

Простой самодельный кардиограф с записью на SD карту

Новые улучшенные схемы аппаратной части

Варианты кардиографа	Схема и описание, прошивка	Примечания
Одноканальный кардиограф: частота дискретизации 976.5625 Гц, внутренний АЦП МК 10-12 бит, запись на SD карту, датчик, подключение к телефону для отображения кардиограммы		
1.0 (pic16873a)	Опубликованы в журнале Ралкохобби 2012. №4 и на сайте "Павлышк"	Простая и надежная схема. Низкото разрешение кардиосигнала по "вертикали" (хотя для надежной фиксации R-зубцов его вполне хватает)
2.0 (pic16873a)	Схема и описание здесь	Значительно улучшено качество записи кардиосигнала, причем без использования дорогих деталей: добавлен только дополнительный ОУ.
2.1 (pic1826k42)	Схема и описание здесь	Ещё улучшено качество кардиосигнала за счет МК с 12-битным АЦП и большего времени накопления. Реализовано выделение R-зубцов на микроконтроллере и индикация их светодионом
Двухканальный кардиограф: два канала ЭКГ, частота дискретизации 976.5625 Гц, внутренний АЦП МК 12 бит, запись на SD карту, датчик, подключение к телефону для отображения кардиограмм		
2.1 duo (pic1826k42)	Схема и описание здесь	То же, что и одноканальная версия 2.1, но одновременно оцифровывается 2 канала. Частота дискретизации кардиосигнала не изменилась, но поток информации увеличился вдвое

Отображения кардиограммы на смартфоне

Создана программа для отображения кардиограмм на телефоне или планшете с ОС андроид. Достаточно подключить переходник usb-com к usb host (otg) Вашего устройства. Поддерживаются переходники usb-com на популярных микросхемах CP210x, PL2303, CH340G.

Ссылка на арх:
[EKKG_SD_2020_04_15.apk](#), исходники [rut](#).
[EKKG_SD_2017_v2_10](#) от 24.08.2017.

Обновленная программа для взаимодействия с кардиографом и обработки записей ЭКГ

Последняя обновленная версия программы для компьютера:
[EKKG_SD_2017_v2_10](#) от 24.08.2017.
 Версия для двухканального кардиографа:
[EKKG_SD_2020_v2_11duo](#) от 05.07.2020.

Программа совместима со всеми аппаратными реализациями кардиографа. Список изменений:

- Для выделения R-зубцов применен новый, классический алгоритм на основе взвешенного накопления квадратов производной кардиосигнала, по книге "Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. 2007" (в [dnu, архивно](#)). В результате выделение R-зубцов более надежное, другие зубцы эффективно подавляются (в том числе зубцы S-зубца).
- Добавлена функция визуализации R-R интервалов. В результате длительитель запись ЭКГ легко искать аритмии, экстрасистолы и другие безобразия. Также обнаружение R-R интервалов это первый шаг на пути к анализу вариаций сердечного ритма.
- Поддерживается сканивание записей с SD-карты через **кард-ридер** в компьютер. Скорость при этом непервойденная, но карту придется вынуть из кардиографа и вставить в комп. Устройство при этом должно быть подключено для получения номера первого свободного сектора (либо этот номер можно ввести вручную).
- В сплске COM-портов отображаются только реально присутствующие в системе с "дружественными" именами.
- При визуализации ЭКГ в реальном времени в процессе записи устройством можно задать **интервал** отображения в секундах. При этом отображается статистическая информация о сигнале: среднее, СКО, размах. Может быть полезно для исследования шумовых характеристик усилителей.
- Записи ЭКГ можно хранить в tag-архивах (один *.tag файл на один *.ект - файл). Программа распаковывает архивы "на лету" (необходима штат.dll рядом с программой или установленный WinRAR).
- Двухканальная версия обрабатывает первый канал, а визуализирует оба канала.

Обновленная справка и документация на программу пока в разработке. Пока вы можете скачать руководство оператора от предыдущей версии программы [EKKG_SD_2010 - рук_пользователя.doc](#).

