

Портативен монитор за регистриране на ЕКГ при пациенти с пейсмейкър

Серафим ТАБАКОВ, Валентин ЦИБУЛКО, Иво ИЛИЕВ

* Технически университет - София, ФЕТТ, 1797 София, България,
бул. Кл. Охридски №8, e-mail: izi@tu-sofia.bg

Абстракт. Пейсмейкърът е имплантируемо медицинско устройство, което стимулира сърдечния мускул, при наличие на заболявания свързани с проводната система на сърцето. Стимулацията се извършва с токови импулси с продължителност от 0,1 до 2 ms и скорост на нарастване до 100 μ s. Импулсите се наслаждат върху автономната електрическа активност на сърцето и регистрирането им изисква значително усложняване в схемната реализация на електрокардиографските апарати, както и/или разработване на специализирани алгоритми за детектирането им, по програмен път. Обект на статията е схемно решение подходящо за снемане на „високофреkwотна“ електрокардиограма (честота на дискретизация – 18 kHz) с детекция и визуализация на пейсмейкърните импулси. Представени са резултати от експериментални изследвания при снемане на реална електрокардиограма и галванично разделено наслаждване на импулси, с променливи параметри, от управляем генератор. По този начин е настроен и тестван и алгоритъмът за детекция на пейс-импулсите.

Portable monitor for capturing ECG of patients with pacemakers. (Serafim Tabakov, Valentin Tsibulko, Ivo Iliev). A pacemaker is a small battery-operated medical device that delivers electrical impulses to the cardiac muscles in order to guarantee regular heart contractions and normal blood circulation, thus preventing from cardiac arrest and eventual death. The PM impulses are with a duration of 0,1-2 ms and rising time less than 100 μ s. They are superimposed over the intrinsic electrical activity of the heart and their detection requires substantial increase of complexity in the hardware implementation of electrocardiographic device, as well as development of specialized software algorithms for detecting them. Subject of this article is circuit suitable for sampling "high frequency" electrocardiogram (sampling frequency - 18 kHz) with detection and visualization of the pacemaker pulse. The presented results are from experimental research including sampling of real electrocardiogram with superimposed (via galvanic isolation) pulses with variable parameters. This way the algorithm for detection of pace pulses is tested and tuned.

Целта на този доклад е да се представят специфични решения свързани с регистрирането на електрокардиограма при хора с пейсмейкър, както и да се демонстрират получените резултати при изследване в лабораторни условия.

Въведение

Правилното разпознаване на пейсмейкърни импулси в електрокардиограмата е важно за коректната оценка на ефекта от пейсмейкърта върху сърдечния ритъм.

Електрокардиографският (ЕКГ) сигнал, записан от пациент с имплантиран пейсмейкър, се състои

от три компонента: автономният ЕКГ сигнал, пейсмейкърните импулси и смущения с различен произход (шум). Информативната част на ЕКГ сигнала е в честотната лента 0.05 – 150 Hz, а динамичният обхват обикновено е от 0.1 до 5mV. От друга страна пейс импулсите имат типична продължителност от 0,1 ms до 2 ms [1-3] и амплитуда по-висока от 0,5 V. Особено е, че имат много стръмни предни и задни фронтове - продължителността на предния фронт може да е 100 ns (измерена непосредствено от електродите фиксирани в сърцето), като може да изглежда удължена до 10 μ s на повърхността на тялото [1].

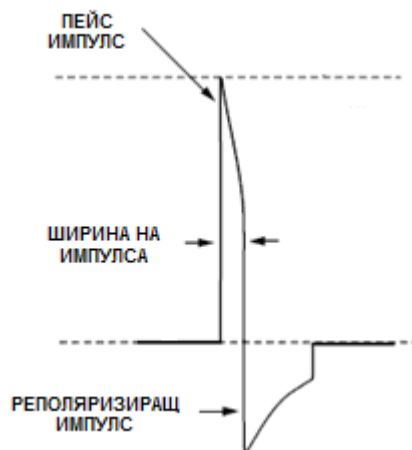
Тази промяна се обяснява с интегриращия ефект на тъканите при разпространението на импулса до повърхността на тялото.

