

一种应用于 LIN 收发器的过温保护电路

秦怀斌, 王忆文

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘 要: 基于 CSMC (Central Semiconductor Manufacturing Corporation) 0.5 μm CMOS 工艺设计一种应用于 LIN 收发器的过温保护电路. 该电路包含比较器, 并利用两种不同温度特性的电压作为比较器的输入电压. 比较器的输出电压作为过温保护电路的输出信号. 使用 Cadence Spectre 工具进行仿真, 仿真结果表明, 该电路热关断温度为 160 $^{\circ}\text{C}$, 热开启温度为 120 $^{\circ}\text{C}$, 具有 40 $^{\circ}\text{C}$ 的热滞回区间.

关键词: 过温保护; 热滞回; PTAT 电流源; 亚阈值; LIN 收发器

中图分类号: TN432

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)05-0076-03

An Over-Temperature Protection Circuit Applied in LIN Transceiver

QIN Huai-bin, WANG Yi-wen

(State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Device, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Based on CSMC (Central Semiconductor Manufacturing Corporation) 0.5 μm CMOS process, a design of over-temperature protection circuit, which is applied in LIN transceiver, is proposed. The circuit includes comparator, and two types of voltage that are of different temperature characteristics are used as the input of the comparator. The output voltage is the output signal of the over-temperature protection circuit. Through simulation by Cadence Spectre, the results show that, the thermal shut-down temperature is 160 $^{\circ}\text{C}$, the thermal start temperature is 120 $^{\circ}\text{C}$ and the hysteresis range is 40 $^{\circ}\text{C}$.

Key words: over-temperature protection; thermal hysteresis; PTAT current source; sub threshold; LIN transceiver;

1 引言

汽车电子发展迅速, 汽车内部的电子设备均需要具备高的可靠性^[1]. 因此在汽车内部使用的 LIN 总线收发器过温保护电路的设计显得尤为重要. 该电路需要有较高的热关断温度以适应汽车内部的高温工作环境, 同时还需具备热滞回功能以防止热振荡的产生. 本文首先介绍 CMOS 过温保护电路原理, 提出适用于 LIN 收发器电路的过温保护电路.

2 CMOS 过温保护电路

图 1 所示为 CMOS 过温保护电路原理图^[2].

I_{PTATA} 和 I_{PTATB} 两个电流源均为 PTAT 电流源, 电流大小与绝对温度成正比. A 点电压为电阻 R_A 电压, B 点电压为电阻 R_B 电压与 NMOS 管 M_B 的栅源电压 V_{GS} 之和. 现设:

$$I_{\text{PTATA}} = K_A T \quad (1)$$

$$I_{\text{PTATB}} = K_B T \quad (2)$$

K_A 和 K_B 为比例系数且均为正数, T 代表绝对温度. 则 A, B 两点的电压可以分别表示为:

$$V_A = K_A T R_A \quad (3)$$

$$V_B = K_B T R_B + V_{\text{GSB}} \quad (4)$$

设置 NMOS 管 M_B 使其工作在亚阈值区, 且使 V_{GSB} 具有负温度系数. 观察式(4), 第一项具有正温

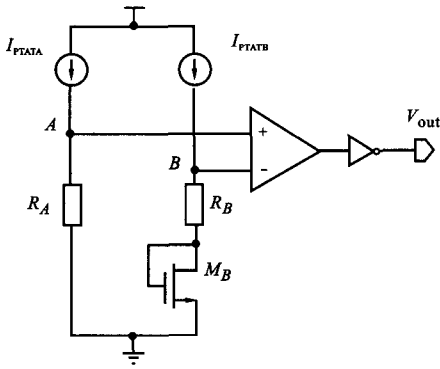


图1 CMOS过温保护电路原理图

度系数,第二项具有负温度系数,那么通过设置可以使B点电压成为不随温度变化的基准电压.而A点电压为正温度系数电压.因此,当工作温度低于设定的热关断温度时, $V_A < V_B$, 经过比较器和一级反相器后输出电压 V_{OUT} 为高电平,芯片正常工作;当工作温度高于设定的热关断温度时, $V_A > V_B$, 经过比较器和反相器后输出电压 V_{OUT} 变为低电平,使芯片暂时停止工作,避免芯片继续发热而损坏. $V_A = V_B$ 时的温度即为热关断温度.

