

НОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 796.015.59

ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯТОР С НЕТИПИЧНОЙ ФОРМОЙ СИГНАЛОВ

© 2020 г. П. С. Мартьянов^а, *, Д. В. Чуриков^а

^аНаучно-технологический центр уникального приборостроения РАН,
ул. Бутлерова, 15, Москва, 117342 Российская Федерация

*E-mail: La3232@mail.ru

Поступила в редакцию 30.01.2020 г.

После доработки 30.01.2020 г.

Принята к публикации 25.02.2020 г.

Представлена разработка новой модели электромиостимулятора, воздействующего с помощью электроимпульсов на нервно-мышечный аппарат человека. Особенность приведенной конструкции состоит в том, что выходной сигнал имеет нестандартную форму пачек импульсов. Приведены основные параметры его работы, описан принцип функционирования, проиллюстрированы схемы и результаты моделирования некоторых ключевых узлов.

DOI: 10.31857/S0033849420100046

ВВЕДЕНИЕ

Электромиостимуляция — это воздействие электрических импульсов различной формы, частоты и амплитуды на мышцы опорно-двигательного аппарата человека. Основная особенность электромиостимуляции состоит в том, что она активизирует большее количество мышечных волокон, чем при обычном мышечном сокращении [1, 2]. Это позволяет развивать большие мышечные усилия по сравнению с обычным режимом выполнения упражнений. Поэтому, начиная со второй половины прошлого века, данная методика активно используется в спорте, фитнесе и медицине. В случае невозможности мышцы осуществлять самопроизвольное сокращение, ее искусственная активизация за счет применения электромиостимуляции позволит осуществлять движение неподвижной мышцы, что даст возможность больным быстрее реабилитироваться при травмах опорно-двигательного аппарата.

В большинстве электромиостимуляторов (ЭМС), которые представлены на сегодняшнем рынке, для воздействия на мышцы человека используются прямоугольные пачки импульсов (см. рис. 1а) [2–4]. Однако применение в ЭМС сигналов с возрастающей амплитудой импульсов по сравнению с обычной формой сигнала рис. 1б, позволят рекрутировать большее количество мышечных волокон, чем при использовании стандартного сигнала. Активизация большего числа мышечных волокон позволит развить большее мышечное усилие в стимулируемой мышечной группе и, как следствие, поднять силовой потенциал спортсменов. Поэтому в данной работе бу-

дет идти речь о разработке нового устройства — ЭМС с нетипичной формой сигналов.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМИОСТИМУЛЯТОРА

Анализ [5–7] показал, что предлагаемое устройство можно реализовать с использованием управляющего микроконтроллера и других вспомогательных радиоэлектронных изделий: как цифровых, так и аналоговых.

За основу взят микроконтроллер ST Microelectronics STM32F031. Это 32-х разрядная микросхема, выполненная по архитектуре ARM Cortex-M0, которая поддерживает основные современные ин-

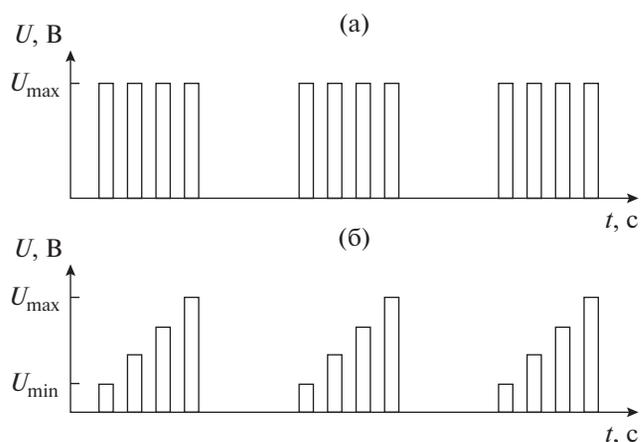


Рис. 1. Форма пачек импульсов прямоугольного электромиостимуляционного сигнала (а) и форма пачек импульсов с возрастающей амплитудой (б).



Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого устройства.

