

УДК 519.6: 536.764

А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин

УПРАВЛЕНИЕ КУЛЕРОМ С ПОМОЩЬЮ КРИТИЧЕСКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Введение. Критические терморезисторы – это электронные приборы, сочетающие свойства обычных полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления и термического реле [1]. Характерной особенностью критических терморезисторов есть резкое (на несколько порядков) изменение сопротивления при некоторой критической температуре T_t . Такие терморезисторы реализуют на основе материалов с фазовым переходом металл-полупроводник. В частности электронной промышленностью выпускаются терморезисторы СТ-9 [1], ТПР 68-01[2] с критической температурой $T_t \sim 68$ °С. В последние годы разработан керамический материал на основе VO_2 и стеклокерамика системы $V_2O_5-P_2O_5$ (диоксиднованадиевая стеклокерамика), который проявляет скачок электрического сопротивления при температуре $T_t \sim 70$ °С [3]. Критические терморезисторы, реализованные на основе такого материала, способны пропускать электрический ток до десятка ампер, это дает возможность использовать их в электрических цепях потребляющих значительный электрический ток, например, для управления работой электрических двигателей.

Постановка задачи. Цель настоящей работы исследование возможностей критических терморезисторов для управления работой кулера процессора.

Обоснование полученных результатов. Известные методы защиты СБИС от перегрева и, в частности, СБИС центрального процессора компьютера, обеспечивают такую защиту либо путем снижения мощности выделяемой электрическим током в микросхеме либо путем увеличения тепловой мощности рассеиваемой микросхемой в окружающую среду [4]. В последнем случае корпус СБИС обдувается потоком воздуха с помощью вентилятора – кулера. Критические терморезисторы на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики, которые испытывают скачкообразное изменение сопротивления (более

© Ивон А.И., Истушкин В.Ф., 2009

двух порядков) при температуре $\sim 70^{\circ}\text{C}$, близкой к верхней границе рабочих температур процессора 80°C ч 90°C [4] могут быть использованы для управления работой кулера с целью организации более экономичного режима его работы.

Такой режим может быть реализован путем управления скоростью вращения крыльчатки кулера. Кулеры, используемые для охлаждения процессора, работают при напряжении питания 12 В и токе I_p , величина которого для различных моделей кулеров составляет от 0,07 до 0,4 А. Значение пускового тока I_n и напряжения, при которых крыльчатка кулера начинает вращаться, примерно в 1,5 – 2 раза меньше рабочих значений. Это дает возможность, изменяя ток в интервале $I_n \leq I \leq I_p$, регулировать скорость вращения крыльчатки и интенсивность воздушного потока, обдувающего корпус микросхемы.

В настоящей работе были выполнены исследования равновесной температуры на нагретой поверхности при обдуве ее кулером модели ND3. Для этой цели на поверхности тонкой керамической пластины, подогреваемой с противоположной стороны электрическим нагревателем, размещали датчик температуры (медный термометр сопротивления) и обдували ее кулером. Равновесную температуру поверхности измеряли для трех режимов работы: при токе кулера $I < I_n$ (крыльчатка не вращается), при токе близком к I_n ($I \sim I_n$) и рабочем токе кулера I_p . Результаты для двух исходных температур поверхности приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы обдув кулером, когда через него течет рабочий ток I_p почти в два раза снижает равновесную температуру поверхности, а при токе близком к пусковому току I_n такое снижение составляет 30 – 40 %.

С учетом полученных результатов можно предложить трехступенчатый режим управления кулером (рис.1). Первая ступень ограничена диапазоном температуры на поверхности микросхемы $T < T_{S1}$. Ток I_0 меньше пускового тока I_n , поэтому кулер выключен. Включение кулера происходит, когда температура достигает значения $T = T_{S1}$, при этом ток через него ограничивается на уровне близком к пусковому току I_n . Когда температура поверхности достигает значения T_{S2} , ток кулера увеличивается до рабочего значения I_p .

