

УДК 621.382

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНІ РІШЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКИХ ХОЛЛІВСЬКИХ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ З РЕЖИМОМ РОБОТИ WAKE-UP

Д. т. н. З. Ю. Готра, д. т. н. Р. Л. Голяка, В. Ю. Ільканич, Т. А. Марусенкова,
к. т. н. О. В. Бойко

Національний університет «Львівська політехніка»
Україна, м. Львів
holyaka@yahoo.com

Розглядаються структурні та алгоритмічні рішення завадостійкого енергоефективного холлівського сенсорного пристрою вимірювання магнітного поля. Пристрій базується на режимі роботи Wake-up з періодичним імпульсним вимірюванням. Сигнальний перетворювач використовує мікроконвертер ADuC841 з 12-бітним аналого-цифровим перетворювачем та операційні підсилювачі AD8554.

Ключові слова: холлівський сенсор, сигнальний перетворювач, завадостійкість, енергоефективність.

Визначальною вимогою до сучасних портативних пристроїв електронної техніки є енергоефективність. Для реалізації високої енергоефективності використовують нові структурно-схемні рішення та елементну базу, що забезпечує мінімальне енергоспоживання та можливість функціонування з низьковольтними однополярними джерелами живлення.

Особливої актуальності проблема енергоефективності набуває в розподілених сенсорних мережах – новітньому напрямку розвитку інформаційного середовища. Такі сенсорні мережі складаються з автономних електронних пристроїв, зокрема, для вимірювання температури, вологості, магнітних та електромагнітних полів, забруднення довкілля тощо, і аналогічно до сучасних систем стільникового зв'язку, передають отримані результати вимірювання до централізованої інформаційної системи. З метою мінімізації енергоспоживання такі пристрої використовують режим роботи Wake-up, що забезпечує періодичний перехід від коротких імпульсів вимірювання до пауз з вимкненими колами живлення [1–3].

У даній роботі розглядається використання режиму роботи Wake-up в енергоефективних пристроях вимірювання магнітного поля на холлівських сенсорах [4, 5] та їх базові структурно-алгоритмічні рішення.

Основою розробленого нами холлівського сенсорного пристрою є мікропроцесор з вбудованим ТІС таймером, що забезпечує Wake-up-перехід з енергоекономного режиму в робочий режим, причому в енергоекономному режимі переважна більшість вузлів мікроконтролера вимкнено. З врахуванням високого ступеню інтеграції вузлів та точності сигнального аналого-цифрового перетворення використано мікроконвертер ADuC841.

Структурну схему дослідного зразку розробленого сигнального перетворювача холлівського сенсорного пристрою та його фотографію наведено на рис. 1. Схема забезпечує стабілізацію струму живлення холлівського сенсора та диференціальне підсилення його вихідної напруги. Основою елементної бази аналогового тракту є високопрецизійні мікропотужні Rail-to-Rail операційні підсилювачі типу AD8554. Особливістю схеми є її висока завадостійкість, можливість керування режимами роботи сигнального перетворювача, узгодженість з мікроконтролерами (зокрема, мікроконвертерами типу ADuC841, Analog Devices) та однополярне низьковольтне живлення (від 3 до 5 В).

Висока завадостійкість вимірювання забезпечується заглушенням електромагнітної завади і проводиться різницевим методом – в кожному з послідовних тактів струм живлення холлівського сенсора перемикається на протилежний. Позитивний ефект забезпечується тим, що зі зміною напрямку струму холлівського сенсора корисний сигнал відповідно змінює знак, а електромагнітна завада за-

лишається незмінною (за умови, що за час двотактного вимірювання зміна миттєвого значення електромагнітної завади є незначною).

