

К. т. н. В. А. ЗАВАДСЬКИЙ¹, к. т. н. Р. Ю. ХАРЧЕНКО¹, к. т. н. С. М. ДРАНЧУК², к. ф-м. н. В. І. ЦАЦКО²

Україна, ¹Національний університет «Одеська морська академія»,

²Одеський національний морський університет

E-mail: vaaz@ukr.net

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТАЛОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ В ЧАСТОТУ

Розроблено та реалізовано пристрій для автоматичного вимірювання вихідних характеристик перетворювачів «напруга — частота» за різних значень температури, який можна використовувати для визначення механічних напружень у корпусі судна. Експериментально досліджено роботу тензометричних датчиків суднового обладнання у поєднанні з такими перетворювачами. В запропонованій системі застосовуються тензорезистори та інтегральні перетворювачі, характеристики яких значною мірою залежать від температури.

Ключові слова: тензорезистивні датчики, напруга, частота, перетворювач, температурна сталість.

Для підвищення безпеки та ефективності роботи транспортних суден необхідно мати об'єктивну інформацію про механічні напруження у корпусі судна в будь-яких експлуатаційних режимах. На підставі цієї інформації з'являється можливість управляти судном в штормових умовах, не допускаючи перевантаження корпусу і водночас працюючи на гранично безпечному рівні. Дані про напруження у корпусі необхідні також для автоматизації вантажних операцій на суднах, оскільки рівномірність розподілу вантажу (особливо на балкерах) сприяє підвищенню безпеки мореплавання.

Сьогодні до інтегрованої системи судна входить моніторинг напружень у корпусі (hull stress monitoring), мета якого — в реальному часі забезпечувати інформацією щодо цих напружень упродовж рейсу та під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт. За результатами моні-

рингу виробляються застереження (аларми) про наближення контрольованих параметрів до критичних значень [1], що врешті-решт сприяє зниженню експлуатаційних витрат.

Згідно з документами ІМО система моніторингу судна має містити наступне (рис. 1, а): датчики напруження у корпусі судна (палубі); акселерометри для визначення прискорень в носовій та центральній частині судна для вимірювання вертикальних прискорень; мікропроцесорний блок для обробки отриманої інформації від датчиків та передачі результатів до інтегрованої системи судна по магістральному інформаційному каналу; пристрій зберігання отриманих даних. Загалом, методи моніторингу, засновані на вимірюванні частоти вихідних сигналів з датчиків, є актуальними та досліджуються вченими [2], як і температурні залежності їхніх амплітудно-частотних характеристик [3, 4].

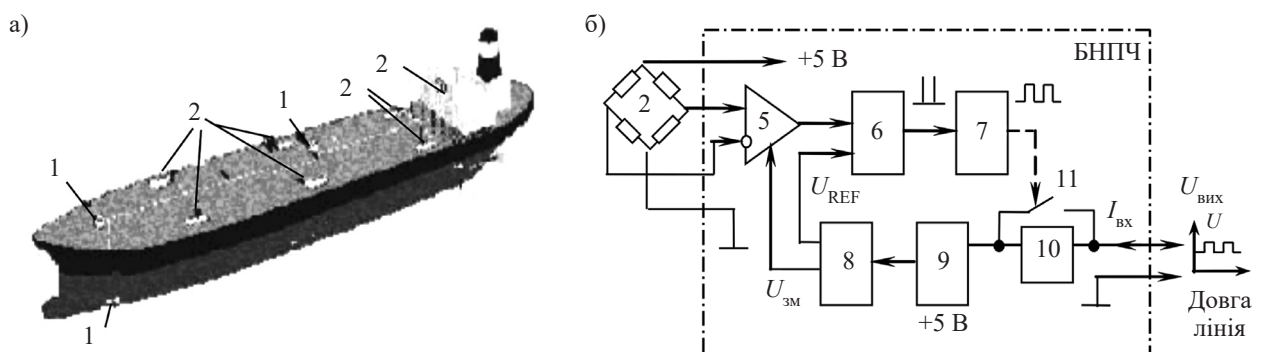


Рис. 1. Система моніторингу напружень в корпусі судна фірми «Scimar» (а) та структурна схема блоку перетворювача напруги в частоту БНПЧ (б):

1 — акселератор; 2 — тензодатчики; 3 — датчики тиску води; 4 — інтегрована система ходового мостика; 5 — інструментальний підсилювач; 6 — синхронний перетворювач частоти AD7741; 7 — двійковий дільник частоти; 8 — джерело опорної напруги; 9 — паралельний стабілізатор; 10 — стабілітрон на 5 В; 11 — електронний ключ

Традиційними датчиками механічних напружень є тензорезистори, побудовані за мостовою схемою. Недоліком тензорезисторів є великий розкид значень параметрів і характеристик та їхня залежність від зовнішніх факторів, перш за все температури [5].

