

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voday.ru Где применяются дистанционные счетчики 2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://voday.ru/vodosnabzhenie/schetchik-vody-peredayushhijj-pokazaniya.html> (20.11.2019).
2. Uaclimate.com Повторитель ЛВ-4Т 2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://uaclimate.com/files/climate/schetchiki-vody/schetchiki-odnostruinye-kvartirnye/lv-4t/ins-trukciya-lv-4t.pdf> (20.11.2019).
3. Wikipedia.org Повторитель 2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Микропроцессор> (Дата обращения 26.09.2019).
4. Students-library.com Определение геркон 2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://students-library.com/library/read/48331-mikroprocessory-v-izmeritelnoj-tehnike> (Дата обращения 30.09.2019).
5. Literaturki.net Виды индикаторов 2019 [Электронный ресурс] // URL: <https://literaturki.net/obschiy-razdel/metrologiya/744-18-primenenie-u-mikroprocessorov-v-izmeritelnyh-priborah> (Дата обращения 27.09.2019).

УДК 617.5

Липнин Юрий Анатольевич,
к.т.н., доцент кафедры

*«Промышленной электроники и информационно-измерительной техники»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 51-22-15*

Борисов Владислав Александрович,
студент кафедры «Промышленной электроники и информационно измерительной техники»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
тел.: +79027603429

Тихонов Вячеслав Валерьевич,
студент кафедры «Промышленной электроники и информационно измерительной техники»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
тел.: +790248375900

БИОНИЧЕСКИЕ ПРОТЕЗЫ И УПРАВЛЯЮЩИЕ ИМИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ

Lipnin Yu.A., Borisov V.A., Tihonov V.V.

BIONIC PROSTHESES AND THE BIOELECTRIC SIGNAL DRIVING THEM

Аннотация. *Проведён обзор конструкции и принципа работы бионических протезов. Рассмотрен управляющий ими биоэлектрический сигнал, его особенности и способы измерения.*

Ключевые слова: *протез, биоэлектрический сигнал, электрод, датчики тока.*

Annotation. *The design and operation principle of bionic prostheses is considered. A bioelectric signal controlling them is considered.*

Keywords: *prosthesis, bioelectric signal, electrode, current sensors.*

Человеческий организм состоит из большого количества мышечных тканей, костей и нервных окончаний, но в результате каких-либо обстоятельств они могут быть травмированы. Это может произойти, например, в случае повреждения конечности, привести к её потере. В связи с этим человек, лишившийся какой-либо конечности, лиша-

ется возможности использовать весь функционал своего организма.

В настоящее время для снижения остроты проблемы потери конечностей применяются бионические протезы, позволяющие повысить качество жизни инвалидов путём частичного восстановления потерянных двигательных возможностей тела. В качестве

примера на рисунке 1 показана кисть бионического протеза.



Рисунок 1 – Бионический протез кисти

На сегодняшний день бионические протезы выпускаются несколькими компаниями, такими как Standard Cyborg и BionX [1]. Сейчас стоимость этих протезов весьма высокая (от 500 тыс. до 2,5 миллионов рублей), поэтому разработка более дешёвых моделей весьма актуальна.

Конструкцию таких протезов можно разделить на две составляющие: механическую и электронную. Механическая часть состоит из различных сервоприводов, гильз и ползунов и т.д., и играет роль исполнительной части. Электронная составляющая выполняет функции снятия сигнала с живой ткани, его обработки и управления механической частью. Электронная система управления обычно состоит из токоотводящих электродов, усилителя, преобразователя биоэлектрических сигналов и источника питания [2].

Управление бионическим протезом возможно благодаря биоэлектрическим сигналам живой ткани. Они имеют специфическую природу, поэтому способы снятия биоэлектрической информации имеют свои особенности, например, из-за малой мощности сигнала его необходимо значительно усилить.

Электрические потенциалы возникают во всех мышцах и нервах живого организма. Они могут быть обнаружены в любой живой клетке или органе. Обычно различают потенциалы действия и потенциалы покоя. Поврежденная часть ткани имеет более низкий потенциал по отношению к неповрежденной [3].

В нормально функционирующем теле конечности осуществляют движения за счёт сокращения или расслабления мышечных волокон. Они, в свою очередь, сокращаются под воздействием управляющих электрических импульсов, поступающих с нервных

окончаний, на которые эти импульсы посылает головной мозг. В результате слишком серьёзной травмы или из-за болезни конечность ампутуют, но сохранившийся двигательный нерв всё ещё может передавать управляющие электрические импульсы. Хирург во время операции выводит этот нерв на остающуюся крупную мышцу так, чтобы с него можно было считать биоэлектрический сигнал.

Для снятия любого биоэлектрического сигнала всегда используются чувствительные электроды – устройства, имеющие токосъёмную поверхность и выходные объекты. Токосъёмная поверхность является чувствительным элементом, выполненным, например, из серебра, которая контактирует с кожей и обеспечивает снятие биоэлектрического сигнала. Пример конструкции электрода показан на рисунке 2 [3]. Чтобы измерить биоэлектрический сигнал максимально корректно и точно, необходимо уделить большое внимание размерам, конструкции и материалу, из которого электроды изготовлены.

