[Mathematical Problems of EPS] WEEK 12 - Technical and mathematical formulation of SSC problemsMathematical Problems of Electric Power Systems

WEEK 12 - TECHNICAL AND MATHEMATICAL FORMULATION OF STEADY-STATE CALCULATION PROBLEMS.

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

Lecturer

(Shohin Jurazoda)

БАЁНИ МАСЪАЛАҲОИ ТЕХНИКӢ ВА МАТЕМАТИКИИ ҲИСОБИ РЕҶАҲОИ БАРҚАРОРШУДА

Мундаричаи лексия:

1. Масъалагузории техникӣ ва математикии ҳисоби реҷаҳои барқароршуда системаи электроэнергетикӣ.
2. Тартиб додани муодилаҳои реҷаи барқароршудаи системаи электроэнергетикӣ.
3. Адабиёт.

Масъалагузории техникӣ ва математикии ҳисоби реҷаҳои барқароршуда системаи электроэнергетикӣ. Ҳисобҳои реҷаҳои барқароршуда (РБ) яке қисмҳои муҳими ҳаҷми умумии тадқиқоти системаҳои электроэнергетикиро ташкил дода, ҳам дар марҳалаи лоиҳакашӣ ва ҳам дар ҷараёни истифодабарии ин системаҳо иҷро карда мешаванд. Ин ҳисобҳо ҳангоми интихоби сохтори (конфигуратсияи) нақшаи СЭЭ ва параметрҳои элементҳои он, таҳқиқи устувории СЭЭ ва баҳодиҳии ҷараёнҳои расиши кӯтоҳ (РК), инчунин муайян намудани реҷаҳои самаранок ва аз ҷиҳати иқтисоди муфиди кори СЭЭ зарур мебошанд. Ба ғайр аз ин, ҳисобҳои РБ аҳамияти бузург низ доранд, зеро имконияти ба як қатор саволҳои аз нигоҳи амалӣ муҳим ҷавоб медиҳад [1], аз ҷумла:

- оё реҷаи додашуда амалишаванда аст, яъне интиқоли иқтидори талабшаванда аз манбаъҳои энергияи электрикӣ (ЭЭ) ба истеъмолкунандагон имконпазир аст?

- оё ҷараёнҳое, ки тавассути ноқилҳои ҷарёнгузари элементҳои СЭЭ мегузаранд, аз қиматҳои ҷоизӣ зиёд нестанд, ҳатто ҳангоми хомӯш будани баъзе аз онҳо (дар реҷаҳои баъди садамавӣ)?

Оё шиддатҳо дар гиреҳҳои СЭЭ аз ҳудудҳои додашуда берун намебароянд?

Барои иҷрои ҳисоби дилхоҳ РБ, мавҷудияти маълумот дар бораи нақша ва параметрҳои шабакаи электрикии СЭЭ, яъне маълумот дар бораи истеъмолкунандагон (борҳо) ва манбаъҳои ЭЭ (неругоҳҳои барқӣ) зарур аст.

Шабакаи электрикии СЭЭ ҳангоми ҳисобҳои РБ дар шакли нақшаи бадалӣ, дар намуди занҷири электрикии якхата тасвир карда мешавад, ки

сохтор ва параметрҳои он тавассути ин ё он матритсаи параметрҳои ҷмъбастӣ инъикос меёбанд.

Маълумоти ибтидоӣ дар бораи борҳои системаҳои электроэнергетикии воқеӣ, ҳангоми лоиҳакашӣ ва истифодабарии онҳо, одатан қиматҳои иқтидорҳои фаъол ва ғайрифаъоли истеъмолшавандаи онҳо ($P_{бi} + jQ_{бi} = S_{бi}$) мебошанд ва метавонанд қиматҳои доимиро ($S_{бi}$ = const) доро бошанд ва ё вобаста ба шиддат дар нуқтаи пайвастшавии бор ба шабака қабул карда шаванд, яъне $S_{бi} = f(U_{бi})$ const).

