

Висновки. 1. Запропонована схема векторного керування асинхронною машиною забезпечує роботу асинхронної машини в режимі генератора з регулюванням швидкості обертання ротора (нижче і вище від синхронної) з генеруванням або споживанням реактивної потужності та регулюванням коефіцієнта потужності статора генератора.

2. В умовах наявності діодного випрямляча, який живить коло ротора, коло ротора не споживає з виходу асинхронного генератора додатково реактивної енергії, відтак, запропонована схема забезпечує регулювання коефіцієнта потужності генераторної установки загалом.

3. Швидкість асинхронного генератора в цій системі у всіх перерахованих режимах визначається винятково сигналом завдання, що забезпечується системою автоматичного регулювання підпорядкованого типу з ПІ-регулятором швидкості та ПІ-регулятором моменту. Регулювання швидкості обертання асинхронного генератора є доцільним в деяких генераторних установках, зокрема у вітроенергетичних, для кращого відбору потужності від рушія і забезпечення максимального ККД.

1. Пересада С.М., Ковбаса С.Н., Чехет Э.М., и др. Векторное управление генератором на основе машины двойного питания // Вестн. Харьков. гос. политехн. ун-та. – 1999. – Вып. 61. – С. 49–55. 2. Плехтина О.Г., Куцук А.С., Йовбак В.Д. Электромагнитні та електромеханічні процеси асинхронної машини з інвертором напруги в колі ротора при векторному керуванні // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 5. – С. 30–36. 3. Куцук А.С. Об'єктно-орієнтований метод аналізу електромеханічних систем // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 2. – С. 57–63.

УДК 621.311.2

Г.М. Лисяк, В.С. Коновал, О.Р. Пастух

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕСМ

ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОБЛОКА З ДОДАТКОВИМ РОБОЧИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

© Лисяк Г.М., Коновал В.С., Пастух О.Р., 2007

Здійснено порівняльний аналіз динамічної стійкості режимів енергоблока електростанцій, електрична частина якого виконана як за схемою з додатковим робочим трансформатором власних потреб, так і за традиційною схемою. Наведено результати комп'ютерного симулювання електромеханічних перехідних процесів енергоблока з турбогенератором ТГВ-200М.

The comparative analysis of dynamic stability of modes power unit of power stations is made, which electrical part is executed behind the circuit with the additional working transformer of own needs, and behind the traditional circuit. The results of komputer simulating elektromechanical transients for power unit with turbogenerator TGB-200M are given.

Постановка проблеми. Функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС) відбувається в умовах діяння неперервних та дискретних збурень. Неперервні збурення зазвичай є порівняно невеликими і найчастіше зумовлені природною зміною в часі навантаження ЕЕС. Для забезпечення належної якості електроенергії в нормальних експлуатаційних режимах під час діяння неперервних і порівняно невеликих збурень в ЕЕС застосовують відповідні системи автоматичного регулювання. Для забезпечення динамічної стійкості режимів ЕЕС під час виникнення дискретних, зазвичай

великих, збурень, наприклад, під час виникнення коротких замикань (КЗ) чи аварійних вимкнень основних силових елементів ЕЕС застосовують пристрої автоматичного регулювання збудження (АРЗ) генераторів з форсуванням збудження, релейного захисту (РЗ), автоматичного повторного вмикання (АПВ), автоматичного частотного розвантаження (АЧР), автоматичного вмикання резерву (АВР), резервування відмов вимикачів (РВВ) тощо. Однак і такі пристрої не завжди спроможні успішно локалізувати і ліквідувати аварію та відновити початкову схему з'єднань ЕЕС. Наприклад, під час стійкого КЗ дія пристрою АПВ буде неуспішною, що за певних обставин може спричинити перевантаження працюючих ліній електропередавання (ЛЕП), їх вимкнення, порушення стійкості роботи синхронних машин (СМ), виникнення асинхронного ходу та подальший розвиток аварії аж до системного її характеру. Отже, важливим завданням як проектування, так і експлуатації є дослідження динамічної стійкості режимів енергоблоків у складі ЕЕС.

Аналіз останніх досліджень. В [1] запропоновані нові схемно-технічні вирішення електричної частини енергоблоків електростанцій, що містять додатковий робочий трансформатор власних потреб (ДРТВП), який працює в режимі заданого навантаження енергоблока струму. Завдяки природним властивостям таких схем підвищується надійність живлення електроприймачів ВП і покращується функціонування енергоблоків потужних ТЕС і АЕС. На основі проведеного порівняльного аналізу в [2] показано, що вплив енергоблоків, в яких схема живлення ВП містить ДРТВП, та енергоблоків з традиційною схемою живлення ВП, тобто лише з робочим трансформатором власних потреб (РТВП), на статичну стійкість усталених режимів ЕЕС є практично однаковим. При цьому в більшості усталених режимів, особливо під час їх обтяження, рівень напруги на шинах ВП у схемі з ДРТВП є вищим порівняно з рівнем напруги на шинах ВП у традиційній схемі, що сприятиме підвищенню стійкості роботи електроприймачів ВП енергоблоків електростанцій.

