

Моделирование влияния биологических тканей на чувствительный элемент СВЧ датчика пульса.

В.А.Скуратов, В.В.Кузнецов, А.В.Ситников

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4
viktor.skuratov@gmail.com

В данном докладе рассматривается процесс регистрации пульсовой волны в кровеносном сосуде человека посредством влияния пульсаций на параметры электромагнитного поля копланарной линии передачи, приведены результаты численных расчетов и моделирования данного процесса в программе CST MWS.

In this paper is an examination of the process of registering the pulse wave in human blood vessels by use of pulsation influence on characteristic of electromagnetic field coplanar line, the numerical calculations results and modeling of this process are presented in CST MWS program.

Конструкция копланарной линии представлена на рис.1. Применение копланарной линии передачи в качестве чувствительного элемента датчика можно объяснить следующим образом. Известно, что большая часть силовых линий электрического поля концентрируется в среде с большей диэлектрической проницаемостью и большей толщиной [1]. Из рис.1 видно, что большая часть силовых линий концентрируется в диэлектрике FR-4 ($\epsilon = 4.6$) между печатной дорожкой и проводящим слоем на поверхности диэлектрика, и меньшая часть в воздухе ($\epsilon = 1$).

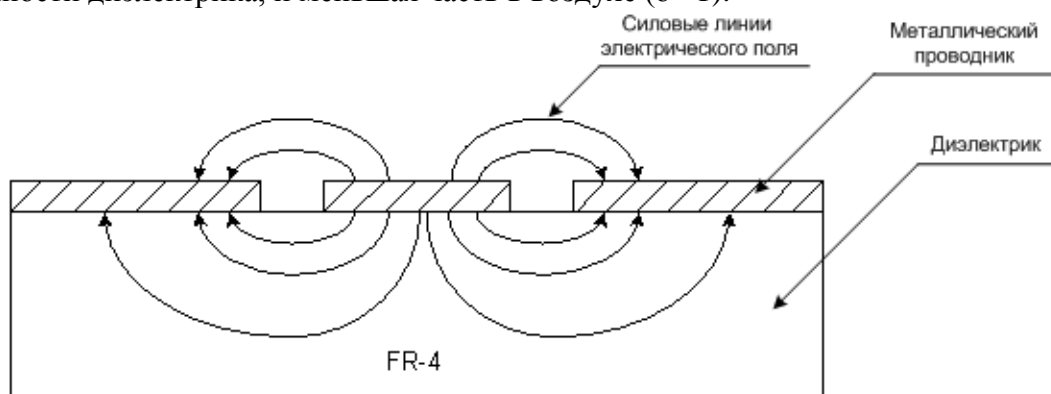


Рис. 1. Копланарная линия передачи.

Так как диэлектрическая проницаемость человека значительно больше диэлектрической проницаемости диэлектрика печатной платы, то основное падение напряжения произойдет на теле человека. Помимо падения уровня сигнала в копланарной линии изменение диэлектрической проницаемости приведет и к фазовой задержке.

Учитывая реакцию сигнала на предметы, расположенные на значительном, по сравнению с размерами линии и ближней зоны её поля расстоянии, первым предположением являлась работа датчика через интерференцию сигнала проходящего в полоске и рабочего излучения линии, отраженного от тела.

Второй вариант предполагает более сложное взаимодействие поля линии и поверхности тела, заключающееся в изменении характеристик полоска, излучение в котором перестает распространяться в соответствии с теорией копланарной линии, частично взаимодействуя с поверхностью тела.

В результате были произведены расчеты следующих параметров:

- 1) эквивалентная глубина проникновения излучения в проводящую среду

- 2) влияние диэлектрической проницаемости на задержку сигнала на разных частотах
- 3) проникновение излучения в многослойную поглощающую структуру
- 4) анализ различий взаимодействия сигнала с тканями руки и бедра
- 5) анализ оптимальной полосы и несущей частоты зондирующего сигнала
- 6) расчет мощности излучения копланарной линии
- 7) анализ влияния толщины слоев тканей на задержку отраженного сигнала
- 8) анализ глубины проникновения мощности излучения для различных частот и структур слоев.

Также в программе CSTMWS было произведено моделирование по следующим направлениям:

- 1) влияние толщины биологического материала на СВЧ сигнал
- 2) влияние диэлектрической проницаемости биологических материалов на СВЧ сигнал
- 3) зависимость глубины проникновения СВЧ сигнала в многослойную структуру от частоты
- 4) влияние многослойной структуры на параметры СВЧ сигнала
- 5) влияние локального расширения в многослойной структуре на параметры СВЧ сигнала.

