

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОПТИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ЦИФРОВОГО ПОРТАТИВНОГО СПРОМЕТРУ

В. В. КУЛІЧЕНКО*, Р. С. ТОМАШЕВСЬКИЙ, В. О. МАКАРОВ

Кафедра промислової і біомедичної електроніки, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА
*e-mail: kulichenko.viacheslav@gmail.com

АНОТАЦІЯ В статті розглянуті питання зниження енергоспоживання оптичного вимірювального каналу турбінного перетворювача потоку у цифровому портативному спірометрі. Для цього у роботі проаналізовано функціонування турбінного спірометра та виявлено блоки з найбільшим енергоспоживанням. У роботі запропоновано та реалізовано нову функціональну схему оптичного перетворювача на основі цифрового портативного спірометра ЦПС-14/1. Проведено дослідження регульованої характеристики оптичного вимірювального каналу та її залежності від зовнішніх завад, таких як зміна освітлення приміщення і виникнення конденсату на поверхні турбіни під час видиху.

Ключові слова: оптичний тахометр, спірометр, енергетичні показники, портативний прилад, зовнішнє освітлення, турбінний перетворювач потоку

IMPROVING ENERGY CHARACTERISTICS OF OPTICAL MEASUREMENT CHANNEL OF THE DIGITAL PORTABLE SPIROMETER

V. KULICHENKO, R. TOMASHEVSKYI, V. MAKAROV

Dept. "Industrial and Biomedical Electronics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT *The purpose of the paper:* reducing the power consumption of the optical measuring channel and the quantify of its impacting on the parameters of turbine flow transducer spirometer are considered. In the work the studying of channel transmission characteristics and its dependence on the most common external factors were carried out. **The methods:** the paper proposed and implemented a new functional scheme of optical transducer based on digital portable spirometer DSP-14/1. The research adjusting optical characteristics of measuring channel and its dependence on external interferences such as changing light room and the appearance of condensation on the surface of the turbine during exhalation is carried out. **The results:** the main consumer of energy in the digital portable spirometer serves a turbine flow transducer. The dependence of LED power of the control signal has a parabolic character. The saturation of parameters of pulse sequence and moment of extinction pulses reach earlier with increasing ambient light intensity. The investigation of condensate impact in three points on the operating range of the control system was conducted. The slight change of level of additional constant component, which over time increases its value, was discovered. **The conclusions:** The research of transfer characteristic of optical channel performance revealed areas where power consumption of optical channel is significantly reduced. The results can be used to develop control algorithm of automatic optical measuring channel, reduce the power consumption of portable spirometer and increase operation time.

Keywords: optical tachometer, spirometer, energy efficiency, portable device, external lighting, turbine flow transducer

Вступ

Світовий досвід та рекомендації провідних установ з охорони здоров'я зазначають, що періодична діагностика органів дихання дозволяє своєчасно виявити порушення функції зовнішнього дихання (ФЗД), які часто призводять до незворотних патологічних змін і різного роду захворювань. [1, 2]. Саме тому впровадження в медичну практику таких скринінгових методів діагностики, як спірометрія є надзвичайно актуальним, особливо в умовах України. Для вирішення цього завдання необхідно забезпечення лікувально-профілактичних закладів сучасними, недорогими технічними засобами діагностики. Також слід відзначити, що затрати на підтримання спірометра в робочому стані перекладаються на споживача і формують вартість медичних послуг.

Спірометрія є найбільш ефективним методом оцінки ФВД із розрахунку ресурси/діагностична цінність. Суть методу полягає в вимірюванні об'ємної швидкості повітряного потоку і визначенні об'ємів повітря на різних етапах виконання дихального тесту пацієнтом [3-6]. Результат спірометричного обстеження являє собою набір наступних даних: карточка пацієнта, залежність об'ємної швидкості потоку Q від поточного часу t . На основі цих даних може бути сформований висновок обстеження, який включає в себе:

- графічні залежності $Q(t)$, $V(t)$, $Q(V)$;
- числові значення так званих «показників ФЗД», що являють собою характерні точки у вищезазначених залежностях;
- рівень відхилення цих показників від умовної норми.

В Україні у якості такої норми використовуються системи середньостатистичних величин Р.Ф. Клемента и Knudson.

Для використання цього методу задля скрінингових досліджень населення спірометрична апаратура, чи спірометри, повинні володіти сукупністю відповідних характеристик: портативність, автономність, конкурентна ціна. Відповідність цим вимогам може бути забезпечена за рахунок:

- використання тахометричного методу вимірювання об'ємної швидкості повітря [7];
- використання в якості елементів живлення акумуляторних батарей виготовлених за сучасними технологіями (*Li-Ion*, *Li-Po* та подібні);
- побудови системи керування, обробки та відображення інформації на елементній базі з низьким рівнем енергоспоживання;
- виконання розрахунків, порівняльний аналіз та вивод графічної інформації за допомогою мобільних пристроїв (планшети, ноутбуки та ін);
- використання режимів зниженого енергоспоживання за рахунок селективної активації елементів необхідних для поточної роботи спірометра.

