

УДК 621.3.082

О.О. Борисов, Б.І. Лупина, А.В. Савчук

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056.

Система реєстрації, обробки і аналізу сигналу поверхневої міографії

В роботі запропоновано архітектуру програмно-апаратного комплексу для реєстрації сигналу поверхневої електроміографії (ЕМГ) на основі плати збору даних NI USB 6009 під управлінням спеціалізованого програмного забезпечення в середовищі LabVIEW. Спроектвані в роботі електронні схеми інструментального підсилювача і фільтрів нижніх та верхніх частот дозволяють реєструвати сигнал ЕМГ з достатньо високим для подальшої обробки співвідношенням сигнал – шум за умови використання програмних засобів фільтрації із бібліотек LabVIEW. Отримані в роботі експериментальні результати підтверджують можливість створення системи реєстрації сигналу ЕМГ за запропованою авторами структурною схемою. Відкрита гнучка архітектура системи надає можливість для наступного її вдосконалення як в апаратній, так і в програмній частині. В роботі проаналізовано структуру автономної системи обробки і аналізу сигналів поверхневої ЕМГ на основі демонстраційної плати STM32F3 Discovery. Бібл. 6, рис. 4.

Ключові слова: *поверхнева електроміографія; інструментальний підсилювач; плата збору даних; віртуальний інструмент.*

Вступ

Електроміографія (ЕМГ) як метод дослідження функціонального стану органів руху ґрунтується на реєстрації електричних процесів у м'язах шляхом запису, обробки та аналізу потенціалів дії м'язових волокон, які змушують м'яз скорочуватися. ЕМГ є одним із найбільш об'єктивних та інформативних методів дослідження функціонального стану периферичної нервової системи. Системи реєстрації сигналу поверхневої ЕМГ є незамінною частиною сучасної медичної діагностики опорно-рухового апарату. ЕМГ є перспективним шляхом вирішення діагностичних задач, виявлення патологічних процесів, відновлення порушеної рухової функції в ортопедії, біоелектричного протезування [1-3].

Принципи техніки відведення та реєстрації сигналу ЕМГ близькі до електроенцефалографії,

електрокардіографії та інших електрографічних методів. В медичній практиці для реєстрації та обробки сигналу ЕМГ використовують спеціалізовані медичні апарати. Для лабораторних досліджень ЕМГ, особливо на їх стартових етапах, доцільно використовувати багато-функціональні системи збору даних з гнучкою архітектурою апаратної частини та вбудованим інтерфейсом з персональним комп'ютером, що супроводжуються драйверами від виробника та бібліотеками відкритого програмного забезпечення (ПЗ). Дослідником розв'язується задача конструювання інструментального підсилювача, апаратних фільтрів та розробки спеціалізованого ПЗ. Огляд ринку медичного обладнання підтверджує актуальність вибраного напрямку, оскільки виробників медичного обладнання для ЕМГ діагностики в Україні обмаль, переважна кількість обладнання поставляється з-за кордону, що значно здорожує і ускладнює виконання нових розробок.

Метою нашої роботи є розробка мікроелектронної системи реєстрації сигналу поверхневої міографії на основі плати збору даних NI USB 6009 під управлінням спеціалізованого ПЗ в середовищі LabVIEW та з використанням демонстраційної плати STM32F3 Discovery.

Розробка системи реєстрації сигналу поверхневої електроміографії

Апаратно-програмні комплекси реєстрації, обробки та аналізу сигналу ЕМГ традиційно складаються з електродів для відведення потенціалів дії м'язових волокон, заземлюючого електрода, розміщеного на пасивній ділянці досліджуваного м'яза, високоякісного підсилювача з низькими власними шумами, фільтрів шумів та електромагнітних наводок, АЦП, інтерфейсу з персональним комп'ютером [1-4]. Зареєстрований системою електродів сигнал біопотенціалу ЕМГ підсилюється до потрібного рівня, фільтрується, оцифровується і зберігається для подальшої обробки в програмних середовищах LabVIEW, MATLAB, C++ і т.п. Фільтрацію сигналу доцільно проводити як в аналоговій частині з використанням апаратних аналогових фільтрів,

