

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О.В. Остапчук, Р.В. Вожаков, М.П. Болотний

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньою програмою «Електричні станції»

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів електричних станцій: розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістр спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньою програмою "Електричні станції" /уклад.: О.В. Остапчук, Р.В. Вожаков, М.П. Болотний / КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 0.98 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2023. – 32 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №8 від 02.06.2023 р.) за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики (протокол № 11 від 29.05.2023 р.)

Електронне мережне навчальне видання

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Укладачі	<i>Остапчук Олександр Володимирович</i> , докт. техн. наук, доц., професор кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА <i>Вожаков Роман Вікторович</i> , асистент кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА <i>Болотний Микола Петрович</i> , канд. техн. наук, ст.викладач кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Відповідальний редактор	<i>Будько В. І.</i> , докт. техн. наук, доцент, професор, завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА
Рецензент	<i>Пушкар М.В.</i> , канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

В навчальному посібнику подано пропозиції щодо організації самостійної роботи студентів, викладено методичні положення щодо написання та оформлення розрахунково-графічної роботи, розкрито зміст основних елементів та етапів її написання. Рекомендовано здійснювати дослідження та представляти результати за трьома напрямками теоретичним, де викладаються основні теоретичні положення, які характеризують об'єкт та предмет дослідження; аналітичним, де подається характеристика об'єкту та предмету дослідження; розрахунковим, де надаються розрахунки та їх обґрунтування по окремих напрямкам, що включає дисципліна «Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів електричних станцій».

© О. В. Остапчук, Р.В. Вожаков, М.П. Болотний
©КПІ ім Ігоря Сікорського, 2023

З М І С Т

Вступ	4
1. Основні положення з розрахунку режимів агрегатів електростанції при вторинному регулюванні частоти та потужності.....	5
1.1. Загальні положення.....	5
1.2. Розрахунок вихідного режиму агрегатів електростанції	7
1.3. Розрахунок режиму агрегатів електростанції при вторинному регулюванні	16
2. Алгоритм виконання розрахункової частини роботи	19
3. Структура, склад та оформлення роботи.....	23
4. Комплекти завдань.....	27
Додаток1.....	30
Додаток2.....	31
Література	32

Вступ

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є практичне закріплення студентами теоретичних знань з дисципліни «Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів електричних станцій». В результаті виконання розрахунково-графічної роботи студент закріплює уміння аналізувати умови та виконувати розрахунки відновлення балансу виробництва та споживання електроенергії в електроенергетичній системі з номінальною частотою змінного струму в процесі вторинного регулювання паралельно працюючих енергоблоків електростанцій.

Розрахунки виконуються для нормальних режимів енергоблоків з допомогою статичних характеристик по частоті регульованих агрегатів електростанції. Під регульованими агрегатами розуміють агрегати, які приймають участь у вторинному регулюванні частоти та активної потужності в електроенергетичній системі.

Об'єктом дослідження в розрахунково-графічній роботі є автономна електроенергетична система, яка включає в себе декілька паралельно працюючих енергоблоків теплової електростанції та локальний район навантаження. При цьому приймаються наступні вихідні умови: а) всі турбоагрегати оснащені автоматичними регуляторами частоти обертання (АРЧО), а на деяких агрегатах встановлені автоматичні регулятори потужності (АРП); б) технологічні втрати потужності віднесені до навантаження; в) перехід від одного усталеного режиму до іншого розглядається як квазістатичний перехід без врахування динаміки; г) статичні характеристики агрегатів електростанції по частоті та еквівалентна статична характеристика навантаження по частоті вважаються лінійними.

Розрахунково-графічна робота передбачає розв'язання двох задач з розрахунку та аналізу нормальних режимів паралельно працюючих генеруючих агрегатів електростанції – задачі розрахунку вихідного режиму для вторинного регулювання, яким є режим після первинного регулювання, та задачі розрахунку режиму при вторинному регулюванні. Розрахунки режимів здійснюються з врахуванням регулюючого ефекту навантаження в електроенергетичній системі.

1. Основні положення з розрахунку режимів агрегатів електростанції при вторинному регулюванні частоти та потужності

1.1. Загальні положення

Частота змінного струму в електроенергетичній системі визначається частотою обертання паралельно працюючих синхронних генераторів електростанцій та балансом виробництва і споживання активної потужності. При порушенні балансу активної потужності в електроенергетичній системі відбувається прискорення або гальмування генераторів і частота в системі змінюється. Нормальне функціонування значної частини споживачів електроенергії залежить від частоти живлячого струму. Для забезпечення потрібного рівня частоти необхідно змінювати потужність турбін на електростанціях. Це здійснюється автоматичними регуляторами частоти обертання (АРЧО) турбін (в деяких літературних джерелах використовується термін «автоматичний регулятор швидкості» (АРШ)). При зміні частоти обертання турбіни такі регулятори діють на регулюючі органи турбіни (регулюючі клапани в паровій турбіні або направляючий апарат в гідротурбіні), змінюючи подачу енергоносія. При підвищенні частоти обертання регулятор зменшує впуск енергоносія в турбіну, а при зниженні частоти - збільшує. Відповідно до діючого стандарту частота повинна знаходитися в межах $50,0 \pm 0,2$ Гц не менше 95 % часу доби, не виходячи за максимально допустимі $50,0 \pm 0,4$ Гц.

Автоматичне регулювання частоти, здійснюване регуляторами швидкості, називається первинним регулюванням. Призначенням первинного регулювання є утримання частоти в допустимих межах при порушенні балансу активної потужності. При цьому частота до номінального значення не відновлюється, що обумовлено статизмом регуляторів. Тому в енергосистемах здійснюється додаткове, вторинне регулювання частоти. Для цього встановлюються спеціальні системи, які, впливаючи на регулятори швидкості агрегатів певної частини електростанцій, викликають додаткову зміну впускання енергоносія в турбіни.

Допускається участь енергоблоків і електростанцій одночасно як в первинному так і вторинному регулюванні при умові виконання вимог по кожному виду регулювання.

Вторинне регулювання частоти починається після дії первинного і призначене для компенсації виникаючих в енергосистемі небалансів потужності, відновлення номінальної частоти і витрачених при дії первинного регулювання резервів первинного регулювання та ліквідації перенавантаження транзитних ліній електропередачі.

Вторинне регулювання визначається як процес зміни активної потужності енергоблоків, який може здійснюватися автоматично під дією централізованої системи автоматичного регулювання частоти і потужності (САРЧП) або за командами диспетчера. Компенсацію всього початкового небалансу потужності приймають на себе електростанції вторинного регулювання частоти до тих пір, поки не буде нормалізовано режим в місці його порушення. При цьому САРЧП змінює уставки механізмів зміни швидкості обертання (МЗШВ) АРЧО агрегатів регулюючих електростанцій, що призводить до паралельного переміщення їх статичних характеристик.

Розглянемо сумісний процес первинного і вторинного регулювання частоти (рис.1.1). Процес первинного регулювання частоти в системі з n паралельно працюючих агрегатів електростанцій характеризується еквівалентною статичною характеристикою генеруючої частини системи по частоті (рис. 1.1 – лінія $P_{ГЛ}$). Ця характеристика відображає еквівалентний результат роботи первинних регуляторів агрегатів електростанцій, тобто результат регульованої роботи генеруючої частини системи. Нахил цієї характеристики визначається еквівалентним коефіцієнтом статизму первинного регулювання в системі.

