



УДК 616-77  
doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-2-3



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Электронный блок для управления протезом нижних конечностей

**Антон Сергеевич Ишков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
ishkovanton@mail.ru

**Андрей Алексеевич Фомин**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
andryushenka.fomin.2000@list.ru

**Дмитрий Владимирович Дермичев**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
Dimano1211@mail.ru

**Александр Сергеевич Кирин**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
kirin.sergei@list.ru

**Аннотация.** Приведены особенности бионических протезов и обоснована актуальность их применения. Выполнен анализ методов построения бионических протезов с целью выбора наиболее эффективного. Приведено описание принципа преобразования биоэлектрических импульсов мышечной ткани в электрический сигнал. Предложена структурная схема электронного блока для управления протезом нижних конечностей. Дано описание функций каждого блока схемы, а также приведено подробное описание ее принципа действия. Разработана 3D-модель печатной платы электронного блока, указаны основные его технические характеристики.

**Ключевые слова:** ампутация, бионический протез, электромиография, биопотенциалы, блок управления

**Для цитирования:** Ишков А. С., Фомин А. А., Дермичев Д. В., Кирин А. С. Электронный блок для управления протезом нижних конечностей // Инжиниринг и технологии. 2023. Т. 8 (2). С. 1–4. doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-2-3

## Electronic unit for controlling the prosthesis of the lower extremities

**Anton S. Ishkov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
ishkovanton@mail.ru

**Andrey A. Fomin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
andryushenka.fomin.2000@list.ru

**Dmitry V. Dermichev**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
Dimano1211@mail.ru

**Alexander S. Kirin**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
kirin.sergei@list.ru

**Abstract.** The features of bionic prostheses are given and the relevance of their application is substantiated. The analysis of methods of construction of bionic prostheses for the purpose of choosing the most effective one is carried out. The principle of converting bioelectric impulses of muscle tissue into electrical signals is described. A block diagram of an electronic unit for controlling a lower limb prosthesis is proposed. A description of the functions of each block of the circuit is given, as well as a detailed description of its principle of operation. A 3D model of the



printed circuit board of the electronic unit has been developed, its main technical characteristics are indicated.

**Keywords:** amputation, bionic prosthesis, electromyography, biopotentials, control unit

**For citation:** Ishkov A.S., Fomin A.A., Dermichev D.V., Kirin A.S. Electronic unit for controlling the prosthesis of the lower extremities. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2023;8(2):1–4. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2023-8-2-3

## Введение

Ампутация – это хирургическая операция по удалению части конечности. После ампутации человек испытывает не только физические трудности, но и социальные, психологические. Преодолеть возникшие трудности можно с использованием протезов. В наши дни, с развитием кибернетики, нанотехнологий, появлением новых материалов, приходят новые протезы – бионические. Важнейшие взаимодействия протеза с телом человека – механические (как протез соединен с телом), динамические (каким образом протез движется как настоящая конечность), электрические (как протез соединен с нервной системой). Главная задача бионического протеза – стереть грань между здоровым человеком и человеком с ампутацией [1].

## Использование биопотенциалов для управления бионическим протезом

В мышечных волокнах и сухожилиях имеются специальные нервные окончания – рецепторы, которые посылают импульсы к клеткам различных уровней центральной нервной системы (ЦНС). В результате между ЦНС и мышцами создается замкнутый цикл: импульсы от различных образований ЦНС, идущие по двигательным нервам, вызывают сокращения мышц, а импульсы, посылаемые рецепторами мышц, информируют ЦНС о каждом элементе и моменте движений.

В настоящее время в разработке у исследовательских лабораторий находятся несколько принципов управления бионическим протезом. В качестве основных выступают: применение электромиографии; непосредственное подключение сохранившихся нервных волокон в культе человека к протезу; использование нейроинтерфейса; непосредственное внедрение оборудования для регистрации управляющего сигнала в мозг человека [2]. Из всего перечисленного наиболее простой и надежной является система управления бионическим протезом с использованием электромиографии [3].

ЭМГ-исследования показывают, что амплитуды биопотенциалов варьируются от 5–10 мкВ (мышца в состоянии покоя) до 500–1000 мкВ (мышца в возбужденном состоянии). Основной диапазон частот биопотенциалов, регистрируемых поверхностными электродами, составляет от 20 до 200 Гц с максимумом от 50 до 100 Гц [4]. Этот сигнал сильно подвержен воздействию шумов. Основной помехой являются наводки промышленной сети частотой 50 Гц [5].

