

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H03F 1/34 (2006.01)

H03F 3/45 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710062641.X

[43] 公开日 2007年7月18日

[11] 公开号 CN 101001078A

[22] 申请日 2007.1.12

[21] 申请号 200710062641.X

[71] 申请人 清华大学

地址 100084 北京市 100084 信箱 82 分箱清华大学专利办公室

[72] 发明人 孔耀晖 杨华中

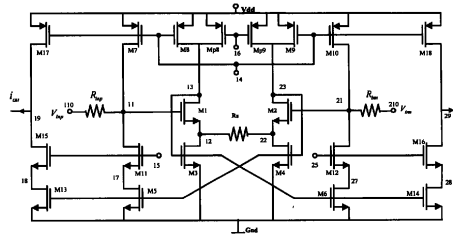
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种低电压负反馈跨导放大器

[57] 摘要

本发明是一种低电压负反馈跨导放大器，其特征是结合了电流负反馈，翻转电压跟随器和源级衰减三种技术的优点，克服了传统跨导放大器输入幅度小，线性度差，不适合低电压工作等缺点。本发明的电流负反馈模块使跨导放大器的输入幅度显著变大，翻转电压跟随器模块的低阻节点和源级衰减结构相结合，减小了传统源级衰减结构带来的失真。同时低阻节点在源级衰减中的引入给了电路设计更大的设计自由度，而不像传统结构需要在跨导值，偏置电流，输出电阻之间进行折衷。同时本电路在关键路径上的最大压降小于传统结构电路，从而显示出在更低电压下工作的潜力。本电路具有大输入幅度，高线性度，适合低电压工作的特点。



1. 一种低电压负反馈跨导放大器, 其特征在于含有:

4 个 N 型 MOS 管(M1), (M2), (M3), (M4)构成了两个翻转电压跟随器, 其中(M1)管的栅极经过节点(11)连接一个反馈电阻(R_{imp}), 该反馈电阻(R_{imp})的另一端(110)接输入电压(V_{inp}), (M2)管的栅极经过节点(21)连接另一个反馈电阻(R_{inn}), 该反馈电阻(R_{inn})的另一端(210)接输入电压(V_{inn}); 所述反馈电阻(R_{inn})、(R_{imp})通过电流反馈迫使输入电压的一部分加在反馈电阻(R_{inn})、(R_{imp})上, 从而减小加在输入管(M1)、(M2)上的电压, 减少非线性项的产生, 同时把跨导放大器的输入幅度提高到电源电压的水平; (M1)管的源级和(M3)管的漏极、以及(M2)管的源级和(M4)管的漏极依次分别连于节点(12)和(22), 在该节点(12)和(22)之间连接着一个源级衰减电阻(R_s), 以显著减少源级衰减所引入的失真;

电流镜由 8 个 N 型 MOS 管构成(M5)、(M6)、(M11)、(M12)、(M13)、(M14)、(M15)、(M16), 其中(M13)(M5)(M6)(M14)各管的源级接地, (M15)管和(M11)管的栅极共同经节点(15)连接偏置信号; (M16)和(M12)管的栅极共同经节点(25)连接偏置信号, (M13)管和(M5)管的栅极同时和所述翻转电压跟随器中(M4)管的栅极、(M2)管的漏极连于节点(23), (M14)管和(M6)管的栅极同时和所述翻转电压跟随器中(M3)管的栅极、(M1)管的漏极连接于节点(13), (M15)管的源极和(M13)管的漏极连于节点(18), (M11)管的源级和(M5)管的漏极连于节点(17), (M12)管的源级和(M6)管的漏极连于节点(27), (M16)管的源极和(M14)管的漏极连于节点(28); 另外, (M11)和(M12)管漏极依次分别和节点(11)和(21)相连;

电流源负载电路由 6 个 P 型 MOS 管构成(M7)、(M8)、(M9)、(M10)、(M17)、(M18)构成, 其中, (M7)、(M8)、(M9)、(M10)、(M17)、(M18)各管的源极接电源(V_{dd}), (M17)、(M7)、(M8)、(M9)、(M10)、(M18)各管的栅极连接于节点(14), 该节点(14)外接偏置电路以提供电流源负载电路的静态直流电流, (M7)和(M10)的漏极依次分别和节点(11)和(21)相连, (M17)管的漏极和(M15)管的漏极连接于节点(19), 构成输出节点(i_{on}), (M18)管的漏极和(M16)管的漏极相连于节点(29), 构成另一个输出节点(i_{op});