Задача досліджень. Проведений аналіз вказує на доцільність порівняльних досліджень динамічної стійкості режимів енергоблоків з ДРТВП та енергоблоків з традиційною схемою живлення ВП, тобто лише з РТВП.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що призначенням розрахунків динамічної стійкості ЕЕС є виявлення особливостей електромеханічних перехідних процесів, що спричинені великими дискретними збуреннями, а також факторів, які впливають на ці процеси, і, діючи на які, можна змінити якісну картину і кількісні характеристики таких процесів. Аналіз результатів розрахунків дає змогу прогнозувати хід і наслідки важких і складних аварій, оцінювати динамічну стійкість режимів ЕЕС та вибирати ефективні протиаварійні заходи й засоби. Розрахунки електромеханічних перехідних процесів виконують для характерних схем і вихідних режимів ЕЕС при збуреннях, які зазвичай задають списком нормативних розрахункових збурень і за яких має забезпечуватися динамічна стійкість режимів ЕЕС [3]. У деяких випадках небезпечними можуть виявитися збурення, які не зазначені в цьому списку, але можуть призвести до порушення динамічної стійкості режиму ЕЕС і тому повинні враховуватися під час досліджень. Окрім того, для певних конкретних схем і задач досліджень не всі з нормативних розрахункових збурень можуть існувати чи спричинити порушення динамічної стійкості режиму ЕЕС, а отже, можуть не розглядатися, що дозволяє зменшити обсяг розрахунків. У всіх випадках тривалість досліджуваних процесів потрібно приймати такою, щоб за результатами їхнього розрахунку можна було оцінити подальшу зміну режиму ЕЕС. Звичайно обмежуються тривалістю від 2–3 до 10 с.

Згідно з поставленою задачею досліджувалась динамічна стійкість режимів енергоблока для традиційної схеми лише з РТВП (рис. 1, а) та енергоблока для схеми з ДРТВП (рис. 1, б), які видають активну потужність P генераторів G через блокові трансформатори БТ в двоколові лінії електропередавання Л (L_1, L_2), що зв'язують їх з ЕЕС безмежної потужності.

Під час досліджень враховувалось оснащення генераторів пристроями автоматичного регулювання збудження (АРЗ), форсування збудження, автоматичного регулювання частоти й активної потужності (АРЧП), автоматичного регулювання частоти обертання (АРЧО), а також наявність в ЕЕС пристроїв протиаварійної автоматики, а саме пристроїв РЗ, пристроїв РВВ,

пристроїв АПВ. З урахуванням наведеного та рекомендацій, викладених в [3, 4], дослідження проводили за таким списком розрахункових збурень:

1. Вимкнення кола L_1 лінії Л.
2. Виникнення та вимкнення трифазного КЗ на початку кола L_1 лінії Л та успішне АПВ цього кола.
3. Виникнення та вимкнення трифазного КЗ на початку кола L_1 лінії Л та неуспішне АПВ цього кола.
4. Виникнення трифазного КЗ на початку кола L_1 лінії Л, відмова вимикачів цього кола під час вимкнення КЗ та дія пристроїв РВВ.

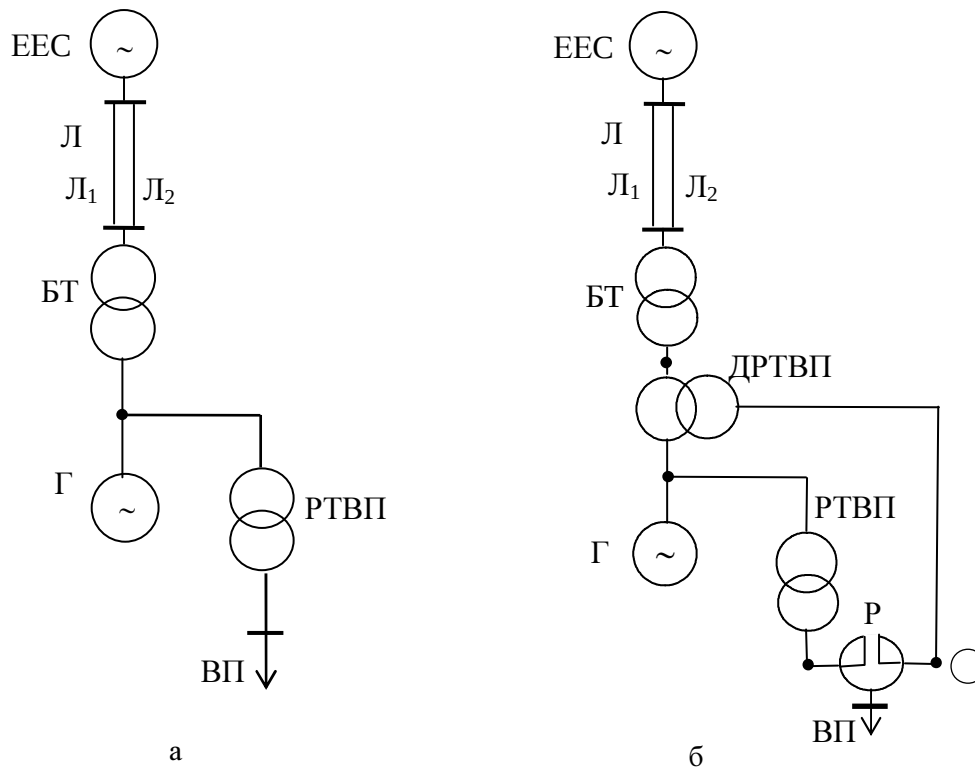


Рис. 1. Принципові схеми електричної частини енергоблока:
а – традиційна; б – з додатковим робочим трансформатором власних потреб (ДРТВП)