Лінія H_1 відображає еквівалентну статичну характеристику навантаження. В точці A підтримується баланс активних потужностей при частоті $f_1 = f_{ном}$. При збільшенні навантаження споживачів електроенергії (лінія H_2) генератори під дією АРЧО наберуть частину навантаження і еквівалентна характеристика

генераторів $P_{Г1}$ та характеристика навантаження H_2 перетнуться в точці B , а частота стане рівною f_2 , причому $f_2 < f_1 = f_{ном}$.

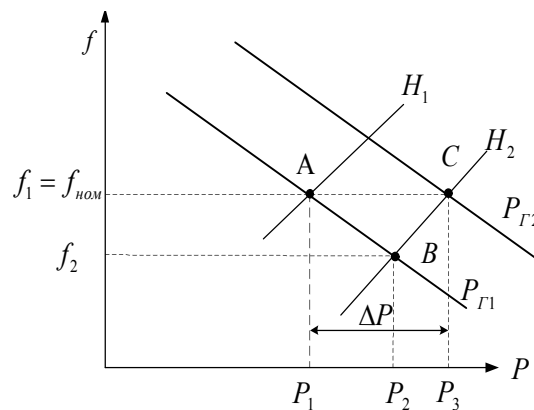


Рис 1.1.

Вторинне регулювання приводить до переміщення статичної характеристики регульованого агрегату паралельно самій собі. Тому при включенні системи вторинного регулювання характеристика генераторів $P_{Г1}$ буде переміщатися до тих пір, поки частота не стане рівною номінальній $f_1 = f_{ном}$ (точка C , характеристика $P_{Г2}$). В результаті вторинного регулювання весь приріст навантаження ΔP візьмуть на себе регулючі агрегати (енергоблоки) електростанцій.

Для виконання вторинного регулювання частоти в електроенергетичній системі зазвичай виділяють одну або декілька електростанцій, а всі інші підтримують постійне навантаження або приймають участь тільки в процесі первинного регулювання частоти.

1.2 Розрахунок вихідного режиму агрегатів електростанції

Вихідним (початковим) режимом для вторинного регулювання агрегатів електростанції є сбалансований режим, який встановлюється після виникнення небалансу потужності в енергосистемі та наступного процесу первинного регулювання агрегатів. Цей режим характеризується відхиленням частоти

змінного струму від частоти, яка була в системі до виникнення небалансу потужності (номінальної або близької до неї). Тому для розрахунку процесу вторинного регулювання необхідно по заданному небалансу потужності в системі розрахувати режим, який встановиться після процесу первинного регулювання агрегатів.

Розрахунок режиму паралельно працюючих агрегатів електростанції в електроенергетичній системі при первинному регулюванні частоти та потужності в розрахунково-графічній роботі базується на статичних характеристиках по частоті окремих агрегатів та еквівалентної статичної характеристики системи по частоті з врахуванням регулюючого ефекту навантаження. Таким чином розраховуються окремі збалансовані робочі точки на статичних характеристиках, а процеси динаміки при переході від однієї робочої точки до іншої не розглядаються.

Рівняння еквівалентної статичної характеристики системи, яка складається з n паралельно працюючих агрегатів електростанції та, які приймають участь у первинному регулюванні, має наступний вигляд:

$$\Delta f_c^* + \sigma_c^* \cdot \Delta P_c^* = 0 \quad (1.1)$$

де Δf_c^* - відхилення частоти в системі у відносних одиницях (в.о.); ΔP_c^* - відхилення активної потужності в системі у в.о.; σ_c^* - еквівалентний коефіцієнт статизму системи у в.о.

Відхилення частоти Δf_c^* та потужності ΔP_c^* визначається так:

$$\Delta f_c^* = \frac{\Delta f_c}{f_{ном}} = \frac{f_2 - f_1}{f_{ном}}, \quad (1.2)$$

$$\Delta P_c^* = \frac{\Delta P_c}{\sum_{i=1}^n P_{ном_{Гі}}} = \frac{P_2 - P_1}{\sum_{i=1}^n P_{ном_{Гі}}}, \quad (1.3)$$

де Δf_c - відхилення частоти в системі в іменованих одиницях (Гц); $f_{ном}$ - номінальне значення частоти в системі, Гц; f_2 - частота нового усталеного

режиму в системі, Гц; f_1 - частота вихідного (початкового) усталеного режиму в системі, Гц; ΔP_c - відхилення потужності в системі в іменованих одиницях, МВт; $P_{ном_{Гі}}$ - номінальна потужність і-го агрегата (генератора) в системі, МВт; n – кількість агрегатів в системі, які приймають участь в первинному регулюванні в даному конкретному режимі, шт.

Еквівалентний коефіцієнт статизму в системі, в якій відсутній регулюючий ефект навантаження (або яким можна знехтувати, тобто коефіцієнт статизму навантаження $K_H^* = 0$) у відносних одиницях розраховується по формулі:

$$\sigma_c^* = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ном_{Гі}}}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{ном_{Гі}}}{\sigma_i^*}}, \quad (1.4)$$

де n – кількість агрегатів, які приймають участь в первинному регулюванні;

σ_i^* - коефіцієнт статизму по частоті і-го агрегату електростанції у відносних одиницях.

Рівняння еквівалентної статичної характеристики в системі з наявністю регулюючого ефекту навантаження має наступний вигляд:

$$\Delta f_c^* + \sigma_{c(n)}^* \cdot \Delta P_c^* = 0, \quad (1.5)$$

де $\sigma_{c(n)}^*$ - еквівалентний коефіцієнт статизму системи з регулюючим ефектом навантаження у в.о., який розраховується за формулою:

$$\sigma_{c(n)}^* = \frac{\rho \cdot \sigma_c^*}{\rho + K_H^* \cdot \sigma_c^*}, \quad (1.6)$$

де ρ - коефіцієнт резерву системи по активній потужності у в.о.; K_H^* - еквівалентний коефіцієнт статизму по частоті навантаження у в.о.; σ_c^* - еквівалентний коефіцієнт статизму системи, в якій відсутній регулюючий ефект навантаження (1.4).

В системі з наявністю регулюючого ефекту навантаження відхилення навантаження в системі балансується як зміною потужності генеруючих агрегатів

електростанцій, що приймають участь в первинному регулюванні, так і потужністю регулюючого ефекту навантаження, тобто

$$\Delta P_n = \Delta P_c = \sum_{i=1}^n \Delta P_{\Gamma i} - \Delta P_{PEH}, \quad (1.7)$$

де ΔP_{PEH} - потужність регулюючого ефекту навантаження в системі (МВт), яка визначається за формулою:

$$\Delta P_{PEH}^* = K_H^* \cdot \Delta f_c^*, \quad (1.8)$$

$$\Delta P_{PEH}^* = \frac{\Delta P_{PEH}}{P_{HOM_{\Sigma H}}}, \quad (1.9)$$

де $P_{HOM_{\Sigma H}}$ - номінальна потужність сукупного навантаження в системі (МВт);

ΔP_{PEH}^* - потужність регулюючого ефекту сукупного навантаження (в.о.). При цьому значення $P_{HOM_{\Sigma H}}$ в іменованих одиницях може бути розраховане з рівняння, яке визначає коефіцієнт резерву системи по активній потужності ρ , тобто

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n P_{HOM_{\Gamma i}}}{P_{HOM_{\Sigma H}}}. \quad (1.10)$$

При цьому слід пам'ятати, що знак ΔP_{PEH} у формулі (1.21) відповідає знаку відхилення частоти.