Невелика потужність вихідного сигналу тензометричних датчиків ускладнює його точне вимірювання та передавання на значні відстані, що пов'язано з малою завадозахищеністю такого сигналу. Тому необхідні пристрої, які б перетворювали аналоговий сигнал датчика в більш завадозахищений сигнал іншого типу, наприклад перетворювачі напруги аналогового сигналу у частоту [6]. Вони мають такі переваги: значну точність при мінімальній кількості прецизійних елементів, низьку вартість, підвищену завадозахищеність, малу чутливість до змін напруги живлення, відсутність диференційної нелінійності [7]. Ці перетворювачі побудовані (рис. 1, б) на синхронних інтегральних перетворювачах 6 типу AD7741 та містять такі компоненти, як інструментальний підсилювач 5, частотний дільник 7 та джерело опорної напруги 8, кожний з яких впливає на температурну сталість пристрою [8].

Метою цієї роботи є розробка пристрою, який дозволяє в автоматичному режимі проводити вимірювання вихідних характеристик перетворювача напруги аналогового сигналу у частоту залежно від температури з метою підвищення температурної сталості перетворювача.

Принцип роботи пристрою

Пропонований пристрій дозволяє вимірювати статичні параметри блоку перетворення напруги в частоту (БПНЧ) залежно від температури в діапазоні від кімнатної до 70°C в автоматичному режимі з передачею отриманих даних по інтерфейсу USB до персонального комп'ютера. Подальша статистична обробка отриманих даних та побудова необхідних температурних залежностей статичних параметрів виконується у середовищі Microsoft Office Excel.

Структурну схему такого пристрою наведено на рис. 2. Він складається з таких блоків:

- термостат, в якому розташовано резистивний нагрівач потужністю 200 Вт, датчики температури (вимірювальний і регулюючий) та утримувач, в якому закріплюється досліджуваний БПНЧ;

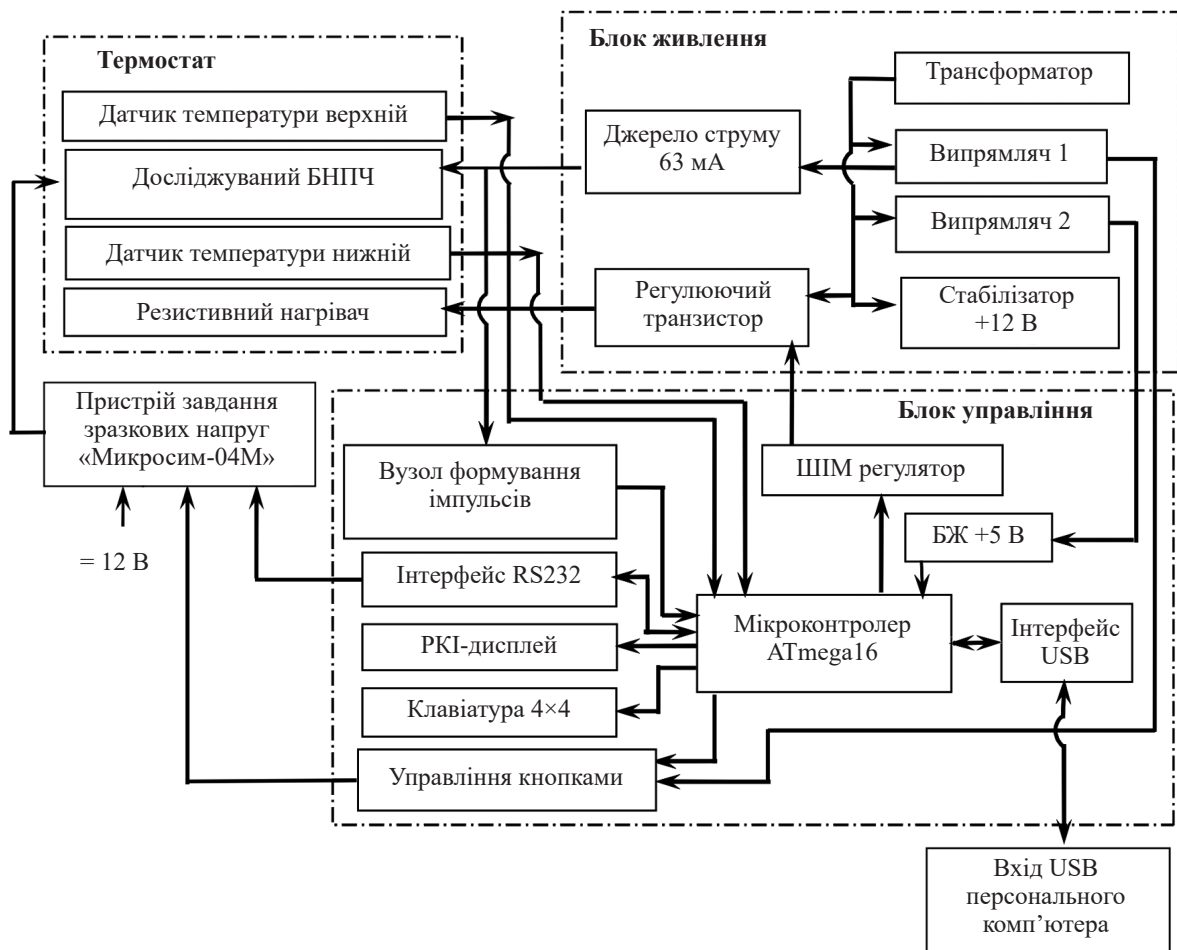


Рис. 2. Структурна схема пристрою для вимірювання статичних параметрів БПНЧ залежно від температури

— пристрій завдання зразкової напруги Микросим-04М [9], який живиться від постійної напруги 8—12 В і має інтерфейс RS232. Пристрій дозволяє отримувати робочі коефіцієнти передачі від $-3,1000$ до $+3,1000$ мВ/В з кроком від 0,0001 до 3,1000 мВ/В. Нелінійність вихідної напруги не перевищує 0,003%;

— мікропроцесорний блок управління, який виконує функцію автоматичного вимірювання статичних параметрів БПНЧ за різних температур і передає дані по інтерфейсу USART;

— блок живлення, який має силовий транзистор, призначений для регулювання потужності резистивного нагрівача.

