© А.Л. Трембицкий, Ю.В. Буров, 2008

УДК 621.31:622

А.Л. Трембицкий, Ю.В. Буров

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКРОБЕЗОПАСНЫХ ЦЕПЕЙ

Семинар № 21

Искробезопасные электрические цепи, которые располагаются во взрывоопасных зонах, не должны вызывать воспламенение взрывоопасных смесей, как от электрических искрений, так и от тепловых воздействий их элементов. Существующие экспериментальные и расчетные методы оценки безопасности таких цепей в основном позволяют проводить оценку искробезопасности применяемых на практике электрических цепей. Что касается оценки опасности тепловых воздействий элементов искробезопасной цепи, то здесь имеется ряд трудностей, связанных с оценкой температур поверхностей элементов при их повреждениях в условиях аварийной работы электрооборудования. Это касается, прежде всего, элементов, допускающих сочетания различных повреждений, в которых опасность повреждений не может быть оценена экспериментально непосредственно на самом элементе, например полупроводниковых интегральных схем (микросхем), которые в настоящее время широко используются в искробезопасном электрооборудовании. Согласно ГОСТ Р 51330.10-99 для оценки температуры поверхности должно рассматриваться повреждение любого полупроводникового устройства в условиях, когда оно рассеивает максимальную мощность. Интегральные схемы могут повреждаться таким образом, что между их внешними выводами может иметь место любая комбинация замыканий (размыканий). Таким образом, для рассматриваемой микросхемы необходимо выбрать такое сочетание замыканий и размыканий между ее внешними контактами, которое с учетом возможных повреждений других элементов цепи создавало бы наиболее опасный аварийный режим ее работы (хотя любые возможные замыкания и размыкания внешних контактов еще не обязательно гарантируют создание наиболее опасного режима ее работы, который может возникнуть в результате ее внутренних повреждений). При наличии в электрической схеме микросхем с большим количеством выводов решить такую задачу весьма сложно, и требуется разработка специальных методик, обеспечивающих нахождение наиболее опасных аварийных режимов. Наряду с этим существуют сложности и в определении температур поверхностей этих элементов, а также в оценке опасности этого фактора. Для этого микросхемы (и другие элементы электрической цепи, где это невозможно выполнить непосредственно) приходится моделировать. При этом необходимо, чтобы модель обеспечивала реализацию наиболее опасных условий, что требует соответствующего обоснования.

Электрическая схема может содержать большое количество элементов,

требующих оценку их тепловых режимов в условиях аварийной работы электрооборудования. Это приводит к высокой трудоемкости оценки тепловых режимов элементов искробезопасной цепи. Для снижения трудоемкости этой работы могут быть использованы зависимости, связывающие температуру поверхности элемента электрической цепи с рассеивающейся на нем мощностью и площадью его поверхности.

Ниже рассматривается ряд подобных зависимостей, которые могут быть использованы при определении температур поверхностей некоторых микросхем и резисторов.

Для получения зависимостей, связывающих температуры поверхностей элементов с рассеивающимися на них мощностями и площадями их поверхностей, использовались модели микросхем и стандартные резисторы. Во всех экспериментах температура измерялась с помощью термопары и значения измеряемых температур приводились к начальной температуре +20 °С.

Модели изготовлялись на основе стандартных микросхем с корпусами различных размеров. Внутрь корпусов микросхем, в их центральные части (где распо-лагаются интегральные схемы) вставлялись нагревательные элементы в виде спиралей из нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм. Спирали имели длину около 1 мм и наружный диаметр около 1,3 мм. Та-кие размеры спирали в первом при-ближении принимались в качестве ми-нимальных размеров повреждений, которые могут возникать в микросхемах. Привязка к минимальным размерам по-вреждений внутри микросхем связана с тем, что при одной и той же мощности, которая может выделяться на повреждении микросхемы, температура поврежденного участка будет тем выше, чем меньше размеры повреждения. При изменении температуры поврежденного участка будет меняться и максимальное значение температуры на корпусе микросхемы. Поэтому повреждения внутри микросхем моделировались спиралями небольшого размера. После установки спиралей отверстия, в которые они вставлялись, заделывались смесью кварцевой пыли с жидким стеклом. Нагрев спиралей осуществлялся от стабилизированного по току источника питания.

