



Анализ аналоговых характеристик микросхемы ADS1293 для применения в медицинской технике

А.О. Беляев, В.В. Кириенко

НТЦ «Техноцентр» ЮФУ

Аннотация: В данной статье произведено тестирование аналоговых характеристик AFE-микросхемы ADS1293A на измерительном стенде. Проведен анализ характеристик данной микросхемы в целях использования в медицинском оборудовании.

Ключевые слова: AFE-микросхема, холтеровский монитор, кардиограф, тестирование энергопотребления, медицинское оборудование.

Введение

Фирма Texas Instruments расширила свое семейство ADS1298, которое представляет собой семейство аналоговых микросхем, обладающее 24-разрядным, трехканальным AFE. Микросхема ADS1293 предназначена для измерения биопотенциалов, в таких медицинских приборах, как портативные электрокардиографы с батарейным питанием, холтеровские мониторы и аппаратура беспроводного мониторинга пациентов [1, 2]. ADS1293 способна поддерживать от одного до пяти каналов, что позволяет существенно сократить габариты, энергопотребление и полную стоимость масштабируемых измерительных медицинских систем. Каждый канал прибора ADS1293 может быть независимо запрограммирован на работу со специальными (отличными от других) частотой выборки и полосой пропускания. Проведен анализ аналоговых характеристик микросхемы.

Обзор измерительного стенда для получения аналоговых характеристик микросхемы ADS1293

Измерительный стенд для оценки аналоговых характеристик микросхемы ADS1293 состоит из следующих компонентов:

Генератор сигналов специальной формы АКИП-3402 (рис.1), который предназначен для формирования аналогового сигнала синусоидальной формы с амплитудой 10 В и частотой в диапазоне 0,01-150 Гц;

Делитель напряжения с коэффициентом передачи 0,001, для приведения амплитуды синусоидального сигнала к 10 мВ;

Схема имитации тела человека, которая разделяет сигнал на потенциалы RA, LA, LL, RL, соответствующие точкам на человеческом теле;

Отладочная плата ADS1293EVM (рис.2), которая содержит микросхему ADS1293 с необходимой для ее работы обвязкой и принимает аналоговый сигнал IN1, IN2, IN3, IN4 и оцифровывает его [3, 4];

Отладочная плата STM32-H152 (рис.3), на которой расположен микроконтроллер STM32L152VBT6 [5,6] с необходимой обвязкой, получающий оцифрованный аналоговый сигнал от микросхемы ADS1293 по интерфейсу SPI;

Преобразователь UART2USB, который обеспечивает связь микроконтроллера STM32L152VBT6 с персональным компьютером;

Персональный компьютер, на котором запущена высокоуровневая программа обрабатывающая оцифрованный сигнал, получаемый по USB от преобразователя UART2USB.



Рис.1. Генератор сигналов специальной формы АКИП-3402



Рис.2.Отладочная плата ADS1293EVM



Рис.3.Отладочная плата STM32-H152

Схема измерительного стенда представлена на рис.4.