本文所设计的应用于LIN收发器的过温保护电路基于CMOS过温保护电路,并且在其基础上加入热滞回功能以防止热振荡的产生.

3 过温保护电路设计

3.1 启动电路及PTAT电流源电路

图2所示为启动电路与PTAT电流源电路示意图^[3].其中, M_1 、 M_2 、 M_3 构成启动电路.当电路处于零工作点时, M_1 的栅电压为零, M_1 导通,随后使得 M_3 栅电压升高, M_3 导通. M_3 的导通致使 M_4 和 M_5 的栅电压下降,电流源开始进入正常工作状态.

电流源开始工作后, M_8 、 M_9 栅极电压升高, M_1 关闭, M_2 开启, M_3 栅极电压为低, M_3 关闭,启动电路完成启动功能后停止工作,不会影响PTAT电流源的正常工作.

PTAT电流源由 $M_4 \sim M_{11}$ 组成.以下阐述PTAT电流源的工作原理: M_{10} 和 M_{11} 均工作在亚阈值区,其电流由以下公式决定^[4]:

$$I = \frac{W}{L} I_{D0} \exp\left(\frac{V_{GS} - V_{TH}}{nV_T}\right) \quad (5)$$

式中, I_{D0} 为MOS管亚阈值特征电流, V_{TH} 为阈值电压, $V_T = \frac{kT}{q}$. 流过电阻 R_1 的电流为:

$$I_{R1} = \frac{V_{GS10} - V_{GS11}}{R_1} \quad (6)$$

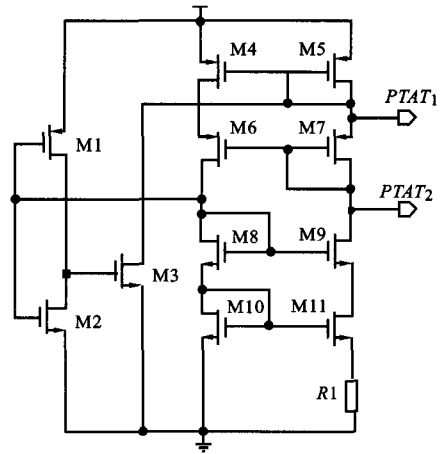


图2 启动电路与PTAT电流源电路

将 M_{10} 和 M_{11} 的参数代入式(5),并导出 V_{GS10} 、 V_{GS11} 的表达式得:

$$V_{GS10} = V_{TH} + nV_T \ln\left(\frac{I_{10}}{I_{D0}} \cdot \left(\frac{L}{W}\right)_{10}\right) \quad (7)$$

$$V_{GS11} = V_{TH} + nV_T \ln\left(\frac{I_{11}}{I_{D0}} \cdot \left(\frac{L}{W}\right)_{11}\right) \quad (8)$$

将式(7)、(8)代入式(6),得到 I_{R1} 的表达式:

$$I_{R1} = \frac{V_{GS10} - V_{GS11}}{R_1} = \frac{nV_T}{R_1} \ln\left(\frac{I_{10}}{I_{11}} \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_{11} \left(\frac{L}{W}\right)_{10}\right) \quad (9)$$

$M_4 \sim M_9$ 的宽长比相等,则 $I_{10} = I_{11}$, 将 $V_T = \frac{kT}{q}$

代入式(9),同时设 $\beta = \frac{W}{L}$, 表示MOS管宽长比.得:

$$I_{R1} = \frac{nkT}{qR_1} \ln\left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}}\right) \quad (10)$$

通过式(10)可知 I_{R1} 是与温度 T 成正比,为PTAT电流,且其大小可以通过设置 M_{10} 和 M_{11} 的宽长比来确定.

