

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ВМИКАННЯ ПІЧНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ АГРЕГАТІВ

Гудим В.І., Гудим В.В.

Національний університет "Львівська політехніка"

srg@polynet.lviv.ua

Regimes of furnace transformer devices switching of arc steel melting furnaces with capacity 100 tones were investigated. Approximate estimation of power losses was carried out on the basis of consequences analysis of furnace transformer units switching to furnace substation buses. Power losses can be eliminated when device to control commutations will be used. This device allows to reduce in-rush currents and power losses and will be paid back for 6 - 8 years of it exploitation

Актуальність проблеми. Потужні та надпотужні дугові сталеварні печі (ДСП) місткістю 100 і більше тонн отримали широке застосування у чорній металургії для отримання сталі та сплавів необхідної якості. У порівнянні із полум'яними ДСП є економічніші. Залежно від сорту сталі печі місткістю 100 тонн за один цикл топлення споживають електричної енергії в середньому на суму від 900 до 1500 Євро, а 200 тон – від 1700 до 2600 Євро, що є однією із найвизначальніших складових собівартості готової продукції. Зі збільшенням місткості печей собівартість продукції знижується, але це вимагає збільшення потужності пічних трансформаторних агрегатів (ПТА), що суттєво поглиблює проблеми електромагнітної сумісності ДСП з системами електропостачання.

У більшості країн світу ДСП великої та надвеликої потужності живляться від електричних систем 110 і вище кВ, які трансформуються на діапазон напруг первинних обмоток пічних трансформаторів в інтервалі від 10 до 66 кВ. У таблиці 1 наведено основні параметри та технічні характеристики силового електрообладнання, систем зовнішнього і внутрішнього електропостачання та способів і засобів забезпечення електромагнітної сумісності таких комплексів, зокрема статичних тиристорних компенсаторів (СТК) та синхронних компенсаторів (СК).

Таблиця 1

Характеристика систем електропостачання надпотужних ДСП провідних країн світу в галузі металургії

Країна	Місткість ДСП [Т]	S _{ПТ} , [МВА]	Засоби рег. U	Засоби комп-ції	U зовн. [кВ]	U внутр. [кВ]
С Ш А	100...400	80...120	РПН, ПТ	СТК, СК	69 і 138	13,8; 24,5 34,5.
Японія	100...250	40...75	РПН, ПТ	СТК, СК	66; 110; 154.	22.
ФРН	80...300	90...115	РПН, СТ	СТК	110; 220	30; 110.
Англія	80...225	80...120	РПН, ПТ	СТК	225; 275	33.
Франція	100...180	75...90	РПН, ПТ	СТК	63; 225	63; 20; 6.
Канада	100...150	75...84	РПН, ПТ	СТК, СК	69; 138	24; 34.
Іспанія	80...120	40...80	РПН, СТ	СТК	150; 225	20; 63.
Швеція	75...100	40	РПН, ПТ	СТК, СК	50; 130	10.
Росія	100...200	60...125	РПН, АТ	СТК	110-330	35
Польща	100	65	РПН, АТ	СТК	110; 220	30.
Україна	100	50...60	РПН, АТ	СТК	110; 220	35.

Особливо складними є електромагнітні процеси, зумовлені технологічними комутаціями ПТА, зокрема режимами вмикання. У таблиці 2 наведено середню кількість комутацій для дугових сталеварних печей різної місткості та на різних інтервалах часу.

Таблиця 2.

Характеристика комутаційних режимів ДСП

Типи комутацій і Кількість	Тип і місткість печей					
	ДСП-5	ДСП-10	ДСП-20	ДСП-50	ДСП-100	ДСП-200
Кількість за місяць	390	723	632	670	648	185

Відомо, що технологічні комутації пічних трансформаторів виконуються з піднятими електродами, тому вимкання ненавантажених пічних трансформаторів супроводжуються допустимими перенапругами. Разом з тим струми вимкання ненавантажених ПТА за амплітудами перевищують номінальні у 5-7 разів і є причиною пошкодження не лише пічних а й системних трансформаторів [1]. Як показали експериментальні вимірювання режимів вимкання ПТА потужністю 16 МВА з приєднаними до шин пічної підстанції фільтрами струмів вищих гармонік а батареями конденсаторів (БК) перехідні процеси є довготривалими і небезпечними як для пічних та системних трансформаторів, так і для електрообладнання фільтрів (див. рис.1) [2].

