

## НЕОДНОРОДНЫЙ РАЗОГРЕВ МОДУЛЕЙ СВЧ НЕРЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

В.И. ЖУРАВЛЁВ, В.С. КОЛБУН, Е.Н. НАУМОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
vadzh@bsuir.by*

Современные модули СВЧ могут иметь в своём составе мощные источники рассеиваемого тепла. Оценка влияния таких импульсных источников показывает, что они могут стать причиной неоднородного разогрева внутренних структур модулей вследствие нерегулярности их теплофизических параметров. Это может стать причиной нарушения работоспособности всего модуля СВЧ.

*Ключевые слова:* СВЧ модуль, импульсный источник, разогрев, нерегулярная структура.

Увеличение степени интеграции микросхем, мощности выходных каскадов усилителей и переключающих приборов при одновременном уменьшении их габаритов приводят к росту числа источников тепла внутри корпусов современных устройств СВЧ. Тепловой анализ модулей СВЧ является одним из важнейших этапов процесса их разработки, позволяющий подтвердить правильность выбора и применения электронных компонентов, способа крепления и используемых материалов, что во многом определяет в дальнейшем надёжность работы устройства. Несмотря на актуальность данного вопроса, методики анализа тепловых режимов модулей СВЧ развиты недостаточно или затруднены для широкого использования в инженерной практике. Это связано с необходимостью учёта нерегулярности форм СВЧ компонентов при наличии импульсных источников тепла.

Кристалл усилителя мощности СВЧ модуля можно представить как плоский источник рассеиваемой мощности, находящийся на поверхности полуограниченного тела. Основным механизмом передачи тепла в данном случае является теплопроводность. В общем случае для мгновенной оценки значения температуры  $T$  в произвольной точке однородной структуры при точечном источнике можно описать выражением [1]:

$$T = \frac{P_0}{8(\pi\chi t)^{\frac{3}{2}}} \exp\left(-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}{4\chi t}\right), \quad (1)$$

где  $P_0$  – мощность источника;  $t$  – время действия источника;  $x, y, z$  – координаты точки действия источника;  $x', y', z'$  – координаты точки рассматриваемой области;  $\chi$  – коэффициент теплоотдачи.

Из (1) и видно, что распространение тепла описывается эллипсом с источником в центре. Однако такой расчёт носит лишь оценочный характер, так как при этом не учитывается неравномерность распространения тепла вследствие нерегулярности структуры, а также временные параметры импульсного источника.

Если дополнительно представить импульсный источник как прямоугольный параллелепипед с длинами сторон  $a, b, c$  как наиболее встречающийся случай, то частное решение уравнения теплопроводности посредством функции Грина для мгновенного значения температуры в момент времени  $t$  выглядит следующим образом [2]:

$$T(t) = T_0 + \frac{P_0}{\rho C_p K} \int_0^t \operatorname{erf}\left(\frac{a}{4\sqrt{\chi\tau}}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{b}{4\sqrt{\chi\tau}}\right) \operatorname{erf}\left(\frac{c}{4\sqrt{\chi\tau}}\right) dt. \quad (2)$$

где  $K$ ,  $\rho$ ,  $C_p$  – соответственно коэффициент теплопроводности, плотность материала и теплоёмкость полуограниченного тела;  $T_0$  – температура окружающей среды.

Решение (2) численными методами позволяет более точно в сравнении с (1) оценить разогрев как источника, так и близлежащей области структуры. Далее эта область представляется как самостоятельный источник тепла в сеточной модели и, используя методы CFD-моделирования [3], можно получить распределение тепловых полей для неоднородной структуры рис. 1.

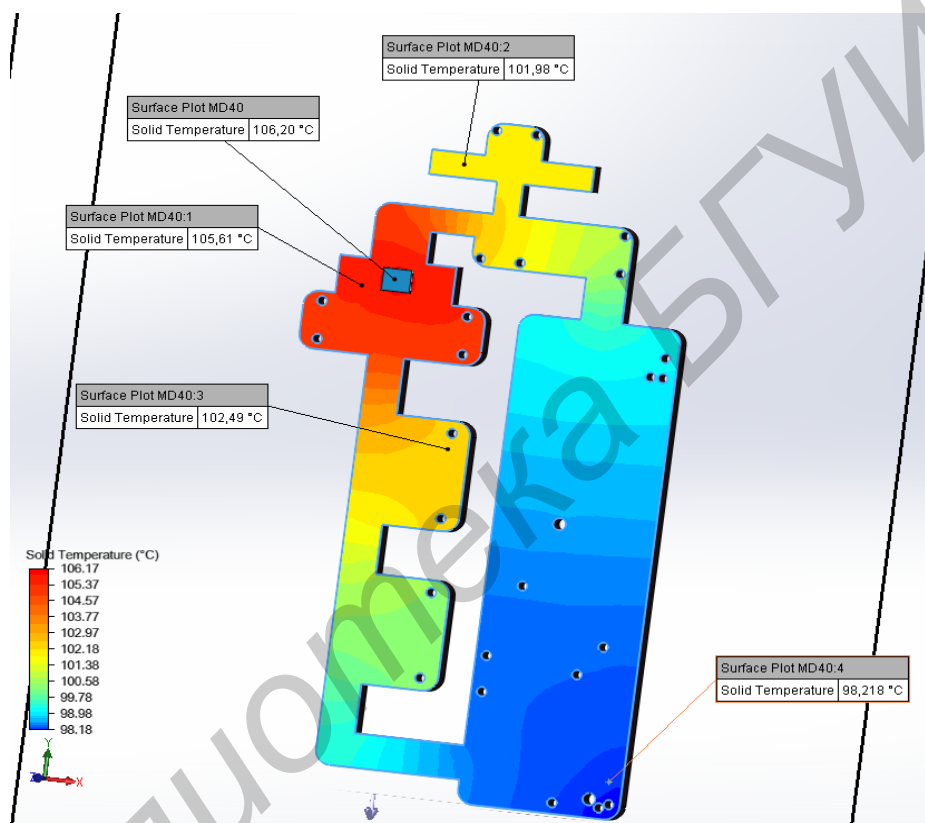


Рис. 1. Разогрев платы СВЧ длиной 80 мм при действии импульсного усилителя мощностью 6 Вт при скважности равной 5

Как видно из приведённого примера, даже на сравнительно небольших по размеру структурах градиент температуры может достигать значительных величин. Это может стать причиной отклонений выходных параметров или даже отказа всего модуля. Предварительная оценка рассмотренным способом на этапе проектирования позволяет вовремя спрогнозировать возникновение неоднородного разогрева структуры и принять меры по её оптимизации.

#### Список литературы

1. *Curatelli F., Bisio G.M.* // Solid-St. Electr., 1991. Vol. 34. P. 751–760.
2. *Dwyer V.M., Franklin A.J., Campbell D.S.* // Solid-St. Electr. 1990. Vol. 33. P. 553–560.
3. *Журавлёв В.И., Наумович Н.М., Колбун В.С.* // Тез. докл. Междунар. НТК «Информационные системы и технологии «ИСТ-2012». Нижний Новгород, 2012. С. 68–69.