

Висновки

З огляду на сформульовані вище технічні вимоги до регуляторів можна зробити висновок про доцільність розробки двох модифікацій: для компенсаторів, що приєднані до шин 10 кВ – на базі пристрою РПН типу РНТР-35/1000В-20Г-81 з номінальними параметрами за напругою 38,5 кВ, та струмом – 285А; для компенсаторів, що приєднані до шин 35 кВ – на базі пристрою РПН типу РНТ-20А-625/35 з номінальними параметрами за напругою 38,5 кВ, та струмом – 625А.

1. *Статические компенсаторы реактивной мощности прямого регулирования и их режимы / Под ред. А.Ф. Дьякова и Л.А. Никонца. – М., 1990. – 170 с.* 2. *Никонець Л.О., Кульбіков В.М., Сіваков Д.М. Розвиток принципів розроблення статичних компенсаторів на основі регулювання напруги на статичному елементі // Вісн. Інженерної академії наук України. – 2000. – № 2.* 3. *Сіваков Д.М., Шелех Ю.Л. Аналіз аварійних режимів статичного компенсатора прямого регулювання на базі лінійного регулятора // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2001. – № 435. – С. 130–134.* 4. *Геллер Б., Веверка А. Волновые процессы в электрических машинах. – М., 1960. – 631 с.* 5. *Техника высоких напряжений / Под ред. Д.В. Разевига. – М., 1964. – 472 с.*

УДК 621.365.2+621.311.1

Я.С. Паранчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електропривода і автоматизації промислових установок

СТАБІЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОПЕРЕТВОРЕННЯ У ПЛАВИЛЬНОМУ ПРОСТОРІ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

© Паранчук Я.С., 2003

Запропоновано схемотехнічні рішення для стабілізації потужності дуг у дуговій сталеплавильній печі. Подається функціональна блок-схема системи регулювання електричного режиму печі з контуром регулювання потужності дуги, методика оцінки показників якості стабілізації потужності дуг та результати комп'ютерного симулювання електричного режиму дугової сталеплавильної печі, оптимізованого за критерієм мінімуму середньої квадратичної похибки регулювання потужності дуги.

Schematic decisions for digital arc furnace current stabilization are proposed. Block scheme of furnace control system with power regulation contour and method for estimating arc power stabilization quality are given. The paper also presents results of arc electrical mode computer simulation. Electric mode is optimized by criterion of minimal average quadratic error of arc power.

Постановка проблеми

Однією з головних задач керування процесом електросталеплавлення у дуговій сталеплавильній печі (ДСП) є реалізація рівномірного процесу введення електричної енергії у плавильний простір, параметри якого відповідають вибраній технології плавлення певної

марки сталі. Особливо жорстко вимога рівномірності постає в технологічних періодах окислення та рафінування, в яких точним керуванням температурного режиму у плавильному просторі досягається узгодження швидкостей екстракції домішок розплаву та інтенсивності його нагрівання з метою отримання металу з необхідним хімічним складом та механічними властивостями. Ця задача визначає оптимальний закон керування процесом електросталеплавлення, за яким реалізується температурний режим процесу плавлення сталі, якому відповідає максимально допустима швидкість інтенсивності нагрівання шихти та розплаву і досягнення оптимальної з точки зору отримання бажаної якості (фізико-хімічних властивостей) сталі та необхідного ступеня перенагрівання металу в кінці плавки.

В основі системотехніки керування технологією виплавляння сталі лежать термодинамічні закони, що характеризують умови рівноваги реакцій і їх градієнта, а також кінетичні закони процесів (швидкість протікання реакцій на окремих періодах і обмежуючі її фактори).

У "рідких" періодах плавки (окислення, рафінування) дуги горять порівняно стійко між торцем електрода і поверхнею розплаву. Температура поверхні безпосередньо під дугою становить більше 3000 К. Густина теплового потоку випромінювання дуги розраховується за формулою

$$q_{\text{випр}} = c\varepsilon \left[(T_{\text{нагр}}/100)^4 - (T_s/100)^4 \right], \quad (1)$$

де c – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, $c = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; ε – приведений ступінь чорноти системи випромінювач – поверхня ванни, $\varepsilon = 0,9$; $T_{\text{нагр}}$ – температура нагрівача (електрод – дуга), $T_{\text{нагр}} = 6000 \text{ К}$; T_s – температура міжфазної поверхні, $T_s = 3145 \text{ К}$.

Підставивши в (1) значення цих сталих коефіцієнтів, отримуємо $q_{\text{випр}} = 6,11 \cdot 10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$. За такого значення густини теплового потоку шихтою може засвоїтися лише певна його частина, що пропорційна коефіцієнту теплопровідності шихти чи розплаву металу.

