

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ФІЛЬТРУ БАТТЕРВОРТА 3-ГО ПОРЯДКУ НА ЕКГ СИГНАЛ

Каук В.І., Кокорин П.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Оглянута сутність основних підходів фільтрації ЕКГ сигналу. Досліджено вплив високочастотної фільтрації на корисний сигнал ЕКГ. На базі електрокардіограми здорової людини було проведено фільтрацію за допомогою фільтру високочастотного фільтру Баттерворта 3-го порядку, використавши різні частоти зрізу. На основі отриманих результатів зроблені висновки та пропозиції. Уся робота була виконана за допомогою програмного середовища MATLAB, пакету Simulink та Toolbox DSP.

**Ключові слова:** ЕКГ сигнал, фільтрація, високочастотний фільтр, MATLAB, DSP.

**Постановка проблеми.** Всі пристрої запису, як аналогові, так і цифрові, мають властивості, які роблять їх сприйнятливими до шуму. Шум може бути випадковим і не когерентним, тобто не пов'язаний з самим сигналом, або когерентним, внесений пристроями запису та алгоритмами обробки.

Шум – безладні коливання різної фізичної природи, що відрізняються складністю тимчасової і спектральної структури. Прийом сигналу на тлі шуму описується в вигляді процедури фільтрації сигналу за допомогою фільтра, при цьому ставиться завдання максимально послабити шуми і перешкоди, і мінімально спотворити сигнал, що приймається.

На ЕКС(електрокардіологічний сигнал) можуть накладатися різного роду шуми і перешкоди [7]. Основні джерела шумів і перешкод це:

- вплив мережевих перешкод з частотою 50 Гц (або 60 Гц) і гармонік напруги;
- вплив змін параметрів контакту електрода з шкірою, що призводить до дрейфу постійних складових;
- м'язові скорочення;
- дихальні рухи викликають зміщення постійної складової;
- електромагнітні наведення від інших електронних пристроїв, коли дрони електродів ЕКГ грають роль антен;
- високочастотні шуми від інших електронних пристроїв.

Фільтр – поняття, пристрою, механізми, які виділяють (або видаляють) з вихідного об'єкта деяку частину з заданими властивостями.

Проблема виділення корисного сигналу на тлі цілого комплексу перешкод і спотворень є однією з основних при проведенні сучасних електрокардіологічних досліджень. Наявність артефактів в електрокардіологічному сигналі істотно ускладнює його аналіз і виявлення діагностичних ознак. При вирішенні даного завдання складність полягає в виборі методів фільтрації для усунення певного типу артефактів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У деяких джерелах говориться про досить сильний вплив фільтрів на сигнал ЕКГ. У сучасному кардіограф застосовуються кілька видів фільтрів, призначених для різних завдань, а кожен з видів може бути представлений декількома варіантами. Це створює велике число можливих комбінацій фільтрів. Розглянемо основні види фільтрів:

- фільтри мережевого наведення;
- фільтри нижніх частот, що обмежують ЕКС в області високих частот;
- фільтри високих частот, що обмежують ЕКС в області низьких частот.

Багато авторів підкреслюють важливість питань, пов'язаних з фільтрацією. У різних електрокардіографах використовуються різні види фільтрів і, отже, вони будуть по різному впливати на ЕКС. Саме різним впливом фільтрів на ЕКС можна пояснити розбіжність у свідченнях різних електрокардіографів.

Цифрові фільтри, які використовуються в електрокардіографії, поділяють на три основні групи: нерекурсивні фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ), рекурсивні фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (БІХ), адаптивні фільтри, а також частотні фільтри, що виконують фільтрацію сигналу в певній області частот з використанням локального перетворення Фур'є.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Найбільш складним питанням є недостатня достовірність і точність реєстрації параметрів електрокардіограми сигналів для подальшої обробки, в зокрема інформативних низько амплітудних складових електрокардіограми, а також недоліки існуючих методів обробки ЕКС.

