

引用格式:李阳军,杨艳军,陈鸣,等.一种具有工艺补偿的低功耗 CMOS 参考电流源[J].微电子学与计算机,2021,38(2):62-65. [LI Y J, YANG Y J, CHEN M, et al. A low power CMOS current reference with process-insensitive temperature compensation[J]. Microelectronics & Computer, 2021, 38(2): 62-65.]

一种具有工艺补偿的低功耗 CMOS 参考电流源

李阳军¹, 杨艳军¹, 陈 鸣², 张成彬²

(1 遵义师范学院 物理与电子科学学院, 贵州 遵义 563006; 2 中国科学院 微电子研究所, 北京 100029)

摘 要: 为了减小工艺对电流源温度系数的影响, 本文提出了一种 CTAT 电压产生电路, 能够产生温度系数对工艺不敏感的 CTAT 电压; 结合温度系数对工艺不敏感的片上电阻, 设计了一种具有工艺补偿的参考电流源. 参考电流源电路基于 0.18 μm CMOS 工艺设计, 电源电压为 1.8 V, 版图面积为 100 $\mu\text{m} \times 130 \mu\text{m}$. 后仿真结果表明, tt 工艺角下输出参考电流为 32.5 nA, 整个参考电流源电路消耗电流 162 nA; 在 -40~125 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内, tt, ff 和 ss 工艺角下的温度系数分别为 39 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 、45 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 和 35 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

关键词: CMOS; 参考电流源; 低功耗; 工艺补偿

中图分类号: TN492

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2021)02-0062-04

A low power CMOS current reference with process-insensitive temperature compensation

LI Yang-jun¹, YANG Yan-jun¹, CHEN Ming², ZHANG Cheng-bin²

(1 School of Physics and Electronic Science, Zunyi Normal College, Zunyi 563006, Guizhou, China;

2 Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to reduce the influence of process on temperature coefficient of current reference, a CTAT voltage generation circuit is proposed in this paper, which can generate CTAT voltage with temperature coefficient insensitive to process. Combined with on-chip resistor which has process-independent temperature coefficient, a current reference with process compensation is designed. The proposed current reference is designed based on 0.18 μm CMOS technology with the power supply of 1.8 V, and the layout area is 100 $\mu\text{m} \times 130 \mu\text{m}$. Post-simulation results show that the current reference consumes 162 nA and the output current is 32.5 nA at tt corner. Within the temperature range of -40~125 $^{\circ}\text{C}$, the temperature coefficients at tt, ff and ss corner are 39 ppm/ $^{\circ}\text{C}$, 45 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ and 35 ppm/ $^{\circ}\text{C}$, respectively.

Key words: CMOS; current reference; Low power; Process compensation

1 引言

电流源是模拟电路、混合信号电路以及射频电路里面一个不可或缺模块,它产生对温度、工艺、电源电压等不敏感的精确电流,为其他电路模块提

供参考电流,便携式电子系统的快速发展,对电流源的工作电压以及功耗也提出了更高的要求.文献[1]探讨了晶体管阈值电压 V_{TH} 和迁移率 μ 的温度特性,依此设计实现了一种具有工艺补偿的 CMOS 电流源,温度系数为 185 ppm;文献[2]中,作者采用 n-

收稿日期:2020-05-20;修回日期:2020-06-29

基金项目:国家重点研发计划(2018YFB2002604);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2018]317 号);遵义市科技局、遵义师范学院联合科技研发资金项目(遵师科合 LH 字[2018]01 号)

从式(8)中可以看出, α_{CTAT} 的值是负的, 即 V_{CTAT0} 表现为负温度系数. 如果忽略晶体管失配和 ζ 的影响, α_{CTAT} 的值由 N 决定, 而不受工艺角的影响. 本文采用 Xfab 0.18 μm CMOS 工艺进行设计, 当 N 为 2 时, 不同工艺角下 V_{CTAT} 与温度的关系如图 3 所示, 可见 V_{CTAT} 表现为负温度系数, 约为 $-130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, 且受工艺角的影响很小.

