

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ З УСТАНОВКАМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

© Турковський В.Г., Олійник М.Й., 2007

**Наведено результати досліджень коливань напруги в мережах електропостачання установок з різкозмінним навантаженням та показано можливість зменшення негативного електромагнітного впливу за допомогою установки стабілізації параметрів режиму.**

**There represented results researching of voltage fluctuation in power supply network with quick varying load and possibility of decreasing the negative influence of alternating current steel-melting arc-furnace by stabilizing regime characteristics device.**

**Постановка проблеми.** Установки з динамічним режимом роботи, зокрема, дугові сталеплавильні печі змінного струму (ДСП), чинять негативний електромагнітний вплив на електропостачальні мережі, що проявляється у виникненні коливань, несиметрії та несинусоїдності напруги. Визначальною, здебільшого, є проблема коливань напруги, вирішення якої, за збереження традиційної структури схеми електропостачання, часто не вдається досягти прийнятними засобами, що накладає технічні обмеження на використання печей великої місткості [1] та спричиняє спроби взагалі відмовитися від їх застосування. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто за рахунок застосування установок стабілізації параметрів режиму (УСПР), виконаних на основі індуктивно-ємнісних перетворювачів [2, 3], які дозволяють зняти обмеження на використання ДСП, зокрема й надпотужних.

**Задача досліджень.** Визначити кількісні характеристики коливань напруги в електропостачальних мережах з різкозмінним навантаженням за використання УСПР з електромагнітним зв'язком реактивних елементів за різних параметрів схеми, зокрема, значення реактансу навантаження, схеми приєднання до мережі тощо, для визначення раціональної сфери застосування схеми.

**Аналіз останніх досліджень.** Основний акцент у питанні обґрунтування доцільності використання систем стабілізованого струму для живлення динамічного навантаження скерований на оптимізацію техніко-економічних характеристик схем [2, 3, 6]. В [7] розроблений підхід до визначення показників якості електроенергії в мережах з динамічним навантаженням, однак кількісні характеристики є ще недостатньо напрацьованими.

**Виклад основного матеріалу.** Для зменшення негативного електромагнітного впливу на мережу електроустановок з нестационарним режимом роботи можуть використовуватись установки УСПР з гальванічним [2] або електромагнітним зв'язком реактивних елементів [4]. Схема з'єднання основних елементів УСПР з електромагнітним зв'язком, показана на рисунку, складається зі стабілізуювальних реактора  $R$  та конденсаторної батареї КБ, увімкнених між шинами системи  $S$  і відповідними обмотками вищої напруги пічного трансформаторного агрегату ТА, який має дві первинні та одну вторинну обмотки. Навантаження приєднано до вторинної обмотки ТА. Для створення необхідних зовнішніх характеристик схеми призначений елемент формування характеристик ЕФХ, що являє собою нелінійні індуктивність або активний опір, напівпровідниковий елемент чи їх комбінацію.

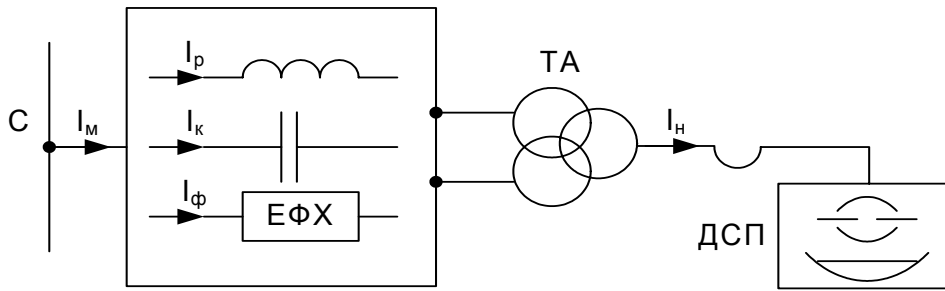


Схема електропостачання ДСП з установкою стабілізації режимів

Умовою жорсткої стабілізації струму для довільних схем індуктивно-ємнісних перетворювачів, згідно з теоремою Нортон, є рівність нулю вхідної провідності схеми відносно виводів кола навантаження, що виконується за вибору опорів реактивних елементів з умови резонансу. При цьому для схем УСПР з електромагнітним зв'язком реактивних елементів умова щодо провідності виконується відносно вихідного кола й не виконується для вхідного. Тому ця схема у загальному випадку (за неоднакових первинних обмоток ТА) сприймається мережею як схема з різними за значенням опором реактора й конденсаторної батареї, а схема з гальванічним – з однаковими. Враховуючи це, схеми чинитимуть різний вплив на мережу живлення.

