

УДК 616.8

**В.Л. Сахаров****АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ РЕГИСТРАЦИИ  
ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

*Рассматривается один из новых подходов к проектированию систем регистрации биопотенциалов человека. Его основой является перевод ряда функций аналоговой обработки сигналов в цифровую. Приведен пример практической реализации такого подхода.*

*Биопотенциалы; аппаратура регистрации электрофизиологических сигналов; электромиограф.*

**V.L. Sakharov****THE ARCHITECTURE OF THE MODERN DEVICES FOR REGISTERING  
ELECTROPHYSIOLOGICAL SIGNAL**

*In this article one new approach for designing of the biopotential registering systems is introduced. The basic principle of this approach is translating some functions from analog to digital form. An example of this approach is showed in this article.*

*Biopotentials; electrophysiological signals registering device; electromyography.*

**Технические особенности современной аппаратуры регистрации биопотенциалов.** Данная статья посвящена рассмотрению основных современных требований к проектированию электрофизиологической аппаратуры, т.е. приборов для регистрации таких видов биопотенциалов, как электромиограмма (ЭМГ), электроэнцефалограмма (ЭЭГ), вызванные потенциалы (ВП) и др.

Если в целом рассмотреть основные требования к подобной аппаратуре, с учетом организации ее производства и серийного выпуска, то можно отметить ряд особенностей:

1. Стремление к универсальности каналов регистрации биопотенциалов.
2. Стремление к портативности.
3. Повышение качества регистрации биопотенциалов.
4. Повышение надежности аппаратуры.

Рассмотрим требования к архитектуре приборов исходя из этих особенностей. Для организации универсальных каналов для регистрации биопотенциалов необходимо учитывать факторы наличия широкой частотной полосы пропускания с перестраиваемыми значениями фильтров нижних и верхних частот, а также широкий динамический диапазон по амплитуде. К примеру, наиболее широкополосным сигналом среди рассматриваемых является электромиограмма. Частотная полоса ЭМГ варьируется в диапазоне от 2 Гц до 10 кГц. А самым узкополосным является ЭЭГ с диапазоном частот от 0,5 до 70 Гц. Соответственно необходимо иметь перестраиваемые полосы для ограничения сигнала снизу от 0,5 до 100 Гц (значение для некоторых видов ВП), а сверху от 70 Гц до 10 кГц. Очевидно, что такие широкие полосы, тем более перестраиваемые с небольшим шагом, возможно реализовать только в цифровом виде при наличии высокой разрядности представляемых данных (минимум 24, а желательно 32 разряда для реализации фильтров более высокого порядка).

Также стоит учесть, что частотный диапазон большинства регистрируемых биопотенциалов включает в себя частоту сети 50 Гц, а также ее гармоники 100 Гц, 150 Гц и т.д. Современные требования по уровню помех при регистрации биопотенциалов требуют наличия режекторных фильтров как для самой сетевой помехи, так и для ее гармоник. Естественно, что реализация этих фильтров в аналоговом виде не является хорошим решением, так как резко усложнится аппаратная часть

системы и в аналоговых цепях появится дополнительный собственный шум за счет собственного шума операционных усилителей в схемах фильтров. Лучшим решением является реализация режекторных фильтров в цифровом виде.

Для организации широкого динамического диапазона (также переключаемого с небольшим шагом) современная электроника предлагает использование 24-разрядных дельта-сигма АЦП. При этом, масштабируя оцифрованные данные возможен анализ как высокоамплитудных процессов (например, стимуляционная ЭМГ с амплитудой сигналов до 100 мВ), так и низкоамплитудных вызванных потенциалов с компонентами сигналов около 1 мкВ. Использование дельта-сигма АЦП позволяет также практически не применять в схемах аналоговых фильтров благодаря наличию внутренних фильтров и очень высокой частоте дискретизации (десятки МГц) в архитектуре самих АЦП.

Оценим возможность организации архитектуры аппаратных средств исходя из необходимого объема передаваемых данных. Рассмотрим самый сложный вариант. Поскольку полоса пропускания такого универсального канала рассчитывается исходя из 10 кГц (верхняя полоса пропускания электромиограммы), то частота дискретизации составляет минимум 40 кГц по одному каналу. Возможен вариант одновременного 4-канального ввода электромиограммы. Соответственно, общая частота дискретизации будет составлять не менее 160 кГц. Учитывая, что большинство функций по обработке сигнала, к которым относятся цифровое переключение чувствительности, фильтрация нижних и верхних частот, а также режекторная фильтрация, целесообразно выполнять непосредственно с оцифрованным сигналом, важное значение играет разрядность представляемых данных. Физически максимальное количество разрядов, которое могут дать пригодные для использования в подобных цифровых системах обработки биопотенциалов АЦП, составляет 24 разряда. Опыт использования различных фильтров позволяет сказать, что для обеспечения нужной точности представления данных после фильтрации необходимо как минимум 32 разряда данных. Итак, общий поток данных должен передаваться в компьютер со скоростью не менее 640 Кбайт в секунду, что соответствует около 8 Мбит в секунду. Из стандартных интерфейсов связи, которые в настоящий момент имеются у персональных компьютеров, только два могут обеспечить нужную скорость обмена данными – это Ethernet и USB. Предпочтительным среди данных интерфейсов является USB, поскольку, во-первых, интерфейсов USB у компьютера, как правило, несколько, во-вторых, организация гальванической развязки по интерфейсу USB проще и, в-третьих, появляется возможность отказаться от питания 220 В, используя питание через интерфейс USB, ограничение только в потребляющем токе электромиографа, который должен быть не более 500 мА. Правда, в этом случае необходимо разрабатывать собственный драйвер USB-порта, который позволил бы реализовать обмен данными между аппаратными средствами и компьютером, а также обеспечивал подачу необходимого питания.

