[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G05F 3/30 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610065589.9

[45] 授权公告日 2009 年 5 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100489727C

[22] 申请日 2006.3.22

[21] 申请号 200610065589.9

[73] 专利权人 智原科技股份有限公司

地址 台湾省新竹市科学园区力行三路 5 号

[72] 发明人 王为善 张坤山 陈美秀

[56] 参考文献

CN1529216A 2004.9.15

US2005/0248330A1 2005.11.10

CN1635383A 2005.7.6

US2005/0237045A1 2005.10.27

US6667892B1 2003.12.23

A Low Voltage CMOS Constant Current – VoltageReferenceCircuit. Ilkka Nissinen, Juha Kostamovaara. International Symposium on Circuits and System, Vol. I. 2004

审查员 崔朝利

[74] 专利代理机构 北京连和连知识产权代理有限公司

代理人 胡光星

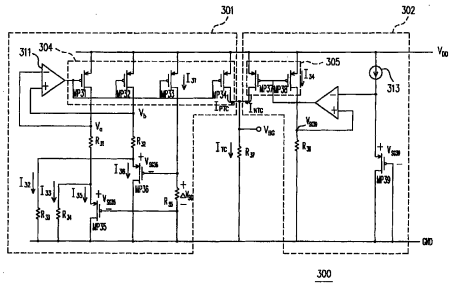
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 7 页

[54] 发明名称

电压参考电路

[57] 摘要

电压参考电路包括正温度系数电流产生器、负温度系数电流产生器、以及第一电阻。在正温度系数电流产生器内，有两晶体管操作在弱反转区，且第二电阻串接在两晶体管的栅极之间。第二电阻利用操作在弱反转区的晶体管近似双极晶体管的特性，产生正温度系数电流。负温度系数电流产生器，通过负温度系数电压压降在第三电阻上，产生负温度系数电流。正温度系数电流与负温度系数电流一同流经第一电阻，进而产生稳定的参考电压。



1. 一种电压参考电路，其特征是包括：

正温度系数电流镜，用于产生映射电流及正温度系数电流，其中复制所述映射电流以产生所述正温度系数电流；

负温度系数电流镜，连接于所述正温度系数电流镜，用于产生负温度系数电流；

第一电阻，所述映射电流流经所述第一电阻；

第一晶体管，具有连接于所述正温度系数电流镜的第一源极；连接于所述第一电阻的第一栅极；以及连接接地端的第一漏极；

第二晶体管，具有连接于所述正温度系数电流镜的第二源极；连接于所述第一电阻的第二栅极；以及连接于所述第一晶体管的第二漏极；

第二电阻，连接于所述正温度系数电流镜与所述负温度系数电流电流镜，所述正温度系数电流与所述负温度系数电流流经所述第二电阻，参考电压从所述第二电阻输出；

第五电阻，连接于所述第一晶体管的所述第一源极与所述接地端之间；

第六电阻，连接于所述第二晶体管的所述第二源极与所述接地端之间；以及

第一操作放大器，具有连接于所述第二晶体管的所述第二源极的第一正输入端；连接于所述第一晶体管的所述第一源极的第一负输入端；以及连接于所述正温度系数电流镜的第一输出端，其中所述正温度系数电流镜受控于所述第一操作放大器的第一输出端的偏压。

2. 根据权利要求 1 所述的电压参考电路，其特征是所述正温度系数电流电流镜包括：

第三晶体管，具有：连接于电源端的第三源极；第三栅极；以及

第三漏极；

第四晶体管，具有：连接于所述电源端的第四源极；连接于所述第三晶体管的所述第三栅极的第四栅极；以及第四漏极；

第五晶体管，具有：连接于所述电源端的第五源极；连接于所述第三晶体管的所述第三栅极的第五栅极；以及连接于所述第一电阻的第五漏极；以及

第六晶体管，具有：连接于所述电源端的第六源极；连接于所述第三晶体管的所述第三栅极的第六栅极；以及连接于所述第二电阻的第六漏极。

3. 根据权利要求 2 所述的电压参考电路，其特征是所述负温度系数电流电流镜包括：

第七晶体管，具有：连接于所述电源端的第七源极；第七栅极；以及连接于所述第六晶体管的所述第六漏极的第七漏极；以及

第八晶体管，具有：连接于所述电源端的第八源极；连接于所述第七晶体管的所述第七栅极的第七栅极；以及第八漏极。

4. 根据权利要求 2 所述的电压参考电路，其特征是还包括：

第三电阻，连接于所述第三晶体管的所述第三漏极与所述第一晶体管的所述第一源极之间；以及

第四电阻，连接于所述第四晶体管的所述第四漏极与所述第二晶体管的所述第二源极之间。

5. 根据权利要求 2 所述的电压参考电路，其特征是还包括第七电阻，连接于所述第八晶体管的所述第八漏极与所述接地端之间，所述负温度系数电流流经所述第七电阻。

6. 根据权利要求 5 所述的电压参考电路，其特征是还包括温度无关电流源，连接于所述电源，以产生温度无关电流。

7. 根据权利要求 6 所述的电压参考电路，其特征是还包括第九晶体管，具有：连接于所述温度无关电流源的第九源极，以及接地的

第九栅极与第九漏极，所述第九晶体管的栅极-源极电压为负温度系数电压。

8. 根据权利要求 7 所述的电压参考电路，其特征是还包括第二操作放大器，具有：连接于所述第八晶体管的所述第八漏极的第二正输入端；连接于所述温度无关电流源的第二负输入端；以及连接于所述第七晶体管的所述第七栅极与所述第八晶体管的所述第八栅极的第二输出端；所述第二正输入端的电压为所述负温度系数电压。

电压参考电路

技术领域

本发明涉及一种电压参考电路，且特别是涉及一种 CMOS 晶体管的电压参考电路。

背景技术

图 1 为半导体工艺技术相关参数的曲线图。随着 MOS(metal-oxide-silicon)晶体管通道长度缩减的同时，MOS 晶体管的临界电压 V_{TH} 并没有随着操作电压 V_{DD} 成比例的递减。因此在电压空间(headroom)被限制的条件下，所有模拟电路都面临着如何在低操作电压 V_{DD} 下，依旧维持电路原有的性能。

