

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СИНХРОННИХ ІНДУКТИВНИХ ОПОРІВ СИНХРОННОЇ МАШИНИ

Калінов А.П., к.т.н., доц., Остапенко А.В., магістр.

*Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського
39600, м. Кременчук Полтавської обл., вул. Першотравнева, 20*

E-mail: scenter@polytech.poltava.ua

Вступ. На сьогоднішній день в умовах великої конкуренції зростають вимоги до надійності експлуатації електричних машин.

Для дослідження режимів роботи синхронних машин (СМ) та електромеханічних процесів, що в них протікають, найбільш зручно використовувати дослідження на математичних моделях, які здатні адекватно відображати реальні процеси.

При цьому для моделювання необхідно умовою є відомості значень активних і індуктивних опорів контурів схеми заміщення.

Мета роботи. Підвищення точності й продуктивності операції ідентифікації електромагнітних параметрів СМ, спрощення реалізації досліду визначення індуктивних опорів, індуктивностей за поздовжньою та поперечною осями явнополюсного синхронного двигуна.

Аналіз попередніх досліджень. На сьогоднішній день існує безліч робіт, що присвячені порушеній темі.

У вітчизняній і закордонній технічній літературі освітлені різноманітні методи визначення параметрів СМ, кожний з яких має свої переваги, недоліки й сферу застосування.

У роботах [4, 5] наведені основні методи, що застосовуються в промисловості й рекомендовані ДСТ, а в роботі [5] була зроблена класифікація відомих методів ідентифікації електромагнітних параметрів.

Для визначення синхронних індуктивних опорів на сьогоднішній день використовують наступні методи.

Метод малого ковзання [1-2, 4, 6].

Служить для визначення синхронного індуктивного опору за поперечною віссю x_q .

Режим роботи СМ – генераторний.

Недоліки методу:

- потрібно проведення дослідів неробочого ходу (НХ) і короткого замикання (КЗ) [1];
- необхідний приводний двигун достатньої потужності для підтримки постійного ковзання s 1%.

Метод повороту фази живлення (варіація методу малого ковзання) [1-2, 6].

Служить для визначення синхронних індуктивних опорів x_d і x_q .

Режим роботи СМ – генераторний.

Метод дає найбільш точні значення шуканих параметрів.

Недоліки методу:

- потрібен приводний синхронний двигун;
- необхідне джерело трифазного струму з можливістю зміни фази.

Метод негативного збудження [1-2, 4, 6].

Служить для визначення синхронного індуктивного опору за поперечною віссю x_q .

Режим роботи СМ – руховий.

Недоліки методу:

- потрібно проведення дослідів неробочого ходу (НХ) і короткого замикання (КЗ) [1];

– при проведенні досліду для неявнополюсних машин можуть з'являтися опіки в місцях контактів між бочкою індуктора й бандажних кілець на лобових частинах обмотки [4].

Методи визначення синхронних індуктивних опорів x_d і x_q [7] з використанням векторних діаграм.

Режим роботи СМ – генераторний.

Застосовується для визначення параметрів СД із постійними магнітами.

Недоліки методу:

- потрібен приводний двигун (синхронний [7] або двигун постійного струму [3]);

– необхідне визначення кута вибігу ротора [7] або швидкості обертання [7] випробуваного двигуна.

Метод визначення синхронних індуктивних опорів x_d і x_q [8] в експлуатаційних умовах.

Режим роботи СМ – руховий.

Метод не вимагає приводних двигунів.

Недоліки методу:

- необхідне визначення кута вибігу ротора випробуваного двигуна;

– наближене визначення параметрів.

Матеріал і результати дослідження.

Запропонований метод експериментального визначення параметрів СМ реалізується наступним чином: двигун постійного струму (ДПС) приводить до обертання СМ, що працює в генераторному режимі.

Миттєві значення електричних параметрів СМ фіксують блок датчиків струму і напруги, що розміщують в статорному і роторному колі (рис. 1).

При роботі СМ в режимі неробочого ходу датчики напруги фіксують ЕРС. Після замикання обмоток статора на навантажувальні опори датчики починають фіксувати напругу, тобто двигун починає працювати під навантаженням. Слід зазначити, що навантаження носить суто активний характер.

