

[51] Int. Cl.

**H03F 3/04 (2006.01)**



## [12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 02823290.9

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 100514848C

[22] 申请日 2002.10.4 [21] 申请号 02823290.9  
[30] 优先权

[32] 2001.10.25 [33] US [31] 10/001,388

[86] 国际申请 PCT/US2002/031859 2002.10.4

[87] 国际公布 WO2003/036790 英 2003.5.1

[85] 进入国家阶段日期 2004.5.24

[73] 专利权人 自由度半导体公司

地址 美国得克萨斯

[72] 发明人 劳伦斯·E·康奈尔  
尼尔·W·霍伦贝克

## [56] 参考文献

CN1217607A 1999.5.26

CN1183180A 1998.5.27

US6046640A 2000.4.4

审查员 富 瑶

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 董 莘

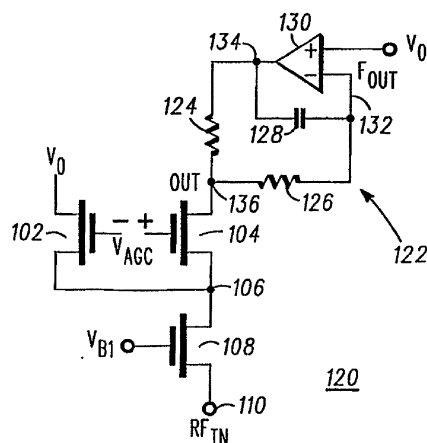
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 1 页

[54] 发明名称

# 宽带高频线性放大器及集成电路芯片

[57] 摘要

本发明涉及一种具有自动偏置电源控制的高增益宽带 RF 放大器(120)。放大器(120)包括由连接在共同源极连接(106)和放大器信号输入端 RFIN 之间的 FET(108)偏置的具有共同源极连接(106)的场效应晶体管(FET)对(102, 104)。偏置电压( $V_{B1}$ )被施加到设备(108)的栅极, 而自动增益控制电压( $V_{AGC}$ )被施加到 FET 对(102, 104)的栅极。自动偏置电源电路(122)是包括电阻(124, 126), 电容器(128)和放大器(130)的有源负载。电容器(128)被连接在放大器(130)的负输入端(132)和输出端(134)之间。负载参考电压  $V_O$  被提供到正输入端。电阻(124)被连接在放大器(130)的输出端(134)和 FET(104)的漏极处的放大器输出端(136)之间。电阻(126)被连接在 FET(104)漏极处的输出端(136)和提供放大器负载信号反馈的放大器(130)的负输入端(132)之间。



1、一种宽带高频线性放大器，包括

在输入端接收输入信号并在输出端提供输出信号的高增益放大器；以及

连接到并加载所述输出的自动偏置电源，所述自动偏置电源根据所述输出信号调节所述输出的负载；

其中所述自动偏置电源包括：

在正输入端通过参考电压偏置的差分放大器；

连接在所述输出端和所述差分放大器输出端之间的负载电阻；以及

包含电阻和电容器的积分电阻，所述电阻连接在所述输出端和所述差分放大器的负输入端之间，所述电容器连接在所述差分放大器的输出端和所述差分放大器的负输入端之间。

2、根据权利要求1的宽带高频线性放大器，其中所述高增益放大器包括：

晶体管的差分对，所述晶体管的差分对包括第一晶体管和第二晶体管，所述第一晶体管的第一导电端子以及所述第二晶体管的第一导电端子都连接到共同连接点，所述第一晶体管的第二导电端子连接到电源电压，所述第二晶体管的第二导电端子连接到所述输出端；