Таблица 1

Равновесная температура на поверхности, обдуваемой кулером

Напряжение и ток кулера		Температура поверхности
U, В	I, мА	t, °С
0	0	96 ± 1
6,3	38,8	59 ± 1
12,5	74,5	42 ± 1
0	0	65 ± 1
6,3	38,8	43 ± 1
12,5	74,5	36 ± 1

Режим управления кулером (рис.1) в зависимости от степени нагрева поверхности микросхемы позволяет организовать экономичную работу кулера, используя его на полную мощность, в случае значительного перегрева СБИС.

Для организации такого режима работы кулера потребуется два критических терморезистора, которые переключаются в низкоомное состояние при разных температурах T_{S1} и T_{S2} (причем $T_{S1} < T_{S2}$). Схема включения терморезисторов для управления работой кулера показана на рис. 2. Терморезисторы, имеющие рабочее тело

в виде тонкой пластины диоксидованадиевой стеклокерамики с нанесенными на него электродами (сэндвич структура), приклеиваются теплопроводящей пастой на корпус микросхемы. Необходимые величины сопротивления R_{S1} и R_{S2} вблизи температур T_{S1} и T_{S2} , которые должны иметь терморезисторы до переключения в низкоомное состояние (состояние с сопротивлением $R_{ON1} \ll R_{S1}$ и $R_{ON2} \ll R_{S2}$) несложно рассчитать с учетом рис. 2, записав выражения для токов на каждой ступени кривой режима управления работой кулера (рис. 1):

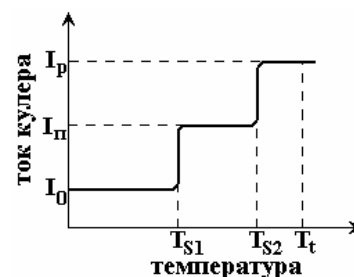


Рисунок 1—
Трехступенчатый режим управления кулером

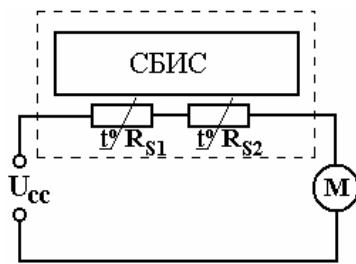


Рисунок 2 – Схема управления кулером

$$I_0 = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{S1} + R_{S2}} < I_n, \quad (1)$$

$$I_n = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{ON1} + R_{S2}} \approx \frac{U_{cc}}{R_k + R_{S2}}, \quad (2)$$

$$I_p = \frac{U_{cc}}{R_k + R_{ON2}} \approx \frac{U_{cc}}{R_k}, \quad (3)$$

где R_k – сопротивление кулера.

Из соотношений (1) – (3), при выборе $I_0 = 0,5I_n$, вытекает, что для управления кулером потребуются критические терморезисторы, с сопротивлениями R_{S1} , R_{S2} :

$$R_{S1} = U_{cc}/I_n, \quad (4)$$

$$R_{S2} = \frac{U_{cc}(I_p - I_n)}{I_p I_n}. \quad (5)$$

Достоинством критических терморезисторов на основе материалов с фазовым переходом металл-полупроводник является то, что температурой их переключения можно управлять, пропуская через терморезистор электрический ток [5]. Найдем связь между током терморезистора I_s и температурой поверхности СБИС T_s , при которой терморезистор переключается. Это происходит, когда температура рабочего тела терморезистора достигает температуры фазового перехода T_t . В этом случае уравнение теплового баланса терморезистора, рабочее тело которого имеет форму тонкой пластины, можно записать в виде:

$$K_1(T_t - Q) + K_2(T_t - T_s) = I_s^2 R_s, \quad (6)$$

где K_1 – коэффициент теплообмена между поверхностью терморезистора и окружающей средой с температурой Q ; K_2 – коэффициент теплообмена между поверхностью терморезистора, контактирующей с поверхностью СБИС, имеющей температуру T_s ; I_s , R_s – ток и сопротивление терморезистора.

