

УДК 621.314:657

О.М. Казекін, Е.С. Пічкальов

Керування дизельними генераторами на базі електро-вартісної моделі

Розглянуто характеристики існуючого дизель-генератора, встановлені оптимальні режими роботи. Запропонована система роботи декількох генераторів у єдиній мережі. Проведено моделювання роботи декількох генераторів з розподіленням потужності між ними.

The characteristics of the existing diesel generator are examined, the optimal operating conditions are defined. A system of the multiple generators in a single network is proposed. A simulation of the power distribution between the generators is executed.

Ключові слова: дизель-генератор, альтернативні джерела, електро-вартісна модель.

Вступ

Одним з джерел живлення житлових будинків є дизельний генератор. Ефективність керування дизель-генератором визначається ефективністю витрат палива. Як показано в [1], витрати палива взаємозалежать від частоти обертання дизеля. Таким чином, якщо підтримувати частоту обертання дизель-генератора у певних межах, досягається мінімізація вартісних витрат при виконанні всіх функціональних задач. Для оцінки і керування з урахуванням вартісних факторів необхідно побудувати електро-вартісну модель дизельного генератора [4].

Дослідження роботи дизельного генератора за його характеристиками та поєднання генераторів у єдину систему дозволяє вирішити задачу підвищення економічності обраної системи живлення.

1. Характеристики дизель-генератора, що працює у системі електроживлення

Існує широка номенклатура дизельних двигунів (ДД), які випускаються багатьма фірмами. ДД характеризуються наступними параметрами:

- 1) максимальна та мінімальна потужності;
- 2) оптимальне значення частоти обертання;
- 3) витрати палива $E_x(P)$;
- 4) робочий діапазон обертів.

Під оптимальним значенням частоти розуміється така частота, при якій енергія палива максимально ефективно перетворюється в механічну. При постійному навантаженні двигун і генератор настроюються на цю частоту, і вона не змінюється в процесі роботи, у той час як динамічна зміна навантаження спричиняє зміну споживаної потужності та, відповідно, частоти обертів двигуна. У цьому випадку розглядається оптимальний діапазон частот обертів двигуна.

Розглянемо характеристики (рис. 1, 2) дизельного двигуна **The TDI 1.9** фірми **Volkswagen** [6], який використовується у промислових дизель-генераторних установках.

З наведеного графіка рис.1. оптимальний режим роботи двигуна з точки зору мінімального споживання палива лежить у діапазоні 1400 – 2000 об/хв. Допустимою є частота обертання до 3000 об/хв. Подальше підвищення частоти призводить до значних витрат палива. Режим у діапазоні більше 3000 об/хв є економічно доцільним тільки у крайніх випадках та не рекомендований до застосування при довгостроковій роботі.

Для аналізу роботи дизель-генератора однією з найважливіших є характеристика залежності вихідної потужності від частоти обертання. Ця характеристика разом з залежністю обертаючого моменту від частоти обертання зображена на рис. 2.

У робочому інтервалі частот 1400 – 2000 об/хв. забезпечується максимальний обертаючий момент ~ 190-210 Н/м. Це значення зберігається до 3100 об/хв. Потужність, яку може розвивати двигун 27-45 кВт при частоті обертання 1400 – 2000 об/хв. Максимальне значення до 62 кВт при частоті обертання 3100 об/хв.

Таким чином дизель-генератор забезпечує виробництво електроенергії, яке є ефективним у заданих інтервалах робочих характеристик та не є ефективним при малій потужності, що відбирається, та при граничних режимах роботи. Одним із рішень робочого діапазону є використання декількох дизель-генераторів з різною номінальною потужністю, значення якої різняться в декілька разів. Використання та керування такою системою живлення буде розглянуто нижче.

