

电源管理芯片中过热保护电路设计

谭传武, 陈卫兵, 邹豪杰, 李忠良, 罗天资

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 利用三极管基-射极电压的负温度特性, 设计了一种用于电源管理芯片中的过热保护电路。基于BCD 0.6 μm 工艺库模型, 采用HSPICE仿真软件进行模拟验证, 结果表明: 当温度超过150 $^{\circ}\text{C}$ 时, 电路输出信号发生翻转, 电源管理芯片停止工作; 当温度降至130 $^{\circ}\text{C}$ 时, 芯片恢复工作。在电源电压工作范围2.5~5.5 V内, 过温保护阈值变化量为0.7 $^{\circ}\text{C}$, 迟滞阈值变化量为0.9 $^{\circ}\text{C}$, 迟滞范围20 $^{\circ}\text{C}$ 。因此, 该过热保护电路具有温度灵敏度高、关闭和开启温度点受电源影响较小、电路结构简单、版图面积小和功耗低等特点, 适合集成在电源管理芯片中。

关键词: 电源管理; 热关断; 过热保护

中图分类号: TN402

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)05-0031-04

Design of a Over-Temperature Protection Circuit for Power Management Chip

Tan Chuanwu, Chen Weibing, Zou Haojie, Li Zhongliang, Luo Tianzi

(School of Computer and communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: A simple over-temperature protection circuit with low power consumption is designed for power management ICs(integrated circuits). With 0.6 μm BCD technology, Hspice simulation shows that the circuit has high sensitivity to temperature and low power consumption, the errors of shutdown temperature are less than 0.7 $^{\circ}\text{C}$ when the shutdown temperature is set at 150 $^{\circ}\text{C}$ and the voltage of power source is 2.5 to 5.5 V, and the errors of reswitch-on temperature are less than 0.9 $^{\circ}\text{C}$ when the reswitch-on temperature is set at 130 $^{\circ}\text{C}$.

Keywords: thermal shutdown; power management; over-temperature protection

电源管理芯片的温度每升高2 $^{\circ}\text{C}$, 安全可靠就下降10%, 温度升高50 $^{\circ}\text{C}$ 时的电源管理芯片工作寿命是温度升高25 $^{\circ}\text{C}$ 时的1/6^[1]。为了保护电源管理芯片, 使其在高温情况下不被损坏, 必须设置过热保护电路, 以便当芯片工作温度超过允许值时, 保护电路将主要的功耗电路切断。现有的保护电路很多是基于比较器来设计的^[2-3], 尽管有较高的温度灵敏度, 对保护电路而言, 其版图代价过大。文献[4]设计了一款采用BiCMOS工艺的过热保护电路, 电路较简单, 但需要一个固定偏置电路, 芯片面积还是较大, 功耗也没有降下来。因此, 减小芯片面积和功耗仍然是过热保护

电路设计的关键问题。

本文利用三极管基-射极电压的负温度系数特性, 从带隙模块电路取出随电源电压线性变化的控制电压来给电路提供偏置, 设计一种结构简单、温度灵敏度高的过热保护电路。电路能在2.5~5.5 V电源电压下正常工作。过温保护阈值变化量仅为0.7 $^{\circ}\text{C}$, 迟滞阈值变化量为0.9 $^{\circ}\text{C}$, 迟滞范围为20 $^{\circ}\text{C}$ 。

1 过热保护电路原理

过热保护电路在芯片温度过高时将大功率管关断,

收稿日期: 2009-07-08

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(08C287)

作者简介: 谭传武(1984-), 男, 湖南茶陵人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为模拟IC设计, E-mail: tcwxiaoba@163.com