так і в цифровій частині програмними засобами. Основний вплив на точність реєстрації сигналу ЕМГ мають внутрішні біоелектричні потенціали пацієнта, які утворюються внаслідок роботи органів людини, та змінні зовнішні електромагнітні поля від приладів та пристроїв. Тому для отримання якісного сигналу необхідно застосовувати комплексну апаратну і програмну фільтрацію

зареєстрованого сигналу ЕМГ. Основною перевагою програмної реалізації фільтрів є можливість створення зручної системи обробки сигналу для лабораторних досліджень та відносна простота зміни їх параметрів під поточні задачі. На рис. 1 наведено запропоновану авторами роботи структурну схему системи реєстрації поверхневої ЕМГ.



Рис. 1. Структурна схема системи реєстрації поверхневої ЕМГ

В роботі розроблено спеціалізований підсилювач на основі інструментального підсилювача AD8221, який забезпечує коефіцієнт послаблення синфазного сигналу в 130 дБ, послабляє широкополосні шуми і гармоніки, що значно знижує вимоги до наступного апаратного фільтрування вихідного сигналу за наведеною на рис.1 структурною схемою. Віртуальний прилад виконує додаткову кінцеву фільтрацію сигналу, виведення даних на екран комп'ютера та збереження його в файл. Важливою вимогою є необхідність фільтрації кратних гармонік мережевої частоти електроживлення. Використання імпульсних безтрансформаторних блоків живлення висуває потребу фільтрації електромагнітної наводки на відповідних частотах модуляції. Для забезпечення можливості оперативної зміни параметрів фільтра гармонік мережі було розроблено програмний каскадний смугозатримуючий фільтр Бесселя першого порядку на частоти 50 Гц та відповідні кратні парні гармоніки, а також додатковий ФНЧ Бесселя четвертого порядку на частоту 500 Гц [5]. Коефіцієнт підсилення всього каскаду становить близько 34000.

На стадії лабораторних досліджень сигналів поверхневої ЕМГ нами вибрано модульний

принцип побудови структури функціонально відкритих апаратних і програмних засобів - віртуальних інструментів (ВІ). За основу апаратної частини розробленої системи вибрано плату збору даних NI USB 6009 з вбудованим USB-інтерфейсом. Використання драйверів від виробника пристрою NI USB 6009 для роботи в LabVIEW надає можливості розширення функцій обробки і аналізу зареєстрованого сигналу. Програмна фільтрація реалізується спеціалізованим ПЗ з вільно доступної бібліотеки LabVIEW - платформи та середовища розробки для графічної мови програмування [5]. Розроблений авторами ВІ дозволяє задати частоту дискретизації, візуалізувати сигнал до та після фільтрації в заданому часовому інтервалі виборки, зберегти на носій пам'яті персонального комп'ютеру, провести аналіз спектральних складових власного шуму підсилювача з системою електродів, корисного сигналу та наводок. Для відведення сигналів поверхневої ЕМГ авторами вибрано одноразові поверхневі електроди типу RT-34 фірми SKINTACT, які відповідають фізіологічним і конструктивним вимогам, зручні, нетравматичні та дозволяють отримувати якісний сигнал.

