

Р.В. Петросян

ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ

В даній статті описується математична модель, що дозволяє реалізувати програмне управління розімкнутим кроковим електроприводом.

Основне призначення крокового електропривода – слідування за інформацією, яка надходить з керуючої ЕОМ або програмного пристрою. У більшості випадків вхідна інформація задається у вигляді частотно-модульованої послідовності імпульсів (унітарного коду), причому на закон зміни вхідної частоти не накладається ніяких обмежень. Найпростіша схема розімкнутого крокового електропривода (рис. 1) складається з блоку управління БУ (комутатора) та крокового двигуна КД. Основна задача БУ – перетворення одноканальної послідовності імпульсів у багатофазну систему напруг, що прикладаються до фаз КД. До складу блоку управління входить розподільник імпульсів РІ та вихідний підсилювач потужності ПП (інвертор), який комутує кола живлення обмоток управління КД. Комутатор одержує живлення, як правило, від мережі постійного струму. Характерною зовнішньою ознакою розімкнутого електропривода є відсутність датчиків зворотних зв'язків. В них нема потреби, тому що кут повороту вала КД точно відповідає кількості поданих імпульсів, а середня швидкість переміщення – вхідній частоті. Таким чином, розімкнутий кроковий електропривод реагує безпосередньо на імпульсні команди і являє собою синхронно-імпульсний сліdkуючий привод. При відсутності управляючих імпульсів комутація фаз припиняється і кінцева координата фіксується.

Простота структурної схеми розімкнутого електропривода та висока надійність у поєднанні з глибоким частотним регулюванням швидкості до нуля, можливістю числового завдання шляху і фіксації координат переміщення забезпечили широке використання цього привода у промислових системах цифрового управління.

Розімкнутий електропривод не позбавлений недоліків: максимальна швидкість привода обмежується частотою приємності; можлива втрата інформації через випадкові збої в роботі комутатора або двигуна.

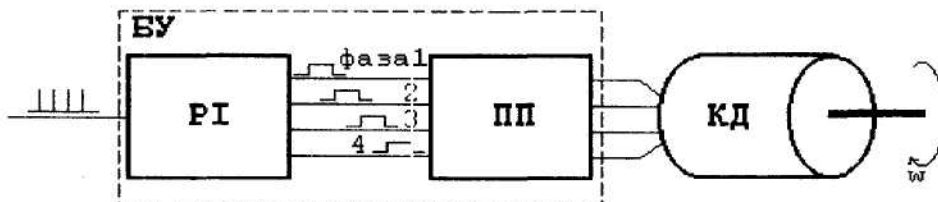


Рис. 1

Коли КД синхронізується послідовністю імпульсів управління, момент, створений ним, врівноважує момент навантаження [1]:

$$M_{\partial} = M_n.$$

Момент навантаження являє собою суму моментів, які забезпечують прискорення навантаження [1]:

$$M_n = J_{\partial} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + D \frac{d\varphi}{dt} + M_{тр},$$

де J_{∂} – момент інерції, приведений до вала КД;

D – коефіцієнт в'язкого тертя;

$M_{тр}$ – момент тертя, незалежний від частоти обертання;

φ – кут повороту ротора КД.

Таким чином, рівняння динаміки КД буде мати вигляд:

$$M_{\partial} = J_{\partial} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + D \frac{d\varphi}{dt} + M_{mp} \tag{1}$$

Момент КД M_{∂} залежить від частоти обертання магніторушійної сили, кута та інших параметрів двигуна. Але тут він розглядається як створюваний певним двигуном з певною системою управління, яка працює за певною схемою.

Рівняння (1) можна застосовувати, якщо зроблені такі спрощення: не використовується механічний демпфер, момент двигуна не має коливальних складових при частотах, що розглядаються.

Коефіцієнтом в'язкого тертя D будемо зневажати. В результаті отримаємо:

$$M_{\partial} = J_{\partial} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + M_{mp} \tag{2}$$

Момент двигуна не є постійна величина і залежить від частоти (рис. 2).

