

ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ СИНХРОННИМ ДВИГУНОМ З ВАЖКИМИ УМОВАМИ ЗАПУСКУ

Вступ. Значна енергоємність промислового виробництва зумовлена низкою чинників, серед яких нераціональні режими роботи потужних синхронних двигунів. До того ж, значні витрати електроенергії обумовлені неповним використанням встановленої потужності двигунів у сталих режимах. Для деяких потужних механізмів, зокрема гірничорудної промисловості, запас встановленої потужності нерідко перевищує 15-30%. Така ситуація виникає внаслідок дискретності існуючої шкали номінальних потужностей двигунів, що нерідко спричиняє їх невідповідність до умов використання конкретних механізмів, труднощами попереднього визначення характеру і значення моменту статичного навантаження, необхідністю забезпечення успішного самозапуску. В результаті недовантаження двигуна знижається його ККД. З економічної точки зору перелічені обставини зумовлюють невиправдане зростання вартості як власне електроприводу і експлуатаційних витрат при його використанні, так і собівартості готової продукції.

Серед відомих напрямів поліпшення ситуації можна виділити декілька. Це, по-перше, більш ретельне визначення необхідної потужності двигуна. По-друге, для промислових установок, де експериментально встановлені режими використання, доцільна розробка більш раціональної шкали серійних двигунів. Значну увагу необхідно приділити розробці нових джерел живлення і методів керування ними, що дасть змогу оптимізувати енерговитрати в сталих та динамічних режимах потужних синхронних двигунів та підвищити їх надійність.

Постановка задачі дослідження. На сьогодні відомі розробки, які спрямовані на більш ефективне використання існуючих нереверсивних збудників шляхом застосування циклічного керування [1], однак при цьому не враховуються динамічні навантаження електромеханічної системи. Перспективніше використовувати програмне керування реверсивним збудником [2]. Розроблені алгоритми забезпечують підвищення середньої при одночасному обмеженні амплітуди періодичної складової моменту. Останнє особливо важливе у випадку двомасової системи з пружністю, для якої характерним є виникнення нестационарного резонансного режиму з високими динамічними навантаженнями і навіть руйнуванням елементів привода.

Зазначене програмне керування реверсивним збудником поліпшує умови асинхронного пуску, однак мало впливає на рівень навантажень в режимі самозапуску. Для зниження цих навантажень слід регулювати напругу статора в момент її відновлення [3]. Таким чином, можна зробити висновок про доцільність розробки електропривода із програмно-керованим джерелом живлення обмоток двигуна. При цьому алгоритми функціонування повинні враховувати тип електромеханічної системи (одно- чи двомасова), вимоги щодо пускового струму і рівня напруги на обмотках.

Матеріали досліджень. В Національному гірничому університеті виконано обсяг робіт з обґрунтування алгоритмів програмного керування джерелом живлення обмоток синхронних двигунів з метою зниження динаміки та формування бажаної форми електромагнітного моменту. Узагальнені результати досягнень в напрямі створення програмно керованого комбінованого джерела живлення синхронних двигунів наступні.

При формуванні бажаного електромагнітного моменту можливе існування декількох ділянок керування. Для квазістационарного режиму, в загальному випадку, миттєвий електромагнітний момент на i -ій ділянці керування має вигляд:

$$m_{ei} = u_{mi}^2 f_{11} - \frac{u_{mi} u_{fi}^m \sin \gamma_i}{2f_{31}} + \left[u_{mi} \sqrt{u_{mi}^2 f_{21}^2 + \frac{u_{fi}^{m2}}{4f_{31}^2} - f_{21i} \frac{u_{mi} u_{fi}^m \cos(\gamma_i - \gamma)}{f_{31}}} \right] \times \sin(2\Theta + \alpha_{ni}). \quad (1)$$

Перші два доданки визначають середню складову електромагнітного моменту, а третій – амплітуду і частоту його періодичної складової (f_{11} , f_{21} , f_{31} – функції параметрів двигуна і ковзання; γ_i , γ , α_{ni} – кут керування і розрахунковий кут, фаза періодичної складової моменту). За зазначеним виразом можна формувати бажаний вигляд механічної характеристики двигуна з одночасною оптимізацією періодичної складової моменту.

