

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»

А.А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»

К.Н. ЯЦЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

БЛОК УСИЛЕНИЯ БИОПОТЕНЦИАЛОВ МОЗГА ОПЕРАТОРА ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА

В статье рассматривается базовая структура и особенности нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ). На сегодня этот вид человеко-машинного взаимодействия набирает все большее распространение. Рассмотрено его возможное применение в тренажерных комплексах. Предложена схема блока усиления биопотенциалов мозга человека, как составная часть НКИ. Приведены характеристики и описаны ключевые электронные компоненты схемы. Произведено исследование и симуляция схемы. Рассмотрены ее характеристики.

Ключевые слова: ЭЭГ, нейрокомпьютерный интерфейс, человеко-машинное взаимодействие, AD8220, AD7691.

Введение. За последнее время интерес в изучении нейрокомпьютерного интерфейса (НКИ) значительно возрос. Системы НКИ проложили новый путь коммуникации. Они измеряют нейрофизиологические сигналы человека, в частности электроэнцефалограмму. Системы НКИ спроектированы для декодирования мозговой напряженности человека и генерировании команд управления внешними устройствами или компьютерными приложениями. Человек может выработать эти команды, специально генерируя нейрофизиологические сигналы. Этот процесс может стать более успешным – быстрым и точным – благодаря тренировке и практике. Эта технология позволяет пользователю получить новый опыт, который включает в себя прямое взаимодействие между человеком и компьютером, или внешними устройствами. Такие системы могут быть применены при обучении оператора военного тренажерного комплекса. Они могут быть использованы для организации управления комплексом, диагностики психоэмоционального состояния оператора.

Системы НКИ состоят из двух частей: система сбора информации и система обработки сигнала. Система сбора информации включает в себя электроды, аналоговую схему усиления и цифровую систему для передачи нейрофизиологического сигнала. Система обработки сигнала представляет собой вычислительное устройство, которое совместно с программным приложением выделяет, классифицирует и преобразовывает нейрофизиологические сигналы в удобный для дальнейшего исследования формат [1].

Электроэнцефалограмма представляет собой запись колебаний разности потенциалов мозга, снимаемых через покровы черепа. Колебания потенциалов имеют амплитуду до 150 мкВ при средней величине 50 мкВ и лежат в частотном диапазоне от 0.3 до 1000 Гц с максимальным проявлением частоты 10 Гц. Малая амплитуда колебаний биопотенциалов мозга и низкочастотный

диапазон и определяет специфику конструкции электроэнцефалографических установок. Микровольтовая величина потенциалов требует применения маломощных схем с большим коэффициентом усиления [2].

Цель работы. В работе предлагается реализация блока усиления биопотенциалов мозга человека, как составной части НКИ. Характеристики устройства будут определяться физическими показателями исследуемого сигнала, а также на основании рекомендаций предъявляемых медицинскими учреждениями к биомедицинскому оборудованию [3]. Проведено описание и выбор элементной базы компонентов, а так же предварительная симуляция блока.

Методика исследования. На рис. 1 представлена схема усиления биопотенциалов мозга. Рассмотрим некоторое функциональное назначение элементов схемы. На входе электрода расположен RC фильтр (R4, R5, C1, C9, C10) обеспечивающий уменьшение высокочастотного шума. Это позволяет избежать появления смещения сигнала на выходе усилителя. Для защиты схемы от статического электричества применяются сдвоенные диоды BAV99.