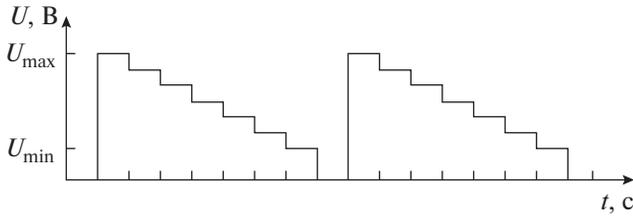


Рис. 3. Форма сигнала на выходе ЦАП.

терфейсы I2C, LIN, SPI, USART, содержит несколько встроенных счетчиков и другую периферию. Помимо контроллера использовались 12-ти разрядные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) DAC6311, оптопары TLP117 для гальванической развязки, высоковольтные транзисторы, энкодеры и другие элементы. Структурная схема разрабатываемого устройства представлена на рис. 2.

Принцип функционирования заключается в том, что микроконтроллер генерирует два сигнала — это цифровые данные SPI интерфейса и последовательность прямоугольных импульсов, которые выдает встроенный в микроконтроллер счетчик. Далее эти два сигнала проходят через гальваническую развязку и поступают в ЦАП, на выходе которых получается аналоговый сигнал в виде кусочно-линейной функции (рис. 3). В блоке усилителя-формирователя сигнал кусочно-линейной

функции перемножается с сигналом прямоугольных импульсов, в результате чего образуются импульсы с нарастающей амплитудой, которые усиливаются и поступают на выход устройства.

В разработанном макете предусмотрена регулировка параметров выходного сигнала с помощью энкодеров. Амплитуда выходного сигнала изменяется от $U_{\min} = 20$ до $U_{\max} = 60$ В, частота — от 50 до 200 Гц, а длительность пачек импульсов — от 0.1 до 2 с. На индикаторе будут выдаваться фактические параметры выходного сигнала.

Для управления параметрами выходного сигнала с помощью энкодеров и генерирования нужной формы применяется микроконтроллер, а также разработана программа на языке программирования Си с использованием рабочей среды Eclipse. Данная программа загружается в энергонезависимую память микроконтроллера через последовательный порт, что позволяет внутрисистемно обновлять управляющую программу.

Особое внимание при разработке устройства уделено моделированию блока усилителя-формирователя. Основная задача этого блока — усилить и непосредственно синтезировать выходной сигнал в виде пачек импульсов с нарастающей амплитудой. Структурная схема блока представлена на рис. 4.

На вход 1 поступают сигналы с ЦАП, на вход 2 подаются прямоугольные импульсы, с оптопары,

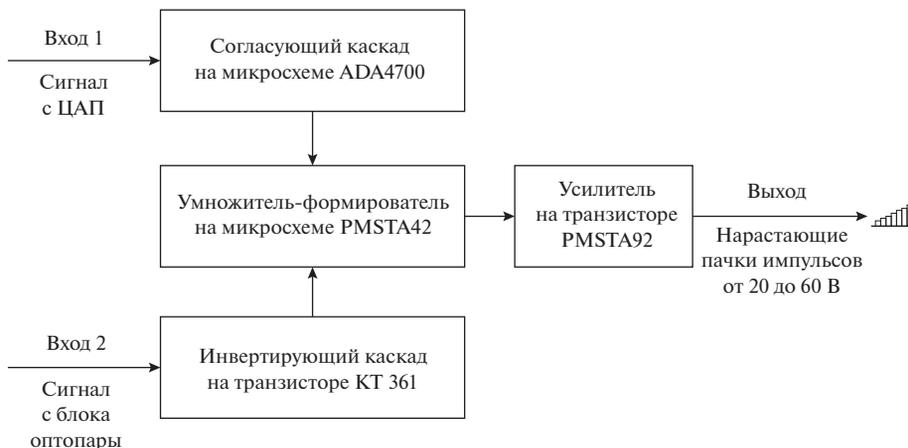


Рис. 4. Структурная схема блока усилителя-формирователя.

