



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107422777 A

(43)申请公布日 2017.12.01

(21)申请号 201710342034.2

(22)申请日 2017.05.16

(71)申请人 四川和芯微电子股份有限公司
地址 610041 四川省成都市高新区吉泰路
33号A座9楼

(72)发明人 何力

(51)Int. Cl.
G05F 1/575(2006.01)

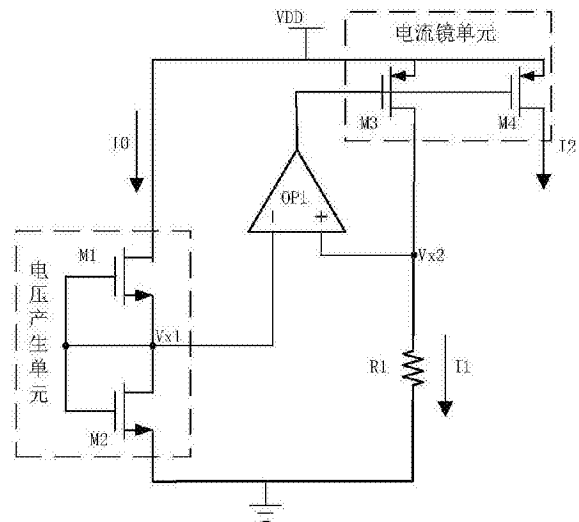
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

PTAT电流源

(57)摘要

本发明公开了一种PTAT电流源,其包括电压产生单元、运算放大器、电阻及电流镜像单元,一外部电压输入至所述电压产生单元,所述电压产生单元产生一正比于绝对温度的电压并输入至所述运算放大器的反相输入端,所述运算放大器的正相输入端与所述电阻的一端连接,所述电阻的另一端接地,所述电流镜像单元分别与所述运算放大器的输出端及电阻的一端连接,以镜像流过所述电阻的电流,并输出PTAT电流。本发明的PTAT电流源具有更高的电流输出效率,降低了功耗和制造成本。



1. 一种PTAT电流源,其特征在于,包括电压产生单元、运算放大器、电阻及电流镜像单元,一外部电压输入至所述电压产生单元,所述电压产生单元产生一正比于绝对温度的电压并输入至所述运算放大器的反相输入端,所述运算放大器的正相输入端与所述电阻的一端连接,所述电阻的另一端接地,所述电流镜像单元分别与所述运算放大器的输出端及电阻的一端连接,以镜像流过所述电阻的电流,并输出PTAT电流。

2. 如权利要求1所述的PTAT电流源,其特征在于,所述电压产生单元包括第一场效应管与第二场效应管,外部电压输入所述第一场效应管的漏极,第二场效应管的源极接地,所述第一场效应管的栅极、源极及第二场效应管的栅极、漏极共同连接并与所述运算放大器的反相输入端连接,以将生成的正比于绝对温度的电压输入至所述运算放大器的反相输入端。

3. 如权利要求2所述的PTAT电流源,其特征在于,所述第一场效应管与第二场效应管为具有相同结构特征的N型场效应管。

4. 如权利要求1所述的PTAT电流源,其特征在于,所述电流镜单元包括第三场效应管与第四场效应管,所述第三场效应管与第四场效应管的源极均与外部电源连接,所述第三场效应管与第四场效应管的栅极均与所述运算放大器的输出端连接,所述第三场效应管的漏极与所述电阻的一端连接,所述第四场效应管的漏极输出PTAT电流。

