

证书号第 2767144 号



发明专利证书

发明名称：一种 dB 线性超宽带可变增益放大器

发明人：李振荣；庄奕琪；庞瑞；刘心彤

专利号：ZL 2016 1 0045159.4

专利申请日：2016 年 01 月 22 日

专利权人：西安电子科技大学

授权公告日：2018 年 01 月 05 日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 01 月 22 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨





(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105720938 B

(45)授权公告日 2018.01.05

(21)申请号 201610045159.4

(22)申请日 2016.01.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105720938 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(73)专利权人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市太白南路2号

(72)发明人 李振荣 庄奕琪 庞瑞 刘心彤

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 胡乐

(51)Int. Cl.
H03G 3/30(2006.01)
H03F 1/48(2006.01)
H03F 3/24(2006.01)

(56)对比文件

CN 103036517 A, 2013.04.10,
CN 101009479 A, 2007.08.01,
CN 101562432 A, 2009.10.21,
US 7180358 B2, 2007.02.20,
JP H09270650 A, 1997.10.14,

审查员 赖女女

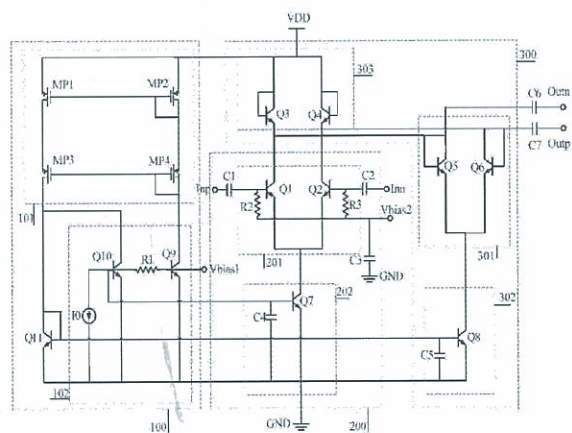
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种dB线性超宽带可变增益放大器

(57)摘要

本发明公开了一种dB线性超宽带可变增益放大器。该可变增益放大器由可变跨导放大器单元、可变负载阻抗单元和增益控制单元组成。所述的可变跨导放大器单元将输入电压信号转换成电流信号,该电流信号经由所述的可变负载阻抗单元转换成电压信号输出。可变跨导放大器单元和可变负载阻抗单元均由尾电流源偏置,该尾电流源的电流值均由所述的增益控制单元控制,故可变跨导放大器单元和可变负载阻抗单元的跨导由增益控制单元调节。增益由可变跨导放大器单元与可变负载阻抗单元的跨导之比决定,增益控制单元合适地调节其跨导即可得到dB线性控制特性。



1. 一种dB线性超宽带可变增益放大器,其特征在于:主要由差分共射极可变跨导放大器单元、差分可变负载阻抗单元和增益控制单元组成;其中差分共射极可变跨导放大器单元将差分输入信号转换为差分电流信号,所述差分电流信号经由差分可变负载阻抗单元转换成差分电压信号输出;

所述的差分共射极可变跨导放大器单元主要由npn晶体管Q1、Q2和起偏置作用的第一尾电流源组成,其中npn晶体管Q1、Q2完全匹配构成信号放大管对,发射极共接所述第一尾电流源,差分输入信号通过相等数值的隔直电容连接在所述信号放大管对的基极上,基极还分别经由数值相等的电阻偏置于固定电压Vbias2上,集电极作为该dB线性超宽带可变增益放大器的输出端,通过隔直电容输出差分电压信号;

所述的差分可变负载阻抗单元主要由两对采用二极管连接的npn晶体管和起偏置作用的第二尾电流源组成;第一对二极管连接的npn晶体管Q3、Q4的基极和集电极连接在供电电源VDD上,发射极连接在所述信号放大管对相应的集电极上;第二对二极管连接的npn晶体管Q5、Q6的基极和集电极也连接在所述信号放大管对相应的集电极上,发射极接所述第二尾电流源;

所述二极管连接是指晶体管的基极与集电极相连接;

