

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПОЛЯРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

© Харчишин Б.М., Хай М.В., Коляса Т.Р., 2009

Наведено результати аналізу коливних процесів поляризованого двигуна, способи зменшення нелінійності закону руху на робочій ділянці. Дано рекомендації щодо визначення необхідної жорсткості механічної характеристики та її перевіркового розрахунку.

The results of the analysis of the polarized engine oscillatory processes and the way of nonlinearity of the law movement reduction on a working site are provided. The recommendations on the definition of the necessary rigidity of the mechanical characteristic and its testing calculation are given.

Вступ. Поляризовані двигуни обмеженого кута повороту [1] дедалі частіше застосовуються у сучасних електроприводах систем слідкування як сканувальні виконавчі двигуни, функційним призначенням яких є перетворення електричної енергії змінного струму в механічну енергію коливного руху вала. Це пояснюється вдалим поєднанням їхніх позитивних якостей як виконавчих елементів (швидкодія, високий коефіцієнт віддачі, стійке середнє положення при знеструмленні), так і метрологічних перетворювачів (лінійність та симетрія характеристик, мала зона нечутливості).

Аналіз останніх досліджень і постановка задачі. На етапі проектування для забезпечення коливних режимів роботи на робочих частотах необхідно досягнути відповідних співвідношень між параметрами поляризованого двигуна. Для цього необхідним є динамічні властивості слідкуючої системи з врахуванням низки факторів, що впливають на закон руху (моменту інерції рухомої частини коливного пристрою, жорсткості “магнітної пружини”, коефіцієнта в’язкого демпфування, моменту тертя опор вала, параметрів електричних кіл системи живлення приводу тощо) [2]. Для виконання цього завдання, крім інших величин [3], потрібно на етапі проектування магнітоелектричного перетворювача визначити значення крутизни механічної характеристики, необхідне для забезпечення заданої частоти коливань.

Об’єктом досліджень у цій статті є коливний режим роботи розробленого у НДЛ-68 Львівської політехніки поляризованого електродвигуна приводу слідкуючої системи.

Аналіз технічного завдання. Зазвичай замовника цікавлять такі параметри коливного руху двигуна, як частота f і амплітуда α_{\max} коливання (їх може бути декілька), тривалість t_p та кутова величина $\pm\alpha_p$ робочого ходу (робочої ділянки) (рис. 1), максимальне відхилення від лінійного закону коливання $\Delta\alpha$, % на робочій ділянці при заданому моменті інерції установки J відносно осі обертання та моменті статичного навантаження (момент тертя опор вала, вітрового навантаження тощо). Крім того можуть накладатися обмеження на граничне кутове прискорення ε в точках реверсу, спричинені недопустимістю перевантажень виконавчого елемента (дзеркала, антени тощо).