5. 如权利要求4所述的PTAT电流源,其特征在于,所述第三场效应管及第四场效应管均为P型场效应管。

PTAT电流源

技术领域

[0001] 本发明涉及集成电路领域,更具体地涉及一种PTAT电流源。

背景技术

[0002] PTAT(proportional to absolute temperature,与绝对温度成正比)电流源指的是输出电流大小与绝对温度(热力学温度)成正比例关系的电流源,即输出电流大小I(单位为安培)和其所在环境温度T(单位为开尔文)的关系满足 $I=AT$ (A为固定常量)。PTAT电流源由于其独特的温度特性,经常以子电路的形式被用于集成电路设计领域。例如:作为温度传感器的核心单元:由于其输出电流与绝对温度成正比,因此可以通过某种机制,测量PTAT电流源输出电流大小,从而反映当前的环境温度;另外,作为运算放大器、比较器等集成电路模块提供偏置电流:通常情况下来讲,运算放大器、比较器等集成电路模块的某些性能(如开环增益,压摆率等)会随着温度的升高而降低,因此在温度较高时需要更大的偏置电流来补偿随温度升高而降低的电路性能,而PTAT电流源恰好满足该特性。

[0003] 现有技术的PTAT电流源的结构如图1所示。其中,场效应管M1、M2、M3均为P型MOS管,三个场效应管M1、M2、M3的栅极连在一起,具有共同的栅源电压,因此可以近似认为三个场效应管M1、M2、M3具有相等的漏极输出电流,记为 I_1 。运算放大器OP1使得场效应管M1、M2的漏极节点电压 V_{x1} , V_{x2} 相等($V_{x1}=V_{x2}$),从而消除由于沟道长度调制效应引入的场效应管M1和M2的漏极输出电流的失配。Q1为单个PNP型BJT管,Q2为BJT管组,即为n个与Q1相同的BJT管并联后形成的组合BJT管,流入Q1和Q2发射极的电流均为 I_1 ,流入Q2中的单个BJT管的发射极电流为 I_1/n 。其中,各个BJT管的发射极电位大小 V_e 与其发射极流入电流 I_e 近似满足以下关系:

$$[0004] \quad V_e = \frac{kT}{q} * \ln\left(\frac{I_e}{I_s}\right)$$

[0005] 上式中, I_s 表示BJT管的饱和电流,k为玻尔兹曼常量,T为绝对温度,q为单电子所带电荷量。

[0006] 从图1的电路连接关系可以得出节点电压 V_{x1} , V_{x3} 满足以下关系:

$$[0007] \quad V_{x1} = \frac{kT}{q} * \ln\left(\frac{I_1}{I_s}\right)$$

$$[0008] \quad V_{x3} = \frac{kT}{q} * \ln\left(\frac{I_1}{n * I_s}\right)$$

$$[0009] \quad V_{x1} - V_{x3} = \frac{kT}{q} * \ln(n)$$

[0010] $V_{x1}-V_{x3}$ 表示电阻R1两端电压,因此 I_1 满足:

$$[0011] \quad I_1 = \frac{\frac{kT}{q} * \ln(n)}{R_1}$$

[0012] 由于该电路输出电流大小等于 I_1 ,并且从上式可以看出 I_1 满足与绝对温度成正比关系的特征(比例系数为 $k * \ln(n) / (q * R_1)$),因此该电路实现了输出PTAT电流的功能。

[0013] 但是,现有技术的PTAT电流源采用了BJT器件,使得其在工艺厂流片时不能兼容标准的CMOS工艺,只能使用BiCMOS工艺生产。在电路总器件个数相同的情况下,BiCMOS工艺的成本较标准CMOS工艺更高。由于现有技术PTAT电流源中BJT管的存在,使得其制造成本较高。另外,为了得到一定大小的PTAT电流输出(例如大小为 I_1 的电流,如图1所示),现有技术的PTAT电流源需要同时在图1中场效应管M1和M2的漏极处分别产生大小为 I_1 的电流,加上输出电流,该电路总共的静态电流为 $3 * I_1$ (忽略运算放大器的静态电流)。电路电流输出的效率为 $I_1 / (3 * I_1) = 33.3\%$,使得有66.7%的静态电流被浪费掉了,从而增加了电路的功耗。

[0014] 因此有必要提供一种可以增加电路电流输出的效率,在输出相同大小电流的情况下,电路消耗更低功耗的PTAT电流源来服上述缺陷。

发明内容

[0015] 本发明的目的是提供一种PTAT电流源,本发明的PTAT电流源只需要MOS器件,且能兼容标准CMOS工艺,并且具有更高的电流输出效率,进一步降低了功耗和制造成本。

