

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H03F 3/45 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480009393.7

[45] 授权公告日 2009年3月25日

[11] 授权公告号 CN 100472958C

[22] 申请日 2004.3.26

[21] 申请号 200480009393.7

[30] 优先权

[32] 2003.4.4 [33] EP [31] 03100900.4

[86] 国际申请 PCT/IB2004/050346 2004.3.26

[87] 国际公布 WO2004/088838 英 2004.10.14

[85] 进入国家阶段日期 2005.10.8

[73] 专利权人 NXP 股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 M·A·T·桑杜里努

E·F·斯蒂克沃特

[56] 参考文献

CN1191414A 1998.8.26

CN1062627A 1992.7.8

CN1067535A 1992.12.30

US6404285B1 2002.6.11

审查员 冯慧萍

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 王波波

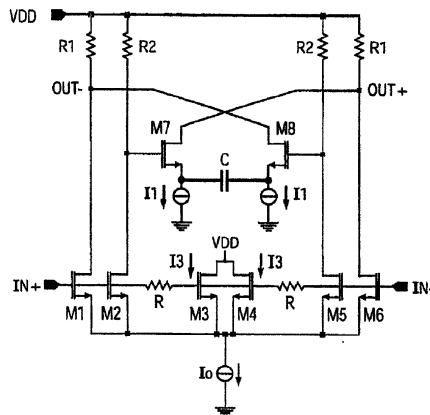
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

线性放大器

[57] 摘要

一个线性放大器电路包括：具有用于接收二进制输入信号的差分输入端 (I_+ 、 I_-) 以及差分输出端 (O_+ 、 O_-) 的第一差分放大器 (DA1)；其输入端被耦合到差分输入端 (I_+ 、 I_-) 的第二差分放大器 (DA2)。该放大器还包括：被级联耦合到第二差分放大器 (DA2) 的第三差分放大器 (DA3)，其输出端在一个前馈连接中被交叉耦合到差分输出端；被耦合到第三差分放大器 (DA3) 以用于确定该线性放大器的带宽增加的电容 (C)，流经该电容 (C) 的电流与上述差分输入信号 (I_+ 、 I_-) 的导数成比例。



1. 一种线性放大器电路，包括：
 - 具有用于接收一个二进制输入信号的差分输入端 (I+, I-) 以及差分输出端 (O+, O-) 的第一差分放大器 (DA1)；
 - 其输入端被耦合到所述差分输入端 (I+, I-) 的第二差分放大器 (DA2)；
 - 在一个前馈连接中被级联耦合到第二差分放大器 (DA2) 并且其输出端交叉耦合到所述差分输出端的第三差分放大器 (DA3)；以及
 - 被耦合到第三差分放大器 (DA3) 以用于确定该线性放大器的带宽增加的电容 (C)，流经该电容 (C) 的电流与所述差分输入信号 (I+, I-) 的导数成比例。
2. 如权利要求 1 所述的线性放大器，其中第一差分放大器 (DA1) 包括经由电阻装置 (R) 耦合到一个共漏极晶体管对 (M3, M4) 的第一晶体管对 (M1, M6)，流经该共漏极晶体管对的电流 (I3) 提高该第一差分放大器 (DA1) 的线性度。
3. 如权利要求 1 所述的线性放大器，其中第二差分放大器 (DA2) 包括第二晶体管对 (M2, M5)，该第二晶体管对 (M2, M5) 被提供有与第一差分放大器 (DA1) 相等的电流。
4. 如权利要求 1 所述的线性放大器，其中第三差分放大器 (DA3) 包括第三晶体管对 (M7, M8)，该第三晶体管对 (M7, M8) 的对应的源极端子经由电容 (C) 耦合。
5. 一种限幅器放大器，包括：
 - 如权利要求 1 中所述的线性放大器电路组成的链 (LIN1, LIN2, LIN3, LIN4)；
 - 被级联耦合并且进一步耦合到该线性放大器链 (LIN1, LIN2, LIN3, LIN4) 并提供一个经限幅的差分信号 (OUT+, OUT-) 的多个限幅放大器 (NLN1, NLN2, NLN3, NLN4)。
6. 如权利要求 5 所述的限幅器放大器，进一步包括一个反馈差分积