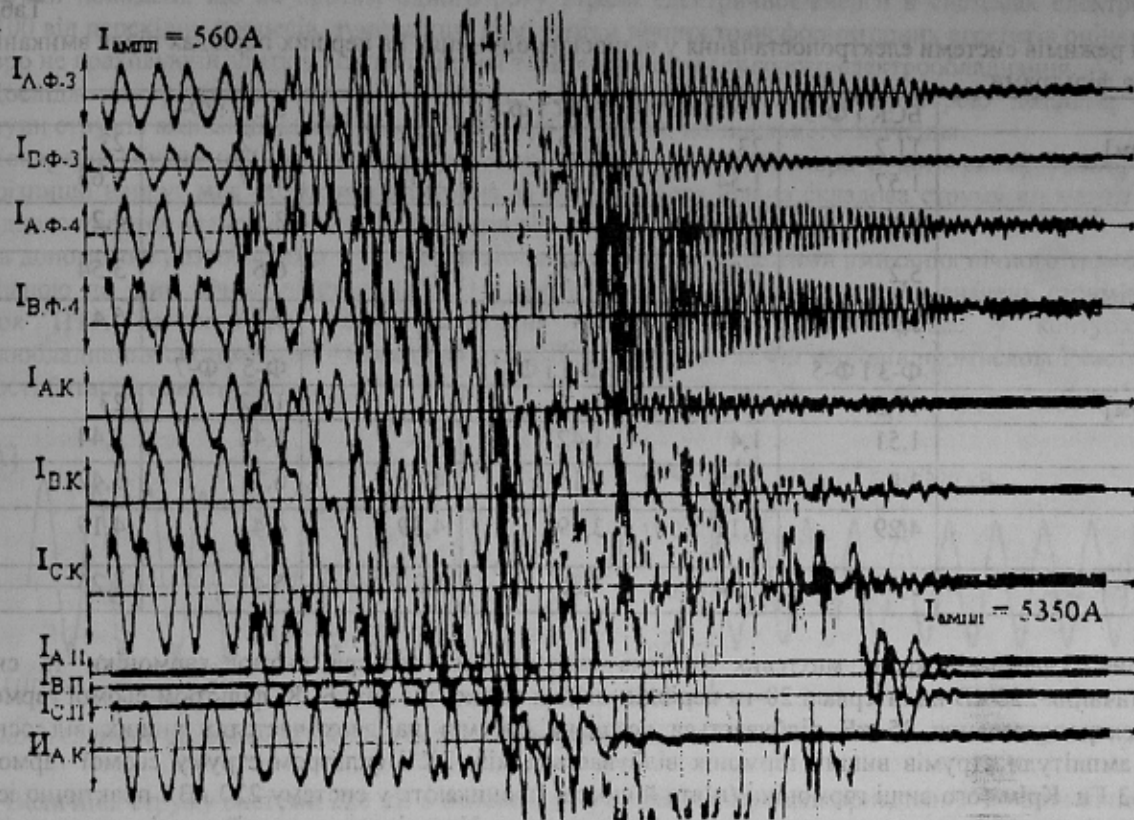


Рис 1. Осцилограми комутацій пічного трансформатора за наявності фільтрокомпенсаторів

За такої сукупності електрообладнання після вимкання ПТА виникають довготривалі коливні процеси, які призводять до вимкнення фільтрів через спрацювання струмових захистів. У даному випадку вимкнення фільтрів відбулося через 0,15 С, тобто через сім періодів промислової частоти. Руйнівні значення струмів вимкання суттєво знижують надійність не лише окремого електрообладнання, а й системи електропостачання в цілому, тому проблема керування такими режимами є важливою і актуальною.

