

МАКСИМІЗАЦІЯ МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ЗОНІ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЕЙ РОТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Вступ. Векторно-керовані асинхронні електроприводи багатьох виробничих механізмів повинні працювати як в зоні нижчих від номінальної швидкостей, так і в зоні високих швидкостей, що перевищують номінальну. При цьому в зоні високих швидкостей, де обмежується амплітуда напруги живлення асинхронного двигуна (АД), потокозчеплення ротора зазвичай змінюється за стандартним законом – зворотно пропорційно до швидкості двигуна. Проте цей закон є досить недосконалим з точки зору екстремального керування [1].

На сьогодні є низка робіт [2-3], де пропонуються варіанти поліпшення якості керування у зоні високих швидкостей двигуна. Недоліком цих робіт є використання ідеалізованої моделі АД без врахування таких важливих чинників як насичення магнітопроводу або втрат потужності у залізі. На відміну, у нашій статті розглядається уточнена модель АД, а для задачі максимізації моменту АД застосовано генетичний алгоритм (ГА).

Мета дослідження – отримання оптимального щодо максимізації моменту АД закону формування потокозчеплення ротора в зоні високих швидкостей обертання за умов обмеження напруги та струму статора.

Максимізація моменту АД. Короткозамкнений АД у зорієнтованих за вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$ координатах (d, q) при врахуванні втрат у залізі можна описати системою диференціальних рівнянь [4]:

$$\begin{aligned} dI_{sd}/dt &= L_{sy}^{-1} \left[-(R_s + R_z)I_{sd} - R_z L_{ry}^{-1} \Psi_{td} + T_z^{-1} L_r L_{ry}^{-1} \Psi_{md} + U_{sd} \right] + \omega_0 I_{sq}; \\ dI_{sq}/dt &= L_{sy}^{-1} \left[-(R_s + R_z)I_{sq} - R_z L_{ry}^{-1} \Psi_{tq} + T_z^{-1} L_r L_{ry}^{-1} \Psi_{mq} + U_{sq} \right] - \omega_0 I_{sd}; \\ d\Psi_{td}/dt &= T_{ry}^{-1} (-\Psi_{td} + \Psi_{md}) + (\omega_0 - z_p \omega) \Psi_{tq}; \\ d\Psi_{md}/dt &= R_z (I_{sd} + \Psi_{td}/L_{ry} - L_r L_m^{-1} L_{ry}^{-1} \Psi_{md}) + \omega_0 \Psi_{mq}; \\ d\Psi_{mq}/dt &= R_z (I_{sq} + \Psi_{tq}/L_{ry} - L_r L_m^{-1} L_{ry}^{-1} \Psi_{mq}) - \omega_0 \Psi_{md}, \end{aligned} \tag{1}$$

де змінними є компоненти узагальнених векторів напруги статора $\bar{U}_s = [U_{sd}, U_{sq}]^T$, струму статора $\bar{I}_s = [I_{sd}, I_{sq}]^T$, потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r = [\Psi_{td}, \Psi_{tq}]^T$; головного потокозчеплення $\bar{\Psi}_m = [\Psi_{md}, \Psi_{mq}]^T$; ω_0 – кутова швидкість обертання координат (d, q) ; z_p – кількість пар полюсів двигуна; ω – кутова швидкість обертання ротора; R_s, R_r – відповідно активні опори фаз статора та ротора; $R_z = R_z(\omega_0, \omega)$ – еквівалентний активний опір, що відображає магнітні втрати потужності у залізі двигуна; L_m – взаємна індуктивність між статором та ротором; $L_s = L_m + L_{sy}, L_r = L_m + L_{ry}$ – повні індуктивності фаз, а L_{sy}, L_{ry} – індуктивності від полів розсіювання статора та ротора відповідно; $T_{ry} = L_{ry}/R_r, T_z = L_m/R_z$. Враховуючи, що в зорієнтованих координатах $\Psi_{td} = |\bar{\Psi}_r| \equiv \Psi_r$, в (1) електромагнітний момент двигуна та швидкість координат обчислюються як $M_E = (3/2) z_p L_{ry}^{-1} (\Psi_r \Psi_{mq})$, $\omega_0 = z_p \omega + \Psi_{mq}/(T_{ry} \Psi_r)$.