Недонагрівання чи перенагрівання металу по ходу плавлення у зазначених періодах негативно впливає як на техніко-економічні показники функціонування дугової сталеплавильної печі, так і на показники якості (хімічний склад, механічні властивості) отримуваної сталі [1, 2]. Так, "платою" за перенагрівання металу при інтенсифікації плавлення сталі є втрата шляхом випаровування від 5 до 15 % металу. Причина вигорання металу пов'язана з локальним перенагріванням металу безпосередньо під кожним електродом, оскільки тепловий потік, що падає від дуги на поверхню металу, не може бути засвоєний всією масою через недостатню його теплопровідність. З цих "гарячих плям" метал випаровується і його пара, що попадає у робочий простір печі, десублімується, окислюється і виноситься з плавильного простору печі з димовими газами, причому інтенсивність цього процесу значною мірою визначається температурою на поверхні цих плям, а остання – поточним значенням потужності дуги.

Кількість сублімованого металу у періодах основного розплавлення шихти визначається передусім швидкістю прорізання колодязів, яка, в свою чергу, залежить від точності дотримання оптимального графіка введення максимально допустимої потужності, яку слід вибирати на основі компромісу між продуктивністю (часом розплавлення) і масою випареного металу, а також залежить від насипної щільності шихти і способу її укладання в корзині.

У випадку відхилення поточної потужності печі від оптимальної в бік її зменшення – падає продуктивність печі, знижується консистентність (текучість) шлаку та розплаву, зростає вміст газів і вкраплювань шлаку в металі тощо. Відхилення поточної потужності дуг P_d відносно оптимального в той чи інший бік по-різному впливає не тільки на інтенсивність

протікання реакцій, але може спричинити режими, у яких реакції протікатимуть у зворотному напрямі (наприклад, між реагентами в шлаці і розплаві).

Конкретні значення оптимальних параметрів керування температурним процесом у плавильному просторі печі залежать як від марки сталі, так і від вибраної технології її плавлення (наприклад, з використання режиму спінювання шлаку чи без такого, з використання альтернативних джерел теплової енергії чи без них тощо). Недотримання оптимальних параметрів температурного режиму, окрім зазначених втрат металу (тобто зниження продуктивності печі), негативно впливає також і на електричний коефіцієнт корисної дії, стійкість вогнетривкого футерування печі тощо.

Із наведеного вище випливає необхідність оптимізації процесу керування режимом електроперетворення у плавильному просторі дугової сталеплавильної печі за критеріями мінімуму динамічної та статичної похибки регулювання потужності дуг по відношенню до директивного значення, що визначається маркою сталі, вибраною технологією, зовнішніми умовами та вимогами до показників функціонування електротехнологічного комплексу дугова сталеплавильна піч – електропостачальна мережа (ДСП – ЕПМ) тощо.

Аналіз останніх досліджень

Існуючі системи живлення та регулювання координат електричного режиму ДСП, що функціонують переважно на основі електромеханічної підсистеми регулювання положення електродів (наприклад, регуляторів потужності дуги типу АРДМ-Т), мають низьку швидкодію і обмежені функціональні можливості з формування бажаних характеристик та значень показників роботи печі. Показники якості регулювання потужності дуг з одного боку залежать від стохастичних характеристик збурюючих впливів, що діють на поточні значення напруг та струмів дуг, а з іншого боку від динамічних та функціональних властивостей системи регулювання потужності дуг. Перші із зазначених чинників є не залежними зовнішніми впливами, що мають імовірнісний нестационарний характер (випадкові флуктуації довжин дуг $l_d(t)$, градієнта напруги на стовпі дуги $\beta(t)$, анод-катодного спаду напруги $\alpha(t)$, активних $r(t)$ та індуктивних $x(t)$ опорів силового кола печі, напруги мережі $u_m(t)$ тощо) і вплив на процес їх зміни по ходу плавки є дуже обмежений. Тому реалізація бажаних динамічних, статичних та функціональних (у розумінні отримання різних законів регулювання струмів та напруг дуг, що формують процес зміни потужності дуг) властивостей системи регулювання потужності дуг є тими чинниками оперативного та ефективного впливу на формування бажаного процесу зміни потужностей дуг $P_d(t)$ упродовж всієї плавки.

Задачі досліджень

Зважаючи на це, актуальною постає проблема розроблення такої багатоконтурної ієрархічної системи керування режимами ДСП, у функціональні можливості якої входило б можливість формування, реалізації та оперативного перенастроювання таких електричних та робочих характеристик печі, яким відповідали б бажані значення показників її функціонування.

Одним із напрямків реалізації зазначеного шляху оптимізації процесу електроперетворення у плавильному просторі є використання багатоконтурної координатно-параметричної системи автоматичного керування (САР) електричного режиму (ЕР) ДСП з використанням у її структурі швидкодійного електричного контуру регулювання потужності дуг та оптимізація режиму її динамічного функціонування за критерієм мінімуму дисперсії та статичної похибки регулювання потужності дуг [3, 4].