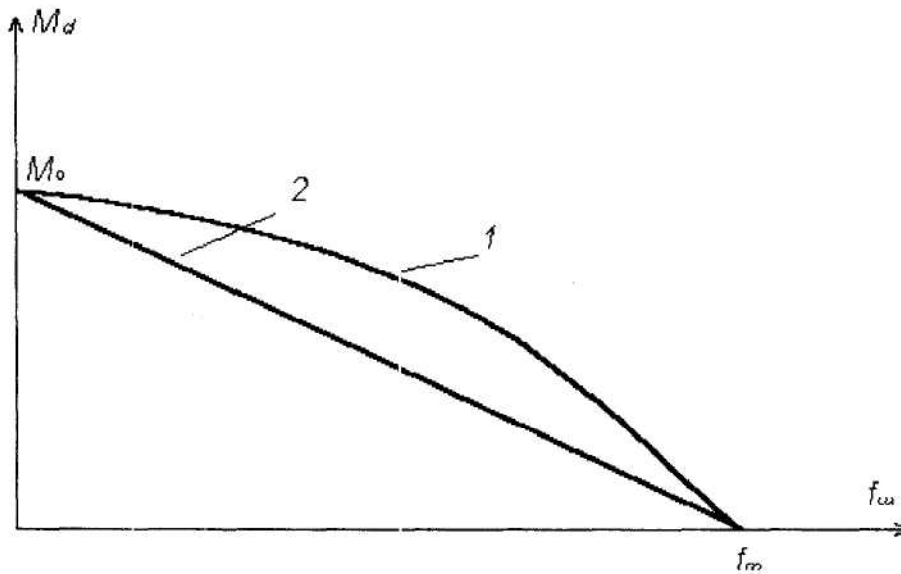


Рис. 2: 1 – реальна характеристика; 2 – апроксимована характеристика

Замінімо реальну характеристику прямою лінією:

$$M_{\partial} = M_0 - Af, \tag{3}$$

$$A = \frac{M_0}{f_m},$$

$$f = \frac{\omega}{\Theta},$$

$$\Theta = \frac{2\pi}{N},$$

де Θ – кут кроку;

N – кількість кроків КД.

Тоді формула (3) набуде вигляду:

$$M_{\partial} = M_0 - \frac{M_0}{f_m\Theta} \omega,$$

$$\omega_m = f_m\Theta$$

або

$$M_{\partial} = M_0 - \frac{M_0}{\omega_m} \frac{d\varphi}{dt}$$

У зв'язку з цим диференціальне рівняння буде мати вигляд:

$$M_0 - \frac{M_0}{\omega_m} \frac{d\varphi}{dt} = J_\partial \frac{d^2\varphi}{dt^2} + M_{mp},$$

або

$$J_\partial \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{M_0}{\omega_m} \frac{d\varphi}{dt} = M_0 - M_{mp}. \quad (4)$$

Приведемо це рівняння до нормальної форми Коши:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dt} = \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{M_0 - M_{mp}}{J} - \frac{M_0}{J\omega_m} \omega \end{cases}$$

Позначивши

$$\alpha_p = \frac{J_\partial \omega_m}{M_0},$$

$$\beta_p = \frac{(M_0 - M_{mp})\omega_m}{M_0},$$

отримаємо

$$\begin{cases} \omega_p(t) = \beta_p - \alpha_p \exp\left(-\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right), \\ \varphi_p(t) = \beta_p t + \alpha_p^2 \exp\left(-\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right) - C_{2p}. \end{cases} \quad (5)$$

Для гальмової характеристики рішення буде мати аналогічний вигляд:

$$\begin{cases} \omega(t) = \beta_m + \alpha_m \exp\left(\frac{t - C_{1m}}{\alpha_m}\right), \\ \varphi(t) = \beta_m t + \alpha_m^2 \exp\left(\frac{t - C_{1m}}{\alpha_m}\right) + C_{2m}, \end{cases} \quad (6)$$

де

$$\alpha_m = \frac{J_\partial \omega_m}{M_0},$$

$$\beta_m = \frac{(M_0 + M_{mp})\omega_m}{M_0}.$$

Для знаходження оптимального закону управління застосуємо метод стикування рішень, але замість крайових умов скористаємось проміжними точками на кривих розгону і гальмування (рис. 3).

