

плавлення ~ 30 °С. Густина струму в рідкому металі вимірювали двохелектродним давачем (зондом) [4]. З метою дотримання подібності по електромагнітному полю живлення фізичної моделі печі здійснювали напругою підвищеної частоти (450 Гц). Як видно з рис. 4, розрахована густина струму непогано збігається з експериментальними даними, розбіжність між ними не перевищує 5 %.

Були також визначені електромагнітні параметри промислової печі. Нижче в таблиці наведено значення повного Z , активного R та індуктивного X опорів, а також коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ діючої печі. Максимальна розбіжність між розрахованими і експериментально отриманими значеннями параметрів становила 15 % для R і менше 10 % для інших величин.

Електромагнітні параметри печі ІАК-40

	Z , Ом	R , Ом	X , Ом	$\cos \varphi$
Розрахунок	0,437	0,091	0,427	0,208
Експеримент	0,407	0,079	0,399	0,194

Отже, на основі розробленої квазітривимірної математичної моделі виконано моделювання електромагнітного поля індукційної каналної печі та визначено електромагнітні параметри. Достовірність математичної моделі підтверджено задовільним збігом розрахованих та експериментально отриманих на фізичній моделі і діючій печі значень густини струму в рідкому металі та її електромагнітних параметрів.

1. Тимофеев В.Н., Темеров А.А., Гориславец Ю.М., Бояков С.А. *Электромагнитное поле индукционной каналной печи* // *Техническая электродинамика*. – 1986. – № 5. – С. 3–9. 2. Гориславец Ю.М., Эркенов Н.Х. *Электромагнитное поле индукционной печи с вращательным движением жидкого металла в каналах* // *Техническая электродинамика*. – 1990. – № 2. – С. 15–20. 3. *FEMLAB User's Guide and Introduction*. – *Femlab 2.3*. – *COMSOL Inc.*, 1994–2002. – 436 p. 4. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. *Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах*. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 256 с.

УДК 621.355(075.8):536.755

І.З. Щур

Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ КЕРОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕЗАРЯДЖЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ НАГРОМАДЖУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ЗІ СТАЛИМИ ЄМНОСТЯМИ

© Щур І.З., 2007

Здійснено математичний опис, досліджено і проаналізовано вплив основних параметрів на показники трьох типів керованих процесів перезаряду узагальнених нагромаджувачів енергії зі сталими ємностями.

Mathematical description is carried out, explored and analyzed influence of basic parameters on the indexes of three types of the adjustable recharge processes of the generalized energy accumulators with permanent capacities.

Постановка проблеми. Загострення енергетичної проблеми у світі, спричинене зменшенням запасів викопних джерел енергії, зумовило актуальність досліджень, спрямованих на енергозбереження в усіх сферах діяльності. Нагромаджувачі енергії (НЕ) різного типу дають змогу

розв'язувати низку задач, пов'язаних з раціональним використанням енергії: узгодження графіків постачання та споживання енергії, перетворення параметрів енергії (трансформування потужності), перетворення енергії з одного виду в інший (трансформування енергії) [1–3]. Тому останнім часом значно розширилася сфера використання НЕ різної фізичної природи: теплових, механічних (статичні і динамічні), хімічних, електричних (індуктивні, ємнісні), електромеханічних, електродинамічних тощо. Використання НЕ пов'язано з періодичними процесами їхнього заряджання та розряджання. Часто в одному технологічному процесі задіяні два і більше різних НЕ, які обмінюються між собою енергією, тобто відбуваються процеси їхнього перезаряджання. У загальному процес заряджання НЕ від якогось джерела потрібно розглядати як частковий випадок перезаряджання НЕ, оскільки кожне джерело енергії можна подати НЕ-донором безконечної ємності у разі значно переважаючої його потужності над потужністю споживача (НЕ-реципієнта) або НЕ певної ємності з її підзаряду – у разі співмірних потужностей. Враховуючи це, вивчення закономірностей перезаряду НЕ з метою їх удосконалення є важливою науковою проблемою.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [4] показано, що використання фундаментальних основ термодинаміки необоротних процесів (ТДНП) [5] дає змогу описати низку НЕ різної природи подібними законами й отримати таким чином узагальнений НЕ. У цій роботі також досліджено закономірності процесів прямого (безпосереднього) перезаряджання узагальнених НЕ з постійними ємностями. Енергетична ефективність таких процесів для задач глибокого перезаряду є невисокою. Для її підвищення необхідно застосувати автоматичне регулювання процесу перезаряджання енергією.