## Структура и принцип работы разработанного электронного блока

В результате проведенного исследования авторами предложена структурная схема электронного блока для управления бионическим протезом, который приведен на рис. 1.

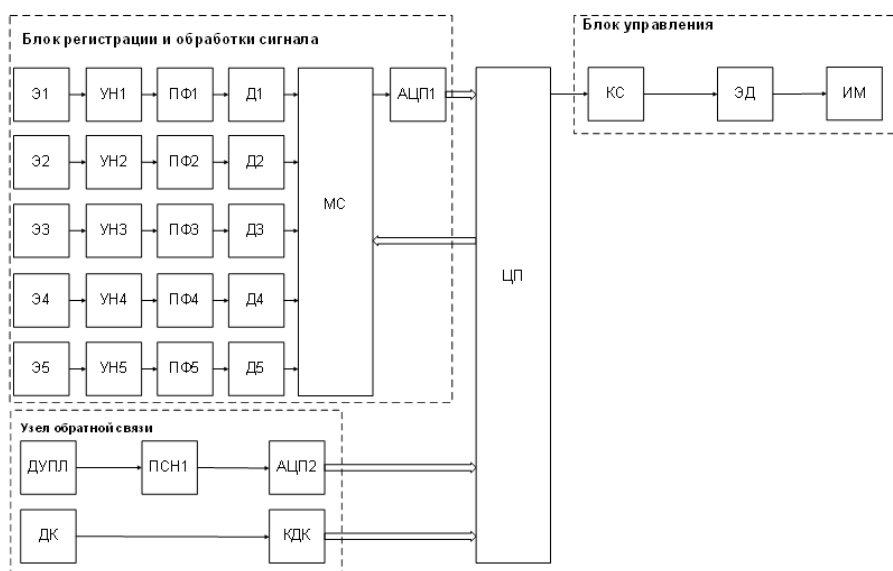


Рис. 1. Структурная схема блока управления бионическим протезом



Блок регистрации и обработки сигналов состоит из пяти идентичных каналов, предназначенных разделить рабочий частотный диапазон, так как частота ЭМГ-сигнала зависит от точки приложения ЭМГ-датчика [4]. При правильном разбиении диапазона на поддиапазоны устраняется влияние помехи промышленной сети 50 Гц. В состав каждого канала входят следующие блоки: электроды (Э1–Э5), усилитель напряжения (УН1–УН5), полосовой фильтр (ПФ1–ПФ5), коммутатор (М), аналого-цифровой преобразователь (АЦП1). Блок управления включает в себя контроллер ступни (КС), электродвигатель (ЭД), исполнительный механизм (ИМ). В состав узла обратной связи входят два канала. Первый канал включает в себя датчик угла поворота ступни (ДУПС), преобразователь сопротивления в напряжение (ПСН1), усилитель напряжения (УН6), аналого-цифровой преобразователь (АЦП2). Второй канал включает в себя датчик касания (ДК), усилитель напряжения (УН7), аналого-цифровой преобразователь (АЦП3). В состав устройства также входит центральный микропроцессор (ЦП). В блоке регистрации и обработки происходит считывание ЭМГ-сигнала электродами Э1 – Э5. Амплитуда полученного сигнала очень мала. Для корректной обработки его усиливают до необходимого уровня с помощью УН1 – УН5. После прохождения сигнала через ПФ1 – ПФ5 происходит ограничение его спектра. Далее коммутатор под управлением ЦП подключает к своему выходу один из каналов блока регистрации и обработки сигнала. АЦП1 преобразует получившийся сигнал в цифровую форму для его дальнейшей обработки ЦП.

Сформированный ЦП выходной сигнал поступает в блок управления на КС. Он предназначен для формирования команд для ЭД, который управляет исполнительным механизмом. В узле обратной связи ДУПЛ и формирует сигнал, содержащий информацию о фазе шага и о значении угла наклона ступни. Проходя через ПСН, сигнал преобразовывается из сопротивления в напряжение, усиливается до необходимого уровня, затем отцифровывается аналого-цифровым преобразователем АЦП2. ДК формирует сигнал, дающий информацию о распределении центра тяжести пациента. В КДК получившийся сигнал преобразовывается в импульсную последовательность и поступает на микропроцессор.

В ходе исследования сделана модель печатной платы электронного блока, которая приведена на рис. 2.

