

МОДЕЛЮВАННЯ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Т.Ю. Оборонов, аспірант, О.І. Оборонина, В.В. Лобода магістранти, керівник Закладний О.М., к.т.н., доцент,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Кафедра АУЕК, ІЕЕ, НТУУ «КПІ», вул. Борщагівська, 115, корп. 22, м. Київ, 03056, Україна

Розглянуто регулювання режимів роботи насосних установок. Приведене математичне моделювання в середовищі Simulink насосної установки з частотним перетворювачем.

Рассмотрено регулирование режимов работы насосных установок. Приведенное математическое моделирование в среде Simulink насосной установки с частотным преобразователем.

The considered regulation state of working pumping installation. Brought mathematical modeling in ambience Simulink pumping installation with frequency.

Вступ

У роботі розглядається електропривод насоса для водопостачання адміністративних будівель гірничого підприємства. Найсучаснішим способом регулювання насосів є регулювання за допомогою перетворювачів частоти.

У випадку застосування перетворювача частоти здійснюється підтримання тиску в гідросистемі незалежно від витрати, за допомогою регулювання частоти обертання електродвигуна насоса. Таким чином, при малих витратах насос обертається на малій швидкості, достатній для підтримання номінального тиску й не витрачає зайвої енергії. Заощаджується електроенергія, а так само вода і ресурс устаткування.

Насосні установки

Основним енергетичним елементом насосної станції є насосна установка (НУ), що містить один або кілька насосів, нагнітальну систему трубопроводів, запірну арматуру, електропривод, а також датчики технологічних параметрів установки. Як основне силове устаткування НУ застосовують об'ємні або динамічні насоси.

Об'ємні насоси працюють за принципом витиснення, коли тиск рідини, що переміщується, підвищується в результаті стиснення. До них належать зворотно-поступальні і роторні насоси.

Динамічні насоси працюють за принципом силового впливу на переміщуване середовище. До них належать нагнітачі тертя.

Регулювання режимів роботи насосних установок

Для забезпечення заданого режиму роботи НУ при зміні умов роботи потрібно застосувати регулювання режимів роботи насосних установок. Це завдання може бути поділене на два напрямки: регулювання гідравлічних режимів роботи насосів і регулювання енергетичної ефективності роботи устаткування НУ.

Для насосних установок відцентрового типу застосовують наступні способи регулювання подачі рідини і тиску:

- дроселюванням трубопроводу;
- перепуском частини потоку рідини з вихідного патрубку насоса у вхідний;
- відключенням або підключенням насосів (ступінчате регулювання);
- зміною частоти обертання робочого колеса насоса.

Дроселювання трубопроводу є поширеним способом регулювання тиску і подачі рідини. Регулювальним елементом у цьому випадку є механічний пристрій у вигляді дроселя-клапана, засувки, діафрагми тощо, які розташовуються на напірному патрубку насоса і за рахунок свого переміщення змінюють поперечний переріз трубопроводу [1].

Незважаючи на простоту реалізації даного способу регулювання, він має ряд недоліків. Одним з них є зниження ККД НУ, особливо при глибокому регулюванні подачі. Це обумовлено тим, що енергія, витрачена на подолання додаткового опору регулювального пристрою, перетворюється в теплові втрати, що і визначає низьку енергетичну ефективність даного підходу. Крім цього, ріст тиску на виході насоса при закритій засувці приводить до скорочення терміну служби ущільнень і запірних пристроїв, а також до збільшення витоків рідини через стики і щілини. Іншим недоліком цього способу є можливість однозонного регулювання вбік зменшення подачі або напору насосної установки.

Регулювання напору перепуском засновано на відведенні частини потоку рідини з виходу насоса на його вхід через відвід із засувкою. При цьому енергія, що використовується на циркуляцію рідини по холостому колу, не створює корисної роботи, що знижує ККД установки, особливо сильно при глибокому регулюванні. Як і у попередньому методі, подача НС регулюється тільки вбік зменшення.

Ступінчате регулювання подачі насосної станції здійснюється за рахунок підключення або відключення насоса або групи насосів. Даний спосіб характеризується простотою керування, оскільки не вимагає додаткових регулюючих пристроїв. Однак він не дозволяє забезпечити безперервну і якісну підтримку напору при зміні споживання рідини і викликає часті пуски двигунів, що зменшує строк роботи устаткування і вимагає будівництва проміжного акумулюючого резервуара для згладжування коливань подачі НУ. Крім того, електроприводи працюють не в оптимальному режимі, що також знижує ККД всієї НУ.