所述第一尾电流源和第二尾电流源的电流值由所述增益控制单元分别控制;增益控制单元包含有一个指数关系电流发生器,指数关系电流发生器包括完全匹配的npn晶体管Q9和npn晶体管Q10、一个固定阻值的电阻R1和产生电流控制信号Icnt的电流沉;npn晶体管Q9的基极连接在电阻R1的一端和固定电压Vbias1上,npn晶体管Q10的基极连接在电阻R1的另一端和电流沉的正端,Q9的发射极、Q10的发射极和电流沉的负端均接地,npn晶体管Q9的集电极电流I9与npn晶体管Q10的集电极电流I10之比为指数关系;通过电流镜的操作使得大小为 $(I_9 - I_{10})$ 即 $I_9 \cdot (1 - \exp(-I_{cnt} \cdot R_1))$ 的电流复制到所述第二尾电流源,集电极电流I10放大设定倍数复制到所述第一尾电流源。

2. 根据权利要求1所述的dB线性超宽带可变增益放大器,其特征在于:

所述第一尾电流源采用npn晶体管Q7,集电极接所述信号放大管对的发射极,发射极接地,基极电压由所述增益控制单元控制;

所述第二尾电流源采用npn晶体管Q8,集电极接第二对二极管连接的npn晶体管Q5、Q6的发射极,发射极接地,基极电压由所述增益控制单元控制。

3. 根据权利要求2所述的dB线性超宽带可变增益放大器,其特征在于:所述的增益控制单元还包括共源共栅电流镜和采用二极管连接的npn管Q11;

所述的共源共栅电流镜由四个PMOS晶体管MP1、MP2、MP3和MP4构成,MP1与MP2共栅,MP3和MP4共栅,MP2和MP4均为二极管连接形式,MP2的漏极与MP4的源极相连接形成串联,MP2源极连接在VDD上,MP4的漏极与指数关系电流发生器中的Q9的集电极相连接;MP1的漏极与MP3的源极相连接形成串联,MP1的源极连接在VDD上,MP3的漏极与所述采用二极管连接的npn管Q11的集电极、指数关系电流发生器中的Q10的集电极连接,在三者连接点处实现了Q9集电极电流与Q10集电极电流作差;

所述采用二极管连接的npn管Q11与第二尾电流源npn晶体管Q8构成1:1的第二电流镜,使得所述大小为 $(I_9 - I_{10})$ 即 $I_9 \cdot (1 - \exp(-I_{cnt} \cdot R_1))$ 的电流复制到所述第二尾电流源;

所述npn晶体管Q10的基极与第一尾电流源npn晶体管Q7的基极连接,使得Q10与Q7构成

1:2的第一电流镜。

4. 根据权利要求3所述的dB线性超宽带可变增益放大器,其特征在于:所述第一电流镜和第二电流镜的公共基极分别通过旁路电容C4和C5到地。

一种dB线性超宽带可变增益放大器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种可变增益放大器,具体涉及一种工作带宽大的dB线性可变增益放大器。

背景技术

[0002] 可变增益放大器是射频收发机前端的核心组件之一。尽管发射极和接收机间通道内的信号强度随时间变化,但是无线收发机中自动增益控制系统依旧能够为基带中的模数转换器提供稳定强度的信号。自动增益控制系统中的可变增益放大器能够实现改变其增益的功能,进而为基带部分提供所需的输入信号强度。通过负反馈原理,自动增益控制系统能够保持其输出信号强度至一个预定的水平。在无线收发机中,可变增益放大器需要能达到稳定的增益控制,保持稳定的信号功率强度提供给基带,同时其直流功耗、带宽、稳定性和输入输出回波损耗均不改变。

[0003] 60GHz附近的开放波段为短距无线系统提供了发展的新机遇,在IEEE.802.11ad标准中,无线通信系统需要有880MHz的基带信号带宽,因而可变增益放大器需要1GHz以上带宽。

[0004] 电压增益dB线性控制特性是自动增益控制(AGC)具有稳定的建立时间的必要条件。由于MOS器件无论是处于饱和区还是线性区都没有指数函数型的I-V特性,因而CMOS工艺下的可变增益放大器的增益dB线性控制特性往往需要借助于CMOS工艺下寄生的双极性晶体管或工作在亚阈值区的MOS管,或者构造出伪指数函数来实现。采用寄生晶体管的方案需要额外的辅助电路来保证寄生晶体管的工作,功耗高、可靠性差。而采用工作在亚阈值区的MOS管实现的可变增益放大器,会因为栅极控制电压的变化范围有限,输出电流较小。

