

一种阈值可修调的过温保护电路设计

A Circuit Design of Overtemperature Protection with Adjustable Threshold

艾力

Li Ai

杭州智芯科微电子科技有限公司 中国·浙江 杭州 310000

AistarTek (Hangzhou) Microelectronics Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

摘要: 论文基于TSMC22N工艺设计了一种阈值可修调的过温保护电路。该电路利用三极管 V_{BE} 的负温度特性进行温度检测, 用一个电流模 Bandgap 产生基准电压 V_{REF} , 通过 V_{BE} 和 V_{REF} 比较来产生过温保护信号 TSD。由于 V_{BE} 随 corner 的变化比较大, 导致过温保护的阈值变化很大, 即片与片之间的差异性很大。通过两个管脚进行测试修调, 先测 pnp 管的 V_{BE} , 再测 V_{REF} , 根据 V_{BE} 的负温度特性计算出过温保护点对应的 V_{REF} , 最后根据测试的 V_{REF} 和计算的 V_{REF} 调整电阻值, 从而实现在常温下过温保护阈值的修调, 使得每颗芯片的阈值都基本一致。Spectre 仿真结果表明, 当温度超过 150 °C 时 TSD 输出高电平, 关断电路, 当温度低于 130 °C 时, 电路重新启动, 温度迟滞 20 °C。不同 corner, 修调后过温保护阈值相差不超过 0.2 °C。

Abstract: Based on TSMC22N process, an overtemperature protection circuit with adjustable threshold is designed in this paper. This circuit uses the negative temperature characteristic of BJT for temperature detection, and uses a current mode Bandgap to generate reference voltage, and by comparison to generate overtemperature protection signal TSD. As the V_{BE} changes with the corner, the threshold of overtemperature protection will differ from each chip. Through two test pins to test and adjust the threshold. Firstly, test the V_{BE} , then test the V_{REF} . Secondly, calculate the V_{REF} corresponding to the overtemperature protection point according to the properties of negative temperature characteristic. Finally, adjust the resistance value according to the tested V_{REF} and the calculated V_{REF} . So that to realize the threshold adjustment at room temperature, which makes the threshold of every single chip are basically identical. The spectre simulation shows that when the temperature exceeds 150°C, the TSD outputs high and turns off the circuit. And when the temperature falls below 130°C, the circuit restarts with a hysteresis of 20°C. For different Corners, the difference of threshold is less than 0.2°C after adjustment.

关键词: 过温保护; 阈值; 修调; 负温度特性; corner

Keywords: over temperature protection; threshold; adjustment; negative temperature characteristics; corner

DOI: 10.12346/peti.v4i4.6984

1 引言

随着芯片的小体积、多功能以及大功率的发展趋势, 温升和散热成为重要问题。过高的温度会影响芯片的性能, 进而严重影响系统的稳定性和可靠性。为保证系统正常工作并维持稳定, 需要设计过温保护电路^[1]。

传统的过温保护电路因为电路结构的影响, 过温阈值和迟滞范围容易受电源电压和工艺的影响, 片与片之间存在一定的差异, 某些工艺下甚至有 20°C 的差异, 无法满足

对温度比较敏感的应用场景。为此, 论文提出一种在常温下即可完成过温保护阈值修调的过温保护电路。通过片外的管脚进行测试修调, 先测 pnp 管的 V_{BE} , 再测 V_{REF} , 根据 V_{BE} 的负温度特性计算出过温保护点对应的 V_{REF} , 最后根据测试的 V_{REF} 和计算的 V_{REF} 调整电阻, 从而实现在常温下过温保护阈值的修调, 使得每颗芯片的过温保护阈值都基本一致。

【作者简介】 艾力 (1989-), 男, 中国湖北咸宁人, 本科, 助理工程师, 从事集成电路设计研究。

2 电路结构与原理分析

2.1 典型过温保护电路原理分析

一种典型的过温保护电路结构如图 1 所示^[2]。该电路利用 Q1 的 V_{BE} 负温度特性进行温度检测。常温下电路正常工作, $V_Y > V_X$, 比较器输出高, M1 导通, 将 R2 短路, 此时 $V_X = I_{PTAT} \times R1$; 当温度上升到一定值时, $V_Y < I_{PTAT} \times R1$, 比较器输出低, M1 断开, R2 从短路状态恢复, 此时 $V_X = I_{PTAT} \times (R1 + R2)$, 电路进入过温保护状态; 当温度下降到一定值时, $V_Y > I_{PTAT} \times (R1 + R2)$, 比较器输出高, 电路退出保护状态。