Зазначені особливості обумовлюють скорочення кількості НУ, на яких застосовуються розглянуті вище способи регулювання.

Зміна частоти обертання робочого колеса насосної установки дозволяє здійснити безперервне регулювання продуктивності НУ із меншими витратами енергії, чим у попередніх варіантах [5-9]. Однак воно вимагає більших витрат на регулююче устаткування, особливо для установок з потужністю вище середньої, і призводить до погіршення електромагнітної сумісності з живильною мережею. Проте вартість регульованих електроприводів знижується і робить цей спосіб найбільш перспективним.

Можливе також поєднання декількох способів регулювання. Одним із широко застосовуваних варіантів регулювання є поєднання ступінчатого регулювання зі зміною частоти обертання робочого колеса насосної установки, що досягається за допомогою частотно-регульованого електропривода. Відповідно до рекомендацій [2], регульованим електроприводом варто обладнати один насосний агрегат у групі з 2-3 робочими агрегатами.

Для регулювання енергетичної ефективності устаткування НС повинен бути вибраний оптимальний по енергоспоживанню режим роботи насосів при їхній спільній роботі. Один із шляхів вирішення цього завдання наведений у літературі [5-7].

Опис технологічного процесу

Режим водоспоживання адміністративних будівель гірничого підприємства характеризується великою нерівномірністю витрат, з коефіцієнтом часової

нерівномірності. Це означає, що вдень у період максимального розбору води її погодинна витрата може в кілька разів перевищувати середнє значення добової витрати. Вночі, навпаки, витрата води різко скорочується.

Безпосереднє включення насоса в мережу в умовах сильної нерівномірності витрати призвело б до ненормального режиму роботи насоса з недостатнім напором або, навпаки, з малою подачею і надмірним тиском. На такі режими роботи і насоси, і мережа водопостачання не розраховані. При цьому в мережі відбувалися б глибокі перепади тиску, перебої в подачі води, різко зросло б споживання електроенергії. Включення в мережу водопостачання перетворювача частоти дозволяє насосу і споживачам води діяти за своїми графіками, причому насос завжди працює в розрахунковому, найбільш вигідному й правильному режимі.

Автоматизація насоса дозволяє уникнути всіх недоліків ручного керування. Завдяки автоматизації не потрібно додаткових витрат праці та участі людини в технологічному процесі. При досить частому підкачуванні можна не побоюватися замерзання води, що особливо небезпечно взимку в нічний період, коли витрата води практично припиняється.

Регулювання надлишку або недостачі води прийнята частотними регуляторами фірми Mitsubishi.

Зовнішній водопровід для адміністративних будівель гірничого підприємства проектуємо об'єднаний, обслуговуючий одночасно:

- господарчі питні потреби;
- виробничі потреби;
- протипожежні потреби.

Для моделювання технічного процесу необхідно розрахувати асинхронний електродвигун, що приєднується до насоса. Обираємо двигун 5A250M4 з потужністю 90кВт.

Математичний опис системи

Електричні машини в загальному випадку є багатофазними. Вони описуються системами диференціальних рівнянь високого порядку, аналіз яких затруднений. Без шкоди якості можна перейти від багатофазної електричної машини до двофазної [3,4].

Формули перетворення 3/2 і 2/3:

$$\begin{cases} x_{1\alpha} = k_c \left(x_A - \frac{1}{2} x_B - \frac{1}{2} x_C \right); \\ x_{1\beta} = k_c \left(\frac{\sqrt{3}}{2} x_B - \frac{\sqrt{3}}{2} x_C \right), \end{cases}$$

де k_c – коефіцієнт узгодження,

$$\begin{cases} x_{1\alpha} = k_c \left(x_A + \frac{1}{2} x_C + \frac{1}{2} x_A - \frac{1}{2} x_C \right) = \frac{3}{2} k_c x_A; \\ x_{1\beta} = k_c \frac{\sqrt{3}}{2} (x_B - x_C), \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_A = k_c x_{1\alpha}; \\ x_B = k_c \left(-\frac{1}{2} x_{1\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2} x_{1\beta} \right); \\ x_C = k_c \left(-\frac{1}{2} x_{1\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} x_{1\beta} \right), \end{cases}$$

де $k_c = \sqrt{\frac{2}{3}}$;

Рівняння для перетворення 3/2:

$$\begin{cases} x_{1\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}}x_A - \sqrt{\frac{1}{6}}x_B - \sqrt{\frac{1}{6}}x_C; \\ x_{1\beta} = \sqrt{\frac{1}{2}}x_B - \sqrt{\frac{1}{2}}x_C, \end{cases}$$