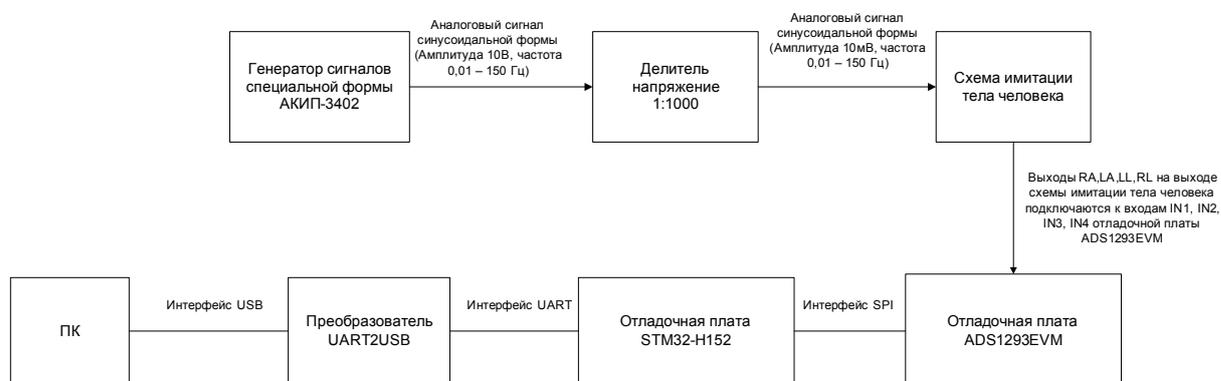


Рис.4.Схема измерительного стенда для получения аналоговых характеристик микросхемы ADS1293

Высокоуровневая программа для получения аналоговых характеристик микросхемы ADS1293 была и их визуального отображения, была написана программа ADS1293 Test Program в среде разработки Delphi 7. Внешний вид программы ADS1293 Test Program представлен на рис.5. Данная программа обеспечивает получение следующих аналоговых характеристик:

- 1) Амплитудно-частотная характеристика;
- 2) Подавление синфазной помехи;
- 3) Уровень собственных шумов;
- 4) Динамический диапазон.