图 2 为传统电压参考电路的电路图，其采用了偏压在次临界区(subthreshold region)的 PMOS 晶体管 MP21 和 MP22，成功地换取较大的电压空间，让电路得以工作在低操作电压 V_{DD} 下。传统电压参考电路包括由 PMOS 晶体管 MP24~MP26 所组成的电流镜、PMOS 晶体管 MP21~MP23、操作放大器 201、以及电阻 R21 与 R22。为了以下说明方便，也标示出结点电压 V_{21} 与 V_{22}。接着将以图 2 来说明传统电压参考电路的工作原理及其缺点。

由图 2 的节点电压 V_{21} 和 V_{22} 来看，通过操作放大器 201 与 PMOS 晶体管 MP24 与 MP25 所形成的回授机制，让节点电压 V_{21} 等同于节点电压 V_{22}，因此配合简单的电路分析，可以推导出流经电阻 R_{21} 的电流 I_{21} 大小为

$$I_{21}=(V_{SG21}- V_{SG22})/R_{21} \quad (1)$$

在此的电流 I_{21} 通过电流镜复制到电阻 R_{22} 上，此时输出的参考电压 V_{BG} 就等同于

$$V_{BG}=V_{SG23}+R_{22}/R_{21}*(V_{SG21}- V_{SG22}) \quad (2)$$

由于 PMOS 晶体管 MP21 和 MP22 以 1:K 的面积比例偏压在次临界区，因此进而可以将参考电压 V_{BG} 以近似双极结型晶体管(bipolar junction transistor)的电流特性表示成：

$$V_{BG} = V_{SG23} + \frac{R_{22}}{R_{21}} \cdot n \cdot V_T \cdot \ln(K) \quad (3)$$

其中 n 为工艺参数、V_T 为热电压。由上述公式(3)可知，传统电压参考电路利用负温度系数电压 V_{SG23} 与正温度系数电压 V_T 合成的情况下，进而产生与温度无关的参考电压 V_{BG}。

然而，随着电路结构的转变，传统电压参考电路为了让 PMOS 晶体管 MP21 与 MP22 操作在次临界区，却也造成电阻 R21 必须采用较大的电阻值，且电流镜 M24~M26 可能操作在次临界区的窘境。此外，传统电压参考电路所输出的参考电压 V_{BG}，其中的负温度系数电压 V_{SG23} 不是一个单纯只与负温度系数有关的常数项，因为负温度系数电压 V_{SG23} 是由 PMOS 晶体管 MP23，偏流在和绝对温度成比例(proportional to absolute temperature, PTAT)的电流下，而产生的栅-源极电压，加上操作放大器 201 的两输入电压(也就是节点电压 V_{21} 和 V_{22})过小的情况下，都限制住了传统电压参考电路的电路性能。

发明内容

本发明的目的是在提供一种电压参考电路，以确保电路工作在低操作电压下，依旧可以供应温度依赖性低且稳定的参考电压。

为达成上述及其它目的，本发明提出一种电压参考电路。正温度系数电流产生器用以产生正温度系数电流。负温度系数电流产生器则

用以产生负温度系数电流。正温度系数电流与负温度系数电流流经第二电阻，汇集成与温度无关的电流，进而从第二电阻输出稳定的参考电压。正温度系数电流产生器包括：第一电阻、第一 PMOS 晶体管、第二 PMOS 晶体管、正温度系数电流镜、第一操作放大器、第三电阻、第四电阻、第五电阻、以及第六电阻。第一 PMOS 晶体管与第二 PMOS 晶体管偏压于弱反转区，因此串接在两晶体管栅极间的第一电阻，就可利用第一 PMOS 晶体管与第二 PMOS 晶体管近似于双极结型晶体管的电流特性，产生正温度系数电流。正温度系数电流镜利用第一操作放大器所形成的负回授机制，产生第一 PMOS 晶体管与第二 PMOS 晶体管所需的偏流，并利用第三与第四电阻所提供的另一条到地电流路径，确保正温度系数电流镜维持在强反转区。第一操作放大器的两输入电压则通过第五电阻与第六电阻的压降，而提高至第一操作放大器的共模输入范围中。

负温度系数电流产生器包括：负温度系数电流镜、第二操作放大器、第七电阻、第九 PMOS 晶体管、以及温度无关电流源。温度无关电流源提供偏流给第九 PMOS 晶体管，使第九 PMOS 晶体管的栅-源极电压为单纯只与负温度系数相关的电压。此负温度系数电压(第九 PMOS 晶体管的栅-源极电压)通过第二操作放大器两输入端虚短路的特性，压降在第七电阻上，进而产生负温度系数电流。

故而，在本发明之电压参考电路中，正温度系数电流与负温度系数电流汇集成温度依赖性低的电流后来流经第二电阻，进而产生稳定的参考电压。与传统结构相比之下，其中的正温度系数电流产生器还通过变换第一电阻的连接方式，让电路得以操作在低操作电压的同时，也降低了电路布局面积的消耗。

为让本发明之上述和其它目的、特征和优点能更明显易懂，下文特举本发明之较佳实施例，并配合附图，作详细说明如下。

附图说明

图 1 为半导体工艺技术相关参数的曲线图。

图 2 为传统电压参考电路的电路图。

图 3 为根据本发明一实施例的电压参考电路的电路图。

图 4~图 8 为根据本实施例的电压参考电路的电路特性曲线图。

主要元件标记说明

201、311、312：操作放大器

300：电压参考电路

301：正温度系数电流产生器

302：负温度系数电流产生器

304：正温度系数电流镜

305：负温度系数电流镜

313：温度无关电流源

R37、R21、R22、R31、R32、R33、R34、R35、R36：电阻

MP21、MP22、MP23、MP24、MP25、MP26、MP31、MP32、MP33、MP34、MP35、MP36、MP37、MP38、MP39：PMOS 晶体管

具体实施方式

图 3 为本发明一实施例的电压参考电路，包括正温度系数电流产生器 301、负温度系数电流产生器 302、以及电阻 R37。正温度系数产生器 301 与负温度系数产生器 302 的输出，都通过电阻 R37 连接至地端。正温度系数产生器 301 用以产生正温度系数电流 I_{PTC}，而负温度系数电流产生器 302 用以产生负温度系数电流 I_{NTC}。之后两电流 I_{PTC} 和 I_{NTC} 合成与温度无关的电流 I_{TC}，此电流 I_{TC} 会流经电阻 R37，形成与温度依赖性低的稳定参考电压 V_{BG}。

