

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТУЖНОСТІ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ  
НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ ПЕРЕТИНІВ ОЕС УКРАЇНИ**

Л.М.Лук'яненко, канд.техн.наук  
Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,  
e-mail: [lukianenko.lukian@gmail.com](mailto:lukianenko.lukian@gmail.com)

*Представлено стислий аналіз одного із основних обмежень пропускної здатності перетинів в ОЕС України. Розглянуто основні підходи до врахування характеристик потужності синхронних генераторів (СГ) при розрахунках пропускної здатності контрольованих перетинів. На прикладі показано вплив характеристик потужності СГ з та без врахуванням їхньої залежності від напруги на величину допустимого перетоку потужності в перетині. Бібл. 4, рис. 1.*

**Ключові слова:** енергосистема, стійкість за напругою, перетоки потужності, запаси зі статичної стійкості.

Дослідження умов втрати стійкості за напругою є найбільш актуальною задачею для електроенергетичних систем (ЕЕС) більшості країн, зокрема, і для об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Для останньої характерною ознакою є обмеження пропускної здатності ліній/перетинів через неможливість забезпечення задовільних рівнів напруги та достатніх резервів за реактивною потужністю. На сьогодні, для ОЕС України основним чинником щодо обмеження пропускної здатності перетинів ОЕС України в аспекті забезпечення статичної стійкості є стійкість за напругою [2] (питання обмеження пропускної здатності перетинів за умовами втрати динамічної стійкості в даній роботі не розглядалися).

Основною причиною неконтрольованого зменшення напруги та втрати стійкості за напругою є нездатність ЕЕС підтримувати в кожний момент часу баланс реактивних потужностей на окремій системі шин (СШ) або в окремій зоні ЕЕС після виникнення збурення. З цієї точки зору питання забезпечення стійкості за напругою передбачає вирішення таких задач:

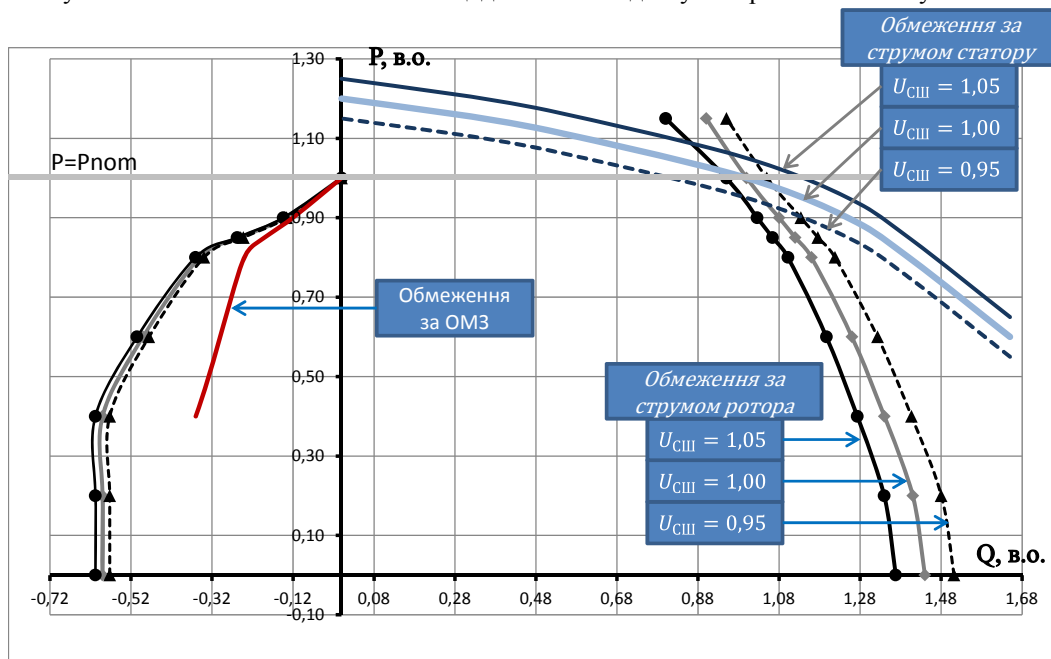
- забезпечення достатніх резервів реактивної потужності;
- забезпечення допустимих рівнів напруги;
- підтримка нормативних запасів зі статичної стійкості за напругою.

