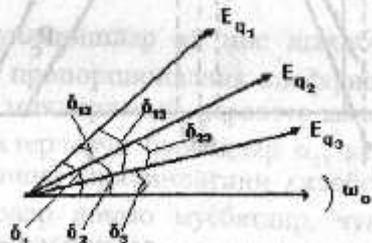
$$P_1 = \frac{E_{q1}^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E_{q1} E_{q2}}{Z_{12}} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) + \frac{E_{q1} E_{q3}}{Z_{13}} \sin(\delta_{13} - \alpha_{13}) \quad (2.97)$$

$$P_2 = \frac{E_{q2}^2}{Z_{22}} \sin \alpha_{22} + \frac{E_{q2} E_{q1}}{Z_{21}} \sin(\delta_{21} - \alpha_{21}) + \frac{E_{q2} E_{q3}}{Z_{23}} \sin(\delta_{23} - \alpha_{21}) \quad (2.98)$$

$$P_3 = \frac{E_{q3}^2}{Z_{33}} \sin \alpha_{33} + \frac{E_{q3} E_{q1}}{Z_{31}} \sin(\delta_{31} - \alpha_{31}) + \frac{E_{q3} E_{q2}}{Z_{32}} \sin(\delta_{32} - \alpha_{32}) \quad (2.99)$$

Бу ерда (2.29-расм):

$$\delta_{12} = -\delta_{21}, \delta_{13} = -\delta_{31}, \delta_{23} = -\delta_{32}, \alpha_{12} = \alpha_{21}, \alpha_{13} = \alpha_{31}, \alpha_{32} = \alpha_{23} \quad (2.100)$$



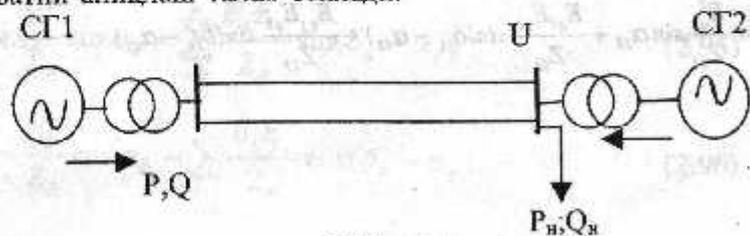
2.29- расм.

Шундай қилиб, ҳосил қилинган ифодалар бўйича мураккаб системадаги генераторларнинг қувватлари барча генераторлар роторларининг бурчақлари фарқи (ўзаро бурчақларга) боғлиқдир. Қувват тенгламаларидаги ташкил этувчилар сони доимо, устма-уст қўйиш принципларидан келиб чиққанидек, генераторлар (станциялар) сонига тенгдир.

2.13. Узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси

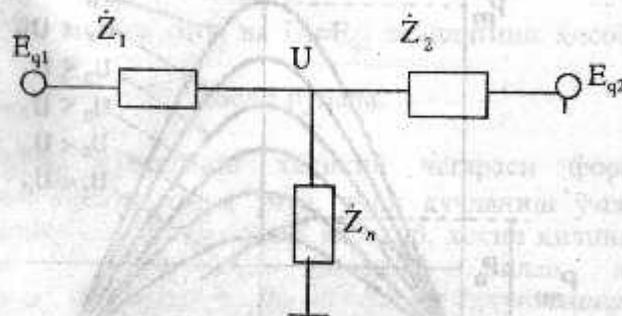
Иккита станциядан ташкил тошган системанинг схемасини кўриб ўтамиз (2.30-расм).

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.

Комплексе қаршиликларнинг актив ташкил этувчилари реактив ташкил этувчиларига нисбатан жуда кичик деб ҳисоблаймиз. Бундай ҳолда

$$Z_1 = X_{r1} + X_{l1} + \frac{X_{l1}^2}{2} = X_1$$

$$Z_2 = X_{r2} + X_{l2} = X_2$$

$$Z_n = \frac{U^2}{S_n} (\cos \alpha_n + j \sin \alpha_n) = X_n$$

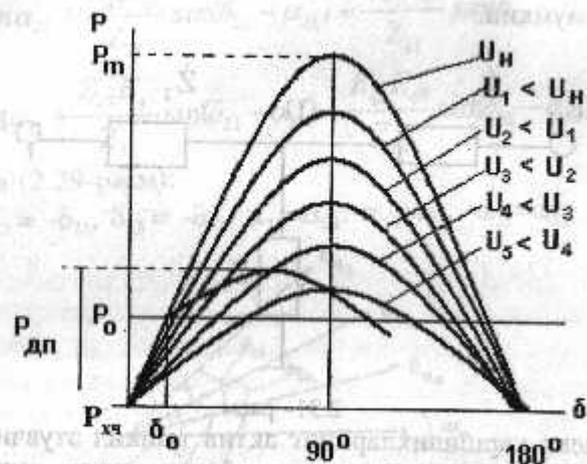
$$Z_{12} = X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_n}$$

Генераторнинг бурчак характеристикаси $P=f(\delta)$ ни юқлама шинасида кучланиш турича бўлган ҳоллар учун қуйидаги формула асосида курамиз:

$$P = \frac{E_q \cdot U}{X_1} \sin \delta \quad (2.101)$$

Бу ерда, $U=U_n$ — юқламадаги жорий кучланиш (номинал ҳолатда $U_n=U_{НО}$).

Узатилувчи қувват қандайдир микдорга ошганда юқламадаги кучланиш $U_l < U_n$ гача пасаяди ва бу кучланишга мос келувчи бурчак характеристикасининг максимуми пастрок $P_{ml} < P_{mn}$ бўлади. Агар бу жараёни давом эттирсак характеристикалар тўплами ҳосил бўлади (2.32-расм).



2.32- расм. Кувватнинг ҳақиқий чегараси.

Курилган характеристикалар ҳар бир конкрет ҳолат учун юклама шинасидаги кучланиш ўзгармас бўлган ҳолат $U_1 = \text{ўзгармас}$ учун келтирилган. Бу шароит идеаллаштирилган бўлиб, амалда узатилувчи кувват ошганда генераторлар, трансформаторлар ва линияларнинг қаршилиқларидаги кучланиш пасайиши ошади ва бунга мос равишда юклама шинасидаги кучланиш U камаяди. Биз характеристикани U нинг камайишини ҳисобга олиб қуришимиз мумкин. Бу характеристиканинг максимуми $U = \text{ўзгармас}$ деб қабул қилинган ҳолатдагига нисбатан пастроқдан ўтади.

Юклама шинасидаги кучланиш ўзгармас $U = \text{ўзгармас}$ бўлган шароитда қурилган характеристика идеал характеристика деб юритилади. Бу характеристиканинг максимуми эса **куватнинг идеал чегараси** деб юритилади.

Юклама шинасидаги кучланишнинг ўзгариши ҳисобга олиниб қурилган характеристика ҳақиқий характеристика деб юритилади. Бу характеристиканинг максимуми эса **куватнинг ҳақиқий чегараси** деб юритилади. Бу характеристиканинг максимумини (ҳақиқий чегарасини) қуйидаги формула бўйича топишимиз мумкин:

$$P_r = \frac{E_g^2}{Z_{11}} \cdot \sin \alpha_{11} + \frac{E_g \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12}). \quad (2.102)$$

$\delta - \alpha_{12} = 90^\circ$, $\sin(\delta - \alpha_{12}) = 1$; ва $U_c = E_{q2}$ эҳкалигини ҳисобга ол-

сак, $P_{\delta, n} = \frac{E_{q1} \cdot E_{q2}}{Z_{12}}$ ҳосил бўлади.

Узатилувчи кувватнинг ҳақиқий чегараси формуласи $Z_n = \text{ўзгармас}$ бўлган ҳолат учун, яъни кучланиш ўзгарганда юклама қаршилиги ўзгармас деб қаралиб, ҳосил қилинган.

Амалда кучланишнинг ўзгариши билан юклама қаршилиги ҳам ўзгаради ва бу юклама ва бутун системанинг турғунлик шартларига сезиларли таъсир кўрсатади.

2.14. Электр системасининг статик турғунлиги заҳирасини таъминлаш чоралари

Электр системасининг статик турғунлиги – бу системанинг ҳолат параметрларини кичик турткилардан сўнг, истеъмолчиларни лозим бўлган актив ва реактив кувватлар билан таъминлаган ҳолда, дастлабки ҳолатига қайтиш имкониятидир.

Электр системаси статик турғунлигининг бузилишини олдини олиш мақсадида қуйидаги шартларнинг бажарилиши лозим:

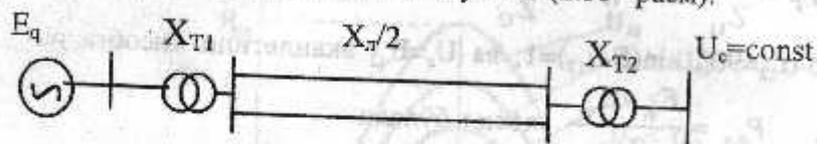
- электр узатиш линиялари орқали узатилувчи энг катта кувватлар уларнинг рухсат этилган қийматларидан ошмаслиги шарт. Бу генератор роторларининг чегаравий силжиш бурчакларини ўрнатишга тенг кучлидир;

- кучланиш даражалари, хусусан юклама тугууларидан рухсат этилганидан кам бўлмаслиги шарт.

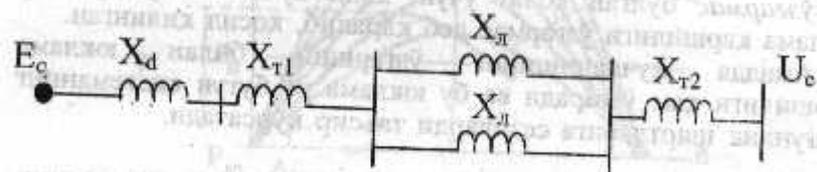
Бу шартлар электр системасини иплатиш ва лойиҳалаш жараёнларида мос жиҳозларни ташлаб амалга оширилади, чунки уларнинг параметрлари бу шартлардан келиб чиқади ва тегишли статик турғунлиқни таъминлайди.

Статик турғунлик заҳираси қиймати салмоқли амалий аҳамиятга эга, уни таъминлаш ва ошириш эса кўнлаб факторларга боғлиқ.

Улардан энг муҳимларини кўриб ўтамиз. Электр система-
сининг содда схемаси берилган бўлсин (2.33- расм).



2.33- расм.



2.34- расм.

Генератордан узатишувчи 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:

$$P_r = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{\alpha 2}} \cdot \sin \delta = P_m \cdot \sin \delta \quad (2.104)$$

Бу ерда $P_m = \frac{E_q U_c}{X_{\alpha 2}}$, $X_{\alpha 2} = X_d + X_{T1} + \frac{X_{\pi}}{2} + X_{T2}$.

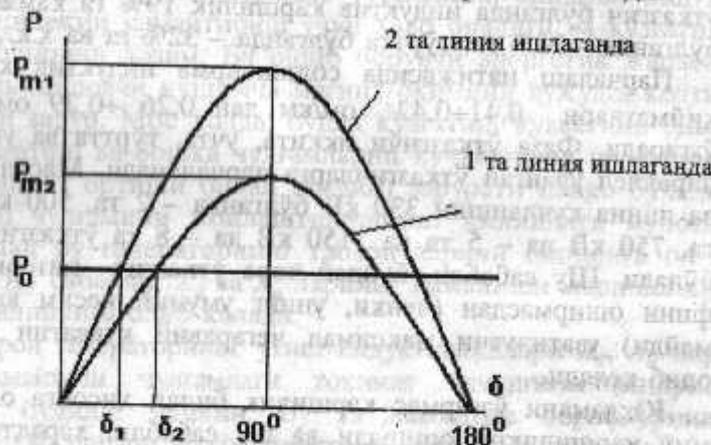
Формуланинг тузилишидан кўринадики, P_m нинг ифодаси-
га кирувчи микдорларга таъсир этиш ёки уларни ўзгартириш
орқали характеристиканинг максимумини ошириш, яъни узати-
лиши мумкин бўлган энг катта қувватни ошириш ва шу
орқали қуйидаги муносабатдан аниқланувчи статик турғунлик
захирасини ошириш мумкин:

$$K_c = \frac{P_m - P_c}{P_c} \cdot 100\% \quad (2.105)$$

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 турғунлиқни ҳисоблашда номинал маълумотлар – қувват,
қиска туташув кучланишлари билан аниқланувчи берилган
қаршилик кўринишида ифодаланади. Электр узатиш линияла-
рининг формулага кирувчи қаршиликлари занжирлардан бири,
бир қисми ва бўлаги узилган ҳоларда ўзгариши мумкин. X_{π}
қувват ифодасининг махражига кирганлиги сабабли мос ҳолда
бурчак характеристикасининг максимуми ўзгаради: занжирлар-
дан 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 қўшилади.

Этиборга олиш лозимки, узатилиши мумкин бўлган энг
катта қувват ва статик турғунлик захирасини ошириш
мақсадида электр узатиш линияларининг параллел занжирла-
ри 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 парча-
лаш тадбири қўлланилади (кучланишнинг юқорироқ сифига

ўтишдан ташқари). Маълумки, линиянинг 1 км узунлигига келтирилган солиштирма индуктив қаршилик қуйидагича аниқланади:

$$X_d = 0.144 \lg \frac{D_{\text{фр}}}{r_s}$$



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 гўё материал сарфи ўзгармаган ҳолда ўтказгич кесим юзасини ошириб, майдон ташқарига сиқиб чиқарилади. Белгилаш лозимки, ўтказгични парчалашда ҳар бир кўшимча ўтказгич янада камроқ ва камроқ самара беради. Масалан, фазада иккита ўтказгич бўлганда индуктив қаршилик 19% га камаяди, учта бўлганда — 28% га, тўртта бўлганда — 32% га ва ҳ.к.

Парчалаш натижасида солиштирма индуктив қаршилик қийматлари 0,41±0,42 ом/км дан 0,26 ±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) узатиловчи 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 микдорлари ва уларнинг нархи ўртасида маълум алоқа мавжуд, чунки индуктив қаршиликлар электромагнит юкламалар микдори билан

аниқланади. Синхрон генераторнинг индуктив қаршиликларини, хусусан X_d ни камайтириш машина габаритларини ошириш ва фойдали иш коэффициентини камайтириш билан боғлиқ бўлган ўта қийин ва қиммат йўлдор. Бу масалани тўлиқроқ кўриб ўтамиз.

Маълумки, синхрон индуктив қаршиликларнинг қийматлари машинанинг статор ва ротор ҳаво оралиғи микдорига тесқари пропорционалдор:

$$X_d \equiv \frac{1}{\varepsilon} \quad X_q \equiv \frac{1}{\varepsilon}$$

Бу ерда, ε — статор ва ротор орасидаги ҳаво оралиғи.

Шу билан бир вақтда X_d кўзгатиш токига ҳам тесқари пропорционал:

$$X_d \equiv \frac{1}{i_j}$$

Бу муносабатлардан кўришиб турибдики, синхрон индуктив қаршиликни камайтириш учун ҳаво оралиғи ва кўзгатиш токни ошириш лозим. Бу ошиб борувчи энергетик жараёнларни таъминловчи кўшимча магнит оқимини вужудга келтириш учун зарур. Мос ҳолда, бунда кўзгатиш қувватини ошириш, кўзгатиш ва бошқа чулғамларни кучайтириш (у материал сарфининг ортиши билан боғлиқ) зарурати пайдо бўлади. Кўзгатиш чулғамини жойлаштиришнинг қийинлиги муносабати билан бу генераторнинг габаритларини ошишига олиб келади. Шу сабабли, X_d ва X_q ларнинг камайиши машинанинг қимматлашишига олиб келади.

Синхрон генераторнинг ўтиш индуктивликлари X_d , X_q ларнинг камайиши чулғамдаги токнинг зичлигини ошириш ҳисобига бўлиши мумкин. Бу ўз навбатида исрофларнинг ошиши, фойдали иш коэффициентининг камайиши, генераторнинг оғирлига 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

ва ўтиш индуктивликларини компенсациялаш амалга оширилади.

Э.ю.к. ва кучланиш. Генераторнинг э.ю.к.ни ўзгариши (кўрилатган ҳолатда E_g) иккита муҳим параметрлар – қувват коэффициентини ва машина шиналаридаги кучланишнинг ўзгаришига олиб келади. Замонавий юқори даражада фойдаланилувчи синхрон генераторларнинг номинал қувват коэффициентларининг қийматлари $\cos\varphi=0,9-1$ оралигида бўлади.

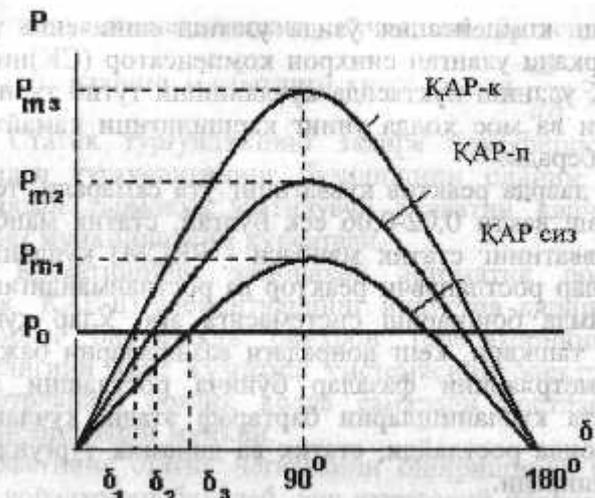
Берилган актив қувватда номинал қувват коэффициентининг ошиши номинал реактив қувватнинг камайишига, генераторнинг габаритлари ва нархини камайишига олиб келади, чунки, бунда машинанинг тўла қуввати камаяди ($\cos\varphi_n = \frac{P_{ГН}}{S_{ГН}}$) ва мос ҳолда актив ва конструктив материал

сарфи кам бўлади. Бошқа томондан $\cos\varphi$ нинг ортиши э.ю.к. E_g нинг камайишига олиб келиб, бу статик турғунлик захирасини камайтиради. Бундан ташқари, генераторда ишлаб чиқарилувчи реактив қувватни узатишнинг иқтисодий жиҳатдан оптимал узунлиги 25-70 км масофа билан чекланади. Юклама учун зарур бўлган реактив қувват истеъмол қилиш жойида ишлаб чиқарилиши шарт.

Масала, ҚАР-к мавжуд бўлганда синхрон генераторнинг ички қаршилиги, трансформаторнинг қаршилиги $X_{ТГ}$, генераторнинг кучланишини ўзгармаслигини ($U_f=const$) таъминлайдиган кўзгатишини мос ҳолда ростлаш ҳисобига компенсацияланиши мумкин. Бу ҳолатда бурчак характеристикасининг максимуми қуйидаги муносабатдан аниқланиши мумкин:

$$P_{m1} = \frac{U_f \cdot U_c}{X_n + X_{T2}} \quad (2.106)$$

Солиштириш учун 2.36-расмда турли типдаги ҚАР мавжуд бўлганда бурчак характеристикалари келтирилган.



2.36- расм. Турли типдаги ҚАР мавжуд бўлганда соддалаштирилган бурчак характеристикалари.

Актив қувват формуласи (2.106) дан кўринадики, унинг қиймати генератор э.ю.к.си ва системанинг кучланиши кўпайтмаси билан белгиланади, ёки, умумий кўринишда, кучланишнинг квадратига боғлиқдир. Шу сабабли, биринчи яқинлашишда линия кучланишининг икки марта ортиши узатиш занжирлари сонини тўрт марта ортишига тенг кучли деб ҳисоблаш мумкин. Бундан узатиш мумкин бўлган энг катта қувватни ошириш учун узатма кучланишини ошириш узатма занжирлари сонини оширишга нисбатан янада иқтисодий ҳисобланиши аён бўлади.

Линия параметрларини камайтириш. Электр узатиш линиялари параметрларининг бўйлама ва кўндаланг компенсациялаш ҳам узатиш мумкин бўлган энг катта қувватни ва статик турғунлик захирасини ошириш чораси ҳисобланади.

Бўйлама компенсация конденсаторларни линияга кетма-кет улаганда қаршилиқ миқдори X_n дан $X_n - X_c$ гача камаяди (бу ерда X_c – конденсаторнинг сизим қаршилиги). Бу чора, хусусан, узун электр узатиш линиялари бўлганда самаралидир.

Кўйдаланг компенсация ўзида узатиш линиясига трансформатор орқали улашган синхрон компенсатор (СК)ни ифода қилади. СК улашш нуктасида кучланишни тутиб туриб, линия узунлиги ва мос ҳолда унинг қаршилигини камайтириш эффектини 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 сизимларини компенсацияловчи ва улашш нуктасида кучланишни, ўзакнинг тўйиниш характеристикасини эгри чизиклилиги ҳисобига, тутиб турувчи ростланувчи ва ростланмайдиган реакторлар ҳам қиради.

Синхрон генераторнинг статик турғунлик мезони бўлиб $\frac{dP}{d\delta} > 0$ шарт ҳисобланиши ва узатилувчи максимал қувват P_x 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

қабул қилувчи чеккасидаги кучланиш ўртасидаги бурчак бўйича ҳосиланинг мусбатлиги ҳисобланади, $\frac{dP}{d\delta} > 0$.

3. Статик турғунликнинг захира коэффициенти электр системаси турғунлигининг бузилишини олдини олиш учун станциядан гармоққа узатилувчи қувватни қанча миқдорга 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.

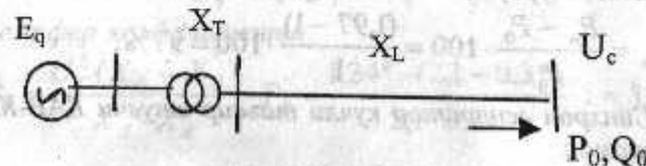
Қувватнинг статик чегарасини оширишнинг келтирилган барча чораларини баҳолаб, энг иқтисодий чоралар генератор ва юкламалар шиналаридаги кучланишларни ўзгармас тутиб туришга йўналтирилган чоралар деб хулоса ҳосил қилиш мумкин. Генераторларда турли типдаги ҚАРлар ва реактив қувватнинг замонавий тез ишловчи 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: $U_c=1, P_0=1, Q_0=0,4, X_L=0,3, X_T=0,12, X_d=2,1, X_d'=0,35, T_J=7 \text{ сек}, T_d'=1 \text{ сек}$.



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.

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,4 \cdot 2,52)^2 + (1 \cdot 2,52)^2} = 3,22$$

Узатилувчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} = \frac{3,22 \cdot 1}{2,52} = 1,278.$$

Статик турғунликнинг захира коэффициентини

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(1,278 - 1)}{1} \cdot 100 = 27,8\%.$$

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.

$$E' = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X'_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X'_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,4 \cdot 0,77)^2 + (1 \cdot 0,77)^2} = 1,512$$

Узатилувчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{E' \cdot U_c}{X_{d\Sigma}} = \frac{1,512 \cdot 1}{0,77} = 1,97.$$

Статик турғунликнинг захира коэффициентини

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(1,97 - 1)}{1} \cdot 100 = 97\%.$$

3) Синхрон генератор кучли таъсир этувчи ҚАР-К га эга, $U_T = \text{ўзгармас}$.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X_{\Sigma} = X_T + X_L = 0,12 + 0,3 = 0,42.$$

Генератор ишчаларидаги кучланиш

$$U_T = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X_{\Sigma}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{0,4 \cdot 0,42}{1} \right)^2 + (1 \cdot 0,42)^2} = 1,24$$

Узатилувчи қувват чегараси

$$P_m = \frac{U_T \cdot U_c}{X_{\Sigma}} = \frac{1,24 \cdot 1}{0,42} = 2,95.$$

Статик турғунликнинг захира коэффициентини

$$K_{cm} = \frac{P_m - P_0}{P_0} \cdot 100 = \frac{(2,95 - 1)}{1} \cdot 100 = 195\%.$$

Берилган шароитларда тадқиқ қилинаётган система учун характеристик тенглама (2.29) га мувофиқ учинчи даражали бўлади:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

$$\text{Бу ерда: } a_0 = T_J \cdot T_d'; \quad a_1 = T_J + T_d' P_d; \quad a_2 = c 2 T_d' + P_d;$$

$$a_3 = c_1 = \frac{\partial P}{\partial \delta}.$$

Параметрларнинг коэффициентларига кирувчи қийматларни топамиз.

Инерция доимийси

$$T_J = \frac{T_J [c]}{\omega_0} = \frac{7}{314} = 0,022$$

$$c_1 = \frac{\partial P}{\partial \delta} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \cos \delta = \frac{3,22 \cdot 1}{2,52} \cdot 0,623 = 0,795$$

$$\text{Бу ерда, } \cos \delta = \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_m} \right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{1,278} \right)^2} = 0,623.$$

Демпфер коэффициентини

$$P_d = \frac{U_T^2 (X_d - X'_d)}{X_d \cdot X'_d} \cdot T_d' = \frac{1,24^2 \cdot (2,1 - 0,35)}{2,1 \cdot 0,35} \cdot 1 = 3,66$$

$$c_2 = \frac{\partial P_g}{\partial \delta} = \frac{E_q U_c}{X'_{\Sigma}} \cos \delta - U_c^2 \cdot \frac{(X_d - X'_d)}{X'_{\Sigma} \cdot X'_{\Sigma}} \cdot \cos 2\delta =$$

$$= \frac{(1,37 \cdot 1)}{0,77} \cdot 0,623 - \frac{(2,1 - 0,35)}{2,52 \cdot 0,77} \cdot 0,223 = 1,795,$$

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 bajarилди – 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 илдишлар маъний ҳақиқий қисмларга эга.

Синов саволлари

1. Кичик оғишларда турғунлик муаммосининг маъноси нимадан иборат?

2. Узатилувчи қувватнинг идеал чегараси нима? У нималарга боғлиқ?

3. Статик турғунликнинг захира коэффициентини нима?

4. Синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини чиқариштиришнинг маъноси нимадан иборат?

5. Тадқиқ қилинаётган системанинг характеристик тенгламаси илдишлари ва улардаги ўтиш жараёнининг характери ўртасида қандай аълоқа мавжуд?

6. Гурвиц статик турғунлик мезони қандай ифодаланган?

7. Статик турғунлик бузилишининг қандай кўринишларини биласиз ва улар қачон юзага келади?

8. Суперпозициялап (устма-уст кўйиш) усули. Унинг маъноси нимадан иборат?

9. Узатилувчи қувватнинг ҳақиқий чегараси нима?

10. Узатилувчи қувват чегараси. Қачон у турғунлик чегараси билан бир хил бўлади?

11. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзини кўзга тиши. Уларнинг турлари ва фарқлари.

12. Синхрон генераторларнинг ўз-ўзидан чайқалиши ва уни содир бўлишининг сабаблари.

13. Статик турғунлик захирасини оширишнинг қандай чораларини биласиз? Уларни санаб ўтинг ва тушунча беринг.