Ба сифати маълумоти обтидоии манбаъҳо бошад, чун қоида, иқтидорҳои фаъоли генераторҳо, ки ба СЭЭ дода мешаванд ($P_{гj}$ = const) ва инчунин қиматҳои мутлақи шиддатҳо дар нуқтаҳои пайвастшавии онҳо ($|U_{гj}$ = const$|$) новобаста ба он, ки дар баъзе ҳолатҳо манбаъҳо метавонанд ба монанди борҳо, бо қиматҳои доимии иқтидорҳои фаъол ва ғайрифаъол ($P_{гj}$ = const, $Q_{гj}$ = const) дода шаванд. Илова ба ин, яке аз манбаъҳо (чун қоида, неругоҳи электрикие, ки дорои иқтидори бузург ҳаст), ки нақши гиреҳи балансиро (мувозинатиро) мебозад, қимати комплексии шиддати он ($|U_{бj}$ = const$|$) дода мешавад [1 – 3].

Дар сурати мавҷуд будани маълумоти ибтидоӣ, ҳадафи ҳисоби РБ – и СЭЭ, дар ҳолати умумӣ, муайян намудани иқтидорҳо ва ҷараёнҳо дар шохаҳои нақшаи бадлӣ ва қиматҳои комплексии шиддатҳо дар гиреҳии он мебошад. Аз нуқтаи назари математикӣ, бинобар вобастагии ғайрихаттӣ доштани иқтидор аз ҷараён ва шиддат, масъала ба ҳалли системаи муодилаҳои ғайрихаттӣ оварда мерасонад.

Намуди муайяни ин муодилаҳо тавассути намудҳои муодилаҳои ҳолат, ки дар асоси тавсифи математикии РБ қарор доранд ва параметрҳои ҷамъбастии система муайян карда мешаванд. Аз муодилаҳои ҳолат бештар муодилаҳои гиреҳӣ васеъ истифода мешаванд, ки онҳо ҳам аз нигоҳи соддагии тартибдиҳӣ ва ҳам вобаста ба имкониятҳои калони ташкили самараноки раванди ҳалашон, тавсиф меёбанд. Муодилаҳои контурӣ нисбатан душвортар тартиб дода мешаванд, вале онҳо низ соҳаи муайяни оқилона истифода бурда мешаванд. Бидуни таваққуф ба таҳлили амиқтари ҷиҳатҳои мусбату манфии

ин системаҳои муодилаҳо, дар идомаи кор мо ба системаи муодилаҳои гиреҳӣ такя мекунем. Бояд тазаккур дод, ки якхела будани сохтори муодилаҳои гиреҳиву контурии матритсавӣ ва шабоҳати матритсаҳои ноқилияти гиреҳӣ ва муқовимати контурӣ, имкон медиҳанд, ки онҳо бо яке аз усулҳои зикршуда ҳал карда шаванд.

Тартиб додани муодилаҳои речаи барқароршудаи системаи электроэнергетикӣ. Муодилаҳои РБ-и СЭЭ ҷараёни тағйирёбандаи сефаза, ки иқтидорҳо, ҷараёнҳои додашуда ва шиддатҳои гиреҳҳоро бо ҳам мепайванданд, дар сурати мавҷуд набудани КЭҲ (қувваи электроҳаракатдиҳанда) дар шохаҳо намуди зеринро доранд:

$$S_{\text{г}} = 3 \cdot U_{\text{д}} \cdot J; \qquad (12.1)$$

$$Y_{\text{г}} \cdot (U - U_{\text{Б}}) = J, \qquad (12.2)$$

дар ин ҷо: $S_{\text{г}}$ – матритсаи сутунии иқтидорҳои манбаъҳо ва ё истеъмолкунандагоне, ки ба гиреҳҳои нақшаи бадалии система пайваст шудаанд; $U_{\text{д}}$ = diag (U_i) – матритсаи диагоналии шиддатҳо дар гиреҳҳои нақшаи бадалӣ; U – матритсаи сутунии шиддатҳо дар гиреҳҳои нақша; $U_{\text{Б}} = U_{\text{Б}} \cdot n$ – матритсаи сутуние, ки ҳар як элементи он ба шиддати гиреҳи балансӣ (мувозинатӣ) баробар аст; ($U - U_{\text{Б}} = U_{\Delta}$) – матритсаи фарқи шиддати ҳар як гиреҳ нисбат ба гиреҳи балансӣ; J – матритсаи сутунии ҷараёнҳои додашуда дар гиреҳҳо мебошанд.