На даний час основні засоби генерування реактивної потужності та підтримання необхідних резервів в ОЕС України за відсутності мережевих засобів компенсації сконцентровані на електростанціях [3]. При цьому слід мати на увазі, що ТЕЦ переважно працюють з фіксованим коефіцієнтом потужності  $i$ , таким чином, не можуть бути регульованим джерелом реактивної потужності. Також, в ОЕС України більшість ЛЕП експлуатуються в режимах, що мають величину потужності меншу від натуральної, тобто вони є джерелами реактивної потужності. Проте їх також не можна вважати надійними і головне регульованими джерелами реактивної потужності. Кількість батарей статичних конденсаторів, які, як правило, регулюють  $\cos\varphi$ , а не напругу та працюючих синхронних компенсаторів в ОЕС України надто мала. Таким чином, на сьогодні єдиним регульованим джерелом реактивної потужності в ОЕС України є синхронні генератори (СГ). При цьому величина зони регулювання реактивної потужності визначається їхніми експлуатаційними характеристиками.

Враховуючи сказане, можна стверджувати, що точне і адекватне моделювання режимів роботи синхронних генераторів є необхідною умовою визначення реалістичних значень пропускної здатності більшості перетинів. Мова йде про адекватне врахування діапазонів роботи СГ за реактивною потужністю. Тому питання використання коректних моделей СГ, особливо з урахуванням їхніх залежностей від поточного завантаження за активною потужністю та напруги на генераторних шинах, набуває особливої актуальності при дослідженні області існування режимів. Все це дозволить уточнити значення пропускної здатності ліній/перетинів, а розрахунки наблизити до реальних значень з урахуванням обмежень за станом існуючого обладнання та його режимами роботи. З іншого боку, про врахування вказаних характеристик потужності СГ йде мова і у нових вимогах щодо визначення стійкості енергосистем [4], зокрема у п. 9.2.2. На жаль, більшість вітчизняних програмних комплексів, що застосовуються для розрахунку граничних перетоків, не враховують вказані залежності при виконанні об'єкту режимів роботи ЕЕС.

У цілому, існує декілька способів врахування обмежень щодо реактивної потужності СГ при моделюванні [1]. Одним із найбільш поширених на практиці є підхід, пов'язаний із заданням СГ за допомогою характеристик  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$ ,  $U_{\text{уст}}$  (мінімальна, максимальна реактивні потужності та уставка за напругою на контрольних СШ). Цей спосіб використовується в більшості вітчизняних програм розрахунку ustalених режимів (УР) та статичної стійкості. Основним недоліком такого способу є припущення, що  $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$  не залежать ні від активної потужності генератора, ні від  $U_{\text{СШ}}$  (напруги на шинах генератора). Проте, це не в повній мірі відповідає дійс-

ності і їхнє використання може суттєво впливати на результати розрахунку. На рисунку представлено типову характеристику СГ з нанесеними обмеженнями щодо величини доступної реактивної потужності.



Аналіз цих залежностей дозволяє зробити висновок, що  $Q_{\max}$  досить суттєво залежить від завантаження СГ за активною потужністю і від напруги на генераторних шинах. Залежність  $Q_{\min}$  від напруги проявляється досить слабо, тому неврахування цієї залежності при розв'язанні даної задачі, як правило, не призводить до суттєвого зменшення точності розрахунку.

Іншим важливим аспектом коректного моделювання СГ є врахування дії захистів, зокрема, величини уставки щодо обмеження мінімального збудження (ОМЗ) генератора. При досягненні заданої уставки захист виводить з роботи (блокує) систему автоматичного регулювання збудження (АРЗ) та стабілізує струм збудження на мінімальному рівні. Як видно з рисунку, ОМЗ накладає більш жорсткі обмеження на споживання реактивної потужності СГ ніж інші чинники. Таким чином, наявний резерв регулювання реактивної потужності на СГ і його точне врахування має виключне значення для розрахунку пропускної здатності перетинів.

З урахуванням наведеного підходу, як приклад, було проведено розрахункові дослідження граничних режимів роботи перетину «Южноукраїнська АЕС–Вінниця» в різних комбінаціях (див. таблицю):

1. Базовий режим, що відповідає поточній практиці розрахунку пропускної здатності перетинів.
2. Режим з врахуванням PQ характеристик СГ (без врахування їхньої залежності від напруги).
3. Режим з врахуванням залежностей PQ характеристик СГ від напруги.

Слід зазначити, що початковий перетік потужності (до обважнення) в нормальній схемі становив 3149 МВт, а в ремонтній схемі – 3229 МВт.

Комбінації умов врахування характеристик СГ	Нормальна схема роботи ЕС			Ремонтна схема (вимкнення ПЛ 330 кВ «Аджалик-Усаого»)		
	Граничний перетік, МВт	МДП (зап. 20%) МВт	Зміна Pгр. перетину від баз. реж., МВт	Граничний перетік, МВт	АДП (зап. 8%) МВт	Зміна P перетину від баз. реж., МВт
Базовий режим	4669	3735	-	3688	3393	-
PQ(P)	4620	3696	-49	3465	3188	-223
PQ(P,U)	4619	3695	-50	3497	3217	-191

Всі розрахунки виконувались в ПЗ PowerFactory.

