

достаточно высокий контраст противотанковых мин, установленных на поверхности земли.

Комплекс включает в себя: радиометр 8-мм диапазона длин волн, генератор шумовых сигналов того же диапазона и телевизионную камеру. Все эти устройства соосно закреплены на механически сканируемом устройстве, обеспечивающем сканирование в двух плоскостях - по углу места и азимуту. Таким образом, обеспечивается возможность просмотра участка местности с неподвижного носителя аппаратуры. Диаграмма направленности основного лепестка антенны радиометра составляет  $1^\circ$ , а для антенны генератора шумовых сигналов -  $10^\circ$ . Относительное расположение антенны генератора и радиометра выбрано таким образом, чтобы добиться минимального уровня прямого сигнала от генератора к радиометру. Телевизионная камера обеспечивала возможность оператору сравнивать получаемые изображения в радиодиапазоне и в видимом спектре.

Были проведены исследования работоспособности данной системы. Для этого на определенном участке местности, на поверхности грунта, было разложено девять противотанковых мин типа ТМ-62М с металлическим корпусом. Результат исследования оказался таковым, что из 9-ти выложенных мин было обнаружено 7, что составляет 78% от общего количества выложенных мин.

В заключение можно отметить, что предлагаемый метод обнаружения мин и объектов на фоне подстилающей поверхности применим и для других видов техники: танков, артиллерийских орудий и т.п.

## **ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ СИСТЕМ ФЕТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА**

**Калакутский В.Л., Колюхов В.Н.**

Одним из наиболее перспективных направлений развития современных методик диагностики состояния матери и плода в последние сроки беременности является определение показателей стресса путем анализа кардиоинтервалов плода, выделенных из электрокардиографического сигнала, зарегистрированного с абдоминального отведения матери. В связи с этим новый импульс развития получили методики выделения кардиоинтервалов плода, с использованием современного математического аппарата. Возможность применения более совершенных алгоритмов выделения электрокардиосигнала плода появилась в результате разработок новой элементной базы, которая позволяет снизить сложность схемотехнических решений и затрат на производство подобной аппаратуры. Вместе с

тем повышается точность вычисления известных диагностических показателей, используемых в медицинской диагностике, и становится возможным вычисление новых диагностических показателей.

Данная статья освещает принципы построения интегрального первичного преобразователя (ИПП) электрокардиосигнала плода (ЭКСП) для ввода оцифрованного сигнала в компьютер с целью обработки с помощью программного обеспечения, выполняющего дальнейшие вычисления диагностических показателей. Преобразователь применяется для регистрации ЭКСП с абдоминальной поверхности матери, т.е. неинвазивно, что дает большие преимущества при использовании преобразователя не только непосредственно в родах, но также для длительного мониторинга сердечной деятельности плода на поздних сроках беременности.

К основным характеристикам ЭКСП можно отнести нижнюю частоту спектра равную 0.2. Гц, основную составляющую спектра 70Гц, амплитуду полезного сигнала порядка 30-40мкВ, высокую частоту сердечных сокращений (140-180 ударов в минуту) /1/.

ЭКСП обладает характеристиками подобными электрокардиосигналу взрослого человека с теми особенностями, что частотный спектр ЭКСП сдвинут в сторону верхних частот. Низкая амплитуда ЭКСП накладывает дополнительные требования по чувствительности преобразователя при регистрации сигнала. Необходимо реализовать повышенную помехоустойчивость, т.к. регистрация ЭКСП ведется в условиях сильных помех от мышечной деятельности матери, а также в присутствии более сильного электрокардиосигнала матери, являющихся в данном случае помехой.

Таким образом, при построении первичного преобразователя ЭКСП на первый план выходит следующий ряд требований к аппаратной части:

- высокая помехоустойчивость преобразователя;
- более широкий динамический диапазон относительно обычных ИПП;
- большая разрешающая способность по амплитуде сигнала.

