

НАМАНГАН МУХАНДИСЛИК-ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ

МУХАНДИСЛИК-ТЕХНИКА ФАКУЛЬТЕТИ

Электр энергетика кафедраси битирувчи

Абдулхаева Сайёра

**Электр тизимининг баркарор режимини хисоблашда чегаравий шарт-
ларни инобатга олиш ечимларини таткик қилиш мавзусида**

ДИПЛОМ ЛОЙИХАСИ

Рахбар:

катта ўқитувчи Э.Беркинов

Наманган-2015 й

МУНДАРИЖА

Кириш.....	3
1–БОБ.....	6
ИШДА ВАЗИФАЛАРНИ ҚЎЙИЛИШИ ВА МУАММО ҲОЛАТИНИНГ ТАҲЛИЛИ	6
1.1. ЭҲМлардан фойдаланган ҳолда мураккаб электр тизимларининг барқарорлашган режимларини ҳисоблаш бўйича адабиётлар таҳлили	6
1.2. Барқарор режимларни аниқлаш ҳисоблашнинг зарурияти	10
1.3. Тадқиқот услубининг тавсифи	10
1.4. БМИ ишининг қисқача таркибий тузилиши	12
1.5. Хулоса	14
II–БОБ.....	15
ҚУВВАТНИНГ КАТТА ХАЖМДА МУВОЗАНАТДАН ЧЕТЛАНИШИДА ЭЛЕКТР ТИЗИМЛАРИНИНГ ЎЗИ БАРҚАРОРЛАШУВЧИ РЕЖИМЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ УСЛУБИЁТИ.....	15
2.1. Умумий маълумотлар	15
2.2. Ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш хусусиятлари	15
2.3. Таклиф этилаётган ҳисоблаш усулининг назарий асослари	17
2.4. Нормал ва барқарор режимларни ҳисоблаш дастурларида частоталарни ҳисобга олиш	17
2.5. Энерготизимларда ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш алгоритми ва масаланинг математик ифодаси	20
III БОБ.....	23
Барқарор режимларни ҳисоблашда бирламчи маълумот–ларнинг таркибини таҳлил қилиш ва энергетика тизими ҳисоблаш схемасини топологик боғлиқлигини аниқлаш усуллари	23
3.1. Умумий маълумотлар	23
3.2. ЎБАКР ҳисоблаш масалаларини ечимини олиш шартлари	23
3.3. Тармоқ топологиясини таҳлил қилишнинг графли усуллари	26
3.4.Тармоқ структурасини таҳлил қилувчи матрицали методлар ва тизимни қисмларга бўлиниши фактини аниқловчи алгоритмлар	32
3.5. Хулосалар	35
IV БОБ.....	36
ЎЗ–ЎЗИДАН БАРҚАРОРЛАШАДИГАН РЕЖИМЛАРНИ ЧЕГАРАВИЙ ШАРТЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ МЕТОДЛАРИНИ КОМПЬЮТЕРДА РЕАЛИЗАЦИЯ ҚИЛИШ МАСАЛАЛАРИ.....	36
4.1. Умумий маълумотлар	36
4.2. Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни чегаравий шартлардан фойдаланиш компьютерда ҳисоблаш дастурига талаблар	36
4.3. ЎБАКР ни итерацион ҳисоблаш яқинлашувини тезлатиш ва частота бўйича бошланғич яқинлашувларни танлаш.	38
4.4. Ҳисоблаш методининг итерацияси ичида чизиқли алгебраик тенгламалар tizimini ечиш хусусиятлари.....	41
4.5. Ҳисоблаш натижаларини умумлаштириш	44
4.6. Хулоса	46
Адабиётлар рўйхати.....	48
ИЛОВАЛАР	53

Кириш

Электр тизимларини йирик электр энергетика тизимларига бирлашиб бориш салмоқли иқтисодий самара бериш билан бирга тармоқлар схемалари ва режимларни мураккаблашувига олиб келди ва натижада уларни бошқаришда ҳисоблаш техникасини қўллаш заруриятини туғдирди. Йирик энергетика тизимларини пайдо бўлишининг салбий томонларидан яна бири бу режимда аварияли турткиларга кўпроқ дуч келиши, ҳар бир кичик электр тизимларига ҳам озми кўпми таъсир қилади. Бу ҳол аварияни “каскад” кўринишида ривожланиш хавфини орттиради. Шу муносабат билан энергетика тизимини “яшовчанлиги” деб номланувчи саволни муҳимлиги кучаяди. Яшовчанлик деганда кўзда тутилган авария ҳолатларда (электр узатиш линия, энергия блоги ёки трансформаторни аварияли ўчишлари ва х.о) электр тизими томонидан истеъмолчиларни электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш давом эттириш тушунилади.

Оғир авариядан кейинги (ўз–ўзидан барқарорлашув) барқарор режимини аниқлаш масалалари ҳозирги кунда чуқурроқ ўрганилмоқда. Бундай режимларни ҳисоблашда частота ўзгаришни эътиборга олиш зарур охириги эса тизимда бирламчи двигателларнинг тезлигини созлаш қурилмасининг статизим қиймати ва юкламалари частота характеристикаларини мослиги орқали ўрнатилади.

Ишни мақсади ва вазифалари ЭХМда оғир авариядан кейин ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни, статик турғунликни текширган ҳолда ҳамда тизимдаги қувватлар мувозанатини тиклашга таъсир қилувчи мавжуд автоматика воситаларининг ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш имкониятини берадиган методикани яратишдан иборат. Ушбу методика оғир авариядан кейинги режимларни электр тизимига боғланмаган ва носинхрон ишловчи тизимларга бўлиниб кетиши эҳтимолини ҳисобга олиб ҳисобловчи махсуслаштирилган ЭХМда ҳисоблаш дастурларини яратишда асос бўлиб хизмат қилади. Яна шуни маълум қилинганки ЭХМ да тажриба саноат дастурини яратиш реал энергетика тизимида ҳисоблашлар ўтказиш ва олинган натижаларни таҳлил қилишдан иборат.

БМИ да баён қилинган методик ишланмаларни авариядан кейинги ўз–ўзини барқарорлашуви режимларини ЭХМ да ҳисоблаш имконини беради. Бундай режимларни маълум дастурлар орқали амалда ҳисоблашнинг деярли имконияти йўқ. Бу энергетика тизими режимларни оператив ва узоқ муддатли бошқаришда ҳамда энергетика тизимини “яшовчанлиги” ва электр таъминоти ишончлигини уларни лойиҳалаш жараёни учун баҳолашда амалий аҳамиятга эга

Частотани фиксацияси қилинган параметр сифатида ҳисоблаш алгоритми қуйидагидан иборат.

Агар системанинг барча параметрларини бирор аниқ частотада берилса, у умумий ҳолдан номиналдан фарқ қилсин, ва бирорта тугун балансловчи сифатида олинса, у ҳолда ҳисоблаш натижасида шу частотадаги режим олинади. Берилган частотани ўзгартириб (мос ҳолда тизим

параметрларини ҳам) ҳар хил режим олинади.

Режим ҳисобини фиксация қилинган частоталарда олиб борилганда балансловчи тугун қуввати ўзгартирилади, уни тизим частотасининг функцияси сифатида қараш мумкин. Бу тугуннинг актив қуввати w частотада

$$P_{\Sigma}(w) = P_{ГБ}(w) - P_{НБ}(w), \quad (2.8)$$

Бу ерда: $P_{ГБ}(w)$, $P_{НБ}(w)$ – w частотадаги балансловчи тугундаги юклама ва генераторнинг актив қувватлари. Демак, частота фиксация қилинган йўлдаги ҳисоблашлар натижасида частота билан барқарор режимни аниқлаш мумкин. Изланаётган режим ҳисобланган режим асосида олинган балансловчи тугун қуввати $P_{Б}$ ни ушбу тугун қувватини ҳақиқий қиймати P_{Σ} билан тенглиги шартидан олинади. Айирмани

$$\Delta P(w) = P_{Б}(w) - P_{\Sigma}(w) \quad (2.9)$$

Частота функцияси сифатида кўриб, ва ушбу функция нолини, масалан, Ньютон усули билан излаш керак. Номинал частотада номланган режим биринчи яқинлашув сифатида танланади. Ҳар бир итерацияда частота қиймати қуйидаги ифода бўйича аниқланади:

$$w_{k+1} = w_k + \frac{\Delta P_k}{\left. \frac{d\Delta P}{dw} \right|_{w=w_k}} \quad (2.10)$$

Бу ерда K – итерация рақами.

$\frac{d\Delta P}{dw}$ ҳосиланинг ҳисоблаш аниқлигини итерацияли жараённинг яқинлашув тезлигига таъсири кам. Шунинг учун ҳам ушбу ҳосилани ҳисоблашда генератор ва юклама қувватларининг частота бўйича фақат аниқ боғланишлари эътиборга олинади.

БМИ да тадқиқот предмети асосий дастурлашга оиддир. Оралиқ ЎБАКР параметрларини олгандан кейинги ҳисоблашнинг иккинчи босқичида тармоқдаги актив қувватларнинг ҳақиқий исрофлари $\Delta P_{\text{факт}}$ ҳисобланади, бу қиймат исрофнинг берилган қиймати $\Delta P_{\text{зад}}$ (блок 7) билан солиштирилади. Агар $\Delta P_{\text{факт}} \neq \Delta P_{\text{зад}}$ бўлса 8 блок томонидан $\Delta P_{\text{зад}}$ қийматга $\Delta P_{\text{факт}}$ нинг қиймати ўтказилади, яъни $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$. Кейин янги бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ҳисоблаш бошланади, генератор ва юкламаларнинг қувватлари коррекция қилинади, ЎБАКР ни итерацияли ҳисоблаш такрорланади.

Одатда, шундай иккита босқичдан $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$ кейин ҳисоблаш ЎБАКР параметрларини печатлаш билан тугалланади. Эслатиб ўтамиз, шунга ўхшаш усулда АЧР ҳаракатини, актив қувват захираси мавжудлигида, моделлаштириш амалга оширилади.

Мазкур иш таъкидлаб ўтилган итерацион усулларни қўллаш асосларини тадқиқ қилишга, яъни барқарорлашган режим тенгламалари ечимининг мавжудлиги, ягоналиги ва унга эришиш ҳамда бу масалаларнинг нодаврий барқарорлик билан боғлиқлигини таҳлил қилиш, электр тизимлар барқарорлашган режимларини ҳисоблашда итерацион усуллар ва математик моделлаштиришнинг аниқлигини тадқиқ қилишга бағишланган.

Мураккаб электр тизимда барқарорлашган режимни ҳисоблаш чизиқсиз алгебраик тенгламалар тизимини ечишга келтирилади.

Бундай ҳисоб–китоблар ЭХМда итерацион усуллар ёрдамида амалга оширилади. Кўп ҳолларда ҳисоблашларда фойдаланилаётган итерацион жараён ёрдамида барқарорлашган режим тенгламаларининг изланилаётган ечимини топишга имкон бўлмайди. У ҳолда, қидирилаётган ечим мавжуд эмас ёки умуман бошқа усуллар ёрдамида ҳам топиб бўлмайди, ёки яна бўлмасам ечим мавжуд бўлиши эҳтимолдир. Охирги ҳолатда ечимга келиш жараёнини тезлаштириш ва бошланғич яқинлашувлар ёки итерацион жараённи ўзини ўзгартириш йўли орқали ечимга эришиш мумкин.

Барқарорлашган режим тенгламалари, одатда, бир нечта ечимга эга бўлади. Барқарор, йўл қўйилган ёки оптимал режимни ҳисоблаш анча содда кўринишга эга. Агар берилган соҳада (масалан, нодаврий барқарор режимлар) фақатгина битта ечим мавжудлигини кўрсатиб бериш мумкин бўлганда эди, у ҳолда оптимал ва авариядан кейинги режимларни ҳисоблашда барча ечимларни кидирмасдан, фақат биттасини, масалан, барқарор режимлар соҳасида бўлган ечимни аниқлаш кифоя бўлар эди.

Одатда, тизим режимининг нодаврий турғун барқарорлиги икки босқичдан иборат бўлади: тадқиқ қилинаётган барқарорлашган режимни ҳисоблаш ва биринчи босқич натижалари бўйича тавсифий тенгламанинг озод ҳадини ҳисоблаш. Охирги пайтларда ҳисоб–китобларни соддалаштириш ва тезлаштириш мақсадида, бу икки босқичларни тўла ёки қисман бирлаштиришни таклиф қилинаётган ишлар пайдо бўлмоқда.

Ишда кетма–кет интервалларнинг такомиллаштирилган усули ёрдамида барқарорлашган режимни ҳисоблаш натижасида барқарорликнинг амалий мезонларини аниқлаш имкониятлари тавсифланган.

Режимларни ҳисоблаш вақтида электр тизимларини бошқариш масалаларида керакли барқарорлик заҳиралари, кучланиш даражаси, генераторларнинг актив ва реактив қувват билан юкланиши ва хоказолар билан таъминланиш билан боғлиқ бир қатор чекловларни ҳисобга олиш муҳим рол ўйнайди. Бунда турғун барқарорлик заҳиралари кўпинча P_k линиялар бўйича қувват оқимлари чекловлари кўринишида ҳисобга олинади.

$$P_{k, \min} \leq P_k \leq P_{k, \max} \quad (1.1)$$

Бу ерда: P_k – k –линиянинг қувват оқими; *мин*, *макс* – тизим фаолият кўрсатиши мумкин бўлган чегаравий қийматлар.

Олдиндан барча шохлар учун қийматларини белгилаб ёки чекловларни амалга оширганда (1.1) режим йўл қўйиладиган турғун барқарорлик заҳирасига эга бўлади деб таъкидлаб бўлмайди. Қувват оқими ва барқарорлик ўртасидаги боғлиқлик катта ҳисобда тизим схемаси билан бир қаторда унинг ҳамда тадқиқ қилинаётган режимнинг алоҳида элементлари билан ҳам аниқланади. Шунинг учун (1.1) кўринишидаги чекловларни ҳисобга олиш умумий ҳолда турғун барқарорлик талабларини акс эттирмаслиги мумкин. Мураккаб электр тизимлар режимларини ҳисоблашда турғун барқарорлик бўйича чекловларни янада аниқроқ ҳисобга олиш учун нодаврий турғун барқарорликни таҳлил қилиш масаласини кўп ўлчамли қилиб ифодаламақ лозим.

1–БОБ.

ИШДА ВАЗИФАЛАРНИ ҚЎЙИЛИШИ ВА МУАММО ҲОЛАТИНИНГ ТАҲЛИЛИ

1.1. ЭҲМлардан фойдаланган ҳолда мураккаб электр тизимларининг барқарорлашган режимларини ҳисоблаш бўйича адабиётлар таҳлили

МБАТ (масофадан бошқаришнинг автоматлаштирилган тизимлари)нинг энерготизимлар билан математик таъминот тизимининг асосий вазифаларидан бири катта доирадаги масалаларни ечишга қодир махсус дастурлар мажмуасини яратишдан иборат. Бундай дастурларга барқарорлашган режимларни ҳисоблаш, турғун ва динамик барқарор режимлар, қисқа тугашув тоқларнинг оптимал ҳисоб–китоблари ва бошқа дастурлар кабилар мисол бўлиши мумкин.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурларини қўллаш соҳаси етарли даражада кенг ҳисобланади. Бундай дастурлар энерготизимлар фаолиятини лойиҳалаштириш ва истиқболини режалаштиришда, уларни оператив бошқаришда ҳамда тор доирадаги масалаларни ҳал қилишга мўлжалланган бошқа дастурларни яратишда асос бўлиб хизмат қилади. Илгари режимларни ЭҲМларда ҳисоблашда асосан ҳисоблаш математикасидан яхши таниш бўлган, алгоритмик жихатдан унча мураккаб бўлмаган усуллардан, оддий итерация усули ва Гаусс–Зейдел усулларида фойдаланиб келишган. ЭҲМнинг оператив хотирасига бўлган талабнинг кичиклиги, ҳисоблаш схемасининг соддалиги ҳозирги вақтда ҳам бу усулларнинг кенг қўлланилишини таъминламоқда.

Кўрсатиб ўтилган ҳисоблаш усуллари тугунлардаги кучланиш тенгламалари билан бирга контур тоқлар учун тенгламалардан фойдаланган ҳолда қўлланилади. Бироқ контур тоқлар тенгламаларидан фойдаланиш тузилишида унификациянинг йўқлиги ҳамда ишончли ҳисоблаш алгоритмлари мавжуд эмаслиги ҳисобига ўзининг кенг қўлланилишига эришилмади. ЭҲМлардан фойдаланилганда схема тугунларидаги кучланишини тоқ баланси шаклида ёки тугунлардаги қувват алгоритмик жихатдан анча қулай бўлиб чиқди.

Тугунлардаги кучланишларнинг бевосита U – шакл тенгламалари билан бир қаторда билвосита деб аталувчи тенгламалар ҳам қўлланила бошлади. Бунга асос бўлиб режимларни ҳисоблашга ёрдам берувчи бир қатор дастурларнинг яратилишига имкон берган ишлар хизмат қилди. Гаусс–Зейдел усулини қўллаб, Z – шаклдаги тенгламаларни ечиш U – шаклдаги тенгламаларни ҳисоблашга қараганда 10 мартагача итерациялар сонини қисқартиришга имкон берди. Бироқ Z – шаклдан фойдаланишдаги асосий қийинчилик бу – ЭҲМ хотирасида тугунлардаги қаршилиқлар матричасини тўлиқ тўлдирилган шаклда сақлаш зарурияти бўлиб келган. Шунинг учун Z – шаклдан фойдаланишни ривожлантириш мавжуд тенгламалар тизимини диакоптик усул орқали тизим ости тизимларга ажратиш йўқларини ишлаб чиқиш

йқналиши бўйлаб кечди. Бу ўз навбатида, ЭХМ хотирасида алоҳида тизим ости тизимлар матрицаларини сақлаш билан чекланишга имкон берди. Шунга қарамасдан алгоритмининг мураккаблиги ва ЭХМниг ташқи қурилмаларидан фойдаланиш зарурияти сабабли бу усулнинг самарадорлиги пасайиб борарди. Кейинчалик билвосита шаклдаги тугунлардаги кучланиш усулини берилган тоқлар векторини ва Z матрицани кўпайтириш операциясини ҳосиласи $Y = Z^{-1}$ алмаштириш ҳисобига самарасини оширишга олиб келинди. Бунда ЭХМ хотирасида Z матрицани тўлиқ сақлаш зарурияти йўқолади. Мохиятан, бундай алмаштириш тенгламалар билвосита шакли билан тугунлардаги ўтказувчанлик U матрицанинг учбурчакли факторизациясини бирга қўллашнинг ўзидир. Бу усул биринчи бўлиб динамик барқарорликни ҳисоблаш дастурларидаги интеграллаш қадамида режимлар тенгламаларини ҳисоблашда қўлланилди. Кейинчалик барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурларида фойдаланила бошланди.

Юртимиз ҳамда ҳориж амалиётида дифференциал усуллар деб аталувчи гуруҳдан кенг фойдаланиб келинмоқда. Барқарорлашган режим тенгламаларини ечими бу ерда қайсидир барқарор динамик тизимдаги ўтиш жараёнининг чегараси сифатида кўрилмақда. Бунинг устига бошланғич шартлар вектори сифатида ечимга бошланғич яқинлашувлар векторидан фойдаланилди. Интеграллаш учун Эйлер усули ва унинг модификацияларини қўллаш оддий итерация ва Гаусс–Зейдел усуллари каби турли схемаларга олиб келади. Дифференциал усулларнинг услубий қиймати шундаки, хусусан, электр тизимидаги ўтказилаётган қувватнинг чегараси (бошқача айтганда режимнинг тенгламаси учун ечимнинг мавжудлик чегараси) ва унинг турғун барқарорлик шартлари ҳамда режимни ҳисоблашдаги турли итерацион усулларнинг мослиги ва барқарорлиги ўртасидаги боғлиқликни аниқлашга ёрдам берди.

Санаб ўтилган усуллар ечимга келишда чизикли тезликка эгадир. Уларнинг асосий камчилиги барча ечимга ҳам олиб келавермайди. Баъзи ечимларни ҳаттоки, энг мақбул бошланғич яқинлашувлар берилганда ҳам олиб бўлмайди. Улардан фарқли ўлароқ Ньютон усули ва унинг модификациялари тенгламаларнинг барчасига ечим топишга имкон беради, бунда ечимга эришиш квадратик тезликда амалга оширилади.

Ньютон усули энергетика соҳасида анчадан бери маълум, лекин 1-авлод ЭХМлардан фойдаланиш вақтида бу усул кам қўлланилди. Бу ҳолат ҳар бир итерацияда катта тартибдаги чизикли тенгламалар тизимини ҳисоблаш зарурияти билан тушунтирилади, бу эса стандарт алгоритмлардан фойдаланилганда ЭХМ хотирасида катта жой ва узок вақт ҳисоб–китобларни талаб қилади (хотира электр тармоғидаги тугунлар сонига квадратик, ҳисоблаш вақтига эса кубик равишда пропорционал). Шу сабаблари, катта ҳажмдаги тармоқлар учун Ньютон усули, итерациялар сонининг ҳажмига қарамасдан, оддий итерация усулига нисбатан ёмонроқ тавсифга эга бўлган. Ньютон усулининг камчилиги итерацион жараён мослигини бошланғич яқинлашувларни танлашга боғлиқлиги бўлиб ҳисобланади. Кейинчалик усуллар самарадорлиги қайта баҳоланиб, Ньютон усули ва унинг модификациялари ҳисобига ҳал бўлди. Бунга қуйидаги вазиятлар туртки бўлди:

1. Бошланғич яқинлашувларни ижобий қийматини таъминловчи, кор- ректловчи коэффицентлари ва турли алгоритмларни қўллаш ҳисобига ҳар қандай исталган бошланғич яқинлашувларда ҳам Ньютон усули орқали турғун ечимга эга бўлишга эришилди.