连接在所述共同连接点和所述输入端之间的输入晶体管，所述输入晶体管的第一导电端子连接到所述输入端，第二导电端子连接到所述共同连接点；

连接到所述输入晶体管的控制端子的第一偏置电压；以及

在所述第一晶体管的控制端子与所述第二晶体管的控制端子之间差分连接的第二偏置电压。

3、根据权利要求2的宽带高频线性放大器，其中每个所述晶体管

是场效应晶体管即 FET。

4、根据权利要求 3 的宽带高频线性放大器，其中每个所述 FET 是 n 型 FET 即 NFET。

5、根据权利要求 1 的宽带高频线性放大器，其中所述宽带高频放大器是射频 RF 放大器。

6、一种包括宽带高频放大器的集成电路芯片，所述宽带高频线性放大器包括：

在输入端接收输入信号并在输出端提供输出信号的非倒相高增益放大器；以及

连接到并加载所述输出的自动偏置电源，所述自动偏置电源根据所述输出信号调整所述输出的负载。

其中所述自动偏置电源包括：

在正输入端由参考电压偏置的差分放大器；

连接在所述输出端和所述差分放大器输出端之间的负载电阻；以及

包含电阻和电容器的低通滤波器，所述电阻连接在所述输出端和所述差分放大器负输入端之间，所述电容器连接在所述差分放大器的输出端和所述差分放大器的负输入端之间。

7、根据权利要求 6 的集成电路芯片，其中所述非倒相高增益放大器包括：

具有共同源极连接的场效应晶体管即 FET 的差分对，所述 FET 的差分对中的第一 FET 的漏极连接到电源电压，所述 FET 的差分对中的另一 FET 的漏极连接到所述输出端；

输入 FET，所述输入 FET 具有连接到所述 FET 的差分对的共同源极连接的漏极以及连接到所述输入端的源极；

连接到所述输入 FET 栅极的偏置电压；以及  
差分地连接到所述 FET 的差分对中的每个 FET 的栅极的自动增益控制电压。

8、根据权利要求 7 的集成电路芯片，其中每个所述 FET 都是 n 型 FET 即 NFET。

9、根据权利要求 6 的集成电路芯片，其中所述集成电路芯片上的多个电路以射频工作，并且所述宽带高频放大器是射频放大器。

## 宽带高频线性放大器及集成电路芯片

### 技术领域

本发明涉及宽带线性放大器，特别涉及电阻性加载的宽带高频线性放大器。

### 背景技术

宽带多信道通信系统要求高度线性的宽带放大器，以避免大量势能载波相互作用（potential carrier interaction）引起的二阶和三阶影响。因此，为了放大器的最大线性，必须把二阶和三阶影响减低到最小。一般地，某种形式的自动增益控制被用来减少增益以补偿大的输入信号，用均匀增益换取扩展信号线性。

不利的是，因为对于一般集成电路放大器而言，输出电流流向是单向的，即从电源到电源返回（supply return）或地，这些先前技术放大器一般将电流引向/引离电阻负载，明显地改变了放大器的DC工作点。这些工作点的偏移可能导致差的放大器线性并限制放大器增益范围。如果过大的电流被引向电阻负载，输出电压可能被显著的降低，并且可能引起放大器饱和，导致差的线性，以及恶化的放大器信号响应和带宽。如果过小的电流被引向输出电阻负载，输出电压可能显著地增加，导致灾难性的设备故障。

因此，用以保持放大器位于希望的工作偏置点的宽带多信道放大器的稳定负载偏置是有需要的。

### 发明内容

本发明的目的在于提供一种宽带高频线性放大器，以便保持放大器位于希望的工作偏置点的宽带多信道放大器的稳定负载偏置。

根据本发明，提供了一种宽带高频线性放大器，包括

在输入端接收输入信号并在输出端提供输出信号的高增益放大器；以及

连接到并加载所述输出的自动偏置电源，所述自动偏置电源根据所述输出信号调节所述输出的负载；

其中所述自动偏置电源包括：

在正输入端通过参考电压偏置的差分放大器；

被连接在所述输出端和所述差分放大器输出端之间的负载电阻；以及

包含电阻的积分电阻，所述电阻连接在所述输出端和所述差分放大器的负输入端之间。

根据本发明，还提供了一种包括宽带高频放大器的集成电路芯片，所述宽带高频线性放大器包括：

在输入端接收输入信号并在输出端提供输出信号的非倒相高增益放大器；以及

连接到并加载所述输出的自动偏置电源，所述自动偏置电源根据所述输出信号调整所述输出的负载。

其中所述自动偏置电源包括：

在正输入端由参考电压偏置的差分放大器；

被连接在所述输出端和所述差分放大器输出端之间的负载电阻；以及

包含电阻的低通滤波器，所述电阻被连接在所述输出端和所述差分放大器负输入端之间。

在一个优选实施例中，所述低通滤波器是被连接在所述输出端和所述差分放大器负输入端之间的电阻和被连接在所述负输入端和地之间的电容。

根据本发明的高增益宽带放大器将期望的工作区间上的带宽和线性进行最大化。另外，当作为集成电路芯片上的 RF 放大器的负载使用时，有源负载 122 不使用明显的附加芯片区，因此不增加 RF 放大器电路的附加成本。因此，本发明的宽带 RF 放大器是在高频中，

