

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДИНАМІЧНИМ МЕТОДОМ

Коновал В.С., Скрипник О.І.

**Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ЕСМ; ТзОВ "ЕЛЕКС"
volkon_big@yahoo.com, soi@eleks.com**

The improved method of analysis of static stability of the modes of power systems is offered by a complex DAKAR.

Методика аналізу статичної стійкості режимів роботи електроенергетичних систем динамічним методом [1] базується на способі вибору малих збурень і аналізу характеру електромеханічних перехідних процесів, які можна сформулювати наступним чином:

1) розрахунковий інтервал розбивається на менші нерівні інтервали. Перший і третій рівні $\frac{1}{4}$ частині розрахункового інтервалу, а другий – його половині;

2) на першому інтервалі не здійснюється аналіз координат режиму. Тут, як правило, згасають вільні складові з малими сталими часу;

3) на другому та третьому інтервалах визначаються максимальні абсолютні значення наступних координат: ковзань роторів усіх генераторів, вихідних сигналів АРЗ;

4) після завершення розрахунку обчислюються декременти згасання для всіх синхронних машин за ковзанням і вихідними сигналами АРЗ як відношення максимальних значень відповідних координат третього інтервалу до їх максимальних значень другого інтервалу.

Як показав досвід експлуатації комплексу ДАКАР [2, 3] та ДАКАР-2002 така методика аналізу статичної стійкості має ряд істотних недоліків. Ця методика призначалась в основному для аналізу статичної стійкості у випадку наявності в розрахунковій моделі енергосистеми балансувального вузла. У випадку відсутності останнього методика визначення декрементів згасання ковзань непридатна через неврахування можливого зміщення умовно-синхронної осі (УСО). Непридатним виявилось також визначення декрементів згасання вихідних сигналів АРЗ у випадку наявності регуляторів збудження пропорційної дії.

Особливості аналізу коливань ковзань роторів синхронних машин у випадку відсутності балансувального вузла. Аналіз електромеханічних коливань роторів синхронних машин для визначення декрементів згасання у випадку відсутності балансувального вузла ($T_j \neq 0$) на відміну від наявності вказаного вузла ($T_j = 0$) помилково проводять відносно будь-якого i -го вузла (наприклад балансувального чи опорного під час розрахунку усталеного режиму). У цьому випадку відсутня можливість аналізу коливань ротора генератора не тільки i -го вузла, а і недопустимо спотворюються коливання роторів решти вузлів генерування коливаннями ротора i -го генератора. Для правильного визначення характеру коливань роторів синхронних машин, як виходить з рівнянь Парка-Горєва, необхідно проводити аналіз цих коливань відносно умовно-синхронної осі. У випадку обертання роторів синхронних машин з номінальною швидкістю ($f=f_{\text{ном}}$) УСО співпадає з початком відліку і її ковзання рівне нулю (рис. 1). У випадку коли $f \neq f_{\text{ном}}$ з'являється ковзання роторів синхронних машин відносно синхронної осі (початку відліку).