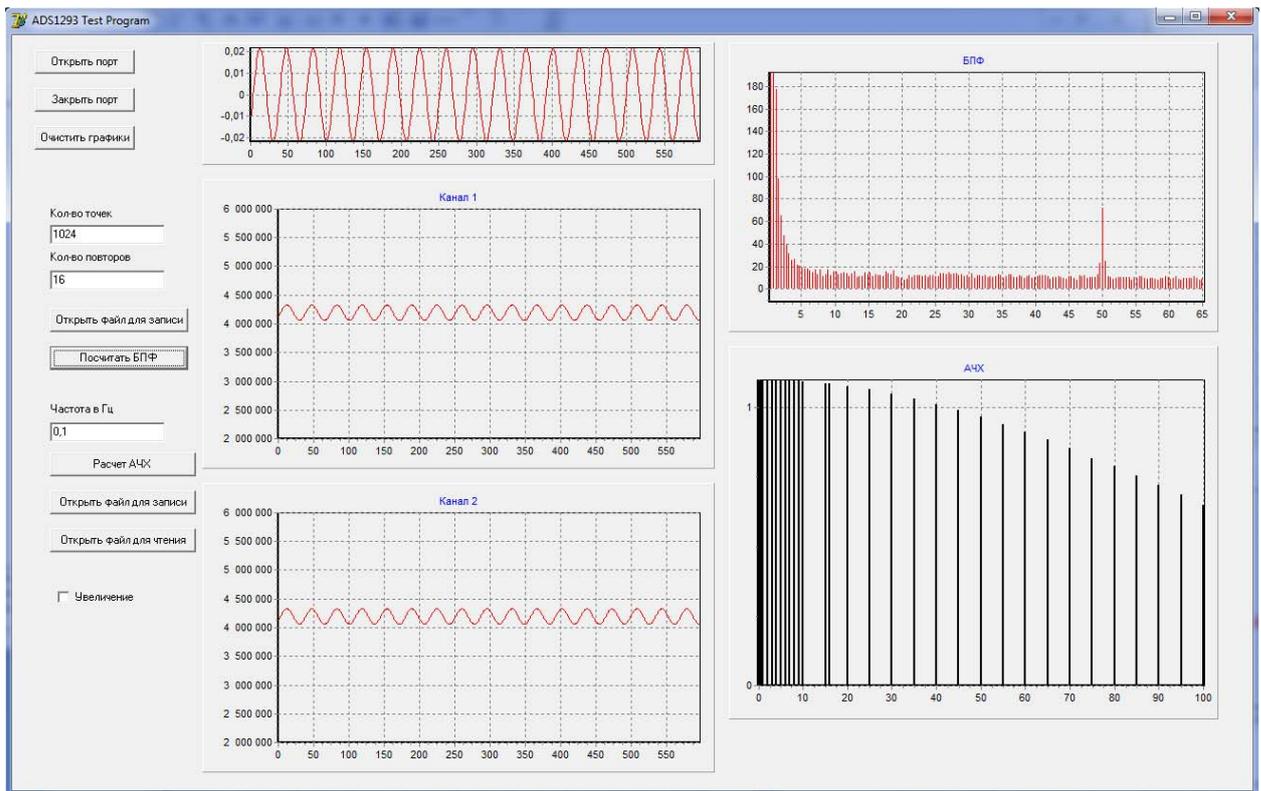


Рис.5. Внешний вид окна программы

Определение амплитудно-частотной характеристики

Рассмотрим амплитудно-частотную характеристику микросхемы (АЧХ) ADS1293, которая показывает, во сколько раз амплитуда сигнала на выходе системы отличается от амплитуды входного сигнала в диапазоне частот 0,01 - 100 Гц. Для этого пошагово вручную подадим с генератора синусоидальный сигнал с частотами 0,01, 0,1, 0,2... 0,9, 1, 2, ... 9, 10, 15, 20, 25... 100 Гц на входы ADS1293 и зная одинаковую на всех частотах амплитуду в 10 В, рассчитаем значение на каждой частоте по формулам:

$$H = \frac{U_{cf}}{U_{Гf}} = \frac{U_{cf}}{0,01 \cdot \sqrt{2}} = \frac{f(x)}{0,014}, \quad (1)$$

где U_{cf} - текущее среднеквадратическое значение на выходе вольтах, $U_{Гf}$ - текущее среднеквадратическое значение на входе;

$$x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right)^2}, \quad (2)$$

где x -среднеквадратическое отклонение в квантах, x_i - значение сигнала в квантах;

$$N = \frac{10F_d}{f}, \quad (3)$$

где F_d - частота дискретизации, f -частота сигнала;

$$f(x) = \frac{2V_{ref}}{3,5} \left(\frac{K_{out}}{K_{max}} + \frac{1}{2} \right) = 1,6348^{-7} K_{out} + 0,6857, \quad (4)$$

где $V_{ref}=2,4$ В -опорное напряжение , $K_{max} =8388608$ - максимальное значение в квантах.

Таким образом, можно получить АЧХ микросхемы ADS1293, изображенную на рисунке рис.6.1 и рис. 6.2.

