

УДК 681.2:621.317

С.С. Ольховіков¹, Н.Х. Раковська², С.М. Швидков³¹Донецький політехнічний університет, Донецьк²Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків³Метрологічний центр військових еталонів, Харків

РОЗРАХУНОК ПОХИБОК МОДУЛЮ УВЕДЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розраховані похибки вимірювання параметрів запропонованого модулю введення вимірювальної інформації, що призначений для вимірювання та цифрової обробки віброакустичних сигналів при вібродіагностиці газотурбінних двигунів. Аналіз похибок довів перспективність застосування розробленого модулю введення інформації. Розроблена система є уніфікованим модулем, повністю сумісним зі стандартним інтерфейсом і призначена для визначення технічного стану газотурбінних двигунів літальних апаратів.

Ключові слова: газотурбінний двигун, модуль введення, вібродіагностування, похибки вимірювання.

Вступ

Розробка ефективних систем неруйнівного контролю параметрів технічного стану машин і механізмів у робочих умовах являє собою задачу виняткової важливості [1].

У цьому зв'язку контроль і діагностування стану газотурбінних двигунів (ГТД) за вібраційними параметрами є одним з найважливіших напрямків у загальній системі технічної діагностики.

Вібраційний аналіз має в порівнянні з іншими діагностичними методами ряд характерних рис, пов'язаних з тим, що останні звичайно фіксують результати силового навантаження, а за допомогою вібраційних методів здійснюється безпосередній контроль самого динамічного силового впливу. Звідси випливає принципова можливість більш раннього, у порівнянні з іншими способами, виявлення, і навіть попередження несправностей [2 – 4].

Однак головною проблемою застосування методів вібраційного аналізу полягає у відсутності досить простих у використанні та обслуговуванні систем збору та аналізу віброакустичних сигналів. Запропонований у статті [5] модуль збору, введення й обробки аналогових сигналів призначений для вимірювання та цифрової обробки віброакустичних сигналів при вібродіагностуванні газотурбінних агрегатів у турбінобудуванні. Для визначення необхідних характеристик своєчасного та достовірного виявлення можливих відмов при контролі технічного стану ГТД у статті проводиться розрахунок похибок розробленого модулю введення інформації.

Метою статті є розрахунок похибок модулю введення інформації системи вібродіагностування двигунів літальних апаратів.

Основний матеріал

Основними джерелами похибок розробленого модуля є комутатор і аналого-цифровий перетворю-

вач (АЦП). Часові затримки в схемі пристрою керування не вносять похибок, тому що найбільша затримка в поширенні сигналу керування складає порядку 40 – 50 нс, а період проходження імпульсів запуску АЦП при цьому набагато менше – 4 мкс.

1. Розрахунок похибки комутатора.

Причинами виникнення зазначеної похибки є:

- залишкові параметри ключів;
- взаємний вплив каналів.

Абсолютну похибку вимірювання розрахуємо так:

$$\Delta U = U_{\text{вих}} - U_{\text{вих ид}}, \quad (1)$$

де $U_{\text{вих}}$ – вихідний сигнал; $U_{\text{вих ид}}$ – ідеальний вихідний сигнал [4].

Тоді відносна та приведена похибки вимірювання параметрів дорівнюють

$$\delta = \frac{\Delta U}{U_c}; \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U_{\text{сmax}}}, \quad (3)$$

де U_c – значення напруги сигналу; $U_{\text{сmax}}$ – максимум напруги сигналу.

Наведені формули (1) – (3) дозволяють розрахувати похибки вимірювання параметрів сигналу, які вносяться комутатором.

Значення вихідного сигналу обчислимо за наступною формулою:

$$U_{\text{вих}} = (U_{\text{ci}} + E_{\text{oi}} + I_0 R_3) K_3 + (U_{\text{сmax}} + I_0 R_p) K_p, \quad (4)$$

де U_{ci} – значення напруги сигналу у i -му каналі;

E_{oi} – залишкові параметри ключів у i -му каналі;

K_3 – коефіцієнт впливу при замкнутому ключі;

K_p – коефіцієнт впливу при розімкнутому ключі;

I_0 – струм витоку; R_3 , R_p – опір замкнутого та розімкнутого ключів відповідно.

Коефіцієнти впливу обчислюються так:

$$K_3 = \frac{R_n \parallel \left(\frac{R_p + R_i}{n-1}\right)}{R_i + R_3 + R_n \parallel \left(\frac{R_i + R_p}{n-1}\right)}; \quad (5)$$

$$K_p = \frac{R_n \parallel (R_i + R_3)}{\frac{R_i + R_p}{n-1} + R_i + R_3}, \quad (6)$$

де R_n – опір навантаження; R_i – внутрішній опір джерела сигналу; n – число каналів.

Еквівалентна схема n -канального комутатора представлена на рис. 1.

