

STUDY OF RELAXATION PROCESSES IN A THIN LAYER ELECTROCHEMICAL CELL WITH A REDOX SYSTEM

Urmancheev L.M.

(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev)

Thin layer cells (TLC) with red-ox systems (ROS) are widely used in diffusion electrochemical transducers of information. At decreasing the electrodes spacing the role of surface phenomena increases and they should be taken into account.

At studying adsorption kinetics on solid electrodes a linear dependence of coverage θ on logarithm of time is often observed: $\Delta\theta \propto \ln t$. Theoretically such dependence was derived by M.I. Temkin in the middle interval of time on bases of a model of the electrode with uniformly inhomogeneous surface for cases of transition from $\theta=0$ to $\theta=1$ and inversely. Analysis of Temkin model (TM) for arbitrary deviations from equilibrium was made in [1], where it was shown that relation $\Delta\theta \propto \ln t$ is not satisfied for small deviations from equilibrium which disagrees with a number of experimental data.

A linear model called a model with a constant inhomogeneity degree (MCID) has been developed, which is determined in all time domain and enables one to calculate transient and frequency response of adsorption processes. Experimental studies of relaxation processes in TLCs containing a screening electrode were carried out with ROSs iodine-iodide and hydrogen-ion of hydrogen on platinum and platinum-iridium electrodes in time and frequency domain. At extending the time and frequency range up to 7-8 orders of magnitude several regions with linear dependence of adsorption capacitance on $\log t$ and $\log F$ with different slopes are brought to light and adsorption admittance may be represented as a sum of several MCID. Computed transient and frequency responses are in satisfactory agreement with experimental data.

УДК 622.271:351.77

СОПРЯЖЕННЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПОЛЯ И СЕНСОРЫ*

¹Бугаев А.С., ²Агафонов В.М., ³Хайретдинов М.С., ³Ковалевский В.В.

¹Институт радиотехники и электроники РАН им. Котельникова;

²Московский физико-технический институт (университет);

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН)

Рассматривается фундаментальная проблема взаимодействия сопряженных волновых полей разной физической природы-акустических, сейсмических, гравитационных, электромагнитных- на фоне воздействия метео-полей. Источниками таких полей являются мощные техногенные и природные процессы. Изучение обозначенной проблемы имеет двоякую сторону-чисто научную и прикладную. Последняя связана с оценением экологических угроз для окружающей среды, возникающих в результате протекания процессов взаимодействия. В докладе рассматриваются обе стороны проблемы, а также роль сенсоров в их решении.

Сопряженные волновые поля разной физической природы порождаются широким классом техногенных и природных источников. К числу их относятся мощные вибрационные машины, различные карьерные взрывы, океанические прибои, землетрясения, вулканические извержения, лунно-солнечные приливы, падения небесных тел и др. Класс подобного рода

источников далеко не ограничивается приведенным перечислением. При этом один и тот же источник может быть одновременно генератором разных типов волн. Например, землетрясения, мощные техногенные взрывы одновременно являются источниками мощных инфразвуковых волн в атмосфере и сейсмических волн в Земле, несущих в себе ударное воздействие на окружающую среду. Последнее может многократно усиливаться под воздействием метеофакторов, приводящих к пространственной фокусировке энергии волн на определенных направлениях, в зоне которых могут оказаться люди и жилые строения. С учетом этого изучение проблемы взаимодействия имеет не только чисто научный интерес, а параллельно преследует чисто прагматическую цель. Прежде всего, – прогнозирование экологических рисков для окружающей социальной инфраструктуре и природной среде, обусловленных рассматриваемыми процессами. Это особенно важно в связи с проведением мощных массовых карьерных взрывов на открытых угольных разрезах и рудниках. В последнее время большую опасность несут в себе массовые взрывы, связанные с уничтожением утилизируемых запасов боеприпасов.

Взаимодействие гравитационных и сейсмических волн рассматривается на примере лунно-солнечных приливов. Приводятся соответствующие результаты экспериментальных исследований, полученных авторами настоящего сообщения.