Співвідношення між потужностями в (1.5) в іменованих і відносних одиницях наступні:

$$\Delta P_n^* = \Delta P_c^* = \frac{\Delta P_n}{\sum_{i=1}^n P_{HOM_{\Gamma i}}} = \frac{\Delta P_c}{\sum_{i=1}^n P_{HOM_{\Gamma i}}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_{\Gamma i} - \Delta P_{PEH}}{\sum_{i=1}^n P_{HOM_{\Gamma i}}}, \quad (1.11)$$

Відхилення потужностей агрегатів електростанції

$$\Delta P_{\Gamma i} = P_{\Gamma i(2)} - P_{\Gamma i(1)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1.12)$$

де $P_{\Gamma i(2)}$ - потужність і-го агрегату в новому усталеному режимі з частотою f_2 , МВт; $P_{\Gamma i(1)}$ - потужність і-го агрегату у вихідному усталеному режимі з частотою f_1 , МВт.

При використанні формули (1.5) для розрахунку режиму агрегатів електростанції в процесі первинного регулювання можливі два випадки:

1) відоме відхилення частоти в системі Δf_c і необхідно визначити відхилення потужності в системі ΔP_c , яке і призвело до зміни частоти;

2) відоме відхилення потужності навантаження в системі ΔP_c , а необхідно визначити як зміниться частота в системі, тобто визначити Δf_c .

В першому випадку, якщо в системі відоме відхилення частоти Δf_c , то для визначення потужностей агрегатів електростанції в новому сбалансованому режимі після первинного регулювання необхідно виконати таку послідовність розрахунків:

1. Розрахувати еквівалентний коефіцієнт статизму системи по формулі (1.6).

2. Розрахувати зміну навантаження в системі ΔP_c при заданій зміні частоти Δf_c відповідно з формулою (1.5).

3. Розрахувати зміни потужностей генеруючих агрегатів по їх статичним характеристикам та їх суму $\sum_{i=1}^n P_{\Gamma i}$.

4. Розрахувати регулюючий ефект навантаження в системі ΔP_{PEH} по формулам (1.8) – (1.10). Для порівняння регулюючий ефект навантаження в системі ΔP_{PEH} можна обчислити з формули (1.7). В цьому випадку можна окремо обчислити похибку розрахунку регулюючого ефекту навантаження.

5. Розрахувати зміну потужностей генеруючих агрегатів, їх кінцеві потужності та кінцеву частоту в системі.

Для розрахунку зміни потужностей агрегатів електростанцій використовуються рівняння статичних характеристик по частоті окремих агрегатів електростанцій, тобто

$$\Delta f_c^* + \sigma_i^* \cdot \Delta P_{Gi}^* = 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (1.13)$$

звідки

$$\Delta P_{Gi}^* = \frac{-\Delta f_c^*}{\sigma_i^*}, i = 1, \dots, n; \quad (1.14)$$

$$\Delta P_{Gi}^* = \Delta P_{Gi}^* \cdot \Delta P_{ном_{Gi}}, i = 1, \dots, n; \quad (1.15)$$

Потужності генеруючих агрегатів в новому режимі після первинного регулювання (кінцеві потужності) розраховуються за наступною формулою

$$P_{Gi(2)} = P_{Gi(1)} + \Delta P_{Gi}, i = 1, \dots, n \quad (1.16)$$

Нове значення частоти f_2 в системі:

$$\Delta f_c = \Delta f_c^* \cdot f_{ном}; \quad (1.17)$$

$$f_2 = f_1 + \Delta f_c. \quad (1.18)$$

Загальна похибка δ цього розрахунку може бути оцінена по формулі:

$$\delta\% = \frac{\left| \Delta P_C - \left(\sum_{i=1}^n \Delta P_{Gi} - \Delta P_{PEH} \right) \right|}{|\Delta P_C|} \cdot 100\% \quad (1.19)$$

В другому випадку, коли в системі відоме відхилення сукупного навантаження $\Delta P_C = \Delta P_H$, то для визначення відповідного відхилення частоти Δf_c в системі та потужностей агрегатів необхідно виконати наступну послідовність розрахунків:

1. Розрахувати еквівалентний коефіцієнт статизму системи по формулі (1.6).
2. Розрахувати відхилення частоти в системі Δf_c при заданій зміні навантаження по формулам (1.5).
3. Розрахувати регулюючий ефект навантаження в системі ΔP_{PEH} по формулам (1.8) – (1.10).

4. Розрахувати суму змін потужностей генеруючих агрегатів $\sum_{i=1}^n P_{Gi}$ у відповідності з формулою (1.7). При цьому слід пам'ятати, що знак ΔP_{PEH} у формулі (1.7) відповідає знаку відхилення частоти.

5. Розрахувати зміну потужностей генеруючих агрегатів, їх кінцеві потужності та кінцеву частоту в системі по формулам (1.13) – (1.18).

Похибка δ цього розрахунку може бути оцінена також по формулі (1.19).

Якщо в системі є агрегати оснащені автоматичними регуляторами потужності (АРП), то рівняння їх статичних характеристик по частоті буде мати наступний вигляд:

$$\Delta f_c^* + \sigma_i^* \cdot \Delta P_{Gi}^* = 0, \text{ якщо } |\Delta f_c| > |\pm \Delta f_{don}|,$$

$$\Delta P_{Gi}^* = 0, \text{ якщо } |\Delta f_c| \leq |\pm \Delta f_{don}|; \quad (1.20)$$

де $\pm \Delta f_{don}$ - максимально допустиме нормоване відхилення частоти в енергосистемі (Гц) від номінального значення частоти.

З (1.20) слідує, що агрегати з АРП в допустимому нормативному діапазоні відхилення частоти ($f_{ном} \pm \Delta f_{don}$) не приймають участі в первинному регулюванні частоти та активної потужності. В цьому діапазоні їх потужність не змінюється, а підтримується на постійному заданому рівні $P_{зад Gi}$. Але як тільки частота в системі відхиляється більше ніж на $(f_{ном} \pm \Delta f_{don})$, то агрегати з АРП також починають приймати участь в первинному регулюванні.