[0005] 天津大学的中国专利申请“一种dB线性可变增益放大器”(CN103036517A)中通过电流平方率关系构建的伪指数函数控制关系,增加了额外的电路,消耗了更多的芯片面积。

[0006] 三星电机株式会社的中国专利申请“具有宽增益变化和宽带宽的可变增益放大器”(CN 101394157A)中构造了伪指数函数 $f(x) = \frac{[1+ax+k(ax)^2/2]}{[1-ax+k(ax)^2/2]}$,获得了较大的dB线性

控制增益范围,电路更加复杂,消耗过大的芯片面积和功耗。

[0007] 与MOS晶体管相比,双极性晶体管因其I-V指数关系而固有dB线性控制特性,因而无需复杂的电路就可以获得dB线性。GaAs工艺和SiGeBiCOMS工艺均可以实现高性能双极性晶体管。但相较之下,SiGeBiCMOS工艺具有成本较低且与成熟的CMOS工艺相兼容利于集成的优点。

[0008] 北京工业大学的中国专利申请“超宽带可变增益放大器”中尽管使用了异质晶体管却没有实现dB线性,并且采用较多的无源器件使得芯片面积较大。

[0009] 因此,当下亟需解决的一个技术问题就是:如何能够创造性地设计一种具有dB线性控制超宽带且电路简单低功耗的可变增益放大器。

发明内容

[0010] 针对上述现有技术,本发明提供了一种dB线性控制的超宽带可变增益放大器,电路结构简明、功耗低,带宽特性好。

[0011] 本发明的解决方案如下:

[0012] 一种dB线性超宽带可变增益放大器,主要由差分共射极可变跨导放大器单元、差分可变负载阻抗单元和增益控制单元组成;其中差分共射极可变跨导放大器单元将差分输入信号转换为差分电流信号,所述差分电流信号经由差分可变负载阻抗单元转换成差分电压信号输出;

[0013] 所述的差分共射极可变跨导放大器主要由npn晶体管Q1、Q2和起偏置作用的第一尾电流源组成,其中npn晶体管Q1、Q2完全匹配构成信号放大管对,发射极共接所述第一尾电流源,差分输入信号通过相等数值的隔直电容连接在所述信号放大管对的基极上,基极还分别经由数值相等的电阻偏置于固定电压Vbias2上,集电极作为该dB线性超宽带可变增益放大器的输出端,通过隔直电容输出差分电压信号;

[0014] 所述的差分可变负载阻抗单元主要由两对采用二极管连接的npn晶体管和起偏置作用的第二尾电流源组成;第一对二极管连接的npn晶体管Q3、Q4的基极和集电极连接在供电电源VDD上,发射极连接在所述信号放大管对相应的集电极上;第二对二极管连接的npn晶体管Q5、Q6的基极和集电极也连接在所述信号放大管对相应的集电极上,发射极接所述第二尾电流源;

[0015] 所述二极管连接是指晶体管的基极与集电极相连接;

[0016] 所述第一尾电流源和第二尾电流源的电流值由所述增益控制单元分别控制;增益控制单元包含有一个指数关系电流发生器,指数关系电流发生器包括完全匹配的npn晶体管Q9和npn晶体管Q10、一个固定阻值的电阻R1和产生电流控制信号Icnt的电流沉;npn晶体管Q9的基极连接在电阻R1的一端和固定电压Vbias1上,npn晶体管Q10的基极连接在电阻R1的另一端和电流沉的正端,Q9的发射极、Q10的发射极和电流沉的负端均接地,npn晶体管Q9的集电极电流I9与npn晶体管Q10的集电极电流I10之比为指数关系;通过电流镜的操作使得大小为 $(I_9 - I_{10})$ 即 $I_9 \cdot (1 - \exp(-I_{cnt} \cdot R_1))$ 的电流复制到所述第二尾电流源,集电极电流I10放大设定倍数复制到所述第一尾电流源。

[0017] 基于以上电路结构设计,本发明还进一步作了如下优化:

[0018] 第一尾电流源采用npn晶体管Q7,集电极接所述信号放大管对的发射极,发射极接地,基极电压由所述增益控制单元控制;第二尾电流源采用npn晶体管Q8,集电极接第二对二极管连接的npn晶体管Q5、Q6的发射极,发射极接地,基极电压由所述增益控制单元控制。