Фундаментальные процессы взаимодействия физических полей накладывают отпечаток на процессы их регистрации с помощью сенсоров, реализованных на разных принципах работы – молекулярно-электронных, пьезоэлектрических, магнитоэлектрических, оптоэлектронных. Выявленные в связи с этим в экспериментах закономерности состоят в том, что разные физические поля могут одновременно регистрироваться определенным видом сенсора, изначально ориентированным на конкретный вид поля. При этом возникает задача оптимизации выбора сенсоров по критерию наивысшей чувствительности к определенным параметрам волновых полей. Последнее иллюстрируется результатами экспериментов по одновременной регистрации волновых полей с помощью разного типа сенсоров, в число которых вошли молекулярно-электронные сенсоры (разработка Центра молекулярной электроники МФТИ), один из которых является датчиком колебательной скорости СМЕ-3011 (полоса рабочих частот 1–50 Гц, коэффициент преобразования 400 нВ/нМ/с), второй – скорости угловых перемещений типа МЕТР-157 (рабочий диапазон частот 0.05–20 Гц, коэффициент преобразования 50в/рад/с), третий – датчик линейных ускорений МТСС-1033А (соответственно 0.1–100 Гц и 20 в/г); магнитоэлектрические сенсоры колебательной скорости (полоса частот 1-150 Гц, коэффициент электромагнитной связи 150 нВ/нМ/с), пьезоэлектрические сенсоры (диапазон рабочих частот 5-100 Гц, коэффициент преобразования 200 мкВ/Па).

Один из основных принятых критериев оценивания экологического воздействия взрывных процессов оценивается взвешенной удельной плотностью энергии на заданном

азимутальном направлении φ : $E_{\varphi} = \frac{1}{\rho c} \int_0^T p^2(t, \vec{X}) dt$, где ρc — удельное акустическое

сопротивление воздуха, равное 42 г/(см²·с); $p(t, \vec{X})$ - максимум акустического давления, регистрируемый при условии совпадения направлений ветра и фронта распространения волны от источника с учетом влияния вектора параметров \vec{X} , составляющими которого являются температура окружающего воздуха, неоднородность атмосферы, параметр, характеризующий особенность строения дневной поверхности Земли и др.; T —

длительность акустической волны; f – фактор фокусировки, равный отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде: $f = I[z, \theta, \varphi] / I_0$, где θ и φ соответственно зенитный и азимутальный углы, характеризующие направление акустического луча с учетом принятой модели лучевого распространения. Определение принятого критерия сводится к решению многофакторной задачи. Решение ее в численном виде представляется весьма трудоемким. Один из конструктивных подходов к решению основывается на получении экспериментально полученных оценок.

Для изучения процессов взаимодействия авторами предложен, реализован и испытан в многочисленных натуральных экспериментах оригинальный экологически безопасный, в отличие от взрывов, метод вибрационного просвечивания среды, основанный на использовании сейсмических вибраторов в качестве излучателей, имитирующих взрывы, но обладающих в сравнении ними намного меньшей мощностью. Такие генераторы обладают способностью возбуждать в среде одновременно разные типы колебания- сейсмические, акустические, электромагнитные- с прецизионными метрологическими силовыми и частотно-временными характеристиками, что гарантирует, в отличие от взрывов, высокую воспроизводимость результатов исследований. С помощью такого типа излучателя и вышеприведенных типов сенсоров получены экспериментальные и численные результаты, отражающие обозначенные процессы взаимодействия и их роль в воздействии на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Khairtdinov M.S.* Informational-computational technology for prediction of ecological risks using a complex of interrelated geophysical fields. Report at the Intern. Conf. «Mathematical and Informational Technologies» (MIT-2013), Budva, Montenegro, September 5-14, 2013.

2. *Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С.* Взаимосвязь волновых полей мощных вибраторов с атмосферными и геодинамическими процессами // Геология и геофизика. – 1999. Т.40, №3. – С.431–441.

3. *Хайретдинов М.С., Авроров С.А., Воскобойникова Г.М., Седухина Г.Ф.* Результаты экспериментов по оцениванию метеозависимых сейсмоакустических эффектов от мощных взрывов и сейсмических вибраторов. Вестник НЯЦ РК. Периодический научно-технический журнал Национального ядерного центра республики Казахстан. Вып.12, 2012, с.62-66 .

