

УДК: 621.313.32

**ЗАЛЕЖНІСТЬ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ СИНХРОННОГО ДВИГУНА
ВІД ТИПУ ТА ВЕЛИЧИНИ ОПОРУ В КОНТУРІ ЗБУДЖЕННЯ**

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

Національний університет "Львівська політехніка"

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: svmalyar@polynet.lviv.ua

Пропонується метод і алгоритм розрахунку залежності пускового електромагнітного моменту явнополюсного синхронного двигуна від величини різних типів опорів в обмотці збудження. Основою методу є розв'язання задачі розрахунку усталеного асинхронного режиму як крайовий і диференціальний метод розрахунку статичних характеристик. У математичній моделі двигуна враховується насичення магнітної системи як основним магнітним потоком, так і потоками розсіювання, а також реальний розподіл струмів по стержням пускової обмотки.

Ключові слова: синхронний двигун, пуск, статичні характеристики.

**ЗАВИСИМОСТЬ ПУСКОВОГО МОМЕНТА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ОТ ТИПА И ВЕЛИЧИНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ОБМОТКЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

В. С. Маляр, В. С. Мадай, И. А. Добушовская

Национальный университет "Львовская политехника"

ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. E-mail: svmalyar@polynet.lviv.ua

Предлагается метод и алгоритм расчета зависимости пускового электромагнитного момента явнополюсного синхронного двигателя от величины различных типов сопротивлений в обмотке возбуждения. Основой метода является решение задачи расчета установившегося асинхронного режима как краевой и дифференциальный метод решения статических характеристик. В математической модели двигателя учитывается насыщение магнитной системы как основным магнитным потоком, так и потоками рассеивания, а также реальное распределение токов по стержням пусковой обмотки.

Ключевые слова: синхронный двигатель, пуск, статические характеристики.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У синхронних електроприводах великої потужності найчастіше використовуються явнополюсні синхронні двигуни (ЯСД). Основним способом їх пуску є асинхронний [1, 5]. Рушійний момент при цьому створюється демпферною (пусковою) обмоткою та обмоткою збудження, яка зазвичай закорочується на активний опір. Однак у деяких електроприводах електромагнітний момент недостатній для забезпечення розгону двигуна з нерухомого стану до підсинхронної швидкості. Для підвищення пускового моменту обмотку збудження на час пуску замикають на активний опір або конденсатори [2, 3, 5, 6]. Такий засіб дає змогу підвищити рушійний момент, однак може зумовити появу резонансу, тому потребує окремих досліджень щодо правильного вибору величини як активного опору, так і ємності конденсаторів. Метою статті є викладення алгоритму розрахунку пускових статичних характеристик ЯСД з різними типами опорів в обмотці збудження.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Об'єктом дослідження є ЯСД з трифазною обмоткою статора й обмоткою збудження та пусковою з n стержнями на полюсі на роторі. Процеси розглядаються в ортогональних осях d, q (7), причому пускова обмотка подана реальними контурами, що дає змогу визначити струми в стержнях і насичення потоками розсіювання. Диференціальні рівняння (ДР), які описують асинхронний режим ЯСД, мають вигляд

$$\frac{d(w_0 Y_d)}{dt} = w Y_q - r i_d + U_m \sin q ;$$

$$\begin{aligned} \frac{d(w_0 Y_q)}{dt} &= -w Y_d - r i_q + U_m \cos q ; \\ \frac{d(w_0 Y_1)}{dt} &= -r_{1,1} i_1 + r_{1,2} i_2 - r_{1,n} i_n ; \end{aligned} \tag{1}$$

$$\frac{d(w_0 Y_n)}{dt} = -r_{n,1} i_1 + r_{n,n-1} i_{n-1} - r_{n,n} i_n ;$$

$$\frac{d(w_0 Y_f)}{dt} = -r_f i_f + u_f ;$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{w}{w_0} - 1; \quad \frac{dw}{dt} = \frac{p_0}{w_0 J} (M_e - M_a),$$

де Y_k, i_k ($k = d, q, 1, \dots, n, f$) – потокозчеплення та струми відповідних контурів; r, r_f, r_{jk} – активні опори обмоток: статора, збудження та демпферних контурів (r_{jk}), власних – при $j = k$ і взаємних – при $j \neq k$, p_0 – кількість пар полюсів $t = w_0 t$ – так званий синхронний час; w_0, w – кутова частота напруги живлення та обертання ротора двигуна; M_e, M_a – момент навантаження ЯСД та електромагнітний; q – кут вибігу ротора; J – момент інерції системи електроприводу.