[0019] 信号放大管对的小信号跨导由第一尾电流源的数值决定;第二对二极管连接的npn晶体管的小信号跨导由第二尾电流源的数值决定;第一对二极管连接的npn晶体管的小信号跨导由第一尾电流源与第二尾电流源数值之和决定。

[0020] 增益控制单元还包括共源共栅电流镜和用作所述电流镜的采用二极管连接的npn管Q11;所述的共源共栅电流镜由四个PMOS晶体管MP1、MP2、MP3和MP4构成,MP1与MP2共栅,MP3和MP4共栅,MP2和MP4均为二极管连接形式,MP2的漏极与MP4的源极相连接形成串联,MP2源极连接在VDD上,MP4的漏极与指数关系电流发生器中的Q9的集电极相连接;MP1的漏

极与MP3的源极相连接形成串联,MP1的源极连接在VDD上,MP3的漏极与所述采用二极管连接的npn管Q11的集电极、指数关系电流发生器中的Q10的集电极连接,在三者连接点处实现了Q9集电极电流与Q10集电极电流的作差;所述采用二极管连接的npn管Q11与第二尾电流源npn晶体管Q8构成1:1的第二电流镜;所述npn晶体管Q10的基极与第一尾电流源npn晶体管Q7的基极连接,使得Q10与Q7构成1:2的第一电流镜。

[0021] 可变增益放大器级联一级固定增益放大器即可实现正的增益。

[0022] 第一电流镜和第二电流镜的公共基极分别通过旁路电容C4和C5到地。

[0023] 本发明与现有技术相比,具有以下优点:

[0024] 第一、采用的是差分电路形式。差分结构电路,一方面可以抑制共模噪声,消减偶阶次谐波,另一方面具有多个虚地点,便于dB线性增益控制的实现,而且每个差分输出所需要的电压摆幅仅为单端输出的一半,因此可以减小失真。

[0025] 第二、结构简单,面积小。主体差分电路只采用了15个晶体管来实现可变增益放大器。

[0026] 第三、增益dB线性控制。电压增益dB线性控制特性是自动增益控制(AGC)系统具有稳定的建立时间的必要条件,本发明满足自动增益控制系统对可变增益放大器增益dB线性控制的要求。

[0027] 第四、鲁棒性好。本发明在信号通路上没有采用电阻等无源器件,故鲁棒性好,有利于电路容忍工艺带来的偏差,可靠性高。

[0028] 第五、带宽宽。由于采用的是二极管连接的HBT异质结晶体管作为负载,阻抗小,所以输出极点远,带宽特性好。快速数据交换是当今无线通讯的发展需求,本发明较宽的工作带宽满足射频接收系统对数据高速传输的要求。

[0029] 第六、动态变化范围大。本发明基于SiGe BiCMOS工艺,由于SiGe HBT异质结晶体管固有的集电极电流与发射结电压的dB线性关系,使得电路的增益动态变化范围大。

附图说明

[0030] 图1是根据本发明示例性实施例的可变增益放大器的电路图;

[0031] 图2是实施例中dB线性可变增益放大器的频率响应特性图;

[0032] 图3是实施例中控制信号与增益之间的dB关系曲线。

具体实施方式

[0033] 以下给出一个示例性实施例详述本发明的方案,其中采用SiGe HBT异质结晶体管作为有源器件。

[0034] 图1是根据本发明示例性实施例的可变增益放大器的电路图。

[0035] 参考图1,根据本发明示例性实施例的可变增益放大器可以包括差分共射极可变跨导放大器单元200、差分可变负载阻抗单元300和增益控制单元100。差分共射极可变跨导放大器单元200,将差分输入信号转换为差分电流信号;差分可变负载阻抗单元300,将上述的差分电流信号转换为差分电压信号输出;增益控制单元100,为上述的差分共射极可变跨导放大器单元和差分可变负载阻抗单元提供可变电流偏置。

[0036] 差分共射极可变跨导放大器单元,由完全匹配的作为信号放大管的一对npn晶体

管Q1、Q2及作为第一尾电流源202起偏置作用的npn晶体管Q7构成。信号放大管对201采用共射极偏置结构,发射极均连接在尾电流源晶体管Q7的集电极,基极分别经由数值相等的大电阻R2和R3偏置于合适的固定电压Vbias2上,集电极分别连接在差分可变负载阻抗单元300上,Vbias2在本发明示例性实施例中取值为1.8V。大电阻R2和R3与固定电压Vbias2的连接点经旁路电容C3到地。的信号放大管对201的小信号跨导由尾电流源的数值决定。第一尾电流源202晶体管Q7的发射极连接到地,基极电压由增益控制单元100决定,即尾电流源的数值由增益控制单元100决定。