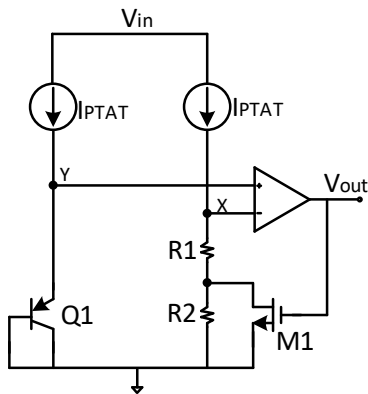


图 1 典型过温保护电路结构

该电路通过调节 R1 和 R2 的阻值来实现过温保护阈值以及温度迟滞范围的调整。电阻值会随电源电压的变化而变化, PTAT 电流以及三极管 V_{BE} 会受工艺的影响, 这会导致不同 corner 下的过温阈值会有偏差。

2.2 新型过温保护电路原理分析

论文设计的过温保护电路如图 2 所示。其中偏置电流 I_{REF} 来源于电流模的 Bandgap^[3]。温度检测电压为 Q1 的 V_{BE} 。仿真发现 V_{BE} 的负温度系数随工艺的变化很小, 但 V_{BE} 的绝对值会随 corner 的不同而不同。这也是论文将要解决的问题。

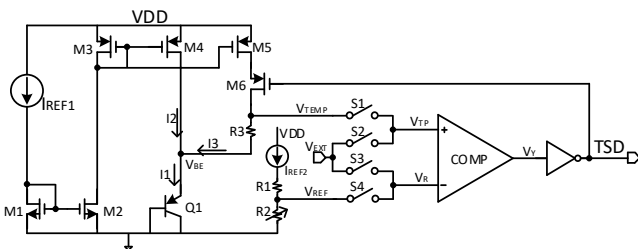


图 2 新型过温保护电路结构

正常工作时, 开关 S1 和 S4 导通, S2 和 S3 断开, $V_{TP} = V_{TEMP}$, $V_R = V_{REF}$, 常温下 $V_{TEMP} > V_{REF}$, 比较器输出高, 经过反相器后输出过温保护信号 TSD 为低, 表示未进入过温保护状态。由于 TSD 为低, 因此 M6 导通, 流过 Q1 的电流 $I1 = I2 + I3$ 。此时,

$$V_{TP} = V_{TEMP} = V_{BE} + I3 \times R3 \quad (1)$$

当温度上升到一定值时, V_{BE} 下降, 最终使得 $V_{BE} + I3 \times R3 < V_{REF}$, 比较器翻转为低, TSD 也随之翻转为高, 电路进入过温保护状态, 并断开 M6, 流过 Q1 的电流 $I1 = I2$ 。此时,

$$V_{TP} = V_{TEMP} = V_{BE} \quad (2)$$

使得 V_{TP} 进一步小于 V_R 。当温度下降到一定值时, V_{BE} 再一次大于 V_{REF} , 即 $V_{TP} > V_R$, 比较器再次翻转为高, TSD 翻转为低, 退出过温保护状态, 并开启 M6 管。通过改变流过 Q1 的电流以及 R3 的阻值来产生一个迟滞电压, 这个迟滞电压的精度非常高。因为 I2 和 I3 是同源的, 根据三极管电流公式^[4]它们产生的 ΔV_{BE} 表示如下:

$$V_{BE1} = V_T \times \ln \frac{I2 + I3}{I_S} = V_T \times \ln \frac{I2 + m \times I2}{I_S} \quad (3)$$

$$V_{BE2} = V_T \times \ln \frac{I2}{I_S} \quad (4)$$

由 (3) 和 (4) 相减可得 ΔV_{BE} ,

$$\Delta V_{BE} = V_T \ln(1 + m) \quad (5)$$

温度迟滞范围由下式确定:

$$\Delta V_{BE} + I3 \times R3 = V_T \ln(1 + K) + I3 \times R3 \quad (6)$$

其中, m 为 M5/M4 电流镜的比例系数, $V_T = KT/q$ 为热电压^[5], K 为玻尔兹曼常数, q 电荷量, $I3 \times R3$ 为电流模 Bandgap 产生的一个参考电压, 该电压随温度和工艺的变化很小, 因此温度迟滞范围是一个常量。

2.3 过温保护阈值修调原理分析

如图 2 所示, V_{EXT} 是芯片输入管脚, TSD 是芯片输出管脚, 用这两个管脚进行过温保护阈值的修调。通过修调 R2 的阻值来调整参考电压, 从而实现过温保护阈值的修调。修调方法和步骤如下:

第一, 通过仿真得到 Q1 的负温度系数 K_{BE} 。

第二, 测试芯片在室温下的 V_{TEMP} 电压值 V_{TEMP1} 。将 S1 和 S3 导通, S2 和 S4 断开, 在 V_{EXT} 管脚输入斜坡信号, 记录 TSD 管脚跳变时 V_{EXT} 管脚的电压值, 即为 V_{TEMP1} 。

第三, 将 S2 和 S4 导通, S1 和 S3 断开, 在 V_{EXT} 管脚输入斜坡信号, 记录 TSD 管脚跳变时 V_{EXT} 管脚的电压值, 即为当前芯片的参考电压值 V_{REF1} 。