3. ЭЛЕКТР СИСТЕМАСИНING ДИНАМИК ТУРГУНЛИГИ

3.1. Масалавнинг умумий тавсифи

Электр системаси истеъмолчиларни электр энергия билан нафақат ҳолат параметрларининг кичик ўзгаришида, балки унинг кескин ўзгаришларида ҳам узлуксиз ва тургун таъминлаши шарт. Бу ўзгаришлар катта қувватли юкламалар, ҳаво электр узатиш линиялари, генераторларни ихтиёрсиз равишда ўчирилиши ёки системада содир бўладиган қиска туташувлар натижасида юз бериши мумкин. Булар орасида энг оғири генераторлар шинасига яқин жойда содир бўладиган қиска 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 қиска туташув таъсирида юклама электр энергиясиз 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_e моментлари орасидаги мувозанатнинг бузилишидир. Синхрон генератор роторининг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасидан кўринадики, турбинанинг бутун энергияси

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_0 - P_r = P_0 - \frac{E_q \cdot U}{X_{d\tau}} \sin \delta, \quad (3.1)$$

генератор роторининг авариявий тезланишига сарфланади, чунки $P_e = 0$. 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 характерини 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_r ва бурчак δ инерционлик туфайли жараёнинг 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. E_q билан система кучланиши U_0 орасидаги бурчак $\delta = f(t)$ ва бошқа параметрларнинг вақт бўйича ўзгариши аниқланади.

Ўрганилаётган жараёнинг 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;

- қиска туташув даврида статор қиска туташув токнинг аperiодик ташкил этувчиси ва роторнинг магнит майдони ҳосил қилувчи тормозловчи момент генератор шинасига яқин жойда содир бўладиган 3- фазали қиска туташувда турбинанинг айлантирувчи моментини, тахминан, 15%га камайтириш орқали ҳисобга олинади. Уч фазали қиска 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 сабаби 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 берилди;

- тахминий ҳисоблашларда ҚАРнинг таъсири ўткинчи X'_d қаршиликдан 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;

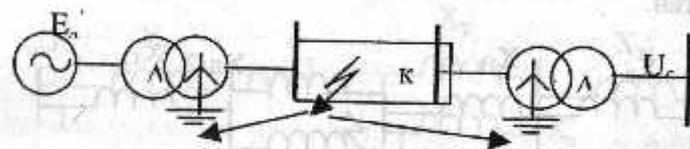
- тескари кетма-кетлик тоқлари ротор айланишига тескари йуланишда айланувчи магнит майдонини ҳосил қилади ва бу майдоннинг иккиланган частота билан айланиши натижасида иккиланган частота билан ўзгарувчи момент ҳосил бўлади. Роторнинг механик инерцияси катта бўлганлиги сабаби роторнинг тезлиги тескари кетма-кетлик тоқи ҳосил қилувчи моментнинг ўзгаришига эргаша олмайди. Шу сабабли натижавий қувват полга тенг бўлади. Тескари кема-кетлик тоқи ҳосил қилувчи қувват исрофи алмаштириш схемасига тегишли қаршиликни 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 қаршилик ортидаги ўткинчи э.ю.к. E'_q ўзгармас деб ҳисоблаймиз.

Бурчак характеристикаси ва ҳолат параметрларини шартли равишда қуйидагича белгилаймиз:

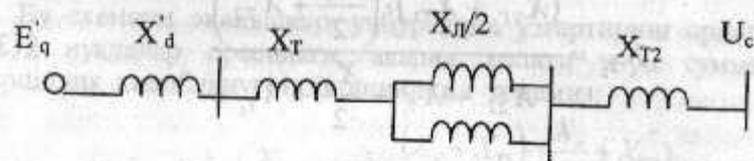
- I – нормал ҳолат;
- II – авариядан кейинги ҳолат;
- III – авария ҳолати.



3.1- расм. Электр системасининг схемаси.

Нормал ҳолат.

Нормал ҳолат учун схема (3.2-расм):



3.2- расм.

Системанинг суммавий қаршилиги:

$$X'_{d\sigma} = X'_d + X_{r1} + X_{r2} + \frac{X_d}{2} \quad (3.2)$$

Нормал ҳолат бурчак характеристикасининг максимуми:

$$P_{m1} = \frac{E'_q \cdot U_c}{X'_{d\sigma}} \quad (3.3)$$

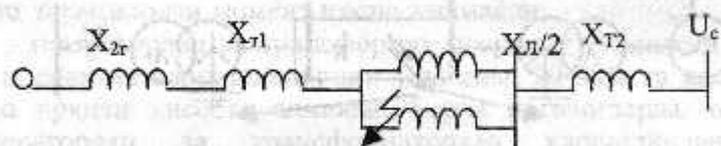
Авария ҳолати

Фараз қиламиз, ҳаво электр узатиш линиясининг бошланишида носимметрик қисқа туташув содир бўлди. Авария ҳолатининг қаршилигини топиш учун симметрик ташкил этувчилар усулидан фойдаланамиз.

Ушбу усулга кўра, одатда, носимметрик қисқа туташувни «авария шунти» деб аталувчи қушимча қаршилик ортида содир бўлган симметрик қисқа 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.

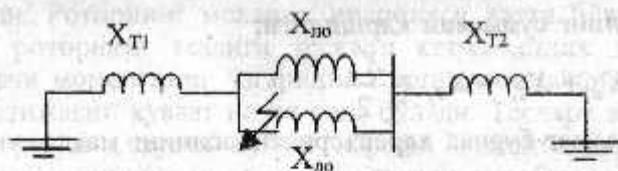


3.3- расм.

Тескари кетма-кетликнинг суммавий қаршилиги:

$$X_{2x} = \frac{(X_{2r} + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_s}{2} + X_{T2} \right)}{X_{2r} + X_{T1} + \frac{X_s}{2} + X_{T2}} \quad (3.4)$$

Нолинчи кетма-кетлик токи учун схема 3.4- расмда тасвирланган.



3.4- расм.

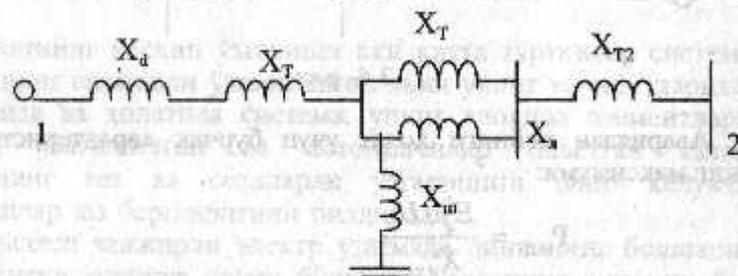
Нолинчи кетма-кетлик токи учун суммавий қаршилиқ:

$$X_{0z} = \frac{X_{T1} \cdot \left(\frac{X_{20}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{T1} + \frac{X_{20}}{2} + X_{T2}} \quad (3.5)$$

Линиянинг нолинчи кетма-кетлик қаршилиги:

$$X_{00} = (2+3)X_{0z}$$

Авария ҳолати учун комплекс схема авария шунтини ҳисобга олиб тузилади (3.5- расм).



3.5- расм.

Бу схемани эквивалент учбурчакка ўзгартириш орқали 1 ва 2 нукталар орасидаги, авария ҳолати учун суммавий қаршилиқ ҳисобланувчи қаршилиқни топамиз:

$$X_{\Sigma III} = (X_d + X_T) + \left(\frac{X_s}{2} + X_{T2} \right) + \frac{(X_d + X_T) \cdot \left(\frac{X_s}{2} + X_{T2} \right)}{X_{ш}}; \quad (3.5a)$$

Авария шунтини қиймати қуйидагича қабул қилинади:

- бир фазали қисқа туташув учун $X_{ш} = X_{2r} + X_{20}$;
- икки фазали қисқа туташув учун $X_{ш} = X_{2x}$;
- ер орқали икки фазали қисқа туташув учун

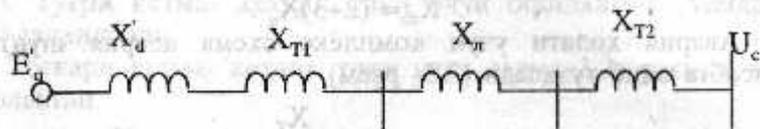
$$X_{ш} = \frac{X_{2r} \cdot X_{20}}{X_{2r} + X_{20}} \quad (3.6)$$

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 заنجири узилган авариядан кейинги ҳолатнинг суммавий қаршилиги (3.6-расм):

$$X_{d\Sigma V} = X_d + X_T + X_s + X_{T2} \quad (3.8)$$



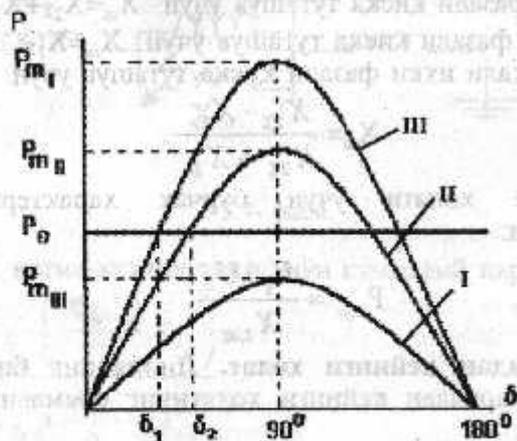
3.6- расм.

Авариядан кейинги ҳолат учун бурчак характеристикасининг максимуми:

$$P_{mII} = \frac{E_q \cdot U_c}{X_{d\Sigma II}} \quad (3.9)$$

Шундай қилиб, қабул қилинган шартларга кўра оддий электр системасининг динамик турғунлигини ҳисоблаш юқорида кўрилган алмаштириш схемасидан келиб чиқиб бажарилади. Агар қисқа 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.

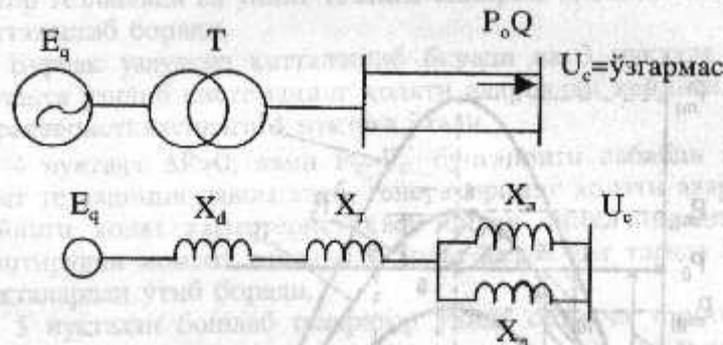


3.7- расм. Нормал (I), авариядан кейинги (II) ва авария (III) ҳолатларининг бурчак характеристикаси.

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_0 , Q_0 , U_c аниқ булса, у ҳолда:

$$E_q = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c}\right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X_{d\Sigma}}{U_c}\right)^2} \quad (3.10)$$



E_q билан U_0 орасидаги бурчак:

$$\delta_0 = \arctg \frac{P_0 \cdot X_{\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 \cdot X_{\Sigma}} \quad (3.11)$$

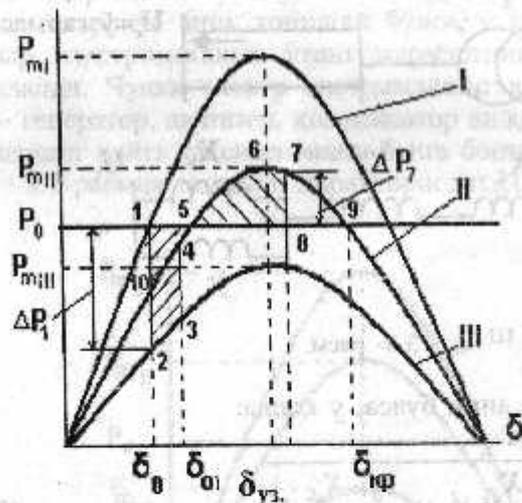
Системанинг бошлангич ҳолатига мос келувчи бурчак характеристикаси қуйидаги муносабат бўйича аниқланилади:

$$P = \frac{E_g U_c}{X_{\Sigma}} \sin \delta \quad (3.12)$$

Характеристиканинг максимуми:

$$P_{mI} = \frac{E_g \cdot U_c}{X_{\Sigma}} \quad (3.13)$$

Бу ерда, $X_{\Sigma} = X_d + X_T + X_s / 2$



3.9- расм. Майдонлар усулини тушунтиришга доир.

Фараз қиламиз, электр узатиш линиясининг битта занжири қиска туташувни узиш билан бир пайтда ўчирилди. Бу ҳолатда қувват формуласининг махражи қуйидагига тенг бўлади:

$$X_{\Sigma} = X_d + X_T + X_s \quad (3.14)$$

ва авариядан кейинги ҳолат характеристикасининг максимуми

$$P_{mII} = \frac{E_g \cdot U_0}{X_{\Sigma}} \quad (3.15)$$

Нормал ҳолат характеристикасидан (I) авария ҳолат характеристикасига (II) ўтиш (3.9- расм) бурчакнинг нормал ҳолатдаги қиймати δ_0 да содир бўлади (1 нуктадан 2 нуктага).

Генераторнинг валида пайдо бўладиган баланслашмаган момент $\Delta P = P_T - P_G$ тезлаштирувчи бўлади, чунки бунда турбинанинг қуввати инерционлиги туфайли ўзгармасдан қолиб, генераторнинг тормозловчи қуввати камаяди $P_T > P_G$. Натижада, ротор тезлашади ва унинг тезлиги синхрон тезликка нисбатан катталашиб боради.

Бурчак узлуксиз катталашиб боради ва 3 нуктада қиска туташув узилиб системанинг ҳолати авариядан кейинги ҳолат характеристикасидаги 4 нуктага ўтади.

4 нуктада $\Delta P > 0$, яъни $P_T > P_G$ 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 ортиқча тормозловчи момент пайдо бўлади, чунки бу нуктадан кейин $\Delta P < 0$, яъни $P_T < P_G$ ва 7 нуктада роторнинг нисбий ҳаракати тугайли ва унинг тезлиги яна синхрон тезликка тенглашади. Бу нуктада ҳолат нотурғун, чунки $\Delta P < 0$ ($P_T < P_G$) бўлганлиги сабабли генератор валида тормозловчи характерга эга бўлган ортиқча қувват устушлик 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 паства 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_{12345}), 5-6-7-

8 майдон эса тормозланиш майдони дейилади ($S_{тп}$). 5-6-7-9-8-5 майдон мумкин бўлган тормозланиш майдони дейилади ($S_{тм}$). Ротор бир нечта 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:

$$S_{тм} > S_{тп} \quad (3.16)$$

Бу ерда, $S_{тм}$, $S_{тп}$ - 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

$$T_r \cdot \frac{d^2 \delta}{dt} = P_o - P_m \cdot \sin \delta \quad (3.17)$$

эгри чизикли ҳисобланади ва у умумий ечимга эга эмас. Шу сабабли, уни ечиш учун майдонлар усулини қўллаш мумкин.

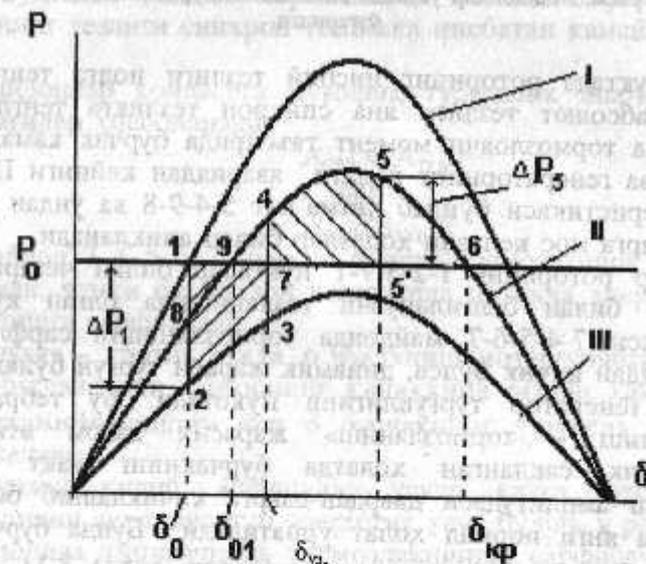
Бу ҳолатда генератор ротори ҳаракатининг характерини ва $\delta=f(t)$ боғланишини роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламасини ечмасдан, унинг механик энергияси ўзгаришини кўриб чиқиш орқали аниқлаш мумкин.

Носимметрик ёки узоклашган қиска туташув учун динамик турғунликнинг бузилиш жараёни яна бир бор кўриб ўтамиз ва шу мисолда бурчакнинг вақт бўйича ўзгариш характеристикаси $\delta=f(t)$ ни кураимиз.

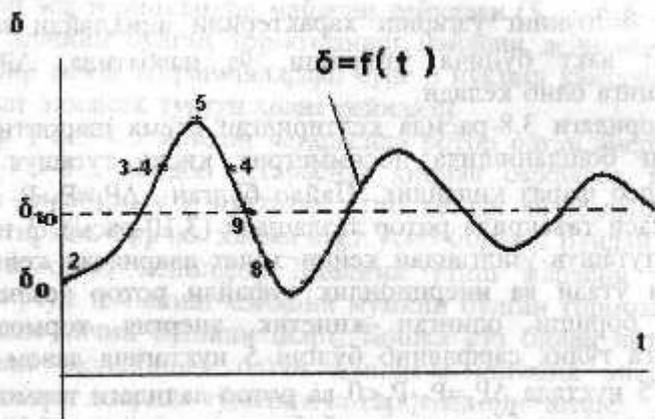
Генератор валида моментлар балансининг бузилиши натижасида пайдо бўлувчи қувват ортирмаси $\Delta P = P_T - P_r = P_o -$

бурчак $\delta=f(t)$ нинг ўзгариш характерини аниқлайди ва бурчакнинг вақт бўйича ўзгариши, ўз навбатида, ΔP ниш ўзгаришига олиб келади.

Уқоридаги 3.8-расмда келтирилган схема шароитида линиянинг бошланишида носимметрик қиска туташув содир бўлди деб фараз қилайлик. Пайдо бўлган $\Delta P_1 = P_T - P_r$ қувват ортирмаси таъсирида ротор тезлашади (3.10-расм). 3 нуктада қиска туташув узилгандан кейин ҳолат авариядан кейинги 4 нуктага ўтади ва инерционлик туфайли ротор тезлигининг ортиб бориши олинган кинетик энергия тормозланиш ҳисобига тўлиқ сарфлашиб бўлган 5 нуктагача давом этади. Бирок 5 нуктада $\Delta P_5 = P_T - P_r < 0$ ва ротор валидаги тормозловчи момент ортиқча бўлганлиги сабабли ҳолат нотурғун бўлади.



3.10- расм. $\delta=f(t)$ боғланишини 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 тезликка тенглашади. Ортиқча тормозловчи момент таъсирида бурчак камаё 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 қўшимча 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 ўрнаилади. 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 тезланиши натижасида унда жамланган энергия қуйидагича аниқланади:

$$A_{Тез} = \int_{\delta_0}^{\delta_{01}} \Delta P_1 d\delta = \text{майдон } 123791 = S_{Тез} \quad (3.18)$$

Шундай қилиб роторнинг тезланишида унда жамланган қўшимча кинетик энергия тезланиш майдонига эквивалентдир.

Тормозланишда сарфланган энергия қуйидаги ифода орқали аниқланилади:

$$A_{Тор} = \int_{\delta_{01}}^{\delta_5} \Delta P_5 d\delta = \text{майдон } 74557 = S_{Тор} \quad (3.19)$$

5 нуктада роторнинг тезланиш 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 шarti бўлиб қуйидагилар ҳисобланади:

$$A_{Тез} < A_{Тор} \quad (3.20)$$

ёки

$$S_{Тез} \leq S_{Тор} \quad (3.21)$$

Майдон 7 4 5 6 7 мумкин бўлган тормозланиш майдони дейилади, чунки бу майдон чегарасида ортиқча энергия тормозланишга сарфланади.

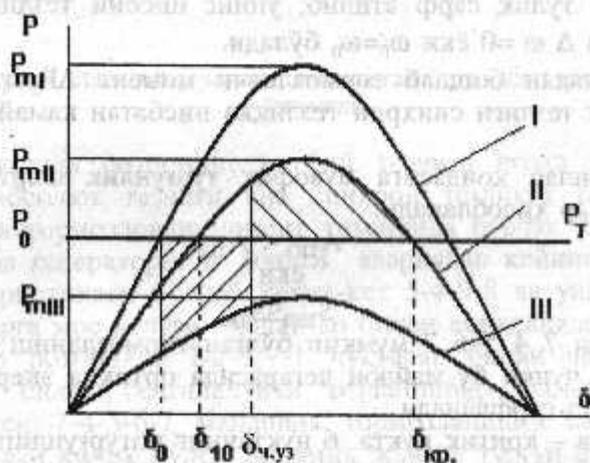
6 нукта – критик нукта. 6 нуктанинг нотурғунлиги шу билан аниқланадики, роторнинг кичиккина огиши ҳам роторнинг тормозланишига ёки δ бурчакнинг узлуксиз ўсишига олиб келади.

Шундай қилиб, майдонлар усули қатта турткиларда турғунликни аниқлайдиган энергетик усул бўлиб, у роторнинг тезланишида тўловчи 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 турғунлиқнинг сақланишини ёки унинг йўқолишини аниқлаш мумкин.

3.5. Қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати

Майдонлар қондаси 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 $\delta_{\text{ч.уз}}$ ни аниқлаймиз.

Ҳосил бўлган δ_0 дан $\delta_{\text{ч.уз}}$ гача ($S_{\text{тез}}$) ва $\delta_{\text{ч.уз}}$ дан $\delta_{\text{кр}}$ гача ($S_{\text{торм}}$) чегараланган тезланиш ва тормозланиш майдонларини тенглаштирамиз.



3.12- расм. Қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қийматини аниқлашга доир.

$$S_{\text{тез}} = S_{\text{торм}} \quad (3.22)$$

Қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{\text{ч.уз}}} (P_0 - P_{mIII} \cdot \sin \delta) d\delta = \int_{\delta_{\text{ч.уз}}}^{\delta_{\text{кр}}} (P_{mII} \cdot \sin \delta - P_0) d\delta \quad (3.23)$$

(3.23) ни берилган ораликда интеграллаб, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$P_0(\delta_{\text{ч.уз}} - \delta_0) - P_{mIII}(\cos \delta_{\text{ч.уз}} - \cos \delta_0) - P_{mII}(\cos \delta_{\text{кр}} - \cos \delta_{\text{ч.уз}}) + P_0(\delta_{\text{кр}} - \delta_{\text{ч.уз}}) = 0 \quad (3.24)$$

$$\cos \delta_{\text{ч.уз}} = \frac{P_0(\delta_{\text{кр}} - \delta_0) + P_{mII} \cdot \cos \delta_{\text{кр}} - P_{mIII} \cdot \cos \delta_0}{P_{mII} - P_{mIII}} \quad (3.25)$$

Бу ерда, $\delta_{\text{кр}}$ - бурчакнинг критик қиймати бўлиб, бурчакнинг бундан катта қийматларида генератор турғун ишлай олмайди:

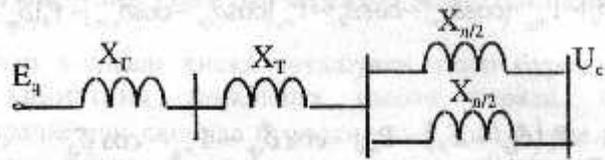
$$\delta_{\text{кр}} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_{mII}} \quad (3.26)$$

Критик бурчак $\delta_{\text{кр}}$ 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 қондаси 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.

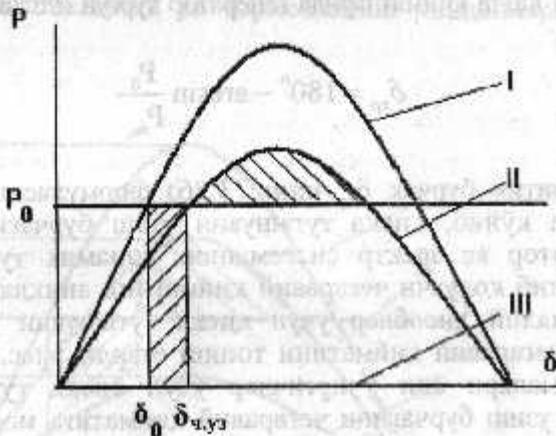
3.6. Уч фазали қисқа туташув ҳолати учун роторнинг ҳаракат тенгламасини ечиш

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 тенгламасини ечишга доир.

Машина роторининг ҳаракат тенгламаси:

$$T_j \frac{d\delta^2}{dt^2} = P_0 - P_m \cdot \sin \delta. \quad (3.27)$$

Уч фазали қисқа туташувда қуйидаги муносабат ўринли бўлади:

$$P_m = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma m}} \cdot \sin \delta = 0,$$

чунки $X_{\Sigma m} = 0$ ва бу ерда $X_{\Sigma m} = \infty$.

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 чизиқли 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.

Сўнги 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 $t_{ч}$, қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати $\delta_{ч.уз}$ га мос келади. Шу сабабли, уч фазали қисқа туташув учун, қисқа туташувни узиш вақтининг чегаравий қиймати аниқлаш формуласи қуйидаги кўринишни олади:

$$t_{ч.уз} = \sqrt{\frac{T_J(\delta_{ч.уз} - \delta_0)}{7650 \cdot P_0}}; \quad (3.33)$$

3.7. Синхрон генераторнинг дифференциал тенгламасини ечиш усуллари

а) Усулларнинг умумий характеристикаси ва қўлланилувчи формулалар

Электр системасида кечайтган электромеханик ўткинчи жараёни 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.

Қондага кўра, дифференциал тенгламалар Эйлер, Рунге-Кутт, Милл классик усуллари, алгебраик тенгламалар эса Гаусс, Ньютон ва бошқа усуллар ёрдамида ечилади.

Дифференциал тенгламани сонли ечишнинг асосий маъноси реал интеграл эгри чизиқли тўғри чизиқли бўлақлар билан алмаштириш билан боғлиқдир. Ҳар бир кейинги бўлақни (қадамни) ҳисоблашда ҳатолик кўшилиб боради, шунинг учун ҳатоликни камайтириш мақсадида, қўлланилувчи усулларда қадам ҳатоликнинг руҳсат этилган қийматини таъминлаш шартидан келиб чиқиб, автоматик танланади.

Юқорида номлари келтирилган усуллар «Энергетиканинг математик масалалари» фанида ўрганилади, шунинг учун фақат система элементларининг sanoat дастурларида қўлланиладиган тенгламаларини кўриб чиқамиз. Фойдаланилувчи моделлар турлича бўлганлиги сабабли уларнинг фақат кенг тарқалган модификацияларини келтираемиз.

