

«эталонными» объектами с максимальным (А) и минимальным (В) уровнем ППФГ реализовано на основе структурного метода начального упорядочения (рис. 6). За подобную интерпретацию данных отвечает модуль визуализации с элементами когнитивной графики, в котором реализуется отображение как индивидуальных, так и групповых данных.

Таким образом, комплекс позволяет проводить ежегодные обследования функционального состояния студентов, вести базу данных, включающую сведения о динамике физической подготовленности, а также результаты комплексных тестовых испытаний и анамнеза. Данные такого мониторинга предоставляют возможность количественной оценки общего уровня здоровья (а также отдельных составляющих: физического, психофизиологического и психического состояния) не только каждого студента, но всего контингента.

УДК 616-71

Т.В. Истомина, А.В. Киреев, Е.В. Истомина

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИООБЪЕКТА НА БАЗЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТЫ ADVANTECH PCI-1710

Достижение высокой информативности измерений электрических параметров биообъекта, на практике связано с необходимостью удовлетворения ряда весьма жестких требований, предъявляемых к точности измерения биопотенциалов, а также к стабильности основных характеристик информационно-измерительной системы (ИИС). В настоящей работе удовлетворение этим требованиям было достигнуто как за счет совершенствования аппаратной части ИИС, так и за счет введения в ее вычислительную компоненту дополнительной системы предварительной обработки первичной измерительной информации, позволяющей частично компенсировать инструментальную погрешность за счет соответствующей математической коррекции получаемых результатов измерений.

В ходе практической реализации биометрических ИИС возникают значительные затруднения, связанные с выбором их наиболее рациональной структуры [1]. В рамках наших исследований был реализован исследовательский комплекс для анализа электрических характеристик биообъекта, построенный на базе универсальной многофункциональной платы АЦП-ЦАП Advantech PCI-1710. Плата имеет 16 униполярных аналоговых входов (или 8 дифференциальных) разрядностью 12 бит. Верхний предел частоты дискретизации для платы составляет 100 кГц. Структурная схема разработанного комплекса приведена на рис. 1.

Для наиболее эффективного использования возможностей применяемого АЦП диапазон его входных напряжений должен совпадать с диапазоном изменения измеряемых сигналов. АЦП универсальной платы Advantech PCI-1710 (блок 3) имеет диапазон входных напряжений $\pm 1,25$ В. Диапазон же измеряемых сигналов лежит в пределах нескольких милливольт. Для предварительного усиления измеряемого сигнала датчиком (блок 1), в рамках настоящей работы, в блоке усиления – фильтрации (блок 2) использован инструментальный усилитель, реализованный на базе микросхемы АМР02ЕР и обеспечивающий равномерное регулируемое усиление от 1 до 1000, в диапазоне частот от 0 до 100 кГц. Кроме функции усиления, инструментальный усилитель обеспечивает преобразование измеряемых потенциалов в напряжение на низкоомной заземленной нагрузке (входное сопротивление АМР02ЕР составляет 10 ГОм), а также обеспечивает подавление синфазных помех (для усилителя АМР02ЕР коэффициент отрицательной обратной связи составляет 95 дБ).

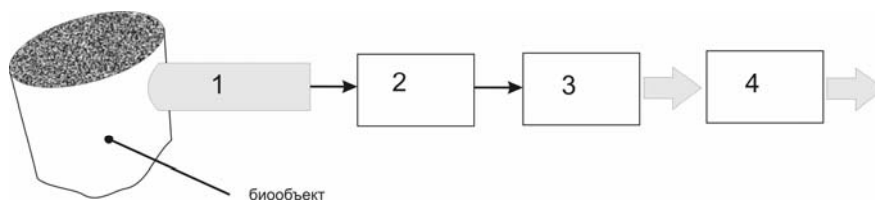


Рис. 1. Структурная схема комплекса для анализа электрических характеристик биообъекта

Реальные измеряемые сигналы всегда содержат высокочастотные составляющие, которые после дискретизации не могут быть зарегистрированы. Вследствие эффекта наложения частот они преобразуются в сигналы с более низкими частотами, которые, складываясь с полезным сигналом, вносят дополнительные искажения и снижают общую информативность проводимых измерений.

