

УДК 621.371 : 621.317

М. А. ВИЛЬКОЦКИЙ, В. П. КНЫШ, С. И. СЕРГИЕНЯ

РАДИОИНТРОСКОП С КОМПЕНСАЦИОННЫМ АКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ

Радиоинтроскопия объектов сложной формы, как правило, значительно усложняется рассеянием электромагнитных волн на их поверхности. Когда объект имеет высокую диэлектрическую проницаемость или внутренние неоднородности малы, рассеянный внутренней структурой объекта сигнал (по максимальному значению и по полной мощности рассеяния) значительно меньше сигнала рассеянного его поверхностью. Подавление последнего сигнала методами фильтрации не всегда приводит к положительному эффекту и значительно усложняет конструкцию устройства.

Существует возможность компенсации сигнала, рассеянного поверхностью исследуемого тела, путем использования дополнительно к электромагнитному каналу еще и акустического. Рассеянный исследуемым объектом акустический сигнал из-за большого различия акустических импедансов объекта и воздуха практически полностью определяется рассеянием на поверхности объекта. Кроме того, при равенстве постоянных распространения электромагнитных и акустических волн, рассеянные поверхностью объекта поля различаются только постоянным комплексным множителем и имеют одинаковую пространственную структуру^[1-3]. Исходя из этого, можно ожидать, что разность комплексных амплитуд электромагнитного и акустического полей во внешней области пространства будет содержать преимущественно информацию о внутренней структуре объекта. Однако при вычитании необходимо учитывать различие полей на постоянный комплексный множитель. Вычитание комплексных амплитуд акустического и электромагнитного сигналов в пространстве целесообразно заменить вычитанием электрических сигналов на частоте акустических

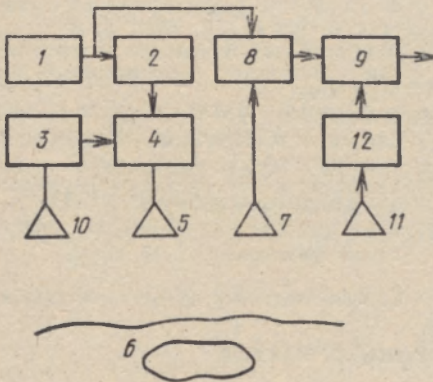


Рис. 1

колебаний, для чего следует записать амплитудно-фазовые соотношения электромагнитного сигнала для этой частоты.

Функциональная схема радиоинтроскопа, реализующая указанные принципы, приведена на рис. 1. Устройство работает следующим образом. Электромагнитные колебания от генератора 1 проходят через перестраиваемый фазовращатель 2, модулируются НЧ колебаниями генератора 3 в модуляторе 4 и излучаются антенной 5. Излученный антенной сигнал рассеивается поверхностью и внутренней структурой объекта 6, принимается антенной 7 и подается на амплифазометр 8, который переносит амплитуду и фазу электромагнитных колебаний на частоту НЧ генератора 3^[4]. Выходной сигнал амплифазометра подается на вычитающее устройство 9.

Акустические колебания, задаваемые генератором 3, излучаются антенной 10 и после рассеяния поверхностью тела принимаются антенной 11. Принятый сигнал после усиления усилителем с изменяемым коэффициентом усиления 12 поступает на вычитающее устройство 9. С помощью переменного фазовращателя 2 и усилителя 12 выбирается комплексный коэффициент передачи СВЧ и акустического канала, соответствующий наиболее полной компенсации поверхностного рассеяния.

Настройка радиоинтроскопа заключается в получении нулевого сигнала на выходе вычитающего устройства при исследовании эталонного объекта. В эксперименте для настройки радиоинтроскопа использовались диэлектрические пластинки толщиной 6,04λ и площадями от 1,52λ² до 7,25λ² из материала с диэлектрической проницаемостью 4,1 (λ — длина волны электромагнитных и акустических колебаний). Сигналы на выходе вычитающего устройства для 10 различных пластин при нормальном падении волн на них не превышали 5% от сигнала СВЧ канала.

