

文章编号: 2096-1618(2019)03-0243-03

# 一种基于 BJT 工艺的无运放低温系数带隙基准源

王 银, 聂 海, 毛 焜  
(成都信息工程大学, 四川 成都 610225)

**摘要:**如今集成电路工艺更多采用的是 CMOS 工艺,因为具有功耗低便于集成等特点。但 BJT 工艺仍然有不可替代的优点,它具有电驱动能力强上电速度快的特点,且工艺简单,成本更低,在需要高功率大电压的环境中,采用 BJT 工艺仍然是不错的选择。提出了一种基于 BJT 工艺的无运放低温系数的带隙基准源,适用温度范围广,在  $-40^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$  都具有较好的温度特性。该电路采用重庆二十四所的 WX40 工艺,测试结果显示能产生较高精度的 3.3 V 电压源,且电压源抑制比高达 85 dB,同时具有极高的线性调整率,可以在 11 ~ 40 V 的电压范围下工作,温漂系数为 14 PPM。

**关键词:**基准电压源;温度系数;无运放;三极管

**中图分类号:** TN431

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.006

## 0 引言

在集成电路中基准电压源是一个心脏,没有一个稳定的基准源系统将不能正常的工作。基准电压源使用广泛,例如在变频转换器、ADC、DAC 以及动态的存储器 and 传感器中,其电压精度以及稳定<sup>[1]</sup>的特性直接影响整个系统的性能。因此,集成电路设计中对基准电压源都有极高的要求。早在 20 世纪 80 年代,国外就已经提出了带隙基准源的技术,发展到今天,技术已经很成熟。

在传统的设计中,设计者往往会采用运算放大器,但是这会带来一个问题,失调电压会很大程度地影响基准电压源的精度。为解决这些问题,基于现有的电压源设计原理,本文设计了带有启动电路的无运放的基准电压源,且具有较高的电源电压抑制比。

## 1 电路结构

### 1.1 基本原理介绍

从已有模拟知识中知道,我们需要的是一个与温度无关的且不受电源影响的基准电压源<sup>[2-15]</sup>。目前的技术几乎都采用了在室温下为负温度系数的 pn 结二极管电压  $V_{BE}$ ,以及和绝对温度成正向系数关系的热电压  $V_T$ ,利用它们的温度系数关系产生一个不受温度影响的电压。而在常温环境中,二极管的 pn 电压温度系数大约为  $-2\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ,在室温下温度系数  $\partial V_T/\partial T = +0.087\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。所以,可以得到

$$V_{REF} = V_{BE} + KV_T \quad (1)$$

其中  $K$  为常数,其原理如图 1 所示。

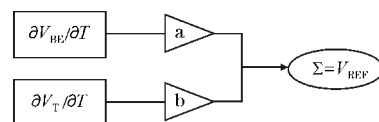


图1 基本原理结构图

在小信号模型中,  $V_{BE}$  表现为小电阻,因此受电源的影响较小,将式(1)对温度求导,就能得出温度系数。

### 1.2 结构设计

基于现有的知识原理,设计了一种基于 BJT 工艺的无运放低温系数的带隙基准源,如图 2 所示。

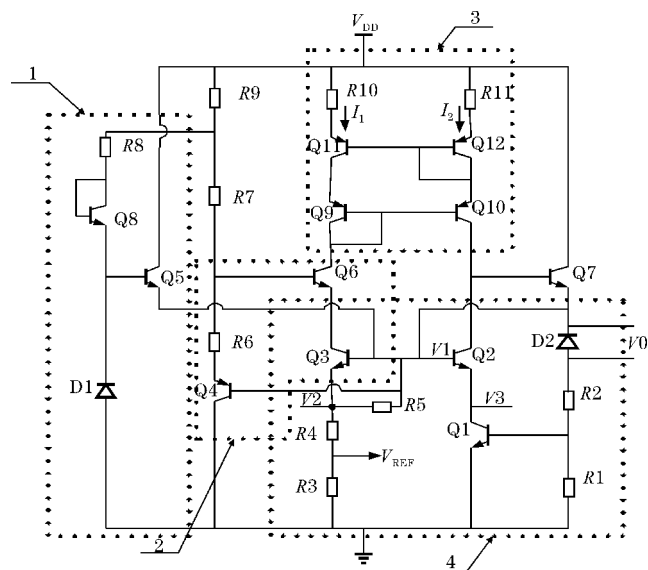


图2 完整的结构示意图

在图 2 中包含了 4 个部分,分别是启动电路 1,反馈电路 2,微电流源 3,以及产生带隙的电路 4。当整个电路开始上电时,D1 会反向击穿形成一个稳定的电压,此时 Q5 会有电流产生,在 Q2 和 Q3 的基极积累大量的电荷,