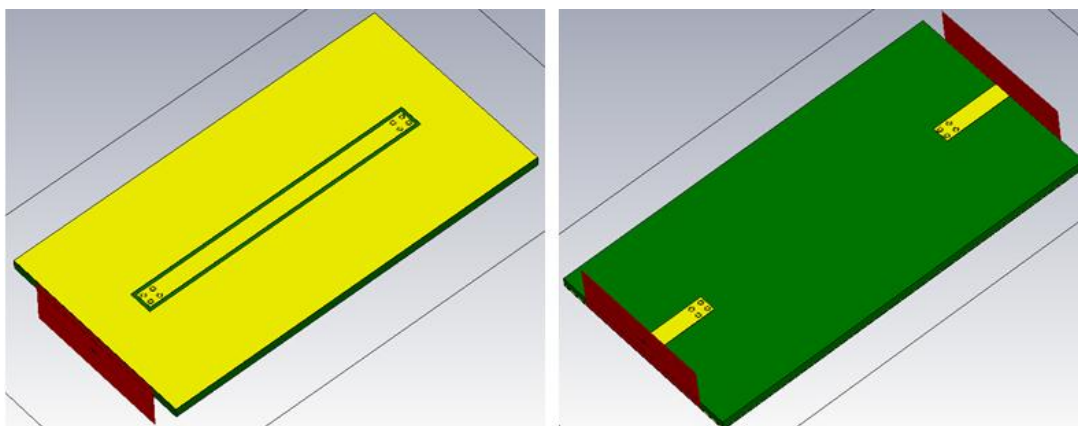


Рис.2. Общий вид модели копланарной линии.

Результаты теоретического расчета и моделирования показали, что существенного влияния на измерения выбор частоты не оказывает.

Наиболее заметно изменение частоты сказывается на амплитуде выходного сигнала детектора, которая уменьшается почти в 4 раза при изменении частоты с 6 ГГц на 3 ГГц.

Искажения спектра отраженного сигнала вносят небольшую ошибку в фазовую задержку сигнала. При этом влияние неравномерности АЧХ на несущую частоту может быть дополнительно уменьшено сужением спектра сигнала и использованием несущей более высокой частоты.

Вследствие сильного отражения от кожи и влияния неопределенности толщин слоев тканей, средний уровень отраженного сигнала в рассматриваемом диапазоне частот не меняется, а излучаемая энергия не проникает в глубокие слои. Даже при отдельном рассмотрении зависимости глубины проникновения от частоты без учета отражения показано, что ткани человека по своим характеристикам близки к диэлектрикам, хоть и имеют незначительную проводимость, и в этих средах такая зависимость пренебрежимо мала.

Многослойные структуры всегда необходимо рассматривать в совокупности, так как перераспределение излучения в результате добавления слоя к группе неоднозначно изменяет спектральные характеристики, определяющие проводимое тканями излучение, коэффициенты его отражения и пропускания.

В дециметровом диапазоне поглощение электромагнитного излучения тканями человека максимально. Эту особенность необходимо учитывать при разработке приборов непрерывного мониторинга, где она играет отрицательную роль, в отличие от физиотерапии.

Так же показано, что фазовый сдвиг сигнала распространяющегося в среде практически линейно зависит от диэлектрической проницаемости среды. А фазовый сдвиг интерферирующего сигнала, имеет нелинейную зависимость от фазы отраженного, что было использовано для оценки диапазона детектора по дальности на разных частотах с отраженным излучением. Таким образом, это излучение тоже может вносить вклад в полезный сигнал.

В целом копланарную линию и среду вокруг неё можно рассматривать как пару связанных линий передачи: в обоих присутствует поле и взаимное влияние. "Ответвляющееся" в окружающее пространство поле линии частично возвращается с задержкой, а частично поглощается связанной линией передачи.

Проходящая пульсовая волна вызывает деформации в вовлекаемых во взаимодействие с полем тканях, т. е. изменяет параметры связанной линии (например, коэффициенты прохождения и поглощения), что приводит к изменению параметров сигнала проходящего уже по самой копланарной линии. Таким образом, мгновенные характеристики тканей тела человека влияют на фазовый сдвиг и амплитуду зондирующего импульса.

Работа, в которой были получены представленные результаты, проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта №07.524.11.4011.

Литература

1. Вольман В.И. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств.-М: «Радио и связь», 1982 г.