[0016] 为实现上述目的,本发明提供一种PTAT电流源,其包括电压产生单元、运算放大器、电阻及电流镜像单元,一外部电压输入至所述电压产生单元,所述电压产生单元产生一正比于绝对温度的电压并输入至所述运算放大器的反相输入端,所述运算放大器的正相输入端与所述电阻的一端连接,所述电阻的另一端接地,所述电流镜像单元分别与所述运算放大器的输出端及电阻的一端连接,以镜像流过所述电阻的电流,并输出PTAT电流。

[0017] 较佳地,所述电压产生单元包括第一场效应管与第二场效应管,外部电压输入所述第一场效应管的漏极,第二场效应管的源极接地,所述第一场效应管的栅极、源极及第二场效应管的栅极、漏极共同连接并与所述运算放大器的反相输入端连接,以将生成的正比于绝对温度的电压输入至所述运算放大器的反相输入端。

[0018] 较佳地,所述第一场效应管与第二场效应管为具有相同结构特征的N型场效应管。

[0019] 较佳地,所述电流镜单元包括第三场效应管与第四场效应管,所述第三场效应管与第四场效应管的源极均与外部电源连接,所述第三场效应管与第四场效应管的栅极均与所述运算放大器的输出端连接,所述第三场效应管的漏极与所述电阻的一端连接,所述第四场效应管的漏极输出PTAT电流。

[0020] 较佳地,所述第三场效应管及第四场效应管均为P型场效应管。

[0021] 与现有技术相比,本发明的PTAT电流源,由于所述电压生成单元产生一正比于绝对温度的电压,由于运算放大器的“虚短”作用,使得运算放大器正相输入端的电压等于其指反相输入端的电;因此,流入电阻的电流大小满足PTAT特性;同时,通过电流镜单元,流入电阻的电流被镜像后输出PTAT电流;因此,在本发明的PTAT电流源电路中,除了PTAT电流外,只有一路流经电阻的静态电流,提高了电流源的效率。

[0022] 通过以下的描述并结合附图,本发明将变得更加清晰,这些附图用于解释本发明的实施例。

附图说明

[0023] 图1为现有技术的PTAT电流源的电路结构图。

[0024] 图2为本发明的PTAT电流源的电路结构图。

具体实施方式

[0025] 现在参考附图描述本发明的实施例,附图中类似的元件标号代表类似的元件。如上所述,本发明提供了一种PTAT电流源,本发明的PTAT电流源具有更高的电流输出效率,降低了功耗和制造成本。

[0026] 请参考图2,图2为本发明的PTAT电流源的电路结构图。如图所示,本发明的PTAT电流源包括电压产生单元、运算放大器OP1、电阻R1及电流镜像单元;一外部电压VDD输入至所述电压产生单元,以使得所述电压产生单元产生一正比于绝对温度的电压 V_{x1} 并输入至所述运算放大器OP1的反相输入端,且流过所述电压产生单元的电流为 I_0 ;所述运算放大器OP1的正相输入端与所述电阻R1的一端连接,所述电阻R1的另一端接地,所述电流镜像单元分别与所述运算放大器OP1的输出端及电阻R1的一端连接,以镜像流过所述电阻R1的电流 I_1 ,并输出PTAT电流 I_2 ,以使得 $I_2 = I_1$ 。

[0027] 具体地,请再参考图2。所述电压产生单元包括第一场效应管M1与第二场效应管M2,外部电压VDD输入所述第一场效应管M1的漏极,第二场效应管M2的源极接地,所述第一场效应管M1的栅极、源极及第二场效应管M2的栅极、漏极共同连接并与所述运算放大器OP1的反相输入端连接,以将生成的正比于绝对温度的电压 V_{x1} 输入至所述运算放大器OP1的反相输入端。且,作为本发明的优选实施例,所述第一场效应管M1与第二场效应管M2为具有相同结构特征的N型场效应管,从而使得第一场效应管M1的阈值电压 V_{th1} 与第二场效应管M2的阈值电压 V_{th2} 相同,即: $V_{th1} = V_{th2}$ 。