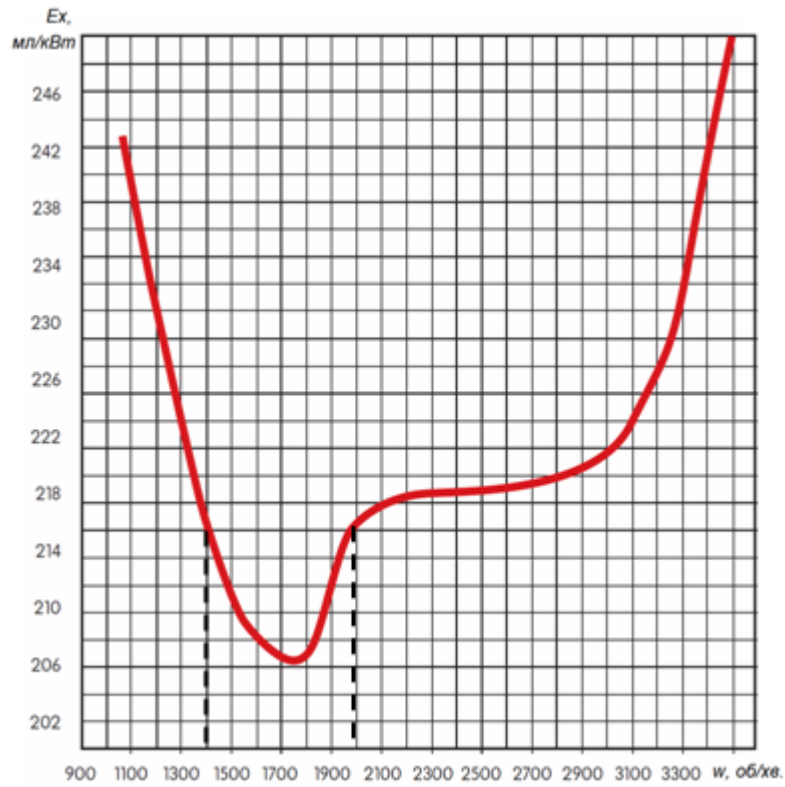


Рис.1. Залежність витрати палива від частоти обертання двигуна

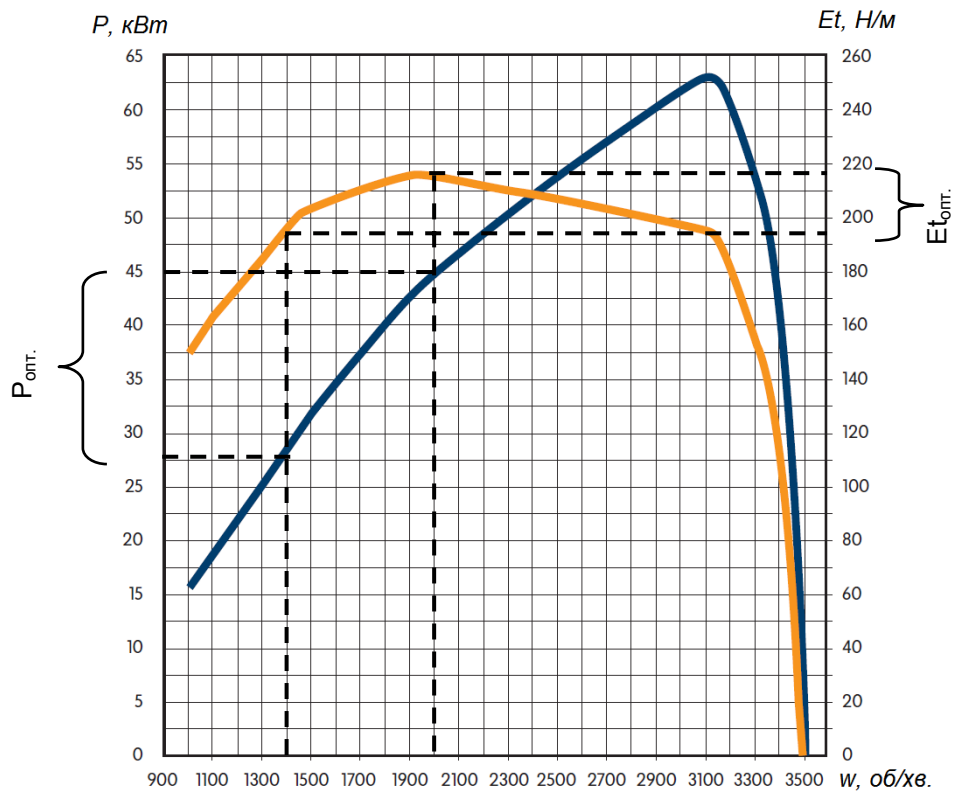


Рис. 2. Залежність вихідної потужності та обертаючого моменту від частоти обертання двигуна

2. Структура енергетичної системи живлення будинку

На рис. 1 наведено приклад структури системи електроживлення будинку, яка складається з двох дизель-генераторів, фотобатарей та набору навантажень.