Совершенствование схемотехники самодельного кардиографа

Схема и описание первого варианта самодельного кардиографа с функцией записи на SD карту опубликована в журнале [Ралкохобби 2012. №4](#) и на сайте ["Павлышк"](#). Судя по полученным отзывам, в целом схема кардиографа оказалась удачной: повторение конструкции не вызвало сложностей, собранный кардиограф не требовал настройки и работал сразу после включения.

Тем не менее, и схема и [программное обеспечение](#) кардиографа могут быть усовершенствованы (см. версии [2.0](#), [2.1](#) и другие).

Во-первых, программу для анализа кардиограмм можно улучшить бесконечно в плане визуализации и анализа кардиосигнала, автоматического выявления сердечных импульсов (R-зубцов), поиска проблем в ритмом. Тут опубликованы [обновления программы](#) и некоторые примеры работы с программой по выявлению аномалий в функционировании сердца.

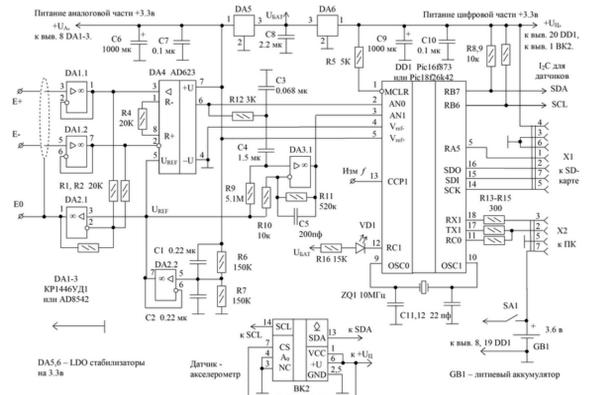
Во-вторых, аппаратная часть кардиографа может быть улучшена в нескольких направлениях:

- повышение качества записи кардиограммы, уменьшение помех и ошибок дискретизации (версия [2.0](#));
- использование более мощного микроконтроллера для повышения функционала кардиографа (версия [2.1](#));
- переход с "медленного" интерфейса COM (RS-232) на более современный интерфейс USB;
- использование современных **литиевых** аккумуляторов с зарядкой от USB;
- применение АЦП большей разрядности, в идеале специализированного биомедицинского АЦП;
- увеличение числа каналов (отведений) у кардиограммы (версия [2.1 duo](#));
- поддержка дополнительных датчиков, часов реального времени и средств инерциальной/глобальной навигации.
- визуализация электрокардиограммы на **планшете** или телефоне

Поскольку более мощные микроконтроллеры (а тем более высококачественные АЦП) стоят дороже и зачастую менее доступны, предлагается гибкое изменения аппаратной части. Простая [доработка исходной схемы](#) уже позволяет добиться максимального качества оцифровки кардиосигнала (без дополнительного АЦП), а это без сомнения самое главное. Независимо можно рассмотреть вариант установки более мощного микроконтроллера с 12-битным встроенным АЦП (версия [2.1](#)). Самый "крутой" вариант кардиографа - микроканальный внешней специализированный АЦП + USB микроконтроллер.

Версия кардиографа 2.0: простые доработки аналоговой части кардиографа для улучшения качества кардиосигнала

Принципиальная схема самодельного кардиографа с усовершенствованной аналоговой частью приведена на [рисунке](#) ниже, файлы с прошивками в [таблице](#).



Комментарии пользователей к схеме можно найти [здесь](#)

Главное улучшение схемы - перед подачей на АЦП МК кардиосигнал дополнительно усиливается ОУ DA3.1 в ~50раз, что соответственно уменьшает ошибки дискретизации. Перед усилением из сигнала филтрлом ВФН на C4,R10 исключается постоянная составляющая. В результате динамический диапазон АЦП полностью используется для оцифровывания именно полезного кардиосигнала сигнала, а не смещенной изолинии, возникающих из-за разбаланса электродов.

Также для уменьшения шумов применен ФНЧ на R12, C3, а кроме того усиление DA3.1 на высоких частотах ограничено C5 в цепи обратной связи.

По стандартам, во избежании искажения кардиосигнала, фильтр постоянной составляющей должен иметь постоянную времени t не менее 5 сек. Благо, это легко обеспечить за счет высокого входного сопротивления ОУ DA3.1. Недостатком дополнительного усиления является то, что при резком изменении напряжения разбаланса электродов, например, в процессе установки электродов на тело, возникает перергуз усилителя DA4. Это позволяет программно переключаться между "старым" и новым усиленным сигналами, чтобы фактически не теряться, но эту особенность поведения стоит иметь в виду при интерпретации данных кардиографа.