Так, на підставі аналізу пропускної здатності обраного перетину (таблиця) для нормальної схеми ЕЕС можна зробити висновок, що PQ-характеристики (з/без урахуванням їхніх залежностей від напруги) мають не-

значний вплив на пропускну здатність перетину, оскільки СГ ще не вийшли на межу регулювання реактивної потужності. Аналіз ремонтної схеми показав, що вплив PQ-характеристик СГ у даному випадку носить визначальний характер, бо саме в ремонтних схемах найчастіше виникає значний дефіцит реактивної потужності і може порушуватись стійкість за напругою.

Представлені результати показали, що різниця між величиною аварійно допустимої потужності (3393 МВт) та поточним перетоком (3229 МВт) для ремонтної схеми при використанні «традиційних» підходів складає 129 МВт. Розрахунок цього ж ремонтного режиму, але уже з врахуванням PQ-характеристик показав, що режим виходить за межі аварійно допустимого значення, і існує ймовірність втрати стійкості системи. В той же час оперативний персонал (який керується «спрощеними» розрахунками) цього не зможе визначити.

**Висновки.** Стійкість за напругою є основним обмеженням пропускну здатності більшості перетинів в ОЕС України. При цьому, враховуючи, що синхронні генератори є основними регульованими джерелами реактивної потужності в ОЕС України, для коректного визначення пропускну здатності перетинів необхідно при моделюванні використовувати максимально точне представлення їхніх характеристик, зокрема, щодо резервів за реактивною потужністю. Неврахування PQ-характеристик та їхніх залежностей від напруги можуть призвести до ситуації, коли оперативний персонал буде хибно представляти плинну ситуацію і може виникнути небезпека втрати стійкості при керуванні режимами ОЕС України.

1. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окін А.А. Расчет устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.

2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Зорін Є.В. Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою // Технічна електродинаміка. – 2010. – №3. – С. 59–66.

3. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Оцінка резервів реактивної потужності в ОЕС України з урахуванням проблеми забезпечення стійкості за напругою // Техн. електродинаміка. Тем. випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2010. – Ч. 3. – с. 53-56.

4. Розрахунок граничних режимів роботи енергосистем з урахуванням вимог СОУ-Н МЕВ 40.1-00100227-68:2012 «Стійкість енергосистем. Керівні вказівки».

УДК 621.311.

## АНАЛІЗ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОСТИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ СЕЧЕНИЙ ОЭС УКРАИНЫ

Л.Н.Лукьяненко, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

E-mail: [lukianenko.lukian@gmail.com](mailto:lukianenko.lukian@gmail.com)

*Представлен краткий анализ одного из основных ограничений пропускной способности сечений в ОЭС Украины. Рассмотрены основные подходы к учету характеристик мощности синхронных генераторов (СГ) при расчетах пропускной способности контролируемых сечений. На примере показано влияние характеристик мощности СГ (с и без учета их зависимости от напряжения) на величину допустимого перетока мощности по сечению. Библи. 4, рис. 1. **Ключевые слова:** энергосистема, устойчивость по напряжению, перетоки мощности, запасы по статической устойчивости.*

## ANALYSIS OF IMPACT PQ CHARACTERISTICS OF SYNCHRONOUS GENERATORS ON TOTAL TRANSFER CAPACITY OF INTERFACES IN IPS OF UKRAINE

L.Lukianenko

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

E-mail: [lukianenko.lukian@gmail.com](mailto:lukianenko.lukian@gmail.com)

*In the paper, one of main limitations of total transfer capacity (TTC) of interfaces in IPS of Ukraine were briefly analysed. Also general approaches how to take into account the PQ characteristics of synchronous generators (SG) during the calculation TTC of controlled interfaces were considered. As example, the impact PQ characteristics of SG (with and without consideration them voltage dependence) on TTC of one interface was calculated. References 4, figure 1.*

**Keywords:** power system, voltage stability, loadflows, total transfer capacity.

1. Gurevych Ju., Libova L., Okin A. Calculating Stability and Emergency Automation in power systems. – Moskva: Energoatomizdat, 1990. – 390 p. (Rus)

2. Kyrylenko O., Pavlovsky V., Lukianenko L., Zorin Ye. Analysis of voltage stability of power systems // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2010. – №3. – Pp. 59–66. (Ukr)

3. Kyrylenko O., Pavlovsky V., Lukianenko L. Evaluation of reactive power reserves in IPS of Ukraine considering the problem of voltage stability // Tekhnichna Elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2010. –Vol. 3. – Pp. 53–56. (Ukr)

4. Industry Guidance Documents COU-Н МЕВ 40.1-00100227-68:2012. Power system Stability. The guidelines. – Kyiv. (Ukr)

Надійшла 17.02.2014