Постановка задачі. У наслідок впливу струмів вимкання на металургійних заводах термін експлуатації силових та пічних трансформаторів скорочується на 20-35% та масово виходять із ладу конденсатори СТК. Особливості експлуатації систем електропостачання ДСП з фільтрами вищих гармонік в режимах комутацій на сьогодні досліджені ще недостатньо, через що часто завищуються уставки струмових захистів фільтрокомпенсаторів. Разом з тим довготривалі перехідні процеси призводять до підвищених втрат електричної енергії у контурах трансформаторів та реакторів. Задача полягала у тому, щоб забезпечити зменшення струмів вимкання пічних трансформаторів хоча б до рівня експлуатаційних коротких замикань. Порівняння та дослідження можливих способів і засобів обмеження струмів вимкання пічних трансформаторів дозволили розробити пристрій для керування режимами вимкання пічних трансформаторів, який дозволяє зменшити струми вимкання пічних трансформаторів до кількох відсотків від номінальних струмів трансформаторів [3, 4]. Разом з тим для оптимізації роботи та отримання необхідної інформації для проектування необхідно було дослідити умови експлуатації силового електрообладнання розробленого пристрою.

Методи розв'язання. Враховуючи те, що пристрій розроблено вперше, його дослідження можливо виконати на макетному взірці, або методами математичного симулювання, як найбільш економічного способу досліджень. Математичне симулювання вимагало розробки адекватної математичної моделі, яка розроблена із врахуванням всіх особливостей нелінійних динамічних взаємозв'язків між структурними елементами на основі А-стійких чисельних методів інтегрування систем рівнянь стану [5]. Адекватність моделі перевірена та підтверджена шляхом порівняння реальних і модельованих перехідних та усталених процесів за різними критеріями.

Шляхом математичного моделювання було отримано таку важливу для експлуатації інформацію як вплив на режими вмикання ПТА одночасно двох фільтрів, оскільки тут проявляється взаємний вплив не лише між системою електропостачання та фільтрами, а й між самими фільтрами. У таблиці 3 наведені результати дослідження режимів вмикання ПТА з під'єднаними до шин пічної підстанції БК та одного із фільтрів чи одночасно двох фільтрів. Визначальним під час таких режимів є не опір системи 220 кВ а значення параметрів фільтрів.

Після вмикання ПТА у шість і більше разів перша амплітуда перевищує номінальну амплітуду струму фільтра п'ятої гармоніки, увімкненого паралельно з фільтром сьомої гармоніки.

Таблиця 3

Координати режимів системи електропостачання у відносних одиницях на перших періодах після вмикання ПТА з двома фільтрами

	БСК і Ф-3		БСК і Ф-5		БСК і Ф-7	
$X_{220 \text{ кВ}}$ [Ом]	11,2	23	11,2	23	11,2	23
$I_{220}^{* \text{ нб}}$	1,57	1,54	1,64	1,63	1,77	1,63
$I_{ШКБ}^{* \text{ нб}}$	6,1	4,8	4,6	4,03	3,5	4,2
$I_{ФКК}^{* \text{ нб}}$	5,2	3,88	7,75	8,1	6,6	3,54
$I_{1 \text{ ПТ}}^{* \text{ нб}}$	5,51	5,32	5,4	5,31	5,7	5,4
	Ф-3 і Ф-5		Ф-3 і Ф-7		Ф-5 і Ф-7	
$X_{220 \text{ кВ}}$ [Ом]	11,2	23	11,2	23	11,2	23
$I_{220}^{* \text{ нб}}$	1,51	1,4	1,42	1,4	1,48	1,44
$I_{ФКК 1}^{* \text{ нб}}$	3,8	3,89	4,17	4,46	6,1	6,42
$I_{ФКК 2}^{* \text{ нб}}$	4,29	4,11	3,59	4,29	4,4	4,19
$I_{1 \text{ ПТ}}^{* \text{ нб}}$	5,33	5,08	5,35	5,2	5,41	5,25

На рис.2 наведено криві миттєвих значень струмів БК, фільтра сьомої гармоніки та системи електропостачання 220 кВ на інтервалі 20-ти періодів, звідки видно, що між БСК, фільтром сьомої гармоніки і системи електропостачання 35 кВ відбувається резонанс струмів на двох частотах вищих від основної. Модуляція амплітуди струмів вищих гармонік відбувається між БК і фільтром струму сьомої гармоніки з частотою 2-3 Гц. Крім того вищі гармоніки (п'ята й шоста) проникають у систему 220 кВ і практично існують до кінця перехідного процесу з достатньо великою амплітудою. Унаслідок модуляції амплітуди струмів БК її фільтра сьомої гармоніки перевищують номінальні значення від 1,5 до 2,7 разів.

