

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 681.335.13

Абрамська І. Б., Єнікєєв О. Ф., Захаренков Д. Ю.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ПАРАМЕТРІВ
ЧАСТОТНО-МОДУЛЬОВАНОГО СИГНАЛУ

Штатне налаштування робочих циклів дизель-генератора (ДГ) визначає його техніко-економічні показники [1]. Відома інформаційна технологія оцінювання апаратним засобами ідентичності робочих циклів ДГ полягає у порівнянні індикаторних діаграм окремих циліндрів [2]. Тиск в циліндрах ДГ є вхідною інформацією для виконання даної обчислювальної процедури. Застосування ручної праці, достатньо велика кількість циліндрів силового агрегату, а також відсутність вихідних електричних сигналів у первинних перетворювачах тиску суттєво обмежують продуктивність відомого методу оцінювання. Автори пропонують частотно-модульований сигнал швидкості обертання колінчастого валу у якості вхідної інформації для оцінювання ідентичності робочих циклів ДГ. За результатами оцінювання відповідні апаратні засоби виконують зміни налаштувань індивідуальних кутів подачі палива та повітря у циліндри ДГ.

Мета роботи – підвищення точності та продуктивності апаратних засобів оцінювання ідентичності робочих циклів дизель-генератора; розробка спрощеної математичної моделі кінематичної схеми ДГ та ідентифікація її параметрів; аналіз частотних характеристик каналів передачі інформації циліндр-колінчастий вал; побудова інформаційної технології для оцінювання ідентичності робочих циклів ДГ на основі цифрової обробки частотно-модульованого сигналу швидкості обертання колінчастого валу.

При складанні спрощеної детермінованої математичної моделі кінематичної схеми ДГ використовуємо наступні припущення [2]:

- кутові коливання між масами колінчастого валу відсутні;
- не враховуємо тертя.

Динаміка циліндрової маси механічної системи, яка має одну ступінь свободи, описується таким диференціальним рівнянням [1]:

$$J_i \varphi_i''(t) + \frac{1}{e_i} \varphi_i(t) = M_i(t), \quad (1)$$

де $\varphi_i(t)$ – кут закрутки циліндрової маси;

$M_i(t)$ – крутний момент, який діє в i -му коліні валу, без урахування середнього значення;

e_i – податливість зв'язків;

J_i – момент інерції. Зубчасті передачі не входять до складу спрощеної математичної моделі, тому диференціальне рівняння (1) є лінійним.

Із урахування того, що сигнал флуктуацій швидкості обертання колінчастого валу є похідною від кута закрутки, диференціальне рівняння (1) набуває такого вигляду [3]:

$$J_i \Delta \omega_i'(t) + \frac{1}{e_i} \int \Delta \omega_i(t) dt = M_i(t). \quad (2)$$

Перетворення за Лапласом при нульових початкових умовах надає наступного вигляду інтегродиференційному рівнянню (2):

$$\Delta\omega_i(p) = \frac{e_i p}{J_i e_i p^2 + 1} M_i(p). \tag{3}$$

Звідси передатна функція каналу передачі інформації циліндр-колінчастий вал має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{M_i(p)}{\Delta\omega_i(p)} = \frac{e_i p}{J_i e_i p^2 + 1}. \tag{4}$$

Розрахунок логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) виконано в середовищі Matlab із використанням наступної команди:

$$w = tf([e \ 0],[e*j \ 0 \ 1]).$$

Результати розрахунку подано на рис. 1. ЛАЧХ каналу передачі інформації циліндр-колінчастий вал має особливу точку на частоті 3 кГц, що зумовлює нестабільну його поведінку. Цей недолік компенсуємо корегуванням інтегро-диференційного рівняння (2) шляхом введення до його складу тертя. Рівняння (2) набуває такого вигляду:

$$J_i \Delta\omega_i'(t) + \beta_i \Delta\omega_i(t) + \frac{1}{e_i} \int \Delta\omega_i(t) dt = M_i(t), \tag{5}$$

де β_i – коефіцієнт демпфування.