Из (6) для T_s , при которой терморезистор переключится, получим:

$$T_s = T_t + \frac{K_1}{K_2}(T_t - Q) - \frac{I_s^2 R_s}{K_2}, \quad (7)$$

откуда вытекает, что значением T_s можно управлять, варьируя ток терморезистора I_s и его сопротивление R_s . Это дает возможность

задавать любые значения пороговых температур $T_{S1}, T_{S2} \leq T_t$ для режима управления кулером на рис. 1.

Учитывая, что для плоского терморезистора с площадью контактной поверхности S , коэффициент теплообмена $K = HS$ (H – удельный коэффициент теплообмена), на основании (7) для температур T_{S1}, T_{S2} получим:

$$T_{S1} = T_t + \frac{H_1}{H_2}(T_t - Q) - \frac{I_n^2 R_{S1}}{H_2 S_1}, \quad (8)$$

$$T_{S2} = T_t + \frac{H_1}{H_2}(T_t - Q) - \frac{I_p^2 R_{S2}}{H_2 S_2}. \quad (9)$$

Поскольку величины T_t , H_1 , H_2 , Q , I_n , I_p фиксированы, а величины R_{S1} и R_{S2} с учетом (4), (5) также не могут изменяться, согласно (8), (9) можно изменять пороговые температуры T_{S1}, T_{S2} путем вариации площади контактной поверхности терморезисторов S_1, S_2 . Причем, в соответствии с режимом управления кулером, представленным на рис. 1, должно выполняться условие $T_{S1} < T_{S2}$. Из соотношений (4), (5), (8), (9) вытекает, что это можно обеспечить при отношении S_2/S_1 , удовлетворяющем условию:

$$\frac{S_2}{S_1} > \frac{I_p}{I_n} \left(\frac{I_p}{I_n} - 1 \right), \quad (10)$$

в частности для кулера, который был исследован в настоящей работе (см. табл. 1), это условие принимает вид: $S_2/S_1 > 1,77$.

Из (8), (9) вытекает, что всегда существует возможность сдвинуть температуры T_{S1}, T_{S2} относительно температуры фазового перехода металл-полупроводник $T_t \sim 70^\circ \text{C}$ к более низким значениям за счет уменьшения площади контактных поверхностей терморезисторов S_2, S_1 . Можно, например, подобрать такие значения площади, при которых кулер будет включаться, когда микросхема нагреется до температуры $\sim 40^\circ \text{C}$, а выходить на рабочий режим вращения крыльчатки, когда температура достигнет 60°C . Обеспечить требуемые для данного кулера значения R_{S1} и R_{S2} (соотношения (4), (5)) можно варьируя геометрические размеры рабочего тела терморезистора и удельное электрическое сопротивление диоксиднованадиевой стеклокерамики, которое, как показано в [6], можно изменять в широких пределах, путем введения оксидных и металлических добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шефтель И.Т. Терморезисторы (Электропроводность $3d$ -окислов. Параметры, характеристики и области применения). – М.: Наука, 1973. – 416 с.
2. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 [Электронный ресурс]// Индустрон – 2007 – Режим доступа: <http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
3. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 [Электронный ресурс]// Индустрон – 2007 – Режим доступа: <http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
4. Деклараційний патент 40748А Україна, МКИ С 04 В 35/495, Н 01 В 01/08. Спосіб одержання напівпровідникової кераміки на основі діоксиду ванадію: О.І. Івон, В.Р. Колбунов, І.М. Черненко (Україна); Дніпропетровський державний університет. – № 99031402; Заявл. 16.03.99; Опубл. 15.08.2001. Бюл. №7. – 2 с
5. Защита процессоров AMD от перегрева [Электронный ресурс] / А. Карабуто// FERRA.RU – 2002 – Режим доступа: <http://www.ferra.ru/online/system/s19535/>.
6. Ивон А.И., Кузьменко Е.Н. Использование критических терморезисторов для защиты процессора от перегрева // Системные технологии: сб. научных трудов. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 2 (49). – С. 25–32.
7. Ivon A.I., Kolbunov V.R., Chernenko I.M. Conductivity of VO_2 -based ceramics.// J. Mat. Sci: Materials in Electronics.–2006.– V. 17, №1. – P. 57 – 62.

Получено 4.11.2008г.