Тобто звуження функціональних завдань спірометра до реєстрації, попередньої обробки та передачі інформативного сигналу [8, 9]. Але зазначені вимоги не дозволяють зменшити енергоспоживання оптичного вимірювального каналу, що побудований на основі тахометричного методу.

Мета роботи

Розглянути можливість зниження енергоспоживання оптичного вимірювального каналу та кількісно оцінити його вплив на параметри турбінного перетворювача потоку спірометра. Для цього в роботі були проведені дослідження передатної характеристики каналу, та її залежність від найбільш типових зовнішніх факторів.

Визначення параметрів та конструктивних особливостей оптичних каналів

В лабораторії біомедичної електроніки був розроблений цифровий портативний спірометр ЦПС-14/1, що відповідає вищезазначеним вимогам, функціональна схема якого зображена на рис. 1.

Пацієнт виконує спірометричний тест шляхом повного видиху повітря з легень через вимірювальну турбіну (ВТ). Повітряний потік, що проходить крізь турбіну перетворюється в обертання пластини ротора. Для реєстрації обертання пластини використовуються два оптичних вимірювальних канали до складу якого входять інфрачервоні випромінювачі (ІЧВ) і фотоприймачі (ФП). В якості ІЧВ використовуються два світлодіодних випромінювачі з максимумом випромінювання на довжині хвилі $\lambda = 950$ нм.

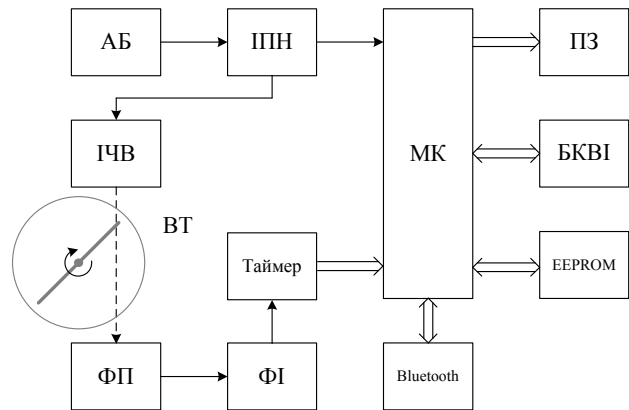


Рис. 1 – Функціональна схема спірометра ЦПС-14/1

Живлення світлодіодів здійснюється постійним струмом, що формує імпульсний перетворювач напруги. Фотоприймачі реалізовані на фототранзисторах які розташовані навпроти випромінювачів і перетворюють модульований світловий потік, що виникає при обертанні пластини, в імпульсну послідовність. Конструкція ТПП наведена на рис. 2, на якому 1 – ІЧВ, 2– ФП, 3 – корпус ВТ, 4 – пластина ротора.

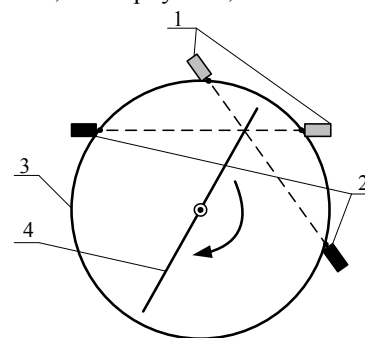


Рис. 2 – Конструкція турбінного перетворювача потоку, що реалізовано у спірометрі ЦПС-14/1

Потік повітря, що проходить у корпусі ВТ, призводить до обертання пластини ротора, з кутовою швидкістю пропорційною об'ємній швидкості потоку повітря. Під час обертання пластина ротора послідовно перекриває оптичні шляхи вимірювальних каналів, що утворені парами ІЧВ-ФП. Завдяки певному розташуванню цих пар відносно одна іншої, з'являється можливість отримувати інформацію про напрям обертання пластини ротора, тобто про напрям потоку повітря.

Обертання пластини у системі оптичних вимірювальних каналів призводить до періодичного переривання світлового променя, що викликає зміну вихідної напруги U_{VT} фотоприймача з частотою пропорційною кутовій швидкості пластини [10].

Вихідний сигнал має затягнуті фронти і спади, а також не постійну амплітуду, що визначається станом турбіни. Для корекції зазначених недоліків використовуються формувачі імпульсів (ФІ), які

забезпечують необхідну крутизну фронтів і спадів імпульсів з установленою амплітудою. Рівень опорного сигналу, відносно якого формуються імпульси і паузи, задається в середині амплітудного діапазону імпульсної послідовності і є незмінним.