Система ДР (1) дає змогу досліджувати асинхронні режими ЯСД як у перехідних режимах, так і в усталених. У разі розрахунку процесу пуску із закороченою на активний опір r_0 обмоткою збудження напруга $u_f = r_0 i_f$, а у разі замикання її на конденса-

тор ємністю C $u_f = u_c$, а систему ДР (1) необхідно доповнити рівнянням

$$du_c / dt = i_f / (w_0 C). \quad (2)$$

У разі постійного ковзання s всі координати змінюються з періодом $T=2\pi/(s\omega_c)$. Отже задачу визначення періодичних залежностей координат можна розглядати як крайову для системи ДР (1), а її розв'язування поєднати в єдиному алгоритмі.

Для цього кожне ДР вихідної системи апроксимуємо системою N алгебраїчних рівнянь у відповідності з викладеним у [4]. У результаті отримаємо систему алгебраїчних рівнянь вигляду

$$HY - \dot{Z} = 0, \quad (3)$$

в якій H – квадратна матриця переходу від неперервної зміни координат до їх вузлових значень за умови апроксимації змінних кубічними сплайнами, елементи якої визначаються сіткою вузлів; \dot{Y} , \dot{Z} – вектори, компонентами яких є вузлові значення векторів \dot{y}_j -координат, які в системі (1) входять під знак похідної, та \dot{z}_j – вектори-функції правих частин цих рівнянь ($j = \overline{1, N}$). Отримана система (3) алгебраїчних рівнянь є дискретним аналогом вихідної системи ДР. Розв'язком системи (3) є вектор вузлових значень координат, визначити який можна одним із ітераційних методів, зокрема Ньютона. Отримати багатовимірну залежність вузлових значень координат від зміни будь-якої величини x , що входить до системи (1), (2), можна диференціальним методом. Для цього систему (3) продиференціюємо за цією змінною. В результаті отримаємо

$$W \frac{d\dot{X}}{dx} = \frac{\partial \dot{Z}}{\partial x}, \quad (4)$$

де $W = \left(H - \frac{\partial \dot{Z}}{\partial Y} \right) \frac{\partial Y}{\partial X} - \frac{\partial \dot{Z}}{\partial X}$ – матриця Якобі.

Інтегруючи ДР (4) за x у межах від x_1 до x_2 , отримаємо залежності вузлових координат від x ($x = r$ або $x = C$).

Нижче наведено залежності пускового моменту від величини активного опору, на який закорочена обмотка збудження (рис. 1), та від ємності конденсаторів у колі обмотки збудження (рис. 2) двигуна СДСЗ-17-41-16 ($P = 1600$ кВт, $U = 6$ кВ, $I = 181$ А, $I_f = 290$ А, $n = 8$).

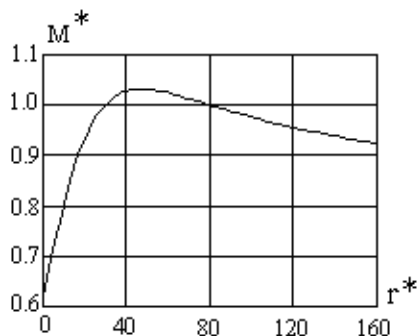


Рисунок 1 – Залежність відносного значення

пускового електромагнітного моменту ($s = 1$) від відносного значення додаткового активного опору ($r^* = r_d/r_f$) у колі обмотки збудження

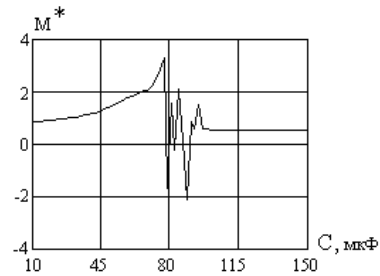


Рисунок 2 – Залежність відносного значення пускового електромагнітного моменту ($s = 1$) від величини ємності конденсаторів в обмотці збудження

Як видно з рисунків, десятикратне значення активного опору в колі обмотки збудження, яке зазвичай використовується, не забезпечує максимального значення пускового моменту, а при деяких значеннях ємності конденсаторів електромагнітний момент набуває від'ємного значення.

