УДК 621.316.761.2

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ ТРИФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА В СИЛОВОМУ КОЛІ ДУГОВОЇ ПЕЧІ ПРИ КОЛИВАННЯХ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Анотація. *Горіння дуги печі супроводжується генерацією реактивної потужності і вищих гармонік. Статичні компенсатори не встигають швидко реагувати на різкозмінний режим роботи печі. Новітні досягнення в компенсації неактивної потужності – силові активні фільтри. Синтезована математична модель трифазного силового активного фільтра з дуговою піччю. При дослідженні отримані дані активної, реактивної потужності, коефіцієнту THD струму.*

Ключові слова: *силовий активний фільтр, дугова сталеплавильна піч, ефект флікеру, струм дуги, компенсація реактивної потужності.*

Вступ

Дугові сталеплавильні печі (ДСП) є несиметричними електроспоживачами з нелінійною вольт-амперною характеристикою і різкозмінним струмом. Виплавка сталі в дугових печах при прямому підключенні пічного трансформатора до мережі без компенсуючих пристроїв супроводжується високим споживанням реактивної потужності з системи живлення і значним погіршенням якості електричної енергії практично за всіма показниками. Порушення балансу реактивної потужності в бік дефіциту призводить до негативного відхилення напруги, щодо його номінального рівня. Як відомо, потужність печі має нелінійну залежність від напруги живлення, тому через її зниження погіршуються електричні характеристики самої ДСП [1],

В ДСП дуга горить між електродом і розплавленим металом і працюють вони в циклічному режимі. Цикл роботи печі включає в себе період розплавлення, окислення і доведення (рафінування). Найбільшу потужність ДСП споживає в період розплавлення. У цей період споживається 60-80 % електроенергії, використаної на плавку. Режим роботи в цей період характеризується наявністю частих експлуатаційних коротких замикань, складовими вищих гармонік струму, низьким значенням коефіцієнта потужності і, отже, найбільшим споживанням реактивної потужності. Коливання реактивного навантаження відбуваються в моменти експлуатаційних коротких замикань, викликаючи значні спади рівня напруги в мережі живлення [8].

Зміна навантаження печі відбувається з частотою 1-12 *Гц* і носить характер нерегулярних коливань, пов'язаних з нестійким горінням дуги. Відповідно до особливостей характеристик ДСП коливання реактивної потужності значно перевищують коливання активної потужності [3].

Коливання напруги в мережі живлення більш ніж на 0,5-1 % неприпустимі, так як це негативно позначається на інших споживачах, підключених до даного вузла енергосистеми. Тому при вирішенні питання компенсації реактивної потужності ДСП одночасно доводиться вирішувати проблему ліквідації цих коливань [8].

З цих причин в системах електропостачання потужних електросталеплавильних комплексів встановлюються спеціальні компенсуючі пристрої [1].

За кордоном та в країнах колишнього Радянського Союзу для ДСП набули поширення схеми компенсації реактивної потужності, що передбачають підключення конденсаторів до проміжних обмоток пічних трансформаторів. Ці схеми включення конденсаторів здійснюються на ДСП з метою забезпечення сталості коефіцієнта потужності в різні періоди роботи печі.

Компенсація реактивної потужності конденсаторами в міру зниження напруги з боку низької напруги пічного трансформатора на ДСП повинна відповідати зменшенню споживаної ними при цьому активної та реактивної потужності. При виборі параметрів конденсаторної батареї слід мати на увазі, що в кривій струму може бути до 10-15 % третьої гармонійної складової, що ускладнює умови роботи цих конденсаторних батарей. Також застосування батарей конденсаторів не вирішують питання коливання напруги при роботі ДСП. Застосування типових синхронних компенсаторів по своїй швидкодії також не задовольняють цим вимогам [8].

Використання силових пасивних фільтрів не задовольняють вимогам режиму роботи ДСП, так

© Власенко Р. В., Бялобржеський О. В., 2019

як потребують постійного переналаштування при зміні складових вищих гармонік [1].

