

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

В. В. Костин, В. К. Новик, А. Б. Чумаевский

Саратов

Схема преобразования электрического потока в электрический сигнал в пироэлектрическом приемнике излучения [1] имеет вид

$$\Delta W(t) \rightarrow \Delta T_{\text{ср}}(t) \rightarrow \Delta P(t) \rightarrow \Delta U_{\text{вых}}(t),$$

где $\Delta W(t)$ — энергия, поглощенная приемным элементом;
 $\Delta T_{cp}(t)$ — изменение средней температуры элемента во времени t ;
 $\Delta P(t)$ — изменение поляризации элемента;
 $\Delta U_{вых}(t)$ — выходное напряжение пироприемника.

Амплитудно- и фазочастотные характеристики приемника зависят от характеристик каждой ступени преобразования.

Зависимость поляризации различных пироактивных материалов от температуры изучена достаточно полно. Выходное напряжение пироприемника может быть найдено из уравнения разряда пироактивного конденсатора, связанные заряды которого изменяются по тому же закону, что и $\Delta T_{cp}(t)$, на нагрузку известной величины и характера.

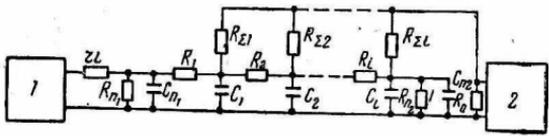


Рис. 1.

Первая ступень преобразования $\Delta W(t) \rightarrow \Delta T_{cp}(t)$ исследуется электрическим моделированием тепловых процессов в пироприемнике. Моделирование базируется на имеющейся аналогии между процессами тепло- и электропередачи [2].

Построим модель пироактивных элементов с приемной площадью S и толщиной d для случаев, когда приемный элемент вакуумирован или охлаждается за счет теплопередачи в окружающую среду.

Аналогом приемного элемента с распределенными тепловыми параметрами является эквивалентная длинная линия, количество звеньев которой определяется погрешностью проводимого эксперимента (рис. 1).

Для вакуумного исполнения пироприемника потери тепла на передней и задней гранях учитываются проводимостью $g_n = \frac{1}{R_n}$, эквивалентной потерям на собственное излучение:

$$g_n = 4\sigma\epsilon_\lambda T_0^3 S, \tag{1}$$

где σ — постоянная Больцмана;
 ϵ_λ — мономатрический коэффициент излучательной способности покрытия;
 T_0 — температура пироактивного элемента.

Потерям тепла C_{n1} и C_{n2} , вызванными теплопроводностью электродов, можно пренебречь.

В случае, когда элемент охлаждается за счет теплопередачи в окружающую среду, значение R_n должно быть уменьшено соответствующим образом.

Поток излучения моделируется током генератора синусоидальных колебаний, питающего модель через последовательно соединенный резистор r_i . Величина r_i выбирается намного больше входного сопротивления модели. Напряжение в точках модели пропорционально переменной составляющей температуры. Устанавливая зонды для измерения напряжения в интересующих точках по толщине кристалла и суммируя измеряемые напряжения, получаем значения переменной составляющей средней температуры. Величины суммирующих резисторов $R_{\Sigma i}$ выбираются много больше величин R_i модели. Моделирование проводится для частот модуляции f_i энергетического потока, изменяющихся от f_{\min} до f_{\max} , причем частоты f_i выбираются в указанном диапазоне по ряду натуральных логарифмов. Глубина диффузии тепла изменяется соот-

ветственно от $\lambda_{\max} = \sqrt{\frac{k}{\rho s} \frac{1}{2\pi f_{\min}}}$

до $\lambda_{\min} = \sqrt{\frac{k}{\rho s} \frac{1}{2\pi f_{\max}}}$, где ρ —

плотность вещества элемента; s — удельная теплоемкость; k — удельная теплопроводность.

Переменная составляющая температуры затухает по толщине

согласно экспоненциальному закону (рис. 2), так что на глубине в $3,2\lambda$ переменная составляющая температуры падает до 4%. Изменениями температуры в зоне за $3,2\lambda$ пренебрегаем. Исходя из этого, зоны для измерения температуры должны размещаться в зоне, где переменная составляющая больше 4%. Количество зондов (ячеек) длинной линии, размещенных в точках равного изменения температуры, задается равным 10. При расчете элементов ячеек следует различать два случая: $3,2\lambda < d$ и $3,2\lambda > d$. В первом случае зонды размещаются в зоне $3,2\lambda$, а участок $d - 3,2\lambda$ представляется одной ячейкой модели.

На рис. 2 показано, как рассчитываются размеры ячеек для первого случая (сплошная линия). Участок изменения температуры от 0,04 до 1 разбивается на 10 равных частей, и на оси абсцисс определяются координаты ячеек (в долях λ) равного изменения температуры. Таким образом, в первом случае зонды должны быть расположены в точках: 0,05 λ ; 0,14 λ ; ... 2,02 λ ; 3,2 λ . Во втором случае (пунктирные линии, рис. 2) координаты участков отыскиваются аналогично — путем разбиения участка

от $\Delta\tilde{T}(d)$ до единицы на равные части и последующего опреде-

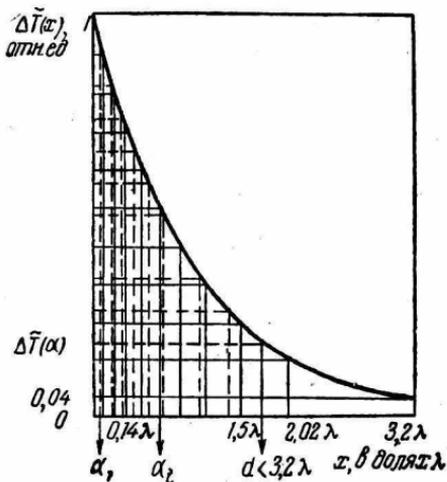


Рис. 2.

