

Т. Г. МАЩЕНКО, к.т.н., проф. НТУ «ХПИ»;
Т. А. ТОНОЯН, магистр НТУ «ХПИ»

СНЯТИЕ И ОБРАБОТКА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

В статье рассмотрены результаты разработки прибора для анализа деятельности центральной нервной системы (ЦНС), с помощью которого можно исследовать биопотенциалы головного мозга, проводить диагностику, прогнозировать этапы лечения центральной нервной системы.

Ключевые слова: головной мозг, электроэнцефалограф, датчик, биоэлектрическая активность, фильтр низких частот, фильтр высоких частот.

Введение. Электроэнцефалография (ЭЭГ) – метод записи электрической активности различных отделов головного мозга, которая преобразуется в соответствующую кривую, называемую электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Прибор, с помощью которого выполняется электроэнцефалография, называется энцефалографом. Электроэнцефалограмма с помощью ряда характеристик отражает состояние головного мозга человека и уровень его сознания. В головном мозге человека процессы имеют электрохимическую природу, исходя из этого, на поверхности головы человека возникают потенциалы от 1мкВ до 2мкВ, при частотном диапазоне до 70Гц.

Такую активность можно зафиксировать простым прикладыванием пластинок из неполяризующихся материалов, при этом ЭЭГ не наносит никакого вреда человеческому организму. На выходе устройства получают графическое изображение колебаний биоэлектрических потенциалов мозга.

Цель работы. оценка информативных параметров электроэнцефалограммы и анализ методов их обработки.

Анализ литературы. В работах [1, 2] рассмотрены электрохимические процессы, происходящие в головном мозге, в [3, 4] описываются фильтры для подавления помех, возникающих при работе электроэнцефалографа, в [2] проанализированы характеристики существующих электроэнцефалографов.

Из зарубежных ЭЭГ устройств наиболее распространены электроэнцефалографы фирм *Nihon Kohden*, *ORION*. На отечественном рынке лидируют электроэнцефалографы фирм *Nihon Kohden*, МБН, *NeuroCom*, *TREDEX* («DX-системы»). На основании обзора и анализа технических характеристик уже разработанных ЭЭГ устройств можно сделать вывод, что они имеют высокие технические параметры, но дорого стоят, что подтверждает актуальность разработки.

Реализация. На сегодняшний день наука и медицина широко изучили различные принципы функционирования организма человека. Однако, многие процессы требуют большего внимания и изучения. К таким процессам относится механизм функционирования ЦНС. Но, все же, достигнутые на сегодня результаты исследований в этой области позволяют диагностировать на ранних стадиях такие заболевания, как эпилепсия, воспалительные процессы ЦНС, черепно-мозговые травмы и др.

По форме кривой, т. е. по морфологии волнового процесса, электроэнцефалограмма состоит из двух типов волн: из волн, представляющих графическое изображение колебаний, наблюдаемых в отсутствие специальных воздействий, т. е. из спонтанных колебаний и из волн, возникающих под воздействием афферентных стимулов — токов действия. Прослеживая сложную динамику биоэлектрических реакций мозга, делаются попытки проникнуть в законы специфически человеческой психической деятельности.

Присоединение этих точек к измерительному прибору называется отведением. Отведение потенциалов производится с помощью специальных контактных устройств — электродов, которые либо прикладываются к поверхности тканей, покрывающих мозг, либо контактируют непосредственно с поверхностью мозга, либо, наконец, вводятся в его глубинные отделы. При отведении через ткани необходимо всегда учитывать, во-первых, их сопротивление, которое уменьшает реальную амплитуду биопотенциалов, и, во-вторых, возможную собственную их электрическую активность (особенно мышечные потенциалы, а также кожно-гальванический рефлекс), которая может суммироваться с электрической активностью мозга.

Так как при оценке ЭЭГ учитываются формы колебаний, их амплитуда, частота и временные соотношения, то регистрирующая аппаратура должна обеспечить максимально верное изображение исследуемых сигналов в виде удобочитаемой кривой с возможностью определения указанных параметров. Поскольку величина разности потенциалов, генерируемых мозгом, является очень малой и нижняя их граница, доступная измерению в настоящее время, определяется единицами микровольт, то, чтобы записать эти колебания, их необходимо усилить. Для этого используются электронные усилители, в частности усилители напряжений.