3.2 温度判断及比较器电路

图3所示为温度判断及比较器电路图.比较器采用两级放大的设计^[5],第一级为差分输入级,并且使用NMOS电流源作为负载;第二级为共源极放大器,提高了比较器输出摆幅; M_{24} 和 M_{25} 组成的反相器将比较器的输出电平转换为适合后级收发器电路的工作电平.

根据CMOS过温保护电路的原理,图3中A端为比较器正输入端,B端为负输入端.在正常工作温度范围内, $V_B > V_A$, 比较器输出电压为低电平,经过 M_{24} 和 M_{25} 组成的反相器后 V_{OUT} 为高电平. V_{OUT} 同时为 M_{14} 的栅电压, M_{14} 为开关管,此时 M_{14} 开启,电流未流经 R_3 . 因此,在正常工作温度范围内,A端电压等于电阻 R_2 上电压,即:

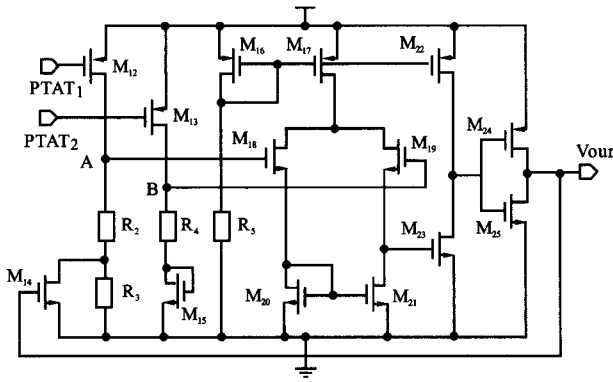


图3 温度判断电路及比较器电路

$$V_A = V_{R2} = \frac{nkT}{qR_1} \left(\frac{\beta_{12}}{\beta_4} \right) \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right) \cdot R_2 \quad (11)$$

B 端电压为电阻 R_2 上电压与 M_{15} 栅源电压之和, 即:

$$V_B = V_{R4} + V_{GS15} \quad (12)$$

$$V_{R4} = \frac{nkT}{qR_1} \left(\frac{\beta_{13}}{\beta_4} \right) \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right) \cdot R_4 \quad (13)$$

使 M_{15} 工作在亚阈值区, 根据式(5)可得:

$$V_{GS15} = V_{TH} + nV_T \ln \left(\frac{I_{15}}{I_{D0}\beta_{15}} \right) \quad (14)$$

观察式(14), 第一项 V_{TH} 具有负温度系数. 对于第二项, 设置 M_{15} 参数, 使 $\ln \left(\frac{I_{15}}{I_{D0}\beta_{15}} \right) < 0$, 则 V_{GS15} 也具有负温度系数. 式(12)中, 第一项 V_{R4} 为正温度系数, 第二项 V_{GS15} 为负温度系数, 通过设置, 可以使 V_B 成为对温度变化不敏感的基准电压.

随着温度上升, V_A 增大, V_B 变化不明显. 当 $V_A = V_B$ 时, 此时的温度为热关断温度. 联立式(11)~(14)可得:

$$T = \frac{qV_{TH}}{nk \left[(N_2 - N_4) - \ln \left(\frac{I_{15}}{I_{D0}\beta_{15}} \right) \right]} \quad (15)$$

$$\text{式中, } N_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{\beta_{12}}{\beta_4} \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right),$$

$$N_4 = \frac{R_4}{R_1} \cdot \frac{\beta_{13}}{\beta_4} \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right)$$

当工作温度超过热关断温度后, V_{OUT} 输出为低电平, 开关管 M_{14} 关闭, PTAT 电流同时流过 R_2 和 R_3 , 这时 A 端电压 $V_A' = V_{R2} + V_{R3}$. 随着温度降低, 当 $V_A' = V_B$ 时的温度为热开启温度, 经过计算得:

$$T' = \frac{qV_{TH}}{nk \left[(N_{23} - N_4) - \ln \left(\frac{I_{15}}{I_{D0}\beta_{15}} \right) \right]} \quad (16)$$

式中,

$$N_{23} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{\beta_{12}}{\beta_4} \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right) + \frac{R_3}{R_1} \cdot \frac{\beta_{12}}{\beta_4} \ln \left(\frac{\beta_{11}}{\beta_{10}} \right)$$

显然式(16)的分母项大于式(15)的分母项, 因此热开启温度比热关断温度低, 形成温度滞回区间, 消除了热振荡效应. 图4为过温保护电路总图.