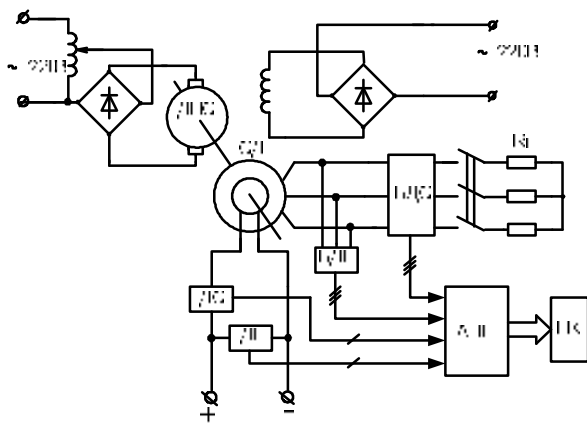


Рисунок 1 – Функціональна схема експериментальної установки: СД- синхронний двигун, ДС - датчик струму; БДН- блок датчиків напруги; ДН- датчик напруги; БДС- блок датчиків струму; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер

В середовищі програми Mathcad експериментальний сигнал відновлюється за першими гармоніками. За допомогою прямого і оберненого перетворень Фур'є відновлений сигнал ЕРС накладається на сигнал напруги. За отриманими під час експерименту сигналами ЕРС, напруги і струму визначаємо кути між віссю початку відліку та напругою (φ_u), ЕРС (φ_e) і струмом (φ_i), амплітуди ЕРС, напруги та струму (рис. 2).

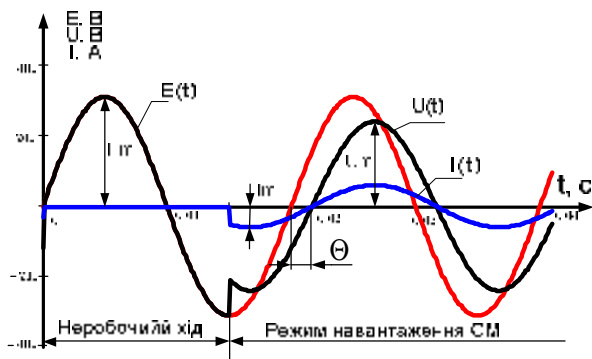


Рисунок 2 – Криві струму, напруги та ЕРС при включенні СГ на активне навантаження

Кут між векторами напруги і ЕРС - це кут навантаження (рис. 3),

$$\Theta = j_u - j_e \quad (1)$$

В генераторному режимі ЕРС завжди випереджає напругу, і кут Θ при цьому вважається додатнім.

Використовуючи векторну діаграму співвідношення напруг явнопольсного генератора (рис. 3), отримуємо залежності для визначення параметрів СМ.

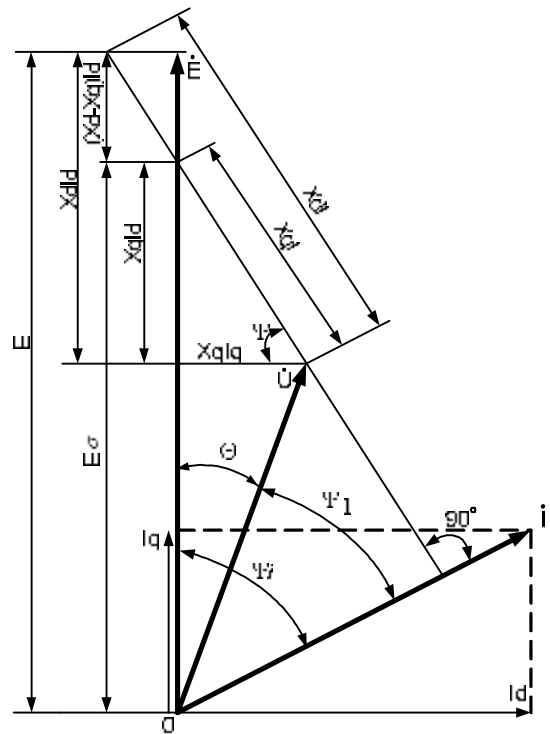


Рисунок 3 – Векторна діаграма явнопольсного СГ

Напруги за повздовжньою і поперечною осями відповідно:

$$U_d = U_m \cdot \sin \Theta, \quad (2)$$

$$U_q = U_m \cdot \cos \Theta.$$

Струми за повздовжньою і поперечною осями відповідно:

$$I_d = I_m \sin(\Theta + j), \quad (3)$$

$$I_q = I_m \cos(\Theta + j).$$

Індуктивні опори по векторній діаграмі знаходяться по співвідношенням:

$$x_d = \frac{E_m - U_q}{I_d}, \quad (4)$$

$$x_q = \frac{U_d}{I_q},$$

звідси індуктивності:

$$L_d = \frac{x_d}{2 \cdot p \cdot f}, \quad L_q = \frac{x_q}{2 \cdot p \cdot f}, \quad (1)$$

де f – частота СМ, що прямопропорційна частоті обертання приводного ДПС.