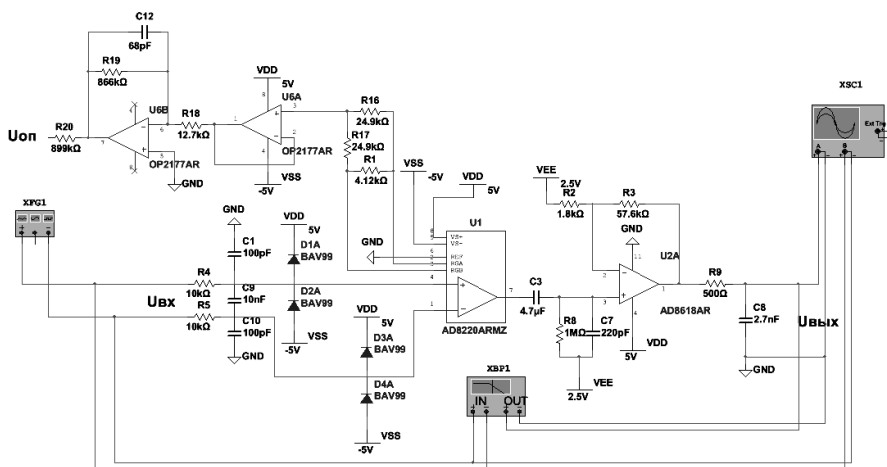


Рис. 1 – Принципиальная схема блока усиления

Они обладают малым током утечки, что позволяет избежать ухудшения характеристик схемы относительно малого тока смещения. Диоды предотвращают появление напряжений на входе усилителя превышающих допустимые.

AD8220 представляет собой инструментальный усилитель с входным каскадом на JFET транзисторах (полевые транзисторы с управляющим р-п переходом) и однополярным питанием [4]. Этот компонент, предназначенный для высококачественных портативных измерительных приборов, обладает

дает минимальным коэффициентом ослабления синфазного сигнала (КОСС) 86 дБ по постоянному току и 80 дБ на частоте 5 кГц при $G = 1$. Максимальный входной ток смещения при температуре 25°C равен 10 пА, а его типичное значение не превышает 300 пА во всем промышленном температурном диапазоне. Несмотря на то, что входной каскад построен на JFET транзисторах, AD8220 имеет типичную граничную частоту шума всего 10 Гц. Выходной каскад работает в режиме rail-to-rail (размах напряжения до напряжений питания), поддерживая максимальный динамический диапазон при низких напряжениях питания, характерных для портативных систем. Способность компонента работать от однополярного напряжения питания 5 В избавляет от необходимости применения высоких биполярных напряжений питания. Максимальный ток, потребляемый AD8220, равен 750 мкА, что делает его идеальным выбором для устройств с питанием от батарей. Коэффициент усиления задается при помощи одного резистора в диапазоне от 1 до 1000. При повышении коэффициента усиления ослабление синфазного сигнала также растет. AD8220 способен обеспечивать большой КОСС при измерении слабых сигналов, когда устанавливается большой коэффициент усиления.

За AD8220 следует фильтр высоких частот $f_c = 0.033$ Гц сформированный из конденсатора 4.7 мкФ и сопротивления 1 Мом (C3, R8), которые убирают постоянную составляющую сигнала, возникающую между электродами. Дополнительное усиление $G=50$ производимое с помощью AD8618 позволяет использовать весь входной диапазон АЦП от 0 В до 5 В. Фильтр нижних частот реализован с помощью резистора 500 Ом и конденсатора 2.7 нФ (R9, C8). Он так же выполняет функцию хранения и переноса заряда на входной коммутируемый конденсатор АЦП.

На операционных усилителях OP2177 реализован буферный усилитель и инвертор. Происходит усиление синфазного сигнала взятого со средней точки резистора задания усиления для AD8220. Эта схема позволяет убрать синфазные сигналы, инвертируя их обратно в тело. Резистор 899 кОм (R20) выхода OP2177 ограничивает ток проходящий через тело.

AD7691 - это 18-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) последовательного приближения с перераспределением заряда, работающий с однополярным напряжением питания, VDD, от 2.3 В до 5 В [5]. Он включает в себя быстродействующий, малопотребляющий 18-разрядный АЦП с внутренней выборкой без пропуска кодов, внутренний генератор тактового сигнала преобразования и универсальный последовательный порт. По переднему фронту сигнала CNV компонент осуществляет выборку разности между напряжениями на выводах IN+ и IN-. Напряжения на этих выводах обычно изменяются в противофазе в диапазоне от 0 В до опорного напряжения (REF). Компонент работает с внешним опорным напряжением, которое может устанавливаться в пределах до напряжения питания. Потребляемая компонентом мощность линейно изменяется в зависимости от скорости преобразования. Совместимый с SPI последовательный интерфейс поддерживает

возможность объединения нескольких АЦП в цепочку с последовательным опросом на одной трехпроводной шине, используя вход SDI, и имеет опциональный выходной сигнал индикации занятости. Благодаря отдельному напряжению питания, VIO, порт совместим с логическими схемами, работающими с напряжениями питания 1.8 В, 2.5 В, 3 В или 5 В.