Полученные в результате экспериментов зависимости для микросхем с различными площадями поверхностей корпусов приведены на рис. 1.

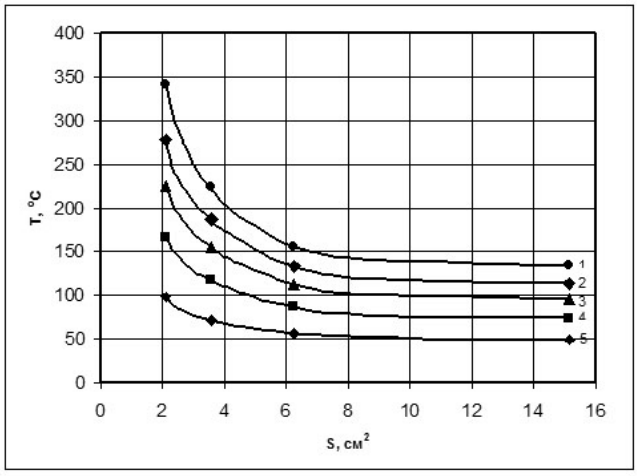

Рис. 1. Зависимости максимальной температуры на поверхности корпуса микросхемы от рассеиваемой на ней мощности: *1* - площадь поверхности корпуса микросхемы составляет 2,12 см$^{2;}$ *2* - площадь поверхности корпуса микросхемы составляет 3,59 см^2; *3* - площадь поверхности корпуса микросхемы составляет 6,25 см^2; *4* - площадь поверхности корпуса микросхемы составляет 15,15 см^2

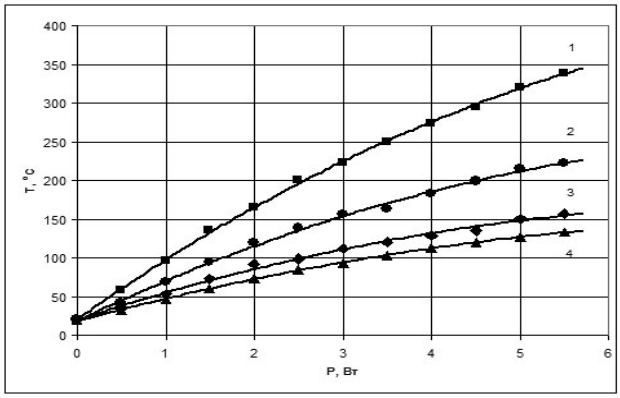

Рис. 2. Зависимости максимальной температуры на поверхности корпуса микросхемы от площади поверхности корпуса микросхемы: *1* - рассеиваемая на микросхеме мощность составляет 5,5 Вт; *2*- рассеиваемая на микросхеме мощность составляет 4 Вт; *3* - рассеиваемая на микросхеме мощность составляет 3 Вт; *4* - рассеиваемая на микросхеме мощность составляет 2 Вт; *5* - рассеиваемая на микросхеме мощность составляет 1 Вт

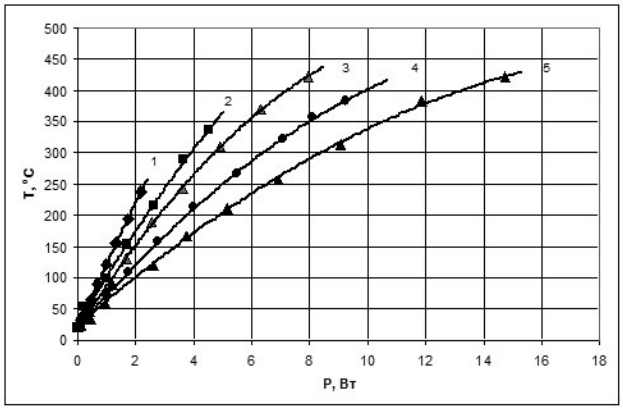

Рис. 3. Зависимости максимальной температуры на поверхности резистора типа МЛТ от рассеиваемой на нем мощности: *1* - мощность резистора 0,125 Вт; *2* - мощность резистора 0,25 Вт; *3* - мощность резистора 0,5 Вт; *4* - мощность резистора 1 Вт; *5* - мощность резистора 2 Вт