На рис. 1.2 наведені графіки статичних характеристик по частоті агрегатів електростанції в системі з регулюючим ефектом навантаження (а – агрегат без АРП; б – агрегат з АРП). На цих графіках (рис.1.2) умовно позначені: 1 – робочі точки агрегатів у вихідному (початковому) режимі з частотою f_1 та потужностями $P_{1(1)}$ (перший агрегат) та $P_{2(1)} = P_{зад}$ (другий агрегат з АРП); 2 – робочі точки агрегатів в новому режимі (після первинного регулювання) з

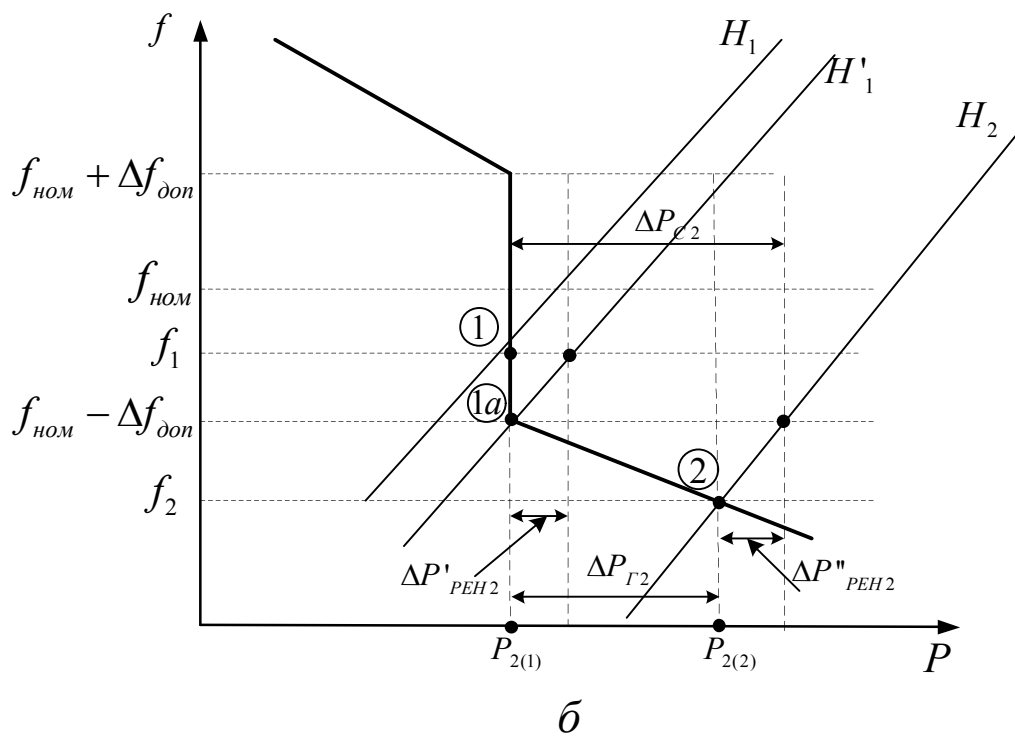
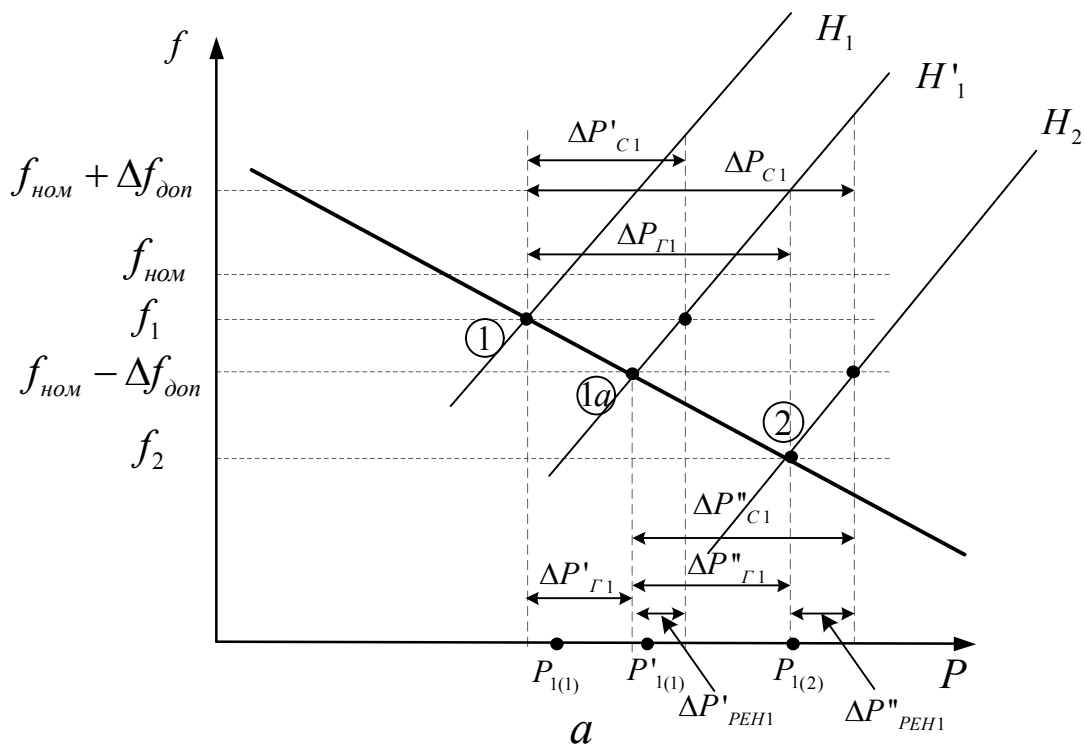


Рис. 1.2.

частотою f_2 та потужностями $P_{1(2)}$ (перший агрегат) та $P_{2(2)}$ (другий агрегат); 1а – проміжні робочі точки при гранично допустимій частоті $(f_{ном} - \Delta f_{дон})$.

Очевидно (рис. 1.2), що в діапазоні $(f_{ном} - \Delta f_{дон})$ в первинному регулюванні буде приймати участь тільки перший агрегат (від точок 1 до точок 1а). При зміні режиму від точок 1 до точок 1а зміна потужностей агрегатів така: першого - $\Delta P'_{Г1}$, другого – нуль. Регулюючий ефект навантаження при переході режиму від точок 1 до точок 1а (рис. 1.2) буде наступний: $\Delta P'_{PEH1}$ (для першого агрегату); $\Delta P'_{PEH2}$ (для другого агрегату). При переході з робочих точок 1а до робочих точок 2 в первинному регулюванні будуть приймати участь обидва агрегати. При цьому будемо мати наступну зміну потужностей агрегатів: для першого – від $P'_{1(1)}$ до $P_{1(2)}$; для другого – від $P_{2(1)}$ до $P_{2(2)}$. Регулюючий ефект навантаження в цьому випадку: в першого агрегату $\Delta P''_{PEH1}$; в другого агрегату $\Delta P''_{PEH2}$.

В результаті при переході режиму з точок 1 до режиму в точках 2 будемо мати:

а) сумарну зміну генерації:

$$\begin{aligned} &\Delta P_{Г1} + \Delta P_{Г2}, \\ &\Delta P_{Г1} = P_{1(2)} - P_{1(1)}, \Delta P'_{Г1} = P'_{1(1)} - P_{1(1)}, \\ &\Delta P_{Г2} = P_{2(2)} - P_{2(1)}; \end{aligned}$$

б) сукупний регулюючий ефект навантаження в системі:

$$\begin{aligned} \Delta P_{PEH} &= (\Delta P'_{PEH1} - \Delta P'_{PEH2}) + (\Delta P''_{PEH1} + \Delta P''_{PEH2}) = \\ &= \Delta P_{PEH1} + \Delta P_{PEH2} \end{aligned}$$

в) зміну навантаження в системі:

$$\Delta P_C = \Delta P_{C1} + \Delta P_{C2};$$

1.3. Розрахунок режиму агрегатів електростанції при вторинному регулюванні

Як було зазначено вище, дія системи вторинного регулювання на регулюючих електростанціях призводить до паралельного переміщення статичних частотних характеристик регулюючих агрегатів. Величина цього переміщення визначається шляхом зміни уставки МЗШО АРЧО агрегатів регулюючих електростанцій. Під уставкою МЗШО АРЧО агрегату розуміють точку (уставку) f_0 перетину графіку статичної частотної характеристики агрегату з координатною віссю частоти (рис. 1.3). Ця точка визначає режим роботи агрегату електростанції без навантаження (на «холостому ході»). Тому цю точку також називають точкою «холостого ходу» статичної характеристики агрегату.