2. Ньютон усулини қўллаш қадамидаги чизикли тенгламаларни ечишда Якоби матрицасининг нол қийматли элементлари устидан амаллар инкор этувчи алгоритмларни қўллаш ЭХМнинг керакли хотирасини ва ечим- га кетадиган вақтни 10 маротабагача қисқартиришга ёрдам берди.

3. ЭХМлардан фойдаланиш тажрибасини ошириши билан бирга энерго- тизимларни математик тавсифининг аниқлиги ва мураккаблашуви рўй бера бошлади. Бўйлама компенсациялаш қурилмалари ҳисоби, аниқ трансформа- тор алоқалар кўринишидаги топшириқлар, шу жумладан, трансформация- нинг комплекс коэффицентлари билан ҳамда ҳал қилиниши керак бўлган масалалар ҳажмининг ортиши ва шунга боғлиқ равишда ЭХМ хотирасида маълумотни компакт ҳолда сақлаш тизимларидан фойдаланиш – буларнинг барчаси ҳисоб–китоб фойдаларининг мураккаблашувига ва ҳар бир итера- цияда уларга сарфланадиган машина вақтининг ортишига олиб келади. Бу ҳаражатлар агар ҳисоблаш давомида мувозанатловчи тугунни борлиги таҳминини йўқ деб, электр тизими барча элементларининг частотавий тав- сифларини ҳисобини киритилса янада ошишига олиб келади. Натижада Нью- тон усулининг ҳар қадамида чизикли тенгламалар тизимини ечишга сарфла- надиган машина вақти бир томондан, иккинчи томондан боғлиқсизликлар функцияларини аниқлашга сарфланадиган машина вақти ўлчовдош бўлади: биринчи операцияга вақтни рационал алгоритм бўйича сарфлаш, иккинчи операцияга сарфланадиган вақт 5–10 мартадан ортиқ бўлмаган миқдорда кўпроқ бўлиши мумкин. Одатда кўптугунли схемалар учун Ньютон усулини қўллаганда итерациялар сони 10 тадан ошмайди, Гаусс–Зейдел усулига кўра эса бу кўрсаткич бир неча юзга етади.

Шундай қилиб, юқорида кўрастиб ўтилган барча сабабларга кўра Нью- тон усулининг ҳисоблашдаги устунликлари яққол кўринмоқда.

Ньютон усули қадамидаги матрица коэффицентларининг тўлиқ тўл- дирилмаган шароитда чизикли тенгламалар тизимини ечиш масалаларига бир қатор ишлар бағишланган. Бу ерда учта йўналишни ажратиб кўрсатиш мум- кин. Улардан биринчиси, кенг тадбиқини топган, юқорида айтиб ўтилган ҳисоблаш жараёнида матрицанинг нол қийматлари устидаги амалларни ин- кор этувчи, тенглама ва ўзгарувчиларни қайта тартиблаш махсус algo- ритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ. Иккинчи йўналиш бу бутун электр тизимини сунъий равишда тизим ости тизимларга бўлиб чиқиш билан боғлиқ бўлиб, ҳисоблаш алгоритмининг мураккаблиги туфайли қўлланишда чегара- ланиб қолди.

Учинчи йўналиш чизикли тенгламалар тизимини итерацион усуллар ёрдамида ҳисоблаш билан боғлиқ. Ҳисоблаш математикасида чизикли тен- гламаларни итерацион усулларни қўллаб ечишнинг турли тенгламалари мавжуд. Масалан, уларга Ньютон–Якоби, Ньютон–Писман–Рекфор ва бошқа усуллар таалуклидир. Бироқ чизикли тенгламалар тизимини ечишнинг ите- рацион усулларининг барчасини ҳам Ньютон усули билан муваффақиятли

қўллаб бўлмайди. Ньютон усули таъминланган ечимга яқинлашуви(интилиши) билан итерацион усуллар ундан узоқлашади. Бу ҳолатдан чиқиш учун ечимга эга бўлиш кафолатланган итерацион усуллардан фойдаланиш зарур. Бундай усуллар мавжуд бўлишига қарамасдан, усуллар кўп ҳолларда ечимга олиб келишда қониқарсиз тезликка эга бўладилар. Бу ҳолат барқарорлашган режим тенгламларини чизиклашувидан олинган тенгламалар тизимининг катта қисми жуда ёмон ўзаро боғлиқликка эгаллиги билан изоҳланади. Чизикли тенгламалар тизимини тегишли равишда ўзаро боғлиқлигини таъминланган шароитда тўғри усулларга нисбатан итерацион усулларни қўллаш ЭХМ хотирасидаги жой ҳажмидан ютишга имкон беради.

Охирги пайтларда барқарорлашган режимни жорий параметрлари кўрсаткичларини аниқлашга қаратилган(мўлжалланган) ЭЭТлар ҳолатини баҳолаш назарияси масалаларига катта эътибор берилмоқда. Режимнинг параметрлари қийматлари ЭЭТ режимлари ва уларнинг элементларини оператив бошқариш масалаларини ҳал қилишда зарур ахборот материали бўлиб хизмат қилади.

Баҳолаган ҳолда масаланинг ечимига ёндошувни иккита йўналишга ажратиш мумкин: мантикий ва статистик. Мантикий ёндошув минимал зарур ўлчамлар сони бўйича барқарорлашган режимни бевосита (итератив бўлмаган) ҳисоблаш йўли орқали режимнинг етишмаётган параметрларини аниқлашдан иборат (тармоқ схемасида дарахт–схема ажратилиб ва фақат дарахт шоҳлаган жойларида, яъни иккитадан ортиқ тармоқланган тугунларда датчиклар ўрнатиш таклиф қилинмоқда). Бундай ёндошувнинг камчилиги шундан иборатки, аниқ бир схема учун дарахтлар вариантлари сони жуда катта бўлиши мумкин ва ҳар бир дарахт умумий ҳолатда ортиқча бўлиши мумкин бўлган ўзининг керакли ўлчамлари сонига эга бўлади. Мантикий ёндошувнинг устун жихатлари булар – ҳисоблаш учун сарфланадиган вақтнинг камлиги ва дастурий амалга ошишининг соддалигидир. Заиф жойи ўлчовлардаги хатоликларни етарли даражада ҳисобга олинмаганлигидир.

Статистик ёндошув баҳолаш назарияси ва кузатув натижаларини қайта ишлаш аппаратурини қўллашга асосланади. Энг кўп қўлланиладиган усул бу муаллақ энг кичик квадратлар усулидир. ЭЭТ режимининг статистик жихатдан аҳамиятли баҳоларини олиш учун керагидан ортиқ бўлган ахборотдан фойдаланиш зарур, яъни ўлчовлар сони $2p-1$ дан катта бўлиши керак, p – бу ерда тармоқдаги тугунлар сони.

Статистик усулларнинг асосий устун жихатлари: мантикий усулларга солиштирилганда, замонавий математик усулларни қўллаганда, дастлабки маълумотлардаги камчиликлар мавжудлигига қарамасдан қониқарли натижаларни қўлга киритиш мумкин. Уларнинг камчиликларидан бири хатоларнинг баҳоланаётган параметрларининг вектор ясовчиларига таъсир этишидир. Катта хатоларга эга маълумотларни аниқлаш, уларни таъсирини йўқотиш анча мушкул назарий жихатдан бундай масалалар ҳал қилинганлигига қарамасдан. Статистик ёндошувнинг яна бир камчиликларидан бири бу керагидан ортиқча ўлчовларни амалга ошириш ва ҳисоблаш учун сарфланадиган вақтнинг мантикий ёндошувга нисбатан кўп сарфланишидир.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш бўйича катта миқдордаги наза-

рий ишланмаларнинг ва уларни амалга оширувчи дастурларнинг мавжудлигига қарамасдан, уларнинг бари ЭТТ авариядан кейинги ўзи барқарорлашувчи режимларнинг дастлабки алгоритмларини ўзгартиришсиз ҳисоблашга имкон бермайди. Бу ҳолат, биринчи навбатда, меъёрида барқарорлашган ва авариядан кейин ўзи барқарорлашган режимларнинг математик моделларидаги фарқлар билан тушунтирилади.

Шу муносабат билан махсус ҳисоблаш услубиёти ва унга мувофиқ тарзда ҳисоблаш дастурларини ишлаб чиқиш зарур бўлмоқда.

1.2. Барқарор режимларни аниқлаш ҳисоблашнинг зарурияти

Бир текис фаолият кўрсатмаётган электр тизимида маълум ўтиш жараёнидан сўнг режим ўрнатилади. Бутунлай ички омиллар билан аниқланувчи: тугунларнинг юкланиш статистик тавсифлари, генераторларни ишга тушурувчи автоматик регуляторлар ҳаракати, турбинлар тезлиги, автоматик частотали юкланишдан бўшатишлар ва б.қ. Бундай режимларни ўзи барқарорлашувчи режимлар деб атаймиз.

Мураккаб ЭЭТларнинг барқарор режимлари, тизимнинг қайсидир элементининг тўхташи билан шартланган ва актив қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан чиқиши билан кечувчи тармоқ схемасини тузилмавий ўзгаришига олиб келади.

Барқарорлашган режимларни ҳисоблаш алгоритмлар ва дастурларидан фойдаланиш қониқарсиз натижаларга олиб келади ёки аксарият ҳолларда бирор натижага эришишнинг ўзи мушкул. Бу ҳол юқорида таъкидлаб ўтилганидек, барқарорлашган режимлар ҳисоблашда аҳамиятга олинмайдиган, ЎБАКРлар ҳисоб–китобларида ўзига хос омилларни ҳисобга олишни шарт қилувчи, барқарорлашган ва ЎБАКР математик моделларининг бир–бирига мос эмаслиги билан тушунтирилади. Бундай ЎБАКР ҳисоб–китобларида ҳисобга олиниши керак бўлган омилларга: тизимни ишлаш частотасини ўзгариши; генераторларнинг пайт–тезлик тавсифлари ва кучланиш ҳамда частота бўйича юкламаларнинг статистик характеристикалар; режим параметрлари бўйича чекловлар; тизимдаги қувватнинг мувозанатни тиклашга таъсир кўрсатувчи автоматик қурилмалар ҳаракати; ЭЭТ топологиясидаги ўзгаришлар ва б.қ.

Шундай қилиб, қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан чиқиш ҳолатлари ва ЭЭТнинг бир–бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлиниши билан кечадиган ЎБАКРни тадқиқ қилишга ёрдам берувчи махсус ҳисоблаш услубиёти ва мувофиқ тарзда ихтисослашган компьютер дастурларини яратиш зарурияти туғилади. Мазкур масала ушбу БМИ ишининг умумий мақсади ҳисобланади.

1.3. Тадқиқот услубининг тавсифи

ЭЭТ нинг берилган элементлари билан тадқиқ қилганда, шу жумладан, унинг иш режимларини аниқлашда ЭЭТни математик модел орқали тавсифлаш зарурияти туғилади. ЭЭТ тавсифлаш учун фойдаланиладиган кат-

та масштаб, катта ҳажмдаги маълумот — эксплуатациявий ва лойиҳавий ҳисоб–китобларда ЭҲМ ёрдамида амалга оширилувчи математик моделлаштириш усулларида кенг қўлланилишини мақсадлилиги ва зарурлигини белгилаб беради. ЭҲМлардан фойдаланиш бир вақтнинг ўзида натижаларнинг аниқлигини ЭЭТлардаги жараёнларни математик тавсифлашга бўлган талабни оширган ҳолда ҳисоб–китобларни амалга оширишни анча енгиллаштиради.

Охирги пайтларда ЭЭТ турғун режимларини ҳисоблаш соҳасида амалиётда ўзининг яхши намоёиш қилган ва ҳисоблаш дастурлари алгоритмларида асос бўлиб хизмат қилувчи бир қатор математик моделлар ишлаб чиқилди. Булар биринчи навбатда, барқарорлашган режимларни ҳисоблаш учун керак бўлган чизиксиз алгебраик тенгламалар кўринишидаги электр тармоғи моделлари, чизиксиз математик моделлаштириш дастурлаш масаласи кўринишида ва б.қ. электр тармоғининг моделидир. Бундай моделлар, дастурларда амалга ошувчи, ўзини амалиётда яхши томондан намоёиш этган ва реал эксплуатацион шароитларда синалган эталон деб ҳисоблаш мумкин. Эталон моделлар ёрдамида қайта таклиф этилаётган, асосига МБАТ математик таъминотининг янги дастурлари қуриладиган моделларни текшириш лозим.

БМИ ишининг бажариш давомида назарий тадқиқотлар бир неча методларга асосланиб олиб борилади. Биринчи навбатда бу тармоқнинг барқарорлашган режимлар катта чизиксиз алгебраик тенгламалар тизимини ҳисоблаш усулларида асосланган энерготизимлар нормал турғун режимларини ЭҲМларда ҳисоблаш назариясидир. ЭЭТ режимини чекловлар билан тавсифловчи чизиксиз тенгламалар тизимини ечимини топиш учун математик дастурлаш усулларида фойдаланилган (шартсиз кетма–кет минималлаштириш, ўзгарувчиларни ўзгартиришлар усуллари).

Итерация қадамида режимнинг чизиксиз тенгламалар тизимини чизикли йўлга келтиришдан олинган чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ечиш учун Гаусснинг модификацияланган номаълумларни инкор этиш усулидан фойдаланилган. Барқарор режимларда қувват мувазатида эришиш учун автоматика қурилмалари (АИС, АЧР, генераторларни ишга тушириш ва тўхтатиш) ҳаракатини моделлаштириш орқали амалга оширилди. ЭЭТнинг авриявий ҳолатлар натижасида кўпинча катта ўзгаришларни (ҳатто тармоқнинг бир нечта бир–бирига боғлиқ бўлган қисмларга бўлиниб кетишигача бўлган ҳолатларни) бошдан кечирувчи топологиясини таҳлил қилиш учун график ва матрицавий усуллар қўлланилди. ЭҲМ ресурсларини (оператив хотира ва процессор вақти) тежаш мақсадида махсус математик усуллардан фойдаланилди. Бу усуллар чизикли алгебраик тенгламалар тизимини ечишда тўлиқ тўлдирилмаган тармоқ матрицаларида фойдаланишга асосланади.

Амалий тадқиқотларни амалга ошириш БМИ да қўйилган масалаларни ечиш алгоритмларини ишлаб чиқиш, ЭҲМда ҳисоб–китобларни амалга ошириш дастурларни яратиш, реал ЭЭТ бир қатор схемалари учун ЭҲМда ҳисоб–китобларни амалга ошириш ва олинган натижаларни баҳолашдан иборат эди. Муаллиф томонидан чизиксиз тенгсизликларнинг катта тизимларини ҳисоблашнинг амалий усулини бажарувчи ЎБАКРни ҳисоблаш алго-

ритми ишлаб чиқилган. Бу амалий усул автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш йўли орқали чизиқсиз тенгламалар тизимига келтиришни назарда тутди ва бу, ўз навбатида, режим чекловларини қониқарли қийматини таъминлайди. Ушбу алгоритм асосида Delphi алгоритм тилида ЭХМлар учун ЭТ сериядаги дастурлар яратилди. Бу дастурлар ёрдамида реал тармоқлар учун 35–750 кВ турли мураккабликдаги (200 тагача бўлган генератор тугунлар) бир неча серия режимлар ҳисоблаб чиқилган ва ҳисоб–китоблар натижалари режимларни ҳисоблашда қўлланиладиган бошқа дастурлар билан таққосланиб баҳоланиб чиқилди. Бунда генерация қилувчи станциялар этатизмалари, юкламаларнинг турғун тавсифий кўрсаткичлари, тизим параметрлари (шоҳларнинг актив ва реактив ўтказувчанлиги) ўзгариб турди ва ҳисобда ечимга эришишга ўзгарувчан параметрларнинг таъсири баҳоланди.

ЎБАКРлар ҳисоб–китоблари, одатда, частотанинг ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда ўтказилади. Хусусий ҳолдагина ишлаб чиқилган дастур тизимнинг нормал режимини частотани назарда тутмаган ҳолда ҳисоблашга имкон беради.

1.4. БМИ ишининг қисқача таркибий тузилиши

Биринчи бобда ишда кўтарилган мавзунинг долзарблиги асослаб берилган ва энерготизим барқарорлашган режимларини ЭХМда ҳисоблаш муаммолари бўйича адабиётлар таҳлилий нуқтаи назардан кўриб чиқилган. Адабиётлар таҳлиliga кўра, ЭХМларда тизимнинг ихтиёрий равишда издан чиқишидан (уларга, нохуш ҳодиса рўй берган шоҳлар билан тугунларни генерацияловчи тармоқ(линия)нинг, трансформаторларнинг, энергоблокларнинг, юкланиш тугунларининг ва б.қ. ўчиши кабилар мисол бўлади) сўнг ЎБАКРларни ҳисоблаш масаласи ҳозирда ўз ечимини топганича йўқ. Частота ўзгаришларни ҳисобга олган ҳолда барқарорлашган режимларни ҳисобловчи мавжуд дастурлар авриявий узилишлар натижасида тармоқ тузилмасини таҳлиlinи ва автоматика ҳаракатини ҳисобга олишни таъминламайди. Шу муносабат билан, ишда ЭХМда оғир авриядан кейин барқарорлашган режимларни ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш масаласи ва мувофиқ дастурларни яратиш вазифаси қўйилган.

Шу билан бирга 1–бобда ишда кўриб чиқиладиган муаммоларни ўрганиш усуллари ҳам тавсифланган.

2–боб АКҚТ режимнинг математик модели ва ҳисоблаш усуlinи асослашга бағишланган. ЎБАКРни умумий ҳолатда чизиқсиз икки томонлама катта тенгсизликлар тизими орқали тасвирланиши мумкунлиги кўрсатилган. Тенгсизликлар кўп ҳолларда мувофиқ бўлмайди, бу эса ЎБАКРнинг йўқлигидан, яъни режимнинг оғир бузилиши оқибатида тизимнинг издан чиқишидан дарак беради. Буларнинг бари ЎБАКР учун ҳисоблаш усуlinи ишлаб чиқишни мураккаблаштиради.

Ифодаланган чизиқсиз тенгсизликлар тизимини кетма–кет шартсиз минималлаштириш усуллари асосида ечиш таклиф қилинмоқда. Бироқ мақсадли функциянинг ўзи ҳамда уни минималлаштириш алгоритми жуда мураккаб тус олади, бу, ўз навбатида, бундай усулни амалий қўллашга йўл бермайди. Шу муносабат билан, инженер усул деб аталувчи тугунлардаги

қувват нобалансликлари квадратлари функцияси минимумини итератив қидириш жараёнида АРВ, АРС, АРЧ, АЧР, АВР қурилмалар ҳаракатини моделлаштиришга асосланувчи усул таклиф қилинган. Бундай функция минимумининг зарур шarti Ньютон усули билан ечилувчи чизиксиз алгебраик тенгламалар тизимига олиб келади. Чизиксиз алгебраик тенгламалар тизими-ни ҳисоблаш жараёнидаги режим ва техник чекловлар чегаравий қийматлар-да мувофиқ ўзгарувчиларни АЧР ҳаракатларини моделлаштириш орқали ўз-гартиришни ҳисобга олиб ёки мақсадли функция минимумини топилгандан сўнг текширилади.

Бу усул асосида энерготизимлардаги ўзи барқарорлашувчи режимлар-ни ҳисоблаш алгоритми таклиф қилинган.

3-бобда элементларидаги узилишларни моделлаштиришда керак бўлган, энерготизимнинг ҳисоблаш схемасини топологик таҳлил қилиш усуллари кўриб чиқилган. Бир қатор узилишлар (масалан, тугунларни зарар кўрган шоҳлар билан генерацияловчи тизимлараро алоқаларнинг) ЭЭТни то-пологик бир-бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлинишига, яъни ҳисоб ту-манларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Биринчидан, ЎБАКР ни ҳисоблаш жараёнида ЭЭТ ҳисоб схемасининг бир-бирига боғланганлигини таҳлил қилиш, иккинчидан, шундай ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш лозимки, бир нечта ҳисоблаш туманлари ажратиб олинганда ҳам ЎБАКР ни ҳисоблаш им-конини берсин.

Бобда топологик таҳлилнинг бир нечта усуллари таққосланган ва назо-рат замерларни қайта ишлаш учун МЭИнинг электр тизимлари кафедрасида ишлаб чиқилган усулнинг устун томонлари кўрсатилган. ЎБАКР ни ҳисоблашда қўллаган ҳолда бу усулнинг кейинги ривожланиши келтирилган.

