

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Гавриченко А. А.

Давыдов М. В. – доцент;
канд. техн. наук

В статье кратко описаны задачи измерения характеристик биологических тканей, приведены основные положения при проведении измерений диэлектрической проницаемости биологических тканей в СВЧ диапазоне. Так же рассмотрены основные методы и их структурные схемы.

Сегодня СВЧ-радиометрия успешно применяется для неразрушающего контроля и исследования диэлектрических свойств материалов, включая изучение конкретных и композитных материалов, исследование пористости в пластиках, измерение влажности почвы и многое другое. Методы электромагнитного анализа также применяются к биологической ткани. Обнаруженная разница в диэлектрических свойствах здоровой ткани и злокачественной опухолевой ткани дала основания на применение СВЧ-радиометрии в медицинской диагностики. Благодаря простоте исследования, неинвазивности и безвредности микроволновая диагностика может служить перспективным методом диагностики, прогнозирования и оценки эффективности лечения рака молочной железы [1]. Помимо груди, есть и другие места возникновения рака, такие как кожа и мозг, на которые тоже нацелены исследования в сфере микроволновой диагностики.

Несколько исследовательских групп опубликовали результаты диэлектрические свойства здоровой и злокачественной ткани груди в СВЧ диапазоне и зафиксировали значительные различия между ними. Результаты выявили пробелы и расхождения в существующих данных, поскольку многие из опубликованных исследований сообщают о довольно ограниченном частотном диапазоне, к тому же измерения проводились на небольшой выборке. Большая часть обобщенных данных была измерена на образцах *ex vivo*, и представленные измерения *in vivo* касались не образцов человека, а образцов животных. Наиболее тщательное и всестороннее исследование здоровых и злокачественных тканей молочной железы человека в микроволновом диапазоне опубликовано Lazebnik и другими [2] в 2007 году.

Lazebnik и др. измеряли диэлектрическую проницаемость и проводимость для частот от 0,5 до 20 ГГц с использованием коаксиального зонда с открытым концом на свежесрезанной ткани человека полученной от операции по удалению рака. Измерения проводились при комнатной температуре и максимум через 4 часа после удаления. В общей сложности было 807 образцов, из них 319 - от онкологических операций. Важное отличие от более ранних исследований заключается не только в большом количестве образцов, но и в анализе данных. Образцы были не только классифицированы на «здоровые» и «злокачественные», как это было сделано в большинстве предыдущих исследований, но также характеризовалось содержание жировой ткани. Соответствующие параметры Коула-Коула для модели с использованием медианных данных в каждой из трех групп образцов нормальной ткани и группы злокачественных образцов, полученной при операциях по удалению рака, можно найти в таблице 1.

Таблица 3.1 Параметры Коула-Коула для медианных диэлектрических свойств ($f = 0,5 - 20$ ГГц) трех жиросодержащих групп нормальной ткани молочной железы и злокачественной ткани груди [2]

	Нормальная, содержание жировой ткани 0 – 30%	Нормальная, содержание жировой ткани 31 – 84%	Нормальная, содержание жировой ткани 85 – 100%	Злокачественная, Содержание рака больше 30%
ϵ_{∞}	7.237	6.080	3.581	6.749
$\Delta\epsilon = \epsilon_s - \epsilon_{\infty}$	46.00	19.26	3.337	50.09
τ (ps)	10.30	11.47	15.21	10.50
α	0.049	0.057	0.052	0.051
σ_1 (S/m)	0.808	0.297	0.053	0.794

Выбор экспериментального метода и измерительной системы для диагностических целей зависит от нескольких факторов, например от:

- ожидаемого диапазона значений диэлектрической проницаемости образца,
- ожидаемого контраста между здоровой и злокачественной тканями,
- необходимой глубины зондирования,
- пространственного разрешение и т.д.

Измерение может проводиться как *in vivo* (на теле пациента), так и *ex vivo* (на вырезанном образце). Для неинвазивных методов диагностики опухолей, измерение должно проводиться *in vivo*, не причинять боль или вред пациенту. Но есть также методы, где измерения проводятся на вырезанных образцах, которые применяются для контроля содержания злокачественных тканей во время онкологической операции. Из-за

высокого затухания СВЧ сигналов в тканях, неинвазивное микроволновое зондирование и сканирование *in vivo* возможны только для опухолей, расположенных близко к поверхности тела, таких как опухоли кожи или груди. Для измерения более глубоких участков тела датчик может быть помещен внутрь тела, например, с помощью эндоскопических инструментов.

Частота или частотный диапазон влияет на несколько аспектов измерения и должен быть тщательно выбран с учетом особых характеристик и требований системы. Обычно более высокая частота означает более высокое пространственное разрешение, но в то же время более низкая глубина проникновения, т.е. измерение на высоких частотах подходит только тонкими образцам. Поэтому измерения на проход, например, для сканирования молочной железы, часто выполняются на более низких частотах [3]. Поскольку диэлектрическая проницаемость ткани зависит от частоты, контраст между здоровой и злокачественной тканью может быть выше на определенных частотах. Поскольку вода является одним из основных факторов, влияющих на микроволновый контраст ткани, предполагается, что контраст будет обычно близким к частоте релаксации воды (около 25 ГГц) и меньшим, например, для терагерцового диапазона.

Микроволновые измерительные системы можно разделить на системы в частотной области (*frequency-domain*), которые применяют непрерывный сигнал, и системы во временной области (*time-domain*), которые обычно используют широкополосный импульс. Выбор измерительных приборов зависит от выбранного типа системы. Прототипы, работающие в частотной области, могут использовать коммерческие векторные анализаторы цепей (VNAs) для измерения параметров рассеяния с высокой точностью и высоким динамическим диапазоном [37,38,39], а также универсальные приемопередатчики. Коммерчески доступная измерительная аппаратура для измерений во временной области может состоять из импульсного генератора и осциллографа.

Разработка измерительных систем для микроволновой диагностики опухолей невозможна без знания зависимости диэлектрической проницаемости для здоровой и злокачественной ткани от диапазона частот. Уже было проведено множество исследований в данной сфере. Тем не менее, все еще есть много пробелов в доступных данных для частот выше 20 ГГц. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование диэлектрической проницаемости в более широком диапазоне частот, а также нахождение других зависимостей, повышающих точность результатов измерений.

Список использованных источников:

1. О.А. Синельникова, Р.А. Керимов, Г.Т. Синюкова, С.Б. Поликарпова СВЧ-радиотермометрия в диагностике и оценке неоадьювантного лечения больных раком молочной железы, 2011
2. Lazebnik M, Popovic D, McCartney L, Watkins CB, Lindstrom MJ, Harter J, et al. A large-scale study of the ultrawideband microwave dielectric properties of normal, benign and malignant breast tissues obtained from cancer surgeries. *Phys Med Biol* 2007
3. Semenov S, Svenson R, Boulyshev A, Souvorov A, Borisov V, Sizov Y, et al. Microwave tomography: two-dimensional system for biological imaging. *IEEE Trans Biomed Eng* 1996.