В системе учитываются особые требования к источнику питания. Микросхема ADR4550 служит источником опорного напряжения для АЦП. Она обладает низким энергопотреблением и малым температурным дрейфом. Полный размах шума (в полосе частот 0,1...10 Гц) составляет 2 мкВ. Выходное напряжение равно 5 В. Погрешность напряжения на выходе не превышает $\pm 0.02\%$, максимальное значение температурного дрейфа равно 2 ppm/°C. Коэффициент подавления пульсаций (в полосе частот до 1 кГц) равен 90 дБ. Ток потребления не превышает 950 мкА, напряжение питания — от 3 до 15 В. Падение напряжения составляет 300 мВ при токе нагрузки 2 мА, максимальная нагрузка данных источников опорного напряжения равна ± 10 мА.

Результаты исследования. Рассмотренная схема была промоделирована в среде Multisim 12.

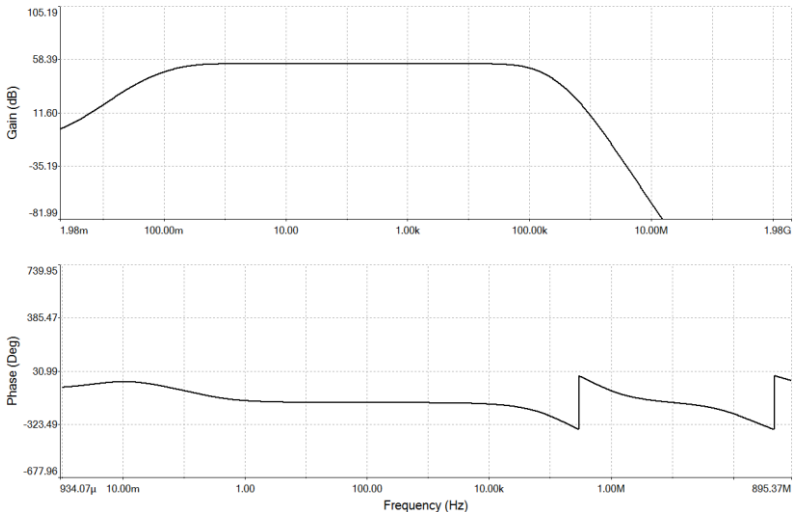


Рис. 2 – Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики исследуемой схемы.

Были получены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики схемы (рис. 2). Из амплитудно-частотной характеристики следует, что нижняя граничная частота составляет порядка 0,04 Гц, а верхняя – 95 кГц. Этих показателей с избытком достаточно для проведения дальнейших исследований. Суммарный коэффициент усиления схемы составляет приблизительно G

= 700. Однако это значение в ходе дальнейших экспериментов может быть изменено.

Выводы. Предложенная схема усиления биопотенциалов мозга человека соответствует рекомендациям, предъявляемым к медицинскому диагностическому оборудованию. Данная схема может применяться в портативных устройствах ввиду своего малого энергопотребления. В дальнейшем будет произведено усовершенствование устройства: организована беспроводная передача сигнала на компьютер с последующей его обработкой и отображением.

Список литературы: **1.** *Reza Fazel-Rezai.* Brain - Computer Interface Systems. Recent Progress and Future Prospects. / *Reza Fazel-Rezai.* – InTech, 2013. – 278 с. **2.** *Русинов В.С.* Клиническая электроэнцефалография. / *Русинов В.С.* - М., «Медицина», 1973. - 345 с. **3.** Guidelines to Digital EEG Recorders. Режим доступа: ftp://ansuk.org/pub/clinical_governance/dig_eeg.pdf. **4.** Документация на AD8220. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8220.pdf. **5.** Документация на AD7691. Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7691.pdf

Bibliography (transliterated): **1.** *Fazel-Rezai, Reza.* Brain - Computer Interface Systems. Recent Progress and Future Prospects. InTech, 2013. Print. **2.** *Rusinov, V. S.* *Klinicheskaja jelektrojencefalografija.* Moscow: Medicina, 1973. Print. **3.** Guidelines to Digital EEG Recorders. Web. 5 January 2015 <ftp://ansuk.org/pub/clinical_governance/dig_eeg.pdf>. **4.** Datasheet AD8220. Web. 5 January 2015 <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8220.pdf>. **5.** Datasheet AD7691. Web. 5 January 2015 <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7691.pdf>.

Поступила (received) 11.03.2015