Більшість медичних сигналів має складні частотно-часові характеристики. Як правило, такі сигнали складаються з близьких за часом короточасних високочастотних компонент і довготривалих, близьких по частоті низькочастотних компонент. Для аналізу таких сигналів потрібен метод, здатний забезпечити достатню дозвіл по частоті і часу. Перше потрібно для локалізації низькочастотних складових, друге – для виділення компонент високої частоти.

На сьогоднішній день в функціональній діагностиці все більш широко застосовують різні методи обробки електрокардіографії сигналів: лінійний і нелінійний аналіз, методи частотно-часового перетворення, спектральні методи і ін. Першорядне значення на стадії діагностики в кардіології має фільтрація сигналів ритмів серця. Для постановки правильного діагнозу лікаря необхідно отримувати дані від кардіографа, пов'язані тільки з активністю серцевих ритмів. Після реєстрації і дискретизації сигналу ЕКГ наступним етапом його обробки зазвичай є цифрова фільтрація. Це необхідно для підвищення якості запису і видалення різних шумів, пов'язаних в основному з м'язовим тремором, зміщенням електродів і електричними перешкодами.

У статті розглянуто вплив високочастотного фільтра Баттерворта 3-го порядку з різними частотами зрізу на корисний сигнал електрокардіограми.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є дослідження впливу алгоритму фільтрації на корисний сигнал електрокардіограми. А також аналіз впливу фільтрації на артефакти ЕКГ, які можуть суттєво впливати на діагноз, поставлений лікарем.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі роботи були проведені дослідження впливу на ЕКС високочастотного фільтра Баттерворта 3-го порядку з різними частотами зрізу. Приклад ЕКС здорової людини був узятий з відкритої бази даних аритмій Массачусетського технологічного інституту [3]. Його можна отримати за наступними параметрами:

– поле input – «Combined measurement of ECG, Breathing and Seism cardiograms (cebsdb)»;

– поле record – «b0001»;

– поле signal – «I»;

– поле output – «to end»;

– поле toolbox – «Export signal as .mat».

Електрокардіографічні дані представлені 3-ма файлами – «b0001.m», «b0001.he», «b0001.info». Файли «b0001.info» та «b0001.he» є інформативними файлами, за допомогою яких можна з'ясувати, яка тривалість сигналу, частота дискретизації, величина гейну та інше. Файл «b0001.m» безпосередньо представляє дані самої електрокардіограми. Його можна зчитати вручну за допомогою функції «load», в такому разі потрібно буде обробити ці дані, використовуючи інформацію з інформативних файлів. Також можна використати скрипт «rdmat.m» [4]. За допомогою цього скрипта можна зчитати оброблений сигнал та частоту дискретизації із завантажених файлів.

У ході була спроектована функція, яка приймає частоту зрізу, порядок фільтра, та частоту дискретизації та видає об'єкт фільтра [5].

Для проведення коректної фільтрації, до початкового сигналу було додано низькочастотну заваду з частотою 0.01 герц (див. рисунок 1).

Також, було спроектовано скрипт [5], котрий зчитує дані, додає до сигналу заваду, виводить початковий та модифікований сигнал. Потім по черзі фільтрує модифікований сигнал за допомогою фільтра Баттерворта 3-го порядку, використовуючи частоти зрізу у діапазоні з 0.05 до 0.5 з шагом 0.05. На кожному етапі виводиться початковий та фільтрований сигнал.

При дослідженні електрокардіограми, критичними показниками для лікаря є QRS комплекс [6] та величини Р та Т хвиль (див. рисунок 2).

На останньому етапі дослідження було проведено замірювання впливу фільтра на усі ці артефакти, дані були занесені у таблицю (див. таблицю 1).

Усі значення були взяті в 5-и різних частинах електрокардіограми, як для початкового, так і для фільтрованого сигналу, та приведені до середньоарифметичного значення.

