

В.С. Маляр, В.С. Мадай, І.А. Добушовська

ДИНАМІКА ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ
З ПОСЛІДОВНО УВІМКНЕНИМИ КОНДЕНСАТОРАМИ

Розглядається проблема математичного моделювання динамічних режимів асинхронних двигунів з поздовжньо-ємнісною компенсацією реактивної потужності. В основу алгоритму розрахунку покладено математичну модель асинхронного двигуна високого рівня адекватності, в якій враховується насичення та витіснення струму. Бібл. 4, рис. 1.
 Ключові слова: асинхронний двигун, компенсація реактивної потужності, характеристики пуску, резонанс, конденсатори, субгармонічні коливання.

Рассматривается проблема математического моделирования динамических режимов асинхронных двигателей с продольно-емкостной компенсацией реактивной мощности. В основу алгоритма расчета положена математическая модель асинхронного двигателя высокого уровня адекватности, в которой учитывается насыщение и вытеснение тока. Библ. 4, рис. 1.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, компенсация реактивной мощности, характеристики пуска, резонанс, конденсаторы, субгармонические колебания.

Вступ. Одним з основних чинників, від яких залежать витрати електроенергії, є підвищення коефіцієнта потужності споживачів [2], серед яких значну частину складають асинхронні двигуни (АД). Для цього використовується як поперечна компенсація, так і поздовжня. При поздовжній компенсації АД живляться від лінії через конденсатори, а тому за певних умов можуть виникати резонансні явища, наслідком яких є не тільки значне зростання струму двигуна та напруги на ньому, але й поява коливань швидкості обертання ротора [1]. Отже проблема дослідження роботи АД з послідовно увімкненими конденсаторами має як теоретичне, так і практичне значення.

Суть проблеми. На практиці важливою є проблема дослідження впливу величини ємності C послідовно увімкнених конденсаторів на поведінку двигуна під час пуску, і перш за все появу резонансних явищ [1, 3]. Відомі методики розрахунку значення ємності конденсаторів для компенсації реактивної потужності є досить наближеними [3], а тому потребують або експериментальної перевірки, або розрахунку перехідних процесів з використанням математичної моделі АД, яка забезпечує достовірність результатів математичного експерименту.

Метою статті є розроблення математичної моделі для розрахунку пускових режимів АД з послідовно увімкненими конденсаторами.

Математична модель. Дослідження резонансних процесів в АД потребує достатньо точного визначення параметрів двигуна, якими є активні опори та власні і взаємні індуктивності електричних контурів. Зазначені параметри залежать від витіснення струму в стержнях короткозамкненого ротора та насичення магнітопроводу, а тому достовірні результати розрахунку можна отримати лише на основі математичних моделей високого рівня адекватності.

В розробленому алгоритмі процеси в АД розглядаються у трифазних координатних осях [4]. Для урахування витіснення струму кожний стержень короткозамкненого ротора розбивається по висоті на n елементарних, в результаті чого обмотка ротора представляється n трифазними обмотками. При цьому система

диференціальних рівнянь (ДР) електричної рівноваги, яка описує динамічний режим, складатиметься з:

- трьох рівнянь для статора:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_A}{dt} - \frac{d\psi_B}{dt} &= u_{AB} - r_A i_A + r_B i_B - u_{kA} + u_{kB}; \\ \frac{d\psi_B}{dt} - \frac{d\psi_C}{dt} &= u_{BC} - r_B i_B + r_C i_C - u_{kB} + u_{kC}; \\ \frac{di_A}{dt} + \frac{di_B}{dt} + \frac{di_C}{dt} &= 0; \end{aligned} \quad (1a)$$