Рассмотрим функциональную схему анализатора:

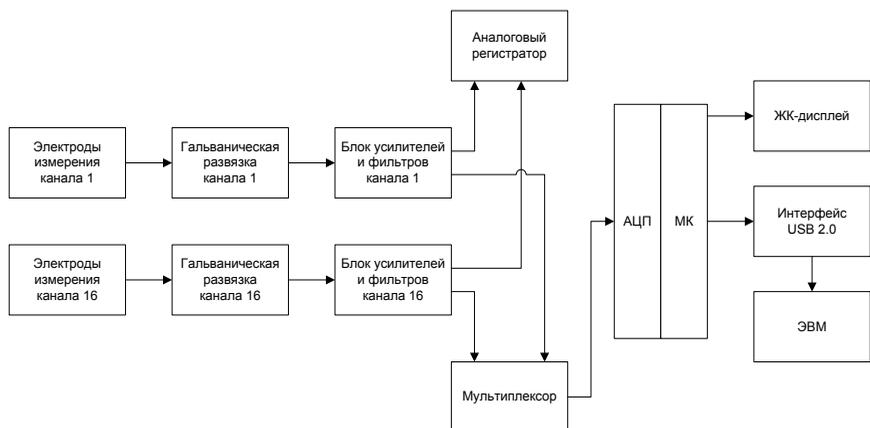


Рис. 1 – Функциональная схема анализатора

Прибор содержит 16 электродов, необходимых для полного описания нервной активности. Электроды крепятся на голове пациента. Каждый электрод снимает потенциалы на определенном участке. Далее ставим гальваническую развязку для защиты человека от опасных напряжений, а так же для исключения возникновения паразитных токов в силовых цепях и цепях управления. Сигнал с электродов проходит через усилитель, фильтры и мультиплексор на АЦП микроконтроллера.

АЦП, встроенный в микроконтроллер, разбивает сигнал на цифровые отсчеты. Эти отсчеты заносятся в память вместе с информацией о пациенте, введенной с клавиатуры. МК управляет работой энцефалографа в целом.

Передача информации с МК на ЭВМ и с ЭВМ на МК происходит с помощью последовательного интерфейса USB, который аппаратно встроен в микроконтроллер. Интерфейс USB 2.0 содержит интегрированный приемопередатчик, соответствующий спецификации шины USB 2.0 full-speed, буфер FIFO объемом 328 Байт, а так же поддерживает организацию четырех каналов передачи данных.

Аппарат снабжен ЖК-дисплеем, на который выводится буквенно – цифровая информация. ЖК-дисплей поддерживает русские шрифты.

После блока усилителей и фильтров ставят аналоговый регистратор, который предназначен для регистрации сигналов на бумажный носитель.

Во время снятия биопотенциалов на аппарат действуют различного рода помехи, для их устранения используются фильтры высоких и низких частот. Низкочастотные помехи, содержащиеся в полезном сигнале, устраняем с помощью ФНЧ, используем ФНЧ Баттерворта 2-го порядка, который имеет максимально плоскую АЧХ, умеренную фазовую нелинейность, приемлемую переходную характеристику и достаточно крутой спад АЧХ вне полосы пропускания. Сигнал, снимаемый с пациента, содержит высокочастотные помехи. Для их устранения ставим ФВЧ (фильтр высоких частот). В качестве ФВЧ

используем ФВЧ Баттерворта 2-го порядка. Фильтр Баттерворта характеризуется высокой скоростью затухания и эффективно подавляет частоты, большие частоты среза.

Расчет ФНЧ Баттерворта.

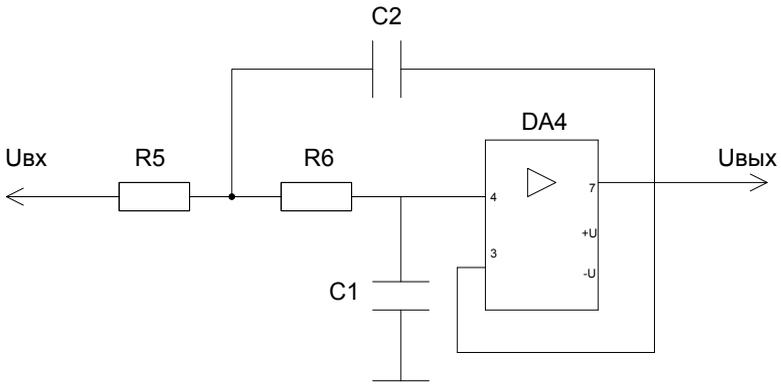


Рис.2 –ФНЧ 2-го порядка Баттерворта

В качестве фильтра используем фильтр второго порядка Баттерворта без обратной связи - коэффициент усиления равен 1. Частота среза $F_{ср}=100$ Гц;