Для того, щоб КД в момент пуску не зійшов із синхронізму, необхідно, щоб тривалість першого імпульсу, тобто момент t_1 , дорівнювала

$$t_1 \approx \frac{1}{f_{np,p}}.$$

Аналогічно, для того, щоб КД зупинився без випадення із синхронізму, необхідно, щоб частота обертання в момент t_{k-1} дорівнювала $f_{np,m}$ (рис. 3). Таким чином, на підставі рівнянь (5) та (6) можемо записати шість рівнянь із шістьма невідомими.

Для моменту t_1 :

$$\begin{cases} \omega_p(t) = \beta_p - \alpha_p \exp\left(-\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right), \\ \varphi_p(t) = \beta_p t + \alpha_p^2 \exp\left(-\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right) - C_{2p}. \end{cases} \quad (7)$$

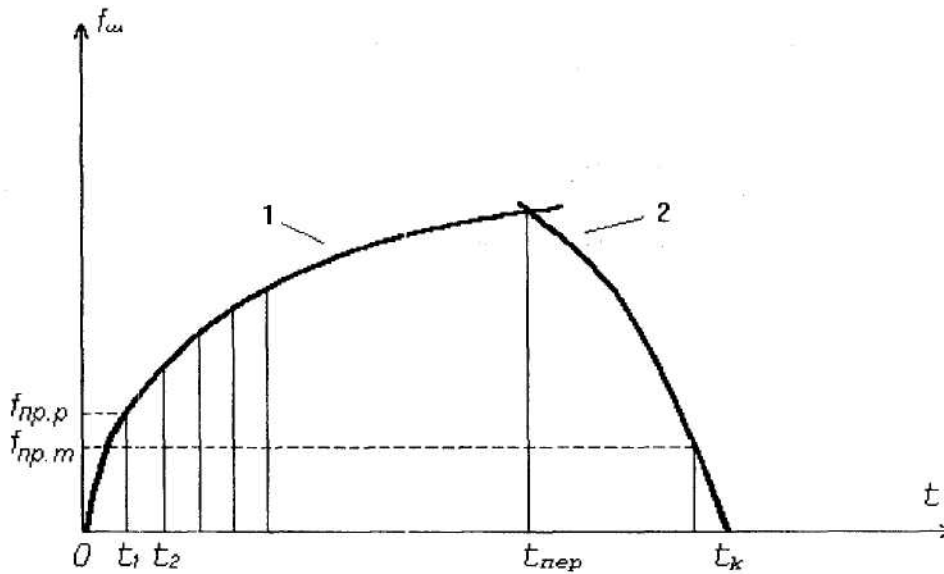


Рис. 3: 1 – розгінна траєкторія; 2 – гальмова траєкторія

Для моменту t_{k1} :

$$\begin{cases} \omega(t) = \beta + \alpha \exp\left(\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right), \\ \varphi(t) = \beta t + \alpha^2 \exp\left(\frac{t - C_{1p}}{\alpha_p}\right) + C_{2p}; \end{cases} \quad (8)$$

Для моменту переключення t_{nep} необхідно, щоб ω і φ для розгінної та гальмової характеристик були рівні:

$$\begin{cases} \beta_p - \alpha_p \exp\left(-\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right) = \beta + \alpha \exp\left(\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right), \\ \beta_p t_p + \alpha_p^2 \exp\left(-\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right) + C_{2p} = \beta t_p + \alpha^2 \exp\left(\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right) + C_{2p}; \end{cases} \quad (9)$$

Спростимо вираз (7):

$$\begin{cases} \alpha_p \exp\left(-\frac{t_1 - C_{1p}}{\alpha_p}\right) = \beta_p - \omega_p(t_1), \\ C_{2p} = \varphi_p(t_1) - \beta_p t_1 - \alpha_p^2 \exp\left(-\frac{t_1 - C_{1p}}{\alpha_p}\right). \end{cases} \quad (10)$$

Підставивши цей вираз в (5), отримаємо траєкторію розгінної характеристики:

$$\begin{cases} \omega_p(t) = (\omega_p(t_1) - \beta_p) \exp\left(-\frac{t - t_1}{\alpha_p}\right) + \beta_p, \\ \varphi_p(t) = \varphi_p(t_1) + \beta_p(t - t_1) + \alpha_p(\omega_p(t_1) - \beta_p) \left(1 - \exp\left(-\frac{t - t_1}{\alpha_p}\right)\right). \end{cases} \quad (11)$$