Метою роботи є математичний опис основних найпростіших щодо закону регулювання процесів перезаряджання узагальнених НЕ і теоретичний аналіз енергетичних показників цих процесів за умови незмінних значень ємностей НЕ.

Виклад основного матеріалу. Як і в роботі [4] проаналізуємо процес перезаряджання двох НЕ з постійними ємностями та без витоку енергії, але з автоматичним регулюванням інтенсивності процесу перезаряджання за різними законами. Для простішого сприйняття також візьмемо як НЕ два електричні конденсатори з ємностями C_1 і C_2 , які для перезаряджання з'єднуються електричним колом через перетворювач потужності ПП (рис. 1). Він неперервно перетворює потужність на вході у вихідну потужність з ККД $\eta_{\text{п}}$, моделюючи таким чином процеси, що відбуваються, наприклад, в імпульсних перетворювачах постійного струму. Сумарні активні опори кіл НЕ зведемо до опорів R_1 і R_2 та прийнемо за додатні такі позначення напрямків напруг і струмів, що відповідають процесові перезаряджання, який відбувається зліва направо.

Процес перезаряджання конденсаторів за схемою, показаною на рис. 1, описується такою системою рівнянь:

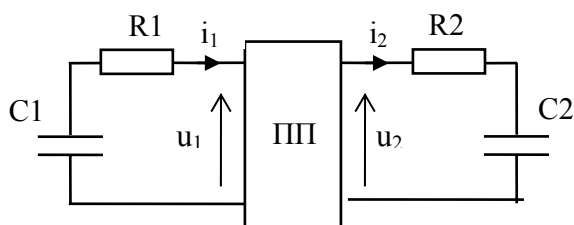


Рис. 1. Розрахункова схема процесу регульованого перезаряджання НЕ

$$\left. \begin{aligned} u_1(t) &= u_{C1}(t) - i_1(t)R_1 \\ u_2(t) &= u_{C2}(t) + i_2(t)R_2 \\ u_{C1}(t) &= U_{C10} - \frac{1}{C_1} \int i_1(t) dt \\ u_{C2}(t) &= U_{C20} + \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt \\ \eta_{\text{п}} &= \frac{u_2(t)i_2(t)}{u_1(t)i_1(t)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де U_{C10} і U_{C20} – початкові значення напруг конденсаторів C_1 і C_2 .

Для отримання загальних результатів доцільно перейти в системі рівнянь (1) до відносних одиниць (позначатимуться аналогічно, але з додаванням в індексі *), пронормувавши всі параметри

на відповідні початкові значення зі сторони НЕ-донора: напруги – на U_{C10} , струми – на U_{C10}/R_1 , потужності – на U_{C10}^2/R_1 , енергії – на $C_1 U_{C10}^2/2$, час – на $R_1 C_1$. У результаті отримаємо:

$$u_{1*}(\tau) = u_{C1*}(\tau) - i_{1*}(\tau); \quad (2)$$

$$u_{2*}(\tau) = u_{C2*}(\tau) + i_{2*}(\tau)/k_R; \quad (3)$$

$$u_{C1*}(\tau) = 1 - \int i_{1*}(\tau) d\tau; \quad (4)$$

$$u_{C2*}(\tau) = U_{C20*} + k_C \int i_{2*}(\tau) d\tau; \quad (5)$$

$$\eta_{\Pi} = \frac{u_{2*}(\tau) i_{2*}(\tau)}{u_{1*}(\tau) i_{1*}(\tau)}, \quad (6)$$

де $\tau = t/(R_1 C_1)$ – відносний час; $k_R = R_1/R_2$; $k_C = C_1/C_2$.

Розглянемо три найпростіші щодо реалізації способи автоматичного регулювання процесів перезаряджання НЕ. Для чисельного розв'язку в пакеті MathCad необхідно, враховуючи принцип автоматичного керування, перетворити систему рівнянь (2)–(6) до нормальної форми Коші. Для цього потрібно продиференціювати рівняння (4) і (5), а також (6) після підставлення у нього виразів (2) і (3). З метою спрощення запису надалі буде опущено запис залежності змінних від τ . Вони позначатимуться малими літерами, на відміну від незалежних від τ значень, які позначатимуться відповідними великими буквами.

