

*Ю.А. Папайка, канд. техн. наук; О.В. Берковський
(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)*

АНАЛІЗ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВ МЗ «ДНІПРОСТАЛЬ» ПРИ РОБОТІ ПОТУЖНОЇ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

Дугові електросталеплавильні печі (ДСП) є великими споживачами електроенергії в Україні. Ємності та потужності одиничних агрегатів з року в рік зростають. Їх одиничні потужності вимірюються тисячами й десятками тисяч кіловат. Сьогодні питома витрата електроенергії на дугових сталеплавильних печах вітчизняних заводів на 15 — 20 % вище, ніж на останніх зразках закордонних підприємств. Тому актуальним питанням є аналіз впливу режимів роботи ДСП на показники якості електроенергії систем електропостачання металургійних заводів.

Постановка проблеми. Дугові сталеплавильні печі широко застосовуються в промисловості для плавлення металів та інших матеріалів. ДСП відносяться до так званих «специфічних» навантажень, що негативно впливають на якість електричної енергії. Дуги в процесі розплавлення генерують високочастотні гармоніки, небажані для інших споживачів і викликають додаткові втрати в мережі живлення [4]. Також в печі з'являються несиметричні режими і режим короткого замикання печі. Погіршення якості електричної енергії, які викликають ДСП, — є вкрай важливою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. Вищі гармоніки в електричних мережах підприємства мають цілий ряд наслідків для системи електропостачання заводу — вони негативно впливають на технічний стан електрообладнання і погіршують економічні показники його роботи. Все це визначає наявність додаткових втрат потужності та енергії, що погіршує тепловий режим електрообладнання, ускладнює компенсацію реактивної потужності за допомогою батарей статичних конденсаторів, скорочує термін роботи електричних машин і апаратів через прискорене старіння ізоляції, дає збої в роботі пристроїв системної та автоматичної мережі, засобів телемеханіки [1 — 3].

Постановка задачі. Метою даної статті є аналіз рівнів електромагнітної сумісності на стороні напруги 330 та 35 кВ за показниками несинусоїдальності, враховуючи режими сумісної роботи фільтрокомпенсуючого пристрою 2-, 3- та 4-ї гармонік та роботи статичного тиристорного компенсатора.

Основна частина. Об'єктом для дослідження даної роботи є система електропостачання металургійного заводу «ДНІПРОСТАЛЬ». Живлення металургійного комплексу виконане кабельною лінією довжиною 14,3 км від Придніпровської ТЕС напругою 330 кВ. На підстанції глибокого вводу (ПГВ) «Пічна» встановлені потужні трансформатори металургійного призначення ТДНМ-160000/330 та ТРДН-63000/330 з первинною напругою 330 кВ та вторинною 35 кВ. Основними споживачами електроенергії металургійного заводу з вироблення безперервно литої заготовки є: дугова електросталеплавильна піч фірми «Danieli» з пічним трансформатором потужністю 140 МВ·А і первинною напругою 35 кВ.

Для вирішення проблем забезпечення належної якості електроенергії і компенсації реактивної потужності в системах електропостачання ДСП установлені статичний тиристорний компенсатор (СТК) реактивної потужності і фільтрокомпенсуючий пристрій (ФКП) фірми «NOKIAN Capacitors», Фінляндія. СТК і ФКП установлені на ПГВ «Пічна» — 330/35 кВ. Перелічене вище обладнання робить об'єкт унікальним, аналогу якому на даний момент в Україні немає.

Піч працює з низьким коефіцієнтом потужності, рівним 0,7 — 0,8, споживана з мережі потужність змінюється протягом плавки, а електричний режим характеризується частими поштовхами струму, аж до обриву дуги експлуатаційних коротких замиканнях [4].

Найбільш поширеним методом отримання сталі на дугових сталеплавильних печах є плавка на твердому завалюванні з окисленням, для якої характерні три послідовні періоди:

- розплавлення;
- окислення;
- рафінування (відновлення).