Кожна імпульсна послідовність має інформативний параметр, що представлений у вигляді періоду слідування імпульсів. Для розрахунку параметрів ФЗД імпульсні послідовності надходять на таймер, за допомогою якого визначаються період слідування імпульсів та фазовий зсув між ними для визначення напрямку обертання ротору турбіни. Отримані дані надходять до мікроконтролера (МК) який забезпечує розрахунок параметрів ФЗД.

Результати тестування та дані про пацієнта зберігаються в постійному запам'ятовувальному пристрої (EEPROM) і можуть бути переглянуті з часом. Для організації зв'язку з персональним комп'ютером у спірометрі використовується технологія бездротового зв'язку *Bluetooth*.

Для візуалізації і керування роботою спірометра використовується блок контролю і відображення інформації (БКВІ). Інформація виводиться на символний рідинно-кристалічний індикатор, що має дві строки по 16 символів в кожній. Керування здійснюється за допомогою чотирьох кнопок, поточні функції яких відображаються на індикаторі.

Живлення спірометра здійснюється від двох акумуляторних батарей (АБ) з сумарною напругою не менш 2,4 В. Забезпечення необхідного рівня напруги для роботи всіх елементів схеми здійснюється шляхом використання імпульсного перетворювача напруги.

Слід зазначити, що серед всіх блоків схеми можна виділити елементи цифрової техніки, які при сучасних технологіях виготовлення можуть зберігати працездатність відносно в широкому діапазоні напруги живлення (при номінальній напрузі 3,3 В діапазон гарантованої роботи складає 1,6-3,6 В) та аналогові елементи ІЧВ, ФП і ФІ, вихідні параметри яких сильно залежать від рівня напруги живлення. Окрім того сучасні цифрові елементи мають низьке енергоспоживання, особливо ті що призначені для використання в портативній техніці. В свою чергу елементи оптичних вимірювальних каналів потребують істотних енергетичних затрат для забезпечення стабільної роботи та виключення впливу на їх параметри зовнішніх факторів.

Таким чином в цифровому портативному спірометрі основним джерелом енергоспоживання виступає турбінний перетворювач потоку, а саме оптичні вимірювальні канали, а отже вони і визначають час роботи приладу від одного комплексу гальванічних елементів.

Забезпечення гарантованої реєстрації сигналів потребує встановлення певного рівня інтенсивності випромінювання світловипромінюючих діодів та чутливості фотоприймачів. На сам перед значення

цих параметрів визначається на підставі особливостей розташування оптичних пар одна відносно іншої [11], матеріалу з якого виконана конструкція турбінного перетворювача потоку та використаної елементної бази. Окрім того значний вплив на роботу ТПП здійснюють зовнішнє освітлення та виникнення конденсату на поверхні турбіни під час видиху.

В першому випадку інтенсивність випромінювання, що надходить до фотоприймача являє собою суму від світловипромінюючих діодів і зовнішнього освітлення. Випромінювання з кожного джерела поділяється на дві складові, те що модулюється пластиною ротора, при його обертанні і те що не модулюється, а надходить до фотоприймача через стінки ТПП з урахуванням законів заломлення світла. Слід зазначити, що у випромінюванні яке надходить від світловипромінюючих діодів переважає модульована складова, а з зовнішнього середовища – немодульована. А от же, для забезпечення роботи ТПП слід виконати умову при якій інтенсивність модульованого випромінювання від світловипромінюючих діодів повинна бути більшою ніж від зовнішнього освітлення.

В другому випадку при проходженні випромінювання через ТПП виникають додаткові поверхні, що створюють для заломлення світла, які приводять до збільшення немодульованої складової. Для виключення цього явища необхідно одночасно збільшувати інтенсивність випромінювання від світловипромінюючих діодів і зменшувати чутливість фотоприймача.

Таким чином, для забезпечення гарантованої реєстрації сигналів з ТПП необхідні енергетичні затрати, на створення необхідного рівня інтенсивності випромінювання світлодіодами, значно більші ніж ті, що потребують всі інші елементи приладу. Значення параметрів інтенсивності випромінювання світлодіодів і чутливості фотоприймачів встановлюються на етапі збирання вимірювального приладу під час проведення налагоджування і калібрування й остається незмінним на протязі експлуатації.