Аналогічно спростимо вираз (8):

$$\begin{cases} \alpha \exp\left(\frac{t_{k-1} - C_{1r}}{\alpha_r}\right) = \omega(t_{k-1}) - \beta, \\ C_{2r} = \varphi(t_{k-1}) - \beta t_{k-1} - \alpha^2 \exp\left(\frac{t_{k-1} - C_{1r}}{\alpha_r}\right). \end{cases} \quad (12)$$

Підставивши цей вираз в (6), отримаємо траєкторію гальмової характеристики:

$$\begin{cases} \omega(t) = (\omega(t_{k-1}) - \beta) \exp\left(\frac{t-t_{k-1}}{\alpha}\right) + \beta, \\ \varphi(t) = \varphi(t_{k-1}) + \beta(t-t_{k-1}) + \alpha(\omega(t_{k-1}) - \beta) \left(1 - \exp\left(\frac{t-t_{k-1}}{\alpha}\right)\right). \end{cases} \quad (13)$$

Спростимо систему рівнянь (9):

$$\begin{cases} \beta - \beta_p + \alpha \exp\left(\frac{t_p - C_{1r}}{\alpha}\right) + \alpha_p \exp\left(-\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right) = 0, \\ (\beta - \beta_p)t_p + \alpha^2 \exp\left(\frac{t_p - C_{1r}}{\alpha}\right) - \alpha_p^2 \exp\left(-\frac{t_p - C_{1p}}{\alpha_p}\right) + C_{2r} - C_{2p} = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Підставивши в систему рівнянь (14) рівняння (10) і (12), отримаємо систему двох рівнянь з невідомими t_{nep} і t_{k-1} . Дана система нелінійна, тому для розв'язання необхідно скористатись будь-яким чисельним методом розв'язку систем рівнянь. Розв'язавши рівняння, отримаємо момент переключення t_{nep} з розгінної траєкторії на гальмову та момент подачі останнього імпульсу t_{k-1} . Скориставшись другим рівнянням системи (11) для розгінної траєкторії, підставляємо значення $\varphi(t_1) = \Theta$, $\varphi(t_2) = 2\Theta$, $\varphi(t_3) = 3\Theta$ і т. д., визначаємо момент часу t_1 , t_2 , t_3 і т. д. подачі імпульсів до моменту t_{nep} . Інші моменти часу визначаємо за допомогою гальмової траєкторії (друге рівняння системи (13)). Таким чином, у пам'ять комп'ютера можна записати такий двумірний масив (таблиця 1), де під номером рядка мається на увазі кількість кроків, необхідних для виконання, а номер стовпця вказує на певний крок. У клітинку ж записано тривалість імпульсу, який подається на поточну фазу для виконання кроку без виходу із синхронізму.

Таблиця 1

	1	2	3	4	...	N-2	N-1	N
1	t_1	-	-	-	-	-	-	-
2	t_1	$t_{nep} \cdot t_1 + t_2$	-	-	-	-	-	-
3	t_1	$t_{nep} \cdot t_1 + t_2$	$t_3 - t_2$	-	-	-	-	-
4	t_1	$t_2 - t_1$	$t_{nep} \cdot t_2 + t_3$	$t_4 - t_3$	-	-	-	-
...	t_1	$t_2 - t_1$	$t_{nep} \cdot t_2 + t_3$	$t_4 - t_3$	...	-	-	-
N-2	t_1	$t_2 - t_1$	$t_3 - t_2$	$t_{nep} \cdot t_3 + t_4$	...	$t_{N-2} - t_{N-3}$	-	-
N-1	t_1	$t_2 - t_1$	$t_3 - t_2$	$t_4 - t_3$	...	$t_{N-2} - t_{N-3}$	$t_{N-1} - t_{N-2}$	-
N	t_1	$t_2 - t_1$	$t_3 - t_2$	$t_4 - t_3$	...	$t_{N-2} - t_{N-3}$	$t_{N-1} - t_{N-2}$	$t_N - t_{N-1}$

ЛІТЕРАТУРА:

1. Соколов М.М., Рубцов В.П. Дискретный электропривод механизмов электротермических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.

ПЕТРОСЯН Руслан Валерійович – студент 5-го курсу факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- електроніка та мікропроцесорна техніка;
- цифрова обробка сигналів;
- теорія автоматичного управління;
- системне програмування.