即在 RF 中，前面的低增益的经验问题的低成本解决方案。

### 附图说明

通过下面参考附图的详细优选实施例描述可以更好的理解前述和其他的目的，方面以及优点，其中

图 1 表现了无源地加载负载电阻的典型先前技术宽带放大器；

图 2 表示了具有自动偏置电源控制的高增益宽带放大器的优选实施例的示意图。

### 本发明优选实施例的详细描述

现在转到附图，特别是图 1 表示了被无源地加载负载电阻 ( $R_L$ ) 112 的这种先前技术的典型宽带放大器 100。差分场效应晶体管(FET)对 102, 104 具有共同的源极连接 106。FET108 在输入端 110 和共同源极连接 106 之间从源极到漏极的被连接。在 FET102, 104 的栅极之间施加差分增益控制电压  $V_{AGC}$ 。偏置电压  $V_{B1}$  被施加到 FET108 的栅极。FET102 的漏极被直接连接到电源电压  $V_{dd}$ ，而 FET104 的漏极被连接到放大器输出端 OUT。负载电阻  $R_L$ 112 被连接在  $V_{dd}$  和放大器输出端之间。

放大器线性是放大器设备偏置状态，特别是每个放大器设备的设备漏源电压( $V_{ds}$ )的函数。通过寄生设备电容，固有电阻以及从使放大器过激励中能够引入非线性。当放大器设备的漏源电压太小以至于所述设备产生饱和，恶化的放大器线性和/或带宽时，引起放大器过激励。

理想地，对于放大器的整个工作范围，全部三个 FET 102, 104 和 108 被偏置以工作在饱和区。饱和时，每个设备的漏源电压 ( $V_{ds}$ ) 比其栅源电压 ( $V_{gs}$ ) 减去特定设备的阈值电压 ( $V_T$ ) 高，即

$$V_{ds} > V_{gs} - V_T$$

在稳定状态:

$$V_{OUT} = V_{dd} - I_{ds} * R_L$$

饱和状态的 FET 担当压控电流源，并且设备漏源电流 ( $I_{ds}$ ) 基

本上直接与  $(V_{gs} - V_T)^2$  成比例并与  $V_{ds}$  无关。对于小信号应用, (即信号涉及信号响应范围的一小部分的应用) FET 漏极电流变化  $\Delta I_{ds}$  可以近似为  $\Delta I_{ds} \cong \Gamma \Delta V_{gs}$

因此, 输出电压  $V_{out}$  变化的输出信号, 即  $\Delta V_{out}$  与  $\Gamma \Delta V_{gs}$  成比例, 其中  $\Gamma$  是设备跨导。  $V_{gs}$  是栅极偏置电压  $V_{Bg}$ , 每个 FET 源极电压和输入信号  $V_{RFIN}$  的函数。驱动 FET108 源极的任何输入信号在 FET108 的栅极被有效地反向, 因此

$$\Delta V_{gs} = -V_{RFIN}$$

以及

$$\Delta V_{out} \cong \Gamma V_{RFIN} R_L$$

但是, 部分地,  $V_T$  是源极到基极偏置的函数。  $V_{gs}$  是栅极偏置电压(对 FET108 是  $V_{B1}$  或对 FET 102, 104 是增益控制电压  $V_{AGC}$ ), 以及每个特定 FET 的源极电压的函数。  $V_{AGC}$  为 FET 对 102, 104 设定增益偏置点, 所述 FET 对 102, 104 通过 FET104 或通过 FET102 把电流引向输出负载电阻 112。因此, 对 FET108,

$$\Delta I_{ds108} \cong -\Gamma_{108} V_{RFIN}$$

其中  $\Gamma_{108}$  是 FET108 的跨导, 而对 FET104,

$$\Delta I_{ds104} = -\frac{\Gamma_{104}}{\Gamma_{104} + \Gamma_{102}} [\Gamma_{108} V_{RFIN}]$$

其中  $\Gamma_{102}$  和  $\Gamma_{104}$  分别是 FET102 和 104 的跨导, 而且与  $V_{AGC}$  成比例。