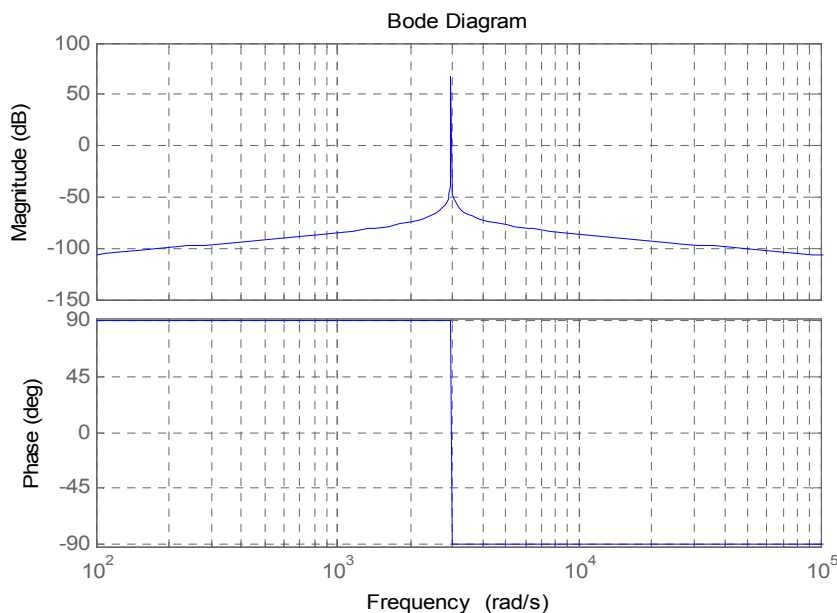


Рис. 1. ЛАЧХ каналу передачі інформації циліндр-колінчастий вал

У результаті математичних перетворень передатна функція каналу передачі інформації отримала наступний вигляд:

$$W_1(p) = \frac{e_i p}{J_i e_i p^2 + \beta_i e_i p + 1}. \tag{6}$$

Можливості середовища Matlab дозволяють виконати порівняння ЛАЧХ декількох каналів передачі інформації циліндр-колінчастий вал. Команда, яка виконує це порівняння, має такий вигляд:

$$w = tf([e\ 0],[e*j\ 0\ 1]); w1=tf([e\ 0],[e*j\ e*\beta\ 1]); bode(w,w1);grid.$$

Порівняння ЛАФЧХ математичних моделей каналів передачі інформації, які задано передатними функціями **w** та **w1**, отримано в вигляді відповідних графіків (рис. 2). У результаті їхнього аналізу стає доречним наступний висновок: введення до складу інтегродиференційного рівняння (2) тертя покращує стабільність роботи каналу передачі інформації циліндр-колінчастий вал.

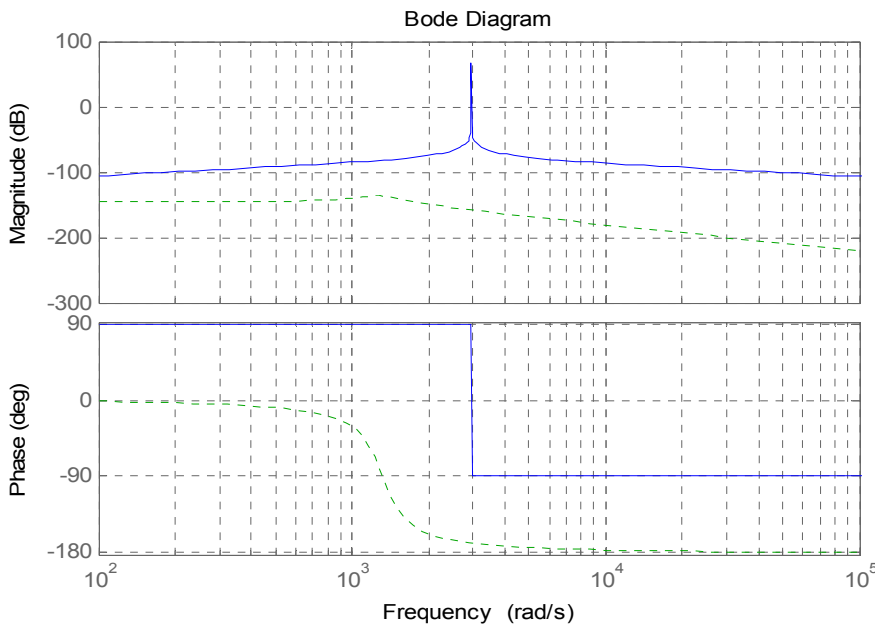


Рис. 2. Порівняння ЛАФЧХ каналів передачі інформації циліндр-колінчастий вал

Аналогічним чином за допомогою середовища Matlab можна також дослідити вплив ступеневих коефіцієнтів характеристичного рівняння передатної функції каналу на його перехідну та імпульсну перехідну характеристики. Команда для порівняння має наступний вигляд:

$$w = tf([e\ 0],[e*j\ e*\beta\ 1]); w1=tf([e\ 0],[5*e*j\ e*\beta\ 1]); bode(w,w1);grid.$$