2 个 P 型 MOS 管(Mp8)和(Mp9), 该 2 个管的源级接电源(V_{dd}), 而栅极相连后连接节点(16), 该节点(16)为共模反馈电路的电压反馈点, 所述(Mp8)管的漏极和电流源负载电路中(M8)管的漏极相连后经节点(13)与翻转电压跟随器中的(M1)管的漏极相连; 所述(Mp9)管的漏极和电流源负载电路中(M9)管的漏极相连后经节点(23)与翻转电压跟随器中的(M2)管的漏极相连, 以便将从共模反馈电路反馈回来的电压信号转换成电流信号后调节电流源负载电路的共模点。

一种低电压负反馈跨导放大器

技术领域

本发明属于微电子学与固体电子学领域的超大规模集成电路设计，涉及一种新型的跨导放大电路，可以用于模拟信号处理电路，Gm-C 滤波器，模数转换电路和可变增益放大器等的设计。

背景技术

跨导放大器是模拟电路的重要组成模块，广泛应用于模拟信号处理电路，Gm-C 滤波器，模数转换电路和可变增益放大器中。最近跨导放大器还被应用于工作中频甚至射频的采样混频电路中。在这些电路中，整个系统的线性度往往由跨导放大器所决定。虽然在公开的文献中，已经提出了如交叉耦合多路差分输入，源级衰减，衬底驱动，平衡伪差分结构等多种提高跨导放大器线性度的方法，但是由于这些方法受晶体管内部非线性和其他因素的影响，其总谐波失真(THD)一般都在-40dB~-60dB，而其输入幅度也远远在电源电压之下。

因此设计一个可以工作在低电压下，具有高线性度和大输入幅度的高性能跨导放大器就成了目前模拟电路设计急需解决的主要问题之一。

针对这种情况，本发明提供了一种结合了电流负反馈，翻转电压跟随器和源级衰减三种技术优点的新型跨导放大器电路。

发明内容

本发明的目的在于提供能克服上述缺点的同时具有高线性度和大输入幅度，可低电压工作的跨导放大器电路。

本发明使用反馈电阻构成一个电流负反馈。该电阻的作用是通过电流反馈迫使一部分交流电压落在这个电阻之上，显著减小加在输入管 M1/M2 上的电压，从而减少非线性项的产生，同时将跨导放大器的线性输入幅度提到高于电源电压的水平。

本跨导放大器的跨导完整表达式为：

$$G_m = \frac{kg_{m1}}{1/r_{o1}g_{m3} + g_{m1}(kR_m + R_S/2)}$$

其中 g_{m1} 是 M1 管的跨导， r_{o1} 是 M1 管的输出电阻， g_{m3} 是 M3 管的跨导， k 是 M1 管所在通路和 M7 管所在通路的偏置电流比率。 R_m 是反馈电阻， R_S 是源级衰减电阻。由于使用了翻转电压跟随器，该跟随器的输出电阻为：

$$R_{out} = \frac{1}{g_{m1}g_{m3}r_{o1}}$$

小的输出电阻可以显著消除源级衰减结构所引入的失真。由于加在翻转跟随器 V_{gs} 上的压降为一个固定电压，因此输入信号被精确的从输入管 M1/M2 的栅极传到源级，而不像传统结构那样会引入失真，提高了线性度。本电路带来的另一个好处是可以使式子 $1/r_{o1}g_{m3} \ll g_{m1}(kR_m + R_s/2)$ 更易于成立。因此给了电路设计更大的设计自由度。而不像传统结构需要在跨导值，偏置电流，输出电阻之间进行折衷。因此本跨导放大器的表达式可以简化为：

$$G_m \approx \frac{1}{R_m + R_s/2k}$$

可以看出跨导值完全由反馈电阻，源级衰减电阻和电流比控制。因此本电路可以达到极高的跨导线性度。另外通过对反馈电阻 R_m 值的修改，可以得到各种不同的跨导值。

本发明的特征在于含有：

4 个 N 型 MOS 管 M1, M2, M3, M4 构成了两个翻转电压跟随器，其中 M1 管的栅极经过节点 11 连接一个反馈电阻 R_{inp} ，该反馈电阻 R_{inp} 的另一端 110 接输入电压 V_{inp} ，M2 管的栅极经过节点 21 连接另一个反馈电阻 R_{imn} ，该反馈电阻 R_{imn} 的另一端 210 接输入电压 V_{imn} ；所述反馈电阻 R_{imn} 、 R_{inp} 通过电流反馈迫使输入电压的一部分加在反馈电阻 R_{imn} 、 R_{inp} 上，从而减小加在输入管 M1、M2 上的电压，减少非线性项的产生，同时把跨导放大器的输入幅度提高到电源电压的水平；M1 管的源级和 M3 管的漏极、以及 M2 管的源级和 M4 管的漏极依次分别连于节点 12 和 22，在该节点 12 和 22 之间连接着一个源级衰减电阻 R_s ，以显著减少源级衰减所引入的失真；