在阈值温度点需要较高的温度灵敏度，因此，大多数是基于比较器设计的。图1是过热保护电路原理图。

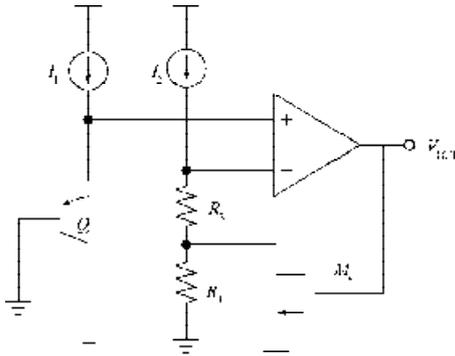


图1 过热保护电路原理图

Fig. 1 Schematic diagram of over-temperature protection circuit

图1所示的过热保护电路由温度探测电路和比较器电路构成，该电路三极管Q的导通电压 V_{BE} 具有负温度特性，并且工作在亚阈值区的MOS管产生具有正温度系数的电流 I_1 和 I_2 。随着工作温度的升高， V_{BE} 越来越小，而电阻上的电压随着电流的升高越来越大。当 $V_{BE} < V_{R_1}$ 时，比较器输出发生翻转， V_{OUT} 输出为低电平，关断主要功耗电路，使芯片发热量降低，这个过热保护的比较器有较高的分辨率^[5-6]，在高温下也能稳定工作，但无疑增加电路的功耗，而且利用工作在亚阈值区的MOS管产生的与绝对温度成正比的PTAT电流精度不高，易受电源电压影响^[3,6]，过热保护电路不够稳定。

2 过热保护电路设计

本文的过热保护电路是在带隙基准电路基础上设计的，使用带隙基准电路的偏置电压作为过热保护电路偏置，且在电路中优化了比较器电路，使得电路结构简单且性能稳定，较易在版图上实现。过热保护电路如图2所示。

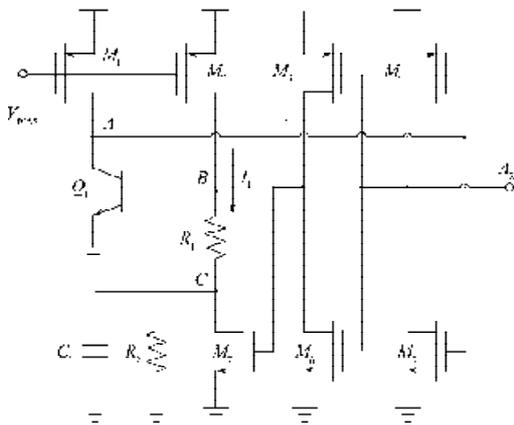


图2 过热保护电路图

Fig. 2 Diagram of over-temperature protection circuit

图2由温度探测电路和2个反相器构成。 V_{BIAS} 是从带隙基准电流源取出来的偏置电压，随电源呈线性变化，使得 M_1 和 M_2 能提供恒定电流。芯片正常工作时，B点电压低于 Q_1 的开启电压， Q_1 截止。A端输出为高电平， A_2 输出为低电平，此时 M_7 管导通， R_1 上电流通过 M_7 直接到地，大电阻 R_2 上几乎没有电流流过，电路处于无效状态。当温度上升， Q_1 的 V_{BE} 减小，假如当温度升高到阈值温度 T_1 时 Q_1 开启（本文设计 $T_1 = 150\text{ }^\circ\text{C}$ ），此时 Q_1 的 V_{BE} 为：

$$V_{BE} = V_{BE0} + \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} (T_1 - T_0), \quad (1)$$

式中： T_0 为初始温度（室温）； V_{BE0} 为 Q_1 室温下的电压； $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$ 为 Q_1 的负温度系数。

B点电压为：

$$V_B = I_1 \times R_1 \left[1 + \frac{\partial R}{\partial T} (T_1 - T_0) \right], \quad (2)$$

式中 $\frac{\partial R}{\partial T}$ 为电阻的正温度系数。

当到达温度阈值点 T_1 时，有 $V_{BE} = V_B$ 。

由带隙基准的偏置电压可以确定 M_2 的电流 I_1 ，由此，可以确定 R_1 的值，

$$R_1 = \frac{V_{BIAS} + \frac{\partial V_{BIAS}}{\partial T} (T_1 - T_0)}{I_1 \times \left[1 - \frac{\partial R}{\partial T} (T_1 - T_0) \right]}, \quad (3)$$

这时，过热保护电路输出端 A_2 在 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 时输出高电平，电源管理芯片关断。