Синхрон генераторнинг дифференциал тенгламалари:

- роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_T - P_G}{T_J}; \quad (3.34)$$

Бу ерда, P_T , P_G турбинанинг айлантирувчи қуввати ва генераторнинг электромагнит тормозловчи моменти; T_J - агрегатнинг инерцион доимийси;

- кўзгатиш чулғамининг тенгламаси:

$$\frac{dE_q}{dt} = \frac{E_{qe} - E_q}{T_{do}}; \quad (3.35)$$

Бу ерда, E_q , E'_q , E_{qe} - мос ҳолда салт юриш, ўткинчи ва кўзгатишни ростлаш ҳисобига ҳосил бўлувчи э.ю.к.; T_{do} - кўзгатиш чулғамининг статор чулғами очик бўлган ҳолдаги вақт доимийси;

- кўзгатишнинг тенгламаси:

$$\frac{dE_{qp}}{dt} = \frac{E_{qpe} - E_{qp}}{T_e}; \quad (3.36)$$

Бу ерда, E_{qp} , E_{qpe} - ростлагич чиқишидаги кучланиш ва унинг бошқарувчи сигнали; T_e - кўзгатишнинг вақт доимийси;

- кўзгатиш ростлагичнинг тенгламаси:

$$\frac{dE_{qp}}{dt} = \frac{E_{qpe} - E_{qp}}{T_p}; \quad (3.37)$$

Бу ерда, T_p - ростлагичнинг вақт доимийси;

- статор токи I , кучланиш U , частота f ва уларнинг ҳосилалари бўйича ростлашни ҳисобга олган ҳолдаги ростлаш қонуни:

$$E_{qv} = E_{\text{сеп}} + K_{0I}I + K_{0U}(U - U_0) + K_{0U} \frac{dU}{dt} + K_{1I} \frac{dI}{dt} + K_{2I} \frac{d^2I}{dt^2} + K_{0f}(f - f_0) + K_{1f} \frac{df}{dt}; \quad (3.38)$$

Бу ерда, $E_{\text{сеп}}$ - статор кучланишига келтирилган салт юриш э.ю.к.нинг сигналини маҳкамловчи ташкил этувчиси.

Қолган белгилашлэ) юқорида келтирилган.

Ростлагичлар ҳолат параметрининг максимум ва минимуми бўйича чегаралашларни ҳисобга олиш имконини беради.

Турбина ва унн ростлагичининг тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{dP_T}{dt} = \frac{1}{T_n} (\alpha_1 \mu - P_T); \quad (3.39)$$

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{1}{T_s} (\alpha_2 \cdot S - \mu); \quad (3.40)$$

$$P_T = P_n (1 - \gamma) + \gamma P_{\text{ном}} \cdot P_T. \quad (3.41)$$

Бу ерда, γ - оралик қизишга эга бўлган турбина кувватининг ростланувчи қисми; μ - ростлаш ашпаратининг очилиши; s - генераторнинг сирпаниши; T_n , T_s - буг ҳажми ва тезлик ростлагичларининг вақт доимийлари; α_1 , α_2 - тезлик ростлагичнинг статизмига боғлиқ бўлган доимийлар. Ростловчи ашпаратнинг очилиш тезлиги ва қиймати бўйича чегараланишлар ҳисобга олинади. Аниқ ҳисоблашларида ўчоқ, қозон ва бошқа элементларнинг тенгламалари ҳам «Ёқилги - буг» занжиринида фойдаланилиши мумкин.

Интеграллашнинг ҳар бир қадамида система учун тугун кучланишлари тенгламалари ечилади ва генераторларнинг кувватлари аниқланилади:

$$P_r = \frac{E_q U}{X} \sin \delta. \quad (3.41)$$

Бу ерда, X - U кучланиш қўйилган ва э.ю.к. ўриятилган нуқталар орасидаги эквивалент қаршилик. Содаллаштирилган 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, кўзгагишни автоматик ростлагичи бўлган генераторлариники эса ўзларининг ўқлари асосида ёзилиб, кейинчалик синхрон тезлик билан айланувчи ўққа келтирилади (1-боб).

Юқорида келтирилганлар, электр системасининг диспетчирлик бошқарувида қўлланиладиган саноят дастурларида фойдаланилади.

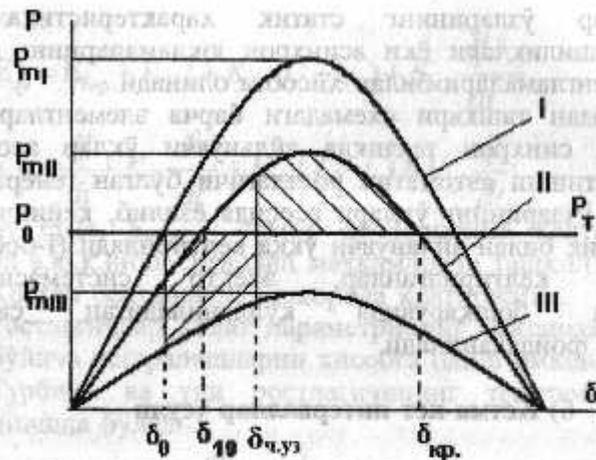
б) Кетма-кет интерваллар усули

Амалда унчалик катта аниқлик талаб этмайдиган ва ҳолат параметрлари тебранишининг биринчи цикли учун етарли маълумотлар лозим бўлган содаллаштирилган 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 ўзариши 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 $\delta_{\text{э}}$ қийматида қисқа туташув узилади ва генератор авариядан кейинги ҳолат характеристикаси IVга ўтади. Генератор валида $\Delta P = P_T - T_r \neq 0$ нобаланс пайдо бўлиши натижасида, роторнинг тезлиги катталашиб синхрон тезликдан ошиб бораверади (3.15-расм).



3.15- расм. Кетма-кет интерваллар усулини қўлаш.

Генератор қисман тормозлансада, бироқ у синхронизмдан чикиб кетади, чунки $S_{\text{ТЕЗ}} > S_{\text{ТМ}}$. Критик бурчак $\delta_{\text{кр}}$ дан кейин унинг тезланиши давом этади. Қўйилган масала — $\delta = f(t)$ функционал боғланишни ва бошқа ҳолат параметрларини аниқлашдир.

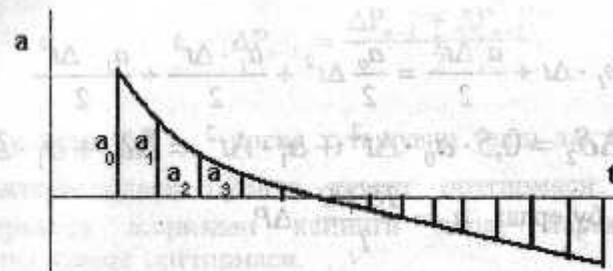
Ҳисоблаш натижасининг аниқлиги ҳамда ўткинчи жараённинг давомийлиги ҳисоблаш қадамининг киймати — вақтлар интервали Δt га боғлиқдир. Ҳар бир интервал ҳолат параметрлари ҳисобланувчи бурчак, қувват, ток ва ҳ.к.ларнинг бошланғич ва охириги қийматлари билан характерланади. Масалан, Δt вақт ичида бурчакнинг $\Delta\delta$ 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 орттиқча қувват $\Delta P = \text{ўзгармас деб оламиз.}$

2) Ҳар бир интервалда тезланиш ўзгармасдан қолади:

$$a = \frac{18000 \cdot \Delta P}{T_j} = \text{ўзгармас.}$$



3.16- расм.

Биринчи интервал давомида бурчак ортирмасининг 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 ортирмасини 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 ортирмаси:

$$\Delta P_1 = P_0 - P_{\text{мн}} \cdot \sin \delta_1.$$

Шу тарзда бурчакнинг иккинчи интервал охиридаги ортирмасини 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 холда

$$\Delta\delta_2 = \Delta\omega_1 \cdot \Delta t + \frac{a_1 \Delta t^2}{2} = \frac{a_0}{2} \Delta t^2 + \frac{a_1 \cdot \Delta t^2}{2} + \frac{a_1 \cdot \Delta t^2}{2}$$

ёки
$$\Delta\delta_2 = 0,5 \cdot a_0 \cdot \Delta t^2 + a_1 \cdot \Delta t^2 = \Delta\delta_1 + a_1 \cdot \Delta t^2$$

хосил бўлиб, бу ерда:
$$a_1 = \frac{18000}{T_1} \cdot \Delta P_1.$$

Шундай қилиб, иккинчи интервал охирида бурчакнинг натижавий орттормаси

$$\Delta\delta_2 = \Delta\delta_1 + a_1 \cdot \Delta t^2,$$

бурчакнинг иккинчи интервал охиридаги қиймати

$$\delta_2 = \Delta\delta_2 + \delta_1.$$

Қувватнинг иккинчи интервал охиридаги қиймати:

$$\Delta P_2 = P_0 - P_{\text{мш}} \cdot \sin \delta_2.$$

Шунга ўхшаш муносабатларни учунчи интервал учун ҳам ёзишимиз мумкин:

$$\Delta\delta_3 = \Delta\delta_2 + a_2 \cdot \Delta t^2; \quad (3.43)$$

$$\delta_3 = \Delta\delta_3 + \delta_2; \quad (3.44)$$

$$\Delta P_3 = P_0 - P_{\text{мш}} \cdot \sin \delta_3 \quad (3.45)$$

ва ҳ.к.

Ҳисоблаш жараёни ўхшаш схема бўйича давом этади, шунинг учун уни компютерда дастурлаштириш ва олиб бориш қулайдир.

Шунинг таъкидлаш лозимки, узин 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.

Қиска туташув узилгандан кейинги биринчи интервалда, яъни (n-1) -нчи кадамда қувват орттормаси нимага тенг? Бундай ҳолатларда қувват орттормаси, умумий ҳолда, қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\Delta P_{n-1} = \frac{\Delta P'_{n-1} + \Delta P''_{n-1}}{2}.$$

Бу ерда, $\Delta P'_{n-1}$ - қиска туташувни узин лаҳзасида авария характеристикаси бўйича қувват орттормаси; $\Delta P''_{n-1}$ - шу интервалда авариядан кейинги ҳолат характеристикаси бўйича қувват орттормаси.

Биз кўриб чиқаётган ҳолатда

$$\Delta P'_{n-1} = \Delta P'_{y1} = P_0 - P_{\text{мш}} \cdot \sin \delta_{y1}, \text{ ва}$$

$$\Delta P''_{n-1} = \Delta P''_{y2} = P_0 - P_{\text{мш}} \cdot \sin \delta_{y2}.$$

$$\Delta P_{y1} = \frac{\Delta P'_{y1} + \Delta P''_{y1}}{2}; \quad (3.46)$$

Бу жараёни давом эттира бориб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\Delta\delta_n = \Delta\delta_{n-1} + a_{n-1} \cdot \Delta t^2 = \Delta\delta_{n-1} + \kappa \cdot \frac{\Delta P_{(n-1)} + \Delta P'_{(n-1)}}{2} \quad (3.47)$$

$$\delta_n = \delta_{n-1} + \Delta\delta_n, \quad (3.48)$$

$$\Delta P_n = P_0 - P_{\text{мш}} \cdot \sin \delta_n \quad (3.49)$$

Шу тарғибдаги 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 орттормаси қуйидаги муносабат бўйича аниқланади:

$$\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} \cdot K_{\Delta} + K \cdot \frac{\Delta P_{(n-2)} \cdot (1 - K_{\Delta}) + \Delta P_{(n-1)} \cdot (1 + 3K_{\Delta})}{4 \cdot K_{\Delta}} \quad (3.50)$$

Бу ерда, $K_{\Delta} = \frac{\Delta t_n}{\Delta t_c}$

Δt_n , Δt_c – вақтнинг янги ва эски интервалларига мос келувчи қиймати.

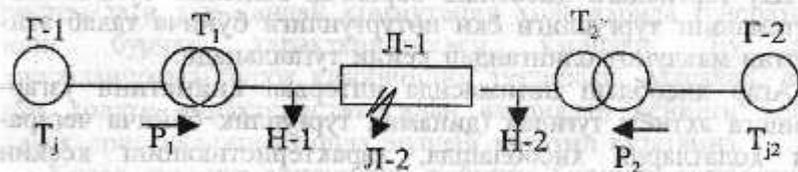
Кетма-кет интерваллар усули бир қанча камчиликларга эга:

- 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 қисқа 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.

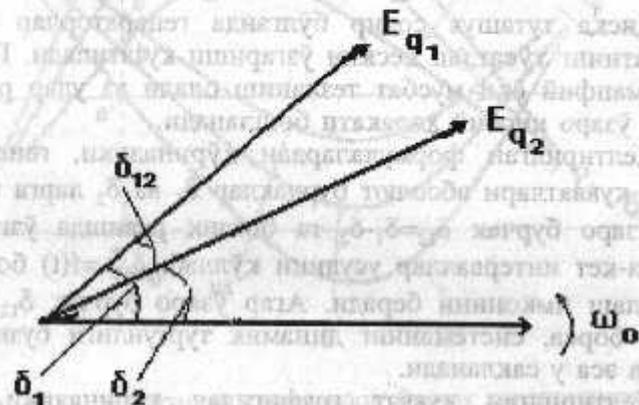
3.8. Икки генераторли системанинг динамик турғунлиги

Қувватлари бир-бирига яқин бўлган иккита станциядан ташкил топган системани (3.17- расм) кўриб ўтаемиз.



3.17- расм.

Кўрилатган схемада юкларнинг 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 нуқтасида носимметрик қисқа туташув содир бўлиб, кейинчалик у узилди деб фараз қиламиз. Системанинг нормал, авария ва авариядан кейинги ҳолатларига мос келувчи хусусий ва ўзаро қаршиликларни топиш мумкин. Бунда қаршиликларнинг қийматлари кўрилатган ҳолатнинг хусусиятларидан келиб чиқиб аниқланиши лозим. Масалан, авария ҳолати учун бу қаршилик қисқа туташув нуқтасига авария шунти уланган ҳолатда аниқланилади. Авариядан кейинги ҳолат учун авария шунти ва линиялардан бири олиб ташланади. Генераторлар эса, ўзларининг ўтқинчи индуктив қаршиликлари X_{d1} ва X_{d2} лар ортидаги ўзгармас ўтқинчи электр юритувчи кучлар E_1 , E_2 лар орқали тасвирланади. Қуйида келтирилган формулалардан фойдаланиб, ҳар бир станциядан узатилаётган қувватнинг тегишли ҳолатга мос келувчи характеристикаларини курамиз (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.

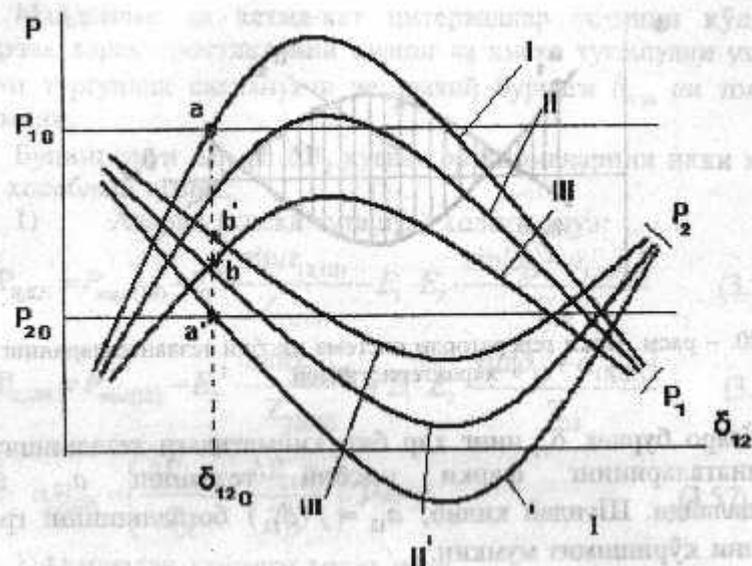
Келтирилган қувват графигидан кўринадики, схемада кўрсатилган нуктада қисқа туташув содир бўлганда:

- биринчи станция генераторининг ротори ΔP_1 ($P_1 > P_{sn}$) қувват ортирмаси 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 ($P_2 < P_{sn}$) 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 характерланган прогрессияланувчи орда 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,

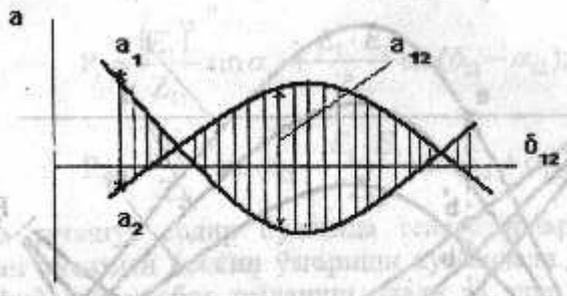
$$a_1 = \frac{360f}{T_{J1}} \Delta P_1, \quad a_2 = \frac{360f}{T_{J2}} \Delta P_2 \quad (3.53)$$

ҳосил бўлади.

Ҳар бир станциядаги генератор ротори тезланишининг ўзаро бурчак $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ га боғланиш характеристикасини

$$a_{12} = a_1 - a_2 = 360 \cdot f \cdot \left(\frac{\Delta P_1}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_2}{T_{J2}} \right) \quad (3.54)$$

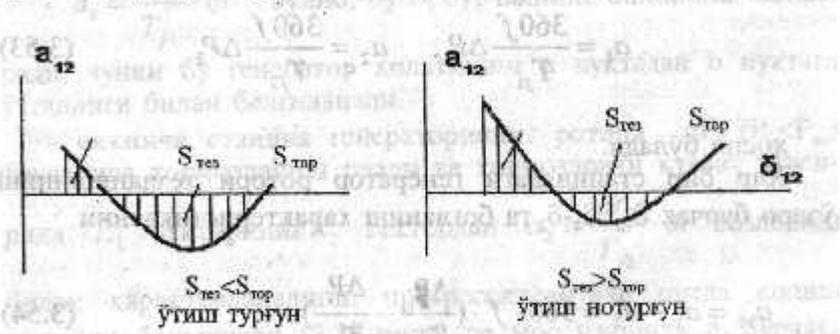
муносабат бўйича ўзаро бурчакка 0° дан 180° гача ораликда турлича қийматларни бериш асосида аниқлаймиз (3.20-расм):



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 кўришимиз 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 тезланиш 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 $\delta_{ч.у.}$ ни топиш мумкин.

Бушнинг учун ΔP_1 ва ΔP_2 қувват орттирмаларини икки марта ҳисоблаш лозим:

1) Авария (қисқа туташув) ҳолати учун:

$$\Delta P_{1(III)} = P_{\max(III)} - E_1^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{1(III)}}{Z_{1(III)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} - \alpha_{12(III)}]}{Z_{12}} \quad (3.55)$$

$$\Delta P_{2(III)} = P_{\max(III)} - E_2^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{2(III)}}{Z_{22(III)}} + E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} + \alpha_{12(III)}]}{Z_{12}} \quad (3.56)$$

$$\text{ва } a_{12(III)} = \left(\frac{\Delta P_{1(III)}}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_{2(III)}}{T_{J2}} \right) \cdot 360 \cdot f \quad (3.57)$$

2) Авариядан кейинги ҳолат учун

$$\Delta P_{1(I)} = P_{\max(I)} - E_1^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{1(I)}}{Z_{1(I)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} - \alpha_{12(I)}]}{Z_{12}} \quad (3.58)$$

$$\Delta P_{2(I)} = P_{\max(I)} - E_2^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{2(I)}}{Z_{22(I)}} - E_1 \cdot E_2 \cdot \frac{\sin[\delta_{12} + \alpha_{12(I)}]}{Z_{12}} \quad (3.59)$$

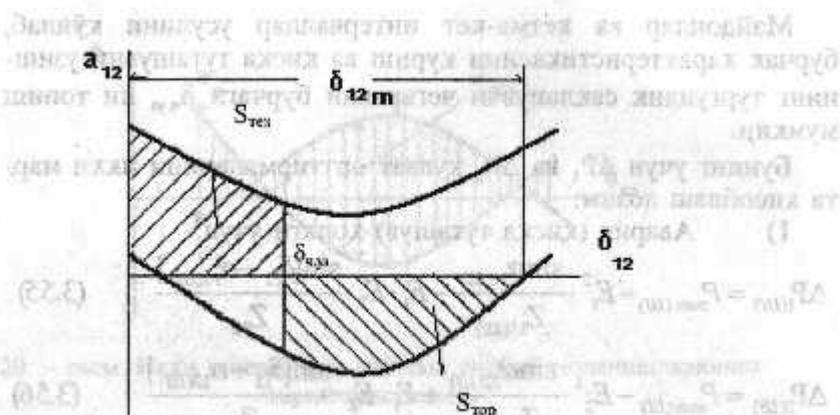
$$\text{ва } a_{12(I)} = \left(\frac{\Delta P_{1(I)}}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_{2(I)}}{T_{J2}} \right) \cdot 360 \cdot f.$$

Ҳосил бўлган формулалар бўйича авария ва авариядан кейинги ҳолатлар учун мос $a_{12} = f(\delta_{12})$ графикаларни кўришимиз ҳамда тезланиш ва тормозланиш майдонларининг тенлигидан фойдаланиб, қисқа туташувни узиш бурчагининг чегаравий қиймати $\delta_{ч.у.}$ ни аниқлашимиз мумкин (3.22-расм).

Бу ерда иккита масала қўйилиши мумкин.

1) Қисқа туташувни узиш вақти $t_{ч.у.}$ берилган ҳолда системанинг турғунлиги сақланиш ёки сақланмаслигини аниқлаш.

2) Қисқа туташувни узишнинг чегарвий вақти $t_{ч.у.}$ ни аниқлаш.



3.22- расм. Икки генераторли системада қисқа туташувни узилб 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

$$\Delta \delta_{1(1)} = k_1 \cdot \frac{\Delta P_{1(0)}}{2}, \quad \Delta \delta_{2(1)} = k_2 \cdot \frac{\Delta P_{2(0)}}{2}$$

биринчи интервал охирида бурчакларни

$$\delta_{1(1)} = \Delta \delta_{1(1)} + \delta_{1(0)}, \quad \delta_{2(1)} = \Delta \delta_{2(1)} + \delta_{2(0)}$$

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_{ya} да қисқа туташув узилгандан кейин генераторлар II характеристикага ўтади ва ҳисоблашда худди юқоридаги тартибда ҳар бир интервал охирида ортикча қувват ΔP_i ва бурчак орттирмаси аниқланилади. Кетма-кет интерваллар усули бўйича ҳисоблашни бурчак камай бошлагунга қадар давом эттириш лозим. Бу турғунлик сақланишини билдиради.

Агар бурчакнинг ўсиши давом этиб, у 180° га етса, ҳисоблаш тўхтатилади. Бундай ҳолат t_{ya} нинг берилган қийматида турғунлик сақланмаслигини билдиради.

Иккинчи масала

Кетма-кет интерваллар усули ёрдамида биринчи ва иккинчи станция генераторлари роторларининг нисбий ҳаракат тенгламаларини ечамиз ва ҳар бир интервалда қисқа туташув ҳолати учун нисбий бурчак δ_{12} ни тошамиз. Сўнгра, $\delta_{12}=f(t)$ боғланиш эгри чизигини қуриб, қисқа туташувни узилб вақтининг чегаравий қиймати t_{ya} 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.

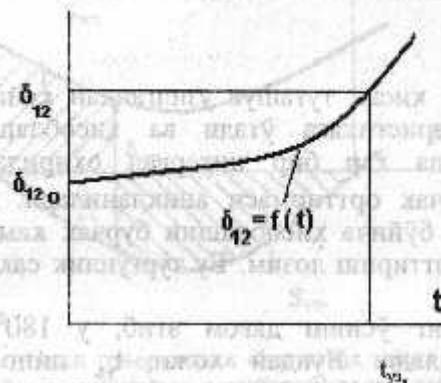
Бу ерда, қуйидагиларни таъкидлаш лозим. Ҳар бир интервалдаги генераторлар абсолют бурчакларининг орттирмаси қуйидаги муносабатлардан аниқланиши мумкин:

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 қиска туташув ўчирилишининг чегаравий вақтини аниқлаш.

Бурчаклар орттирмаларининг фарқи ўзаро бурчакнинг نسبий орттирмасидир:

$$\Delta\delta_{12(n)} = \Delta\delta_{1(n)} - \Delta\delta_{2(n)} = 360 \cdot f \cdot \left(\frac{\Delta P_{1(n-1)}}{T_{J1}} - \frac{\Delta P_{2(n-1)}}{T_{J2}} \right) \frac{\Delta t^2}{2} \quad (3.64)$$

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

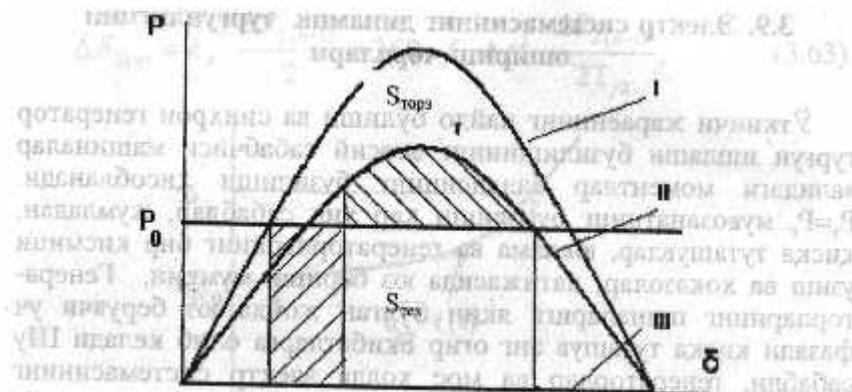
Ўткинчи жараённинг пайдо бўлиши ва синхрон генератор турғун ишлаши бузилишининг асосий сабабчиси машиналар валидаги моментлар балансининг бузилиши ҳисобланади. $P_r = P_t$ мувозанатнинг бузилиши ҳар хил сабаблар, жумладан, қиска туташувлар, юклама ва генераторларнинг бир қисмини узиш ва ҳоказолар, натижасида юз бериши мумкин. Генераторларнинг шиналарига яқин бўлган жойда юз берувчи уч фазали қиска 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:

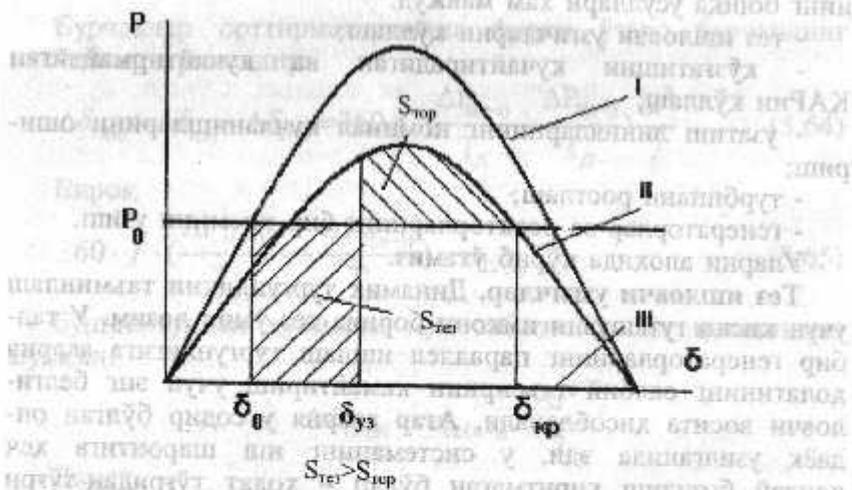
- тез ишловчи узгичларни қўллаш;
- кўзғатишни кучайтирадиган ва кучайтирмайдиган ҚАРни қўллаш;
- узатиш линияларининг номинал кучланишларини ошириш;
- турбинани ростлаш;
- генераторлар ва реакторларнинг бир қисмини узиш.

