УДК 681.5.015:621.313.33

В.В. Онушко, І.Д. Погрібняк

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ

Проведено аналіз моделей асинхронного двигуна (АД) 4А132М4УЗ при частотному керуванні, які базуються на традиційних рівняннях Парка-Горева та на основі спрощеної Г-подібної схеми заміщення АД. Показано, що обидві моделі АД ідентичні в діапазоні зміни напруги мережі 100-280 В та зміни частоти мережі 10-60 Гц.

Ключові слова: *рівняння Парка-Горева, постійні часу, коефіцієнт передачі, коефіцієнт якості магнітного поля.*

Вступ

Найбільш досконалі регульовані автоматичні системи керування (АСК) асинхронними електроприводами побудовані на основі векторного керування (ВК), яке передбачає регулювання амплітуди та частоти живлячої мережі, а також регулювання фазових значень основних електричних величин. При цьому у структурних схемах векторних АСК використовується багато датчиків і складних обчислювальних пристроїв, що приводить до значного ускладнення схем керування. АСК із частотним (скалярним) керуванням мають дещо гірші динамічні та статичні показники, проте вони дешевші та структурні схеми їх значно простіші і вони можуть використовуватись у багатьох галузях народного господарства. У роботі [1] показано, що математична модель асинхронного двигуна (ММ АД) при частотному керуванні являє собою суму двох аперіодичних ланок, отримані аналітичні залежності коефіцієнтів передачі та постійних часу ланок від параметрів Г-подібної приведеної схеми заміщення АД. Проте у [1] залишилось не з'ясо-ваним питання про діапазони напруг та частот, в яких модель АД дає достовірні результати.

Основна частина

Методика досліджень полягає у тому, що для описання перехідного процесу при зміні напруги U та частоти f мережі живлення трифазного АД використовується модель еквівалентного двофазного асинхронного двигуна у перетвореній системі координат α, β, яка жорстко зв'язана із статором АД [2]. Коефіцієнти передачі K_U , K_f та постійні часу T_U, T_f ММ АД визначаються за результатами розв'язаного перехідного процеса від одного усталеного режиму роботи АД з параметрами U, f , до другого усталеного режиму роботи АД з параметрами $U + \Delta U$, $f + \Delta f$. При цьому коефіцієнти передачі визначалися за співвідношеннями:

$$K_U = \left.\frac{\Delta\omega_{rU}}{\Delta U}\right|_{f=const} ; \; K_f = \left.\frac{\Delta\omega_{rf}}{\Delta f}\right|_{U=const} ,$$

де $\Delta\omega_{rU}$ – різниця кутових швидкостей вала АД при усталених режимах з напругою $U + \Delta U$ та U при постійній частоті мережі f;

$\Delta\omega_{rf}$ – різниця кутових швидкостей вала АД при усталених режимах з частотою $f + \Delta f$ та f при постійній напрузі мережі U;

ΔU – приріст напруги живлення; Δf – приріст частоти мережі живлення.

Постійні часу T_U , T_f визначалися за відомою методикою [3] за розв'язаним перехідним процесом $\omega_r(t)$.

Для знаходження перехідного процесу АД використовувалися рівняння електричної рівноваги Парка-Горева АД у системі координат α, β та рівняння руху, виражені через потокозчеплення у безрозмірній формі:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} &= U_{s\alpha} - \frac{\chi}{T_{sm}}(1+\sigma_r)\Psi_{s\alpha} + \frac{\chi}{T_{sm}}\Psi_{r\alpha} \\
\frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} &= U_{s\beta} - \frac{\chi}{T_{sm}}(1+\sigma_r)\Psi_{s\beta} + \frac{\chi}{T_{sm}}\Psi_{r\beta} \\
\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} &= -\frac{\chi}{T_{rm}}(1+\sigma_s)\Psi_{r\alpha} + \frac{\chi}{T_{rm}}\Psi_{s\alpha} + \omega_r\Psi_{r\beta} \qquad (1) \\
\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} &= -\frac{\chi}{T_{rm}}(1+\sigma_s)\Psi_{r\beta} + \frac{\chi}{T_{rm}}\Psi_{s\beta} - \omega_r\Psi_{r\sim}
\end{aligned}$$

$$J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} \pm M_c = \frac{3}{2} \cdot \frac{p\chi}{L_m}(\Psi_{s\beta}\Psi_{r\alpha} - \Psi_{s\alpha}\Psi_{r\beta}),$$