4-бобда таклиф қилинган ҳисоблаш усулини амалий қўллаш билан боғлиқ бир қанча масалалар кўриб чиқилган. Оғир авариядан кейинги ре-жимларни ЎБАКР-ПЗ ҳисоблаш дастурининг саноат вариантыни ишлаб чиқишда ва реал энерготизимлар учун ҳисоб-китобларни амалга оширишда масаланинг ўзига хос хусусиятлари билан шартлашган бир қатор қийинчи-ликлар бартараф этилди. Хусусан, аниқ натижаларни қўлга киритиш учун итерацион ҳисоб-китобнинг частота бўйича дастлабки яқинлашувларини тўғри танлаш муҳим аҳамиятга эга. АЧР томонидан узиб қўйиладиган юкла-ма қувватини, ЭЭТнинг ҳар бир тармоғи бўйича қафолатланган узиб қўйил-майдиган юкламалар минимумини ҳисобга олган ҳолда, аниқлаш учун етар-лича содда алгоритмни ишлаб чиқиш зарур эди.

Ниҳоят, тизимда заҳираларнинг йўқлиги ва дастлабки катта ҳажмдаги мувозанатдан четланишлар шароитида ҳисоб-китобнинг ечимга эришишини тезлаштириш бўйича махсус усуллар кўриб чиқилди. Бу усуллар режим ўзи барқарорлашуви жарёнларининг физикасини ҳисобга олади.

Бундан ташқари, мазкур бобда бажарилган ҳисоб-китоблар натижалари умумлаштирилади ва дастлабки маълумотларнинг зарурий аниқлигини тан-лаш бўйича тавсиялар берилган.

1,2 иловаларда ЎБАКР – ПЗни саноат ҳисоблаш дастурлари қўллаш бўйича мувофиқ тарзда қиска, техник тавсифлар ва йўриқномалар келти-рилган. Шу қаторда БМИ ишининг апробацияси бўйича материаллар бе-

рилган.

1.5. Хулоса

1.Энерготизимлардаги оғир авариядан кейинги ўзи барқарорлашадиган режимларни ҳисоблаш масаласи лойиҳалаштиришда ҳам, ЭЭТдан фойдаланишда ҳам долзарбдир.

2.ЎБАКРни ҳисоблаш масаласи – барқарор режимнинг ўрнатилиши боғлиқ бўлган кўп сонли омилларни ҳисобга олиш зарурияти билан мураккаблашади. Хусусан, тизимда частота ўзгаришини ҳисобга олиш, кучланиш ва частота бўйича генератор ва юкламаларнинг статистик характеристикаларини ҳисобга олиш, АРВ, АРС, АРЧ, АЧР , АВР – тизим автоматикаси ҳаракатларини ҳисоби, тизимнинг бир–бирига боғлиқликсиз фаолият кўрсатувчи қисмларга бўлиниш имконияти кабиларни ҳисобга олиш ниҳоятда зарур.

Ҳозирги вақтда, совет ва хориж электроэнергетикаларининг меҳнатлари эвазига, ЧШКБРни ҳисоблаш услубиётини ишлаб чиқиш учун зарур асослар яратилди.

Шу билан бирга, бундай ҳисоблаш услубиёти, ЭХМда оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш саноат дастурлари яратилмаган.

3.ЎБАКРларни ҳисоблаш услубини яратишда энерготизим элементлари ва режимларини математик моделлаштириш усулларига асосланган ЭЭТ барқарор режимларини ҳисоблаш назариясидан келиб чиқиш лозим. ЎБАКРларни ЭХМсиз аниқ ҳисоблаш мумкин эмас, бу эса кейинчалик сонли таҳлил усуллари ишлаб чиқиш ва уларни ҳисоблаш имконияти даражаси чекланган ЭХМларда амалга оширишни талаб қилади.

4.ЎБАКРни ҳисоблаш услубини текшириш олинган ҳисоблаш натижаларини эталон математик моделларни амалга оширувчи, маълум барқарорлашган режимларни ҳисоблаш дастурлари ёрдамида олинган натижалар билан таққослаш йўли орқали амалга оширилиши лозим.

5.ЎБАКРларни ҳисоблашнинг саноат дастури энерготизимдаги мумкин бўлган узилишлар ҳисобини, тизимнинг синхрон бўлмаган қисмларга бўлиниши имкониятини ҳамда авариядан кейинги режимни барқарорлашувини аниқловчи асосий омиллар ҳисобини таъминлаши зарур.

II–БОБ.

ҚУВВАТНИНГ КАТТА ХАЖМДА МУВОЗАНАТДАН ЧЕТЛАНИШИДА ЭЛЕКТР ТИЗИМЛАРИНИНГ ЎЗИ БАРҚАРОРЛАШУВЧИ РЕЖИМЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ УСЛУБИЁТИ.

2.1. Умумий маълумотлар

Математик нуқтаи назардан келиб чиқсак, ўзи барқарорлашадиган режимларни чегаравий шартларини ҳисоблаш масаласи, юқори ўлчамли чизиқсиз тенгсизликлар тизимини ечишга олиб келади. Ҳолбуки, бундай тизим мувофиқ кўринишда бўлмайди ва уни ЎБАКРнинг йўл қўйилган соҳасини кенгайтириш ҳисобига компромис инженер ечимни топишга тўғри келади.

ЎБАКР ларни ҳисоблаш усулларни ишлаб чиқишда, аввал, бу каби масалаларни ҳал қилишда қўлланилувчи мавжуд математик аппаратдан фойдаланиш имкониятлари таҳлил қилинди. Чизиқли тенгсизликлар назарияси апарати, қўлланилиш соҳасининг чегараганлиги ва алгоритмик жihatдан мураккаблиги туфайли ЎБАКРни ҳисоблашда маъқул келмайди. Шу билан бирга чизиқсиз математик дастурлаш апарати етарли даражада ишлаб чиқилган.

Ўз навбатида, чизиқсиз тенгсизликларнинг катта тизимларини ечиш масаласини чизиқсиз математик дастурлаш масаласини ечишга олиб келиш ғояси пайдо бўлди (электр энергетикасида бундай усул нормал режимларни ҳисоблашда қўлланилиб кўрилган). Бироқ ЎБАКРни ҳисоблаш ҳолатида тенгсизликлар тизимига эквивалент бўлган математик дастурлаш масаласи анчайин мураккаб тус олади.

Таклиф этилаётган ЎБАКРни ҳисоблаш услуобиёти математик дастурлаш масаласига эквивалент тенгсизликлар тизимини ҳисоб–китобларни анча енгиллаштирувчи инженерлик нуқтаи назарини ҳисобга олган ҳолда ечишдан иборат.

Куйида таклиф этилаётган усулнинг назарий асослари кўриб чиқилади ва энерготизимларда авариядан кейин ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш усулининг ўзи ҳам тавсифланади.

2.2. Ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш хусусиятлари

ЎБАКРни ҳисоблаш ЭЭТнинг барқарорлашган режимлари ҳисоб–китобларидан кескин фарқ қилади. Улардаги фарқлар куйидаги ҳолатлар билан изоҳланади. Барқарор режимларни ҳисоблашда, одатда, актив қувватнинг мувозанатдан четланиши частота бўйича чексиз тартибга солиш имкониятига эга битта мувозанатловчи станция билан қопланади деб тахмин қилинади. Бундай фикрлар авариядан кейин барқарорлашган режимларни ҳисоблашда ҳар доим ҳам ўзини оқламайди.

Чегараланган қувватга эга реал электр тизимида рўй берувчи мувозанатдан четланишлар частотанинг ўзгариши ва бу ўзгаришдан ҳосил бўлган, пайт–тезлик ва статистик характеристикаларига мувофиқ тарзда генераторларнинг актив қувватлари ва юкламалар ҳисобига

компенсацияланади (тўлдирилади). Катта қувватдаги бирлашмаларда барча станцияларнинг тартибга солиш ҳаракатлари ҳамда ҳар бирининг максимал қувватини чекланишининг ҳисобини олиб бориш зарур бўлмоқда. Айланаётган захирадан тўлиқ фойдаланган ҳолдагина катта қувватли бирлашмаларда частотани анча пасайтириш эҳтимоллиги бор. Шундай қилиб, частотадаги ўзгаришларни ҳисобга олиш нафақат генераторларнинг узилиб қолиши билан боғлиқ бўлган авариядан кейинги режимларни таҳлил қилишда, балки кўпгина тизимлардаги нормал режимларни ҳисоблашда ҳам зарурдир. Бу ҳолатда, яъни ҳисобланаётган тизимда чексиз қувват шиналарининг мавжуд бўлмаган ҳолатида ҳисоб–китоблар натижасида генераторлар ва юкламалар қуввати частотасини, схема тугунларидаги кучланиш ва тақсимланиш оқимларини аниқлаш керак бўлади. Тизимдаги актив қувватнинг катта ҳажмда мувозанатдан четлашиши билан кечадиган авариядан кейинги режимлар, айниқса, оғир авариядан кейинги режимлар тизимнинг силовий элементлари (катта юкланиш остидаги электрўтказиш линиялар, қувватли генераторлар, юкламалар ёки схема тугунлари)нинг авариявий узилишлари оқибатидир. Кўрсатиб ўтилган авариявий узилишлар оқибатида, умумий ҳолда тизим схемаси топологиясидаги боғланишларнинг бузилишига, хаттоки, бир–бирига боғлиқ бўлмаган қисмларга бўлиниб кетишига олиб келади. ЭЭТда генератор ёки юкламаларнинг якуний қувват билан узилишитизимда частотанинг ўзгаришига олиб келади. Узилишдан сўнг, биринчи босқичда турбинлар автоматик тезлик регуляторлари (АТР) ишга тушади. Тизимда вақтинчалик авариядан кейин квазибарқарорлашган режим амал қила бошлайди, бунда частота номинал частотадан бир қанча фарқланади. Кейинчалик частотани иккиламчи инерцион тартибга солиниши кузатилади. Тартиб солиш турғун бўлганлиги сабабли, бир қанча вақтдан сўнг тизимда номинал частотали авариядан кейинги режим ўрнатилади. Бироқ тизимда қувват тақчиллиги бўлса, станциядаги частотани тартибга солиш диапазони етарли бўлмайди. Бу ҳолда, частотанинг анча пасайиши кузатилади ва аварияга қарши автоматика ишга тушади: АЧР энг кам маъсулиятли истеъмолчиларни тармоқдан узиб қўяди, гидрогенераторларни частотали ишга тушириш амалга оширилади.

Барқарор режимларни ҳисоблашда турбинлар АТРлар ҳаракатини, генераторларнинг актив ва реактив қуввати бўйича чекловлар, юкламалар ва аварияга қарши автоматика ҳаракатининг статистик характеристикаларини тўғри ҳисобга олиш долзарб тус олади. Тизим элементларининг узилиши оқибатида келиб чиққан аварияларнинг оғирлик даражасини баҳолашда биринчи навбатда қуйидаги омилларни аниқлаш зарур:

- ҳосил бўлаётган қувват тақчиллиги;
- авариявий ҳолатлар натижасида тизимнинг алоҳида туманларга бўлиниши;
- тизимнинг авариядан кейин барқарорлашган режимининг электр параметрларини, унинг яхлид ва туманларга бўлиниш ҳолатларида аниқлаш;
- авария ҳолатида йўқотилган нагрузка ҳажмини авариядан кейинги режим учун йўл қўйиладиган унинг параметрлари (кучланиш ва частота) ёмонлашувини ҳисобга олган ҳолда аниқлаш.

Оғир ЎБАҚРларни ҳисоблаш натижаларига мувофиқ тарзда, авариянинг оғирлигини баҳолашда ва чегаравий шартлари тизимнинг АКБ режими параметрлари ва бир қатор авариянинг оғирлигини аниқлашга имкон берувчи қўшимча катталиклар керак бўлади.

ЎБАҚР, одатда, тизимдаги қувватнинг катта номувозанатликлари оқибатидир. Бу эса, ўз навбатида, режим параметрларида дастлабки режимдаги қийматларига нисбатан катта оғишлар бўлишига олиб келади ҳамда ЎБАҚРларни ҳисоблашда режимнинг кўпгина параметрлари бўйича чекловларни ҳисобга олишни тақозо этади.

Бунда, тизимда қувват мувозанатини тиклашга таъсир этувчи автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш зарурияти келиб чиқади.

ЎБАҚРнинг яна бир тавсифий қирраларидан бири – тизим элементларининг авариявий узилишлари натижаси сифатида, тизимнинг бир–бирига боғлиқ бўлмаган тарзда фаолият кўрсатувчи қисмларга бўлиниш имкониятидир. Ўз навбатида, ЎБАҚРни ҳисоблашда тармоқ схемасини топологик жихатдан боғланганлигини таҳлил қилиш зарур бўлади.

2.3. Таклиф этилаётган ҳисоблаш усулининг назарий асослари

Барқарорлашган режимларни чегарави шарт тадқиқ қилиш вазифаси режимнинг параметрларига бўлган чизиксиз чекловларни ҳисобга олган ҳолда, режимнинг чизиксиз тенгламалар тизимини ечишнинг хусусиятлари тадқиқ қилишга олиб келинмоқда. Бошқача айтганда, бу чизиксиз тенгсизликлар тизимини ечиш масаласидир (тенглик – тенгсизликнинг хусусий ҳолидир).

Ҳозирги вақтда эркин кўринишдаги чизиксиз катта тенгсизликларни ечиш доимий усули мавжуд эмас. Бироқ, чизиксиз чекловлар билан боғлиқ бўлган, кўпгина оптимизацияланган масалаларни ечиш учун математик (чизиксиз) дастурлаш усуллари кенг қўлланилмоқда.

Математик дастурлаш деганда, евклид фазоси E_n да берилган тўплам M да $\Psi(X)$ функциянинг максимал ва минимал қийматини топиш масалаларини ҳал этиш усуллари йиғиндиси ҳамда $X \in M$ нинг мувофиқ тарзда экстремал қийматларга эришишда қабул қилувчи қийматлари тушунилади.

Чизиксиз дастурлаш усуллари: градиент усуллари, кетма–кет шартсиз минималлаштиришдаги мавжуд йўналишлар, жаримавий функцияларнинг спуск(тушириш) усуллари ва бошқалар кирази.

Кўрсатиб ўтилган усуллар чизикли алгебраик тенгламалар ва тенгсизликлар назарияси ғоялари, чексиз минималлаштириш усуллари асосида ривожланиши ва такомиллашиб борди. Қуйида чизиксиз дастурлаш масалаларини ечишда асос вазифасини ўтаган ушбу усуллар қисқача кўриб чиқилади.

2.4. Нормал ва барқарор режимларни ҳисоблаш дастурларида частоталарни ҳисобга олиш

ЭТларини эксплуатация қилиш амалиётларида актив қувват nobалансини пайдо бўлиши билан боғлиқ ҳолатлар кўпинча рўй бериб туради. Улар генератор юклама ёки тизимлараро боғланишларни ўчиши орқалим пайдо бўлади. Бу ерда частотанинг сезиларли ўзгаришлари рўй беради, жуларни эътиборга олмаслик авариядан кейинги режимларни таҳлил қилишда нотўғри натижаларга олиб келиши мумкин.

Хозирги кунда яратилган частотани ўзгаришини олувчи методлар ўтиш жарёни сўнгандан кейин пайдо бўладиган ва авриядан кейинги барварор режимларни текшириш имконини беради.

Барқарор режимларни ҳисоблаш дастиурини яратиш амалиётида, частота ўзгаришини ҳисобга олишни асосан иккита усули қўлланилади. Уларнинг биринчисида режимни ҳисоблашда частота фиксация қилинган параметр деб қаралади [119]. Иккинчи усулда частота мустақил режим ўзгарувчиси сифатида олинади [57, 91]. Қуйидаги шу икки усулнинг ҳисоблаш томонларини кўриб чиқамиз.

Частотани фиксацияси қилинган параметр сифатида ҳисоблаш алгоритми қуйидагидан иборат.

Агар системанинг барча параметрларини бирор аниқ частотада берилса, у умумий ҳолдан номиналдан фарқ қилсин, ва бирорта тугун балансловчи сифатида олинса, у ҳолда ҳисоблаш натижасида шу частотадаги режим олинади. Берилган частотани ўзгартириб (мос ҳолда тизим параметрларини ҳам) ҳар хил режим олинади.

Режим ҳисобини фиксация қилинган частоталарда олиб борилганда балансловчи тугун қуввати ўзгартирилади, уни тизим частотасининг функцияси сифатида қараш мумкин. Бу тугуннинг актив қуввати w частотада

$$P_{\Sigma}(w) = P_{ГБ}(w) - P_{НБ}(w), \quad (2.8)$$

бу ерда $P_{ГБ}(w)$, $P_{НБ}(w)$ – w частотадаги балансловчи тугундаги юклама ва генераторнинг актив қувватлари. Демак, частота фиксация қилинган ўолдаги ҳисоблашлар натижасида частота билан барқарор режимни аниқлаш мумкин. Изланаётган режим ҳисобланган режим асосида олинган балансловчи тугун қуввати P_B ни ушбу тугун қувватини ҳақиқий қиймати P_{Σ} билан тенглиги шартидан олинади. Айирмани

$$\Delta P(w) = P_B(w) - P_{\Sigma}(w) \quad (2.9)$$

частота функцияси сифатида кўриб, ва ушбу функция нолини, масалан, Ньютон усули билан излаш керак. Номинал частотада номланган режим биринчи яқинлашув сифатида танланади. Ҳар бир итерацияда частота қиймати қуйидаги ифода бўйича аниқланади:

$$w_{k+1} = w_k + \frac{\Delta P_k}{\left. \frac{d\Delta P}{dw} \right|_{w=w_k}} \quad (2.10)$$

бу ерда K – итерация рақами.

$\frac{d\Delta P}{dw}$ ҳосиланинг ҳисоблаш аниқлигини итерацияли жараённинг яқинлашув тезлигига таъсири кам. Шунинг учун ҳам ушбу ҳосилани

ҳисоблашда генератор ва юклама қувватларининг частота бўйича фақат аниқ боғланишлари эътиборга олинади.

$$\frac{d\Delta P}{dw} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_{Hi}}{\partial w} \Big|_{w=w_k} - \sum_{j=1}^l \frac{\partial P_{Tj}}{\partial w} \Big|_{w=w_k} \quad (2.11)$$

итерация жараёни $|\Delta P_k| < \varepsilon$ бажарилганга қадар давом этади.

Бу ерда ε – ҳисоблашнинг олдиндан берилган аниқлиги.

Юқорида ёритилган алгоритмдан фойдаланиш режимни частотани ўзгаришини эътиборга олиб ҳисоблаш имконини беради, бу частота номинал қийматидан катта фарқ қилмаганда амалга оширилади. Авариядан кейинги режимни, қувватни катта нобалансларида, ушбу нобалансни камайтиришга таъсир қилувчи автоматика қурилмалари (АЧР, генераторларни юргизиш) ҳаракатини ҳисобга олиш зарур бўлади [121]. Ишда аварияданг кейинги режимни фиксация қилинган частоталарда ҳисоблаш алгоритми ёритилган бўлиб, унда АЧР ва генераторларни автоматик улаш таъсири эътиборга олинган [121]даги алгоритм бўйича тузилган дастур амалда қувватни ҳар хил нобалансидан кейинги авариядан сўнги режимларни ҳисолаш имконини беради. Битта авариядан кейинги режимни ҳисоблаш учун ўрнатилган частотда ушбу дастур бўйича 3–4 режимни ҳисоблаш талаб этилади. Бу дастурнинг камчилиги унинг ҳисоблаш вақтини ортиб кетиши ва катта актив қувват дефицитидан кейинги итерацион жараёнини суст яқфинлашувини келтириш мумкин. Режимни частотани тенгламалар тизимининг битта ўзгарувчиси сифатида олинган дастурда ҳисоблашда аварияга қарши автоматика ҳаракатини эътиборга олиб $P_T(w)$ ва $P_H(w)$ ни моделлаштиришда қийинчилик туғдиради. Итерация жараёнида частотат ҳар хил қийматларни олиши мумкин, улар генератор ва юкламалар қувватлари сакраб ўзгаради, ҳар хил қийматлар олади. Охирги итерация жараёнининг яқинлашувини қийинлаштириб, ҳаттоки, яқинлашиш имконини йўқ қилши ҳам мумкин. Шунинг учун тўғри метод асосида яратилган алгоритмлар (частота, тенгламалар тизими ўзгарувчиси) аварияга қарши автоматика таъсирини ҳисобга олиш имконини бермайди.

Иккинчи, яъни частота тенгламалар тизимини ўзгарувчиси сифатида олинган алгоритм итерацион жараённинг яхши яқинлашувини таъминлайди, бошланғич яқинлашувга камроқ сезгир, ҳаракати анча тезроқ. Лекин генераторларнинг чегараларини ва аварияга қарши автоматикани самарали ҳисобга ола олмайди.

[121] ишда юқорида ёритилган иккита алгоритмни комбинациясидан яратилган ва частотанинг ўзгаришини ҳисобга оладиган алгоритм келтирилган. У уч босқичдан иборат. Биринчи босқичда олдиндан турғун бўлган аварияга қадар частотаси номиналга яқин режим ҳисобланади.

Иккинчи босқичда частотанинг функцияси $\Delta P_\Sigma(w)$ сифатида берилган қувват нобаланси киритилади. Кейин генераторларнинг қуввати чегараларини, аварияга қарши автоматика ҳаракатини ҳисобга олувчи частотанинг монотон ўзгариши моделлаштирилади ва тақрибан, режимни ҳисобга олмаган ҳолда w_x частотанинг $\Delta P_\Sigma(w) \approx 0$ даги қиймати аниқланади.