分器 (A1, R1, R2, R3, R4, C1, C2), 以便调节该限幅器放大器的偏移电压。

7. 如权利要求 5 所述的限幅器放大器, 其中所述多个限幅放大器 (NLN1, NLN2, NLN3, NLN4) 中的至少一个限幅放大器的输入端经由串联耦合的相等的电阻 (R0) 而耦合, 以便提供一个共模信号 (VCM)。

8. 如权利要求 7 所述的限幅器放大器, 进一步包括一个复制偏置电路以提供一个补偿信号 (Icomp), 该补偿信号 (Icomp) 偏置该线性放大器链 (LIN1, LIN2, LIN3, LIN4) 和所述多个限幅放大器 (NLN1, NLN2, NLN3, NLN4)。

9. 如权利要求 8 所述的限幅器放大器, 其中所述复制偏置电路包括:

- 一对复制晶体管 (MR1, MR2), 它们的对应端子藕合, 也就是漏极到漏极、源极到源极以及栅极到栅极, 它们的栅极被耦合到所述共模信号; 以及

- 一个产生所述补偿信号 (Icomp) 的跨导放大器 (A2), 该补偿信号 (Icomp) 与一个参考信号 (VSW) 和该对复制晶体管 (MR1, MR2) 的漏极中的电压之间的差成比例。

线性放大器

技术领域

本发明涉及一种线性放大器。本发明进一步涉及一种包含线性放大器的限幅放大器。

背景技术

线性放大器被广泛用于相对高频应用中，例如用作接收机和发射机，当输入信号为二进制信号时，也就是具有位于一个相对大范围（例如 GHz）内的低值和高值时，放大器的所需带宽相对较大。此外，放大器需要以一个最小的失真电平为相对低电平信号和高电平信号提供一个相对恒定的增益。

US-A-6,404,285 描述了一种使用于中频电压增益放大器的差分放大器，以便同时给较小的和较大的差分输入信号产生一个充分线性的差分输出信号。此放大器包括一对耦合在它们的发射极处的晶体管，该对晶体管经由另一个晶体管偏置，该另一个晶体管的基极经由一对电阻耦合到差分输入信号。可以观察到，当此放大器直接以 CMOS 技术实施时，所得到的放大器具有低得多的放大率，因为 CMOS 晶体管的跨导低得多，例如比双极型晶体管的跨导低 40 倍，因此，增加该放大器的增益是必需的。该放大器增益的任何增加对于输入信号确定了一个较小的可用带宽，因为对一个给定的放大器来说，所谓的增益带宽积是一个相对恒定的参数。

发明内容

因此本发明的一个目的是提供一种以 CMOS 技术实施的减轻上述问题的线性放大器。

本发明通过各独立权利要求限定。各从属权利要求限定各有利实施

例。

各交叉耦合输出端确定一个前馈，该前馈确定输入信号的补充放大率。一个适当选择的电容值确定放大器的可用带宽的增加。随后，一个二进制输入信号的上升和下降沿不会被严重失真。

在本发明的一个实施例中，第一差分放大器包括一个经电阻装置耦合到一个共漏极晶体管对的第一晶体管对，通过该共漏极晶体管对的电流提高该第一差分放大器的线性度：第二差分放大器包括一个第二晶体管对，该第二晶体管对被提供有与第一差分放大器基本相等的电流。

第三差分放大器可以包括一个第三晶体管对，该第三晶体管对的对应源极端子经电容耦合。让我们考虑第一晶体管对包括具有相同面积的晶体管，并且被包括在该共漏极晶体管对中的晶体管具有不同的面积。让我们进一步用 R 表示该电阻装置并用 i 表示流经它的电流。下列各关系式可以被写出：

$$\begin{cases} V_{ID} = 2iR \\ V_{ID} = \sqrt{\frac{2i_1}{\beta_1}} - \sqrt{\frac{2i_3}{\beta_3}} + iR \\ V_{ID} = \sqrt{\frac{2i_3}{\beta_3}} - \sqrt{\frac{2i_2}{\beta_1}} + iR \\ i_3 = I_0 - (i_1 + i_2) \end{cases} \quad (1)$$