Съществуват различни медицински стандарти с изисквания за амплитудата и продължителността на пейс импулсите, които трябва да бъдат детектирани и маркирани от регистриращото устройство. Според ANSI/AAMI EC11 [3] характеристиките на пейсмейкърния импулс, които задължително трябва да бъдат разпознавани са:

- дължина - 0,1 ms до 2 ms
- амплитуда - 2 mV до 250 mV
- честота - до 100 импулса в минута
- стръмност на нарастващия фронт - до 100 μ s

Стандарт IEC60601-2-27 [4] определя различни изисквания към дължината (0.5 ms до 2.0 ms) и амплитудата (2mV до 700 mV) на импулсите.

На фиг. 1 е изобразена формата на типичен пейс импулс.



Фиг. 1. Типичен пейс импулс.

Алгоритъм за разпознаване на пейс импулси

Приложеният алгоритъм се основава на пресмятане на стръмността на наклона на сигнала за период от време - 500 μ s [5]. За целта се прилага следната изчислителна процедура:

$$(1) \quad S_i = \left[\sum_{j=1}^{20} (X_i - X_{i-j}) + \sum_{j=1}^{20} (X_i - X_{i+j}) \right]^2,$$

където S_i е стръмността на наклона, а X_i е стойността на текущия дискрет от ЕКГ сигнала.

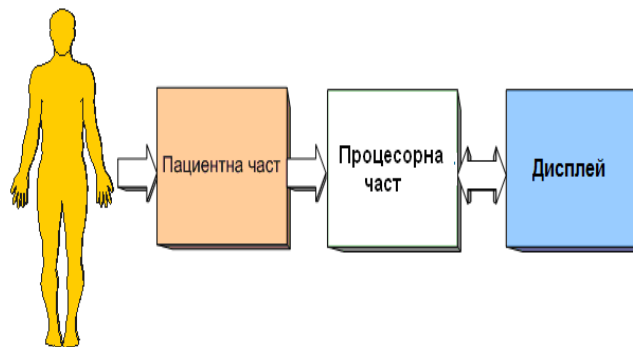
Стръмността е най-голяма в пика на пейсмейкърния импулс, където и разликите между текущия и предходните и следващите отчети са с еднакъв знак. Приложено е и повдигане на квадрат, с което допълнително се подчертават тези участъци от сигнала.

Текущата пресметната стръмност S_i се сравнява с праг на стръмността S_{th} . Ако стойността на текущата стръмност е по-голяма от праговата, то праговата се приравнява на текущата. Същевременно текущият дискрет се маркира като пик на пейсмейкърен импулс - PPM_i (pacemaker pulse detection mark), т.е. отбелязва се като марка на пейс импулс в ЕКГ записа.

Ако стойността на текущата стръмност е по-малка от праговата стойност, то праговата стойност се намаля с 0,05% на всеки следващ дискрет.

Схемни решения

На фиг.2 е представена блоковата схема на разработеното прототипно устройство.

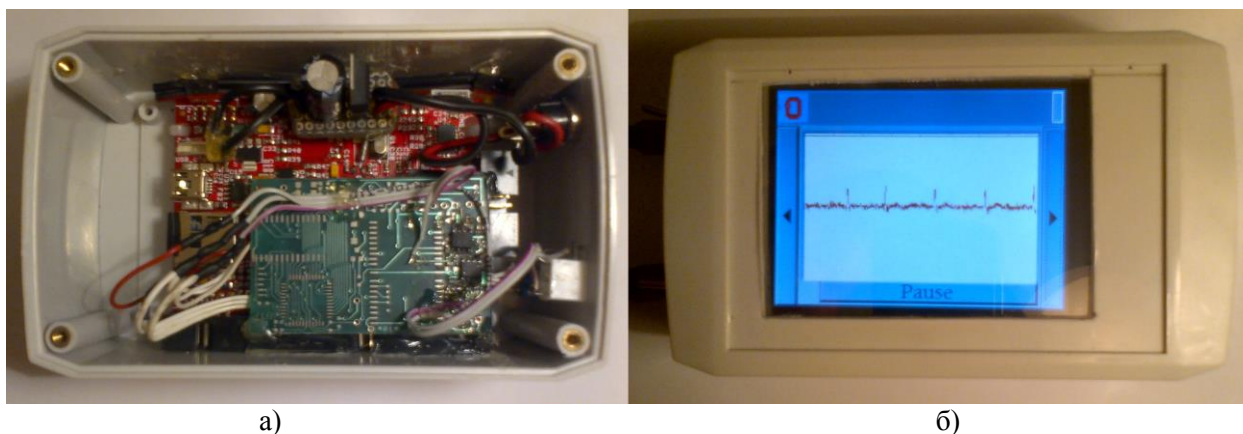


Фиг. 2. Блокова схема на устройството

За реализацията е използвана развойната платка PIC32-MX460LCD на Olimex. Тя заедно с пациентната част, включваща усилвател, захранващ модул, превключватели и куплунзи е поместена в пластмасова кутия. Лицевата страна е touch screen дисплей (фиг. 3) за управление на режимите на работа и визуализация на ЕКГ сигнала с марките на детектираните пейсмейкърни импулси. Захранването се осигурява от външен акумулатор - 12V.