Для врахування впливу насичення магнітопроводу вважатимемо $L_m = var$, а досить невеликі варіації індуктивностей розсіювання не братимемо до уваги. Тому в описі (1) використаємо отриману на основі кривої намагнічування двигуна та апроксимовану поліноміальним виразом нелінійну функцію $L_m = L_m(\Psi_m)$.

Систему (1) слід доповнити реально існуючими в асинхронному електроприводі обмеженнями модуля вектора напруги статора $U_s = |\bar{U}_s|$ на рівні номінальної напруги живлення двигуна U_n (індексом "n" позначатимуться номінальні значення величин) та модуля вектора струму статора $I_s = |\bar{I}_s|$ на рівні I_{max} у вигляді

$$0 \leq U_s \leq U_n; \quad 0 \leq I_s \leq I_{max}. \tag{2}$$

Стандартний закон формування модуля вектора потокозчеплення ротора має вигляд

$$F_{st}(\omega) = \begin{cases} \Psi_n & \text{при } |\omega| \leq \omega_n, \\ \Psi_n \omega_n / |\omega| & \text{при } |\omega| > \omega_n. \end{cases} \tag{3}$$

Для розв'язання задачі пошуку екстремуму в статті застосовано ГА, який на сьогодні відносять до найкращих методів параметричної оптимізації динамічних систем. Інструментальним середовищем був Matlab. У нашій задачі ГА за описом (1, 2) визначає оптимальне потокозчеплення ротора за критерієм $M_E \Rightarrow max$.

У чисельних дослідженнях використано дані типового АД потужністю 1,5 кВт з $M_n=10$ Н·м. Результати досліджень наведені на рис.1-4, де змінні нормовані відносно своїх номінальних значень і вимірюються у відносних одиницях (в.о.). На рис. 1 зображені характеристики АД при стандартному, а на рис. 2 при оптимальному

законах формування потокозчеплення ротора. На рис. 3 подані графіки стандартного та оптимального законів формування потокозчеплення. Для оцінювання ефекту від оптимізації було обчислено показник оптимальності моменту двигуна k_M , що є відношенням оптимізованого до не оптимізованого моментів АД (рис. 4).

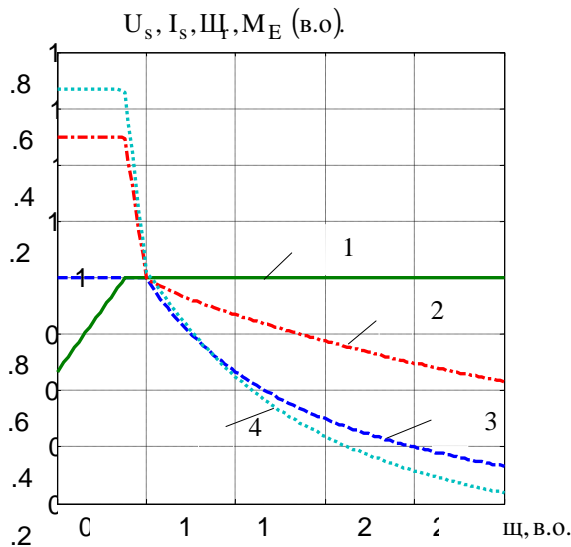


Рис. 1 Характеристики АД при стандартному законі формування потокозчеплення $\Psi_r = F_{st}(s)$: 1 - U_s ; 2 - I_s ; 3 - Ψ_r ; 4 -

