

УДК 621.398

**Ямненко Ю.С.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Онищенко О.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## БІОТЕЛЕМЕТРИЧНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Сьогодні активно розвиваються дослідження та рішення у галузі моніторингу фізіологічних параметрів за допомогою біотелеметрії. Це набуває особливої актуальності, особливо в надзвичайних ситуаціях, природних та техногенних катастрофах, коли швидкість прийняття рішень щодо стану людини та надання першої допомоги є надзвичайно важливою для збереження життя людей. Серцево-судинні захворювання можуть бути небезпечними не тільки пацієнту, але й оточуючим, коли він керує обладнанням або в інших ситуаціях, пов'язаних із виконанням будь-яких відповідальних дій. Метою роботи є розроблення біотелеметричного модуля, який виконує функції вимірювання електричних потенціалів тіла людини, а також вирішення питань посилення, первинного оброблення сигналів, передавання по каналах бездротового зв'язку, захисту каналів бездротового зв'язку, а також синхронізація пристроїв через Bluetooth. Через надзвичайно високу вартість медичного обладнання та неможливість постійного спостереження за роботою серця, цей пристрій буде актуальним для ранньої діагностики та профілактики серцево-судинних захворювань.

**Ключові слова:** біотелеметрія, модуль, мікроконтролер, робота серця, серцево-судинні захворювання.

**Постановка проблеми.** Одним з актуальних напрямів електроніки є медична електроніка. Цей клас електроніки реалізує діагностичні та лікувальні апарати, що вирішують широкий спектр медико-біологічних задач. Також для медичної електроніки властива велика точність вимірювань і стабільність роботи, оскільки від цієї техніки часто залежить життя людини.

Захворювання серцево-судинної системи можуть бути небезпечні не тільки для хворого, але і для оточуючих в ті моменти, коли він керує технікою або в інших ситуаціях, пов'язаних із виконанням будь-яких відповідальних дій.

Тому контроль стану серцево-судинної системи необхідний практично кожній людині починаючи від спортсменів і закінчуючи пересічними громадянами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість існуючих реалізацій систем для віддаленого моніторингу стану здоров'я людини використовують тришарову архітектуру з яскраво вираженими апаратним, комунікаційним і аналітичним шаром [1], [2], [3], [4]. Доповненням до аналітичного шару так само є медична інтерпретація отриманих результатів та візуалізація. Оскільки такі системи працюють із багатовимірними і мультимодаль-

ними даними, то існує підвищений ризик помилки, пов'язаний із різноманітністю і складністю сигналів. Мінімізація таких помилок можлива шляхом застосування алгоритмів машинного навчання, що останнім часом широко використовується в [5], [6]. Будову сучасних бездротових біомедичних систем моніторингу стану людини можна розділити на три шари:

- бездротової переносної мережі, датчики і прилад, що опитує датчики;
- Комунікаційний;
- аналітики і сервісу.

### I. ЗАВДАННЯ І ВИМОГИ ДО МОДУЛЯ

#### A. Мета дослідження

Перед розроблюваним прототипом ставляться задачі зняття електричних потенціалів із тіла людини (скорочення серцевого м'яза) і реєстрації їх у режимі реального часу для ранньої діагностики проблем, що виникають у роботі серця.

#### B. Вимоги до модуля

- Напруга живлення 5 В  $\pm$  10% ;
- Характер передачі даних: бездротовий;
- Можливість запису даних у файл;
- Мінімальний радіус передачі – 10 м;
- Можливість перегляду біотелеметричної інформації в реальному часі;

