

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА РАДИОСИГНАЛ МГЦ ДИАПАЗОНА

Т.Н. ОГАНЕСЯН*

Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

*e-mail: tigran.hovhannisyan11@ysumail.am

(Поступила в редакцию 20 января 2022 г.)

В работе исследован нелинейный отклик головного мозга человека на высокочастотный (ВЧ) сигнал мегагерцового диапазона. Экспериментально показано, что при воздействии на человека ВЧ сигналом, в спектре отклика мозга появляются компоненты, которые коррелированы с внешним радиосигналом. Это означает, что мозг человека реагирует на внешнее электромагнитное воздействие как нелинейная (или параметрическая) система. Результаты настоящей работы могут быть полезны для понимания процессов, происходящих в мозге человека, и, следовательно, могут быть полезны для диагностики и лечения различных заболеваний человека, связанных с мозгом.

1. Введение

Связь живого организма с внешним миром осуществляется с помощью органов чувств, которые преобразуют полученную информацию в электрические импульсы и передают их к головному мозгу [1,2]. Мозг обрабатывает всю информацию, поступающую из внешнего мира и от различных органов и управляет деятельностью организма ответными сигналами, которые передаются по нервным волокнам. Следовательно, в этих электрических сигналах содержится основная информация, относящаяся к деятельности организма.

Современные сетевые подходы, активно развиваемые в нелинейной физике и математике, обогатили понимание функционирования мозга. Однако, несмотря на выдающиеся успехи в современной молекулярной нейробиологии, генетике, механизмы и принципы работы мозга на клеточно сетевом, системном и функциональном уровнях организации остаются невыясненными [3]. Так, например, вопрос о том являются ли глия и матрикс, которые, по сути, представляют собой активную внеклеточную среду нейронной сети, необходимым субстратом для генерации когнитивных функций в мозге (подобно активному веществу при лазерной генерации в физике), до сих пор остается открытым.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) в настоящее время является наиболее распространенным и эффективным методом электрографического исследования головного мозга человека [4]. Однако ЭЭГ в основном отражает электрическую

активность поверхностных нейронов и недостаточно чувствительна к электрической активности нейронов в более глубоких областях. Кроме того, сигнал электроэнцефалографии содержит лишь низкочастотные компоненты (с частотой примерно до 600 Гц) [5].

Для получения дополнительной информации относительно функционирования мозга в работах [6,7], с помощью антенны-аппликатора (емкостного датчика) были зарегистрированы и проанализированы ВЧ сигналы мозга.

Учитывая то, что, как правило, нейронные взаимодействия носят нелинейный характер [3], в настоящей работе исследована нелинейная реакция головного мозга на воздействие ВЧ сигнала извне. Для регистрации подаваемого сигнала и отклика был разработан емкостной датчик (антенна-аппликатор – аналогично использованной в [6]). Регистрируемый сигнал после усиления и оцифровки подвергается статистическому анализу в среде LabVIEW.

2. Конструкция и параметры антенны-аппликатора

В настоящей работе для регистрации реакции головного мозга на воздействие радиосигнала, в качестве датчика использовалась антенна-аппликатор, конструкция которого представлена на Рис.1. Она состоит из двух электродов: регистрируемый сигнал снимается от основного электрода (1) через коаксиальный кабель (4), оплетка которого подсоединена с экранирующим электродом (3). Основной электрод изолирован от экранирующего слоем диэлектрика (2).

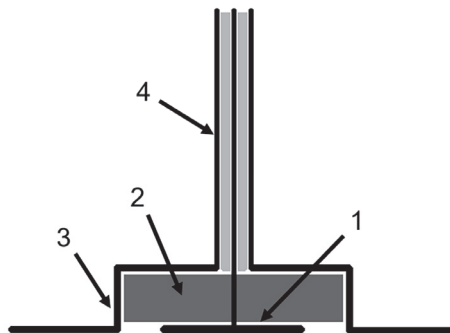


Рис.1. Конструкция антенны аппликатора. 1. Основной электрод, 2. диэлектрик, 3. экранирующий электрод, 4. коаксиальный кабель.

При приближении антенны-аппликатора к исследуемому объекту, между основным электродом и проводящей поверхностью исследуемого объекта возникает взаимная ёмкость, величина которой зависит от их площади перекрытия, а также от параметров изолирующего слоя на поверхности исследуемого объекта (при наличии такового). При отсутствии изолирующего слоя на поверхности основного электрода антенны наносится тонкая изолирующая пленка. Экранирующий электрод полностью покрывает центральный электрод, а своими краями касается поверхности исследуемого объекта, ограничивая тем самым влияние внешних шумов [8,9].

При исследовании головного мозга, антенна-аппликатор прилагается к голове человека, и, следовательно, в данном случае роль диэлектрика играет скальп или кожа лица, а роль второго электрода конденсатора - подкожная проводящая среда.