在关系式 (1) 中， β_1 和 β_3 分别是对应于所述晶体管对和所述共漏极晶体管的尺寸的系数。 V_T 是各晶体管的阈值电压。 i_1 和 i_2 是通过所述晶体管对的电流。 V_{ID} 是差分输入信号， I_B 是第一晶体管对和第二晶体管对的偏置电流。 i_3 是流经该共漏极晶体管对的电流。如等式 (2) 中， i_3 是关于输入差分电压比的二次方。

$$i_3 = \frac{I_0}{1 + 2\left(\frac{W_1}{W_3}\right)} \left(1 - \frac{\beta_1 V_{ID}^2}{4I_0}\right) \quad (2)$$

差分输出电流如等式 (3) 所示依赖于差分输入电压：

$$i_{OD} = i_1 - i_2 = \beta_1 \frac{\sqrt{2I_0}}{\sqrt{\beta_3 \left(1 + 2\frac{W_1}{W_3}\right)}} \cdot V_{ID} \sqrt{1 - \frac{\beta_1 V_{ID}^2}{4I_0}} \quad (3)$$

这里将提到, $\beta_1 V_{iD}^2$ 项具有电流的量纲。进一步观察到的是, 如果 I_B 被选择成使得 $\beta_1 V_{iD}^2 \ll I_B$, 则关系式 (3) 简化为关系式 (4)。

$$i_{OD} = \beta_1 \sqrt{\frac{2I_0}{\beta_3 \left(1 + 2\frac{W_1}{W_3}\right)}} \cdot V_{iD} \quad (4)$$

因此, 电流线性地取决于差分输入电压。当使用电容时, 等式 (4) 可以被改写在等式 (5) 中,

$$i_{OD}(t) = \beta_1 \sqrt{\frac{2I_0}{\beta_3 \left(1 + 2\frac{W_1}{W_3}\right)}} \cdot \left[V_{iD} + \tau(C) \frac{\delta V_{iD}}{\delta t} \right] \quad (5)$$

在关系式 (5) 中, $\tau(C)$ 是一个依赖于电容值和第二晶体管对的输出阻抗的时间常数。如果我们以 R_2 来表示这个阻抗以及以 C 表示该电容值, 则该时间常数等于 $R_2 * C$ 。很容易从关系式 (5) 看到, 当二进制信号被使用时该电容提高了放大器性能, 并且即使当输入信号具有相对小的值时, $\frac{\delta V_{iD}}{\delta t}$ 项也具有非常大的值。

在另外一个实施例中, 该线性放大器被用在一个包括一个线性放大器链的限幅器放大器中。该限幅放大器进一步包括多个级联耦合的限幅放大器, 所述多个级联耦合的限幅放大器进一步被耦合到该线性放大器链并且提供一个经限幅的差分信号。限幅器放大器被广泛应用于频率调制信号的接收机和发射机中。它们通常包括一个与吉尔伯特单元级联以提供二进制类型信号的高增益放大器。当输入信号已经是二进制并且处于一个相对高频范围内时, 所述线性放大器可以包括如前面所描述的多个线性放大器。

在本发明的另外一个实施例中, 该限幅器放大器进一步包括一个反馈差分积分器以用于调节该限幅器放大器的偏移电压。该积分器的截止频率被选择成大大低于在限幅器中的输入信号的频率范围。该积分器提供一个相对恒定的输出信号以用于调节该限幅器的偏移量。

在本发明的另外一个实施例中, 所述多个限幅放大器中的至少一个

限幅放大器的输入端经由串联耦合的基本相等的电阻而耦合，以便提供一个共模信号。该共模信号被提供给一个复制偏置电路，该复制偏置电路生成一个补偿信号以偏置该线性放大器链和所述多个限幅放大器。该补偿信号主要由该共模信号确定，该共模信号由温度变化确定。例如，温度增加确定放大器增益下降，并且该补偿信号确定限幅器的增益相对恒定。