ВИСНОВКИ. Запропонований алгоритм дає змогу за єдиною програмою розраховувати залежність електромагнітного моменту ЯСД як від активного опору, так і ємності конденсаторів за будь-якого значення ковзання. Задача розв'язується в позачасовій області як крайова для нелінійної системи ДР електромеханічної рівноваги, які описують динамічні режими роботи двигуна, що дає змогу мінімізувати обсяг обчислень і служить основою для дослідження впливу величини увімкненої в обмотку збудження ємності конденсаторів або активного опору на значення пускового моменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович Б.Н., Круглый А.А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. – Л: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.
2. Велин Н.В. Статический возбудитель синхронного двигателя с глухо подключенным конденсатором // Электротехника. – 1973. – № 12. – С. 35–36.
3. Кириченко В.І., Бородай В.А., Яланський А.А. Улучшение пусковых свойств крупных синхронных машин // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2003. – № 6 (64) – С. 38–40.
4. Маляр В.С., Маляр А.В. Математическое моделирование периодических режимов работы электротехнических устройств // Электронное моделирование. – 2005. – Т. 27. – № 3. – С. 39–53.
5. Осипова С.В., Каяшев А.И. Асинхронный пуск синхронного двигателя с максимальным входным и пусковым моментом // Изв. вузов. Энергетика. – 1974. – № 8. – С. 119–121.
6. Пивняк Г.Г., Кириченко В.В., Бородай В.А. Повышение надежности и экономичности мощных синхронных приводов с тяжелым пуском // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – 2007. – С. 553–555.
7. Фильц Р.В., Лябук Н.Н. Математическое моделирование явнополюсных синхронных машин. – Львов: Світ, 1991. – 176 с.

**THE DEPENDENCE OF A SYNCHRONOUS MOTOR STARTING TORQUE
ON THE TYPE AND VALUE OF THE RESISTANCE IN ITS EXCITATION WINDING****V. Malyar, V. Maday, I. Dobushovska**

Lviv Polytechnic National University

vul. S. Bandery, Lviv, 12, 79013, Ukraine. E-mail: svmalyar@polynet.lviv.ua

The paper offers a technique and algorithm for the computation of the dependence of a synchronous salient-pole motor's electromagnetic starting torque on the value of different types' resistances in the excitation winding circuit. The technique is based on the solving the problem of asynchronous steady state analysis in the form of a boundary one and on the differential method of static mechanic responses' calculation. The mathematical model of the motor considers the saturation of the magnetic system by both the main magnetic flux and leakage fluxes as well as the actual distribution of the currents in the starting winding bars.

Key words: synchronous motor, start, static response.

REFERENCES

1. Abramovich B.N., Kruglyj A.A. Excitation, control and stability of synchronous motor. – L.: Energoizdat, 1983. –128 p. [in Russian]
2. Velin N.V. Static exciter of synchronous motor with a permanently connected capacitor // *Electrotechnika*. – 1973. – № 12. – PP. 35–36. [in Russian]
3. Kirichenko V.I., Boroday V.A., Yalanskiy A.A. Improved properties of starting modes of large synchronous machines // *Bulletin of the Eastern National University*. – 2003. – № 6 (64). – PP. 38–40. [in Russian]
4. Malyar V.S, Malyar A.V. Mathematical simulation of periodic modes of electrotechnical appliances // *Electronnoe modelirovanie*. – 2005. – Iss. 27. – № 3. – PP. 39–53. [in Russian]
5. Osipova S.V., Kaiasheva A.I. Asynchronous start a synchronous motor with maximum input and starting torque // *Proceedings of the universities. Energetics*. – 1974. – № 8. – PP. 119–121. [in Russian]
6. Pivnyak G.G, Kirichenko V.I, Boroday V.A. About new direction in improvement large synchronous electric motors // *Problems of automated electric. Theory and practice.* – 2002. – Iss. 2. – PP. 62–65. [in Russian]
7. Filts R.V, Lyabuk N.N. Mathematical simulation of salient-pole synchronous motor. – Lviv: Svit, 1991. – 176 p. [in Russian]

Стаття надійшла 18.06.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Кореньковою Т.В.