Учинчи босқичда режим аниқлаштирилади ва w_x қиймати

текширилади. Авариядан кейинги режимни ҳисоблашда частота тенгламалар тизими ўзгарувчиси сифатида қаралади. Бошланғич яқинлашув сифатида авариядан кейинги режимни ҳисоблашда бошланғич режимдаги кучланишлар векторлари ва w_x тақрибий қиймати олинади. Комбинацияланган [121] алгоритм асосида яратилган экспериментал дастур ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш имконини беради. Лекин у қувватнинг катта нобаланслари ва тармоқ схемаси топологиясини сезиларли ўзгариши билан кузатиладиган ЎБАКРни ҳисоблашга ярамайди.

Шу муносабат билан (2.4 б) ЎБАКР ни ҳисоблаш методи ва алгоритми тавсия қилинади, у юқоридаги алгоритмлардан ўзининг соддалиги, кенг миқёсдаги ЎБАКРни катта миқдордаги режим чегараларини эътиборга олиб ҳисоблай олиш имкони мавжудлиги ва итерацияли жараённинг яхши яқинлашувчанлиги билан ажралиб туради.

2.5. Энерготизимларда ўзи барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш алгоритми ва масаланинг математик ифодаси

Барқарор режимларни ихтиёрий частотада ҳисоблаш учун барча генератор ва юкламаларнинг қувватлари ҳамда уларнинг кучланиш ва частота бўйича боғланишлари берилади. Генератор қувватининг P_r частота билан боғланиши АРС ҳаракати ва момент–тезлик характеристикасининг оғиш бурчагига эквивалент тангенс $\partial \ell$ билан ҳисобланиши мумкин [57]:

$$P_r = (1+S)(P_{Go} - P_{ГНОМ} \frac{S}{\sigma}) = (1+S)(P_{Go} + P_{ГНОМ} \cdot \partial \ell \cdot S), \quad (2.12)$$

бу ерда, $S = \frac{w - w_0}{w_0}$ – частотанинг нисбий ўзгариши;

$\sigma = -\frac{1}{\partial \ell}$ – АРСнинг статизм коэффиценти;

P_{Go} , $P_{ГНОМ}$ – агрегатнинг бошланғич ва номинал қувватлари.

Агар АРС бўлмаса $\partial \ell = -1$ ва қувват амалда ўзгармайди ($P_r \approx \text{const}$). АРС ҳаракатланганда $\partial \ell$ қиймати унинг статизмига боғлиқ бўлади. Одатда АРС статизми 2 дан 10%гача. Мос равишда $\partial \ell_{АРС} = -(50-10)$.

Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблашда генераторлар актив қувватлари бўйича чегаралар $P_{r\min} \leq P_r \leq P_{r\max}$ ҳисобга олиниши керак.

Генератор $P_{r\min}$ ёки $P_{r\max}$ га етганда АРС ҳаракати тўхтатилади ва $\partial \ell$ қиймати сакраб $\partial \ell_{АРС}$ дан $\partial \ell = -1$ га ўзгаради. АРС мавжуд генераторларда частота бўйича созлаш эффекти $\frac{\partial P_r}{\partial w}$ кўп марта юкламадагига нисбатан катта.

Айнан, айланиб турувчи захира мавжудлигида генераторлар, асосан, қувват нобалансини қабул қилади ва частотанинг ўзгариши қийматини аниқлайди. Шунинг учун ҳам генераторларнинг $\partial \ell$ ни аниқлаш бошланғич маълумотларни тайёрлашда муҳитм босқич ҳисобланади.

Генератор реактив қувватини Q_r ни частота билан боғланиши ҳам асосан турбинлар АРС билан аниқланади. Хусусий ҳолда ($P_r = \text{const}$)

чегарада созлаш эффекти $\frac{\partial Q_{\Gamma}}{\partial w}$ 1дан 3 гача ораликда бўлади. APC
харакатланганда ($P_{\Gamma} = \text{var}$) $\frac{\partial Q_{\Gamma}}{\partial w}$ қиймати анча каттароқ бўлади, яъни $\frac{\partial Q_{\Gamma}}{\partial w} = 5-$

15. $\frac{\partial Q_{\Gamma}}{\partial w}$ қийматига бошқа омиллар ҳам таъсир қилади. ЎБАКРни ҳисоблашда $Q_{\Gamma \min} \leq Q_{\Gamma} \leq Q_{\Gamma \max}$, чегарани ҳисобга олиш муҳим, бу ерда реактив қувват бўйича созлаш диапазони (демак APB самараси) генераторнинг актив юкламаси билан аниқланади. $Q_{\Gamma \min}$ и $Q_{\Gamma \max}$ ларнинг P_{Γ} ва частота билан боғланишларини аниқ ҳисоблаш жуда мураккаб ва берилган маълумотларни мавжуд хатоликлари туфайли бундай аниқликни таъминлаш мақсадга мувофиқ эмас. Шунинг учун ҳам қуйидаги кўриладиган ҳисоблаш методикасида $Q_{\Gamma \min}$ ва $Q_{\Gamma \max}$ қийматлари ўрнатиб қабул қилинади, худди нормал барқарор режимларни ЭХМ да ҳисоблашдагидек. Бу ерда пайдо бўладиган хатоликларни боҳолаш алоҳида изланишлар предмети.

ЎБАКРни ҳисоблашда юкламаларгн кучланиш бўйича статик характеристикалари $P_H(U)$, $Q_H(U)$ дан ташқари частота бўйича шундай характеристикаларини эътиборга олиш зарур. Юклама характеристикаларини (U)кучланишг бўйича номинал ва (S) частотанинг нисбий ўзгариши [57] бўйича ифодалаш мумкин.

$$\begin{aligned} P_H &= P_{Ho} \left[a_o + \alpha_1 \frac{U}{U_H} + \alpha_2 \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \right] [\alpha_o + \alpha_1(1+S)], \\ Q_H &= Q_{Ho} \left[b_o + b_1 \frac{U}{U_H} + b_2 \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \right] [\beta_o + \beta_1(1+S)] \quad (2.13) \end{aligned}$$

Бу ерда P_{Ho}, Q_{Ho} – бошланғич қувватлар;

U_H – номинал кучланиш;

$a_o, a_1, a_2, b_o, b_1, b_2, \alpha_o, \alpha_1, \beta_o, \beta_1$, – доимий коэффициентлар.

Юкламани частота бўйича созлаш самараси одатда

$$\frac{\partial P_{\Gamma}}{\partial w} = 1-2; \quad \frac{\partial Q_{\Gamma}}{\partial w} = -(1-6) \text{ ни ташкил этади.}$$

ЭТТ электр ҳисоблашларда, одатда, электр узатиш линиялари II шаклида алмаштириш схемалари (2.1a расм) келтирилади, трансформаторлар эса магнит шунтли Г – шаклдаги схема (2.1б расм) билан алмаштирилади. Дастурлашда линиявий ва трансформаторли тармоқларни тўрт кутблик орқали ифодалаш мақсадга мувофиқ. Тўрт кутбликни бошланғич тугунга мос келган киришларидаги қувват оқимлари қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$P_{ij} = - \left[\frac{U_i^2}{\alpha} \cos \varphi_{ij} - \frac{U_i U_j}{n} \cos(\delta_i - \delta_j + \varphi_{ij} - b\psi) \right] \frac{C}{Z_{ij}}, \quad (2.14)$$

$$Q_{ij} = - \left[\frac{U_i^2}{\alpha} \sin \varphi_{ij} - \frac{U_i U_j}{n} \sin(\delta_i - \delta_j + \varphi_{ij} - b\psi) \right] \frac{C}{Z_{ij}} + W_i \quad (2.15)$$

Бу ерда, $\dot{Z}_{ij} = R_{ij} + jX_{ij} = Z_{ij} \exp(j\varphi_{ij})$ – тармоқ қаршилиги $i-j$;

$\dot{n} = n \cdot \exp(j\varphi)$ – комплекс трансформация коэффициенти;

$\dot{U}_i = U_i \exp(j\delta_i), \quad \dot{U}_j = U_j \exp(j\delta_j)$ – комплекс тугун
 кучланишлари;
 $W_i = 0,5 \cdot Y_c \cdot U_i^2$ – линия генерация қилаётган қувват;
 $W_i = -Y_\mu \cdot U_i^2$ – трансформатор учун (Y_c, Y_μ – линия ва
 трансформаторларнинг ўтказувчанликлари);
 $\alpha = 1, c = 1, b = -1$ – коэффициентлар.

III БОБ.

Барқарор режимларни ҳисоблашда бирламчи маълумотларнинг таркибини таҳлил қилиш ва энергетика тизими ҳисоблаш схемасини топологик боғлиқлигини аниқлаш усуллари

3.1. Умумий маълумотлар

Ҳозирги кунда, энергетика тизими ўлчамларини ўсиши ва энергетика тизими диспетчерлик бошқарувининг автоматик тизимини (ДБАТ, АСДУ) тадбиқ қилиш билан боғлиқ бўлган, мамлакат электр энергетика тизими (ЭЭТ) ни оператив бошқариш усулларида тубдан ўзгариш ўтказилмоқда. Агар бир неча йил олдин эксплуатация қилиш амалиётини режимни эпизодик ҳисоблашлар қаноатлантирган бўлса, янги шароитларда, режимни оператив бошқариш ва уларни келажакка режалаштириш жараёнларида кенгроқ асосланган ечимлар қабул қилишда энергетика тизимлари кирувчи маълумотларни реал вақтда ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда режимни автоматлаштирилган таҳлил қилишни амалга ошириши керак.

ДБАТ да энергетика тизимларини бошқариш масалаларини маълумот билан таъминлаш муҳим рол ўйнайди, энергетика тизими структураси тўғрисидаги маълумотлар унинг ажралмас қисми ҳисобланади.

Тармоқ схемаси топологиясини сезиларли ўзгариши билан якунланадиган авариядан кейинги режимлар спецификаси ўз-ўзидан барқарорлашадиган авариядан кейинги режимларни (ЎБАКР) ҳисоблашда энергетика тизими структураси бўйича зарур маълумотларни олиш масаласини алоҳида таъкидлаб қўяди.

Шу муносабат билан БМИ нинг ушбу боби структурали таҳлилнинг маълум ва янгидан яратилган усуллари кўриб чиқишга бағишланади

3.2. ЎБАКР ҳисоблаш масалаларини ечимини олиш шартлари

Электр тизимлари режимларини ҳисоблашда ечимнинг иккита алоҳида босқичи ажратилиши мумкин. Уларнинг биринчиси тармоқ параметрлари ва схемани таҳлил қилишдан иборат бўлиб, у ёки бу киритилган изланувчи параметрлар қийматлари учун математик тенгламалар тузиш билан якунланади.

Ундан кейинги босқич эса олинган тенгламаларни ечишдан иборат бўлади.

Тизимнинг барқарор режимларини ҳисоблаш масаласи бирламчи маълумотларни берилиши характериға боғлиқ ҳолда ҳар хил қўйилиши мумкин. Барқарор режимларни ўрнатилган ҳисоблаш амалиётидан кўринадикки, ҳисоблаш учун берилган маълумотларни кўпроқ қабул қилинган шакли [2,41,42] қуйидаги маълумотларни берилганлар сифатида қабул

қилишни кўзда тутеди:

- а) электр тармоғининг параметрлари ва конфигурацияси;
- б) юкламали тугунлар учун, умумий ҳолда ўзининг статик характериға мос ўзгарадиган тугундаги юкламанинг тўла қуввати $\dot{S}=P+jQ$ берилади;
- в) генерацияловчи тугунлар учун генераторларнинг актив қуввати «Р» ва тугундаги кучланишнинг модули «U» берилади;
- г) берилган трансформация коэффициентлари – трансформаторлар учун;
- д) “балансловчи” тугун учун ўрнатилган кучланиш вектори[41]. Бу ушбу тугунға чексиз қувват шинасини киритиш билан баробар, мазкур тугундаги қувват тармоқдаги исроф эътиборға олинган ҳолдаги электр тизимидаги қувватлар баланси шарти бўйича аниқланади.

Қўшимча маълумотлар сифатида параметрлар ўзгаришининг руҳсат этилган чегаралари, трансформация коэффициентларининг ўзгариши поғоналари ва бошқа маълумотлар хизмат қилади.

Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблаш дастурида қўшимча маълумотларнинг қуйидаги таркиби ишлатилиши мумкин:

тугунлар бўйича – генерацияланувчи актив ва реактив қувватлар чегараси, генератор ва юкламаларнинг статик характеристикалари ва момент–тезлик коэффициентлари, АЧР томонидан ўчирилмайдиган юклама улуши;

тармоқлар бўйича – бўш боғланишлардаги қувват оқимларининг чегаравий қийматлари, тармоқ шохчаларининг қўшимча пассив параметрлари(масалан, шунтловчи ўтказувчанликлар), комплекс трансформация коэффициентлари.

Бундан ташқари “неаддитив” катталиқ частотанинг чегаравий қийматлари берилиши зарур.

Электр энергетика тизимлари таркибида автоматлаштирилган диспетчерлик бошқарув тизимларини шакллантириш тенденцияси белгиланиши муносабати билан тугун ва тармоқлардаги, алоқа тизими орқали диспетчерлик пунктиға узатиладиган, ўлчов маълумотлари бўйича электр тизимининг ҳолатини баҳолаш қизиқиш туғдиради. Тизимнинг эксплуатация ҳолатини баҳолаш, улардан биттаси бўлиб стационар ва оптимал режимларни ҳисоблаш ҳисобланади, бир қатор масалаларни ечиш билан боғлиқ. Ушбу ҳолатда бирламчи маълумотлар сифатида тармоқлардаги қувват оқимлари ва баъзи бир тугунлардаги кучланишлар[43,44,46] ишлатилади.

Мураккаб электр энергетика тизимларининг режим параметрларини ўлчов маълумотлари бўйича баҳолашда ҳам бирламчи маълумотлар таркибини таҳлил қилишдек махсус масала пайдо бўлади. Уни ечишдан мақсад – ҳисоблашни ўтказиш ва натижаларни олиш имкониятини аниқлаш.

ЭЭТ режимини бутунича баҳолаш мумкин бўлади, агар кузатувчанлик шарти таъминланган бўлса[45]. Кузатувчанлик деганда умумий ҳолда объект ҳолатини бевосита кузатилаётган қийматлар орқали, уларнинг қандайдир функциялари бўлмиш, барча параметрларни баҳолаш имконияти тушунилади. ЭЭТ учун кузатувчанлик тушунчасининг спецификаси шундан

иборатки, яъни у кўп ҳолларда тармоқ схемасининг топологик хусусиятлари ва ўлчов қурилмаларининг жойлаштирилиши билан аниқланади.

Амалиётда кўпинча шундай ҳолатлар бўладики, яъни ўлчов маълумотлари ЭЭТ фақат ажратилган(ҳисоблаш) қисмига етарли бўлади. ЭЭТ қолган қисми режимини маълумотлар етарли бўлмаганлиги учун ҳисоблаш имкони бўлмайди. Ҳисоблаш районлари ўлчовлар кам бўлганлиги ҳамда ЭЭТ ни бир–бирига боғлиқ бўлмаган топологик бўлиниши туфайли бир нечта бўлиши мумкин.

Аксарият ҳолларда кузатувчан бўлмаган ўлчов маълумотларини машина хотирасига киритишдаги хатолар туфайли ҳам рўй бериши мумкин. Шунинг учун ҳам берилган маълумотларни таҳлил қилиш зарур:

а) кузатувчанлик ва кузатувчан бўлмаган фактларини ўрнатиш учун режим параметрларини баҳолашда;

б) бутун тизим кузатувчан бўлмаган ҳолларда кузатувчан ҳисоблаш районларини ажратиш учун;

в) Электр ажралган тизимни ёки топологик боғланмаган тармоқларни параллел ҳисоблашда муайян ҳисоблаш районига тааллуқли бўлган тугун ва тармоқларни аниқлашда;

г) тармоқ топологиясини берилишидаги хатоларни аниқлашда, бунинг натижасида тармоқ бир нечта ҳисоблаш районларига ажраб кетиши мумкин.

ЭЭТ эксплуатацион ҳолатини баҳолаш масаласи ўтган асрнинг 80–чи йилларидан бошлаб автоматлаштирилган бошқариш назариясида яратилган аппаратга асосланган ҳолатни баҳолашни статистик усуллари ва маълум бўлган чала квадратларни статистик усуллари аппаратларига асосланган ҳолда ечилмоқда[45].

Бу ерда хатолиги мавжуд бўлган маълумотлар бўйича ўлчанган қийматлар билан ҳақиқий режимнинг яқинлиги нуқтаи назаридан қабул қилинган мезон асосида оптимал ҳисобланган режим баҳоланади. ЭХМ да бир ёки кўп бўлмаган бир нечта ҳисоблашлар ўтказилади.

ЭЭТ ҳолатини баҳолашдаги кузатувчанликни аниқлашнинг асосий ғоясини барқарор режимни оддий кўринишда ҳисоблашга кўчириш мумкин, бу ерда берилган маълумотлар нуқтаи назаридан тугунларда берилган маълумотлар бирламчи маълумотлар бўйича баҳолаш масаласининг хусусий ҳоли бўлиб қолади.

ЎБАКР ҳисоблаш дастурида ҳам анъанавий барқарор режимларни ҳисоблашда характерли бўлган бирламчи маълумотларни берилиш шаклини кўриб чиқиш мақсадга мувофиқ бўлади:

а) умумий маълумотлар,

б) тугунлар бўйича маълумотлар,

в) тармоқлар бўйича маълумотлар,

г) моделлаштирилган авария бўйича маълумотлар.

Умумий маълумотлар схема тармоғи ва тугунлари сони, тугун рақами, ҳисоблашнинг бошланиш тугуни рақами(нол фазали тугун), кучланиш фазаси ва модули бўйича ҳисоблаш аниқлиги.

Тугунлар бўйича берилганлар— $P_r(f)$, $Q_r(f)$, $P_{гном}$, $P_{го}$, $Q_{го}$, σ , $P_{но}$, $Q_{но}$, $P_r(U, f)$, $Q_r(U, f)$, C, U , $P_{гmax}$, $P_{гmin}$, $Q_{гmax}$, $Q_{гmin}$,

бу ерда $P_r(f)$, $Q_r(f)$ – генераторларнинг момент–тезлик ва статик характеристикалари;

$P_{\text{ном}}$, $P_{\text{го}}$, $Q_{\text{го}}$ – мос ҳолда номинал частотадаги генератор валидаги механик қувват ва генераторнинг номинал актив ва реактив қувватлари;

$P_{\text{ном}}$, $Q_{\text{ном}}$, $P_r(U, f)$, $Q_r(U, f)$ – юкламаларнинг номинал актив ва реактив қувватлари ва кучланиш ва частота бўйича статик;

σ, C – турбина АРЗ нинг статизм коэффиценти ва кучланиш бўйича статик характеристикаси русуми;

$P_{\text{гmax}}$, $P_{\text{гmin}}$, $Q_{\text{гmax}}$, $Q_{\text{гmin}}$ – генератор актив ва реактив қувватларини чегаравий қийматлари.

Тугунлар бўйича маълумотлар – R , X , K_t , Y_c , Y_μ ,

бу ерда R , X , – линиянинг актив ва реактив қаршиликлари;

K_t – комплекс трансформация коэффиценти;

Y_c , Y_μ , – тўртқутблиликнинг шунтловчи ўтказувчанликлари.

Моделлаштирилувчи авария бўйича маълумотлар таркибига ўчирилувчи тармоқ рақами, генерация ва юклама тугунлари ва улар билан боғланган тармоқлар киритилади.

Изланувчи параметрлар сонига дастурда қуйидагилар киради:

Тугун кучланишлари модули U_i ($i \in N$), тугун кучланишлари фазаси δ_i ($i \in (N-1)$), генераторлар реактив қувватлари Q_{gi} ($i \in G$) ва тизим частотаси,

Бу ерда N – юклама тугунлари сони,

G – генератор тугунлари сони

N – тизимдаги жами тугунлар сони..

ЎБАКР ҳисоблаш масаласининг ечими олиниши мумкин, агар

1) юқорида саналган барча маълумотлар ҳисоблаш учун киритилган бўлса;

2) тармоқ топологияси аниқланган бўлса.

1–*бандни текшириш берилган маълумотларни семантик диагностика деб номланувчи жараён асосида амалга оширилиши мумкин. Ушбу дастурий усулларда амалга оширилувчи текширишнинг мохияти тармоқ схемасининг тугун ва тармоқлари бўйича маълумотларнинг тўлалигини аниқлашдан ҳамда берилган маълумотларни руҳсат этилган чегаралар ичидалигини текширишдан иборат бўлади.

2– бандни текшириш берилган маълумотлар ичида кўрсатилган тугун, тармоқ ўчирилгандан кейин тармоқ схемасини боғланганлигини таҳлил қилувчи махсус алгоритмларни қўллашни талаб қилади. Бу алгоритмлар 3.2 ва 3.3 бўлимларда кўрилган.

3.3. Тармоқ топологиясини таҳлил қилишнинг графли усуллари

Кейинги вақтларда ишончлилиқни ҳисоблаш, мураккаб электр тизимларини нормал ва авариядан кейинги режимларини аниқлаш ва бошқалар билан боғлиқ кенг кўламдаги масалаларни ечишда тизим топологиясини таҳлил қилишнинг графли усуллари тадбиқ қилинмоқда. Бу усулларни қўллаш мақсадларидан бири – графнинг боғланганлигини

текшириш. Графни боғланганликка текширишнинг кўп сонли усуллари ичидан қуйида иккита рақобатбардош варианты кўрилади [47].

