

УДК 621.383.5: 621.376.54: 681.5.08

В.С. Мосійчук, О.Б. Шарпан, д-р техн. наук

Підвищення точності цифрового первинного перетворення, заснованого на визначенні тривалостей релаксаційних процесів

Предложено способ устранения чувствительности к нестабильности напряжения питания цифрового первичного преобразования основанного на измерении временных параметров релаксационных процессов, получаемых при накоплении энергии первичного биосигнала.

Method of elimination of instability sensitivity of a supply voltage of digital primary transformation on the basis measurement of temporary parameters of the relaxation processes gained at energy storage of a primary biosignal are proposed.

Вступ

В роботах [1-3] розглядалися особливості створення та функціонування цифрового фотоплетизмографічного (оптоелектронного) сенсора на основі накопичення енергії первинного сигналу. Суттю цифрового первинного перетворення є періодичне непряме вимірювання інтенсивності світла зворотнорозсіяним напівпровідниковим переходом фото- або світлодіода шляхом визначення залежних від інтенсивності світла часових параметрів релаксаційних процесів. При цьому частота ініціалізації релаксаційних процесів визначає частоту дискретизації первинного сигналу. Визначення сталих часу релаксаційних процесів виконується цифровим таймером в діапазоні напруг від напруги живлення до напруги порогу між станами логічних нуля і одиниці [2]. Для вимірювання використовується фото- або світлодіод, приєднаний напряму до двонаправлених портів вводу/виводу (ПВВ) мікроконтролера (мікропроцесора або ПЛІС) [3].

Привабливість такої реєстрації первинного сигналу полягає в тому, що перетворення у цифровий код відбувається одночасно з первинним перетворенням фізичної величини без попереднього підсилення та інших аналогових операцій над сигналом. Це досягається завдяки узгодженню усіх сигналів між собою в самому сенсорі. Внаслідок цього стає можливим перерозподіл функцій в системі реєстрації біосигналів на користь її сенсорної частини і створення на цій основі так званої «цифрової сенсорної платформи». Проте внаслідок наявності на сенсорній платформі швидкодіючого цифрового елемента (процесора) збільшується вплив імпу-

льських завад на точність вимірювання. У [1] встановлено, що одною з основних причин неточності реєстрації сигналів цифровою сенсорною платформою є нестабільність рівня порогу, яка в свою чергу жорстко залежить від нестабільності напруги живлення та завад. Ситуацію погіршує і той факт, що корисна компонента реєстрованого сигналу складає лише (0.1-3) %. Як наслідок, відношення сигнал-завада є низьким, а до сенсора виставляються жорсткі вимоги до стабільності його живлення.

Метою статті є розгляд можливості зменшення впливу нестабільності порогу логічних рівнів на точність цифрового перетворення сигналів, заснованого на вимірюванні параметрів релаксаційних процесів накопичення енергії сигналів.

Способи зменшення чутливості вимірювань до нестабільності напруги живлення сенсорної платформи

У відомих застосуваннях цифрового первинного перетворення, заснованого на вимірюванні параметрів релаксаційних процесів накопичення енергії сигналів, проблема щодо точності вимірювання вирішується за допомогою статистичної обробки результатів багаторазових вимірювань, наприклад, у сенсорах для хімічних досліджень [4]. У випадку ж реєстрації біосигналів кожен сеанс вимірювання формує свою вибірку дискретизації. При цьому нестабільність рівня порогу через наявність завад та нестабільного живлення призводить до появи завад у цифровому коді зареєстрованого первинного сигналу.

З літературних джерел відомо декілька підходів щодо вирішення задачі зменшення впливу нестабільності порогу логічних рівнів. В основі цих підходів покладено наступні ідеї.

Середньоарифметичне усереднення двох вибірок, в котрих складова сигналу є корельованою, а похибка вимірювання через статистичні властивості шуму (флікер шум, $1/f$) не є такою. Такий метод боротьби з завадами знайшов впровадження в фото та телевізійній апаратурі, зокрема відомий як *реєстрація подвійної (повторної) корельованої вибірки* [5, 6]. Для реалізації описаного методу на цифровій сенсорній платформі необхідно подвоїти частоту дискретизації. Але при цьому, як показано в [1], вна-

слідок зменшення часу накопичення світлової енергії знизиться роздільна здатність та зменшиться відношення сигнал шум.

Вимірювання відносно плаваючого рівня порогу. Ідея цього підходу полягає в тому, щоб при вимірюванні сталої часу релаксаційного процесу позбутися залежності рівня порогу від напруги живлення. Відомі два варіанти реалізації даного підходу [7, 8]. При цьому ініціалізація релаксаційних процесів проходить в два етапи. Спочатку задається або знаходиться рівень порогу; далі, залежно від способу релаксації (чи накопичення) заряду, потенціал зміщується на задане значення ΔU , з якого і запускається релаксаційний процес. При цьому відносна зміна потенціалу залишається незалежною від нестабільності рівня порогу.

