

УДК 537.874.7

И.А. Черепнев

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ПО НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

В статье рассмотрен вопрос передачи сигнала по нервному волокну.

сигнал, механизм передачи, нервная система, нервное волокно, одиночный импульс

В трудах отечественных и зарубежных ученых неоднократно использовалась аналогия между структурой нервной и радиотехнической системы. На рис. 1 представлена структурная схема мембраны живой клетки с некоторыми ее электрическими характеристиками [1].

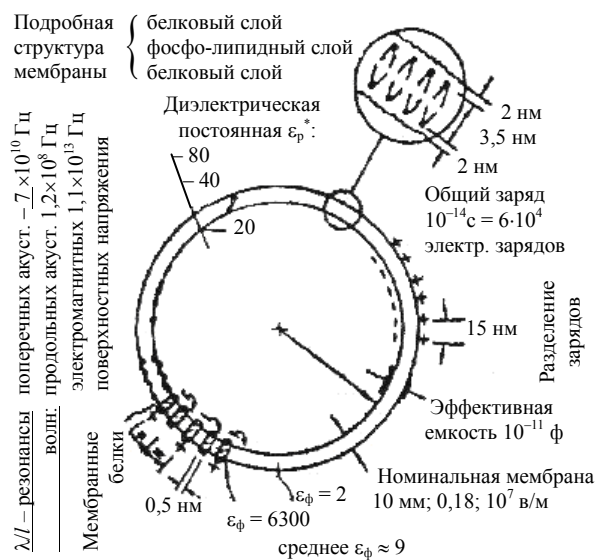


Рис. 1. Структурная схема мембраны живой клетки с некоторыми ее электрическими характеристиками

Однако проблема анализа вопросов прохождения сигнала по нервным волокнам остается весьма актуальной. В работах ученых Бецкова, Нефедова, Яшина высказываются различные мнения по этому вопросу [2, 3].

В данной статье автором рассмотрены некоторые аспекты передачи сигнала по нервному волокну. Используя подобный подход, можно провести некоторую аналогию между прохождением телеграфного или телефонного и нервного сигнала. Словесное содержание телефонного сообщения может быть точно передано посредством преобразования его в телеграфный код, однако тембр голоса, волнение или негативные эмоции будут потеряны. Тем не менее, серии "щелчков" – это фактически все, что получает наш мозг, по крайней мере, от нервов. В то же время нервы являются аналогом провода, состо-

ящим из жидкого солевого раствора с сопротивлением около 20 МОм на 1 мм.

Механизм передачи сигнала по нерву был правильно понят Германом задолго до появления мембранной теории. Нерв не является пассивным проводником сигнала, получив раздражение (сигнал), он выдает импульс в виде потенциала действия (ПД), в виде импульса, который движется вдоль волокна (рис. 2).

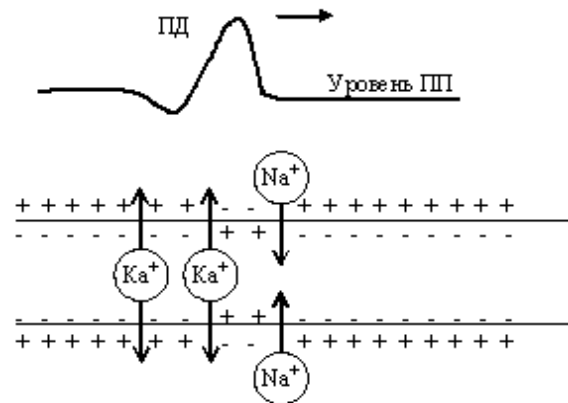


Рис. 2. Схема, поясняющая механизм распространения возбуждения по нервному волокну; распространение нервного импульса связано с изменением проводимости мембраны: передний фронт ПД обусловлен потоком входящих ионов натрия, а задний – выходом из волокна ионов калия

Вследствие большого сопротивления нервного волокна, необходимо усиливать сигнал через каждый миллиметр. Анатомическая плотность нервного волокна через каждый миллиметр прерывается перехватами Ранвье. Как указывает В. Раштон их, используя методы, апробированные в электрофизиологии, можно считать аналогом усилительных станций [4, 5].

Это становится возможным, так как мембранный потенциал оказывается ниже его порогового значения, вследствие падения на сопротивлении протоплазмы. Поэтому нервные сигналы необходимо усиливать через каждый миллиметр.

Работа усилителя в соответствии с внутриклеточными измерениями показывает, что амплитуда потенциала действия (ПД) должна в несколько раз превышать пороговый потенциал. Только в этом случае будут происходить усиление. Требуется уси-

лить амплитуду потенціала діяння свйше 120 мВ, и только тогда срабатывает усилитель.