Системаи муодилаҳои ғайрихаттии (12.1) ва хаттии (12.2) дар сурати муайян будани иқтидорҳои гиреҳҳо, дар ҳолати умумӣ метавонад танҳо бо усули итератсионӣ ҳал карда шавад. Дар ин ҳолат, ду равиш барои ҳалли масъала вуҷуд дорад:

1) ҳалли пайдарпайи муодилаҳои (12.1) ва (12.2) дар як раванди умумии итератсионӣ;

2) муттаҳид намудани ин муодилаҳо ба як системаи ягонаи муодилаҳои ғайрихаттӣ ва ҳалли минбаъдаи он.

Дар ҳолати аввал, ҳалли масъала мувофиқи нақшаи зерин амалӣ карда мешавад:

1) наздикшавиҳои ибтидоии шиддати гиреҳҳо дода мешаванд. Ин равиш нисбат ба додани ҷараёнҳо дар гиреҳҳо хеле қулайтар аст, зеро дар шароити воқеӣ шиддатҳои амалии (ҳақиқии) гиреҳҳо ба қиматҳои номиналии онҳо хеле наздик мебошанд;

2) дар асоси қиматҳои шиддат ва қиматҳои додашудаи иқтидорҳо мувофиқи муодилаи (12.1) ҷараёнҳои додашуда муайян карда мешаванд;

3) системаи муодилаҳои хаттии (12.2) дар сурати маълум будани қиматҳои ҷараёнҳои додашуда нисбат ба шиддатҳо дар гиреҳҳо ҳал карда мешавад;

4) Дар асоси қиматҳои бадастомадаи шиддатҳо дар гиреҳҳо, қадами навбатии раванди итератсионӣ аз банди 2 оғоз карда мешавад.

Шарти анҷоми раванди итератсионӣ аз нигоҳи муҳандисӣ ба қадри кофӣ наздик будани мувофиқати шиддатҳо дар ду итератсияи пайдарпай, инчунин мувофиқати қиматҳои тавоноии гиреҳҳои аз рӯйи муодилаи (12.1) ҳисобшуда бо қиматҳои додашуда мебошад.

Дар ҳолати дуюм, муодилаҳои (12.1) ва (12.2) тавассути иваз намудани ҷараёнҳои додашуда ё тавассути гузоштани ифодаҳо аз муодилаи (12.2) ба муодилаи (12.1) муттаҳид карда мешаванд ва онро ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$S_{г} = 3 \cdot U_{д} \cdot Y_{г} \cdot \left(U - U_{Б}\right), \tag{12.3}$$

ва ё баръакс аз муодилаи (12.1) ба муодилаи (12.2):

$$Y_{г} \cdot \left(U - U_{Б}\right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{S_{г}}{U_{д}}. \tag{12.4}$$

Системаҳои муодилаҳои хаттии (12.3) ва (12.4) нисбат ба шиддатҳо дар гиреҳҳо бо усулҳои итератсионӣ ҳал карда мешаванд. Усулҳои ҳалли ин муодилаҳо, ки дар амалияи ҳисобҳои РБ истифода бурда мешаванд, ба хаттигардонидани онҳо дар ҳар як қадами раванди итератсионӣ асос ёфтаанд.

Ҳамин тариқ, ҳам дар равиши аввал ва ҳам дар равиши дуюм, дар ҳар як қадами раванди итератсионӣ ҳал кардани системаи муодилаҳои алгебравии хаттӣ лозим меояд – хоҳ бевосита дар шакли муодилаҳои гиреҳӣ (12.4) ва хоҳ

дар шакли муодилаҳои хаттигардонидашудаи (12.3) ва (12.4), ки аз нигоҳи сохтор ҳамсон (айнан якхела) мебошанд. Маҳз ба ҳамин далел, самаранокии ҳисоббарории ҳисоби РБ – и СЭЭ ба таври назаррас аз он вобаста аст, ки системаи муодилаҳои алгебравии хаттӣ чӣ қадар самаранок ҳал карда мешавад. Аз ин рӯ, интихоби усули мақсадноки ҳалли чунин системаи муодилаҳо аҳамияти калон дорад ва баррасии ин яке аз масъалаҳои асосӣ мебошад.