[0028] 进一步地,所述电流镜像单元包括第三场效应管M3与第四场效应管M4,所述第三场效应管M3与第四场效应管M4的源极均与外部电源VDD连接,所述第三场效应管M3与第四场效应管M4的栅极均与所述运算放大器OP1的输出端连接,所述第三场效应管M3的漏极与所述运算放大器OP1的正相输入端连接,所述第四场效应管M4的漏极输出PTAT电流 I_2 ;也即整个电流镜像单元将所述电流 I_1 镜像至所述第四场效应管M4的漏极输出而形成PTAT电流 I_2 ;且所述第三场效应管M3及第四场效应管M4均为P型场效应管。

[0029] 本发明PTAT电流源的所述电压生成单元产生一正比于绝对温度的电压 V_{x1} ,由于运算放大器OP1具有较大的直流增益,使得电路在稳定状态时,其正负输入端的电位之差近似为0,以形成“虚短”的功能结构;由于运算放大器OP1的“虚短”作用,使得运算放大器OP1正相输入端的电压 V_{x2} 等于电压 V_{x1} ,即 $V_{x1} = V_{x2}$;因此,流入电阻R1的电流大小 $I_1 = V_{x2}/R_1 = V_{x1}/R_1$,使得电流 I_1 满足PTAT特性。通过P型场效应管M3、M4所构成的电流镜单元,电流 I_1 被镜像至第四场效应管M4的漏极输出,形成PTAT电流 I_2 输出,而且输出电流 I_2 的大小等于 I_1 ,即 $I_2 = I_1 = V_{x1}/R_1$ 。

[0030] 下面结合图2描述本发明PTAT电流源的工作原理。

[0031] 由于N型的第一场效应管M1栅极和源极短接,因此其工作状态处于亚阈值,流经其沟道的电流I0的大小近似满足以下关系:

$$[0032] \quad I_0 = p \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) V_T^2 \exp\left(\frac{V_{gs} - V_{th} - \gamma V_{sb}}{m V_T} \right)$$

[0033] 上式中p表示一与工艺有关的常量, μ 表示电子迁移率, C_{ox} 为栅氧化层单位电容,W为第一场效应管M1的宽度,L为第一场效应管M1的长度, V_T 为热力学常用的热电压(大小约为26mV), V_{gs} , V_{th} , V_{sb} 分别表示第一场效应管M1的栅-源电压、阈值电压、源-衬电压, γ 为体效应系数,m为亚阈值摆幅系数。

[0034] 由于第一场效应管M1处于亚阈值且 V_{gs} 等于0,其电流大小I0的量级为皮安级别(10^{-12} 量级),第二场效应管M2在如此小的电流作用下同样处于亚阈值,其沟道电流大小同样可以用上述公式表示。将电压 V_{x1} 设为未知量,由于第一场效应管M1与第二场效应管M2为串联关系,因此两场效应管的沟道电流大小相等,可以列出以下方程:

$$[0035] \quad p \mu_1 C_{ox1} \left(\frac{W_1}{L_1} \right) V_T^2 \exp\left(\frac{-V_{th1} - \gamma_1 V_{x1}}{m_1 V_T} \right) = p \mu_2 C_{ox2} \left(\frac{W_2}{L_2} \right) V_T^2 \exp\left(\frac{V_{x1} - V_{th2}}{m_2 V_T} \right)$$

[0036] 由于第一场效应管M1、第二场效应管M2均为相同工艺下的N管,可以认为 $V_{th1} = V_{th2}$,通过上述方程可以求解得到:

$$[0037] \quad V_{x1} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + \gamma_1 m_2} V_T * \ln\left(\frac{\mu_1 C_{ox1} W_1 L_2}{\mu_2 C_{ox2} W_2 L_1} \right) = A * T$$

$$[0038] \quad \text{其中, } A = \frac{k m_1 m_2}{q(m_1 + \gamma_1 m_2)} * \ln\left(\frac{\mu_1 C_{ox1} W_1 L_2}{\mu_2 C_{ox2} W_2 L_1} \right)$$

