

лише в усталеному процесі ємність батареї слід зменшити до досягнення номінальної напруги вузла навантаження. В усталеному процесі батарея компенсуватиме реактивну потужність цього вузла навантаження. Методика вибору конденсаторних батарей ґрунтується на підтриманні певного значення напруги вузла навантаження як в перехідному, так і в усталеному процесі. У реальних електроенергетичних системах не завжди доцільно підключати паралельно до вузла батарею статичних конденсаторів, особливо, за малої кількості машин, що живляться від цього вузла. Тоді постає проблема частих пусків, самозапущів (усі мотори розганяються одночасно з деякої початкової швидкості), а, особливо, реверсу моторів, Тому, на сьогоднішній день повну та вичерпну інформацію про процеси, які проходять у вузлі навантаження можна отримати лише за допомогою математичної моделі, побудованої стосовно конкретного типу електротехнічної задачі.

1. Чабан В. *Математичне моделювання електромеханічних процесів*. – Львів, 1997. – 344 с.
2. Чабан А. *Симуляція комутаційних перенапруг глибокопазного асинхронного мотора, що живиться через кабель // Електротехніка і електромеханіка*. – 2004. – Вип. 3. – С. 61–64.

УДК 62-83:621.313.2

І.З. Щур, В.М. Журкіна, З.Л. Паранчук
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП

ОПТИМАЛЬНЕ ЗА НАГРІВАННЯМ КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ОПТИЧНОГО ТЕЛЕСКОПА З ОБМЕЖЕННЯМ ПРИСКОРЕННЯ І РИВКА

© Щур І.З., Журкіна В.М., Паранчук З.Л., 2005

Розв’язано задачу оптимального за нагріванням керування позиційним електроприводом оптичного телескопа з урахуванням обмеження координат прискорення і ривка. Отримано залежності параметрів діаграм координат ривка, прискорення, струму, швидкості від величини кута позиціонування, а також проаналізовано вплив зміни часу позиціонування на діаграми координат керування і кількість теплоти, яка виділяється в обмотках якірного кола.

The task of optimal for heating control of optical telescope position electric drive with taking into account limitation of acceleration and jerk coordinates is resolved. Dependences of diagrams parameters of jerk, acceleration, current, speed coordinates from magnitude of positioning angle is obtained, and influence of positioning time change on the diagrams of control coordinates and quantity of heat, which is selected in the armature winding, is analyzed also.

Постановка проблеми. Оптичні телескопи (ОТ) [1] займають провідне місце серед оптико-електронних пристроїв для спостереження за об’єктами, що віддалені від земної поверхні. Одним із основних режимів роботи таких телескопів є режим позиціонування (так зване переключення), коли електропривід (ЕП) повинен перемістити трубу телескопа на заданий кут без статичної похибки під час дії жорстких обмежень щодо швидкості та прискорення, а також нагрівання обмоток якірного кола виконавчого двигуна (допустиме перегрівання обмоток обмежується величиною 10 °С). З метою отримання прецизійності позиціонування труби телескопа використано безредукторний ЕП, побудований на базі тихохідних моментних двигунів зі збудженням від постійних магнітів. Обґрунтування доцільності застосування оптимального за нагріванням керування із розв’язанням задачі оптимального за нагріванням керування позиційним ЕП наведення труби ОТ за умови накладання обмежень на координати струму, швидкості, прискорення виконавчого двигуна наведено в [2].

До складу ОТ входять високоточні та дорогі оптико-електронні та механічні пристрої. Відсутність редуктора дає змогу підвищити точність позиціонування, проте в такому випадку істотно погіршується демпфування механічних ударів, які виникають під час перехідних процесів та мають негативний вплив на зазначені пристрої. Також, враховуючи малу електромагнітну сталу часу якірного кола двигуна (порядку 0,006 с), що забезпечується особливостями конструктивного виконання великих моментних двигунів (діаметр ротора 2,5 м, великий опір обмотки якоря і відсутність заліза), електричне демпфування механічних ударів не забезпечує достатнього обмеження швидкості наростання струму, а отже, і ривка. Тому, враховуючи також велику електромеханічну сталу часу ЕП через значну загальну масу рухомих частин ОТ (близько 20 т, діаметр дзеркала 3 м), необхідно забезпечити обмеження координати ривка під час перехідних процесів, які формуються, виходячи з оптимального за нагріванням керування.