Позаяк визначальною характеристикою електромагнітного впливу ДСП є коливання напруги, визначимо розмах зміни напруги  $\delta U_t^*$  у мережах з УСПР, який можна розраховувати з рівняння

$$\delta U_t^* = \delta P^* \cdot r_c^* + \delta Q^* \cdot x_c^* \quad (1)$$

де  $\delta P^*$ ,  $\delta Q^*$  – розмах зміни споживання активної й реактивної потужності виражені відносно потужності короткого замикання у точці приєднання навантаження;  $r_c^*$ ,  $x_c^*$  – активний та реактивний опори електропостачальної системи відносно повного опору КЗ.

Враховуючи характеристики промислових електричних мереж, у яких відносний активний опір становить 0,1–0,03, а реактивний є близьким до одиниці, та співвідношення між  $\delta P^*$  і  $\delta Q^*$ , яке є більшим від одиниці, особливо для дугових сталеплавильних печей, легко прийти до висновку, що визначальний вплив на  $\delta U_t^*$  має реактивна складова змін потужності.

Для схеми УСПР з електромагнітним зв'язком за вибору опорів стабілізуювальних елементів з умови резонансу (резонансна схема) потужності  $Q_{ML}^*$ ,  $Q_{MC}^*$ , що надходять з мережі у вітки з реактором й конденсаторною батареєю можуть бути визначені з рівнянь

$$Q_{ML}^* = 1 - K_c \cdot r_n^* \cdot \sin 2\Theta - x_n^* - K_c \cdot x_n^* \cdot \cos 2\Theta \quad (2)$$

$$Q_{MC}^* = K_c^2 + K_c \cdot r_n^* \cdot \sin 2\Theta - K_c^2 \cdot x_n^* - K_c^2 \cdot x_n^* \cdot \cos 2\Theta \quad (3)$$

де  $\Theta$  – кут зсуву фаз між векторами напруги мережі, прикладеними відповідно до реактора й конденсаторної батареї;  $r_n^*$ ,  $x_n^*$  – активний і реактивний опори контуру навантаження, зведені до первинної обмотки ТА з числом витків  $W_L$  та виражені відносно опору реактора;  $K_c = W_c / W_L$  – коефіцієнт трансформації обмотки ТА з конденсаторною батареєю.

Як видно, значення цих реактивних потужностей зі зміною активного опору навантаження теж змінюватимуться, причому чисельні їх значення для вітки реактора й конденсаторної батареї є різними. Однак сума цих потужностей

$$Q_{ML}^* + Q_{MC}^* = 1 - K_c^2 - x_n^* (1 + K_c^2 + 2K_c \cdot \cos 2\Theta) \quad (4)$$

не залежатиме від значення активного опору навантаження. Тому за динамічного навантаження й наявності зміни споживання активної потужності зміни споживання реактивної потужності відсутні.

Отже, за використання резонансної схеми УСПР для живлення різкозмінного навантаження коливання напруги в мережі будуть визначатись лише змінами споживання активного навантаження й матимуть мінімальні значення. Так за відносної потужності короткого замикання системи (до потужності ТА), що дорівнює 100, розмах зміни напруги становитиме 0,04 %; за 50 – 0,09 %, а 30 – 0,17 %.

Перспективним напрямом підвищення електромагнітної сумісності для різкозмінного навантаження є використання нерезонансних схем УСПР, у яких наведені опори стабілізуювальних реактивних елементів можуть відрізнятись у 3–5 разів. У таких схемах споживання реактивної потужності з мережі буде, а значить на коливання напруги впливатиме й друга складова у рівнянні (1).

Проведеними дослідженнями визначено розмах зміни реактивної потужності мережі для різних значень реактансу навантаження, кута  $\Theta$ , опору стабілізуювальної конденсаторної батареї та розраховано відповідний розмах зміни напруги (див. таблицю).

**Розмах зміни напруги в схемах з УСПРЕ, %**

Відносний реактанс нав.	Знач. $\theta$	Значення відносного опору конденсаторної батареї									
		0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4
0	0	1,352	0,736	0,279	0,074	0,379	0,632	0,868	1,088	1,298	1,459
	15	1,375	0,758	0,279	0,085	0,397	0,678	0,928	1,178	-	-
	30	-	0,855	0,279	0,186	0,684	1,029	1,294	-	-	-
	45	-	1,094	0,279	0,395	0,910	1,329	-	-	-	-
	60	-	-	0,279	0,898	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	0,279	-	-	-	-	-	-	-
0,8	0	-	1,397	0,289	0,263	0,614	0,851	1,049	1,193	1,328	1,436
	15	-	1,401	0,289	0,271	0,627	0,871	1,067	1,215	1,350	1,462
	30	-	1,453	0,289	0,292	0,665	0,926	1,140	1,419	-	-
	45	-	-	0,288	0,416	1,006	1,404	-	-	-	-
	60	-	-	0,285	0,787	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	0,282	-	-	-	-	-	-	-
1,6	0	-	-	0,291	0,578	1,014	1,279	1,466	-	-	-
	15	-	-	0,291	0,582	1,018	1,284	1,478	-	-	-
	30	-	-	0,290	0,591	1,035	1,313	-	-	-	-
	45	-	-	0,290	0,623	1,100	1,387	-	-	-	-
	60	-	-	0,289	0,837	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	0,284	-	-	-	-	-	-	-