У період розплавлення твердої шихти в рідкий стан до печі підводиться потужність, максимально допустима для трансформатора печі. Чим більше номінальна потужність трансформатора, тим швидше можна провести розплавлення. Це стимулює підвищення номінальної потужності пічних трансформаторів. У періоди окислення і відновлення, піч споживає значно меншу потужність, необхідну тільки для компенсації теплових втрат і ендотермічних реакцій, для розплавлення легуючих домішок. У період розплавлення, що триває від 1/3 до 2/3 часу плавки, витрачається до 80 % всієї споживаної на плавлення електроенергії. Витрата електроенергії на тонну виплавленого металу становить у середньому 700 — 950 кВт·год/т. У період окислення шихта в основному розплавилася — поверхня ванни плоска, градієнти потенціалів у дугах зменшилися в 2 — 2,5 рази; випромінювання дуг на стінку печі різко збільшується. То-

му потужність дуг знижують за рахунок зменшення напруги трансформатора на 20 — 30 %, що викликає їх скорочення. Нарешті, в період рафінування напругу на дугах ще більш знижують, дуги горять в шлаку і в менісках, які утворилися в металі [4].

Для аналізу несинусоїдальності напруги на стороні трансформатора 35 кВ були отримані амплітудні спектри струмів ДСП при працюючому ФКП та досліджені 10 окремих плавок металу. За вихідні дані були прийняті графіки фазних струмів при роботі ДСП та ФКП; для прикладу наведено струм фази В за весь період плавки металу (рис. 1).

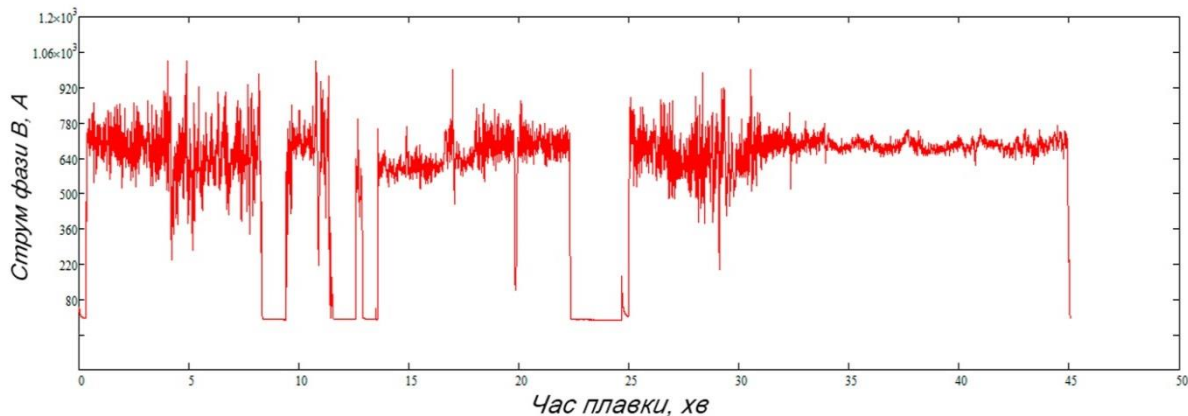


Рис. 1. Осцилограма струму фази В за весь період плавки металу

За допомогою перетворення Фур'є в програмі Mathcad та MS Excel, були отримані амплітудні спектри струмів на частотах вищих гармонік до 40-го порядку (рис. 2).