Важкими умовами запуску будемо вважати пуск двигуна з номінальним моментом. Мета програмного керування в цьому режимі – забезпечення можливо більшого середнього моменту або підтримка його на достатньому рівні в процесі розгону до ковзання $s = 0$ включно. Встановлено, що за цих умов пуску доцільне регулювання із кутом керування $\gamma_i = -\pi/2$ та найбільшим рівнем форсування напруги збудника (за необхідності можливе обмеження періодичної складової електромагнітного моменту). Дослідження показали, що в зоні значних ковзань підвищення середньої складової електромагнітного моменту та зменшення періодичної – незначні.

Напруга на обмотці збудження під час пуску не перевищує 1000 В. При номінальному навантаженні достатній коефіцієнт форсування напруги збудника слід визначати як:

$$k_f^{\min} = \frac{2f_{31}(u_m^2 f_{11} - M_H / M_{\text{баз}} \cdot k_3)}{u_{f_{\text{HO}}} u_m \sin(-\pi/2)}, \quad (2)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу по моменту, $M_H, M_{\text{баз}}$ – номінальний і базовий моменти; $u_{f_{\text{HO}}}$ – приведена номінальна напруга збудника.

Іншою метою керування при важкому пуску може бути забезпечення достатнього середнього моменту за умови можливо меншої амплітуди періодичної складової. Мінімуму амплітуди відповідає кут керування напругою збудника $\gamma_i = \gamma$, причому амплітуда зменшується при підвищенні коефіцієнта форсування. Доведено, що таке керування можливе при ковзаннях, коли середній момент не знизиться до рівня мінімально допустимого для розгону до ковзання $s = 0$. При менших ковзаннях і насиченому збуднику кут керування:

$$\gamma_i = \arcsin \left(\frac{2f_{31}(u_m^2 f_{11} - m_3)}{u_m u_{f3}^m} \right), \quad (3)$$

де m_3 – мінімальний рівень середнього моменту.

Для ненасиченого режиму амплітуду періодичної складової напруги збудника слід вибрати за виразом:

$$u_f = \frac{2f_{31}(u_m^2 f_{11} - m_3)}{u_m \sin \gamma_i}, \quad (4)$$

а кут керування визначати як

$$\gamma_i = \arctg \left(\frac{u_m^2 f_{11} - m_3}{u_m^2 f_{21} \cos \gamma} \right). \quad (5)$$

Статичні характеристики розробленого алгоритму наведені на рис. 1. Вони розраховані при обмеженні мінімуму середнього моменту на рівні $1,5m_H$. Видно, що результуюча амплітуда періодичної складової менша, ніж без використання керування, і починає зростати лише на дуже малих ковзаннях, коли підтримується середня складова.