Застосування отримали статичні тиристорні компенсатори (СТК), які мають достатню швидкодію для компенсації різкозмінного навантаження і можливість пофазного регулювання для усунення несиметрії напруги. СТК – це пристрій непрямої компенсації реактивної потужності, що складається з двох основних частин: тиристорно-реакторної групи і фільтрокомпенсуючих ланцюгів. Недоліком є те, що фільтрокомпенсуючі ланцюги представляють собою нерегульоване джерело реактивної потужності, їх параметри налаштовані на фільтрацію струмів вищих гармонік, але як відомо режим роботи ДСП має постійно змінюючий спектральний склад. Також тиристорно-реакторна група генерує до мережі складові вищих гармонік та потребує налаштування фільтрокомпенсуючих ланцюгів [1].

Як новітні досягнення в області компенсації неактивних складових потужності для підвищення якості споживання електроенергії трифазних електроспоживачів використовуються силові активні фільтри (САФ) [2], що базуються на основі сучасних силових напівпровідникових приладів (MOSFET, IGBT). Сучасний розвиток мікроелектроніки та розробка цифрових сигнальних процесорів перетворили САФ у високоефективний інструмент, в якому силова електроніка використовується для генерування спектру гармонічних струмів, необхідних для живлення нелінійних навантажень, таким чином, щоб мережевий струм відповідав споживанню виключно активної потужності [2].

Мета роботи

Дослідження режиму роботи трифазного паралельного САФ у силовому колі ДСП при коливаннях активної потужності та оцінка ефективності роботи трифазного САФ.

Матеріал і результати досліджень

Розглянуто параметри схеми заміщення ДСП з приведенням параметрів сторони первинної напруги трансформатора до вторинної.

Опір контуру печі $z_{КП}$ складається з опору трансформаторного агрегату $z_{ТР}$ (разом з дроселем), опору короткої мережі $z_{КМ}$ і опору власне робочої частини печі $z_{П}$.

Якщо трансформаторний агрегат включає дросель або в установці є окремий дросель, то додається опір дроселя $z_{ДР}$ [3].

Розгляд формул для визначення повного, активного і індуктивного опору проводиться для синусоїдальних сигналів струму частоти основної гармоніки (50 *Гц*).

Таким чином, повний опір контуру печі дорівнює сумі повних опорів складових його ділянок:

$$z_{КП} = z'_{ТР} + z'_{КМ} + z_{П}.$$

Кожна з ділянок має активний і реактивний опори, що пов'язані з повним опором залежністю:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}.$$

У більшості випадків індуктивний опір робочої частини печі незначний. Можна прийняти $x_{П} = 0$, $x_{П} = r_{П}$, тоді:

$$z_{КП} = z'_{ТР} + z'_{КМ} + r_{П}.$$

Оскільки, сила струму короткого замикання електродів на метал не повинна перевищувати 2,5-3,5 кратного від номінального значення, питання про необхідність введення додаткового опору (дроселя) в контур печі вирішується в залежності від значення $z_{КМ}$ і режиму роботи печі. З позиції теорії електричних кіл, при використанні схеми заміщення, схему живлення ДСП для однієї фази представлено послідовним з'єднанням елементів з паралельною гілкою, що заміщує магнітопровід трансформатора.

При побудові схеми заміщення всі елементи схеми, а також параметри обмоток трансформатора замінюють відповідними індуктивними і активними опорами, включеними на фазну напругу обмотки низької напруги пічного трансформатора [3]. Схема заміщення живлення дугової печі показана на рис. 1.

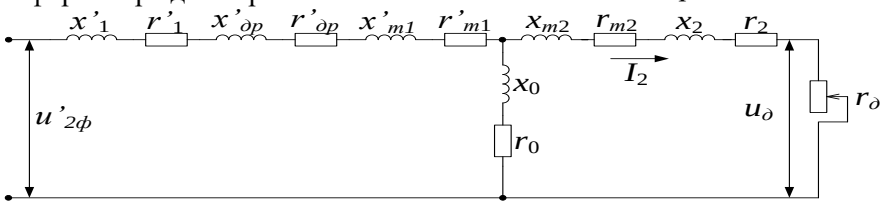


Рис. 1. Схеми заміщення живлення дугової печі. Умовні позначення: x'_1, r'_1– приведений активний і індуктивний опори мережі; $x'_{др}$, $r'_{др}$ – те ж для дроселя; x'_{m1}, r'_{m1} – те ж для первинної обмотки трансформатора; x_{m2}, r_{m2} – активний і індуктивний опори вторинної обмотки трансформатора; x_2, r_2 – активний і індуктивний опори для короткої мережі; $u_{2ф}$ – фазна вторинна напруга; $u_д$ – напруга на дузі; $r_д$ – опір дуги

Відгалуження x_0, r_0 імітують втрати в сталі трансформатора. З огляду на незначність цих втрат ними зазвичай нехтують, і схема заміщення перетворюється в ряд послідовно включених індуктивних і активних опорів, які умовно вважають постійними, крім опору дуги $r_д$. Складаючи всі постійні опори, схемі надають вид кола з опорів x, r і $r_д$, з яких лише останній змінюється.