正温度系数电流产生器 301 包括操作放大器 311、由 PMOS 晶体

管 MP31~MP34 所组成的正温度系数电流镜 304、PMOS 晶体管 MP35 和 MP36、以及电阻 R31~R34。操作放大器 311 的两输入端分别连接至 PMOS 晶体管 MP31 与 MP32 的漏极，而其输出端则与 PMOS 晶体管 MP31~MP34 的栅极电连接。PMOS 晶体管 MP31 具有：连接于操作电压 V_{DD} 的源极；连接于电阻 R31 的漏极；以及连接于操作放大器 311 的栅极。PMOS 晶体管 MP32 具有：连接于操作电压 V_{DD} 的源极；连接于电阻 R32 的漏极；以及连接于操作放大器 311 的栅极。PMOS 晶体管 MP33 具有：连接于操作电压 V_{DD} 的源极；连接于电阻 R35 的漏极；以及连接于操作放大器 311 的栅极。晶体管 MP34 具有：连接于操作电压 V_{DD} 的源极；连接于电阻 R37 的漏极；以及连接于操作放大器 311 的栅极。电阻 R31 串接在 PMOS 晶体管 MP31 的漏极与 PMOS 晶体管 MP35 的漏极之间，而电阻 R32 则串接在 PMOS 晶体管 MP32 的漏极与 PMOS 晶体管 MP36 的漏极之间。两电阻 R31 与 R32 还分别通过另两电阻 R33 与 R34 连接至地端。电阻 R35 的两端分别连接至 PMOS 晶体管 MP35 与 MP36 的栅极。为了以下说明方便，在此标示出结点电压 Va 与 Vb。

正温度系数电流产生器 301 通过操作放大器 311 与 PMOS 晶体管 MP31 与 MP32 所形成的回授机制，让节点电压 Va 等同于节点电压 Vb。如此，可知推导出压降在电阻 R35 上的电压差 ΔV_{SG} 可表示如下：

$$\Delta V_{SG}=V_{SG35}-V_{SG36} \qquad (4)$$

相对的流经电阻 R35 的电流 I31 可表示如下：

$$I31=(V_{SG35}-V_{SG36})/R35 \qquad (5)$$

为了使本电压参考电路能工作在低操作电压 V_{DD} 下，本实施例的 PMOS 晶体管 MP35 和 MP36 以 1:K 的面积比例操作在次临界区。两晶体管 MP35 和 MP36 的电流特性在近似于双极结型晶体管的情况

下，可以将电压 V_{SG35} 和 V_{SG36} 以下列公式表示

$$V_{SG35} \approx V_{TH} + n \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{D35}}{(W/L)_{35} \cdot I_{DO}}\right) \qquad (6)$$

$$V_{SG36} \approx V_{TH} + n \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{D36}}{(W/L)_{36} \cdot I_{DO}}\right) \qquad (7)$$

其中 V_{TH} 为临界电压、n 与 I_{DO} 为工艺参数、V_T 为热电压、I_D 为流经 MOS 晶体管的漏极电流、$(W/L)_{35}$ 为 PMOS 晶体管 MP35 的元件宽长比、$(W/L)_{36}$ 为 PMOS 晶体管 MP36 的元件宽长比。通过公式(4)~(7)，可以进一步推导出流经电阻 R35 的电流 I31 为

$$I31 = \frac{1}{R35} \cdot n \cdot V_T \cdot \ln(K) \qquad (8)$$

由于热电压 V_T 为正温度系数的常数项，因此通过正温度系数电流镜 304 复制电流 I31 而形成的输出电流 I_{PTC} 为正温度系数电流。

为了避免正温度系数电流镜 304 操作在次临界区，正温度系数电流产生器 301 利用电阻 R33 与 R34，形成另一电流路径给正温度系数电流镜 304 使用，使得正温度系数电流镜 304 可以通过分支电流 I32 与 I33 维持在强反转区(strong inversion region)。此外，操作放大器 311 的两输入端分别通过电阻 R31 与 R32 连接至 PMOS 晶体管 MP35 与 MP36。电阻 R31 与 R32 上的压降，将有助于操作放大器 311 两输入电压(也就是节点电压 Va 与 Vb)的提高，进而让操作放大器 311 在使用上，不会受限于共模输入范围的考虑。

在依照本实施例的电压参考电路中，负温度系数电流产生器 302 包括操作放大器 312、温度无关电流源 313、由 PMOS 晶体管 MP37 和 MP38 所组成的负温度系数电流镜 305、PMOS 晶体管 MP39、以及电阻 R36。操作放大器 312 的两输入端分别通过，以二极管连接方式的 PMOS 晶体管 MP39 与电阻 R36 连接至地端，其输出则连接至 PMOS 晶体管 MP37 与 MP38 的栅极。温度无关电流源 313 串接在操

作电压 V_{DD} 与 PMOS 晶体管 MP39 之间。PMOS 晶体管 MP39 的栅极与漏极相互连接至地端，且其源极连接至温度无关电流源 313。负温度系数电流镜 305 的连接关系的描述如下。PMOS 晶体管 MP37 具有：源极，连接至操作电压 V_{DD}；栅极，连接至操作放大器 312 的输出端；漏极，连接至电阻 R37。PMOS 晶体管 MP38 具有：源极，连接至操作电压 V_{DD}；栅极，连接至操作放大器 312 的输出端；漏极，连接至电阻 R36。