Для дальнейшего увеличения качества кардиосигнала приняты меры по уменьшению помех, которые SD-карта и МК создают при своей работе. Для этого применен стабилизатор напряжения питания аналоговой части DA5. Соответственно, это стабильное напряжение подано на МК в качестве опорного для АЦП (V_{REF}). Для питания цифровой части (МК, SD-карта, датчики) также применен отдельный стабилизатор DA6 на 3.3в, это позволяет SD-карте и акселерометру всегда работать при номинальных напряжениях.

По сравнению с первой версией кардиографа, на схеме отсутствует термодатчик на DS1621, так как польза от него сомнительна. Измерения температуры тела вообще задача сложная. Но при желании этот датчик можно поставить и включить опрос в прошивке. Акселерометр BK1 также не обязателен. Однако опыт показывает несомненную пользу от него при интерпретации длинных записей, так как при этом всегда возникают вопросы: изменения кардиограммы связаны с двигательной активностью или возникли сами по себе.

Также в первой версии кардиографа вывод МК RA3 (выв. 5) использовался как выход сигнала CS выбора SD карты. Теперь RA3 необходим как вход опорного напряжения для АЦП МК. Поэтому сигнал CS для SD карты выдвётся с выв. МК RA5 (выв. 7). Также сигнал с вывода DA4 усилителя подается на второй вход АЦП AN1. На первый вход AN0 по прежнему подается сигнал напрямую с выхода инструментального усилителя DA4. Это позволяет программно переключаться между "старым" и новым усиленным сигналами, чтобы убедиться в пользе от дополнительного усилителя. Все это потребовало соответствующих (минимальных) изменений прошивки. Новая прошивка выдает CS для SD карты на RA5 (выв. 7), а также по умолчанию записывает усиленный сигнал со второго (AN1) входа АЦП. Прошивка поддерживает переключение по команде с компьютера с AN1 на AN0, а также выбор различных опорных напряжений для АЦП.

Дополнительный ОУ DA3 - практически любой, ибо требования к шумовым характеристикам для него ниже, чем для усилителей в предварительных каскадах. В качестве DA4, DA5 можно использовать любые аналоговые микросхемы - стабилизаторы питания на 3.3в и ток до 100мА с низким падением напряжения (LDO). Не стоит использовать стабилизаторы, рассчитанные на большой ток (амперы), так как падение напряжения на них и собственное энергопотребление значительны.

Для питания кардиографа наиболее целесообразно использовать литиевые аккумуляторы подходящей емкости и размеров, которые можно заряжать от usb через стандартные схемы зарядки. Можно разместить схему зарядки и переходник usb-com в корпусе кардиографа, чтобы получить прибор с интерфейсом usb. Впрочем, возможно для экономии размеров носимого прибора, переходник и схему зарядки целесообразно сделать внешними. Это также позволяет иметь два переходника: первый с гальванической развязкой на оптонарах для наблюдения за кардиосигналом в реальном времени и второй без развязки для зарядки и сканивания кардиограмм в компьютере.

Версия кардиографа 2.1: новый МК с АЦП 12 бит (совместимый по выводам со старым)

После доработки [аналоговой части](#) логично обновить цифровую, используя вместо морально устаревшего Pic16873a более современный МК с 12-битным АЦП. Для владельцев уже собранного кардиографа лучше всего, если новый МК будет совместим с исходной схемой по выводам. К сожалению это ограничивает выбор МК (в частности исключает usb). Впрочем и без usb новый МК позволит обеспечить лучшее качество кардиосигнала, а это главное. Кроме того, у сам-порта есть свои преимущества: куда проще сделать оптоэлектронную гальваническую развязку (нужна буквально пара дешевых оптопар).

В настоящее время прошивка успешно портирована на pic1826k42. Это один из самых новых 8-битных МК от микрочип. При том же кварце на 10МГц рабочая частота МК в 4 раза выше. За счет этого до 39062.5 Гц увеличена частота опроса АЦП, при этом одна выборка кардиосигнала формируется суммированием 40 выборок АЦП. Высокая частота опроса АЦП снижает требования к аналоговым филтрам по входу АЦП и несколько повышает "битность", примерно на $\log_2(40^{0.5}) \approx 2.6$ бита.