Модель дугової печі створена в середовищі візуального моделювання, повне описання її представлено в роботі [4]. Блок підсистеми електродугової печі (*Arc Furnace*) показаний на рис. 2.

Для імітації вольт-амперної характеристики дуги використано гіперболічну модель [5] з урахуванням напряму струму:

$$u(i)=\left(u_{at}+\frac{P_{НОМ}}{I_{НОМ}+|i|}\right)sign(i), \qquad (1)$$

де u_{at} – порогова напруга; i – струм; $P_{НОМ}$ – потужність дуги; $I_{НОМ}$ – струм дуги.

Ефект мерехтіння (флікеру) напруги визначається пороговою напругою:

$$u_{at}=U_{at0}\left|1+m\cdot\sin(\omega_f t)\right|, \qquad (2)$$

де U_{at0} – опорна напруга, коли немає дугової активності; m – індекс модуляції; ω_f – частота мерехтіння.

Електрична дугова піч представлена електродом на кожній фазі у вигляді функціонального блоку. Частота синусоїдального сигналу встановлена на рівні 55,3 *рад*/*сек*, що становить приблизно 8,8 *Гц*.

Потужність дуги $P_{НОМ}$ = 19 *кВт*, струм дуги $I_{НОМ}$ = 2 *кА*, порогова напруга 200 *В*, індекс модуляції m = 0,2:

$$u=l_{\Sigma}\frac{di}{dt}+r_{\Sigma}i+u(i)=l_{\Sigma}\frac{di}{dt}+r_{\Sigma}i+$$
$$+\left[U_{at0}\left(1+m\cdot\sin(\omega_f t)\right)+\frac{P_{НОМ}}{I_{НОМ}-|i|}\right]sign(i);$$

де $l_e = l_1' + l_{T1}' + l_{T2} + l_2$, l_1', l_{T1}' – відповідно приведена індуктивність мережі і первинної сторони трансформатора; l_{T2}, l_2 – індуктивність вторинної сторони трансформатора і короткої мережі; $r_e = r_1' + r_{T1}' + r_{T2} + r_2$, r_1', r_{T1}' – відповідно приведений активний опір мережі і первинної сторони трансформатора; r_{T2}, r_2 – активний опір вторинної сторони трансформатора і короткої мережі.

На рис. 2 представлена модель електроенергетичної системи ДСП з паралельним підключенням трифазного САФ в середовищі візуального програмування.

Підключення САФ виконано в частині схеми, яка відповідає шинам високої напруги пічного трансформатора ДСП.