- $3n$ рівнянь для ротора:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{aj}}{dt} - \frac{d\psi_{bj}}{dt} &= -r_{aj} i_{aj} + r_{bj} i_{bj} - \alpha(\psi_{bj} - 2\psi_{cj} + \psi_{aj}); \\ \frac{d\psi_{bj}}{dt} - \frac{d\psi_{cj}}{dt} &= -r_{bj} i_{bj} + r_{cj} i_{cj} - \alpha(\psi_{cj} - 2\psi_{aj} + \psi_{bj}); \\ \frac{di_{aj}}{dt} + \frac{di_{bj}}{dt} + \frac{di_{cj}}{dt} &= 0; \quad (j = 1, \dots, n); \end{aligned} \quad (1b)$$

- трьох рівнянь для конденсаторів:

$$\frac{du_{kA}}{dt} = \frac{i_A}{C}, \quad \frac{du_{kB}}{dt} = \frac{i_B}{C}, \quad \frac{du_{kC}}{dt} = \frac{i_C}{C}, \quad (1b)$$

- рівняння механічної рівноваги:

$$\frac{J\omega_0}{p_0} \frac{ds}{dt} = M_c - M_e, \quad (1r)$$

де $\alpha = \omega_0(1-s)/\sqrt{3}$; s – ковзання; ω_0, ω – частота напруги та кутова швидкість обертання ротора; ψ_k, i_k, r_k ($k = A, B, C, a_j, b_j, c_j$) – потокозчеплення, струми та активні опори фаз; u_{AB}, u_{BC} – лінійні напруги; J – момент інерції системи, p_0 – кількість пар полюсів АД; M_c – момент навантаження; $M_e = \frac{P}{\sqrt{3}} L_\mu ((i_{\mu B} - i_{\mu C})i_A +$

$+ (i_{\mu C} - i_{\mu A})i_B + (i_{\mu A} - i_{\mu B})i_C)$ – електромагнітний момент АД в фазних осях [4]; $i_{\mu A}, i_{\mu B}, i_{\mu C}$ – проекції на осі фаз зображуючого вектора струму i_μ . Індуктивність L_μ визначається з кривої намагнічування головного магнітного шляху

$$\psi_\mu = \psi_\mu(i_\mu). \quad (2)$$

Під час числового інтегрування нелінійної системи ДР (1) для визначення матриці диференціальних індуктивностей контурів АД як похідної вектора поточозчеплень по вектору струмів використовують, крім характеристики намагнічування (2), нелінійні залежності поточозчеплень розсіювання статора та ротора від струмів статора (s) та ротора (r)

$$\Psi_{\sigma s} = \Psi_{\sigma s}(i_1), \Psi_{\sigma r} = \Psi_{\sigma r}(i_2), \quad (3)$$

де i_1, i_2 – модулі зображувальних векторів струмів.

Для прикладу на рис. 1 наведені залежності від часу струму фази A обмотки статора та швидкості обертання ротора під час пуску без навантаження двигуна 4AP160S4Y3 ($P = 15$ кВт, $U = 230$ В, $I = 29,9$ А; $p_0 = 2$) при ємності $C = 950$ мкФ. Як видно з рис. 1, при цьому виникає самозбудження, яке переходить в режим субгармонічних коливань з частотою 25 Гц, що призводить до механічних гойдань ротора АД.

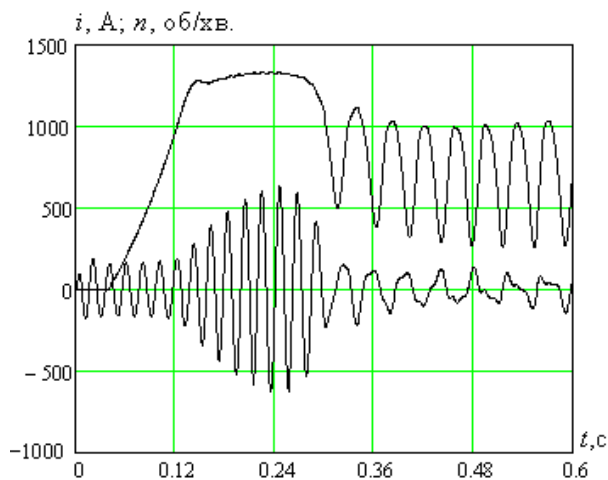


Рис. 1. Часові залежності струму фази обмотки статора та швидкості обертання ротора під час пуску

Висновки.