Аналіз останніх досліджень. Під час обмеження ривка діаграми струму, швидкості будуть відрізнятися від традиційних ідеалізованих, коли струм змінюється стрибкоподібно, наявністю ділянок наростання струму і прискорення у перехідних процесах. Такі перехідні процеси зазвичай формують для ЕП ліфтів, канатних доріг [3].

Результати розв'язання різних варіантів задачі оптимального за нагріванням керування як швидкісними, так і позиційними ЕП, із врахуванням дії обмежень на координати струму, швидкості, прискорення достатньо повно викладені в [2, 4–6]. Для максимальної швидкодії позиціонування під час перехідних процесів координату струму і прискорення (пропорційне до динамічної складової струму) підтримують на максимально допустимому рівні. Перехідний процес струму в реальній системі буде дещо відрізнятися від теоретично очікуваного через наявність індуктивності якірного кола. В результаті цього струм під час перехідних процесів буде наростати не стрибкоподібно, а з деяким темпом, що приведе до згладження ривка. Координата ривка в такому випадку, яка визначається першою похідною координати прискорення та забезпечує темп наростання динамічної складової струму, не контролюється і може мати в деяких випадках недопустимі значення. Отже, для ЕП позиціонування ОТ, де жорстко регламентуються як тепловиділення, так і плавність керування, задача оптимального за нагріванням керування в режимі позиціонування повинна бути відкорегована з врахуванням величини ривка.

Задачі досліджень. У цій роботі поставлені завдання визначення оптимальних за нагріванням діаграм струму та швидкості виконавчого двигуна позиційного ЕП ОТ за умов обмеження координат прискорення і ривка.

Виклад основного матеріалу. Традиційно задачі оптимального керування ЕП розв'язують у специфічних відносних одиницях [4], коли усі параметри нормуються на їх номінальні значення: $i = I/I_H$ – відносне значення струму якоря; $v = \omega/\omega_H$ – відносне значення кутової швидкості обертання вала двигуна; $\mu = M_c/M_H$ – відносне значення моменту статичного навантаження; $\rho^* = \rho/\rho_H$ – відносне значення ривка; $\rho_H = \varepsilon_H/T_M$ – номінальне значення ривка; ε_H – номінальне значення прискорення; $\tau = t/T_M$ – відносне значення часу; $T_M = J\omega_H/M_H$ – механічна стала часу ЕП.

Кут переміщення за час позиціонування τ_z у відносних одиницях нормується на величину, що визначається поворотом за час T_M з номінальною швидкістю обертання, і становитиме

$$\alpha^* = \int_0^{\tau_z} v \, d\tau. \quad (1)$$

Відносна кількість теплоти, що виділяється в якорі двигуна за час τ_z :

$$Q^* = \int_0^{\tau_z} i^2 \, d\tau = \int_0^{\tau_z} (v' + \mu)^2 \, d\tau, \quad (2)$$

де $v' = dv/d\tau = \varepsilon^*$.

За одиницю кількості теплоти, що виділяється в міді якоря, прийнята теплота, яка виділяється в номінальному режимі роботи двигуна за час T_m .

Обмеження відносного прискорення ε^* та відносного ривка ρ^* під час запуску та гальмування на однаковому рівні забезпечується виконанням відповідно таких умов:

$$|\varepsilon^*| = |v'| = |i_d| \leq |i_{d.lim}|; \quad (3)$$

$$|\rho^*| = |\varepsilon^*| \leq |\rho_{lim}^*|, \quad (4)$$

де i_d та $i_{d.lim}$ – відносна динамічна складова струму та її допустиме значення; ρ_{lim}^* – допустиме значення координати ривка у відносних одиницях.