Виклад основного матеріалу

На рис. 1 показано функціональну блок-схему запропонованої структури двоконтурної системи стабілізації потужності дуг з регулятором потужності дуги. На цьому рисунку показано: ДС, ДН – давачі поточних середньовипрямлених значень струму та напруги дуги; БФСК – блок формування сигналу керування; ЕМПЕ – електропривод механізму переміщення електроду; МПЕ – механізм переміщення електроду; ДПД, ЗПД, РПД – давач, задавач та регулятор потужності дуги відповідно; БРІОД – блок регулювання індуктивного опору дроселя; Др – дросель; ПТ – пічний трансформатор; ПБЗ, РПН – механізми перемикання відгалужень первинної обмотки пічного трансформатора: з перемиканням без збудження і регулюванням під навантаженням відповідно.

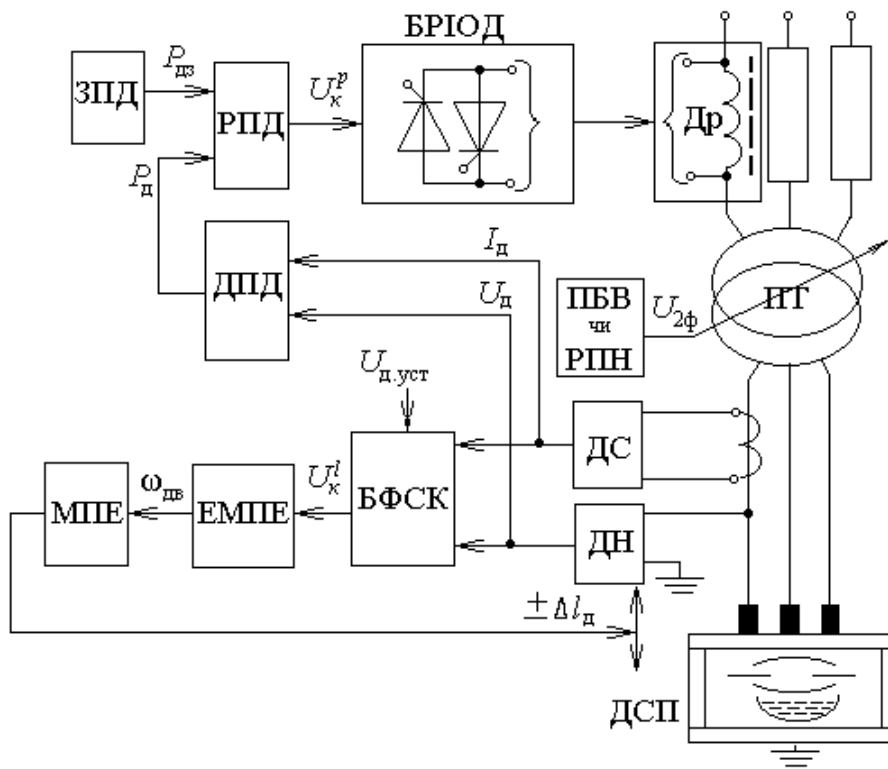


Рис. 1. Функціональна блок-схема системи керування електричного режиму ДСП з контуром регулювання потужності дуги

Поліпшення показників якості регулювання потужності дуги у запропонованій структурі досягається завдяки використанню керуючого впливу U_k^p , що формується на виході пропорційно-інтегрального регулятора потужності дуги РПД безпосередньо у функції відхилення поточної потужності дуги P_d від заданого значення P_{dz} , що неперервно задається по ходу плавки згідно з директивним графіком ведення плавки на виході задавача потужності дуги ЗПД. Отримувана динамічна і статична точність регулювання потужності дуг визначається не лише структурою і параметрами налаштування регулятора контуру потужності дуги, але значною мірою і статистичними характеристиками збурень електричного режиму і насамперед флуктуацій довжини дуги $l_d(t)$, а також керуючими впливами – значеннями уставки $U_{d,уст}$ за напругою електромеханічного контуру регулювання довжини дуги, сигналом завдання потужності дуги P_{dz} та встановленою напругою $U_{2ф}$ вторинної обмотки трансформаторного агрегату ПТ.

На рис. 2 показано залежності природної 1 та сформованих (штучних) 2, 3, 4 зовнішніх характеристик $I_d(U_d)$ а) та характеристик потужності дуги $P_d(U_d)$ б) печі ДСП-6 для різних робочих напруг $U_{2\phi}$ вторинної обмотки пічного трансформатора ПТ ($U_{2\phi1} = U_{2\phi2} > U_{2\phi3} > U_{2\phi4}$), а також природну 5 та сформовані 6 та 7 характеристики, що отримуються при збільшенні номінальної напруги на першому ступені пічного трансформатора на 5 % (що відповідає світовим тенденціям проектування силового електрообладнання ДСП) для двох сигналів завдання стабілізації потужності $P_{дз1} < P_{дз2}$ дуг відповідно.