该复制偏置电路可以包括：一对复制晶体管，它们的相应端子耦合，也就是漏极到漏极、源极到源极以及栅极到栅极，它们的栅极被耦合到该共模信号；一个跨导放大器，其产生该补偿信号，该补偿信号与在参考信号和该对复制晶体管的漏极中的电压之间的差成比例。

该参考信号可以是一个带隙电压发生器。该共模信号在其中一个限幅放大器的输入端处被测量。该跨导放大器将该对复制晶体管的漏极中的电压和带隙电压作比较，并且生成一个依赖于温度和技术工艺的输出电流。该电流进一步被用于调节各线性放大器和各限幅放大器中的偏置电流。

附图说明

通过参考附图对本发明的优选实施例的随后描述，本发明的上述和其它特征和优点将是显而易见的，其中：

图 1 描述了根据本发明的线性放大器的框图表示；

图 2 描述了根据本发明一个实施例的线性放大器的更详细的表示；

图 3 描述了根据本发明的限幅器放大器的框图表示；

图 4 描述了根据本发明的限幅器放大器的更详细的表示。

具体实施方式

图 1 描述了根据本发明的线性放大器的框图表示。该线性放大器电路包括一个具有用于接收二进制输入信号的差分输入端 I+、I-以及差分输出端 O+、O-的第一差分放大器 DA1。该线性放大器进一步包括一个其输入端被耦合到差分输入端 I+、I-的第二差分放大器 DA2。该线性放大器电路包括一个被级联耦合到第二差分放大器 DA2 的第三差分放大器

DA3, 其输出端 O1+、O1- 在一个前馈连接中被交叉耦合到差分输出端, 也就是 O1+ 被耦合到 O- 以及 O1- 被耦合到 O+。符号+和-分别指示非反向输出和反向输出。此外, 反向输出产生一个基本上与输入信号反相的信号, 以及非反向输出产生一个基本上与输入信号同相的信号。

电容 C 被耦合到第三差分放大器 DA3, 以用于确定线性放大器带宽的增加, 流经该电容 C 的电流与差分输入信号 I+、I- 的导数成比例。

该线性放大器的一个 CMOS 实现在图 2 中被展示。第一差分放大器 DA1 包括经电阻 R 耦合到一个共漏极晶体管对 M3、M4 的第一晶体管对 M1、M6。作方关系式 1 到 5 的结果, 流经该共漏极晶体管对的电流 I3 提高了第一差分放大器 DA1 的线性度。第二差分放大器 DA2 包括第二晶体管对 M2、M5, 其被提供一个与第一差分放大器 DA1 基本相等的电流。可以观察到, 晶体管 M1、M6、M2、M5 具有基本相同的面积, 并且都从相同的电流源 I0 供电。因此, 流经这些晶体管的电流彼此基本相等。第三差分放大器 DA3 包括第三晶体管对 M7、M8, 其各自源极端子经电容 C 耦合。输入信号 I+、I- 在晶体管 M2 和 M5 的漏极中被线性复制, 并且因此在晶体管 M7 和 M8 的源极中被线性复制。流入该电容的电流是通过 M7 和 M8 在输出节点处的输入电压交叉注入电流的导数。电流 I1 与电流 I0 相比是小的, 同时晶体管 M7 和 M8 的尺寸比晶体管 M1 和 M6 的尺寸小。适当地选择晶体管的尺寸和时间常数 R_2C , 电路的小信号带宽几乎加倍, 并且在一个瞬态中可以观察到更少的上升和下降次数。这个电路可以无需在这种技术中很不希望出现的源极跟随器而被直接级联到下一级。

前四级是相同的, 并且一旦信号已经被放大到合理的电平, 下四级能相应地限幅输入信号。接下来的各限幅级基于差分对, 除了其中已经添加了一个复制偏置电路的最后一级以外 (见图 4)。

图 3 描述了根据本发明的限幅器放大器的框图表示。它包括如图 1 所示的线性放大器链 LIN1、LIN2、LIN2、LIN4 以及被级联耦合并且进一步耦合到该线性放大器链 LIN1、LIN2、LIN3、LIN4 并提供一个经限幅的差分信号 OUT+、OUT- 的多个限幅放大器 NLN1、NLIN2、NLN3、NLN4, 该限幅器放大器进一步包括一个反馈差分积分器 A1、R1、R2、

