

УДК 621.311.001 + 621.316.13

Костюк В.О., канд. техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Сідоров О.Ф., провідний інженер,
ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО»

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ МІЖСИСТЕМНИМ САЛЬДО ПОТУЖНОСТІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Запропоновано застосувати розрахункові значення поточних небалансів потужності, одержані на основі записаних аналітичних виразів, у алгоритмах керування нормальними режимами об'єднаної електроенергосистеми України за допомогою багатофункціональної центральної цифрової системи автоматичного регулювання частоти і потужності.

Ключові слова: нормальний режим, небаланс потужності, сальдо міжсистемних перетікань потужності, вторинне автоматичне регулювання, оптимальне керування.

Підтримання функціонування Об'єднаної електроенергосистеми (ОЕС) у нормальному режимі за частотою й потужністю є завданням складним і багатофункціональним. Без урахування вимог і обмежень, визначених засадничими ринковими правилами відповідно до норм чинного законодавства України зокрема [1], задачі підтримання й супроводу нормальних режимів за частотою і потужністю зводяться до щомиттєвого дотримання балансу електромеханічної потужності в ОЕС, заданого прогнозним добовим графіком споживання. Балансування здійснюється протягом доби для заданих (планових) значень функції системної частоти у часі, й планового сумарного значення (сальдо) *перетікань потужності* через міждержавні перетини, за умов технічних обмежень на граничні значення таких перетікань потужності міжсистемними високовольними лініями електропресилання (ЛЕП) й через перетини між регіональними енергосистемами, що входять до ОЕС України.

Задачу оптимального за технічними і економічними показниками керування об'єднаною електроенергосистемою зазвичай розв'язують засобами первинного і вторинного автоматичного регулювання (ПАР, ВАР) режимів ОЕС за частотою і потужністю. Персонал диспетчерської служби оператора енергосистеми здійснює ретельний поточний контроль за дотриманням заданих умов балансу й виконує необхідні оперативні заходи задля забезпечення необхідної потужності *обертОВОГО резерву* електромеханічних агрегатів, задіяних у автоматичному регулюванні енергобалансу – шляхом ручного уведення-виведення передбачених для цього потужностей генераторів «холодного резерву».

Найбільш ефективно завдання підтримання й супроводу нормального режиму за частотою й потужністю ОЕС може бути розв'язано за допомогою централізованої цифрової системи автоматичного регулювання частоти й потужності (ЦСАР-ЧП), технологічні засоби якої здійснюють моніторинг частоти ОЕС й сальдо перетікань активної потужності через міждержавні перетини, а також перетікань потужності внутрішніми міжсистемними ЛЕП через внутрішні перетини в межах допустимих значень. Таке керування режимами за частотою й потужністю електроенергетичною системою здійснюється, наприклад, в Європейському енергооб'єднанні ENTSO-E [2].

Алгоритм роботи простої САРЧП кожної окремої ЕС, що входить до складу ОЕС, є відомим, за його допомогою виконують автоматичне регулювання частоти в ОЕС і перетікань потужності у перетині, який сполучає суміжні ЕС. В [3,4] алгоритм функціонування такої САРЧП отримано на основі параметрів первинних статичних частотних характеристик (СЧХ) потужностей окремих ЕС і об'єднаної ОЕС, тобто, на основі врахування властивостей ЕС щодо саморегулювання.

Таким чином, основним завданням цифрової ЦСАР-ЧП, побудованої на основі багатофункціонального програмно-технічного комплексу SCADA є не лише здійснювати автоматичне регулювання частоти й сальдо міждержавного перетікання потужності, але й автоматизовано підтримувати величину перетікання потужності внутрішніми магістральними ЛЕП і через внутрішні перетини у межах заделегідь визначених інтервалів числових значень таких перетікань.

Уявімо будь-який контрольований перетин, котрий ділить енергооб'єднання ОЕС1 на дві

частини, які у подальшому будемо іменувати ЕС1 і ЕС2, як це зображено на рисунку. Функції об'єктів і розрахункових величин, позначених на спрощеній функційній схемі подамо через опис технологічних особливостей систем ЦСАР–ПЧ.