Уларни алоҳида кўриб ўтаемиз.

Тез ишловчи узгичлар. Динамик турғунликни таъминлаш учун қиска туташувни имкони борида тез узиш лозим. У тадбир генераторларнинг параллел ишлаш турғунлигига авария ҳолатининг салбий таъсирини камайтириш учун энг белгиловчи 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.



а) Турғунлик сақланади.



б) Турғунлик сақланмайди.

3.24- расм. Киска туташувни узиш вақтининг (δ_{uz}) динамик турғунликка таъсири:

- а) турғунлик сақланади, $t_{uz} < t_{top}$, $S_{min} < S_{top}$;
 б) турғунлик сақланмайди, $t_{uz} > t_{top}$, $S_{min} > S_{top}$.

3.24- расмда келтирилган графиклардан кўринадик, қиска туташувнинг тез узилиши тезлашиш майдонини камайтираш, мумкин бўлган тормозловчи майдонни кўпайтиради ва шу сабабли динамик турғунликнинг захира коэффиценти $K_d = S_{top} / S_{min}$ 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, ҳаволи узгичлар ёрдамида эса 0,08-0,1 сек ораллигида бўлишини назарда тутиш лозим. Хозирги шароитларда ўта тез ишловчи синхронлашган узгичларни қўллаш кенгайиб бормоқда. Синхронлашган узгич деб контактлари узулувчи токнинг нолга келиш вақтини тахминан 1,5-2,5 мс илдамлаб, қатъий белгиланган вақтда ажратувчи узгичга айтилади. Киска туташув содир бўлган занжирни синхронлашган узгич ёрдамида узишнинг тўлиқ вақти бир давр атрофида (0,02 сек) бўлади.

Мавжуд талабларга мувофиқ, коидага кўра, синхрон динамик турғунлик линиянинг энг ноқулай нуктасида куйидаги турдаги қиска туташув содир бўлган ҳолларда сақланиши лозим:

- 35 кВ кучланишли тармоқлар учун – ер орқали икки фазали қиска туташув содир бўлганда;

- 500 кВ ва ундан юқори кучланишли тармоқлар учун – ер орқали икки фазали қиска туташув содир бўлганда. Агар бу катта капитал маблағларни талаб этса, у ҳолда синхрон динамик турғунликни фақат бир фазали қиска туташувлар учун автоматик қайта улаш (АКУ)нинг муваффақиятсиз ишлашини ҳисобга олиб таъминлашга рухсат этилади. АКУ, хусусан линиядаги АКУ, динамик турғунликнинг сақланишига катта таъсир кўрсатишини назарда тутиш лозим.

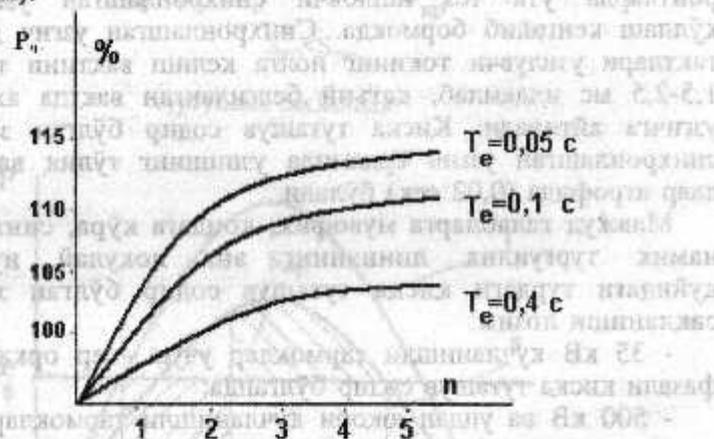
Кўзатишни кучайтирадиган ва кучайтирмайдиган ҚАРларни қўллаш

Автоматик ростлагичлар бутун ўткинчи жараён давомида динамик турғунликка сезиларли таъсир этади. Киска туташув даврида кўзатиш токнинг ортини хали сезиларли натижаларни бериб улгурмайди. Шикастланган жойни узишдан бе-

восита кейинги даврда, асинхрон моторларнинг сирпанишини тезда камайтириш ва генераторларни тормозлашда ҚАРнинг аҳамияти жуда юқори бўлади. Агар тебранишнинг биричи циклида система турғунлигича қолса, у ҳолда кейинги циклларда, ҚАР мавжуд бўлган тақдирда, турғунликнинг бузилиши амалда содир бўлмайди.

Ўткинчи жараёсларнинг характериға энг юқори кучланиш (кучайтиришнинг қарралиги n) ва кўзғатишнинг вақт доимийси T_e таъсир этади.

Динамик турғунлик шартлари бўйича узатиловчи энг катта қувват чегарасининг кўзғатишнинг ортиб бориши билан ошиши T_e қанчалик кичик бўлса, шунчалик сезиларлидир (3.25- расм).



3.25- расм. Энг катта кўзғатиш n ва кўзғаткичининг вақт доимийси T_e нинг чегаравий қувватта таъсири.

Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, кўзғатиш параметрларининг энг юқори қийматлари кўзғатиш системасининг тузилиши ва қувватига боғлиқдир. Динамик турғунликни оширишда кўзғатиш токи ва кучланишининг энг юқори қийматлари сезиларли аҳамиятга эга:

$$n_u = \frac{U_a}{U_{sh}}, \quad n_i = \frac{i_a}{i_{sh}}$$

ва кучланишнинг ортиб бориш

тезлиги.

Шуни белгилаш лозимки, тебранишларни йўқотиш учун нафақат кўзғатишни кучайтириш, балки ўз вақтида кўзғатиш кучланишини камайтириш ҳам қўлланилади.

Кўзғатишни кучланиш векторлари орасидаги бурчакнинг иккинчи тартибли хосиласи бўйича ростлаш жудда эффектли хисобланади. Бунинг сабаби қуйидагича – яъни генератор роторининг силжини бурчаги бўйича олинган иккинчи тартибли хосила генератор ўқидаги ортикча моментга пропорционалигидир:

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

Шунинг учун ростлашнинг таъсири ўткинчи жараён ва чайқалишни чиқарадиган сабабга мос келади. Кўзғатиш тоқини ва мос равишда электромагнит моментни генератор ротори тезлашганда қупайтириб, у тормозланганда камайтириш керак.

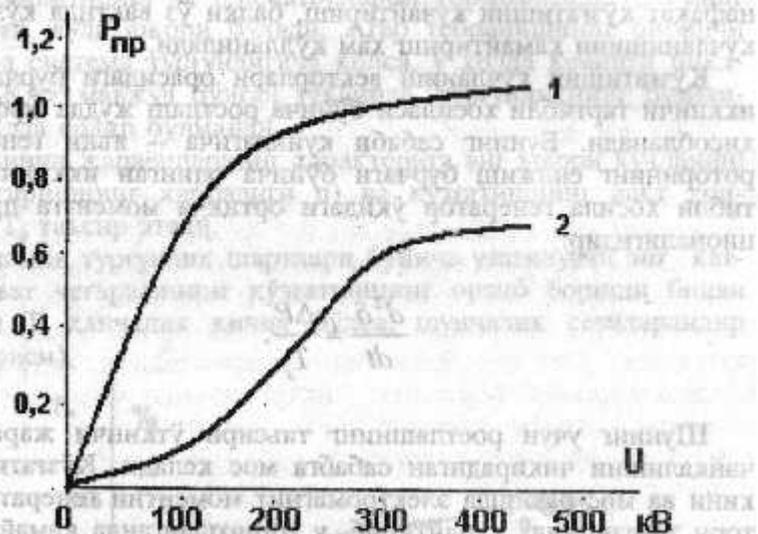
Линиянинг номинал кучланишини ошириш

Узатилаётган қувватнинг чегаравий қиймати кучланишнинг квадратига тўғри пропорционал ва қаршиликка тескари пропорционалдир

$$P = \frac{U_1 U_2}{X_{12}} = \frac{U^2}{X_{12}}$$

шунинг учун кучланишни номинал қийматини ошириш динамик турғунлик захирасини кўпайтириш учун сезиларли, чунки бу ҳолда узатилаётган қувватнинг чегаравий қиймати кўпаяди. 3.26-расмдаги графикдан кўринадики, узунлиги 200 км бўлган линиянинг кучланишини 220 кВ гача ошириш узатилаётган қувватнинг чегаравий қийматининг сезиларли даражада ошишига олиб келади.

Қувват узатилишининг чегаравий қиймати кучланиш катталигига қандай боғлиқ бўлса, линия узунлигига ҳам шундай боғлиқ. Графикда линия узунлиги 200 км (1) ва 800 км (2) бўлганда узатилаётган қувватнинг чегаравий қиймати келтирилган. Демак, электр узатиш линиясининг узунлиги ошиши билан кучланишни ошириш зарур.

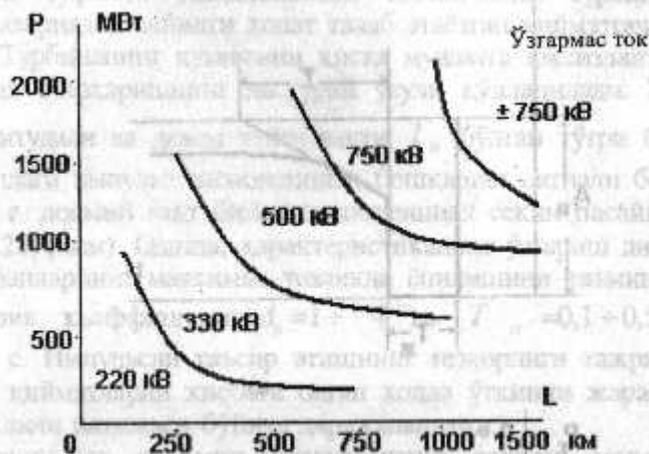


3.26 - расм. Узатилаётган қувватнинг кучланишга боғлиқлиги:
1- линиянинг узунлиги 200 км, 2- линиянинг узунлиги 800 км.

Қуйидаги 3.27-расмда номинал кучланишнинг иқтисодий қўллаш соҳасининг электр узатиш линияси узунлигига боғлиқлиги келтирилган.

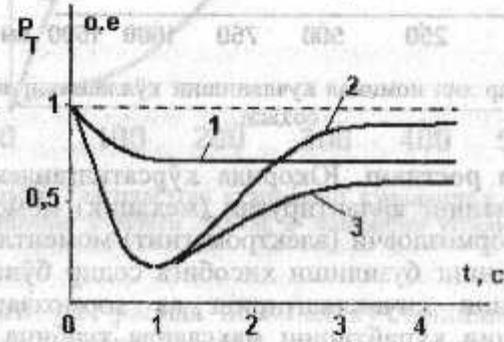
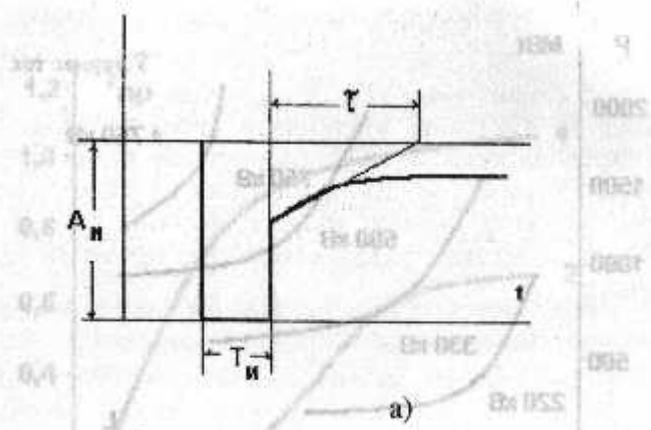
Кучланишни икки марта кўпайтириш, қаршилиқни тўрт марта камайтиришга тенг кучли – яъни бу занжирлар сонини тўрт марта кўпайтирилганини билдиради. Лекин кучланишни кўпайтириш занжирлар сонини оширишга қараганда иқтисодий самарадорлироқ. Хар хил номинал кучланишни иқтисодий қўллаш соҳаси расмда келтирилган, ундан кўринадикки 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 ўрғанилмаган. Аммо бундай линия ажойиб ҳолат ҳос-саига эга, бу эса маҳсуе курснинг ўрғаниш соҳаси ҳисобланади.



3.27- расм Хар 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. Тезла-шиш майдонини кичиклаштириш ва тормозлаш мумкин бўлган майдонни кўпайтириш мақсадида турбина қувватини камайтириш зарур, бошқача сўз билан айтганда авария пай-тида электр узатишни юксиллаштириш зарур. Бу талбир кўпинча сув электр станциялар (СЭС)лар учун бир қисм ге-нераторларни узиш орқали амалга оширилади, чунки бу тех-нологик жараён унча мураккаб эмас. Иссиқлик ва атом электр станцияларида генераторларни узиш ва қўшиш техно-логияси 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 (ҚБМ) орқали таъсир кўрсатади.



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 қийматигача тиклаш ҳолига мос келади.

Статик турғунлик шартига кўра авариядан кейинги ҳолатда қисман юксизлантириш талаб этилади (1,3 характеристика).

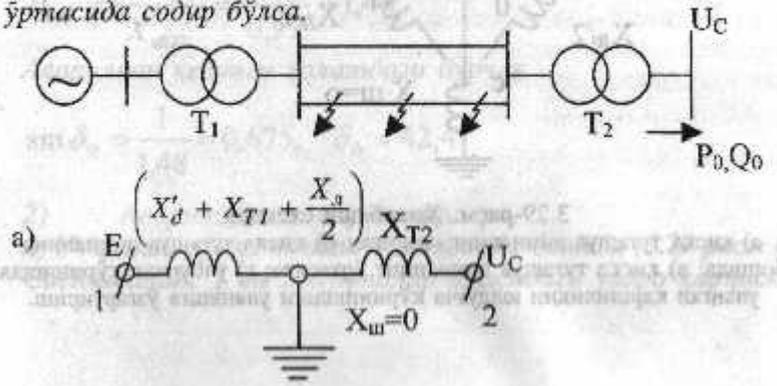
Бу таъсир билан системанинг динамик турғунлигини сақлаш мақсадида агрегатлар роторларидаги ортиқча кинетик энергияни тезликда сўндириш турбинаши қисқа муддатли импульсли юксиз-

лантириш туфайли таъминланади. Кейинчалик турбинанинг қуввати авариядан кейинги ҳолат талаб этаётган қийматгача тикланади. Турбинанинг қувватини қисқа муддатга юксизлантириш мақсадида бошқаришнинг дастурий усули қўлланилади: ЭГЎга A_n амплитудали ва давом этиш вақти T_n бўлган тўғри бурчак кўринишдаги импульс экспоненциал бошқариш сигнали берилди ва у τ доимий вақт билан экспоненциал секин пасайиб боради. (3.28.-расм). Одатда, характеристиканинг ўзгариш диапазони: клапанларнинг максимал тезликда ёпилишини таъминловчи потекислик коэффиценти $A_n = 1 \div 4$ 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 тахлили натижаси бўйича даражаланлади.

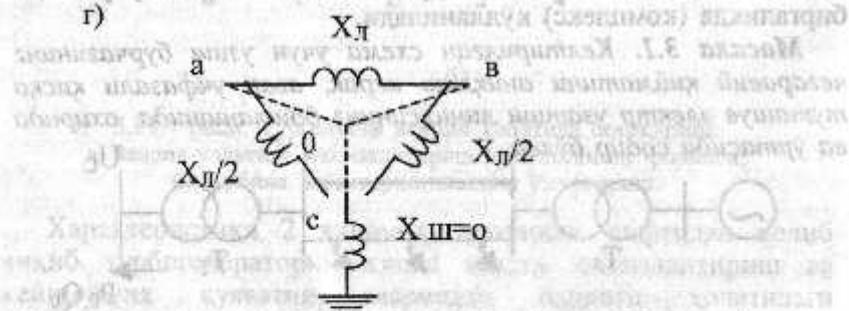
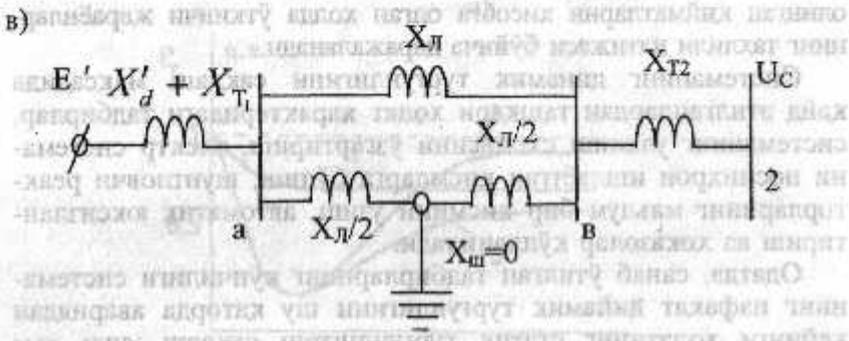
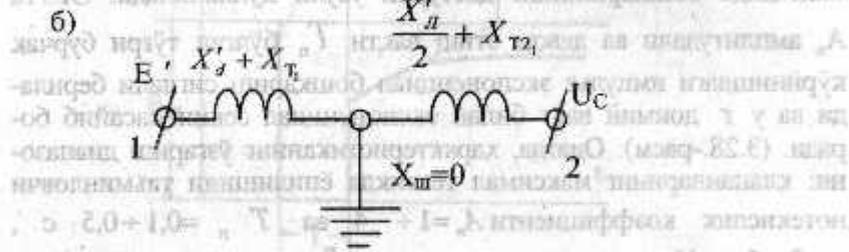
Системанинг динамик турғунлигини сақлаш мақсадида қайд этилганлардан ташқари ҳолат характеридаги тадбирлар, системанинг уланиш схемасини ўзгартириш, электр системани синхрон ишлаётган қисмларга бўлиш, шунтловчи реакторларнинг маълум бир қисмини узиш, автоматик юксизлантириш ва ҳоказолар қўлланилади.

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.



Кейинги кезеңдеги синхрон генератор пропорционал турдаги ҚАР-П билан жихозланган ва ўткинчи ЭЮК ҳолат бузилганда ўзгармас қолади ($E = \text{ўзгармас}$). Системанинг параметрлари: $P_0=1$, $Q_0=0,3$ $U_c=1$, $X'_d=0,35$ $X_r=0,12$ $X_L=0,4$ $X_{Tc}=0,12$.



3.29-расм. Ҳисоблаш схемаси:

а) қисқа туташув линиянинг охирида; б) қисқа туташув линиянинг бошида; в) қисқа туташув линиянинг ўртасида; г) учбурчак ҳўринишда уланган қаршиликни юлдузча кўринишдаги улавишга ўзгартириши.

Синхрон генератор пропорционал турдаги ҚАР-П билан жихозланган ва ўткинчи ЭЮК ҳолат бузилганда ўзгармас қолади ($E = \text{ўзгармас}$). Системанинг параметрлари: $P_0=1$, $Q_0=0,3$ $U_c=1$, $X'_d=0,35$ $X_r=0,12$ $X_L=0,4$ $X_{Tc}=0,12$.

1) Нормал ҳолат параметрларини аниқлаймиз.

Системанинг суммавий қаршилиги

$$X'_{\Sigma T} = X'_d + X_r + X_L/2 + X_{Tc} = 0,35 + 0,12 + 0,2 + 0,12 = 0,79$$

Ўткинчи ЭЮК

$$E = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 \cdot X'_{\Sigma T}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot X'_{\Sigma T}}{U_c} \right)^2} = \sqrt{(1 + 0,3 \cdot 0,79)^2 + (1 \cdot 0,79)^2} = 1,467$$

Нормал ҳолатдаги чегаравий қувват

$$P_{ml} = \frac{E' \cdot U_c}{X'_{\Sigma T}} = \frac{1,467}{0,79}$$

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

$$X'_{\Sigma T} = X'_d + X_r + X_L + X_{Tc} = 0,35 + 0,12 + 0,4 + 0,12 = 0,99$$

Авариядан кейинги ҳолатдаги чегаравий қувват

$$P_{ml} = \frac{E' \cdot U_c}{X'_{\Sigma T}} = \frac{1,467}{0,99} = 1,48$$

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 фазали қисқа туташув линиянинг бошида (3.29-расм б)

Системанинг 1 ва 2-нуқталар орасидаги ўзаро қаршилик:

$$X_{12Ш} = (X_d' + X_{T1}) + \left(\frac{X_{L1} + X_{T2}}{2} + X_{T2} \right) + \frac{(X_d' + X_{T1}) \cdot \left(\frac{X_{L1} + X_{T2}}{2} + X_{T2} \right)}{X_{ш}} = \infty$$

бу ҳолда авария шунти $X_{ш} = 0$ га тенгдир.

Генератор ва система орасида электрик боғланиш йўқ, шунинг учун

$$P_{мш} = \frac{E' \cdot U_c}{X_{12Ш}} = 0$$

б) Уч фазали қисқа туташув линиянинг охирида (3.29-расм. а)

Системанинг 1 ва 2 -нчи нўқталар орасидаги ўзаро қаршилиқ:

$$X_{12Ш} = \left(X_d' + X_{T2} + \frac{X_{L1}}{2} \right) + X_{T2} + \frac{\left(X_d' + X_{T2} + \frac{X_{L1}}{2} \right) \cdot X_{T2}}{X_{ш}} = \infty$$

Максимал қувват

$$P_{мш} = \frac{E' \cdot U_c}{X_{12Ш}} = 0$$

в) Уч фазали қисқа туташув электр узатиш линиясининг ўртасида (3.29-в-расм). Линиянинг а ва б нўқталари орасидаги схемани учбурчакдан юлдузчага ўзгартирамиз.

Юлдузча нурларининг қаршилиги тенг.

$$X_{a0} = X_{a0} = \frac{X_{L1} \cdot X_{L12}}{X_{L1} + X_{L12} + X_{L12}} = \frac{0,4 \cdot 0,2}{0,4 + 0,2 + 0,2} = \frac{0,08}{0,8} = 0,1$$

$$X_{oc} = \frac{(X_{L12}) \cdot (X_{L12})}{X_{L12} + X_{L12} + X_{L1}} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,2 + 0,2 + 0,4} = \frac{0,04}{0,8} = 0,05$$

Системанинг охири (нативавий) алмаштириш схемасини оламиз. Системанинг 1 ва 2 нўқталари орасидаги қаршилиқ

$$X_{12Ш} = (X_d' + X_{T1} + X_{a0}) + (X_{b0} + X_{T2}) + \frac{(X_d' + X_{T1} + X_{a0}) \cdot (X_{b0} + X_{T2})}{(X_{c0} + X_{ш})} =$$

$$= (0,35 + 0,12 + 0,1) + (0,1 + 0,12) + \frac{(0,35 + 0,12 + 0,1) \cdot (0,1 + 0,12)}{(0,05 - 0)} = 3,29$$

Демак, уч фазали қисқа туташув ҳолида 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:

$$P_{мш} = \frac{E' \cdot U_c}{X_{12Ш}} = \frac{1,467 \cdot 1}{3,29} = 0,44$$

Линиянинг бошидаги ва охиридаги уч фазали қисқа туташувда, қисқа туташув узилишининг чегаравий бурчаги

$$\cos \delta_{a,b} = \frac{P_0 \cdot (\delta_{cp} - \delta_0) + P_{мш} \cdot \cos \delta_{cp} - P_{мш} \cdot \cos \delta_0}{P_{мш} - P_{мш}} =$$

$$= \frac{1 \cdot (137^\circ - 33^\circ) \cdot \frac{\pi}{180} + 1,48 \cdot \cos 137^\circ}{1,48} = 0,49 \text{ ва } \delta_{п.о.} \cong 60^\circ$$

бу ерда,

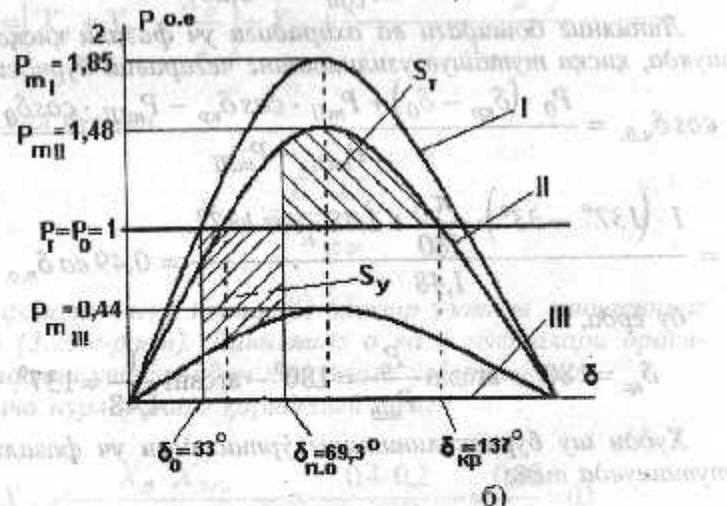
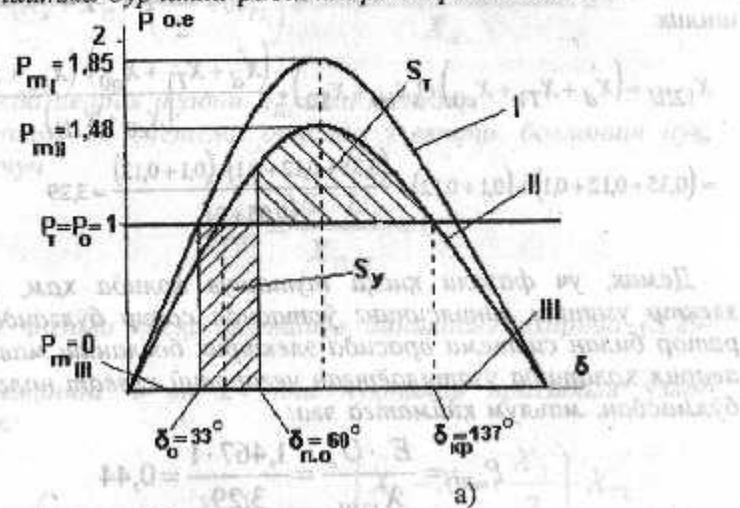
$$\delta_{cp} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_{мш}} = 180^\circ - \arcsin \frac{1}{1,48} = 137^\circ.$$

Худди шу бурчак линиянинг ўртасидаги уч фазали қисқа туташувда тенг

$$\cos \delta_{a,b} = \frac{1 \cdot (137^\circ - 33^\circ) \cdot \frac{\pi}{180} + 1,48 \cdot \cos 137^\circ - 0,44 \cdot 0,84}{1,48 - 0,44} = 0,346$$

ва $\delta_{a,b} \cong 69^\circ,3$

Чегаравий бурчакни аниқлашда касрнинг суратидаги $\pi 180$ кўпайтма бурчакни радианларда ифодалайди.