R3、R4、C1、C2 以便调节该限幅器放大器的偏移电压。每一个线性放大器 LIN1、LIN2、LIN3、LIN4 的增益被选择为 4dB 左右，以便将在输入端处出现的小信号放大到被接下来的限幅放大器所需要的足够大的信号。虽然该处理限制了一级的增益带宽积，但是增益分布提高了整个限幅器的总的增益带宽积。这里的主要要求是通过确保在各线性块的高频下的峰值被限幅来降低各增益级的群延迟失真。最终，以 10GHz 的总的小信号带宽获得 52dB 的增益。反馈差分积分器 A1、R1、R2、R3、R4，C1、C2 从输出端放大偏移并且在输入端处反馈一个必需的校正信号以补偿该偏移。使用电阻分压器 R3、R4 和 50Ω 的输入电阻，环路的时间常数被增加。考虑 A 是限幅器的增益并且在第一实例中忽略其频率滚降 (roll-off)，并且如果 τ 表示积分器的时间常数以及 α 表示在输入端处的电阻分压器的衰减，则限幅器的闭环增益为：

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A(1 + j\omega\tau B)}{(1 + AB\alpha) + j\omega\tau B} \quad (6)$$

可以被近似为 $A\alpha / \tau$ 的低频极点不仅依赖于积分器时间常数 τ ，而且也依赖于衰减因子 α 。因此，可以以小的积分电容来积分一个对应于 1KHz 截止频率的有效时间常数。

图 4 描述了根据本发明的限幅器放大器的一个更详细的表示，该限幅器放大器进一步包括一个复制偏置电路，其提供一个补偿信号 I_{comp} 以偏置线性放大器链 LIN1、LIN2、LIN3、LIN4 和所述多个限幅放大器 NLN1、NLN2、NLN3、NLN4。该复制偏置电路包括一对复制晶体管 MR1、MR2，它们的对应端子耦合，也就是漏极到漏极、源极到源极以及栅极到栅极，它们的栅极被耦合到所述共模信号。跨导放大器 A2 生成所述补偿信号 I_{comp} ，该补偿信号与参考信号 VSW 和该对复制晶体管 MR1、MR2 的漏极中的电压之间的差成比例。

该复制偏置电路确保限幅器中的电流随着温度以及随着温度改变的恒定摆动，以便对于较高温度补偿各级的增益下降。电压 VSW 是带隙参考电压。该复制偏置电路随着温度 / 处理很好地与限幅器的最后一级匹配。共模电压 VCM 在最后一级的输入端处被测量。跨导放大器 A2 将电阻 R50 上的电压和电压 VSW 作比较，以便随着温度和处理来调节电路尾

部的电流 I_0 。在一个实施例中， R_{50} 的电阻值为 50ohm 。

需要注意的是，本发明的保护范围不局限于在此描述的各实施例。本发明的保护范围也不局限于权利要求中的附图标记。“包括”一词并不排除在权利要求中提到的以外的其它部分。元件之前的“一个”不排除多个那样的元件。构成本发明的一部分的装置可以以专用硬件的形式或者以经编程的处理器形式实施。本发明存在于每一个新的特征或特征组合中。