Більш ефективним методом визначення індуктивних синхронних опорів є аналіз кривих напруги, струму та ЕРС при відключенні збудженого синхронного двигуна від мережі живлення, обмотка збудження при цьому підключена до джерела постійної напруги. При використанні даного методу не потрібно використовувати приводний двигун, навантажувальні опори та додаткове силове обладнання; вилучати СМ з технічного процесу, проводити монтаж датчика швидкості та датчика кута зсуву між ЕРС та напругою.

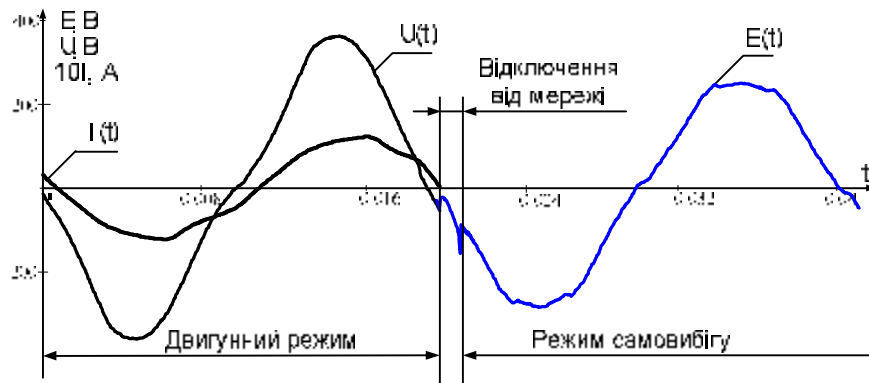


Рисунок 4 – Вихідні криві струму, напруги та ЕРС, отримані під час експерименту відключення від мережі

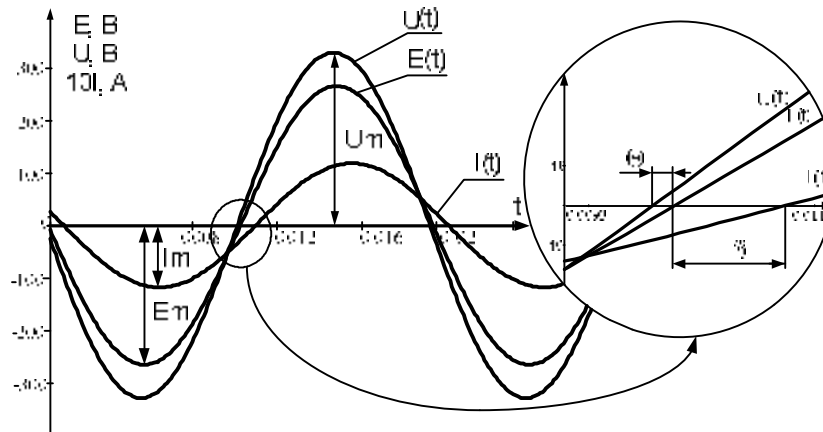


Рисунок 5 – Відновлені криві струму, напруги та ЕРС

Аналогічно вищеведеному алгоритму розрахунку визначасмо кут навантаження, амплітудні значення напруги, е.р.с. та струму, розраховуємо індуктивні опори за векторною діаграмою.

Висновки. Запропонований метод визначення синхронних індуктивних опорів СМ дозволяє підвищити ефективність ідентифікації параметрів машини шляхом аналізу миттєвих сигналів напруги, струму та ЕРС за першими гармоніками до і після зміни режиму роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1985. – 840 с.
2. Слодарж М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. – М.: Энергия, 1977. – 214 с.
3. Камински В., Школьни С. Метод определения параметров синхронных двигателей, возбуждаемых от постоянных магнитов // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. –Харків: НТУ «ХП», 2005. – №45. – С. 320–321.
4. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
5. Rogozin G.G. Определение электромагнитных параметров машин переменного тока. Новые экспериментальные методы. – К.: Техніка, 1992. – 168 с.

6. ГОСТ 10169-77. Машины электрические трехфазные синхронные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 73 с.

7. Астахов Н.В., Лопухина Е.М., Медведев В.Т. Испытания электрических микромашин: Учеб. пособие для электротехн. вузов. Под ред. Астахова Н.В. – М.: Высшая школа, 1984. – 272 с.

8. Сипайлов Г.А., Кононенко Е.В., Хорьков К.А. Электрические машины (специальный курс). Учебн. для вузов по спец. «Электрические машины». – М.: Высшая школа, 1987. – 287 с.

Стаття надійшла 08.04.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.