Принципова схема блоку управління, виконана на основі RISC-мікроконтролера фірми Atmel типу ATmega-16 [10], містить рідкокристалічний дворядко-

вий 16-знаковий дисплей (PKI), клавіатуру 4×4, температурні датчики, інтерфейс типу RS-232, два реле, необхідні для управління кнопками пристрою завдання вхідної напруги, вузол формування вхідного сигналу від перетворювача частоти, який підключається до переривань INT0 мікроконтролера, інтерфейсу типу USB, по якому отримана інформація передається до персонального комп'ютера для подальшої обробки.

Зовнішній вигляд пристрою та термостату наведено на **рис. 3**.

Вимірювання частоти виконується методом підрахунку кількості імпульсів за певний час вимірювання, які поступають на вхід зовнішнього переривання INT0 мікроконтролера [11]. Час вимірювання визначається таймером по перериванню COMPA. Алгоритм вимірювання наведено на **рис. 4**.

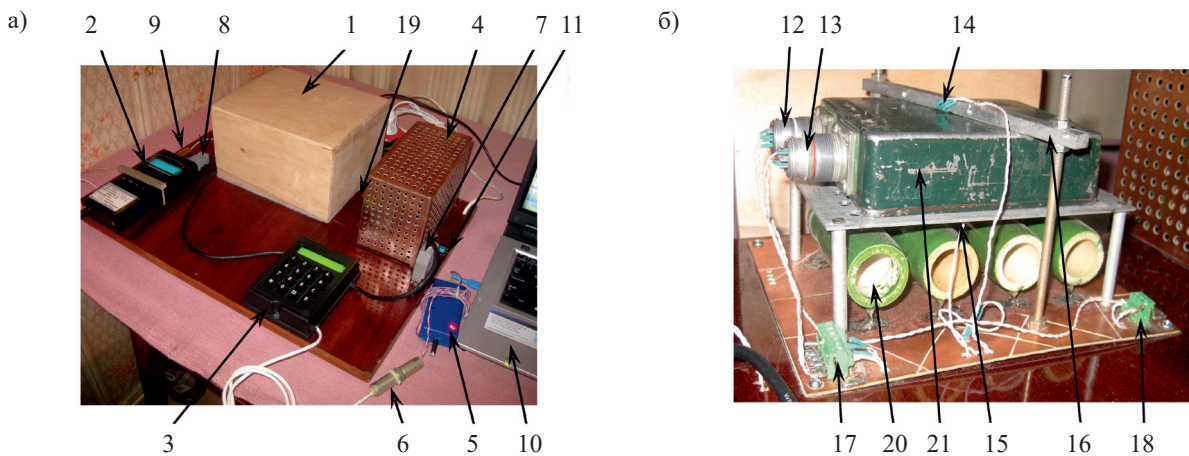


Рис. 3. Зовнішній вигляд пристрою (а) та термостату (б):

1 — кришка термостату; 2 — пристрій завдання зразкової напруги; 3 — пульт управління; 4 — блок живлення; 5 — перетворювач RS485-USB; 6 — роз'єднувач інтерфейсу RS485; 7 — роз'єднувач пульта управління; 8, 9 — роз'єднувачі інтерфейсу та вихідної напруги пристрою 2; 10 — комп'ютер; 11 — мережевий вимикач; 12, 13 — вхідний та вихідний роз'єднувачі БПНЧ; 14, 15 — верхній та нижній датчики температури; 16 — закріплювач БПНЧ; 17, 18 — роз'єднувачі вхідної напруги та вихідного струму БПНЧ; 19 — індикатор включення нагрівача 20; 21 — БПНЧ