З максимальним значенням ривка буде обмежуватися і підтримуватися на допустимому рівні темп наростання i_d до його допустимого значення, а проміжні значення i_d та прискорення ε^* становитимуть

$$\varepsilon^* = i_d = \rho_{lim}^* \tau. \quad (5)$$

Перехідні процеси струму, швидкості, положення у відносних одиницях під час відпрацювання кута переключення за обмеження прискорення і ривка на допустимому рівні, але без обмеження нагрівання якірних обмоток, показано на рис. 1. Відпрацювання в загальному випадку кута переміщення забезпечується трапецієподібною тахограмою швидкості із середньою ділянкою обмеження швидкості її допустимим значенням. За трикутної тахограми середня ділянка відсутня ($\tau_0 = 0$), а перехідні процеси матимуть такий самий якісний характер. За базове значення часу позиціонування в подальшому аналізі вибирається час τ_6 позиціонування з обмеженням прискорення і ривка на допустимому рівні. Час позиціонування ОТ з номінальним навантаженням без обмеження ривка буде дещо меншим за час τ_6 (для $\alpha = 10^\circ - 270^\circ$ зменшується порівняно з τ_6 на 2,9308% – 0,5336% відповідно). Величини координат струму і швидкості у відносних одиницях менші за одиницю, що пояснюється специфікою моментного двигуна з порівняно м'якою електромеханічною характеристикою та основним моментом статичного навантаження (тертя), що дорівнює 0,146 M_H .

З метою подальшого аналізу і оптимізації керування за нагріванням отримано такі аналітичні вирази, що відповідають заданому переміщенню α_z^* для трикутної і трапецієподібної тахограм:

– час наростання прискорення до його допустимого значення

$$\tau_\rho = \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*}; \quad (6)$$

– час постійного прискорення для трикутної тахограми

$$\tau_\varepsilon = 0,5 \sqrt{\left(\frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*}\right)^2 + 4 \frac{\alpha_z^*}{i_{d.lim}} - \frac{3 i_{d.lim}}{2 \rho_{lim}^*}}; \quad (7)$$

– час постійного прискорення для трапецієподібної тахограми

$$\tau_\varepsilon = \frac{v_{lim}}{i_{d.lim}} - \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*}; \quad (8)$$

– час середньої ділянки усталеної допустимої швидкості

$$\tau_0 = \frac{\alpha_z^* - \left(i_{d.lim} \tau_\varepsilon^2 (\rho_{lim}^*)^2 + 3 i_{d.lim}^2 \tau_\varepsilon \rho_{lim}^* + 2 i_{d.lim}^2\right) / (\rho_{lim}^*)^2}{v_{lim}}; \quad (9)$$

– граничний кут α_g^* позиціонування між трикутною і трапецієподібною тахограмами

$$\alpha_g^* = \frac{v_{lim} \left(i_{d.lim}^2 + v_{lim} \rho_{lim}^*\right)}{\rho_{lim}^* i_{d.lim}}; \quad (10)$$