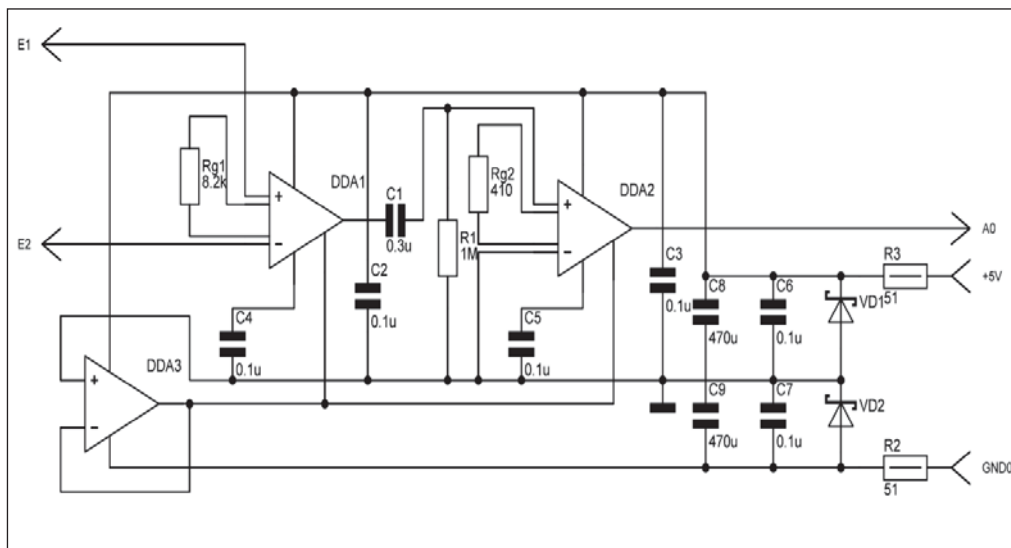


Рис. 1. Принципова схема первинної ланки.

## II. РОЗРОБКА МОДУЛЯ

### С. Принципова схема

Виходячи з тришарової структури модуля, було розроблено принципову схему ланки (Рис.1), що здійснює первинну реєстрацію електричних сигналів серця, їх підсилення і фільтрацію, та подальшу передачу на мікроконтролер Arduino.

### Д. Підсилення сигналу та його фільтрація

Необхідно зазначити, що існує таке явище, як поляризація електродів при їх контакті зі шкірою [8]. Це призводить до того, що на вході підсилювача, крім змінної різниці потенціалів, зумовленої електричною активністю серця (корисний сигнал, який вимірюється) з'являється ще й постійна складова частина, величина якої може досягати 300 мВ як у позитивну, так і в негативну сторону. Якщо відразу посилити цей сигнал у 1000 разів, то в результаті отримується величина, яка виходить за межі робочого діапазону підсилювача. Як наслідок, підсилювач буде в режимі насичення. Щоб цього уникнути підсилювальний каскад будують з 2-х ОП і фільтра високих частот (ФВЧ) між ними; це і зображено на рис. 1.

Для першого підсилювача AD620 приймемо коефіцієнт підсилення  $G=7$ . Для забезпечення такого коефіцієнту (так як він регулюється лише величиною  $R_G$ ) користуються формулою з [7] і розраховують значення необхідного опору.

Далі у посиленого таким чином сигналу за допомогою фільтра високих частот (RC-ланцюжок) забирається постійна складова частина, що формується в результаті поляризації електродів при контакті зі шкірою [8].

Далі сигнал підсилюється другим AD620A для досягнення сумарного коефіцієнта підсилення близько 1000.

За такого коефіцієнта підсилення напруга аналогового входу МК стає порядку 1В, що дає можливість коректної реєстрації роботи серця людини.

### Е. Живлення підсилювачів та опорний рівень напруги

Для коректної роботи AD620A необхідний опорний рівень напруги з низьким входним опором. Це легко реалізувати за допомогою OP97, що працює в режимі повторювача, тобто з коефіцієнтом посилення 1. Також необхідно додати конденсатори ємністю 0.1 мкФ для боротьби із самозбудженням по живленню ОП. За допомогою схеми стабілізованого двополярного джерела живлення (рис.2), отримаємо необхідні +2.5В і -2.5В. Номінали елементів і схема взяті з [9].