Енергетичну ефективність процесу перезаряджання НЕ оцінюватимемо за допомогою таких показників:

- кількості відданої конденсатором C_1 та отриманої конденсатором C_2 енергії від початку до біжучого моменту часу перехідного процесу перезаряджання

$$\Delta w_{C1*} = 1 - u_{C1*}^2; \quad \Delta w_{C2*} = (u_{C2*}^2 - U_{C20*}^2)/k_C; \quad (7)$$

- часова залежність енергетичного ККД процесу перезаряджання

$$\eta = \frac{\Delta w_{C2*}}{\Delta w_{C1*}} = \frac{u_{C2*}^2 - U_{C20*}^2}{k_C(1 - u_{C1*}^2)}; \quad (8)$$

- час закінчення процесу перезаряджання τ_K ;
- кінцеві (при $\tau = \tau_K$) значення параметрів системи НЕ $U_{C1,K*}$, $U_{C2,K*}$, $I_{1,K*}$, $I_{2,K*}$, η_K ;
- граничні (максимально можливі за умови $\tau_K = 0$) значення постійних для конкретного принципу автоматичного регулювання параметрів процесу.

Перезаряджання НЕ за умови $I_{1*} = \text{const}$. За вказаної умови внаслідок перетворень отримаємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{di_{2*}}{d\tau} = -\frac{\eta_{\Pi} i_{1*}^2 + k_C i_{2*}^2}{u_{C2*} + 2i_{2*}/k_R} \\ \frac{du_{C1*}}{d\tau} = -i_{1*} \\ \frac{du_{C2*}}{d\tau} = k_C i_{2*} \end{cases} \quad (9)$$

Підставивши (2) і (3) в (6), отримаємо залежність i_{2*} від решти параметрів системи:

$$i_{2*} = \frac{-u_{C2*} + \sqrt{u_{C2*}^2 + 4\eta_{\Pi}(u_{C1*} - I_{1*})/k_R}}{2/k_R}.$$

Початковими умовами для розв'язання системи рівнянь (9) є значення $u_{C1*} = 1$, $u_{C2*} = U_{C20*}$, а також величина струму i_{2*} , яка отримується з останнього рівняння після підставлення в його праву

частину вказаних початкових значень напруг конденсаторів. З цього ж рівняння є очевидною умова закінчення процесу перезаряджання НЕ: i_{2*} зменшиться до нуля за $u_{C1*} = I_{1*}$. Під час перезаряджання напруга на НЕ-донорі лінійно зменшуватиметься за функцією, що випливає з розв'язку другого диференціального рівняння системи (9):

$$u_{C1*} = 1 - I_{1*}\tau. \quad (10)$$

Часові залежності i_{2*} та u_{C2*} визначатимуться з системи (9), яка фактично перетворюється в систему двох диференціальних рівнянь.

Підставивши в рівняння (10) отриману вище умову закінчення перехідного процесу, знаходимо значення відносного часу закінчення процесу перезаряджання:

$$\tau_k = \frac{1 - I_{1*}}{I_{1*}}. \quad (11)$$

Підставивши (11) в (10), знаходимо кінцеве мінімальне значення напруги u_{C1*} : $U_{C1,k*} = I_{1*}$.

Граничне за нерівноважністю процесу перезаряджання значення струму I_{1*} можна знайти, підставивши отримане значення $U_{C1,k*}$ у перше рівняння (7) та прирівнявши Δw_{C1*} до нуля. Звідси отримуємо $I_{1,гр*} = 1$.

На рис. 2, як приклад, наведені результати розв'язку системи (9) у вигляді часових залежностей основних параметрів під час перезаряджання НЕ за конкретних значень параметрів системи. Дослідимо вплив цих параметрів на показники процесу перезаряджання НЕ.

З рис. 2 видно, що збільшення U_{C20*} зумовлює значне покращання ефективності процесу перезаряджання: за однакової швидкості процесу розряджання конденсатора C1 (залежність u_{C1*}) інтенсивніше відбувається заряджання C2 (Δw_{C2*}), зменшується струм i_{2*} та зростає енергетичний ККД η , особливо на початковому етапі перезаряджання НЕ. Як показали дослідження, зменшення η_{II} прямо пропорційно знижує η , зменшуючи u_{C2*} .