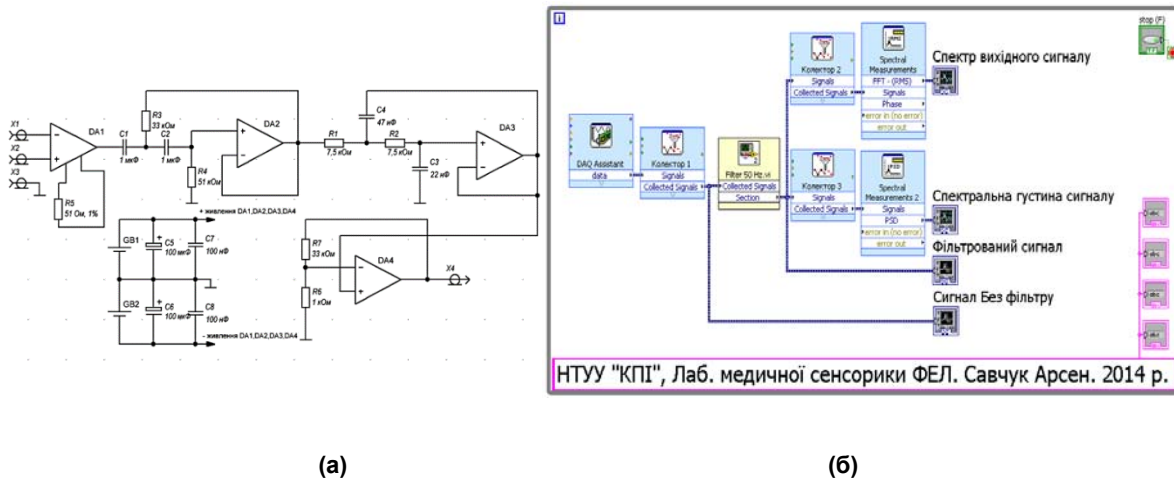


Рис. 2. Принципова схема інструментального підсилювача з фільтрами Бесселя 1-го порядку (а) та структура віртуального приладу (б)

Плата збору даних NI USB 6009 добре підходить для лабораторних досліджень, оскільки має гнучку архітектуру, супроводжується драйверами під LabVIEW від виробника у вільному доступі та бібліотеками спеціалізованого програмного забезпечення. Запропонована авторами комбінація апаратної та програмної частин значно спрощує розробку систем реєстрації сигналів ЕМГ на стартових етапах досліджень. Однак для подальшої розробки автономного приладу авторами пропонується заміна плати збору даних NI USB 6009 електронними пристроями, що не потребують використання кінцевими спо-

живачами програмного середовища LabVIEW для фільтрації і аналізу сигналу ЕМГ. Основна перевага переходу на систему з мікроконтролером полягає в можливості створення алгоритмів обробки сигналу, які легко переносяться на інші види мікроконтролерів, а також в можливості реалізації безпроводної автономної системи реєстрації поверхневої ЕМГ. Алгоритми обробки і аналізу сигналу в цьому разі не прив'язуються до конкретного середовища програмування та апаратної частини, що значно розширює межі можливого використання запропонованих систем.

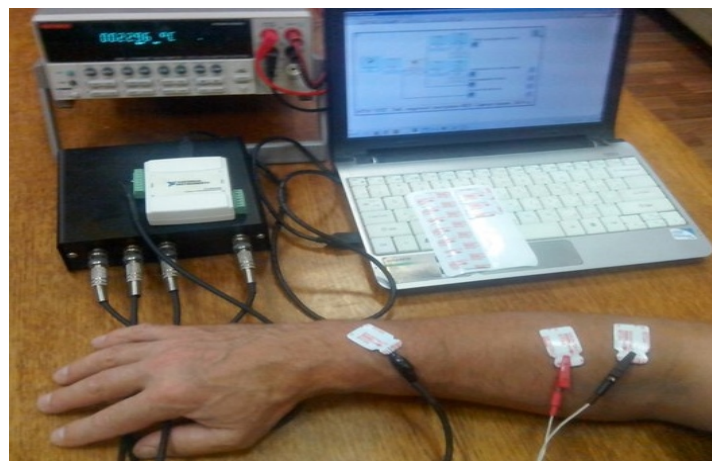


Рис. 3. Зовнішній вигляд демонстраційної плати STM32F3 Discovery (зліва) та розміщення системи електродів для реєстрації сигналу поверхневої ЕМГ на руці пацієнта (справа)

У разі використанні апаратно-програмної системи реєстрації поверхневої ЕМГ на основі плати збору даних NI USB 6009 на рис. 4 чітко видно, що на досліджуваній сигнал

накладається синфазна напруга мережевої наводки 50 Гц та її гармоніки з приведеною до входу амплітудою близько 360 мкВ (рис. 4). Без додаткової фільтрації мережевої наводки не-

можливо виділити корисний сигнал, оскільки амплітуда синфазної складової вимірюваного сигналу перевищує амплітуду сигналу поверхневої ЕМГ. Потреби сучасної медичної діагностики, спортивних досліджень, протезування у більшості випадків вимагають підвищення функціональності систем реєстрації поверхневої

ЕМГ, використання до 24 вхідних каналів реєстрації з поточною їх обробкою в реальному часі [2]. За умови збільшення кількості каналів з'являється можливість більш детального аналізу узгодженої роботи різних груп м'язів, однак одночасно збільшується кількість інформації, яка підлягає обробці, і підвищуються вимоги до швидкодії.