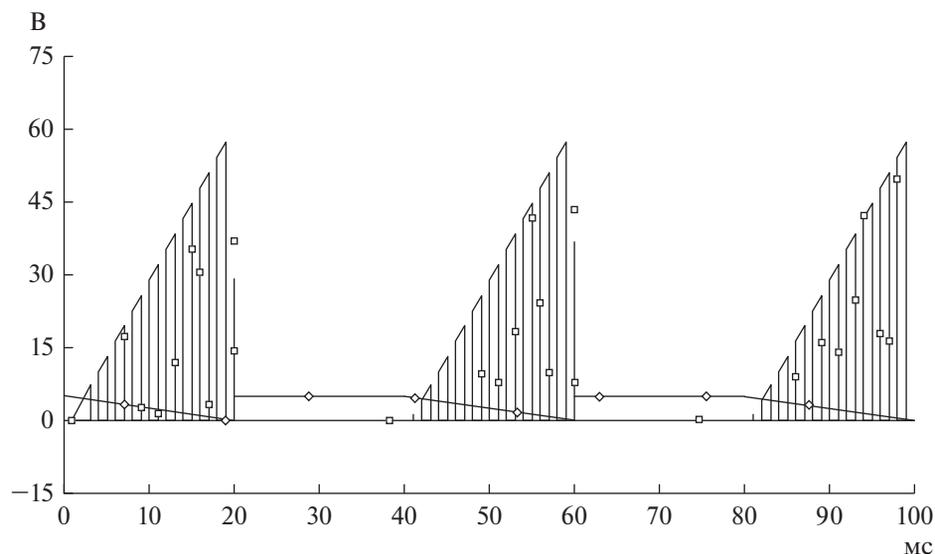


Рис. 5. Выходной сигнал модели усилителя-формирователя в программе схемотехнического проектирования OrCad.