– час позиціонування для відпрацювання заданого кута переключення

$$\tau_z = 4 \tau_\rho + 2 \tau_\varepsilon + \tau_0. \quad (11)$$

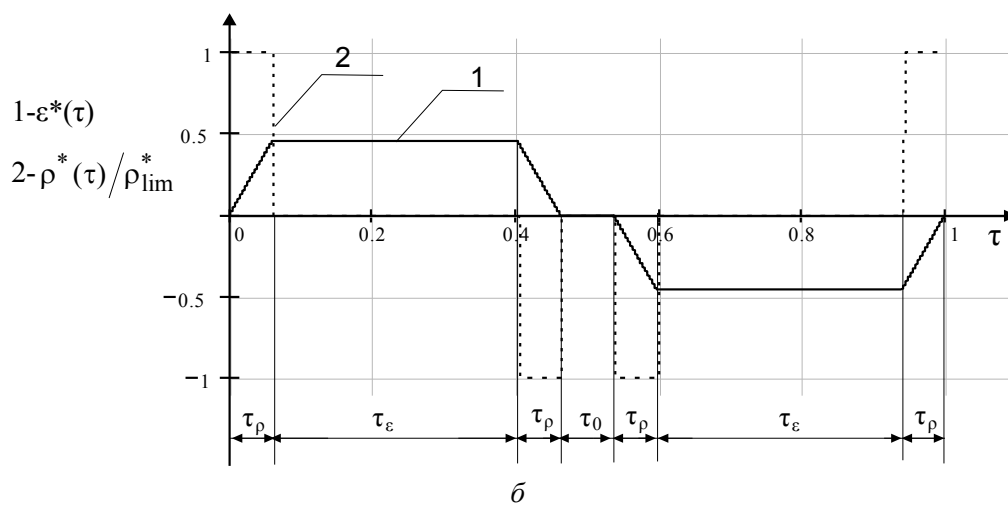
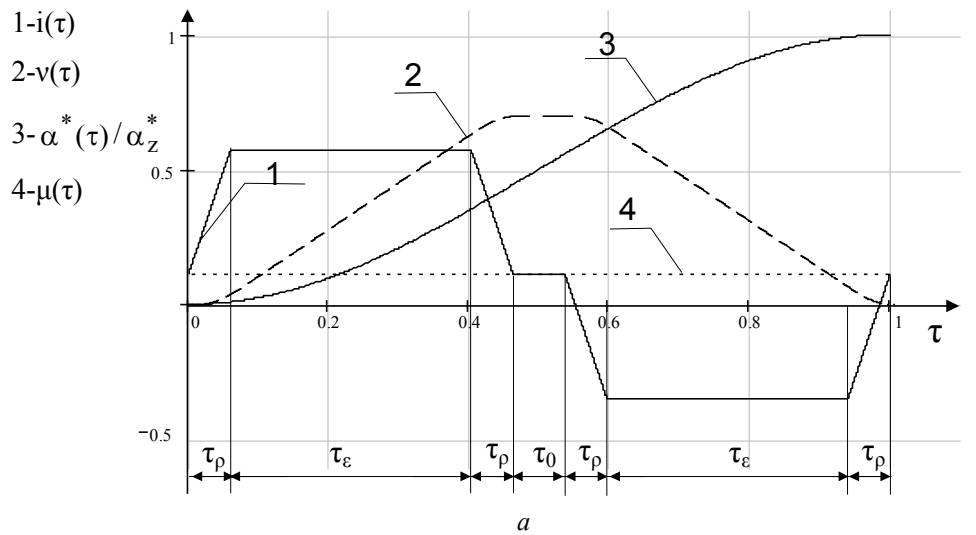


Рис. 1. Перехідні процеси відпрацювання заданого кута перекладання з обмеженням прискорення і ривка і без обмеження кількості теплоти: а – струм, швидкість, переміщення; б – прискорення, ривок

Втрати на нагрівання обмоток при цьому визначаються таким виразом:

$$Q^* = Q_{\rho 1}^* + Q_{\varepsilon}^* + Q_{\rho 2}^* + Q_0^*, \quad (12)$$

де $Q_{\rho 1}^* = 2 \left(\frac{(\rho_{lim}^*)^2 \tau_p^3}{3} + \rho_{lim}^* \mu \tau_p^2 + \mu^2 \tau_p \right)$ – сумарні втрати на нагрівання на інтервалах часу, коли ривок має додатне значення; $Q_{\varepsilon}^* = 2 \tau_{\varepsilon} (i_{d.lim}^2 + \mu^2)$ – сумарні втрати на нагрівання під час обмеження прискорення допустимим значенням; $Q_{\rho 2}^* = 2 \tau_p \left(\mu^2 + \frac{i_{d.lim}^2}{3} \right)$ – сумарні втрати на нагрівання на інтервалах часу, коли ривок має від’ємне значення; $Q_0^* = \mu^2 \tau_0$ – втрати на нагрівання під час режиму усталеної швидкості; τ_p – визначається з (6).

Вказаний спосіб формування координат керування має переваги максимальної швидкодії, проте в такому випадку не враховується нагрівання обмоток якірного кола двигуна. Сформулюємо задачу оптимального за нагріванням керування позиційним ЕП, яка відрізняється від відомих з [2, 4–6] необхідністю врахування обмеження координати ривка: визначити функції $i(\tau)$ та $v(\tau)$, що

забезпечують мінімум інтеграла (2) при заданому значенні інтеграла (1) та за наявності рівняння зв'язку відповідно до електромеханічної характеристики двигуна постійного струму з постійним збудженням з врахуванням обмежень (3), (4).