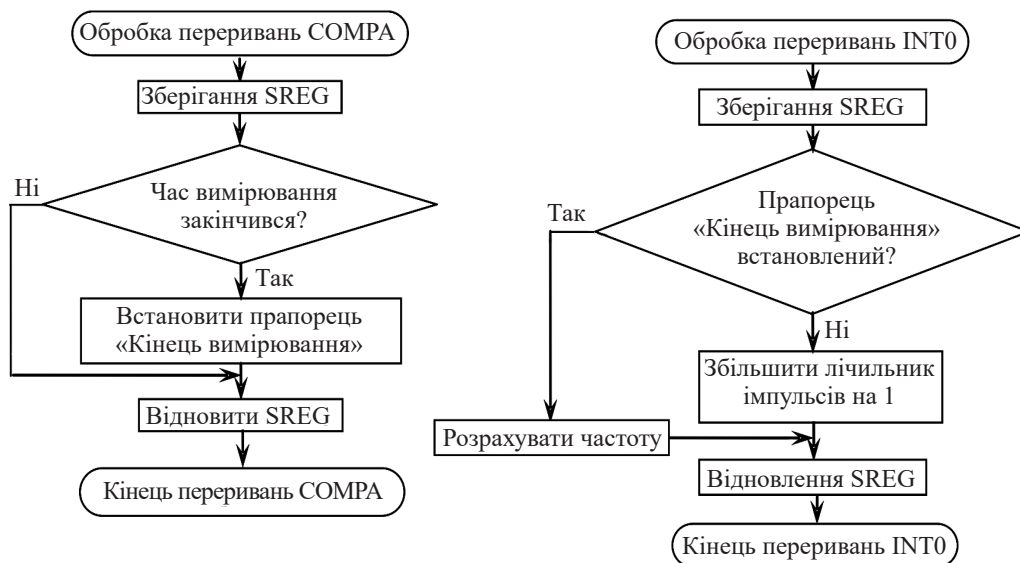


Рис. 4. Алгоритм вимірювання частоти в перериваннях INT0 та COMPA

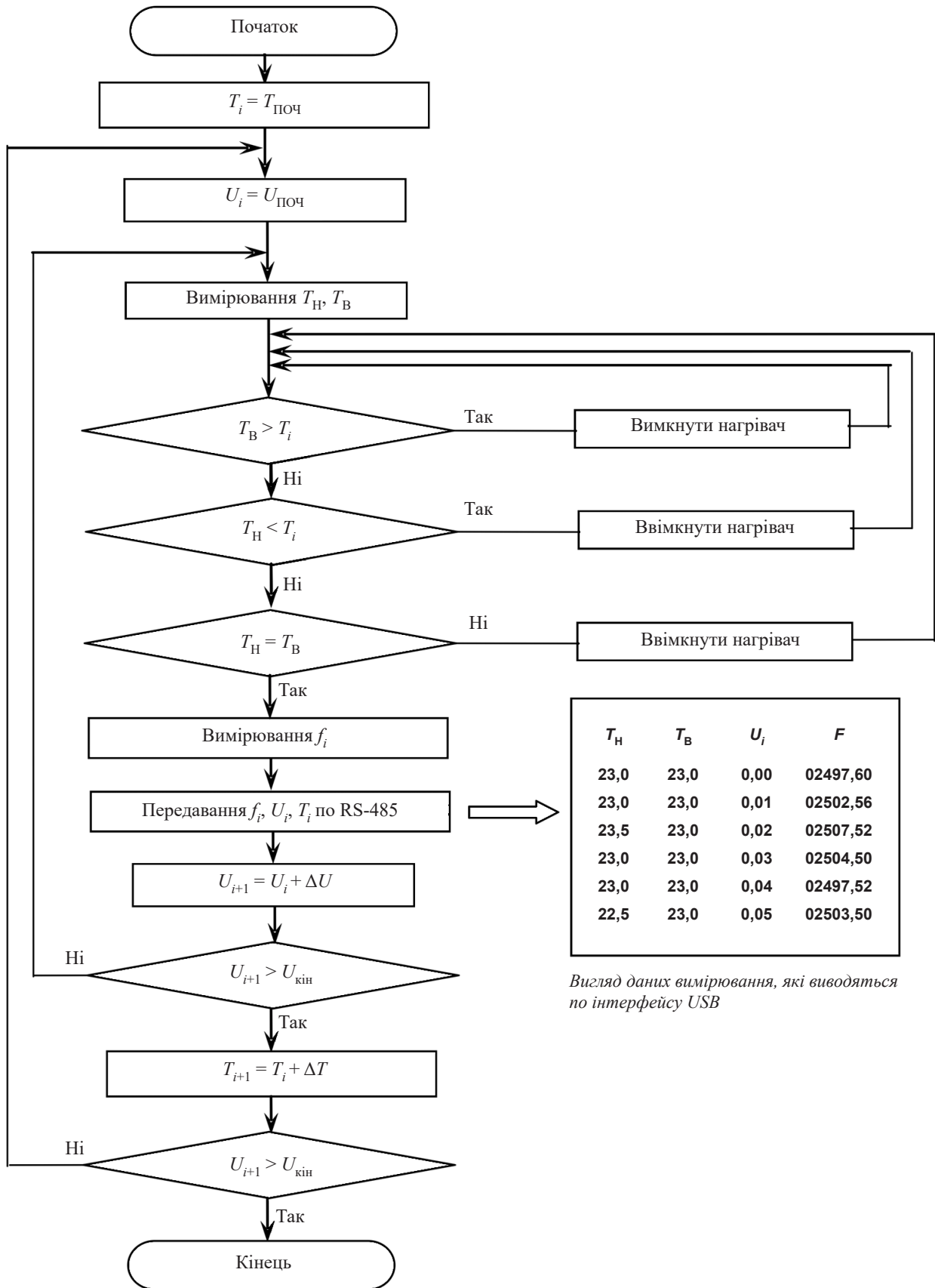


Рис. 5. Алгоритм вимірювання статичних параметрів БПНЧ в автоматичному режимі

Усі параметри пристрою встановлюються за допомогою клавіатури та виводяться на індикатор, а також можуть бути збережені у запам'ятовувальному пристрої EEPROM. Такими параметрами є початкова $T_{\text{Поч}}$ та кінцева $T_{\text{Кін}}$ температура, інтервал її змінення ΔT , початкове $U_{\text{Поч}}$ та кінцеве $U_{\text{Кін}}$ значення вхідної напруги U , інтервал її змінення ΔU , час $T_{\text{Вим}}$ та кількість $N_{\text{Вим}}$ вимірювань, швидкість передачі інтерфейсом.