负温度系数电流产生器 302 为了提供负温度系数的电流，因此利用温度无关电流源 313 提供 PMOS 晶体管 MP39 的偏流，以产生只与负温度系数相关的电压 V_{SG39}。利用操作放大器 312 两输入端虚短路的特性，将电压 V_{SG39} 压降在电阻 R36 上，形成电流大小为 V_{SG39}/R36 的电流 I34。之后，电流 I34 通过负温度系数电流镜 305 的复制，让负温度系数电流产生器 302 产生负温度系数的电流 I_{NTC}。

为了进一步了解本实施例的电压参考电路，图 4~图 8 标示出了本实施例的电路特性，以下将分别一一作说明。于图 4 中，标示出本实施例在操作电压 V_{DD} 为 1V 的情况下，输出参考电压 V_{BG} 在温度从 -40°C 变换到 125°C 的过程中，参考电压变化量 ΔV_{BG} 为 2.73mV。于图 5 中，标示出本实施例在操作电压 V_{DD} 为 1V、参考电压变化量 ΔV_{BG} 为 2.66mV 的情况下，正温度系数电流 I_{PTC} 与负温度系数电流 I_{NTC} 的相互关系。于图 6 中，标示出本实施例的电压参考电路，在正常操作下，可容许的最小操作电压 V_{DD} 约为 600mV。于图 7 中，标示出本实施例在不同操作电压 V_{DD}(V_{DD}=0.6V~1.5V)下，参考电压 V_{BG} 随着温度变化的情况，其中由不同操作电压 V_{DD} 所引起的参考电压变化量 ΔV_{BG} 为 8.91mV。最后于图 8 中，标示出本实施例的电压参考电路在工艺参数变动下，也就是在不同模型下(FF、TT、SF、FS、SS)下，参考电压 V_{BG} 的变动情形。上数这些模型为本发明所采用的工艺技术，所附有的工艺变化考虑。

综上所述，本发明之实施例利用正温度系数产生器与负温度系数产生器，产生与温度依赖性低的稳定参考电压。在与传统结构相比之下，本发明通过变换电阻连接方式的电路结构，使电路得以工作在低操作电压下的同时，也降低了电路的布局面积，以及本身电路对操作放大器的限制。电阻 R35 的电阻值比公知技术大为减少，故而可更进一步缩减本实施例的电路面积。

虽然本发明已以较佳实施例披露如上，然其并非用以限定本发明，任何所属技术领域的技术人员，在不脱离本发明之精神和范围内，当可作些许之更动与改进，因此本发明之保护范围当视权利要求所界定者为准。

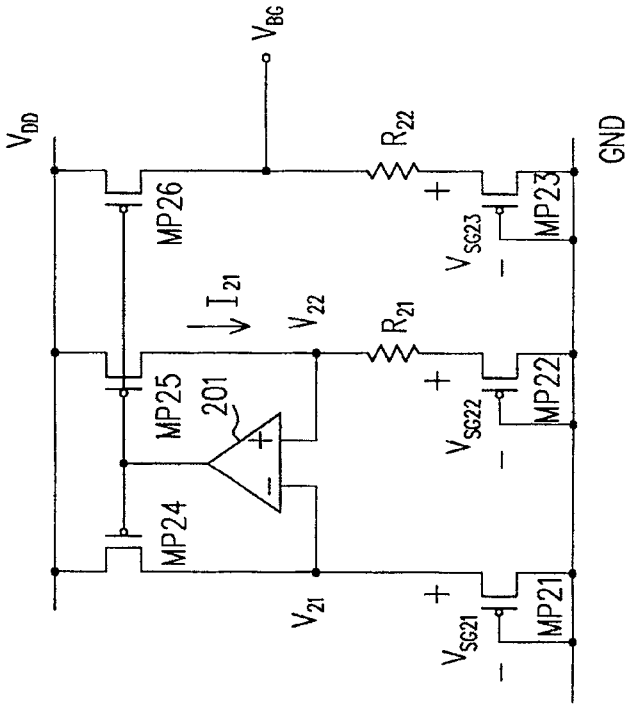

V_{DD}
V_{BG}
R_{22}
GND
MP26
MP23
V_{SG23}
I_{21}
V_{22}
R_{21}
MP25
201
MP22
V_{SG22}
MP24
V_{21}
V_{SG21}
MP21

图 2

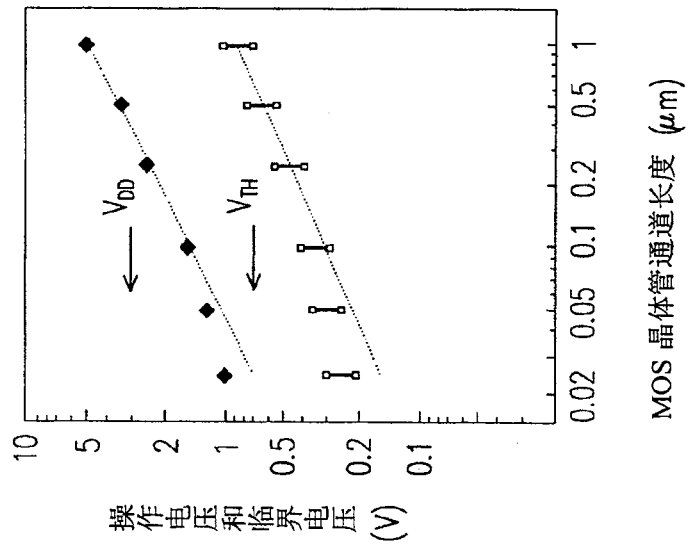

操作电压和临界电压 (V)
10
5
2
1
0.5
0.2
0.1
V_{DD}
V_{TH}
0.02
0.05
0.1
0.2
0.5
1
MOS 晶体管通道长度 (μm)

