

ОПТИМАЛЬНЕ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ КЕРУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТЕС

Ванін В. А., Кругол М. М., Лазуренко О. П.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Запропоновано спосіб визначення оптимальної частоти при груповому регулюванні продуктивності механізмів власних потреб теплових електричних станцій.

Постановка проблеми. Авторами досліджується проблема впровадження способу групового регулювання продуктивності механізмів власних потреб на ТЕС (теплових електричних станціях) [1]. Сутність групового регулювання - в живленні групи механізмів власних потреб з близькими режимами роботи від одного перетворювача частоти. При цьому на ці механізми буде подана спільна живляча напруга частоти f . Виведення механізмів на необхідний режим роботи буде проводитись шляхом дорегулювання їх класичними методами – дроселюванням або зміною кута закриття направляючого апарату. Тобто задачею групового регулювання продуктивності механізмів власних потреб є знаходження групової частоти та параметрів регулюючих органів механізмів, для яких ККД механізмів буде найвищим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні на теплових електричних станціях впроваджується здебільшого індивідуальний частотний привід, це зумовлене тим, що він дає найбільший ефект економії електричної енергії [2]. Вирішення проблеми групового регулювання продуктивності механізмів власних потреб можна зустріти в роботах таких вчених як Сивокобиленко В.Ф. [3], та Проданова Л.В. [4]. В даних роботах акцент ставиться на економічне обґрунтування впровадження групового способу регулювання продуктивності власних потреб, а вирішенню технічних проблем при впровадженні даного способу регулювання приймається мало уваги. Однією з таких технічних проблем є визначення оптимальної частоти живлячої напруги для групи механізмів власних потреб.

Мета статті. Запропонувати спосіб визначення частоти живильної напруги при груповому регулюванні продуктивності механізмів власних потреб ТЕС. Показати ефективність використання способу групового регулювання продуктивності механізмів власних потреб ТЕС на прикладі механізмів, режим роботи яких залежить від режиму роботи парового енергетичного котла.

Основні матеріали дослідження. В даній роботі використовуються відомі аеродинамічні характеристики механізмів [5], оскільки пропонується реконструкція існуючого обладнання ТЕС. Для побудови алгебраїчної моделі необхідно отримати алгебраїчні апроксимаційні залежності, що описують аеродинамічні характеристики відцентрових механізмів. Будемо характеризувати стан механізмів продуктивністю Q , частотою живильної напруги, якій пропорційне число обертів лопаток робочого колеса, f та кутом відкриття лопаток направляючого апарату механізму. Для цього за паспортними даними існуючих механізмів ТЕС

будуються залежності напору від продуктивності механізму та кута закриття направляючого апарату. Дані залежності знаходяться на основі методу найменших квадратів

$$H(Q, \alpha, f) = A_0(\alpha, f)Q^2 + A_1(\alpha, f)Q + A_2(\alpha, f). \quad (1)$$

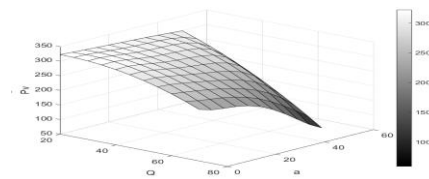


Рисунок 1 – Апроксимація аеродинамічної характеристики вентилятора ВДН-17-3 (1000 об./хв.)

Аналогічно знаходиться залежність для ККД

$$\eta(Q, \alpha, f) = B_0(\alpha, f)Q^3 + B_1(\alpha, f)Q^2 + B_2(\alpha, f)Q + B_3(\alpha, f). \quad (2)$$

Характеристику мережі, на яку працює відцентровий агрегат можна представити у вигляді

$$H_N = \xi Q^2. \quad (3)$$

При живленні електроприводу відцентрового механізму від перетворювача частоти, механізм буде працювати зі змінною швидкістю обертання робочого колеса, тому для подальшого аналізу роботи існуючих механізмів власних потреб ТЕЦ у формули (1-3) необхідно ввести частоту живильної напруги. Для цього можна скористатися законами подібності відцентрових механізмів [6]. Виберемо

$$A_i(\alpha, f) = a_i(\alpha) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{4-i}, \quad i = 0, 1, 2,$$

$$B_i(\alpha, f) = b_i(\alpha) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{3-i}, \quad i = 0, 1, 2, 3,$$

тоді

$$H(Q, \alpha, f) = a_0(\alpha) \left(\frac{f}{f_0} \right)^4 Q^2 + a_1(\alpha) \left(\frac{f}{f_0} \right)^3 Q + a_2(\alpha) \left(\frac{f}{f_0} \right)^2. \quad (4)$$

Як показано в [6], максимум ККД механізму при зміні швидкості обертання робочого колеса механізму зміщується, тому ККД можна визначити, як

$$\eta(Q, \alpha, f) = b_0(\alpha) \left(\frac{f_0}{f}\right)^3 Q^3 + b_2(\alpha) \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 Q^2 + b_2(\alpha) \left(\frac{f_0}{f}\right) Q + b_3(\alpha). \quad (5)$$

Коефіцієнти функції $\{a_i(\alpha)\}_{i=0}^2$ та $\{b_i(\alpha)\}_{i=0}^3$ записуються у вигляді поліномів від α і знайдені методом найменших квадратів при апроксимації даних, отриманих на основі паспортних даних механізму [5]. Апроксимуюча поверхня, при деякій фіксованій частоті f в залежності (4) із робочого діапазону вентилятора, наведена на Рис.1.