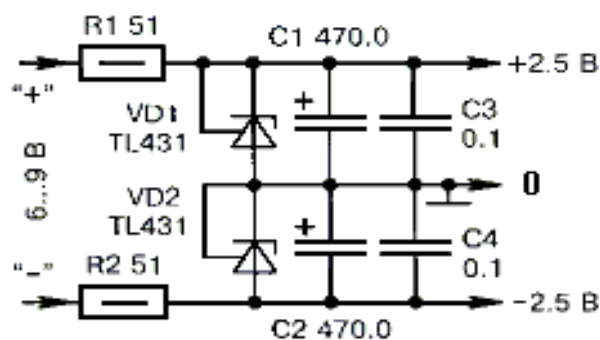


Рис. 2. Двополярне джерело живлення

### Ф. Мікроконтролер

Мікроконтролером, що буде обробляти сигнал, що надходить з аналогової частини на вхід A0 обрано плату Arduino Uno.

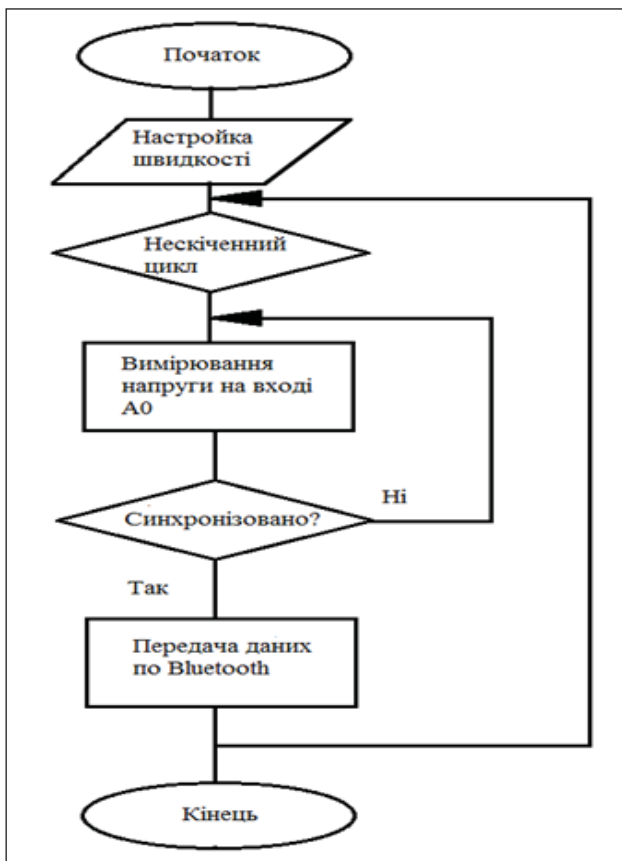


Рис. 3. Алгоритм роботи програми в мікроконтролері

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів (6 із яких можуть використовуватися виходами ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC або батареї. Характеристики плати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Вхідна напруга(рекоменд.)	7-12В
Вхідна напруга(граничн.)	6-20В
Аналогові входи	6
Постійний струм через вх./вих.	40мА
Флеш-пам'ять	32кБ
ОЗУ	2кБ
EEPROM	1кБ
Тактова частота	16МГц