Биринчи вариант алгоритми ғоясини қуйидагича тушунтириш мумкин. Агар граф чўққи–кесишмовчи боғланган компоненталарга ажратилган бўлса(хусусий ҳолда алоҳида чўққилар шундай бўлиши мумкин) ва текширишда улардан иккитаси бир–бири билан боғланган бўлса(бевосита бўлиши шарт эмас), бу компоненталарни шартли бирлаштириш мумкин. Бунда кейинги текшириладиган компоненталар сони биттага камаяди. Агар бирорта бошқаси билан боғланмаган компонента аниқланса – граф боғланмаган бўлади.

Графнинг боғланганлиги текшириш фақат учун ихтиёрий тартибли рўйхатда ёзилган кўпхад $\bar{Q}$ тизимига эга бўлиш етарли. Текшириш алгоритми ҳар бир қаторни $Q_i(i=1,2,\dots,w)$ таққослашдан иборат бўлади.

$\bar{Q}$ рўйхатнинг $Q_j, j > i$ қаторини излашда қуйидаги шарт бажарилиши керак

$$Q_i \cap Q_j \neq \emptyset \quad (3.1)$$

Агар бундай қатор аниқланса, уни ўзгартириш керак

$$Q_j =: Q_j \cup Q_i \quad (3.2)$$

($\cap$, $\cup$, $=$: белгилар – мос ҳолда мантикий кўпайтириш, қўшиш ва ўнг қисмни чап қисмга бериш белгиси). Бундан кейин $\bar{Q}$ рўйхатнинг $(i+1)$ -чи қаторини кейинги пастки қатор билан таққослашни ўхшаш цикли бошланади.

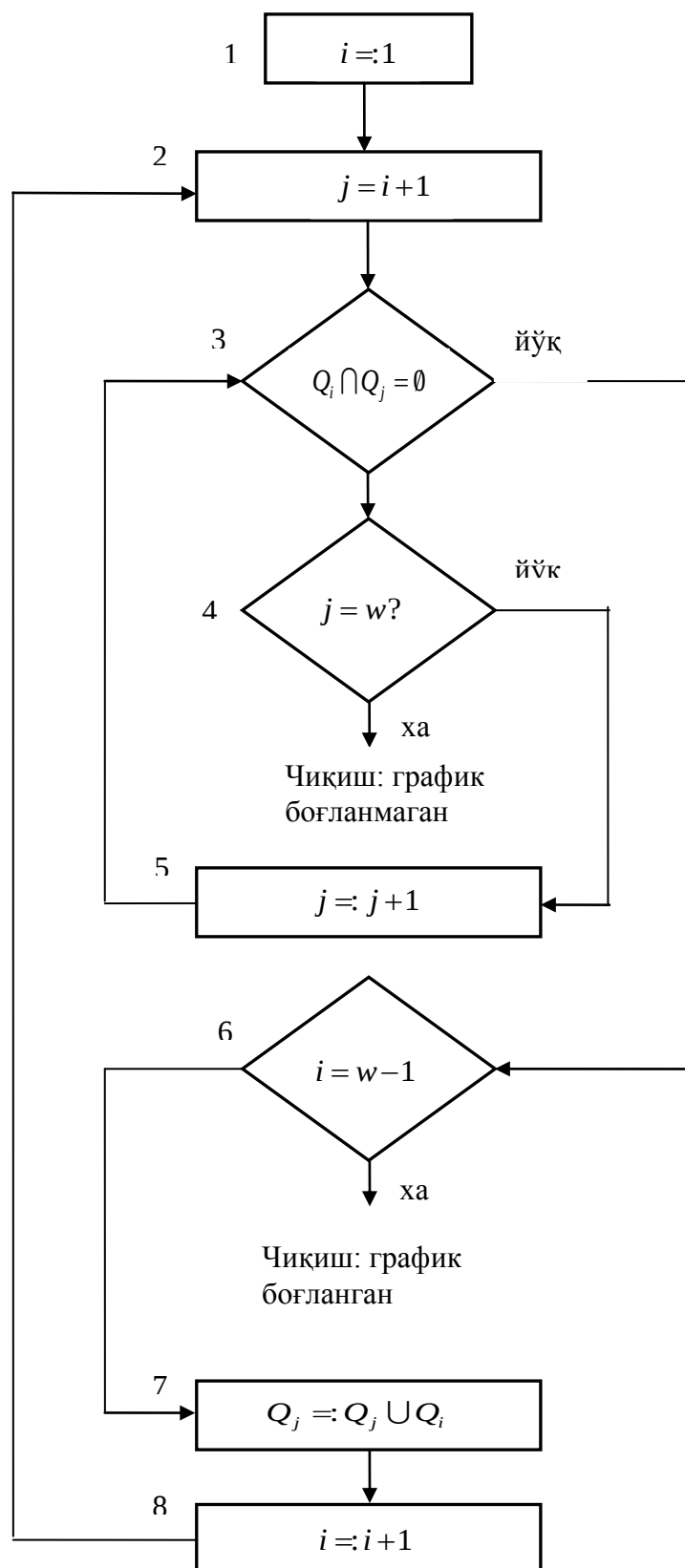
Демак, $\bar{Q}$ рўйхатнинг охиргидан ташқари барча қаторлари Q_i текширилиб бўлганда ва уларни ҳар бири учун (3.1) ни қаноатлантирувчи қатор $Q_j, j > i$ аниқланса, у ҳолда бу графнинг боғланганлиги белгиси бўлади. Агар шундай Q_i қатор аниқлансаки, у билан қуйидаги $Q_j, j > i$ қаторлар орасида (3.1) шарт бажарилмаса, бу графни боғланмаганлигини билдиради.

Ушбу алгоритм граф тўғрисидаги маълумот у ёки бу структурали матрица кўринишида берилса жуда қулай бўлади. Маълумотни ушбу усулда берилиши ўлчами катта бўлмаган графлар учун иқтисодли бўлади, чунки матрица элементини ёзиш учун боғ йўғи бир бит маълумот талаб қилинади, лекин зарур бўлган умумий хотира ҳажми тақрибан граф чўққилари сонининг квадратига пропорционал бўлади.

3.1 расмда кўрилган алгоритмнинг блок–схемаси келтирилган.

Графни боғланганлигини текширишга мисоллар кўрамиз.

1. Графнинг боғланиш матрицаси берилган бўлсин(3.2 расм).



3.1.расм. Боғланган графни текширишнинг блок–схемаси.

3.1 расмда кўрилган алгоритмнинг блок–схемаси келтирилган.

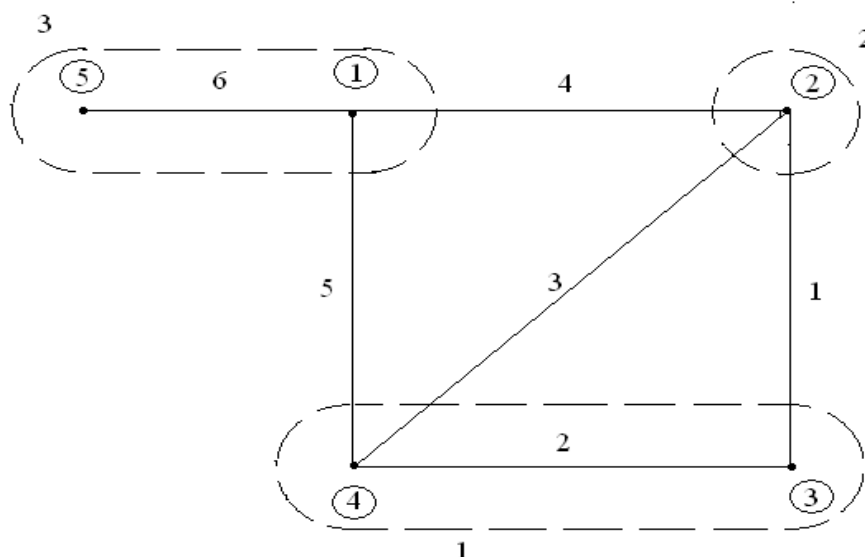
Графни боғланганлигини текширишга мисоллар кўрамиз.

1.Графнинг боғланиш матрицаси берилган бўлсин(3.2 расм).

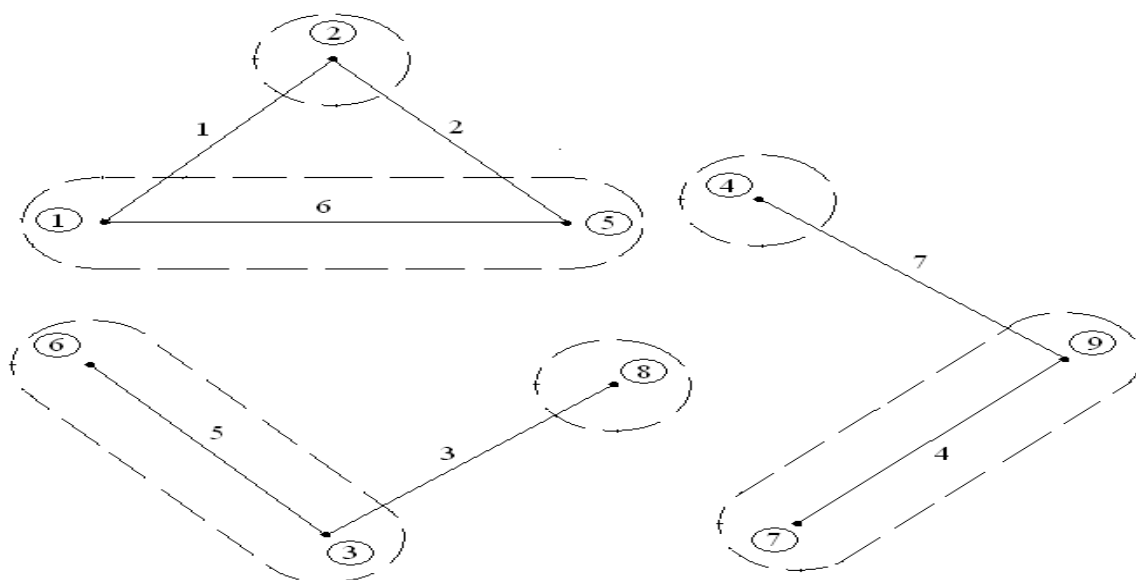
Граф тўғрисидаги маълумотларни компьютер хотирасига ёзишнинг конкурентли усулларида бири бу граф ёйи рўйхатидан фойдаланишдир, уларнинг ҳар бири бошланғич ва охири чўққилари рақамларини ёзиш орқали идентификация қилинади. Бу усулда графнинг боғланиш матрицаси M нинг ҳар бир нолдан фарқли элементига граф маълумотлари массивида битта рақам тўғри келади. Шундай қилиб, зарур бўлган хотира ҳажми фақат M матрицасидаги нолдан фарқли элементлар сони билан аниқланади, лекин уларни компьютер хотирасига ёзиб олиш учун машина сўзи(ёки бутун сонлар ишлатилганда яримта сўз) талаб қилинади.

Агар, $\frac{m}{n} \approx 1,5$ (m – ёйлар сони, n – чўққилар сони) бўлса компьютер хотира ҳажми, граф ҳақида маълумотлар сақланиши рўйхат кўринишида берилган бўлса, граф чўққилари билан чизикли боғланган бўлади ва шунинг учун ҳам усул граф ўлчамлари етарлича катта бўлганда олдинги кўрилган усулларга нисбатан самаралироқ бўлади.

Граф тўғрисидаги маълумотларни рўйхат кўринишида реализация қилиб графнинг боғлиқлигини аниқловчи бошқа алгоритмни кўрамиз. Агар (X, Γ) графда, бу ерда графнинг X – чўққилари мажмуаси, Γ – ёйлари мажмуаси, $R \subset X$ ва $T \subset X$, $T \cap R = \emptyset$ кириш ва чиқиш чўққиларининг мос кўпхадлари берилган бўлсин, уларнинг биринчисини манба сифатида, иккинчисини эса тўпланишлар мажмуаси сифатида интерпретация қилиш мумкин.



3.2.расм. Боғланган граф учун мисол



3.3–расм. Боғланмаган граф учун мисол

У ҳолда ҳар бир чўққининг $x_i \in T$ қайсидир $x_r \in R, x_s \in R$ чўққилар билан иккитомонлама боғланишини борлигини текшириш масаласи ҳар бир тўпланиш жойи учун иккитомонлама таъминланиш мавжудлигини текширишдан иборат бўлади.

Алгоритм граф ёйини ихтиёрий йўналишда айланиб чиқиш янгиланувчан жараёнидан ва бу ердан ўтадиган чўққиларнинг рўйхатини шакллантиришдан иборат бўлади, бунда айланиш узунлиги ва йўналиши (ўтилган йўллар сони) битта шарт билан, яъни ҳар бир ёй икки марта ўтилмайди, чегараланиши керак. Алгоритмнинг ишчи қисми бошланишидан олдин аввал ўтилмаган ёйлар $G =: \Gamma$, чўққиларни $Y =: \emptyset$ тўғри йўналишда ўтилган ва тесқари йўналишда ўтилмаган рўйхати ва берилган тўпланишлар кўпхади T нинг кўпхад L часи рўйхати тузилади (манба билан иккитомонлама боғланиши борлиги хали текширилмаган элементлар учун). Навбатдаги айланишнинг бошланғич чўққиси $x^{(a)}$ сифатида биринчи чўққи ёзилади – манба x_r .

Алгоритмнинг ишчи қисми қуйидаги жараёни қайтаришдан иборат бўлади.

Бошланғич $x^{(a)}$ чўққидан бошлаб ихтиёрий йўналишда графнинг навбатдаги, G рўйхатдаги ёйлар бўйича айланиши ўтказилади, яъни $\pi = (x^{(a)}, x^{(i_1)}), (x^{(i_1)}, x^{(i_2)}), \dots, (x^{(i_{w-1})}, x^{(i_w)})$ йўл шакллантирилади, бундан ташқари $g^{(i_l)} = (x^{(i_{l-1})}, x^{(i_l)}) \in \pi$ ёйни ўтиш мобайнида улар G рўйхатдан ўчирилади, яъни охирги $G =: \frac{G}{\{g^{(i_l)}\}}$ кўринишга келтирилади, ўтиладиган ёйлар чўққилари $x^{(i_l)}$, $l=0, 1, \dots, w$, $i_0 = a$ эса Y рўйхатга ёзилади, яъни охирги $Y =: Y \cup \{x^{(i_l)}\}$ шаклга ўзгартирилади.

Айланиб чиқиш иккита ҳолатда тугатилади: ёки Y рўйхатнинг охирги чўққиси кирувчи (манба) бўлади, ёки G рўйхатдаги граф ёйи x_{i_w} чўққи билан

боғланмаган ёй бўлиб чиқади. Агар айланиб чиқиш биринчи сабаб бўйича тўхтатилса, у ҳолда Y рўйхат чўққиларини кетма–кет кўриб чиқиш орқали, x_{iw} нинг охириги чўққисидан бошлаб, $x_{is} \in Y \cap R$ чўққи изланади ва $\Delta Y = (x_{is+1}, x_{is+2}, \dots, x_{iw-1}) \subset Y$ чўққилар рўйхатчаси чиқиш чўққиларининг қўшимча кўпхадини аниқлаш учун ишлатилади, улар учун иккитомонлама манба мавжудлиги аниқланган бўлади:

$$\Delta K = L \cap \Delta Y \quad (3.3)$$

Бу ерда текширилмаган чиқиш чўққиларини ўзгартириш амалга оширилади:

$$L =: \frac{L}{\Delta K} \quad (3.4)$$

Кейин чўққидан янги айланиб чиқиш имконияти текширилади. Агар бундай имконият бўлса, у ҳолда $x^{(\alpha)} =: x_{iw}$ дан G графнинг ўтилмаган ёйлари учун янги айланиб чиқиш бошланади, агар бўлмаса, у ҳолда чўққи R рўйхатдан чиқарилади ва навбатдаги айланишга ўтиш учун бошланғич чўққини излаш жараёнига ўтилади. Агар айланиб ўтиш иккинчи сабабга кўра тугатилса, бунда ҳам юқоридагига ўхшаш Y рўйхат чўққиларини, унинг охириги чўққисидан x_{iw} бошлаб, кетма–кет айланиб чиқиш амалга оширилади.

Навбатдаги айланишнинг бошланғич чўққисини излаш π йўлнинг, қайсики охириги айланиб чиқишнинг бошланғич чўққисидан x_{iw} чўққига олиб келган, тескари йўналиши бўйича ҳаракат қилиш орқали бажарилади. Тескари ҳаракат Y чўққилар рўйхатини, унинг охириги чўққисидан x_{iw} бошлаб ҳар бир навбатдаги чўққи $x^{(i)} \in \tilde{\pi}$ (бу ерда $\tilde{\pi}$ – π йўлнинг чўққилари мажмуаси) учун, кетма–кет кўриб чиқиш орқали амалга оширилади.

Агар баён қилинган алгоритмда ΔY , ΔK , L , K кўпхадларни шакллантириш билан боғлиқ жараёни тушуриб қолдириб Y рўйхатни, G рўйхат ёйлари кетма–кет айланиб чиқиш орқали, орттириш жараёни билан қониксак, у ҳолда (X, G) граф боғланганлигини текширишни самаралироқ алгоритмининг олиш мумкин. Агар кўрилган алгоритмнинг бажарилишини қайсидир босқичида $G = \emptyset$ бўлса, у ҳолда граф боғланмаган бўлади.

Шундай қилиб, иккита рақобатбардош графни боғланганлигини текширувчи алгоритмни кўриб чиқиш асосида қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин:

1. Биринчи алгоритмни тугунлар сони кўп бўлган тармоқлар учун ишлатиш компьютер хотирасида катта сондаги нолларни сақлаш зарурияти туфайли ва тугунларни боғлиқлигини текширишда ўзини оқламайдиган катта сондаги қаторларни айланиб чиқиш мавжудлиги учун мақсадга мувофиқ эмас.

2. Иккинчи алгоритм, қайсики граф боғлиқлиги унинг ёйлари кетма–кет айланиб чиқиш орқали аниқланадиган, ЭЭТ ЎБАКР ҳисоблашда асос қилиб олинган Ньютоннинг итерацион жараёни билан бевосита боғлиқ эмас, шунинг учун ҳам унинг қўлланиши асосий ҳисоблаш алгоритмининг ҳажмини ортишига олиб келади.

3. Ҳар иккала алгоритмда ҳам ҳисоблаш районининг боғланмаган мажмуасига тегишли бўлган чўққиларни (яъни тармоқ тугунларини) ва

ёйларни(яъни тармоқ шохчаларини) аниқлаш мумкин эмас.

Юқорида келтирилган граф боғланганлигини текшириш алгоритмларининг камчиликлари барқарор режимларни ҳисоблаш ва бу ҳисоблашлар билан мантиқан боғлиқ бўлганларни бажариш жараёнида тармоқ районларини аниқлаб берувчи махсус алгоритмларни яратиш заруриятини туғдирди.

3.4.Тармоқ структурасини таҳлил қилувчи матрицали методлар ва тизимни қисмларга бўлиниши фактини аниқловчи алгоритмлар

Матрицалар билан амаллар бажариладиган(қўшиш, кўпайтириш, тескарисини аниқлаш ва ҳ.з.) ҳисоблаш методларини матрицали методлар деб номлаймиз. Мураккаб электр тизимларини ҳисоблашларда классик матрицали методлар компьютерда ҳисоблашнинг талаб қилинаётган ҳам хотираси, ҳам вақти нуқтаи назаридан самарасиз. Бунинг асосий сабабларидан бири шундаки, тескари матрица таркибида(масалан, ўз ва ўзаро тугун қаршиликлари матрицаси) нолли элементлар бўлмайди. Шу билан бирга таъкидлаш керакки, матрицалардан фойдаланиш барқарор режимларни ихчам ёзишда ҳам, тенгламалар таркибини таҳлил қилишда ва бу тенгламаларни ҳисоблаш методларини такомиллаштиришда жуда муҳим. Эслатиб ўтамиз, матрицалар алгебраси фақат матрицалар билан, уларни ечиш самарасини ошириш имконини берувчи махсус хусусиятларини намоён қилмасдан, формал амаллар бажаришни назарда тутди.

Юқорида қайд қилиндики, яъни ЎБАҚР ни ҳисоблаш тизимни бир ёки бир нечта боғланмаган қисмларга бўлиниб кетиши мумкинлигини назарда тутди. Қуйида ЭЭТ элементларини ўчиши билан боғлиқ бўлган аварияли ситуациялар туфайли боғланмаган қисмларга (ҳисоблаш районларига) бўлинишини аниқлаш алгоритминини кўриб чиқамиз.