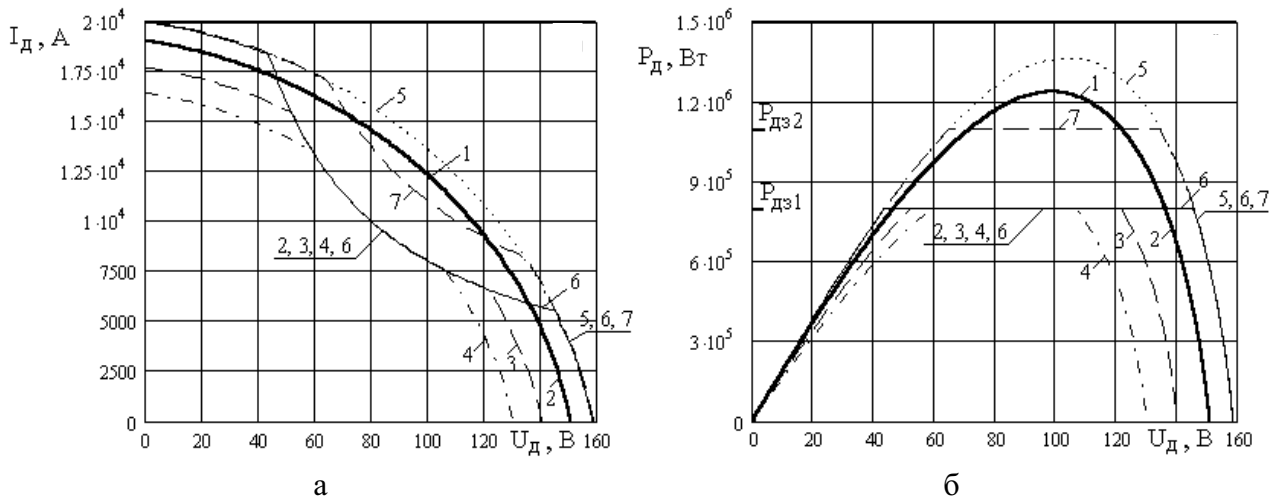


Рис. 2. Природні 1, 5 та сформовані 2, 3, 4, 6, 7 зовнішні характеристики $I_d(U_d)$ та характеристики потужності дуги $P_d(U_d)$ дугової сталеплавильної печі типу ДСП-6

Формування та реалізація характеристик 2, 3, 4, 6 та 7 для мінімізації динамічної похибки (дисперсії D_{P_d}) регулювання потужності дуг призводить до одночасного

зменшення середньої потужності дуг \bar{P}_d , яку, як було зазначено вище, можна відновити без погіршення динамічної точності шляхом відповідного збільшення вторинної напруги робочого ступеня пічного трансформаторного ПТ. Отримати значення зазначених вище складових вектора керуючих впливів системи, що відповідають оптимальним значенням цих часткових суперечливих критеріїв (мінімум дисперсії D_{P_d} та бажане значення середньої потужності дуг \bar{P}_d) з урахуванням обмежень на їх значення можна шляхом векторної оптимізації електричного режиму дугової печі на основі узагальненого функціоналу якості записаного у вигляді адитивної функції:

$$\Phi(U_{дуст}, U_{2\phi}, P_{дз}) = \lambda_{D_{P_d}} \cdot D_{P_d}^*(U_{дуст}, U_{2\phi}, P_{дз}) + \lambda_{\bar{P}_d} \cdot \bar{P}_d^*(U_{дуст}, U_{2\phi}, P_{дз}) \Rightarrow \min, (2)$$

$\lambda_{D_{P_d}}$ $\lambda_{\bar{P}_d}$ – вагові коефіцієнти, що задають у кількісній шкалі важливість кожного часткового критерію оптимальності порівняно з іншим; $D_{P_d}^*(U_{дуст}, U_{2\phi}, P_{дз})$, $\bar{P}_d^*(U_{дуст}, U_{2\phi}, P_{дз})$ – часткові функціонали якості, що подають нормалізовані значення дисперсії та середньої потужності дуг відповідно.