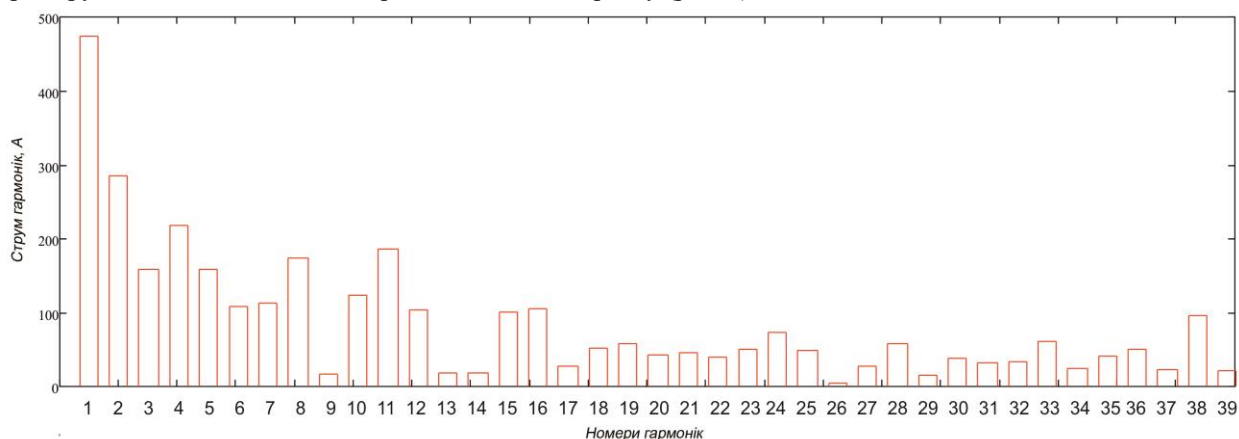


Рис. 2. Амплітудний спектр струмів на частотах вищих гармонік

Для оцінки рівнів вищих гармонійних складових необхідно порівняти їх зі значеннями, встановленими нормативними документами. Нижче наведені графіки, які оцінюють зміну діапазону значень окремих ВГ відносно ГОСТ 13109-97 під час різних стадій плавки металу (рис. 3 — 5).



Рис. 3. Гістограма для нелінійних гармонійних спотворень напруги, на стороні напруги 35 кВ під час стадії розплавлення металу

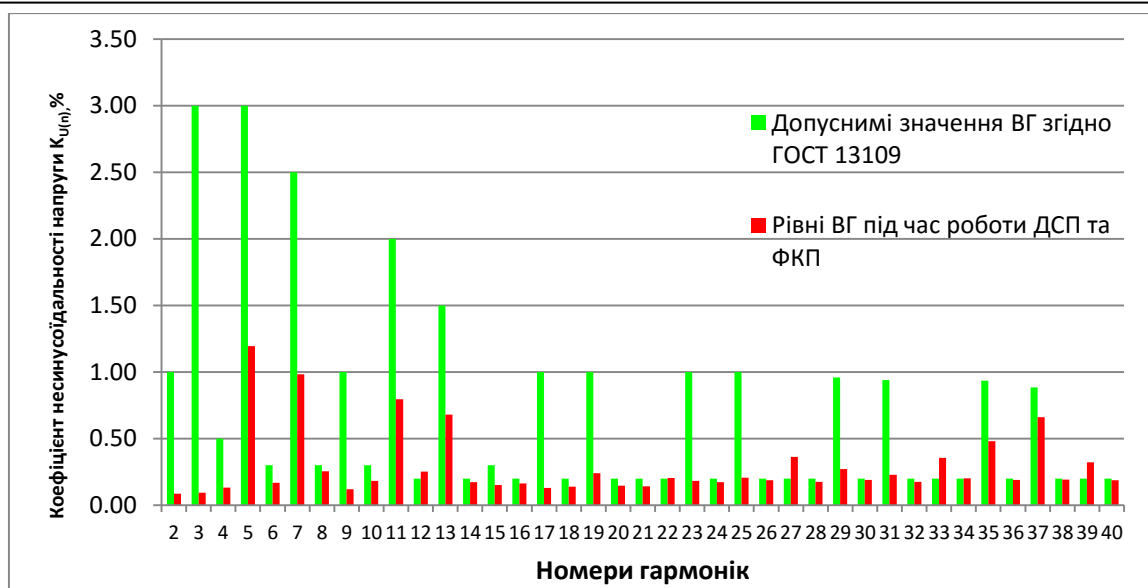


Рис. 4. Гістограма для нелінійних гармонійних спотворень напруги, на стороні напруги 35 кВ під час стадії окислення металу