[0037] 差分输入信号通过相等数值的隔直电容C1和C2连接在信号放大管对201的基极上,经由信号放大管对201转化成差分电流信号,该信号从信号放大管对201集电极进入差分可变负载阻抗单元300,转换成差分电压信号通过隔直电容C6和C7输出,可变增益放大器的输出端即信号放大管对201的集电极。增益控制单元100通过调节与信号放大管对201的第一尾电流源202的数值来改变信号放大管对的小信号跨导。

[0038] 差分可变负载阻抗单元300,由两对采用二极管连接的npn晶体管Q3、Q4和Q5、Q6及作为第二尾电流源302起偏置作用的npn晶体管Q8构成;第一对二极管303连接的npn晶体管Q3、Q4的基极和集电极连接在VDD上,集电极连接在可变增益放大器的输出端即差分共射极可变跨导放大器单元200的输出端即信号放大管对201的集电极上;第二对二极管301连接的npn晶体管Q5、Q6的基极和集电极连接在可变增益放大器的输出端,发射极连接在作为第二尾电流源302的npn晶体管的集电极上;第二对二极管301连接的npn晶体管Q5、Q6的小信号跨导由第二尾电流源302的数值决定;第一对二极管303连接的npn晶体管Q3、Q4的小信号跨导由第一尾电流源202与第二尾电流源302数值之和决定;第二尾电流源302晶体管的发射极连接到地,基极电压由增益控制单元100决定,即尾电流源的数值由增益控制单元决定。

[0039] 以上所谓的二极管连接指的是将(SiGe HBT异质结)晶体管基极与集电极相连接。

[0040] 采用二极管连接的晶体管作为负载,阻抗小,使得输出极点远,与此同时增益小,表现出衰减特性。图2展示的是实施例在不同增益状态下的可变增益放大器的频率响应特性图,可见带内平坦度好。

[0041] 增益控制单元,由一个共源共栅电流镜101、指数关系电流发生器102和用作电流镜的采用二极管连接的npn管Q11构成;指数关系电流发生器102产生了电流值之比为指数关系的两路电流I9和I10,分别流经npn晶体管Q9和Q10,这里, $I_{10}/I_9 = \exp(-I_{cnt} \cdot R_1)$,其中Icnt是电流控制信号,R1为固定阻值的电阻;通过电流镜的操作使得大小为 $(I_9 - I_{10})$ 即 $I_9 \cdot [1 - \exp(-I_{cnt} \cdot R_1/V_t)]$ 的电流从集电极流入二极管连接的npn管Q11的,并被复制到第二尾电流源302;I10以两倍的形式复制到第一尾电流源202。

[0042] 上述复制操作是通过由Q11和Q8构成的1:1电流镜及Q10和Q7构成的1:2电流镜完成的。上述电流镜的公共基极分别通过旁路电容C5和C4到地。

[0043] 指数关系电流发生器102,由两个完全匹配的npn晶体管Q9和Q10,一个固定阻值的电阻R1和产生电流控制信号Icnt的电流沉I0;npn晶体管Q9的基极连接在电阻R1的一端和合适的固定电压Vbias1上,本发明示例性实施例中取值为0.85V;npn晶体管Q10的基极连接在电阻R1的另一端和电流沉I0上;Q9的发射极、Q10的发射极和电流沉I0另一端均接地;Q9的集电极电流 $I_9 = I_s \cdot \exp(V_{bias1}/V_t)$,Q10的集电极电流 $I_{10} = I_s \cdot \exp[(V_{bias1} - I_{cnt} \cdot R_1)/V_t]$

$R1)/Vt]$ 其中, I_s 是反向饱和电流, V_t 是热电压; 故有 $I_{10}/I_9 = \exp(-I_{cnt} \cdot R1)$ 。

[0044] 共源共栅电流镜101, 由四个PMOS晶体管MP1、MP2、MP3和MP4构成。MP2和MP4采用二极管连接, MP2的漏极与MP4的源极相连接形成串联, MP2源极连接在VDD上; MP1的漏极与MP3的源极相连接形成串联, MP1的源极连接在VDD上。MP1与MP2共栅, MP3和MP4共栅。共源共栅电流镜的应用能够提高电流复制的精度。