Наближену кількісну оцінку показників динаміки та статички регулювання потужності дуг розробленої САК ЕР ДСП можна отримати за виразами сформованих зовнішніх характеристик $P_{\text{д}}(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}})$ з врахуванням випадкового характеру флуктуацій напруг на дугах з нормальним законом розподілу процесу їх зміни, що з достатньою точністю справджується практично на всіх технологічних інтервалах плавки [6], за такими виразами:

$$\bar{P}_{\text{д}}(U_{\text{дуст}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}, \sigma) = \int_0^{U_{2\phi}} P_{\text{д}}(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}) \cdot f(\bar{U}_{\text{д}}, \sigma) \cdot dU_{\text{д}}, \quad (3)$$

$$D_{P_{\text{д}}}(U_{\text{дуст}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}, \sigma) = \int_0^{U_{2\phi}} (P_{\text{д}}(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}) - \bar{P}_{\text{д}}(U_{\text{дуст}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}, \sigma)) \cdot f(\bar{U}_{\text{д}}, \sigma) \cdot dU_{\text{д}}, \quad (4)$$

де

$$P_{\text{д}}(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}) = \frac{-U_{\text{д}} \cdot r + \sqrt{U_{\text{д}}^2 \cdot r^2 + (r^2 + (x^2 + x_{\text{др}}^2(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}))) \cdot (U_{2\phi}^2 - U_{\text{д}}^2)}}{r^2 + (x^2 + x_{\text{др}}^2(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}))} \cdot U_{\text{д}}$$

– залежність потужності дуг;

$$x_{\text{др}}(U_{\text{д}}, U_{2\phi}, P_{\text{дз}}) = -x + \sqrt{U_{\text{д}}^2 \cdot (U_{2\phi}^2 - U_{\text{д}}^2 - 2 \cdot P_{\text{дз}} \cdot r) - r^2 \cdot P_{\text{дз}}^2} / P_{\text{дз}}$$

– закон регулювання еквівалентного індуктивного опору дроселя $D_{\text{р}}$, що відповідає режиму стабілізації потужності дуги на заданому рівні $P_{\text{д}}(U_{\text{д}}) = P_{\text{дз}} = \text{const}$; r , x – активний та реактивний опір силового кола печі за виключенням опору дроселя $D_{\text{р}}$;

$f(U_{\text{д}}, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(U_{\text{д}} - \bar{U}_{\text{д}})^2}{2\sigma^2}\right)$ – функція щільності розподілу імовірності процесу $U_{\text{д}}(t)$;

$\bar{U}_{\text{д}}$, σ – математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення процесу $U_{\text{д}}(t)$ (з достатньою точністю на інтервалах стаціонарності можна прийняти, що значення математичного сподівання процесу $U_{\text{д}}(t)$ дорівнює напрузі уставки $U_{\text{д,уст}}$ за напругою дуги електро механічного контуру регулювання положення електродів $\bar{U}_{\text{д}} = U_{\text{дуст}}$).

У табл. 1 зведено отримані за виразами (3) та (4) для дугової сталеплавильної печі типу ДСП-6 значення $\bar{P}_{\text{д}}$ та $D_{P_{\text{д}}}$ для різних значень напруги уставки $U_{\text{дуст}}$ при реалізації характеристики 2 і для $P_{\text{дз}} = 0,8$ МВт; $\sigma = 15$ В; $U_{2\phi} = 150,7$ В, а в табл. 2 – значення цих самих показників якості регулювання потужності дуги, але для різних значень середньоквадратичного відхилення σ процесу $U_{\text{д}}(t)$ і за інших однакових умов та $U_{\text{дуст}} = 110$ В.

Таблиця 1

Показники якості регулювання потужності дуг для $P_{\text{дз}} = 0,8$ МВт; $\sigma = 15$ В; $U_{2\phi} = 150,7$ В

$U_{\text{дуст}}, \text{В}$	40	60	80	90	100	120	130
$\bar{P}_{\text{д}}, \text{МВт}$	0.643	0.777	0.799	0.800	0.798	0.756	0.665
$D_{P_{\text{д}}}, \times 10^{-3}, \text{МВт}^2$	30.0	4.66	0.154	0.059	0.425	10.3	27.3

Таблиця 2

**Показники якості регулювання потужності дуг
для $P_{дз} = 0,8$ МВт; $U_{дуст} = 110$ В; $U_{2ф} = 150,7$ В**

Показники \ σ , В	7.5	10	12.5	15	17.5	20	30
$\bar{P}_д$, МВт	0.8	0.799	0.797	0.790	0.779	0.765	0.698
$D_{Pд}$, $\times 10^{-3}$, МВт ²	0.00227	0.119	0.875	2.61	4.94	7.39	16.9

Аналіз поданих у цих таблицях результатів підтверджує, що математичне сподівання $\bar{P}_д$ та дисперсія $D_{Pд}$ потужності дуг у запропонованій багатоконтурній системі регулювання електричного режиму суттєво залежать як від значення напруги уставки $U_{дуст}$ електромеханічного контуру, так і від середньоквадратичного відхилення σ процесу $U_d(t)$, котрі, у свою чергу, визначаються як динамічними властивостями електромеханічної системи регулювання довжини дуги, так і статистичними характеристиками процесу збурень $I_d(t)$ за довжиною дуги.