Оценка эффективности радионитроскопа проводилась на модели рассеивающего тела, состоящей из четырех диэлектрических пластин различной площади. В качестве неоднородности использовалась металлическая пластинка, размещенная за диэлектрической пластинкой с площадью в 2,3 раза большей.

При проведении эксперимента пластины были закреплены неподвижно, а антенны перемещались параллельно плоскости расположения пластин на расстоянии в 15 длин волн от нее.

Зависимость амплитуды выходного сигнала радионитроскопа от координаты перемещения антенн приведена на рис. 2 (*a* — при наличии скрытой металлической пластины, *b* — в отсутствии ее). Для наглядности на оси абсцисс светлыми прямоугольниками показаны проекции диэлектрических пластин на линию сканирования, черным — проекция скрытой металлической пластины. Как видим, можно вполне определенно

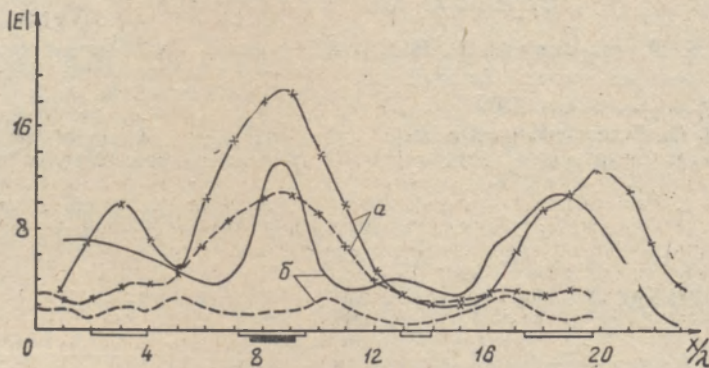


Рис. 2

указать на присутствие скрытого объекта и его приблизительное расположение, однако определить размеры и тем более формы объекта не представляется возможным. На рисунке приведены аналогично зарегистрированные распределения при выключенном акустическом канале (сплошная линия).

С целью определения размеров скрытой пластины исследовалась эффективность применения метода обратной дифракции, с помощью которого вычислялось распределение поля в плоскости расположения объекта. Поле в каждой точке предметной плоскости вычислялось по формуле

$$E_l = \sum_k E_k \exp i \frac{2\pi}{\lambda} R_{ik}, \quad (1)$$

где E_k — комплексная амплитуда поля в точках на линии сканирования; R_{ik} — расстояние между точками линии сканирования и точками поверхности модели рассеивающего тела.

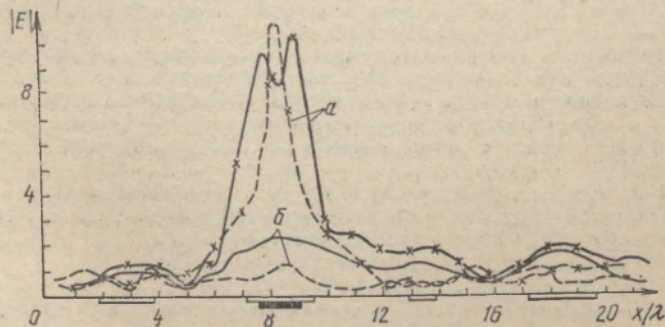


Рис. 3

Результаты расчетов с помощью (1) по распределению, соответствующему модели рассеивающего тела, содержащей металлическую пластину, показаны на рис. 3а, для модели без пластины — на рис. 3б. Из сравнения ширины максимумов амплитудного распределения с размерами скрытой пластины следует, что использование метода обратной дифракции совместно с дополнительным акустическим каналом позволяет определить размеры скрытой пластины. При выключенном акустическом канале получены аналогичные результаты (см. рис. 3, пунктирная линия).