THE CONJUGATE WAVE FIELDS AND SENSORS

A.S. Bugaev, V.M. Agafonov, M.S. Khairtdinov, V.V. Kovalevsky

(¹Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS,

²Moscow Institute of Physics and Technology, ³Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS)

The fundamental problem of interaction of the conjugate wave fields of the different physical nature-acoustic, seismic, gravitational, electromagnetic – against influence of meteo-fields is considered. Sources of such fields are powerful technogenic and natural processes. Studying of the designated problem has the double party-is pure scientific and applied. Last is connected with estimation ecological threats for the environment, processes of interaction resulting course. In the report both sides of the problem, and also a role of sensors in their decision are considered.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННОГО И МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДАТЧИКОВ УГЛОВЫХ ДВИЖЕНИЙ

Антонов А.Н., Зайцев ДЛ.

*(ООО «НордЛаб», Московский физико-технический институт
(Государственный Университет))*

В работе приводятся результаты исследования, показавшего возможность объединения молекулярно-электронного и микромеханического угловых датчиков в едином устройстве с целью значительного улучшения шумовых, частотных и точностных характеристик гироскопа.

Было проведено исследование и сравнительный анализ различных типов ошибок миниатюрного молекулярно-электронного датчика угловых движений диаметром 9мм и микромеханического гироскопа ADXRS614 производства Analog Devices. В рамках данного исследования основное внимание было уделено изучению шумовых характеристик датчиков. Было показано, что в основе формирования собственного шума и низкочастотных дрейфов датчиков различных типов лежат разные физические механизмы. Был проведен анализ недетерминированных ошибок датчиков в терминах вариации Алана. Было показано, что отличительной особенностью молекулярно-электронного измерителя угловых скоростей с точки зрения шумов, является преобладание шума произвольного ухода скорости (Rate random walk, IEEE Std 952-1997, IEEE Std 1293 1998) над другими механизмами шумов. В той же частотной области в сигнале ММГ располагается участок шума произвольного ухода угла (Angle random walk). На основании исследования спектральной плотности шума был найден коэффициент произвольного ухода скорости для МЭП: $K \sim 0,005 \frac{\text{Град}}{\text{сек} \sqrt{\text{Гц}}}$. Помимо этого были получены численные характеристики шума микромеханического гироскопа.

Был предложен метод снижения недетерминированных ошибок, который в общем виде можно описать следующим образом. При сравнительном анализе собственных шумов датчиков методом вариации Алана видно, что ошибка микромеханического гироскопа убывает при увеличении времени усреднения. В то же время ошибка молекулярно-электронного датчика в рассматриваемой частотной полосе имеет прямо противоположный вид, то есть возрастает при увеличении времени (рис. 1). Эта особенность позволяет эффективно разделить частотные области таким образом, чтобы в области больших временных интервалов (то есть низких частот) основной вклад вносил микромеханический гироскоп, а в области коротких – молекулярно-электронный датчик. При этом оптимальная шумовая характеристика результирующего сигнала достигается при выборе граничной частоты, соответствующей точке пересечения графиков вариации Алана.

Было так же показано, что возможно обработать сигналы двух датчиков таким образом, чтобы при их сложении восстанавливался линейный вид амплитудно-частотной и фазово-частотной характеристик сигнала во всем частотном диапазоне работы устройства. Одним из

возможных вариантов является следующая пара передаточных функций, при сложении дающая единицу (рис. 2):

$$P_{MEMS} = \left(\frac{i\omega\tau}{1+i\omega\tau} \right)^2 \text{ для молекулярно-электронного датчика} \quad (1)$$

$$P_{MEMS} = 1 - P_{MEMS} = \frac{1+2i\omega\tau}{(1+i\omega\tau)^2} \text{ для микромеханического гироскопа,} \quad (2)$$

Таким образом, предложенный метод позволяет создать на основе двух датчиков уникальное по своим характеристикам устройство, расширяющее частотный диапазон молекулярно-электронного датчика вплоть до постоянных угловых скоростей и значительно превосходящее традиционные микромеханические гироскопы по уровню собственных шумов и чувствительности.