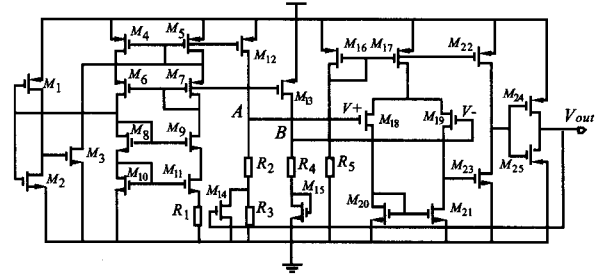


图4 过温保护电路总图

4 仿真结果及分析

4.1 比较器输入端电压的仿真

仿真采用 CSMC 0.5 μm CMOS 工艺库, TT 工艺角下, 温度范围为 $0^\circ\text{C} \sim 180^\circ\text{C}$.

图5所示为比较器输入端电压 V_A 和 V_B 随温度变化的仿真结果. V_A 为 PTAT 电压, 与温度成正比; V_B 为基准电压, 在 $0^\circ\text{C} \sim 180^\circ\text{C}$ 的温度范围内对温度变化不敏感, 其变化系数为 $0.183\text{mV}/^\circ\text{C}$. 160°C 为热关断温度, 此时 $V_A = V_B$.

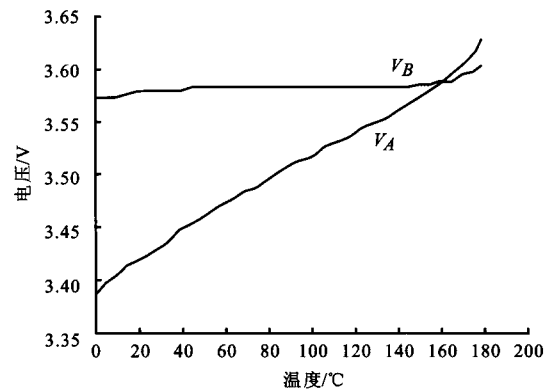


图5 比较器输入端电压随温度变化仿真结果

4.2 过温保护电路输出电压的仿真

图6所示为过温保护电路输出电压 V_{OUT} 的仿真结果. 仿真结果表明, 当温度超过 160°C 时, V_{OUT} 输出为低电平, 关闭收发器, 使芯片发热量降低, 起到过温保护的作用; 当温度降低到 120°C 时, V_{OUT} 输出变为高电平, 收发器可以正常工作, 热滞回区间为 40°C , 消除了热振荡现象.

5 结束语

在 CMOS 过温保护电路原理的基础上, 文中基于 CSMC 0.5 μm COMS 工艺, 设计了一种应用于 LIN

(下转第 83 页)

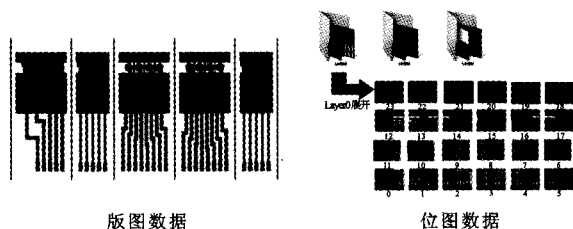


图6 测试数据二

6 结束语

本文结合数字无掩膜光刻系统的实际需求,采用矢量几何运算的方法,设计并实现了一种新型的 IC 版图数据接口。通过理论分析与实验验证,可以得出以下结论:①接口具有普适性。该接口可以兼容微电子领域的两种工业标准的 IC 版图数据——GDSII 和 CIF,扩大了数字光刻系统的适用范围。②接口算法具有低复杂度、高精度、高效率的特点。它采用窗口裁剪的方式来解决 IC 版图文件和接口文件的精度冲突,同时,也考虑了 IC 版图中以及版图处理过程中可能出现的特殊矢量图形,以及特殊矢量图形组合而导致转换图形丢失的情况,并成功的解决之。③接口的实现对大规模集成电路的制作具有现实意义。