Размер буфера для кардиосигнала увеличен до 512 байт, это снижает требования к скоростным характеристикам SD-карты и позволяет потенциально повысить частоту опроса кардиосигнала (которая впрочем и так довольно высока, ~1кГц) и число записываемых каналов.

Вместо МК pic1826k42 можно использовать pic1827k42 или pic1825k42.

Также в новую прошивку добавлена функция анализа кардиосигнала по распознаванию R-зубцов. Пока это распознавание используется только для индикации светодионом VD1 качества кардиосигнала. Каждый R-зубец отмечается вспышкой светодиода длительность 10мс, если идет запись на SD-карту. Если же запись на SD-карту не выполняется, то это индицируется двойной вспышкой светодиода. Как показывает практика, индикация работоспособности кардиографа очень полезная функция.

Для повышения качества записей кардиограф следует собирать на двухсторонней плате с переходными отверстиями и обширными земляными полигонами.

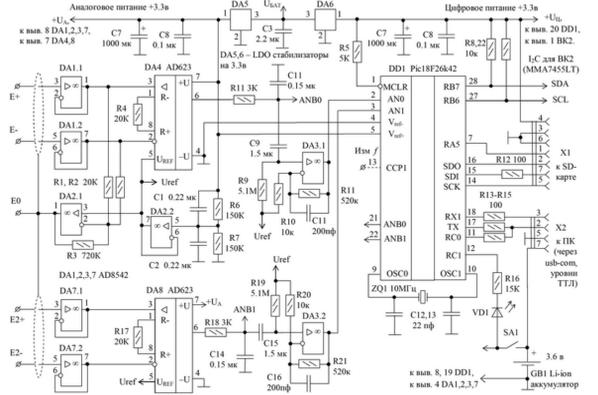
Для прошивки нового МК разработаны [вспомогательные программы](#)

Двухканальная версия кардиографа 2.1 duo

Использование мощного МК pic1826k42 позволяет без проблем оцифровывать несколько каналов кардиограммы. Разработана версия прошивки, которая одновременно оцифровывает сигналы по входам AN0 и AN1 МК и соответствующая программа визуализации и обработки кардиограмм.

Двухканальную прошивку 2.1duo можно использовать с аппаратной частью одноканальной [версии 2.1](#) кардиографа, при этом будет фиксироваться сигнал до и после дополнительного усиления (что может быть полезно для проверки работы усилителя, а также расширять динамический диапазон кардиографа).

Также можно добавить в аппаратную часть второй канал: два новых электрода, входной ОУ, инструментальный усилитель и при необходимости дополнительный усилитель. Схемы виртуальной и активной земли дублировать не надо. Сформированные аналоговой частью сигналы двух каналов подается на входы AN0 и AN1 МК. На схеме двухканального кардиографа ниже датчик усерения не показан, его подключение также же, как в одноканальной версии.



При наложении электродов надо стремиться к тому, чтобы на вход AN0 МК подавался сигнал с наиболее высокими R-зубцами, поскольку именно этот канал используется для выделения R-зубцов при управлении светодионом и при обработке на компьютере.

В прошивке есть возможность переключаться с пары входов AN0, AN1 на входы ANB0, ANB1, на которые подается сигнал без дополнительного усилителя. Это позволяет оценить работу дополнительного усилителя и при необходимости изменить его усиление под конкретные задачи.