Споживання потужності світлодіодами при подачі постійного сигналу керування буде розраховуватися за виразом $P = U_{VD} \cdot I_{VD}$, де I_{VD} – значення сили струму, що протікає через світлодіод при прикладені на нього напруги U_{VD} . Сила струму визначається на підставі вольт-амперних характеристик (ВАХ), які приводять в технічних даних, на кожне окреме найменування світлодіоду. Слід також зазначити, що ВАХ в діапазоні генерації випромінювання має характер, близький до лінійного, а отже можна описати цю залежність рівнянням прямої з коефіцієнтами k і b . Результуюче рівняння для розрахунку споживаної потужності буде мати вигляд:

$$P = k \cdot U_{VD}^2 + b \cdot U_{VD}. \quad (1)$$

Така залежність споживаної потужності від

сигналу керування світлодіодами має квадратичну залежність, а отже навіть незначне зменшення сигналу керування U_{VD} призведе до значної економії заряду акумуляторної батареї і, як в наслідок, подовжить час роботи портативного спірометра.

Регулювання енергоспоживання оптичного каналу. Дослідження передатної характеристики.

Зниження енергоспоживання можна досягти використовуючи систему з можливістю регулювання інтенсивності випромінювання світлодіодів та формувачем імпульсів зі змінним опорним сигналом (рис. 3). Таке технічне рішення дозволяє здійснювати регулювання параметрів керування оптичним каналом під час проведення тесту. Для визначення значення параметрів керування додатково вводиться зворотній зв'язок за сигналом який реєструється безпосередньо з виходу фотоприймача. Узгодження цифрової і аналогової частин схеми здійснюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) і аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

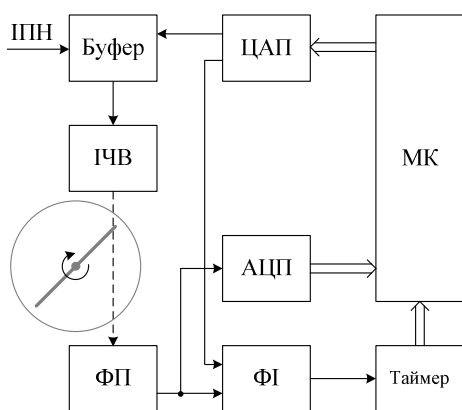


Рис. 3 – Система з можливістю регулювання параметрів керування оптичним каналом

Додаткові елементи в запропонованій схемі є досить поширеними в сучасних мікроконтролерах як інтегровані периферійні компоненти, тому разом з низьким енергоспоживанням мікросхеми не вносять додаткового споживання потужності від елементів живлення. До таких елементів слід віднести, АЦП, ЦАП, компаратор, що виконує функцію формувача імпульсів.

Діапазони зміни сигналів керування і контролю визначаються елементною базою, що використовується при побудові ТПП, а отже на самперед необхідно визначити їх взаємозалежність дослідивши вплив сигналу U_{VD} на виході ЦАП на сигнал U_{VT} на вході АЦП. Так як сигнал U_{VT} на виході фотоприймача являє собою деяку імпульсну послідовність (див. рис. 4), то найбільш доцільно слід визначати параметри амплітуди імпульсу U_{VT_OFF} та рівень додаткової постійної складової U_{VT_ON} , що зміщує сигнал відносно нульової позначки.

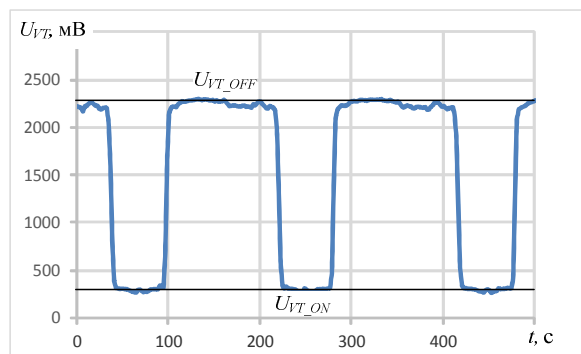


Рис. 4 – Часові діаграми напруги на виході фотоприймача

Значення напруги U_{VT_OFF} та U_{VT_ON} залежить від інтенсивності випромінювання ІЧВ, а тобто від напруги його живлення U_{VD} . Таким чином може бути реалізоване регулювання параметрів керування оптичним каналом з урахуванням необхідних значень вихідної напруги ФП (див. рис. 5). При цьому слід зазначити, що основним показником надійної роботи оптичного каналу буде різниця напруги U_{VT_OFF} та U_{VT_ON} .