Для борьбы с искажениями полезного сигнала, вызванными эффектом наложения частот, в блоке усиления – фильтрации 2 перед подачей на вход АЦП 3 измеряемые сигналы предварительно фильтруются с помощью аналогового ФНЧ, отсекающего все высокочастотные составляющие.

Для наиболее эффективного использования возможностей АЦП пульсации в полосе пропускания аналогового фильтра не должны превышать $R_p=20\lg(2^{12}/(2^{12}-1))=0,0021$ дБ, а подавление высокочастотных составляющих сигнала в полосе задержания должно быть не меньше $R_s=20\lg(2^{12})=72,25$ дБ. Для полного подавления высокочастотных составляющих сигнала граничная частота в полосе задержания фильтра не должна превышать $f_{it}=100/2=50$ кГц.

Проведенные расчеты показали, что для соответствия приведенным выше требованиям при граничной частоте в полосе пропускания $W_p=30$ кГц необходим фильтр, имеющий порядок не менее 8. В результате статистических испытаний было установлено, что при реализации требуемой передаточной функции в форме пассивного RLC-фильтра отклонение значений параметров элементов схемы от их номинальных значений, в первую очередь, приводит к увеличению пульсаций АЧХ-фильтра в полосе пропускания. Для обеспечения требуемого уровня пульсаций (0,0021 дБ) необходимо поддержание точности параметров элементов фильтра на уровне не менее чем 0,001%, что является практически недостижимым.

В связи с этим в разработанном комплексе используется активный аналоговый фильтр, реализующий представление звеньев второго порядка в параметрах пространства – состояний. Такой фильтр обеспечивает высокую устойчивость формы АЧХ к разбросу значений параметров отдельных элементов. Фильтр реализован на базе микросхемы MAX274, представляющей собой интегральный линейный активный аналоговый фильтр 8-го порядка, состоящий из 4-х самостоятельных звеньев 2-го порядка. Требуемая форма АЧХ фильтра задается с помощью внешних резисторов. Максимальная частота среза активного фильтра ограничена конечной скоростью нарастания сигнала операционных усилителей, входящих в его состав. Для MAX274 она составляет около 100 кГц и полностью удовлетворяет требованиям поставленной задачи.

Форма передаточной функции микросхемы соответствует аппроксимации по Баттерворту, поэтому на базе MAX274 фильтры Баттерворта реализуются наиболее просто. Реализация аппроксимаций по Чебышеву требует введения в схему фильтра дополнительных внешних элементов. Проведенные расчеты показывают, что для фильтра 8-го порядка, для обеспечения необходимого подавления в полосе задержания и пульсаций в полосе про-

пускания, граничная частота в полосе пропускания фильтра составляет только 20 кГц. То есть большая часть спектра сигнала после фильтрации оказывается искаженной.

Основная нестабильность АЧХ активного фильтра, реализованного на базе интегральной микросхемы, связана с разбросом параметров внешних резистивных элементов. Результаты статистических испытаний показали, что для обеспечения требуемой точности задания формы АЧХ необходимо поддержание номиналов внешних резисторов схемы фильтра (в первую очередь, четырех резисторов обратной связи) с точностью не хуже 0,01 %. Такая точность достижима только при использовании специальных прецизионных резисторов. Кроме того, температурная нестабильность самой микросхемы MAX274 составляет приблизительно $160 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$ (0,016 % на градус) и не позволяет обеспечить задание АЧХ с требуемой точностью без применения температурной стабилизации. Таким образом, применяемый аналоговый фильтр не позволяет в полной мере обеспечить необходимые для эффективного использования 12-битного АЦП характеристики.

Несовершенство аналогового тракта ИИС, связанные с нестабильностью и неравномерностью АЧХ аналогового фильтра, собственными динамическими характеристиками инструментального усилителя, определенным уровнем нелинейных искажений и т.п., приводят к неизбежному искажению измеряемых сигналов. В результате измеряемые параметры передаточной функции исследуемого биообъекта несколько отличаются от их истинных значений. С этим связана значительная доля систематической погрешности измерений, которая не может быть устранена путем статистического усреднения результатов.

