

КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ КРОКОВИМ ПРИБРОЕМ

Білоус А.Р. – гр. МГМЕ-20, магістр, *anasstasia.b@ukr.net*

Смолянінов В.Г. – к.т.н., доц., *701_701@ukr.net*

Київський національний університет технологій та дизайну

Проведений аналіз функціонування та ефективного керування лінійним електромагнітним кроковим пристроєм (ЛЕКП), при покроковому пересуванні якоря. Зазначені зміни індуктивних параметрів ЛЕКП, надані аналітичні вирази для їх розрахунку.

The analysis of the functioning and effective control of linear electromagnetic stepping devices (LESD), with a step-by-step movement of the armature. The indicated changes in the inductive parameters of LESD, provided analytical expressions for their calculation.

Вступ. Лінійні електромагнітні крокові пристрої, зокрема механізми та двигуни, як елементи електроприводу з покроковим пересуванням рухомої ланки широко використовуються для автоматизації технологічних процесів. Існує достатньо велика кількість механізмів, що використовують для створення обертового моменту або синхронізуючого зусилля дію струму та магнітного поля в них. Проте питання керування цими пристроями недостатньо розглянуто. Особливо потребує додаткових досліджень та розробки ефективного керування електромагнітні пристрої лінійного пересування принцип дії яких базується на дискретній зміні стану електромагнітного поля в робочому зазорі за рахунок імпульсного збудження або перемикання обмоток при пересуванні рухомої ланки на довжину кроку.

Постановка проблеми. Метою роботи є дослідження функціонування та ефективного керування ЛЕКП при покроковому пересуванні якоря, аналіз динамічних та енергетичних характеристик роботи при зміні індуктивних параметрів лінійного електромагнітного крокового двигуна.

Результати дослідження. Для створення обертового моменту або синхронізуючого зусилля під дією струму та магнітного поля в ЛЕКП використовують спеціальні механізми. Такими механізмами можуть бути: а) пристрої у яких взаємодіють постійні магніти та провідники зі струмом (магнітоелектричні); б) пристрої у яких частини з магнітом'якого матеріалу втягуються в котушки зі струмом (електромагнітні); в) пристрої

у яких взаємодіють котушки зі струмом. Далі будемо розглядати електромагнітні пристрої лінійного пересування принцип дії яких базується на дискретній зміні стану електромагнітного поля в робочому зазорі за рахунок імпульсного збудження або перемикання обмоток при пересуванні рухомої ланки на довжину кроку. Для реалізації багатокрокового пересування в ЛЕКП використовуються лінійні крокові двигуни (ЛКД) з електромагнітним зв'язком статора та якоря, в яких при пересуванні якоря при пуску, гальмуванні та реверсі зберігається синхронізм. Також ЛКД допускають довгу фіксовану стоянку якоря, коли в обмотці статора протікає постійний струм. Керування такими ЛКД здійснюється за допомогою напівпровідникових перетворювачів, які формують необхідні рівні напруги живлення в керуючих обмотках ЛКД та мають відповідну систему керування ними за допомогою датчиків, що контролюють пересування якоря, чи без них, при досягненні струмом в обмотці свого сталого значення.

Багатообмоткова структура ЛКД подається як єдиний магнітопровід, в якому розміщені магнітозв'язані обмотки в розточці якого, вздовж секцій з полюсними наконечниками, де розміщені обмотки керування, пересувається якір, який складений з почергово встановлених феромагнітних та немагнітних вставок, що відповідає довжині кроку при пересуванні якоря.

Розглянемо ідеалізовані характеристики статичного синхронізуючого зусилля чотирифазного двигуна на рис. 1.

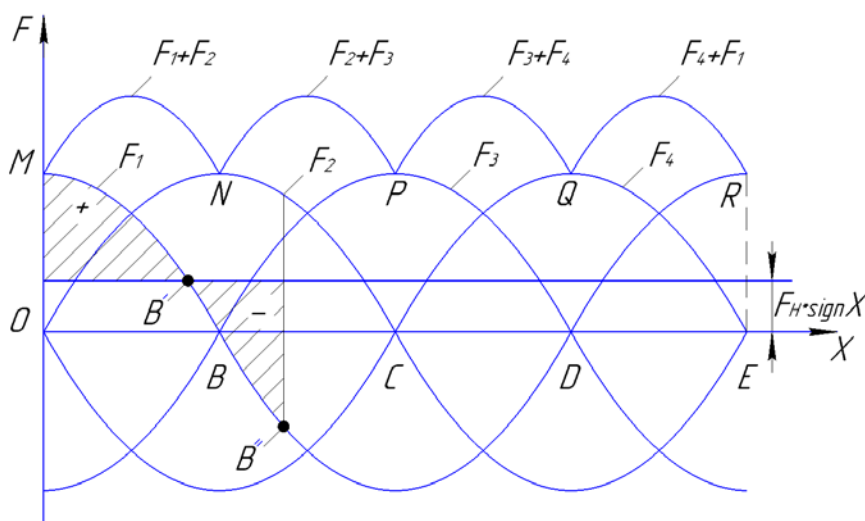


Рисунок 1 - Характеристики статичного синхронізуючого зусилля чотирифазного двигуна.