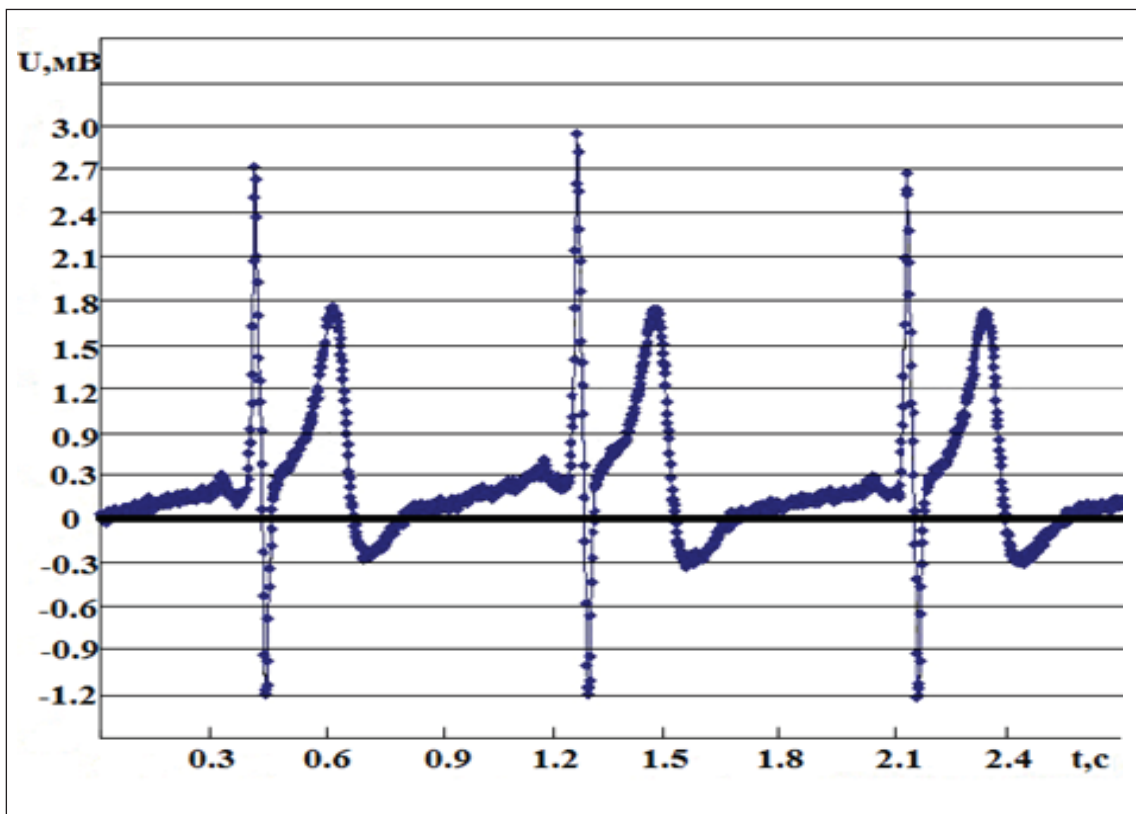


Рис. 4. Результуючий графік роботи серця на комп'ютері

Плата Arduino Uno має 10-бітний АЦП, що перетворює вхідну напругу від 0 до 5 В в значення від 0 до 1023 (всього 1024 значення). Ураховуючи викладене в розділі 2, маємо, що в середньому період кардіограми приймає значення  $T_k = 0.35-1.5$  с. Тобто для якісного відображення сигналу необхідно робити близько 1000 замірів електричного потенціалу (напруги на вході А0) в секунду.

Зчитування відбувається за допомогою функції AnalogRead і ведеться порядку 100 мкс, що відповідає частоті замірів в 10 кГц. Тобто за 1 с можна зчитати з входу А0 10000 значень, чого вистачає.

Вхідні дані зберігаються в буфер, розмір якого 2 кБ. Одне значення напруги займає в буфері 10 біт, але воно буде заноситись в змінну типу int, що займає 2 байти. Для масиву в 1000 значень пам'яті якраз достатньо.

Програма, що «зашита» в контролер працює по алгоритму, наведеному на рис. 3.

### III. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ

Більшість сучасних ноутбуків оснащено вбудованими Bluetooth-модулями. Для початку передачі даних необхідно лише синхронізувати два модулі між собою (той що на МК і той що на ПК).

Результатом є можливість дистанційного спостереження роботи серця людини в режимі реального часу шляхом зняття електрокардіограми. Рис. 4 ілюструє результати роботи прототипу модуля.

Як видно з рисунку, можна спостерігати характерні зубці електрокардіограми [10], за допомогою якої можна проводити первинну діагностику захворювань серцево-судинної системи. Також на графіку присутні «паразитні» зубці, що з'являються в результаті недосконалості механізму фільтрації сигналу.

Отримані дані про роботу серця є лише початковим етапом на шляху дослідження параметрів людського тіла в режимі реального часу. Для покращення дії модуля необхідно вдосконалити механізм фільтрації сигналу. У перспективі можливе нарощування потенціалу модуля шляхом уведення додаткових датчиків (температура, вологість шкіри, тощо). Таким чином, можна суттєво розширити потенціал модуля, перетворивши його в комплексну телеметричну систему, придатну для задоволення медичних та військових потреб контролю параметрів людини.