На рис. 3 показано залежності $\bar{P}_д(U_{д.уст})$, а) та $D_{Pд}(U_{д.уст})$ б) при роботі на характеристиках виду 6, 7 (рис. 2) з різними значеннями $P_{дз}$ для $\sigma = 15$ В і збільшеній на 5% напрузі першого ступеня ПТ ($U_{2ф}=158.2$ В) дугової печі типу ДСП-6 (потовщена лінія – робота на природній характеристиці 1). У табл. 3 наведені інтегральні показники якості регулювання потужності дуг при роботі на характеристиці 7: $U_{2ф}=158.2$ В; $P_{дз} = 1,1$ МВт. Для порівняння: при роботі печі у точці номінального режиму на першому ступені ($I_{дн}=11061$ А; $U_{2ф}=150.7$ В) на природній зовнішній характеристиці 1 (рис. 2) для $\sigma=15$ В – $\bar{P}_д(105) = 1,17$ МВт; $D_{Pд}(105) = 12,1 \times 10^{-3}$ МВт², що отримані також згідно з (3) та (4) відповідно.

Таблиця 3

Показники якості регулювання потужності дуг для $P_{дз} = 1,1$ МВт; $\sigma = 15$ В; $U_{2ф} = 158,2$ В

Показники \ $U_{дуст}$, В	40	60	80	90	100	120	130
$\bar{P}_д$, МВт	0.724	0.978	1.08	1.096	1.098	1.06	0.970
$D_{Pд}$, $\times 10^{-3}$, МВт ²	53.7	23.5	2.88	0.615	0.513	13.6	38.8

Аналіз отриманих залежностей $\bar{P}_д(U_{д.уст})$ показує належну точність стабілізації потужності дуг у точках їх екстремуму, особливо для менших значень $P_{дз}$, а з аналізу залежностей $D_{Pд}(U_{д.уст})$ випливає, що їм властивий мінімум з пологим характером зміни в його околі, причому координати точки екстремуму для різних $P_{дз}$ є близькі за значеннями.

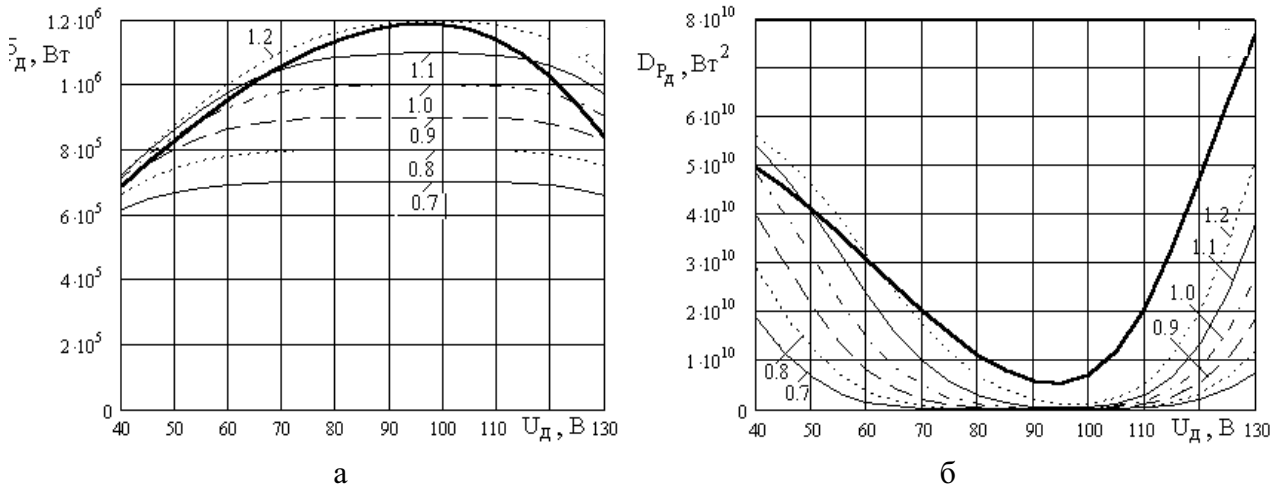


Рис. 3. Залежності потужностей $\bar{P}_D(U_{d,уст})$ а) та дисперсії $D_{P_D}(U_{d,уст})$ дуг для різних значень $P_{dз}$, МВт та $\sigma = 15$ В, $U_{2ф} = 158,2$ В

Такі властивості залежностей $\bar{P}_D(U_{д,уст})$ та $D_{P_D}(U_{д,уст})$ для $P_{дз} = var$ є придатними для якісної стабілізації потужності у періодах окислення та рафінування, у яких збурення за довжиною дуги мають порівняно невелику амплітуду: $(0...0.5) \sigma_{max}$, а також для необхідного регулювання значень координат електричного режиму (напруги, струму, потужності дуг) у цих періодах без перемикання ступеней напруги пічного трансформатора, у тому числі і якісного розв'язування задачі гнучкого обмеження споживаної потужності на часових інтервалах обмеження максимуму.