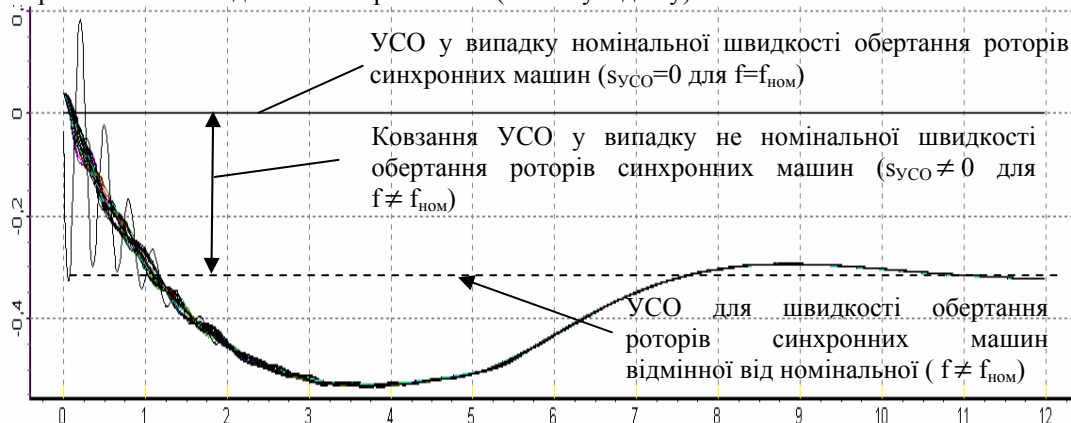


Рисунок 1 - Згасання електромеханічних коливань ковзань генераторів

Якщо зберігається стійка синхронна робота усіх генераторів енергосистеми, то усереднене ковзання усіх машин можна назвати ковзанням умовно-синхронної осі, а усереднене положення усіх роторів відносно початку відліку називають умовно-синхронною віссю.

Як видно з рис. 1 швидкість чи ковзання УСО визначаються після згасання електромеханічних коливань синхронних машин. У процесі розрахунку, особливо на заключному етапі, ковзання УСО з достатньою точністю можна визначити за формулою:

$$s_{УСО} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cdot S_{НОМі}}{\sum_{i=1}^n S_{НОМі}}$$

де s_i - ковзання i -го генератора,

$S_{НОМі}$ – номінальна потужність i -го генератора,

$s_{УСО}$ - ковзання умовно-синхронної осі.

На заключній частині перехідних процесів ковзання УСО у випадку збереження синхронної динамічної стійкості можна визначити за спрощеною формулою:

$$s_{УСО} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}$$

У частковому випадку слід відмітити, що у випадку наявності в розрахунковій схемі i -го балансувального вузла ($T_j = 0$) ковзання умовно-синхронної осі $s_{УСО} = 0$.

Особливості аналізу коливань вихідних сигналів регуляторів збудження синхронних машин.

На відміну від коливань ковзань синхронних машин коливання вихідних сигналів регуляторів збудження відбувається відносно не одної осі, а декількох осей, які визначаються статизмами регуляторів АРЗ по каналам відхилення напруги (рис. 2).

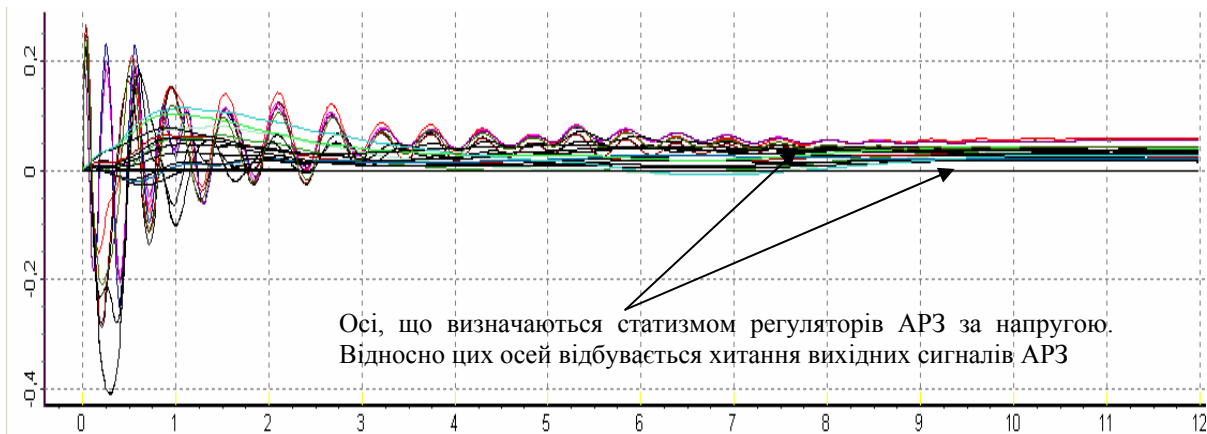


Рисунок 2 - Згасання електромеханічних коливань вихідних сигналів АРЗ

Як видно з рис. 3 та 4 ковзання і вихідні сигнали АРЗ уже в кінці I-ї часової ділянки визначають декременти згасання k_S і k_U значно менше 1. Слід відмітити, що поточні результати розрахунку в ДАКАРі правильно відображають перехідні процеси в генераторах. Однак в результатуючому відображенні ковзань власні коливання усіх генерувальних вузлів повністю спотворюються коливаннями i -го вузла.