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 кўринадики, электр узатиш линиясининг бошида ва охирида қисқа туташув содир бўлиши энг оғир 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 фарзлар?
6. Нима учун динамик турғунликни ҳисоблашнинг бошланғич босқичида турбинанинг қувватини 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 шarti бўйича қувватнинг узатиш чегарасини оширади?
10. Қисқа туташувни узишнинг чегаравий бурчаги нима?

4. ЮКЛАМА ТУГУНЛАРИДАГИ ҮТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

4.1. Электр системаларининг юкламалари

Электр энергияси истеъмолчилари ўз таркиби ва характерига кўра турличадир. Булар sanoat корхоналари, транспорт, кишлок хўжалиги истеъмолчилари, коммунал-маиший юклама ва бошқалар. Система элементларининг ҳар бирининг юкламасини ростлаш, нафақат ушбу элементнинг ҳолатини белгилайди, балки бутун система ҳолатига таъсир қилади. Истеъмолчиларнинг энг кўп тарқалган тури актив ва реактив қувват истеъмол қилувчи асинхрон моторлардир. Ўсиб борувчи анъанага эга бўлган - ёритиш, иситиш асбоблари каби маиший-коммунал юклама, асосан актив қувват истеъмол қилади.

Юкламалар тармоққа уланганда, уларнинг иш шaroитлари ўзгарганда ёки система ҳолатининг бузилишларида (кучланиш, частота, узатиш линияси ва тармоқ параметрларининг ўзгариши) ўткинчи жараёнлар юз беради. Бу жараёнларга юкламанинг реакциясини ёки ўзини тутишини ва ушбу шaroитларда электр тизими ҳолатларига таъсирини ўрганиш зарур. Бунда, нафақат алоҳида юкламалар, балки йирик подстанцияга, юқори кучланиш халқасига, электр узатиш линиясига ва ҳ.к.ларга уланган юкламалар тугуни, яъни юкламалар гуруҳи кўрилади.

Истеъмолчилар таркиби старлича 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%
тармоқлардаги исрофлар (тижорий исрофлар ҳисобга олинмаганда)	7%.

Бундан кўриниб турибдики, sanoat юкламасининг бир қисми асинхрон моторлар бўлиб ҳисобланади ва уларнинг ўткинчи жараёнларда ўзини тутиши система ҳолатларига сезиларли таъсир кўрсатади.

4.2. Юргизилувчи машиналарнинг механик характеристикалари

Асинхрон моторлар билан юргизилувчи (ҳаракатта келтирилувчи) механизмларнинг механик характеристикаларини қандай ўзгаришини кўриб чиқамиз. Бу характеристикалар моторларнинг ишлаб-чиқариш ва қувват характерига боғлиқ бўлиб, улар ўз навбатида, таъминловчи тармоқ ҳолатига боғлиқдир.

Илгчи 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 $P_{мех} \approx \omega$.

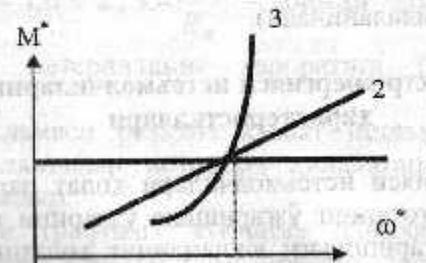
Машиналарнинг бундай типга кўтариш кранлари, транспорт механизмлари киради.

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 sanoatida фойдаланилувчи механизмлар киради.

3) Механик момент тезликнинг квадратига тўғри пропорционал, яъни $M_{мех} \approx \omega^2$ ва $P_{мех} \approx \omega^3$.

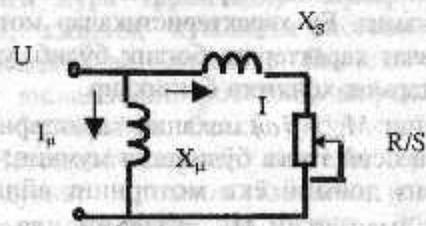
Бундай типдаги машиналарга вентиляторлар, марказдан қочмалли насослар киради.



4.1- расм. Илгчи 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 моментни 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.

$$M_{\text{мех}} = M = \frac{P}{\omega_o} = \frac{I^2 R}{\omega_o S} = \text{ўзгармас.} \quad (4.1)$$

$$\text{Агар } \omega_o = 1 \text{ бўлса, у ҳолда } S = \frac{I^2 R}{P} \text{ ёки } S = I^2 \quad (4.2)$$

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 тushунча 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 тургун 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 чўглолма лампа мавжуд бўлган юкламанинг истеъмол қилувчи актив қуввати частотага боғлиқ эмас ва у тахминан кучланишнинг квадратига пропорционалдир:

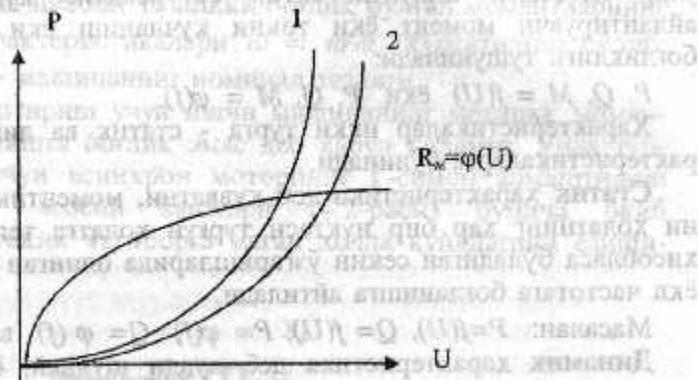
$$P = \frac{U^n}{R_H} = K \cdot U^n, \quad (4.5)$$

Бу ерда, $n = 1,6 + 2$, $k = \frac{1}{R_H}$ - 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 чўглолма лампалардан ташкил топган юкламанинг $P=f(U)$ характеристикалари келтирилган.



4.3- расм. Ёритиш юкламасининг 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 қаршиликнинг ўзгаришини $R = \varphi(U)$ ҳисобга олган ҳолатда, истеъмол қилинувчи қувватнинг кучланишга боғлиқлиги.

Агар қизиш натижасида қаршиликнинг 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

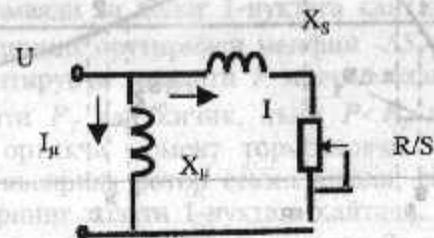
Асинхрон мотор юклама сифатида актив ва реактив қувватларни истеъмол қилади. Шартли равишда актив қувват айлантурувчи моментни ҳосил қилишга, реактив қувват эса машинанинг магнит майдонини ҳосил қилишга сарф бўлади деб ҳисоблаш мумкин. Айланувчан қисм - роторнинг мавжудлиги мотордаги электр магнит ва 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 чулгамининг келтирилган актив қаршилиги;

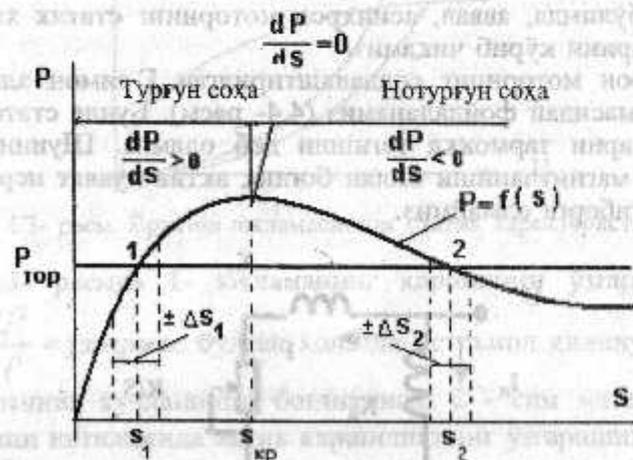
$S = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$ - сирпаниш; ω_s, ω_r - роторнинг синхрон ва ишчи

бурчак тезликлари; X_m - 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:

$$P = I^2 \frac{R}{S} = \frac{U^2}{\left(\sqrt{X_s^2 + \left(\frac{R}{S} \right)^2} \right)^2} \frac{R}{S} = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s \cdot S)^2 + R^2} \quad (4.6)$$



4.5- расм. Асинхрон моторнинг электр магнит айлантурувчи моменти.

$P=f(s)$ характеристикаси 4.5-расмда келтирилган кўринишда бўлади. Одатда, бу характеристика ишчи механизмнинг тормозлаш характеристикаси P_{top} билан тўлдирилади. Маълумки, асинхрон моторнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги 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 айлантурувчи ва ишчи механизмнинг тормозловчи моментлари. Асинхрон моторнинг турғун ишлаш шарҳларини кўриб чиқамиз.

Турғун ҳолатнинг асосий шарти бўлиб валдаги айлантурувчи момент (мотор) ва тормозловчи моментларнинг (ишчи механизм) тенглиги $P=P_T$ ҳисобланади.

У ҳолда

$$\frac{dS}{dt} = \frac{P - P_T}{T_D} = 0 \quad (4.8)$$

$P=P_T$ бўлиши, $S=\bar{s}$ зармас, яъни сирпаниш ўзгармас бўлган турғун иш ҳолатини характерлайди. Бу ҳолат 1 ва 2 нукталарда бўлиши мумкин.

Фараз қилайлик, 1-нуктада сирпаниш кичик маълум микдорга ўзгаради $\pm \Delta S_1$ (4.5-расм). Сирпанишнинг мусбат орттирмаси $+\Delta S$ да моторнинг айлантурувчи 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 айлантурувчи характерга эга бўлади. Унинг таъсирида ротор тезлашади, сирпаниш камаяди ва ҳолат 1-нуктага қайтади. Агар ушбу нуктада сирпанишнинг орттирмаси манфий $-\Delta S$ бўлса, у ҳолда моторнинг айлантурувчи 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 айлантурувчи моменти P ишчи механизмнинг тормозловчи моменти P_T дан кичик, яъни $\Delta P = P - P_T < 0$ бўлиб қолади ва унинг таъсирида ротор тормозлашиб, сирпаниш ортиб боради. Бу эса, ўз навбатида, моторнинг айлантурувчи моменти P ни янада камайишига олиб келади ва ҳ.к. шу тариқа 2-нуктадан узлуксиз узоклашиб кузатилади. Агар орттирма манфий бўлса, моторнинг айлантурувчи 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 узоклашиб кузатилади.

Шундай қилиб, 1-нуктадаги кичик орттирмада ҳолат дастлабки нуктага қайтади, 2-нуктадаги худди 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 $S_{\text{кр}}$ кўринишида белгиланади. Қувват максимумини (4.6) га $S_{\text{кр}}$ ни қўйиб топиш мумкин:

$$P_m = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_s^2 \cdot S^2) + R^2} = \frac{U^2 \cdot R \cdot \frac{R}{X_s}}{X_s^2 \cdot \frac{R^2}{X_s^2} + R^2} = \frac{U^2 \cdot R^2}{2R^2 \cdot X_s} = \frac{U^2}{2X_s}$$

Шундай қилиб, мотор қувватининг максимуми ҳуйидагига тенг:

$$P_m = \frac{U^2}{2X_s} \quad (4.10)$$

Сирпанишнинг нолдан критик қийматгача ўзгариш интервали $S = 0 \div S_{\text{кр}}$ турғун ишлаш интервали, $S > S_{\text{кр}}$ бўлган интервал эса нотурғун ишлаш интервали ҳисобланади. $P=f(S)$ характеристканинг максимуми $S_{\text{кр}}$ сирпаниш билан

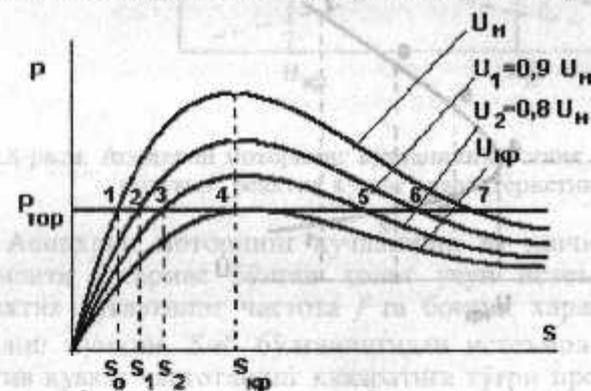
аниқланади. Агар $\frac{dP}{dS} > 0$, шарт бажарилса, мотор турғун ишлайди. Шундай қилиб, асинхрон моторнинг турғун ишлаш мезони

$$\frac{dP}{dS} > 0. \quad (4.11)$$

муносабат билан белгиланади.

Шуни қайд этиш лозимки, критик сирпаниш қучланишга боғлиқ бўлмасдан, фақат машинанинг параметрларига боғлиқдир.

Моторнинг $P=f(S)$ электр магнит характеристикасига асосан, қучланиш пасайганда унинг максимуми қучланишнинг квадратага пропорционал равишда, бир хил критик сирпанишда, камаяди (4.6- расм). Бунда моторнинг ишчи сирпаниши ўсиб боради ва айланиш тезлиги мос равишда камаяди.



4.6-расм. Машина ишларарида қучланиш ўзгарганда моторнинг айлантирувчи momenti ўзгариши.

Мотор электр магнит қувватининг максимуми ишчи механизмнинг тормозловчи қувватига тенг бўлиш ҳолатига мос келувчи қучланиш U_c критик қучланиш деб аталади. Ушбу нуктага $P=f(S)$ графикда (4.6- расм) 4-нукта мос келади ва $S=f(U)$ боғланишда $U_c=U_{\text{кр}}$ (4.7-расм).

Қучланишни янада пасайиши моторни тўхтаб қолишга олиб келади, чунки мотор эришайтган айлантирувчи момент моторнинг тормозловчи моментидан кичик бўлиб қолади.

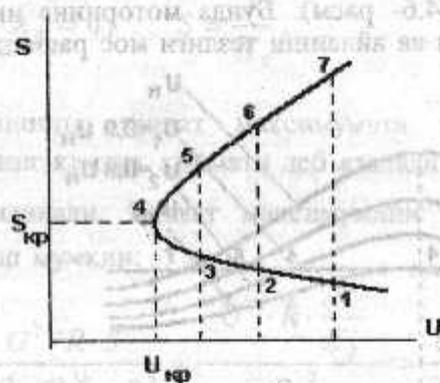
Асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувватни аниқлаймиз.

4.4- алмаштириш схемасидан кўришиб 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, $I_{\mu} = (0,2-0,6)I_N$ - моторнинг қуввати ва айланиш тезлигига боғлиқ бўлган салт ишлаш токи; I_N - моторнинг номинал токи; $Q_s = I^2 X_s$ - статор ва роторнинг сочилиш майдонини ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлган сочилиш реактив қуввати.

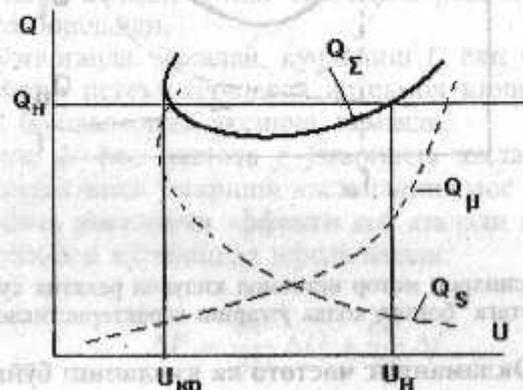


4.7-расм. Асинхрон моторнинг критик сирпаниши ва қувватлигини аниқлаш.

Кучланишнинг орғиб бориши билан машинанинг тўйиниши ўсиб боради, бу моторнинг индуктив қаршилиги, жумладан, магнитланиш заъжири қаршилиги X_{μ} нинг камайишига олиб келади. Бунда реактив қувват истеъмоли орғиб, $Q_{\mu} = f(U)$ боғланиш квадратик характеристикага яқинлашади.

Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, вақда ўзгармас қаршилик momenti мавжуд бўлса сирпаниш токнинг квадратига пропорционал бўлади $S \propto I^2$. Худди шу сингари, Q_s реактив

қувват токнинг квадратига 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.

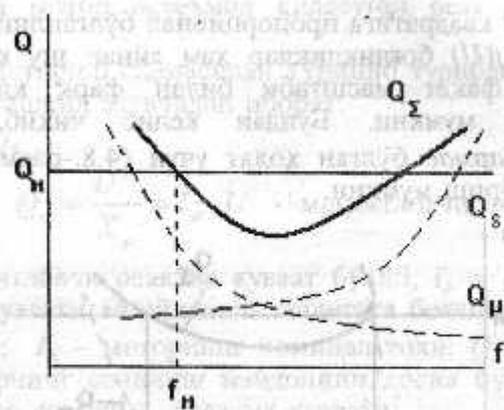


4.8-расм. Асинхрон моторнинг кучланишга боғлиқ ҳолда истеъмол қилувчи реактив қувват характеристикаси.

Асинхрон моторнинг кучланиши ва ишчи механизмнинг momenti ўзгармас бўлган ҳолат учун истеъмол қилинувчи реактив қувватнинг частота f га боғлиқ характеристикасини кўриш мумкин. $S \propto I^2$ бўлганлигидан истеъмол қилинувчи реактив қувват частотанинг квадратига тўғри пропорционалиги $Q_s \propto f^2$, магнитловчи қувват эса частотанинг пасайиши билан орғиб бориши келиб чиқади:

$$Q_{\mu} = \frac{U^2}{X_{\mu}} \propto \frac{1}{f}$$

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 туғулларининг кучланишини пасайтиради.



4.9-расм. Асинхрон мотор истеъмол қилувчи реактив қувватнинг частотага боғлиқ ҳолда ўзгариш характеристикаси.

4.4. Юкламанинг частота ва кучланиш бўйича ростлаш эффекти

Электр системасида кучланиш ва частота ўзгарганда юклама 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-бирдан фарқ 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 ўрнатиш 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) юзга келади.

Қайд этиш керак, частотанинг янги қиймати дастлабкидан 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, аксинча, камаяди.

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:

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f, \quad (4.13)$$

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f.$$

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.

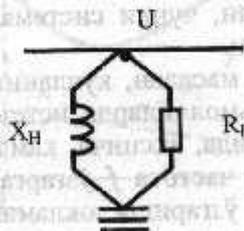
Ҳосиланинг қиймати қанчалик катта бўлса, кучланиш ёки частота ўзгарганда юклама истеъмол қилаётган қувват шунча кескин ўзгаради.

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 ростлаш эффекти

Доимий қаршилик билан ифодаланган юкламанинг ростлаш 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 аниқланади:

$$P_H = \frac{U^2}{R_H}; Q_H = \frac{U^2}{X_H} \quad (4.14)$$

Ростлаш эффектини таърифига мувофиқ ҳосилаларни аниқлаймиз:

$$\frac{dP_H}{dU} = \frac{2U \cdot U}{R_H \cdot U} = \frac{2}{R_H} \cdot \frac{U^2}{U} = \frac{2P_H}{U} \quad (4.15)$$

$$\frac{dQ_H}{dU} = \frac{2U \cdot U}{X_H \cdot U} = \frac{2}{X_H} \cdot \frac{U^2}{U} = \frac{2Q_H}{U}$$

$Q_H = P_H = U=1$ бўлганда

$$\frac{dP_H}{dU} = \frac{dQ_H}{dU} = 2.$$

Шундай қилиб, ўзгармас қаршилик билан ифодаланган юклама мусбат ростлаш эффектига эга, яъни кучланиш пасайганда у истеъмол илаётган актив ва реактив қувватлар камаяди ва шу билан системанинг нормал ҳолати бузилмади.

4.6. Асинхрон моторнинг кучланиш ва частота бўйича ростлаш эффекти

Юқорида қайд 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 қизиқиш уйғотади.

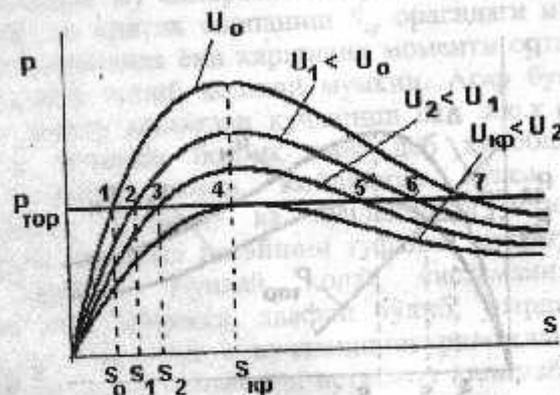
Бу ерда, биз берилган кучланишли шиналардан таъминланувчи яқка асинхрон моторнинг ростлаш эффектини кўриб чиқамиз.

а) Асинхрон моторни кучланиш бўйича ростлаш эффекти ($f = \text{ўзгармас}$)

Юқорида куйидаги муносабат ҳосил қилинган эди:

$$P = \frac{U^2 \cdot R \cdot S}{(X_r \cdot S)^2 + R^2} \quad (4.16)$$

Кучланиш пасайганда илпчи сирпаниш ўсиб боради ва бунга мос равишда роторнинг эквивалент қаршилиги R/S камайд. 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 ($M_{нр} = \text{ўзгармас}$).

Агар статик ўтиш кўриб чиқилса, электр қувватнинг қиймати ўзгармаслигидан, ростлаш эффектнинг нолга тенг эканлиги, яъни $\frac{dP}{dU} = 0$ келиб чиқади (соддалаштириш учун

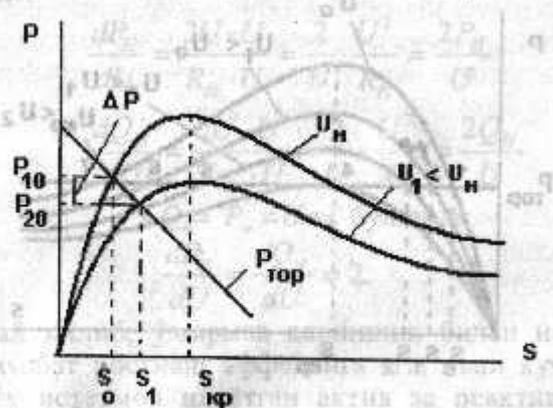
исрофларни эътиборга олмаймиз).

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 орттиришига олиб келади. Шунинг учун ростлаш эффекти мусбат,

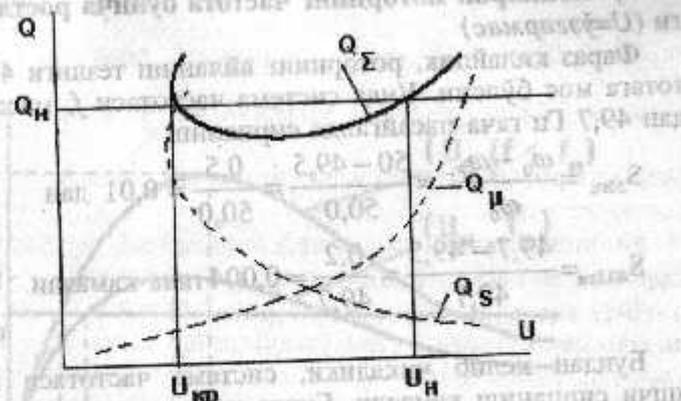
яъни $\frac{dP}{dU} > 0$.

Энди асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувватни кучланиш бўйича ростлаш эффектini 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 ($M_{\text{тор}} = \omega$).



4.13-расм. Асинхрон моторнинг кучланиш бўйича ростлаш эффекти.

Критик кучланиш $U_{\text{кр}}$ 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 $S_{\text{кр}}$ орасидаги интервалдир. Кучланиш пасайганда ёки қаршилик momenti оғганда 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 узокда жойлашган бўлса, моторнинг тўнтарилиши (тўхташи) ва кучланишни назорат қилиб бўлмайдиган даражада пасайиши тугайли нотурғун ҳолат юз бериши мумкин. Бундай ҳолат системанинг тугуяли нукталари учун, айниқса, хавфли бўлиб, уларда кучланиш кўчкиси деб аталувчи - кучланишни ривожланиб борувчи пасайиши ва тегишли равишда истеъмол қилинаётган реактив қувватни кескин ортиб кетиши натижасида моторларнинг ёппасига тўнтарилиши (тўхташи) юз бериши мумкин.

4.13-расм. Асинхрон моторнинг кучланиш бўйича ростлаш эффекти.

б) Асинхрон моторнинг частота буйича ростлаш эффекти ($U=ўзгармас$)

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 чиқадикки, 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.