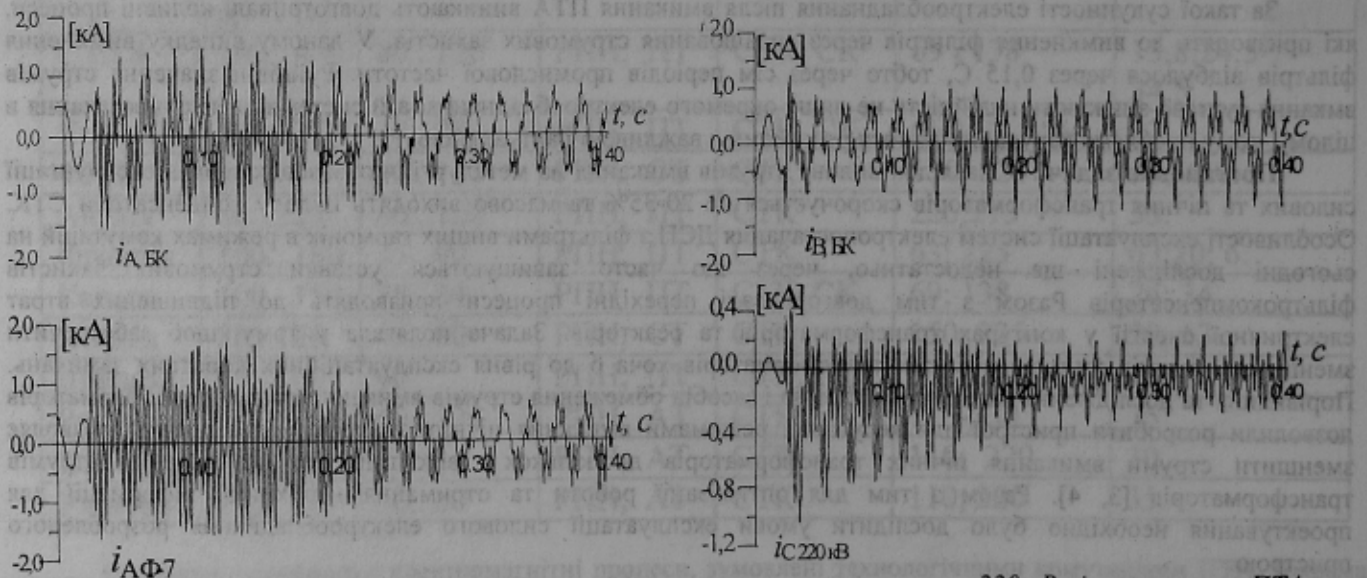


Рис. 2. Струми БК, фільтра сьомої гармоніки й системи електропостачання 220 кВ після вмикання ПТА з під'єднаними до шин пічної підстанції БК та фільтра струмів сьомої гармоніки

Під час паралельного сполучення фільтрів по два переважаючу амплітуду у системі 220 кВ має струм четвертої гармоніки, а у вітках фільтрів замикаються струми, частоти яких співпадають із частотами поглинання фільтрів. Це свідчить про те, що сумарна ємність БСК фільтрів змінює частотну характеристику системи електропостачання. Необхідно відзначити, що крім переважаючих гармонік у контурах фільтрів та системи електропостачання замикаються також струми інших гармонік, які мають меншу амплітуду.

У загальному випадку режими вмикання супроводжуються багатократними амплітудами струмів вмикання і довготривалими коливними процесами на частотах, які переважно не співпадають з частотами поглинання фільтрів.

Як показують багаточисельні експерименти значення струмів суттєво залежить від моменту замикання контактів вимикача. Результати отримані шляхом моделювання показали, що тривалість ферорезонансних автоколивних процесів з повільно спадаючою амплітудою становить кілька хвилин.

Перехідні струми у контурах системи електропостачання після вмикання ПТА викликають втрати електричної енергії до 7-9%, які за один технологічний цикл оцінюються від 6 до 10 Євро. Наближені розрахунки показали, що на протязі одного року втрати електричної енергії в системах електропостачання ДСП-100 від перехідних процесів, зумовлених комутаціям лічних трансформаторних агрегатів оцінюються 15-17 тис Євро не враховуючи збитків від погіршення технічного стану силового електрообладнання.