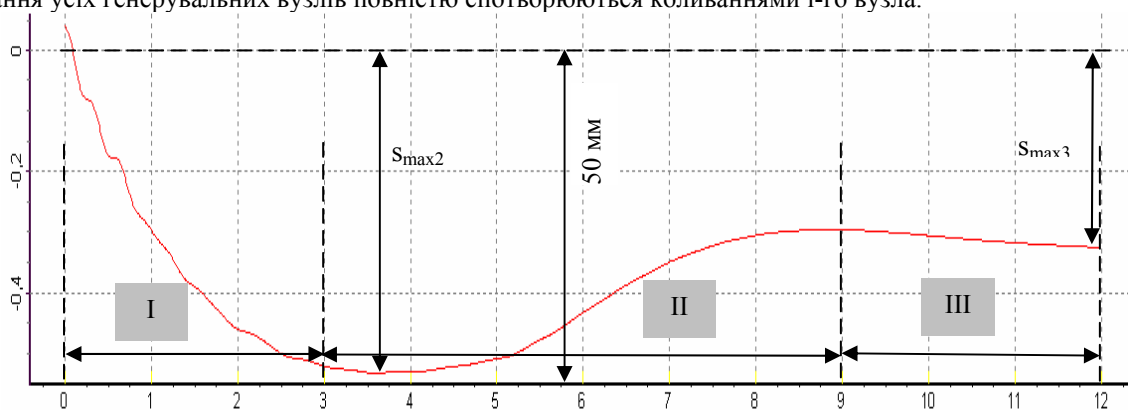


Рисунок 3 - Результати розрахунку ковзань ТЕЦ 5

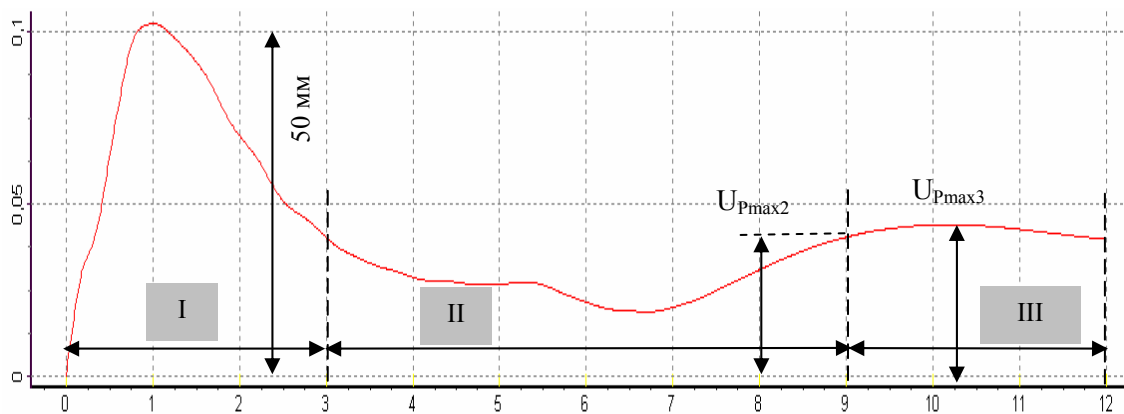


Рисунок 4 - Результати розрахунку вихідного сигналу АРЗ ТЕЦ 3

Визначення декрементів згасання за старою методикою аналізу статичної стійкості.

Виходячи з наведених на рис. 3 та 4 графіків зміни ковзання s та вихідного сигналу регулятора АРЗ U_p на інтервалі $T_p=12$ сек за існуючою методикою декременти згасання повинні бути:

$$k_U = \frac{\max|U_{P3}|}{\max|U_{P2}|} = \frac{22}{20} = 1,1$$

- для ТЕЦ 3 - ;

$$k_S = \frac{\max|s_3|}{\max|s_2|} = \frac{29}{48} = 0,6.$$

- для ТЕЦ 5 -

Слід також відмітити, що завищені декременти згасання для ковзання та вихідного сигналу регулятора АРЗ пов'язані з неврахуванням зміщення умовно-синхронної осі, а також статизму регуляторів АРЗ.