Ҳозирги кунда ўтказилган ўлчовлар орқали ЭЭТ ни кузатувчанлигини аниқлаш имконини берувчи ва ҳисоблаш районларини ажратиб берувчи методлар яратилган. Ушбу методлардан, уларни кераклича такомиллаштиргандан кейин, ЎБАҚР ни ҳисоблаш районларини ажратиш ва тизим қисмларга бўлиниб кетган ҳолларда ҳисоблаш районлари маълумотларини шакллаштиришда, фойдаланиш мумкин. [45] да ЭЭТ режим параметрларини статик баҳолаш бўйича тизимнинг топологик кузатувчанлигини текшириш методи таклиф қилинган, у дихроматик графни қуришга асосланган. [48] да тармоқ қисмларини аниқлаш методикаси таклиф қилинган, унда режим параметрлари тўғри(итерацияли эмас) ҳисобланиши мумкин. Бунинг учун тармоқ схемасидан дарахт–схема ажратиб олинади ва дарахтни сер шохча нуқталарида, яъни иккитадан ортиқ шохчаси бўлган тугунларда, ўлчовларни етарлилиги текширилади. Бу топологик таҳлил орқали кузатувчанлик факти аниқланади ва ҳисоблаш районлари ажратилади. [49] да қандайдир топологик матрицани тузишдан иборат бўлган, тармоқлардаги ўлчовлар(маълумотлар)ни жойлашувини билдирувчи ва кейинчалик бу матрицани таҳлил қилувчи, метод таклиф қилинади.

Лекин, Гаусс ва Ньютон усуллари асосида ЎБАКР ҳисоблашда кўрсатилган тармоқ кузатувчанлигини(ҳисоблаш районларини) аниқлаш методлари асосий ҳисоблаш мажмуаси билан алгоритмик боғланмаган бўлар экан, бу эса қўшимча компьютер хотираси ва вақт сарфларига олиб келади. Шу муносабат билан метод яратиш зарурки, у Якоби(ёки (2.30а) тенгламалар тизими коэффицентлари матричасини) матричасини шакллантириш жараёнида тизимни қисмларга бўлиниши фактини аниқлаш ва ҳар бир қисм учун ЎБАКР ни ҳисоблаш имконини берсин.

Таклиф қилинаётган методнинг ғояси тармоқ бўлиниши фактини аниқлашда (2.30а) тенгламалар тизими коэффицентлари матричасини $A_t A$ шакллантиришда олинadиган маълумотлардан фойдаланишдан иборат бўлиб, Ньютон методининг ҳар бир итерациясида қуйидаги кўринишдаги чизикли алгебраик тенгламалар тизими ечилади

$$B \cdot \Delta X = A_t W \quad (3.5)$$

Бу ерда A_t – транспозиция қилинган Якоби матричаси;

$B = A_t A$ – чизикли тенгламалар тизими коэффицентларини симметрик матричаси;

W – тугун қувватлари нобалансининг вектор – функцияси;

ΔX – мустақил режим параметрларининг векторлари орттирмаси (тугун кучланишлари, частотанинг модули ва фазалари).

Матрицанинг B структураси тармоқ топологияси ва берилган маълумотлар таркиби билан аниқланади. B матричаси структурасини таҳлил қилиб тармоқни ҳисоблаш районларига бўлинганлик фактини аниқлаш мумкин. (3.5) тенгламалар тизимини, агар у бир бири билан ўзаро боғланмаган тизимчаларга бўлинган ҳолда, унинг ечишни махсус усулларини қўллаганда ҳисоблаш алгоритмининг ҳеч қандай ўзгартиришсиз тармоқ, у бир неча қисмларга бўлинганда, масаласи учун ечим олиш мумкин.

Усулни ЎБАКР ни ҳисоблаш масаласи мисолида тушунтирамиз. Юқорида баён қилинганлардан кўриниб турибдики(2.4 бўлимга қаранг), ЎБАКР масаласини ечимини олиш учун мақсад функциясини минимизация қилиш зарур.

$$\Psi_1(X) = \sum w_i^2(X),$$

бу ерда $w_i(X)$ – i – тугун учун(ушбу ҳолатда i – тугундаги қувват мувозанати тенгламаси) барқарор режим тенгламаси. Мақсад функцияси $\Psi_1(X)$ градиентини Тейлор қаторига ёйгандан кейин ва мос соддалаштиришлар ўтказиб (3.5) линеаризацияланган тенгламалар тизимини олдик.

(3.5) тенгламалар тизими ечимини фақат $\det B \neq 0$ да олиш мумкин.

Маълумки, матрицанинг қайсидир бирорта қатори ёки устунинг барча элементлари нолга тенг бўлса ёки чизикли боғланган қатор ёки устун мавжуд бўлса унинг аниқловчиси ҳам нолга тенг бўлади

Биринчи ҳолатни кўрамиз. B матрица транспозиция қилинган Якоби матричасини чап томондан берилган матрицага кўпайтириш орқали олинганлиги учун у симметрик бўлади. Матрицанинг i қатор диагональ

элементи нолга тенг бўлса, i қатор билан i устуннинг барча элементлари ҳам нолга тенг бўлади. В матрицаси учун бу i тугуннинг, ушбу тугун билан боғланган, актив ва пассив параметрлари мавжуд эмаслигини билдиради.

Ҳисоблаш районларини ажратиш тенгламалар тизимини ўзаро боғланмаган тенгламалар тизимчаларига ажралиб кетишини билдиради, бу В матрицасини блок–диагонал структурали кўринишга олиб келади(расм 3.4).

Ҳисоблаш районларига нолга тенг бўлмаган диагонал блоклар мос келади. Лекин, В матрицасининг барча блоклари, ҳисоблашдан олдин берилган нол фазали тугунли(ҳисоблашнинг бошланғич тугуни) блокдан ташқари, чизиқли–боғланган қатор ва устунлар эга, яъни матрица аниқловчиси нолга тенг бўлган иккинчи ҳолатни оламиз. Бундай районларда режимни ҳисоблаш, агар уларда ҳисоблашнинг шахсий бошланғич тугуни берилса, имкони бўлади.

Шундай қилиб, ҳисоблаш районларини ажратиш (3.5) тенгламалар тизими коэффицентлари матрицаси структурасини, қайсики ушбу ҳолда махсус ($\det B = 0$) бўлади, диагностика қилиш орқали амалга оширилади

Структураси диагонал–блоки коэффицентлар матрицаси махсус бўлган тенгламалар тизимини ечишнинг иккита усули мавжуд: параллел ва кетма–кет.

Коэффицентлари махсус матрицали тенгламалар тизимининг ечимини олиш масаласи нокоррект масалалар қаторига тааллуқли ва берилган тенгламани унга яқин тенглама билан алмаштириш орқали регуляризация методи асосида ечиш мумкин. [50] да берилган $AX=F$ тенгламани $(A+\alpha E)=F$ тенглама билан мумкин, бу ерда $\alpha>0$ – сонли параметр, E – бирлик матрица. (3.5) нинг махсус структураси қуйидаги кўринишдаги алмаштириш имконини беради

$$(\alpha E+B)\cdot\Delta X = A_t W \quad (3.6)$$

бу ерда α – ихтиёрий нолдан катта сон;

E – диагонал матрица, унда i қатор элементи нолга тенг, агар i тугун кузатувчан (узилмаган) бўлса ва нолга тенг, агар i тугун кузатувчан (узилган) бўлмаса. Бу ерда (параллел усулда) ечим берилган матрицанинг ўлчамларини ўзгартирмасдан олинадиган(яъни, нолли қаторлар ва устунларни ўчирмасдан). Қатнашмаётган тугунлар учун бундай ечим натижасида кучланишнинг модули ва фазасининг орттирмаси нолга тенг((3.6) тенгламанинг бу тугунларга мос ўнг қисми элементлари нолга тенг). Баён қилинган методнинг қулайлиги ва алгоритмик соддалигига қарамасдан унинг ЎБАКР ечиш масалаларида қўлланишининг самараси юқори эмас. Бу қуйидагича тушунтирилади, ЎБАКР ни коэффиценти махсус матрицали тенгламалар тизими орқали параллел усулда ҳисоблаш масалаларида ушбу алгоритм билан ЎБАКР ни ҳисоблашнинг махсус алгоритми ўртасидаги ўзаро боғланиш сезиларли мураккаблашади. Охиргилар қаторига аварияга қарши автоматика(АЧР, станция генераторларини автоматик юргизиш ва ўчириш) ҳаракатини ҳисобга олиш алгоритми, ўзгарувчиларни алмаштириш ва бошқаларни киритиш мумкин.

3.5. Хулосалар

1. ЎБАКР ни ҳисоблашда берилган маълумотларни таҳлилининг зарурлиги шундан иборатки, у мутахассисларни энергетика тизимини лойиҳалаш ва эксплуатация қилиш нуқтаи назаридан қониқтирсин.

2. Берилган маълумотларнинг таҳлилидан ЎБАКР ҳисоблашни ўтказиш имконияти аниқланади.

3. Берилган маълумотларнинг таҳлилинини ташкил қилувчи қисмлардан бири бу тармоқ ҳисоблаш схемасининг топологик боғланганлигини аниқлаш, яъни элементларини ўчирилиши натижасида энергетика тизимини носинхрон ишловчи қисмларга ажралиб кетиши фактини топиш.

4. ЭЭТ ишончилигини ҳисоблашларда қўлланиладиган тармоқ топологияси таҳлилинини графли методлари таклиф қилинаётган ЎБАКР ҳисоблаш методи билан алгоритмик боғланмаган экан. Уларни ЎБАКР ни ҳисоблаш дастурларида қўлланиши компьютер ресурслари сарфини муқаррар ўсишига олиб келади.

5. ЭЭТ тармоқлари топологиясини таҳлил қилишнинг таклиф қилинаётган методи МЭИ нинг Электр тизимлари кафедрасида берилган ўлчовлар бўйича тармоқлар кузатувчанлигини таҳлил қилиш учун тизим режимларини ҳисоблаш бўйича яратилган методнинг мантикий давоми ҳисобланади.

6. ЭЭТ тармоқлари топологиясини таҳлил қилиш бўйича таклиф қилинаётган метод ЎБАКРнинг линеаризация қилинган тенгламалари матрицаси структурасини таҳлил қилишга асосланган, асосий ҳисоблаш усули билан мантиқан боғланган ва амалда қўшимча компьютер ресурслари сарфини талаб қилмайди.

7. ЎБАКР да энергетика тизимининг ҳисоблаш районларини аниқлаб берувчи таклиф қилинган кетма–кет метод, махсус матрицали чизиқли алгебраик тенгламаларни ечиш билан боғлиқ, параллел методга нисбатан алгоритмик соддароқ экан.

IV БОБ.

ЎЗ–ЎЗИДАН БАРҚАРОРЛАШАДИГАН РЕЖИМЛАРНИ ЧЕГАРАВИЙ ШАРТЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ МЕТОДЛАРИНИ КОМПЬЮТЕРДА РЕАЛИЗАЦИЯ ҚИЛИШ МАСАЛАЛАРИ

4.1. Умумий маълумотлар

Таклиф қилинаётган ЎБАКР ҳисоблаш методи дастлаб компьютерда ўз–ўзидан барқарорлашган авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг изланиш дастури сифатида реализация қилинди. Бу дастур орқали ЎБАКР ни тугунлари сони 25–168 ва тармоқлари сони 32–274 реал энергетика тизими ҳисоблаш схемалари учун кўплаб ҳисоблашлар ўтказилди. Ҳисобланган ЭЭТ энг йиригининг таркибидаги генераторлар сони 117 етди.

Ўтказилган ҳисоблашлар таклиф қилинган методни унинг ҳисоблаш самарасини ошириш йўналиши бўйича коррекция қилиш заруриятини туғдирди. Қисман, бошланғич яқинлашувни танлаш, қувватлар балансини аниқлаштириш, яқинлашувни тезлаштириш бўйича махсус усуллар таклиф қилинди. Берилган маълумотларни мақсадга мувофиқ аниқлигини текшириш бўйича махсус изланишлар ўтказилди. Гап шундаки, ҳамма энергетика тизимлари ҳам кучланиш ва частота бўйича генератор ва юкламаларнинг етарлича аниқликдаги статик характеристикаларга эга эмас, бундай маълумотлар эса ЎБАКР ни ҳисоблашда зарур. Шу муносабат билан ЎБАКР ни ҳисоблаш натижаларини берилган маълумотларнинг хатоликларига сезгирлиги изланди ва керакли рекомандациялар берилди. Мазкур бобда таклиф қилинаётган ЎБАКР ни ҳисоблаш методининг амалий тадбиқ қилишдаги баъзи хусусиятлари кўрилди ва у ўз–ўзидан барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни ҳисоблашни саноат дастури СПР–М га асос бўлди ва ўтказилган ҳисоблашларнинг натижалари умумийлаштирилди.

4.2. Ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни чегаравий шартлардан

фойдаланиш компьютерда ҳисоблаш дастурига талаблар

Дастур ўз–ўзидан барқарорлашувчи(барқарор режимлар – ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларнинг хусусий ҳоли) авариядан кейинги режимларни, умумий ҳолда, электр тизими носинхрон ишловчи қисмларга бўлиниб кетган ҳолатда, ҳисоблашга йўналтирилган бўлиши керак.

Режимларни ҳисоблашлар ҳам ўрнатилган частотада(барқарор режимлар) ва ҳамда ўрнатилмаган частотада(ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимлар) ўтказилиши мумкин. Биринчи ҳолда электр тизимининг тугунларидан бири балансловчи тугун сифатида қабул қилиниши керак. Иккинчи ҳолатда балансловчи тугун бўлмайти, энергетика тизими частотаси эса изланаётган режим параметрларидан бири бўлиб қолади.

Аварияли ҳолатни моделлаштириш учун, ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимни ифодаловчи, ўчиришнинг қуйидаги турларини моделлаштириш имконияти дастурий кўзда тутилиши керак:

- а) станцияларнинг генератор қувватларининг қисми;
- б) станцияларнинг юклама қувватларининг қисми;
- в) электр узатиш линиялари ва трансформаторлар шохчалари ;
- г) генератор тугунлари ўзлари билан боғлиқ шохчалари билан бирга ;
- д) юклама тугунлари ўзлари билан боғлиқ шохчалари билан бирга;
- е) юқорида келтирилган ўчиришларнинг комбинациялари.

Режимларнинг барча ҳисобларини дастурнинг ичида нисбий бирликларда олиб бориш мақсадга мувофиқ. Дастурнинг кириш ва чиқишида маълумотларни номланган бирликларда бериш зарур. Шу муносабат билан, ҳисоблашлар тажрибасига асосланган ҳолда, базис кучланиш ва базис қувватни ҳисобланаётган электр тизими қуввати ва кучланишларини мос ҳолда ўрта арифметик қийматларига тенглаштириб танлаш таклиф қилинади.

Электр тармоқлари топологияси унинг тармоғини чегараловчи тугунлар рўйхати ва тармоқнинг бошланиши ва тугалланиши тугунлари рўйхати билан берилади. Параллел тармоқларни чегараловчи тугунларни бир хил рақамлар билан белгилашга рухсат берилади. Электр узатиш линияларини моделлаштирувчи тармоқлар учта параметр билан берилади: актив ва реактив қаршилик ва ерга сиғим ўтказувчанлик. Трансформаторларни моделлаштирувчи тармоқлар қўшимча яна иккита параметрлар –трансформация коэффициентларини ҳақиқий ва мавҳум ташкил этувчилари билан берилади. Дастурлаш қулай ва ихчам бўлиши учун трансформатор шохчаларидаги ва электр узатиш линиялари шохчаларидаги қувват оқимлари (2.14), (2.15) кўринишдаги универсал тенгламалар билан ифодаланади.

ЎБАКР ни ҳисоблашларда электр тизими тугунларидаги юкламалар (2.13) кўринишидаги ўзларининг статик характеристикалари билан юклама қувватини кучланиш бўйича квадрат боғланиши ва унинг частота бўйича чизикли боғланишлари орқали моделлаштириладилар.

Режимларни ҳисоблашларда генераторларни моделлаштириш, бирламчи двигателнинг қувватини частота бўйича боғланишини ҳисобга олувчи, (2.12) тенглама бўйича амалга оширилади. Режимни ҳисоблашда генераторнинг минимал ва максимал актив ва реактив қувватлари, тизимнинг частотаси бўйича чегаралар эътиборга олинади.

Дастур тугун кучланишлари, трансформатор боғланишлари ва электр узатиш линияларининг ўтказувчанлик қобилиятлари бўйича чегараларни бузилганлигини констатация қилади.

Статик тургунликни дастурда қабул қилинган бузилиши мезонини характеристик тенгламанинг, электр тизимидаги ўтиш жараёнларини ифодаловчи, линеаризация қилинган дифференциал тенгламалар тизимида жавоб берадиган, эркин ҳадининг ишорасини ўзгариши ифодалайди. Дастурда амалда режим тенгламасининг, электр тизимининг, эркин ҳадга ўхшаб, барча элементларини статик характеристикаларига қўйилган шартларга мос ҳолда тузилган якобиани ҳисобланади, тургунликни бузилиши эса якобианни олдинги турғун режимдагига нисбатан ишорасининг ўзгариши бўйича констатация қилинади. Турғунликни якобианнинг ишорасини ўзгариши бўйича аниқлашнинг тўғрилигини

асослаш [51,52,55] да келтирилган.

Берилган маълумотларни киритиш, ЭЭТ режими ва элементларини моделлаштириш каби кўрсатилган талаблардан ташқари ЎБАКР ни ҳисоблаш дастурида ҳисоблаш техникасидан фойдаланиш самарасини оширувчи тадбирлар ҳам тадбиқ қилиниши керак.

Уларга берилган маълумотларни тайёрлашнинг тўғрилигини автоматик диагностикаси, ҳисоблашнинг, оператор учун диагностик маълумотлар ишлаб чиқадиган, боришини диагностика қилишларни киритиш мумкин.

4.3. ЎБАКР ни итерацион ҳисоблаш яқинлашувини тезлатиш ва частота

бўйича бошланғич яқинлашувларни танлаш.

Юқорида кўрилган алгоритм бўйича бир қатор ўчирилишлар натижасида:

а) ЭЭТ генераторлари;

б) ЭЭТ юкламалари;

в) тармоқ схемасининг шохчалари;

г) тугунларни ўзларига инцидент шохчалари билан ҳосил бўладиган ЎБАКР ни компьютерда ҳисоблаш дастури яратилди.

Ҳисоблаш методи характеристикаларини баҳолаш учун 110–500 кВ тармоқли ЭЭТ авариядан кейинги режимларини бир қатор ҳисоблашлар ўтказилди. Ҳисоблашларда авария турлари, авариягача режимлар, генератор ва юкламаларнинг характеристикалари вариация қилинди.

Тизимдаги актив қувватни ортиқчалиги билан кузатилган ЎБАКРни ҳисоблаш 4–5 итерацияда тугалланди. Тизимдаги актив қувватни, турбина ТАР(АРС) статизмининг кичик қийматларида, катта дефицити билан кузатиладиган ЎБАКР ни ҳисоблашнинг итерация жараёнини яқинлашуви сезиларли даражада секинлашган, яъни 18–20 итерацияга давом этган итерацияли жараён мақсад функцияси (2.25)нинг ноли минимумли натижани бермаган, шу муносабат билан ёмон яқинлашишнинг сабабини аниқлаш ва уни тезлатиш усуллари яратиш масаласи пайдо бўлди.

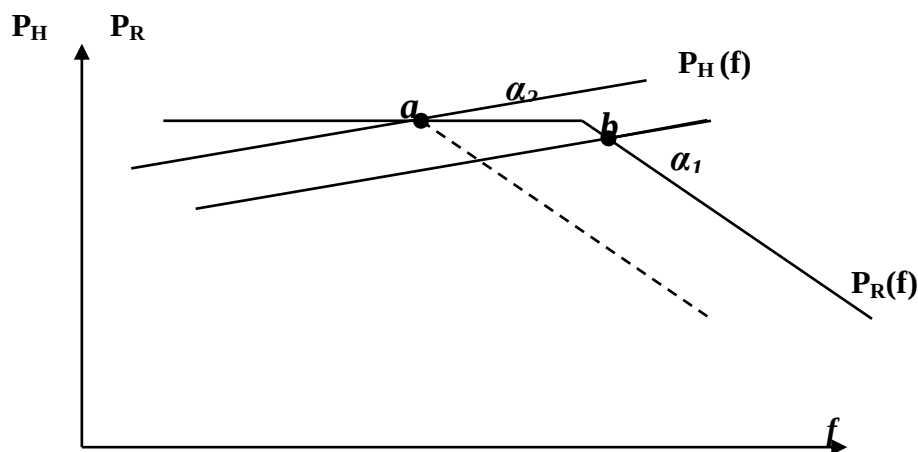
Шу муносабат билан ўтказилган таҳлил секин яқинлашишнинг сабаблари сифатида қуйидаларни кўрсатди:

1. Матрицада $P_r = P_{r_{\max}}$ ишлаш режимидаги генератор тугунларига мос келган “бўш” қаторларни пайдо бўлиши, бошқача қилиб айтганда, В матрицасининг ёмон мутаносиблиги;

2. Частота бўйича бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ноқулай танлаш, қайсики ЭЭТ да ўрнатиладиган частотадан сезиларли катта бўлиб чиқади.

ЭЭТ ни актив қувватнинг катта дефицитларида ишлашида матрицанинг ёмон мутаносиблик ходисасини 4.1 расм орқали схематик тушунтириш мумкин. Бу ерда ишчи нуқта α га генератор $P_r = P_{r_{\max}}$ ва юклама $P_n(f)$ характеристикаларидаги кичик бурчак кесисиши $\alpha(\alpha = \alpha_2)$ тўғри келади. Таъкидлаймиз, яъни В матрицанинг қатор ва устун элементларини оддий масштаблаш бу ҳолда итерацион жараённинг яқинлашувини яхшилашга олиб келмади.

