

ANALYTICAL MODEL FEATURES OF QUARTER-WAVE RESONATOR MICROWAVE SENSOR FOR MONITORING OF CARDIOVASCULAR PATHOLOGIES

Slipchenko N. I.¹, Panchenko A. Yu.¹, Borodkina A. N.²

¹Kharkov National University of Radioelectronics

14, Lenin ave., Kharkov 61166, Ukraine

²Kharkiv National Medical University

4, Lenin ave., Kharkov 61022, Ukraine

Ph.: (098) 9816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Abstract — Versions of the working space of the quarter wave microwave resonator measuring converter intended for line measurements of biological objects of patients are considered. Requirements to the analytical model of the sensor taking into account features of biological objects are formulated. To ensure the optimum form choice the model has to provide speed of calculation and possibility of graphical representation of a field in the working space. Algorithms for calculation are considered and examples of the electromagnetic field components distribution in the working space are presented.

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОГО РЕЗОНАТОРНОГО СВЧ СЕНСОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СЕРДЕЧНОСОСУДИСТЫХ ПАТОЛОГИЙ

Слипченко Н. И.¹, Панченко А. Ю.¹, Бородинкина А. Н.²

¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

²Харьковский национальный медицинский университет
пр. Ленина, 4, Харьков, 61022, Украина

тел.: (098) 9816727, e-mail: panchenko-a-yu@yandex.ru

Аннотация — Рассматриваются варианты рабочей области четвертьволнового СВЧ резонаторного измерительного преобразователя, предназначенного для поточных измерений клинических проб пациентов. Сформулированы требования к аналитической модели сенсора с учетом особенностей биообъектов. Модель должна обеспечивать быстроту расчета и возможность графического представления поля в рабочей области, для выбора оптимальной формы. Рассматриваются алгоритмы вычисления и представлены примеры распределения компонент электромагнитного поля в рабочей области.

I. Введение

Мембранно-рецепторный комплекс клеток крови по своей структуре и реакции на внешние воздействия аналогичен комплексу клеток сосудов, миокарда и других органов. В частности, состояние клеток и их реакция выражается в изменении соотношения свободной воды и воды, связанной в макромолекулах клеточных мембран. Это соотношение влияет на комплексное значение диэлектрической проницаемости ϵ_a , поскольку в связанной воде механический момент определяется массой макромолекулы. Современные исследования показывают, что измерения ϵ_a клинических проб пациентов позволяют получить информацию не только о состоянии его сердечно-сосудистой системы, но и о ее реакции на воздействие кардиостимуляторов и их антагонистов — β -блокаторов. Таким образом, можно определить как развитие кардиопатологий на ранних стадиях, так и оптимальный путь лечения с учетом индивидуальных особенностей конкретного пациента [1, 2].

Наиболее информативными такие измерения будут в диапазоне частот, включающем частоту релаксации свободной воды — около 10 ГГц. Еще одной особенностью этих измерений является необходимость минимизации объемов проб, так как значительные их объемы существенно увеличивают стрессовую нагрузку при диагностике и лечении.

II. Основная часть

Условие уменьшения объемов проб при сохранении частотного диапазона и точности измерений в

наибольшей степени отвечают четвертьволновые резонаторные измерительные преобразователи (РИП, resonator measuring transducer — RMT) с коаксиальной измерительной апертурой (КИА, co-axial measuring aperture — CMA). Необходимые размеры образцов для таких РИП определяются не рабочей длиной волны, а размерами КИА.

Примеры возможных вариантов выполнения РИП с КИА представлены на рис. 1, а, б.

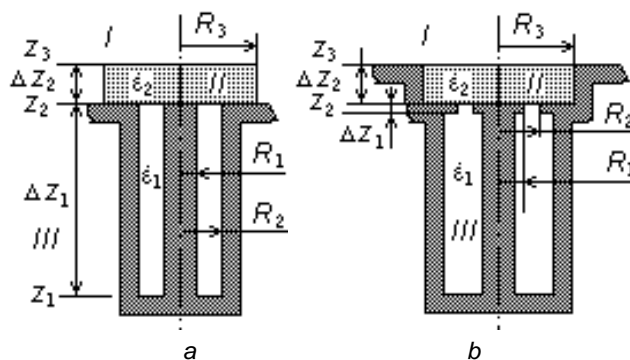


Рис. 1. Варианты выполнения РИП и КИА:

- I — свободное пространство;
- II — исследуемый образец;
- III — индуктивная часть РИП.

Fig. 1. Versions of the CMA realization:

- I — free space;
- II — test specimen;
- III — the RMT inductive part

Еще одним важным достоинством такого типа сенсоров является возможность внешнего доступа в рабочую область. Это обеспечивает быстроту смены образца, что необходимо при исследовании биообъектов, которые изменяют свои параметры во времени и при соприкосновении с воздухом. Увеличение темпа измерений особенно важно при выборе необходимой дозы лекарственных препаратов, оптимальной для конкретного пациента.

Индуктивная часть резонатора может быть выполнена с подвижным поршнем, что обеспечит возможность проведения измерений в диапазоне частот и позволит получать дополнительную информацию. Комбинируя варианты расположения образца, формы и размеры рабочей области и самой КИА, можно в широких пределах менять чувствительность и диапазон измеряемых величин — модуля диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь.