当电荷量足够时,整个电路启动开始正常工作,启动电路关闭降低功耗。三极管 Q4 和 Q6 是作为反馈用的,在电路正常工作中,Q6 会从微电流源 3 中抽取需要的电流,Q9 和 Q10,Q11 和 Q12 相互之间构成了电流镜,因为  $R_{10}$  和  $R_{11}$  的存在,此微电流源是一个比例电流镜, $I_1$  为  $R_{10}$  上的电流, $I_2$  为  $R_{11}$  上的电流,构成比例关系为

$$I_2=I_1\times\frac{R_{10}}{R_{11}}\tag{2}$$

为了分析方便,此处将  $I_1$  与  $I_2$  设为相等的电流,即  $R_{10}$  与  $R_{11}$  设置为相等大小。以此减小  $V_{CE}$  带来的影响。

第四部分是本电路的核心部分,产生一个与温度无关的基准电压源。模块 4 为带隙基准单元模块,D2 是稳压二极管,它的反向击穿电压是  $V_0$ ,Q3 和 Q2 三极管排列的个数成比例关系,当流过的电流大小相同时,Q3 和 Q2 的基极-发射极的电压不同,从而产生正温度系数的电压差,假设 Q3 的射极电压是  $V_2$ ,Q2 的射极电压是  $V_3$ ,Q2 和 Q3 的基极电压是  $V_1$ ,下面的关系式将有助于得出一个与绝对温度无关的输出电压:

$$V_2+V_{BE(Q3)}=V_3+V_{BE(Q2)}\tag{3}$$

$$V_1=V_0+V_{BE(Q1)}+V_{BE(Q1)}\frac{R_2}{R_1}\tag{4}$$

$$V_2=V_3+V_{BE(Q2)}-V_{BE(Q3)}=V_3+\Delta V_{BE}\tag{5}$$

$$V_3=V_1-V_{BE(Q2)},V_{BE(Q2)}=V_{BE(Q1)}\tag{6}$$

将式(3)、(4)、(6)带入式(5)中,可以得到

$$V_2=V_0+V_{BE(Q1)}\frac{R_2}{R_1}+\Delta V_{BE}\tag{7}$$

从式(7)看出通过调节电阻  $R_2$  和  $R_1$  的比例,可以得到一个低温度系数的电压  $V_2$ ,输出电压  $V_{REF}$  是通过电阻  $R_3$  和  $R_4$  分压得到的,这里忽略电阻的温度特性,因此  $V_{REF}$  同样是一个与绝对温度无关的电压。齐纳二极管同样具有正温度系数,因此在仿真时  $R_2$  与  $R_1$  的比例关系会较大。

2 仿真结果

采用重庆二十四所 WX40 工艺以及软件 cadence 进行仿真。仿真条件设置温度范围为  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,电源电压的范围是  $10 \sim 40\text{ V}$ ,具有耐高压的特点,输出电压设计为  $3.3\text{ V}$ ,仿真结果如图 3~5 所示,计算可得温漂系数为  $14\text{ PPM}$ 。

图 3 为输出电压随温度变化曲线图,可以看出输出电压在  $3.29 \sim 3.305\text{ V}$ ,测量温度在  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,所以输出电压很稳定,是一个与温度无关的电压。

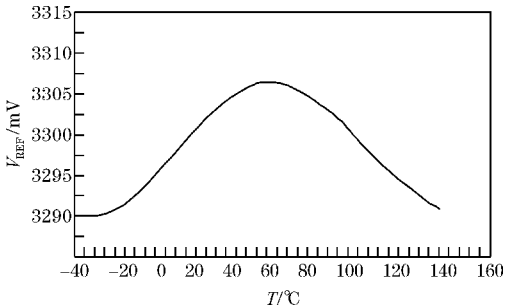


图 3 温度-电压曲线图

图 4 是仿真整个基准源的小信号特性,从图 4 可以直观地看到,本设计具有很高的电压源抑制比,在低频状态下可以达到  $85\text{ dB}$ 。因此,输出电源对输出的基准电压的影响是很小的。

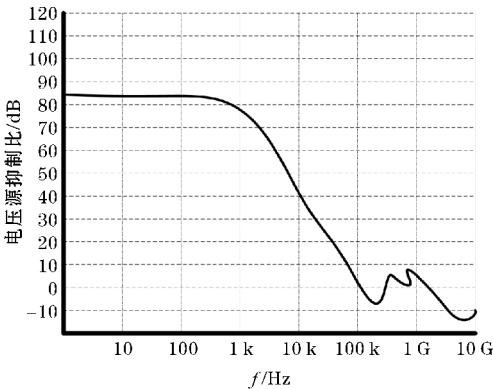


图 4 电源电压抑制比特性曲线

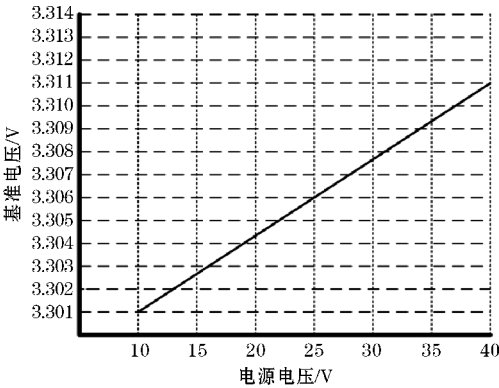


图 5 线性调整率仿真曲线

图 5 是线性调整率仿真曲线,仿真温度设为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在常温环境下进行仿真,从图 5 可以看出基准电压随着电源的增大呈现正向变化,但是变化的范围极小,仅有  $100\text{ }\mu\text{V}$ ,因此在电源输入为  $10 \sim 40\text{ V}$  时,基准源都能稳定工作,不会有大的改变。