Развойната платка се характеризира със следните функционални възможности:

- микроконтролер PIC32MX460F512L с 512 KB Flash и 32KB RAM, 80MHz тактова честота и 10 битово АЦП;
- 3.2" течнокристален дисплей - 320x240 пиксела;
- поддръжка на micro-SD карта, включително необходимия куплунг;
- захранващ блок, осигуряващ напрежение както за дисплея, така и за микроконтролера;
- ICSP/ICD конектор за програмиране;



а)

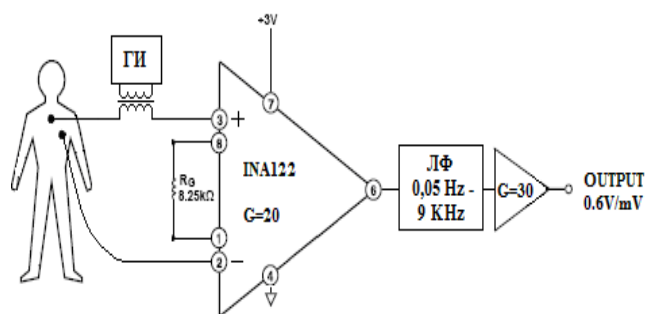
б)

Фиг. 3. Прототипен модул за регистриране на пейсмейкърни импулси: а) обща компоновка; б) лицев панел

Аналоговата част представлява усилвател с 2 стъпала. Първото е реализирано с прецизен инструментален усилвател за диференциален сигнал INA122. Второто стъпало е с операционен усилвател МСР6022. Общият коефициент на усилване е 600 (фиг. 4). В схемата има филтри с долна гранична честота 0.5 Hz и горна 9 kHz.

Експериментално изследване

Прототипното устройство беше тествано в лабораторията по Биомедицинско инженерство на Технически Университет - София. За изкуствено наслагване на пейс импулси върху кардиограма на доброволец бе използвано схемното решение представено на фиг. 4. Чрез трансформаторно разделяне, по индуктивен път, се добавяха импулси от управляем генератор, които имитират наличие на пейсмейкърни импулси в ЕКГ записа. След разпознаването им, индицирано със съответните марки върху дисплея, се стартира запис на сигнала в SD картата с работната честота от 18 kHz.



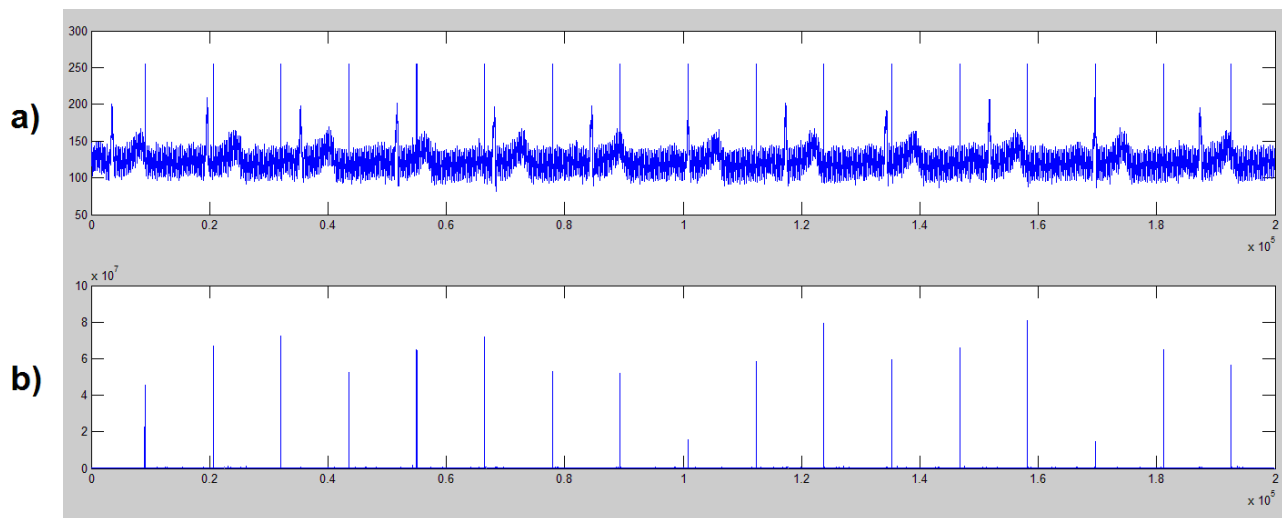
Фиг. 4. Работна постановка за тестване на устройството