第四, 根据负温度系数计算达到过温保护阈值点对应的 V_{TEMP} 电压 V_{TEMPR} , 计算公式如下:

$$V_{TEMPR} = K_{BE}(T_R - T_1) + V_{TEMP1} \quad (7)$$

其中, T_R 为过温保护的目标阈值, T_1 为当前室温, K_{BE} 为温度系数是个负值。

第五, 根据 V_{TEMPR} 和 V_{REF1} 的误差值调整 R2 阻值, 将 V_{REF1} 修调到 V_{TEMPR} 。电阻修调的档位决定了修调的精度, 精度可以设置成很高, 但会牺牲面积。修调的范围要覆盖仿真 comer 的变化范围, 才可以确保所有芯片都能修调到位。本

设计的修调范围为 12.8 °C，共 64 个修调档位，0.2 °C /step，即修调精度为 0.2 °C。当芯片的应用场景变化时，还可以通过修调的方式修改芯片的过温保护阈值。

3 仿真结果与分析

基于 TSMC22n 工艺模型，对电路进行 spectre 仿真。仿真结果显示不同 corner 下， V_{BE} 的温度系数都为 1.669 mV/°C；在 150 °C 时，ss corner 和 ff corner V_{BE} 相差 13.769 mV，这相当于过温保护阈值相差 8.2°C。

图 3 为修调前不同 corner 的过温保护曲线。tt corner 过温阈值为 150 °C，下降阈值为 130 °C，迟滞温度 20 °C；ss corner 过温阈值为 145°C，下降阈值为 125 °C，迟滞温度 20 °C；ff corner 过温阈值为 153°C，下降阈值为 133°C，迟滞温度 20 °C。温度的迟滞范围不随 corner 变化，都是 20 °C，验证了之前的设计理论是正确的。修调前，不同 corner 下过温阈值最大差 8 °C。

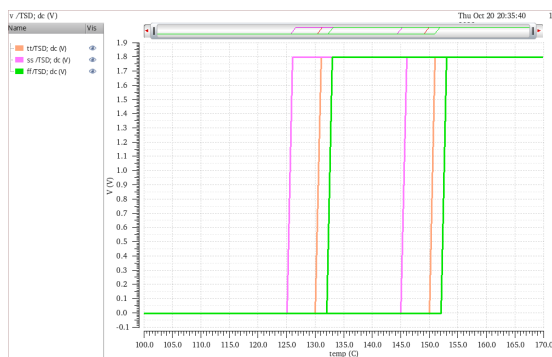


图 3 修调前不同 corner 的过温保护曲线

图 4 为修调后不同 corner 的过温保护曲线。3 种 corner 的曲线重合，其过温阈值为 150 °C，下降阈值为 130 °C，迟滞温度 20 °C。说明修调的效果非常好，修调后过温保护阈值几乎一致，满足设计要求。

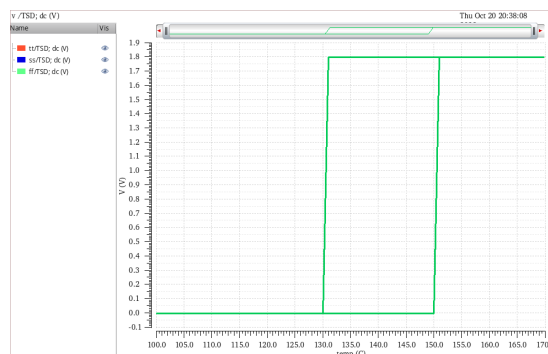


图 4 修调后不同 corner 的过温保护曲线

4 结语

论文基于 TSMC22N 工艺模型，设计了一种在常温下阈值可修调的过温保护电路。Spectre 仿真结果表明，修调后该电路的过温阈值、恢复阈值、迟滞温度将不随 corner 变化，具有高精度高一致性。同时，还可以通过修调设置需要的过温保护阈值，以适应芯片的不同应用环境。

参考文献

- [1] 张瓷平,冯全源.一种高精度阈值可调过温保护电路的设计[J].电子元件与材料,2017,36(8):75-79.
- [2] 石伟韬,蒋国平.一种高稳定低功耗CMOS过热保护电路的设计[J].电子器件,2006,29(2):330-334.
- [3] H. Banba. A CMOS Bandgap Reference Circuit with Sub-1-V Operation [J].IEEE. of Solid-State Circuits,1999(34):670-674.
- [4] 张明星,朱铁柱,王良坤.一种用于马达驱动芯片的新型过温保护电路[J].电子器件,2015,38(2):373-376.
- [5] CHEN H M, LEE C C, JHENG S H, et al. A sub-1 ppm/°C precision bandgap reference with adjusted-temperature-curvature compensation [J]. IEEE Trans Circuit Syst I: Regular Papers,2017,64(6):1308-1317.