[0045] 指数关系电流发生器102中晶体管Q9的集电极与共源共栅电流镜101中PMOS晶体管MP4的漏极相连接; 晶体管Q10的集电极、共源共栅电流镜101中PMOS晶体管MP3的漏极和采用二极管连接的晶体管Q11的集电极连接在一起, 故在该连接点处实现了Q9集电极电流与Q10集电极电流的作差。

[0046] 电流沉 I_0 用以产生控制信号 I_{cnt} , 该控制信号不仅可以是模拟连续的也可以是数字离散的, 视可变增益放大器的应用场合而定。

[0047] 差分可变跨导放大器单元200中信号放大管对201集电极电流为第一尾电流源202的电流约为 $2I_s \cdot \exp(V_{bias1}/V_t) \exp(-I_{cnt} \cdot R1/V_t)$, 差分可变负载阻抗单元300中第二对二极管301连接的npn晶体管Q5和Q6的集电极电流为第二尾电流源302的电流, 约为 $I_s \cdot \exp(V_{bias1}/V_t) [1 - \exp(-I_{cnt} \cdot R1)/V_t]$, 差分可变负载阻抗单元300中第一对二极管303连接的npn晶体管Q3和Q4的集电极电流为第一尾电流源202和第二尾电流源302电流之和, 约为 $I_s \cdot \exp(V_{bias1}/V_t) [1 + \exp(-I_{cnt} \cdot R1/V_t)]$ 。

[0048] 可变增益放大器的增益 $A_v = \frac{g_{m1,2}}{g_{m3,4} + g_{m5,6}} \approx \frac{I_{c1,2}}{I_{c1,2} + 2I_{c5,6}} = \exp\left(\frac{-I_{cnt} \cdot R1}{V_t}\right)$, 故可变增

益放大器的增益与控制信号呈dB线性关系; 上述近似均在 $V_{bias1}/V_t \gg 1$ 时成立。图3展示的是实施例分别在400MHz、1GHz和1.5GHz下, 控制信号增益变化之间的dB关系曲线, 可见增益dB线性控制特性明显。