Розглянемо спочатку гідравлічний тракт, який складається із вентилятора і гідравлічної мережі.

При аналізі роботи відцентрових механізмів необхідно знайти робочу точку спільної роботи механізму та мережі. Для цього необхідно вирішити систему рівнянь

$$\begin{cases} H = H(Q, \alpha, f) \\ H_N = H_N(Q) \\ H = H_N \end{cases} \quad (6)$$

При вирішенні системи рівнянь (6), прирівнявши перший та другий вирази, отримаємо наступну залежність

$$H(Q, \alpha, f) = H_N(Q),$$

з якої можна виразити продуктивність механізму, як функцію від двох параметрів – частоти живильної мережі f та кута закриття його направляючого механізму - α .

$$Q = Q(\alpha, f).$$

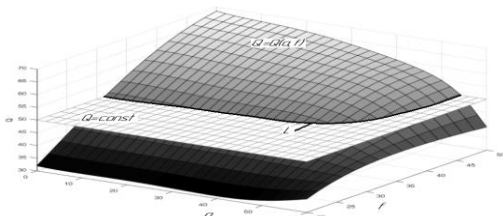


Рисунок 2 – Залежність продуктивності механізму

Тобто, для заданої продуктивності механізму можна однозначно підібрати пари значень "частота - кут закриття направляючого механізму". Для вирішення проблеми енергоефективного керування відцентрових механізмом необхідно з множини таких пар підібрати пару з найвищим ККД.

Побудуємо поверхню $Q = Q(\alpha, f)$, та площину, що відповідає заданій продуктивності механізму (Рис.2). На перетині поверхні з площиною отримаємо криву L, що відповідає множині значень пар "частота – кут закриття направляючого механізму", комбінація яких, при керуванні даним механізмом дасть необхідну продуктивність.

Оптимальну пару $(\alpha^*, f^*) \in L$ знайдемо розв'язавши задачу

$$(\alpha^*, f^*) = \arg \max_{\alpha, f \in L} \eta(Q(\alpha, f), \alpha, f). \quad (7)$$

Розв'яжемо задачу (7) графічним методом. На Рис.3 показана поверхня зміни ККД для даного механізму для фіксованого значення продуктивності 50 тис. м³/год, а також, крива L, що відповідає множині значень (α^*, f^*) необхідних для отримання продуктивності механізму в 50 тис.м³/год.

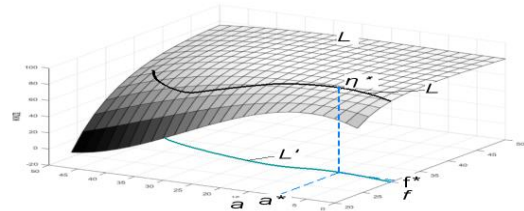


Рисунок 3 - Залежність ККД механізму для продуктивності 50 тис. м³/год

Із Рис.3 можна побачити чіткий локальний максимум для режиму роботи, що відповідає частоті живильної напруги $f^* = 31$ Гц та куту закриття направляючого апарату $\alpha^* = 10$ град.

Аналогічні розрахунки можна провести для групи механізмів власних потреб при впровадженні групового регулювання. Для значень α, f при заданій продуктивності $\{Q_i\}_{i=1}^n$ механізмів необхідно вирішити наступну задачу. Оптимальний стан групи механізмів будемо оцінювати єдиним ККД у вигляді

$$\vec{\eta}(\vec{\alpha}, f) = \sum_{i=1}^n \beta_i \eta_i(Q_i(\alpha_i, f), \alpha_i, f), \quad (8)$$

де $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ – вектор кутів повороту лопаток направляючих лопатевих апаратів механізмів.

Для лінійної комбінації ККД механізмів власних потреб, що живляться від одного частотного приводу необхідно вирішити наступну задачу для (8)

$$(\vec{\alpha}^*, f^*) = \arg \max_{\alpha, f \in D} \vec{\eta}(\vec{\alpha}, f). \quad (9)$$

Вагові коефіцієнти β_i розраховується відношенням потужності приводу відцентрового механізму до сумарної потужності групи механізмів, що розглядається.

Розглянемо механізми власних потреб ТЕС, режим роботи яких залежить від режиму роботи парового енергетичного котла. Це група механізмів, що складається з живильного насосу (ЖЕН), двох вентиляторів дуття (ДВ) та двох димососів (Д). Продуктивність всіх цих механізмів можна представити у вигляді залежності від витрат пари через котел – G

$$\begin{aligned} Q_{ЖЕН} &= Q_{ЖЕН}(G), \\ Q_{ДВ} &= k_{ДВ} Q_{ДВ}(G), \quad Q_{Д} = k_{Д} Q_{Д}(G), \end{aligned}$$

де $k_{ДВ}$ – коефіцієнт розподілення навантаження між двома вентиляторами дуття;

$k_{Д}$ – коефіцієнт розподілення навантаження між двома димососами.