**Висновки і пропозиції.** Як можна побачити у результуючій таблиці, високочастотний фільтр Баттерворта 3-го порядку вносить суттєву зміну у Р хвилю (приблизно 25 відсотків) вже при

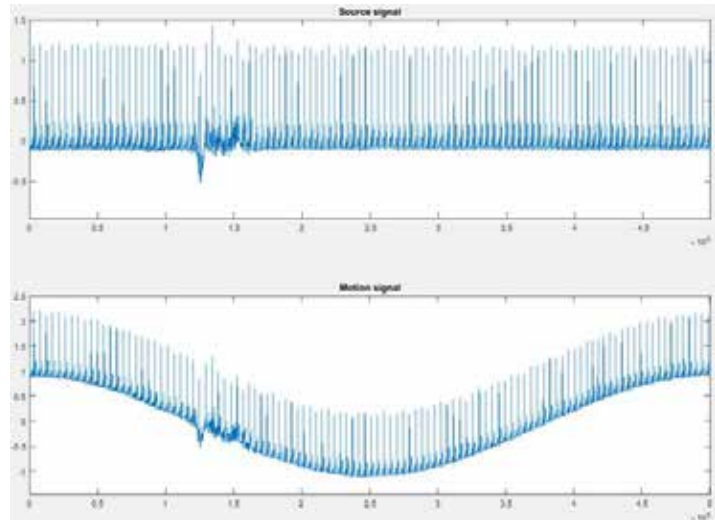


Рис. 1. Початковий сигнал та сигнал з низькочастотною завадою

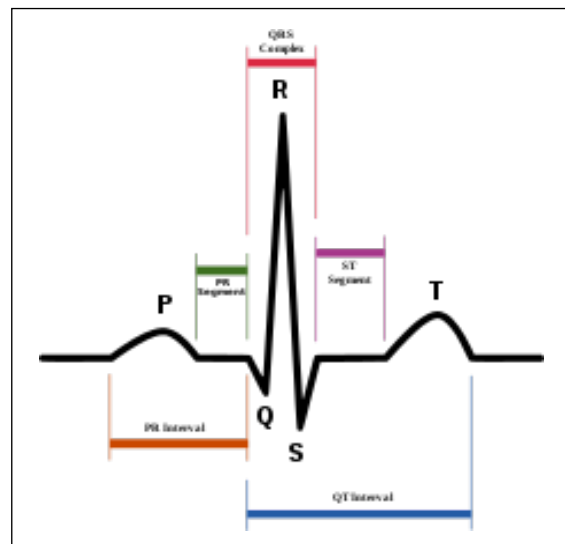


Рис. 2. PQRST артефакти ЕКГ

частоті зрізу 0.05. У той же час хвиля Т досягає суттєвих змін тільки після значення частоти зрізу 0.3 герца.

Пік R у електрокардіограмах є досить високочастотною компонентою, тому високочастотний фільтр майже не спричиняє ніякого впливу на цей артефакт, при частоті зрізу у 0.5 герц він зменшився всього лиш на 3 відсотки.

Зубці S та Q, які є низькочастотними компонентами ЕКГ, піддаються значному впливу, внаслідок фільтрації. Вже при значенні частоти зрізу у 0.3 герца, вплив досягає майже 50 відсотків, що без сумнівів має суттєве значення при встановленні діагнозу.

У наступних дослідках, може бути проведена робота з аналізу залежності величини порядку фільтрації на артефакти ЕКС, бо дане дослідження було виконано лише за різних значення частоти зрізу, але можна однозначно сказати, що виявлений суттєвий вплив на окремі компоненти.

Також можуть бути сформовані рекомендації для лікарів, що такий тип фільтрації, може збільшити Т хвилю, що найменш в чверть.