图 1

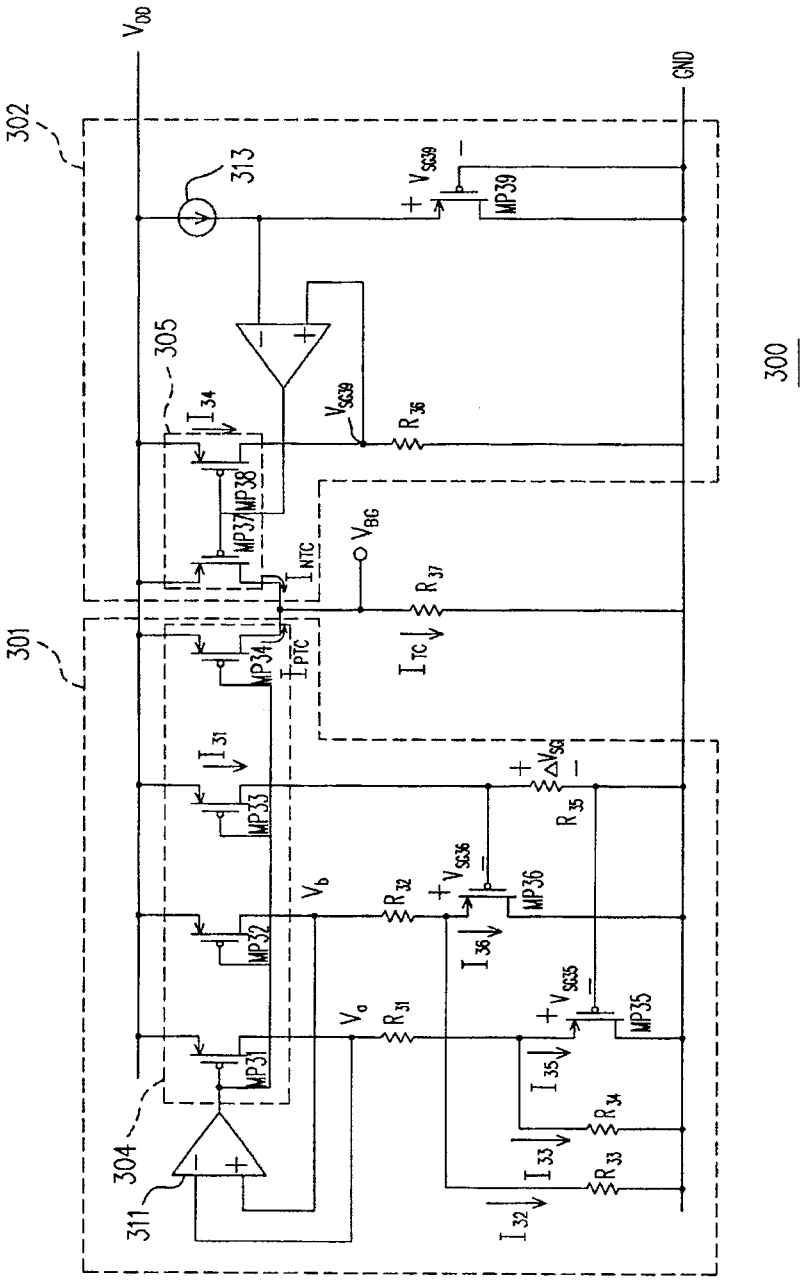

V_{DD}
GND
302
313
V_{SG39}
MP39
305
I_{34}
V_{SG38}
R_{36}
MP38
MP37
I_{NTC}
V_{BG}
R_{37}
I_{TC}
301
MP34
I_{PTC}
I_{31}
MP33
ΔV_{SG}
R_{35}
V_{SG36}
MP36
V_b
R_{32}
MP32
I_{36}
V_o
R_{31}
V_{SG35}
MP35
MP31
I_{35}
R_{34}
304
I_{33}
R_{33}
311
I_{32}
300