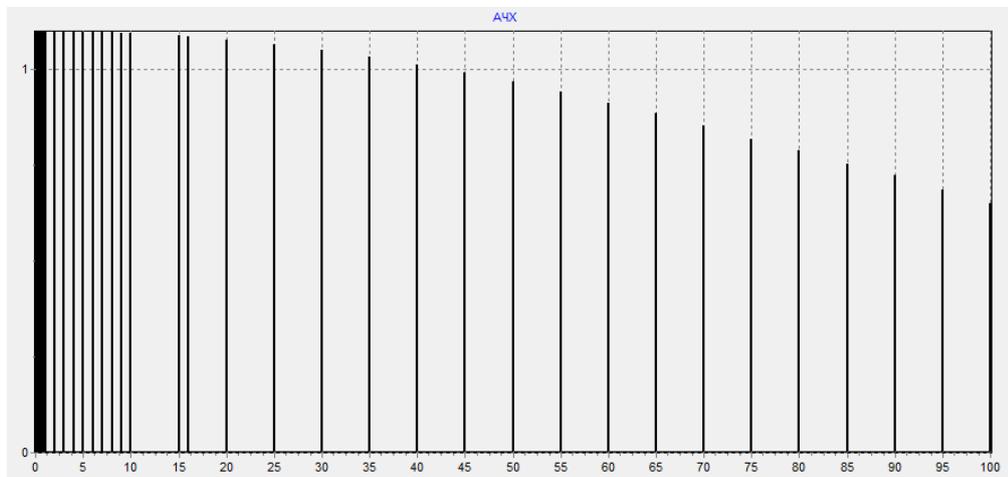


Рис. 6.1 Общий вид амплитудно-частотной характеристики микросхемы ADS1293

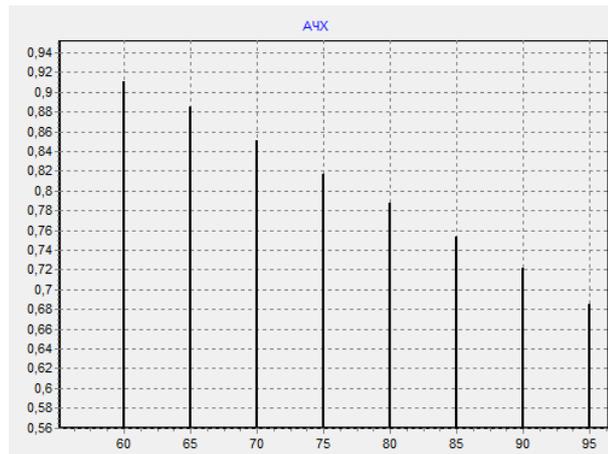


Рис.6.2 Амплитудно-частотная характеристика микросхемы ADS1293

Из рисунка рис.6. видно, что частота среза равна 95 Гц.

Расчет коэффициента передачи синфазного сигнала

Рассчитаем величину подавления синфазной помехи в дБ. Для этого получим амплитудный спектр синфазного сигнала на частоте 50 Гц с амплитудой 400 мВ и сделаем графическое отображение полученных значений на графике (рис.7.1 и рис.7.2).

