

Инварианты при моделировании поведения пьезокварцевого резонатора, погруженного в жидкость

Ю. К. Алешин,* М. А. Сивков†

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 25.04.2016; Подписана в печать 05.05.2016)

Проведены исследования (эксперимент и теоретический расчет) влияния геометрических параметров резонатора и диэлектрической проницаемости, окружающей среды на уход резонансной частоты пьезокварца.

PACS: 41.20.Cv УДК: 53.088.24

Ключевые слова: пьезокварцевый датчик, диэлектрическая проницаемость.

Практика применения пьезокварцевого резонатора в жидких средах показала, что диэлектрическая проницаемость среды, окружающей пьезокварцевый резонатор, сильно влияют на изменение базовой частоты. Нами проведены исследования (эксперимент и теоретический расчет) влияния геометрических параметров резонатора и диэлектрической проницаемости, окружающей среды на уход резонансной частоты пьезокварца. Экспериментально определено влияние емкости датчика при различных геометрических размерах конденсатора и изменении коэффициента диэлектрической проницаемости окружающей среды. Тот факт, что на изменение резонансной частоты наибольшее влияние оказывает именно диэлектрическая проницаемость, а не другие физические характеристики рассматриваемой жидкости, можно показать, взяв вещества с близкими значениями вязкости, плотности и т. д., но значительно отличающимися диэлектрическими проницаемостями [1, 2]. А так как непосредственно между электродами вещество не меняется, то можно заключить, что окружающая среда влияет на емкость именно посредством изменения характеристики краевого поля.

Для резонатора, полностью погруженного в жидкость,

$$C = C_0 (1 + \beta \varepsilon_{\text{ж}} \Delta C), \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{ж}}$ — диэлектрическая проницаемость окружающей жидкости, а β — безразмерный инвариантный коэффициент, учитывающий степень влияния окружающей среды. Введение этого коэффициента обусловлено следующими соображениями: величина ΔC составляет, как будет показано далее, 5–10 % от емкости C_0 , а величина диэлектрической проницаемости воды ~ 81 , значит, произведение $\varepsilon_{\text{ж}} \Delta C$ будет в 4–8 раз больше емкости C_0 . Таким образом, согласно эквивалентной схеме [3], для резонансных частот ПКР при прочих

равных условиях можно записать

$$\frac{f_1^2}{f_2^2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1 + \beta \varepsilon_{\text{ж}} \Delta C}{1 + \Delta C}, \quad (2)$$

Здесь f_1 — значение резонансной частоты ПКР в воздухе, f_2 — частота резонатора, полностью погруженного в жидкость, а C_1 и C_2 — соответствующие значения емкостей. Для отношения частот резонатора, погруженного в жидкость только с одной стороны

$$\frac{f_1^2}{f_2^2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1 + \frac{1}{2} \Delta C (\beta \varepsilon_{\text{ж}} + 1)}{1 + \Delta C} \quad (3)$$

Из этих соотношений находим коэффициент β .

$$\beta = \frac{\frac{f_1^2}{f_2^2} (1 + \Delta C) - 1}{\varepsilon_{\text{ж}} \Delta C} \quad (4)$$

Экспериментальные измерения частоты проводились четыре раза для каждой жидкости. После каждого вещества датчик отмывался и высушивался. Производились измерения ухода частоты ПКР-датчиков разных радиусов при погружении в воду одного электрода и обоих электродов. Данные и полученные из них значения β и ΔC приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, при изменении значения ΔC на 25 %, коэффициент β изменился менее чем на 0,15 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что его значение мало зависит от величины электродов, и является инвариантом для данного метода измерения.

*E-mail: aljoshin@physics.msu.ru

†E-mail: Lavkrafft@gmail.com

Таблица I:

Радиус a , м	ΔC	Вид измерения	f генерации, МГц	Δf , кГц	β
$1.78 \cdot 10^{-3}$	0.254	На воздухе	9.97952	–	–
$1.78 \cdot 10^{-3}$	–	1 электрод в воде	9.97311	6.41	0.01272405
$1.78 \cdot 10^{-3}$	–	2 электрода в воде	9.961945	17.575	0.0127761
$3.34 \cdot 10^{-3}$	0.318	На воздухе	9.976324	–	–
$3.34 \cdot 10^{-3}$	–	1 электрод в воде	9.968634	7.69	0.01272465
$3.34 \cdot 10^{-3}$	–	2 электрода в воде	9.957906	18.418	0.0127691

- [1] Сивков М. А., Аleshин Ю. К. Комплексный анализ базового элемента емкостных датчиков. Сборник трудов XV Всероссийской школы-семинара «Физика и применение микроволн». С. 27. (2015).
- [2] Аleshин Ю. К., Сивков М. А., Чоба М. А. Измерение и расчет емкости базового элемента пьезокварцевого дат-

- чика. Труды XXVII Симпозиума «Современная химическая физика». С. 64. (2015).
- [3] Иосель Ю. Я., Кочанов Э. С. Расчет электрической емкости. (Ленинград: Энергоиздат, 1981).

Invariants in modeling of behavior of the piezo quartz resonator submerged in liquid

M.A. Sivkov^a, Yu. K. Aleshin^b

*Department of and Microwave Physics, Faculty of Physics,
M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia
E-mail: ^aLavkrafft@gmail.com, ^baljoshin@physics.msu.ru*

The application of the piezo quartz resonators (PQR) in liquid media has found a strong dependence of changes in their frequency of oscillation from liquid media permittivity. The present work shows theoretical calculation and experimental research of influence of resonator's geometrical parameters and permittivity of liquid media on frequency shift of PQR. The effect of sensor's capacity with different geometrical parameters of capacitor and various permittivity coefficients of liquid media was experimentally determined.

PACS: 41.20.Cv

Keywords: quartz crystal sensor, dielectric permittivity.

Received 25.04.2016.

Сведения об авторах

1. Аleshин Юрий Константинович — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939–30–40, e-mail: vovur@mail.ru.
2. Сивков Максим Александрович — аспирант; тел.: (495) 939–30–40, e-mail: Lavkrafft@gmail.com.