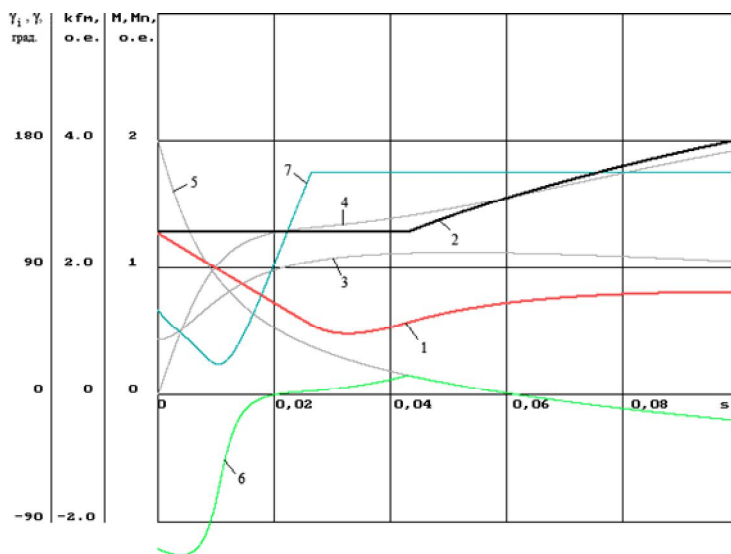


Рис. 1. Вплив програмного керування при додатковому опорі у колі збудження 3,2 Ом та коефіцієнті форсування напруги збудника 3,5: 1 – результуюча амплітуда періодичної складової; 2 – підсумковий середній момент; 3 – амплітуда періодичної складової без використання збудника; 4 – середній момент від живлення статора; 5 – розрахунковий кут двигуна; 6 – кут керування; 7 – коефіцієнт форсування напруги збудника

При звичайному прямому пуску обмотка збудження замкнена на розрядний опір, а напруга збудження вмикається при досягненні швидкістю значення $\omega = 0,95$ в.о. При номінальному навантаженні коефіцієнт динамічності пружного моменту сягає $k_d = 3,54$ (рис. 2). Причому спостерігається розмикання зазору зубчастої пари, що неминуче призводить до ударів у зубчастому зачепленні. Використання програмного керування збудником покращує динаміку запуску. В якості ілюстрації ефективності роботи розробленого алгоритму керування на рис. 3 наведені залежності перехідного процесу в режимі важкого пуску при мінімізації періодичної складової та підтримці середньої складової електромагнітного моменту на заданому рівні при малих ковзаннях. Видно, що коефіцієнт динамічності пружного моменту складає $k_d = 2$, причому розмикання зазору відсутнє. До того ж тривалість пуску дещо зменшилася (з 15,8 до 15,3 с). Внаслідок зниження амплітуди коливань електромагнітного моменту знизилася амплітуда коливань струму статора двигуна, що є позитивним для мережі живлення і двигуна.

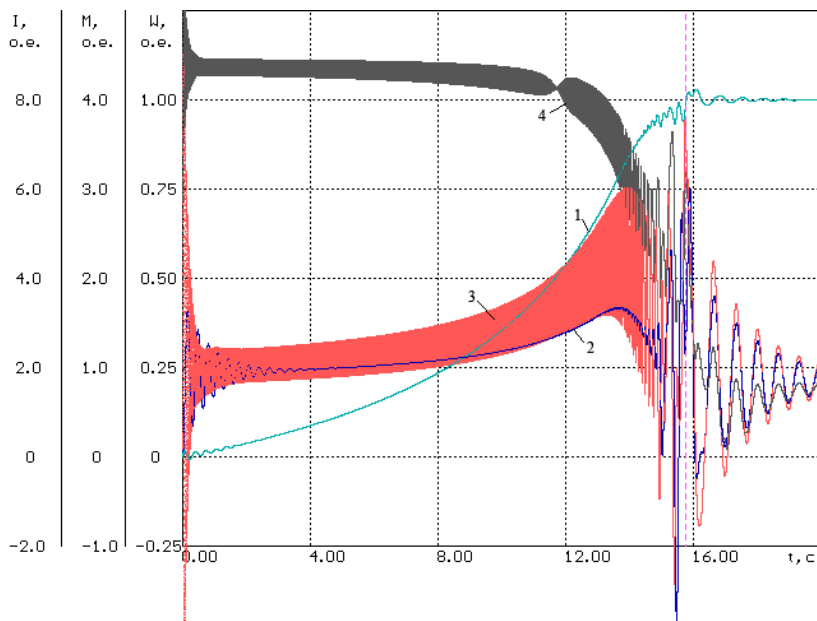


Рис. 2 Осцилограма прямого пуску двомасової системи синхронний двигун з додатковим опором в колі збудження 3,2 Ом - барабанний млин: 1 – швидкість двигуна, 2 – пружний момент, 3 – електромагнітний момент, 4 – струм статора