Рівняння для перетворення 2/3:

$$\begin{cases} x_A = \sqrt{\frac{2}{3}}x_{1\alpha}; \\ x_B = -\sqrt{\frac{1}{6}}x_{1\alpha} + \sqrt{\frac{1}{2}}x_{1\beta}; \\ x_C = -\sqrt{\frac{1}{6}}x_{1\alpha} - \sqrt{\frac{1}{2}}x_{1\beta}, \end{cases}$$

На вхід блоку перетворення 3/2 подаємо 3-х фазну синусоїдальну напругу, на виході отримуємо 2-х фазну напругу статора.

Підсистема, що реалізує насосну характеристику:

$$M = M_{сж} + (M_H + M_{сж}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2$$

Чотири рівняння системи містять вісім лінійно залежних змінних. Необхідно, за допомогою виражень зв'язку струмів і потокозчеплення обмоток статора і ротора виключити дві пари змінних, тобто вибрати состав компонентів вектора $\vec{\psi} = [i_{1\alpha}, i_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}]$.

Система потокозчеплення:

$$\begin{cases} \psi_{1\alpha} = L_1 \cdot i_{1\alpha} + L_{12} \cdot i_{2\alpha}, \\ \psi_{1\beta} = L_1 \cdot i_{1\beta} + L_{12} \cdot i_{2\beta}, \\ \psi_{2\alpha} = L_2 \cdot i_{2\alpha} + L_{12} \cdot i_{1\alpha}, \\ \psi_{2\beta} = L_2 \cdot i_{2\beta} + L_{12} \cdot i_{1\beta}; \end{cases}$$

Із двох останніх рівнянь системи виразимо струми ротора:

$$\begin{cases} i_{2\alpha} = \frac{1}{L_2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_{12}}{L_2} \cdot i_{1\alpha}, \\ i_{2\beta} = \frac{1}{L_2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_{12}}{L_2} \cdot i_{1\beta}; \end{cases}$$

Отримані вирази підставимо в рівняння для потокозчеплення статора, тобто перші два рівняння:

$$\begin{cases} \psi_{1\alpha} = L_1 i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\alpha} - \frac{L_{12}^2}{L_2} i_{1\alpha} = \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2}\right) i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\alpha}, \\ \psi_{1\beta} = L_1 i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\beta} - \frac{L_{12}^2}{L_2} i_{1\beta} = \left(L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2}\right) i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\beta}; \end{cases}$$

Позначивши:

$$L_{1\sigma} = L_1 - \frac{L_{12}^2}{L_2},$$

Одержимо вираження для потокозчеплення обмоток статора:

$$\begin{cases} \psi_{1\alpha} = L_{1\sigma} i_{1\alpha} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\alpha}, \\ \psi_{1\beta} = L_{1\sigma} i_{1\beta} + \frac{L_{12}}{L_2} \psi_{2\beta}; \end{cases}$$

Позначивши:

$$p = \frac{\sigma}{\sigma_1};$$

Повний момент:

$$M = \frac{3}{2} p \frac{L_{12}}{L_2} (i_{1\beta} \psi_{2\alpha} - i_{1\alpha} \psi_{2\beta});$$

Змодельємо в середовищі Simulink насосну установку з частотним перетворювачем (рис.1)