Анализ литературных источников [3, 4], позволяет сделать вывод, что на протяжении начиная от нервных рецепторов пальцев до спинного мозга у человека в нервной системе, имеется около 800 перехватов или усилительных станций.

Каждый перехват должен восстановить сигнал точно на ту величину, которая была потеряна при прохождении вдоль нерва от последнего перехвата. Предположим, что восстановление в каждом перехвате происходит не полностью, а на 99% всей величины сигнала. Тогда после 800 перехватов сигнал уменьшается до $(0,99)^{800} = 1/3000$ его первоначальной величины. Если восстановление, наоборот, происходит с добавлением 1% от величины сигнала, последний увеличится в 3000 раз по сравнению с начальными параметрами, так что система практически будет чрезвычайно перегружена и, следовательно, будет достигнуто насыщение.

Таким образом, минимальные отклонения от полного восстановления дадут в результате сигнал вида "все или ничего".

Амплитудная модуляция сигнала невозможна: единственно надежным является кодирование единичными изменениями.

Наиболее общая форма этого сигнала соответствует, следовательно, рис. 3 а, где включение и выключение единичной реакции происходят в требуемой временной последовательности.

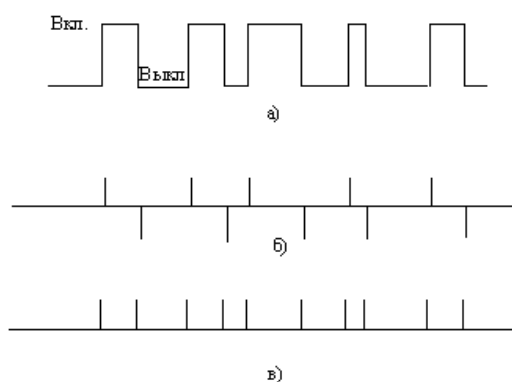


Рис. 3. Возможные типы сигнала "все или ничего"

Информационное содержание этого сигнала такое же, как у его дифференциала (появление и исчезновение сигнала), и, поскольку положительные и отрицательные импульсы строго чередуются, изменение знака не несет никакой информации (см. рис. 3, б). Таким образом, серия положительных импульсов, изображенная на рис. 3, в, несет всю информацию, присущую наиболее общей форме (рис. 3, а), и требуется намного меньше затрат физической энергии. Это сигнал выбора, и он же представляет собой единственный вид сигнала, обнаруженный в периферических нервах.

Точная форма кратковременного импульса не имеет значения, так как не форма, а присутствие или отсутствие импульса в какой-либо момент времени характеризует сообщение. Важно, однако, отметить, что два последовательных импульса не должны постепенно сливаться в один по мере сближения, так как возможность их различения как раз и составляет основу кода.

Нерв человека и животных может легко передавать импульсы с частотой 300 имп./сек, следовательно, при делении одного секундного отрезка на 300 равных интервалов существует возможность, что каждый интервал будет или не будет содержать, по меньшей мере, один импульс. За 0,1 сек, может быть передано 30 бит (двоичных единиц) информации.

Вся центральная ямка сетчатки человека содержит около 30000 нервных волокон и могла бы передать за 0,1 сек 1 миллион бит. Однако каждый из нас может переработать в центральном аппарате не более 4 бит. Очевидно, что поток информации ограничивается не возможностями линий передачи, а кодированием и декодированием передаваемых сообщений.

Выводы

1. По литературным данным установлено, что нервное волокно обладает свойствами усиливать сигнал.
2. Усиление сигналов должно происходить через 1 мм, при этом амплитуда потенциала действия свйше 120 мВ.
3. Наиболее общей формой передачи сигнала является кодирование одиночными импульсами.
4. Мозг живого организма может переработать в центральном аппарате не более 4 бит.

Список литературы

1. Бецкой О.В., Девятков Н.В., Кислов В.В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в терапии и биологии // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1996. – № 12. – С. 3-15.
2. Нефедов Е.И., Протопопов А.А., Семенов А.Н., Яшин А.А. *Взаимодействие физических полей с живым веществом*. – Тула: ТГУ, 1995. – 180 с.
3. Бецкий О.В., Кислов В.В. *Волны и клетки*. – М.: Знание, 1990. – 64 с.
4. Тасаки И. *Нервное возбуждение*. – М.: Мир, 1973. – 222 с.
5. Беркинблит М.Б., Глаголева Е.Г. *Электричество в живых организмах*. – М.: Наука, 1988. – 281 с.

Поступила в редколлегию 5.09.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермолов, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.