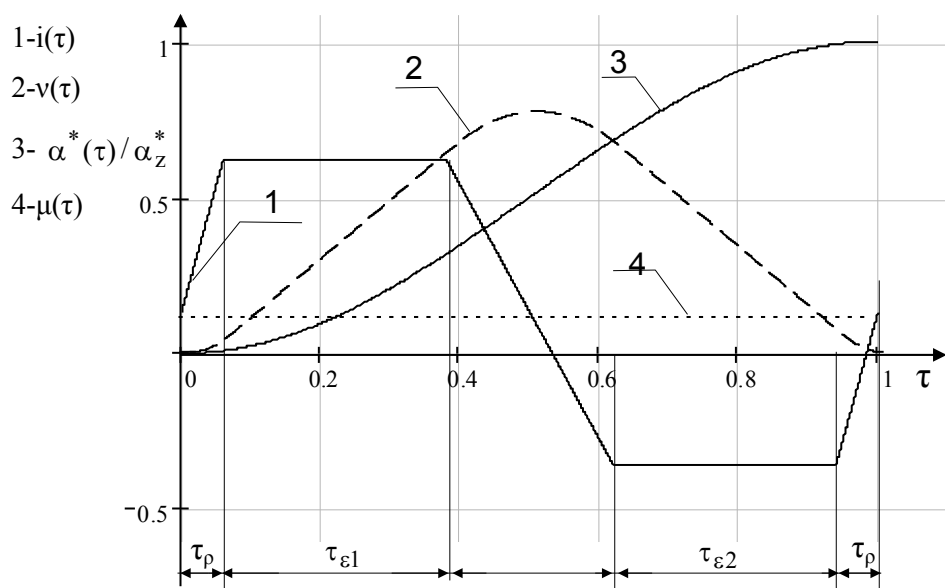
Як показано у [4], за наявності обмежень на координати регулювання найкращою є змішана діаграма, яка складається з ділянок обмеження (визначаються умовами обмеження (3) і (4)) та частини екстремалі між ними. Останнє виражається оптимальною за нагріванням діаграмою швидкості (парабола) та оптимальною діаграмою струму якоря (лінійна функція):

$$v = C_1 + C_2\tau + (\lambda_0/4)\tau^2 ;$$

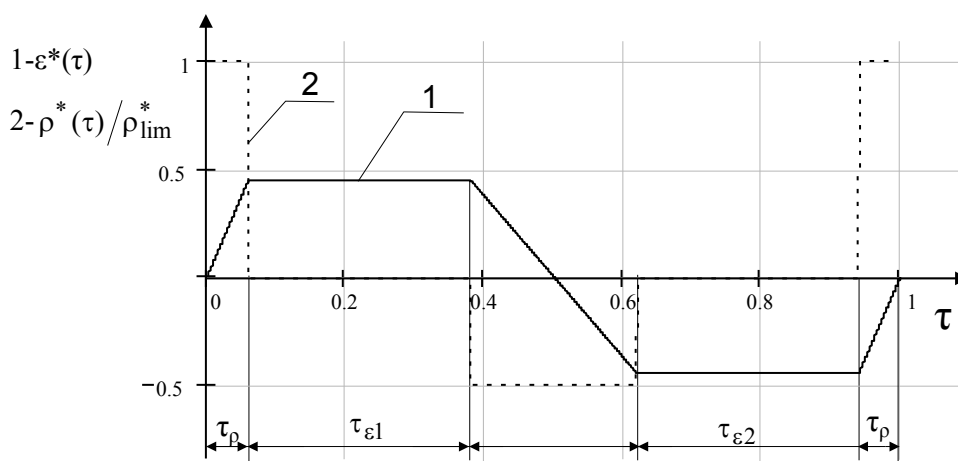
$$i_d = C_2 + (\lambda_0/2)\tau ,$$

де C_1, C_2 – невідомі константи; λ_0 – постійний невідомий множник Лагранжа.

На рис. 2 показано перехідні процеси оптимальних щодо нагрівання діаграм струму, швидкості та положення під час відпрацювання заданого переміщення за умови обмеження координат прискорення і ривка.