图 3

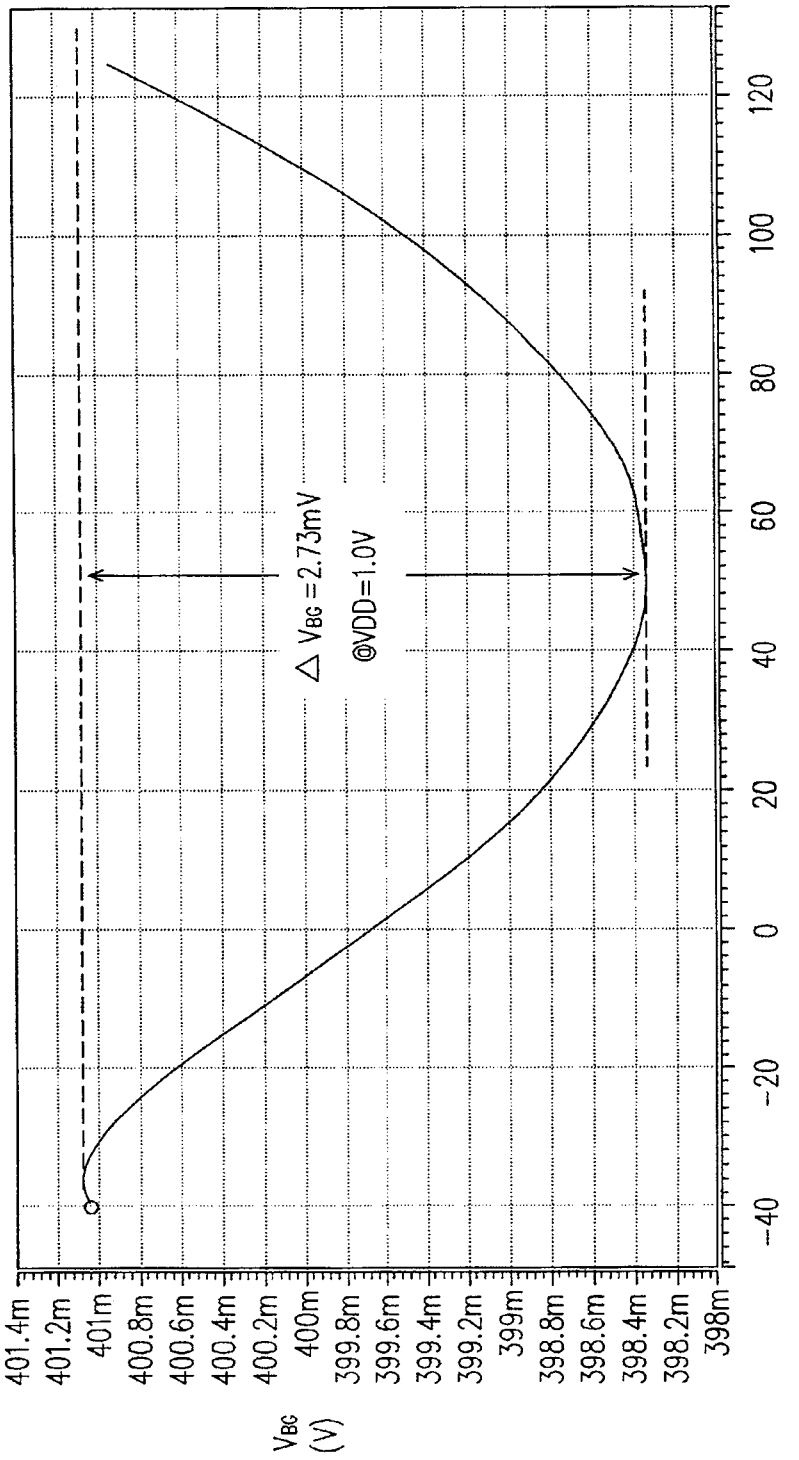

401.4m
401.2m
401m
400.8m
400.6m
400.4m
400.2m
400m
399.8m
399.6m
399.4m
399.2m
399m
398.8m
398.6m
398.4m
398.2m
398m
V_{BG} (V)
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
温度 (°C)
△ V_{BG} = 2.73mV
@VDD=1.0V

图 4

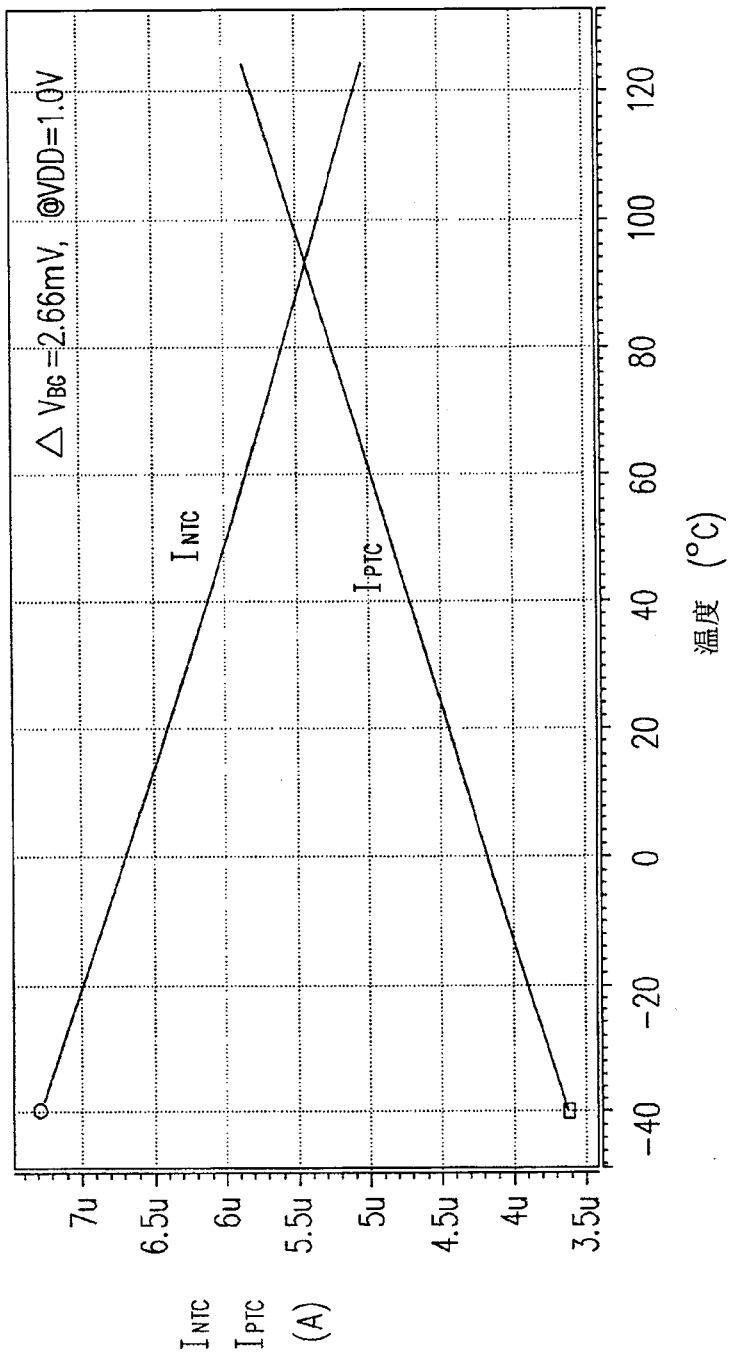

△ VBG =2.66mV, @VDD=1.0V
INTC
IPTC
7u
6.5u
6u
5.5u
5u
4.5u
4u
3.5u
INTC IPTC (A)
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
温度 (°C)

