

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### *Анотація*

*В роботі реалізована Bond Graph модель асинхронного електроприводу відцентрового насосного агрегату із системою керованого пуску. Проведено дослідження режимів роботи електроприводу відцентрового насоса, а саме прямий та регульований пуск. Одержані результати моделювання дають змогу синтезувати енерго-ефективні режими роботи насосних агрегатів магістральних нафтопроводів.*

**Ключові слова:** асинхронний електропривід, пристрій плавного пуску, відцентровий насос, енергоефективні режими, Bond Graph модель.

### *Abstract*

*In the work, the Bond Graph model of the asynchronous electric drive of a centrifugal pump unit with a controlled start system is implemented. The study of operating modes of the electric drive of a centrifugal pump, namely direct and regulated start, was carried out. The obtained results of simulation allow to synthesize energy-efficient modes of operation of pumping units of main oil pipelines.*

**Keywords:** asynchronous electric drive, soft starter, centrifugal pump, energy efficient modes, Bond Graph model.

### **Вступ**

Проблема ефективного функціонування електротехнологічного обладнання насосних станцій магістральних нафтопроводів особливо гостро постає в умовах сучасного стрімкого росту цін на енергоносії. Неоптимальні перехідні режими роботи призводять до порушення технологічного процесу, передчасних та аварійних виходів з ладу насосних агрегатів, невиконання планів перекачування нафти і як наслідок, до незапланованих фінансових затрат. В зв'язку з цим виникає актуальна задача оптимізації пускових режимів роботи електроприводних насосних агрегатів нафтоперекачувальних станцій магістральних трубопроводів, які обладнані зазвичай відцентровими насосами з приводом від асинхронного двигуна [1].

Метою роботи є розроблення комп'ютерно-орієнтованих моделей електроприводних відцентрових насосних агрегатів з приводом від асинхронного двигуна, які б давали можливість прогнозувати і реалізовувати енергооптимальні пускові режими роботи.

### **Результати дослідження**

На даний момент існують різноманітні схемні рішення проблеми пуску високовольтних двигунів, які реалізують найбільш доцільні методи: прямого пуску; пуску з допоміжними механізмами і машинами; пуску з використанням засобів, які змінюють параметр джерела живлення. Властивостями пускової системи може володіти і сама система електроприводу, коли можливість плавного пуску потужного двигуна закладена в схемному рішенні. До таких систем відносять вентильні електроприводи постійного і змінного струму. Для інших систем електроприводу пускова система буде окремим елементом, який працює тільки в момент пуску.

Основною задачею дослідження було порівняння різних законів регулювання напруги при різному часі розгону пристрою плавного пуску (ППП) – софтстартера, та аналіз спожитої енергії за час пуску в порівнянні з прямим пуском високовольтного двигуна насосного агрегату магістрального нафтопроводу. Задачу дослідження реалізовано за допомогою комплексної Bond Graph моделі електроприводного відцентрового агрегату, яку доповнено підмоделлю регулятора напруги.

Розроблення Bond Graph підмоделі ППП базується на тому, що напруга на затискачах двигуна має змінюватись за різними законами. Рішень що до керованого пуску може бути декілька. Найбільш доцільним способом керованого пуску в даному випадку є застосування регуляторів напруги (софтстартерів). Отже, розрахункові блоки підмоделі ППП за рахунок зміни їх параметрів дають можливість реалізувати наступні пускові режими:

- прямий пуск;
- лінійна зміна напруги під час пуску;
- експоненційна зміна напруги під час пуску.

Запропоновано підмодель регулятора напруги (рис.1) методом Bond Graph представити модульованими трансформаторами *MTF* з обчислювальними блоками *m1*; *m2*; *m3*, за допомогою яких реалізується різні закони зміни напруги. В модульованому трансформаторі *MTF* енергія не зберігається і не розсіюється, а лише перетворюється. Внаслідок такого перетворення, напруга  $U_1$  трансформуються в напругу  $U_2$ , а струми у зворотному напрямі. Такий перетворювач характеризується коефіцієнтом трансформації  $m$ , який розраховується в обчислювальних блоках *m1*; *m2*; *m3*.

Рівняння що описують зміну напруги софтстартера в часі

$$U_{TRU\ line} = U_0 \cdot \frac{t}{t_u}, \quad (1)$$

$$U_{TRU\ exp} = U_0 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} \right), \quad (2)$$

де  $U_0$  – початкова напруга, яка подається на ППП;

$t_u$  – час зміни значення напруги під час пуску (час розгону софтстартера);

$t$  – час імітаційного моделювання;

$T_e$  – постійна часу експоненційного закону зміни напруги.