а



б

Рис. 2. Перехідні процеси відпрацювання заданого кута переключення з обмеженням прискорення і ривка і з оптимізацією нагрівання:
а – струм, швидкість, переміщення; б – прискорення, ривок

Величини часів наростання прискорення, очевидно, рівні між собою та дорівнюють τ_p .

Оскільки у цій роботі розглядається позиційний ЕП, тобто $\int_0^{\tau_z} (i - \mu) d\tau = 0$, тоді $\tau_{\varepsilon 1} = \tau_{\varepsilon 2} = \tau_{\varepsilon}$.

Шляхом, аналогічним до [2], визначено невідомі сталі C_1, C_2, λ_0 :

$$C_1 = i_{d.lim} \tau_{\varepsilon} + \frac{\rho_{lim}^* \tau_{\varepsilon}^2}{2}; \quad C_2 = i_{d.lim}; \quad \lambda_0 = \frac{-4i_{d.lim}}{\tau_z - 2(\tau_{\varepsilon} + \tau_p)}.$$

Проінтегруємо по частинах вираз (1) та визначимо час τ_{ε} , використавши умову відпрацювання заданої величини кута переключення. В результаті отримаємо

$$\tau_{\varepsilon} = 0,5 \left(\tau_z - \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*} \right) - 0,5 \sqrt{3\tau_z^2 - 12 \frac{\alpha_z^*}{i_{d.lim}} - 6\tau_z \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*} + 4 \left(\frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*} \right)^2}. \quad (13)$$

Знайдемо кількість теплоти, що виділяється в міді якірних обмоток, шляхом інтегрування по частинах виразу (2). Отримаємо

$$Q^* = Q_{\rho 1}^* + Q_{\varepsilon}^* + Q_{\rho 2}^*, \quad (14)$$

де $Q_{\rho 1}^* = 2 \left(\frac{(\rho_{lim}^*)^2 \tau_p^3}{3} + \rho_{lim}^* \mu \tau_p^2 + \mu^2 \tau_p \right)$ – сумарні втрати на нагрівання на інтервалах часу, коли

ривок має додатне значення; $Q_{\varepsilon}^* = 2 \tau_{\varepsilon} \left(i_{d.lim}^2 + \mu^2 \right)$ – сумарні втрати на нагрівання під час обмеження

прискорення допустимим значенням; $Q_{\rho 2}^* = \left[\tau_z - 2(\tau_p + \tau_{\varepsilon}) \right] \left(\mu^2 + \frac{i_{d.lim}^2}{3} \right)$ – сумарні втрати на

нагрівання в інтервалі часу, коли ривок має від'ємне значення – відповідає оптимальні струму.

Відносна величина ривка на середній ділянці оптимальної траєкторії струму визначається виразом

$$\rho^* = \frac{2i_{d.lim}}{\tau_z - 2 \left(\tau_{\varepsilon} + \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*} \right)}. \quad (15)$$

З метою числових досліджень у середовищі Mathcad за отриманими виразами побудовано математичну модель відпрацювання позиційним ЕП різних кутів переключення ОТ. Вказані формули є універсальними з точки зору наявності різної кількості обмежень. Тобто на їх основі можна досліджувати перехідні процеси лише за наявності обмеження координати прискорення (тоді час $\tau_p = 0$) або взагалі без обмежень (тоді і час $\tau_{\varepsilon} = 0$).

Для випадку відпрацювання кутів переключення величиною до α_g^* (відповідає трикутній діаграмі швидкості) доцільно дещо збільшити час τ_z позиціонування для можливості оптимального керування, що обґрунтовано у [2]. Під час роботи ЕП з незбільшеним часом τ_z діаграми струму і швидкості, знайдені в результаті розв'язання задачі оптимального за нагріванням керування, будуть збігатись з діаграмами відповідних координат, знайдених з умови відпрацювання заданого кута з максимальною швидкодією. Величина ривка під час перехідних процесів розгону і гальмування однакова та підтримується на допустимому рівні ρ_{lim}^* . Аналізуючи вирази для кількості теплоти (14) і (12), можна зауважити, що у такому випадку вони дадуть однакові результати. Із збільшенням часу τ_z кількість теплоти, визначена за (14), дасть менше значення порівняно з (12), що пояснюється зменшенням величини другого доданка (14) через зменшення часу τ_{ε} дії обмеження струму та збільшенням ділянки оптимальної траєкторії струму внаслідок збільшення інтервалу часу $\tau_z - 2(\tau_{\varepsilon} + \tau_p)$, який входить до третього доданка.