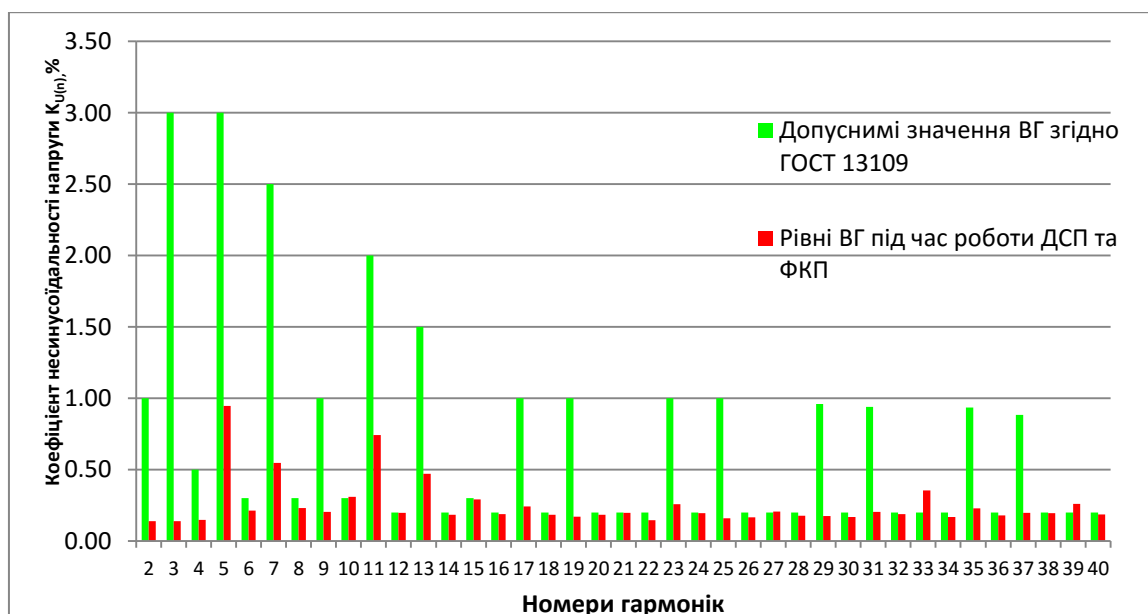


Рис. 5. Гістограма для нелінійних гармонійних спотворень напруги, на стороні напруги 35 кВ під час стадії відновлення металу

З графіків чітко видно, що навіть при компенсації 2-,3-,4-ї гармонік СТК мають місце 5-, 7-, 11-, 13-а гармоніки, а також спостерігається перевищення деякими вищими гармоніками допустимих значень, встановлених ГОСТ 13109-97.

Нижче були проаналізовані спотворення напруги, виявлені на заводі «ДНІПРОСТАЛЬ» на шині 330 кВ підстанції «Пічна».

На рис. 6 порівнюються виміряні величини працюючої печі та непрацюючої печей з межами, встановленими нормативами ГОСТ 13109-97. Згідно розрахованих даних тільки гармоніки напруги 3- і 15-го порядків (0,96% і 0,13%) дещо перевищують відповідні межі 0,75% і 0,1%, встановлені в ГОСТ 13109-97.

Також були отримані значення при відключеній печі і працюючому протягом обмеженого часу ФКП (рис. 7).

На графіку стовпчики відповідають фактичному фоновому спотворенню, зареєстрованого на високовольтній шині, яка живить завод, тоді як — спотворенню, отриманому при роботі ФКП. З наведених вище значень видно, що істотне спотворення гармоніки 3-го порядку (1,3%), присутнє на підстанції «Пічна», не залежить від роботи печі і частково обмежено роботою приєднаного ФКП. Зареєстровані досить високі фонові значення (0,12%) гармоніки 15-го порядку дещо перевищували межу (0,1%), встановлену ГОСТ 13109-97.

