

Определение предельной полосы пропускания
сканирующего детектора в неоднородном поле
излучения

Воробьев В.А., Лаферов А.Н.

Представлена объединенным семинаром секторов
ДСМ и МРД НИИ ЭИ

Вопрос об определении спектра частот на выходе перемещающегося детектора неоднократно поднимался в различных работах [1]. Трудность заключается в сложности аналитической записи и вычисления функции, описывающей реакцию детектора с заданными параметрами на неоднородность поля излучения. Зная эту функцию, нетрудно определить спектр сигнала. При такой постановке задачи спектр будет зависеть от формы и размеров коллиматора, от скорости перемещения детектора, от функции распределения неоднородностей исследуемого поля, от чувствительности по сечению коллиматора детектора.

Известно, что при заданном входном сигнале границы частот могут быть найдены по модулю передаточной функции. Полагая, что переходные процессы в системе быстро затухают определение передаточной функции сводится к определению спектральной характеристики, то есть когда $RS=0$, где S - параметр передаточной функции.

Найдем реакцию детектора на некоторую функцию распределения $\Psi(x, y)$ ограниченную областью коллиматора $f(x)$ при перемещении коллиматора в статическом поле излучения от 0 до l . Реакция детектора в общем виде может быть записана, как

$$\Psi(l) = \int_0^{d_1} \int_0^{d_2} f(x) \cdot \Psi(x, y) \cdot dx \cdot dy, \quad (1)$$

где интегрирование ведется в пределах размеров коллиматора (d_1, d_2)

Если предположить, что сигнал, ограниченный полем детектора, имеет постоянную ординату, то (1) примет вид

$$\Psi(l) = \int_0^d f(x) \cdot \Psi(x) \cdot dx, \quad (2)$$

при этом $f(x)$ является весом функции распределения $\Psi(x)$.

Учитывая, что интегрирование ведется в пределах размера колли-

матора при изменении аргумента функции распределения $\Psi(x)$ в интервале $0 < x < l$, реакция детектора определится скользящим интегралом:

$$\Psi(x) = \int_0^d f(\tau) \Psi(x+\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $0 < \tau < d$ для каждого x из области $0 < x < l$.

Данное выражение позволит найти реакцию фильтра при известной конфигурации коллиматора $f(\tau)$ и функции распределения $\Psi(x)$.

Решение выражения (3) можно упростить, если ввести некоторые ограничения:

а) коллиматор имеет форму круга диаметром d ;

б) чувствительность детектора равномерна по всей площади сечения.

Рассчитаем $\Psi(x)$ для случая, когда $\Psi(x)$ имеет вид прямоугольного импульса с амплитудой A и длительностью δ .

Тогда

$$f(\tau) = 2 \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\tau - \frac{d}{2}\right)^2}$$

функция веса (огibaющего круглого коллиматора), смещенная относительно начала координат вправо на $\frac{d}{2}$,

$$\Psi(x) = \begin{cases} A & 0 < x < \delta \\ 0 & 0 > x > \delta \end{cases}$$

прямоугольный импульс длительности δ , смещенный вправо относительно начала координат. Подставив в (3) данные выражения, получим табличный интеграл:

$$\Psi(x) = 2 \int_0^d \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\tau - \frac{d}{2}\right)^2} \cdot A(x-\tau) \cdot d\tau. \quad (4)$$

Решение (4) с учетом того, что $0 < \tau < d$ для каждого x из области $0 < x < \delta$ достаточно точно аппроксимируется треугольным симметричным импульсом длительностью 2δ и амплитудой A .

Спектральная функция такого импульса имеет вид:

$$S(\omega) = \frac{4A}{\delta} \omega^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} \omega \quad [2]. \quad (5)$$

Известно, что область частот, ограниченная вторым нулем данной функции, удовлетворяет большинству практических случаев, так как при

этом передается более 95% всей энергии спектра [2],

$$\text{но } 2\delta = \frac{S}{V} = \frac{2d}{V},$$

где d - диаметр коллиматора, V - скорость перемещения коллиматора, тогда

$$f = \frac{1}{2\delta} = \frac{2V}{d}.$$

Выражение (5) справедливо, как для одиночных импульсов, так и для периодической последовательности импульсов.

Ниже приводится таблица I предельных частот для наиболее часто встречающихся скоростей сканирования и размеров коллиматоров при измерении тормозного излучения с помощью сцинтилляционных детекторов.

Табл. I.

Предельные частоты при различных размерах коллиматоров и скоростях перемещения детекторов в поле излучения.

$d_{\text{мм}} \backslash V \left[\frac{\text{мм}}{\text{сек}} \right]$	10	25	50	100	150	200	250	500
3	7	16,7	33,0	66,0	100	133	330	660
5	4	10	20	40	60	80	100	200
7	2,8	7,2	14,4	28	43	57	720	144
10	2	5	10	20	30	40	50	100
12	1,7	4,2	8,4	16,8	25	33	42	84

Л и т е р а т у р а

1. Недавний О.И. Кандидатская диссертация. Томск, 1969.
2. Мэзон С., Цимлярман Г. Электронные цепи, сигналы и системы. М., 1963. "Иностранная литература".