Ёмон мутаносибли масалаларни [54] да ёритилган методлар билан ечиш, асосан, қўшимча машина вақти сарфи билан боғлиқ.



**4.1 расм. В матрицасининг мутаносиблигини тушунтириш учун:
а – ёмон мутаносибли нукта; б – яхши мутаносибли нукта.**

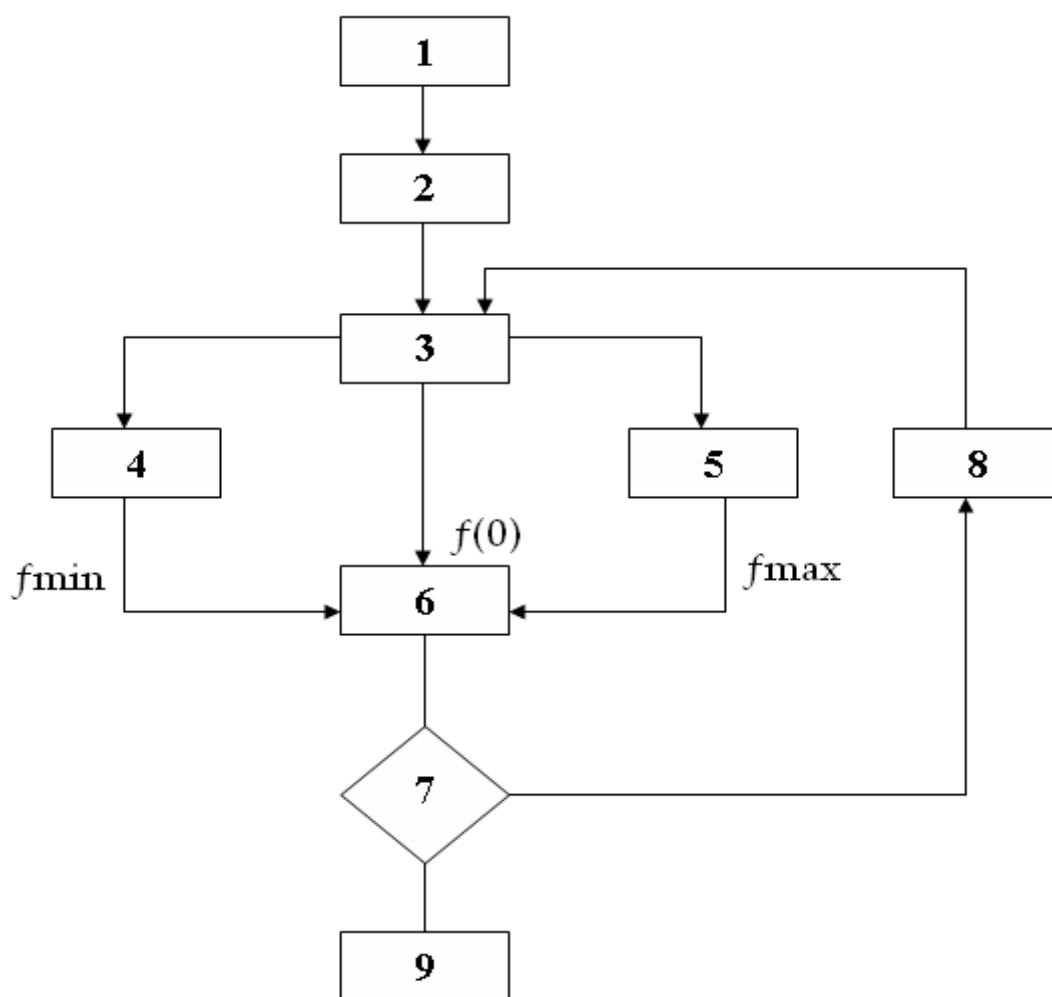
4.1 расмдан кўриниб турибдики, генератор ва юклама характеристикаларининг кесишув нуктасини 1–2 характеристиканинг $P_r(f)$ (δ нукта) ётиқ қисмига ўтказиш α ($\alpha = \alpha_1$) бурчакни ортишига олиб келади, шу билан бирга В матрицанинг мутаносиблиги юқори бўлади ва ҳисоблашнинг яхши яқинлашувини кутиш мумкин.

Муаллиф томонидан яратилган яқинлашувни яхшилашда қўлланиладиган усул қуйидагидан иборат. Автоматик қурилмалар (АРС, АРЧ, АЧР) ҳаракатини моделлаштириш орқали актив қувват мувозанати, бир вақтда частота бўйича бошланғич яқинлашувни танлаш билан бирга, амалга оширилади. Бундай усул иккита босқични таркибига олади (4.2 расм). Биринчи босқичда блок I томонидан тизим генераторлари (ΣP_r) ва юкламаларининг (ΣP_n) йиғинди қувватлари ҳисобланади. Кейин қувватлар мувозанати шартидан

$$\Sigma P_{2max} - \Sigma P_n(f) - \Delta P_{зад} = 0 \quad (4.1)$$

ни ёзамиз, бу ерда $\Delta P_{зад}$ – ЎБАКР нинг актив қувват исрофи, (2.12), (2.13) ни ва олдиндан ортиқча олинган исрофларни $\Delta P_{зад} \approx (5 \div 10)\% \Sigma P_n$ ҳисобга олган ҳолда частотанинг бошланғич қиймати $f^{(0)}$ (блок 2) топилади. Блок 3 да $f^{(0)}$ ни унинг чегаравий қийматлари $\underline{f}$ (минимум), $\bar{f}$ (максимум) билан таққосланади. Агар $f^{(0)} < \underline{f}$ бўлса, блок 4 томонидан юкламаларни минимал рухсат этилган частотага $\underline{f}$ мос келган қийматгача ўчириш ($P_{но}$, $Q_{но}$ коррекцияси) амалга оширилади. $f^{(0)} > \bar{f}$ ҳолатда эса блок 5 томонидан генератор қуввати $\bar{f}$ частотага мос келган қийматгача ўчирилади. Частотанинг бошланғич яқинлашуви ўзининг чегаравий қийматлари орасида жойлашган ҳолатда $\underline{f} < f^{(0)} < \bar{f}$, $f^{(0)}$ қиймати 3 блокдан итерация ҳисоблаш блоки 6 ўтказилади. Маълумот бблокка ўтказилгандан кейин 4 ёки 5 блок орқали частотанинг бошланғич яқинлашуви сифатида мос ҳолда унинг қиймати $\underline{f}$ ёки $f_{ном}$ ($f_{ном} = \bar{f}$) қабул қилинади. Блок 6 да ЎБАКР параметрларини итерацияли ҳисоби амалга оширилади.

(4.1) тенгламадаги оширилган $\Delta P_{\text{зад}}$ исрофларда $f^{(0)}$ нинг берилиши ЎБАКР ишчи нуқтасини $P_r(f)$ (4.1расм) характеристиканинг оғма 1–2 қисмида жойлашишини, яъни В матрицасини яхши муносиблигини ва итерация жараёнини тез яқинлашишини кафолатлайди. Ҳисоблашлар 2–3 итерациядан кейин $f^{(0)}$ қийматидан каттароқ бўлган частотада оралиқ деб номланувчи ЎБАКР га эришилишини кўрсатди. Қувват мувозанатини тикловчи автоматик қурилмаларнинг йиғинди ҳаракати туфайли ортиқча қувват исрофи ($\Delta P_{\text{зад}}$) берилган ҳолатда ечим нуқтаси ҳақиқатдан ҳам генератор характеристикасининг $P_r(f)$ оғма қисмида, бевосита 2 нуқта яқинида(4.1расм) жойлашар экан.



4.2 расм. ЎБАКР ни ҳисоблашда частота бўйича бошланғич яқинлашувни танлашни блок–схемаси.

Оралиқ ЎБАКР параметрларини олгандан кейинги ҳисоблашнинг иккинчи босқичида тармоқдаги актив қувватларнинг ҳақиқий исрофлари $\Delta P_{\text{факт}}$ ҳисобланади, бу қиймат исрофнинг берилган қиймати $\Delta P_{\text{зад}}$ (блок 7) билан солиштирилади. Агар $\Delta P_{\text{факт}} \neq \Delta P_{\text{зад}}$ бўлса 8 блок томонидан $\Delta P_{\text{зад}}$ қийматга $\Delta P_{\text{факт}}$ нинг қиймати ўтказилади, яъни $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$. Кейин янги бошланғич яқинлашувни $f^{(0)}$ ҳисоблаш бошланади, генератор ва юкламаларнинг қувватлари коррекция қилинади, ЎБАКР ни итерацияли

ҳисоблаш такрорланади.

Одатда, шундай иккита босқичдан $\Delta P_{\text{зад}} = \Delta P_{\text{факт}}$ кейин ҳисоблаш ЎБАКР параметрларини печатлаш билан тугалланади (блок 9). Эслатиб ўтамиз, шунга ўхшаш усулда АРЧ ҳаракатини, актив қувват захираси мавжудлигида, моделлаштириш амалга оширилади.

ЎБАКР ни таклиф этилган алгоритм бўйича ҳисоблашда итерацияларнинг умумий сони 5–7 дан ошмади. Ечим нуқтасига руҳсат этилган соҳанинг ичкарасидан интилилганда яхши яқинлашувга эришилди, бу эса Якоби матрицасининг мутаносиблигини яхшилайти. Кўрилган усул қувватнинг катта дефицити билан боғлиқ оғир ЎБАКР да ҳам етарлича тез ечим олиш имконини беради, бунда ЭЭТ даги мавжуд қувватлар мувозанатини тикловчи автоматика ҳаракати ҳисобга олинади.

Кўриб чиқилган метод ЎБАКР ни ЭХМ да ҳисоблаш имконини берувчи саноат дастури СПР–Ф да тадбиқ қилинган.

Баён қилинганлар асосида қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин.

1. Таклиф қилинаётган ўз–ўзидан барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг итерацияли усулида ечимга интилишнинг секинлашуви актив қувватнинг катта дефицитларида кузатилади ва барқарор режимлар тенгламасидаги Якоби матрицасининг ёмон мутаносиблиги билан тушунтирилади.

2. Яқинлашув яхшиланади, агар частота, юклама ва генератор қувватлари бўйича бошланғич яқинлашувлар руҳсат этилган соҳа ичидан танланса.

3. Кўрсатилган бошланғич яқинлашувларни қувват мувозанатини тикловчи автоматика ҳаракатини моделлаштириш асосида танлаб олинса мақсадга мувофиқ бўлади.

4.4. Ҳисоблаш методининг итерацияси ичида чизиқли алгебраик

тенгламалар тизимини ечиш хусусиятлари

Тизимнинг ҳар бир ҳисобланувчи тугуни чегараланган тармоқлар сони билан боғланганлиги учун А матрицасининг (якоби матрицаси) ҳар бир қатори оз миқтордаги нолдан фарқли элементларга. Бошқача қилиб айтганда А матрицаси сийрак тўлдирилган.

А матрицасини ЭХМ хотирасидан сақлаш учун икки ўлчамли массивдан фойдаланиш рационал эмас, бунинг учун матрицанинг нолдан фарқли элементларини бир ўлчамли массив рўйхати шаклида сақлаш етарли. Бу рўйхатни қуйидагича ташкиллаш мумкин: матрица қаторининг барча нолдан фарқли элементларини битта (АА) рўйхатга жойлаштирилади, бунда қаторлар ўзларининг тартиб рақамларига мос тартибда жойлаштирилади. Қаторларнинг биринчи нолдан фарқли элементларининг тартиб рақамлари қўшимча бутун сонлар массиви (МВ) га ёзилади. Бошқа қўшимча массив (НА) га матрицанинг нолдан фарқли элементларининг устуни рақамлари киритилади.

Бусақлаш схемасини мисолда тушунтирамиз.

1 2 3 4

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0,5 & 0 & 1,1 \\ 2,5 & 0 & 0,7 & 0 \\ 3,4 & 0 & 0,9 & 0 \\ 0 & 6,5 & 0 & 4,3 \end{vmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix}$$

AA, NA, MB массивлар қуйидагича тўлдирилади.

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8
AA	0,5	1,1	2,5	0,7	3,4	0,9	6,5	4,3
NA	2	4	1	3	1	3	2	4
MB	1	3	5	7	9			

MB массивдаги элементлар сони $l+I$ га тенг, бу ерда l – A матрицанинг устунлар сони. AA ва NA массивлардаги элементлар сони A матрицанинг нолдан фарқли элементлар сонига тенг. Матрицанинг ўлчамлари ортганда унинг хотирасини иқтисоди сезиларли бўлади. Матрицани рўйхат шаклида сақланганда ЭХМ да ҳисоблаш вақти ҳам камаяди, чунки бундай матрицалар кўпайтирилганда нолли элементлар билан амаллар бажарилмайди.

(2.30a) етнгламадаги номалумлар олдидаги коэффициентлар матрицаси $B=A_t A$ симметрик, ҳамда нисбатан бўшроқ тўлдирилган. В матрицадаги нолдан фарқли элементларнинг жойлашуви тармоқ схемаси уланиши ва тугун маълумотларининг берилиши билин аниқланади.

(2.30a) тенгламалар тизимни номаълумларни йўқотиш усулида ечишда В матрицаси таркибида янги нолдан фарқли элементлар пайдо бўлади. Шунинг учун ҳам В матрица элементларини А матрицаси каби (учта массивда) хотирада сақлаш яхши натижа бермайди, чунки элементларни излаш ва янги нолдан қарқли элементлар пайдо бўлгандан кейин нолда қарқли элементлар рўйхатини тартибга келтириш кўп миқдорда машина вақти сарфини талаб қилади.

В матрица элементлароини ЎБАКР дастурида сақлашда битта хақиқий сонлар массиви ва учта бутун сонлар массиви ишлатилади. Қўшимча учинчи бутун сонлар массиви сифатида рўйхат элементларининг боғланиш массиви ишлатилади. Боғлаинш массиви МА навбатдаги нолдан фарқли элементнинг адресини аниқлашда ишлатилади. Рўйхатда асосий диагоналнинг фақат нолдан фарқли элементларива симметрик В матрицанинг юқори учбурчак қисми сақланади.

Қуйидаги мисолни кўрамиз.

Агар 1 2 3 4 5

$$B = \begin{vmatrix} 2,2 & 0 & 1,5 & 0 & 3,4 \\ 0 & 0,4 & 0 & 1,3 & 0,9 \\ 1,5 & 0 & 4,7 & 0 & 4,6 \\ 0 & 1,3 & 0 & 7,6 & 0 \\ 3,4 & 0,9 & 5,6 & 0 & 8,1 \end{vmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix}$$

У ҳолда AA, MA, NA, MB массивлар қуйидагича тўлдирилади:

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AA	2,2	1,5	3,4	0,4	1,3	0,9	4,7	5,6	7,6	8,1
A	1	3	5	2	4	5	3	5	4	5
MA	2	3	0	5	6	0	8	0	0	0
MB	1	4	7	9	10	11				

Шундай қилиб массив МА да В матрицанинг диагонал элементлари адреслари сақланади. Агар b_{35} элементни топиш зарур бўлса, уни излаш кетма кетлиги қуйидагича: учинчи қатор доганал элементи адреси $i=MB(3)=7$ аниқланади; массив орқали уни бешинчи устунга тўғри келиши текширилади; $NA(7)=35$ бўлганлиги учун массив МА орқали учунчи қаторниг кейинги элементи адреси $j=MA(7)=8$, $NA(8)=5$ изланади, демак, изланётган элемент AA массивнинг саккизинчи ячейкасида жойлашган.

В матрицасида янги нолдан фарқли элемент пайдо бўлиши билан у AA массивнинг бўш ячейкасига жойлаштирилади, устун рақами NA массивга жойлаштирилади, МА массивида янги қўшимча адрес пайдо бўлади, MB массив ўзгаришсиз қолади. Масалан, b_{23} ва b_{34} элементлар ҳисоблаш жараёнида нолдан фарқли бўлсин, $b_{23}=0,7$, $b_{34}=1,8$. Бу ҳолатда рўйхатлар қуйидаги кўринишга келади (янги ва ўзгарган элементлар чизиб қўйилган):

№ ячейка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AA	2,2	1,5	3,4	0,4	1,3	0,9	4,7	5,6	7,6	8,1	0,7	1,8
A	1	3	5	2	4	5	3	5	4	5	3	4
MA	2	3	0	11	6	0	12	0	0	0	5	8

Матрицаларни сақлашнинг қўрилган усули Якоби матрицасини шакиллантириш, (2.30а) тенгламалар тизими коэффицентлари матрица ва Гаусснинг номаълумларни йўқотиш усуллари дастурчаларида қўлланилган.

(2.30а) тенгламалар тизимининг симметриялиги ва номаълумларнинг коэффицентлари матрицасининг сийрак тўлдирилганлиги унинг хусусиятидир. Тенгламар тизимини ечишда Гаусс методининг модификациясини кўрамиз.

$$B \cdot X = F \quad (4.1)$$

У бажариладиган амаллар сонини камайтириш имконини беради. (4.1) тенгламада B – симметрик квадрат матрица F – вектор–устун.

Гаусс методи бўйича ечим ҳисоблашнинг иккита босқичида олади: 1) B матрица учбурчак келтирилади; 2) тескари юриш жараёнида номаълумлар топилади. $2N$ (N – номаълумлар сони) кадамни бажарилишини талаб қилувчи биринчи босқич кўпроқ меҳнат талаб қилади.

Таклиф қилинётган алгаритимда B матрицасини ўзлаштиришнинг ҳар бир қадамида унинг ўша қисмининг, қайсики номаълум йўқотиш жараёнида кейинчалик ҳам ўзгариши керак бўлган, симметриялиги сақланади. Бу номаълумни йўқотишнинг K қадамида фақат $b_{ij} (i = K + 1, \dots, n; j = i, i + 1, \dots, n)$ элементлар ҳисоблаш имконини беради.

Тўғри юришнинг K қадамида ҳисоблаш формулари кўриниши.

$$\left[C_{ki} = \frac{b_{ki}^{(k-1)}}{b_{kk}^{(k-1)}}; \quad b_{ij}^{(k)} = b_{ij}^{(k-1)} - C_{ki} \cdot b_{kj}^{(k-1)}; \quad j = i, \dots, n; \quad f_i^{(k)} = f_i^{(k-1)} - f_k^{(k-1)} \cdot C_{ki}; \quad b_{ki}^{(k)} = C_{ki} \right];$$

(4,2)

Бу ерда $b_{ij}^{(k)}$ – X_k йўқотилгандан кейинги B матрица элементи, C_{ki} – ёрдамчи ўзгарувчи.

Формуладан кўриниб турибдики, B матрицанинг симметриялигини ҳисобга олганда тўғри юришнинг ҳар бр қадамида ҳисоблашлар сони бўлиши ва кўпайтиришдаги N^2 ўрнига фақат $\frac{N(N+1)}{2}$ амалга тенг бўлади.

Номаълумлар X қийматларини топишдаги тескари юриш классик Гаусс усулидагидек бажарилади [61].

B матрицанинг сийрак тўлдирилгани ҳисобга олинганда априори нол натижа берувчи амаллар бажарилмайди.

Шу муносабат билан B матрицадан номаълумларни йўқотиш жараёнида янги нолдан фарқли элементлар пайдо бўлиши мумкин ва уларни сақлаш учун қўшимча хотира зарур, уларнинг сонини камайтириш учун (2.30а) тенгламалар тизимини ечишда (2.30а) тенгламалар тизимига мосланган граф чўққиларини тартибга солишини статик схемасидан фойдаланилди [55,104]. Бу схема алгориъми соддалиги туфайли танланди.

Бу схеманинг самарасини қуйидаги мисол орқали тушунтириш мумкин. ЭЭТ ҳисоблаш схемасининг тугунларини ихтиёрий рақам лаганда, тизим 25 тугун ва 32 тармоқдан иборат, номаълумларни йўқотиш жараёнида коэффициентлар матрицаси B да нолдан фарқли элементларнинг максимал сони 180 га етади, тартибга келтиришдан фойдаланилганда – 102.

Чизиқли алгебраик тенгламалар тизимини ечишда модификацияланган Гаусс методини қўллаш, коэффициентлар матрицасини сийрак тўлдирилганини ҳисобга олиш, тугунларни статик қайта рақамлаш алгоритминини қўллаш вақт сарфини ва ЭХМ оператив хотирасини, ЭЭТ авариядан кейинги ўз–ўзидан барқарорлашувчи режимларни ҳисоблашда, сезиарли қисқартириш имконини беради.

4.5. Ҳисоблаш натижаларини умумлаштириш

ЎБАКР ҳисоблаш алгоритми татбиқ қилинган ЎБАКР дастурида бир неча реал энергетика тизимлари учун ЭХМда бир қатор режимларни ҳисоблашлар ўтказилди.