Так как ИПП ЭКСП должен не только выполнить первичное подавление помех и частотную фильтрацию, но и провести аналого-цифровое преобразование для дальнейшей обработки, основным звеном преобразователя будет являться аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который должен удовлетворять вышеуказанным требованиям.

Структура предлагаемого ИПП включает в себя предварительный усилитель, частотный фильтр, сигма-дельта АЦП, оконечный усилитель. Батарейное питание преобразователя позволяет полностью выполнить требования по электробезопасности, а также упростить фильтрацию сетевых наводок на предварительный усилитель. Преобразователь соединяется с ПЭВМ с помощью последовательного порта, имеющего гальваническую развязку от электрических цепей компьютера.

С развитием технологии производства сверхбольших интегральных схем появилась коммерческая элементная база, реализующая принцип сигма-дельта аналого-цифрового преобразования в одной микросхеме. Сигма-дельта АЦП обладает высоким разрешением (более 14 разрядов). Технология сигма-дельта АЦП базируется на принципах цифровой фильтрации сигналов, что позволяет снизить требования к аналоговой фильтрации сигналов и вместо инструментальных усилителей использовать усилители постоянного тока.

В работе /2/ для реализации электрокардиографа использовались 22-х разрядные сигма-дельта АЦП AD7716 фирмы Analog Device (США). Показано, что использование в электрокардиографах сигма-дельта АЦП является достаточно полезной альтернативой традиционных АЦП. Более того, сигма-дельта АЦП могут быть полезны и для других систем сбора и обработки биомедицинских сигналов, имеющих близкие требования по диапазону частот и динамическому диапазону входных сигналов - энцефалографическим, реографическим и т.д.

Для устранения потери информации в преобразовании сигнала частота дискретизации должна быть по крайней мере в два раза больше верхней граничной частоты аналогового сигнала. В сигма-дельта АЦП частота дискретизации во много раз больше удвоенной верхней граничной частоты аналогового сигнала, что позволяет увеличить число значащих разрядов АЦП и улучшить шумовые характеристики преобразования.

С использованием в схемотехнике электрокардиографов сигма-дельта АЦП в первую очередь решается проблема обеспечения входного динамического диапазона амплитуд регистрируемого сигнала. Постоянная составляющая на входе ЭКГ, возникающая за счет эффекта поляризации электродов компенсируется за счет 5-6 дополнительных бит сигма-дельта АЦП. Последний обеспечивает 17-18 значащих разрядов в требуемой полосе частот, то есть перекрывает необходимый динамический диапазон входного сигнала.

Возможность регистрировать сигнал вместе с изолинией является основным преимуществом технологии сигма-дельта АЦП при построении ИПП. Также возможны программные алгоритмы привязки изолинии раздельно по каждому из каналов на основе избирательного изменения постоянной времени цифрового ФВЧ для обеспечения минимального искажения низкочастотных составляющих электрокардиосигнала, одновременно удерживая его в середине диапазона устройства отображения.

Особенностью предлагаемого ИПП является регистрация ЭКС матери и ЭКС плода для последующей математической обработки. В этой связи динамический диапазон сигнала расширяется и находится в пределах от 5мкВ до 5мВ.

В рассматриваемом ИПП в качестве сигма-дельта АЦП использована микросхема фирмы Analog Device AD7714, включающая в себя пять

входных каналов усиления, которые могут быть использованы как 2 полных дифференциальных усилителя. Также содержится внутренний усилитель входного сигнала с программируемым коэффициентом усиления от 1 до 128, сигма-дельта модулятор и набор регистров для управления работой АЦП.

Данный АЦП позволяет получить 24-разрядный последовательный код на выходе, что удовлетворяет требованию обеспечения большой разрешающей способности, а также позволяет отказаться от использования сложных схем автоматической регулировки усиления. При опорном напряжении АЦП равном 2.5В, можно получить разрешающую способность преобразователя 0.15мкВ, что соответствует кодированию сигнала плода 8 разрядами цифрового кода.