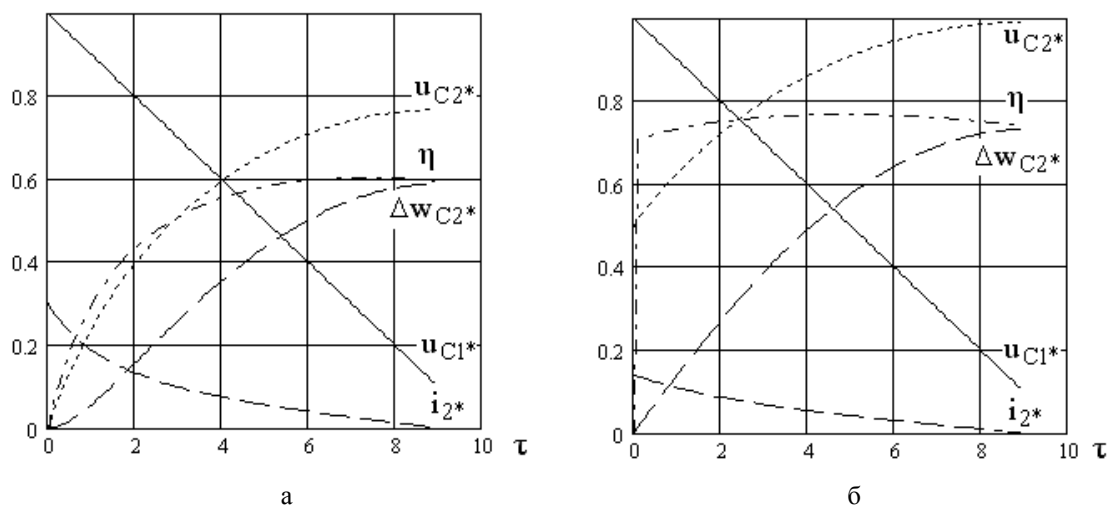


Рис. 2. Часові залежності основних параметрів процесу перезаряджання НЕ за умови $I_{1*} = \text{const} = 0,1$ та $k_C = k_R = 1$, $\eta_{II} = 1$: а – $U_{C20*} = 0$; б – $U_{C20*} = 0,5$

Зміна значень коефіцієнтів k_C і k_R не впливає на залежність $u_{C1*}(\tau)$ і τ_k , що видно з (10) і (11), проте впливає на η і u_{C2*} : збільшення цих коефіцієнтів зумовлює підвищення η і u_{C2*} , а зменшення – до їх зменшення. Цікаво, що на u_{C2*} вплив k_C набагато більший, ніж k_R , тоді як на η дія k_C і k_R чисельно цілком однакова за умови $U_{C20*} = 0$, а зі збільшенням U_{C20*} вплив k_R є відчутніший, ніж k_C .

Цікавішими є залежності параметрів процесу перезаряджання від I_{1*} . На рис. 3 відповідними точками показані кінцеві значення основних параметрів процесу, отримані під час розв'язання системи рівнянь (9) за різних значень струму I_{1*} .

Перезаряджання НЕ за умови $I_{2*} = \text{const}$.

За вказаної умови внаслідок перетворень отримаємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{di_{1*}}{dt} = \frac{\eta_{\text{п}} i_{1*}^2 + k_{\text{С}} I_{2*}^2}{\eta_{\text{п}} (u_{\text{С1}*} - 2i_{1*}/k_{\text{R}})} \\ \frac{du_{\text{С1}*}}{dt} = -i_{1*} \\ \frac{du_{\text{С2}*}}{dt} = k_{\text{С}} I_{2*} \end{cases} \quad (12)$$

Підставивши (2) і (3) в (6), отримаємо залежність i_{1*} від решти параметрів системи:

$$i_{1*} = 0,5 \left(u_{\text{С1}*} - \sqrt{u_{\text{С1}*}^2 - 4I_{2*}(u_{\text{С2}*} + I_{2*}/k_{\text{R}})/\eta_{\text{п}}} \right). \quad (13)$$

З отриманого рівняння знаходять початкові умови для розв'язання системи рівнянь (12). З цього ж рівняння впливає умова закінчення перехідного процесу перезаряджання НЕ – рівність нулеві підкореневого виразу в правій частині рівняння. Звідси отримуємо:

$$u_{\text{С1}*} = 2\sqrt{I_{2*}(u_{\text{С2}*} + I_{2*}/k_{\text{R}})/\eta_{\text{п}}}. \quad (14)$$

Під час перезаряджання НЕ $u_{\text{С2}*}$ лінійно наростатиме за законом $u_{\text{С2}*} = U_{\text{С20}*} + k_{\text{С}} I_{2*} \tau$, $u_{\text{С1}*}$ знижуватиметься відповідно до системи (12), тому аналітично розв'язати рівняння (14) та отримати вираз для часу закінчення перехідного процесу $\tau_{\text{к}}$ неможливо. Після завершення процесу перезаряджання з (13) отримуємо кінцеве максимальне значення струму i_{1*} : $I_{1,\text{к}*} = 0,5U_{\text{С1,к}*}$.