Для трапецієподібної діаграми швидкості можливе оптимальне за нагріванням керування і з незбільшеним часом τ_z позиціонування. Кількість теплоти, визначена за (14), буде меншою за кількість теплоти згідно з (12) (для кута $270^\circ - 5\%$), що пояснюється відсутністю середньої ділянки усталеної швидкості ($Q_0^* = 0$) та збільшенням ділянки оптимальної траєкторії струму внаслідок зменшення інтервалу обмеження струму τ_ε . Але в такому випадку максимальна швидкість перевищуватиме своє допустиме значення v_{dop} і становитиме

$$v_{\max} = i_{d.lim} \tau_\varepsilon + \rho_{lim}^* \frac{\tau_p^2}{2} + \frac{i_{d.lim}}{4} [\tau_z - 2(\tau_\varepsilon + \tau_p)]. \quad (16)$$

Якщо перевищення швидкістю допустимого значення є неможливим з техніко-технологічних міркувань, тоді доцільніше збільшити час позиціонування, ніж вводити ділянку обмеження швидкості, оскільки останнє призведе до збільшення втрат на нагрівання [4]. Для цього ЕП позиціонування ОТ можливе незначне перевищення швидкості. Але в результаті проведених досліджень відпрацювань різних кутів переключання встановлено, що при збільшенні часу позиціонування на 5% кількість теплоти, що виділяється в обмотках, зменшується порівняно з трикутною тахограмою майже на 28% – для кутів до α_g^* , а для кутів більше α_g^* – має гіперболічний характер аналогічно до [2]. До того ж швидкість не перевищує своє допустиме значення, для кута переключання 270° становить $0,95v_{dop}$. Знайдено аналітичний вираз для визначення такого часу позиціонування, щоб максимальна швидкість дорівнювала допустимому значенню v_{dop} :

$$\tau_{v_{\max}} = \frac{i_{d.lim}}{\rho_{lim}^*} + 8 \frac{v_{dop}}{i_{d.lim}} - \frac{1}{i_{d.lim}} \sqrt{\frac{i_{d.lim}^4}{(\rho_{lim}^*)^2} + 48v_{dop}^2 - 12\alpha_z^* i_{d.lim}}. \quad (17)$$

Проведено дослідження показників v_{\max} та τ_{\max} під час відпрацювання різних кутів переключання труби ОТ (від α_g до 270°), результати якого показано на рис. 3, де $\Delta v_{\max}(\alpha_z)$ – перевищення у відсотках максимальної швидкості порівняно до допустимої v_{dop} , $\Delta \tau_{v_{\max}}(\alpha_z)$ – збільшення у відсотках часу позиціонування порівняно до базового часу $\tau_b(\alpha_z)$. Як зрозуміло з рисунка, перевищення швидкості знаходиться в межах до 6% для кутів до 270° , що є прийнятним для цього ЕП, враховуючи зменшення кількості теплоти в такому випадку. Якщо гранично допустиму швидкість перевищувати не бажано, то збільшенням часу τ_z позиціонування на величину $\Delta \tau_{\max}$, яка знаходиться у межах до 2,2%, можна отримати максимальну швидкість відпрацювання заданого положення разом із зменшенням нагрівання обмоток.