Порівняльний аналіз властивостей схем рис. 1, а, б здійснювали, як і в [2], на прикладі енергоблока з турбогенератором ТГВ-200М, блоковим трансформатором ТДЦ-250000/220 та робочим трансформатором власних потреб ТРДНС-25000/35. Завантаження розщеплених обмоток РТВП приймали однаковим, що дозволило під час досліджень розглядати його як звичайний двохобмотковий трансформатор з еквівалентною вторинною обмоткою нижчої напруги, як показано на рис. 1. Для схеми рис. 1, б прийнято здвоєний реактор LR типу РБСГ 10-2×1600-0,20УЗ, а параметри ДРТВП прийняті на основі трансформатора ТДНС-16000/20, але з врахуванням необхідності реконструкції його первинної обмотки, яка увімкнена послідовно в електричне коло між виводами генератора Г та первинної обмотки БТ. Для навантаження ВП прийнято: $U_{ВПном}=6$ кВ; $P_{ВПном}=0,08 \cdot P_{Гном}$; $\cos\varphi_{ВПном}=0,7$. Двоколова лінія Л напругою 220 кВ і завдовжки 100 км виконана проводами марки АС-240/32. ЕЕС розглядається як балансувальний вузол з незмінною напругою 220 кВ. Номінальні параметри елементів схем рис.1 прийняті згідно з [5, 6]. Для обох схем за вихідні прийняті усталені режими з активними потужностями завантаження генератора і навантаження ВП, що дорівнюють їх номінальним значенням, та напругою на виводах генератора, яка дорівнює її номінальному значенню 15,75 кВ. Коефіцієнти трансформації РТВП в схемі рис. 1, а та БТ, РТВП і ДРТВП в схемі рис. 1, б прийняті такими, щоб забезпечити практично однакові значення напруг

на шинах ВП ($U_{ВП}=U_5$) і на початку лінії Л ($U_{Л}=U_7$), а також практично однакове струмове завантаження гілок зведеного реактора Р ($I_{3,6} \approx I_{4,6}$) в схемі рис. 1, б у цих основних вихідних усталених режимах. Під час обчислень електромеханічних перехідних процесів, які здійснювали за допомогою автоматизованого комплексу ДАКАР [7], навантаження ВП задавалося незмінною провідністю $Y_{ВП}=Y_{ВПном}$, значення якої відповідає номінальному режиму генератора з $P_{Г} = P_{Гном}$ та $U_{Г} = U_{Гном}$. Розрахункові параметри та обчислені координати вихідних усталених режимів схем рис. 1, а, б наведені в [2].

Результати обчислень електромеханічних перехідних процесів під час згаданих розрахункових збурень для схем рис. 1, а, б у вигляді часових залежностей зміни основних координат режимів показані на рис. 2–5, де розмірності величин такі: час – с; кут вибігу ротора генератора – ел. град.; напруга – кВ; струм – кА; потужності – відповідно МВт, Мвар. При тому прийнято, що під час спрацювання пристроїв РЗ, АПВ чи РВВ вимикання та вмикання кола Л₁ лінії Л здійснюється вимикачами з обох кінців цього кола одночасно.

Розрахункове збурення № 1. Умови: в момент часу $t_1=0,2$ с відбувається вимкнення кола Л₁ лінії Л одночасно з двох кінців.

Аналіз результатів обчислень, зображених на рис. 2, показав, що якісний характер і кількісні значення основних координат режимів під час електромеханічних процесів у схемі з ДРТВП (рис. 1, б) та в традиційній схемі (рис. 1, а) є практично однаковими, а самі режими є динамічно стійкими. Як і потрібно було очікувати, новий усталений режим в обох схемах з вимкненням колом Л₁ лінії Л характеризується:

- збільшенням орієнтовно на 8 ел. град. кутів вибігу роторів генераторів (рис. 2, а);
- відновленням значень напруги (під дією АРЗ) та активної потужності (під дією АРЧП) генераторів згідно з заданими уставками, тобто на рівні значень напруги й активної потужності до вимкнення кола Л₁ лінії Л (рис. 2, б, в відповідно);
- істотним зменшенням після вимкнення кола Л₁ лінії Л реактивної потужності і, як наслідок, струмів генераторів (рис. 2, г, д відповідно);
- відновленням у традиційній схемі (рис. 1, а) та незначним зниженням у схемі з ДРТВП (рис. 1, б) значення напруги на шинах ВП в усталених режимах з вимкненням колом Л₁ лінії Л (рис. 2, е), де останнє зумовлено зменшенням струму генератора, а отже, і струму через первинну обмотку ДРТВП.