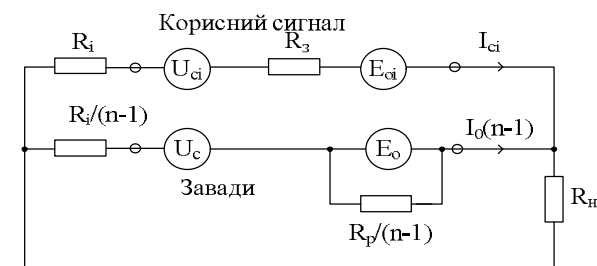


Рис. 1. Еквівалентна схема n -канального комутатора

Підставивши формули (5) і (6) у співвідношення (4), отримуємо:

$$U_{\text{вих } p} = (U_{ci} + E_{oi}) \frac{R_n \parallel \left(\frac{R_p + R_i}{n-1}\right)}{R_i + R_p + R_n \parallel \left(\frac{R_p + R_i}{n-1}\right)} + (U_{c\text{max}} + I_0 R_p) \frac{R_n \parallel (R_i + R_p)}{\frac{R_i + R_p}{n-1} + R_i + R_3}. \quad (7)$$

Прийемо допущення, що:

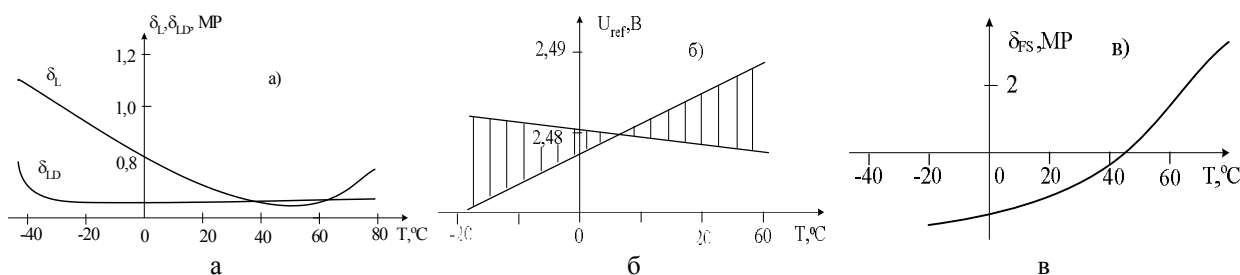


Рис. 2. Залежність нелінійності і диференціальної нелінійності – а; опорної напруги – б; абсолютної похибки перетворення в кінцевій точці шкали від температури – в

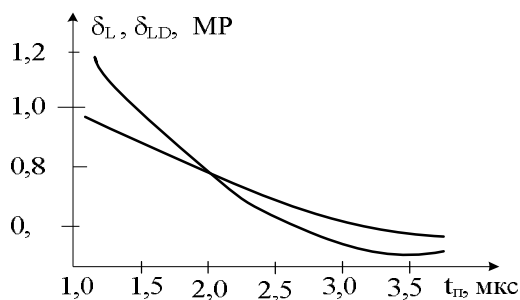


Рис. 3. Залежність нелінійності та диференціальної нелінійності від зміни часу перетворення АЦП

$$\frac{R_i + R_p}{n-1} \gg R_n \gg R_3.$$

Дане допущення обґрунтоване тим, що R_p даного комутатора дорівнює 10^8 Ом, тоді вираз (7) приймає вигляд:

$$U_{\text{вих}} = U_{ci} + E_{oi} + (n-1)(U_{c\text{max}} + I_0 R_p) \frac{R_3}{R_p}, \quad (8)$$

З урахуванням допущень

$$\Delta U = E_o + (n-1)(U_{c\text{max}} + R_p I_o) \frac{R_3}{R_p}, \quad (9)$$

Тоді приведена похибка комутатора

$$\gamma = E_o + (n-1)(U_{c\text{max}} + R_p I_o) \frac{R_3}{R_p} / U_{c\text{max}}, \quad (10)$$

Для розробленого комутатора модулю введення [5] розрахунок похибок за формулами (7) – (9) надає наступні результати:

$$E_o = 5 \cdot 10^{-6} \text{ В}; \quad U_{c\text{max}} = 2,5 \text{ В};$$

$$I_o = 10 \text{ мкА}; \quad n=8; \quad R_p = 10^8 \text{ Ом}; \quad R_3 = 150 \text{ Ом}.$$

Підставивши ці значення у формулу (10), отримуємо значення приведеної похибки:

$$\gamma_{\text{КМ}} = 0,417 \cdot 10^{-2} = 0,417 \text{ \%}.$$

Таким чином, приведена похибка вимірювання параметрів запропонованим модулем введення інформації не більше 0,5 %.

2. Розрахунок похибки АЦП.

Типові залежності основних параметрів АЦП AD1671, яке пропонується використовувати в розробленому модулі введення інформації, від зміни температури навколишнього середовища, часу перетворення показані на рис. 2 і 3 [6].

Необхідно помітити, що в даному випадку не розглядаються похибки, пов'язані з апаратним часом і апаратною невизначеністю. Вважаємо що ці похибки входять до характеристик АЦП.