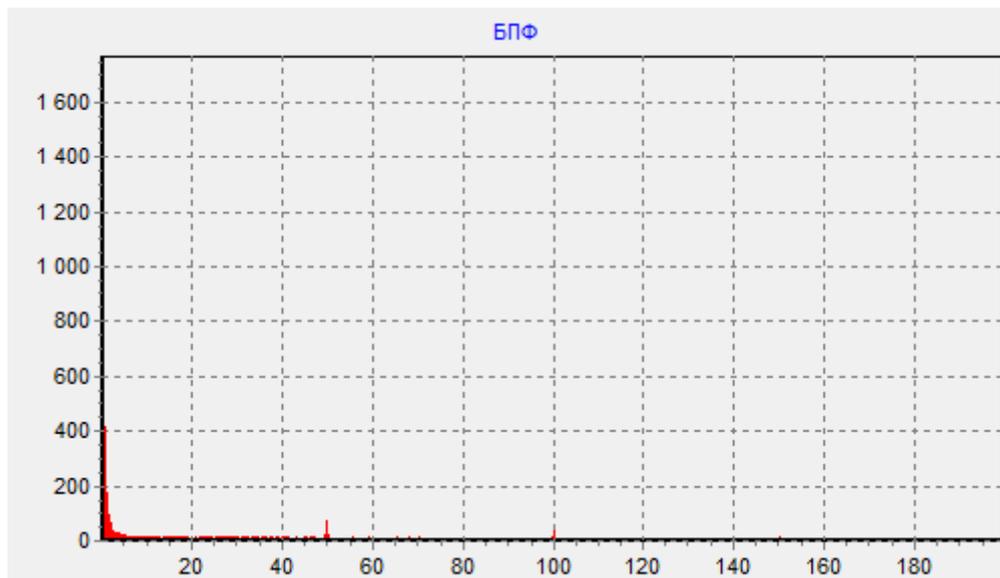


Рис.7.1 Общий вид спектра синфазного сигнала на частоте 50 Гц

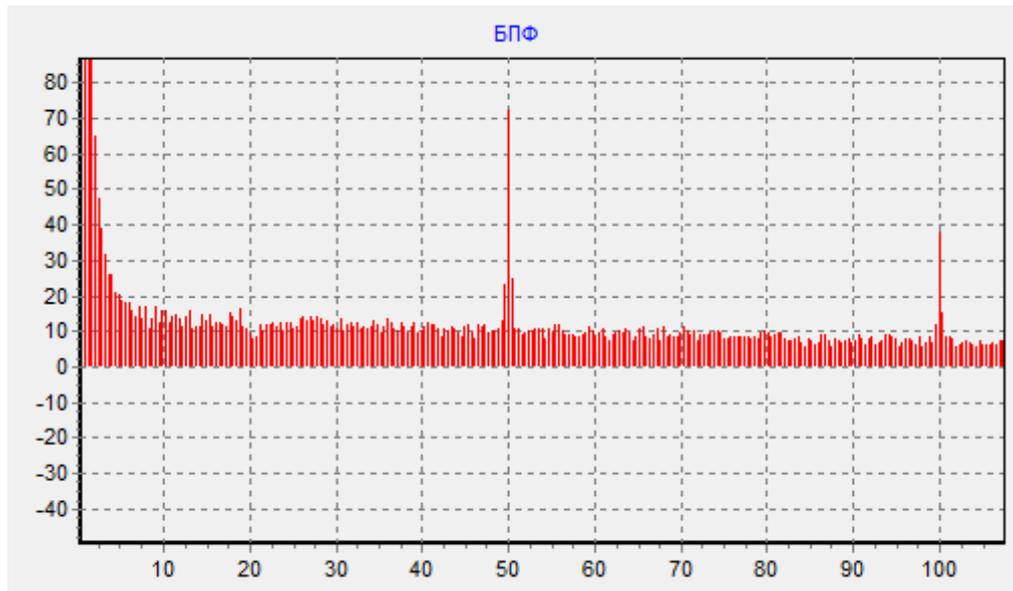


Рис.7.2 Спектр синфазного сигнала на частоте 50 Гц

На получившемся графике видно, что значение на частоте 50 Гц равно 70 квантам, отсюда, зная что амплитуда синфазного сигнала 400 мВ коэффициент передачи синфазного сигнала в дБ, :

$$f(x) = \frac{2V_{ref}}{3,5} \frac{K_{out}}{K_{max}} = 1,6348^{-7} K_{out}, \quad (5)$$

где $V_{ref}=2,4$ В - опорное напряжение , $K_{max} = 8388608$ - максимальное значение в квантах;

$$G_{CF} = 20 \cdot \log_{10} \frac{f(x)}{0.4} = 20 \cdot \log_{10} \frac{1,6348^{-7} K_{out}}{0.4} = 20 \cdot \log_{10} \frac{1,6348^{-7} 70}{0.4} = -90.62 \text{ дБ} \quad (6)$$

Определение уровня собственных шумов

Для определения собственных шумов отключим генератор от входов микросхемы ADS1293 IN1, IN2, IN3 и соединим их. Далее получим амплитудный спектр собственного шума и отобразим их на графике (рис.8.1 и рис. 8.2). Из графика видно что среднее значение собственного шума в диапазоне 10-100 Гц равно 8 квантам.