图 5

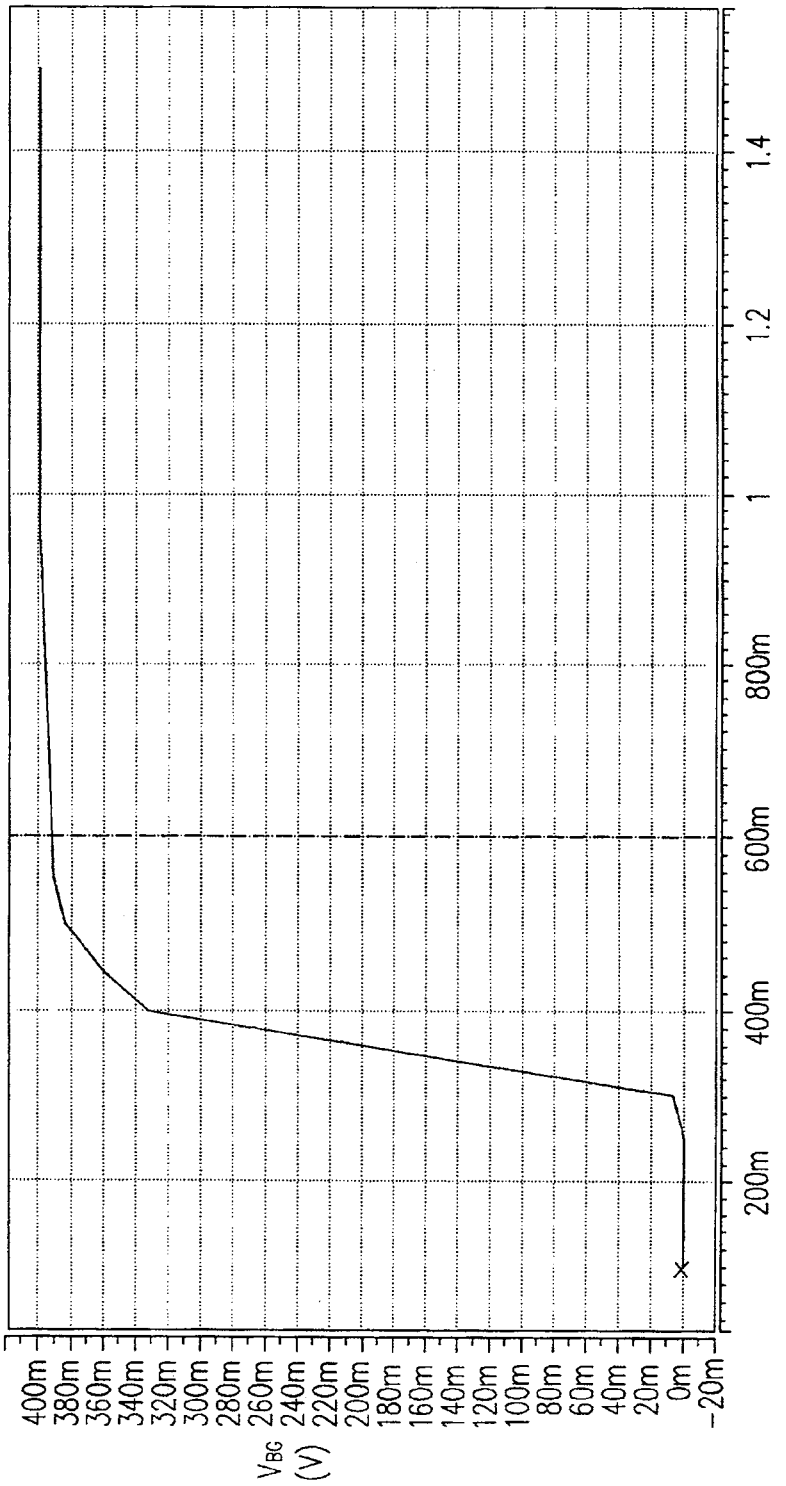

400m
380m
360m
340m
320m
300m
280m
260m
240m
220m
200m
180m
160m
140m
120m
100m
80m
60m
40m
20m
0m
-20m
V_{BG} (V)
200m
400m
600m
800m
1
1.2
1.4
V_{DD} (V)