Для получения объективной информации с помощью предложенной антенны-аппликатора, необходимо узнать характеристики самой антенны. Характеристики антенны были определены экспериментально, следующим образом: с высокочастотного генератора подавался гармонический сигнал на излучатели, находящихся в непосредственной близости с антенной-аппликатором (см. Рис.2.). Сигнал с выхода антенны-аппликатора регистрировался с помощью спектрального анализатора (Rohde&Schwarz FPC1500).

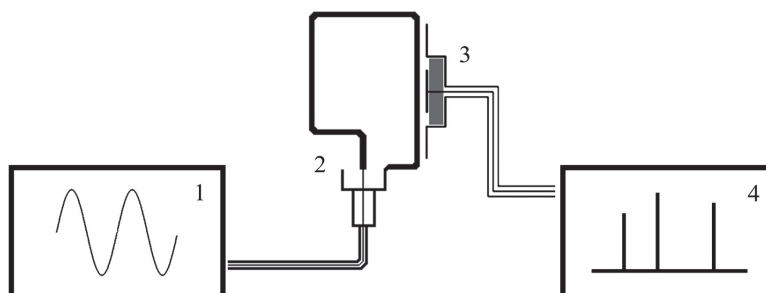


Рис.2. Блок-схема системы исследования частотных характеристик антенны аппликатора. 1. Генератор гармонического сигнала, 2. рамочная антенна, 3. антенна аппликатор, 4. спектральный анализатор.

Снимались зависимости мощностей, регистрируемых антенной-аппликатором, от частоты сигнала генератора для штыревого и рамочного излучателей, которые представлены на Рис.3.

Анализ представленных графиков показывает, что при штыревом излучателе $P(f) \sim f^2$, следовательно для АЧХ системы излучатель-антенна-аппликатор получим: $K(f) \sim f$, а при рамочном излучателе – $P(f) \sim f^4$, т.е. $K(f) \sim f^2$.

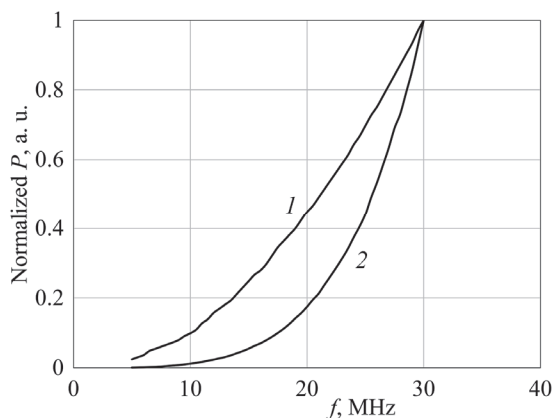


Рис.3. Зависимости нормированных мощностей, регистрируемой антенной-аппликатором, от частоты при штыревом (1) и рамочном (2) излучателях.

Отсюда можно сделать вывод, что антенна аппликатор ведет себя как емкостной датчик, с характерной ему АЧХ.

Благодаря своей конструкции, антенна более чувствительна к электрическому полю перпендикулярному поверхности основного электрода, а тангенциальный составляющий поля практически не влияет на антенну [9].

3. Спектральный и биспектральный анализ регистрируемых сигналов

Как уже отметили выше, для исследования реакции мозга человека на воздействие радиосигнала мегагерцового диапазона, от генератора (1) NI PXIe-5840 к руке человека подавался радиосигнал с амплитудой -10dBm (см. Рис.4). Частота радиосигнала была выбрана равной 20 МГц, поскольку предварительные исследования показали, что в районе 20 МГц регистрируемый сигнал без внешнего воздействия имеет шумовой характер с постоянным спектром и без каких-либо особенностей в биспектре (см. [6,7]).

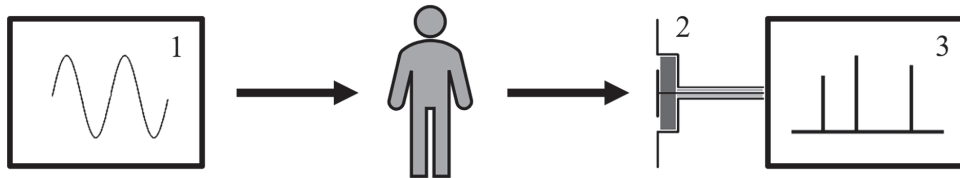


Рис.4. Система излучатель - человек - приёмник. 1. Генератор NI PXIe-5840, 2. антенна-аппликатор, 3. приёмник (векторный трансивер NI PXIe-5646).

Отклик на этот сигнал зарегистрировался с разных точек тела человека: руки, лба, виска и шеи с помощью антенны аппликатора (2), с выхода которой сигнал подавался на векторный трансивер NI PXIe-5646, а после предварительного усиления и оцифровки передавался на компьютер для записи и последующей обработки (спектральному и биспектральному анализу) с учетом влияния АЧХ антенны-аппликатора.