Входное сопротивление каналов усиления АЦП составляет порядка 1 МОм, поэтому для выполнения согласования с цепью отведения ЭКГ используется предварительный дифференциальный усилитель, к которому подключаются электроды для снятия ЭКС. Предварительный усилитель построен на ОУ серии КР1446. Данный усилитель имеет широкий диапазон входных напряжений питания и позволяет использовать однополярное питание 3 В, что важно при выборе в качестве источника питания ИПП аккумуляторных батарей. Высокое входное сопротивление (более 1 ГОм) позволяет подключать электроды без потери качества ЭКС во входных цепях преобразователя.

Для устранения синфазной помехи в предварительный усилитель введена схема драйвера нейтрального электрода, с помощью которой удастся получить подавление синфазной помехи 110 дБ, что на 20% больше, чем у микросхемы ОУ КР1446.

Синхронизация и передача оцифрованных данных в компьютер происходит под управлением микроконтроллера, использующего в качестве центрального элемента 8-битный микропроцессор фирмы Atmel AT90S2313. Данный процессор построен по RISC-архитектуре и обладает широким набором команд для управления АЦП и передачей данных в компьютер. В качестве канала передачи используется последовательный порт процессора. Для обмена данных между процессором и АЦП используется синхронный интерфейс SPI. AT90S2313 характеризуется небольшим потреблением (максимально 2.8 мА), низким напряжением питания (до 3В) и высоким быстродействием за счет особенностей архитектуры.

Рассмотренный интегральный преобразователь ЭКСП позволяет регистрировать сигналы в широком диапазоне амплитуд в реальном времени, а также проводить цифровую фильтрацию сигнала еще до ввода сигнала в компьютер. Эта особенность позволяет снять с программного обеспечения ПЭВМ требование дополнительной обработки сигнала и сразу приступить к выделению слабого сигнала плода из зарегистрированного абдоминального ЭКС матери.

## Список использованных источников

1. S.Abboud, D.Sadeh. Power spectrum analysis of fetal heart rate variability using the abdominal maternal electrocardiogram // J.Biomed.Eng. 1990? Vol.12, March
2. Прилуцкий Д.А. Электрокардиографическая система на основе сигма-дельта аналого-цифрового преобразования. Автореферат диссертации.-МИЭТ, М.: 1998

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Шарафеев Н.В., Тюлюков П.В., Иванов В.В.

Использование нестабилизированных космических аппаратов (КА) для проведения технологических экспериментов является перспективным в связи с низким уровнем микрогравитации ( $10^{-4} \div 10^{-5}$ ).

Дальнейшее уменьшение уровня микроускорений предполагает проведение экспериментальных исследований динамики КА такого типа. Для этой цели был использован установленный на борту КА прибор "Мираж", измеряющий магнитные поля внутри аппарата.

Магнитные поля измерялись непрерывно в течение всего времени полёта (с 9 по 24 сентября 1999 г.) с помощью пяти трёхкомпонентных феррозондовых датчиков, установленных в пяти точках КА, а результаты измерений передавались два раза в сутки на Землю. Одновременно вся информация записывалась во флэш-память, в которой результаты сохраняются и после отключения питающего напряжения. Показания штатных датчиков системы ориентации на данном участке полёта не фиксировались в связи с её отключением, поэтому пространственное положение КА определялось по измерениям магнитного поля внутри аппарата. В процессе обработки информации было установлено, что на участках нестабилизированного полёта космический аппарат вращается.

При определении угловых перемещений аппарата вокруг своего центра масс за магнитное поле Земли принимались показания датчика, в точке установки которого менее всего ощущалось поле, инициируемое работой аппаратуры.

При расчётах использовалась связанная система координат, началом отсчёта которой служит центр масс космического аппарата. В связанной системе координат при ориентированном полёте ось  $X_c$  космического аппарата совпадает с вектором скорости, ось  $Y_c$  противоположна направлению к центру Земли. При определении направления оси  $Z_c$  следует учитывать, что система координат правая.

Обозначим три составляющих магнитного поля Земли по осям связанной системы координат космического аппарата  $X_{geo}$ ,  $Y_{geo}$ ,  $Z_{geo}$ .