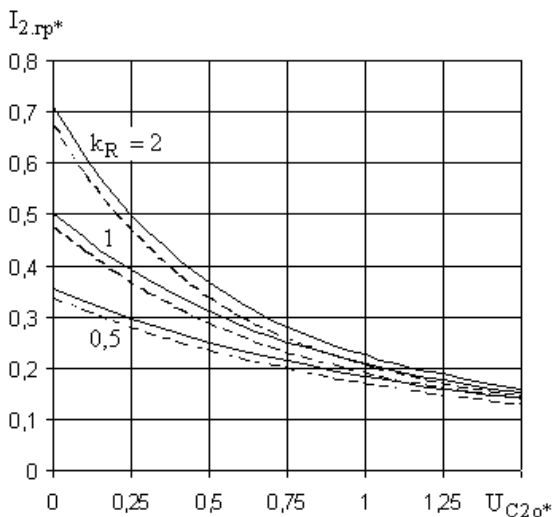


Рис. 4. Графік залежності $I_{2,\text{гр}*}$ від параметрів процесу:

$\eta_{\text{п}}=1,0$ – суцільні лінії, $\eta_{\text{п}}=0,9$ – пунктирні

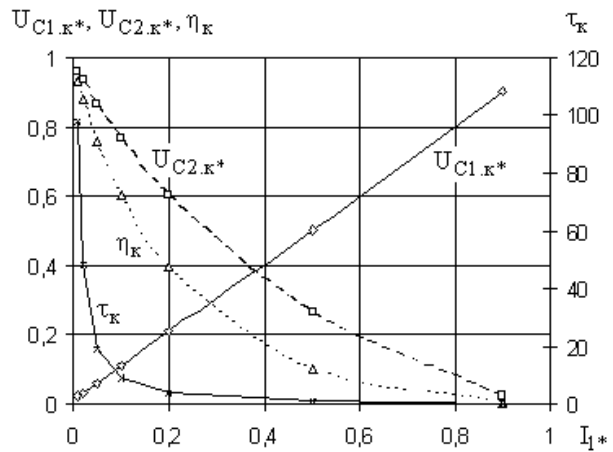


Рис. 3. Залежності кінцевих значень основних параметрів процесу від I_{1*} при $U_{\text{С20}*} = 0$, $k_{\text{С}} = k_{\text{R}} = 1$, $\eta_{\text{п}} = 1$

Граничне значення струму I_{2*} легко отримати з (14), прийнявши $u_{\text{С1}*} = U_{\text{С1,к}*} = 1$ та $u_{\text{С2}*} = U_{\text{С20}*}$:

$$I_{2,\text{гр}*} = 0,5k_{\text{R}} \left(\sqrt{U_{\text{С20}*}^2 + \eta_{\text{п}}/k_{\text{R}}} - U_{\text{С20}*} \right). \quad (15)$$

Залежність $I_{2,\text{гр}*}$ від параметрів відповідно до (15) показана на рис. 4.

На рис. 5 показано результати розрахунку часових залежностей основних параметрів під час перезаряджання НЕ за конкретних значень параметрів системи. Як і у попередньому випадку, збільшення $U_{\text{С02}*}$ до 0,5 зумовлює зростання $u_{\text{С2}*}$ та підвищення енергетичної ефективності перезаряджання, особливо за неглибокого перезаряджання. Але, на відміну від випадку $I_{1*} = \text{const}$, перехідний процес тепер відбувається у 2 рази швидше.