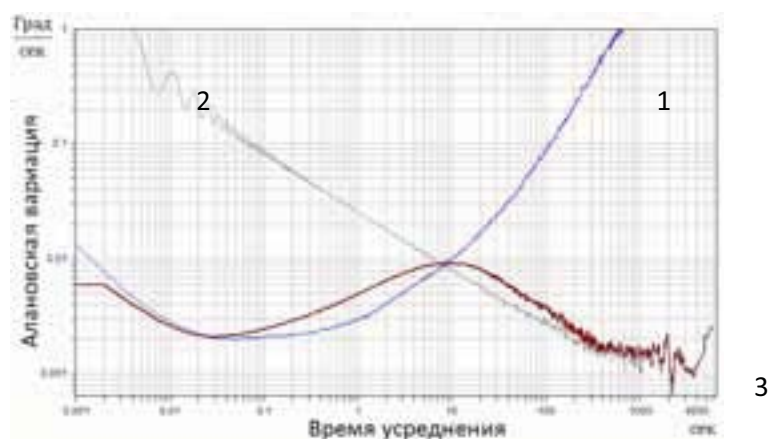


Рис. 1. Графики Аллановской вариации для миниатюрного МЭП (1), MEMS ADXRS614 (2) и результата их комплексирования (3)

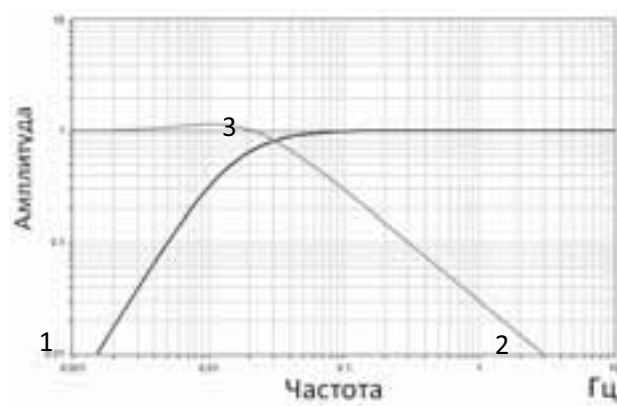


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики передаточных функций (1 – МЭП) и (2-MEMS). Амплитуда суммы (3) этих передаточных функций всегда равна единице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.Н. «Устройство для измерения параметров движения на основе микромеханического и молекулярно-электронного чувствительных элементов» Патент РФ на полезную модель № 2011106909, от 25.02.2011
2. Антонов А.Н., Зайцев Д.Л. Создание миниатюрного малошумящего гироскопа на основе молекулярно-электронного датчика угловых движений и микромеханического

сенсора // Материалы XII Конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» // Гирокоспия и навигация №2 (69), 2010 г., С. 63

3. Агафонов В.М., Антонов А.Н., Зайцев Д.Л. Собственный шум и нелинейность миниатюрных молекулярно-электронных измерителей угловых движений // Датчики и Системы, 2010, №1.

4. Stockwell, W. (2004), "Bias Stability Measurement: Allan Variance", Crossbow Technology, Inc. Visited February 26, 2004.

5. IEEE Std 1293-1998 IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Linear, Single-Axis, Non-gyroscopic Accelerometers

6. IEEE Std. 952-1997, "Guide and Test for Single Axis Interferometric Fiber Optic Gyros," IEEE, 1997, p.63

7. Hou, H. and El-Sheimy, N. (2003), "Inertial Sensors Errors Modeling Using Allan Variance", Best Presentation Winning Paper, The US Institute of Navigation, ION GPS/GNSS 2003 Proceedings, pp.1

MINIATURE LOW-NOISE GYROSCOPE BASED ON MOLECULAR-ELECTRONIC AND MICROELECTROMECHANIC SENSORS

A.N. Antonov, D.L. Zaytsev

(LCC "NordLab", Moscow institute of physics and technology (State University))

The paper presents results of a study that showed the possibility of combining molecular-electronic and microelectromechanical rotational sensors in a single device to significantly improve the noise, frequency response and accuracy characteristics of the gyroscope.