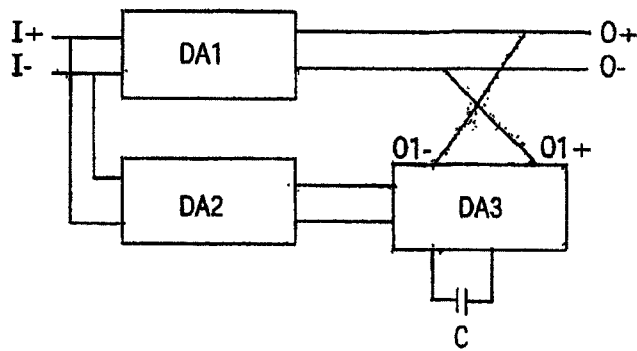


图 1

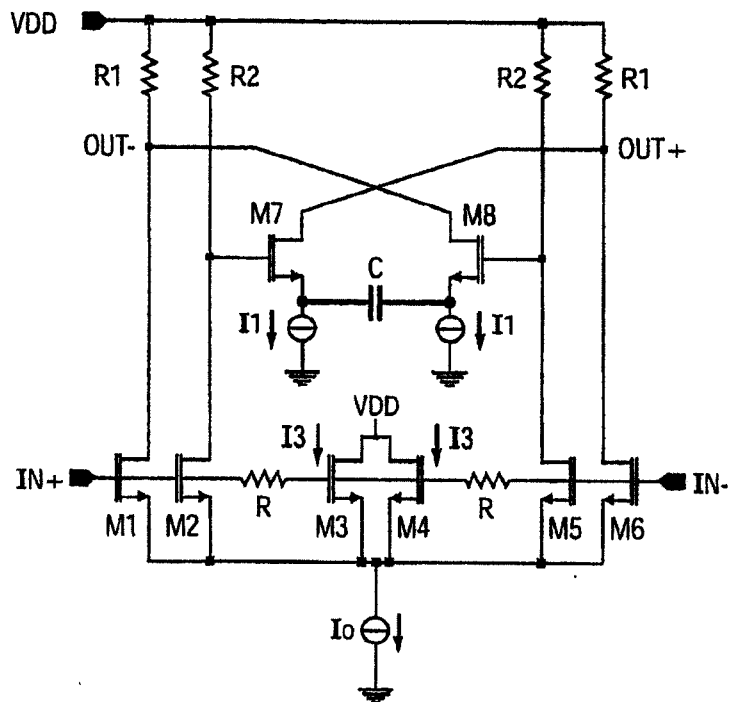


图 2

