

АНАЛІТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ККД ОБ'ЄМНОГО НАСОСА З ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМ ПРИВОДНИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено аналітичне оцінювання залежності ККД об'ємного насоса і приводного асинхронного двигуна (АД) з частотним керуванням в різних режимах роботи. Результати можуть бути використані при формулюванні практичних рекомендацій по вибору режимів злагодженої роботи регульованого насоса і АД в зоні високих ККД.

Ключові слова: об'ємний гідропривод, регульований насос, асинхронний електричний двигун, частотне керування, перетворювач частоти, механічна характеристика, коефіцієнт корисної дії.

Abstract

Analytical estimation of the dependence of the efficiency of a volumetric pump and a drive asynchronous motor with a frequency converter in various modes of operation is carried out. The results can be used in the development of practical recommendations for the selection of modes of coordinated operation of a regulated pump and an induction motor with a frequency converter in the zone of high efficiency.

Keywords: volumetric hydraulic drive, variable-displacement pump, asynchronous electric motor, frequency control, frequency converter, mechanical characteristic, efficiency.

Вступ

Одним із сучасних напрямків підвищення енергетичної ефективності об'ємних гідроприводів технологічних машин і обладнання різного призначення є розробка приводів на основі частотного способу регулювання вала електродвигуна. Легкість і висока якість керування, економічність і можливість достовірного контролю за ходом виконання технологічних процесів зумовлює широке використання частотно-керованих електродвигунів в об'ємних гідроприводах [1–3].

При частотному керуванні зміна швидкості обертання асинхронного електродвигуна (АД) здійснюється шляхом зміни частоти і величини напруги живлення двигуна за допомогою перетворювача частоти (ПЧ). Для найбільшої експлуатаційної і економічної ефективності сучасні перетворювачі частоти в керуючій частині мають контролер з датчиком зворотного зв'язку (датчиком тиску на виході насоса, датчиком навантаження на механізмі тощо), що дозволяє автоматично реалізувати оптимальний технологічний процес, а також вирішити ряд додаткових завдань (контроль, діагностика, захист).

Можна виділити типові напрямки впровадження частотних перетворювачів і систем автоматизації на їх базі:

- системи водопостачання, водовідведення, каналізації, вентиляції тощо;
- конвеєри, транспортери;
- підйомники, крани, ліфти;
- різні транспортні засоби (потяги, трамваї, тролейбуси, автомобілі);
- гідроприводи термопластавтоматів, деяких шліфувальних, заточувальних, агрегатних та інших верстатів.

Метою роботи є аналітичне оцінювання ККД об'ємного насоса та ККД перетворювача частоти АД при зміні швидкості обертання вала насоса для подальшого вибору режимів їх злагодженої роботи в зоні високих ККД.

Результати дослідження

При частотному керуванні АД співвідношення між кутовою швидкістю магнітного поля статора і частотою f_1 напруги живлення має вигляд

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \text{ [рад/с]}, \quad (1)$$

де p – число пар полюсів магнітного поля.

Для отримання високих енергетичних показників АД (коефіцієнтів потужності, корисної дії, перевантажувальної здатності) при частотному керуванні необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу змінного струму. Сучасні ПЧ реалізують такі основні методи регулювання АД як скалярне керування та векторне керування.

Так, наприклад, у випадку необхідності підтримання постійного моменту навантаження $M_C = const$, напруга на статорі повинна змінюватися пропорційно зміні частоти

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \quad (2)$$

Частотне керування АД забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а також жорсткі механічні характеристики. Однак істотним недоліком такого приводу є тривалість розгону вихідної ланки при надходженні ступеневого керуючого впливу (сигналу). Це пов'язано низькими динамічними можливостями АД, що має суттєві обмеження по пускових струмах і виділенню тепла.