放大器输出  $V_{out}$  等于

$$V_{out} = \frac{-\Gamma_{104}}{\Gamma_{104} + \Gamma_{102}} [\Gamma_{108} \cdot V_{RFIN}] \cdot R_L$$

以上对小信号是成立的, 但是对于小信号近似无效和  $I_{ds}$  必须被视为与  $(V_{GS} - V_T)^2$  成比例的大信号, 就要关注线性。因此, 只要输出保持在其线性工作范围中, 即  $V_{AGC+} - V_T < V_{out} < V_{dd}$ , 并且被提供的平均信号成分为零, 即被提供的  $V_{RFIN} = 0$ , 上述关系就成立。

通过改变  $V_{AGC}$  或偏置电压  $V_{B1}$  (它改变  $V_{ds108}$ ) 可以显著地改变增益。改变这些参考电压的任何一个都在输出工作点反映出来, 并且能够影响放大器线性。增加  $V_{B1}$  或  $V_{AGC}$  降低了 FET102, 104 和 108

中一个或多个的  $V_{ds}$ ，以至于用足够的输入信号，被影响的设备可以脱离饱和，增加设备电容并导致差的放大器线性。当平均信号成分为零时，工作节点也偏移了。任何非零平均信号成分表现为 DC 工作点偏移。

因此如上文描述的那样，不管是设定原始偏置点以至于放大器过激励，或者输出信号引起偏置点偏移，只要工作点使得输出信号低于  $V_{AGC+} - V_T$ ，FET 都将脱离饱和。另外，如前面描述的那样，偏置点可以偏移，以至于设备 102 或 104 被断开，其中所有或几乎所有势能输出电压 ( $V_{dd}$ ) 通过所述断开设备 (the off device)。因此，对所述断开设备， $V_{ds}$  可能可以超过设备击穿电压，损坏 FET104 和 102 中任何一个或二者。

总的来说，如上面描述的那样，放大器 100 被偏置，以至于恒定电流流过 FET108 并且 RFIN 处的任何信号变化都引起流过设备 104 的电流的线性变化。流过设备 104 的电流的线性变化在通过负载电阻 112 的电压降中以及，结果在等于  $V_{dd} - I_{ds104}R_L$  的输出电压中反映出来。 $V_{AGC}$  是作为差分信号被使用，以至于当设备 104 的栅极增加时，设备 102 的栅极减少，引起了通过设备 108 的恒定电流以及 106 处的恒定电压。因此，设备 104 和 102 将电流或者引向输出或者引向电源。把  $V_{AGC}$  设定得很高，即在  $V_{dd}$  附近或接近它，减少了 FET104 的  $V_{dd}$  的输出电压漂移，并且因此减小了放大器的线性范围，结果降低了放大器的线性。相反地，为小信号应用降低  $V_{AGC}$  提高了放大器工作点，使  $V_{out}$  偏置更接近  $V_{dd}$  以增加 FET102 和 104 栅极到漏极的势能。对于足够大的  $V_{dd}$ ，栅极到漏极的势能就足够大以至于引起任何一个设备灾难性的故障。

图 2 表示了具有自动偏置电源控制的高增益宽带宽放大器 120 的优选实施例的示意图。有源负载 122 提供了根据放大器输出的 DC 偏置偏移被主动调节的负载电源。放大器 120 包括在共同源极连接 106 处被连接，并被连接到放大器 FET 108 的漏极的场效应晶体管 (FET) 102，104 的差分对。放大器 FET108 被连接在共同源极连接 106 和放

大器信号输入端 RFIN 之间。偏置电压  $V_{B1}$  被施加到偏置设备 108 的栅极，而自动增益控制电压  $V_{AGC}$  被差分地施加到差分 FET 对 102，104 的栅极。

有源负载 122 包括电阻 124，126，电容器 128 和生成自动偏置电源的差分放大器 130。电容器 128 被连接在差分放大器 130 的负输入端 132 和差分放大器 130 的输出端 134 之间。负载参考电压 VO 被提供到正输入端。电阻 124 被连接在差分放大器 130 的输出端 134 和 FET104 的漏极处的高增益宽带放大器输出端 136 之间。电阻 126 被连接在输出端 136 处的 FET104 的漏极的输出端和差分放大器 130 的负输入端 132 之间，提供放大器负载反馈。

