

УДК 681.32:007

# ВЛИЯНИЕ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ МОДУЛИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСОВ НА СТИМУЛЯЦИЮ ГЛАЗНЫХ МЫШЦ

**Л. Л. Вережкин**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра физической и биомедицинской  
электроники  
Запорожская государственная инженерная  
академия  
пр. Ленина, 226, м. Запорожье, Украина, 69006  
E-mail: verlen@rambler.ru

*У статті описується використання електричних імпульсів для стимуляції роботи ококорухових м'язів, що дозволяє відновити ослаблені скорочувальні функції м'язів і отримати позитивний терапевтичний ефект. Актуальним є розробка портативного мікроконтрольного електростимулятора, який генерує складномодульовані експонентні струми та який використовується для впливу безпосередньо на ококорухові м'язи*

*Ключові слова: електростимулятор, експоненціальний імпульс, мікроконтролер, генератор, частота, шпаруватість, підсилювач*

*В статье описывается использование электрических импульсов для стимуляции работы глазодвигательных мышц, которое позволяет восстановить ослабленные сократительные функции мышц и получить положительный терапевтический эффект. Актуальным является разработка портативного микроконтрольного электростимулятора, генерирующего сложномодулируемые экспоненциальные токи и используемого для влияния непосредственно на глазодвигательные мышцы*

*Ключевые слова: электростимулятор, экспоненциальный импульс, микроконтроллер, генератор, частота, скважность, усилитель*

## 1. Введение

Предупреждение и устранение косоглазия с одновременным восстановлением утраченных функций - важная задача научной и практической офтальмологии [1].

Оперативное лечение больных с содружественным косоглазием оказывается успешным только в 60...70% [2]. До настоящего времени остается также нерешенным вопрос дозирования степени оперативного вмешательства, в связи с чем часто имеет место либо гипоефект, либо развитие вторичного постоперационного косоглазия. Поэтому поиски новых физиологических методов лечения этого заболевания в настоящее время остаются актуальными. Особое внимание следует уделить разработке методов консервативного воздействия на тонус наружных мышц глаза [3]. Использование электрических импульсов для стимуляции работы глазодвигательных мышц позволяет восстановить ослабленные сократительные функции мышц и получить положительный терапевтический эффект.

Под влиянием раздражения импульсным током волна возбуждения распространяется по мышечным волокнам, происходит пассивное сокращение мышц, наблюдается постепенное восстановление ослабленной сократительной функции глазодвигательной системы. Одновременно появляется присущее однонаправленному току сосудорасширяющее действие и улучшение кровоснабжения мышечной ткани, активизация обменных окислительно-восстановительных процессов. Происходит восстановление трофики и чувствительности нервно-мышечных структур [4].

В офтальмологии для электростимуляции применяют импульсные токи различной формы: прямоугольной, синусоидальной, экспоненциальной и др. В зависимости от характера и степени поражения нервно-мышечного аппарата глаза определяется выбор того или иного вида импульсного тока. При выборе формы электрических импульсов учитывают адаптацию мышцы или нерва к импульсному раздражению. Чем ниже способность мышцы к аккомодации, тем более физиологичными для нее будут импульсы, которые медленно нарастают и сравнительно быстро спадают. В качестве таких импульсов применяются импульсы с экспоненциальными фронтами [5].

Экспоненциальная форма импульса занимает промежуточное положение по эффективности между прямоугольной и синусоидальной формой. Токи, изменяющиеся по экспоненциальному закону, действуют более плавно, чем прямоугольные, но, в то же время, обладают большим стимулирующим действием, чем синусоидальные.

В электростимуляторе «Амплипульс» синусоидальные низкочастотные импульсы модулируются синусоидальными токами более высокой частоты. Такая модуляция снижает раздражающий побочный эффект. Существуют приборы, генерирующие экспоненциальные токи без высокочастотной модуляции. Такие токи имеют хорошее миостимулирующее действие, но плохо переносятся детьми.

В настоящее время отсутствуют портативные электростимуляторы, которые генерируют сложномодулируемые экспоненциальные токи и используемые для влияния непосредственно на глазодвигательные мышцы [1].

Физиотерапевтические отделения в основном оснащены аппаратами «Амплипульс», «АСМ-3», «Тонус» и др. Имеющийся в комплекте этих аппаратов однополюсный электрод не позволяет провести электростимуляцию мышц глаза. Поэтому возникает необходимость дополнительного изготовления электродов приспособленных для работы манипулятора без присутствия ассистента [3].