При роботі об'ємного гідропривода з частотно-керованим електродвигуном зміна швидкості обертання вала насоса впливає на динамічні характеристики насоса, на перехідні процеси в гідроприводі. Тому належну увагу слід приділяти забезпеченню необхідних динамічних характеристик об'ємного гідропривода, що складається з нерегульованого насоса у гідравлічному контурі та регульованого електродвигуна з частотним перетворювачем. Вирішити це питання можливо при використанні у гідравлічному контурі регульованого насоса з пропорційним електрогідравлічним регулятором. Пропорційний електрогідравлічний регулятор робочого об'єму насоса дозволяє інтегрувати насос в загальну систему керування, реалізувати різні статичні характеристики насоса (режим постійного тиску, подачі, потужності), підвищує точність керування та відрізняється високою швидкістю [4–8].

На рис. 1 показано схему гідропривода на основі регульованого насоса з приводним частотно-керованим асинхронним електродвигуном і частотним перетворювачем, що живиться від частотного перетворювача.

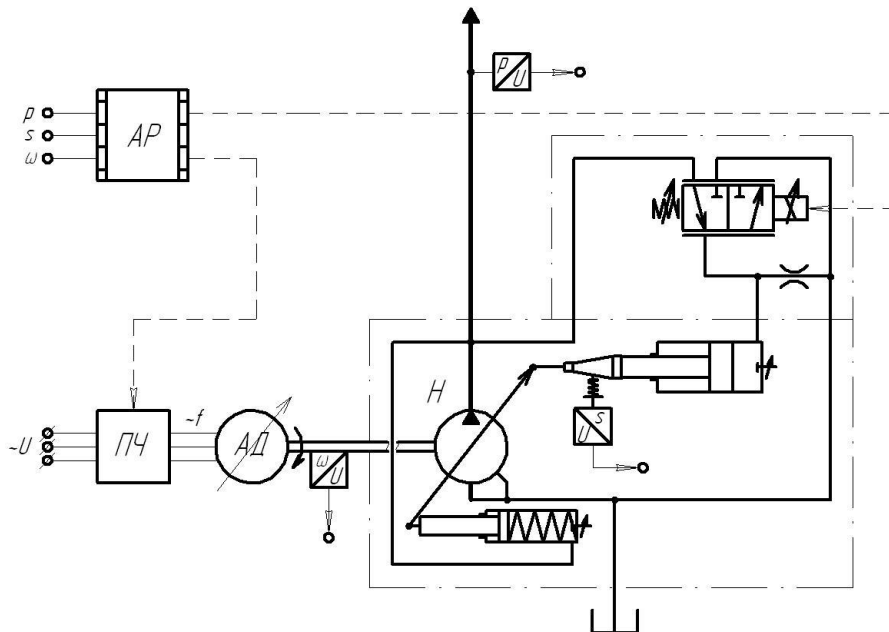


Рис. 1. Схема гідропривода на основі регульованого насоса з приводним частотно-керованим асинхронним електродвигуном: Н – насос з об'ємним пропорційним регулятором; АД – асинхронний електродвигун змінного струму з короткозамкненим ротором; АР – адаптивний цифровий регулятор; ПЧ – перетворювач частоти

Важливим аспектом керування при роботі регульованого насоса та АД з ПЧ в режимі навантаження є вибір режимів їх злагодженої роботи в зоні високих ККД.

На рис. 2 показано графік залежності ККД насоса від частоти обертання та тиску на виході насоса. Відхилення частоти обертання від номінального призводить до зниження кривої ККД насоса.

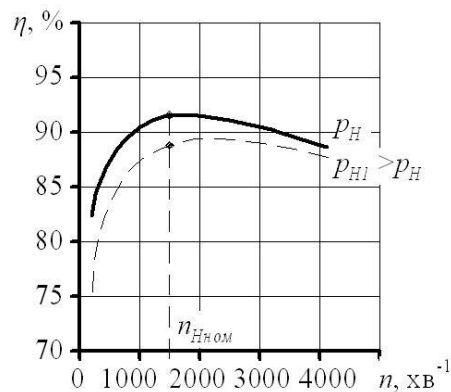


Рис. 2. Графік залежності ККД насоса від частоти обертання

На рис. 3 наведені механічні характеристики АД при різній величині підведеної напруги.

