

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОНА

А. И. Бых, Л. В. Воевода, Ю. К. Худенский

В создании самонастраивающихся и самоорганизующихся систем нуждаются самые разнообразные области техники. Весьма перспективным считают применение в этих системах электрохимических элементов памяти — мемисторов [1], в частности, для создания самоприспосабливающихся искусственных нейронов, в которых, как и в нервных волокнах, основные процессы распространения импульсов возбуждения протекают в электролитах. Подобно нервным волокнам, эти модели характеризуются значительным временем релаксации (порядка 10^{-3} сек) [2]. Последнее обстоятельство связано с тем, что распространение импульса возбуждения в электрохимических системах обусловлено процессами, контролируруемыми диффузией.

Однако наряду с процессами, контролируемыми диффузией, перенос энергии возбуждения в биологических системах может происходить в виде переноса электрона по молекулярной цепи [2, 3]. В связи с этим представляет интерес изучение быстрых процессов распространения электрических возбуждений в электролитах.

Наиболее приемлемым методом исследования для этих целей

можно считать наблюдение импульсов электрохемилюминесценции (ЭХЛ), которые возникают при прохождении импульсных токов через растворы неводных электролитов, содержащих примеси люминесцирующих органических молекул.

Модельный электролит такого рода состоит из неводного растворителя, например, диметилформамида, растворенной в нем соли типа хлористого натрия и ароматических люминесцирующих молекул, являющихся деполяризаторами при электролизе [4, 5].

По литературным данным, пределом длительности возбуждающих ЭХЛ электрических импульсов можно считать 10^{-3} сек. Данный временной предел теоретически обоснован для наблюдения ЭХЛ в [6], исходя из радикально-ионного механизма ЭХЛ, контролируемого диффузией ион-радикалов в электролите.

Цель настоящей работы — изучение возможности получения импульсов ЭХЛ при возбуждении их электрическими импульсами, имеющими длительность на два порядка меньше, чем предельная длительность для диффузионного механизма (10^{-3} сек).

Исследования проводились на электрохимической ячейке с двумя платиновыми электродами $\varnothing 1$ мм и глубиной погружения 15 мм, питание которых осуществлялось от генератора прямоугольных импульсов. Зазор между электродами составлял 1 мм. Световой сигнал ЭХЛ подавался на ФЭУ-18 с фотометрической схемой, на выходе которой использовался двухлучевой осциллограф С1-16.

На рис. 1 приведены осциллограммы: нижняя — возбуждающего напряжения ($t_{и} = 20$ мсек; $f = 25$ гц; амплитуда 26 в), верхняя — сигнала ЭХЛ. Указанная длительность импульсов возбуждения сохранялась в пределах, соответствующих механизму диффузии. Как видно из рис. 1, в исследуемом режиме разгорание свечения ЭХЛ характеризуется значительным временем запаздывания, составляющим ≈ 10 мсек. Амплитуда светового сигнала на выходе ФЭУ-18 ($R_{н} = 5 \cdot 10^3$ ом) составляла 300 мв. При сокращении длительности возбуждающих импульсов до 15 мсек, амплитуда сигнала ЭХЛ уменьшилась до 30 мв. Дальнейшее сокращение длительности импульсов, даже при увеличении частоты посылок, приводило к значительному уменьшению амплитуды сигнала ЭХЛ, который становился соизмеримым с уровнем шумов ФЭУ-18 в используемом режиме ($U = 860$ в). Описанные в [4, 6] режимы возбуждения ЭХЛ оказались непригодными для возбуждения сигналов ЭХЛ, превышающих уровень шумов ФЭУ при $t_{и} \leq 10$ мсек, в условиях, которыми мы располагали. Учитывая это, можно сделать вывод о допустимости радикально-ионного механизма ЭХЛ для области длительностей возбуждающих импульсов напряжения до 10^{-3} сек.