Дослідження режимів вмикання ПТА за допомогою розробленого пристрою дозволяє забезпечити амплітуди струмів вмикання величиною до 10% процентів від номінального значення.

Попереднє збудження магнітної системи комутуваного трансформатора чи автотрансформатора забезпечує малу різницю напруг між полюсами вимикача за рахунок чого вільна складова струму чи магнітного потоку перехідного процесу становить кілька процентів від номінального значення.

За допомогою розробленого пристрою виконано і досліджено режими вмикання лічного трансформатора з приєднаною до шин лічної підстанції БК. На рис.3 наведено графіки миттєвих значень струмів первинних обмоток ПТА та системи електропостачання 220 кВ. Перехідний процес у контурах силового електрообладнання системи електропостачання ДСП закінчується за 4-5 періодів промислової частоти навіть за наявності батарей конденсаторів.

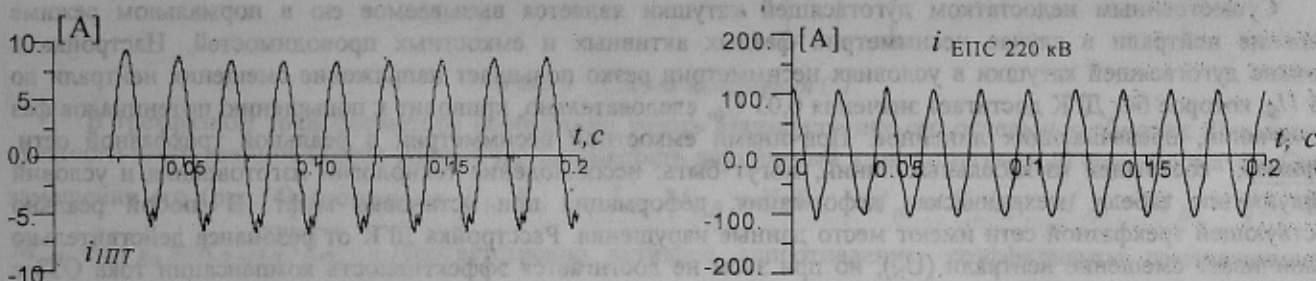


Рис. 3. Струми системи 220 кВ та первинної обмотки ПТА після його вмикання за допомогою пристрою

Величина струму системи 220 кВ в основному зумовлена струмами приєднаних до шин лічної підстанції батарей конденсаторів. Лише за рахунок зменшення струмів вмикання лічних трансформаторів і, відповідно, втрат електричної енергії в системах електропостачання ДСП, пристрій керування комутаціями може окупитися приблизно за 7-8 років його експлуатації. Детальні розрахунки економічної ефективності показали, що за рахунок комплексного використання пристрою керування комутаціями для цілей компенсації реактивної енергії та збільшення надійності і терміну експлуатації силового електрообладнання, термін окупності пристрою становить біля 2,5 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Испытания высоковольтного оборудования дуговых печей ДСП-100НЗА в режимах коммутаций: Технический отчет/ Центроэнергочермет.-1981.- Арх.№18666. – 142 с.
2. В.В. Зиновкин, А.П. Лютый, М.В. Зиновкин. Исследование электромагнитной совместимости трансформаторного и электротехнологического оборудования с резкопеременным характером нагрузки//Техн электродинамика.-Тематичний випуск Проблеми сучасної електротехніки. Ч.5. Київ.-2000. С.13-16.
3. Патент №12765 Україна, МКЛ⁵ Н05В7/144, Н02J13/00. Истема електропостачання дугової сталеплавильної печі/Гудим В.І., Перхач В.С., Сивокобиленко В.Ф., Скрипник О.І., Харченко В.А., Шелепеня Т.М.-Заявл. 12.10.87. Опубл. 28.02.97 в бюл. №1. – 3 с.
4. Аналіз методів і засобів обмеження струмів вмикання лічних трансформаторів//Паці інституту електродинаміки Національної академії наук України. К.: 2000. С. 150-158.
5. Гудим В.И., Дудурч И.М, Перхач В.С. Математическое моделирование электрических цепей у контурно-узловых координатах//Энергетика – Изв. Вузов и ЭО СНГ. – 1998. - №1. – С.35-39.

Рекомендована до друку проф., д.т.н. Курінним Е.Г.