З допомогою МЗШО АРЧО уставку f_0 можна перемістити вгору або вниз, що відповідно визиває переміщення статичної характеристики паралельно самій собі (рис. 1.3).

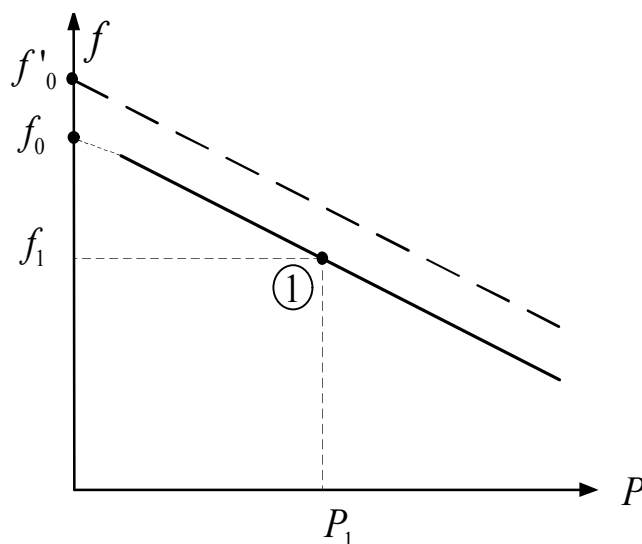


Рис. 1.3.

Для здійснення вторинного регулювання необхідно визначити, як повинні змінитися точки f_0 регулюючих агрегатів. Для цього спочатку необхідно

розрахувати точки f_0 для всіх регулюючих агрегатів в режимі після первинного регулювання, а потім розрахувати необхідні зміни Δf_0 , які забезпечать покриття дефіциту генеруючої потужності системою вторинного регулювання.

Розрахунок точки f_0 для приведеного на рис.1.3 графіка статичної характеристики з відомою довільною режимною точкою 1 (відомі частота f_1 та потужність P_1) можна здійснити із формули для статичної характеристики агрегату, записаної відносно точок 1 та f_0 , тобто:

$$\frac{f_1 - f_0}{f_{ном}} + \sigma^* \cdot \frac{P_1}{P_{ном}} = 0, \quad (1.21)$$

де σ^* - коефіцієнт статизму агрегату (в.о.).

Формула (1.21) визначає статичну характеристику агрегату по частоті при переході режиму з точки 1 до точки f_0 . Очевидно, що для розрахунку f_0 необхідно знати частоту f_1 та відповідну їй потужність P_1 в робочій точці 1.

Слід відмітити, що точка f_0 в процесі первинного регулювання для агрегатів без АРП не буде змінюватися, а для агрегатів з АРП буде змінюватися, так як для підтримання потужності $\Delta P_{зад}$ цих агрегатів їх статичні характеристики паралельно переміщаються в діапазоні $(f_{ном} \pm \Delta f_{доп})$ АРП з допомогою зміни уставки МЗШО Δf_0 .

Розрахунок режиму паралельно працюючих агрегатів електростанції в електроенергетичній системі при вторинному регулюванні частоти та потужності в розрахунково-графічній роботі базується на методі «дольового» статизму. Відповідно з цим методом закон регулювання для кожного регулюючого агрегату визначається наступним рівнянням:

$$\Delta f + \sigma_i \cdot \left(P_{Гі} - \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^n P_{Гі} \right) = 0, \quad (1.22)$$

$$i = 1, \dots, n$$

де n - кількість регулюючих агрегатів; σ_i - коефіцієнт статизму i -го агрегату; $P_{\Gamma i}$ - поточна потужність i -го агрегату; α_i - коефіцієнт дольової участі i -го агрегату в покритті сумарного навантаження агрегатів, при цьому

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (1.23)$$

Розділивши кожне рівняння (1.22) на свій коефіцієнт статизму σ_i і, склавши всі рівняння, одержимо умови, при яких завершиться процес управління:

$$\Delta f \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i} + \sum_{i=1}^n P_{\Gamma i} - \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \sum_{i=1}^n P_{\Gamma i} = 0, \quad (1.24)$$

тобто

$$\Delta f = 0. \quad (1.25)$$

При цьому потужність кожного i -го регулюючого агрегату, необхідну для покриття дефіциту генеруючої потужності в системі в процесі вторинного регулювання, можна розрахувати по формулі:

$$P_{\Gamma i} = \alpha_i \sum_{i=1}^n P_{\Gamma i}, \quad i=1, \dots, n \quad (1.26)$$

Визначивши таким чином вторинну потужність регулюючих агрегатів при вторинному регулюванні, далі необхідно здійснити відповідний розрахунок зміни уставки Δf_0 та нового значення уставки f_0 по формулі (1.21).

Слід також відмітити, що статичні характеристики агрегатів без АРП в процесі вторинного регулювання переміщуються паралельно самім собі на величину зміни уставки Δf_0 , а статичні характеристики агрегатів з АРП також переміщуються паралельно самім собі до нового значення заданої потужності $P_{\Gamma \text{зад}i}$, яка також розраховується по формулі (1.26). В останньому випадку величина уставки f_0 також змінюється.

2. Алгоритм виконання розрахункової частини роботи

2.1. Рекомендується наступний алгоритм виконання першої частини розрахунково-графічної роботи - розрахунку вихідного режиму агрегатів електростанції, тобто режиму після первинного регулювання частоти:

1) Визначити агрегати, які будуть приймати участь в первинному регулюванні в зоні допустимого нормативного відхилення частоти $f_{ном} \pm \Delta f_{доп}$, тобто агрегати, які не підтримують свою потужність на заданному рівні в цій зоні.

2) Визначити границю зони, в напрямку якої буде змінюватись режим під дією зміни навантаження в системі (нижню границю $f_{ном} - \Delta f_{доп}$, або верхню $f_{ном} + \Delta f_{доп}$). Для цього необхідно враховувати знак зміни навантаження (збільшення чи зменшення), що зумовлює зменшення чи збільшення частоти в системі.

3) По рівнянню (1.6) розрахувати еквівалентний коефіцієнт статизму у відносних одиницях для агрегатів, визначених в п.1) даного підрозділу 2.1. Розрахований еквівалентний коефіцієнт статизму визначає рівняння еквівалентної статичної характеристики системи (1.5) в зоні допустимого нормативного відхилення частоти.

4) Використовуючи рівняння еквівалентної статичної характеристики системи (1.5) в зоні допустимого нормативного відхилення частоти, розрахувати сумарну зміну навантаження, яка зумовить зміну частоти в системі від вихідної (початкової) частоти до границі зони допустимого нормативного відхилення частоти.

5) По рівнянню (1.7) визначити сумарну зміну потужностей агрегатів електростанції при зміні частоти в системі від вихідної (початкової) до границі зони допустимого нормативного відхилення частоти. Для системи з наявністю РЕН сумарна зміна потужностей агрегатів електростанції буде менша від зміни навантаження в системі на відповідну величину потужності РЕН, яку необхідно також розрахувати по формулам (1.8)-(1.10).