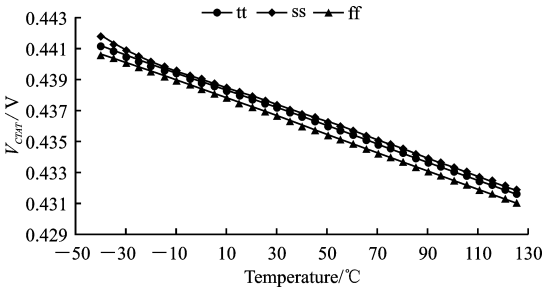


图 3 不同工艺角下 V_{CTAT} 与温度的关系

只考虑一阶温度效应时, 电阻可以表示为

$$R(T) = R_0(1 + \alpha_R \Delta T) \tag{9}$$

式中, R_0 是温度为 T_0 的电阻值. Xfab 0.18 μm CMOS 工艺中, 单一电阻的温度系数都不满足要求, 因此本文采用 npoly 电阻和 ppoly 电阻串联(图 2 中的 $R1$ 和 $R2$) 的方式来得到 $130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 的温度系数, 串联后总电阻的温度系数为^[7]

$$\alpha_R = \alpha_{npoly} \frac{R_{ppoly}}{R_{npoly} + R_{ppoly}} + \alpha_{ppoly} \frac{R_{npoly}}{R_{npoly} + R_{ppoly}} \tag{10}$$

式中, α_{npoly} 和 α_{ppoly} 和分别为 npoly 电阻和 ppoly 电阻的温度系数; R_{npoly} 和 R_{ppoly} 分别为 npoly 电阻和 ppoly 电阻的阻值, 可见通过调节 R_{npoly} 和 R_{ppoly} 可以得到合适的 α_R . 不同工艺角下总电阻与温度的关系的如图 4 所示, 从图中可以看出, 串联后的总电阻具有负温度系数, 约为 $130 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, 虽然不同工艺角下的阻值不一样, 但是温度系数变化很小. 由于 V_{CTAT} 和电阻在不同工艺角下的温度系数基本不变, 从而保证参考电流源在不同工艺角下都具有温度补偿.

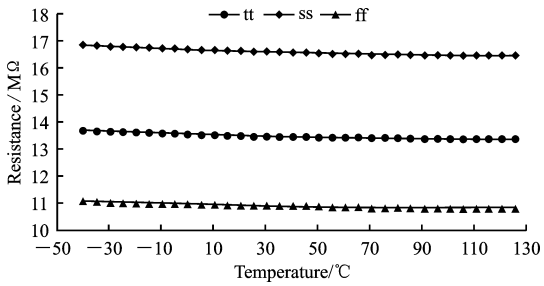


图 4 不同工艺角下电阻值与温度的关系

4 仿真结果

本文提出的参考电流源采用 Xfab 0.18 μm CMOS 工艺设计, 工作电压为 1.8 V. 版图尺寸为 $100 \mu\text{m} \times 130 \mu\text{m}$, 由于输出参考电流为 32.5 nA, 需要比较大的电阻, 版图中电阻占据了较大面积.

输出参考电流 I_{REF} 与温度的关系的后仿真结果如图 5 所示, 温度变化范围为 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 时, tt、ff 和 ss 工艺角下输出参考电流 I_{REF} 均具有一阶温度补偿, 对应的温度系数分别为 $39 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 、 $45 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 和 $35 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, 说明设计的参考电流源受工艺角影响很小, 具有工艺补偿, 验证了前文的分析.

表 1 本文的参考电流源与其它文献的参数对比

参数	文献[1]	文献[2]	文献[3]	文献[4]	本文
工艺(μm)	0.18	0.25	0.35	0.18	0.18
面积(mm^2)	N. A.	0.0136	N. A.	0.032	0.013
工作电压(V)	1	1.5	2.5	1.8	1.8
温度范围($^\circ\text{C}$)	0—100	—40—150	—30—100	—40—85	—40—125
参考电流(μA)	144	5	13.65	0.0922	0.0325(tt)
温度系数($\text{ppm}/^\circ\text{C}$)	185	74	28 ^a	177	39 ^a