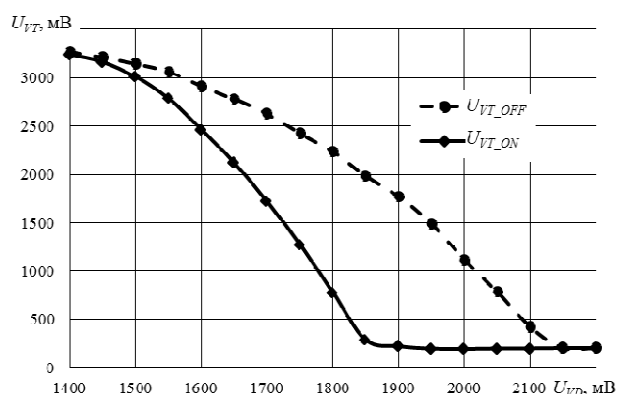


Рис. 5 – Регульовальна характеристика оптичного каналу

Проаналізувавши отримані результати можна виділити діапазон зміни значення сигналу керування U_{VD} світлодіодним випромінювачем, який знаходиться в діапазоні від 1500 до 2100 мВ. При значеннях U_{VD} менше 1500 мВ сигналу керування недостатньо для створення випромінювання, що міг би зареєструвати фотоприймач. І навпаки при значеннях U_{VD} більше 2100 мВ випромінювання, яке обходить пластину ротора стає значно більшим, ніж те, що модулюється нею. Значення сигналу системи керування, при якому досягається максимальна амплітуда вхідного сигналу для формувача імпульсів, знаходиться в точці $U_{VD} = 1850$ мВ. Після чого рівень додаткової постійної складової U_{VT_ON} не зменшується і залишається постійним із-за ефекту насичення фотоприймача. При встановленні значення системи керування рівним $U_{VD} = 2200$ мВ рівень напруги

імпульсу U_{VT_OFF} також досягає насичення і стає рівним U_{VT_ON} , а от же імпульсна послідовність повністю зникає і не може бути ідентифікована.

В запропонованій системі використовується той же ТПП, що і в базовій моделі, а от же йому притаманні ті ж самі характеристики й недоліки. Так виключення впливу зовнішнього освітлення забезпечувалося більш потужним випромінюванням світлодіодів. В системі з регульованими параметрами необхідно розуміти вплив зовнішнього освітлення на роботу ТПП при різних значеннях сигналів системи керування. На підставі отриманої регульовальної характеристики (рис. 5) обрано три точки $U_{VD} = 1600, 1850$ і 2000 мВ, що відповідають різним ділянкам робочого діапазону оптичного каналу. Отримані залежності вихідних рівнів фотоприймача в залежності від рівня освітлення наведені на рисунках 6-8.

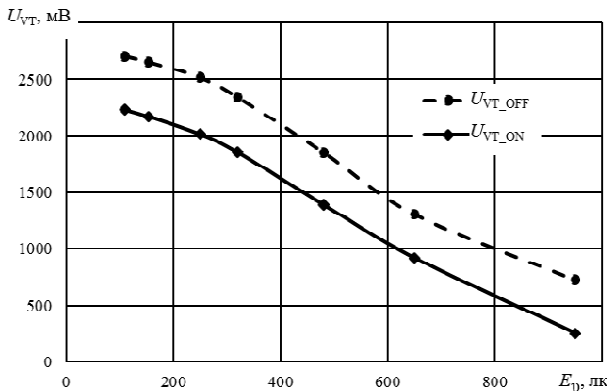


Рис. 6 – Залежність вихідної напруги від зовнішнього освітлення при $U_{VD} = 1600$

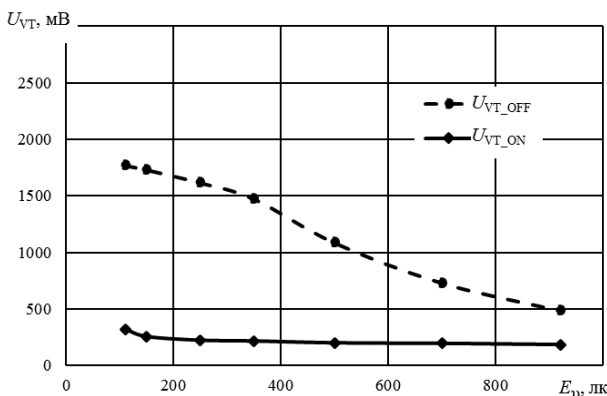


Рис. 7 – Залежність вихідної напруги від зовнішнього освітлення при $U_{VD} = 1850$

Діапазон освітлення від 100 до 1000 лк об'єднує всю повноту типів приміщення, які пов'язані з функціонуванням людини (вдома, в офісах, в медичних і навчальних закладах, та інших). Проаналізувавши отримані залежності можна зробити висновок, що зовнішнє освітлення однаково впливає на параметри імпульсної послідовності U_{VT_OFF} і U_{VT_ON} і не впливає на величину імпульсу модульованого випромінювання. Але ефект

насичення фотоприймача починає впливати на роботу ТПП вже при менших значеннях сигналу керування. Таким чином зі збільшенням інтенсивності зовнішнього освітлення раніше настає насичення параметрів імпульсної послідовності, а от же і момент повного зникнення імпульсів.