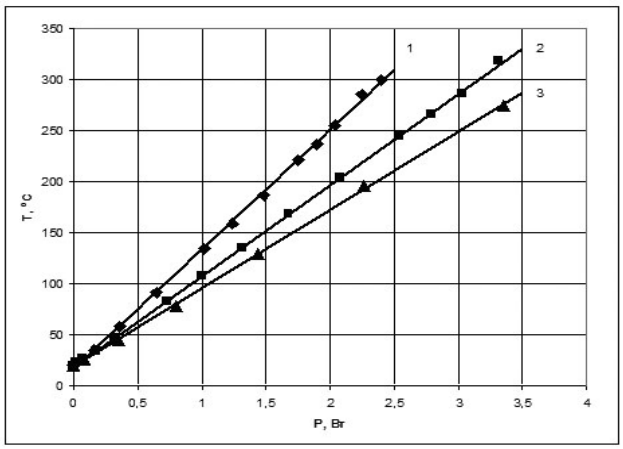

Рис. 4. Зависимости максимальной температуры на поверхности резистора для поверхностного монтажа от рассеиваемой на нем мощности: *1* - типоразмер резистора 0805, мощность резистора 0,125 Вт; *2* - типоразмер резистора 1206, мощность резистора 0,25 Вт; *3* - типоразмер резистора 2010, мощность резистора 0,75 Вт

Графики рис. 1 соответствуют максимальным значениям температур на поверхностях корпусов микросхем.

На рис. 2 приведены зависимости максимальной температуры на поверхности корпуса микросхемы от площади этой поверхности при различных значениях рассеиваемой мощности. Рассмотрение этих кривых показывает, что в зависимости от рассеиваемой мощности существенное изменение температуры про-

№ кривой	a	b	c	R^2
Рисунок 1				
1	-4,1414	80,231	21,323	0,9995
2	-3,1678	54,409	19,019	0,9978
3	-2,3646	37,432	20,239	0,9959
4	-1,7856	30,583	18,713	0,9995
Рисунок 3				
1	-2,5565	106,05	18,519	0,9998
2	-2,3783	79,863	24,466	0,9978
3	-2,7827	73,223	16,722	0,9996
4	-1,5802	53,996	19,53	0,9999
5	-0,9412	40,938	23,267	0,9975
Рисунок 4				
1	-	117,46	16,205	0,9993
2	-	89,274	18,133	0,9997
3	-	76,738	18,769	0,9998

исходит для поверхностей с площадями до 8 см^2 – 10 см^2. Для поверхностей больших 10 см^2 характер зависимостей становится близким к линейному. Линейная экстраполяция этих частей зависимостей позволяет без большой погрешности оценивать температуры поверхностей микросхем с поверхностями корпусов более 15,5 см^2, которые не исследовались, но могут встречаться на практике.

Среди элементов электрических схем большую долю составляют резисторы, на оценку температурных режимов которых затрачивается много времени. Сократить эти трудозатраты можно также при использовании зависимостей температур поверхностей резисторов от рассеваемой на них мощности. Такие зависимости для резисторов типа МЛТ и резисторов для поверхностного монтажа приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Измерения температур на резисторах для поверхностного монтажа осуществлялись на резисторах, установленных на печатных платах. Это соответствует реальным условиям их эксплуатации, когда имеется значительный отвод тепла в печатную плату. Измерения температур поверхностей резисторов выполнялись до момента их разрушения.

Для удобства определения значений температур поверхностей элементов электрической цепи экспериментальные данные, приведенные на рис. 1, 3 и 4, внутри диапазона их изменения описывались аналитическими выражениями вида $f(p) = ap^2 + bp + c$ (для рис. 1 и 3) и $z(p) = bp + c$ (рис. 4). Значения коэффициентов a, b, c и коэффициента детерминации R^2 приведены в таблице.

Таким образом, в результате проведенных исследований для микросхем и резисторов получены зависимости, связывающие максимальную температуру поверхности этих элементов с рассеиваемой на них мощностью. Данные зависимости позволяют:

1. Проводить предварительную оценку тепловых режимов элементов искробезопасного электрооборудования на стадии его разработки;

2. Сократить трудоемкость испытаний искробезопасного электрооборудования за счет возможности проведения расчетной оценки опасности тепловых режимов используемых в нем микросхем и резисторов. ГИАБ

Коротко об авторах

Трембицкий А.Л. - доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,
Буров Ю.В. – аспирант,
ИПКОН РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Л.И. Кантович.*