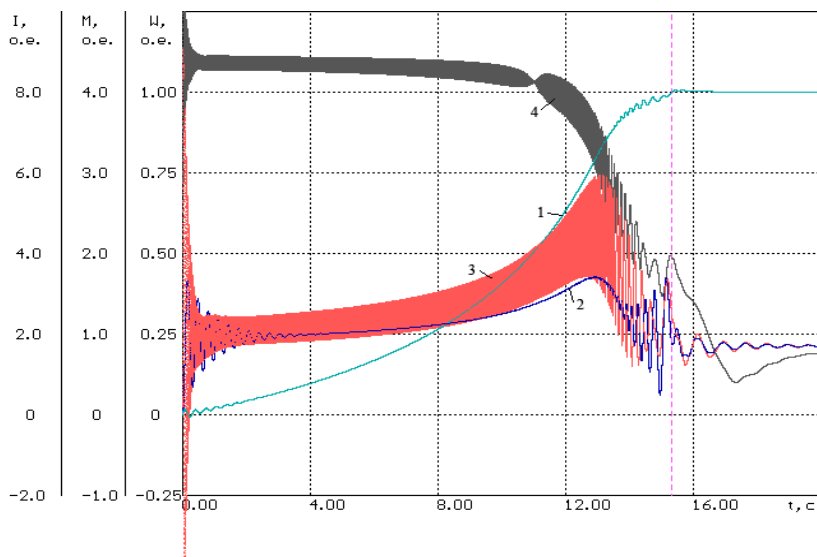


Рис. 3 Осцилограма пуску двомасової системи синхронний двигун – барабанний млин з використанням програмного керування при додатковому опорі в колі збудження 3,2 Ом, коефіцієнті форсування напруги збудника 3,5 та мінімальному рівні середнього моменту $m_3 = 1,5 m_H$: 1 – швидкість двигуна, 2 – пружний момент, 3 – електромагнітний момент, 4 – струм статора

Висновки

1. Перспективний напрям удосконалення потужних синхронних приводів – формування напруг живлення синхронного двигуна в асинхронних режимах. При цьому підвищується середній момент двигуна, зменшується його періодична складова. На основі вимог до приводу відпрацьовані алгоритми керування комбінованим джерелом живлення обмоток двигуна. Для важких умов алгоритми забезпечують середній момент, достатній для плавного розгону двигуна до синхронної швидкості.

2. Виконаний комплекс досліджень і розроблені алгоритми програмного керування спрямовані на створення нового типу комплектного синхронного електропривода підвищеної надійності, що дає змогу знизити встановлену потужність синхронних двигунів з відповідним зниженням їх маси і вартості. Одночасно за рахунок цього зростає ККД двигуна, а його підвищення лише на 1% для гірничо-збагачувального комбінату потужністю 20 млн. тонн дасть економію електроенергії, що споживається, близько 2,8...4,34 млн. кВт·год.

Література

1. Промышленные испытания устройства циклической ресинхронизации на синхронном двигателе газового компрессора / А.М. Кременецкий, Т.И. Жучкина, С.Н. Станкевич и др. // Промышленная энергетика. – 1982. – №7. – С.38-40.
2. Пивняк Г.Г., Школа Н.И., Кириченко В.В. Роль программного управления в обеспечении надежности многомассовых систем с синхронными электроприводами // Металлургическая и горно-обогатительная промышленность. – 2002. – №3. – С. 81-87.
3. Влияние начальных условий на динамику самозапуска и ресинхронизации привода мельниц с упругой связью / Г.Г. Пивняк, В.И. Кириченко, Р.А. Боровик и др. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 4/2006 (39). Частина 1. – С. 8-11.