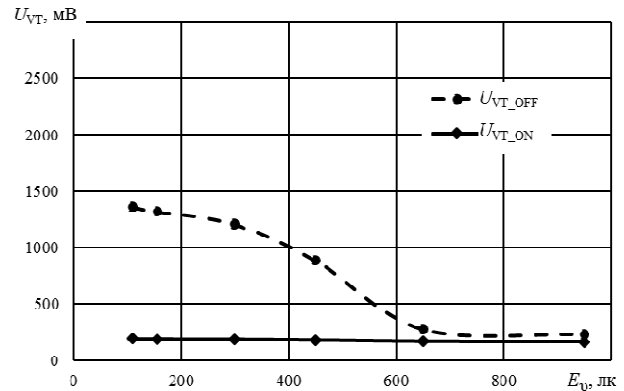


Рис. 8 – Залежність вихідної напруги від зовнішнього освітлення при $U_{VD} = 2000$

Визначення впливу конденсату, що утворюється під час проведення тесту, оцінювалося на підставі реєстрації сигналу з виходу фотоприймача при проведенні дихальних актів на протязі певного часу. При цьому на внутрішній поверхні турбінного датчика накопичується конденсат у вигляді краплинок мокроти який створює додаткове розсіяння випромінювання.

Дослідження впливу конденсату на трьох точках робочого діапазону параметрів системи керування ($U_{VD} = 1600, 1850$ і 2000 мВ) показали незначну зміну рівня додаткової постійної складової U_{VT_ON} , яка з часом збільшувала своє значення. Найбільш яскраво ці зміни видно при значенні $U_{VD} = 1850$ мВ (див. рис. 9).

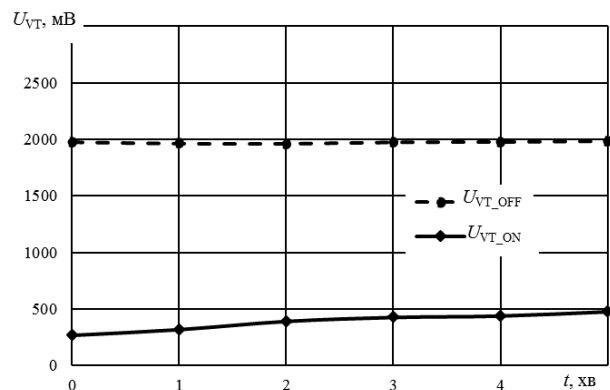


Рис. 9 – Вплив конденсату на вихідні характеристики фотоприймача

Збільшення рівня U_{VT_ON} пов'язане з одного боку з утворенням конденсату на ТПП зі сторони світловипромінюючого діода, а отже і ростом розсіяного (немодульованого) випромінювання, і з

іншого боку конденсат на стороні фотоприймача призводить до зменшення модульованого випромінювання на стороні фотоприймача.

Таким чином, для формування імпульсної послідовності з гарантованою реєстрацією сигналу ТПП і мінімальним енергоспоживанням необхідно встановлювати одночасно значення параметрів інтенсивності світловипромінюючого діода U_{VD} і опорного сигналу U_{OC} формувача імпульсів на підставі отриманого рівня зворотного зв'язку. Використання змінного опорного сигналу формувача імпульсів дозволяє зменшити амплітуду сформованої імпульсної послідовності, розрахувавши його за виразом:

$$U_{OC} = \frac{U_{VT_OFF} - U_{VT_ON}}{2} + U_{VD_ON} \cdot$$

Однак слід пам'ятати, що напруга живлення спірометра має пульсації, що виникають під час роботи імпульсного перетворювача напруги і цифрових елементів схеми. Такі пульсації можуть викликати випадкове формування імпульсів при малій різниці між напругами U_{VT_OFF} та U_{VT_ON} .

Для виключення їх впливу (з урахуванням подвійного запасу) слід розраховувати такі параметри керування U_{VD} при яких буде виконуватися рівняння:

$$U_{VT_OFF} - U_{OC} = U_{OC} - U_{VT_ON} \geq 2 \cdot k_p \cdot E,$$

де k_p – коефіцієнт пульсації напруги живлення;

E – напруга живлення на виході імпульсного перетворювача напруги.