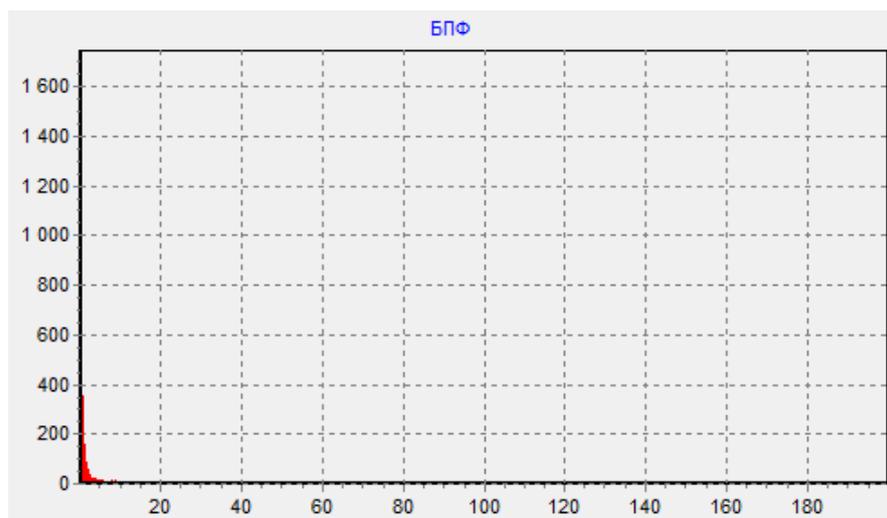


Рис.8.1 Общий вид спектра собственных шумов

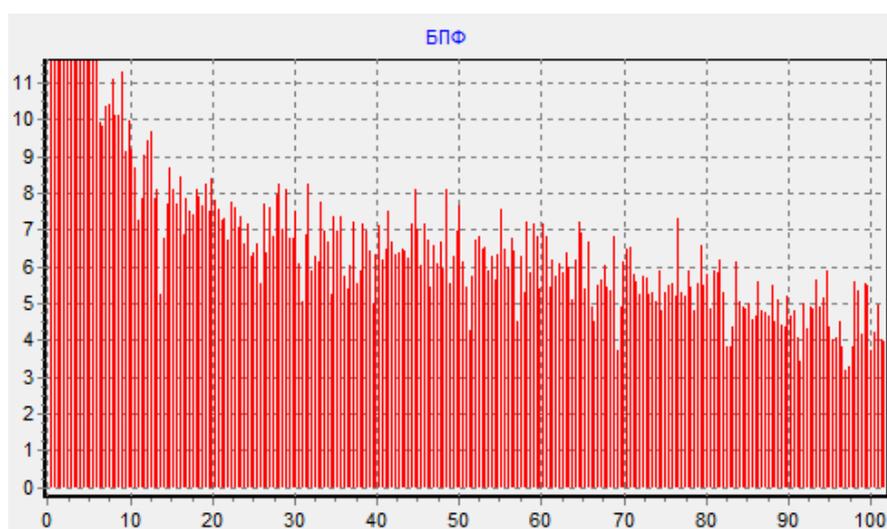


Рис.8.2 Спектр собственных шумов

Определение динамического диапазон

Рассчитаем динамический диапазон в дБ как логарифм отношения максимального значения 10 мВ и минимального значения 0,01 мВ величины входного напряжения микросхемы ADS1293.

$$D = 20 \cdot \log_{10} \frac{10}{0,01} = 60 \text{ дБ} \quad (7)$$

Исследование энергопотребления

Для определения потребления микросхемы ADS1293 в основном режиме и режиме пониженного энергопотребления (Stand-by) воспользуемся встроенной в ADS1293EVM схемой измерения тока данной микросхемы [9, 10]. Подключимся щупом осциллографа к выходу CUR_SENSE_OUT, на выходе которого можно получить значение напряжения и пересчитать в ток по следующей формуле:

$$I = k \cdot U = 0,0004 \cdot U \quad (8)$$

В основном режиме, как видно из рисунка 9., что на выходе CUR_SENSE_OUT 650мВ, что при пересчете по формуле составляет 260 мкА. В режиме пониженного потребления Stand-by на выходе CUR_SENSE_OUT 195мВ (рис.10), что составляет 78 мкА.