[0039] 从上式中可以看出电压 V_{x1} 满足PTAT的特性,由于 $I_1 = I_2 = V_{x1}/R_1$,从而本发明的输出电流I1、I2也满足PTAT特性。

[0040] 通过上述可知,由于本发明中流经第一场效应管M1、第二场效应管M2的静态电流I0大小为皮安级别,与通常情况下的输出电流I1大小相比可以忽略不计。因此在不考虑运算放大器OP1静态电流的情况下,因此,本发明的PTAT电流源电路中除了电流I1以外,只有一路流经电阻R1的静态电流I1,电路的电流输出效率为 $I_1 / (2 * I_1) = 50\%$,远远高于现有技术的PTAT电流源的效率。从而在相同电流输出的情况下,本发明的PTAT电流源具有更低的功耗;另外,因为本发明的PTAT电流源电路结构中只采用MOS管和电阻(运算放大器OP1同样可以只通过MOS管构成),并未采用BJT管,所以可以采用标准CMOS工艺进行流片生产,制造成本更为低廉。

[0041] 以上结合最佳实施例对本发明进行了描述,但本发明并不局限于以上揭示的实施例,而应当涵盖各种根据本发明的本质进行的修改、等效组合。

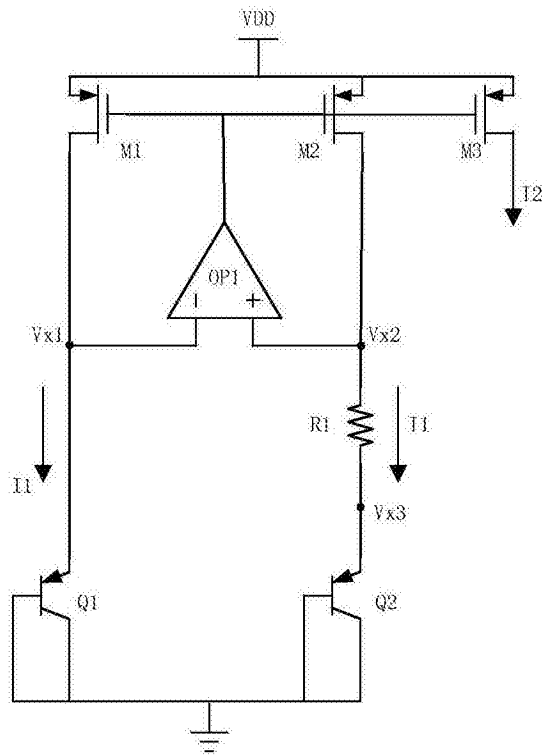


图1

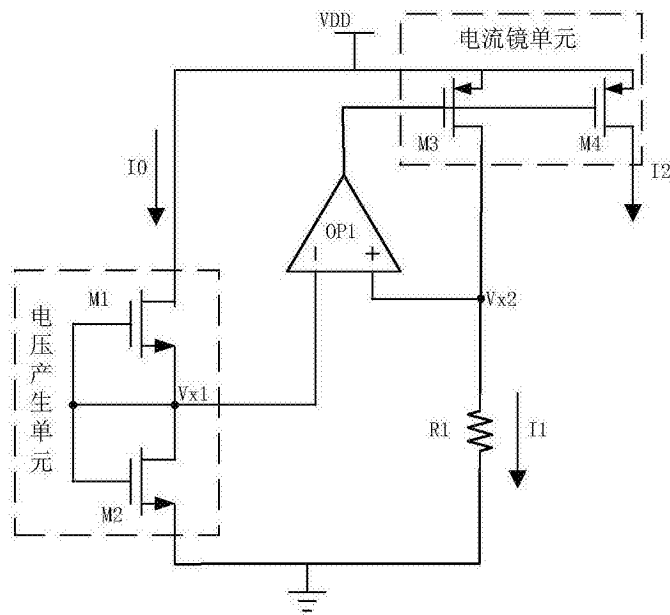


图2