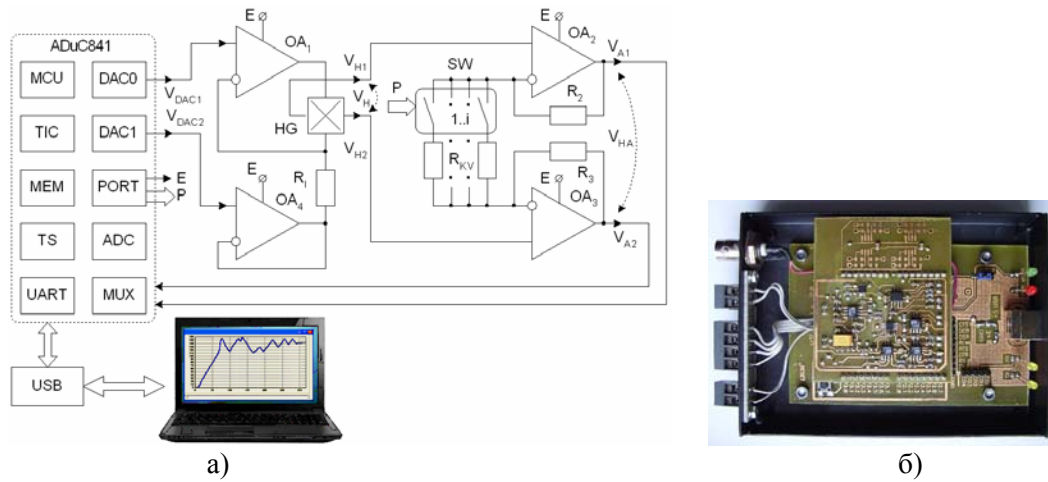


Рис. 1. Структурна схема (а) та фотографія (б) плати сигнального перетворювача

Керування струмом живлення холлівського сенсора HG здійснюється опорними напругами V_{DAC1} , V_{DAC2} , що формуються цифро-аналоговими перетворювачами мікроконвертера. Холлівський сенсор ввімкнено в коло від'ємного зворотного зв'язку операційного підсилювача OA_1 , на вхід якого подається опорна напруга V_{DAC1} . Операційний підсилювач OA_4 виконує функцію повторювача опорної напруги V_{DAC2} . Струм живлення холлівського сенсора визначається відношенням

$$I_H = \frac{V_{DAC1} - V_{DAC2}}{R_I}$$

Відзначимо, що керування схемою за допомогою двох цифро-аналогових перетворювачів не обумовлює структурного ускладнення схеми, адже більшість із мікроконвертерів серії ADuC мають два вбудовані цифро-аналогові перетворювачі з незалежним програмним керуванням ними. Оскільки навантажувальна здатність вбудованих в мікроконвертери цифро-аналогових перетворювачів є обмеженою (їхній вихідний струм не повинен перевищувати 1 мА), у схему введено допоміжний операційний підсилювач (за схемою – OA_4), що забезпечує оптимальний струм живлення холлівського сенсора (типово 5...20 мА).

Напруга однополярного живлення схеми становить V_E . Значення напруги V_{DAC1} в обох тактах визначається оптимальним значенням синфазної складової сигналу. Значення напруги V_{DAC2} в першому такті вибирається мінімально можливим, а в другому такті – максимально можливим з точки зору гарантованого діапазону вихідних напруг цифро-аналогового перетворювача та нормального функціонування операційного підсилювача OA_4 . У першому наближенні $V_{DAC2} = 0$ в першому та $V_{DAC2} = V_E$ – у другому тактах вимірювання сигналу.

Підсилення вихідних напруг холлівського сенсора V_{H1} , V_{H2} здійснюється диференціальним підсилювачем на OA_2 , OA_3 та резисторах кола від'ємного зворотного зв'язку R_2 , R_3 , R_{KV} . Перемикання матриці резисторів R_{KV} , що здійснюється логічними сигналами цифрового порту P мікроконвертера та аналоговим комутатором SW (зокрема, типу ADG704), необхідне з точки зору динамічної адаптації коефіцієнта підсилення схеми відповідно до рівня вхідного сигналу.

Основними вузлами мікроконвертера, які використовуються в сенсорному пристрої, є такі: ADC — 12-бітний аналого-цифровий перетворювач; MUX — аналоговий мультиплексор вхідних сигналів ADC; MCU — ядро мікроконтролера; TIC — таймер переходу з енергоекономного режиму очікування в робочий режим вимірювання; PORT — цифровий порт, виводи якого формують імпульси напруги живлення операційних підсилювачів та керують мультиплексором кола зворотного зв'язку диференціального підсилювача; DAC0, DAC1 — два цифро-аналогові перетворювачі; TS — вбудований сенсор температури, інформацію з якого використовують для компенсації температурного дрейфу сигнального перетворювача; MEM — пам'ять програми та даних вимірювання; UART — універсальний послідовний порт передавання даних. Зв'язок з персональним комп'ютером

здійснюється по послідовній UART-шині на основі USB-контролера FT232R компанії Future Technology Devices International.