Затримки сигналів керування щодо тактових імпульсів у АЦП не перевищують 50...60 нс.

Середнє квадратичне значення міжкодових шумів АЦП не перевищує 0,1...0,15 значення молодшого розряду (при $t_n = 2$ мкс), що складає 61...91,5 мкВ [6].

Як видно з наведених рисунків, не перевищує значення 0,6 значення молодшого розряду (МР).

Отже, приведена похибка АЦП складає $\gamma_{\text{АЦП}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \%$, тобто 0,0018 %.

3. Розрахунок загальної похибки вимірювання параметрів модулю введення інформації.

Таким чином, повна приведена похибка запропонованого модулю введення інформації складається з похибок АЦП і комутатора та обчислюється наступним чином:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{заг}} &= \sqrt{\gamma_{\text{АЦП}}^2 + \gamma_{\text{КМ}}^2} = \\ &= \sqrt{(1,8 \cdot 10^{-5})^2 + (4,17 \cdot 10^{-3})^2} = 4,17 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Отже загальна похибка розробленого модулю введення інформації $\gamma_{\text{заг}}$ не більше 0,5 %.

Аналіз отриманих результатів і похибок відомих пристроїв діагностування технічного стану газотурбінних двигунів [1 – 4] показав, що основна похибка розробленого модулю (порядку 0,5 %) у декілька разів менша за похибки відомих аналогів (порядку 2,0...4,0 %).

Це свідчить про перспективність застосування запропонованого модулю введення інформації в системі діагностування технічного стану газотурбінних авіаційних двигунів.

Висновок

У статті розраховані похибки вимірювання параметрів запропонованого модулю введення інформації для системи вібродіагностики газотурбінних агрегатів для літальних апаратів. Аналіз отриманих результатів показав, що запропонований модуль введення інформації переважає відомі аналоги та дозволяє підвищити достовірність проведення контролю та визначення технічного стану газотурбінних двигунів при їх експлуатації. Це дозволить підвищити оперативність виявлення відмов, тобто підвищити ефективність їх експлуатації (застосування за призначенням).

Аналіз похибок запропонованого модулю до- вів, що за метрологічними характеристиками він, крім вібродіагностики, може використовуватися в інших областях науково-виробничої діяльності, так як інтерфейс модуля – стандартний варіант ISA.

Модуль може бути включений до складу інформаційно-вимірювальної системи як пристрій введення й первинної обробки вимірювальної інформації.

Список літератури

1. Биргер И.А. *Техническая диагностика* / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1998. – 248 с.
2. Дорошко С.М. *Контроль и диагностирование состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам* / С.М. Дорошко. – М.: Транспорт, 1984. – 128 с.
3. Герман М. *Вибрация авиадвигателей* / М. Герман, Б. Пугановский, И. Смирнов. – М.: Гражданская авиация, 1974. – 244 с.
4. Новиков Ю.В. *Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC* / Ю.В. Новиков, О.А. Калашников, С.Э. Гуляев. – М.: Эком, 2001. – 224 с.
5. Ольховиков С.С. *Разработка модуля введения измерительной информации системы вибродиагностирования двигателей летательных аппаратов* / С.С. Ольховиков, Н.Х. Раковская, С.М. Швыдков // *Системы обработки информации: сборник научных работ*. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 5 (121). – С. 80-83.
6. *Справочные базы данных по микросхемотехнике. Продукция фирмы Analog Device. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gaw.ru/html/cgi/txt/ic/Analog_Devices/index.htm*

Надійшла до редколегії 30.07.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДУЛЯ ВВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С.С. Ольховиков, Н.Х. Раковская, С.М. Швыдков

Рассчитаны погрешности измерения параметров предложенного модуля введения измерительной информации, который предназначен для измерения и цифровой обработки виброакустических сигналов при вибродиагностике газотурбинных двигателей. Анализ погрешностей доказал перспективность применения разработанного модуля введения информации. Разработанная измерительная система является унифицированным модулем, полностью совместимым со стандартным интерфейсом и предназначенная для определения технического состояния газотурбинных двигателей летательных аппаратов.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, модуль введения, вибродиагностирование, погрешности измерения.

CALCULATION OF ERRORS OF MODULE OF INTRODUCTION OF INFORMATION COLLECTIONS OF VIBRODIAGNOSING OF ENGINES OF AIRCRAFTS

S.S. Olkhovikov, N.H. Racovskaya, S.M. Shvydkov

The errors of determination of characteristics of the offered module of introduction of measuring information are designed, which is intended for determination and digital treatment of oscillation acoustic calls at the oscillation diagnosis of turbo-engines. The evaluation of errors proved perspective of application of the designed module of introduction of in structure. The designed measuring collection is the compatible module, fully consonant with a general-purpose interface and intended for definition of engineering condition of turbo-engines of aircrafts.

Keywords: turbo-engine, module of introduction, oscillation diagnosing, errors of determination.