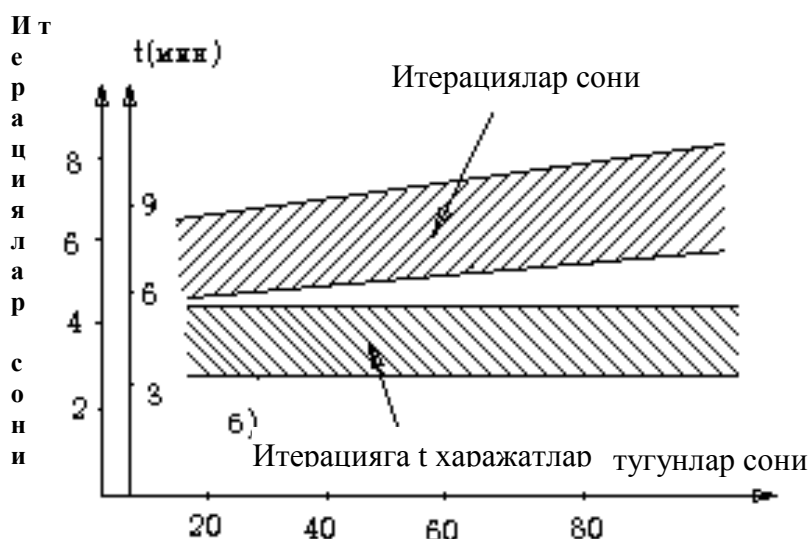
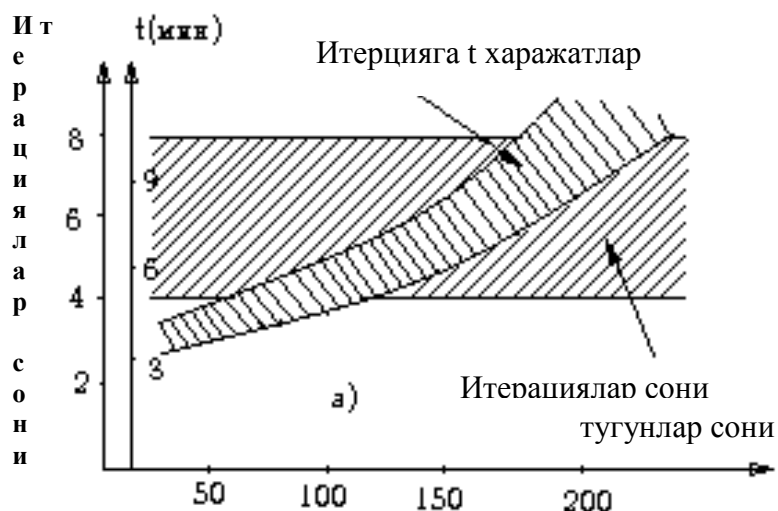
Бу энергетика тизимининг параметрлари 4.1 жадвалда келтирилган. Энергетика тизимларининг ўрнатилган қувватлари ўн мингдан бир неча юз минг мегаваттгача ташкил этган.

ЎБАКР дастури ЎБАКР нинг оғирлиги вариация қилиниб ўтказилган кўп сонли ҳисоблашлар натижасида итерацион жараёнлар яқинлашуви ва масаланинг ўлчамларига боғлиқ равишда машина вақти сарфи характеристикалари қурилди ва олинди (4.3. а, б расм).

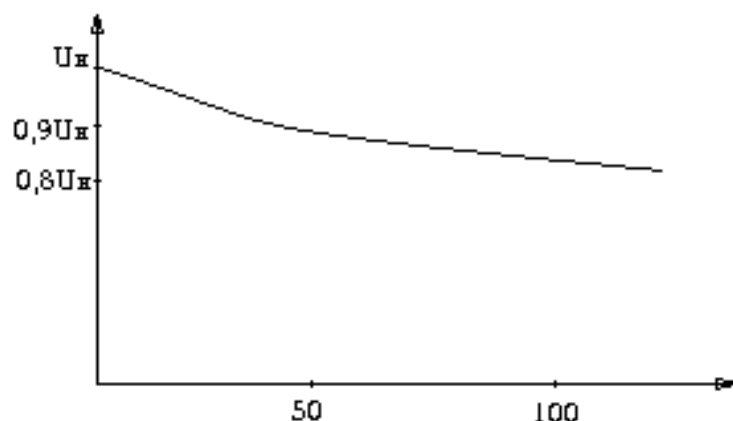
4.3. а расмдан кўриниб турибдики, ҳисобланаётган схеманинг ўлчамларининг ўсиши итерациялар сонига амалда таъсир қилмайди.

Итерациялар сони 4 дан 7 гача диапазонда тебраниши частота бўйича бошланғич яқинлашув танланишига боғлиқ, у ўз навбатида тармоқда актив қувват исрофини тақрибий берилганлигига боғлиқ бўлиб, у ҳисоблаш усули хусусиятидан келиб чиқади. Ҳисоблаш вақти сарфи билан ЭТ тугунлар сони орасидаги боғланиш чизиқлигига яқинхарактикага эга (4.3. расм). 4.3. б расмда ЎБАКР оғирлигига ўрнатилган генерацияланувчи қувватнинг ўчирилиш фоизини итерацион жараёнинг яқинлашувига ва бир итерацияга ҳисоблаш вақти сарфини баҳолаш келтирилган. 4.3. б расмдаги боғланишдан кўриниб турибдики, яъни бир итерация учун вақт сарфи амалда ЎБАКР оғирлигига боғлиқ эмас ва ЎБАКР оғирлиги билан ҳисоблаш жараёнидаги итерация сони орасида кучсиз пропорционал боғланиш мавжуд.

Моделлаштирилган ЎБАКР: 1 – энергоблок ўчирилиши; 2 – линия ёки трансформаторнинг ўчирилиши; 3 – юкларни ўчириш (улаш); 4 – генератор тугунини унга боғланган тармоқлар билан ўчириш; 5 – ЭЭТ ни носинхрон қисмларга бўлинишига олиб келувчи чуқур авария.



4.3. расм. Яқинлашув ва машина вақти сарфини масала ўлчамига ЎБАКР оғирлигига боғлиқлик характикалари.



4.4.расм. Реактив қувватлар балансида линиядан генерацияловчи реактив қувват кўпроқ бўлган ЭЭТ таркибида реактив юкламалар ўчирилгандаги кучланиш пасайиши самарасининг кўрinishи (ЭЭС №2, $Q_{сл}=80\%$).

4.4–расмда ЭЭТ №2 ҳисоблаш схемасининг (бу ерда $Q_{сл}$ нинг умумий балансидаги улуши 80% ни ташкил қилади) битта тугунида бир қисм юкламалар ўчирилганда ушбу тугундаги кучланишни ўзгариши кўрсатилган.

Кўрилган ходисани чуқурроқ ўрганиш мустақил қизиқиш бўлиши мумкин. Шу нарсани қайд қилиш зарурки, яъни юклама қисми ўчирилганда кучланиш сатхининг пасайиши турғунлик нуқтаи назаридан потенциал хафли бўлиши мумкин.

Актив қувват бўйича қандайдир заҳира бўлгандаги ЎБАКР ларни ҳисоблашда ЭЭТ даги частотани созлаш схемаси сезиларли таъсир қилади. Таклиф қилинаётган ҳисоблаш методикасида АЧР ҳаракати генерацияловчи тугунларга улушлар коэффициентларини, λ_i , $i=1, \dots, N_p$ (бу ерда N_p – частотани созловчи тугунлар сони), тайинлаш орқали ҳисобга олинади, яъни улар пайдо бўлган қувват нобалансларни ўрнатилган қувват бўйича олинган заҳира эвазига қоплайди (ЭЭТ бўйича умуман $\sum_{i=1}^{N_p} \lambda_i = 1$).

4.6. Хулоса

1. Авариядан кейинги барқарор режимларни ҳисоблаш одий ҳолатда энерготизимлар барқарор режимларини ҳисоблашда ҳисобга олинмайдиган бир қатор омилларни ҳисобга олишни талаб этади. Хусусан, АРВ, АРС, АРЧ, АЧР ҳаракатлари ҳамда энерготизим ҳисоблаш схемасининг топологик таҳлилини ҳисобга олиш зарур.

2. Математик нуқтаи назардан тугунлардаги қувват балансини таъминлаш талабларини, режим ва техник чекловларни акс эттирувчи чизиқсиз тенгсизликлар тизимининг ечимини топишга келтирилади.

Қувватнинг катта мувозанатдан чиқиши билан боғлиқ авариядан кейинги оғир режимлар ҳолатида чекловлар мувофиқ келмай қолади.

3. Барқарор режимларни ҳисоблаш масаласини шартсиз кетма–кет минималлаштириш усуллари асосида чизиқсиз математик дастурлаш масаласи каби ифодалаш мақсадга мувофиқ бўлади.

4. Катта хажмдаги чизиқсиз математик дастурлаш масаласини ечиш оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг математик асосини ташкил этади. Режимли ва техник чекловларни бажарилишини олдиндан таъминлашга асосланган таклиф этилаётган ёндошувда, ЭХМнинг хотираси ва вақтга сарфларини қисқартиришга итератив ҳисоб жараёнида автоматик қурилмалар ҳаракатини моделлаштириш ёрдамида эришилади.

5. Ишлаб чиқилган алгоритм ва унинг асосида ишлаб чиқилган оғир авариядан кейинги режимларни ҳисоблаш махсус дастури ҳар қандай оғир ҳолатдаги энерготизимнинг авариядан кейинги режимларини ҳисоблаш имконини берибди. Частота бўйича ва тизимдаги қувват йўқотилиши бўйича дастлабки яқинлашувларни танлаш шартларига риоя қилинганда, алгоритм ўзи барқарорлашувчи авариядан кейинги режимларни итерацион ҳисоб–китобларда ечимга эришишни тўла қафолатлаган.

6. Ўзи барқарорлашувчи режимларни аниқлашнинг кетма–кетлик усулини қўллаш алоҳида матрицага эга чизиқли алгебраик тенгламалар тизимини ечишга нисбатан алгоритмик жихатдан содда ва ЭХМ ресурслари харажатлари бўйича иқтисодлидир

7. Аралаш юкламалар статик характеристикаси билан юкламларни моделлаштириш тавсия этилади, бу ўз навбатида, авариядан кейинги режимларни ҳисоблашнинг анча адекват натижаларини беради.

8. Кучланиш бўйича актив қувват турғун характеристикалари коэффициентларини киритишга катта эътибор бериш мақсадга мувофиқ бўлади, бу ҳисоб–китобларнинг аниқлигини оширади.

Адабиётлар рўйхати

1. Фазылов Х.Ф. Методы режимных расчетов электрических систем. – Ташкент: Наука, 1994. – 98с.
2. Качанова А.А. Электрический расчет сложных энергосистем на ЭЦВМ. – Киев: Техника, 1986. – 274с.
3. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Вопросы однозначности, сходимости решений и выбора эффективного метода расчета установившихся режимов электрических систем. – В кн.: Труды симпозиума «Оптимизация и управление большими системами в энергетике». – Иркутск: Изд. 1990. Т.3 с197–215.
4. Идельчик В.И. Расчете установившихся режимов электрической системы. – М: энергия, 1987. – 192с.
5. Идельчик В.И., Тарасов В.И. Аперидическая устойчивость и сходимость решений уравнений установившегося режима. – тр. Иркутский политехнический Институт, 1991 №72 с. 47–62.
6. Адонц Г.Т. Метод расчета модулей и синусов разности фаз напряжений узлов схемы. – в кн.: Исследование решения на ЦВМ уравнений установившегося режима электрических систем (тезисы докладов). – Ереван, 1986. С 10–15.
7. Холмский В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. – М.: Высшая школа, 1985. – 280с.
8. Лоханин Е.К., Васильева Г.В., Галактионов Ю.И. Метод повышения точности аварийного управления в сложных энергосистемах, основанный на расчетах послеаварийных режимов. –тр. Ин-т Энергосетьпроект, 1988, вып. II.
9. Маркович И.М., Совалов С.А. Практические критерии статической устойчивости энергетической системы. – Электричество, 1985. №3 с.1–12.
10. Ерохин П.М. Итерационные и интегральные методы расчета установившихся режимов электрических систем. – Авторы. Дис... канд. техн. наук. – Свердловск, 1985. – 21с.
11. Идельчик В.И., Тарасов В.И. Экспериментальное исследование сходимости методов Ньютона и по параметру при расчете установившихся режимов сложных электрических систем. – тр. Иркутский политехнический институт. 1981, №72 с. 5–27.
12. Идельчик В.И., Тарасов В.И. Исследование на ЦВМ существования, неоднозначности и сходимости решения уравнений установившегося режима электрических систем. – Электричество, 1984. №3 с. 20–24.
13. Азарьев Д.И. Математическое моделирование электрических систем. – М: Госэнергоиздат, 1982. – 207с.
14. Ковшар Л.Г., Коробчук К.В., Цукерник Л.В. К вопросу об однозначности результатов и сходимости итерационного расчета стационарного режима энергосистем. – изв. Энергетика и транспорт, 1986. №4. С 106–114.
15. Цукерник Л.В. основные положения анализа статической устойчивости сложных энергосистем при помощи цифровых вычислительных машин. – в кн.: Проблемы технической электродинамики. – Киев: Наукова дум-

ка, 1982 вып.36. с3–9.

16. Тьюарсон Р. Разреженные матрицы.—М: Мир, 1987. —189с.
17. Методика и алгоритм определения предельных по статической устойчивости установившихся и после аварийных (самоутанавливающихся) режимов с учетом изменение частоты. Галкина Н.В., Ильина В.П., Конторович А.М., Шербачев О.в. – тр. ЛПИ. Электроэнергетика, 1986, №350 с. 3–8.
18. Tavora C. J.> Smith O.J.M. Equilibrium Analysis of Power System. – IEEE Trans. Power Appar. and Syst., 1992, vol.91, p. 1131–1137.
19. Korsak A.J. on the Question of uniqueness of Stable Load–flow Solutions. – IEEE Trans. Power Appar. And Syst., 1992, vol.91, p.1093–1100.
20. Tavora C.J., Smith O.J.M. Stability Analysis of power System. – IEEE Trans. Power Appar. and System, 1992, vol.91, p. 1138–1144.
21. Stott B. Review of load–flow calculation methods. – Proc. IEEE, July, 1994, vol. 62, №7, p.64–81.
22. Stott B. Effective starting presses for Newton – Rapshon Load Flow. – Proc. IEEE, 1991, vol.118, №8, p. 983–987.
23. Stott B., Hobson E. Solution of large power system networks by ordered elimination: a comparison of ordering schemes.– Proc. IEEE, 1991, vol.118, №1, p.125–134.
24. Tinney W.F., Hart C.E. Power flow solution by Newton’s method. – IEEE Trans. Power Appar. And syst., 1987, vol 86, №11, p.1449–1456.
25. Schweppe F.C., Wildes J. Power system static–state estimation. Part II: Approximate model. – IEEE Trans. Power Appar and Syst., PAS–89 №1, 1990, p.125–130.
26. Schweppe F.C., Wildes J. Power system static–state estimation. Part III: Implementation. – IEEE Trans. Power Appar and Syst., PAS–89 №1, 1990, p.130–135.
27. Larson R.E., Tinney W.F., Peschon J. State estimation in power systems. Part I: Theory and feasibility. – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, Pas–89, №3, 1990, p. 345–352.
28. Larson R.E., Tinney W.F., Hajdu L.P., Piercy D.S. State estimation in power systems. Part II: Implementation and applications. – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, Pas–89, №3, 1990, p. 353–359.
29. Smith O.J.M. Power system state estimation. – IEEE Trans. Power Appar. and Syst., PAS–89, №3, 1990, p. 363–375.
30. Merill H.M., Schweppe F.C. Bad data suppression in power system state estimation: – IEEE Trans. Power Appar. and Systems, PAS–90, №6, 1991.
31. Zoutendijk G. Methods of Feasible directions. – Amsterdam, 1980.
32. Аоки М. Введение в методы оптимизации. –М.: Наука, 1987.–344с.
33. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. –м.: Мир, 1985.–534с.
34. Фиакко А., Мак–Кормик Г. Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной оптимизации. –М.: Мир, 1973.–420с.
35. Баринов В.А., Совалов С.А. Определение установившихся режимов и апериодической устойчивости сложных электроэнергетических систем при учете изменения частоты. – Электричество, 1978.№11, с. 10–16.

36. Калюжных А.Х., Соколов Ю.В. Алгоритм и программа расчета установившихся нормальных и послеаварийных режимов сложных электроэнергетических систем с учетом изменения частоты. – Изв. 1977 №3, №13. сер.техн.наук. вып.1., с. 101–106., 126–131.

37. Фазылов Х.Ф., Крамер Ю.М., Удовиченко В.Б. Вопросы расчета установившихся режимов электрических систем с учетом изменения частоты. –изв. 1986, №6, сер.техн.наук., вып. 3., с. 101–106.

38. Крумм Л.А. Методы решения общих уравнений стационарного режима электрической системы с учетом статических характеристик нагрузок и генераторов при автоматическом регулировании частоты, напряжения и мощности. – Тр. Таллинск. Политехн.ин–ст., 1976, №124–20с.

39. Влияние изменения частоты на оценки апериодической статической устойчивости установившегося режима электрической системы /Веников В.А., Строев В.А., Виноградов А.А. . Энергетика и транспорт, 1985 №2. с.27–37.

40. Крумм Л.А. Методы оптимизации при управлении электроэнергетическими системами. – Новосибирск: Наука 1981. –320с.

41. Фазылов Х.Ф. Методы режимных расчетов электрических систем. – Ташкент: Наука, 1985. –98с.

42. Давыдович В.В. Применение математических методов и средств вычислительной техники в проектировании и эксплуатации энергетических систем. – Энергетика за рубежом. Энергия, 1988. –278с.

43. Исследование некоторых алгоритмов управления стационарными режимами электроэнергетических систем /Веников В.А. и др. Энергетика и транспорт, №4, 1985. с.3–16.

44. Богданов В.А. Информационная модель электрической сети автоматизированной системы диспетчерского управления. – Электричество, №5, с. 1–7.

45. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. – М.: Наука, 1986 –220с.

46. Головицын Б.И., Лисеев М.С. Оперативная оценка параметров режима электрической системы. – В сб. Электроэнергетика и автоматика, вып14. Кишнев, 1979.

47. Гурский С.К. Алгоритмизация задач управления режимами сложных систем в электроэнергетике. – Минск. Наука и техника 1987. –368с.

48. Богданов В.А. Оценка качество исходных данных и точности результатов при определении режима электрической системы. Электричество, 1989. №6, с1–9.

49. Molina S.A. Cory B.J. Observability and local estimation in power system. – Proc. VI PSCC. Darmstadt, 1998. IPS Science and Technology Press.

50. Тихонов А.М., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. –М: Наука, 1987 –388с.

51. Ножин Л.Э. Исследование статической устойчивости установившихся и самоустанавливающихся режимов электрических систем с помощью ЦВМ. – Автореф. Дис..канд.техн.наук. – Л., 1986. –21с.

52. Конторович А.М. Методика расчета режимов и статической устой-

чивости электрических систем с учетом изменения частоты. 1984г.

53. Горев А.А. Избранные труды по вопросам устойчивости электрических систем. – М.: Госэнергоиздат. 1980г.

54. Загузкин В.Л. Численные методы решения плохо обусловленных задач. Изд. Ростов. Ун-т, 1986. –192с.

55. Гамм А.З. О Нумерации узлов при расчетах установившихся режимов электрических систем методом Ньютона–Рафсона. – Электричество. 1983 №2, с. 59–61.

56. Гамм А.З. Оценка текущего состояния электроэнергетической системы как задача нелинейного программирования, – Электричество. 1986 №9, с.1–7.

57. Гуревич Ю.Е., Лобова Л.Е., Хачатрян Э.А. Устойчивость нагрузки электрических систем. –м: Энергоиздат, 1981 –209с.

58. Черников С.Н. Линейные неравенства. – М.: Наука, 1986. –488с.

59. Сухенко В.И. Расчет располагаемой реактивной мощности синхронных генераторов с учетом изменения частоты. В кн.: сб.науч.тр. – Киев. 1989,. с 129–134.

60. Стотт Б. Обзор методов расчета потокораспределения. – ТИИЭР, 1984. т.62. №7, с.64–80.

61. Крылов В.И., Бобков В.В. Вычислительные методы. Том 1. – М.: Наука 1986. –304с.

62. В.И. Тарасов. Нелинейные методы минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2001. – 214 с.

63. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 440 с.

64. Гамм А.З. Вероятностные модели режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Во "Наука", 1993. – 132 с.

65. Шелухин Н.Н. Совершенствование программных средств расчета и анализа стационарных режимов электроэнергетических систем для решения задач диспетчерского управления. –Электричество, 2001, №12 – С.2–8.

66. Шепилов О.Н., Ушаков А.Е., Вымятин А.А., Домышев А.В.,Осак А.Б., Бузина Е.Я. Программно–вычислительный комплекс АНАРЭС – 2000 для расчета и анализа нормальных и аварийных режимов электроэнергетических систем. – В кн.: Управление режимами Единой энергосистемы России/ Под. ред. В.И. Решетова. – М.: Изд–во НЦ ЭНАС, 2002. – С. 149–154.

67. Abido M. A. Optimal Power Flow Using Particle Swarm Optimization // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2002, Vol. 24, N. 7. –Pp. 563–571, .

68. Шаргин Ю.М., Меркурьев А.Г. Расчет электрических режимов методом эквивалентных преобразований. – Электричество, 2003, №4 – С.53–55.

69. Тарасов В.И. Методы минимизации ньютоновского типа для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2001. – 168 с.

70. Тарасов В.И. Нелинейные методы минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука,

2001. – 214 с.

71. Тарасов В.И. Теоретические основы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 2002. – 344 с.
<http://energy.komisc.ru/seminar/inf-pis1.htm>

ИЛОВАЛАР