Удосконалена методика аналізу статичної стійкості динамічним методом

Пропонується удосконалення існуючої методики аналізу статичної стійкості динамічним методом, яка враховує особливості протікання перехідних процесів у випадку відсутності балансувального вузла і наявності статизму за напругою в регуляторах АРЗ. Вказана методика базується на таких положеннях:

1) Аналіз згасання ковзань роторів синхронних машин здійснюється по відношенню до умовно-синхронної осі. Декременти згасання вихідних сигналів регуляторів АРЗ k_U визначаються з врахуванням статизму вказаних регуляторів.

2) Для визначення ковзання умовно-синхронної осі, а також статизму регуляторів збудження використовуємо значення цих величин на останній секунді розрахунку (умовно четвертий інтервал). Це основна особливість удосконаленої методики.

3) Під час розрахунку перехідного процесу на другому, третьому та четвертому інтервалах запам'ятовуються мінімальні та максимальні значення ковзань ($\min s_i^{\text{II}}, \max s_i^{\text{II}}, \min s_i^{\text{III}}, \max s_i^{\text{III}}, \min s_i^{\text{IV}}, \max s_i^{\text{IV}}$) і вихідних сигналів регуляторів ($\min U_p^{\text{II}}, \max U_p^{\text{II}}, \min U_p^{\text{III}}, \max U_p^{\text{III}}, \min U_p^{\text{IV}}, \max U_p^{\text{IV}}$) усіх синхронних машин для кожного інтервалу.

4) Після закінчення розрахунку визначається ковзання умовно-синхронної осі за даними четвертого інтервалу як

$$s_{\text{УСО}}^{\text{IVcp}} = \frac{\max s_i^{\text{IV}} + \min s_i^{\text{IV}}}{2}.$$

Приклад аналізу коливної статичної стійкості удосконаленим динамічним методом

Як приклад, розглянемо аналіз статичної стійкості синхронних генераторів однієї з реальних енергосистем. Розрахункова схема включає 354 вузли, 568 віток і 54 генерувальних станцій з регуляторами АРЗ. В цій розрахунковій схемі балансувальний вузол відсутній. Навантаження задаються статичними і динамічними характеристиками. Синхронні генератори представлені спрощеними рівняннями Парка-Горєва, які враховують по одному демпферному контуру в кожній з осей.

На рис. 5 представлено графік змін ковзання синхронного генератора. Наведені перехідні процеси викликані спеціальними збуреннями [1] в початкових умовах диференційних рівнянь синхронних машин.

Визначення і аналіз декрементів згасання ковзань та вихідних сигналів АРЗ розглянемо на прикладі генераторів станцій ТЕЦ 5 і ТЕЦ 3.

Визначення та аналіз декрементів згасання ковзань генераторів

1. Після закінчення розрахунку визначаємо ковзання УСО за даними четвертого інтервалу як

$$s_{\text{УСО}}^{\text{IVcp}} = \frac{\max s_i^{\text{IV}} + \min s_i^{\text{IV}}}{2} = \frac{-58,0 + (-59,0)}{2} = -58,5.$$