6) Розрахувати зміну потужності кожного агрегату електростанції при зміні частоти в системі від вихідної до границі зони допустимого нормативного відхилення частоти по відповідним рівнянням статичних характеристик агрегатів (1.13)-(1.15) та визначити потужність кожного агрегату на границі допустимої зони по (1.16).

7) Порівняти сумарну зміну навантаження, яка зумовить зміну частоти в системі від вихідної до границі допустимої зони, яка розрахована в п.4) даного підрозділу 2.1, з потужністю загальної зміни навантаження в системі.

- Якщо потужність розрахована в п.4) даного підрозділу 2.1 буде більша ніж потужність заданої зміни навантаження в системі (це значить, що новий режим не вийде за допустиму зону і первинне регулювання закінчиться в межах допустимої зони), то необхідно розрахувати наступні режимні параметри: відхилення частоти в системі від початкової частоти при заданій зміні навантаження в системі (по рівнянню визначеної в п.3) даного підрозділу 2.1 еквівалентної статичної характеристики); частоту в новому режимі; потужність РЕН; відхилення потужностей агрегатів, які приймають участь в первинному регулюванні в допустимій зоні (по рівнянням статичних характеристик цих агрегатів); потужності агрегатів в новому режимі і похибку розрахунку в процентах. Після цього слід перейти в п.8) даного підрозділу 2.1.

- Якщо потужність розрахована в п.4) даного підрозділу 2.1 буде менша ніж потужність заданої зміни навантаження в системі (це значить, що новий режим вийде за допустиму зону), то необхідно розрахувати наступні режимні параметри: еквівалентний коефіцієнт статизму для всіх агрегатів в системі (за допустимою зоною в первинному регулюванні приймають участь всі агрегати); навантаження, яке не було покрито працюючими агрегатами в допустимій зоні - тобто різницю між потужністю заданої загальної зміни навантаження в системі та потужністю навантаження, яку компенсують агрегати електростанції в допустимій зоні (розраховується в п.4) даного підрозділу 2.1); відхилення частоти в системі від границі допустимої зони при зміні навантаження, яке не було покрито

працюючими агрегатами в допустимій зоні; частоту в кінцевому режимі; відхилення потужностей агрегатів за допустимою зоною (по рівнянням статичних характеристик цих агрегатів); загальне відхилення потужностей агрегатів в кінці первинного регулювання; потужності агрегатів в кінцевому режимі і похибку розрахунку в процентах. Після цього слід перейти в наступний п.8) даного підрозділу 2.1.

8) Накреслити в кінці розділу графіки статичних характеристик агрегатів електростанції та еквівалентну статичну характеристику системи та показати на цих графіках початкові робочі точки, робочі точки на границі допустимої зони (якщо режим проходить за межі допустимої зони) та кінцеві робочі точки після первинного регулювання.

9) Представити розраховані значення частоти та потужності в робочих точках всіх агрегатів електростанції як у вихідному режимі, так і в режимі після первинного регулювання в табличній формі.

10) На основі формули (1.21) розрахувати частоти холостого ходу статичних частотних характеристик всіх агрегатів електростанції, на яких знаходяться робочі точки після первинного регулювання; накреслити графіки цих статичних характеристик агрегатів та відмітити на цих графіках розраховані частоти холостого ходу.

2.2. Другу частину розрахунково-графічної роботи - розрахунок режиму агрегатів електростанції при вторинному регулюванні частоти, рекомендується виконати за наступним можливим алгоритмом:

1) Визначити сумарну зміну потужності ΔP_{G0} всіх агрегатів електростанції, яка відбулась в результаті первинного регулювання (починаючи від заданного вихідного режиму):

$$\Delta P_{G0} = \sum_i \Delta P_{Gi0} ,$$

де ΔP_{Gi0} - зміна потужності i -го агрегату електростанції в результаті первинного регулювання.

2) Визначити сумарний небаланс потужності ΔP_{GR} , який повинна покрити система вторинного регулювання з допомогою регулюючих агрегатів електростанції для відновлення номінальної частоти в системі. При цьому можливі два випадки.

1. Якщо початкова частота в системі f_I дорівнювала номінальній, то вищезазначена потужність ΔP_{GR} визначається як сумарна зміна потужності всіх агрегатів після первинного регулювання ΔP_{G0} з врахуванням регулюючого ефекту навантаження, тобто:

$$\Delta P_{GR} = \Delta P_{G0} - \Delta P_{PEH}.$$

2. Якщо ж початкова частота в системі f_I була відмінною від номінальної, то потужність вторинного регулювання ΔP_{GR} визначається як сума змін потужностей агрегатів після первинного регулювання ΔP_{G0} (з врахуванням регулюючого ефекту навантаження) та сумарної зміни навантаження $\Delta P_{поч}$ в системі, яка попередньо привела до вихідного (початкового) значення частоти f_I відмінного від номінального:

$$\Delta P_{GR} = \Delta P_{G0} - \Delta P_{PEH} + \Delta P_{поч}.$$

Потужність $\Delta P_{поч}$ визначається як потужність навантаження, яка призвела до переходу системи від режиму з номінальною частотою $f_{ном}$ до режиму з частотою f_I у відповідності з формулою (1.1) при відомому відхиленні частоти $\Delta f_{поч} = f_I - f_{ном}$. При цьому також необхідно врахувати регулюючий ефект навантаження та наявність автоматичних регуляторів потужності на агрегатах.

3) Відповідно до методу дольового статизму задатись коефіцієнтами дольової участі α_j регулюючих агрегатів ($j=1, \dots, m$; де m -кількість регулюючих агрегатів) в покритті навантаження. При виборі коефіцієнтів α_j необхідно врахувати недопустимість виходу потужності агрегатів за максимально допустимі значення.

4) На основі методу дольового статизму у відповідності до рівняння (1.26) для кожного j -го регулюючого агрегату визначити потужність вторинного

регулювання P_{Gj2R} , яку повинна встановити система вторинного регулювання, щоб покрити всю зміну навантаження в системі:

$$P_{Gj2R} = P_{Gj0} + \alpha_j \Delta P_{GR}, \quad j = 1, \dots, m.,$$

де P_{Gj0} - потужність j -го регулюючого агрегату при номінальній частоті в початковому режимі, тобто в режимі до первинного регулювання (з врахуванням початкової зміни навантаження $\Delta P_{поч}$ в системі, якщо вона була).

Потужності P_{Gj2R} встановляться, якщо статичні характеристики агрегатів в процесі вторинного регулювання будуть переміщені так, щоб вони перетинали лінію номінальної частоти при розрахованих значеннях P_{Gj2R} . Точки перетину будуть визначати сбалансований режим роботи агрегатів після вторинного регулювання. При цьому характеристики нерегульованих агрегатів не зміняться, а їх первинний регулюючий резерв відновиться. Крім того, розраховані потужності P_{Gj2R} для регулюючих агрегатів з АРП будуть визначати їх нові задані потужності.

6) У відповідності з формулою (1.21) розрахувати точки холостого ходу статичних характеристик регулюючих агрегатів після їх переміщення в процесі вторинного регулювання.

7) Накреслити графіки статичних характеристик всіх агрегатів після вторинного регулювання та відмітити на цих графіках робочі точки та відповідні їм значення частот холостого ходу та потужностей агрегатів.

8) Звести в таблицю значення потужностей та точок холостого ходу всіх агрегатів станції після первинного та вторинного регулювання.