Висновки

В роботі проаналізовано енергоспоживання окремих блоків спірометра ЦПС-14/1 з урахування можливості використання сучасної елементної бази. Основним джерелом енергоспоживання, яке потребує суттєвого конструкційного перегляду, є оптичний вимірювальний канал. Запропонована модернізація направлена на зниження енергоспоживання шляхом регулювання параметрами оптичного вимірювального каналу під час проведення діагностичного тесту. Проведені дослідження передатної характеристики оптичного каналу дозволили виявити робочі ділянки на яких енергоспоживання оптичного каналу значно зменшується. Додаткові дослідження впливу типових зовнішніх завод дозволили виявити їх кількісну оцінку зміни передатної характеристики та виявити діапазони регулювання параметрів оптичного вимірювального каналу. Отримані результати можуть бути використані при розробці автоматичного алгоритму керування оптичним вимірювальним каналом і як внаслідок для зниження енергоспоживання портативного спірометра та збільшення часу функціонування.

Список літератури

- 1 **Philip H. Quanjer** The ERS Global Lung Function Initiative / **Philip H. Quanjer, Sanja Stanojevic, Tim J. Cole, Xaver Baur, Graham L. Hall, Bruce H. Culver, Paul L. Enright, John L. Hankinson, Mary S.M. Ip, Jinping Zheng, Janet Stocks** // *European Respiratory Journal*. – 2012. – № 40. – P. 1324-1343. – doi: 10.1183/09031936.00080312.
- 2 **Philip H. Quanjer** Age- and height-based prediction bias in spirometry reference equations / **Philip H. Quanjer, Graham L. Hall, Sanja Stanojevic, Tim J. Cole, Janet Stocks** // *European Respiratory Journal*. – 2012. – № 40. – P. 190-197. – doi: 10.1183/09031936.00161011.
- 3 **Min J Joo** Determinants of Spirometry Use and Accuracy of COPD Diagnosis in Primary Care / **Min J Joo, David H Au, Marian L Fitzgibbon, Joanne McKell, Todd A Lee** // *Journal of General Internal Medicine*. – 2011. – № 26. – 1272 p.
- 4 **Сокол, Е. И.** Спирометрия. Ее техническое обеспечение. Проблемы и перспективы / **Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, Е. И. Король, Р. С. Томашевский** // «Технічна електродинаміка» Тематичний випуск. *Проблеми сучасної електротехніки*. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ. – 2008. – № 3. – С. 119-124.
- 5 **Degrise, J.** Accuracy of Office Spirometry Performed by Trained Primary-Care Physicians Using the MIR Spirobank Hand-Held Spirometer / **J. Degrise, J. Buffels, Van Dijk Y., M. Decramer, B. C. Nemery** // *Respiration*. – 2012. – № 83. – P. 543-552. – doi:10.1159/00033490.
- 6 **Kaufmann, M.** Measuring FEV(6) for detecting early airway obstruction in the primary care setting. Quality and utility of the new PiKo-6 device / **M. Kaufmann, S. Hartl, K. Geyer, M. Breyer, O. Burghuber** // *Respiration*. – 2009. – № 78. – P. 161-167. – doi: 10.1159/000197466.
- 7 **Сокол, Е. И.** Цифровой портативный спирометр с турбинным преобразователем воздушного потока / **Е. И. Сокол, А. В. Кипенский, Р. С. Томашевский, Е. И. Король** // *Технічна електродинаміка*. Тематичний вип. – Київ: ІЕД НАНУ. – 2011. – Ч. 2. – С. 299-304.
- 8 **Enright, P. L.** Office spirometers: the good, the bad, and the ugly / **P. L. Enright, M. Swanney, D. Burton, G. Liistro** // *The buyers' guide to respiratory care products*. – 2007. – P. 5-18.
- 9 **Agarwal, V.** Design and development of a low-cost spirometer with an embedded Web server / **V. Agarwal, S. Ramachandran** // *Int. J. Biomed. Eng. Technol.* – 2008. – vol. 1, no. 4. – P. 439-452. – doi: 10.1504/IJBET.2008.020072.
- 10 **Кипенский, А. В.** Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учебное пособие / **А. В. Кипенский** // Харьков: НТУ "ХПИ". – 2000. – 132 с.
- 11 **Томашевский, Р. С.** Улучшение технических показателей портативного спирометра с турбинным преобразователем потока / **Р. С. Томашевский** // *Прикладная радиоэлектроника*. – Харьков: Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – 2010. – Т.9 №4. – С. 569-574.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Philip H. Quanjer, Sanja Stanojevic, Tim J. Cole, Xaver Baur, Graham L. Hall, Bruce H. Culver, Paul L. Enright, John L. Hankinson, Mary S.M. Ip, Jinping Zheng, Janet Stocks** The ERS Global Lung Function