Алгоритм роботи пристрою в режимі автоматичного вимірювання наведено на **рис. 5**. Після того як встановлено необхідну початкову вхідну напругу вказаним вище методом визначається частота на виході БПНЧ (при часі вимірювання 1 с точність досягає 0,05%), значення якої передається до персонального комп'ютера по інтерфейсу USB у текстовому форматі. Вимірювання виконуються задану кількість разів. Після цього по команді з мікроконтролера за допомогою силового транзистора вмикається на повну потужність резистивний нагрівач і починається отримання даних від верхнього ($T_{\text{В}}$) та нижнього ($T_{\text{Н}}$) датчиків температури по інтерфейсу SPI. Коли температура нижнього датчика досягає необхідної величини, нагрівач вмикається. Після того як значення температури з обох датчиків зрівнюються і встановлюється задана температура T , вихідна частота вимірюється певну кількість разів. Якщо температура стає нижче заданої, то резистивний нагрівач вмикається на половинну потужність до досягнення необхідної температури.

На наступному етапі за командою з мікроконтролера змінюється значення вхідної напруги U на перетворювачі, і процес вимірювання частоти повторюється.

Описаний алгоритм працює до повного виконання завдання по вимірюванню статичної характеристики БПНЧ за різних значень температури.

Основні параметри пристрою вимірювання температурної сталості БПНЧ наведено в **таблиці**.

Параметр пристрою	Значення
Інтервал вимірювання частоти	від 1,5 до 28 кГц
Точність вимірювання частоти за 5,0 с:	
— для 2,5 кГц	$\pm 4 \cdot 10^{-3} \%$
— для 25 кГц	$\pm 4 \cdot 10^{-4} \%$
Відтворюваність вимірювання частоти	близько $\pm 2 \cdot 10^{-3} \%$
Час вимірювання	від 0,1 до 9,9 с
Кількість вимірювань при $U = \text{const}$	від 1 до 99
Точність підтримки температури	$\pm 1,0 \text{ К}$
Точність вимірювання температури	$\pm 0,5 \text{ К}$

Експериментальні результати

Розроблений пристрій був використаний для дослідження температурної сталості параметрів БПНЧ з подальшим аналізом отриманих результатів. На **рис. 6** для прикладу наведено отримані за різних температур залежності нелінійності δ частоти вихідного сигналу пристрою від амплітуди вихідної напруги тензодатчика $U_{\text{Д}}$. Величина нелінійності, тобто відхилення від лінійної залежності, розраховувалася за формулою

$$\delta = \frac{f_{\text{Вим}} - f_{\text{Лін}}}{f_{\text{Лін}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $f_{\text{Вим}}, f_{\text{Лін}}$ — відповідно, реально заміряна частота та частота, яка відповідає ідеальній лінійній вихідній характеристиці, за заданої вихідної напруги $U_{\text{Д}}$ (**рис. 7**).

З наведених на **рис. 8** експериментальних даних видно, що основні параметри БПНЧ — початкова частота, коефіцієнт передачі, нелінійність вихідної характеристики — залежать від температури. При цьому коефіцієнт передачі та нелінійність розраховувалися за формулами

$$K_{\text{П}} = \frac{\Delta f}{\Delta U_{\text{ВХ}}};$$

$$\delta = \frac{|\delta f_{\text{В}}| + |\Delta \delta f_{\text{Н}}|}{\Delta f} \cdot 100\%,$$

де Δf — величина змінення частоти перетворювача при зміні вхідної напруги на $\Delta U_{\text{ВХ}}$.

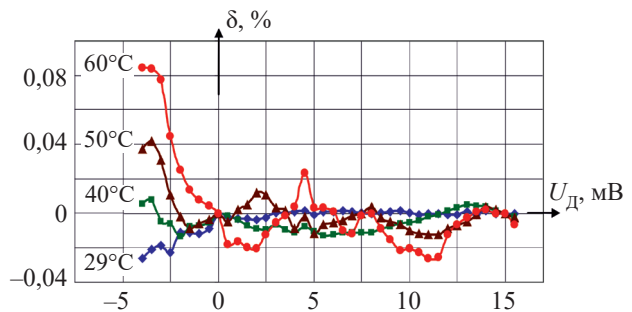


Рис. 6. Залежності нелінійності δ частоти вихідного сигналу тензодатчика від амплітуди вихідної напруги тензодатчика $U_{\text{Д}}$ для різних температур