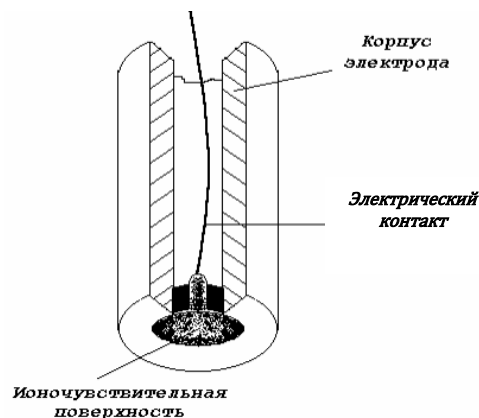


Рисунок 2 – Конструкция ионоселективного электрода

Так как биоэлектрический сигнал имеет специфическую природу, при его съёме необходимо учитывать достаточно большой ряд особенностей. Например, при включении живой биоткани в электрическую цепь и пропускании через неё постоянного тока сначала происходит скачок тока до величины $I_0 = V/R_э$, где V – величина прилагаемого напряжения, $R_э$ – эквивалентное активное сопротивление цепи электрод-биообъект, а затем постепенное уменьшение этого тока до постоянной величины I_T – конечное значение силы тока. Графически этот процесс изображён на рисунке 3, где t – время; t_0 – начальный момент времени [4].

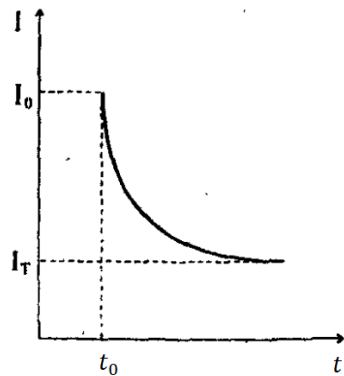


Рисунок 3 – Переходный процесс в биотканях при пропускании через неё постоянного электрического тока

Ещё в качестве примера можно привести то, что биопотенциалы не являются постоянными величинами, а изменяются в зависимости от химического состава клетки или физического состояния ткани.

Одной из важнейших особенностей биоэлектрических сигналов является то, что эти сигналы в большинстве случаев чрезвычайно малы, что создаёт проблему их снятия и использования. Для решения этой проблемы необходимо использовать электронную схему высокоточного усилителя, имеющего хорошую помехоустойчивость. Для примера приведён простейший дифференциальный каскад, построенный на операционном усилителе DA1, изображённый на рисунке 4, где $U_{вх}^+$ и $U_{вх}^-$ – потенциалы на симметричном входе дифференциального усилителя, $U_{вых}$ – выходное напряжения усилителя. При большом коэффициенте усиления (свыше 1000) и

выполнении условия $R3/R4 = R1/R2$ выходное напряжение зависит только от разностного входного сигнала и не зависит от сигнала среднего уровня [5].

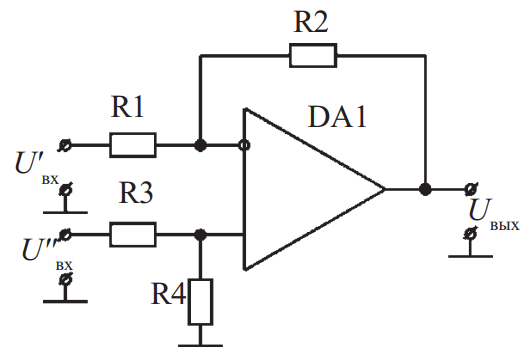


Рисунок 4 – Дифференциальный усилитель

Дальнейшее преобразование сигнала после усилителя зависит от конструкции конкретного протеза. В большинстве вариантов конструкции усиленный сигнал поступает в микроконтроллер протеза, который, в свою очередь, управляет механической частью.

В настоящее время функционал даже самых совершенных бионических протезов весьма ограничен и не позволяет полностью восстановить утраченные двигательные возможности тела. Выполнять сложные движения механическими пальцами даже с самым дорогим протезом является достаточно сложной задачей и становится достижимой только после долгих тренировок. Но даже в таком случае бионические протезы способны значительно улучшить качество жизни инвалидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vc.ru. На пути к искусственным конечностям URL: <https://vc.ru/tribuna/11790-bionics> 2019 [Электронный ресурс] (Дата обращения 15.10.2019).
2. Pandia.ru Протез плеча с тремя управляемыми функциями. Ортопедический аппарат на верхнюю конечность. 2019 [Электронный ресурс] URL: <https://pandia.ru/text/82/070/71183.php> (Дата обращения 15.10.2019).
3. Inep.sfedu.ru. Электроды для МБИ 2019 [Электронный ресурс] URL: <https://inep.sfedu.ru>

4. Кореновский Н.А., Попечителей Е.П., Филист С.А. «Проектирование электронной медицинской аппаратуры для диагностики и лечебных воздействий. Курск, куская город-ская типография, 1999 – 39-40 стр.
5. Antic-r.ru Съём и обработка биоэлектрических сигналов. 2019 [Электронный ресурс] URL: http://antic-r.ru/download/Bioelectr_sign.pdf (Дата обращения 15.10.2019).