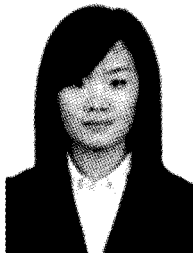
参考文献:

- [1] 佟军民,胡松,余国彬. 下一代光刻技术[J]. 电子工业专用设备 2005, 34(11): 27—33.

- [2] 郭小伟. SLM 无掩膜光刻技术的研究[D]. 四川:四川大学. 2007.
- [3] 吴智华. 高分辨率衍射图形的 DMD 并行激光干涉直写[J]. 光子学报, 2008, 37(9): 1784—1787.
- [4] 赵立新. 数字灰度投影光刻技术[J]. 微纳电子技术, 2009, 46(3): 181—185.
- [5] Campbell S A. The science and engineering of micro-electronic fabrication[M]. Beijing: Publication House of Electronics Industry, 2003: 151—155.
- [6] 顾文琪. 电子束曝光微纳加工技术[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2004: 199—213.
- [7] 陈宝钦. 电子束光刻技术与图形数据处理技术[J]. 微纳电子技术, 2011, 48(6): 345—352.
- [8] 蒋兴华, 李辉, 李显杰. 一种将 GDSII 文件转换为无掩膜光刻机曝光数据的方法[P]. 中国, 201010143778. X, 2010.
- [9] 魏淑华, 韩立. 电子束曝光数据格式转换中的图形离散算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(4): 198—201.

作者简介:

李 博 女, (1987—), 硕士. 研究方向为图形图像处理及微电子设备。



(上接第 78 页)

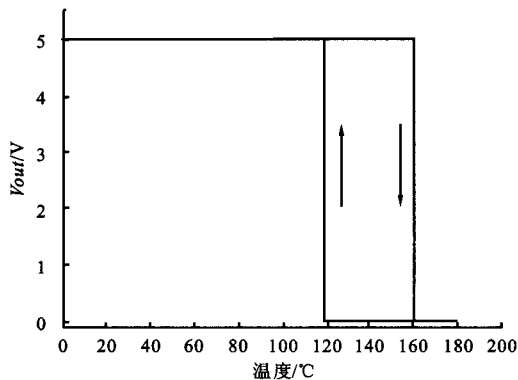


图6 过温保护电路输出电压仿真结果

收发器的过温保护电路。利用 Cadence Spectre 仿真工具进行仿真, 仿真结果表明, 该过温保护电路热关断温度为 160℃, 热开启温度为 120℃, 热滞回区间为 40℃, 符合 LIN 收发器的过温保护的性指标。

参考文献:

- [1] 王绍铤, 李建秋. 汽车电子学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 464—465.
- [2] 宫磊. CAN 总线收发器的研究与设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [3] 潘飞蹊, 俞铁钢, 郭超. 一种高精度带隙基准源和过温保护电路[J]. 微电子学, 2005, 35(2): 192—195.
- [4] Gray P R, Hurst P J. 模拟集成电路的分析与设计[M]. 张晓林, 译. 北京: 高等教育出版社, 2010: 62—63.
- [5] 王进军, 王侠, 史永胜, 等. 一种应用于 LDO 的高性能过温保护电路设计[J]. 陕西科技大学学报, 2009, 27(3): 98—100.

作者简介:

秦怀斌 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为 LIN 总线收发器电路、CAN/LIN 总线网关。

王忆文 男, (1966—), 教授. 研究方向为汽车电子芯片、SOC/SOPC 的设计测试。