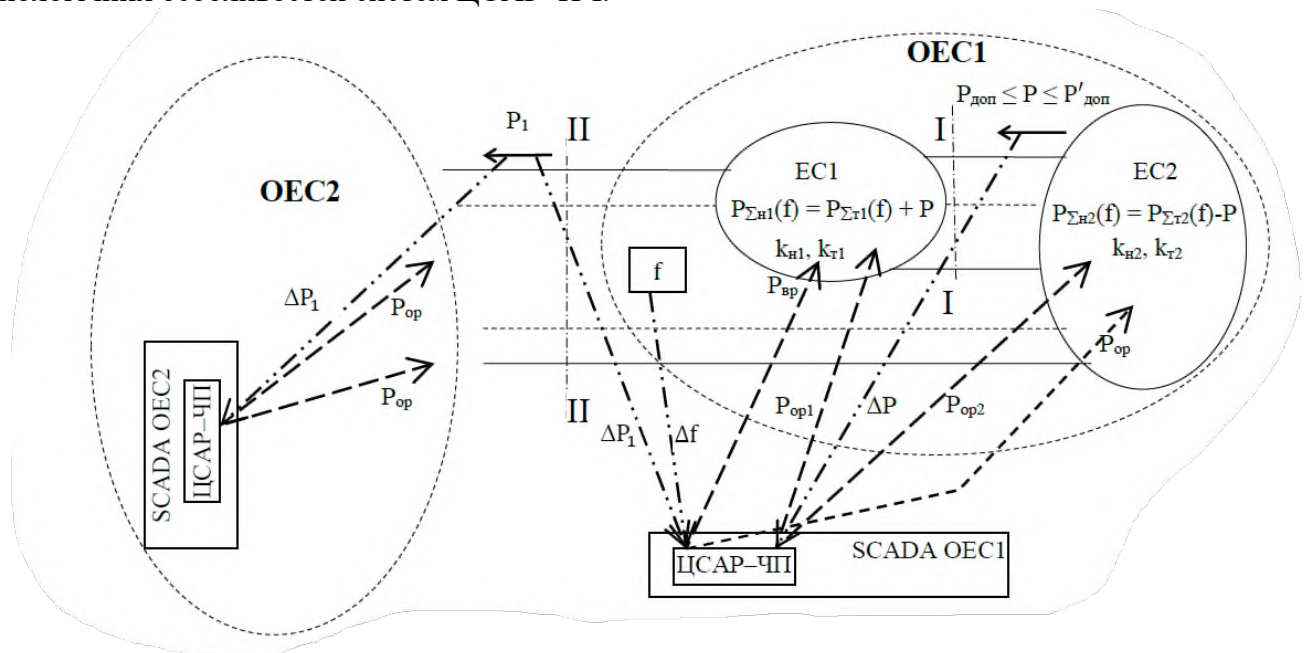


Рисунок 1 – Спрощена функційна схема ВАР частоти й перетікання потужності через зовнішній перетин II–II, а також контроль перетікання потужності чеез внутрішній перетин I–I ОЕС1.

Через виникнення небалансів потужності в енергосистемі ОЕС1 спостерігаються зміни/відхилення частоти змінного струму в ОЕС1, змінюється величина сальдо перетікань потужності через зовнішній міждержавний перетин та спостерігаються коливання значень внутрішньо-системних перетікань потужності. Функційний контур ЦСАР–ЧП, котрий забезпечує автоматичне регулювання (підтримання на заданому рівні) частоти й зовнішнього сальдо, виробляє значення керувальних сигналів призначених для здійснення такого регулювання енергоблоків.

За цих умов змінюється значення контролюваного перетікання потужності через внутрішній перетин I–I, яке позначено на рисунку літерою “P”. Задачею функційного контура ЦСАР–ЧП є утримати величину сальдо перетікання P через перетин I–I у межах інтервалу між нормованими граничними значеннями $P_{доп}$ і $P'_{доп}$, а для понаднормованих режимів – обмежити тривалість функціонування ОЕС1 у таких режимах. У разі відхилення перетікання P за межі інтервалу, одержимо небажані прирости міжсистемного перетікання потужності $\Delta P_{мс}$, які система вторинного автоматичного регулювання (ВАР) має компенсувати через задіяні регульовані енергоблоки ОЕС1:

$$\Delta P_{мс} = \begin{cases} P_{доп} - P \\ P'_{доп} - P \end{cases}$$

де $P_{доп}$ та $P'_{доп}$ - нижнє і верхнє допустиме значення перетікання потужності P, МВт.