3. Структура, склад та оформлення розрахунково-графічної роботи

3.1. Структура розрахунково-графічної роботи.

Структура роботи умовно поділяється на вступну частину і основну.

Вступна частина включає в себе:

- 1) титульний лист (додаток 1);
- 2) завдання (додаток 2);
- 3) зміст.

Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи включає в себе початкову вихідну інформацію та перелік розрахункових задач, які повинні бути виконані. Початкова вихідна інформація, необхідна для виконання РГР, включає:

- потужність і кількість генераторів в електроенергетичній системі;
- початкове значення частоти в системі;
- початкове навантаження генераторів;
- коефіцієнти статизму АРЧО турбін;
- наявність автоматичних регуляторів потужності (АРП) на агрегатах;
- зміну початкового навантаження в системі;
- статичний коефіцієнт навантаження по частоті;
- коефіцієнт резерву потужності;
- номери агрегатів, які приймають участь у вторинному регулюванні.

Основна частина включає в себе:

- 1) Розділ 1. Загальна характеристика об'єкту та задачі вторинного регулювання.
- 2) Розділ 2. Розрахунок вихідного режиму агрегатів електростанції
- 3) Розділ 3. Розрахунок режиму агрегатів електростанції при вторинному регулюванні
- 4) Висновки по роботі.
- 5) Перелік посилань (список використаної літератури).

3.2. Склад розрахунково-графічної роботи.

В розділі 1 необхідно привести стислий опис об'єкту дослідження та опис задачі вторинного регулювання частоти та активної потужності в електроенергетичній системі. Також в цьому розділі необхідно привести всі вихідні дані, включаючи розрахунок статичного коефіцієнту навантаження та коефіцієнту резерву потужності, задані рівняння статичних характеристик по

частоті для кожного агрегата електростанції та задане рівняння еквівалентної статичної характеристики навантаження по частоті.

В розділі 2 необхідно здійснити розрахунок режимних параметрів в досліджуваній системі (частоту змінного струму та потужності агрегатів електростанції) після первинного регулювання. Розраховані параметри повинні бути представлені в табличній формі. Необхідно також накреслити відповідні графіки статичних характеристик агрегатів по частоті та зазначити на них точки вихідного режиму та розраховані точки кінцевого режиму після первинного регулювання.

В розділі 3 необхідно здійснити розрахунок режимних параметрів в досліджуваній системі (частоту змінного струму та потужності агрегатів електростанції) після вторинного регулювання. Розраховані параметри повинні бути представлені в табличній формі. Необхідно також накреслити відповідні графіки статичних характеристик агрегатів по частоті та зазначити на них точки вихідного режиму та розраховані точки кінцевого режиму після вторинного регулювання.

У Висновках необхідно привести висновки, які тлумачать отримані по роботі результати.

Перелік посилань повинен містити відомості про літературні джерела, які були використані при виконанні роботи.

3.3. Оформлення розрахунково-графічної роботи.

Роботу оформлюють у вигляді пояснювальної записки. При цьому пояснювальна записка повинна включати в себе всі необхідні графічні рисунки, які пояснюють розрахунки. Пояснювальна записка, як правило, виконується в друкованому вигляді на аркушах формату A4 шрифтом **Times New Roman 14 пунктів**, міжрядковий інтервал **1,5 lines**. Допускається виконання пояснювальної записки в рукописному вигляді на аркушах формату A4.

Аркуші пояснювальної записки нумерують, починаючи з титульної сторінки, і зшивають.

Завдання повинно бути підписане керівником роботи.

Текстова частина основної частини пояснювальної записки поділяється на розділи і підрозділи. Номер підрозділу складають з номеру розділу і номеру підрозділу, розділених крапкою, наприклад: 2.1., 2.2., 2.3. і т.д. Формули нумерують у межах кожного розділу, наприклад, (3.1), (3.2) і т.д.

В кожному з розрахункових розділів (розділи 2 та 3) повинні бути приведені всі розрахункові рівняння, ці ж рівняння з підставленими чисельними значеннями параметрів та необхідні пояснення. Розрахунки повинні бути наведені як у відносних одиницях, так і в іменованих одиницях (Гц, МВт). Результати розрахунків повинні бути представлені в кінці кожного розділу в табличній формі.

В кінці кожного розрахункового розділу необхідно привести графіки статичних характеристик агрегатів електростанції та еквівалентну статичну характеристику системи та показати на цих графіках початкові робочі точки, робочі точки на границі допустимої зони (якщо режим виходить за межі допустимої зони) та кінцеві робочі точки після первинного та вторинного регулювання. Графіки повинні бути відображені в координатах з іменованими одиницями (Гц, МВт) з вказанням числових значень частоти та потужності в робочих точках. Для наглядності нахил графіків статичних характеристик може бути умовним, тобто без числової відповідності коефіцієнтам статизму.

4. Комплекти завдань.

Таблиця 1

№ п/п	Вихідна частота, Гц	Кількість генераторів, шт.	Початкова потужність генераторів, МВт	Номинальна потужність генераторів МВт	Коефіцієнти статизму, в.о.	Агрегати з АРП (задана потужність, МВт)	Регулюючі агрегати	Зміна навантаження, МВт
1	50	3	260, 270, 300	3 x 300	0.05; 0.04; 0.04	A3 (300)	A1,A2	52
2	49.99	3	280,280,100	2x300+100	0.03;0.05; 0.04	A3 (100)	A1,A2	34
3	49.98	3	290,80,70	300+2x100	0.03;0.04; 0,04	A1 (290)	A2,A3	20
4	49.96	3	70,80,70	3x100	0,04;0.05; 0.04	-	A1,A2, A3	40
5	50.008	3	290,270,270	3x300	0.06;0.05; 0.04	A1 (290)	A1,A2, A3	48
6	49.97	3	280,270,280	3x300	0.04;0.05; 0.04	A1(280), A3(280)	A1,A2, A3	36
7	49.98	3	80,80,80	3x100	0.05;0.05; 0.04	-	A1,A3	30
8	49.99	3	280,280,280	3x300	0.05;0.04; 0.05	A2 (280)	A1,A2, A3	58
9	50	4	270,280, 290,260	4x300	0.04;0.04; 0.03;0.05	A3 (290)	A1,A2, A4	46
10	50.01	4	260,260,260 ,100	3x300+100	0.05;0.04; 0.05;0.03	A4 (100)	A1,A2, A3	60
11	50.02	4	290,290,60, 70	2x300+ +2x100	0.06;0.06; 0.04;0.05	A1(290), A2(290)	A3,A4	30
12	50.03	4	70,60,70,80	4x100	0.03;0.04; 0.04;0.04	-	A1,A2, A3,A4	32
13	50	4	290,270, 260,280	4x300	0.03;0.04; 0.05;0.05	A2 (270)	A1,A2, A3	62
14	50,04	4	270,270, 280,260	4x300	0.04;0.04; 0.05;0.05	A1(270) A4(260)	A2,A3	80
15	50,06	4	260,270, 270,260	4x300	0.03; 0.04; 0.04; 0.05	A2(270), A3(270)	A1,A4	96
16	50	4	270,280, 290, 270	4x300	0.06; 0.05; 0.04;0.05	A1(270), A2(280)	A1,A4	80
17	49,97	3	280, 270, 280	3x300	0.05; 0.04; 0.03	A1(280), A3(280)	A2,A3	50
18	50,008	3	460, 464, 470	3x500	0.06; 0.05; 0.04	A1(460), A2(464)	A1,A2	90
19	50,005	4	270, 270, 260,260	4x300	0.04; 0.04; 0.05; 0.05	A2(270)	A1,A2, A3	70
20	50	4	280,290, 260,280	4x300	0.03;0.04; 0.05;0.05	A2 (290)	A1,A2, A3	58

