

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ  
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 621.317+612.8

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ  
ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

© 2019 г. В. Н. Чихман, В. О. Молодцов, В. Ю. Смирнов,  
С. Д. Солнушкин, А. И. Вайдо

Поступила в редакцию 10.01.2019 г.

После доработки 15.01.2019 г.

Принята к публикации 16.01.2019 г.

DOI: 10.1134/S0032816219040049

С целью регистрации уровня болевой чувствительности в поведенческих экспериментах с лабораторными животными разработано устройство MD280, внешний вид которого показан на рис. 1, а его структурная схема — на рис. 2.

Для генерации электрокожного раздражения животного устройство осуществляет подачу электрического напряжения на пол клетки размером  $350 \times 280$  мм, выполненный в виде сетки из латунных прутков  $\varnothing 4$  мм с расстоянием между ними 11 мм. В отличие от известных установок [1–3], в разработанном устройстве реализована управляемая подача электрического потенциала на каждый пруток, что предоставляет возможность создания разнообразия сигналов электрического раздражения на полу клетки и устраняет возможность расположения животного на эквипотенциальных прутках. Устройство MD280 содержит 24 ключа, выполненных в виде оптореле на полевых транзисторах (MOSFET-реле) серии G3VM-61G2 (Omron) с гальванически развязанным управлением от триггеров 24-разрядного регистра. Регистр и автомат управления реализованы на программируемой логической интегральной

схеме FPGA MAXII EPM570T100 (Altera). В 24-разрядный регистр из э.в.м. через интерфейс USB может быть записан произвольный код, в соответствии с которым осуществляется подача нулевого потенциала или заданного напряжения на прутки клетки, соединенные с выходами ключей. На выход каждого ключа поступает сигнал от управляемого импульсного источника напряжения, выполненного на основе широтно-импульсного модулятора (ш.и.м.) и масштабирующего усилителя на операционном усилителе AD820AR (Analog Devices). Выходное напряжение управляемого источника может изменяться в диапазоне 0–28.4 В. Ток, потребляемый от источника напряжения, измеряется с помощью 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя (а.ц.п.), выполненного на микросхеме AD7477ARTZ (Analog Devices). Схема управления а.ц.п. построена так, что измерение осуществляется непрерывно с частотой около 100 кГц, однако в регистре контроллера запоминается только максимальное из измеренных значений. После считывания полученное в предыдущем периоде максимальное значение тока сбрасывается и процесс формирования мак-



Рис. 1. Внешний вид устройства MD280 (слева) и с экспериментальной клеткой (справа).



Рис. 2. Структурная схема устройства MD280.

симального значения начинается заново. Максимально возможное значение измеряемого тока составляет 17 мА. Импульсный преобразователь напряжения (DC/DC-преобразователь) выполнен на микросхеме AM2G-0512DZ (Aimtec) и предназначен для питания и гальванической развязки управляемого источника напряжения. Гальваническая развязка управляющих сигналов а.ц.п. выполнена на микросхеме ADUM401BRW (Analog Devices).

Взаимодействие с устройством MD280 осуществляется с помощью компьютера с интерфейсом USB 2.0 Full-Speed. Обмен данными с э.в.м. через интерфейс USB выполняется преобразователем USB ↔ FIFO на микросхеме FT245RL (FTDI) и блоком, преобразующим данные из буфера FIFO во внутренние команды и осуществляющим запись данных в буфер FIFO из устройства.

Для работы MD280 совместно с компьютером используется свободно распространяемый набор драйверов и специальных библиотек (<http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm>). Для операционной системы Windows устанавливается FTD2XX-драйвер, включающий драйвер WDM, который осуществляет связь с устройством через Windows USB Stack и библиотеку DLL, связывающую прикладное программное обеспечение для исследова-

ния пороговой болевой чувствительности крыс, написанное на Delphi с драйвером WDM.

Таким образом, на базе устройства реализована автоматизированная система, обеспечивающая эффективное измерение минимального порога болевой чувствительности, исключая возможность избегания животным электрического воздействия за счет синтеза разнообразного паттерна электрического раздражения с фазированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 годы (ГП-14, раздел 63).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чайка А.В., Черетаев П.В., Хусаинов Д.Р. // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. 2015. Т. 1(67). № 1. С. 161.
2. Мулик А.Б., Шатыр Ю.А. // Российский журнал боли. 2012. № 2. С. 7.
3. Аппаратно программный комплекс “Шелтер”. Нейроботикс. <http://rat-house.ru>

Адрес для справок: Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 6, Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН. E-mail: V\_C\_pavlinst@mail.ru