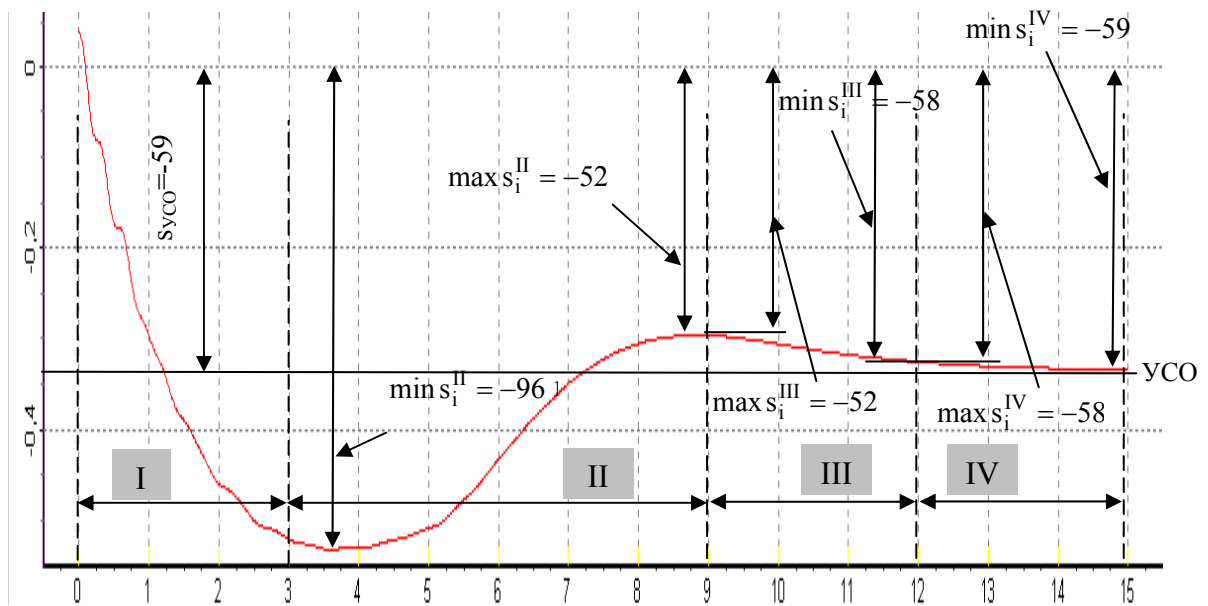


Рисунок 5 - Графік зміни ковзань генераторів для визначення декрементів згасання k_s

2. Визначаємо на II-ій ділянці мінімальні і максимальні відхилення ковзань s_i^{II} від ковзання УСО

$$\max \Delta s_i^{II-III} = -52,0 - (-55,0) = 3,0 ;$$

$$\min \Delta s_i^{II-III} = -96,0 - (-55,0) = -41,0 .$$

3. Визначаємо на II-ій ділянці модулі максимальних відхилень ковзань від середнього значення

$$\max |\Delta s_i^{II-III}| = 41,0 .$$

4. Визначаємо на III-ій ділянці максимальні й мінімальні відхилення ковзань s_i^{III} від ковзання УСО

$$\max \Delta s_i^{III} = -52,0 - (-55,0) = 3,0 ;$$

$$\min \Delta s_i^{III} = -58,0 - (-55,0) = -3,0 .$$

5. Визначаємо на III-ій ділянці модулі максимальних відхилень ковзань s_i^{III} від середнього значення:

$$\max |\Delta s_i^{III}| = 3,0 .$$

6. Визначаємо декременти згасання ковзань на III-ій ділянці

$$k_{si}^{III} = \frac{\max |\Delta s_i^{III}|}{\max |\Delta s_i^{II-III}|} = \frac{3,0}{41,0} = 0,075 .$$

Висновки.

1. Існуюча методика аналізу статичної стійкості дає помилкові значення декрементів згасання у випадку відсутності балансувального вузла і значного ковзання умовно-синхронної осі (УСО), а також у випадку невеликих коефіцієнтів посилення регуляторів збудження.

2. Запропоновано удосконалення методики аналізу статичної стійкості динамічним методом, яка враховує особливості протікання перехідних процесів у випадку відсутності балансувального вузла і наявності статизму за напругою в регуляторах АРЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скрипник О.І. Аналіз статичної стійкості енергетичних систем. Фізичний збірник НТШ, т. 3. – 1998. – С. 464-477.
2. Скрипник О.І. ДАКАР – обчислювальний комплекс аналізу режимів і процесів електроенергетичних систем // Технічна електродинаміка. – 1998. – Спец. вип. – С. 56-61.
3. Баран П.М., Коновал В.С., Скрипник О.І., Скрипник О.О. Принципи побудови режимного навчально-тренувального комплексу ДАКАР. - Вісник ДУ "Львівська політехніка".- 1997.- №301 /"Електроенергетичні та електромеханічні системи". – С. 61 – 68.

Рекомендовано д.т.н. Заболотним І.П.