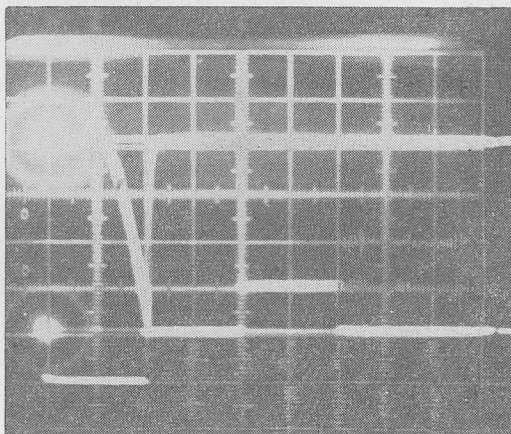


Рис. 1. Осциллограммы:

нижняя — возбуждающего биполярного импульса с параметрами $t_{и} = 20$ мсек; $f = 25$ гц, $U_{и} = 26$ в; верхняя — сигнала электрохемилюминесценции (ЭХЛ).

Как можно предположить на основании данных результатов, собственные потенциалы электродов недостаточны для сорбирования значительных количеств люминесцирующих органических молекул на поверхности электрода. Низкая концентрация сорбированных люминесцирующих молекул на электроде ограничивает световой выход ЭХЛ при малых длительностях возбуждающих импульсов и значительно повышает

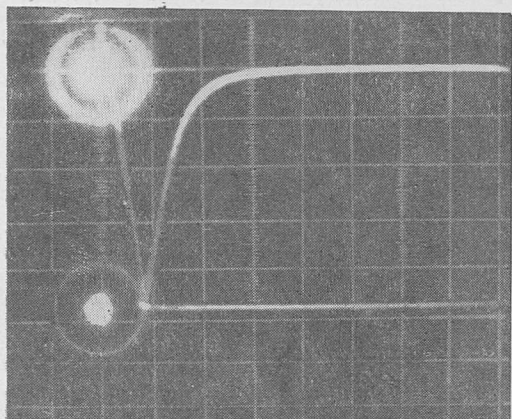


Рис. 2. Осциллограммы:

нижняя — возбуждающего униполярного импульса с параметрами $t_u = 35$ мксек, $f = 40$ гц, $U_m = 20$ в; верхняя — сигнала ЭХЛ.

время запаздывания сигналов ЭХЛ по отношению к фронту возбуждающего сигнала. Можно предположить, что предварительная поляризация электродов потенциалами, приводящими к частичной ионизации ароматических люминесцирующих молекул, увеличит их концентрацию на электроде в молекулярной и ионной форме, благодаря чему должно уменьшиться время запаздывания и возрасти световой выход ЭХЛ при возбуждении короткими пусковыми импульсами.

Исследования проводились на аналогичной ячейке, но с четырьмя электродами: питание двух из них осуществлялось от генератора пря-

моугольных импульсов, третий и один из рабочих электродов использовались для подачи поляризующего напряжения, а четвертый — в качестве электрода сравнения.

Возбуждение ЭХЛ проводилось униполярными положительными импульсами при подаче поляризующего напряжения минусом на рабочий электрод. После работы в указанном режиме в течение 30 мин и прохождения переходных процессов в ячейке был достигнут оптимальный по яркости свечения ЭХЛ режим: $t_u = 35$ мксек; $U_m = 20$ в; $f = 40$ гц. На рис. 2 показаны осциллограммы возбуждающего напряжения и сигнала ЭХЛ при $t_u = 35$ мксек, $f = 40$ гц и амплитуде 20 в.

Полученная амплитуда светового сигнала (3,5 е) в цепи фотометрирования дает возможность провести оценку мгновенной (динамической) и статической яркости свечения ЭХЛ в описанном режиме. Исходя из геометрии опыта (расстояние до катода ФЭУ-18 — 20 мм, размеры электрода и интегральная чувствительность ФЭУ-18 известны), можно оценить мгновенную яркость ЭХЛ \approx в 20 нт, что с учетом формулы Талбота [7] дает статическую яркость 0,02 нт.

По мере дальнейшего уменьшения длительности возбуждающего импульса до 5 мксек длительность нарастания светового сигнала также сокращалась. Амплитуда светового сигнала при частоте посылок 40 гц в 3 раза превышала уровень собственных шумов использованного ФЭУ. Световой сигнал на выходе ячейки не наблюдался при отдельной подаче возбуждающих импульсов и поляризующего напряжения.