Дослідження САК електричним режимом ДСП на цифровій моделі

Наведені вище результати статистичних розрахунків, що отримані на основі однофазної моделі електричного режиму ДСП, у якісному плані достатньо точно відображають характерні властивості запропонованої структури САК потужності дуг та характер зміни показників її функціонування. Точнішу кількісну інформацію, що подає ефективність керування режимами ДСП у запропонованій структурі з урахуванням динаміки процесу регулювання отримано на трифазній цифровій моделі системи живлення та регулювання режимів запропонованої системи, складеної у миттєвих координатах.

На рис. 4 показано отримані на такій цифровій моделі для параметрів печі ДСП-6 процеси зміни фазних режимних координат $I_{dj}(t)$, $U_{dj}(t)$, $P_{dj}(t)$ при дії реалізації процесу збурень за довжиною дуги $f_j(t)$ ($j=A, B, C$), що за стохастичними характеристиками відповідає початку періоду окислення (наведення шлаку), при функціонуванні запропонованої двоконтурної структури, а в табл. 4 зведено результати статистичного опрацювання цих процесів, а також процесів зміни цих координат, отриманих на цифровій моделі при функціонуванні чинної одноконтурної електромеханічної системи на базі серійного регулятора потужності дуги типу АРДМ-Т при дії цієї ж реалізації процесу збурень $f_j(t)$.

Показники функціонування досліджуваних структур САК ЕР печі ДСП-6

Досліджувані структури	Показники	$D_{P_d}, \times 10^9, \text{Вт}$	$D_{I_d}, \text{кА}^2$	$D_Q, \times 10^{11}, \text{вар}^2$	$D_{U_M}, \text{В}^2$
Двоконтурна структура регулювання потужності дуг		0.5725	0.491	0.1548	50.25
Серійний регулятор потужності дуги АРДМ-Т		6.339	1.055	0.2185	82.29