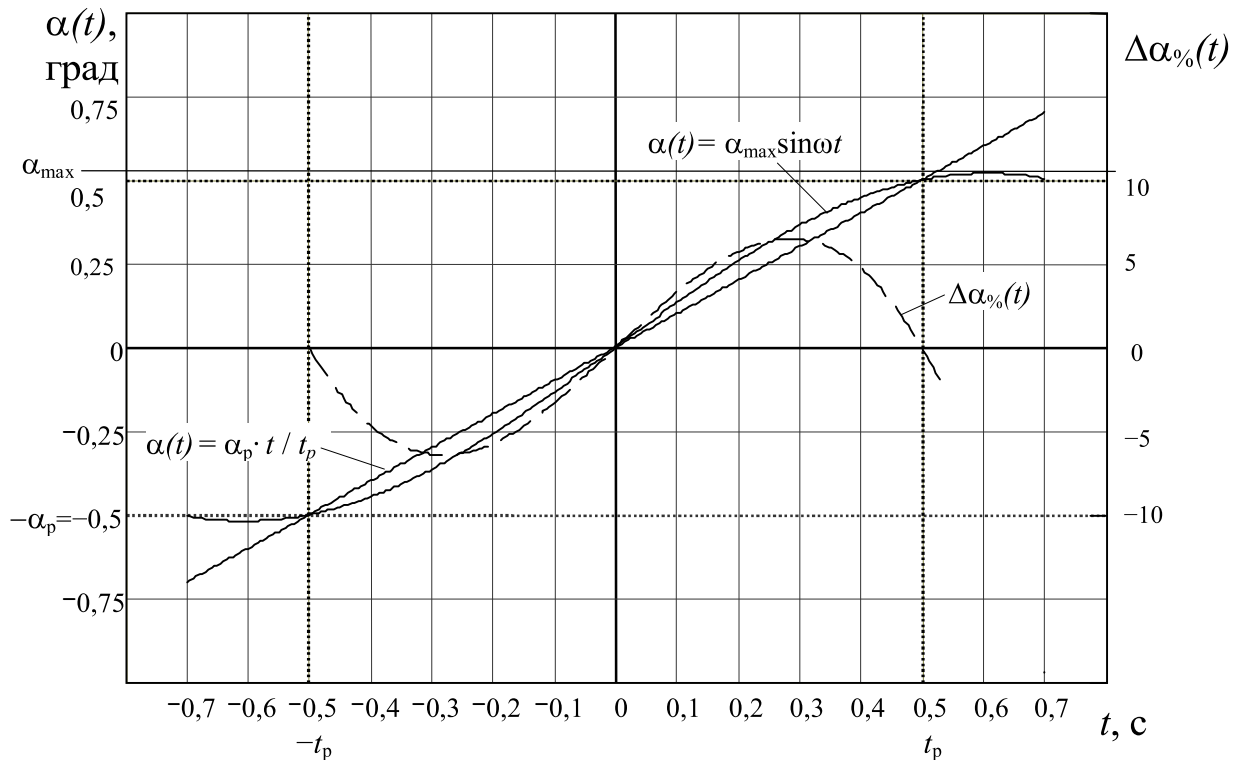


Рис. 1. До визначення основних параметрів коливного режиму

При гармонічних коливаннях нелінійність закону коливання у робочому діапазоні кутів у відсотках визначається (при $-t_p \leq t \leq t_p$)

$$\Delta\alpha_{\%} = \left(\frac{\alpha_{\max}}{2\alpha_p} \cdot \sin \omega t - \frac{t}{2t_p} \right) \cdot 100\%,$$

з максимальним значенням у момент часу

$$t_{\max} = \frac{\arccos \frac{\alpha_p}{\alpha_{\max} \omega t_p}}{\omega},$$

де $\omega = 2\pi f$.

Спосіб зменшення нелінійності. Нелінійність закону коливання у робочому діапазоні кутів пропонується зменшувати, здійснивши керування двигуном за спеціально вибраним законом за допомогою замкнутого електроприводу, зворотним зв'язком якого слугує сигнал давача кутового положення.

Бажаним є закон руху під час робочого ходу

$$\alpha_{\text{ид}} = \alpha_p \cdot t / t_p \quad (1)$$

та реверсування за параболічним законом під час неробочого ходу. Однак у цьому випадку краще записувати закон руху періодичними функціями, що значно спрощує процес побудови алгоритмів керування. Для забезпечення ідентичності руху при прямому та зворотному ходах закон коливання не повинен мати парних часових гармонік. Пропонується обмежитись врахуванням першої та третьої гармонік. Мінімальною помилка нелінійності закону руху відносно (1) буде, коли реальний закон руху описуватиметься функцією

$$\alpha_1 = A_1 \cdot \alpha_p \cdot \sin \omega t - A_2 \cdot \alpha_p \cdot \sin 3\omega t, \quad (2)$$

де $A_1 = 0,93 \dots 0,98$; $A_2 = 0,06 \dots 0,1$ – коефіцієнти, що не сильно залежать від співвідношення тривалості робочого та неробочого ходу.

Так, на прикладі вимог технічного завдання на двигун сканувального пристрою, розроблений в НДЛ-68 СКБ ЕМС Львівської політехніки, де $t_p=0,5$ с; $f=0,417$ Гц; $\alpha_p=0,5$ кутових град., коефіцієнти $A_1=0,947$; $A_2=0,09$. Закон руху та його нелінійність для цього випадку показані на рис. 2.