21	50,009	3	270,270,280	3x300	0.04;0.04; 0.05	A1(270)	A2,A3	60
22	49,961	3	480, 470, 470	3x500	0.06; 0.04; 0.03	A1(480)	A1,A2, A3	44
23	50,012	4	260, 280, 260,260	4x300	0.04; 0.06; 0.05; 0.03	A2 (280)	A1,A2, A4	82
24	50,034	4	270,270, 260,260	4x300	0.05;0.04; 0.03;0.04	A2(270) A4(260)	A2,A3, A4	76
25	50	4	270,280, 300,260	4x300	0.04;0.04; 0.03;0.05	A1(270) A3(300)	A1,A3, A4	56
26	49.988	3	280,270,260	3x300	0.04;0.05; 0.03	A1(280), A2(270)	A1,A2, A3	40
27	49.992	3	80,70,76	3x100	0.05;0.03; 0.04	-	A1,A2, A3	34
28	50,044	4	260,260, 270,260	4x300	0.03; 0.03; 0.04; 0.05	A3(270)	A1,A2, A4	88
29	50	4	270,280, 290, 270	4x300	0.03; 0.05; 0.04;0.03	A1(270), A2(280)	A1,A4	77
30	49,976	3	280, 270, 280	3x300	0.05; 0.04; 0.03	A3(280)	A2,A3	62

Таблиця 2

№ п/п	Вихідна частота, Гц	Кіль- кість генера- торів, шт.	Початкова потужність генератор- рів, МВт	Номіналь- на потужність генераторів МВт	Коефіці- єнти статизму, в.о.	Агре- гати з АРП (задана потуж- ність, МВт)	Регулю- ючі агрегати	Зміна наванта- ження, МВт
1	50,012	4	290, 270, 260, 260	4 x 300	0,04; 0.05; 0.03; 0.05	A1(290)	A1,A2, A3	64
2	49,88	4	250, 260, 80, 70	2x300+ 2x100	0.05, 0.06, 0.04, 0.04	A1(250) A2(260)	A1,A2	48
3	50,021	4	260,60,70, 80	300+3x100	0.04, 0.06, 0.05, 0.03	A1(260) A3(70)	A1,A2,A3	54
4	50,009	4	270, 270, 270, 80	3x300+100	0.06, 0.06, 0.03, 0.04	A1(270) A2(270)	A1,A2,A3	70
5	49.99	4	4x70	4x100	0.04, 0.05, 0.05, 0.03	A1(70) A4(70)	A1,A3	64
6	49,996	4	4x270	4x300	0.04, 0.03, 0.05, 0.04	A1(270)	A1,A3,A4	102
7	49,94	4	2x70+ 2x270	2x100+ 2x300	0.05, 0.06, 0.04, 0.04	A1(70) A3(270)	A3,A4	63
8	49.989	4	60, 70, 80, 260	3x100+ 300	0.06, 0.05, 0.04, 0.05	A1(60) A4(260)	A1,A2,A4	75
9	49.98	3	3x260	3x300	0.06, 0.05, 0.04	A1(260)	A1,A3	66
10	50,011	3	250, 260, 60	2x300+100	0.03, 0.04, 0.05	A3(60)	A1,A2	48

11	49.982	3	264, 70, 60	300+2×100	0.05, 0.04, 0.03	A1(264) A3(60)	A1,A3	55
12	50.013	3	256, 264, 272	3×300	0.06, 0.05, 0.04	A1,A2	A1,A2	80
13	49.987	3	248, 258, 268	3×300	0.06, 0.06, 0.05	A1	A1,A2	70
14	49.98	3	264, 274, 280	3×300	0.05, 0.04, 0.04	A2	A1,A2,A3	66
15	50.018	3	272, 282, 260	3×300	0.04, 0.03, 0.04	A3	A1,A2,A3	86
16	49.989	3	76,86,70	3×100	3×0.04	A3	A1,A2,A3	52
17	50.01	3	270, 280, 260	3×300	0.04, 0.05, 0.05	A1	A1,A3	64
18	50	3	280, 280, 280	3×300	0.04, 0.04, 0.04	A1,A2	A1,A2	40
19	50.014	4	290, 270, 260,280	4x300	0.03, 0.04, 0.05, 0.05	A2	A1,A2,A3	66
20	50	4	270,270, 280,260	4x300	0.04, 0.04, 0.05, 0.05	A1 A4	A2,A3	54
21	50.001	4	270,270, 270,270	4x300	0.04, 0.04, 0.05, 0.05	-	A2,A3,A4	42
22	50.003	4	270,280, 290,240	4x300	0.05, 0.04, 0.0.3, 0.05	-	A1,A3,A4	52
23	49.999	4	50,80,70, 60	4x100	0.05, 0.04, 0.04, 0.05	-	A1,A2,A3, A4	36

Зразок оформлення титульного аркуша
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з дисципліни

«Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів
електричних станцій»

Виконав: студент(ка) _ курсу ____ групи

прізвище, ім'я, по батькові

Перевірив: (науковий ступінь, посада)

прізвище, ім'я, по батькові

Київ – 20__

Зразок оформлення аркуша бланку завдання
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

ЗАВДАННЯ
НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТУ

з дисципліни «Автоматизовані системи управління та оптимізація режимів
електричних станцій»

Студент(ка) _____ Група _____ варіант _____

ВИХІДНІ ДАНІ

1. Об'єкт: автономна енергосистема - блочна ТЕС та вузол навантаження.
2. Кількість та номінальна потужність генераторів _____ МВт.
3. Початкова частота в системі _____ Гц.
4. Початкове навантаження генераторів _____ МВт
5. Коефіцієнти статизму АРЧО _____ в.о.
6. Наявність АРП на енергоблоках _____
7. Зміна початкового навантаження в системі _____ МВт
8. Статичний коефіцієнт навантаження $K_n = 1.9 + \text{номер варіанта завдання} / 20$ в.о.
9. Коефіцієнт резерву потужності $\rho = 1.1 + \text{номер варіанта завдання} / 40$ в.о.
10. Регулюючі агрегати _____

ВИКОНАТИ

1. Розрахунок вихідного режиму агрегатів електростанції - частоти в системі та потужностей агрегатів після зміни навантаження та послідовного первинного регулювання.
2. Розрахунок режиму агрегатів електростанції при вторинному регулюванні.

Термін видачі завдання «__»____ 20 р. Термін здачі роботи «__»____ 20 р.

Керівник

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник В.П. Математичні моделі і методи аналізу режимів електроенергетичних систем. – К., 2005. – 608 с., іл.
2. Методи оптимізації та дослідження операцій [Текст] : навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.
3. Панченко С.В., Медиченко М.П., Лисечко В.П. Методи оптимізації та моделювання: Навч. посібник / – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Ч.1. – 128 с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Управління режимами електростанцій" для студентів напряму підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" спеціальності "Електричні станції"/ Укл. О.Г. Філатов – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 40с.
5. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник. - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.