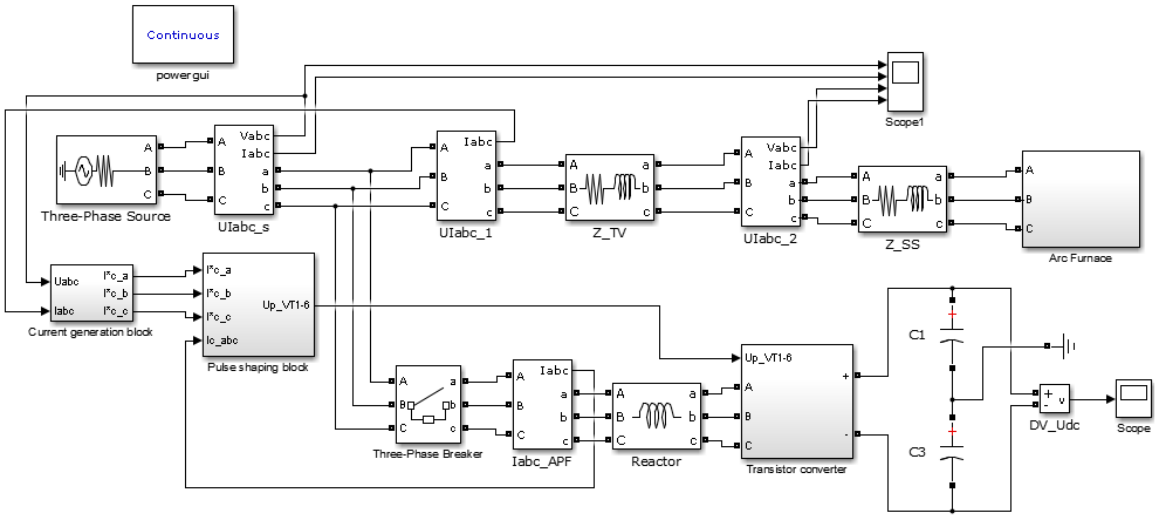


Рис. 2. Модель електроенергетичної системи з ДСП та паралельним підключенням трифазного САФ в частині схеми, яка відповідає шинам високої напруги пічного трансформатора

Джерело живлення представлене блоком трифазної електричної мережі (*Three-Phase source*) з діючим значенням напруги U_{1S} = 380 *В* і частотою f = 50 *Гц*, та активним опором мережі r_S = 0,001 *Ом*. Використовуючи довідкову інформацію [8] для дослідження обрано піч ДСП-1,5 для якої розраховані наступні параметри елементів силової частини, що зведені до табл. 1. ДСП представлена у вигляді схеми заміщення печі, що приведена до напруги низької сторони трансформатора – 220 *В*, згідно рис. 1. Електропічний трансформатор представлений блоком активно-

індуктивного опору (*Z_TV*), з такими параметрами R_{TR} = 0,00103 *Ом* і $L_{TR} = 5{,}37 \cdot 10^{-5}$ *Гн*. Коротка мережа ДСП є блоком активно-індуктивного опору (*Z_SS*) з параметрами R_{SS} = 0,00133 *Ом* і $L_{SS} = 1{,}09 \cdot 10^{-6}$ *Гн*. Відповідно до рівнянь (1)-(2) з використанням вбудованих функцій програмного пакету створена модель (*Arc Furnace*) для імітації флікера, спричиненого ДСП [5].

Таблиця 1

Параметри елементів силової частини електричної, ДСП-1,5 і САФ

Блок на схемі	Параметр	Позначення, одиниці виміру	Значення
Three-Phase source	U_{1S} r_S	*В* *Ом*	380 0,001
Z_TV	R_{TR} L_{TR}	*Ом* *Гн*	0,00103 $5{,}32 \cdot 10^{-5}$
Z_SS	R_{SS} L_{SS}	*Ом* *Гн*	0,00133 $1{,}09 \cdot 10^{-6}$
Reactor	L	*Гн*	0,0024
C1, C2	C_1=C_2 U_{C1}=U_{C2}	*Ф* *В*	0,04 3000

Трифазний САФ підключається паралельно до мережі через блок трифазного вимикача (*Three-Phase Breaker*) в час t = 0,06 *с*. Через блок трифазного реактору (*Reactor*) підключений трифазний транзисторний перетворювач зібраний по мостовій схемі на IGBT–модулях та знаходиться в підсистемі блоку (*Transistor converter*). До сторони постійного струму блоку транзисторного перетворювача (*Transistor converter)* підключені два послідовно з'єднані конденсатори (*C1-C2*). Для керування трифазним САФ використовуються два блоки: блок визначення заданого струму САФ (*Current generation block*); та блок формування імпульсів управління ключовими елементами перетворювача (*Pulse shaping block*). Алгоритм формування струму, що закладений в блоці визначення заданого струму САФ (*Current generation block*). Блок визначення заданого струму САФ (*Current generation block*) побудований на основі теорії повної потужності Фрізе та розкритий в роботі [6]. Блок формування імпульсів управління ключовими елементами перетворювача (*Pulse shaping block*) реалізує систему релейного регулювання струму використану в роботі [7]. Параметри моделі САФ: індуктивність реактора L = 0,0034 *Гн*; два послідовно з'єднані конденсатори ємністю $C1 = C2$ = 0,04 *Ф*; напруга конденсаторів $U_{C1} = U_{C2}$ = 3000 *В*. Значення зони гістерезису для регулювання похибки струму в методі релейного регулювання струму дорівнює *HB* = 10.

При виконанні дослідження отримані осцилограми напруги мережі, струму навантаження і мережі, струму САФ (рис. 3) та спектральні діаграми струму навантаження і мережі (рис. 4).