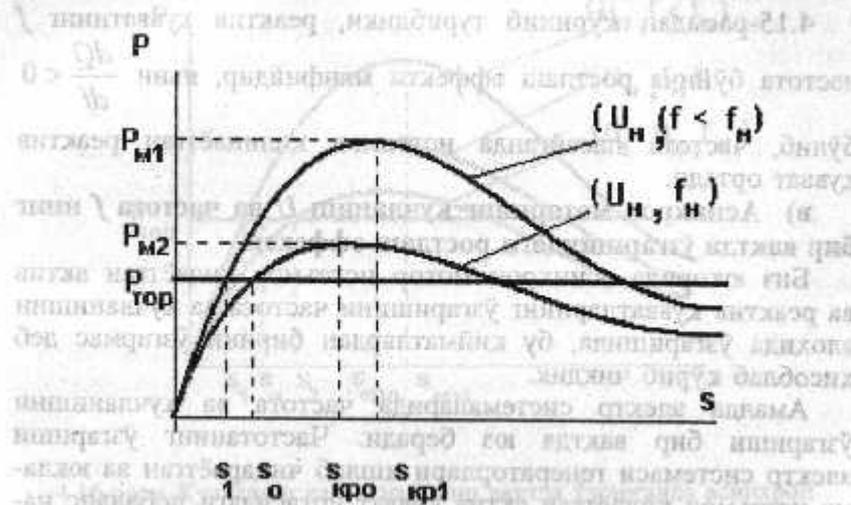
Шундай қилиб, асинхрон моторнинг частотанинг номиналга нисбатан пасайган $f_1 < f_n$ қийматидаги электр магнит қувват характеристикаси частота номинал f_n бўлган дастлабки ҳолатдагига нисбатан юқорирокка кўтарилади (4.14-расм). Бунда қуйидаги муносабатлар ўринли бўлади:

$$\begin{aligned} P_m(f_1 < f_n) &> P_m f_n \\ S_{кр}(f_1 < f_n) &> S_{кр} f_n \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$S_{\alpha}(f_1 < f_n) < S_{\alpha} f_n$$

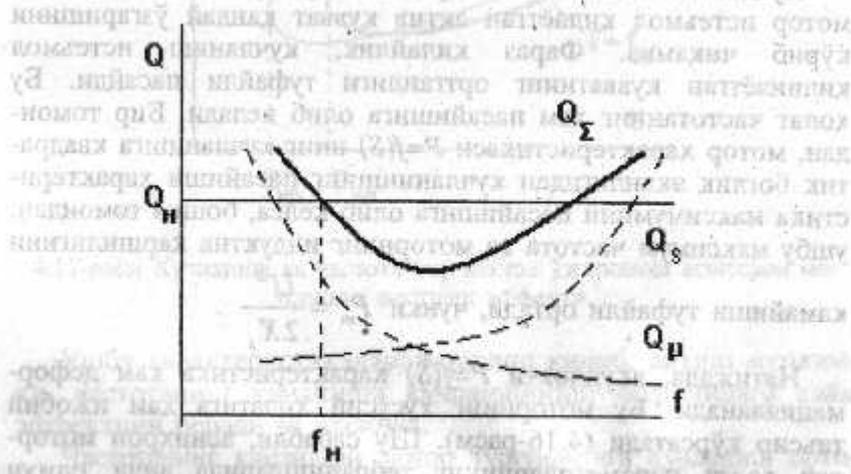
Бошқача қилиб айтганимизда, частота пасайишининг таъсири қучланиш ортишинини таъсири билан бир хил бўлади. Ўтиш ҳолати учун бунда частота f_n дан f_1 гача пасайганда ростлаш эффекти манфий, яъни $\frac{dP}{df} < 0$, турғун

ҳолат учун эса $\frac{dP}{df} = 0$ бўлади.



4.14-расм. Асинхрон моторнинг частота буйича ростлаш эффекти.

Частота f пасайганда асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувватнинг қандай ўзгаришини кўриб чиқиш мумкин (4.15-расм).



4.15-расм. Асинхрон моторнинг частота буйича ростлаш эффекти.

4.15-расмдаш 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

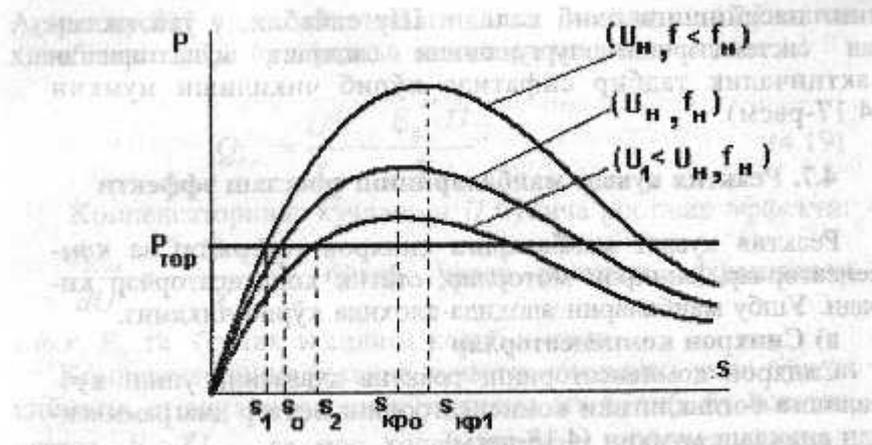
Биз юқорида асинхрон мотор истеъмол қилаётган актив ва реактив қувватларнинг ўзгаришини частота ва кучланишни алоҳида ўзгаришида, бу кийматлардан бирини ўзгармас деб ҳисоблаб кўриб чиқдик.

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 нафақат электр механик ўтқинчи жараёнинг манбаи бўлиб ҳисобланади, балки электр системасининг тугунларидаги кучланишнинг ҳам ўзгаришига олиб келади. Масалан, юкламанинг орғиши натижасида кучланиш U пасайса, частота f ҳам пасаяди.

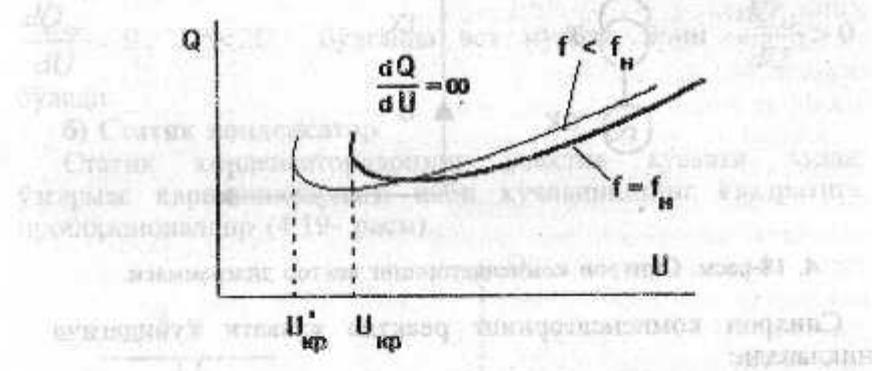
Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгаргандаги асинхрон мотор истеъмол қилаётган актив қувват қандай ўзгаришини кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, кучланиш истеъмол қилинаётган қувватнинг ортганлиги туфайли пасайди. Бу ҳолат частотанинг ҳам пасайишига олиб келади. Бир томондан, мотор характеристикаси $P=f(S)$ 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, якуниловчи $P=f(S)$ характеристика кам деформацияланади. Бу моторнинг хусусий ҳолатига ҳам ижобий таъсир кўрсатади (4.16-расм). Шу сабабли, асинхрон моторлар ҳолат параметрларининг тебранишларида анча турғун ишлайди.



4.16-расм Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгарганда асинхрон моторнинг ростлаш эффекти.



4.17-расм Кучланиш ва частота бир вақтда ўзгарганда асинхрон моторнинг ростлаш эффекти.

Ушбу характеристикаларни таҳлил қилиб, айтиш мумкинки, частотанинг камайтиши кучланишнинг ортишидаги каби эффектини беради ва аксинча.

Частотанинг камайтиши мотор турғунлигига кучланиш ортишининг таъсири каби таъсир қилади ва бундан ташқари, U_{sp}

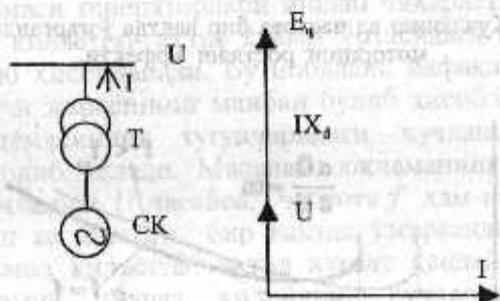
нинг пасайишига олиб келади. Шу сабабли, у ўта юклаган системаларнинг турғунлигини сақлашга йўналтирилган вақтинчалик тадбир сифатида кўриб чиқилиши мумкин (4.17-расм).

4.7. Реактив қувват манбаларининг ростлаш эффекти

Реактив қувват манбаларига синхрон генератор ва компенсаторлар, синхрон моторлар, статик конденсаторлар киради. Ушбу манбаларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз.

а) Синхрон компенсаторлар

Синхрон компенсаторнинг реактив қувватини унинг кучланишга боғлиқлигини компенсаторнинг вектор диаграммасидан аниқлаш мумкин (4.18-расм).



4. 18-расм. Синхрон компенсаторнинг вектор диаграммаси.

Синхрон компенсаторнинг реактив қуввати қуйидагича аниқланади:

$$E_q - U = I X_d; \quad I = \frac{E_q - U}{X_d}$$

$$Q_{cx} = U \cdot I = \frac{E_q \cdot U}{X_d} - \frac{U^2}{X_d} \quad (4.18)$$

Бу ифодада реактив қувватнинг мусбат йўналиши сифатида тармоққа беришувчи қувват йўналиши қабул қилинган.

Агар мусбат деб истъмолга 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:

$$\frac{dQ_{cx}}{dU} = \frac{2 \cdot U - E_q}{X_d} \text{ бўлиб, ундан ростлаш эффектнинг}$$

э.ю.к. E_q га боғлиқ эканлиги келиб чиқади.

Компенсаторнинг реактив қуввати номиналга яқин бўлган кийматга етганда, у юқори кўзгатишга 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 қаршилиқлардаги каби кучланишнинг квадратиغا 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 узагади, демак, улар тармоқдан олувчи реактив қувватни манфий деб қараш мумкин (4.19- расм).

Статик конденсаторларнинг ростлаш эффекти манфий ва қуйидагига 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 қучланиш 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 қучланиш бўйича ростлаш эффекти катта эмас ва 2 атрофида бўлади. Бу уларнинг статик характеристикалари билан тушунтирилади.

Ушбу қилинган хулосалар реактив қувват манбалари ростлашмайдиغان ҳолатлар учун ўринли эканлигини назарда тутиш лозим. Бўйлама-қўндаланг қўзғатишни синхрон компенсаторлар, замонавий ростлашувчи статик реактив қувват манбалари каби анча катта ростлаш эффектига эгадир. Уларнинг самарадорлиги анча юқори бўлиб, автоматик ростловчи қурилмалар назорат нуқталарида қучланишнинг ўзгармаслигини таъминлаб туради.

4.8. Комплекс юкламали тугушнинг турғунлик захирасини ҳисоблаш

Юқорида биз якка юкламада қувват истеъмолчининг қучланиш U га боғлиқлигини кўриб чиқдик. Бирок, одатда, айрим электр тугушларидан якка истеъмолчилар эмас, балки бир қатор истеъмолчилар таъминланиб, уларнинг таркибига

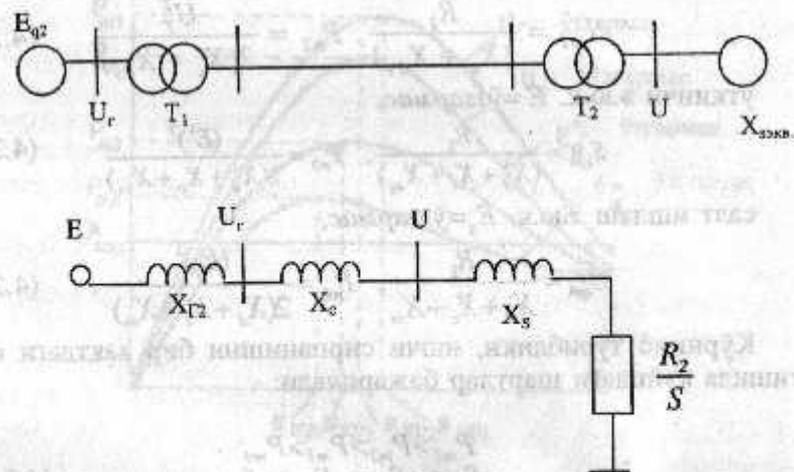
айланувчи машиналар ҳам кириди. Айланувчи машиналарнинг, айниқса, асинхрон моторларнинг мавжудлиги ўткинчи жараёнларнинг боришига ўзгаришлар киритади ва комплекс юкламанинг нотўғун бўлишига олиб келиши мумкин.

Одатда, асинхрон моторлар катта турғунлик захирасига эга бўлади. Уларда максимал айлантирувчи моментнинг ишчи моментга нисбаги $\frac{P_m}{P_o} = 1,5 \div 1,7$ га тенг бўлганлиги сабабли,

қучланишнинг кичик микдорга камайиши уларнинг турғун ишлашларга таъсир кўрсатмайди. Бу хулосаларнинг барчаси мотор ҳолатига боғлиқ бўлмаган қучланиш манбаидан таъминланадиган якка мотор учун ўринлидир.

Агар мотор ёки моторлар гуруҳи таққосланувчи қувватли генератордан таъминланса ва бунга мос ҳолда юклама шиналаридаги қучланиш ҳолатга боғлиқ бўлса, турғунлик сифати ўзгаради.

Узатма охирида комплекс юкламали тугуш бўлган схемани кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, юклама эквивалент мотор билан ифодаланган (4.20- расм).



4.20-расм. Комплекс юкламали тугушнинг ҳисоблаш (Юклама эквивалент мотор билан ифодаланган).

Кўришиб 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.

$$P_{m1} = \frac{E_d^2}{2X_{\Sigma}} \quad (4.20)$$

Бу ерда: $X_{\Sigma} = X_d + X_c + X_s$ - эквивалент қаршилик; $X_c = X_{T1} + X_{T2} + X_{T3}$ - системанинг қаршилиги. Ҳисоблашларни барча юклар битта эквивалент мотор, узатувчи томон генераторлари эса битта эквивалент генератор билан алмаштирилган ҳолат учун келтираемиз (4.21-расм):

мотор шиналаридаги кучланиш $U = \text{ўзгармас}$,

$$S_{\text{сп1}} = \frac{R_2}{X_{S_2}}, \quad P_{m1} = \frac{U^2}{2X_s}; \quad (4.21)$$

генератор шиналаридаги кучланиш $U_r = \text{ўзгармас}$,

$$S_{\text{сп2}} = \frac{R_2}{(X_c + X_{S_2})}, \quad P_{m2} = \frac{U_r^2}{2(X_c + X_{S_2})} \quad (4.22)$$

ўткинчи э.ю.к. $E = \text{ўзгармас}$,

$$S_{\text{сп3}} = \frac{R_2}{(X_d' + X_c + X_{S_2})}, \quad P_{m3} = \frac{(E')^2}{2(X_d' + X_c + X_{S_2})} \quad (4.23)$$

салт ишлаш э.ю.к. $E_q = \text{ўзгармас}$,

$$S_{\text{сп4}} = \frac{R_2}{X_d + X_c + X_{S_2}}, \quad P_{m4} = \frac{(E_q)^2}{2(X_d + X_c + X_{S_2})} \quad (4.24)$$

Кўришиб турибдики, ишчи сирпанишни бир вақтдаги ортишида қуйидаги шартлар бажарилади:

$$\begin{aligned} P_{m1} > P_{m2} > P_{m3} > P_{m4} \\ S_{\text{сп1}} > S_{\text{сп2}} > S_{\text{сп3}} > S_{\text{сп4}} \end{aligned} \quad (4.25)$$

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

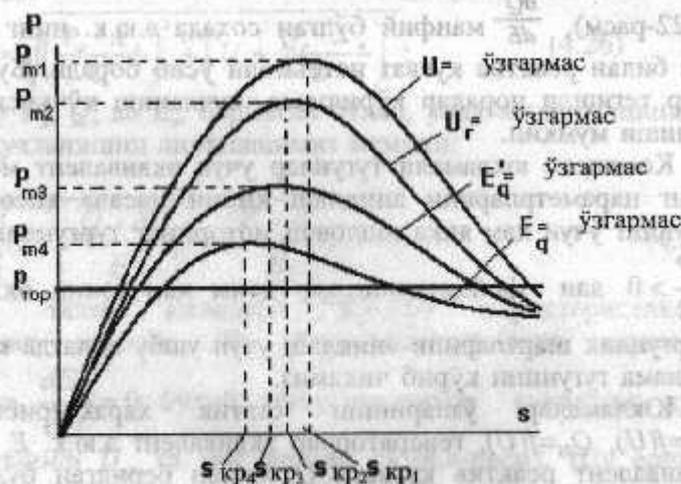
бўлганлиги сабабли, $E_q = \text{ўзгармас}$ бўлганда пайдо бўлади.

Характеристикалардан кўришиб турибдики, моторнинг тўнтарилиши юкларнинг 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 кўзгатишини турлича ростланишларида турличадир:

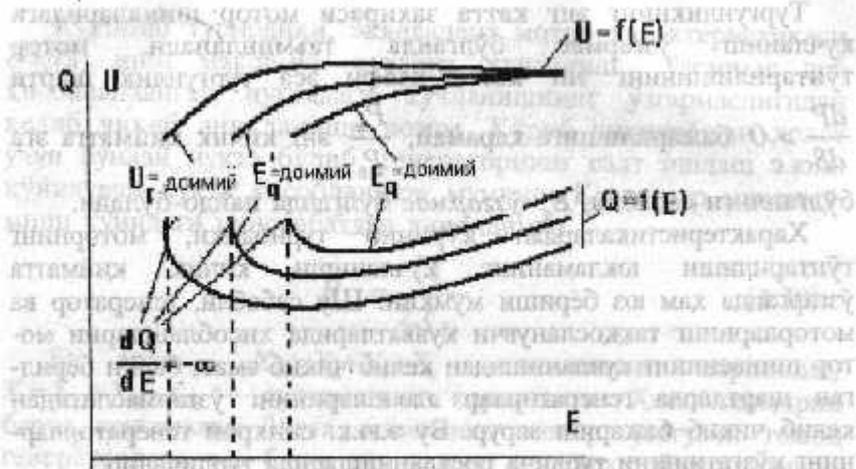
- $E_q = \text{ўзгармас}$, $X_r = X_d$ - ҚАР мавжуд эмас;

- $E_q \approx E = \text{ўзгармас}$, $X_r = X_d'$ - 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.

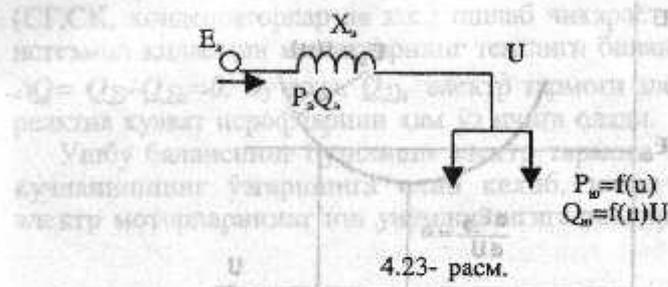


4.22-расм. Комплекс юкламали тугунининг турли нукталаридаги кучланишлар ўзгармас бўлган ҳоллар учун характеристикалари.

Кўрилган характеристикалардан кўришиб турибдики, (4.22-расм), $\frac{dQ}{dE}$ манфий бўлган соҳада э.ю.к. нийг камайиши билан реактив қувват истеъмоли ўсиб боради. Бу ҳодиса, агар тегишли чоралар кўрилмаса, кучланиш кўчкисига олиб келиши мумкин.

Комплексе юкламали 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.

Юкламалар ўзларининг статик характеристикалари $P_H=f(U)$, $Q_H=f(U)$, генераторлар эквивалент э.ю.к. E , ва ички эквивалент реактив қуввати Q_0 билан берилган бўлсин. Бу шартларда биз эквивалент э.ю.к.ни тугун кучланишига боғлиқлик характеристикаси $E_s=f(U)$ ни кўришимиз мумкин.



4.23- расм.

Бунинг учун комплекс юклама шинасида кучланишнинг турли қийматлари U , ни берамиз ва унинг ҳар бир қиймати учун ҳар бир юклама ва бутун комплекс юкламали тугун истеъмоли килаётган актив P , ва реактив Q , қувватларни уларнинг статик характеристикалари бўйича аниқлаймиз. Сўнгра ўрнатилган U , учун эквивалент э.ю.к. E , қийматини аниқлаймиз. Буца иккита вариант бўлиши мумкин:

- агар юкламанинг актив ва реактив қувватлари берилган бўлса, унда

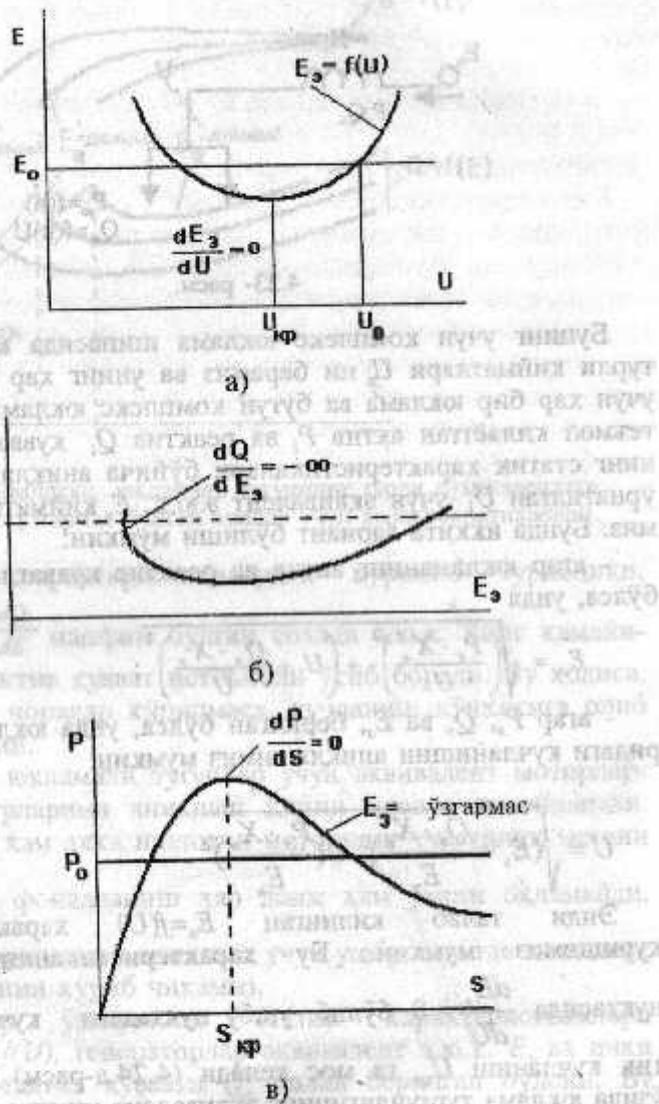
$$E_s = \sqrt{\left(\frac{P_u \cdot X_s}{U}\right)^2 + \left(U + \frac{Q_u \cdot X_s}{U}\right)^2}; \quad (4.26)$$

- агар P_u , Q_u , ва E_s , берилган бўлса, унда юклама шиналаридаги кучланишни аниқлашимиз мумкин:

$$U = \sqrt{\left(E_s - \frac{Q_u \cdot X_s}{E_s}\right)^2 + \left(\frac{P_u \cdot X_s}{E_s}\right)^2}. \quad (4.27)$$

Энди талаб қилинган $E_s=f(U)$ характеристикани қуришимиз мумкин. Бу характеристиканинг минимум нуктасида $\frac{dE_s}{dU} = 0$ бўлиб, ушбу нуктадаги кучланиш критик кучланиш U_{sp} га мос келади (4.24,а-расм). Шу ернинг ўзида юклама турғунлигининг эквивалент шартлари берилган:

$$\frac{dQ}{dE_s} = -\infty \quad \text{ва} \quad \frac{dP}{dS} > 0.$$

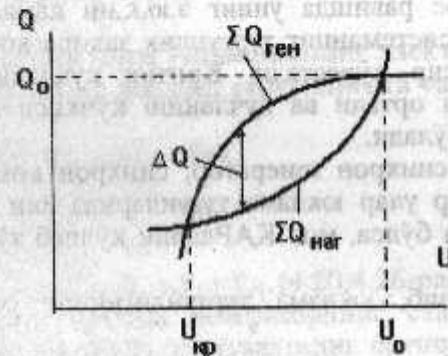


4.24-расм. Юклама турғушлигининг бир хил кучга эга бўлган мезонлари:

- 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 балансинг бузилиши электр тармоғи тугулиларидаги кучланишнинг ўзгаришига олиб келиб, ишчи механизмлар электр моторларининг иш унумдорлигига таъсир қилади.



4.25-расм. Реактив қувват баланси ва комплекс юклама турғушлигига доир.

4.25- расмдаги графикдан кўришиб 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 орттиришига олиб келади. Ушбу шарт комплекс юкламали тугуни-нинг кучланиш бўйича турғушлик шarti сифатида олинishi мумкин. Турғушлик мезони бўлиб, $\frac{d(\Delta Q)}{dU} < 0$ шарт ҳисобланади.

Захира коэффициенти, ушбу характеристика учун ҳам, комплекс юкламали тугун характеристикаси $E_3 = f(U)$ учун ҳам қуйидагича аниқланади:

$$K_{cm} = \frac{U_o - U_{kp}}{U_o} \quad (4.28)$$

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_{kp} 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 қўлаб 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 тўнгарилиши (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

$$P = \frac{E \cdot U}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta. \quad (4.43)$$

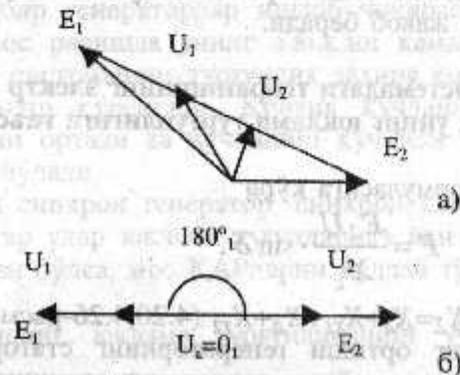
Бу ерда: $X_{\Sigma} = X_d + X_{T1} + X_L + X_{T2}$ (4.20, 4.26-расм).

Бурчакнинг ортиши генераторнинг статор занжиридаги ток ва ундан узатилаётган қувватнинг ортишига олиб келади. Шу сабабли, электр узатманинг оралик нукталарида кучланиши пасаяди.

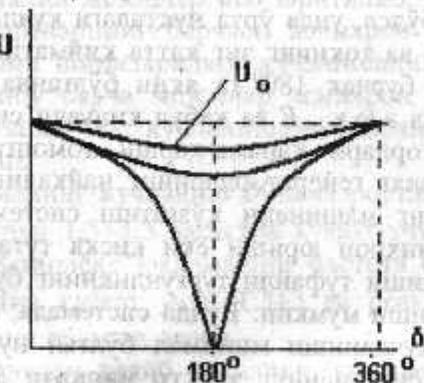
Агар э.ю.к E ва қабул қилувчи томондаги кучланиш U ўзгармас бўлса, унда ўрта нуктадаги кучланишнинг энг кичик қийматига ва токнинг энг катта қийматига E ва U векторлар орасидаги бурчак 180° га яқин бўлганда эришилади. Демак, ушбу ҳолда э.ю.к E ва қабул қилувчи система кучланиши U нинг векторлари қарама-қарши томонга йўналган бўлади. Бундай ҳолат генераторларнинг чайқалиши ёки синхрон генераторнинг машинани қўзғатиш системасидаги авария туфайли асинхрон юриши ёки қисқа тугапув ёки линиянинг ўта юкланиши туфайли турғунликнинг бузилиши натижасида содир бўлиши мумкин. Бунда системада, берилган бошланғич ҳолатда, кучланиши минимал бўлган нукта мавжуд бўлади. Бу нукта 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 кучланиш нолгача пасаяди, генераторларнинг э.ю.к. векторларининг йўналишлари 180° га фарк қилади. (4.26, 4.27- расмлар).