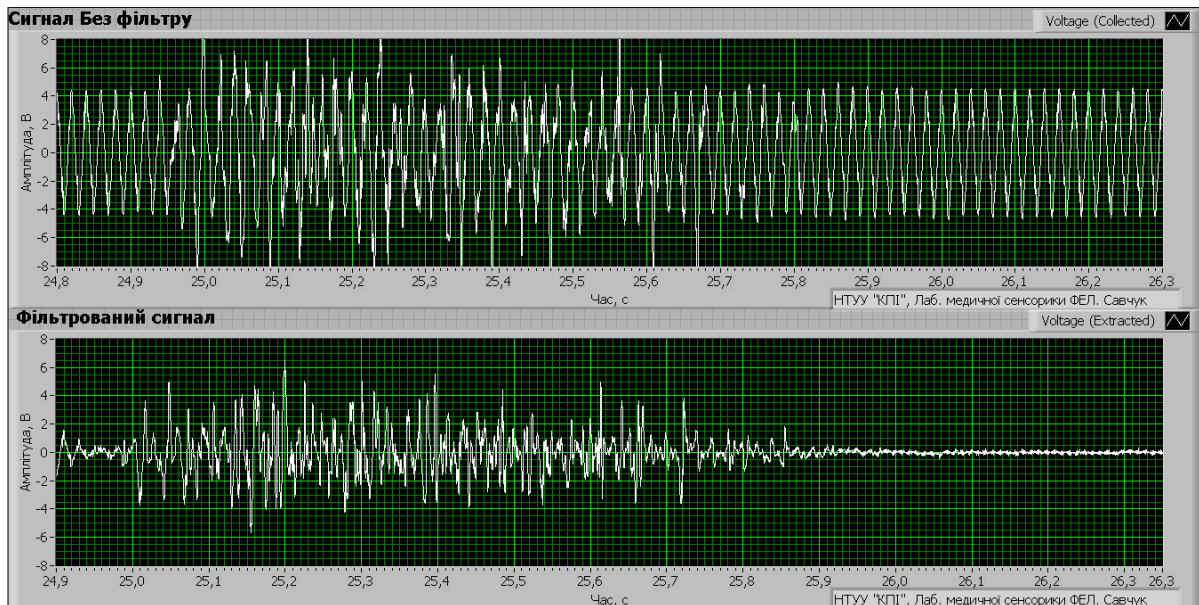


Рис. 4. Вхідний сигнал без фільтру та з фільтром у випадку накладання електродів на досліджуваний м'яз за умови помірного згинання кисті вгору тривалістю 1,5 с

Багатоканальна системи реєстрації аналогового сигналу ЕМГ з подальшою програмною обробкою отриманої інформації з використанням демонстраційної плати STM32F3 Discovery надає такі можливості. Вона дозволяє зняти різницю потенціалів за допомогою електродів типу RT-34, підсилити отриманий сигнал спеціалізованим підсилювачем так, щоб максимальна напруга на виході не перевищувала вхідну максимальну напругу мікроконтролера, виконати первинну обробку сигналу. Плата STM32F3 Discovery є повнофункціональним мікроконтролером з процесором на основі STM32F303VCT6 з 32 бітним ядром ARM Cortex-M4 з максимальною частотою 72 МГц. Мікроконтролер містить 4-канальний 12-бітний АЦП послідовного наближення з можливістю мультиплексування до 39 каналів. Час перетворення аналогового сигналу в цифровий може займати 200 нс, що відповідає частоті дискретизації в 5 МГц. Для загальних потреб на платі STM32F3 Discovery можна використати більше 80 контактів, до яких можна підключати зовнішні пристрої, датчики, радіомодулі (зокрема, Bluetooth, WiFi та ін.), а також зовнішню пам'ять для збереження необхідної інформації на енергонезалежному носіїві. STM32F3 Discovery має вбудований інтерфейс FullSpeed