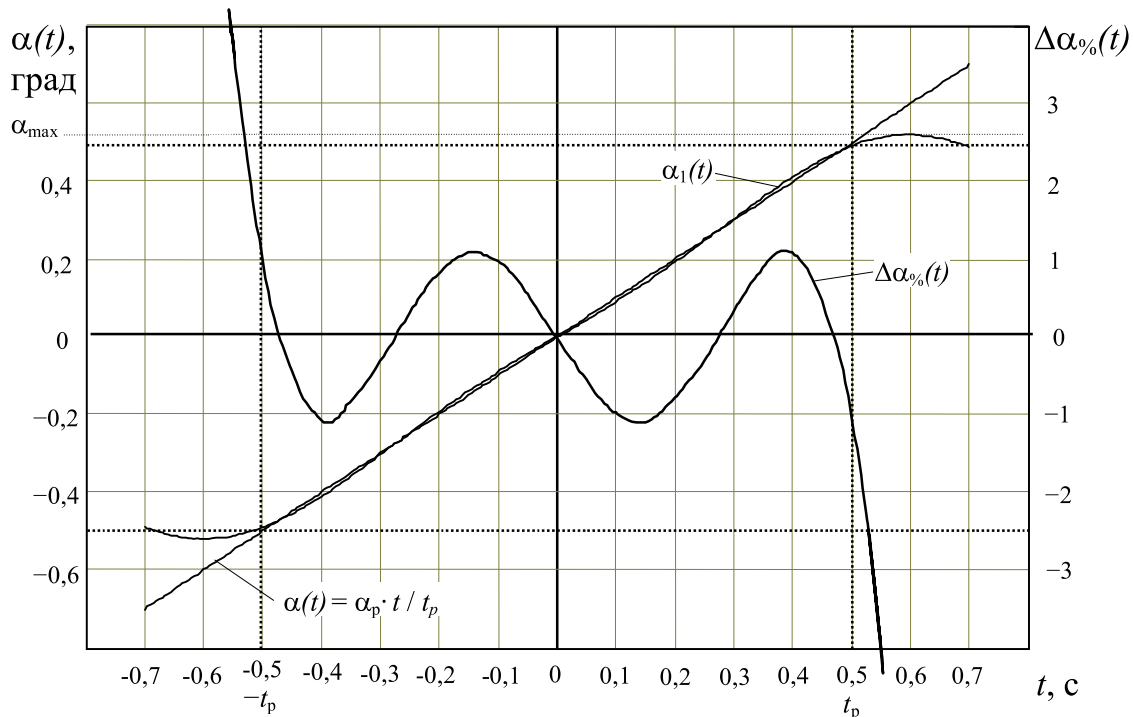


Рис. 2. Закон руху та його нелінійність

Відповідно, кутова швидкість та кутове прискорення змінюватимуться за законами

$$\begin{aligned}\omega_1 &= A_1 \cdot \alpha_p \cdot \omega \cdot \cos \omega t - 3 \cdot A_2 \cdot \alpha_p \cdot \omega \cdot \cos 3 \omega t, \\ \varepsilon_1 &= -A_1 \cdot \alpha_p \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t + 9 \cdot A_2 \cdot \alpha_p \cdot \omega^2 \cdot \sin 3 \omega t.\end{aligned}$$

Крутизна механічної характеристики. Відомо [4], що найменш енергоємним є режим вимушених гармонічних коливань з частотою загасаючих, коли прикладена енергія витрачається на покриття втрат, тобто резонансний режим. Тому потрібно прагнути проектувати двигун так, щоб коливання відбувалися саме у резонансі або близько до нього. Якщо задано дві чи більше робочих частоти, то необхідно спроектувати двигун так, щоб власна частота коливань рухомих мас на "магнітній пружині" ω_0 була між максимальною та мінімальною робочими частотами. Це дозволить вирівняти і мінімізувати затрати енергії.

Власна частота коливань рухомої системи $\omega_0 = \sqrt{\frac{K_m}{J}}$. Тоді крутизна механічної характеристики (жорсткість "магнітної пружини"), яка забезпечить необхідну робочу частоту $K_m = (2\pi f)^2 \cdot J$.

Крутизну механічної характеристики проектованого двигуна поляризованого типу K_m визначаємо з рівняння для узагальненої статичної характеристики

$$M(i_m, i_c, \alpha) = \frac{\partial W'}{\partial \alpha}, \quad \text{як} \quad K_m = \frac{\partial M}{\partial \alpha},$$

де M – електромагнітний момент; $W' = \int_0^{i_m} \int_0^{i_c} \sum_{i=m}^{i=c} \psi_i(i_m, i_c, \alpha) di_i = \frac{1}{2}(\psi_m \cdot i_m + \psi_c \cdot i_c)$ – магнітна

коенергія джерел намагнічувальних сил; ψ_m , ψ_c – потокозчеплення контурів поляризації та керування, i_m та i_c – їхні функції збурення.

Жорсткість “магнітної пружини” поляризованого двигуна кільцевого типу, виражена через основні конструктивні параметри, має вигляд

$$K_m = 10p^2 \cdot \frac{D_p l \cdot \delta}{\pi \mu_0} \cdot B_\delta^2 \cdot \frac{c^*}{1+c^*},$$

де p – кількість пар полюсів обмотки керування; D_p – діаметр розточки; l – активна довжина двигуна; δ – величина немагнітного проміжку; B_δ – індукція у робочому проміжку; μ_0 – магнітна стала; $\frac{c^*}{c^*+1}$ – відносна величина магнітного опору осердя у частках усього магнітного опору кола обмотки керування.

Для поляризованого двигуна з гребінцевими зонами ця сама величина визначатиметься

$$K_m = \left(\frac{t-q}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{2}{\lambda_0 \sigma} \cdot \left(\frac{\pi l D_p}{p} \cdot B_\delta \right)^2,$$

де t, q, σ – параметри дисиметричної зубцевої структури [5]; λ_0 – магнітна провідність між зубцем статора і ротора у нейтральному їх положенні.

Висновки. Результати дослідження на конкретному прикладі коливного двигуна поляризованого типу показали, що добитися достатньої величини нелінійності закону руху можна, наклавши третю гармоніку коливань на основну. Крім того встановлено, що крутизна механічної характеристики двигуна є визначальним параметром, що забезпечує задані частотні режими коливань.

1. Харчишин Б.М. Синтез генетично модифікованих конструкцій магнітоелектричних перетворювачів // Електротехніка і електромеханіка. – 2003. – № 4. – С. 83–86. 2. Мороз В.І., Харчишин Б.М. Моделювання системи слідування на основі апроксимації інтегралу згортки // Електроінформ. – 2006. – № 4. – С. 6–8. 3. Харчишин Б.М. Коефіцієнт чутливості за швидкістю поляризованого електродвигуна // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – № 615: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 163–167. 4. Яворський Б.М, Детлаф А.А. Справочник по физике. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1985. – 512 с. 5. Завгородній В.Д., Харчишин Б.М. Математична модель гребінцевих зон магнітоелектричних перетворювачів та їх параметрів // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2000. – № 400: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 43–48.