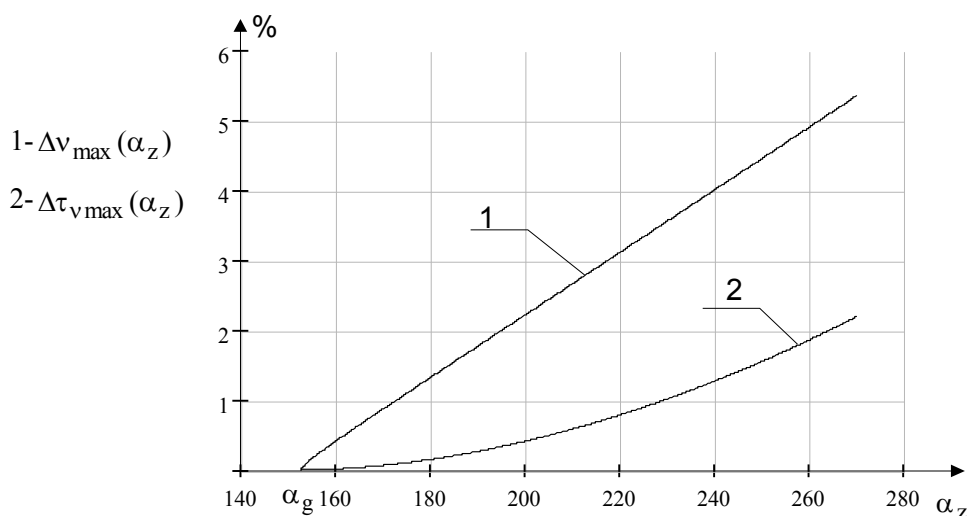


Рис. 3. Збільшення швидкості та часу позиціонування залежно від кута переключання

Також отримано залежності зменшення кількості теплоти, що виділяється в обмотках, від збільшення часу позиціонування до граничного випадку, коли перехідний процес складається лише з ділянок розгону і гальмування. Усі отримані залежності мають аналогічні якісні характеристики до описаного в [2] випадку обмеження координати прискорення, дещо відмінними будуть кількісні показники, що пояснюються введенням обмеження координати ривка.

Висновки. У результаті розв'язання задачі оптимального за нагріванням керування позиційним ЕП ОТ з врахуванням обмеження координати прискорення аналітично визначено діаграми координат ривка, прискорення, струму, швидкості. На основі отриманих виразів (6)–(17) розроблено математичну модель у середовищі Mathcad для досліджень перехідних процесів відпрацювання різних кутів переключення труби ОТ. Проведені дослідження показали: для кутів переключення з вихідною трикутною діаграмою швидкості необхідно дещо збільшити час позиціонування для можливості зменшення нагрівання; для кутів з трапецієподібною вихідною діаграмою швидкості перехід до оптимального керування забезпечує зменшення виділеної теплоти до 5 % для кутів до 270 ° без збільшення часу позиціонування. В останньому випадку спостерігається незначне перевищення швидкості (у межах 6 %), для визначення якого отримано аналітичну залежність. Визначено залежності від кута переключення такого збільшення часу позиціонування, щоб швидкість дорівнювала допустимому значенню, а також відносного ривка.

Для подальшої роботи планується дослідження оптимальних щодо нагрівання діаграм координат керування під час зміни статичного навантаження і моменту інерції, а також визначення залежності необхідного збільшення часу позиціонування від вказаних параметрів.

1. *Оптические и информационные телескопы 90-х годов: Пер. с англ. / Ф. Джиллет, А. Лабейри, Дж. Нельсон и др. – М.: Мир, 1983. – 296 с.* 2. *Щур І.З., Журкіна В.М. Оптимальне за нагріванням керування позиційним електроприводом оптичного телескопа // Вісн. Кременчуцького держ. політехн. ун-ту: Матеріали конф. “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації”. – Кременчук, 2004. – № 4 (27). – С. 51–54.* 3. *Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.* 4. *Петров Ю.П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничений по нагреву. – Л.: Энергия, 1971. – 142 с.* 5. *Костенко В.И., Коцегуб П.Х., Розкаряка П.И., Толочко О.И. Формирование оптимальных по нагреву диаграмм отработки заданных перемещений при наличии постоянного статического момента на валу двигателя // Вісн. Нац. техн. ун-ту “Харків. політехн. інститут”. – Харків: Основа, 2002. – Т. 2, № 12. – С. 350–354.* 6. *Толочко О.И., Розкаряка П.И. Формирование оптимальных по нагреву диаграмм управления позиционным приводом с учетом ограничений на скорость и ускорение // Зб. наук. пр. ДОНАТУ. Сер.: Електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДонДТУ, 2002. – Вип. 41. – С. 159–163.*