В першому такті вимірювання перший цифро-аналоговий перетворювач (за специфікацією мікроконвертера ADuC841 — DAC0) встановлює напругу V_{DAC11} , а другий цифро-аналоговий перетворювач (за специфікацією — DAC1) напругу V_{DAC12} . Значення V_{DAC11} визначається мінімально допустимою напругою, що не виходить за лінійний діапазон роботи операційних підсилювачів (типово $V_{DAC11} \approx 0,1$ В). Типово, при напрузі живлення $V_E = 3$ В напруга V_{DAC12} знаходиться в межах 1,2...1,5 В і, аналогічно до опорної напруги V_{REF} , залежить від опору холлівського сенсора та його струму живлення.

Після встановлення вказаних напруг цифро-аналогових перетворювачів формується пауза, тривалість якої визначається швидкістю встановлення напруг на виходах диференціального підсилювача V_{A11} та V_{A12} (типово пауза встановлюється в межах від 0,2 до 1 мс в залежності від типу операційного підсилювача та коефіцієнту підсилення сигналу). Після завершення паузи проводиться аналого-цифрове перетворення напруг V_{A11} , V_{A12} та їх запис у двійковому форматі D_{A1} , D_{A2} в реєстри даних пам'яті мікроконтролера. Типово, тривалість одного аналого-цифрового перетворення з використанням мікроконвертера ADuC841 не перевищує 0,01 мс, а тому, у порівнянні з часом наростання сигналу підсилювача, цією складовою часу перетворення можна знехтувати. На цьому завершується перший такт вимірювання.

Другий такт є аналогічним першому, за винятком значення напруг цифро-аналогових перетворювачів: DAC0 формує напругу V_{21} , а DAC1 — напругу V_{22} . Значення V_{21} визначається максимально допустимою напругою, що не виходить за лінійний діапазон роботи операційних підсилювачів (типово $V_{21} \approx 2,9$ В при $V_E = 3$ В). Натомість, значення V_{22} визначається виразом $V_{22} = V_{21} - V_{REF}$. Результатом другого такту є напруги V_{A21} , V_{A22} у двійковому форматі — D_{A21} , D_{A22} .

Таким чином абсолютне значення струму живлення холлівського сенсора в обох тактах залишається незмінним, а його напрям змінюється на протилежний. За результатами різницевого двотактного вимірювання розраховується корисний сигнал у вигляді різниці: $D_S = (D_{A11} - D_{A12}) - (D_{A21} - D_{A22})$.

В результаті такого вимірювання паразитна складова сигналу, здебільшого — електромагнітна завада, що не корелює зі струмом живлення холлівського сенсора і не змінює свого знаку, компенсується, а корисна холлівська складова, що при зміні напрямку струму холлівського сенсора змінює свій знак, подвоюється.

Керування аналого-цифровим перетворювачем здійснюється через реєстри ADCCON1, ADCCON2 та ADCCON3. Перший — ADCCON1 встановлює, зокрема, біт переривання, режим перетворення та канал вхідного сигналу. Так, біт SCONV (Single Conversion Bit) керує процесом одинарних перетворень.

Для аналізу енергоефективності пристрою використано коефіцієнт

$$K_P = P_{DC} / P_{AV},$$

де $P_{DC} = V_E(I_{TR} + I_H)$ — потужність споживання при постійному струмі живлення;

$P_{AV} = \frac{V_E}{T} [(I_{TR} + I_H)K_N t_M + I_S(T - K_N t_M)]$ — усереднене за період вимірювання значення потужності споживання при імпульсному Wake-up режимі роботи сенсорного пристрою; V_E — напруга живлення; T — період вимірювання; K_N — коефіцієнт, який чисельно рівний кількості тактів сигнального перетворення для отримання одного результату вимірювання; I_{TR} — струм живлення сигнального перетворювача в імпульсах вимірювання; I_H — модуль струму живлення холлівського сенсора в імпульсах вимірювання; I_S — струм живлення пристрою в такті сну; t_M — тривалість тактів вимірювання.

Розрахунок проведемо для варіанту з струмом живлення холлівського сенсора $I_H = 10$ мА. Приблизно таким же є і струм живлення сигнального перетворювача в цілому (мікроконвертера ADuC841 та зчетверених операційних підсилювачів AD8554) — $I_{TR} = 10$ мА. При вказаних параметрах та напрузі живлення $V_E = 3$ В потужність споживання пристрою в неперервному режимі функціонування P_{DC} та в імпульсі вимірювання тривалістю t_M становить $V_E(I_{TR} + I_H) = 60$ мВт.