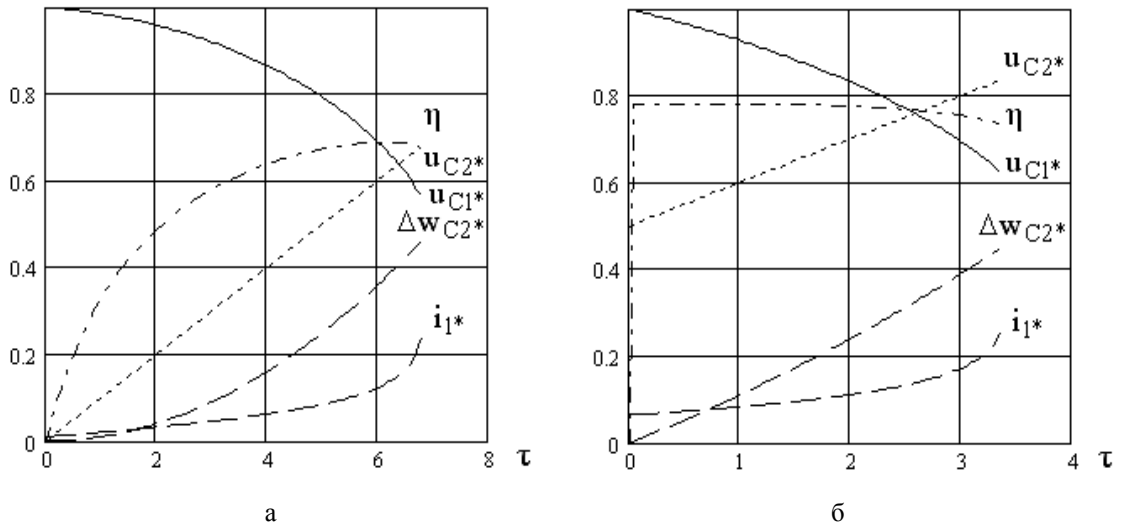


Рис. 5. Часові залежності основних параметрів процесу перезарядження НЕ за умови $I_{2*} = \text{const} = 0,1$ та $k_C = k_R = 1$, $\eta_{\text{п}} = 1$: а – $U_{C_{20}*} = 0$; б – $U_{C_{20}*} = 0,5$

Зміна значень коефіцієнтів k_C і k_R , на відміну від попереднього випадку, впливає на залежність $u_{C1*}(\tau)$ і τ_K , по-різному. Вплив зміни значення коефіцієнта k_R подібний до випадку $I_{1*} = \text{const}$, а k_C – принципово інший: зростання його значення у 2 рази у випадку параметрів процесу, що відповідають рис. 5, а, зумовлює зменшення на 33 % часу перехідного процесу.

Залежності кінцевих значень основних параметрів процесу перезарядження від I_{2*} зображені на рис. 6.

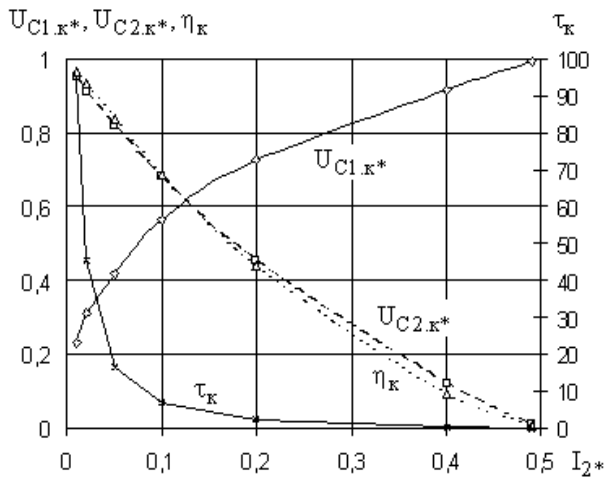


Рис. 6. Залежності кінцевих значень основних параметрів процесу від I_{2*} при $U_{C_{20}*} = 0$, $k_C = k_R = 1$, $\eta_{\text{п}} = 1$

Перезарядження НЕ за умови $P_{2*} = u_{2*}(\tau)i_{2*}(\tau) = \text{const}$. За вказаної умови внаслідок перетворень отримуємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{di_{1*}}{d\tau} = \frac{i_{1*}^2}{u_{C1*} - 2i_{1*}} \\ \frac{di_{2*}}{d\tau} = -\frac{k_C i_{2*}^2}{u_{C2*} + 2i_{2*}/k_R} \\ \frac{du_{C1*}}{d\tau} = -i_{1*} \\ \frac{du_{C2*}}{d\tau} = k_C i_{2*} \end{cases} \quad (16)$$

З рівнянь (2), (3) і (6) за даної умови автоматичного керування отримуємо такі залежності між параметрами системи:

$$i_{1*} = 0,5 \left(u_{C1*} - \sqrt{u_{C1*}^2 - 4P_{2*}/\eta_{\text{п}}} \right); \quad i_{2*} = 0,5k_R \left(\sqrt{u_{C2*}^2 + 4P_{2*}/k_R} - u_{C2*} \right). \quad (17)$$

