

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСІВ

Вступ. Постановка проблеми. Синхронний електропривід набув широкого використання в електроприводах потужних турбомеханізмів, зокрема на магістральних насосах нафто- та газоперекачувальних насосних станцій. Режими роботи таких об'єктів не висувають підвищених вимог до якості статичних та динамічних характеристик, тому для регулювання швидкості приводних двигунів використовують закони частотного скалярного керування [1]. Враховуючи значну потужність таких електроприводів питання покращення їх енергетичних показників є особливо актуальним. Таке покращення можливе шляхом використання відповідних законів частотного регулювання, задача дослідження яких є актуальною.

Завдання дослідження - аналіз перехідних та усталених режимів роботи синхронного електропривода насоса з різними законами частотного регулювання методом математичного моделювання та обґрунтування енергоефективних законів частотного регулювання.

Виклад матеріалу. Основною задачею частотного регулювання синхронних двигунів (СД) є забезпечення необхідного запасу статичної та динамічної стійкості і всьому діапазоні регулювання швидкості, а також забезпечення необхідних енергетичних показників. Для цього необхідним є регулювання максимального моменту СД. Основна відмінність регулювання максимального моменту для синхронної машини, у порівнянні з асинхронною, є те, що крім значення напруги статора, яке визначає магнітний потік в повітряному проміжку, на нього ще й впливає струм збудження, який визначає магнітний потік обмотки збудження. Відповідно, в системах частотного регулювання синхронним електроприводом формується три керуючих впливи: амплітуду (ефективне значення) напруги живлення U_1 , частота напруги живлення f_1 та струм збудження I_f (рис.1).

Рівняння електромагнітного моменту СД при частотному регулюванні можна записати як:

$$M = I_f \frac{U_1}{f_1} \frac{3p_0^2 X_{ad}}{2\pi X_d} \sin \theta = M_{\max} \sin \theta, \quad M_{\max} = k_m I_f \frac{U_1}{f_1} \quad (1)$$

де U_1, f_1 – ефективне значення та частота напруги живлення СД,

X_d – індуктивний опір СД по осі d,

X_{ad} – індуктивний опір реакції якоря СД по осі d; θ – кут навантаження СД.

Для забезпечення необхідних енергетичних показників електроприводу і, водночас, необхідного запасу статичної та динамічної стійкості СД при регулюванні частоти обертання необхідно регулювати величину максимального моменту СД відповідно до зміни моменту навантаження. При цьому, рівняння (2) вказує залежність величини максимального моменту СД від керуючих впливів. Зокрема, у випадку роботи з постійним навантаженням постійна перевантажувальна здатність СД забезпечується використанням відомого закону частотного регулювання асинхронного електроприводу $U/f = \text{const}$ при стабілізації струму збудження СД на заданому рівні, який визначає необхідний коефіцієнт потужності в статорі. В електроприводах насосів момент навантаження залежить від швидкості обертання (у випадку роботи без протитиску – від квадрату швидкості, в інших випадку залежність є складнішою), відповідно необхідним є регулювання і максимального моменту СД.

Для дослідження та аналізу режимів роботи частотного-регульованого синхронного електропривода насоса була розроблена математична модель з застосуванням об'єктно-орієнтованого методу [2]. В математичній моделі перетворювач частоти представлений ідеалізованим джерелом змінної напруги, в якій відсутні вищі гармоніки, а система збудження - джерелом струму збудження СД. Модель СД побудована у фазних координатах, враховує нелінійність, та вплив демпферної системи. Параметри СД, що використовується в математичній моделі такі: напруга живлення $U_{\text{ж}} = 6$ кВ, потужність 1,5 МВт, струм статора СД $I_c = 295$ А, струм збудження СД $I_f = 350$ А, частота обертання $n = 300$ об/хв.

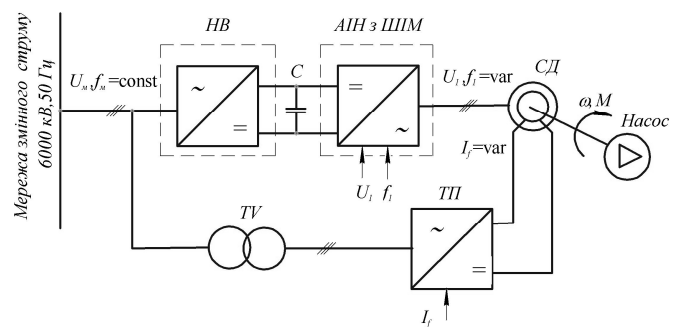


Рис. 1. Функціональна схема частотно-регульованого синхронного електропривода

Результати дослідження перехідних та усталених режимів роботи синхронного електропривода насоса для режимів частотного регулювання за законами керування $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f = \text{const}$ (аналог закону частотного регулювання асинхронного електроприводу турбомеханізмів) та $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f / f = \text{const}$ представлені на рис.2 – рис. 4 для режиму зменшення в $\sqrt{2}$ рази частоти напруги живлення і швидкості обертання.

