

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 621.317+612.8

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ СПАЙКОВ**

© 2013 г. В. О. Молодцов, В. Ю. Смирнов, С. Д. Солнушкин, В. Н. Чихман

*Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН  
Россия, 199034, С.-Петербург, наб. Макарова, 6  
Поступила в редакцию 01.02.2013 г.*

Описано устройство, предназначенное для контроля изменения частоты импульсной активности нейронов (спайков) при воздействии на биологический объект.

DOI: 10.7868/S0032816213060062

Для автоматизации электрофизиологического эксперимента разработано устройство, структурная схема которого показана на рисунке. Устройство осуществляет подсчет низкочастотных сформированных импульсов за заданный экспериментатором интервал времени с последующей выдачей результата по интерфейсу USB в э.в.м.

Устройство имеет следующие основные технические характеристики: тип входного сигнала 5 В т.т.л. или к.м.о.п.; диапазон задания интервала времени от 2 до 65536 с (или мс) (~18.2 ч или ~65.5 с) с возможностью выбора единицы измерения интервала времени – миллисекунда или секунда; количество импульсов, подсчитываемых в заданный интервал времени, от 0 до 16777216.

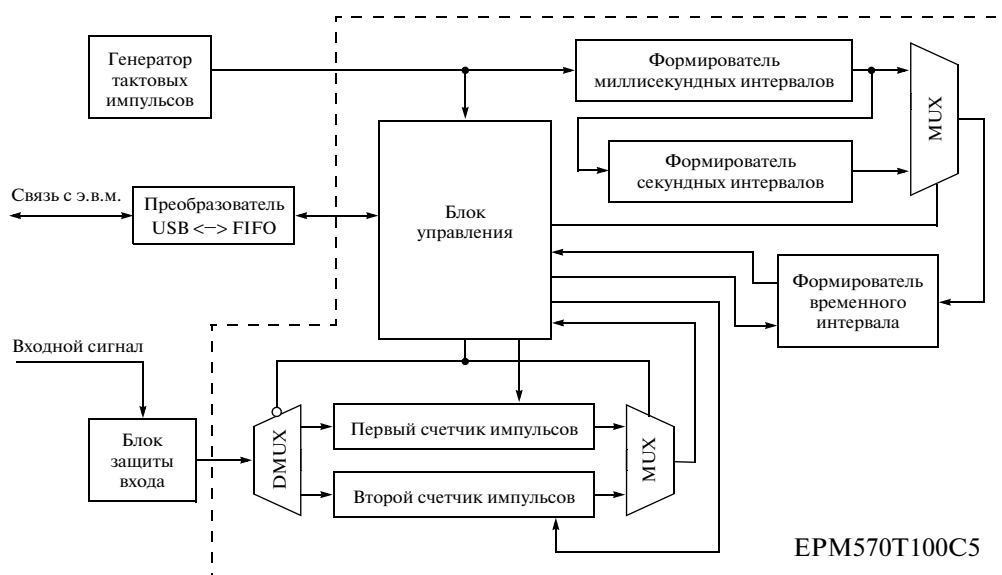
Максимальная частота  $f$ , Гц, входного сигнала вычисляется по формуле

$$f = \max\left(200\,000\,000, \frac{16\,777\,215}{T}\right),$$

где  $T$ , с – заданный интервал измерения. Первое ограничение накладывается характеристиками быстродействия аппаратуры, второе – разрядностью счетчика (для исключения переполнения с потерей данных).

Основным элементом устройства является блок управления, координирующий работу остальных блоков и принимающий сигналы управления и данные от них.

Для формирования временных интервалов, в течение которых осуществляется счет импульсов, блоками формирования миллисекундных и секундных интервалов выполняется деление частоты тактового сигнала на частоты 1 кГц и 1 Гц. Затем один из этих сигналов через мультиплексор (MUX) подается на формирователь временного интервала, формирующий сигнал с периодом, задаваемым в выбранных единицах времени.



Структурная схема устройства для измерения частоты спайков.

Устройство для подсчета импульсов содержит два 24-разрядных счетчика, работающих попеременно, так как входные импульсы, являющиеся тактовыми сигналами для счетчиков, асинхронны по отношению к интервалам времени измерения. Использование одного счетчика требовало бы организации сброса синхронно с приходом нового интервала измерения. Однако, поскольку этот сигнал не является тактовым, выполнить синхронный сброс (по перепаду сигнала интервалов времени) практически невозможно.

Переключение счетчиков осуществляется блоком управления в конце каждого периода счета. Когда один счетчик выполняет подсчет входных импульсов, второй счетчик остановлен, и его значение передается в э.в.м., после чего он сбрасывается. С приходом импульса от формирователя временных интервалов счетчики меняются ролями. Переключение работы счетчиков осуществляется с помощью мультиплексора (MUX) и демultipлексора (DMUX), управляемых одним сигналом и работающих в противофазе.

Входные импульсы поступают на блок защиты внутренних цепей от повышенного или обратного напряжения (блок защиты входа). Питание устройства осуществляется от шины USB.

Обмен данными с э.в.м. через интерфейс USB выполняется преобразователем USB ↔ FIFO, реализованным на микросхеме FT245RL, и блоком, преобразующим данные из буфера FIFO во внутренние команды и осуществляющим запись данных в буфер FIFO из устройства.

Основные блоки устройства, кроме генератора тактовых импульсов, блока защиты входа и преобразователя USB ↔ FIFO, выполнены на микросхеме программируемой логики (CPLD) EPM570T100C5 фирмы Altera.

Управление устройством осуществляется с помощью компьютера с интерфейсом USB 2.0 Full-Speed. Для работы устройства необходим свободно распространяемый драйвер (например, <http://www.ftdichip.com/FTDrivers.htm>).

В начале работы осуществляется настройка устройства, включающая в себя выбор единиц времени (секунды или миллисекунды) и установку длительности интервала измерения. После подачи сигнала начала измерений формирователь временного интервала выдает последовательность импульсов с периодом, заданным пользователем. Счетчики импульсов одновременно подключаются: один — на выход мультиплексора (выход счетчика подключен к блоку управления), а второй — входом тактирования — к входу счета. В каждый следующий интервал измерения счетчики меняются, и значение того счетчика, который был подключен на выход мультиплексора, передается в э.в.м. с последующим обнулением счетчика. Данные накапливаются в буфере порта э.в.м., к которому подключено устройство, и затем считываются программой.

Разработана программа, обеспечивающая с использованием описанного устройства проведение экспериментов по исследованию фармакологии синаптической передачи в рецепторах вестибулярного аппарата лягушки. В ходе эксперимента выполняется запись значений частоты импульсной активности нейронов с одновременной регистрацией нескольких воздействий на изучаемый объект. Программа позволяет сохранять протокол эксперимента и оцифрованные процессы в базе экспериментальных данных. Программное обеспечение системы реализовано в среде Delphi с использованием графической библиотеки DirectX.