Ethernet также является неплохим решением, однако данный интерфейс имеет смысл использовать в тех случаях, когда требуется удаленная в рамках одного здания передача данных, т.е. когда расстояние между аппаратным блоком регистрации и компьютером превышает 5 м.

Подводя итог описанию технических особенностей построения современных систем обработки данных можно сделать вывод, что большинство операций по фильтрации, обеспечению точности представления данных и другой обработке биомедицинских сигналов целесообразно проводить в цифровом виде, разделяя эти функции между микропроцессорами из состава аппаратных средств и персонального компьютера.

**Особенности аппаратной реализации.** Исходя из приведенных требований к разработке систем регистрации биопотенциалов человека и рекомендуемого ин-

терфейса, можно представить структуру аппаратных средств системы на примере разработки электромиографического анализатора «Синапсис» [1].

Приведенная структура электромиографа состоит из 4-х основных узлов: узел интерфейса USB (USB), аналоговый узел (AN), узел управления звуковым и световым стимуляторами (ST), узел стимулятора «шахматное поле» (VID). Все узлы прибора взаимно гальванически развязаны. Узлы USB и VID расположены около задней стенки прибора. Эти узлы относятся к потенциально опасным для пациента. Узлы AN и ST расположены около передней стенки прибора. Эти узлы могут иметь контакт с пациентом и имеют гальваническую развязку по отношению к потенциально опасным узлам, в соответствии с нормами для медицинских приборов данного класса.

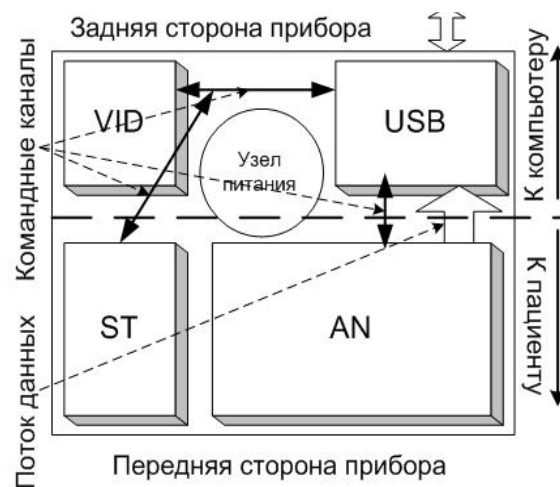


Рис. 1. Блок-схема аппаратной части прибора «Синапсис»

От узла AN к узлу USB идет высокоскоростной поток данных с информацией, регистрируемой четырьмя миографическими каналами. Узел USB имеет двунаправленные командные каналы связи со всеми остальными узлами. Вся информация от компьютера поступает только на узел USB, и только затем уже этот узел может ретранслировать информацию на остальные блоки. Прибор подключается к компьютеру через интерфейс USB стандартным кабелем.

Управление электромиографом полностью программное, с помощью специально разработанной системной библиотеки, оформленной в виде dll. Основными функциями библиотеки являются:

- ◆ открытие канала связи и инициализация всех узлов электромиографа;
- ◆ освобождение канала связи и выключение всех узлов прибора;
- ◆ включение/выключение передачи данных по выбранному каналу или по всем каналам;
- ◆ задание верхней и нижней полос пропускания сигнала в режиме регистрации;
- ◆ задание верхней и нижней полос пропускания в режиме останова;
- ◆ включение/выключение режекторных фильтров на 50, 100 и 150 Гц, для подавления синфазной помехи и ее гармоник;
- ◆ задание параметров озвучивания электромиограммы (громкость в децибелах);
- ◆ выбор типа стимулятора;
- ◆ задание параметров электростимулятора (ток, длительность импульса);

- ◆ задание параметров фоностимулятора (громкость, длительность импульса, частота заполнения);
- ◆ задание параметров фотостимулятора (яркость, длительность светового импульса);
- ◆ задание параметров стимулятора «шахматное поле» (размер клеток, размер поля, «зашумленность» изображения).

Взаимодействие с данной библиотекой осуществляется с помощью прикладного программного обеспечения, с которым взаимодействует врач-исследователь в процессе проведения обследования. Все функции по заданию параметров сигнала или управления внешними стимуляторами доступно в виде выпадающих списков при выполнении соответствующих методик. На рис. 2 приведен пример окна регистрации четырехканальной ЭМГ с указанными параметрами цифровой обработки.



Рис. 2. Окно регистрации ЭМГ

К числу достоинств предлагаемого подхода, помимо работы в реальном времени всех компонентов системы, стоит отнести возможность изменения параметров фильтров и чувствительности (масштаба по амплитуде) после завершения его записи, которые реализуются без искажения амплитудно-частотных характеристик сигнала.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сахаров В.Л. Аппаратные и программные средства современных электромиографов // Известия РГТУ. – 2006. – № 11 (66). – С. 120-123.

**Сахаров Вадим Леонидович**  
 Закрытое акционерное общество «ОКБ «Ритм»».  
 E-mail: vadim@ritm.tsure.ru.  
 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99.  
 Тел./факс: 88634311933.

**Sakharov Vadim Leonidovich**  
 Joint Stock Company «OKB «Ritm»».  
 E-mail: vadim@ritm.tsure.ru.  
 99, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia.  
 Phone/fax: +78634311933.