Викладено алгоритм і результати математичного моделювання процесів в пускових режимах АД, який живиться від мережі через послідовно увімкнені конденсатори.

Показано, що за деяких значень величини ємності можуть виникати процеси самозбудження і появи субгармонічних коливань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голован А.Т., Чжан Чен-Шен. Механическое качание асинхронной машины при ее работе с последовательно включенными конденсаторами // Электричество. – 1962. – №10. – С. 12-15.
2. Данцис Я.Б., Жилов Г.М. Емкостная компенсация реактивных нагрузок мощных токоприемников промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1980. – 176 с.
3. Рудницький В.Г., Бондаренко В.В. Аналіз виникнення самозбудження асинхронних двигунів при поздовжньому вмиканні ємності в пристрої регулювання напруги та реактивної потужності // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2006. – Вип. 66. – С. 232-233.
4. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханических преобразователей. – К.: Наукова думка, 1979. – 208 с.

REFERENCES

1. Golovan A.T., Zhang Chen-Shen. Mechanical swinging asynchronous motors with a series connection capacitors. *Elektrichestvo – Electricity*, 1962, no.10, pp. 12-15. (Rus).
2. Dancis J.B., Zulov G.M. *Emkostnaja kompensacija reaktivnyh nagruzok moshhnyh tokopriemnikov promyshlennyh predpriyatij* [Capacity indemnification of reactive power for powerful consumers of industrial enterprises]. Moscow, Energija Publ., 1980. 176 p. (Rus).
3. Rydnickij V.G., Bondarenko V.V. Analysis of the occurrence of self-excited of asynchronous motors with a series connection capacitors in the device voltage and reactive power control. *Elektromashinostoenie i elektrooborudovanie – Electrical Engineering and Electric Equipment*, 2006, no.66, pp. 232-233. (Ukr).
4. Filc R.V. *Matematicheskie osnovy teorii elektromekhanicheskikh preobrazovatelej* [Mathematical foundations of electromechanical transducers theory]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1979. 208 p. (Rus).

Надійшла (received) 23.12.2014

Маляр Василь Сафронівч¹, д.т.н., професор,
Мадай Володимир Степанович¹, к.т.н., доцент,
Добушовська Ірина Андріївна¹,
¹Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, Львів, вул. С. Бандери, 12,
тел/phone +38 032 2582119, e-mail: maday@polynet.lviv.ua

V.S. Malyar¹, V.S. Maday¹, I.A. Dobushovska¹

¹Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine.

Dynamic regimes of asynchronous motors with concatenated capacitors.

Purpose. Development of mathematical model for calculation of starting modes of asynchronous motor connected in series with capacitors. **Method.** Mathematical modeling of dynamic modes of asynchronous motors with lateral capacitor compensation of reactive power. **Results.** The calculation algorithm and results of mathematic modeling of processes during starting modes of asynchronous motor feeding from the network through capacitors connected in series are presented. It is shown that for some values of capacitance the self-excitation processes and subharmonic oscillations can appear. **Scientific novelty.** Mathematic modeling and research of processes in asynchronous motor under its feeding through capacitors is carried out for the first time. The calculation algorithm is based on the mathematical model of asynchronous motor with high level of adequacy, which takes into account the magnetic core saturation and the current displacement in limbs of the rotor. **Practical implication.** Developed mathematical model makes it possible to investigate the possibility of self-excitation modes appearing in condition of their feeding from line with lateral compensation of reactance in order to avoid the negative effects typical for them. References 4, figure 1.

Key words: asynchronous motor, compensation of reactive power, starting characteristics, resonance, capacitors, subharmonic oscillations.