В разработанном исследовательском комплексе компенсация систематической погрешности измерений, связанной с несовершенством аппаратной части ИИС, достигается за счет применения дополнительной обработки информации. При измерении биопотенциалов в условиях стационарности исследуемого объекта такая обработка заключается в предварительной фильтрации первичной измерительной информации с помощью фильтра деконволюции (блок 4) [2]. При идентификации БИХ (бесконечная импульсная характеристика) модели биообъекта (в ходе исследования его пассивных электрических свойств) структура оптимального фильтра деконволюции является рекурсивной, в то время как при реализации электрокардиографических и электроэнцефалографических исследований структура фильтра деконволюции может быть трансверсальной. Необходимо отметить, что на практике оптимальный порядок фильтра определяется только характеристиками применяемой ИИС и не зависит от природы биообъекта.

Значения параметров фильтра деконволюции определяются в процессе калибровки ИИС по эталону. При исследовании пассивных электрических свойств биообъекта производится идентификация параметров модели оптимального порядка при подключении к входу ИИС эталонного резистора. При проведении электрокардиографических и электроэнцефалографических исследований калибровка ИИС производится по образцовым сигналам напряжения.

После включения в программную часть ИИС фильтра деконволюции с определенной в ходе калибровки передаточной функцией, все линейные искажения сигналов полностью компенсируются. Следует подчеркнуть, что фильтр деконволюции способен компенсировать только линейные искажения системы. Нелинейные искажения продолжают вносить вклад в общую систематическую погрешность измерений. Это приводит к отклонению результатов измерения всех сопротивлений R , отличающихся по значению от образцового сопротивления, от их истинных значений. Причем это отклонение является тем большим, чем больше разница между значениями измеряемого сопротивления и образцового сопротивления, используемого для калибровки ИИС. В связи с этим значение образцового сопротивления следует выбирать наиболее близким к ожидаемому сопротивлению исследуемого биообъекта.

Применение в качестве фильтра деконволюции рекурсивного фильтра требует соблю-

дения условия его устойчивости. Это условие выполняется в том случае, когда все полюсы его передаточной функции находятся внутри единичной окружности, расположенной на комплексной плоскости. Необходимость обеспечения устойчивости рекурсивного фильтра деконволюции накладывает дополнительные ограничения на порядок идентифицируемой модели. Эти ограничения можно рассматривать в качестве одного из критериев адекватности при выборе порядка оптимального фильтра деконволюции.

Применение фильтра деконволюции сильно ослабляет требования, предъявляемые к аппаратной части ИИС. В качестве основного требования, предъявляемого в этом случае к аналоговому фильтру, остается только обеспечение требуемого подавления сигнала в полосе задержания. А эта характеристика является наиболее стабильной, для большинства реальных аналоговых фильтров она практически достижима. Уменьшение крутизны АЧХ фильтра при этом не приводит к необходимости уменьшения диапазона рабочих частот (для устранения участка спада АЧХ), хотя и связано с некоторым снижением общей информативности измерений вследствие увеличения подавления общей мощности полезного сигнала. Таким образом, при использовании фильтра деконволюции, для эффективного использования 12-битного АЦП оказывается достаточно применения аналогового фильтра на базе микросхемы MAX274.

Дополнительное преимущество использования фильтра деконволюции заключается в том, что при этом уменьшаются вычислительные затраты алгоритма идентификации, так как порядок фактически идентифицируемой модели в этом случае уменьшается на порядок фильтра деконволюции. Особенно ярко это преимущество проявляется в условиях сильных линейных искажений.

Разработанный авторами исследовательский комплекс является универсальным и позволяет изучать как активные (при электрокардиографических и электроэнцефалографических исследованиях), так и пассивные (при реографических исследованиях) электрические свойства биообъекта. При проведении реографических исследований совместно с комплексом используется управляемый генератор возбуждающего тока, принцип построения которого описан в [3]. В настоящее время комплекс используется в ряде научных исследований, проводимых на кафедре ИТММБС Пензенской государственной технологической академии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев В.Г. Получение информации о параметрах и характеристиках организма и физические методы воздействия на него: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 597 с.
2. Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 350 с.
3. Киреев А.В. Система контроля пассивных электрических свойств биообъекта. Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции «Биомедсистемы – 2007». Рязань. – 2007.

УДК 616-71

А.В. Киреев

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОБЪЕКТА ПРИ ПОСТРОЕНИИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ИИС

В настоящее время широкое распространение получили биометрические информационно-измерительные системы (ИИС), принцип работы которых основан на исследовании