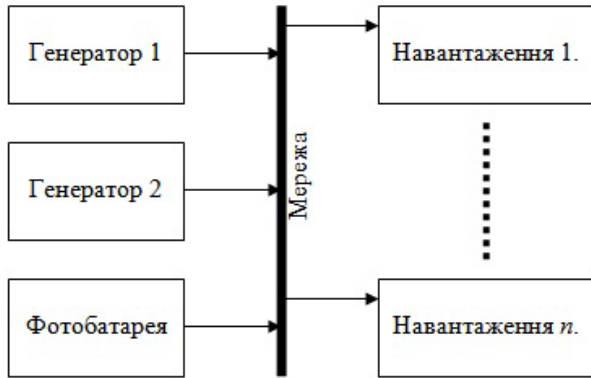


Рис. 3. Структура системи електроживлення будинку

Генератор 1 має робочі характеристики, що наведені на рис. 1 та рис. 2, та може розвивати максимальну потужність 62 кВт. Генератор 2 може розвивати максимальну потужність 25 кВт. Максимальна потужність, що може бути згенерована двома генераторами, становить 87 кВт. Поєднання двох генераторів дозволяє перекрити робочу смугу потужностей у діапазоні від 10 до 87 кВт.

Потужність, що генерується фотобатареею залежить від рівня її освітленості.

Розглянемо діаграми роботи джерел у системі живлення. При розгляданні будемо вважати, що вся потужність, вироблена у джерелах, споживається навантаженнями. Діаграми зміни потужностей джерел живлення зображені на рис. 4.

На першій діаграмі зображена сумарна вироблена потужність всіма джерелами. Друга та третя діаграми відтворюють зміну значень вихідної потужності фотобатарей від рівня світлового потоку R_1 .

У момент часу t_1 світловий потік R_1 значно зростає, і зростає вихідна напруга фотобатарей.

Інтервал $t_1 - t_2$ відповідає виходу на робочий режим перетворювачів. Рівень потужностей, що генерується генераторами, у цей час є незмінним.

Починаючи з моменту t_3 , світловий потік зменшується, в результаті чого зменшується потужність, що генерується фотобатареею. У цей час системою керування виробляється керуючий вплив, який надходить до дизель-генераторів і керуючий сигнал призводить до збільшення потужностей, що виробляється генераторами.

Важливою задачею є визначення такого співвідношення між значеннями вихідних потуж-

ностей двох дизельних генераторів, що дозволяло би мінімізувати витрати.

З цією метою створюється електро-вартісна модель дизельного генератора.

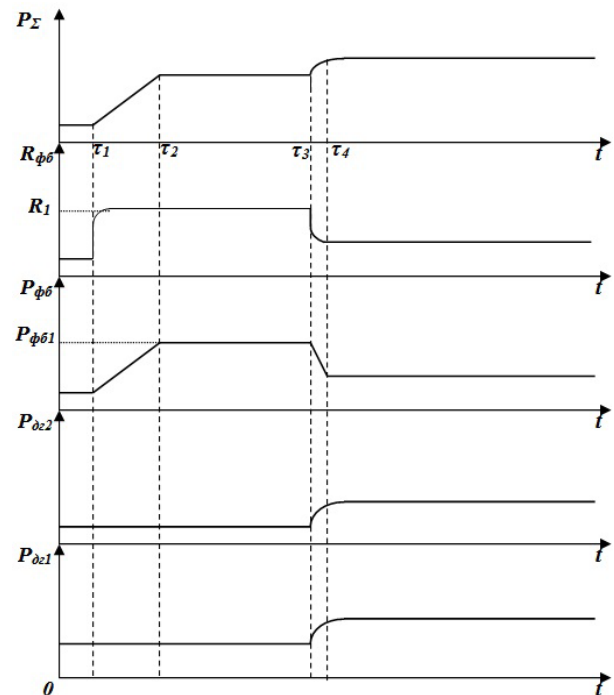


Рис. 4. Діаграми функціонування джерел живлення

3. Електро-вартісна модель генератора

З метою врахування вартісних факторів при розробці системи керування електроживленням житлових будинків, електротехнічні рівняння об'єднують з рівняннями, взятими з економічної теорії [3].