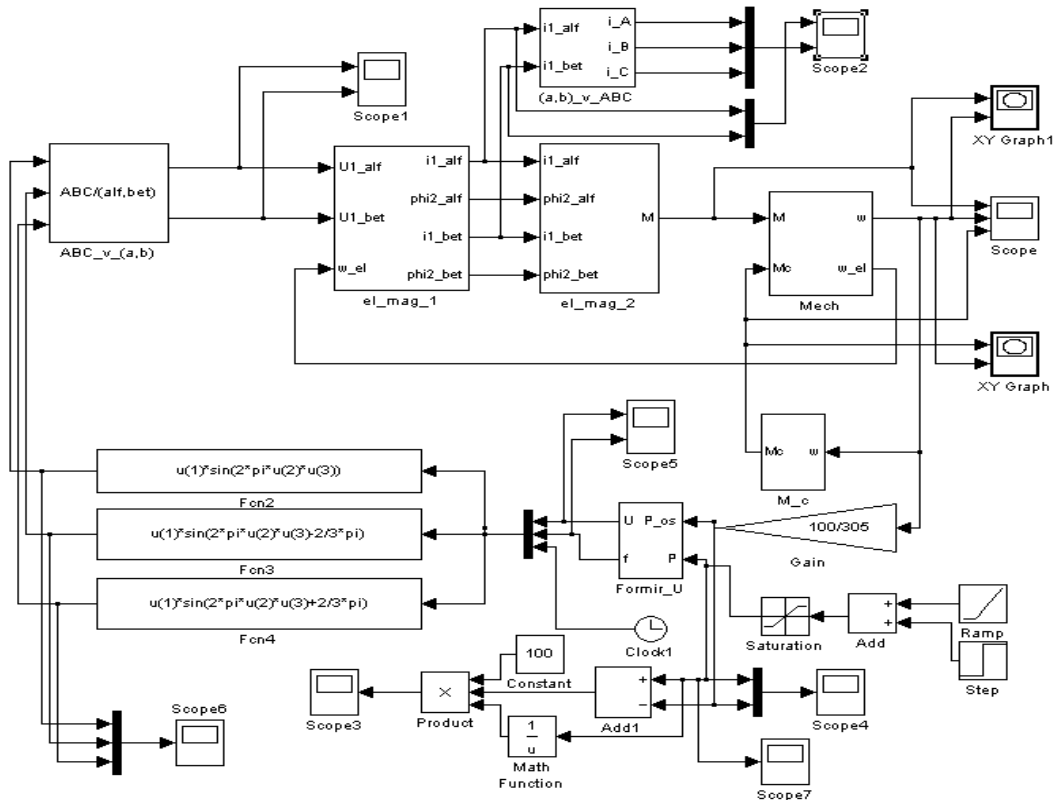


Рисунок 1. Схема пуску АД із ПЧ

Динамічна характеристика електродвигуна, запуск із перетворювачем частоти (рис. 2):

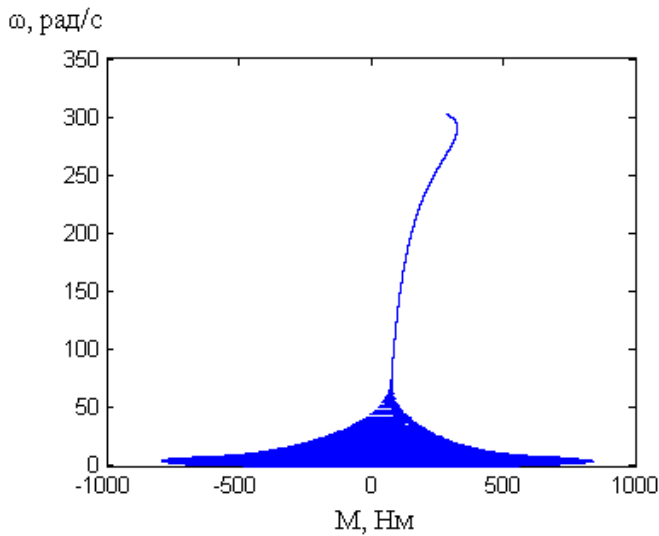


Рисунок 2. Динамічна характеристика АД

Струми статора електродвигуна (рис. 3) мають вигляд:

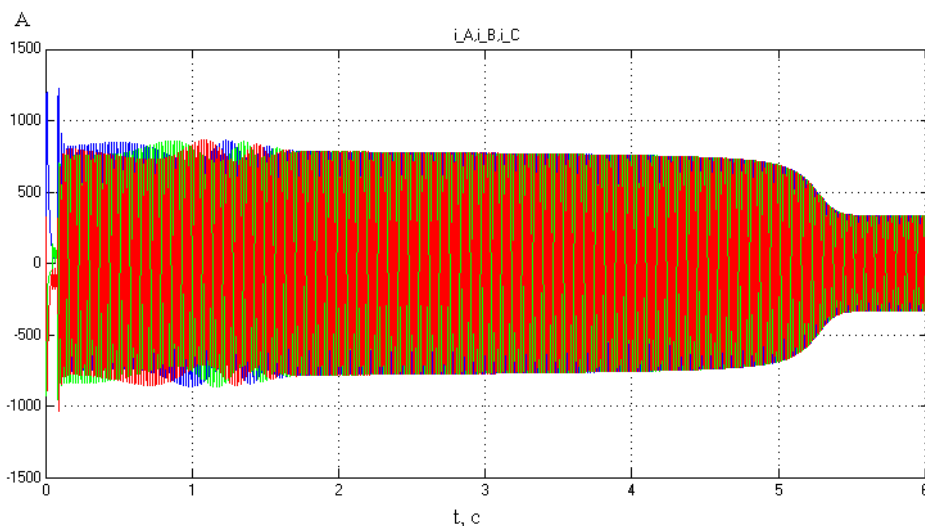


Рисунок 3.- Осцилограма струмів статора

Графік моменту, моменту опору і швидкості електродвигуна (рис.4) мають вигляд:

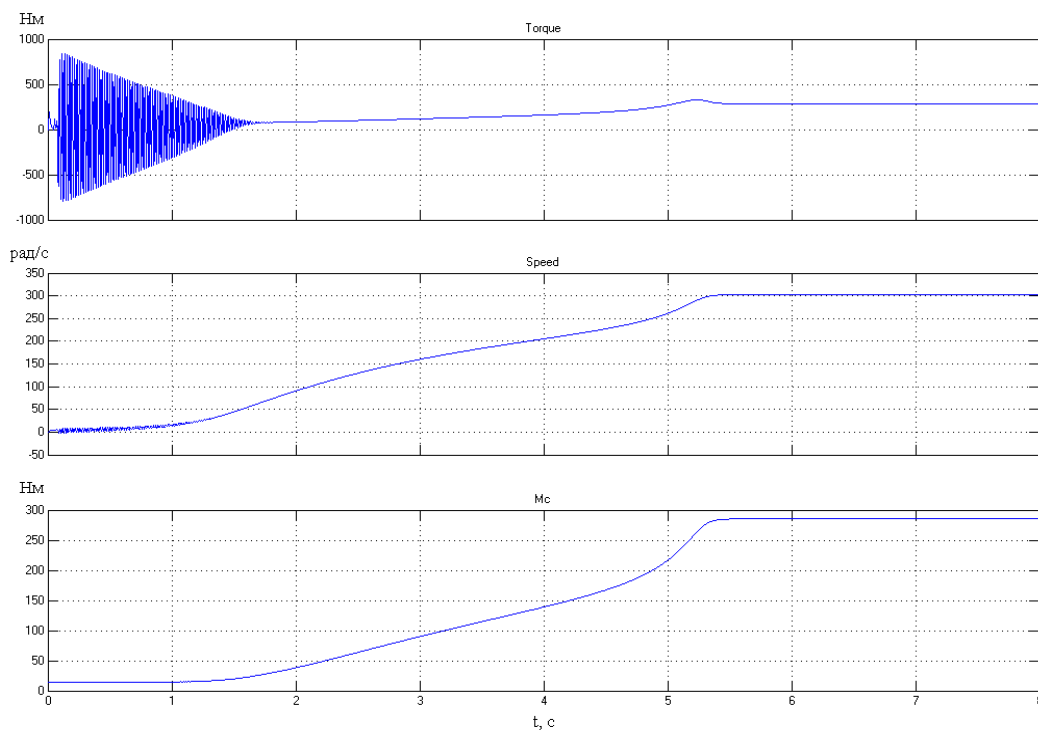


Рисунок 4. Осцилограми моменту, швидкості та моменту опору АД при пуску із ПЧ

Висновок

У даній роботі проведено моделювання підкачування води асинхронними двигунами. Для цього з типових блоків Simulink була складена схема керування. На основі отриманої схеми був змодельований мікроконтролер. Для одержання підтримки постійного параметра (тиску) у системі було заведений зворотню зв'язок за тиском. У результаті цього двигун підтримував сталий тиск у системі.

Література

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат. 1990.
2. СНиП 2.04.02-84: Насосные станции. Электрооборудование, технологический контроль, автоматизация и системы управления.
3. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учеб. пособие / В.Б. Фурсов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 105 с.
4. Фурсов В.Б. Моделирование в системе SimPowerSystem. Учебное пособие. Воронеж.: Воронеж. гос. техн. ун-т; 2005. 116 с.
5. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. М.: Высш. шк. 1986.
6. Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии / Под ред. М. Я. Баса-лыгина, В. С. Копырина. М.: Металлургия. 1991.
7. Бородацкий Е. Г. Разработка системы управления взаимосвязанным электроприводом центробежных турбомеханизмов станции перекачки жидкости. Автореф. дис... канд. техн. наук. Омск. 1999.
8. Ковалев В. З., Бородацкий Е. Г. Эффективное использование энергии в насосных установках нефтеперекачивающих станций // Промышленная энергетика. 2000. № 1.
9. Ковалев В. З., Мельников В. Ю., Бородацкий Е. Г. Энергосберегающие алгоритмы управления взаимосвязанным электроприводом центробежных турбомеханизмов. Омск: ОмГТУ. 2000.