表 1 为文中参数和文献的对比结果。

表 1 文中与其它同类技术的对比结果

性能指标	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	温度系数/ppm	线性调整率/%	输入电压范围/V
文献 3	$-40 \sim 125$	6.8	0.2	$0.8 \sim 1.8$
文中	$-40 \sim 140$	14	0.04	$10 \sim 40$

### 3 结束语

介绍了一种基于BJT工艺的无运放低温度系数带隙基准源,在Typical工艺角条件下,输出电压为3.29~3.305V,并采用无运放设计减少设计面积,避免了失调电压的影响,线性调整率有较好的表现,同时更加适应高温度的工作环境,但功耗方面会略高,这也是改进的方向。

致谢:感谢成都信息工程大学项目(KYTZ201626)对本文的资助

### 参考文献:

- [1] 江金光,王耀南.高精度带隙基准电压源的实现[J].半导体学报,2004(7):852-857.
- [2] 冯勇建,胡洪平.一种低功耗CMOS带隙基准电压源的实现[J].微电学,2007(2):231-233.
- [3] 张瑛,王剑,周洪敏.一种低温度系数的带隙基准电压源设计[J].计算机技术与发展,2016,26(2):150-153,160.
- [4] 汪宁,魏同立.一种具有高电源抑制比的低功耗CMOS带隙基准电压源[J].微电子学,2004(3):330-333.
- [5] 徐星,袁红辉,陈世军,等.高性能CMOS带隙基准电压源及电流源的设计[J].半导体技术,2011,36(3):229-233.
- [6] 吴贵能,周玮,李儒章,等.通用二阶曲率补偿带隙基准电压源[J].微电子学,2010,40(2):204-208.
- [7] 张普杰,王卫东,李耀臻.电流模式的高阶曲率补偿CMOS带隙基准源[J].微型机与应用,2017,36(24):16-18,21.
- [8] 李睿,冯全源.一种高性能曲率补偿带隙基准源

- 的设计[J].微电子学,2016,46(3):328-331.
- [9] 陈忠学,唐杰,章国豪.无运放高阶温度补偿的基准电路设计[J].固体电子学研究与进展,2016,36(2):159-164.
- [10] 吴杰,方健,杨毓俊,等.一种简单的高精度3阶补偿带隙电压基准源[J].微电子学,2013,43(4):460-463.
- [11] 杨晓春,于奇,宋文青,等.一种采用斩波调制的高精度带隙基准源的设计[J].微电子学与计算机,2013,30(1):86-89.
- [12] Min-Chin Lee, Shao-Qing Hong. Design and implementation of a voltage-controlled oscillator with band-gap voltage reference source and temperature sensing[J]. 2017 International Conference on Green Energy and Applications(ICGEA), Singapore, 2017:39-45.
- [13] H Cao, Z Yu, H Deng, et al. A reference voltage source and its output buffer for pipeline ADC[J]. 2014 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID), Macao, 2014:1-5.
- [14] L Huigang, G Weidong, L Yanyan. Design of reference voltage source integrated in LCoS chip[J]. 2010 Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia), Shanghai, 2010:162-165.
- [15] M Zhiyong, S. Zhanyou and X. Yunfeng. Design Principle of the Precision Digital Control Reference Voltage Source[J]. 2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments, Xi'an, 2007:448-452.

## A Band-gap Reference with no Operational Amplifier and Low Temperature Coefficient based on BJT Technology

WANG Yin, NIE Hai, MAO Kun

(Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Today's integrated circuit technology uses a CMOS process because of its low power consumption and ease of integration. However, the BJT process still has irreplaceable advantages. It has the characteristics of strong electric drive capability, fast power-up, simple process and lower cost. It is still a good choice to use the BJT process in environments requiring high power and high voltage. In this paper, a band-gap reference with no operational coefficient and low temperature coefficient based on BJT technology is proposed. It has a wide temperature range and good temperature characteristics in the range of  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The circuit adopts the WX40 process of Chongqing Analog Foundries Co., Ltd. The test results show that it can produce a 3.3 V high-accuracy voltage source, and the power supply rejection is as high as 85 dB. At the same time, it has extremely high linearity adjustment rate, and can work in the voltage range of 11~40 V. The temperature drift coefficient is 14 PPM.

**Keywords:** reference voltage; temperature coefficient; operational amplifier; transistor