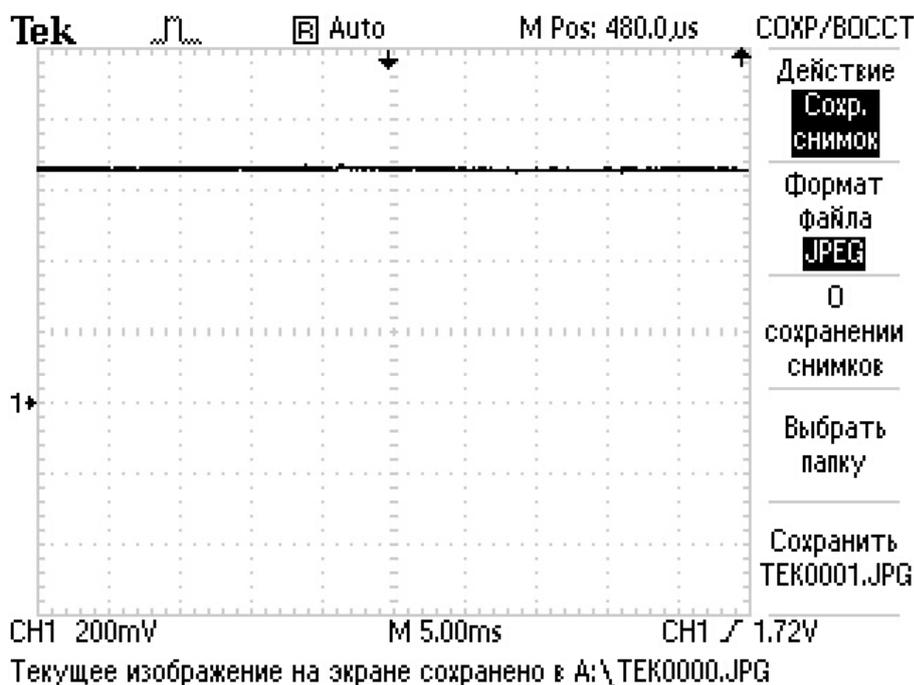


Рис.9. Потребление в основном режиме

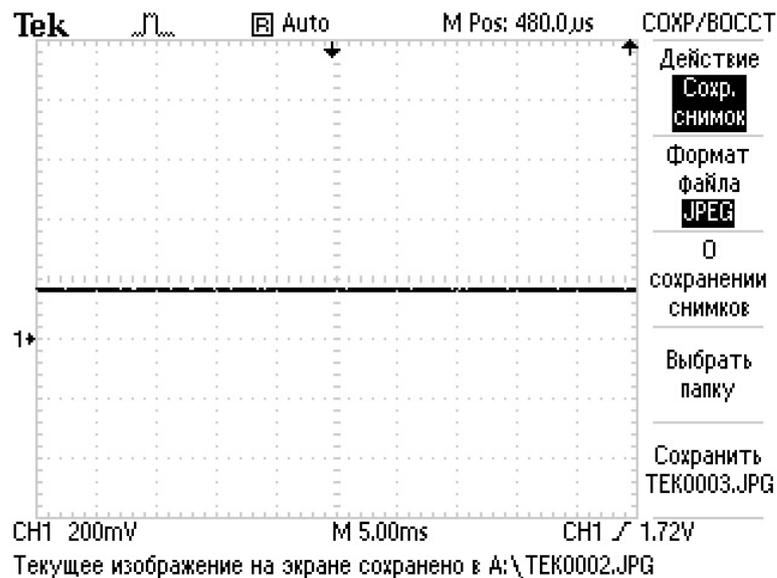


Рис.10.Потребление в режиме пониженного энергопотребления

Выводы

На основании анализа функциональных возможностей и технических характеристик AFE ADS1293, можно сделать вывод о том, что кроме очевидных преимуществ по габаритам в сравнении с аналоговой частью холтеровских мониторов на дискретных ОУ и АЦП, гибридная ИС обладает достаточно низким энергопотреблением даже в активном режиме, высоким соотношением сигнал/шум и достаточным динамическим диапазоном для решения задач холтеровского мониторинга. Кроме того, при анализе технических характеристик AFE было определено, что она может быть использована не только в составе холтеровского монитора но и миографа при полосе сигнала сдвинутой в высокочастотную область и, соответственно, на более высоких частотах квантования. Как следствие высокой интеграции аналоговой части и АЦП, а так же цифровой подсистемы первичной обработки квантованного сигнала использование AFE позволило существенно упростить схемные решения холтеровского монитора, уменьшить габариты и продолжительность автономной работы от батареи той же емкости.