Під час тактів сну кола живлення сигнального перетворювача та холлівського сенсора відмикаються, а струм споживання пристрою в цілому визначається струмом живлення мікроконвертера в режимі Power-Down Mode $I_S = 15$ мкА. В таблиці наведено числові дані коефіцієнту підвищення ефективності енергоспоживання K_P для тривалості тактів вимірювання $t_M = 0,5$ мс, значення якої обумов-

лено мінімально допустимим часом встановлення сигналу на виході сигнального підсилювача та часом виходу мікроконвертера ADuC841з такту сну (режиму Power-Down Mode).

Коефіцієнт підвищення ефективності енергоспоживання K_p

Режим вимірювання	$T = 0,01$ с	$T = 0,1$ с	$T = 1$ с
Однотактний	19,7	174,0	800,2
Двотактний	9,9	93,1	571,7

Приклади експериментальних досліджень відтворюваності сигналу (результати різницевих вимірювань D_S) в двотактному режимі роботи наведено на рис. 2.

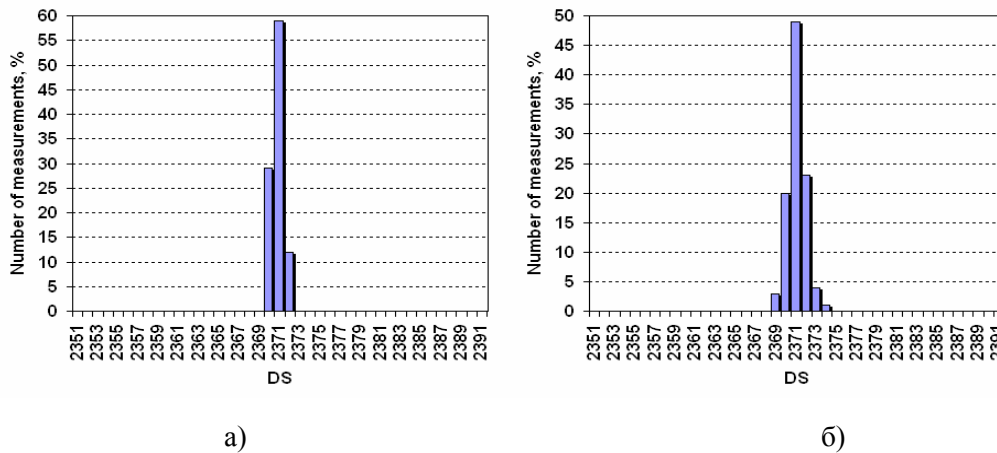


Рис. 2. Гістограми результатів експериментальних досліджень відтворюваності сигналу в двотактному режимі роботи без завади (а) та з електромагнітною завадою (б)

Таким чином, розкрито структурні та алгоритмічні рішення енергоефективного завадостійкого холлівського сенсорного пристрою з імпульсним режимом роботи Wake-up. По відношенню до неперервного режиму роботи останній, в залежності від періоду вимірювання, забезпечує зменшення енергоспоживання в десятки і сотні разів. Невідтворюваність вимірювань, навіть при значній електромагнітній заваді, не перевищує декількох квантів 12-бітного аналого-цифрового перетворювача.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Schmalzel J. L., Rauth D. A. Sensors and signal conditioning // Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE.— 2005. — Vol. 8. N 2.— P. 48—53.
2. Fan J., Li X., Qian X. Pulse excitation approach for low power orthogonal fluxgate sensor // IEEE International Magnetism Conference INTERMAG 2006.— 2006.— P. 877.
3. Lei Xu, Tie Li, Xiuli Gao et al. Behaviour of a catalytic combustion methane gas sensor working on pulse mode // Sensors-2010 IEEE Conference.— P. 391—394.
4. Popovic R. S. Hall effect devices.— Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 2002.
5. Большакова І. А., Гладун М. Р., Голяка Р. Л. та ін. Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля.— Львів: Вид. Національного університету «Львівська політехніка», 2001.

Z. Yu. Hotra, R. L. Holyaka, V. Yu. Ilkanych, T. A. Marusenkova, O. V. Boyko

Structural and algorithmic solutions of noise-immune Hall sensor devices on wake-up mode.

Structural and algorithmic solutions of noise-immune energy efficient Hall sensor for magnetic field measurement device are described. The device is based on wake-up mode with periodic pulse measurement. The signal transducer uses ADuC841 microconverter with 12-bit analog-to-digit converter and AD8554.

Keywords: Hall sensor, signal transducer, noise-immunity, energy-efficiency.