Розрахункове збурення № 2. Умови: в момент часу $t_1=0,2$ с на початку кола Л₁ лінії Л виникає трифазне КЗ; пристрій РЗ забезпечує вимкнення цього КЗ з витримкою часу 0,1 с в момент часу $t_2=0,3$ с, тобто тривалість КЗ становить $\Delta t_{к1}=0,1$ с; пристрій АПВ з витримкою часу $\Delta t_{АПВ}=0,4$ с, під час якої КЗ самоліквідується, забезпечує вмикання цього кола в момент часу $t_3=0,7$ с, тобто АПВ є успішним.

Аналіз результатів обчислень, зображених на рис. 3, показав, що електромеханічні процеси характеризуються такими основними особливостями:

- максимальні значення кута вибігу ротора і струму статора генератора в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) є меншими, хоча й незначно, за максимальні значення цих величин у традиційній схемі (рис. 1, а), а надалі значення кута вибігу ротора і струму статора та їх зміна в часі в обох схемах є практично однаковими (рис. 3, а, б відповідно);
- напруги на шинах генератора в обох схемах під час існування КЗ зменшуються орієнтовно в три рази (рис. 3, в), але при цьому напруга на шинах генератора в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) є дещо вищою за таку саму напругу в традиційній схемі (рис. 1, а);
- напруга на шинах ВП в традиційній схемі (рис. 1, а) під час існування КЗ зменшується до $0,33U_{ВПном}$, а в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) лише до $0,81U_{ВПном}$, тобто залишається вищою за критичне з умов роботи електроприймачів ВП значення (рис. 3, г);
- після успішного АПВ координати режиму в обох схемах (рис. 1) прямують до їх доаварійних значень (рис. 3).