Таблиця 1

№	Fc, сек	Q, мВ	Q, %	R, мВ	R, %	S, мВ	S, %	P, мВ	P, %	T, мВ	T, %
1.	0.05	-0.102	12	1.192	0	-0.111	0	0.053	27	0.209	-2
2.	0.1	-0.095	18	1.188	0	-0.126	-14	0.058	39	0.198	-7
3.	0.15	-0.086	26	1.188	0	-0.135	-22	0.065	57	0.191	-10
4.	0.2	-0.078	33	1.188	0	-0.145	-31	0.072	74	0.183	-14
5.	0.25	-0.070	39	1.188	0	-0.155	-40	0.078	89	0.175	-18
6.	0.3	-0.064	45	1.180	-1	-0.167	-50	0.084	103	0.168	-21
7.	0.35	-0.059	49	1.176	-1	-0.178	-60	0.089	114	0.160	-25
8.	0.4	-0.054	53	1.168	-2	-0.192	-73	0.095	129	0.154	-28
9.	0.45	-0.051	56	1.163	-2	-0.208	-87	0.099	139	0.148	-31
10.	0.5	-0.048	58	1.154	-3	-0.222	-100	0.102	146	0.141	-34
Початковий сигнал	N\A	-0.115	N\A	1.188	N\A	-0.110	N\A	0.041	N\A	0.213	N\A

Опираючись на ці дані, можна дійти висновку, що використання високочастотного фільтру Баттерворта 3-го порядку, з частотою зрізу вище за 0.05 герц, має досить вагомий вплив на ЕКГ. Реалізація та застосування подібних фільтрів у елек-

трокардіографічному обладнанні має проводитись більшою пильністю. Також, можна зробити висновки, що існує досить лінійна залежність між збільшенням частоти зрізу для високочастотного фільтру та величиною впливу на компоненти ЕКГ.

### Список літератури:

1. Carr, J.J., Brown, J.M. Introduction to Biomedical Equipment Technology, 4th edn. Pearson Education (2007). ISBN 81-7758-883-4.
2. Адаптивная фильтрация сигналов. Теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – СПб.: Москва, 2013. – 528 с.
3. PhysioNet ATM [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>.
4. PhysioNet MatLab [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://physionet.org/physiotools/matlab/wfdb-app-matlab/>.
5. ANALYSIS OF HIGH-PASS BUTTERWORTH FILTER [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://bitbucket.org/CLOXY/analysis-of-high-pass-butterworth-filter/src/master/>.
6. Kligfield, P., Gettes, L., Bailey, J., et al.: Recommendations for the standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. J. Am Coll. Cardiol. 49, 276-281 (2007).
7. Digital Filter Approach for ECG in Signal Processing / Sonal K. Jagtap, M. D. Uplane, 2013. – 509 p.

**Каук В.И., Кокорин П.А.**

Харьковский национальный университет радиотехники

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ФИЛЬТРА БАТТЕРВОРТА 3-ГО ПОРЯДКА НА ЕКГ СИГНАЛ

### Аннотация

Рассмотрены основные подходы фильтрации ЭКГ сигнала. Исследовано влияние высокочастотной фильтрации на полезный сигнал ЭКГ. На базе электрокардиограммы здорового человека было проведено фильтрацию с помощью фильтра высокочастотного фильтра Баттерворта 3-го порядка, используя различные частоты среза. На основе полученных результатов были сделаны выводы и предложения. Вся работа была выполнена с помощью программной среды MATLAB, пакета Simulink и Toolbox DSP. **Ключевые слова:** ЭКГ сигнал, фильтрация, высокочастотный фильтр, MATLAB, DSP.

**Kauk V.I., Kokorin P.O.**

Kharkov National University of Radio Electronics

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF 3-ORDER BUTTERWORTH HIGH-PASS FILTER ON THE ECG SIGNAL

### Summary

The main approaches of ECG signal filtration has been reviewed. The influence of high-pass filtration on the true ECG signal has been investigated. On the basis of an electrocardiogram of a healthy person, has been performed the filtration using the Butterworth High-Fiter Filter of the 3rd order using different frequencies of cut. The conclusions and proposals have been made based on results. All white work has been done using the MATLAB software package, the Simulink package and the DSP box.

**Keywords:** ECG signal, filtering, high-pass filter, MATLAB, DSP.