При моделировании сенсора нужно обеспечить быстроту расчета и возможность графического представления поля в рабочей области. Последнее особенно необходимо при исследованиях биологических объектов. Анализ распределения поля на ранних этапах проектирования позволит снизить погрешности, которые могут возникнуть вследствие возможной неоднородности проб.

Численное моделирование поля с использованием математических пакетов, основанных на методе конечных элементов, в частности Femlab, даже на достаточно мощном ПК (2,8 ГГц, 4 ГБ ОЗУ) требует несколько минут (до десяти). Кроме того, при численном моделировании сложно выделить вклад физических эффектов и определить величину воздействия тех или иных факторов. Аналитическая модель дает более наглядное представление.

Для построения аналитической модели используются функции Грина уравнений Максвелла для цилиндрических областей, метод частичных областей и, при малых КИА — метод заданного поля [3,4]. В качестве источников выбирается радиальная компонента электрического поля $E_r(z', r')$ на верхних и нижних границах каждой частичной области. Тогда связанная с ними продольная функции Грина $G_p(z, z')$ становится суммой двух слагаемых — $G_{1,2}$, а структура выражения азимутальной компоненты магнитного поля H_ϕ для основной моды РИП принимает следующий вид:

$$H_\phi = \int_r^n \sum G_t(\gamma_n, r, r') G_{1,2}(\gamma_n) E_r(\gamma_n, z', r') dr', \quad (1)$$

где G_t — поперечная функция Грина;

γ_n — постоянные распространения.

В (1) постоянные коэффициенты и нормы опущены, а функции Грина и источники представлены компонентами ряда по собственным значениям.

В соответствии с граничными условиями тангенциальные компоненты электрического и магнитного поля сверху и снизу границы равны. Это позволяет выразить источники в некоторой частичной области через источники в предыдущей. Как известно слагаемые G_t состоят из произведений цилиндрических функций и во всем объеме каждой частичной области они одинаковы. Поэтому последовательное представление $E_r(\gamma_n, z', r')$ в частичных областях через источники в предыдущих приводит к многократным (до 3-х раз) повторениям однотипных вычислений компонент G_t , γ_n

и $G_{1,2}$, и прямое интегрирование требует значительных затрат машинного времени.

Для исключения повторений потребовалось усложнить структуру алгоритма. На первом этапе создавались массивы множителей всех слагаемых G_t и составляющих рядов с γ_n и $G_{1,2}$ для всех областей. Это позволило избирательно, используя критерий точности, ограничить число членов в рядах. Последующее интегрирование выполнялось методом сплайнов. Тщательное исключение повторений позволило существенно сократить время расчета.

Полученное распределение $H_\phi(r, z)$ в рабочей области позволяло вычислить распределение компонент электрического поля $E_r(r, z)$ и $E_z(r, z)$, и, используя известные методики, определить эквивалентные сосредоточенные параметры не только в апертуре, но и в других сечениях РИП, и далее связать сдвиг резонансной частоты и изменение добротности с параметрами образца.

На рис. 2 а, б представлены результаты расчета распределения компонент электрического поля на основе аналитической модели для рабочей области размером $R_1 = 1$ мм, $R_2 = 2$ мм, $R_3 = 3$ мм, $\Delta z_2 = 1,5$ мм (рис. 1, б) при $\epsilon_2 = 10 \cdot (1 - i0,1)$, $f = 10$ ГГц и напряженности на апертуре равной $E_r = 1/r$ [В/м].

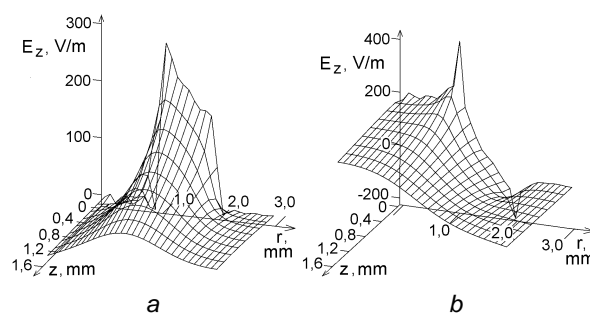


Рис. 2. Распределение компонент электрического поля в рабочей области.

Fig. 2. The electric field components distribution in the working space

Время расчета на компьютере с небольшой производительностью (0,8 ГГц, 0,5 Гб ОЗУ) составило менее 1 мин.

III. Заключение

1. Анализ особенностей диагностики биообъектов позволил оптимизировать модель РИП и КИА.
2. Развитая аналитическая модель существенно сокращает время расчета параметров РИП и дает возможность получить результаты, которые на начальных стадиях проектирования позволяют провести оптимизацию рабочей области КИА.

IV. References

- [1] Boldireva, A.A. (Ed.) *Vvedenie v biomembranologiyu* [Introduction in a biomembranologiya] Moscow: MGU, 1990, 208 p.
- [2] Striuk, R.I., & Dluskaia, I. G. *Adrenoreaktivnost i serdечно-sosudistaia sistema* [Adrenoreactivity and cardiovascular system]. Moscow: Meditsina, 2003 160p.
- [3] Gordienko, Yu.Ye., Petrov, V.V., Fadi Mokhammad Khammud Assessment of the microwave ovens numerical and analytical models the resonator of sensors with a coaxial measuring aperture. *Radiotekhnika*, 1998, No 140, pp. 156-162.
- [4] Panchenko A.Yu. Modeling of the microwave measuring instrument of parameters of substances of resonator type with a small aperture. *Radiotekhnika*, 1998, No 108, pp. 118-121.