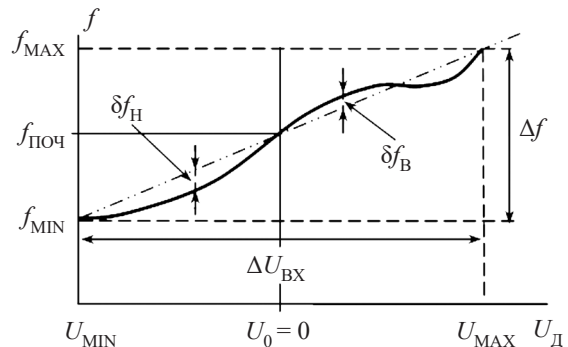


Рис. 7. Заміряна (суцільна лінія) та ідеальна лінійна (штрихпунктир) вхідна характеристика тензодатчика

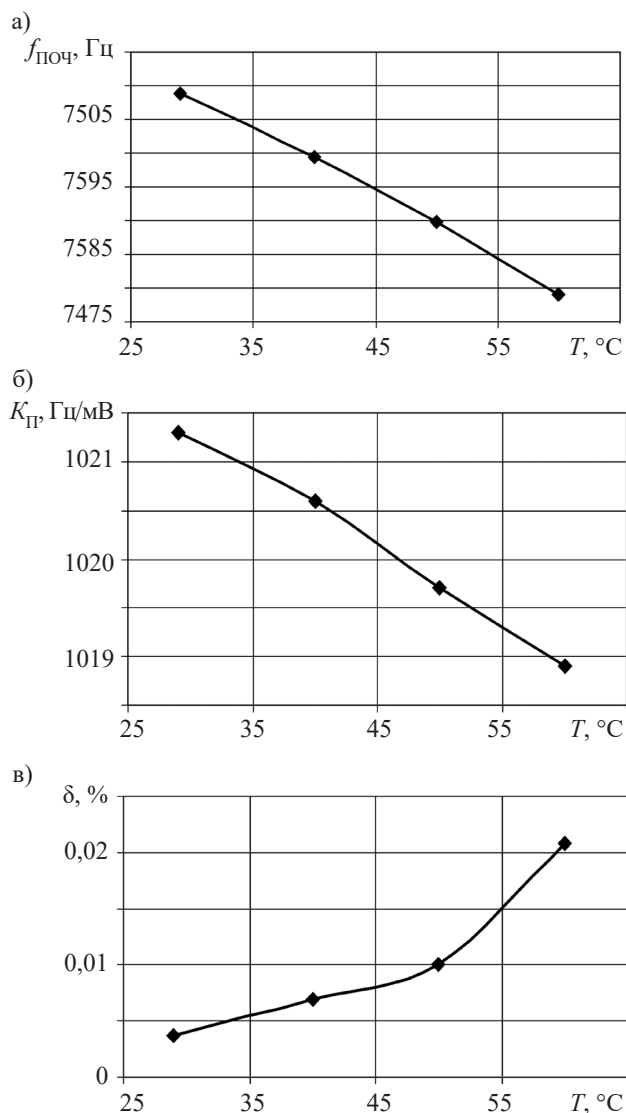


Рис. 8. Температурні залежності початкової частоти $f_{\text{Поч}}$ при $U = 0$ (а), коефіцієнта передачі $K_{\text{П}}$ (б) та нелінійності вихідної характеристики δ (в) БПНЧ

Причинами цієї залежності може бути температурна несталість таких характеристик:

- коефіцієнта перетворення та вхідної напруги зміщення в інтегральній мікросхемі (ІМС) AD7741;
- опорної напруги UREF, яка використовується в ІМС AD7741 та інструментальному підсилювачі;
- коефіцієнта підсилення інструментального підсилювача ІМС AD623 (внаслідок температурної залежності опорного зовнішнього резистора та вхідної напруги зміщення).

Аналіз показує, що перша причина мало впливає на температурну залежність параметрів БПНЧ, оскільки температурна несталість коефіцієнта перетворення ІМС AD7741 складає всього ± 16 ppm/K, що залежить від властивостей самої ІМС.

Опорні напруги +2,5 та +1,25 В подаються з джерела ІМС LT1004-2.5 і резисторного дільника, який

живиться від нього. Дільник виконано на резисторах з відхиленням від номінального опорного $\pm 0,1\%$ і температурним коефіцієнтом опорного (ТКО) ± 50 ppm/K, а ТКО ІМС LT1004-2.5 складає ± 20 ppm/K. Таким чином, для підвищення температурної сталості опорної напруги 1,25 В необхідно використовувати більш температурно стабільні резистори.

Температурна несталість вихідної напруги зміщення інструментального підсилювача ІМС AD623 і вхідної напруги зміщення ІМС AD7741 в першу чергу впливає на температурну несталість початкової частоти перетворювача і складає, відповідно, 10 та 30 мкВ/К, що за напруги зміщення 1,25 В дає приблизно 80 ppm/K [12].

Найсуттєвішою є температурна несталість коефіцієнта підсилення ІМС AD623, яку можна зменшити підбором температурної сталості резистора, що встановлює цей коефіцієнт. Дійсно, коефіцієнт підсилення визначається як

$$G_U = 1 + R_U / R_G, \quad (2)$$

де R_U — опір внутрішнього резистора інструментального підсилювача, $R_U = 100$ кОм.