Слід зазначити, що реалізація розглянутих способів на сенсорній платформі потребує підключення до вимірювального ПВВ додаткових елементів, наприклад, подільника напруги та діоду [7]. Внаслідок чого збільшується компонента шуму в сигналі, що наводиться електромагнітним полем через ПВВ, який знаходиться під час визначення сталої часу релаксаційного процесу у стані Hi-Z (вхідний опір складає приблизно 10^{15} Ом). Отже у разі реалізації розглянутих способів неминуче доведеться ще приймати конструктивні заходи щодо зменшення додаткових наведень завад. Натомість пропонується нова реалізація способу диференційного вимірювання, яка не передбачає додаткових підключень до вимірювального ПВВ.

Стосовно до цифрового первинного перетворення на основі накопичення енергії реалізація способу диференційного вимірювання передбачає наявність двох каналів вимірювання (рис. 1). Дисперсія бар'єрної ємності та площ світлової чутливості призводять до варіації постійних часу релаксаційного процесу для різних фото або світлодіодів. Тобто в загальному

випадку швидкість релаксаційних процесів $\Delta U/\Delta t$ у різних каналах буде різною навіть при незмінній освітленості. Для калібрування необхідно виконати компенсацію розкиду параметрів двох каналів сенсорної платформи. Технічно найпростіше цього досягти, використовуючи додатковий конденсатор паралельно з фотодіодом (рис. 2). При цьому ідентичність сталої часу релаксаційних процесів у різних каналах забезпечується шляхом підбору ємностей конденсаторів C_1 і C_2 .

Завада, що проявляється через варіацію рівня порогу, проявляє себе однаково при різних видах релаксаційного процесу, як на зростання потенціалу, так і на його спад (рис. 1а). При цьому тривалість релаксаційних процесів змінюється пропорційно заваді, але в різних напрямках. Наприклад, при позитивній флуктуації час наростання потенціалу збільшиться, а час спаду зменшиться (рис. 1б). При умові, що часові характеристики є відкаліброваними, можна досягти компенсації завади.

Якщо внаслідок розкиду параметрів фотодіодів VD1 і VD2 їх фотоструми відрізняються у α разів (7):

$$\alpha = I_{VD1}/I_{VD2} \quad (7)$$

то співвідношення часу накопичення заряду в ємностях C_1 і C_2 буде наступним:

$$\alpha t_1/C_1 = t_2/C_2 \quad (8)$$

Для того, щоб отримати умову $t_1 = t_2$, ємності C_1 і C_2 мають співвідноситись як $\frac{\alpha}{C_1} = \frac{1}{C_2}$ або

$C_1 = \alpha C_2$. В цьому випадку при одній і тій же самій кількості світла, що потрапляє на фотодіоди VD1 і VD2, отримуються однакові тривалості релаксаційних процесів. Слід також враховувати, що дане співвідношення справедливе при значеннях ємностей C_1 і C_2 набагато більших за значення внутрішньої бар'єрної ємності напівпровідникового переходу.

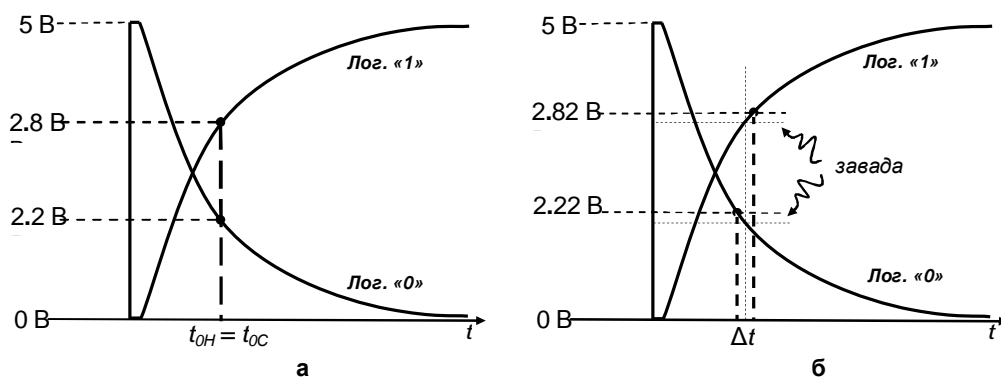


Рис. 1. Диференційне вимірювання: а) тривалість релаксаційних процесів на зростання і на спад потенціалу двох відкаліброваних каналів вимірювання; б) формування похибки Δt при дії завади у різних каналах вимірювання