Значения сопротивлений получаются из передаточной функции НЧ фильтра:

$$R5 = R6 = \frac{a \cdot C_2 \pm \sqrt{a^2 \cdot C_2 - 4b \cdot C_1 \cdot C_2}}{4\pi \cdot F_{н\omega} \cdot \tilde{N}_1 \cdot \tilde{N}_2} \quad (1)$$

где a, b –коэффициенты полинома; C_1, C_2 - номиналы емкостей; $F_{ср}$ – частота среза; $a=1,4142$; $b=1,0000$ (табличное значение), чтобы сопротивления резисторов были действительными должно выполняться условие:

$$\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4b}{a^2}; \quad \frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4}{2} \geq 2; \quad C_2 \geq 2C_1 \quad (2)$$

Возьмем согласно ряду номинальных значений конденсаторов:

$C_1=1 \cdot 10^{-6}$ Ф, $C_2=2,2 \cdot 10^{-6}$ Ф, тогда:

$$R5 = R6 = \frac{1,4142 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \pm \sqrt{2,2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-12} - 4 \cdot 10^{-12} \cdot 2,2}}{4\pi \cdot 35 \cdot 100 \cdot 10^{-12} \cdot 2,2} = 786,1$$

$R_5=R_6=787$ Ом.

Расчет ФВЧ Баттерворта.

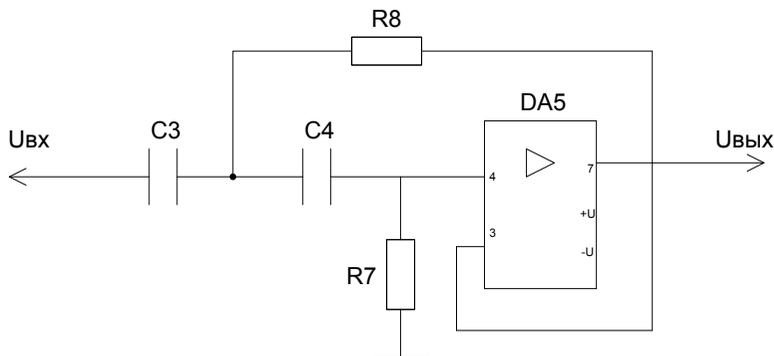


Рис.3– ФВЧ 2-го порядка Баттерворта

В качестве фильтра используем фильтр 2-го порядка Баттерворта. Коэффициент усиления равен 1. $F_{\text{ср}} = 1$ Гц.

Пусть $C_3 = C_4 = C = 10^{-6}$ Ф.

Тогда:

$$R_7 = \frac{1}{\pi \cdot F_{\text{ср}} \cdot \tilde{N} \cdot a}, \quad R_8 = \frac{a}{4\pi \cdot F_{\text{ср}} \cdot \tilde{N} \cdot b} \quad (3)$$

где a, b – коэффициенты полинома; C_3, C_4 – номиналы емкостей; $F_{\text{ср}}$ – частота среза; $a = 1,4142$; $b = 1,0000$ (табличное значение)

$$R_7 = \frac{1}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1,4142} \cong 225000 \text{ Ом}, \quad R_7 = 225 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

$$R_8 = \frac{1,4142}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1} \cong 112500 \text{ Ом}, \quad R_8 = 112,5 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Микроконтроллер предназначен для того, чтобы обрабатывать полученную информацию и передавать ее на компьютер. USB-устройство служит связующим звеном между микроконтроллером и компьютером.

Программное обеспечение для электроэнцефалографов насчитывает широкий выбор методов, алгоритмов и способов представления результатов обработки ЭЭГ. Среди методов обработки электроэнцефалографических сигналов можно выделить такие: корреляционных, спектральный анализ, когерентный. Использование таких методов позволяет количественно оценить взаимосвязь между различными участками головного мозга. Кроме того, врач, при обследовании пациента, сможет получить подробную и точную информацию о состоянии ЦНС в виде диаграмм, таблиц, графиков. Такое обследование ускоряет принятие решение врачей о диагнозе и назначении лечения.