Початкові умови для розв'язку системи (16) знаходяться з рівнянь (17). Умовою закінчення процесу перезарядження є рівність нулеві підкореневого виразу в першому рівнянні (17): $u_{C1.k*} = 2\sqrt{P_{2*}/\eta_{\text{п}}}$. При цьому, як і у випадку $I_{2*} = \text{const}$, кінцеве максимальне значення струму i_{1*} дорівнює $I_{1.k*} = 0,5u_{C1.k*}$. Підставивши $u_{C1.k*}$ в перше рівняння (7), знаходимо кількість

енергії, що віддав конденсатор С1 за час перехідного процесу: $\Delta W_{C1.k*} = 1 - 4P_{2*}/\eta_{\Pi}$. З цього рівняння знаходимо граничне значення відносної вихідної потужності ПП: $P_{2.гр*} = 0,25\eta_{\Pi}$.

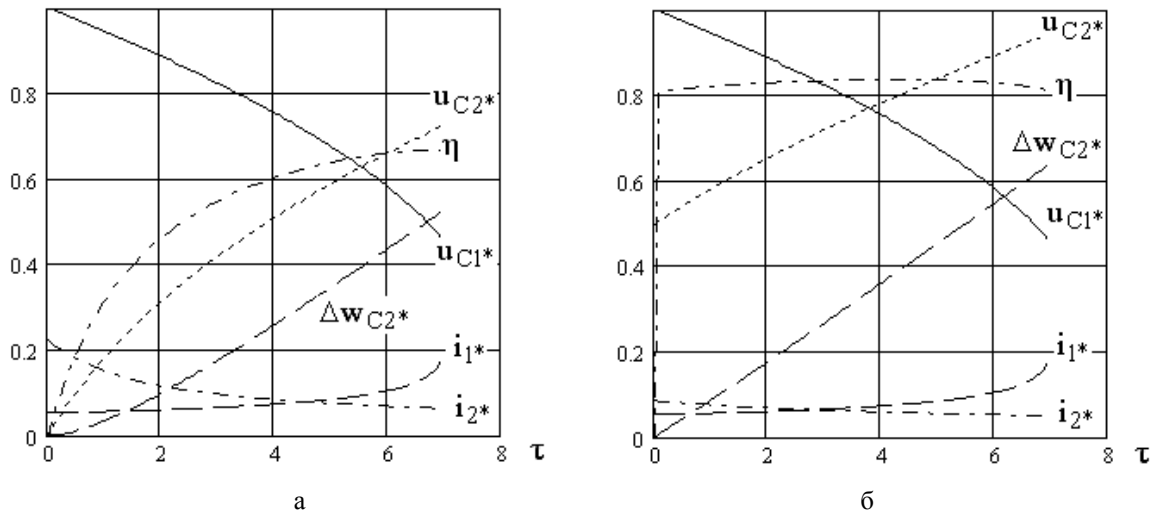


Рис. 7. Часові залежності основних параметрів процесу перезарядження НЕ за умови $P_{2*} = \text{const} = 0,05$ та $k_C = k_R = 1$, $\eta_{\Pi} = 1$: а – $U_{C20*} = 0$; б – $U_{C20*} = 0,5$

На рис. 7 показані результати розрахунку часових залежностей основних параметрів під час перезарядження НЕ за конкретних значень параметрів системи. Як видно з рис. 7, а також з

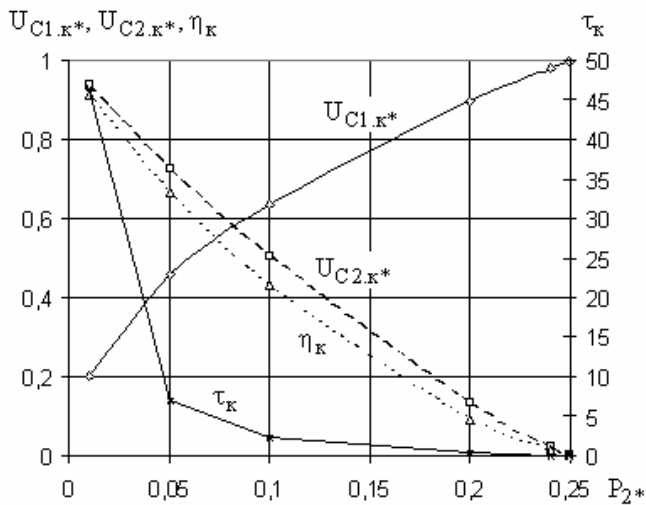


Рис. 8. Залежності кінцевих значень основних параметрів процесу від P_{2*} при $U_{C20*} = 0$, $k_C = k_R = 1$, $\eta_{\Pi} = 1$

проведених досліджень, характер впливу значень параметрів U_{C20*} , k_C і k_R на показники процесу перезарядження аналогічний до випадку $I_{1*} = \text{const}$.