Воситаи асосии ҳисоби РБ – и системаҳои электроэнергетикии мураккаб, инчунин ҳалли доираи васеи масъалаҳои системавӣ, ки дар онҳо ҳисоби РБ қисми таркибии ҷудонашаванда мебошад, мошинаҳои ҳисоббарории рақамӣ (МҲР) ва барномаҳои компютерӣ ба шумор меравад [4]. Омилҳое, ки самаранокии раванди ҳалли масъалаҳои муҳандисиро дар МҲР муайян мекунанд, инҳоянд:

1) Эътимоднокии раванди ҳисоббарорӣ – сохтани алгоритмҳое, ки пайдоиши хатогиҳои аз ҳад зиёдро ҳангоми ҳалли масъала бо усулҳои аниқ аз байн мебаранд ва наздикшавии зудтарро ҳангоми ҳалли масъалаҳо бо усулҳои итератсионӣ таъмин менамоянд;

2) Истифодаи сарфакоронаи хотираи МҲР ва кӯтоҳ намудани вақти ҳисоббарорӣ – аз ҳисоби пешниҳоди оқилонаи (ратсионалии) маълумоти ибтидоӣ дар бораи система, бо назардошти хосиятҳои сохтории он;

3) Чандирии алгоритм ва барнома – яъне имконияти тасвири дилхоҳ қисми СЭЭ бо дараҷаҳои гуногуни муфассалгардонӣ ва осон намудани ба назаргирии тағйирот дар нақшаҳои бадалии ҳисобии система, вобаста ба ҳадафҳои тадқиқот.

Шарти зарурии амалӣ намудани раванди ҳисобкунӣ дар МҲР – ин ба даст овардани натиҷаҳо бо дақиқии кофӣ барои ҳадафҳои муҳандисӣ мебошад, ки меъёрҳои баҳодиҳӣ ва нишондиҳандаҳои ададии онҳо тавассути таҳияи техникии масъала муайян карда мешаванд.

Дар ин шароит, таҳияи алгоритмҳои самараноки ҳисоби РБ ба назар гирифтани ҳадди ҳамаи хусусиятҳои хосро талаб мекунад, ки бо онҳо

нақшаҳои бадалии СЭЭ – и воқеӣ ва матритсаҳои мувофиқи параметрҳои ҷамъбастии онҳо тавсиф меёбанд.

Ин хусусиятҳоро них ҳангоми тартиб додани муодилаҳои РБ ва ҳам ҳангоми интихоби усули оқилонаи ҳалли онҳо, ва пеш аз ҳама, усулҳои дар боло баррасишудаи ҳалли системаҳои муодилаҳои алгебравии хаттӣ (мавзуъҳои 8, 9 ва 10) ба назар гирифтан зарур аст.

Усулҳои аниқ ва итератсионии ҳалли системаҳои муодилаҳои алгебравии хаттии РМ-и СЭЭ, дар мисоли муодилаҳои гиреҳӣ (12.4), дар мавзуъҳои қаблӣ баррасӣ шудаанд.

Адабиёт

1. Электроэнергетические системы и сети: расчет, исследование и анализ установившихся режимов разомкнутых электрических сетей: учеб. пособие / Г.В. Шведов, В.М. Королев, Е.С. Королева и др. – М.: Издательство МЭИ, 2022. – 64 с.

2. Вычислительная математика в примерах и задачах / Н.В. Копчёнова, И.А. Марон. – 2-ое изд. – СПб.: Паль, 2008. – 368 с.

3. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем / В.И. Идельчик. – Изд. 2. – М.: Издательской группы URSS, 2022. – 288 с.

4. Использование MATLAB при расчетах и анализе режимов ЭЭС: учеб. пособие / Н.Ш. Чемборисова, А.Н. Шаров, С.А. Арустамов и др. – М.: Издательство МЭИ, 2021. – 48 с.