Выводы. Благодаря внедрению технологий, процесс медицинского обследования становится автоматизированным и более упрощенным. Использование ЭВМ для исследования электрических сигналов головного мозга дает возможность для дальнейшего развития и усовершенствования разработок в данной области.

Список литературы: 1. Сахаров В.Л., Андреевко А.С. – Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов: учебн. пособие / Сахаров В.Л., Андреевко А.С. – Таганрог: Изд-во «Антон», 2000. – 45 с. 2. Иванов Л.Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография: учебн. пособие / Иванов Л.Б. – Москва: АЗОТ «Антидор», 2000. – 352 с. 3. Зеленин А.Н., Костромичский А.И., Бондарь Д.В. – Активные фильтры на операционных усилителях: учебн. пособие / Зеленин А.Н., Костромичский А.И. – Х.: Телетех, 2001. изд. второе, исправ. и доп. – 150 с.: ил. 4. Ивашко А.В. - Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов: учебн. пособие / Ивашко А.В. - Харьков: НТУ "ХПИ" - 2005 - 240с.

Bibliography (transliterated): 1. Saharov V.L., Andreenko A.S. – Metody i algoritmy cifrovoj obrabotki signalov: uchebn. posobie / Saharov V.L., Andreenko A.S. – Taganrog: Izd-vo «Anton», 2000. – 45 s. 2. Ivanov L.B. Prikladnaja komp'juternaja jelektroencefalografija: uchebn. posobie / Ivanov L.B. – Moskva: AZOT «Antidor», 2000. – 352 s. 3. Zelenin A.N., Kostromickij A.I., Bondar' D.V. – Aktivnyje fil'try na operacionnyh usiliteljah: uchebn. posobie / Zelenin A.N., Kostromickij A.I. – H.: Teleteh, 2001. izd. vtoroe, isprav. i dop. – 150 s.: il. 4. Ivashko A.V. - Metody i algoritmy cifrovoj obrabotki signalov: uchebn. posobie / Ivashko A.V. - Har'kov: NTU "HPI" -2005 - 240s.

Поступила (received) 22.02.2014

Т.Б. НИКИТИНА, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
М.О. ТАТАРЧЕНКО, асп. НТУ «ХПИ»;
В.В. ХОМЕНКО, асп. НТУ «ХПИ»

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Разработана математическая модель двухмассовой электромеханической системы с учетом неопределенности объекта управления и обоснован вектор цели робастного управления. Выполнено исследование динамических характеристик робастного управления двухмассовой электромеханической системой. Показано, что синтезированная система робастного управления имеет низкую чувствительность к изменению параметров модели объекта управления.

Ключевые слова: двухмассовая электромеханическая система, робастное управление, математическая модель, неопределенности параметров.

Введение. Для эффективного повышения точности регулирования скорости вращения электромеханических систем с упругими элементами в трансмиссии между приводным двигателем и рабочим органом широко используется управление по вектору состояния. Методы синтеза систем управления, основанные на минимизации квадратичного критерия, называются задачами H^2 -оптимизации. Однако, квадратичный критерий чувствителен к наличию неучтенных помех и возмущений как со стороны внешних сигналов, так и параметрических возмущений самих объектов. Поэтому в последнее десятилетие получили развитие методы минимизации H^∞ -нормы, которая служит эффективным показателем реакции системы на различного типа воздействия при наличии неопределенностей в описании объекта управления.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения параметров объекта управления. При таком подходе в вектор цели робастного управления необходимо включить переменные состояния системы, характеризующие чувствительность системы к изменению параметров объекта управления, а в вектор внешних воздействий включить сами изменения параметров объекта управления. Для синтеза робастного управления необходима математическая модель объекта управления в виде уравнения состояния, в которой в вектор внешних воздействий включены неопределенности параметров модели исходного объекта управления, а в вектор цели робастного управления включены переменные состояния объекта управления, характеризующие реакцию объекта управления на вариацию параметров модели исходного объекта управления.

© Т.Б. Никитина, М.О. Татарченко, В.В. Хоменко, 2014