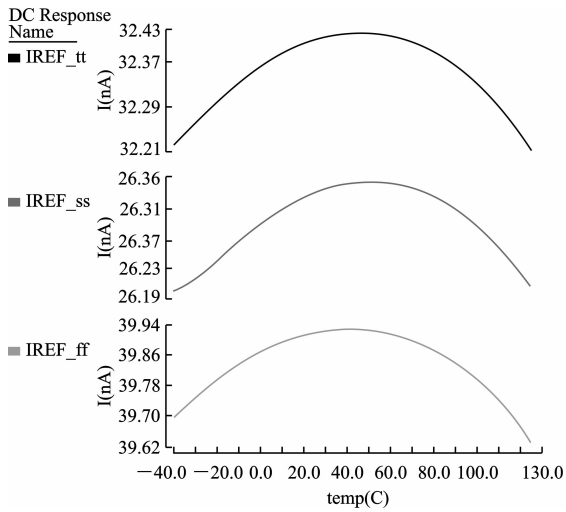


图 5 输出参考电流与温度的关系

图 6 所示为参考电流与电源电压的关系, 不同工艺角下, 输出参考电流大小由该工艺角下的电阻值和电源电压所决定. 从图中可以看出, 当电源电压大于 1.1 V 时, 输出参考电流的大小与电源电压成正比, 这是由于 V_{CTAT} 电压正比于电源电压的缘故. 如果要求输出参考电流不随电源电压变化, 可以采用 LDO 进行供电. 表 1 所示为本文设计的参考电流源与其他参考文献的性能对比结果.

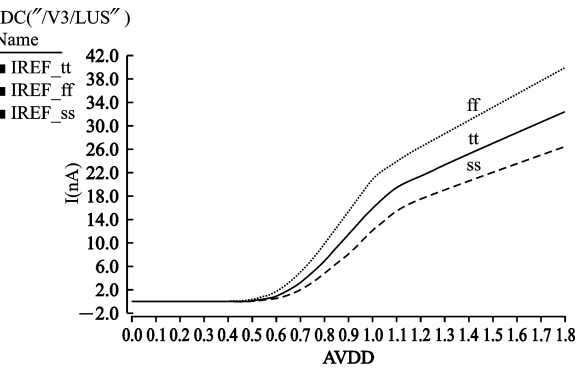


图 6 输出参考电流与电源电压的关系

5 结束语

本文基于 CMOS 0.18 μm 工艺设计了一种新型参考电流源,使用 npoly 电阻、ppoly 电阻以及对工艺不敏感的 CTAT 电压来实现温度补偿和工艺补偿.电路工作电压为 1.8 V,版图面积为 0.013 mm^2 .后仿真结果表明,tt 工艺角下输出参考电流为 32.5 nA,电流参考源电流消耗的电流为 162 nA;—40~125 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,tt、ff 和 ss 工艺角下输出参考电流的温度系数分别为 39 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 、45 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 和 35 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

参考文献:

[1] BENDALI A, AUDET Y. A 1-V CMOS current reference with temperature and process compensation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2007, 54(7): 1424-1429. DOI: 10.1109/TC-SI.2007.900176.

[2] BADILLO D A. 1.5V CMOS current reference with extended temperature operating range[C]//2002 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Proceedings (Cat. No. 02CH37353). Phoenix-Scottsdale: IEEE, 2002: III. DOI: 10.1109/ISCAS.2002.1010194.

[3] FIORI F, CROVETTI P S. A new compact temperature-compensated CMOS current reference[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2005, 52(11): 724-728. DOI: 10.1109/TC-SII.2005.852529.

[4] CHOUHAN S S, HALONEN K. A 0.67- μm 177-ppm/ $^{\circ}\text{C}$ All-MOS current reference circuit in a 0.18- μm CMOS technology[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2016, 63(8): 723-727. DOI: 10.1109/TCSII.2016.2531158.

[5] TSIVIDIS Y, MCANDREW C. Operation and modeling of the MOS transistor[M]. Oxford: Oxford University Press, 2011.

[6] FILANOVSKY I M, ALLAM A. Mutual compensation of mobility and threshold voltage temperature effects with applications in CMOS circuits[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 2001, 48(7): 876-884. DOI: 10.1109/81.933328.

[7] GREGOIRE B R, MOON U K. Process-independent resistor temperature-coefficients using series/parallel and parallel/series composite resistors[C]//2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. New Orleans: IEEE, 2007: 2826-2829. DOI: 10.1109/ISCAS.2007.378760.

作者简介:

李阳军 女,(1985),硕士,讲师.研究方向为信号与信息处理.

杨艳军(通讯作者) 男,(1986),博士,副教授.研究方向为数模混合集成电路设计. E-mail:leo_yang@hnu.edu.cn

陈 鸣 男,(1985),博士,副研究员.研究方向低功耗模拟集成电路设计.

张成彬 男,(1989),硕士,助理研究院.研究方向为低功耗模拟集成电路设计.