Для цифровой обработки сигнала удобнее представить формулы спектра, спектральной плотности мощности и биспектра через индексы частотного и временного отсчетов.

Спектр i -й реализации процесса $\{x^{(i)}(m)\}$: $\dot{X}^i(p) = N^{-1} \sum_{m=0}^{N-1} [x^{(i)}(m) \exp(-j2\pi mp/N)]$ – это дискретное преобразование Фурье данной реализации, где N - количество отсчетов за время наблюдения, а p и m индексы отсчетов частоты и времени соответственно (см. [10,11]).

Спектральную плотность мощности можно представить через спектры реализаций процесса:

$$P_x(p) = \langle \dot{X}^{(i)}(p) \dot{X}^{*(i)}(p) \rangle, \quad (1)$$

где $\langle \dots \rangle$ означает усреднение по ансамблю реализаций.

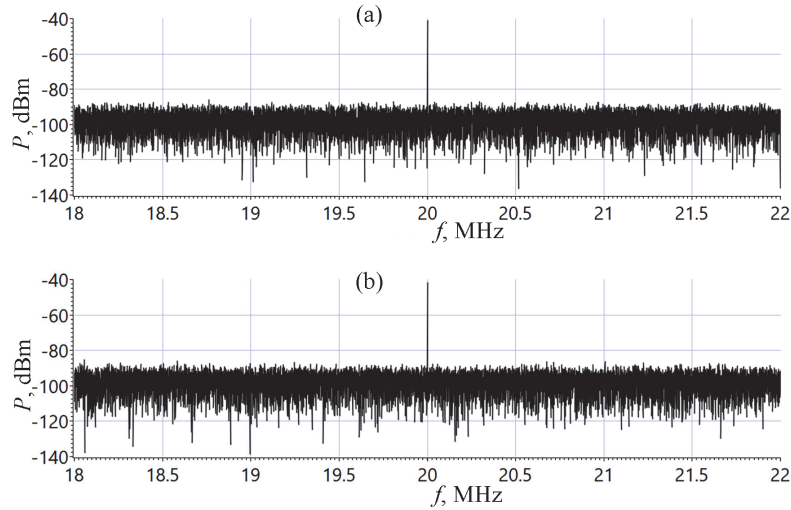


Рис.5. Спектры сигналов а. регистрированного с виска, б. регистрированного с руки.

При отсутствии постоянной составляющей сигнала, биспектр можно представить как среднее значение тройного произведения спектров реализаций процесса на частотах p , q и комплексно сопряженного спектра на частоте $p + q$ [11,12]:

$$\dot{B}_s(p, q) = \langle \dot{X}^{(i)}(p) \dot{X}^{(i)}(q) \dot{X}^{*(i)}(p + q) \rangle. \quad (2)$$

Цифровая обработка регистрируемых сигналов проводилась с помощью специальных программ в среде LabVIEW, на основе формул (1) и (2).

На Рис.5. представлены спектры сигналов, регистрируемых антенной-аппликатором с виска (Рис.5а) и с руки (5б) человека, а на Рис.6 – биспектры соответствующих сигналов.

Во всем наблюдаемом диапазоне спектры практически не отличаются друг от друга. На фоне шумов выделяются только спектральные линии подаваемого сигнала (20 МГц).

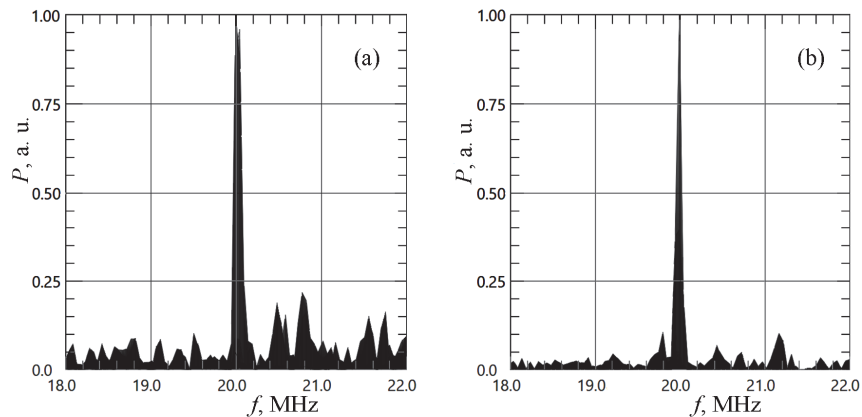


Рис.6. Биспектры сигналов а. регистрированного с виска, б. регистрированного с руки.