电源管理芯片到达过热温度点时停止工作， M_7 截止，电流 I_1 流过 R_1 与 R_2 到地面。如果芯片在高于 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 时关断，低于 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 时又开启，考虑在此温度点芯片反复开关，影响其正常工作，需要实现过热保护电路的迟滞功能，当降低到一定的温度时，电源管理芯片才恢复正常工作。

假如当温度下降到迟滞开启温度 T_2 时 Q_1 关断（本文设计 $T_2 = 130\text{ }^\circ\text{C}$ ），电路 A_2 端恢复低电平，电源管理芯片恢复正常工作，此时 Q_1 的 V_{BE} 为：

$$V_{BE} = V_{BE0} + \frac{\partial V_{BE}}{\partial T} (T_2 - T_0), \quad (4)$$

B点电压为：

$$V_B = I_1 \times (R_1 + R_2) \left[1 + \frac{\partial R}{\partial T} (T_2 - T_0) \right], \quad (5)$$

在迟滞温度开启点有 $V_{BE} = V_B$ ，式（4）和式（5）联合得到 R_2 的值，

$$R_2 = \frac{V_{BIAS} + \frac{\partial V_{BIAS}}{\partial T} (T_2 - T_0)}{I_1 \times \left[1 + \frac{\partial R}{\partial T} (T_2 - T_0) \right]} - R_1. \quad (6)$$

这样可以按设计温度 ($T_1 = 150^\circ\text{C}$, $T_2 = 130^\circ\text{C}$) 来确定 R_1 和 R_2 电阻的阻值。另外, 本文设计电容 C_1 来保护 M_7 管, 防止 C 点电压在迟滞开启的瞬间被急速拉低。热关断温度和迟滞开启温度不依赖电源电压, 通过控制 M_7 的开启和关断, 控制 R_2 是否被短路, 实现了过热保护电路的迟滞作用, 避免了电路在某一温度点的反复开启和关断。

3 过热保护电路仿真

采用 $0.6\ \mu\text{m}$ BCD 工艺参数, 用 Hspice 软件对过热保护电路进行仿真。电源管理芯片对过热保护电路的要求: 温度高于 150°C 时输出高电平关断芯片中的主要功率管, 温度下降至 130°C 时电路 A_2 端输出低电平, 电源管理芯片恢复工作。

分别在电源电压为 $2.5\ \text{V}$ 和 $3.5\ \text{V}$ 时对电路进行温度正向和反向扫描得到 A_2 端的输出曲线, 如图 3、4 所示。

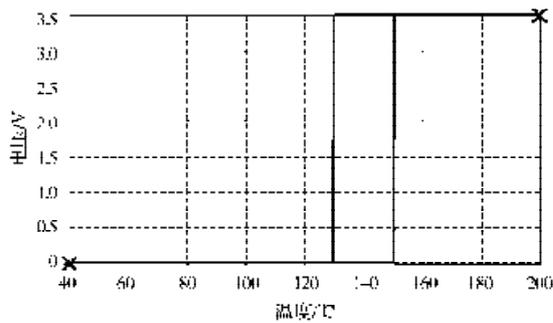


图 3 温度正向/反向扫描曲线 ($V_{\text{dd}} = 3.5\ \text{V}$)

Fig. 3 Temperature forward / reverse scanning curve

($V_{\text{dd}} = 3.5\ \text{V}$)

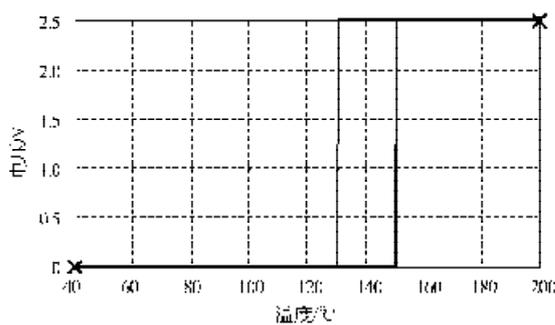


图 4 温度正向/反向扫描曲线 ($V_{\text{dd}} = 2.5\ \text{V}$)