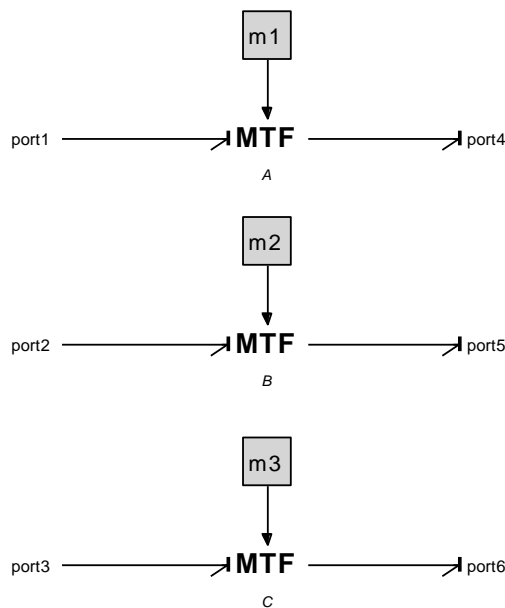


Рисунок 1 – Підмодель пристрою плавного пуску методом Bond Graph

Для аналізу спожитої енергії за час пуску насосного агрегату в Bond Graph модель встановлено давач енергії в одну із фаз статора двигуна. Розрахунок спожитої агрегатом за час пуску енергії проводиться за наступною формулою

$$E = 3 \int_0^t u_{st}(t) \cdot i_{st}(t) dt, \quad (2)$$

де  $u_{st}(t)$ ,  $i_{st}(t)$  – відповідно миттєві значення напруги та струму на затискачах однієї фази статорної обмотки двигуна;  $t$  – час пуску.

Провівши аналіз пускових режимів високовольтного двигуна насосного агрегату магістрального нафтопроводу із застосуванням софтстартера з лінійним та експоненційним законом регулювання напруги встановлено, що за однакового часу  $t_U$  зміни величини напруги для експоненційного закону характерний швидший розгін двигуна. Крім того за однакового часу розгону двигуна кратність пускового струму та електродинамічного моменту для експоненційного закону менша в порівнянні з лінійним. Також встановлено, що із збільшенням часу розгону двигуна збільшується споживана енергія за час пуску насосного агрегата. Так для лінійного закону регулювання напруги починаючи з часу розгону софтстартера понад  $t_U=12$ с. споживана енергія стає більшою в порівнянні з прямим пуском двигуна. Таким чином зменшення кратності пускових струмів та електродинамічних моментів за допомогою софтстартера може призвести до збільшення споживання енергії регульованим електроприводом за час пуску в порівнянні з прямим пуском. Отже, в кожному конкретному випадку пуску насосного агрегату магістрального нафтопроводу необхідно проводити аналіз доцільності застосування того чи іншого закону регулювання напруги з точки зору підвищення рівня ефективності функціонування в порівнянні з енергоспоживанням.

Використання запропонованої Bond Graph моделі в системах плавного пуску насосних агрегатів дозволяє реалізувати більш раціональні алгоритми керування, які забезпечить вирішення питання підвищення рівня енергоефективності та ресурсозбереження магістральних нафтопроводів

### Висновки

Удосконалено Bond Graph модель асинхронного електроприводу відцентрового насосного агрегату шляхом доповнення її підмоделлю пристрою плавного пуску. Проведено аналіз пускових режимів роботи нафтоперекачувальних агрегатів із лінійним та експоненційним законом регулювання напруги та встановлено, що експоненційний закон значно пришвидшує розгін агрегату, зменшує кратність пускових струмів та електромеханічних зусиль в залежності від часу розгону софтстартера. Застосування софтстартерів для плавного пуску високовольтних двигунів магістральних насосних агрегатів дає змогу усунути коливання електродинамічного моменту на валу, що в свою чергу призводить до зменшення гідравлічних ударів в перекачувальних агрегатах, механічних навантажень на підшипники, сполучні муфти, вали, вузли кріплення приводів та кількості аварій на трубопроводі.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курляк П.О. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів магістральних нафтопроводів на основі методу Bond Graph: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 “Електротехнічні комплекси та системи” / П.О. Курляк. — Вінниця, 2012. — 22 с.
2. Курляк П.О. Застосування комп’ютерно-орієнтованого методу *Bond Graph* для дослідження перехідних процесів електроприводних відцентрових насосних агрегатів [Текст] / Петро Курляк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011.–№11(186).–с.221-225. – ISSN 2074–2630.
3. Костишин В.С. Створення комп’ютерно-орієнтованих моделей електроприводних агрегатів нафтогазової промисловості [Текст] / Володимир Костишин, Петро Курляк // Нафтогазова енергетика. – 2007.– №1(2). – С.50-56. – ISSN 1993–9868.

**Курляк Петро Омелянович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, e-mail: [pkurlyak@gmail.com](mailto:pkurlyak@gmail.com).

**Костишин Володимир Степанович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електропостачання та електрообладнання промислових підприємств, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.