Бундан келиб чиқадики, электр марказида жойлашган истеъмолчилар даврий равишда уч фазали киска туташув билан тенг ҳолатга тушиб қолади.



4.26- расм. Системанинг электр маркази:
а) вектор диаграмма; б) симметрик системадаги кучланиш.



4.27-расм. Системанинг электр марказида кучланишнинг 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 маъхумроқдир.

Шундай қилиб, электр марказида жойлашган истеъмолчилар линия боштанишидаги кучланиш доимий бўлишига қарамасдан нотуруғун 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 юкласи жамланган тугунлардаги кучланишда акс этади.

Бу тугунлардаги ўткинчи жараёнлар катта турткиларда биз кўриб ўтган кичик турткилардаги ўткинчи жараёнлардан фарк 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 шиналаридаги кучланишнинг кучли пасайишига олиб келади.

Электр узатиш линияларида шамол таъсирида фазалараро киска туташувлар юз бериши мумкин. Бироқ бу киска туташувлар ўткинчи бўлиб, киска туташувли қисмни узилиши натижасида ўз-ўзидан бартараф бўлади, бироқ бу қисм истеъмолчилари узилиш momentiдан линияни автоматик қайта

уланиш (АКУ)гача бўлган вақт орлиғида маибасиз қолади. АКУ моментида яна катта ишга тушириш тоқлари ҳосил бўлади.

Айнан шундай масалалар моторларни ўз-ўзидан ишга туширишда 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 юктамалар таъсирида намоён бўлади.

Динамик таъсирларда ҳолат параметрларининг ўзгаришига юктамалар ўзларининг динамик характеристикаларига мос равишдаги таъсир билан жавоб беради. Шунинг учун бу характеристикаларни юктаманинг асосий турлари учун кўриб чиқамиз.

а) Асинхрон моторларнинг динамик характеристикалари. Биз юқорида асинхрон моторнинг ҳолатни секин ўзгаришларида олинган статик характеристикаларини кўриб чиқдик. Бундан ташқари, биз система ҳолатини ўзгариш харақтерига механик жараёшлар таъсирини эътиборга олмадик. Юқорида асинхрон моторни Г-симон алмаштириш схемаси асосида электр магнит айлантурувчи 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:

$$P = \frac{2P_m}{\frac{S}{S_{sp}} + \frac{S_{sp}}{S}} \quad (4.31)$$

Бу ерда, $P_m = U^2 / 2X_s$; S_{sp} - асинхрон моторнинг критик ва жорий сирпанишлари.

Мотор роторининг харақат тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$T_D \frac{dS}{dt} = P - P_T \quad (4.32)$$

Бу ерда: T_D - моторнинг ишчи механизми билан биргалиқдаги инерция доимийси; P_T - ишчи механизмнинг қаршилик 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 яқиний ечимни ҳосил қиламиз:

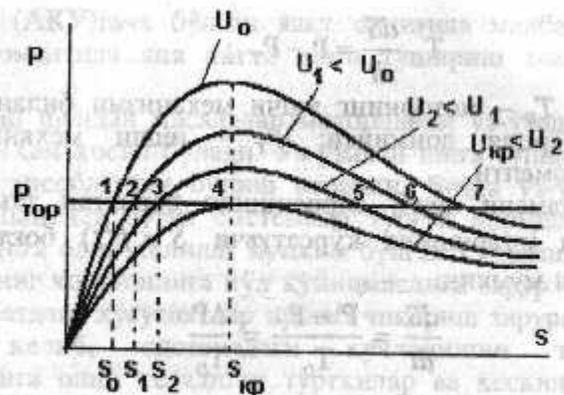
$$t = T_D \int_{S_0}^S \frac{dS}{\Delta P} \quad (4.34)$$

Кучланишнинг турли қийматларини бериб, машинанинг моменти ва сирпанишининг 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).

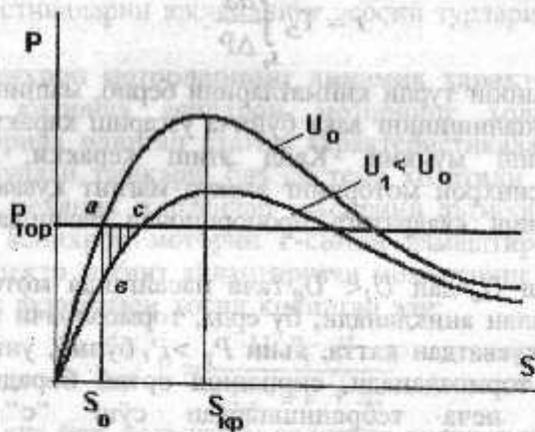
Кучланиш U_0 дан $U_1 < U_0$ гача пасайганда мотор ҳолати "в" нукта билан аниқланади, бу ерда, тормозловчи қувват айлантурувчи қувватдан катта, яъни $P_T > P$, бўлиб, унинг таъсирида ротор тормозланади, сирпаниш ортиб боради ва янги ҳолат бир неча тебранишлардан сўнг "с" нуктада турғунлашади (4.29-расм). 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 қаршилиғи ўзгаради, бу эса статор ва ротор тоқларини ўзгаришига олиб келади.



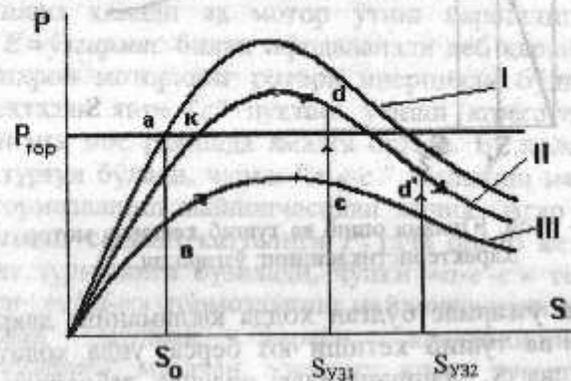
4.28- расм. Асинхрон мотор шиналаридаги кучланишнинг турлича қийматлари учун электр магнит характеристикалари.



4.29- расм. Машина шиналаридаги кучланиш ўзгарганда мотор характеристикасининг ўзгариши.

Бундан келиб чиқадики, мотор ҳолатини характерловчи қийматлар ва унинг турғушлик шароитлари статик характериетикаларга татбиқ қилиб аниқланган қийматлардан фарқ қилади.

Агар юклама шиналари яқинида қисқа туташув содир бўлса, моторнинг динамик характеристикалари ўзгаришини 4.30-расм асосида кузатиш мумкин. Кўришиб турибдики, бунда моторнинг айлангирувчи моменти камаяди, сирпаниш ортиб боради ва мотор ҳолати III характеристикадаги "в" нукта билан аниқланади.

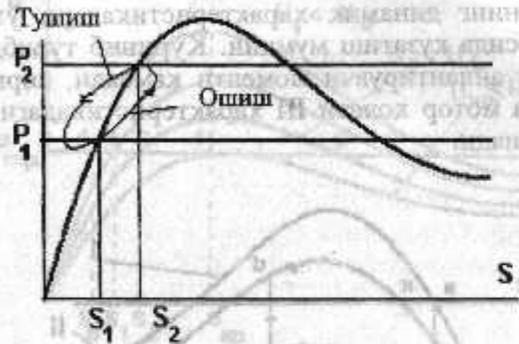


4.30- расм. Машина шиналари яқинидаги қисқа туташувда мотор характеристикасининг ўзгариши.

I нормал ҳолат характеристикаси (U_n), II авариялан кейинги ҳолат характеристикаси, III қисқа туташув ҳолати характеристикаси.

Қисқа туташув узилганда S_{y31} да валда ортиқча айлангирувчи момент ҳосил бўлади ($P_r < P$), чунки мотор ҳолати "д" нукта билан аниқланади. Бунинг таъсирида моторнинг айланиш тезлиги ортади ва "к" нуктада янги турқушлаган ҳолат ўрнатилади.

Агар қисқа туташувнинг узилиши S_{y32} га мос келувчи моментда юз берса, унда моторнинг ҳолати II характеристика ва ундаги "д" нукта билан аниқланади. Валда тормозловчи момент, аввалгидек, юқори бўлади ($P_r > P$). 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 ёшасига тўнтарилиши ва кучланиш кўчкиси содир бўлиши мумкин. Бу эса бугун системанинг турғушлигини 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 фарqli синхрон моторлар кўзгатиш системасига эга бўлиб, бу эса уларнинг динамик характеристикаларини турлича бўлишига олиб келади.

Кучланиш ўзгарганда, синхрон моторнинг куввати ва айлантирувчи моменти куйидаги ифодага кўра, кучланишни қийматига тўғри пропорционал равишда ўзгаради:

$$P = \frac{E_q \cdot U}{X_d} \sin \delta \quad \text{ва} \quad M = \frac{P}{\omega} \quad (4.35)$$

Юклама ҳолатларини ўзгаришида синхрон моторнинг характерловчи хусусияти бўлиб, унинг кўзгатиш системаси ва эркин тоқлар ҳисобига кўзгатиш чулғамининг илашувчи оқими, ҳеч бўлмаганда вақтнинг дастлабки моментида ўзгаришсиз қолишидир. Бу машинани ўткинчи қаршилик X_d

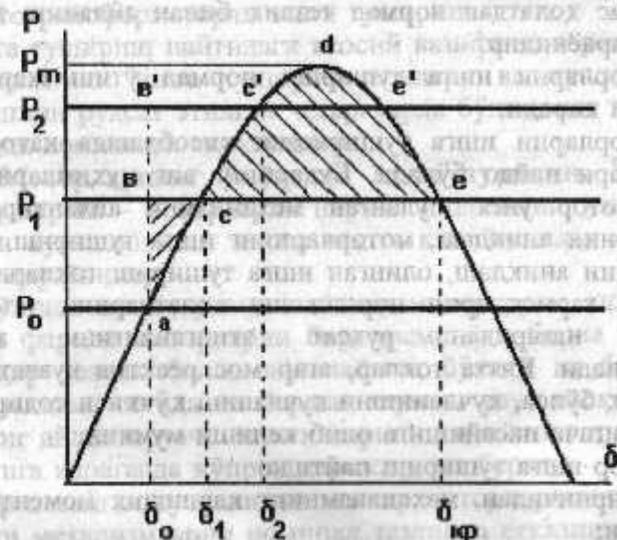
ортидаги ўзгармас ўткинчи э.ю.к. $E = \text{ўзгармас}$ кўринишда ифодалаш имконини беради.

Юклама турткилари ёки сакрашларидаги динамик характеристикаларни кўриб чиқамиз (4.32- расм).

Фараз қилайлик, ишчи механизми томонидан кувват 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, "a" нуқтадан янги "c" нуқтага ўтиши агрегатнинг инерция доимийсига мос равишда амалга ошади. Бу ҳолатда динамик ҳолат турғун бўлади, чунки "a-в-c" тезланиш майдончаси "c-d-e" тормозланиш майдончасидан кичик. Агар тормозловчи моментнинг сакраш катталиги P_2 гача ортиб кетса, унда моторнинг турғунлиги бузилади, чунки «a-в-c» тезланиш майдончаси «c'-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 тор-мозланиш майдончасига нисбатан катта бўлса, унда мотор турғушликни йўқотади.

Турғушликни сақлаш учун шиналардаги кучланишни бурчак ошиб, у моторнинг турғушлигини 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 тенлаштириб аниқлаш мумкин:

$$\delta_{с.б.} = \frac{P_1 \cdot \delta_0 - P_0 \cdot \delta_{кр} - P_{m_0} (\cos \delta_{кр} - \cos \delta_0)}{P_1 - P_0} \quad (4.36)$$

Сўнгра кетма-кет интерваллар усули бўйича ҳали моторнинг турғушлигини таъминлаш мумкин бўлган кучланиш ёки дастлабки моментнинг тикланиш вақтини аниқлаш мумкин.

в) Моторларни ишга тушириш. Моторларни ишга тушириш — бу моторларни ва мос ҳолда ишчи механизмлари кўзгалмас ҳолатдан нормал тезлик билан айланиш ҳолатига ўтиш жараёнидир.

Моторларни ишга тушириш нормал ўтиш жараёнлари каторига кирadi.

Моторларни ишга туширишни ҳисоблашда катор ҳолат масалалари пайдо бўлади. Буларнинг энг муҳимлари бўлиб, ушбу мотор унга уланган механизми айлантира олиш шартларини аниқлаш, моторларнинг ишга тушириш тоқлари қийматини аниқлаш, олинган ишга тушириш тоқларини система ва тармоқларни нормал иш ҳолатларини таъминлаш нуқтан назаридан руҳсат 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) биричидан, механизмнинг 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 тоқининг номинал тоқка нисбатан қарралиги қуйидагичадир:

$$\frac{I_{пуск}}{I_H} = 1,5 - 2 \text{ — фаза роторли асинхрон моторлар учун;}$$

5 - 8 — қисқа туташган роторли моторлар учун.

Ишга тушириш шартлари одатда қуйидагиларга бўлинади:

- енгил, бунда айлантирувчи момент $M_{ном}$ нинг 10-40% ни ташкил этади;

- нормал, бунда айлантирувчи момент $M_{ном}$ нинг 50-75% ни ташкил этади;

- оғир, бунда айлантирувчи момент $M_{ном}$ 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 тоқлари ва кучланишнинг пасайишини руҳсат этилган чегараларда бўлишини таъминлаган ҳолда номиналга етказишдир.

г). Моторларнинг ўз-ўзидан ишга тушириши. Ўз-ўзидан ишга тушириш — моторларни нормал ишлашини, уни иш жараёнини кучланишнинг қисқа вақтга камайишидан сўнг тикланиш жараёнидир.

Ўз-ўзидан ишга тушириш 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 туширишдаги қараганда кўпроқ даражада юз беради.

Агар пасайган кучланишда электр моторларининг ортиқча momenti механизмлари 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 айланттирувчи моментини ўз-ўзидан ишга тушиш вақтида қучланишни пасайишини ҳисобга олган ҳолда етарлилигини аниқлаш.

2. Электр моторини тезлик олиш вақтини чўзилганлиги билан боғлиқ қўшимча қизиқини аниқлаш.

Ушбу масалаларни қуйидагиларга келтириш мумкин:

1. Электр таъминотини бузилиши вақтидаги ишдан чиқиб кетишни аниқлаш.

2. Ўз-ўзидан ишга тушиш учун зарур бўлган қучланиш ва ортиқча моментни аниқлаш.

3. Ўз-ўзидан ишга тушиш вақтини ва қўшимча қизиқини 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:

$$T_j \frac{d\omega}{dt} = M - M_{mec} = \Delta M. \quad (4.37)$$

(4.37) ни интеграллаб қуйидагини ҳосил қиламиз

$$S_c = S_y + \frac{1}{T_j} \int_0^{t_c} M_{mec} dt \quad (4.38)$$

Бу ерда: S_c - ўз-ўзидан ишга тушиш momentiдаги сирпаниш; t_c - таъминотдаги узилиш вақти.

Ўзгармас қаршилик momentiда бу ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$S_c = S_y + \frac{M_{mec}}{T_j} \cdot t_c \quad (4.39)$$

Ўз-ўзидан ишга тушиш пайтида юклама шиналаридаги қучланиш, биринчидан, тезлик ошишининг бугун жараёни давомида моторларнинг ортиқча музбат моментини таъмин-

лаши, иккинчидан, ушбу тугунга уланган бошқа турлардаги юкламаларнинг нормал ишлаши учун етарли бўлиши лозим.

Минимал қучланиш ўз-ўзидан ишга тушишни амалга ошириш имконияти шартидан келиб чиқиб қуйидагича аниқланади:

а) Қаршилик momenti ўзгармас бўлган механизмлар учун

$$U^2 M_{min} \geq 1,1 M_{mec}. \quad (4.40)$$

б) Қаршилик momenti вентилятор характеристикали бўлган механизмлари учун:

$$U^2 M_{max} \geq 1,1 M_{mec}. \quad (4.41)$$

Бу ерда: M_{min} и M_{max} - моторнинг минимал ва максимал айланттириш momenti.

Агар электр таъминотининг узилиш вақти катта бўлмаса, ва ортиқча момент ўз-ўзидан ишга тушишнинг бошланишида ва охирида 20-25% дан кўпроққа фарқ қилмаса, ўз-ўзидан ишга тушиш вақти ўртача ортиқча 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 ҚАР.ли ва қўзагишни 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, қучланиш тикланганидан сўнг оғир агрегатлар ўз-ўзидан ишга тушувчи кетма-кет ишга тушиш ҳам қўлланилади. Линиялар, трансформаторлар, моторларни автоматик қайта улаш ва резервни автоматик киритишларин 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. Юкламанинг ростлаш эффекти. Унинг маъноси нима?

7. Асинхрон моторни кучланиш ва частота бўйича ростлаш эффекти?

8. Система қаршилигини ҳисобга олиш асинхрон юкламанинг турғунлигига қандай таъсир қилади?

9. Комплекс юклама турғунлигининг амалий мезонлари.

10. Система чайқалишларининг электр маркази.

5. ЭЛЕКТР СИСТЕМАСИНING 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 таъминлашга ҳадар 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

$$P_r = \frac{E_q \cdot U}{X_{\Sigma B}} \sin \delta \quad (5.1)$$

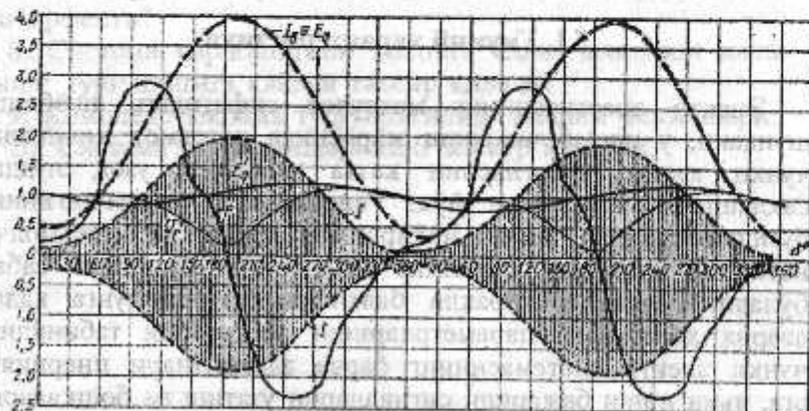
ва роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt} = P_T - P_r = P_T - \frac{E_q U}{X_{\Sigma B}} \sin \delta \quad (5.2)$$

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 ($Z_d \neq Z_q$, $X_d \neq X_q$,

кўзгатиш чулғамининг бир ўқилиги) ҳолат параметрлари тебранишнинг яна бир сабаби ҳисобланади.

Генераторда узок муддатли қисқа тугашув ёки ўта юкла- ниш бўлса, бурчак δ нинг тебраниши 90° дан катта бўлиши натижасида машина синхронизмдан чиқиб кетади ва оқи- батда 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). Шунинг таъкидлаш лозимки, асинхрон ҳолатга роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликдан фарқ қиладиган барча ҳолатлар киради: ўз-ўзини синхронлаш, кўзгатишнинг ўз-ўзидан узилиши ёки қисқа тугашув 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 кўшимча қувват ишлаб чиқаради, шу сабабли, бу қувват асинхрон деб аталади.

Шундай қилиб, валга моментнинг учта ташкил этувчиси – э.ю.к. E га пропорционал бўлган синхрон электромагнит, асинхрон (сирпанишга боғлиқ) ва турбинанинг айланувчи моментлари таъсир этади. У ҳолда роторнинг нисбий ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_T - P_T - P_a \quad (5.3)$$

Бу ерда: P_a – синхрон генераторнинг асинхрон momenti (қуввати).

Электр системаларини ишлатиш тажрибаси шуни кўрсатадики, синхронизмдан чиққан генераторларни маълум вақтгача тармоқдан узмасдан, ундаги кўзгатишни ва турбинанинг тезлигини ростлаш ёки бошқа тадбирларни қўллаш ёрдамида валдаги қувватларнинг балансини тиклаш мумкин. Бу ушбу ҳолатда генераторлар маълум микдордаги актив қувватни бера олиши билан тушунирилади. Масалан, катта қувватли турбогенератор номинал актив қувватнинг 50-70% гача бериши мумкин. Шу сабабли, қуйидаги ҳолларда асинхрон ҳолатда ишлашга рухсат этилади:

– турбогенераторда кўзгатиш бўлмаганда 30 минутгача, кўзгатиш бўлганда эса бир оз кам;

– гидрогенераторларда кўзгатиш бўлганда 4 минутгача.

Кўрстилган вақт ичида кўзгатиш системасидаги носозлик бартараф этилиши, яъни генераторни захирадаги кўзгатишга ёки юкламани 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 тугашу-рида кучланишнинг пасайиши таъсирида бузилиш эҳтимолига боғлиқдир. Чунки бунда генератор тармоқдан катта микдордаги 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 $I_{\mu} = (0.4 \div 0.65) I_{H}$, гидрогенераторлар учун эса $I_{\mu} > I_{H}$ бўлиб, бу ерда: I_{H} — 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 чиқарётган асинхрон қувватнинг қиймати номинал қувватга тенг бўлиши мумкин (5.2-расм).



5.2- расм. Синхрон генераторнинг ўргача асинхрон моментлари:

1- турбогенератор, 2 – демпфер чулғами бўлмаган гидрогенератор,

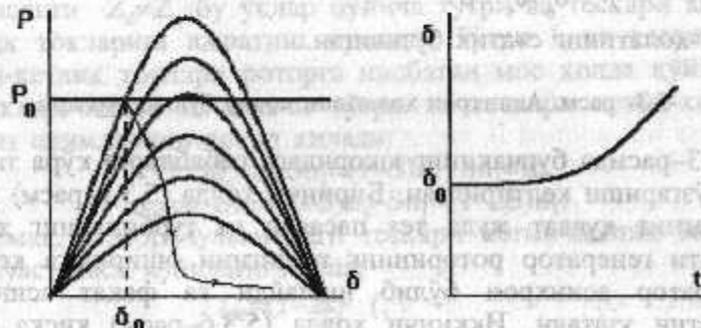
3- демпфер чулғами бўлган гидрогенератор.

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.

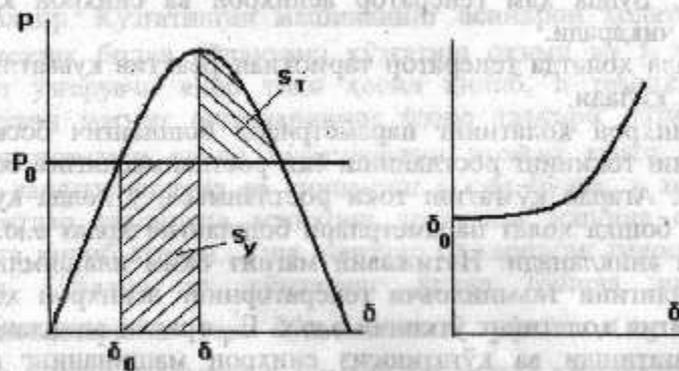
5.2. Асинхрон ҳолатнинг содир бўлиш жараёни

Асинхрон ҳолат турли сабабларга кўра юзага келиши мумкин. Уларни 3 та асосий гуруҳга ажратиш мумкин (5.3-расм):

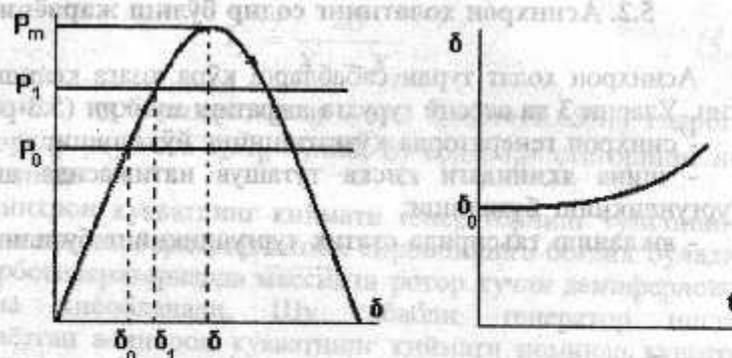
- синхрон генераторда кўзгатишнинг йўқолиши;
- шина яқинидаги қиска туташув натижасида динамик турғунликнинг бузилиши;
- юкланиш таъсирида статик турғунликнинг бузилиши.



а) кўзгатишнинг 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 туташувнинг чўзилганлиги ($S_2 > S_1$) 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 тармоқдан реактив қувватни истеъмол қилади.

Асинхрон ҳолатнинг параметрлари бошланғич босқичда кўзгатиш тоқининг ростланиши ёки ростланмаслигига боғлиқ бўлади. Агарда кўзгатиш тоқи ростланмаса, у ҳолда қувват, ток ва бошқа ҳолат параметрлари бошланғич ҳолат э.ю.к. E_q бўйича аниқланади. Натижавий магнит оқим илашимлигини доимийлигини таъминловчи генераторнинг асинхрон ҳолати бошланғич ҳолатнинг ўтқинчи э.ю.к. E_q орқали аниқланади.

Кўзгатишли ва кўзгатишсиз синхрон машинанинг асинхрон ҳолати бир-биридан фарқ қилади. Кўзгатишли синхрон машинанинг асинхрон ҳолатини кўзгатишсиз асинхрон машина ва кўзгатишли синхрон генераторлар ҳолатларининг

йиғиндиси шаклида кўриш мумкин. Агарда машина кўзгатилмаган бўлса, у ҳолда машинанинг тормозловчи электромагнит momenti сирпаниш ва динамик аён кутблилик momenti $x'_d \neq x'_q$, $x'_q \neq x_q$ га боғлиқ бўлган асинхрон моментдан иборат бўлади. Статор тоқлари 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 қаршиликларнинг ўзаро тенг бўлмаслиги $Z_d \neq Z_q$ бу ўқлар бўйича тўғри ва тесқари кетма-кетлик тоқларига ажратиш мумкин. Тўғри I_1 ва тесқари I_2 кетма-кетлик тоқлари роторга нисбатан мос ҳолда қуйидаги тезликлар билан айланувчи тўғри ва тесқари 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 тесқари кетма-кетлик тоқи I_2 нинг частотаси қуйидагига тенг:

$$f_{2c} = (1-2s) \cdot f_1 \quad (5.6)$$

Тўғри кетма-кетлик тоқи частотаси:

$$f_{1c} = f_1 \quad (5.7)$$

Шундай қилиб, статор чулғамларидаги тоқлар ҳар хил частотали ташкил этувчилардан иборат бўлиб, улар носину-соидалдир. Кўзгатишган машинанинг асинхрон ҳолатида $(1-S)n$ тезлик билан айланувчи кўзгатиш оқими ва f_1 частота билан ўзгарувчи якор тоқи ҳосил қилиб, n тезлик 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. Ўша шартлар бажарилган гидрогенераторда бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича индуктив қаршиликларнинг тенг бўлмаганлиги туфайли ($x'_d \neq x'_q$) у ҳосил бўлган параметрик момент таъсирида кўзгатишсиз ҳам синхронизмга киради:

$$\frac{U^2 \cdot (x_d - x_q)}{2 \cdot x_d \cdot x_q} \sin 2\delta \quad (5.8)$$

Синхрон генераторни синхронизмдан чикиб кетиши ва динамик турғунликнинг бузилиши натижасида барқдорлашган асинхрон ҳолатга ўтиш жараёнларини кўриб чиқамиз.