Електро-вартісна модель виробництва електроенергії виглядає наступним чином [4]:

$$\begin{cases} \frac{dX(t, \Pi)}{dt} = A(t, \Pi) \cdot X(t, \Pi) + U(t, \Pi) \\ \begin{cases} \Pi = D - Z \\ Y(t, \Pi) = X_i(t, \Pi) + Z(t) \end{cases} \end{cases}$$

де $U(t, \Pi)$ – вектор керуючого впливу; $X_i(t, \Pi)$ – вектор змінних стану; $A(t, \Pi)$ – матриця коефіцієнтів, що визначаються за схемою заміщення; $P(t)$ – вектор цін, $Y(t, \Pi)$ – вектор споживаних ресурсів; $Z(t)$ – вектор ресурсів, вироблених іншими зовнішніми джерелами, $D = C(t)f(y)$ – отримуваний прибуток від функціонування генеруючого обладнання; $C(t)$ – ціна випуску продукції або вартість одиниці енергетичного ресурсу, який генерується або споживається; $f(y)$ – виробнича функція; $Z = P(t)Y(t, \Pi)$ – витрати на забезпечення функціонування генератора; Π – грошовий прибуток, що утворюється після використання генеруючого обладнання з урахуванням усіх витрат, необхідних на його утримання та забезпечення роботи.

Перше рівняння системи описує динаміку електромагнітних процесів, а друге і третє рівняння враховують процеси виробництва продукції (електроенергії) і одержання прибутку. Для реалізації найбільш ефективного управління з точки зору вартісних витрат, прибуток повинен досягати максимального значення [2-4].

Електро-вартісна модель для дизельного генератора приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} P(t, \Pi_{ДГ}) = (P_m - P_H) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \\ \Pi_{ДГ} = u(t) \cdot i(t) \cdot t \cdot (p_j - c_{ДГ}) - z \cdot c - B(t, P) \cdot c_T \end{cases}$$

де $\Pi_{ДГ}$ – прибуток від функціонування дизельного генератора, який утворюється після використання генератора з врахуванням усіх витрат Z , що необхідні на його утримання та забезпечення роботи; $u(t)$, $i(t)$ – генерована напруга та струм; $c_{ДГ}$ – ціна генерованої одиниці електроенергії за одиницю часу; $z \cdot c$ – вартісні витрати на ресурс, необхідний для функціонування генератора (наприклад, обслуговування); p_j – поточний тариф на електроенергію електричної мережі; $B(t, P)$ – витрати палива; c_T – ціна одного літра дизельного палива.

Ціна згенерованої одиниці електроенергії за одиницю часу визначається за наступною формулою:

$$c_{ДГ} = \frac{K_{ДГ}}{P_{\max} \cdot T} \cdot a,$$

де $K_{ДГ}$ – вартість нового дизельного генератора; P_{\max} – максимальна потужність, що забезпечується генератором; T – час гарантованої роботи дизельного генератора; a – коефіцієнт, що враховує знос генератора в результаті прис-

корених переходів на необхідний режим.

Для визначення ефективного режиму роботи необхідно, щоб в кожний момент часу величина прибутку $\Pi_{ДГ}$ в рівнянні (5) приймала максимальне значення.

3. Моделювання розподілення потужностей між двох генераторів

Система керування дозволяє розподілити потужність, що споживається, між двома генераторами так, щоб забезпечити мінімальну кількість спожитого палива, а отже і максимальний прибуток. Для моделювання роботи цієї системи використаємо характеристики генератора, що наведені на рис. 1 та рис. 2. На підставі цих характеристик було складено рівняння за електро-вартісною моделлю для обох генераторів, що відображають залежність собівартості виробленої електроенергії від її кількості.