Резултатите след обработка на данните в Матлаб са представени на фиг. 5.

Продължителността на сигнала изобразен на фиг 5 включва 200 хиляди дискрети или е около 11 секунди. На фиг. 5а е представен сигнала записан върху картата. Отчетливо се виждат QRS-комплексите, както и симулираните пейс импулси. Следва да се отбележи, че в случая пейс-импулси не са съобразени с електрокардиограмата, а са през равен интервал от време. На фиг. 5b графично е изобразена стойността на променливата S_i от зависимост (1). Ясно се вижда, че при случайните съвпадения на пейс импулс с QRS комплекс стръмността рязко пада, т.е. импулсът би бил неразпознаваем. На практика такова съвпадение е невъзможно при регистриране на реален сигнал от хора с имплантирани пейсмейкърни.

Заклучение

Представено е схемно решение и алгоритъм за разпознаване в реално време на пейсмейкърни импулси, насложени върху електрокардиографски запис. За целта сигналът се снима с честота на дискретизация 18 kHz, което гарантира регистрирането на поне две точки в пика на най-късите пейс импулси. Това от своя страна е гаранция за надеждното им детектиране, чрез прилагането на описания алгоритъм. Проведени са серия от лабораторни тестове на разработеното устройство, които потвърдиха неговата надеждност при разпознаване на импулси с променливи параметри в целия диапазон, в съответствие със стандартите. Предстои провеждане на изследвания с пациенти в болнични условия.



Фиг.5. Резултати след обработка на данните в Матлаб;
 а) запис от SD картата на устройството;
 б) стойността на променливата S_i определена от зависимост (1);

Благодарности

Настоящият доклад е във връзка с дейностите по проект в помощ на докторанти 142ПД0005-03 на НИС при ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. M. Kruse, C. Redmond. Detecting and distinguishing cardiac pacing artifacts. Analog Dialogue, vol. 46, no. 4, 2012, pp. 13-18.
- [2] M. Akay. Wiley encyclopedia of biomedical engineering. Wiley 2006.
- [3] American national standard. Diagnostic electrocardiographic devices, ANSI/AAMI EC11, 2007
- [4] American national standard. Medical electrical equipment - Part 2-27: Particular requirements for the basic safety and essential performance of electrocardiographic monitoring equipment, ANSI/AAMI/IEC 60601-2-27, 2011
- [5] Tabakov S. Real time detecting of pacemaker artifacts. Annual journal of electronics, Sofia, 2014, pp. 74-76.

Маг. инж. Валентин Цибулко е редовен докторант в кат. Електронна техника, ФЕТТ на ТУ-София. Работи по проблеми свързани с тематиката на дисертационния му труд и по-специално висококачествено регистриране, анализ и обработка на ЕКГ сигнали с цел надеждно разпознаване на пейсмейкърни импулси
 e-mail: valentin.tsibulko@gmail.com.

Гл. ас. д-р инж. Серафим Димитров Табаков е преподавател в кат. Електронна техника, ФЕТТ, ТУ-София. Научните му интереси са в областта на Регистрирането анализа и обработката на биомедицински сигнали, както и в развойните системи за различни фамилии микроконтролери и системи за безжично предаване на данни.
 e-mail: tabakovsd@gmail.com

Проф д-р инж. Иво Цветанов Илиев е ръководител на направление по Биомедицинско инженерство в ФЕТТ при ТУ-София. Областите на научните му интереси включват регистрирането и обработка на биосигнали, образна диагностика, телемедицина, асистирани системи за възрастни и хора с увреждания.
 e-mail: izi@tu-sofia.bg