

# 07, июль 2017

УДК 616.8-085.84

## **Аналитический обзор схемотехнических решений электростимуляторов**

*Сарычева А.А., бакалавр  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Медико-технические информационные технологии»*

*Научный руководитель: Кобелев А.В., ассистент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Медико-технические информационные технологии»  
[ak@bmstu.ru](mailto:ak@bmstu.ru)*

Электростимуляция (ЭС) является одним из методов электротерапии (ЭТ). Это метод восстановительного лечения, в основе которого лежит электрическая стимуляция нервов и мышц, осуществляемая посредством передачи тока с заданными характеристиками от миостимулятора к телу человека через электроды [3]. Он применяется с целью возбуждения или усиления сократительной способности поврежденных нервов, мышц, органов и систем, а также профилактики мышечной атрофии различного происхождения, для восстановления их работоспособности и активизации кровотока в них, а также восстановления их функций. При этом повышается приток крови к мышце, увеличивается венозный и лимфатический отток, увеличивается микроциркуляция в стимулируемой зоне, а также улучшается функциональное состояние нервов и эндокринной системы, нормализуются обменные процессы, липолиз, наблюдается потеря способности болевого сигнала проходить от его источника в ЦНС [1].

Т.к. стимуляция мышц осуществляется именно импульсами тока амплитудой до 150 мА, длительность и период следования которых лежат в заданных пределах, возникает вариабельность выбора схемотехнических решений данной задачи. Оптимальный выход ищется исходя из приоритетных целей, устанавливаемых разработчиком.

Цели и особенности произведения каждой из них описаны в таблице 1.

## Особенности производства ЭС

Цель ЭС	Особенности производства ЭС
Осуществление ЭС для спортивной тренировки и наращивания мышечной массы	Фиксированная длительность импульса Фиксированный период следования импульсов Вариабельная амплитуда импульсов
Осуществление ЭС для проведения реабилитации у больных, перенесших инсульт и испытывающих трудности при совершении определённого вида движений	Фиксированная длительность импульсов Фиксированный период следования импульсов Фиксированная амплитуда импульсов
Осуществление ЭС для лечения пациентов с низким уровнем силы мышечных сокращений и для купирования болевых синдромов	Вариабельная длительность импульсов Вариабельный период следования импульсов Вариабельная амплитуда импульсов

Для осуществления спортивной тренировки рационально использовать постоянные временные составляющие электрических импульсов, изменяя лишь их амплитуду. Это связано с тем, что для увеличения мышечной силы здоровых людей, достаточно комфортно и удобно изменять лишь силу тока стимуляции, что упростит электрическую схему и уменьшит её габариты, что немаловажно, если человек использует ЭС совместно с физической тренировкой.

Примером такой реализации может служить электрическая схема на рис. 1.

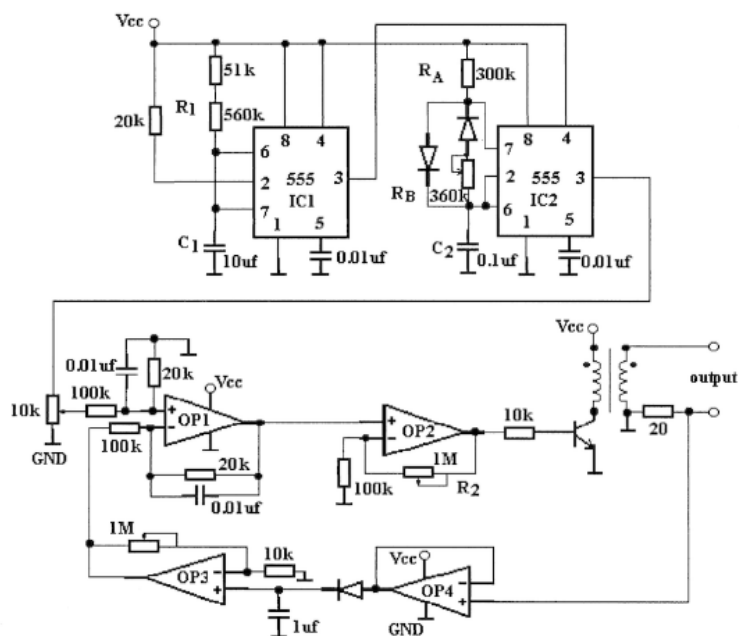


Рис. 1. Электрическая схема тракта воздействия аппарата ЭС для осуществления спортивной тренировки [2]