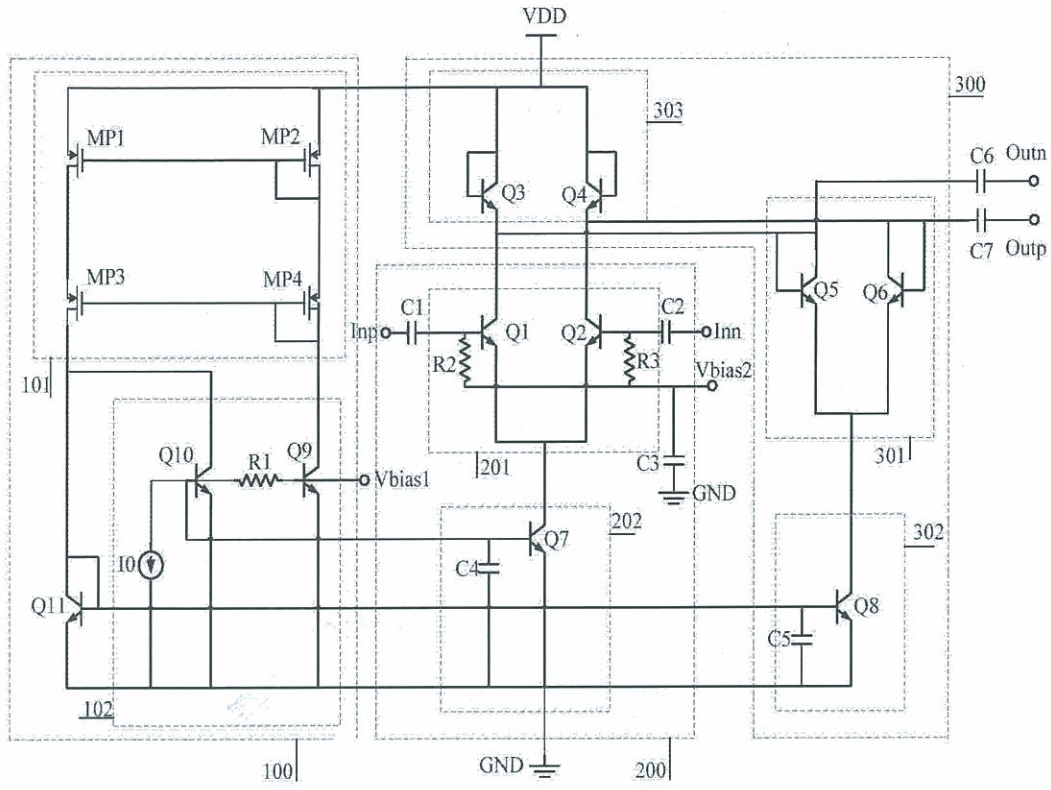


图1

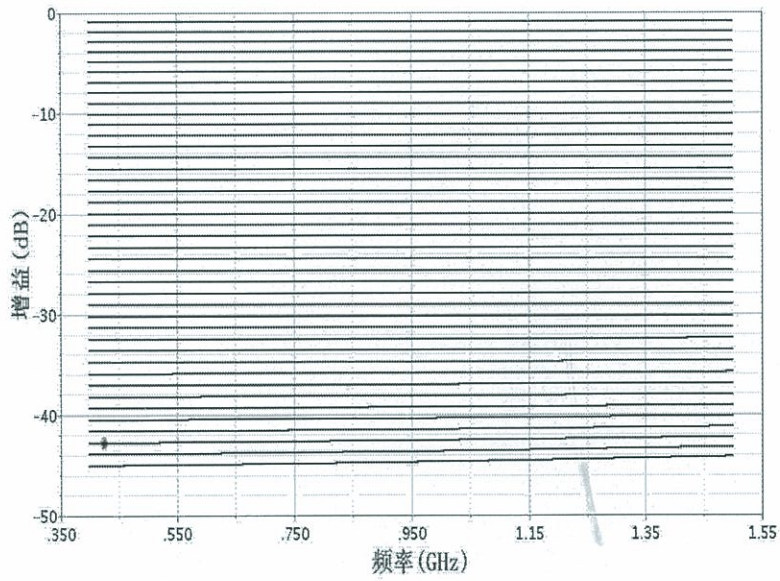


图2

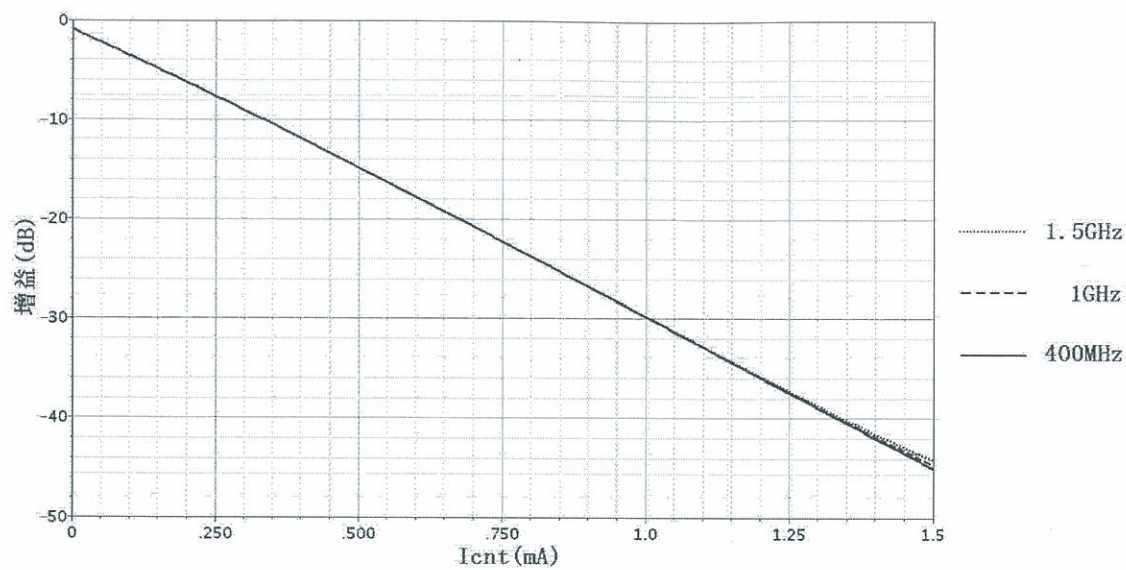


图3