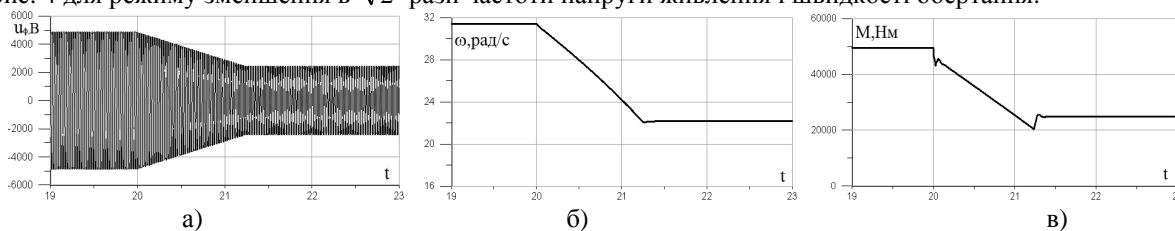


Рис. 2. Часові діаграми напруги статора (а), кутової швидкості обертання (б) та електромагнітного моменту (в) СД

Результати досліджень демонструють, що використання закону частотного керування $U/f^2 = \text{const}$ при незмінному струмі збудження призводить до зменшення максимального моменту СД непропорційно моменту навантаження (зменшення моменту навантаження в 2 р. при зменшенні частоти в $\sqrt{2}$ рази і напруги в 2 рази призводить до зменшення максимального моменту в $\sqrt{2}$ раз) і, відповідно, зменшення кута навантаження та зміни коефіцієнта потужності в статорі (рис. 3). Зростання коефіцієнта потужності, в цьому випадку пояснюється, ослабленням поля статора та зменшенням реактивної складової струму статора (рис. 4).

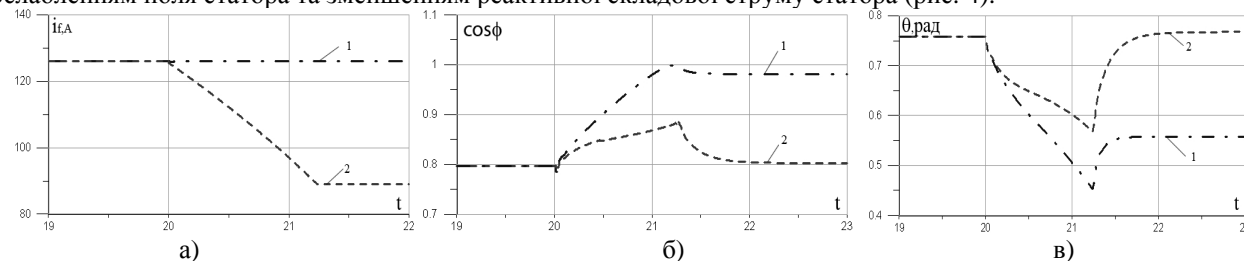


Рис. 3. Часові діаграми струму збудження (а), $\cos\phi$ (б) та кут навантаження (в) СД:
1 – $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f = \text{const}$; 2 – $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f / f = \text{const}$

Як видно з рис. 3, для стабілізації кута навантаження та коефіцієнта потужності в статорі при вентиляторному навантаженні ($M_n \equiv f^2$) необхідно одночасно з регулюванням напруги статора за законом $U/f^2 = \text{const}$ змінювати струм збудження пропорційно зміні частоти (тобто дотримуватися співвідношення $I_f / f = \text{const}$), або використовувати закон регулювання напруги $U/f^3 = \text{const}$ при незмінному струмі збудження. Загалом, для того, щоб в частотно-регульованому синхронному електроприводі отримати аналогічні результати як і в асинхронному для тих самих законів частотного регулювання необхідно, щоб струм збудження СД змінювався відповідно до зміни частоти напруги живлення статора.

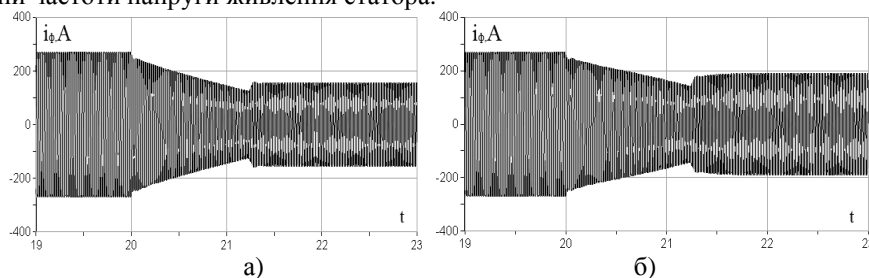


Рис. 4. Часові діаграми струму статора СД: $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f = \text{const}$ (а), $U/f^2 = \text{const}$ з $I_f / f = \text{const}$ (б)

Висновки. Для забезпечення високої енергоефективності синхронного електроприводу насосів необхідно використовувати частотне регулювання швидкості за законом $U/f^2 = \text{const}$ при одночасній зміні струму збудження пропорційно частоті, або використовувати закон керування $U/f^3 = \text{const}$ при незмінному струмі збудження. Система збудження у випадку регулювання збудження повинна функціонувати в режимі джерела струму збудження.

Література.

1. Шабанов В.А. О законах частотного регулирования синхронных двигателей на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, О.В. Кабаргина // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2010. http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_2.pdf. - 6 с.

2. Куцик А.С. Об'єктно-орієнтований метод аналізу електромеханічних систем // Технічна електродинаміка. – 2006. – №.2. – С. 57 - 63.