ления координат точек (в долях d). Таким образом, для каждой частоты имеется свой набор ячеек.

Расчет удельной электрической емкости $C_{э0}$ и удельного электрического сопротивления $R_{э0}$ длинной линии базируется на том, что время распространения тепла $\tau_{т0}$ через единицу толщины пироактивного элемента d_0 и удельная электрическая постоянная времени $\tau_{э0}$ равны:

$$R_{э0}C_{э0} = \tau_{т0} = \frac{d_0^2 \rho s}{k}. \quad (2)$$

Учитывая (2), значения $C_{э0}$ и $R_{э0}$ можно связать системой уравнений:

$$C_{э0} = \rho s a_1 S; \quad (3)$$

$$R_{э0} = \frac{1}{kS} a_2;$$

$$a_1 a_2 = d_0^2,$$

где a_1, a_2 — масштабные коэффициенты. Зная координаты точки размещения i -зонда и задавая удобное для эксперимента значение $R_{э0}$, определяем элементы ячеек эквивалентной длинной линии:

$$C_{si} = C_{э0} (d_i - d_{i-1}); \quad (4)$$

$$R_{si} = R_{э0} (d_i - d_{i-1})$$

Электрическое моделирование тепловых процессов в пироэлектрических приемниках проводилось для наиболее распространенных пироактивных материалов ТГС и ЦТС, параметры которых сведены в таблицу.

Параметр Материал	k	ρ	s
ТГС	$1,7 \cdot 10^{-2} \text{ вт/см}^2\text{К}$	$1,65 \text{ г/см}^3$	$2 \text{ вт} \cdot \text{сек/г}^2\text{К}$
ЦТС	$7,8 \cdot 10^{-3} \text{ вт/см}^2\text{К}$	$7,3 \text{ г/см}^3$	$0,3 \text{ вт} \cdot \text{сек/г}^2\text{К}$

Расчет проводился для элементов в виде пластин площадью $S = 1 \times 1 \text{ см}^2$ и толщиной (d) 10, 100 и 1000 мкм. Масштабный коэффициент между энергетическим потоком и током определен в соответствии с [3]. Экспериментально полученные амплитудно-частотные характеристики модели приемного элемента из триглицинульфата в диапазоне частот модуляции 1 гц — 1 кгц показаны на рис. 3. Аналогичные зависимости получены для цирконаттитана свинца.

Экспериментальные результаты показывают следующее.

1. Эффективность преобразования мощности излучения в переменную составляющую средней температуры в элементах из цирконаттитаната свинца выше, чем в элементах из триглицинсульфата тех же размеров и при тех же условиях теплоотдачи.

2. Тепловой режим приемного элемента существенно влияет на амплитудно-частотную характеристику исследуемой ступени преобразования. Увеличение теплоотдачи приемного элемента приводит, с одной стороны, к уменьшению чувствительности пироприемника в низкочастотной области, с другой стороны, к расширению частотного диапазона, в котором переменная составляющая температуры приемного элемента не зависит от частоты. С увеличением толщины элемента влияние теплоотдачи уменьшается. Для приемных элементов толщиной 1 мм чувствительность (град/вт) изменяется по закону $\frac{1}{f}$.

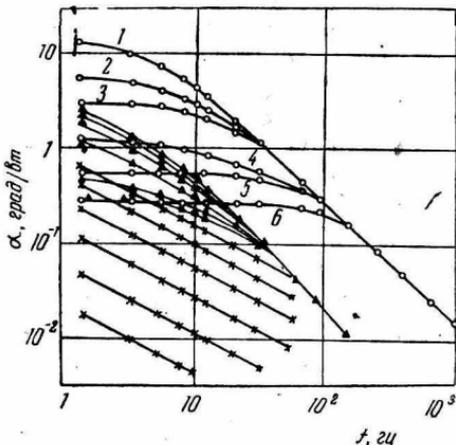


Рис. 3.

3. В динамическом режиме при изменениях условий теплоотдачи, вызванных изменением температуры элемента или окружающей среды, амплитудно-частотная характеристика пироприемника изменяется. Эти изменения могут быть источниками погрешности измерения при эксплуатации приемных элементов малой толщины.

Таким образом, электрическое моделирование тепловых процессов дает возможность оценить влияние особенностей конструкции пироприемника на его характеристики и сравнить эффективности применения того или иного пироактивного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. К. Новик. Передаточная функция пироэлектрического приемника радиации и некоторые критерии определения его элементов. «Изв. вузов, Приборостроение», т. IX, № 5. 1965.
2. У. Карплюс. Моделирующие устройства для решения задач теории поля. Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
3. Г. И. Дульнев, Э. М. Семяшкин. Теплообмен в даноэлектронных аппаратах. Изд-во «Энергия», Л., 1968.