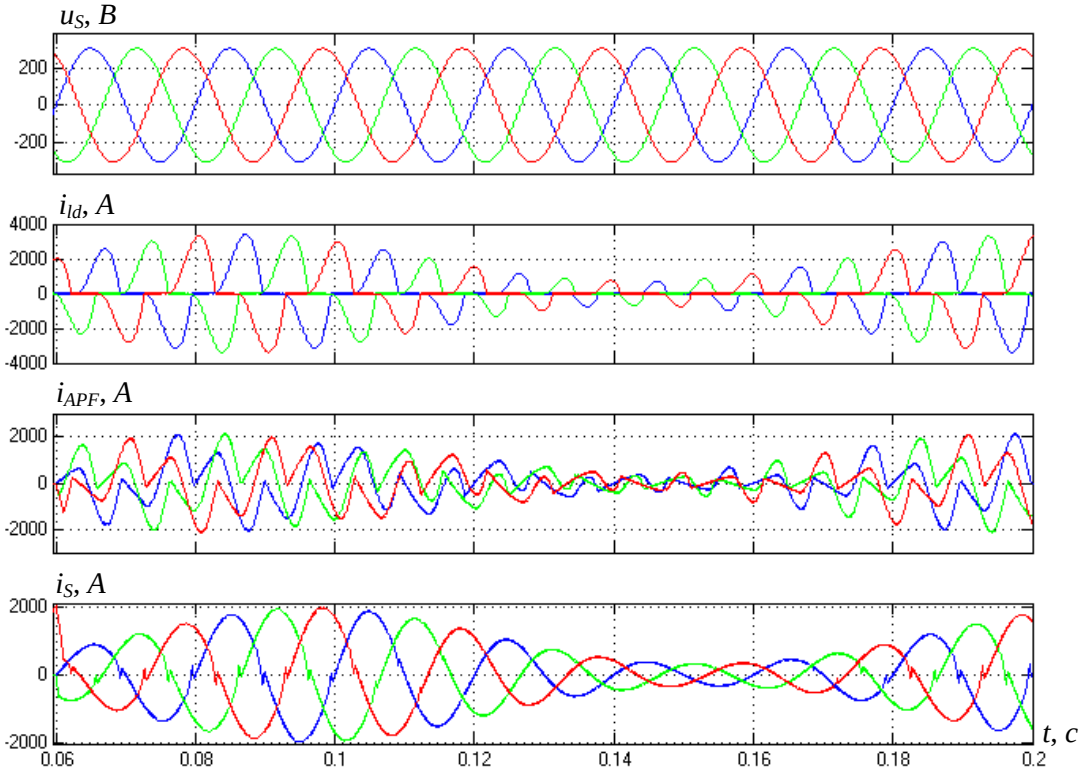


Рис. 3. Осцилограми напруги мережі u_S, струму навантаження i_{ld}, струму САФ i_{APF}, струму мережі i_S

До табл. 2 занесені значення активної та реактивної потужності за основною гармонікою навантаження і мережі.

Таблиця 2

Значення активної P_S, P_{LD} і реактивної Q_S, Q_{LD} потужності мережі і навантаження

Навантаження					
P_{ld}, *кВт*			Q_{ld}, *кВАр*		
a	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
286,9	271,6	276,1	183,1	170,5	157,5
Мережа					
P_S, *кВт*			Q_S, *кВАр*		
a	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
214,6	204,9	223,4	4,358	-10,8	-10,4

З отриманих даних активної і реактивної потужності, що визначаються методом інтегрування або за основною гармонікою, робимо такі висновки:

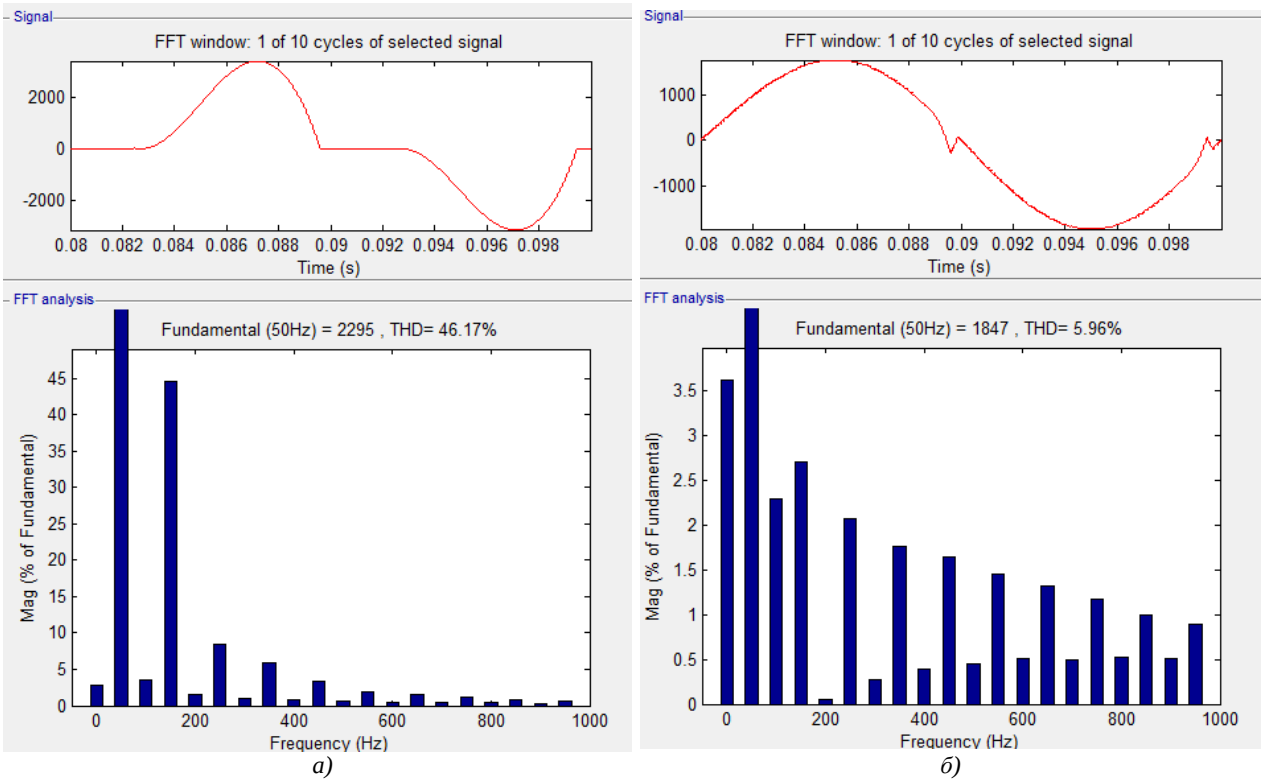
1. при роботі САФ відбувається компенсація реактивної потужності навантаження, в фазі *b*-*c* навіть перекомпенсація;

2. при роботі САФ відбувається зниження активної потужності навантаження.

Це пов'язано з тим, що на визначення активної і реактивної потужності потребується час не менше ніж період напруги мережі живлення, тоді як процеси, що протікають в режимах роботи ДСП, швидкозмінні, і тому алгоритм визначення заданого струму САФ працює з певним запізненням по часу. У зв'язку з чим виникає похибка при роботі САФ.

Як видно з осцилограми рис. 3, під час своєї роботи САФ завдяки генерації несинусоїдального струму САФ i_{APF} в протифазі до струму навантаження i_{ld}, приводить струм мережі i_S до синусоїдальної форми, з незначними пульсаціями на синусоїді, приблизно в точці переходу синусоїди через нуль. Це пов'язано з безструмовими паузами, що викликаються режимом роботи ДСП та присутні на рис. 3 в струмі навантаження i_{ld}.

Як відомо з [7], знижуючи коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму – відповідно можна вплинути на коефіцієнт спотворення кривої синусоїдальності напруги мережі. Тому, як видно з осцилограми та спектральної діаграми рис. 4, САФ під час своєї роботи суттєво знижує коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму навантаження з 46,17 % до 5,93 %.



а) *б)*

Рис. 4. Осцилограма та спектральна діаграма за період: *а*) струму навантаження; *б*) струму мережі

Оцінюючи рівень гармонік струму (рис. 4) можна відзначити, що трифазний САФ виконує фільтрацію гармонік струму навантаження, зокрема третя гармоніка нижче в 15 раз, а п'ята – в 5 раз.