Все файлы прошивок микроконтроллера для кардиографа с исходниками

Версия прошивки	Прошивка (hex, исходники)	Примечания
1.0 (pic16873a)	hex , src	Вход кардиосигнала - AN0. Дополнительно прошивка обеспечивает опрос термометра DS1621 и акселерометра MMA7455LT, а также измерение частоты сигнала на входе RC2 (CCP1)
2.0 (pic16873a)	hex , src	Управление входом CS SD-карты перенесено на вывод RA5. Опрос термометра DS1621 отключен (легко включить в исходниках). Кардиосигнал оцифровывается по входу AN1, входы AN2,3 используются как опорные напряжения для АЦП МК. Поддерживаются команды с компа по переключению входа кардиосигнала (AN1 или AN0), выбору опорных напряжений АЦП (со входов AN2,3 или от питания МК), с накоплением сигнала или с порожением. Если вставлена SD-карта, то при возникновении ошибок записи на SD-карту устройство переадресует: если уж запланированы измерения, то они должны вестись.
2.1 (pic1826k42)	hex , src	Кардиосигнал занимает полные 16 бит (12 бит АЦП + накопление по 40 выборок). Опрос термометра и измерение частоты не поддерживаются. Добавлено управление светодионом по RC1 (CCP2), который мигает в соответствии с выделенными R-зубцами (алгоритм выделения R-зубцов реализован в прошивке)
2.1 duo (pic1826k42)	hex , src	Оцифровывается одновременно сигнал по входам AN0 и AN1. Формат записи на SD-карту не изменился, AN0 пишется в четные выборки, AN1 в нечетные. Частота опроса кардиосигнала не изменилась (976.5625 Гц), в каждом канале выборка формируется накоплением 20 отсчетов АЦП. Поток записи на карту SD увеличился в 2 раза.

Вспомогательные программы для прошивки МК Pic1826k42

Программа	Ехе и исходники	Примечания
NkyComProgPic18F26k42, программа для обновления прошивок pic1826k42 через com-порт	exe , src	Для нового МК изменились максимальный размер прошивки и размер станицы flash-памяти МК, поэтому программа для обновления прошивок через com-порт не встроена в программу обработки кардиограмм, а реализована отдельно
NkyJMPProgPic26k42, программа для первичной (высоковольтной) прошивки pic1826k42 через jpd-совместимый (подключается к com-порту) программатор	exe , src	Данный МК довольно новый, поэтому были сложности с прошивкой его через jpd-совместимый (который подключается к com-порту) программатор из-за отсутствия поддержки в софте (например, PicPgm). Фирма микрочип подразумевает, что надо купить новый программатор. Однако протокол высоковольтного программирования современных Pic МК настолько прост, что была разработана собственная программа для высоковольтного программирования через com-порт

Подключение к кардиографу вместо электродов пояса пульсомера



Можно подключить к кардиографу вместо электродов пояс от спортивного пульсомера. При этом два контакта пояса подключаются к входам E+ и E-. Поскольку заземляющий электрод у пояса отсутствует, необходимо установить 2 симметрирующих резистора от E- и E+ к виртуальной земле Uref. Сопротивления резисторов должны быть порядка 560КОм (подобраны экспериментально, хотя теоретически возможны и большие значения).



Поскольку активная земля (E0) в таком включении не используется, при подключении кардиографа к компьютеру без гальванической развязки визуализация кардиограммы становится невозможной из-за преазирующих наводок. Поэтому целесообразно вывести контакт E0 наружу - при к контакту наводки эффективно подавляются без активной земли.

Также отсутствие заземляющего электрода к пояса представляет угрозу для входных цепей кардиографа. В момент подключения к компьютеру единственный путь для статического заряда, накопленного на теле (иногда весьма значительного), лежит через входы ОУ DA1. Поэтому целесообразно поставить последовательно ко входам E+, E-, резисторы на 200-100 КОм, а также перед подключением кардиографа к компьютеру предварительно разрядить "статик" на корпус компа.

Пояс пульсомера хорош тем, что легко и быстро надевается, и в сочетании с кардиографом позволяет получать надежные измерения пульса: в отличие от (даже дорогих и навороченных) спортивных пульсомеров, обойные участки кардиограммы (часто возникающие во время движения) можно достоверно обнаружить и отбрасывать. Что вообще так показывают спортивные пульсомеры - вопрос дискуссионный. Однако не оптимальный выбор мест наложения электродов у пояса уменьшает амплитуду полезного кардиосигнала и снижает помехозащищенность от "подвижек" электродов. При этом конструкция пояса такова, что электроды пояса реагируют на большой спектр движений тела. Наконец, долго носить пояс трудно, особенно это видно в сравнении с электродами - даже из монет на пластяре, не говоря уж о специализированных электродах для холтеровского мониторинга, которые практически не ошущаются.