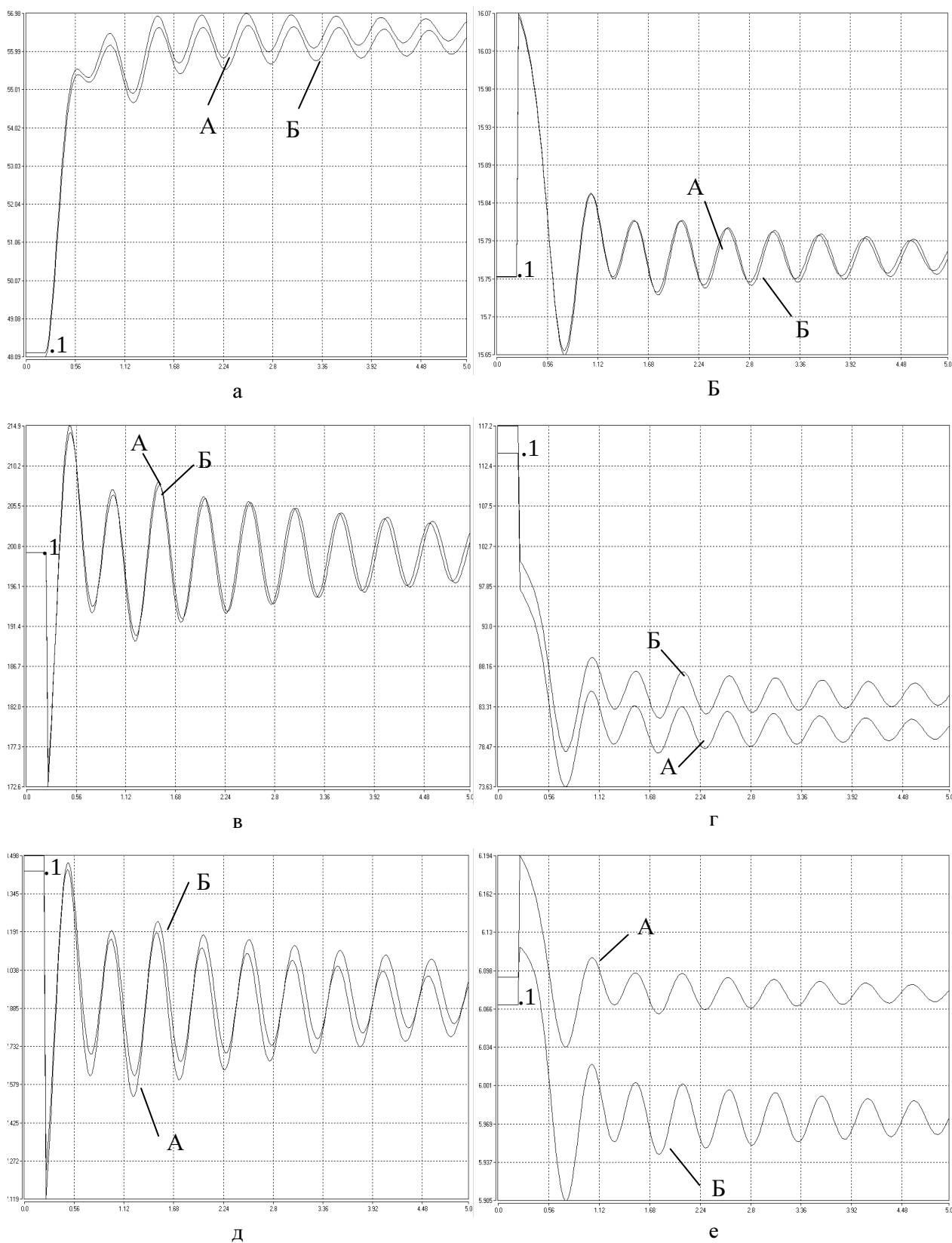


Рис. 2. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час розрахункового збурення № 1:
 а – кути вибігу роторів генераторів; б – напруги генераторів;
 в – активні потужності генераторів; г – реактивні потужності генераторів;
 д – струми статорів генераторів; е – напруги на шинах власних потреб

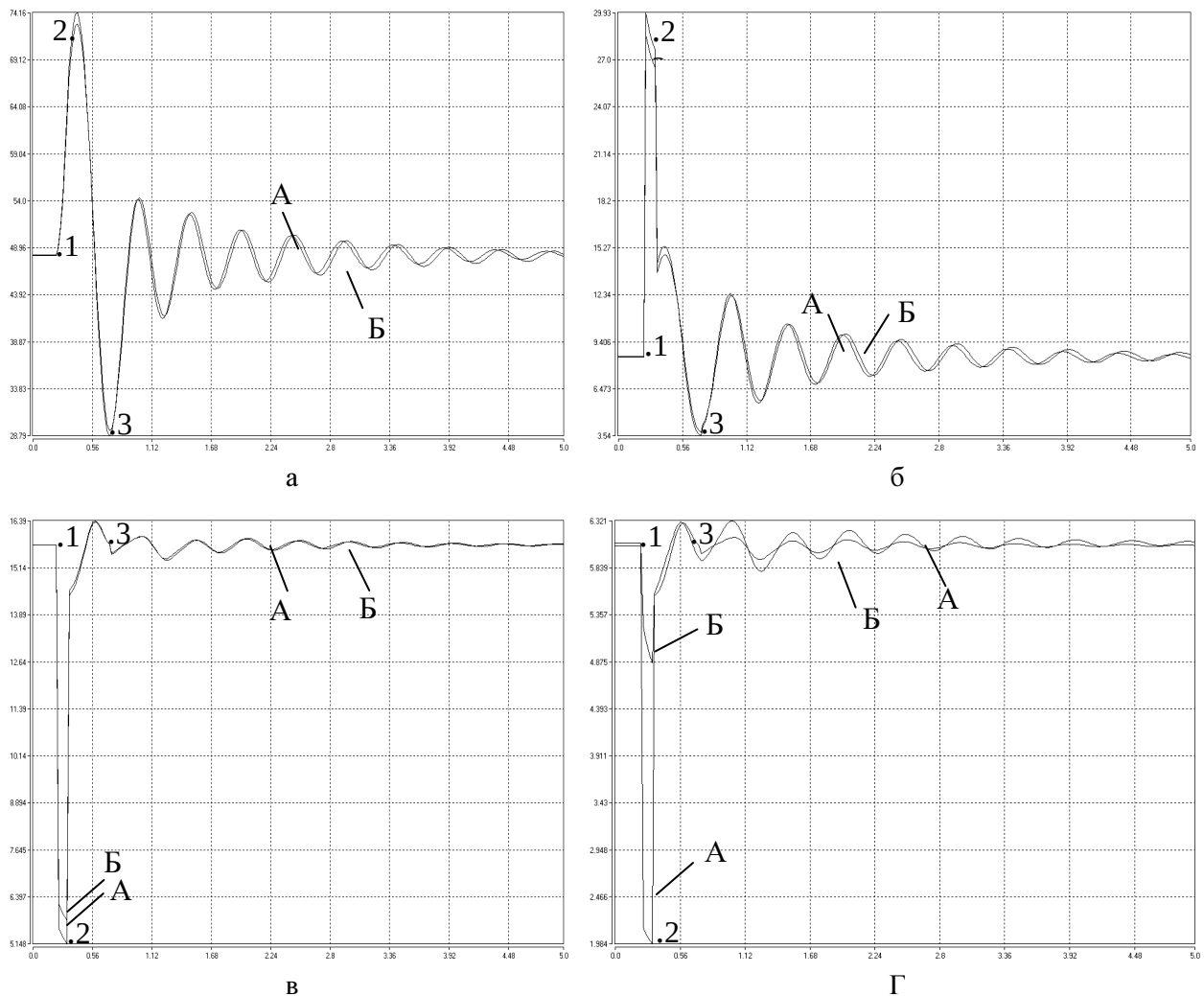


Рис. 3. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час розрахункового збурення № 2:
а – кути вибігу роторів генераторів; б – струми статорів генераторів;
в – напруги генераторів; г – напруги на шинах власних потреб

Розрахункове збурення № 3. Умови: відмінність від умов розрахункового збурення № 2 полягає у тому, що КЗ на початку кола Л₁ лінії Л під час паузи АПВ не зникло, внаслідок чого АПВ цього кола в момент часу $t_3=0,7$ с неуспішне і пристрій РЗ повторно вимикає це коло з витримкою часу 0,1 с в момент часу $t_4=0,8$ с, тобто тривалість повторного режиму КЗ становить $\Delta t_{k2}=0,1$ с.