USB2.0, що дозволяє передавати отримані дані на комп'ютер для подальшої обробки в програмних комплексах. Для демонстраційної плати STM32F3 Discovery авторами розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє передати дані отримані в персональний комп'ютер через канал Full Speed USB2.0. Програмне забезпечення містить ініціалізацію режимів, конфігурування і калібрування АЦП, ініціалізацію протоколу обміну даними через вибраний інтерфейс. Плата STM32F3 Discovery значно дешевша за плату збору даних NIUSB 6009, однак не поступається характеристиками, хоча й підвищує рівень складності розробки, оскільки вимагає програмування на мовах C++ та Assembler. Використання демонстраційної плати STM32F3 Discovery для цифрової обробки сигналу (фільтрування та нормування сигналу) дозволяє реалізувати автономну систему реєстрації сигналу поверхневої ЕМГ без застосування окремих схем аналогових фільтрів і без підключення до комп'ютера. Цифровий спосіб фільтрації сигналу на основі STM32F3 дозволяє достатньо швидко і зручно програмно змінювати параметри фільтрів і проводити кінцеву обробку, аналіз та зберігання сигналу.

Висновки

В роботі запропоновано архітектуру програмно-апаратного комплексу для реєстрації сигналу поверхневої ЕМГ на основі плати збору даних NI USB 6009 під управлінням спеціалізованого програмного забезпечення в середовищі LabVIEW, наведено його структурну схему, розроблено алгоритм спеціалізованого програмного забезпечення. Експериментально отримані в даній роботі результати підтверджують можливість створення такої системи реєстрації сигналу ЕМГ за запропонованою авторами структурною схемою. Спроектвані електронні схеми інструментального підсилювача і фільтрів нижніх та верхніх частот дозволяють реєструвати сигнал ЕМГ з достатньо високим для подальшої обробки співвідношенням сигнал – шум за умови використання програмних засобів фільтрації із бібліотек LabVIEW. Відкрита гнучка архітектура системи надає дослідникові широкі можливості для наступного вдосконалення системи як в апаратній, так і в програмній частинах. В роботі проаналізовано можливість розробки автономної системи на основі демонстраційної плати STM32F3 Discovery, запропоновано можливі напрямки її використання в системі обробки і аналізу сигналів поверхневої ЕМГ.

Важливим напрямком подальшого прикладного використання сигналу поверхневої ЕМГ автори вважають сучасне протезування, а саме розробку динамічних біоелектричних протезів, які значною мірою функціонально замінюють ампутовані частини тіла. Керування такими біоелектричними протезами може здійснюватись за допомогою сигналів ЕМГ, зареєстрованих апаратно-програмними засобами в реальному часі, з наступною генерацією електричних імпульсів управління електромеханічними вузлами протезу.

УДК 621.3.082

А.А. Борисов, Б.И. Лупина, А.В. Савчук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056.

Система регистрации, обработки и анализа сигнала поверхностной миографии

В работе предложена архитектура программно-аппаратного комплекса для регистрации сигнала поверхностной электромиографии (ЭМГ) на основе платы сбора данных NI USB 6009 под управлением специализированного программного обеспечения в среде LabVIEW. Спроектированные в работе электронные схемы инструментального усилителя и фильтров нижних и верхних частот позволяют регистрировать сигнал ЭМГ с достаточно высоким для дальнейшей обработки соотношением сигнал – шум при условии использования программных средств