Після диференціювання (2) за температурою та простих перетворень отримаємо формулу для визначення температурної несталості коефіцієнта підсилення інструментального підсилювача

$$\begin{aligned} \delta G_U &= \frac{1}{G_U} \cdot \frac{dG_U}{dT} \approx \left(\frac{1}{R_U} \cdot \frac{dR_U}{dT} - \frac{1}{R_G} \cdot \frac{dR_G}{dT} \right) \Big|_{G_U \gg 1} \\ &= (\delta R_U - \delta R_G) \Big|_{G_U \gg 1}, \end{aligned} \quad (3)$$

де δR_U , δR_G — відповідно, температурна несталість опорного внутрішнього та зовнішнього резисторів, $\delta R_U \approx \pm 10$ ppm/K.

Як витікає з виразу (3), якщо внутрішній опір підсилювача має додатний ТКО, то зовнішній резистор інструментального підсилювача необхідно підбирати з відповідним додатним ТКО, тоді змінення коефіцієнта підсилення буде мінімальним. І навпаки, якщо внутрішній опір підсилювача має від'ємний ТКО, то зовнішній резистор інструментального підсилювача необхідно підбирати з відповідним від'ємним ТКО.

Висновки

Розроблений пристрій для вимірювання температурної сталості перетворювачів напруги в частоту в автоматичному режимі дозволяє проводити аналіз впливу температури на вихідну характеристику перетворювача. Як показали дослідження, основними причинами температурної несталості таких перетворювачів є температурна несталість зовнішнього резистора, який визначає коефіцієнт підсилення інструментального підсилювача, та резистивного дільника, що задає опорну напругу +1,25 В. Зменшити вплив температури на температурну сталість перетворю-

вачів напруги в частоту можна шляхом підбору температурного коефіцієнта опору зовнішнього резистора залежно від конкретної використовуваної інтегральної схеми інструментального підсилювача, чому сприяє розроблений пристрій.

Подальші дослідження мають бути направлені на вдосконалення розробленого пристрою для проведення вимірювань за температури, нижче кімнатної, що можливо з використанням елементів Пельтьє.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Вагушенко Л. Л. *Интегрированные системы ходового мостика*. Одесса, Латстар, 2003, 170 с.
2. Дранчук С. М., Завадський В. А., Харченко Р. Ю. Моніторинг швидко змінних у часі процесів в суднових машинах, з подальшим аналізом результатів ISSN2221-3805. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 2019, № 31(107), с. 118–127. <https://doi.org/10.15276/eltecs.31.107.2019.11>
3. Криштоп В. Г. Экспериментальное моделирование температурной зависимости амплитудно-частотной характеристики преобразователей вращательных движений на основе электрохимических преобразователей. *Электрохимия*, 2014, т. 50, № 4, с. 392–397. <https://doi.org/10.7868/s0424857014040057>
4. Ozerkin D. V., Bondarenko V. O. Using microthermostatting to increase thermal stability of on-board electronics. *Herald of the Bauman*

Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering, 2020, no. 3(132), pp. 18–36. <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-3-18-36>

5. Жадобин Н. Е., Королев, В. В., Заставный С. В. Контроль механических напряжений и деформаций в корпусе судна. *Контроль и диагностика*, 2010, № 2, с. 38–43.
6. Single and Multichannel, Synchronous Voltage-to-Frequency Converters AD7741/7742. Datasheet. <https://www.analog.com/en/index.html> (15 May 2021)
7. Дерябин В. Преобразователи напряжение – частота. *Инженерная электроника*, 2004, № 8, с. 13–23.
8. Завадський В. А., Дранчук С. М., Чайка А. В. Аналогово-частотний перетворювач для тензометричних датчиків суднового обладнання. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Україна, Одеса, 2019, с. 50–54.
9. Имитатор тензодатчика «Микросим-04М». Версия 1.20. Паспорт. Обнинск, НПП Метра, 2002, 21 с.
10. Естифеев А. В. Микроконтроллеры семейства Тіпу и Мега фирмы Atmel. Москва, Додэка-XXI, 2006, 589 с.
11. Касаткин А. С. *Автоматическая обработка сигналов частотных датчиков*. Москва, Энергия, 1966, 120 с.
12. Kitchin Ch., Counts L. *A designer's guide to instrumentation amplifiers*. Analog Devices Inc., 2000, 66 p.

Дата надходження рукопису
до редакції 08.07 2021 р.

DOI: 10.15222/TKEA2021.3-4.09
UDC 629.5.064.5

V. A. ZAVADSKY¹, R. Yu. KHARCHENKO¹,
S. M. DRANCHUK², V. I. TSATSKO²

Ukraine, Odessa, ¹National University «Odessa Maritime Academy»,
²Odessa National Maritime University
E-mail: vaaz@ukr.net

DEVICE FOR INVESTIGATING THERMAL STABILITY OF CHARACTERISTICS OF VOLTAGE-TO-FREQUENCY CONVERTERS

The article presents the research results on a device for automatic measurement of the temperature stability of the output characteristics of voltage-to-frequency converters. The device can be used to measure mechanical stresses in the ship's hull.