Таким образом, режим работы с предварительной поляризацией рабочего электрода позволяет генерировать световые импульсы ЭХЛ в области длительностей возбуждающих сигналов до $5 \cdot 10^{-6}$ сек. Можно

предположить, что свечение ЭХЛ в этой области длительностей возбуждающих сигналов определяется не диффузионным механизмом рекомбинации ион-радикалов, а переносом электрона между ион-радикалами в растворе.

Процессы переноса электрона в электролите могут быть использованы при конструировании элементов быстродействующей памяти типа мемисторов, применение которых возможно в оптоэлектронных схемах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрохимические преобразователи информации. Под ред. П. Д. Луковцева. Изд-во «Наука», 1966.
2. А. Г. Пасынский. Биофизическая химия. Изд-во «Высшая школа», 1968.
3. Sent — Gyorgy. Science, **161**, 3845 (1968).
4. D. M. Hercules. Science, **145**, 808 (1964).
5. R. Visco, E. A. Chandross, El. acta, **13**, 1187 (1968).
6. S. W. Feldberg. J. Electrochem. Soc., **88**, 390 (1966).
7. В. И. Раков. Индикаторные устройства радиолокационных станций. Судпромгиз, Л., 1962.

СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННОГО СУММАТОРА НА ФОРМАЛЬНЫХ НЕЙРОНАХ

С. О. Мкртчян, В. И. Поганов

Формальный нейрон (ФН) — специфический пороговый элемент (ПЭ), отличающийся от классического ПЭ тем, что на одном ФН с δ входами можно реализовать любую из множества $\{M\} = 2^{2^\delta}$ логическую функцию δ переменных, чего нельзя сказать относительно классического ПЭ. Такая функциональная полнота ФН позволяет построить на их основе различные логические узлы дискретных автоматов, отличающиеся экономичностью, функциональной гибкостью (многофункциональностью) и высокой надежностью [1]. В данной статье показана возможность построения сумматора ЦВМ на ФН и его схемная реализация. Как будет видно из дальнейшего изложения, эта схема может выполнять различные логические функции в зависимости от величины порога возбуждения θ , т. е. она является схемой с управляемой логикой. Предполагается, что θ может принимать только дискретные значения $\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots$. Разность $\theta_i - \theta_{i-1} = h_i$ ($i = 1, 2, 3 \dots$) называется шагом изменения порога. Заметим, что логикой — выполняемой функцией — нейрона можно управлять также путем изменения весовых коэффициентов волокон (этот способ здесь не будет рассматриваться).

Множество $\{\mu\}_N$ выходных функций нейрона во всем диапазоне изменения порога $(+\infty, -\infty)$ содержит не более $(2^\delta - 1)$ элементов (тождественные нулю и единице не учитываются как неинформативные функции). $\{\mu\}_N$ всегда является непустым множеством, поскольку в противном случае нейрон не имеет физического смысла. Таким образом, число элементов (v_N) этого множества находится в пределах $1 \leq v_N \leq (2^\delta - 1)$ $\{\mu\}_N \in \{M\}$. $\{\mu\}_N$ является упорядоченным множеством в следующем смысле: при изменении θ от $+\infty$ до $-\infty$ или наоборот выходные функции нейрона F_i в $\{\mu\}_N$ располагаются в порядке увеличения или уменьшения весов. Здесь за вес функции F_i принимается число дизъюнктивных членов, когда F_i записана в совершенной дизъюнктивной нормальной форме. Кроме этого, на $\{\mu\}_N$ (точнее, на его элементы F_i) накладывается еще одно ограничение: каждая следующая по весу функция F_{i+1} содержит в себе предыдущую функцию F_i , т. е. $F_i \in F_{i+1}$ ($i = 1, 2, 3 \dots$), где возрастание индекса соответствует возрастанию веса функции. Если ряд весов функций F_i множества $\{\mu\}_N$ соответствует начальному отрезку натурального ряда длиной 2^δ , то такой нейрон называется невырожденным. Другими словами, нейрон считается невырожденным, если на каждом шаге изменения порога вес F_i изменяется на