Список використаних джерел

1. *Geethanjali P., Krishna Mohan Y., Bhaska P. A Low-cost EMG-EOG Signal Conditioning System for Brain Computer Interface Applications / Geethanjali P., Krishna Mohan Y., Bhaska P. // International Journal of Engineering and Technology. Vol 5, №3 — 2013.— p.p. 2268-2271.*
2. *Merlo Andrea, Campanini Isabella Technical Aspects of Surface Electromyography for Clinicians/ Merlo Andrea, Campanini Isabella // The Open Rehabilitation Journal, №3 — 2010. — p.p. 98-109.*
3. *Thongpanja S., Phinyomark A., Phukpattaranont P., Limsakul C. A Feasibility Study of Fatigue and Muscle Contraction Indices Based on EMG Time-dependent Spectral Analysis/ Thongpanja S., Phinyomark A., Phukpattaranont P., Limsakul C. A // I-SEEC2011, №32 — 2011. — p.p.239 - 245.*
4. *Raisy C. D., Sharda Vashisth, Ashok K. Salhan Real Time Acquisition of EMG Signal and Head Movement Recognition/ Raisy C. D., Sharda Vashisth, Ashok K. Salhan // International Journal of Computer Applications Vol 73, №1— 2013. — p.p.19-22.*
5. *Yiu Joseph. The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3/ Yiu Joseph // ELSEVIER 2007 – 2007. – 330 p.*
6. *Евдокимов Ю.К. Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора . Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW/ Евдокимов Ю.К. Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. // – М.: ДМК Пресс , 2007. – 400 с .*

Поступила в редакцию 01 сентября 2015 г.

фильтрации из библиотек LabVIEW. Полученные в работе экспериментальные результаты подтверждают возможность создания такой системы регистрации сигнала ЭМГ в соответствии с предложенной авторами структурной схемой. Открытая гибкая архитектура системы предоставляет возможность для последующего её усовершенствования как в аппаратной, так и в программной части. В работе также проанализирована структура автономной системы обработки и анализа сигнала поверхностной ЭМГ на основе демонстрационной платы STM32F3 Discovery. Библ. 6, рис. 4.

Ключевые слова: поверхностная электромиографи; инструментальный усилитель; плата сбора данных; виртуальный инструмент.

UDC 621.3.082

A. Borisov, B. Lupyna, A. Savchuk

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
bld 37, Peremogy street, Kyiv, Ukraine, 03056.

System for registration and processing of a Surface electromyogram

The microelectronic system for the surface electromyogram (EMG) signal registration including the instrumentation amplifier and the analog filters circuits, the block diagram of the hardware-software complex, the software for signals registration, processing and evaluation of the surface EMG signal has designed and studied. The designed system includes Multifunction Data Acquisition NI USB 6009 and software in the LabVIEW environment. The layout of the hardware-software complex is presented. Special software has designed. The surface EMG signals have been registered, processed and analyzed. The results include the analysis of the self-noise and the signal-to-noise ratio of the amplifier stage, the signals of the surface EMG. The obtained results can be used for the medical diagnosis, sports research and prosthesis. The possibility of autonomous systems developing based on the demonstration board STM32F3 Discovery, suggested possible areas of use in the treatment and analysis of surface EMG signals are analyzed in the work. Библ. 6, рис. 4.

Keywords: surface electromyography; instrumentation amplifier; data acquisition system; virtual instrument.

References

1. Geethanjali, P., Krishna Mohan, Y., Bhaska, P. (2013). A Low-cost EMG-EOG Signal Conditioning System for Brain Computer Interface Applications. International Journal of Engineering and Technology. Vol 5, №3, 2013. p.p. 2268-2271.
2. Andrea, M., Campanini, I. (2010). Technical Aspects of Surface Electromyography for Clinicians. The Open Rehabilitation Journal, №3. p.p. 98-109.
3. Thongpanja, S., Phinyomark, A., Phukpattaranont, P., Limsakul, C. (2011). A Feasibility Study of Fatigue and Muscle Contraction Indices Based on EMG Time-dependent Spectral Analysis. I-SEEC 2011, №32. p.p. 239 - 245.
4. Raisy, C. D., Sharda, Vashisth, Ashok, K. Salhan. (2013). Real Time Acquisition of EMG Signal and Head Movement Recognition. International Journal of Computer Applications, Vol 73, №1. p.p.19-22.
5. Yiu, Joseph. (2007). The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3. ELSEVIER, P. 330.
6. Evdokimov, Yu. K., Lindval, V. R., Stcherbakov, G. I. (2007). LabVIEW for radioengineer: from a virtual model to a real device. Practical guide for working in LabVIEW. DMK Press, P. 400. (Rus).