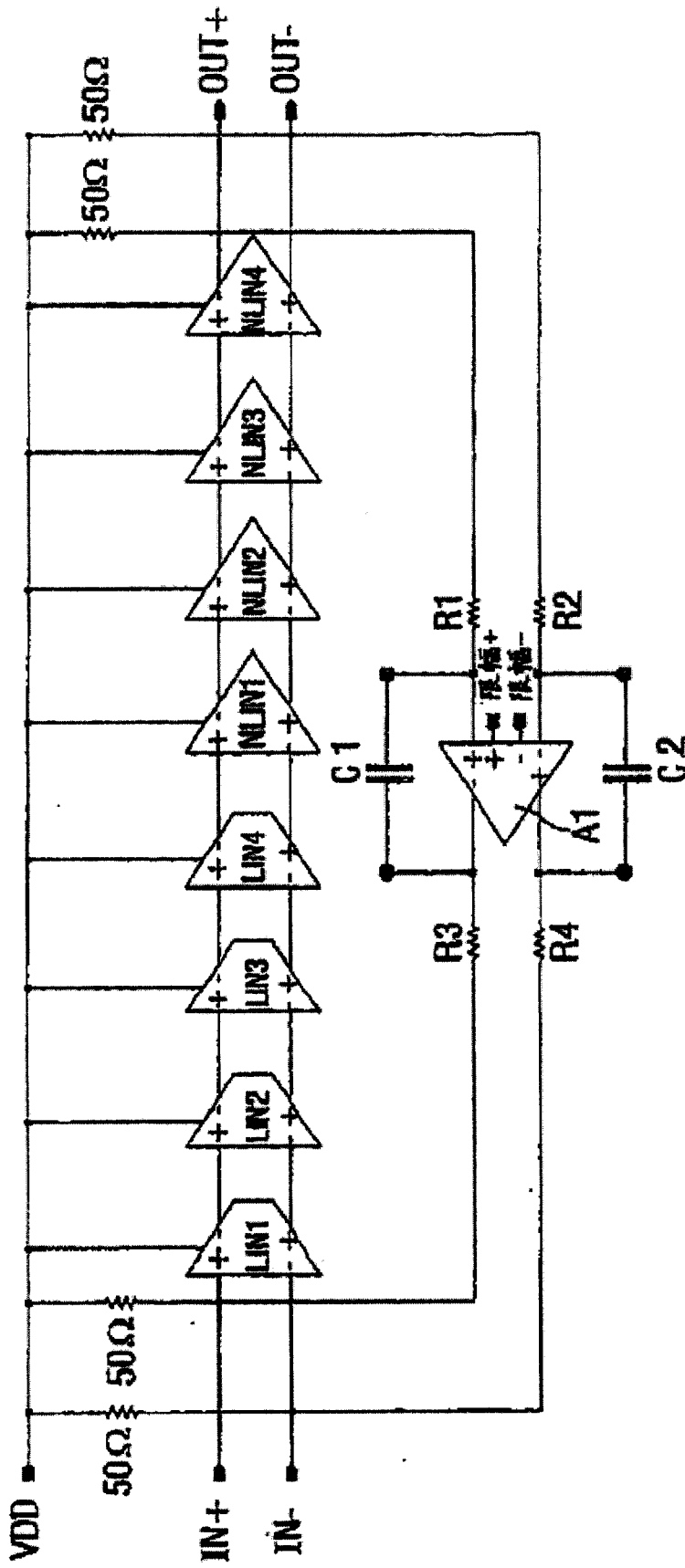


图 3

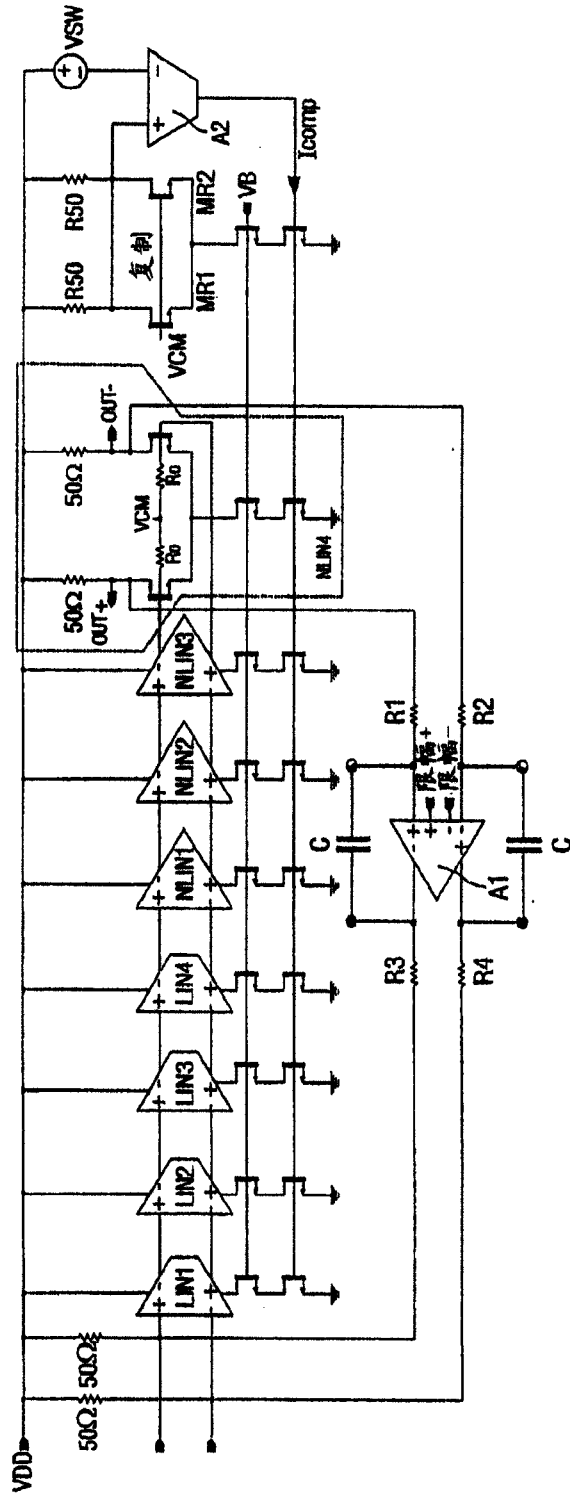


图 4