При роботі з розімкненою системою керування якір двигуна нерухомий і знаходиться у вихідній точці O стійкої рівноваги [1, 2]. При почерговій комутації фаз для переміщення якоря вправо на рис. 1,

включається фаза 1, якір потрапляє в прискорює поле сил F_1 , прискорюється і накопичує кінетичну енергію на ділянці розгону OB , яка визначається площею, укладеної між кривою $F_1(x)$ і лінією, що зміщена від вісі абсцис на величину навантаження типу сухе тертя ($F_n * \text{sign}X$). При цьому можливі наступні варіанти. Якщо під дією запасу придбаного при позитивному прискорюючому полі кінетичної енергії якір до моменту перемикання обмоток керування по інерції дійде до точки B , то на ділянці після точки B він попадає під дію сил гальмування, енергія яких пропорційна заштрихованій на рис. 1 ділянці площею, позначеною негативним знаком. Поле прискорюючих сил включеної тепер фази 2 в цьому місці менше свого максимального значення, яке було б в точці перемикання B , то залишиться невикористаною частина енергії прискорення фази 1. Аналогічні явища мають місце і при парній комутації фаз двигуна.

Таким чином, в розімкнутих системах поряд з прискорюючими силами мають місце гальмівні сили, причому збільшення енергії, що підводиться до двигуна, збільшує як одні, так і інші сили. Дія гальмівних сил може бути зменшена, а енергія прискорюючих сил може бути повністю використана, для чого необхідно в початковий момент включити обидві фази 1 і 2, а в момент часу, відповідний положенню точки B , відключити фазу 1 і включити фазу 3. Тоді на ділянці BD рух буде визначатися спільною дією сил F_2 і F_3 , а потім в точці D відключається фаза 2 і включається фаза 4 ($F_3 + F_4$) і т.д. При такому режимі механічна енергія, що розвивається двигуном, буде пропорційна площі, укладеної між кривою $MNPQR$ (від позначки M по шляху $F_1 + F_2$ до позначки N і т.д.) і віссю абсцис, якір його буде розганятися з максимально можливою для даної конструкції швидкістю. До того ж швидкість його буде функцією прикладеної до двигуна електричної енергії, що вказує на можливість керування швидкістю шляхом регулювання напруги.

На основі аналізу експериментальних кривих зміни індуктивності обмотки ЛКД в залежності від положення якоря [1, 2, 3] отримані вирази, що апроксимують характер цих змін при переміщенні якоря до підходу під полюсний наконечник статора ЛКД, при $\sigma^* < \varepsilon \leq 1 - K$;

$$L^* = L_{II}^* - \Delta L_I^* \cos \left[\frac{\pi(\varepsilon - \sigma^*)}{2(1-K-\sigma^*)} \right]; \quad \frac{dL^*}{d\varepsilon} = \frac{\pi}{2(1-K-\sigma^*)} \Delta L_I^* \sin \left[\frac{\pi(\varepsilon - \sigma^*)}{2(1-K-\sigma^*)} \right],$$

та при підході під полюсний наконечник, при $1 - K \leq \varepsilon < 1$;

$$L^* = L_I^* + \Delta L_{II}^* \sin \left[\frac{\pi(\varepsilon + K - 1)}{2K} \right]; \quad \frac{dL^*}{d\varepsilon} = \frac{\pi}{2K} \Delta L_{II}^* \cos \left[\frac{\pi(\varepsilon + K - 1)}{2K} \right],$$

що представлені в безрозмірному вигляді, де коефіцієнти, що визначають зв'язок розмірних та безрозмірних величин, наведені:

$$L^* = \frac{L}{L_I}; \Delta L_I^* = \frac{\Delta L_I}{L_I}; \Delta L_{II}^* = \frac{\Delta L_{II}}{L_I}; \varepsilon = \frac{x}{x_\delta}; \sigma^* = \frac{\sigma}{x_\delta}; K = \frac{b_n}{2x_\delta};$$

$$\Delta L_I = (L_{II} - L_I) \frac{b_{ст} - b_n - 2\sigma}{b_n - 2\sigma}; \Delta L_{II} = (L_{II} - L_I) \frac{b_n}{b_n - 2\sigma},$$

де L_I, L_{II} - мінімальна та максимальна індуктивності обмотки; $b_{ст}$ - ширина секції статора; b_n - ширина полюсного наконечника; σ - зміщення якоря відносно положення магнітної рівноваги, x_δ - шаг переміщення якоря.

Аналізуючи залежність індуктивності та її першої похідної від координати у безрозмірному вигляді, знаходимо, що при підході якоря під полюсний наконечник зміна індуктивності незначна, що призводить до стрімкого зменшення її похідної, яка в положенні магнітної рівноваги приймає нульове значення, що пояснюється замиканням магнітного ланцюга крізь ділянки з малим магнітним опором та досягненням індуктивності системи свого максимального значення. Зі зміною індуктивних параметрів ЛКД, відбувається зміна струму в обмотці включеної секції ЛКД який досягає свого мінімального значення [4] коли індуктивність має максимальне значення, а її похідна спадає до нуля і якір переміщується на величину кроку та займає положення магнітної рівноваги в секції включеної обмотки.

Висновок. В результаті проведеного аналізу розглянута дія прискорюючих та гальмівних сил на пересування якоря ЛЕКП, наведені аналітичні вирази зміни його індуктивних параметрів, що дозволяє підвищити діапазон робочої швидкості, стійкості і якості руху та реалізувати ефективне керування ЛКД.

Список використаних джерел

1. Гнатов А. В. Теорія електроприводу транспортних засобів / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, І. С. Трунова. - Харків: ХНАДУ, 2016. - 292 с.
2. Емельянов А. В. Шаговые двигатели: учеб. пособие /А. В. Емельянов, А. Н. Шилин. - Волгоград: ВолгГТУ, 2005. - 48 с.
3. Электромагнитный привод робототехнических систем/[А.А. Афонин, Р.Р. Белозер, В.В. Гребеников и др.]. - Киев: Наук. думка, 1986. - 272 с.
4. Смолянінов В. Г. Енергоефективне керування лінійним кроковим пристроєм/В. Г. Смолянінов, О. М. Сухопара//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2019. – № 4 (136). – С. 49-57.