де $\Psi_{s\alpha}$, $\Psi_{s\beta}$, $\Psi_{r\alpha}$, $\Psi_{r\beta}$ – потокозчеплення статора та ротора по осям α та β;

$U_{s\alpha}$, $U_{s\beta}$ – напруги обмоток статора по осям α, β;

L_s, L_r – повні індуктивності обмоток статора та ротора;

L_m – взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора;

R_s, R_r – активні опори обмоток статора та ротора;

ω_r – кутова швидкість ротора відносно статора;

J – момент інерції ротора АД;

M_c – момент опору АД;

p – кількість пар полюсів статорної обмотки АД;

$\chi = \frac{1-\sigma}{\sigma}$ – коефіцієнт якості магнітного кола АД;

$T_{sm} = \frac{L_m}{R_s}$ – безрозмірна постійна часу намагнічування магнітного кола АД обмоткою статора;

$T_{rm} = \frac{L_m}{R_r}$ – безрозмірна постійна часу намагнічування кола АД обмоткою ротора.

За базові величини у безрозмірних рівняннях (1) узяті загальноприйняті величини [2].

Для спрощення системи рівнянь (1) використані визначення коефіцієнтів розсіювання обмоток АД [4]:

$\sigma_s = \frac{L_{\sigma s}}{L_m}$ – коефіцієнт розсіювання обмоток статора; $\sigma_r = \frac{L_{\sigma r}}{L_m}$ – коефіцієнт розсіювання обмо-ток ротора;

$\sigma = 1 - \frac{1}{(1+\sigma_s)(1+\sigma_r)} = \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_s L_r}$ – загальний коефіцієнт розсіювання АД;

$L_{\sigma s}$, $L_{\sigma r}$ – індуктивності розсіювання обмоток статора та ротора;

$L_s = L_m + L_{\sigma s}$; $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ – зв’язок між індуктивностями обмоток.

Коефіцієнт χ являє собою відношення корисного потоку АД до магнітного потоку розсіювання, тобто він показує у скільки разів корисний магнітний потік АД більше потоку розсіювання і його можна ототожнити із коефіцієнтом якості магнітного кола АД.

При відсутності розсіювання (σ_s = 0, σ_r = 0, σ = 0) коефіцієнт якості магнітного кола АД $\chi = \infty$. Коли корисний магнітний потік відсутній ($\sigma_s = \infty$, $\sigma_s = \infty$, $\sigma = 1$), коефіцієнт якості магнітного кола АД χ = 0. Система рівнянь (1) розв’язувалась на ПЕОМ методом Рунге-Кутта, кількість точок на інтервалі $n = 10^4$.

За даними, наведеними у [5], для асинхронного двигуна 4А132М4У3 потужністю 11 кВт розраховані коефіцієнти передачі K_U, K_f та постійні часу T_U, T_f в діапазоні напруг 180 – 280 В та частот 10 – 89 Гц для моделі АД за системою (1) та за формулами роботи [1]. Результати розрахунку показані на рис. 1.

Як видно з рисунків, обидві моделі АД дають результати, які добре співпадають для всіх постійних ММ АД у діапазоні частот 10 – 60 Гц. При цьому для K_f та T_f при збільшенні частоти (f > 60 Гц) розбіжність моделей різко зростає і при f = 89 Гц модель АД за [1] не працює через неможливість визначити ковзання за повною формулою Клоса при номінальному навантаженні M_N та напрузі U = 220 В. При зменшенні частоти f < 10 Гц, навпаки, модель АД за системою рівнянь (1) стає непрацездатною, оскільки перехідний процес стає коливальним і немає можливості визначити T_f. При напругах U > 210 В постійні K_U, T_U для обох моделей АД практично співпадають, а при U < 180 В обидві моделі непрацездатні, оскільки сума моментів M_N + M_c приблизно дорівнює критичному моменту АД і стійка робота АД неможлива при f = 50 Гц.