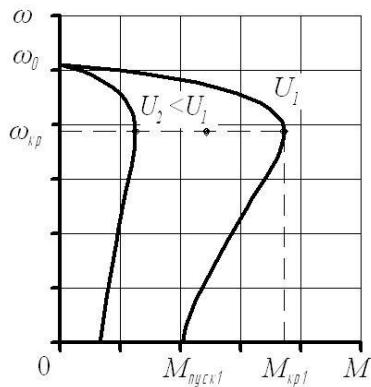


Рис. 3. Механічні характеристики АД при різній величині підведеної напруги

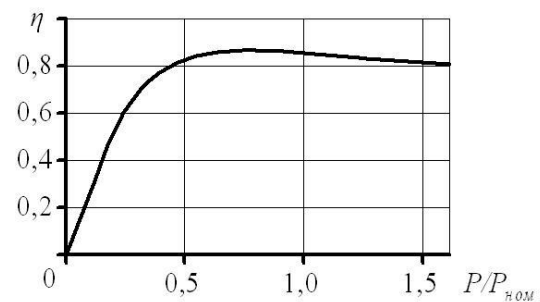


Рис. 4. Залежність ККД асинхронного двигуна від навантаження

Як випливає з рис. 3 при зниженні підведеної напруги частота обертання магнітного поля ω_0 залишається незмінною, а зменшується критичний (максимальний) $M_{кр}$ і пусковий $M_{пуск}$ моменти, тобто знижується перевантажувальна здатність і погіршуються пускові властивості двигуна. При зниженні підведеної напруги механічна характеристика стає м'якшою.

Загальні втрати АД залежать від навантаження, тому і ККД АД є функцією навантаження. На рис. 4 наведено криву $\eta = P / P_{ном}$, де $P / P_{ном}$ – відносна потужність.

Зазвичай для АД максимальний ККД має місце при навантаженні, дещо меншому за номінальне. ККД АД досить високий в широкому діапазоні навантажень і для більшості сучасних асинхронних двигунів при номінальному навантаженні ККД має значення 80-95% (верхня границя відповідає двигунам більшої потужності).

Характер наведених вище залежностей дозволяє аналітично оцінити залежність ККД регульованого насоса та АД з частотним керуванням в різних режимах роботи. Для формулювання практичних рекомендацій по вибору режимів злагодженої роботи регульованого насоса та АД з ПЧ в зоні більш високих ККД необхідні точні характеристики елементів системи, параметри технологічного процесу, що має бути забезпечений, та характер навантаження.

Висновки

Проведено аналітичне оцінювання залежності ККД регульованого насоса і приводного АД з частотним керуванням в різних режимах роботи. Результати можуть бути використані при формулюванні практичних рекомендацій по вибору режимів злагодженої роботи регульованого насоса та АД в зоні високих ККД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тихенко В. Н. Разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки / В. Н. Тихенко // Промислова гідраліка і пневматика. – 2006. – № 1(11). – С. 84–86.
2. Лурье З. Я. Математическое моделирование гидроагрегата системы смазки с регулируемым шестеренным насосом / З. Я. Лурье, И. М. Федоренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Прикладная механика. – 2009. – Том 1, № 5(37). – С. 10–19.
3. Перельмутер В. М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / В. М. Перельмутер. – Харьков : Основа, 2004. – 210 с.
4. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпулятора з адаптивним регулятором на основі нейромереж для мобільних робочих машин : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец 05.02.02 «Машинознавство» / Козлов Леонід Геннадійович. – Вінниця, 2015. – 421 с.
5. Репінський С. В. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков ; Вінниц. нац. техн. ун-т. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с.
6. Репінський С. В. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подачі : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.02 «Машинознавство» / Репінський Сергій Володимирович. – Вінниця, 2011. – 248 с.
7. Буренніков Ю. А. Огляд електрогідралічних систем керування насосами змінної продуктивності / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 2(235). – С. 202–206.
8. Буренніков Ю. А. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подачі / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2012. – № 64. – С. 113–118.

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Козлов Леонід Геннадійович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osna2030@gmail.com;

Буренніков Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, професор, декан Факультету машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Паславська Оксана Віталіївна – старший лаборант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: o.v.paslavska@gmail.com.

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com;

Buriennikov Yuriy A. – Cand. Sc. (Eng), Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Paslavska Oksana V. – Senior Laboratory of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: o.v.paslavska@gmail.com.