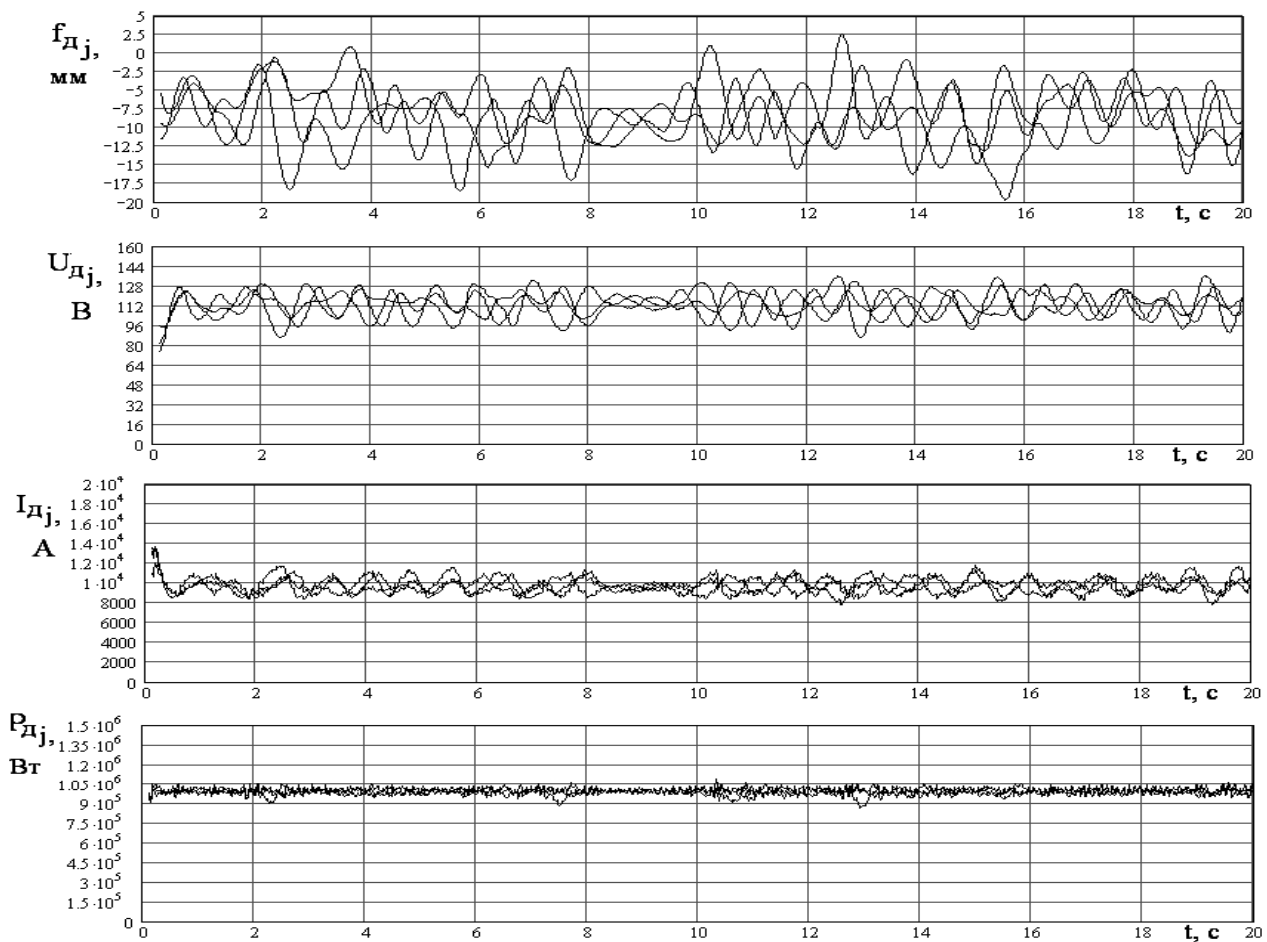


Рис. 4. Часові залежності збурень за довжиною дуги $f(t)$, напруги $U_{dj}(t)$, струму $I_{dj}(t)$ та потужності дуг $P_{dj}(t)$ для кожної фази печі ДСП-6 при роботі двоконтурної САК ЕР

Висновки

Отримані результати показали, що порівняно із серійним регулятором потужності дуги типу АРДМ-Т використання запропонованих схемотехнічних рішень дає змогу за однакової середньої потужності дуг зменшити її дисперсію у 10–20 разів. Крім цього, помітно поліпшується якість стабілізації струмів дуг (у середньому в два рази зменшується дисперсія струмів дуг D_{I_d}), стабілізується режим споживання реактивної потужності (дисперсія реактивної потужності D_Q зменшується в середньому в 1,4 раза), а також поліпшується якість напруги на шині під'єднання печі до електромережі, зокрема її дисперсія D_{U_M} знижується в 1,6 раза.

1. Ключников А.Д., Иванов Г.П. Теплопередача излучением в огнетехнических установках. – М., 1970. 2. Сосонкин О.М., Шишимиров М.В. Анализ факторов, влияющих на угар металла в дуговой сталеплавильной печи // *Электротехнология*. – 2002. – № 12 – С. 12–15. 3. Пат. України №50160А. Пристрій для регулювання потужності трифазної дугової електропечі / О.Ю. Лозинський, А.О. Лозинський, Я.Ю. Марущак, Р.Я. Паранчук, Я.С. Паранчук. – Опубл. в бюл. ПВ №10, 2002. 4. Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Паранчук Я.С., Уханська Д.В. Стабілізація потужності дуг в електродугових печах за допомогою гіперболічного закону керування струмом дуги // *Науч. тр. Кременчугского государств. политехн. ун-та «Проблемы создания новых машин и технологий»*. – 2001. – Вып. 1(10). – С. 193–197. 5. Лозинский О.Ю., Костинюк Л.Д., Паранчук Я.С., Перевознюк В.Я., Сметанюк Я.Б. Автоматизированное распознавание технологических стадий равления шихты // *Электротехника*. – 1986. – № 9. – С. 39–42.

УДК 621. 3. 01

Р.А. Пеленський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної та загальної електротехніки

ЕЛЕМЕНТИ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ СКЛОВИРОБІВ

© Пеленський Р.А., 2003

Досліджено процеси проходження електромагнітних хвиль через діелектричне середовище з неоднорідностями у вузькому приповерхневому шарі. Побудована математична модель цих процесів як елемента електричної системи комп'ютерного томографа для діагностики стану скляних виробів.

Studied in the paper are processes of the penetration of electromagnetic waves through dielectric media with the impurities in the narrow layer close to the surface. A mathematical model of these processes as an element of the electric system of the computer tomograph for the diagnostics of the state of glass objects has been construed.

Проблема дослідження

Стан спрацювання матеріалів є надзвичайно актуальним при розв'язанні практичних задач довготривалої експлуатації виробів.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження, проведені заграничними фірмами (фірма Сименс Гальске, Інститут інтроскопії в Росії) засвідчують той факт, що основна увага дослідників сконцентрована на діагностиці процесів зношення металевих виробів [1]. Діелектричні вироби типу скла мають ту специфіку, що на міцність виробів впливає стан приповерхневого шару. Проведення досліджень у цьому руслі скероване на розв'язання невирішених раніше частин загальної проблеми діагностики стану виробів.

Мета роботи

Метою роботи є побудова математичної моделі процесів проходження плоскої електромагнітної хвилі через діелектричні середовища, що містять у приповерхневому шарі