При моделюванні для більшої наочності у розподіленні потужностей задамо невеликою різницею робочих інтервалів генераторів (рис. 4). Як приклад, візьмемо графіки потужностей, що виробляються генераторами, як показано на рис. 5. Моделювання проведемо з використанням середовища MatLab [8].

В якості прикладу розглянуто випадок, при якому максимальна потужність дорівнює $P_m=22$ кВт. Розподіл потужності між двома генераторами відбувається за критерієм отримання найменшої собівартості виробленої електроенергії, тобто максимального прибутку. Отримані значення $P_1=13,42$ кВт та $P_2=8,58$ кВт відповідають режиму роботи з мінімальною вартістю генерованої електроенергії та максимальним прибутком.

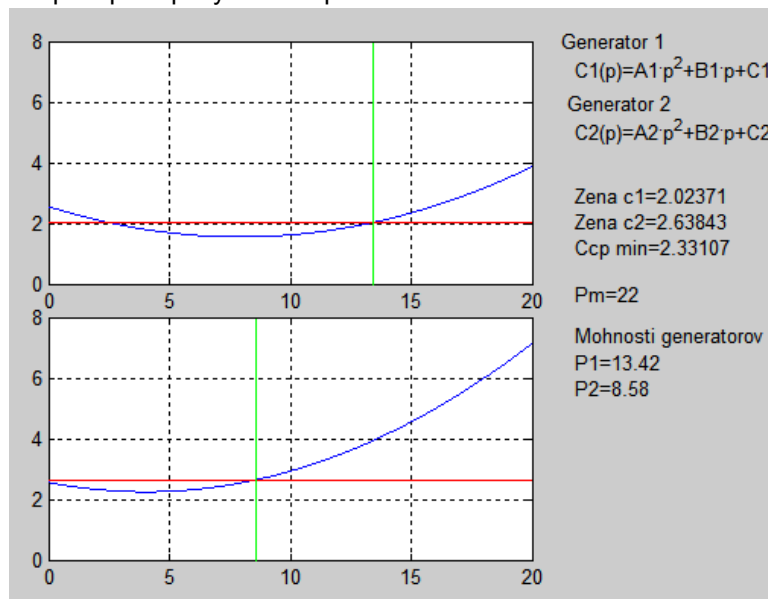


Рис. 5. Моделювання роботи двох генераторів

При проектуванні системи керування доцільно використовувати апарат динамічного програмування для досягнення великої швидкодії [8]. Для моделювання було застосовано метод таблиць, який покладений в основу апарату динамічного програмування.

Висновки

Використання декількох генераторів у системі живлення електричної системи дозволяє збільшити робочий діапазон потужностей та зменшити собівартість отриманої електроенергії.

Розглянута система дозволяє здійснювати більш гнучке керування виробництвом електроенергії. При моделюванні був виконаний розподіл потужності $P_m=22$ кВт між двома генераторами та отримані результати $P_1=13,42$ кВт та $P_2=8,58$ кВт.

Література

1. *Богаевский А.Б.* Метод определения оптимальных характеристик нагружения для микроконтроллерных регуляторов транспортных дизель-электрических установок // Праці Луганського відділення Міжнарод. акад. інформатизації. Науч. журн. № 2, 2004. – с. 52-55.
2. *Камаев В.С., Петергеря Ю.С.* Оптимизация режима работы системы резервного питания с дизель-генератором // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2006. – №1(13). – С.38-41.
3. *Интрилигатор М.* Математические методы оптимизации и экономическая теория / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1975. – 606 с.
4. *Петергеря Ю.С., Жуйков В.Я., Терещенко Т.О.* Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків. Навчальний посібник. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
5. *Крутов В.И.* Двигатель внутреннего сгорания как регулируемый объект. – М.: Машиностроение, 1978. – 472 с.
6. Електронний ресурс <http://www.volkswagen.de>
7. *Лазарев Ю.Ф.* Начала программирования в среде MatLAB: Учебное пособие. – К.: НТУУ «КПИ» 2003. – 424 с.
8. *Визгунов Н.П.* Динамическое программирование в экономических задачах с применением системы MatLAB. – Н.НовгородЖ ННГУ, 2006. – 50 с.
9. Електронний ресурс: http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/eng/renewables/standalone_pv/publications/2007165.html