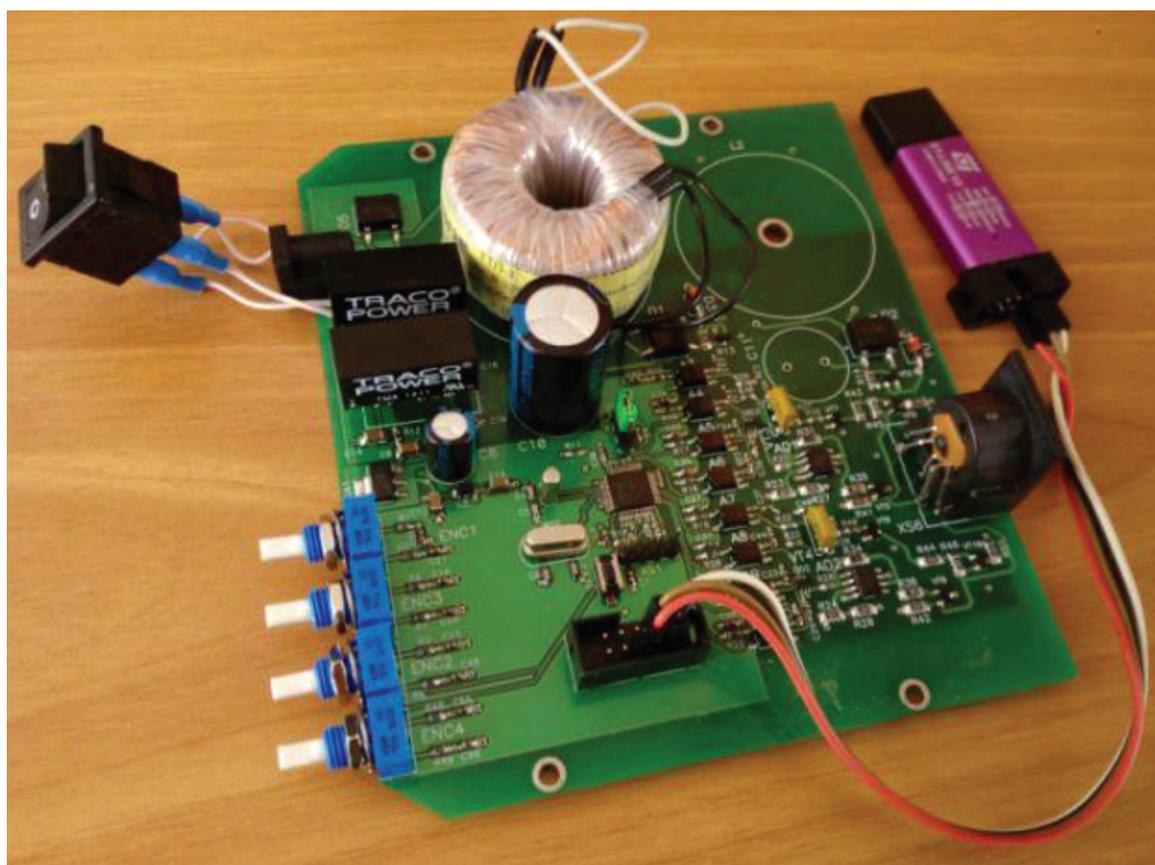


Рис. 6. Печатный узел макета ЭМС.

которые были синтезированы микроконтроллером. После перемножения двух сигналов образуется сигнал на выходе в виде нарастающих пачек импульсов с напряжением от 20 до 60 В. Этот сигнал передается на электроды, которые установлены на теле спортсмена. Электрическая схема блока

была промоделирована в программе схемотехнического проектирования OrCad с помощью языка описания электрических устройств PSpice. Результат моделирования представлен на рис. 5в виде временной зависимости амплитуды сигнала (пачек импульсов с нарастающей амплитудой).

Внешний вид макета ЭМС представлен на рис. 6 в виде печатного узла с подсоединенным программатором для перепрограммирования микроконтроллера.

С целью подтверждения эффективности данной методики был проведен эксперимент на базе кафедры физического воспитания Научно-исследовательского университета высшей школы экономики (НИУ ВШЭ). В эксперименте приняли участие 12 атлетов, длительность эксперимента составила три месяца. Электромиостимуляционное воздействие оказывалось на мышцы-разгибатели бедра. В качестве тестирующего упражнения, было выбрано приседание со штангой на плечах. В начале и конце эксперимента было проведено соответственно фоновое и конечное тестирование силовых показателей. В результате было выявлено увеличение силовых показателей в данном упражнении на 5–7% в зависимости от собственного веса атлета.

ВЫВОДЫ

1. Разработана электрическая принципиальная схема ЭМС, отдельные части которой промоделированы и получены положительные результаты.
2. Разработан печатный узел макета ЭМС, а также реализована управляющая программа на языке Си для микроконтроллера.

3. Проведены пробные эксперименты и получены результаты, демонстрирующие развитие мышечного потенциала спортсменов.

4. Показана эффективность методики электромиостимуляционного воздействия с нестандартной формой сигнала на нервно-мышечный аппарат атлетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коц Я.М. Физиология мышечной деятельности: учебник для институтов физической культуры. М.: Физкультура и спорт, 1988.
2. Sanchez B.R., Puche P.P., Gonzame-Badillo J.J. // J. Strength and Conditioning Research. 2005. V. 19. № 2. P. 438.
3. Мартьянов П.С. // Оригинальные исследования. 2018. № 4. С. 19.
4. Николаев А.А. Электромиостимуляция в спорте. Смоленск: СГИФК, 1999.
5. Мартьянов П.С. // РЭ. 2018. Т. 63. № 11. С. 1197.
6. Kravchenko V.F., Churikov D.V. // Proc. 4th Int. Conf. on Ultrawideband and Ultrashot Impulse Signals (UWBUSIS-2008). Sevastopol 15–17 Oct. 2008. N.Y.: IEEE, 2008. P. 27.
7. Kravchenko V.F., Churikov D.V. // Proc. Int. Conf. “Days on Diffraction 2012”, DD St. Petersburg. 28 May–1 Jun. 2012. N.Y.: IEEE, 2012.