Аналіз результатів обчислень, зображених на рис. 3, показав, що електромеханічні процеси в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) і в традиційній схемі (рис. 1, а) мають, переважно, ті самі характерні особливості, що й під час успішного АПВ (розрахункове збурення № 2), окрім такого:

- розмах коливань кута вибігу ротора генератора після неуспішного АПВ та повторного вимкнення КЗ на колі Л₁ лінії Л є більшим, ніж після успішного АПВ (рис. 4, а та рис. 3, а відповідно);
- максимальні значення струмів статорів генераторів після неуспішного АПВ є практично того самого порядку, що й під час виникнення КЗ (рис. 4, б);
- зменшення напруги на шинах генераторів після неуспішного АПВ практично таке саме, як і під час виникнення КЗ (рис. 4, в);
- напруга на шинах ВП після неуспішного АПВ та вимкнення КЗ змінюється практично подібно до зміни після успішного АПВ (рис. 4, г);
- після неуспішного АПВ та вимкнення КЗ координати режиму (рис. 3) прямують до їх значень при вимкненому колі Л₁ лінії Л (рис. 2).

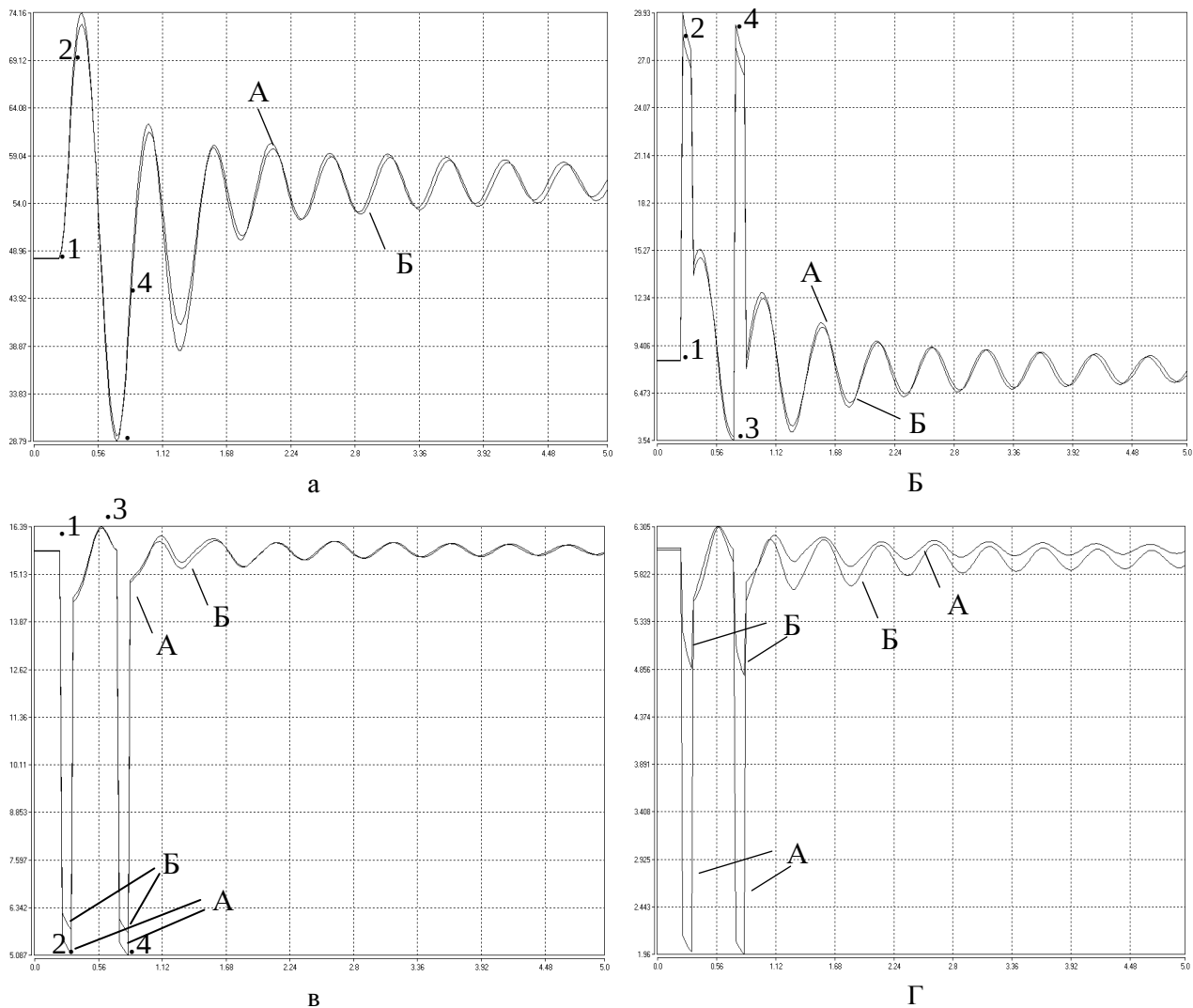


Рис. 4. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час розрахункового збурення № 3:

а – кути вибігу роторів генераторів; б – струми статорів генераторів;
в – напруги генераторів; г – напруги на шинах власних потреб

Розрахункове збурення № 4. Умови: в момент часу $t_1=0,2$ с на початку кола Л₁ лінії Л виникає трифазне КЗ; через відмову вимикачів цього кола діє пристрій РВВ, який забезпечує вимикання КЗ в момент часу $t_2=0,7$ с, тобто тривалість режиму трифазного КЗ становить $\Delta t_k=t_2-t_1=0,7-0,2=0,5$ с. Припущення: обмеження щодо тривалості асинхронного режиму генераторів відсутні.

Аналіз результатів обчислень, зображених на рис. 5, показав, що електромеханічні процеси характеризуються такими основними особливостями:

- через 0,2 с після виникнення КЗ в обох схемах генератори випадають з синхронізму і виникає асинхронний режим, який продовжується і після вимкнення кола Л₁ з КЗ пристроєм РВВ та триває загалом орієнтовно 3 с, після чого генератори втягуються в синхронний режим з системою, тобто результуюча стійкість зберігається в обох схемах, але, при цьому, в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) відновлення синхронного режиму генератора відбувається швидше (рис. 5, а);
- максимальні значення струму генератора в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) під час асинхронного режиму є дещо нижчими (рис. 5, б), що пояснюється впливом опору навантаження ВП, який через ДРТВП частково вноситься в коло між генератором і місцем КЗ;
- рівень напруги на шинах генератора в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) під час асинхронного режиму є вищим (рис. 5, в) внаслідок меншого струму генератора;

- рівень напруги на шинах ВП в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) під час асинхронного режиму є вищим за мінімально допустиме значення $0,7 U_{ВП\text{ ном}} = 4,2 \text{ кВ}$ і є значно вищим від рівня напруги в схемі рис. 1, а, в якій напруга на шинах ВП неодноразово стає в кілька разів меншою за мінімально допустиме значення (рис. 5, г).

