

Сверхпроводящий индукционный датчик в диагностике биотоков

Скляр Ростислав Витальевич, Лавренюк Елена Ивановна

младший научный сотрудник

Отделение физико-химии Института физико-органической химии НАН, Львов, Украина

E-mail: sr@tiar.net

Введение

Средствами преобразования биотоков в электрический сигнал являются имплантируемые датчики ионных токов, так званые нейромикросхемы либо внешние преобразователи магнитного поля- сверхпроводящие квантовые интерференционные преобразователи (СКИПы). Уровень биотоков находится в пределах от 50 pA для междунейронных сигналов до 2 пА для двигательных нервов. К биотокам следует также отнести потоки нонизированных молекул в организме и рекомбинационных событий в ДНК, которые имеют близкую к указанной величину. Поэтому их измерение требует дополнительного стимулирующего воздействия либо экранирования от внешних помех. В то же время такие меры влияют на сам биоток либо не позволяют достичь необходимого разрешения вследствие громоздкости СКИП-системы. Это же касается и измерения биовосприимчивости да проведения исследований магнитным микроскопом. С той разницей, что образец поддают замораживанию и магнитно экранируют.

Методы

В основе предлагаемого решения лежит принцип пассивного и непосредственного приема биотока с последующим обработкой сигнала активным элементом. В качестве входного для биотока элемента используют приемную катушку (ПК), изготовленную из нанопровода либо сверхпроводящий канал полевого транзистора (ПТ) с карбоновых нанотрубок (КНТ) (CNT) [1]. При этом биоток беспрепятственно проходит сверхпроводящий канал, вызывая электрическое напряжение на затворе транзистора либо пронизывает ПК, также подсоединенную к каналу [2] (рис. 1).

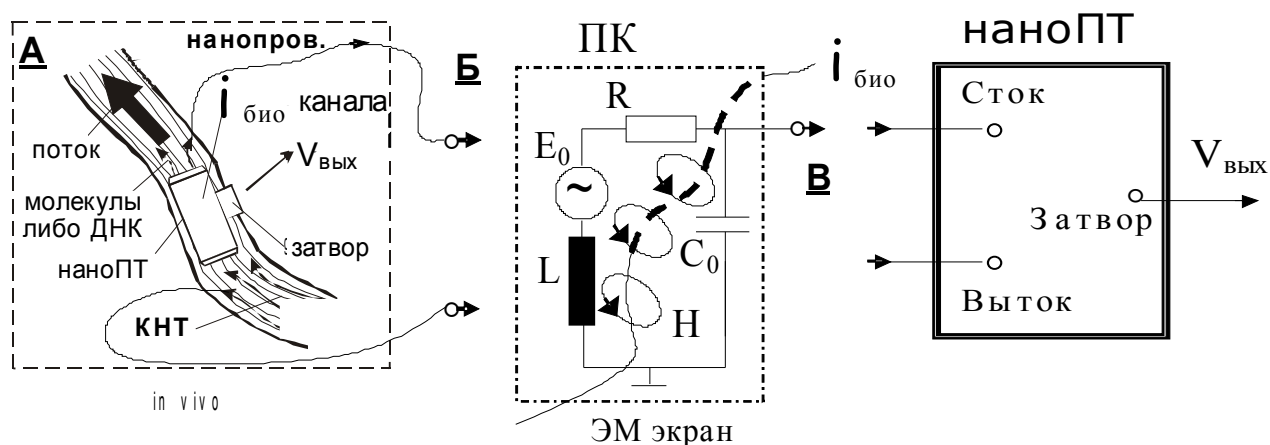


Рис. 1 Включение индукционного датчика в биоток .

А- внедрение целого ПТ в живое тело ; Б и В- отвод биотока $i_{\text{био}}$ на внешний сверхпроводящий ПТ через вживленные контакты .

Значения выходных сигналов определяются по формулах:

$$V_{\text{вых}} = \frac{j\omega_T(Q_G)}{2eI_0} I_{\text{bio}} \quad \text{и} \quad V_{\text{вых}} = \frac{j\pi_0 S_{eq} \omega_T(Q_G) f}{eI_0 z_c} H$$

для вариантов А, Б [1] и В [2] рис. 1 соответственно.

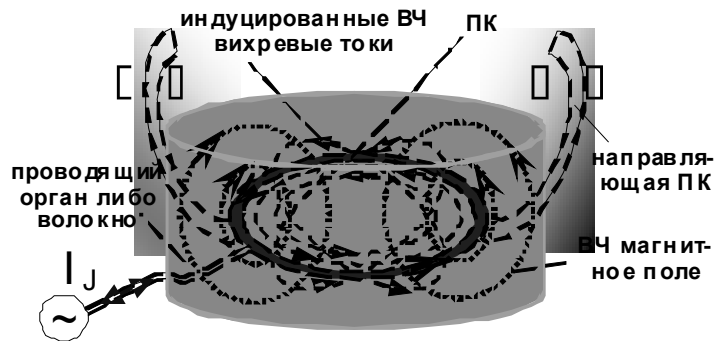


Рис. 2 Схематическое и изображение работы магнитного нано-микроскопа.

$$\Delta I_J(\omega_T) = I_J(\omega_T) - I_i(\omega_T) = K_J \left(\frac{V_{\text{вх}}}{2} - V_{\text{вых}} \right) \left(1 - \frac{M}{L_i} \right)$$

Рис. 3 Аналитическое выражение для выходного сигнала нано-микроскопа.

Схема внедрения в живое тело возбуждающе-приемной ПК и распределение соответствующих ВЧ электромагнитных полей показано на рис.2. Результирующий сигнал получают в результате уменьшения величины входного тока под воздействием коэффициента взаимной индуктивности М (рис. 3).

Результаты

Устройство датчика (рис. 1) позволяет использовать как последовательное, так и параллельное подведение биотока к ПТ. Рассчитанное значение $V_{\text{вых}}$ при воздействии биотока амплитудой 5 мкА составляет 10 В с коэффициентом преобразования $2 \cdot 10^7$. Для концентрации молекул $(7 \pm 0) \cdot 10^{17}/\text{см}^3$ $V_{\text{вых}}$ равно $\pm 15\text{В}$, потенциал иммобилизации ДНК от 0.4 до 1.8 нА дает $V_{\text{вых}}$ от -0.7 до +0.7В и значения рН $2 \div 10$ трансформируются в вариации $V_{\text{вых}} \approx 0 \div 1\text{В}$.

Порог чувствительности микро-наноскопа (рис. 2) с ПК диаметром $0,1 \mu\text{м}$ и индуктивностью $1 \mu\text{Н}$, а также уровнем шумов ПТ равным $10^{-11} (\text{А} \cdot \text{Гц})$ составляет $10^{-4} (\text{А} \cdot \text{м}/\sqrt{\text{Гц}})$. Расчетное значение магнитной биовосприимчивости на частоте 10 Гц и при энергетической чувствительности ПТ $E_{\text{Дж}} = 10^{-30} (\text{Дж}/\text{Гц})$ равно $\chi(r) = 5 \cdot 10^4 \cdot V_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$.

Литература

1. Sklyar R., A SuFET Based Either Implantable or Non-Invasive (Bio)Transducer of Nerve Impulses // 13th International Symposium on Measurement and Control in Robotics- Toward Advanced Robots: Design, Sensors, Control and Applications - ISMCR'03, Madrid, Spain, Dec. 11-12, 2003, Inst. de Automatica Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, p. 121-126.
2. Sklyar R., Superconducting Induction Magnetometer // IEEE Sensors Journal, April 2006, Vol. 6, Iss. 2, p. 357- 364.