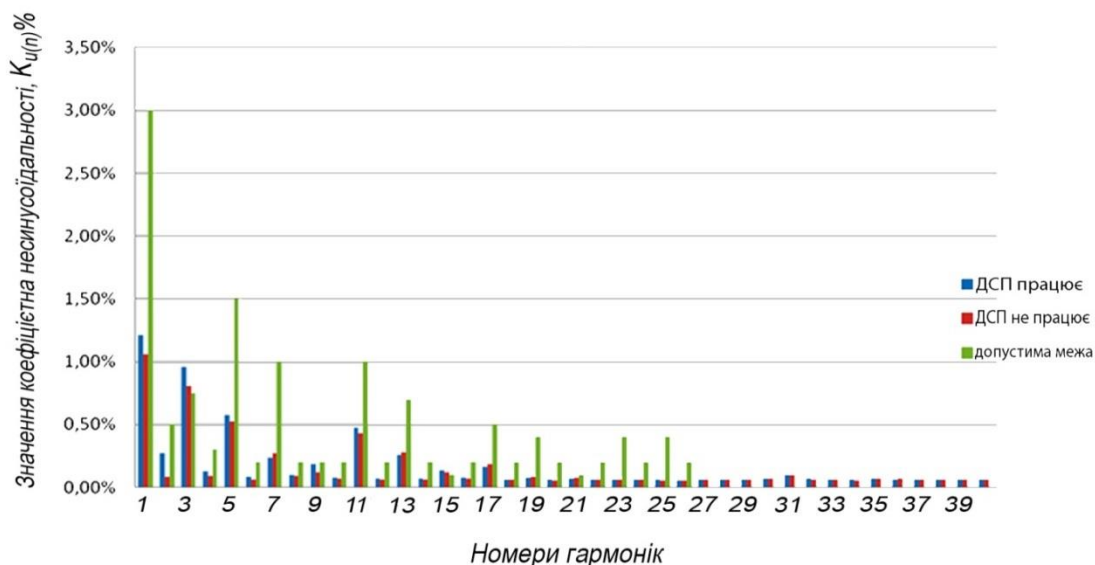


Рис. 6. Гістограма для нелінійних гармонійних спотворень напруги, зареєстрованих на лінії 330 кВ

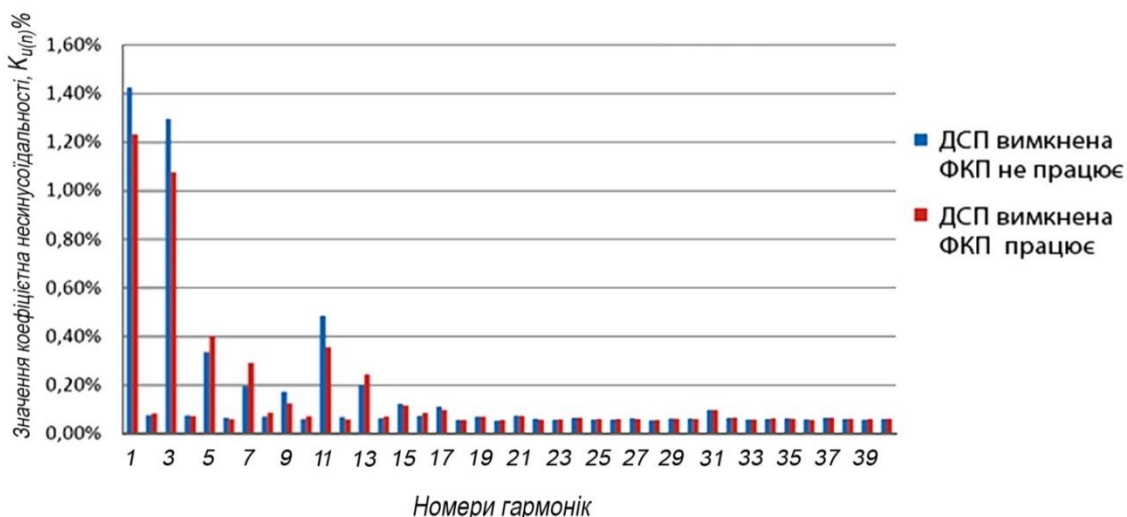


Рис. 7. Гістограма для нелінійних гармонійних спотворень при роботі ДСП та ФКП на лінії 330 кВ

Висновки

1. Аналіз виявив, що під час роботи ДСП гармонійне спотворення напруги 3-го і 15-го порядків на шинях 330 кВ досить незначне (головним чином завдяки очисному ефекту фільтрів гармонік ФКП), а фонові гармоніки, які перевищують межі гармонійних спотворень згідно з ГОСТ 13109-97, генеруються в мережі 330 кВ і зовсім не залежать від роботи електричного сталеплавильного комплексу.

2. При компенсації 2-,3-,4-ї гармонік СТК на шинях 35 кВ містяться 5-, 7-, 11-, 13-а гармоніки, які можуть викликати додаткові втрати активної потужності в електрообладнанні та значно скоротити термін його експлуатації, погіршення роботи елементів системи електропостачання металургійного комплексу.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – Изд 5-е, перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 358 с.
2. Электромагнитна сумісність у системах електропостачання: підручник / І.В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, Ю. Л. Саєнко. – Д. :Нац. гірн. ун-т, 2009. – 319 с.
3. Липский А. М. Качество электроснабжения промышленных предприятий / А. М. Липский. – К. :Вища шк., 1985. – 160 с.
4. Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. Ч.2. Дуговые печи. / А. Д. Свенчанский, М. Я.Смелянский. – М. : Энергия, 1970. – 264 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Випанасенко С.І.