Виходячи із умови повної компенсації небалансу потужності $P_{рп} = -P_{нб}$, для обчислення необхідних обсягів ВАР за умови виконання обмеження $P_{доп} \leq P \leq P'_{доп}$ потужності у внутрішньому перетині I–I ОЕС1 одержимо вирази:

$$P_{ор1} = -k_{y1} \Delta P_{мс1} \quad \text{та} \quad P_{ор2} = -k_{y2} \Delta P_{мс2}$$

Помічаємо, що коефіцієнти підсилення величин/сигналів, пропорційних відхиленням $\Delta P_{мс1}$ і $\Delta P_{мс2}$, визначаються через відношення коефіцієнтів жорсткості режимів за частотою: $k_{жf}$ (ОЕС1) і $k_{жf1}$, $k_{жf2}$ підсистем ЕС1 і ЕС2 відповідно:

$k_{y1} = k_{жf}/k_{жf2}$ – коефіцієнт підсилення, визначений для відхилення перетікання потужності $\Delta P_{мс1}$ через перетин I–I, викликаний небалансом в енергосистемі ЕС1;

$k_{y2} = k_{жf}/k_{жf1}$ – коефіцієнт підсилення, визначений для відхилення перетікання потужності $\Delta P_{мс2}$

через перетин I–I, викликаний небалансом в енергосистемі ЕС2.

Використання інших розрахункових значень коефіцієнтів підсилення для налаштування контура ЦСАР–ЧП за принципом відхилення призводить до до

«перерегулювання» міжсистемного перетікання потужності, тобто до втрати точності на першому кроці, що зазвичай супроводжується деякими коливаннями координат режиму за частотою і потужністю у контрольованому перетині у процесі ітераційної процедури ручного керування ОЕС. Натомість, застосування отриманих розрахункових значень коефіцієнтів підсилення контура ЦСАР–ПЧ ОЕС1 за відхиленням міжсистемного перетікання потужності на основі властивостей ОЭС1 і її підсистем ЕС1 і ЕС2 буде оптимальним за технічними і економічними показниками керування засобами ВАР.

Короткостроковим планом розвитку ОЕС України, котрий активно обговорюється на рівні структур виконавчої влади, офіційними представниками Міністерства енергетики України <http://mre.kmu.gov.ua/minugol> зокрема, передбачається від'єднання від енергосистем Російської Федерації і Білорусі у 2022 році, з переходом до тимчасового ізольованого режиму роботи і здійсненням повної синхронізації з енергосистемою континентальної Європи ENTSO-E у 2023 році. Розв'язання задачі забезпечення оптимального керування квазістаціонарними режимами ОЕС України за частотою й потужністю наявними засобами є першочерговою умовою успішного виконання цих амбітних планів [3–5].

Список використаних джерел:

1. Закон України «Про ринок електричної енергії». – Харків: ТОВ «Видавництво «Форт». – 2017. – 208с.
2. *UCTE OH – Policy 1: Load-Frequency Control // UCTE OH Policy – Final Version. Approved by SC on 19 March 2009.*
3. *Костюк В. О., Сідоров О. Ф.* Спосіб оптимального вторинного регулювання частоти та потужності. – Вісник Вінницького політехнічного інституту, ISSN 1997-9266. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – № 6(135). – С.105-110.
4. *Сідоров О.Ф.* Роль частотних характеристик потужностей в організації нормальних режимів електроенергетичної системи/ К.: Видавничий дім «АртЕк» 2019. – 202 с.
5. *Сідоров А.Ф.* Расчет послеаварийных режимов энергосистемы по параметрам первичных частотных характеристик // Киев: Энергетика и электрификация. – 2003. – №7. – С. 25–33.

References

1. Law of Ukraine "On the Electricity Market". – Kharkiv: «Vydavnytstvo «Fort». –2017. – 208p.
2. *UCTE OH – Policy 1: Load-Frequency Control // UCTE OH Policy – Final Version. Approved by SC on 19 March 2009.*
3. *Kostiuk V.O, Sidorov O.F.* The Method of Optimum Secondary Frequency and Power Regulating. – Visnyk Vinnytskoho politechnichoho instytutu, ISSN 1997-9266. – 2017. – № 6(135) – С.105–110.
4. *Sidorov O.F.* The role of network power frequency characteristics in the organization of normal modes of electrical power system. – K.: PUBLISHING HOUSE «ARTEK». –2019.–202p.
5. *Sidorov O.F.* Raschet posleavariynykh rezhimov energosistem po parametram pervichnykh chastotnykh kharakteristik //Kiev: Energetika i elektrifikatsia. – 2003.– №7. –P.25–33.