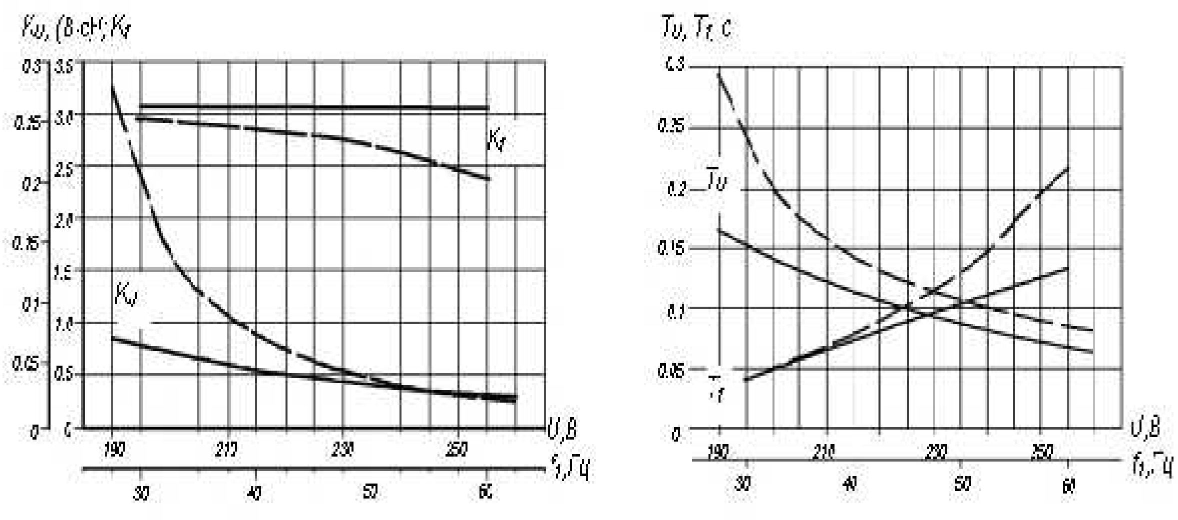

Рис. 1. Залежності коефіцієнтів передач K_U, K_f постійних часу T_U, T_f від параметрів, при M_N=45,1 Нм: ——— система рівнянь (1), — — — формули роботи [1]

Висновки

Отже, модель АД, запропонована у [1], дає достовірні результати у діапазоні напруг 190 – 280 В та діапазоні частот 10 – 60 Гц при номінальному навантаженні.

Список літератури

1. *Онушко, В.В. Передавальна функція асин-хронного двигуна при частотному керуванні / В.В. Онушко, І.Д. Погрібняк // Збірник наукових праць"Системи управління, навігації та зв'язку". – 2012. - №4.*
2. *Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 327с.*
3. *Чорний, О.П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник для ВУЗів / О.П. Чорний, Д.Й. Родькін, О.В. Луговой та ін. – Кременчук: КДПУ, 2001. – 376с.*
4. *Шуйский, В.П. Расчет электрических машин (перевод с немецкого) / В.П. Шуйский. – Л.: «Энергия», 1986. – 731с.*
5. *Кравчик, А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. –М.: Энергоиздат, 1982. - 504с.*

Надійшла до редколегії 25.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

В.В. Онушко, И.Д. Погрибняк

Проведен анализ моделей асинхронного двигателя (АД) 4А132М4У3 при частотном управлении, базирующихся на традиционных уравнениях Парка-Горева и на основе упрощенной Г-образной схемы замещения АД. Показано, что обе модели АД идентичны в диапазоне изменения напряжения 100-280 В и изменения частоты сети 10-60 Гц.

Ключевые слова: *уравнения Парка-Горева, постоянные времени, коэффициент передачи, коэффициент качества магнитного поля.*

ANALYSIS OF INDUCTION MOTOR FREQUENCY CONTROL MODELS

V.V. Onushko, I.D. Pogribnyak

The analysis of models of induction motor (IM) 4A132M4У3 with frequency control based on traditional Park Gorev equations and on the simplified equivalent L-shaped circuit was done. It is shown that both IM models are identical in the range of changes in voltage 100-280 V and changes in network frequency 10-60 Hz.

Keywords: *Park Gorevoy equation, time constants, transfer factor, quality factor of magnetic field.*