Результаты исследований целесообразно сравнить по коэффициенту эффективности, определяемому как отношение максимального сигнала, зарегистрированного при наличии скрытой металлической пластины, к максимальному сигналу в ее отсутствии. Использование дополнительного акустического канала приводит к увеличению коэффициента эффективности на 9,9 дБ, а совместное использование его с методом обратной дифракции увеличивает коэффициент эффективности на 18,9 дБ.

Приведенные результаты показывают перспективность разработки измерительной системы на основе предлагаемого способа.

Использование дополнительного акустического канала наиболее эффективно в случае, если акустический импеданс материала, из которого изготовлен объект, намного превосходит импеданс среды, где производится измерение поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штагер Е. А., Чаевский Е. В. Рассеяние волн на телах сложной формы.— М.: Сов. радио, 1974.
2. Кобак В. О. Радиолокационные отражатели.— М.: Сов. радио, 1975.
3. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики.— Л.: Судостроение, 1978.
4. Вилькоцкий М. А., Гринчук А. П., Зинькевич А. В., Кныш В. П. Известия вузов СССР. Сер. Приборостроение, 1978, т. XXI, № 3.

Сообщение поступило 2 мая 1981 г.

УДК 53.072 : 681.3; 681.33

М. А. БЫХОВСКИЙ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методы цифрового моделирования радиотехнических систем представляют собой по существу методы численного интегрирования дифференциальных уравнений (ДУ), в общем случае нелинейных, описывающих их поведение.

Весьма часто необходимо моделировать устройства, полоса пропускания которых существенно уже полосы частот, действующих на входе сигналов. Такая задача возникает, например, при моделировании компенсаторов помех (КП), устройств фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и т. д.

Затраты машинного времени при моделировании обратно пропорциональны величине шага интегрирования, который для любых методов моделирования определяется требуемой точностью, параметрами исследуемой системы и шириной полосы частот сигналов, действующих на входе. С увеличением требуемой точности и полосы частот величина шага уменьшается, поэтому разумным критерием для сопоставления различных методов моделирования является отношение необходимых для них величин шага интегрирования при заданных точности и отношении полосы сигналов, действующих на входе, к полосе пропускания исследуемой системы.

Ниже предлагается новый метод численного интегрирования нелинейных ДУ, весьма эффективный для задач моделирования радиотехнических систем. Кроме того, сопоставляются точности предлагаемого метода моделирования (обозначаемого далее буквой И) и ряда методов используемых на практике^[1] [метода Эйлера (Э), трапеций (Т), методов Адамса с интерполяцией (АИ) и с экстраполяцией (АЭ) и Рунге — Кутты (РК)].

Рассмотрим систему из N нелинейных ДУ специального вида, часто встречающуюся при математическом описании различного рода устройства приема сигналов с угловой модуляцией (КП, ФАПЧ и т. п.). Эта система имеет вид

$$\dot{y}_i = -\alpha_i \left\{ f_i(y) + \sum_{k=1}^M \gamma_{ik} \sin(\omega_i t + \varphi_{ik}(t)) + \sum_{l=1}^N \beta_{ik}^l y_l(t) \right\}. \quad (1)$$

В (1) $\dot{y}_i = \frac{dy_i(t)}{dt}$, $f_i(y) = f_i(y_1, y_2, \dots, y_N)$; α_i , γ_{ik} , ω_i и β_{ik}^l — заданные параметры, $f_i(y)$ и $\varphi_{ik}(t)$ — известные функции.

Допустим, что вычисления ведутся с постоянным шагом τ . Получим рекуррентные уравнения, которые связывают значения $y_{in} = y_i(t_n)$ и $y_{i,n+1} = y_i(t_{n+1})$, где $t_k = t_0 + k\tau$. Для этого обозначим $t = t_n$ и пусть $v_i(t) = y_i(t) - y_{in}$ при $t \in [0, \tau]$.