Fig. 4 Temperature forward / reverse scanning curve

($V_{\text{dd}} = 2.5\ \text{V}$)

从图 3 和图 4 可以看出, 温度为 150°C 时, 输出电压垂直上升; 过热保护发生翻转后, 温度迟滞 20°C , 过热保护电路 A_2 端才重新恢复低电平, 电源管理芯片正常工作。从图 3、4 可见, 曲线在 130°C 和 150°C 处很陡, 热关断上升时间 $0.07\ \text{s}$, 迟滞开启下降时间 $0.064\ \text{s}$, 电路对温度反应灵敏、翻转快, 关断和开启阈值点准确性强。

图 5 和图 6 分别是在不同电源电压下对温度进行正向扫描时 A_2 端变化的波形。

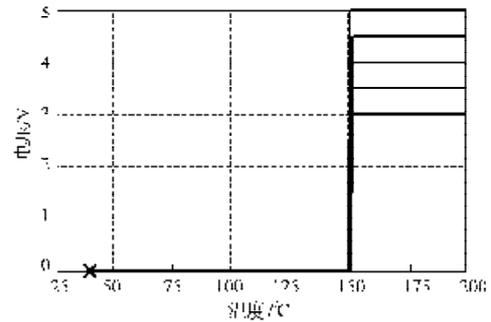


图 5 不同电源电压下温度正向扫描 A_2 端波形

Fig. 5 A_2 waveform of temperature forward scanning at different supply voltages

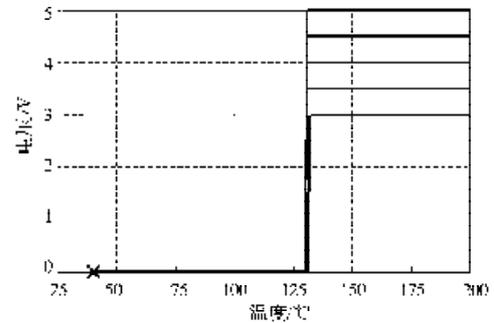


图 6 不同电源电压下温度反向扫描 A_2 端波形

Fig. 6 A_2 waveform of temperature reverse scanning at different supply voltages

图 5 和图 6 中电源电压 $3\sim 5\ \text{V}$ 变化时, 过热关断温度点也在变化, 当温度上升到 150°C 时, A_2 端输出高电平; 当温度下降至 130°C 时, A_2 端从高电平变为低电平。图 5、6 中过热关断温度和迟滞开启温度随电源电压变化曲线可以用表 1 表示。

表 1 过热关断和迟滞温度点随电源电压的变化

Table 1 The movements of hot spot and slow-moving spot with the supply voltage

V_{dd} / V	过热关断温度 / $^\circ\text{C}$	迟滞开启温度 / $^\circ\text{C}$
3.0	150.2	130.3
3.5	150.4	130.2
4.0	150.1	129.8
4.5	149.8	129.7
5.0	149.7	129.4

从图 5、6 及表 1 可以看出, 电源电压从 $3\sim 5\ \text{V}$ 变化时, 热关断温度基本稳定在 150°C 左右, 迟滞开启温度稳定在 130°C 左右。这是因为随电源电压升高, 衬底偏置效应的影响加强, 导致关断/开启温度点偏移, 使关断/开启温度随电源电压微小变化 (过温关断温度变化量仅 0.7°C , 迟滞开启温度变化量为 0.9°C)。从工艺的角度考虑, 可以通过减小衬底偏置效应的影响, 从

而减小温度随电源电压的变化。

4 结语

本文利用三极管 V_{BE} 的负温度系数特性, 通过小电阻接入与短路来实现温度迟滞, 设计出一种结构简单的过热保护电路。电路具有低电压、低功耗的特点, 关断和开启阈值点准确, 能够有效地抑制电源电压引起的温度迟滞变化, 迟滞范围基本不变, 且具有良好的移植性, 可广泛应用于电源管理芯片中。

参考文献:

- [1] 吴俊, 邹雪城, 李思臻, 等. 一种改进的高精度低功耗过温保护电路[J]. 微电子学, 2009, 26(2): 103-107.
Wu Jun, Zou Xuecheng, Li Sizhen, et al. An Improved Thermal-Shutdown Circuit with High Precision and Low Power Consumption[J]. Microelectronics, 2009, 26(2): 103-107.
- [2] 徐冬, 唐祯安. 一种用于马达驱动芯片的过热保护电路[J]. 微电子学, 2007, 37(6): 903-906.
Xu Dong, Tang Zhenan. A Thermal Shutdown Circuit for Motor Driver IC[J]. Microelectronics, 2007, 37(6): 903-

- 906.
- [3] 张孝坤, 王继安, 徐赏林, 等. 一种可用于模块化设计的热关断电路[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 130-134.
Zhang Xiaokun, Wang Ji'an, Xu Shanglin, et al. A Thermal-Shutdown Circuit for Modularized Design[J]. Microelectronics & Computer, 2007, 24(6): 130-134.
- [4] 张彬, 冯全源. 一种新型热关断电路的设计[J]. 微电子学, 2009, 39(1): 42-46.
Zhang Bin, Feng Quanyuan. Design of a Novel Thermal-Shutdown Circuit[J]. Microelectronics, 2009, 39(1): 42-46.
- [5] 徐伟, 冯全源. 一种带曲率补偿的基准及过温保护电路[J]. 电子技术应用, 2008(8): 69-74.
Xu Wei, Feng Quanyuan. A Curvature Compensation Bandgap Reference and Thermal Shutdown Circuit[J]. Application of Electronic Technique, 2008(8): 69-74.
- [6] 季轻舟, 耿增建. 高性能快速启动CMOS带隙基准及过温保护电路[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(21): 5812-5817.
Ji Qingzhou, Geng Zengjian. Design of High Performance CMOS Bandgap Reference with Over Temperature Protection Circuit[J]. Science Technology and Engineering, 2008, 8(21): 5812-5817.

(责任编辑: 罗立宇)

(上接第30页)

3 结语

运用流体静力称衡法使用电子天平测量物体的密度, 提高了测量系统的精度、稳定性和实验效率; 测量过程中物理原理表现清晰, 弥补了传统实验方法的不足; 既有利于开发学生的思维, 又丰富了实验教学内容, 在大学物理实验教学中具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 杨述武. 普通物理实验(一力学及热学部分)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 79-82, 261-262.
Yang Shuwu. General Physics Experiment(一 Part of Mechanical and Thermal)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 79-82, 261-262.
- [2] 林抒, 龚镇雄. 普通物理实验[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981: 62-64.
Lin Shu, Gong Zhenxiong. General Physics Experiment[M]. Beijing: People's Education Press, 1981: 62-64.
- [3] 熊维巧. 电子天平在浮称法测试块体密度中的应用[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(6): 793-795.
Xiong Weiqiao. Application of Electron Balance to the Block

- Density Tests by Suspending Weigh Method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(6): 793-795.
- [4] 黄天明. 流体静力三次称衡法测固体密度[J]. 物理通报, 1998(3): 34-35.
Huang Tianming. Measuring Solid Density by Hydrostatics Measurement for Three Times[J]. Physics Bulletin, 1998(3): 34-35.
- [5] 刘竹琴. 用力敏传感器测量物体的密度[J]. 大学物理, 2006, 25(2): 46-47, 63.
Liu Zhuqin. Measuring Density of Objects with Force Sensor[J]. College Physics, 2006, 25(2): 46-47, 63.
- [6] 陈莹梅. 硅压阻式力敏传感器在测量物体密度实验中的应用[J]. 物理通报, 2006(5): 42-44.
Chen Yingmei. The Application of Piezoresistive Pressure Sensor to the Experiment of Measuring the Density of Objects[J]. Physics Bulletin, 2006(5): 42-44.
- [7] 周渭生. 最新温标纯水密度表[J]. 计量技术, 2000(3): 40-42.
Zhou Meisheng. The Latest Water Density Meter with Temperature Scale[J]. Measurement Technique, 2000(3): 40-42.

(责任编辑: 罗立宇)