Залежності кінцевих значень основних параметрів процесу перезарядження від P_{2*} зображені на рис. 8.

Висновки. 1. На відміну від прямих (некерованих) процесів перезарядження НЕ, показники керованих процесів залежать від більшого числа параметрів (U_{C20*} , k_C , k_R , η_{Π}), а також від способу автоматичного регулювання.

2. Загальний висновок з аналізу отриманих показників процесів перезарядження НЕ цілком тривіальний згідно з ТДНП: збільшення нерівноважності процесу (I_{1*} , I_{2*} , P_{2*})

зумовлює пришвидшення (зменшення τ_k), але за зниження енергетичної ефективності η та зменшення глибини перезарядження (збільшення $U_{C1.k*}$).

3. Дієвим фактором підвищення енергетичної ефективності процесів перезарядження НЕ є збільшення початкового значення узагальненого потенціалу НЕ-реципієнта (U_{C20*}), проте за глибокого перезарядження це зумовить необхідність збільшення допустимого значення цього потенціалу, а значить, і вартості НЕ.

4. З трьох досліджуваних способів автоматичного керування процесів перезаряджання НЕ найбільшою глибиною перезаряджання (найменшим значенням $U_{C1.k*}$ і найбільшим $U_{C2.k*}$) характеризується спосіб за умови $I_{1*} = \text{const}$, а найменшою – за умови $I_{2*} = \text{const}$ (рис. 2, 5, 7). У такому самому порядку ці способи розміщуються і за швидкістю перезаряджання (τ_k), а за енергетичною ефективністю (η_k) – у зворотній послідовності. Компромісним варіантом за вказаним комплексом показників є спосіб керування за умови $P_{2*} = \text{const}$.

5. Враховуючи значне зниження часу перезаряджання за підвищення U_{C20*} за способу керування за умови $I_{2*} = \text{const}$, цей спосіб найкраще використовувати для неглибокого перезаряджання.

1. *Накопители энергии / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.* 2. *Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1989.* 3. *Barton J., Infield D. Energy storage and its use with intermittent renewable energy // IEEE Trans. on Energy Conversion. – 2005. – Vol. 20, No. 1. – P. 236–243.* 4. *Щур І.З. Аналіз процесів безпосереднього перезаряджання нагромаджувачів енергії з постійними узагальненими ємностями // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. № 587. – С. 118–124.* 5. *Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 461 с.*

УДК 536.24

В.О. Яковенко

Академія митної служби України, м. Дніпропетровськ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕНОСУ ТЕПЛА ПІД ДІЄЮ НВЧ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

© Яковенко В.О., 2007

Наведено математичну модель процесу теплообміну водонафтової емульсії у каналах під дією енергії надвисоких частот. Отримані узагальнювальні результати для довільних перерізів каналу з урахуванням фазових перетворень у матеріалі.

The mathematical model of process of heat exchange of a water-oil emulsion in channels under activity of energy of ultrahigh frequencies is given. Extending effects for the any sections of the channel in view of phase changes in a material are gained.

Обводнювання продуктивних шарів нафтових родовищ спричиняє серйозні ускладнення під час видобутку, збору і підготовки нафти, пов'язані з утворенням водонафтових емульсій. Утворення стійких емульсій знижує показники безвідмовності роботи насосних установок, пробоїв електричної частини внаслідок перевантажень заглибного електродвигуна. Зростання тиску рідини в системах збору нафти і газу спричиняє прориви колекторів, утрудняються сепарація газу і попереднє скидання води. Тому, однією з проблем під час проведення різних технологічних операцій у нафтогазовій промисловості є руйнування водонафтових емульсій [1].

Вплив електромагнітної енергії надвисокочастотного (НВЧ) діапазону широко розвивається і використовується в технологічних процесах. Сфери використання енергії НВЧ зростають з кожним роком, до них належить сушіння різних матеріалів, знезаражування відходів, стерилізація, пастеризація, розморожування харчових продуктів, готування їжі і переробка сільськогосподарської