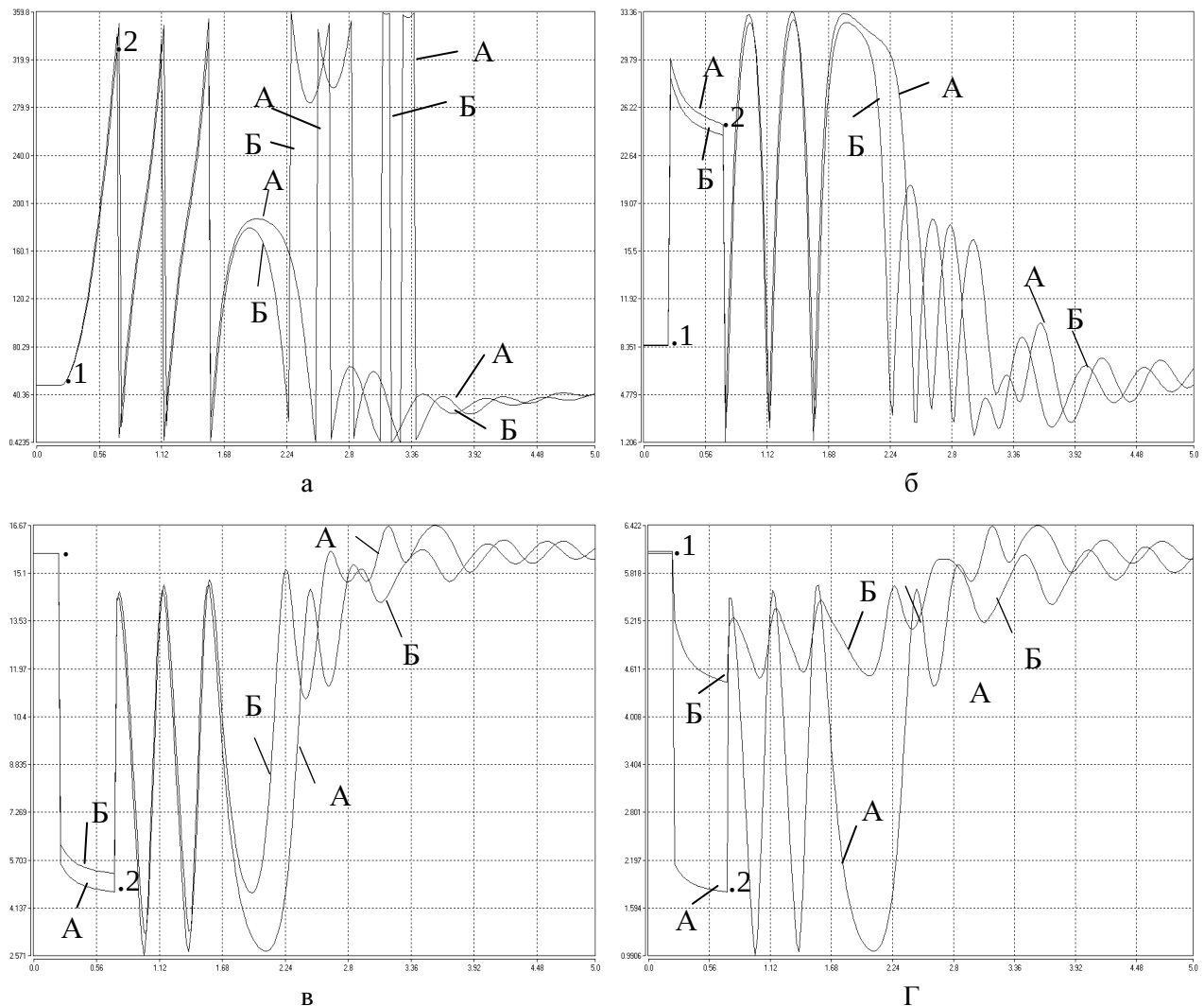


Рис. 5. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час розрахункового збурення № 4:
 а – кути вибігу роторів генераторів; б – струми статорів генераторів;
 в – напруги генераторів; г – напруги на шинах власних потреб

Отже, електромеханічні процеси в схемі з ДРТВП (рис. 1, б) порівняно з традиційною схемою (рис. 1, а) під час розглянутого розрахункового збурення характеризується кращою результуючою стійкістю та вищою за рівнем напруги надійністю живлення електроприймачів власних потреб.

Висновки. Електромеханічні процеси в схемі з ДРТВП порівняно з традиційною схемою характеризуються меншими кутами вибігу ротора генератора, меншими максимальними значеннями струмів статора генератора під час КЗ, вищим рівнем напруги на шинах генератора під час КЗ, швидшим відновленням синхронного режиму генератора та, що особливо важливо, рівнем напруги на шинах ВП не нижчим за критичне для електроприймачів ВП значенням. Усе це свідчить, що за динамічною і результуючою стійкістю режимів та рівнів напруги на шинах ВП схема з ДРТВП має кращі властивості порівняно з традиційною схемою електричної частини енергоблоків.

1. Пат. 39640 А. Система електропостачання власних потреб енергоблоку електростанції / Г.М. Лисяк, А.А. Маліновський, Л.О. Никонець. – 2001. – Бюл. № 5. 2. Лисяк Г.М., Коновал В.С.,

Пастух О.Р. Статична стійкість режимів енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2006. – № 563. – С. 56–64. 3. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. – К.: ОЕП "ГРІФРЕ", 2002. – 23 с. 4. Букович Н.В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем: Навч. посібник. – Львів: Бескид. Біт, 2003. – 224 с. 5. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Еришевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с. 6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с. 7. Скрипник О.І. ДАКАР – обчислювальний комплекс аналізу режимів і процесів електроенергетичних систем // Технічна електродинаміка. – 1998. – Спец. вип. – С. 56–61.

УДК 519.6, 621.365

В.В. Лізанець

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ЕАП

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТІВ ФОРМИ СТРУМІВ ДУГ ДСП НА ОСНОВІ ШВИДКОГО WAVELET-ПЕРЕТВОРЕННЯ

© Лізанець В.В., 2007

Обґрунтовано використання швидкого wavelet-перетворення для аналізу форми струмів дуг дугової сталеплавильної печі. Наведено алгоритм розрахунку коефіцієнтів форми струмів дуг на основі швидкого wavelet-перетворення з використанням їх як інформативні параметри в системі автоматизованого розпізнавання технологічних стадій плавлення в дуговій сталеплавильній печі.

The use of rapid wavelet-transformation is grounded for the analysis of form of currents of arcs of arc steel-smelting stove. The algorithm of calculation of coefficients of form of currents of arcs is resulted on the basis of rapid wavelet-transformation from the use of them as informing parameters in the system of the automated recognition of technological stages of melting in an arc steel-smelting stove.

Постановка проблеми. Для задачі ідентифікації технологічних стадій плавлення в дуговій сталеплавильній печі важливим є отримання точної та оперативної інформації про зміну форми струмів дуг у кожній фазі. Важливість останнього диктується необхідністю точної ідентифікації стадій плавлення та моментів їх зміни для оперативної зміни електричних та технологічних керуючих впливів по ходу фізико-хімічних перетворень шихти та розплаву, що відчутно впливає на собівартість електросталей, ресурс печі, вплив печі на електромережу та на якість виплавленої сталі [1].

Аналіз останніх досліджень. Для опосередкованої оцінки технологічної стадії плавлення в ДСП як правило використовують такі інформативні параметри, як величину спожитої енергії, величину теплового потоку через водоохолоджувальне склепіння печі, температуру шихти, параметри шуму та вібрації технологічного обладнання, параметри форми кривої струмів та напруг дуг та їх обвідної у кожній фазі печі. Але із наведених характеристик (інформативних параметрів), які найповніше відображають фізико-хімічні перетворення у плавильному просторі печі, і опосередковано віддзеркалюють технологічні стадії, потрібно відзначити інформативні параметри форми кривої струмів дуг у кожній фазі.