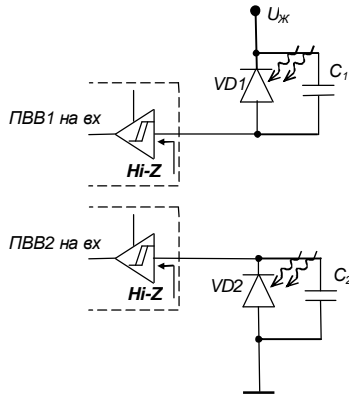


Рис. 2. Реалізація диференційного вимірювання

Результати експериментальних досліджень

Для перевірки приведених способів було проведено випробування стосовно визначення ступеня їх ефективності щодо можливості зменшення похибок вимірювання та компенсації завад. Для цього використано метод гістограм, що знайшов поширення при визначенні показників АЦП [9].

На рис. 3а і 3б приведено гістограми розподілу для двох каналів, що реалізують диференційне вимірювання на спад і на зростання потенціалу. Проводилась реєстрація декількох тисяч вибірок з частотою дискретизації 100 Гц при умовно незмінному сигналі на вході. Як видно з рис. 3, розподіл вибірок внаслідок варіації ізоляції не є нормальним, проте має інверсний характер у обох каналах. При використанні процедури калібрування вдається майже повністю компенсувати компоненту шуму, результат чого показано на рис. 3в.

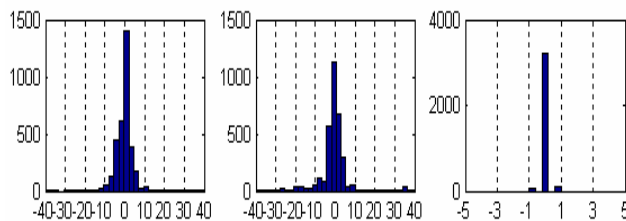


Рис. 3. Гістограми розподілу при диференційному вимірюванні

Висновки

Серед розглянутих способів підвищення точності цифрового первинного перетворення способи у яких необхідним є приєднання до вимірювального порту вводу/виводу додаткових радіоелементів та електричних кіл для цифрової сенсорної платформи не є ефективними. Нова реалізація способу диференційного вимірювання стосовно до способу прямого цифрового перетворення сигналу, заснованого на накопиченні енергії, незважаючи на необхідність у двох

каналах реєстрації та процедури калібрування, забезпечує нечутливість перетворення до нестабільності живлення та не призводить до збільшення шуму.

Подальше вдосконалення цифрового первинного перетворення вимагає реалізації рішень, щодо локалізації внутрішніх джерел імпульсних завад на цифровій сенсорній платформі.

Література

1. Мосійчук В. С. Модель цифрового оптоелектронного сенсора // Електроніка і зв'язь. – 2009. – №2–3. – С. 45–49.
2. Мосійчук В. С., Шарпан О. Б. Методи непрямого вимірювання біосигналів та фізичних величин на підставі релаксаційних процесів // Теоретична електротехніка. – 2009. – Вип. 60. – С. 132–138.
3. Мосійчук В. С., Шарпан О. Б. Експериментальне дослідження характеристик цифрового фотоплетизмографічного сенсора // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2008. – № 36. – С. 119–122.
4. Lau K.T., Baldwin S., Shepheld R.L., Dietz P.H., Yezunis W. S., Diamont D. Novel fused-LEDs devices as optical sensors for colorimetric analysis / K. T. Lau [and al.] // Talanta. – 2004. – Vol. 63, № 6 – P. 167–173.
5. Tian H., Fowler B., Gamal A. E. Analysis of Temporal Noise in CMOS Photodiode Active Pixel Sensor // IEEE journal of solid-state circuits. – 2001. – Vol. 36, № 1 – P. 92-101.
6. Yadid-Pecht O., Fossum E. R. Wide Intra-scene Dynamic Range CMOS APS Using Dual Sampling // IEEE transactions on electron devices. – 1997. – Vol. 44, № 10 – P. 1721-1723.
7. Pat. 5192968 USA, Int. Cl.⁵ G 03 B 7/08; G 01 J 1/46; H 01 J 40/14. Photometer / Kishida K. et al.; Olympus Optical Co. Ltd. – № 07/790478 ; filed 12.11.91 ; date of patent 09.03.93. – 15 p.
8. Pat. 6870148 USA, Int. Cl.⁷ G 01 J 1/32. LED with controlled capacitive discharge for photo sensing / Dietz P. H., Yezunis W. S., Midgal J. N. ; Mitsubishi Electric Research Laboratories Inc. – № 10/453097 ; filed 25.03.2004 ; date of patent 22.03.2005. – 16 p.
9. Ruscak S., Singe L. Using Histogram Techniques to Measure A/D Converter Noise / www.analog.com