Крутний момент отримано у результаті статистичної обробки дослідних даних тиску першого циліндру та подано у вигляді обмеженого ряду Фур'є. Графіки крутного моменту, який створює на колінчастому валу ДГ перший циліндр, подано на рис. 3 у вигляді: індикаторної діаграми, діаграмми стиснення та різниця між ними. Обертання колінчастого валу із заданою швидкістю забезпечує різницевий крутний момент. У результаті аналізу дослідних даних встановлено, що принципово можливо організувати зміни в налаштуванні процесів подачі палива та повітря в окремий циліндр. Комп'ютерне моделювання процесів подачі палива у циліндри ДГ виконується за допомогою амплітудного коефіцієнта $D_i = 0 \dots 1$. Фазове запізнення циліндрів відносно першого кратне 36° й розраховується із урахуванням наступної послідовності їхньої роботи: 1 – 6 – 10 – 2 – 4 – 9 – 5 – 3 – 7 – 8. Таким чином, математично крутний момент описується таким рівнянням [4]:

$$M_i(t) = D_i \sum_{k=1}^n A_k \sin(k\Omega t + \psi_k). \tag{7}$$

Сигнал флуктуацій швидкості обертання колінчастого валу отримано за допомогою зворотнього перетворення Лапласу:

$$\Delta\omega(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_1(j\Omega) M_{\Sigma}(j\Omega) e^{j\Omega t} d\Omega, \quad (8)$$

де $M_{\Sigma}(j\Omega)$ – частотне подання крутного моменту ДГ без урахування постійної складової. Результати розрахунку сигналу флюктуацій швидкості обертання першої маси колінчастого валу наведено на рис. 4.

Інформаційна технологія обробки частотно-модульованого сигналу швидкості обертання колінчастого валу з метою оцінювання ідентичності робочих циклів ДГ складається із наступних обчислень. Сигнал миттєвої швидкості обертання колінчастого валу використано авторами у якості вимірювальної інформації при її побудові. Апаратні засоби для вимірювань миттєвого періоду реалізують процедуру дискретизації за часом. Інформаційна технологія цифрової обробки сигналу миттєвої швидкості із метою виділення сигналу флюктуацій складає такі обчислювальні процедури:

- розраховуємо середнє значення періоду вхідного сигналу;
- сигнал флюктуацій є різниця між середнім та миттєвими значеннями періоду;
- визначаємо масив флюктуацій у межах всього обсягу дослідних даних;
- виконуємо усереднення і формуємо масив флюктуацій у межах одного оберту колінчастого валу;
- подаємо цей сигнал у вигляді обмеженого ряду Фур'є.

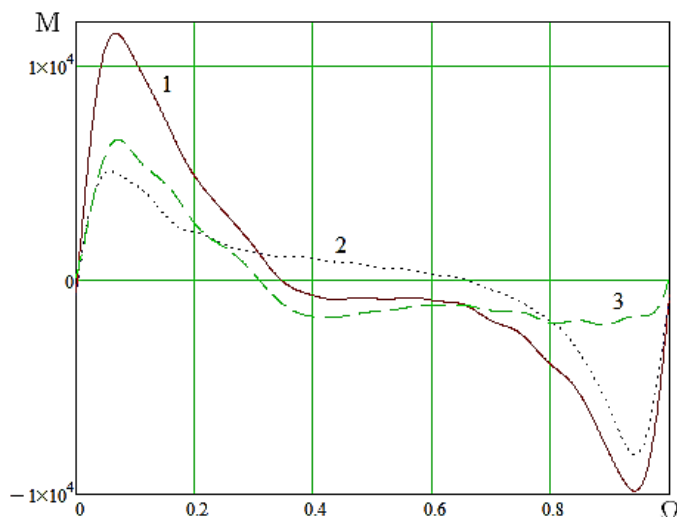


Рис. 3. Діаграми крутного моменту першого циліндру: 1 – штатне налаштування; 2 – діаграма стиснення; 3 – різниця