## 2. Постановка задачи

Задачей настоящих исследований являлось Исследование влияния экспоненциальных модулированных импульсов с нарастающими и спадающими фронтами экспоненциальной формы с регулируемой частотой заполнения на стимуляцию глазных мышц.

## 3. Методика выполнения исследований

Для проведения исследований применяли электростимулятор, который представляет собой генератор экспоненциальных модулированных токов (переменный экспоненциальный ток средней частоты 5000 Гц модулируется синусоидальными колебаниями низкой частоты от 30 до 150 Гц) [6 – 9]. В процессе исследований применяли портативный электростимулятор полностью автоматизирующий процесс воздействия на мышцу импульсным током.

Схемотехнически устройство можно реализовать на основе микроконтроллера (рис. 1), который определяет порог болевой чувствительности, вырабатывает код импульсов стимуляции не превышающих этот порог, имеет возможность контроля и установки параметров импульсов персональным компьютером, передает данные о параметрах электростимуляции в персональный компьютер для документирования и дальнейшего анализа.



Рис. 1. Функциональная схема электростимулятора

## 4. Выполнение исследований

На основе микроконтроллера ATmega8535 реализован генератор экспоненциально-модулированных импульсов, с целью плавного воздействия на мышцы глазодвигательного аппарата. Микроконтроллер программно вырабатывает информацию об импульсе в цифровых кодах, поэтому в схеме генератора необходимо использовать цифро-аналоговый преобразователь.

Последовательная загрузка осуществляется через интерфейс SPI, при этом микроконтроллер соединяется с микросхемой ЦАП двумя сигнальными линиями SCK и MOSI. Эти же линии вместе с линиями MISO и RESET используются и для программирования микроконтроллера. Выбор способа загрузки данных в микросхему ЦАП зависит от конкретных задач. Выходное напряжение ЦАП может изменяться от 0 В до уровня опорного напряжения  $U_{REF}$ , подаваемого на вход микросхемы ЦАП и, таким образом, не превысит порога болевой чувствительности.

Для вычисления кодов подаваемых на микросхему ЦАП используется табличный метод: записывается в память программ микроконтроллера несколько значений функции (в данном случае экспоненты) при одинаковом приращении времени.

Экспоненциальный импульс частотой 150 Гц представлен на рис. 2.

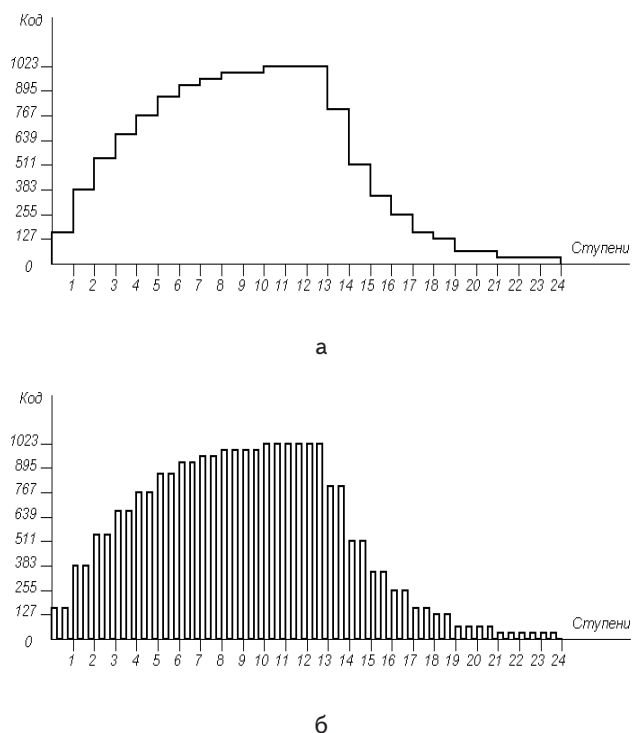


Рис. 2. Формы экспоненциальных импульсов частотой 150 Гц: а – без заполнения; б – с заполнением

Полученные параметры импульса соответствуют режимам электростимуляции мышц глазодвигательного аппарата по общепринятым методикам [10]. Амплитуда импульса фиксируется на измеренном предварительно пороге болевой чувствительности и не превышает ограничения 30 мВ. Значения низкочастотного экспоненциального импульса выбираются из ряда 75 Гц, 100 Гц, 150 Гц. Сформированный генератором импульс может быть выбран с высокочастотным заполнением и без него. Частота заполнения может изменяться в пределах от 5000 Гц до 10000 Гц. Программно возможно установить изменение скважности следования импульсов, для устранения эффекта привыкания мышцы к импульсному воздействию.