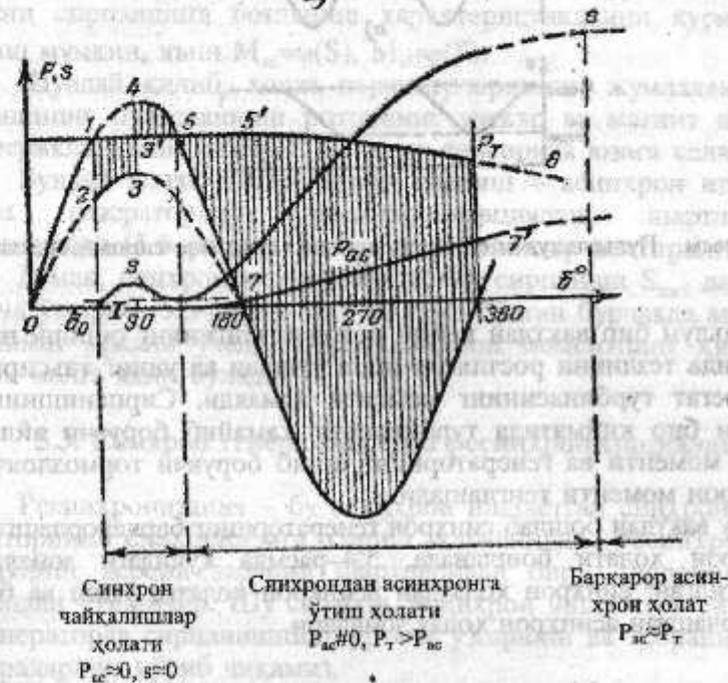
Икки занжирли электр узатиш схемасини кўрамиз (5.4, а-расм). Линиялардан бири узилиб, қайта уланган деб фараз қиламиз. Генератор синхронизмдан чикиб кетиши учун вақт етарли бўлади. Машинанинг кўзгатиш системаси сақлашиб қолади ва X_d қаршилик ортида $E = \dot{U}$ ўзгармас таъминланади деб фараз қиламиз.

Синхронизмдан чикиб кетиши майдонлар усули асосида таҳлил қиламиз. Бирор линиянинг узилишидан кейин генераторнинг иш ҳолати II характеристика билан аниқланади. Линия қайта улангунча машинанинг ротори ортикча тезланувчи момент $\Delta P = P_T - P_G > 0$ таъсирида тезланади, чунки 1233° тезланувчи майдон 3' 4 5 тормозланувчи майдондан катта 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 опиб боради, сирпанишнинг киймати ўсади ва мос равишда генераторнинг асинхрон momenti ўсади.

Юқорида айтилганидек, асинхрон момент сирпаниш ва машинанинг параметрларига боғлиқ бўлади ва у қуйидагича аниқланади:

$$P_a = \frac{U^2 (x_d - x'_d)}{x_d \cdot x'_d} \cdot \frac{T_d \cdot S}{1 + (T_d \cdot S)^2} \quad (5.9)$$

бу ерда: T_d – ўткинчи вақт доимийси.



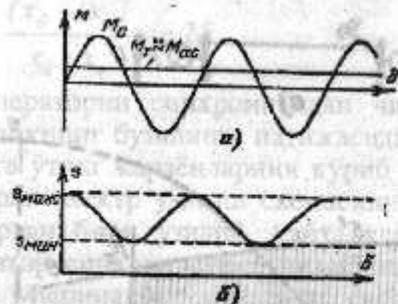
5.4- расм. Асинхрон ҳолатнинг юзага келиш жараёни.

Ортикча момент қуйидагича тенг:

$$\Delta P = P_T - P_G - P_a = (P_T - P_G) - P_a \quad (5.10)$$

Бу ерда: $(P_T - P_G)$ монотон ўсади, P_G эса пульсланади, чунки у синусоидал қонуни асосида ўзгаради. Шунга мос ҳолда сирпаниш ҳам иккита ва ўртгача пульсланувчи ташкил этувчилардан иборат бўлади.

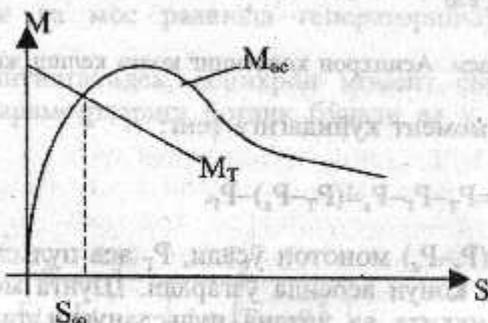
Бурчак, тахминан, 200–300° бўлганда генератор валига унча катта бўлмаган тезлаштирувчи момент таъсир қилади.



5.5- расм. Пульсланувчи 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 айланувчи моменти ва генераторнинг ошиб борувчи тормозловчи асинхрон моменти тенглашади.

Шу вақтдан бошлаб синхрон генераторнинг барқарорлашган асинхрон ҳолати бошланади. 5.4-расмда куйидаги зоналар кўрсатилган: синхрон ҳолатдан асинхрон ҳолатга ўтиш ва барқарорланган асинхрон ҳолат зоналари.



5.6- расм. Сирпанишнинг ўзгариши билан синхрон генераторнинг асинхрон моменти ва турбина моментининг ўзгариши.

P_{ac} ва P_T нуқталар тенг бўлганда S_{osc} га мос келувчи асинхрон ҳолат ўрнатилади.

Барқарорлашган асинхрон ҳолатга мос келувчи сирпанишни асинхрон моментнинг сирпанишга ва турбина моменти сирпанишга боғланиш характеристикасини қуриб топиш мумкин, яъни $M_{ac} = \varphi(S)$, $M_T = \varphi(S)$.

Шундай қилиб, ҳолат параметрларининг, жумладан силжишнинг пульсланиши роторнинг электр ва магнит носиметриклигининг синхрон моменти таъсирида юзага келади.

Бундай ҳолат синхронизмга қайтиш – асинхрон ишлаётган генераторнинг ресинхронизациялаш шартларини аниқлайди (5.6-расмда бу характеристикалар 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, кўрилаётган ҳолатда роторнинг нисбий ҳаракат дифференциал тенгламаси куйидаги кўринишга эга:

$$T_J \frac{d^2 \delta}{dt^2} + P_d \frac{d\delta}{dt} + P_T = P_T. \quad (5.11)$$

Бу ерда: $P_T = P_m \sin \delta = \frac{E_q U}{X_d} \sin \delta$ – машинанинг э.ю.к. га про-

порционал бўлган синхрон қуввати ва $P_d \frac{d\delta}{dt}$ – асинхрон қувват, P_d – демпферлик коэффициентини (2.11-тенглама).

Кувватлар йиғиндис

$$P_a + P_m \cdot \sin \delta \quad (5.12)$$

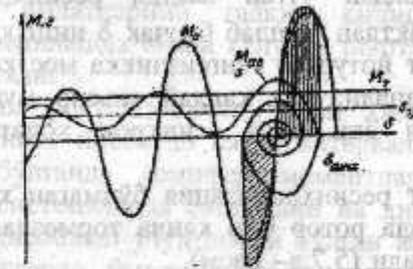
синхрон тезликдан фарқ қилувчи тезликда генератор ишлаб чиқариётган умумий электр қувватни кўрсатади. Бу ерда, агар кўзгатиш токи узилмаса қувватнинг ўртача қиймати нолга яқин ва синхрон қувват машинанинг э.ю.к. га пропорционал пульсланади. Асинхрон қувват демпфер системасига боғлиқ.

Агар машина ротори тезлашиш олса, юқорида кўрсатилганидек бурчак δ ўсади, натижада $\frac{d\delta}{dt} = S$ хосила ва мос ҳолда қувват P_a ҳам мусбат бўлади. Бошқача айтганимизда, ротор тезлашган даврда демпферловчи чулғам ва роторнинг қисқа туташган эквивалент контурлари генераторнинг электромагнит қувватини оширади, бу эса тормозланишга ва мос равишда бурчак δ нинг камайишига олиб келади.

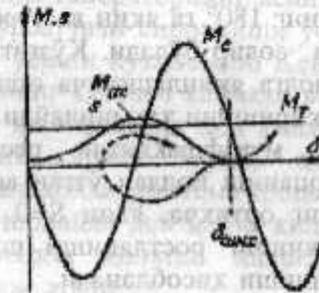
Фараз қилайлик, кўзгатиш токининг ошиши P_r амплитуда қийматини ва сирпанишни ошишига олиб келади. P_r қувватишги тебраниши оқибатида сирпаниш ўзининг ўртача қиймати чегарасида сезиларли амплитуда билан тебраниб туради. Э.ю.к. қанча катта бўлса, бу тебраниш ҳам шунчалик катта бўлади. (5.7-расм). Сўнгра тезлик ростлагичнинг таъсирида турбина клапани ёки йўнаштирувчи аппаратнинг ёпилиши натижасида тезликнинг ўртача қиймати пасайиб боради.

5.5 ва 5.7- расмлардан кўринадики, 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, чунки $S=0$ бўлганда асинхрон қувват нолга тенг бўлади.

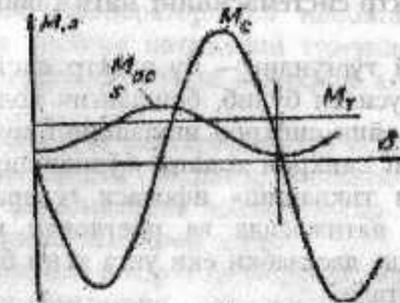
Шунинг учун машина валидаги моментларнинг мумкин бўлган нисбатларини бурчакнинг ортиши билан кўзгатиш токи ошиши ва сирпаниш нолга яқинлашган ҳолат учун кўриб чиқамиз. 5.7,а- расмда валга ортикча пульсланувчи тормозловчи момент таъсир этиб, $P_r > P_r$ бўлган вазиятда генераторнинг сирпанишини нол орқали ўтишига мос келувчи муваффақиятли ресинхронизация ҳолати кўрсатилган.



а)



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 холдан ўтган вақтда ресинхронизация содир бўлади. Шу вақтдан бошлаб бурчак δ нинг қиймати камаяди.

$P_1 = P_T$ шарт нотурғун тенгсизликка мос келувчи чегаравий ҳолат ҳисобланади: ҳар қандай таъсир муваффақиятли ресинхронизация ёки янги асинхрон ҳолатга олиб келади (5.7,б–расм).

$P_1 < P_T$ 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. Кўзгатиш тоқини сирпанишнинг қиймати холга яқинлашгунча ошириш генераторни синхронизмга тинч киришини таъминлайди.

Шундай қилиб, муваффақиятли ресинхронизациянинг шартлари бўлиб сирпаниш холдан ўтган вақтда валдаги тормозловчи моментнинг ортикча, яъни $S=0$ ва $P_1 < P_T$ бўлиши, ҳамда кўзгатиш тоқининг 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 аниқлатади.

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 руҳсат этилган вақт қийматлари юқорида келтирилган эди. Қисқа муддатли асинхрон ҳолатдан фойдаланишдан воз кечиш, юктамаларни 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 ҳарактерда 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 хол 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 шarti, бундай ҳолатнинг вақти, ресинхронизацияни амалга ошириш учун ҳолат параметрларини ростлаш қонунларининг 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

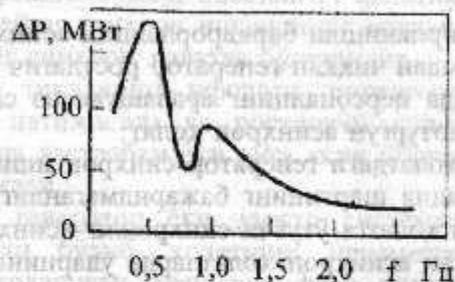
шартлари текширилади. Бунда агар синхронизация ихтиёрий лаҳзада, яъни синхронизмдан чиққан генератор ёки система қисмини носинхрон улаш натижасида содир бўлса, у ҳолда ресинхронизация шартнинг бажарилиши қуйидаги муносабат бўйича аниқланади:

$$|S_{\text{ўрт}}| \leq S_{\text{ўрт.кр}} \quad (5.13)$$

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 шarti ҳамда унинг яқинлигини топиш мақсадида аниқланади.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, статик турғунлик 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 чизиғи.

Асинхрон ҳолатлар аварияларнинг ривожланиши, турғунликнинг 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 пиқлари 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 яқка 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 ҳисобиға ривожланиш эҳтимоли пайдо бўлади.

Замонавий электр системаларида узоқ муддатли ва рухсат этиб бўлмайдиган асинхрон ҳолатлардан сақловчи турли хил, жумладан, маълум бир рухсат этилган вақтдан охиб кетувчи узоқ муддатли асинхрон ҳолатларда системани ажратиш орқали асинхрон ҳолатни бартараф этувчи, автоматик қурилмалар қўлланилади. Бу қурилмалар чайқалиш марказини аниқлаш 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 бўлақларга бўлиб асинхрон ҳолатларни олдини олиш, частота ва кучланиш кўчкисининг олдини олиш мақсадида юксиллаш, **локаллаштирувчи** бўлақларга 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. Кўзгатиш ва кўзгатилмаган машинанинг асинхрон ишида қандай фарқлар бор?
6. Ресинхронизация нима?
7. Ресинхронизациянинг зарурий шарти нимадан иборат ва нега?
8. Нативавий 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 ифодаланади. 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 $P_r = \varphi(f)$. 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 қаршиликлар, актив ва реактив қувватлар баланслари ҳам ўзгаради. Масалан, истеъмолчиларнинг актив қуввати ошса ёки генераторларники камайса, у ҳолда частотанинг камайиши кузатилади. Бу частотанинг камайиши, албатта, балансининг тикланишига олиб келади: биринчидан шинадаги кучланишнинг пасайиши юкламалар истеъмол қилаётган актив қувватнинг камайишига олиб келса, иккинчидан, бирламчи моторларнинг тезлик ростлагичлари турбинага кирувчи буғ 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 истеъмол қилаётган қувват; $\Sigma \Delta P$ – умумий қувват исрофи; $\Sigma P_{\text{ист}}$ – истеъмол қилинаётган натижавий актив қувват.

Актив қувват баланснинг бузилишига ва частотанинг ўзгаришига генераторларнинг узилиши, қувватнинг ошиши, электр узатиш линиясининг узилиши сабаб бўлиши мумкин.

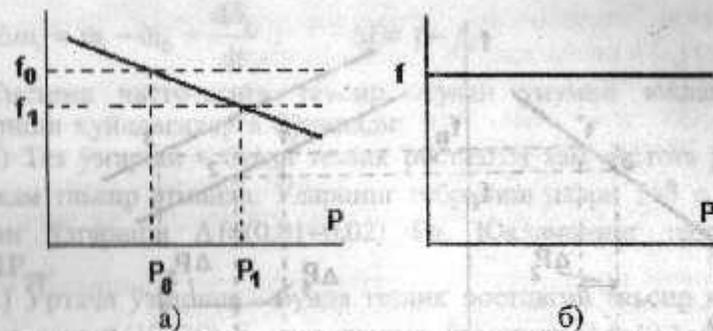
Генераторлар ишлаб чиқараётган актив қувватни юкларга қувватга мослаштириш турбинанинг тезлик ростлагичи ёрдамида амалга оширилади. Бунда ростлаш турли хил қонунлар асосида амалга оширилади: астатик, яъни тезлик (частота)нинг бошланғич қийматига қайтиш орқали ва статик, яъни тезлик (частота)нинг бошланғич қийматидан фаркли 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 ҳарактерловчи куйидаги муносабатдан аниқланувчи параметр кўрилади:

$$\delta = \frac{\Delta f}{\Delta P} = \frac{f_0 - f}{P_0 - P} \quad (6.2)$$

Замонавий турбинлар учун бу коэффицентнинг қиймати 3–6% оралигида ўзгаради.

Частотанинг огиши 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 яқка ҳолда кам қўлланилади, чунки юкларга қувватнинг 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).



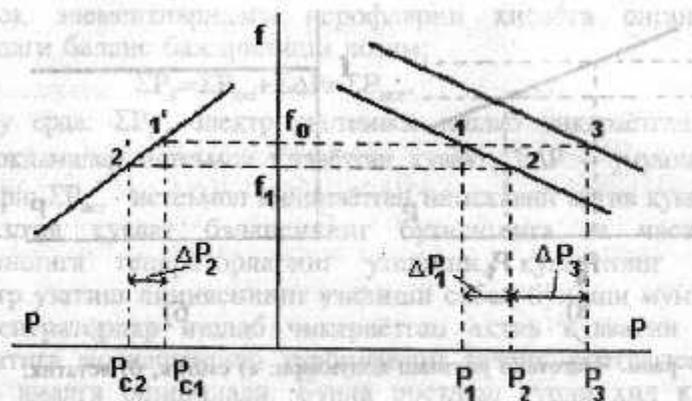
6.1–расм. Частотани ростлаш қонуни: а) статик, б) астатик.

Ростлашнинг статик қонуни генератор ишлаб чиқараётган қувват ва частота орасида қатъий боғлиқликни кўрсатади. Қувват $P_{\text{он}}$ дан $P_{\text{ин}}$ гача ўзгарганда частота $\Delta f = f_0 - f$ га камаяди. Тезлик ростлагич фақат қувватни 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 стациялар гу- руҳида частота ростлагич ўрнатилади ва у частотани баланс- лаш, яъни частотани ростлаш вазифасини бажаради.

6.2–расмда ҳар хил статизм коэффицентларига эга бўлган иккита генератор учун статик характеристикалар келтирилган. $\Sigma P_{\text{н}}$ юкларнинг улар орасидаги тақсимланиши статик ха- рактеристикаларга мувофиқ, яъни уларнинг статизм коэффицентлари- га тескари пропорционал равишда, амалга ошади. Статизм ко- эффиценти қанча катта бўлса, генератор узатаётган қувват 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 бошлангич 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 кўчириши 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.

$$\Delta \omega_1 = \omega_1 - \omega_0 = \frac{d\delta_1}{dt}, \quad \Delta f_1 = f_1 - f_0 \quad (6.4)$$

Система частотасига таъсир этувчи умумий юкламанинг ўзгариши куйидагиларга бўлинади:

1) Тез ўзгариш – бунда тезлик ростлагич ҳам частота ростлагич ҳам таъсир этмайди. Уларнинг тебраниш даври 1-3 с, частотанинг ўзгариши $\Delta f = (0,01-0,02)$ Гц. Юкламанинг тебраниши $0,001 P_{\text{н}}$.

2) Уртача ўзгариш – бунда тезлик ростлагич таъсир қилади. Унинг даври (10-30) с, частотанинг ўзгариши $\Delta f = (0,1-0,2)$ Гц, юкламанинг тебраниши $0,01 P_{\text{н}}$.

3) Секин ўзгариш – бу ҳолда тезлик ва частота ростлагичлари ишта тушади. Унинг даври 1 мин дан 10 мин гача бўлади.

Система бўйлаб частотани тенглаштириш системага киврувчи 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 нечта 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 3-4% 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 гидростанциялар, юқори сифатли ёки танқис ёқилғи билан ишлайдиган иссиқлик электр станциялари киради. Бундай системаларда энергияга танқис станциялар юклама пикларини ва частотани конлаш учун қўлланилади.

Иккинчи турга энергияга танқис бўлмаган станциялар киради, аммо унинг таркибда 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.

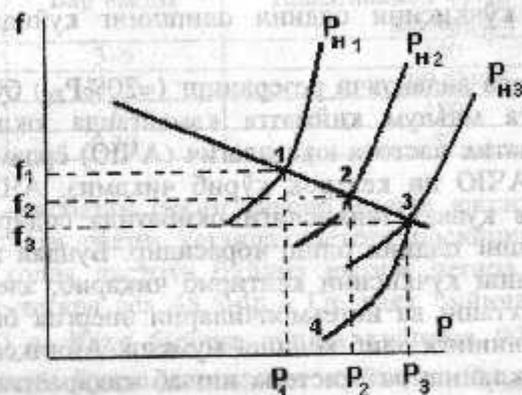
6.2. Частота кўчкиси

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_{H1} дан P_{H3} гача ортиши натижа-сида генераторнинг қуввати тезлик ростлагич таъсирида ошади. Бу жараён йўналтирувчи аппарат ва буғ очиш клапани максимал очилган ҳолат — 3 нуктагача давом этади.

Йўналтирувчи аппарат ёки буғ очиш клапани тўлиқ очилган вақтда, генератор қуввати ошмайди ва қувват характеристикасининг ўзгариши табиий характеристика, яъни максимал очилишига мос келувчи агрегатнинг 3-4 характеристикаси бўйича амалга ошади.

Частотанинг камайиши билан иссиқлик электр станцияларидаги ўз эҳтиёж қурилмаларининг ишлаб чиқариш даражаси ҳам камаяди: 3-4 характеристика иссиқлик электр станцияси ўз эҳтиёж қурилмаларининг ишлаб чиқариши кам бўлган ҳолга тўғри келади.



6.3-расм.

Электр системасида қувват бўйича резерв бўлмаса юклама қувватининг ортиши частотани назорат қилиб бўлмас даражада пасайишига олиб келади. Бу жараён *частота кўчкиси* 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 қиладиган реактив қувватнинг ортишига олиб келади. Чунки бунда система элементларининг индуктив қаршиликлари камайиб, у ўз навбатида, системанинг асосий нукталаридаги кучланишнинг камайишига сабаб бўлади. Бу ҳол частота $f=43-45$ Гц гача пасайганда бўлганда кучланиш кўчкисини келтириб чиқаради.

Частота ва кучланиш 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 кўчкисининг олдини олиш чоралари

Частота кўчкисини олдини олишнинг қуйидаги чоралари мавжуд:

- системада айланувчи резервнинг ($\approx 20\%P_{\Sigma}$) бўлиши шарт;
- частота маълум қийматга камайганда юкламанинг бир қисми автоматик частота юксизлагич (АЧЮ) ёрдамида узилади.

Қуйида АЧЮ ни кенгрок кўриб чиқамиз. АЧЮдан фойдаланиш-актив қувват танқислиги оқибатида содир бўлган хавфли авариянинг олдини олиш чорасидир. Бундай авария частота ва кучланиш кўчкисини келтириб чиқариб, электр станцияларининг тўхташи ва истеъмолчиларни энергия билан таъминлашнинг узилишига олиб келиши мумкин. Айниқса, авариянинг каскад ривожланиш ва система ишлаб чиқарётган 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 диапозони давомида лозим бўлган минимал юксизлашни таъминлашдан иборат бўлган талаб киради.

Юксизлаш миқдорини мувофиқлаштириш учун қуйидаги АЧЮ топфалари 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, $P_{\text{АЧЮ1}} \geq \Delta P_{\Gamma} + 0,05$ нисбатдан аниқланади. Бу ерда ΔP_{Γ} - 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

- АЧЮП -нисбаган 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 бошлангич қўйилма 5-10 с. Вақт бўйича сўнги қўйилма 90-120 с гача бўлиши мумкин. Бунда юксизлаш қиймати $P_{\text{АЧЮП}} \geq 0,4 P_{\text{АЧЮ1}}$ нисбатдан аниқланади.

- қўшимча - катта қувват танқислиги шароитларида АЧЮ1 ва АЧЮП 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 гармоқдан 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 АЧЮ1, АЧЮП 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, иккинчисининг 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 юкларга 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 юкларга ҳамда кучланиши ва частотаси нормал бўлган тармоқлардаги реактив қувват исрофини қоплай олиши шарт. Бу шартнинг бажарилмаслиги кучланишининг 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 юкларнинг қутилмаган 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.

Синон саволлари

1. Система частотасининг стабиллиги нимага боғлиқ?
2. Системадаги актив қувват балансиши ушлаб туришда тезлик ва частота ростлагичларнинг роли нимада?
3. Тезлик ростлагичнинг статизм коэффициентини нима?
4. Турбина тезлигини статик ва астатик ростлашнинг фарқи нимада?
5. Частота кўчкиси қандай содир бўлади?
6. Сиз частота кўчкисини олдини олишнинг қандай чора-тадбирларини биласиз?

Адабиётлар

1. В.А. Вешков. 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», 169, 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. Савалов. 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. Путо. Колебательные свойства электрических систем. М., «Энергоатомиздат», 1988, 215 с.

18. С.А. Савалов, В.А. Семенов. Противоаварийное управление в энергосистемах. М., «Энергия». 1988, 415 с.

19. Электрические системы. Управления 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. Филишова, Т.И. Шелухина. Исследование переходных процессов и устойчивости сложных регулируемых электроэнергетических систем. Учеб. пособие. М., МЭИ, 2003, 65 с.

22. Р.В. Огороков, 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. Ахмагов. 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.

ҚАҲРАМОН РАХИМОВИЧ АЛЛАЕВ

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ЎТКИНЧИ
ЖАРАЁНЛАР**

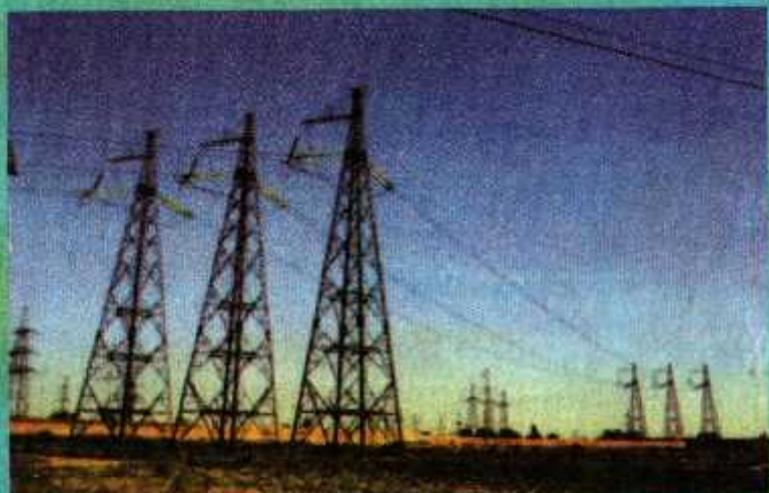
Тошкент - «Молия» - 2007

Мухаррир — 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. Напшиёт ҳисоб табоғи 16,15. Булортма №150 Адади 600. Нархи шартнома асосида.

«Молия» напшиёти, Тошкент ш. Ҳ. Орипов кўчаси, 16-уй.
Шартнома №12-07.

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi»да чоп этилди.
Тошкент ш. Олмазор кўчаси, 171-уй.



ISBN 978-9943-302-11-2



9 789943 302112