电流镜由 8 个 N 型 MOS 管构成 M5、M6、M11、M12、M13、M14、M15、M16，其中 M13、M5、M6、M14 各管的源级接地，M15 管和 M11 管的栅极共同经节点 15 连接偏置信号；M16 和 M12 管的栅极共同经节点 25 连接偏置信号，M13 管和 M5 管的栅极同时和所述翻转电压跟随器中 M4 管的栅极、M2 管的漏极连于节点 23，M14 管和 M6 管的栅极同时和所述翻转电压跟随器中 M3 管的栅极、M1 管的漏极连接于节点 13，M15 管的源极和 M13 管的漏极连于节点 18，M11 管的源级和 M5 管的漏极连于节点 17，M12 管的源级和 M6 管的漏极连于节点 27，M16 管的源极和 M14 管的漏极连于节点 28；另外，M11 和 M12 管漏极依次分别和节点 11 和 21 相连；

电流源负载电路由 6 个 P 型 MOS 管构成 M7、M8、M9、M10、M17、M18 构成，其中，

M7、M8、M9、M10、M17、M18 各管的源极接电源 V_{dd} ，M17、M7、M8、M9、M10、M18 各管的栅极连接于节点 14，该节点 14 外接偏置电路以提供电流源负载电路的静态直流电流，M7 和 M10 的漏极依次分别和节点 11 和 21 相连，M17 管的漏极和 M15 管的漏极连接于节点 19，构成输出节点 i_{on} ，M18 管的漏极和 M16 管的漏极相连于节点 29，构成另一个输出节点 i_{op} ；

2 个 P 型 MOS 管 Mp8 和 Mp9，该 2 个管的源级接电源 V_{dd} ，而栅极相连后连接节点 16，该节点 16 为共模反馈电路的电压反馈点，所述 Mp8 管的漏极和电流源负载电路中 M8 管的漏极相连后经节点 13 与翻转电压跟随器中的 M1 管的漏极相连；所述 Mp9 管的漏极和电流源负载电路中 M9 管的漏极相连后经节点 23 与翻转电压跟随器中的 M2 管的漏极相连，以便将从共模反馈电路反馈回来的电压信号转换成电流信号后调节电流源负载电路的共模点。

发明的跨导放大器结合了电流负反馈，翻转电压跟随器和源级衰减三种技术的优点，克服了传统跨导放大器输入幅度小，线性度差，不适合低电压工作等缺点。本电路经仿真测试，在 0.18 微米 CMOS 工艺下，在 1.5V 供电电压下。差分输入 2V 峰峰幅度和 100MHz 频率信号，其总谐波失真(THD)约为-79dB，功耗仅为 200 多微瓦。

另外本电路在关键路径上的最大压降仅为 $V_{gs} + 2V_{dsat}$ ，从而显示出在更低电压下工作的潜力。经测试，本电路在 0.18 微米 CMOS 工艺 1.2V 供电电压下能很好的工作。并且本电路的供电电压还有进一步降低的空间。

附图说明

图 1.本发明跨导放大器电路图。

具体实施方式

本发明的技术方案参阅图 1。图 1 是高线性度大输入幅度低电压跨导放大器电路结构图。3 个电阻(R_{imp} 、 R_{inn} 、 R_s)，其中反馈电阻为(R_{imp} 、 R_{inn})，反馈电阻一端与输入相连，另一端接 M1\M2 的栅级，源级衰减电阻为 R_s ，接在 M1\M2 管源级之间。4 个 N 型 MOS 管(M1, M2, M3, M4)构成了两个翻转电压跟随器。电流源负载用 4 个 P 型 MOS 管构成(M7, M8, M9, M10, M17, M18)。电流源用 8 个 N 型 MOS 管构成(M5, M6, M11, M12, M13, M14, M15, M16)。2 个 P 型 MOS 管(Mp8, Mp9)将反馈从共模反馈电路反馈回来的电压信号转换成电流信号，调节电路的输出共模点。

低电压负反馈跨导放大器具体连接关系为：110 节点和 210 节点为 2 个信号输入节点。反馈电阻 R_{imp} 一端接节点 110，一端接节点 11。反馈电阻 R_{inn} 一端接节点 210，一端接节点