Усилитель выходного сигнала имеет полосу пропускания частот от 10 до 20 кГц, с неравномерностью 2 дБ. Коэффициент передачи может меняться от 1 до

100. Настройка усилителя сводится к подбору корректирующей цепочки интегральной микросхемы.

Порог болевой чувствительности, вызываемой электрическими раздражителями, изменяется в зависимости от формы импульсов, причем его уровень зависит от плотности и места приложения тока [11]. Воздействие на мышцы глаза человека импульсов тока силой всего несколько десятков микроампер вызывает световое ощущение в виде очень слабых бесцветных или голубоватых вспышек, называемых электрическим фосфеном. При плавном увеличении частоты тока наступает момент, когда человек перестает ощущать электрофосфен. Этот момент обозначается, как критическая частота исчезновения мельканий электрофосфена, и является показателем функционального состояния аксиального (центрального) пучка зрительного нерва.

Схема фиксирования болевых ощущений основана на измерении импеданса биоткани. Предварительно усиленный биосигнал фиксируется микроконтроллером для формирования уровня импульсного воздействия. Порог электрической чувствительности устанавливается в диапазоне 30 – 80 мкА [11]. Выход усилителя подключается к входу ADC0 АЦП микроконтроллера. Остальные входы заземляются. Заземление входа ADC0 отключает подпрограмму автоматического режима управления.

Обмен данными между микроконтроллером и компьютером осуществляется специальным блоком, преобразующим уровни сигналов в соответствии с требованиями стандарта RS-232.

С панели управления производится управление параметрами импульсов: амплитудой, чередованием импульсов с паузами, наличием частоты заполнения и величиной частоты модуляции. Переключение режимов работы электростимулятора контролируется жидкокристаллическим индикатором.

## 5. Результаты исследований

В результате выполненных исследований были разработаны экспериментальные образцы электродных устройств поверхностного и кожного типа для воздействия импульсных токов на мышцы глаза, а в процессе зрительной нагрузки, позволяющие производить диагностику аккомодационного аппарата в естественных для обследуемого условиях. При этом показано, что конструктивные параметры разработанных электродных устройств оказывают минимальное физическое воздействие на глазное яблоко и тем самым обеспечивают долговременное измерение потенциалов цилиарной мышцы на любом контингенте обследуемых.

На основе модели Гельмгольца и закона Варбурга получено выражение для определения площади ме-

таллических контактов разработанных электродных устройств:

$$|Z_f| = \sqrt{2} \frac{\delta}{2\pi f \epsilon \epsilon_0 S}, \quad (1)$$

где  $Z_f$  – полный импеданс электрода;  $S$  – площадь поверхности электрода;  $\delta$  – глубина контактного слоя;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость.

Получено графическое решение выражения (1) (рис. 3), на основании которого сформулировано условие выбора площади металлических контактов электродных устройств  $S \geq 0,3 \text{ мм}^2$ . Показано, что собственный шум электрода не превышает  $10^{-14} \text{ В}$ .

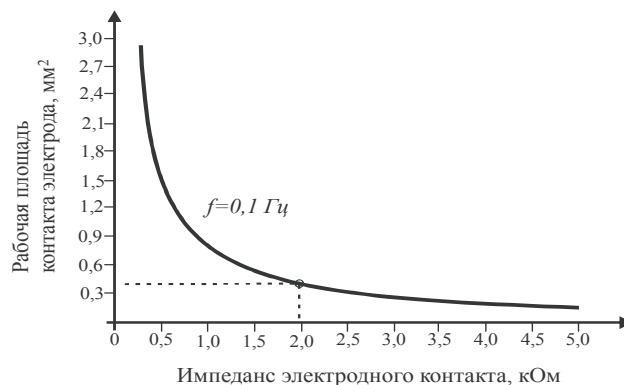


Рис. 3. Расчетные зависимости рабочей площади контакта электрода от его импеданса для граничной частоты проходящего сигнала 0,1 Гц

## 6. Выводы

1. Разработанный микроконтроллерный электростимулятор позволяет в автоматическом либо управляемом компьютером режимах производить электростимуляцию мышц глазодвигательного аппарата сложномодулируемыми импульсами экспоненциальной формы на пороге электрочувствительности, что более эффективно при восстановлении трофики пораженной мышцы.

2. Документирование параметров импульсного воздействия компьютером позволяет анализировать в базе данных пациента результаты лечебных мероприятий.

3. Сформулировано условие выбора площади металлических контактов электродных устройств  $S \geq 0,3 \text{ мм}^2$ , которое при выборе материала для изготовления контактов электродных преобразователей на основе расчета составляющих импеданса контактных элементов позволяет производить электроды для офтальмологических лечебных и диагностических устройств.