The main source of information on the state of the mechanical stress on the hull of the ship is the integrated monitoring system. Monitoring methods are based on measuring the frequency of the output signals from the sensors based on strain gages, which have a wide scatter of values for parameters and characteristics and depend on external factors. A possible solution to this problem is to use a device that would convert the analog sensor signal into a more noise-immune signal of another type, for example, voltage-to-frequency converter. It is for such systems based on synchronous integrated converters that the authors have developed a device for automatic measurement of the temperature stability of the output characteristics of frequency converters.

Such device can measure the thermal stability of the convertor automatically, which makes it possible to analyze the effect of temperature on the output characteristics of the converter and to experimentally study the sensors in a wide range of operating temperatures (from room temperature to 70°C).

The study of the thermal stability of the characteristics of such sensors made it possible to confirm the quality of its electronic components and to determine which parameters need to be adjusted. The device is a set of units, one of them being a control circuit based on the ATmega-16 RISC microcontroller. This design and the developed algorithm for the device operation makes it possible to determine the output frequency with a high accuracy (with a measurement time of 1 sec, the accuracy reaches 0.05%).

The developed device allows finding the ways to increase the thermal stability of mechanical stress sensors based on integral converters.

Keywords: strain gauges, voltage, frequency, converter, temperature stability.

REFERENCES

1. Vagushchenko L. L. *Integrirovannyye Sistemy Khodovogo Mostika* [Integrated bridge systems]. Odessa, Latstar, 2003, 170 p. (Rus)
2. Dranchuk, S. M., Zavadsky, V. A., & Kharchenko, R. Y. (2019). Monitoring processes in ship machines that change rapidly over time, with subsequent analysis of results. *Electrical and computer systems*, 31(107), 118–127. <https://doi.org/10.15276/eltecs.31.107.2019.11> (Ukr)
3. Krishtop V.G. Experimental modeling of the temperature dependence of the transfer function of rotational motion sensors based on electrochemical transducers. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2014, vol. 50, no. 4, pp. 350–354. <https://doi.org/10.7868/s0424857014040057> (Rus)
4. Ozerkin D. V., Bondarenko V. O. Using microthermostatting to increase thermal stability of on-board electronics. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*, 2020, no. 3(132), pp. 18–36. <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-3-18-36>
5. Zhadobin N. Ye., Korolev, V. V., Zastavnyy S. V. [Control of mechanical stresses and deformations in the ship's hull] *Kontrol'. Diagnostika*, no. 2, 2010. pp. 38–43. (Rus)
6. Single and Multichannel, Synchronous Voltage-to-Frequency Converters AD7741/7742. Datasheet. <https://www.analog.com/en/index.html> (15 May 2021)
7. Deryabin V. [Voltage-frequency converters]. *Inzhenernaya Elektronika*, 2004, no. 8, pp. 13–23. (Rus)
8. Zavadsky V. A., Dranchuk S. M., Chaika A. V. Analog-frequency converter for ship equipment strain gauges. *Materials of the 9th International Scientific and Practical Conference "Ships' Electrical Engineering, Electronics and Automation"*, Ukraine, Odessa, 2019, pp. 50–54 (Ukr)
9. [Load cell simulator «Микросим-04М»] Version 1.20. Passport. Obninsk, 2002, 21 p. (Rus)
10. Yestifeyev A. V. *Mikrokontrollery Semeystva Tiny i Mega Firmy Atmel* [Atmel Tiny and Mega microcontrollers]. Moscow, Dodeka-XXI, 2006, 589 p. (Rus)
11. Kasatkin A. S. *Avtomaticheskaya Obrabotka Signalov Chastotnykh Datchikov* [Automatic processing of signals from frequency sensors]. Moscow, Energiya, 1966, 120 p. (Rus)
12. Kitchin Ch., Counts L. *A designer's guide to instrumentation amplifiers*. Analog Devices Inc., 2000, 66 p.

Опис статті для цитування:

Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Цацко В. І. Пристрій для дослідження температурної сталості характеристик перетворювачів напруги в частоту. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2021, № 3–4, с. 9–16. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.3-4.09>

Cite the article as:

Zavadsky V. A., Kharchenko R. Yu., Dranchuk S. M., Tsatsko V. I. Device for investigating thermal stability of characteristics of voltage-to-frequency converters. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2021, no. 3–4, pp. 9–16. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2021.3-4.09>

НОВІ КНИГИ

НОВІ КНИГИ

Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації : Навчальний посібник. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020.

Розглянуто виконавчий пристрій як одну з основних ланок системи автоматичного управління. Наведено класифікацію виконавчих пристроїв, загальні вимоги до них, їх монтажу та експлуатації, подано принципи й методи розрахунку, підбору регулюючих органів, а також виконавчих механізмів. Проаналізовано різні типи виконавчих механізмів, їхню будову та і принцип дії, статичні та динамічні характеристики. Розглянуто особливості управління різними виконавчими механізмами і додаткові пристрої, необхідні для покращення їхньої роботи.

Також здійснено класифікацію регулюючих органів, розглянуто їхні конструкції та сферу використання. Наведено основні параметри та характеристики дросельних регулюючих органів, подано приклади задач розрахунку і вибору регулюючих органів.

Навчальний посібник дасть змогу студентам опанувати теоретичними знаннями та підготуватися до практичної діяльності в галузі створення систем автоматизації. Може бути корисним викладачам, спеціалістам з автоматизації.