响应输出端 136 的偏置偏移，差分放大器 130 为电阻 124 提供负载电流，维持差分放大器 130 的输出端 136 处的 DC 电压等于参考电压 VO， $V_{FOUT} = VO$ 。电阻 126 和电容器 128 形成积分电阻，补偿 FOUT ( $V_{FOUT}$ ) 处的射频 (RF) 信号，并且传递被补偿的 DC 偏置成分到输出端 136。没有输入信号时， $V_{out136}$  是 VO，即  $V_{out} = V_{FOUT} = VO$ ，因此输出 DC 成分是 VO。当信号被施加到输入端 RFIN，DC 成分可能偏移，例如由于信号占空度。放大器 130 补偿任何这样的偏移，增加/减少对负载电阻 124 的激励以维持 DC 输出成分为 VO。因此，有源负载 122 自动地调节放大器 120 偏置点以补偿任何这样的信号引起的偏移。

有利地，通过在射频 (RF) 集成电路芯片上包括具有有源负载 122 自动偏置电源控制的高增益宽带放大器 120，有源负载通过为 RF 放大器提供片内电压控制调节放大器输出 DC 的工作点。与高增益宽带放大器 120 的增益设定无关，静止或放大器输出的 DC 电压成分被保持在 VO。因此，放大器的工作范围和增益可以被增加，而在整个输出信号范围上维持放大器的线性。

因此，本发明的高增益宽带放大器 120 将期望的工作区间上的带宽和线性进行最大化。另外，当作为集成电路芯片上的 RF 放大器的负载使用时，有源负载 122 不使用明显的附加芯片区，因此不增加 RF

放大器电路的附加成本。因此，本发明的宽带 RF 放大器是在高频中，即在 RF 中，前面的低增益的经验问题的低成本解决方案。

虽然已经根据优选实施例描述了本发明，但是本领域的技术人员将认识到，可以用在权利要求的精神和范围内的修改来实现本发明。

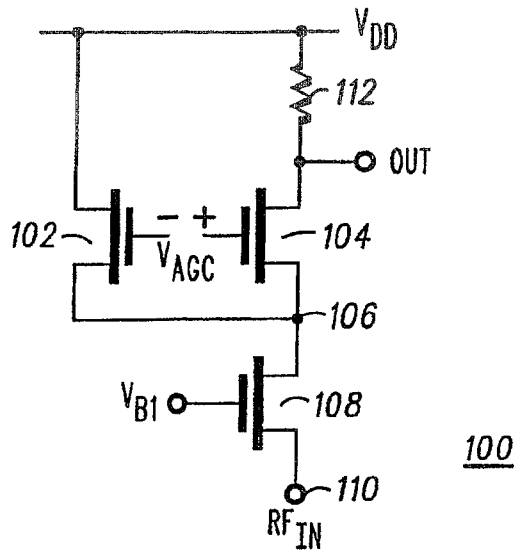


图1  
现有技术

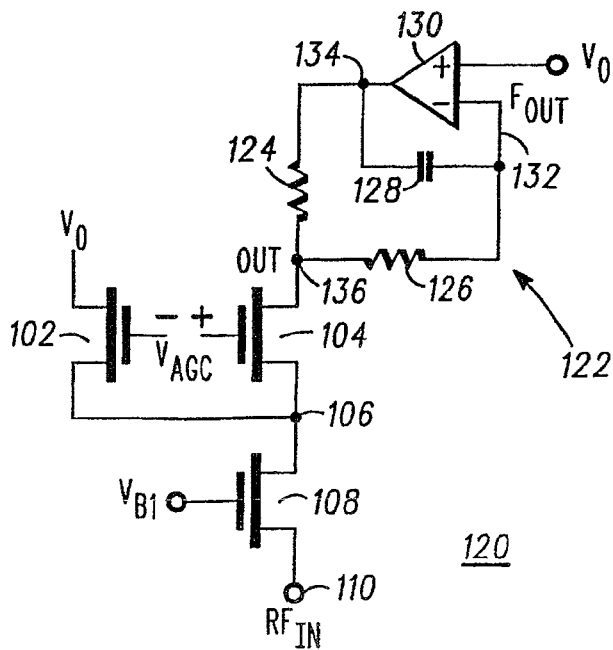


图2