Несмотря на это, биспектры сигналов сильно отличаются. Сигнал, полученной от руки практически не содержит коррелированных с сигналом генератора спектральных компонентов. Однако, в биспектре отклика мозга (Рис.6а) отчетливо видны существенно отличающиеся от фона спектральные компоненты (в частности ~ 20.5 МГц, ~ 20.8 МГц, ~ 21.55 МГц и ~ 21.7 МГц). Отметим, что при отсутствии внешнего сигнала (20 МГц) эти спектральные компоненты в биспектре также отсутствуют.

4. Заключение

Исследован отклик головного мозга и мышц человека на радиосигнал меггерцового диапазона. Результаты исследований показывают, что внешнее маломощное излучение практически не влияет на спектр сигналов, регистрируемых антенной аппликатором от мышц и от мозга человека. Однако, биспектральный анализ показывает, что при воздействии на человека радиосигналом с частотой 20 МГц в спектре отклика мозга появляются компоненты, которые коррелированы со внешним радиосигналом. Это означает, что мозг человека реагирует на внешний радиосигнал как нелинейная (или параметрическая) система.

Результаты настоящей работы могут быть полезны для понимания процессов, происходящих в головном мозге человека. Дальнейшие исследования мозга человека с помощью статистического анализа регистрированных радиосигналов могут выявить взаимные корреляции между регистрированными сигналами и различными патологиями мозга, и, следовательно, могут быть полезны для диагностики и лечения различных заболеваний человека, связанных с мозгом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **J.G. Betts et al.**, Anatomy and Physiology, Houston: Rice University, 2017.
2. **E.D. Adrian**. American Journal of EEG Technology, **8**(1), 25 (1968).
3. **А.Е. Храмов, Н.С. Фролов, В.А. Максименко, С.А. Куркин, В.Б. Казанцев, А.Н. Писарчик**. УФН, **191**, 614 (2021).
4. **K. Blinowska, P. Durka**. Electroencephalography (eeg), Wiley encyclopedia of biomedical engineering, 2006.
5. **J. Engel Jr., A. Bragin, R. Staba, I. Mody**. Epilepsia, **50**(4), 598 (2009).
6. **Г.Л. Айвазян, С.В. Антонян, А.О. Макарян, Б.А. Оганесян, Э.Р. Сиволенко, Г.А. Цатурян**. Известия НАН Армении, Физика, **57**, 125 (2022).
7. **B.A. Hovhannisyan**. Armenian Journal of Physics, **14**(3), 138 (2021).
8. **N. Petrovic, M. Otterskog, P.O. Risman**. Journal of Physics D: Applied Physics, **47**, 385401 (2014).
9. **N. Petrovic, M. Otterskog, P.O. Risman**, IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), 1, (2016).
10. **С.И. Баскаков**. Радиотехнические цепи и сигналы, Москва: Высшая школа, 2000.
11. **А.А. Зеленский, В.Ф. Кравченко, В.В. Павликов, А.В. Тощкий**. Физические основы приборостроения, **2**(3), 4 (2013).
12. **C.R.P. Courtney, S.A. Neild, P.D. Wilcox, B.W. Drinkwater**. Journal of Sound and Vibration, **329**(20), 4279 (2010).

ԳԼԽՈՒՂԵՂԻ ԱՐՁԱԳԱՆՔԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՄՀՑ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՌԱԴԻՈԱԶԴԱՆՇԱՆԻՆ

Տ.Ն. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Աշխատանքում հետազոտվել է ՄՀց տիրույթի ռադիոազդանշանի նկատմամբ մարդու գլխուղեղի ոչ գծային արձագանքը: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ մարդու վրա ՄՀց տիրույթի ռադիոազդանշանի ազդեցության դեպքում գլխուղեղի արձագանքի սպեկտրում առաջանում են այնպիսի բաղադրիչներ, որոնք կորելացված են կիրառված ռադիոազդանշանի հետ: Մա նշանակում է, որ մարդու ուղեղը արտաքին ռադիոազդանշանին արձագանքում է որպես ոչ գծային (կամ պարամետրական) համակարգ: Սույն աշխատանքի արդյունքները կարող են օգտակար լինել գլխուղեղում ընթացող պրոցեսները հասկանալու համար, հետևաբար կարող են օգտակար լինել գլխուղեղի հետ կապված հիվանդությունների հետազոտման և բուժման համար:

STUDY OF THE BRAIN RESPONSE TO THE MHZ RF SIGNAL

T. HOVHANNISYAN

The non-linear response of the human brain to radio waves of high frequency (HF) range was studied in this work. It has been experimentally shown that some spectral components, correlated with external HF radio wave, appear in the power spectrum of response signal when HF radio wave is applied to human. This means that the brain responds to an external radio wave as a non-linear (or parametric) system. Results of the current work may be useful for understanding the processes occurring in the brain, and therefore may be useful for diagnosis and treatment of different diseases connected to the brain.