## Литература

1. Сосин, И. Н. Физическая терапия глазных болезней [Текст] / И. Н. Сосин, А. Г. Буявых. – Симферополь: Таврия, 1998. – 248 с.
2. Аветисов, Э. С. Содружественное косоглазие [Текст] / Э. С. Аветисов. – М.: Медицина, 1977. – 312 с.

3. Юров, С. И. Лечение содружественного косоглазия электростимуляциями наружных прямых мышц глаза [Текст] / С. И. Юров // Офтальмологический журнал. – 1968. – №8. – С. 598-600.
4. Рухлова, С. А. Основы офтальмологии [Текст] / С. А. Рухлова. – М.: Медицинская книга. – Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2001. – 252 с.
5. Ремезов, А. Н. Медицинская и биологическая физика [Текст] / А. Н. Ремезов. – М.: Высшая школа, 1999. – 616 с.
6. Швец, Е. Я. Электростимулятор глазных мышц экспоненциальными модулированными импульсами [Текст] / Е. Я. Швец, Л. Л. Веревкин, А. П. Посуныко и др. // Радиоэлектроника Информатика Управление. – 2003. – №1. – С. 24–26.
7. Запобігання сліпоті у дітей в Україні в рамках виконання програми ВООЗ «Зір-2020» з практичним семінаром «Жива хірургія» [Текст] : тези та лекції Міжнародної науково-практичної конференції лікарів-офтальмологів України, 11-12 березня 2005 р. / М-во охорони здоров'я України. – Київ: КВІЦ. – 2005. – 380 с.
8. Елисеєва, Н. М. Чрескожная электростимуляция зрительных нервов у нейрохирургических больных со зрительными нарушениями [Текст] / Н. М. Елисеєва, Н. К. Серова, В. В. Гнездицкий и др. // Вестник офтальмологии. – 1997. – Т.113. – №1. – С. 19-22.
9. Швец, Е. Я. Миниатюрный электростимулятор глазных мышц [Текст] / Е. Я. Швец, Л. Л. Веревкин, О. Н. Поправка и др. // Электроника и связь. – 2003. – №18. – С. 102–103.
10. Пономарчук, В. С. Электростимуляционные методы лечения в офтальмологии [Текст] / В. С. Пономарчук, С. Б. Слободяник, В. С. Дроженко // Офтальмол. журн. – 1998. – №4. – С. 318-324.
11. Шигина, Н. А. Применение электрического тока в диагностике и лечении патологии зрительного нерва и сетчатки. Том 2. №2 [Текст] / Н. А. Шигина, И. Г. Куман, Т. С. Хейло и др. – М.: КОФ, 2001. – С. 243 – 256.

*Розглянуто питання можливості та доцільності використання робастних регуляторів для технологічних об'єктів в харчовій промисловості. Описані принципи робастного регулювання, що можуть бути використані у будь-якій галузі харчової промисловості, якій притаманні складні масо- та теплообмінні процеси. Робастні регулятори забезпечують необхідну стійкість та якість множини об'єктів з можливою компенсацією зовнішніх збурень*

*Ключові слова: принципи робастного управління, умови невизначеностей, робастний регулятор*

*Рассматривается вопрос возможности и целесообразности использования робастных регуляторов для технологических объектов в пищевой промышленности. Описаны принципы робастного регулирования, которые могут быть использованы в различных отраслях пищевой промышленности, для которых характерны сложные массо- и теплообменные процессы. Робастные регуляторы обеспечивают необходимую устойчивость и качество множества объектов с возможной компенсацией внешних воздействий*

*Ключевые слова: принципы робастного управления, условия неопределенностей, робастный регулятор*

УДК 681.513:5.664.12

## МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОБАСТНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Н. Г. Гриценко**

Аспірант

Кафедра інтегрованих автоматизованих систем управління\*\*

E-mail: gricenko.ng@gmail.com

**Я. В. Смітюх**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: smityuh@yandex.ru

**А. П. Ладанюк**

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: ladanyuk@ukr.net

\*Кафедра автоматизації процесів управління\*\*

\*\*Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68, Київ, Україна 01601

### 1. Вступ

Більшість технологічних об'єктів (ТО), які використовуються за різним призначенням у будь-яких галу-

зях промисловості, є нестационарними, багатокритеріальними, нелінійними з високим рівнем виробничих шумів та перешкод. Нестационарність ТО викликана змінюваними умовами роботи процесів тепло-, ма-