Висновки

Використання трифазного силового активного фільтра призводить до суттєвого покращення форми струму який споживається комплексом дугової сталеплавильної печі з мережі, що є передумовою для зниження втрат потужності в елементах мережі за рахунок компенсації реактивної потужності та фільтрації вищих гармонік струму.

Тобто, застосування трифазного силового активного фільтра під час його паралельної роботи з комплексом дугової сталеплавильної печі дає змогу покращити показники якості електроенергії.

В ході досліджень встановлено, що робота силового активного фільтра впливає на рівень активної потужності споживаної комплексом із мережі. Цей вплив зумовлений наявністю флікер ефекту, який створюється при коливаннях порогової напруги міждугового проміжку, та в результаті впливає на достовірність розрахунку середнього значення потужності на проміжку часу, для чого потрібно 0,02 *с*.

Список використаної літератури

1. Николаев, А. А. Сравнительный анализ режимов регулирования статического тиристорного компенсатора в системе электроснабжения дуговой сталеплавильной печи высокой мощности. [Текст] / А. А. Николаев, Г. П. Корнилов, В. В. Анихин // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – Челябинск: ЮУрГУ, 2016. – Т. 16. – №2 – С. 35–46.

2. Власенко, Р. В. Дослідження характеристик трифазного силового активного фільтра з адаптивним регулятором при компенсації неактивних складових потужності [Текст] / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський, В. Ю. Качалка // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2015. – №3 – С. 118–125.

3. Егоров, А. В. Расчет мощности и параметров электропечей черной металлургии. [Текст] / А. В. Егоров, – М.: Металлургия, 1990. – 280 с.

4. Electric Arc Furnace Model [Electronic resource]: access mode: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51937.

5. Rodney, H. G., and Vigna, K. R. (2015), A comprehensive modeling and simulation of power quality disturbances using matlab/simulink [Electronic resource] / H. G. Rodney, K. R. Vigna // *Power quality issues in distributed generation*, ch. 3, pp. 83-107. Access mode: http://www.intechopen.com/books/power-quality-issues-in-distributed-generation/a-comprehensive-modeling-and-simulation-of-power-quality-disturbances-using-matlab-simulink.

6. Власенко, Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії Фрізе в умовах несиметрії [Текст] / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – № 2 – С. 20–27.

7. Dixon, J. W., Tepper, S. M., and Moran, L. T. Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters [Text] / J. W. Dixon, S. M. Tepper, L. T. Moran // *Applied power electronics conference and exposition, "APEC 94"* – 1994. – pp. 894–900.

8. Данцис, Я. Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. [Текст] / Я. Б. Данцис, Л. С. Кацевич, Г. М. Жилов, Н. Н. Митрофанов, В. Л. Розенберг, И. М. Черенкова – М.: Металлургия, 1987. – 320 с.

9. Жежеленко, И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. [Текст] / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.

References

1. Nikolaev, A., Kornilov, G., and Anokhi, V. (2016), Comparative analysis of static var compensator control modes for high power electric arc furnace [Sravnitel'nyi analiz regimov regulirovaniya staticheskogo tiristornogo kompensatora v sisteme elektrosnabgeniya dugovoy staleplavil'noy pechi vysokoy moshnosti]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering, vol. 16, no. 2, pp. 35–46

2. Vlasenko, R., Bialobrzeski, O., and Kachalka, V. (2015), Study of the characteristics three-phase active power filter with adaptive regulator at compensation inactive power components [Doslidgen'ya harakterystyk tryfaznogo sylovogo aktyvnogo fil'tra z adaptyvnym regulyatorom pry kompensatchiyi neaktyvnyh skladovyh potuzhnosti], Electromechanical and energy saving systems, no.3, pp. 118–123.

3. Egorov, A. V. (1990), Calculation of power and parameters of electric furnaces of ferrous metallurgy [Raschet moshnosti I parametrov elektropechey chernoy metal'urgiyi], Metal'urgiya, Moscow, Russia.

4. Electric Arc Furnace Model [Electronic resource]: access mode: http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51937.

5. Rodney, H. G., and Vigna, K. R. (2015), A comprehensive modeling and simulation of power quality disturbances using matlab/simulink // *Power quality issues in distributed generation*, ch. 3, pp. 83-107. Access mode: http://www.intechopen.com/books/power-quality-issues-in-distributed-generation/a-comprehensive-modeling-and-simulation-of-power-quality-disturbances-using-matlab-simulink.