Как видно из рис 1, мультивибратор мультивибратор на таймере IC1 задаёт период и длительность рабочего цикла, а мультивибратор на таймере IC2 задаёт временные характеристики импульсов напряжения, которые, пройдя через усилительный каскад, поступают на преобразователь напряжение-ток, после чего этот сигнал тока усиливается, проходя через трансформатор. Управлять величиной выходного сигнала можно, изменяя напряжение Vcc.

Для проведения реабилитации больных, перенесших инсульт и испытывающих трудности, например, при ходьбе, не требуется управлять ни частотой, ни длительностью импульсов, ни амплитудой. Такой вид стимуляции называется функциональной электрической стимуляцией.

Осуществляется такая процедура следующим образом. Т.к. инсульт влияет на работу, как правило, только одной половины тела, при ходьбе одна ступня совершает нормальное дорсальное сгибание, вторая же не может его осуществить. Для того, чтобы она могла согнуться, к мышце сгибателю применяют электрическую стимуляцию. Время начала и конца стимуляции определяет датчик давления на пятке человека.

Примером реализации блока воздействия в такой системе может служить схема, изображённая на рис. 2.

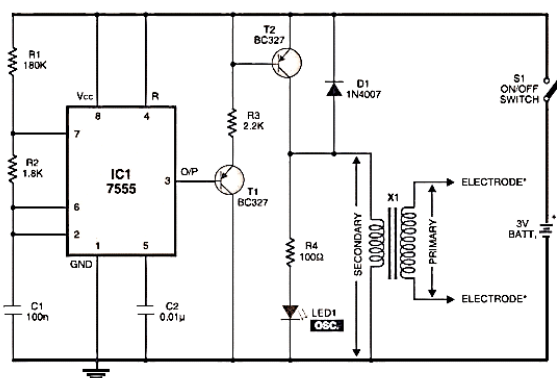


Рис. 2. Электрическая схема тракта воздействия аппарата электростимуляции для реабилитации больных, перенесших инсульт [4]

Как видно из рис. 2, когда переключатель S1 включён, мультивибратор на таймере IC1 задаёт частоту и период следования импульсов напряжения, которые поступают на преобразователь напряжение-ток и в последствии усиливаются трансформатором и подаются на электроды.

При проведении ЭС для лечения пациентов с низким уровнем силы мышечных сокращений и для купирования болевых синдромов необходимо проводить предварительную диагностику состояния мышц путём регистрации электромиограммы

для выбора оптимальных параметров стимуляции, которые зависят от тяжести состояния больного. Рациональнее всего объединить диагностику и терапию и использовать единую систему для лечения подобных патологических состояний. Следовательно, необходимо использовать в схеме вычислительный блок, представленный в виде микроконтроллера, который будет способен обработать сигнал электромиограммы. По результатам этих данных и выбираются амплитудно-временные параметры электрических импульсов.

Пример реализации подобной схемы представлен на рис. 3.