### Список літератури:

1. N.G., Bourbakis, Pantelopoulos A., «A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis.» IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, т. Part C (Applications and Reviews), № 40, pp. 1–12, 2010.
2. Otto C., Jovanov E., Milenković A., «Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation.» Computer communications, т. 13, № 29, pp. 2521-2533, 2006.
3. Loriga G., Taccini N., Paradiso R., «A wearable health care system based on knitted integrated sensors.» IEEE transactions on Information Technology in biomedicine, т. 3, № 9, pp. 337-344, 2005.
4. Conzon D., Scalera A., Spirito M.A., Trainito, C.I., «IEEE 11th International Confere», в Bazzani M. Enabling the IoT paradigm in e-health solutions through the VIRTUS middleware. In Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012.
5. Rajamani S.T., Balachandran B., Friese T., Ukis V., «Architecture of cloud-based advanced medical image visualization solution. In Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM),» в IEEE International Conference, 2013.
6. Jovanov E. A, Milenković A., De Groen, P.C., «Wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation.» Journal of NeuroEngineering and rehabilitation, т. 1, № 2, p. 6, 2013.
7. «AD620A Data-Sheets,» [В Інтернеті]. Available: <http://www.alldatasheet.com/AD620A.pdf>.
8. S.V. Frolov, V.M. Stroyev, A.V. Gorbunov, V.A. Trofymov, Metody i prystroyi funkcionalnoyi diagnostyky, Tambov: TDTU, 2008 [Methods and devices of functional diagnostics].
9. «Dvopolyarne dzherelo zhyvlennya», Available: <http://geecmatic.in.ua/dvohpoliarnoe> [Bipolar power supply].
10. Krejcar O., Janckulik D., Motalova, L., «EUROCON.IEEE,» в Complex Biomedical System with Biotelemetric Monitoring of Life Functions, 2009.

### БИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

*В настоящее время активно развиваются исследования и решения в области мониторинга физиологических параметров с помощью биотелеметрии. Это приобретает особую актуальность, особенно в чрезвычайных ситуациях, природных и техногенных катастрофах, когда скорость принятия решений о состоянии человека и оказания первой помощи является чрезвычайно важной для сохранения жизни людей. Сердечно-сосудистые заболевания могут быть опасными не только пациенту, но и*

окружающим, когда он руководит оборудованием или в других ситуациях, связанных с выполнением любых ответственных действий. Целью представленной работы является разработка биотелеметричного модуля, который выполняет функции измерения электрических потенциалов тела человека, а также решение вопросов усиления, первичной обработки сигналов, передачи по каналам беспроводной связи, защиты каналов беспроводной связи, а также синхронизация устройств Bluetooth. Из-за чрезвычайно высокой стоимости медицинского оборудования и невозможность постоянного наблюдения за работой сердца, это устройство будет актуальным для ранней диагностики и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

**Ключевые слова:** биотелеметрии, модуль, микроконтроллер, работа сердца, сердечно-сосудистые заболевания.

#### **BIOTELEMETRIC MODULE FOR LOCAL WIRELESS NETWORKS**

*Currently, research and solutions in the field of monitoring physiological parameters by means of biotelemetry is actively developing. That acquires special relevance, particularly, in emergencies, natural and man-made disasters, when the speed of decision-making on the human condition and first aid is crucial for human life saving. Cardiovascular diseases can be dangerous not only to the patient but also to those around them when he manages the equipment or in other situations related to the execution of any responsible actions. The purpose of the presented work is the development of a biotelemetric module that performs the function of measuring the electrical potentials of the human body, as well as addressing issues of amplification, primary signal processing, transmission over wireless communication channels, protection of wireless communication channels, and synchronization of devices via Bluetooth. Due to the extremely high cost of medical equipment and the impossibility of monitoring the work of the heart constantly, this device will be relevant for early diagnosis and prevention of cardiovascular diseases.*

**Key words:** biotelemetry, module, microcontroller, heart work, three-layer architecture, transmission, portable cardiograph.