6. Vlasenko, R., and Bialobrzeski, O. (2016), Correction algorithm for determining the given current active power filter based on the Fryze power theory in terms of asymmetry [Korektciya algorytmu vyznachennya zadanogo strumu sylovogo aktyvnogo fil'tra na osnovi teoriyi Frize v umovah nesymetriyi], Electrical engineering and power engineering, no.2, pp. 20–27.

7. Dixon, J. W., Tepper, S. M., and Moran, L. T. (1994), Analysis and evaluation of different modulation techniques for active power filters // *Applied power electronics conference and exposition, "APEC 94"* – pp. 894–900.

8. Dantchis, Ya. B., Katchevich, L. S., Gilov, G. M., Mitrofanov, N. N.. Rozenberg, V. L., and Cherenkova I. M. (1987), Short networks and electric parameters of electric arc furnaces [Korotkie seti I elektricheskie parametry dugovyh elektropechey], Metal'urgiya, Moscow, Russia, 320 p..

9. Zhezhelenko, I. V. and Saenko, Yu. L. (2000), Quality parameters of power and control of industrial plants [Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh kontrol' na promyshlen'ykh predpriyatiyakh], Energoatomizdat, Moscow, Russia, 252 p.

INVESTIGATION OF THE MODE OF A THREE-PHASE ACTIVE POWER FILTER IN THE POWER CIRCUIT OF AN ARC FURNACE AT OSCILLATIONS OF ACTIVE POWER

R. V. Vlasenko, O. V. Bialobrzheskyi
Kremenchuk Myhailo Ostrohradskyi National University

Abstract. *Arc furnace is a common smelting furnace for metallurgical production. At the same time, there is a stochastic operating mode in the arc furnace, that widespread in the industry. The combustion arc in the arc furnace is accompanied by a generation to the power supply network of reactive power, higher harmonics and there is asymmetry of currents. This leads to fluctuations not only in reactive power, but also causes fluctuations in active power. Static compensating devices such as condenser batteries, power passive filters, synchronous compensators do not have time to react to the sharply variable operating mode of the arc furnace. The latest advances in the compensation of inactive components power are the use of three-phase active power filters, which do not have the phenomenon of resonance of voltages and currents, as well as they react to change the load during their work. In the work the model of the three-phase active power filter with an arc furnace to the visual modeling environment is synthesized. The parameters of the arc furnace substitution scheme are brought to the low side of the electric transformer the furnace. Parameters of three-phase active power filter are calculated for this type of arc furnace. In the course of the study, obtained the data of the consumption of active and reactive power of the load and the network, as well as the coefficient of distortion of the sinusoidality of the current load curve and the network. The received oscillogram of network voltage, load current, current active power filter, network current and spectral diagram of higher harmonics of load current and network. All the results obtained were analyzed and perform conclusions for them.*

Keywords: *active power filter, arc furnace, flicker effect, arc current, reactive power compensation.*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА В СИЛОВОЙ ЦЕПИ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеский
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Аннотация. *Горения дуги печи сопровождается генерацией реактивной мощности и высших гармоник. Статические компенсаторы не успевают быстро реагировать на резкопеременный режим работы печи. Новейшие достижения в компенсации неактивной мощности – силовые активные фильтры. Синтезирована математическая модель трехфазного силового активного фильтра с дуговой печью. При исследовании получены данные активной, реактивной мощности, коэффициента THD тока.*

Ключевые слова: *силовой активный фильтр, дуговая сталеплавильная печь, эффект фликера, ток дуги, компенсация реактивной мощности.*

Получено 19.08.2019

Власенко Руслан Володимирович, асистент, асистент кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська обл., Україна, E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, тел. +38-097-190-28-15
Ruslan Vlasenko, assistant, Department of electicity consumption systems and power management, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva street, 20, Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, E-mail: ruslan.vlasenko@i.ua, тел. +38-097-190-28-15
ORCID ID: 0000-0002-1666-2776

Бялобржеський Олексій Володимирович, к. т. н., доцент, доцент кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська обл., Україна, E-mail: seemal@kdu.edu.ua, тел. +38-066-719-72-98
Oleksii Bialobrzheskyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of electicity consumption systems and power management, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Pershotravneva street, 20, Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, E-mail: seemal@kdu.edu.ua, тел. +38-066-719-72-98
ORCID ID: 0000-0003-1669-4580