21。晶体管 M7、M8、M9、M10、M17、M18、的源极与电源相连，栅极与节点 14 相连，节点 14 外接偏置电路提供电路的静态直流电流。晶体管 M17、M18 的漏极分别与节点 19，节点 29 相连。节点 19，节点 29，为整个电路的输出节点。晶体管 Mp8、Mp9 源极和电源电压相连，栅极接节点 16，漏极分别接节点 13 和节点 23。节点 16 为共模反馈电路电压反馈点。晶体管 M1 栅极连节点 11，源极连节点 12，漏极连节点 13。晶体管 M2 栅极连节点 21，源极连节点 22，漏极连节点 23。源极衰减电阻 R_s 一端连节点 12，一端连节点 22。晶体管 M3 漏极接节点 12，栅极接节点 13，源极接地。晶体管 M4 漏极接节点 22，栅极接节点 23，源极接地。晶体管 M11、M15 栅极接节点 15。节点 15 的电压来自偏置电路。晶体管 M11 漏极接节点 11，源极接节点 17。晶体管 M15 漏极接节点 19，源极接节点 18。晶体管 M5、M13 源极接地，栅极接节点 23。晶体管 M5 漏极接节点 17。晶体管 M13 漏极接节点 18。晶体管 M12、M16 栅极接节点 25。节点 25 的电压来自偏置电路。晶体管 M12 漏极接节点 21，源极接节点 27。晶体管 M16 漏极接节点 29，源极接节点 28。晶体管 M6、M14 源极接地，栅极接节点 13。晶体管 M6 漏极接节点 27。晶体管 M14 漏极接节点 28。

反馈电阻 R_{mp} 、 R_{mn} 通过电流反馈迫使交流电压一部分加在这个电阻之上，从而减小加在输入管 M1/M2 上的电压，减少非线性项的产生，同时将跨导放大器的输入幅度提高到高于电源电压的水平。而晶体管 M1、M2、M3、M4 构成两个翻转跟随器加上源极衰减电阻 R_s 构成的结构，带来 2 个低阻抗输出节点 12，22。低输出电阻可以显著减少源级衰减结构所引入的失真。由于加在翻转跟随器 V_{gs} 上的压降为一个固定电压，因此输入信号被精确的从输入管 M1/M2 的栅极传到源级，不像传统结构由于 V_{gs} 不固定而引入失真。电路在关键路径上的最大压降仅为 $V_{gs} + 2V_{dsat}$ ，从而显示出本电路在更低电压下工作的潜力。以上各种技术相结合就实现了一个高线性度，大输入幅度，适合低电压工作的高性能低电压负反馈跨导放大器电路。

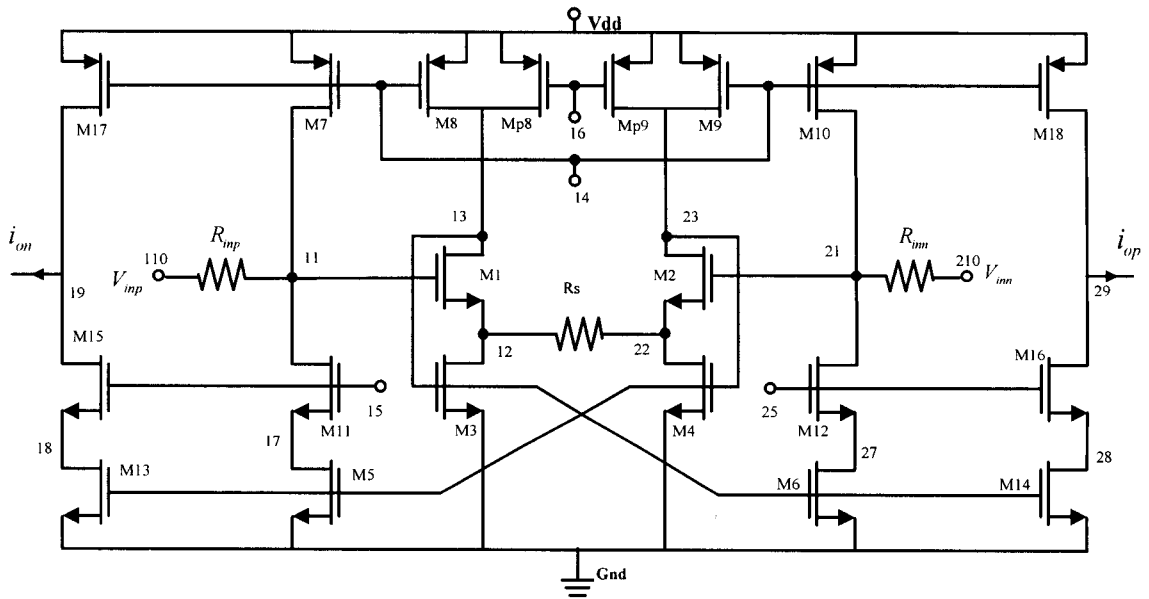


图 1