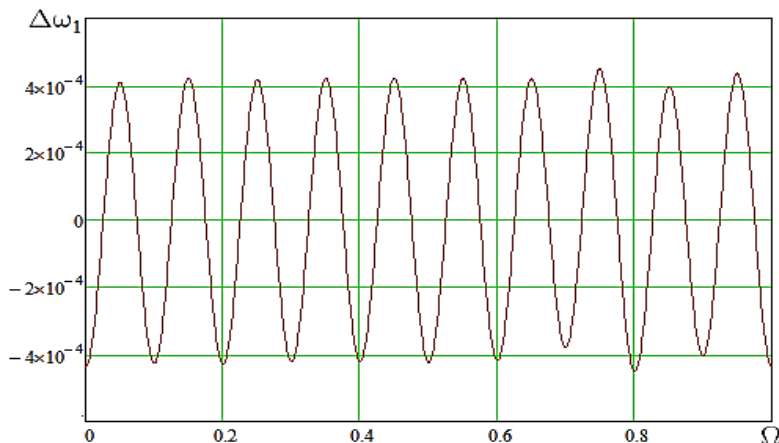


Рис. 4. Сигнал флюктуацій швидкості обертання колінчастого валу

Для визначення коефіцієнтів D_i апаратні засоби розв'язують систему алгебраїчних рівнянь такого вигляду:

$$BD = \Delta\omega_1, \quad (9)$$

де B – матриця, коефіцієнти якої визначаються на основі ЛАЧХ передатних функцій трактів циліндр-колінчастий вал в залежності від обраного методу розрахунку;

D – вектор-стовпець амплітудних коефіцієнтів;

$\Delta\omega_1$ – вектор-стовпець часової реалізації сигналу флуктуацій першої маси. При його частотному поданні коефіцієнти матриці визначаються так:

$$B_{i,j} = W_1(j\Omega) \sum_{i=1}^{10} M_i(j\Omega). \quad (10)$$

Якщо частотне подання сигналу флуктуацій першої маси перевищує 10 гармонійних складових, то система алгебраїчних рівнянь (7) є перевизначеною. Тому для розрахунку оптимальних значень коефіцієнтів D_i застосуємо алгоритм мінімізації нев'язання. Якщо розрахункове значення D_i відрізняється від одиниці, то відповідні апаратні засоби змінюють налаштування процесів подачі палива та повітря у даний циліндр ДГ.

ВИСНОВКИ

Запропоновано механічну систему із одним ступенем свободи у якості детермінованої математичної моделі дизель-генератора. Інформаційний зв'язок між сигналом флуктуацій швидкості обертання першої маси та діями окремих циліндрів описує інтегродиференційне рівняння. Доведено, що введення тертя в це рівняння покращує стабільність роботи каналу передачі інформації. Запропоновано подання крутного моменту та на основі частотного подання комп'ютерним моделюванням отримано сигнал флуктуацій швидкості обертання колінчастого валу. Розроблено інформаційну технологію оцінювання ідентичності робочих циклів. Амплітудні коефіцієнти циліндрів встановлюємо на основі розв'язування перевизначеної системи алгебраїчних рівнянь із використанням алгоритму мінімізації нев'язання. Програмні зміни налаштувань процесів подачі палива та повітря у циліндри ДГ виконують апаратні засоби на підставі розрахованих значень амплітудних коефіцієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Истомин П. А. Крутильные колебания в судовых ДВС / П. А. Истомин. – Л. : Судостроение, 1968. – 304 с.
2. Анализ работы ДВС по флуктуации частоты вращения коленчатого вала / А. Н. Борисенко, А. Ф. Еникеев, Е. Г. Заславский, Г. Я. Невяжский, В. Н. Соболев // Двигателестроение. – 1988. – № 8. – С. 22–25.
3. Евсюкова Ф. М. Оценка рабочих циклов ДВС по скорости вращения вала / Ф. М. Евсюкова, О. В. Евсюкова, А. Ф. Еникеев, И. С. Зыков // Вестник Харьковского государственного политехнического института. – 1999. – № 58. – С. 40–42.
4. Диагностирование дизель-генератора по девиации частоты вращения вала / А. Н. Борисенко, А. Ф. Еникеев, В. П. Самсонов, Г. М. Киселева // Измерительная техника. – 1988. – № 9. – С. 24–26.