- Initiative. *European Respiratory Journal*, 2012, **40**, 1324-1343, doi: 10.1183/09031936.00080312.
- 2 **Philip H. Quanjer, Graham L. Hall, Sanja Stanojevic, Tim J. Cole, Janet Stocks** Age- and height-based prediction bias in spirometry reference equations. *European Respiratory Journal*, 2012, **40**, 190-197, doi: 10.1183/09031936.00161011.
- 3 **Min J Joo , David H Au, Marian L Fitzgibbon , Joanne McKell, Todd A Lee** Determinants of Spirometry Use and Accuracy of COPD Diagnosis in Primary Care. *Journal of General Internal Medicine*, 2011, **26**, 1272 p.
- 4 **Sokol, Y., Kipenskyi, A., Korol, Y., Tomashevskiy, R.** Spirometry. Its technical support. Problems and Prospects *Technical electrodynamicics*. Kiev, Institute of electrodynamicics, 2008, **3**, 119-124.
- 5 **Degryse, J., Buffels, J., Van Dijck Y., Decramer, M., Nemery, B. C.** Accuracy of Office Spirometry Performed by Trained Primary-Care Physicians Using the MIR Spirobank Hand-Held Spirometer. *Respiration*, 2012, **83**, 543-552, doi:10.1159/000334907.
- 6 **Kaufmann, M., Hartl, S., Geyer, K., Breyer, M., Burghuber, O.** Measuring FEV(6) for detecting early airway obstruction in the primary care setting. Quality and utility of the new PiKo-6 device. *Respiration*, 2009, **78**, 161-167, doi: 10.1159/000197466.
- 7 **Sokol, Y., Kipenskyi, A., Tomashevskiy, R., Korol, Y.** Digital portable spirometer turbocharged air flow transducer. *Technical electrodynamicics*. Kiev, Institute of electrodynamicics. 2011, **2**, 299-304.
- 8 **Enright, P. L., Swanney, M., Burton, D., Liistro, G.** Office spirometers: the good, the bad, and the ugly. *The buyers' guide to respiratory care products*. 2007, 5-18.
- 9 **Agarwal, V., Ramachandran, S.** Design and development of a low-cost spirometer with an embedded Web server. *Int. J. Biomed. Eng. Technol.*, 2008, **1**, 439-452, doi: 10.1504/IJBET.2008.020072.
- 10 **Kipenskyi, A.** Pulse-to-digital and digital-to-pulse converters: Textbook, Kharkiv, 2000, 132 p.
- 11 **Tomashevskiy, R.** Improving the technical performance of a portable spirometer with turbine flow transducer. *Applied electronics*, Kharkiv, 2011, **9**, 569-574.

Відомості про авторів (About authors)

Куліченко Вячеслав Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Промислова і біомедична електроніка» м. Харків, Україна; e-mail: kulichenko.emb@khp.edu.ua.

Kulichenko Viacheslav – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department "Industrial and biomedical electronics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: kulichenko.emb@khp.edu.ua.

Томашевський Роман Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Промислова і біомедична електроніка» м. Харків, Україна; e-mail: tomashevskiy.emb@khp.edu.ua.

Tomashevskiy Roman – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department "Industrial and biomedical electronics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: tomashevskiy.emb@khp.edu.ua.

Макаров Вадим Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Промислова і біомедична електроніка» м. Харків, Україна; e-mail: vadimm@ukr.net.

Makarov Vadim – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department "Industrial and biomedical electronics", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: vadimm@ukr.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Куліченко, В. В. Покращення енергетичних показників оптичного вимірювального каналу цифрового портативного спірометра / **В. В. Куліченко, Р. С. Томашевський, В. О. Макаров** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 53-59. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.08.

Please cite this article as:

Kulichenko, V., Tomashevskiy, R., Makarov, V. Improving the energy characteristics of optical measurement channel of digital portable spirometer. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 53-59, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.08.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Куличенко, В. В. Улучшение энергетических показателей оптического измерительного канала цифрового портативного спирографа / **В. В. Куличенко, Р. С. Томашевский, В. А. Макаров** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 53-59. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.08.

АННОТАЦИЯ В статье рассмотрены вопросы снижения энергопотребления оптического измерительного канала турбинного преобразователя потока в цифровом портативном спиромере. Для этого в работе проанализировано функционирование турбинного спирометра и определены блоки с наибольшим энергопотреблением. В работе предложена и реализована новая функциональная схема оптического преобразователя на основе цифрового портативного спирометра ЦПС-14/1. Проведено исследование передаточной характеристики оптического измерительного канала и ее зависимости от внешних воздействий, таких как изменение освещения помещения и возникновения конденсата на поверхности турбины во время выдоха

Ключевые слова: оптический тахометр, спиромер, энергетические показатели, портативный прибор, внешнее освещение, турбинный преобразователь потока

Надійшла (received) 02.07.2016