图 6

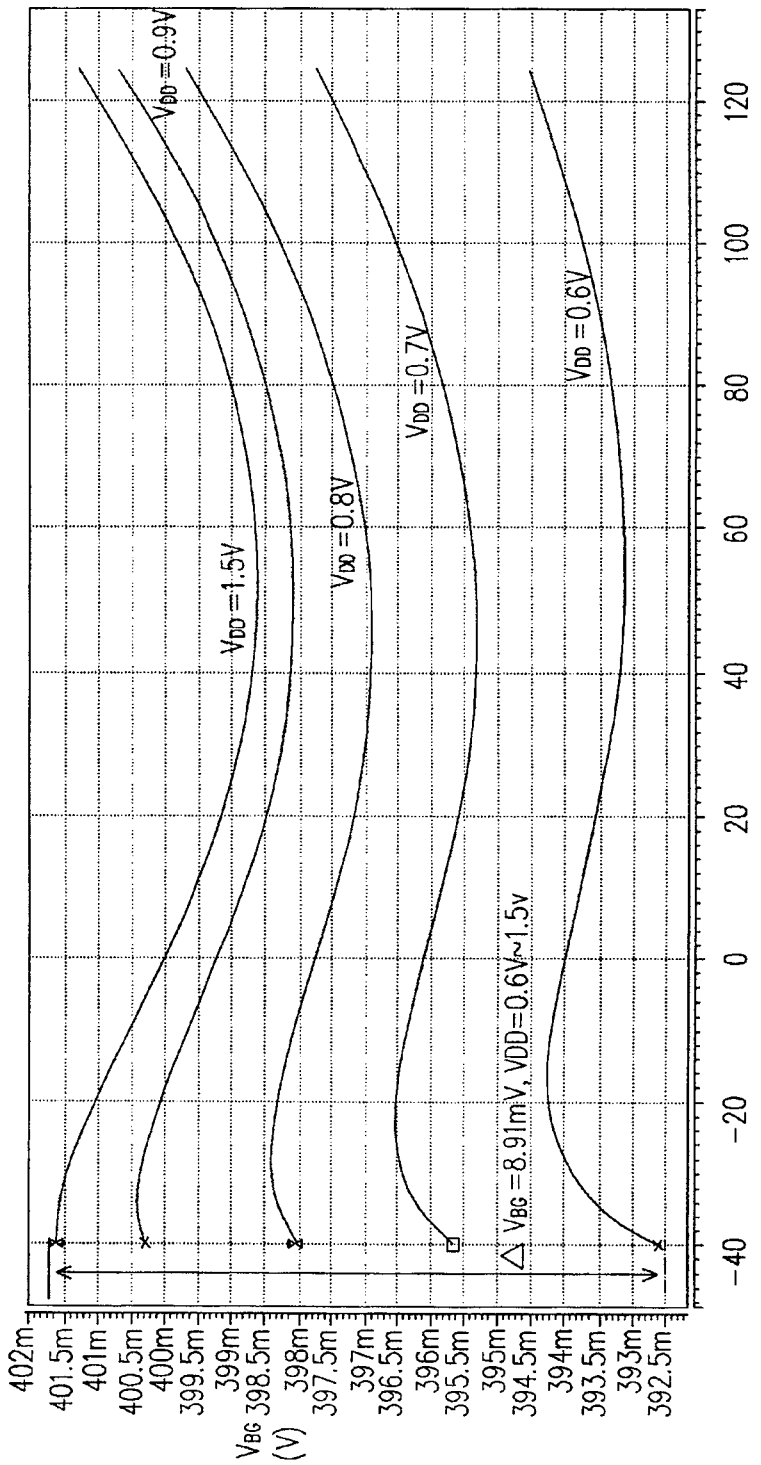

402m
401.5m
401m
400.5m
400m
399.5m
399m
398.5m
398m
397.5m
397m
396.5m
396m
395.5m
395m
394.5m
394m
393.5m
393m
392.5m
VBG (V)
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
温度 (°C)
VDD=0.9V
VDD=1.5V
VDD=0.8V
VDD=0.7V
VDD=0.6V
△ VBG=8.91mV, VDD=0.6V~1.5v

图 7

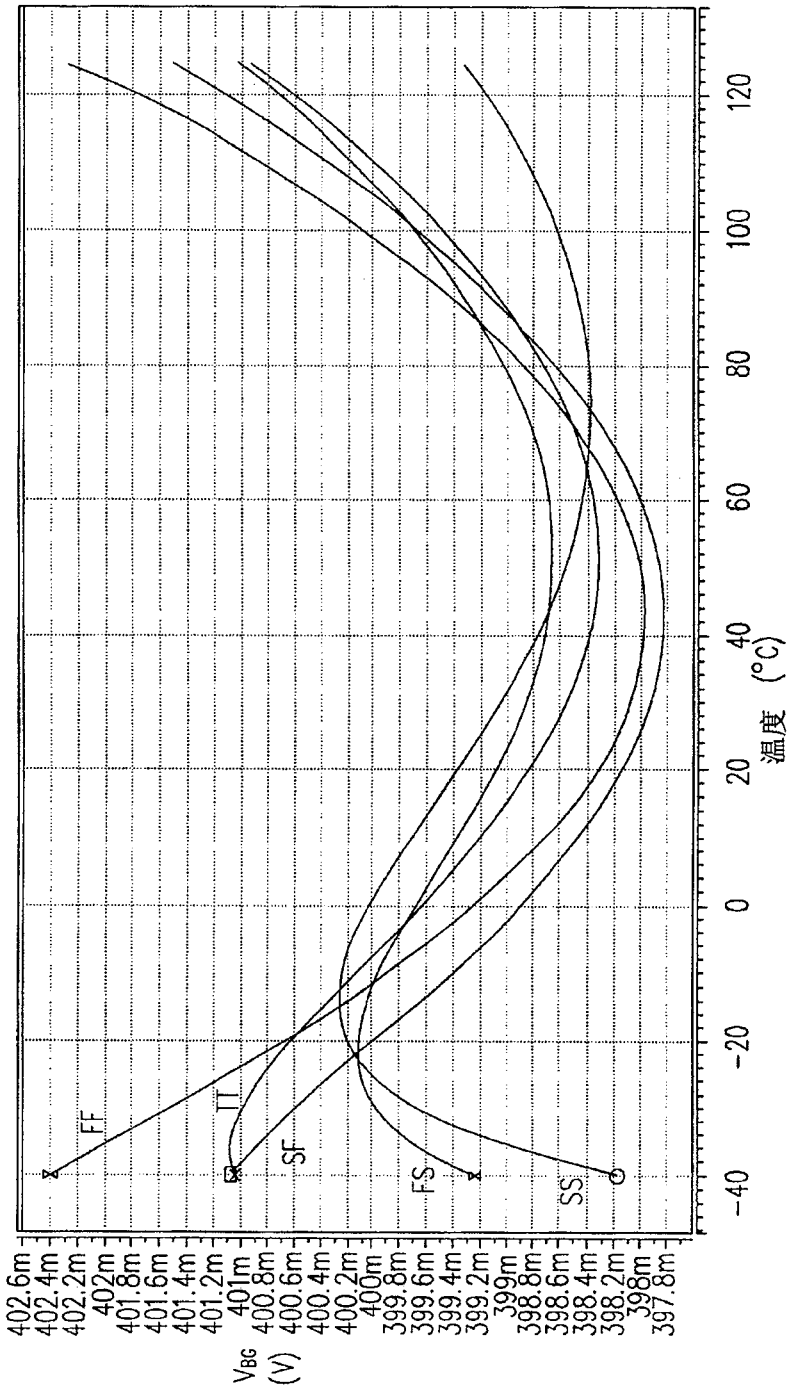

FF
TT
SF
FS
SS
V_{BG} (V)
402.6m
402.4m
402.2m
402m
401.8m
401.6m
401.4m
401.2m
401m
400.8m
400.6m
400.4m
400.2m
400m
399.8m
399.6m
399.4m
399.2m
399m
398.8m
398.6m
398.4m
398.2m
398m
397.8m
-40
-20
0
20
40
60
80
100
120
温度 (°C)

图 8