*Примітка: прочерк у комірках проставлений за розмаху напруги, що перевищує 1,5 %.*

У таблиці наведені значення розмаху зміни напруги в мережі, від якої живиться динамічне навантаження через УСПР. Потужність короткого замикання мережі у 30 разів перевищує потужність трансформаторного агрегату. При розрахунку прийнято, що режим навантаження змінюється від короткого замикання до оптимального за даної сукупності параметрів навантаження, а ТА має однакові первинні обмотки.

З наведених даних видно, що нерезонансні схеми УСПР зберігають властивість обмежувати коливання напруги у мережі. За низки сукупності параметрів схеми коливання напруги в мережі можуть не перевищити 1 %, в той час як за використання традиційних схем живлення вони будуть у три рази більшими.

Отримані результати показують, що відхилення від резонансного настроювання реактивних елементів, як правило, зумовлює зростання коливань напруги, хоч для деяких умов є зменшення. Так для схеми з  $\Theta=0$  та  $x_{\Sigma}^*=1,2$  розмах зміни напруги зменшився з 0,279 до 0,074 %. У варіантах

схем з реактивним опором конденсаторної батареї меншим від одиниці мають місце інтенсивніші коливання напруги, чим у схемах з більшими значеннями  $x_{\Sigma}^*$ . В плані обмеження коливань напруги ефективними є схеми зі значеннями  $x_{\Sigma}^*$ , що не перевищує 2. Ефективніше гасять коливання напруги варіанти схем з меншими значеннями фазового зсуву  $\theta$ . На ступінь зниження коливань впливає також індуктивність навантаження; схеми з меншою індуктивністю є ефективнішими. З даних таблиці видно, що однакові значення  $\delta U_{\Sigma}^*$  можуть бути отримані за різних сукупностей параметрів УСПР – кута зсуву фаз  $\theta$  та ступеня розстроювання резонансу  $x_{\Sigma}^*$ .

**Висновки.** 1. Використання схем УСПР в схемах електропостачання різкозмінного навантаження зумовлює істотне зменшення коливань напруги в живильній мережі, що дозволяє приєднувати такі навантаження у порівняно малопотужних мережах.

2. Для заданих характеристик мережі й споживача може бути забезпечений допустимий (необхідний) рівень коливань напруги шляхом вибору схеми УСПР з відповідною сукупністю її параметрів.

1. Борисов Г.Я., Лоскутов А.Б., Головкин Н.Н. Концепция применения мощных дуговых сталеплавильных печей на мета.предпр // Пром. энергетика. – 1990. – № 11. – С. 19–24. 2. Милях А.Н., Волков И.В. Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. – К.: Наук. думка, 1974. – 216 с. 3. Малиновський А.А. та ін. Результати промислових випробувань установки стабілізації режиму дугових сталеплавильних печей // Доп. 2-ї Міжнар. анук.-практ. конф. “Управління енерговикористанням”. – Львів, 1997. – С. 27–28. 4. А. с. 779993 ССРС. Источник стабилизированного тока / Г.А. Генрих, В.Г. Турковський. – Опубл. в Б.И., 1980. – № 42. 5. Малиновський А.А., Турковський В.Г. Основні вимоги до характеристик устави стабілізації режиму дугових електропечей // Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”. – 1994. – № 279. – С. 75–79. 6. Турковський В.Г., Турковський О.В. Визначення показників якості електроенергії в електропостачальних системах з нестационарним навантаженням // Вісн. Приазовського ДДТУ. – Маріуполь, 2005. – Вип. 15, ч. 2: Енергетика. – С. 118–122.

УДК 697.34

А.А. Малиновський, В.Г. Турковський, А.З. Музичак  
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

## ПОШУК НУЛЬОВОГО НАБЛИЖЕННЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ТЕПЛОПОСТАЧАЛЬНИХ МЕРЕЖ

©Малиновський А.А., Турковський В.Г., Музичак А.З., 2007

**Розглянуто визначення початкового наближення витрат теплоносія у вітках теплової мережі для подальшого розв’язання оптимізаційних задач. Ідея пошуку полягає у використанні допоміжної характеристики, що описує поведінку фізичного об’єкта за нарощування вимушувальних сил.**

**Definition of initial approximation of charges of the heat-carrier in branches of a thermal network for the further decision optimization problems is surveyed. The idea of search consists in use of the auxiliary characteristic which allows to describe behaviour of physical object at escalating compulsory forces.**

**Постановка проблеми.** Сучасний стан систем теплопостачання в Україні характеризується практичною відсутністю спорудження нових мереж теплопостачання, у той же час структура та