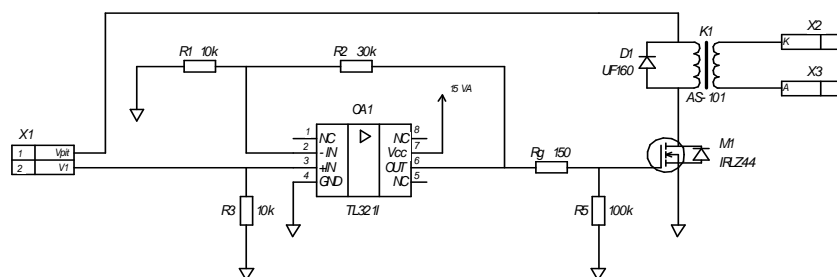


Рис. 3. Электрическая схема тракта воздействия аппарата электростимуляции для лечения пациентов с низким уровнем силы мышечных сокращений и для купирования болевых синдромов

Аппарат, часть электрической схемы которого изображена на рис. 3, работает по следующему принципу. На микроконтроллере задаются временные характеристики требуемого сигнала, которые в виде импульсов напряжения поступают на усилитель, далее на преобразователь напряжение-ток и на трансформатор. Напряжение питания, которое задаёт вид рабочего цикла и амплитуду выходного сигнала, также поступает на трансформатор, где эти два сигнала накладываются друг на друга и усиливаются.

Каждая из рассмотренных выше схем имеет свои преимущества и недостатки, обусловленные их конструкцией. Они рассмотрены в таблице 2.

Таблица 2

#### Преимущества и недостатки схем

Схема	Преимущества	Недостатки
Рисунок 1	Аналоговая часть выполняет функции задания сигнала, что позволяет упростить цифровую часть, управляющую только амплитудой	Большое количество компонентов схемы увеличивает вероятность ошибки и выхода из строя всей системы
Рисунок 2	Простота конструкции	Ограниченность функций и режимов стимуляции
Рисунок 3	Простота конструкции, широкий выбор режимов стимуляции	В связи с широким спектром функций необходимо тщательно прорабатывать цифровую часть.

Для дальнейшей разработки была выбрана третья схема, т.к. она способна выполнять широкий спектр задач, при видимой простоте конструкции.

Работа схемы, изображённой на рисунке 3, была промоделирована. На вход системы поступали прямоугольные импульсы напряжения, изображенные на рис. 4, при постоянном напряжении питания 3.3 В.

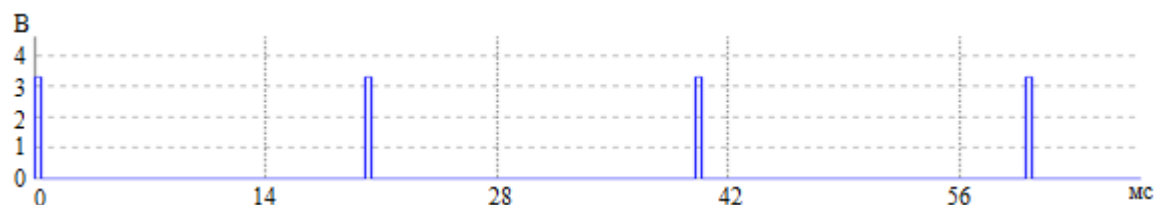


Рис. 4. Импульсы напряжения, подаваемые с МК

В результате чего на выходе системы получались биполярные импульсы, используемые при электростимуляции, изображённые на рис. 5.



Рис. 5. Импульсы тока на выходе БФС

Как уже было сказано выше, данная схема позволяет изменять параметры воздействия с помощью цифровой части. Т.е. различные режимы стимуляции могут быть получены посредством применения алгоритмов, заложенных в программном коде управления МК, что открывает перспективы дальнейших разработок в данной области.

#### Список литературы

- [1]. Лоцилов В.И., Калакутский Л.И. Биотехнические системы электронейростимуляции. Основы теории и проектирования. М.: МП «ИГИС», 1991. 169 с.
- [2]. Cheng K.W.E., Chow D.H.K., Lu Y., Tong K-Y., Rad A.B., Sutanto D. Development of a Circuit for Functional Electrical Stimulation, IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering. 2004. Vol. 12, No.1. P. 43-47.

- [3]. Электромиостимуляция. Режим доступа:  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромиостимуляция> (дата обращения: 16.05.2017)
- [4]. Electronic Muscle Stimulation. Available at:  
<http://www.electroschematics.com/2083/electronic-muscle-stimulator/>, accessed  
24.05.2017.