При дослідженні роботи даних механізмів при різних значеннях витрат пари через котел було проведено аналіз споживання витрат електричної енергії на власні потреби, на прикладі обладнання та режиму роботи устаткування Харківської ТЕЦ-3.

При такому аналізі, механізми власних потреб ТЕЦ, режим роботи яких залежить від режиму роботи парового енергетичного котла, було поділено на дві групи. До першої групи увійшли механізми, які живляться від групового частотного приводу, зі змінною частотою живлячої напруги, а до другої механізми, що живляться від мережі 50 Гц. Далі, шляхом перебору при різних $n_g = 1, 2, \dots, n$, $C_n^{n_g}$ комбінацій механізмів власних потреб за групами (n_g – число груп, n_j число механізмів в групі) і розв'язанні задачі (9) в кожній групі були отримані групові частоти $\{f_j^*\}_{j=1}^{n_g}$, та потужності, що споживаються механізмами. Тоді задачу можна переформулювати із такою функцією мети

$$\eta(\vec{\alpha}, \vec{f}) = \sum_{j=1}^{n_g} \gamma_j \sum_{i=1}^{n_j} \beta_i \eta_i(Q_i, \alpha_i, f_j), \quad (10)$$

$$\text{де } \sum_{j=1}^{n_g} n_j = n, \quad \vec{f} = (f_1, f_2, \dots, f_{n_g}).$$

Формування груп реалізується спеціальним електронним механізмом, який реалізує програму перебору груп та їх складу оцінюючи їх ефективність по показнику (10). Управління $(\vec{\alpha}^*, \vec{f}^*)$ вибирають із умови

$$(\vec{\alpha}^*, \vec{f}^*) = \arg \max_{\vec{\alpha}, \vec{f} \in D} \eta(\vec{\alpha}, \vec{f}).$$

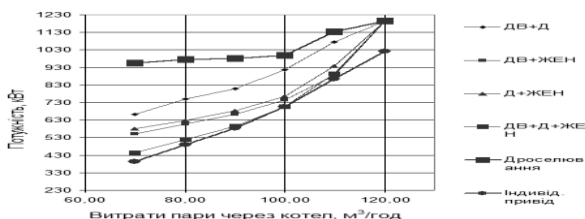


Рисунок 4 – Потужність, що споживається механізмами власних потреб при різних комбінаціях та способах регулювання їх продуктивності

Потужності, що споживаються механізмами власних потреб при різних комбінаціях за групами та способами регулювання їх продуктивності наведені на Рис.4. Аналіз отриманих даних, дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним способом регулювання продуктивності є індивідуальний частотний привід. Однак впровадження групового приводу не

значно збільшує споживання електричної енергії на власні потреби.

Висновок. При впровадженні групового способу регулювання продуктивності механізмів власних потреб в порівнянні з індивідуальним частотним приводом, витрати електричної енергії на власні потреби зростають несуттєво. Проте, при реконструкції схем електропостачання власних потреб ТЕС, з використанням групового способу регулювання продуктивності значно зменшуються капіталовкладення.

Список використаних джерел

1. Лазуренко А. П. Использование группового регулирования механизмами собственных нужд ТЭЦ для повышения КПД в летний период / А. П. Лазуренко, Н. М. Кругол // Вісник НТУ "ХП". Сер.: Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2014. – № 56(1098). – С. 78–82.
2. Лазарев Г. Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок / Г. Лазарев. – Силовая электроника. – 2007. – № 3 – С. 41-48.
3. Сивокабыленко В. Ф. Информационно-вычислительная система минимизации расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций / В. Ф. Сивокабыленко, В. А. Павлюков, А. А. Талал // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Електротехніка і енергетика". – № 21, 2000 р.
4. Проданов Л. В. Применение группового частотного регулирования для агрегатов собственных нужд маневренных блоков ТЭС / Л. В. Проданов, В. Г. Агапов // Энергетика. – 1990. – № 5. – С. 13-19.
5. Каталог оборудования 2013-2014г. ООО "НПО "Донвентилятор"" Ч. 2 – Тягодутьевые машины.
6. Вахвахов Г. Г. Работа вентиляторов в сети / Г. Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1975. – 101 с.

Аннотация

ОПТИМАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ТЭС

Ванин В. А., Кругол Н. М., Лазуренко А. П.

Предложено способ определения оптимальной частоты при групповом регулировании производительности механизмов собственных нужд тепловых электрических станций.

Abstract

OPTIMAL ELECTROMECHANICAL CONTROL OF THERMAL POWER PLANT HYDRODYNAMIC SYSTEMS

V. Vanin, N. Kruhol, A. Lasurenko

A method for determining the optimal frequency for group control of a thermal power plant's auxiliary mechanisms capacity is proposed.