Результаты исследований, изложенные в данной статье, получены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации госзадания №213.01-11/2014-47 «Разработка систем диагностики состояния биологических и технических объектов с использованием алгоритмов анализа нестационарных сигналов».

Литература

1. Medical AFEs [Электронный ресурс]
URL: ti.com/lscs/ti/data-converters/precision-adc-less-10msps-medical-afes.page
2. Акулов Л.Г., Будко Р.Ю., Вишневецкий В.Ю., Ледяева В.С. Структурное проектирование информационно-измерительных систем для исследования биопотенциалов // Инженерный вестник Дона, 2012, №4
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476
3. MSP430 Interface to ADS1293 Code Library [Электронный ресурс]
URL: ti.com/analog/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=snaa211&docCategoryId=1&familyId=82
4. Мерданов Ш.М., Конев В.В., Пирогов С.П. Применение аналого-цифрового преобразователя при оценке теплового состояния элементов гидропривода // Инженерный вестник Дона, 2012, №4
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2420
5. ADS1293EVM User's Guide [Электронный ресурс]
URL: ti.com/lit/ug/snau138b/snau138b.pdf
6. ADS1293 Low Power, 3-Channel, 24-Bit AFE for Biopotential Measurements (Rev. B) [Электронный ресурс]
URL: ti.com/product/ads1293?DCMP=hpa_amp_ads1293_en&HQS=ads1293pf-pr5
7. STM32L15xx6/8/B [Электронный ресурс] URL: st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00277537.pdf



8. STM32 L1 series of ultra-low-power MCUs [Электронный ресурс]
URL: st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1295

9. TI ADS1293 Single Chip Heart Monitor [Электронный ресурс]
URL: instructables.com/id/ECG-Simulator/step2/TI-ADS1293-Single-Chip-Heart-Monitor/

10. Drivers for ADS1293 [Электронный ресурс]
URL: e2e.ti.com/support/data_converters/precision_data_converters/f/73/t/231917.aspx

References

1. Medical AFEs [Electronic resource] URL: ti.com/lstds/ti/data-converters/precision-adc-less-10msps-medical-afes.page

2. Akulov L.G., Budko R.Y., Vishnivetskiy V.Y., Ledyeva V.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1476

3. MSP430 Interface to ADS1293 Code Library [Electronic resource]
URL: ti.com/analog/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=snaa211&docCategoryId=1&familyId=82

4. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Pirogov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2420

5. ADS1293EVM User's Guide [Electronic resource]
URL: ti.com/lit/ug/snau138b/snau138b.pdf

6. ADS1293 Low Power, 3-Channel, 24-Bit AFE for Biopotential Measurements (Rev. B) [Electronic resource]
URL: ti.com/product/ads1293?DCMP=hpa_amp_ads1293_en&HQS=ads1293pf-pr5

7. STM32L15xx6/8/B [Electronic resource] URL: st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00277537.pdf

8. STM32 L1 series of ultra-low-power MCUs [Electronic resource]
URL: st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1295



9. TI ADS1293 Single Chip Heart Monitor [Electronic resource]
URL: instructables.com/id/ECG-Simulator/step2/TI-ADS1293-Single-Chip-Heart-Monitor/

10. Drivers for ADS1293 [Electronic resource]
URL: http://e2e.ti.com/support/data_converters/precision_data_converters/f/73/t/231917.aspx