Комментарии

12.12.2019, Василий
 А какой ток потребления у кардиографа с новым микроконтроллером?
Автор
 Потребляемый ток, конечно, увеличился, точно не мерил. МК работает на частоте 40МГц (10 тирс) и постоянно что-то делает, возможные подходы к снижению потребления пока не используются.

1.05.2020, Игорь
 Здравствуйте. Хотел бы спросить, собирали ли вы этот ЭКГ? Если да то могли бы вы скинуть фотографию? А так же есть ли печатная плата (схема). Был бы очень признателен! Спасибо.
Автор
 Вот фото 2011 года [без акселерометра](#), с [акселерометром](#) и ещё [фото](#). Фото 2016 года с литиевым аккумулятором [Вот](#). Но всё это старые версии 1.0 без дополнительного усилителя. Вот фото с [навинченным лог. усилителем](#) и стабилизаторами по питанию, но такой 3d-монтаж субъективно на любителя. Вот [архив](#) с файлами для подключения и прошивки.

Вот чертежи платы 2012 года ([архив](#) и [html](#)). Ещё есть вариант платы, разведенной одним хорошим человеком, так же разведен переходник usb-com на #232, файлы для пика: [pcb](#) и [pdf](#). Но все эти платы без деп. Рекомендую к повторению. Новые платы проектируются сейчас, но уже для usb МК.

Игорь
 Большое спасибо. Заметил что элементная база стала более сложной и уже не соответствует плат 2011 года. Очень интересно следить за дальнейшим развитием. Если будет возможность буду очень признателен если сбросите элементную базу или фото собранной платы на основе схемы на МК pic1826k42. И ещё вопрос, не размышляли об увеличении количества электродов и сложностей которые могут возникнуть? На скляюю сейчас стоит аму (Ахов) и на скляюю его в теории/практике хватает.
Автор
 Для pic1826k42 плата не делалась, он совместим по выводам с Pic16873, поэтому просто воткнул в панельку (вот преимущество дпн-корпуса для разработчика). Давно бы перешёл на usb МК - но выводы не совместимы.

Раньше аккумуляторы 600 мАч хватало на двое суток, теперь с pic1826k42 ровно на один сутки (значит общее потребление ~25 мА, но не мерил). Впрочем, прошивка написана не оптимально в плане энергосбережения, зато удобно для программирования, да и увеличение измерений АЦП максимальное, и даже выделение R-зубцов налету работает.

Новая плата, думаю, будет заказана у китайцев, чтобы был хороший земляной полигон для минимума помех. И smd для уменьшения габаритов. Сейчас идет разработка. Ну и спец. АЦП ad1294 тоже в планах попробовать, для сравнения качества, только дорогая она и сильно мелкая.

Добавить ещё канал ЭКГ не проблема, но выдать в новой версии он будет в режиме эксперимента. Вопрос больше зачем - электроды цепляют вдоль (и уже надо знать куда), а дополнительная информация для не для специалиста не очень много. Ну наверное второй канал нужен, чтобы R зубец лучше видеть, но выделение R автоматом - задача неблагодарная... Вот [жестколинейная экстрасистола](#) на графике выглядит шираро и повнятно, но даже это - норма...

30.06.2019, Автор
 Выложена [двухканальная](#) версия прошивки и соответствующая программа для компа.

04.07.2020, Алексей
 Здравствуйте! Обязательно буду собирать. Простое удивительно, как быстро Вы работаете и создаете новые версии прошивок, ПО и варианты прибора! Версия ПО для данный момент недоступна. Видно, дорабатываете еще? Какой коэффициент усиления имеет каждый канал до входа АЦП? Есть ли смысл его повышать?
Автор
 Программа и прошивка оттестированы, всё работает и теперь доступно для скачивания.
 При указанных на схеме номиналах спера DA4 AD623 усиливает сигнал в 6 раз, затем DA3 ещё в 53 раза. Наверное с учетом 12-битного АЦП и нового МК pic1826k42 усиление DA3 стоит снизить до ~10 хотя бы в главном канале, где R-зубцы высокие.

Добавить комментарий
 Имя*:
 E-mail*: Получать информацию об ответах
 Ваш сайт: [что это?](#)

Текст комментария*:

Я согласен с [правилами публикации комментариев](#)

Или просто напишите на почту zvd3d3d@rambler.ru