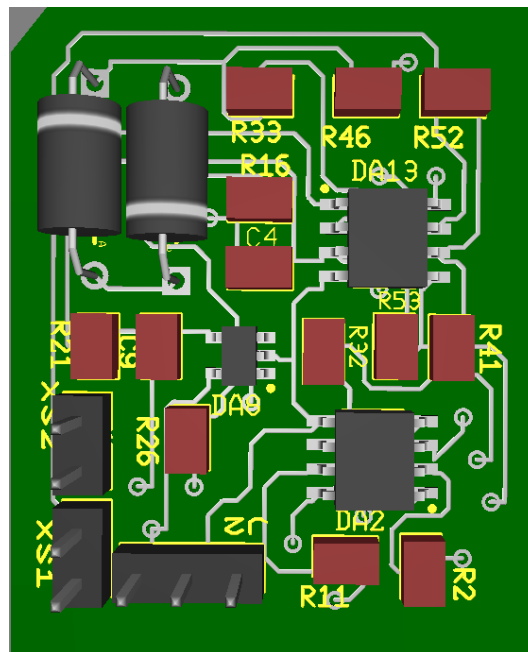


Рис. 2. Печатная плата в 3D

На печатной плате размещены микросхемы инструментального усилителя AD8429, ОУ LM358ADT в корпусах SOIC-8, а также микросхема ОУ AD8614 в корпусе SOT-23, их обвес из резисторов и конденсаторов в корпусе SMD 0805 и три разъема HDR. Для крепления платы на ней размещены четыре отверстия под винты M2. Размеры платы составляют 27 × 33 мм, что является хорошим результатом и удовлетворяет одному из главных требований – компактности.

### Заключение

Разработанный блок управления позволит частично восстановить функциональные способности утраченной конечности, обладает следующими техническими характеристиками: диапазон амплитуды



биопотенциалов от 20 до 500 мкВ, диапазон частот биопотенциалов от 20 до 200 Гц, напряжение питания электронного блока  $\pm 5$  В, диапазон рабочих температур от  $-10$  °С до  $40$  °С.

### Список литературы

1. Ермолаева А. И., Баранова Г. А. Двигательная сфера, чувствительность и их расстройства : учеб. пособие. Пенза, 2015.
2. Славутский Я. Л. Физиологические аспекты биоэлектрического управления протезами. М. : Медицина, 1982.
3. Зайченко К. В., Жаринов О. О., Кулин А. Н., Кулыгина Л. А., Орлов А. П. Съём и обработка биоэлектрических сигналов : учеб. пособие / под. ред. К. В. Зайченко. СПб. : СПбГУАП, 2001.
4. Завьялов С. А., Мейгал А. Ю. Технологии биоуправляемых протезов сегодня и завтра // Journal of biomedical technologies. 2015. № 2. С. 36–42.
5. Березняк А. Е. Моделирование и прототипирование протеза верхней конечности // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е. В. Арменского (Москва, 17 февраля – 1 марта 2017 г.). М., 2017.

### References

1. Ermolaeva A.I., Baranova G.A. *Dvigatel'naya sfera, chuvstvitel'nost' i ikh rasstroystva: ucheb. posobie = The motor sphere, sensitivity and their disorders: studies. stipend.* Penza, 2015. (In Russ.)
2. Slavutskiy Ya.L. *Fiziologicheskie aspekty bioelektricheskogo upravleniya protezami = Physiological aspects of bioelectric control of prostheses.* Moscow: Meditsina, 1982. (In Russ.)
3. Zaychenko K.V., Zharinov O.O., Kulin A.N., Kulygina L.A., Orlov A.P. *S'em i obrabotka bioelektricheskikh signalov: ucheb. posobie = Taking and processing bioelectric signals: studies. stipend.* Saint Petersburg: SPbGUAP, 2001. (In Russ.)
4. Zav'yalov S.A., Meygal A.Yu. Technologies of bio-controlled prostheses today and tomorrow. *Journal of biomedical technologies.* 2015;(2):36–42. (In Russ.)
5. Bereznyak A.E. Modeling and prototyping of an upper limb prosthesis. *Mezhvuzovskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov im. E.V. Armenskogo (Moskva, 17 fevralya – 1 marta 2017 g.) = E.V. Armensky Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Specialists (Moscow, February 17 – March 1, 2017).* Moscow, 2017. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 10.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.07.2023

Принята к публикации / Accepted 22.07.2023