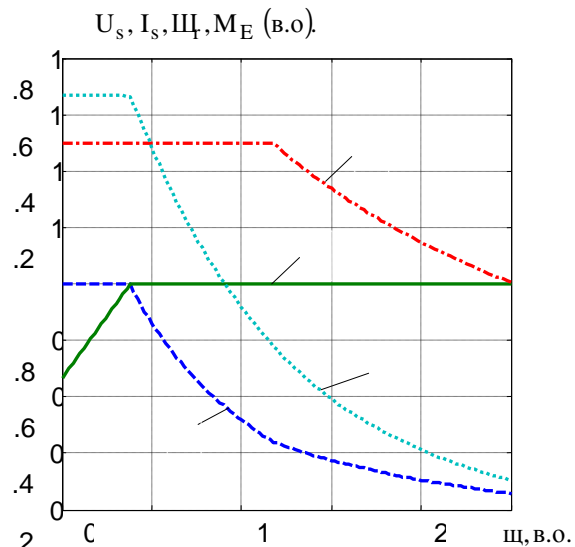


Рис. 2 Характеристики АД при оптимальному законі формування потокозчеплення $\Psi_r = F_{opt}(s)$: 1 - U_s ; 2 - I_s ; 3 - Ψ_r ; 4 -

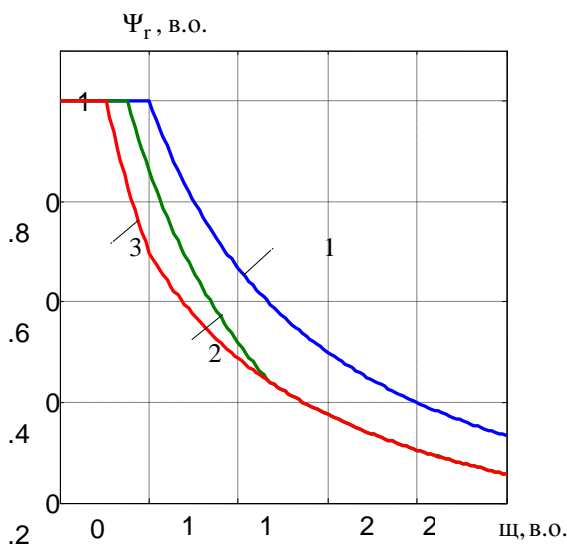


Рис. 3 Стандартний (крива 1) та оптимальні (криві 2, 3) закони формування потокозчеплення: (2 - $I_{max} = 1.5I_n$; 3 -

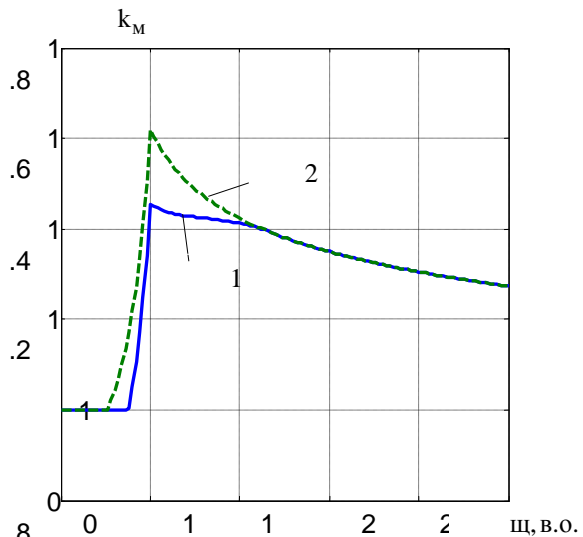


Рис. 4 Показник оптимальності моменту двигуна для $I_{max} = 1.5I_n$ (крива 1) та $I_{max} = 2I_n$ (крива 2).

Висновки. Отриманий в статті на основі генетичного алгоритму оптимальний закон формування потокозчеплення уможливило збільшення моменту АД в зоні високих швидкостей. Згідно з дослідженнями, момент зростає на (25÷45)%, якщо I_{max} перевищує номінальний в півтора рази, та на (25÷60)% – якщо вдвічі.

Література

1. Шрейнер Р.Т., Дмитриенко Ю.А. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами. – Кишинев.: Штиинца, 1982. – 224 с.
2. Bodson M., Chiasson J.N., Novotnak R.T. A systematic approach to selecting flux references for torque maximization in induction motors // IEEE Trans. on Control Sys. Technol., Vol.3, No.4, Dec. 1995, P. 388 -397.
3. Harnefors L., Pietilainen K., Gertmar L. Torque-maximizing field-weakening control: design, analysis, and parameter selection // IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 48, No.1, Feb. 2001, P. 161 -168.
4. Приймак Б.І. Математичні моделі асинхронної машини з врахуванням втрат у залізі // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2005. – № 3 (12). – С. 60-66.