



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102735887 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 27

(21) 申请号 201210245621. 7

(22) 申请日 2012. 07. 16

(73) 专利权人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)西源大道 2006 号

(72) 发明人 邱渡裕 叶芑 杨扩军 袁超

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所 (普通合伙) 51220

代理人 温利平

(51) Int. Cl.

G01R 1/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4803423 A, 1989. 02. 07, 全文.

JP 2008014846 A, 2008. 01. 24, 全文.

CN 101750522 A, 2010. 06. 23, 全文.

DE 102010027567 A1, 2011. 08. 25, 全文.

JP 2008261722 A, 2008. 10. 30, 全文.

US 2010277190 A1, 2010. 11. 04, 全文.

审查员 甘雨鹭

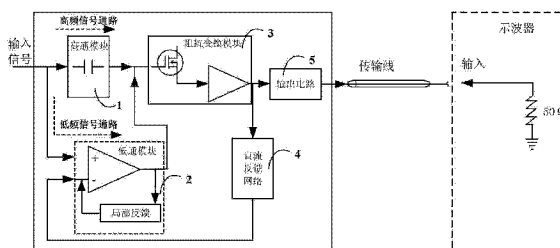
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种数字示波器单端有源探头电路

(57) 摘要

本发明公开了一种数字示波器单端有源探头电路是结合高速信号完整性测试要求,通过分析单端有源探头的宽带测试原理,结合现有元器件而提出的。通过阻抗变换模块实现了单端有源探头高输入阻抗、输入电容尽量小,同时输出阻抗小的要求,同时通过输出电路,使得单端有源探头能够与示波器 50Ω 输入阻抗相配合。



1. 一种数字示波器单端有源探头电路,其特征在于,包括:

一高通模块,为高频信号通路,用于隔离输入信号的直流及低频部分,输入信号的高频部分由此通过;

一低通模块,为低频信号通路,输入信号的直流及低频部分由此通过;包括有一局部反馈网络,用于调节输入信号允许通过的上限频率,另外,低通模块也接收来自直流反馈网络的反馈信号,用于稳定单端有源探头电路的静态工作点;

一阻抗变换模块,包括有宽带场效应管和电压跟随电路;

其中宽带场效应管具有极高的输入阻抗,而输出阻抗极小,实现输入信号的阻抗变换;

为增强驱动,在宽带场效应管输出端接有电压跟随电路,电压跟随电路用宽带晶体管设计为射级跟随器,或者用宽带运算放大器设计为电压跟随器;

一直流反馈网络,将电压跟随电路输出的直流电压信号反馈送至低通模块,实现稳定的直流工作点;

一输出电路,用于对输入信号频率进行补偿和增益进行调节,对输出阻抗进行调节,从而与后级示波器 $50\ \Omega$ 输入阻抗相配合;

输入信号首先经过高通模块、低通模块输入到阻抗变换模块进行阻抗变换和增强驱动,然后在输出电路中进行频率补充、增益调节和输出阻抗调节,最后输出给后级示波器;

所述的阻抗变换模块中宽带场效应管 Q1 为宽带双栅极场效应管,输入分别是栅极 g1 和 g2,其中栅极 g1 用于输入信号的输入,栅极 g2 用于直流偏置电压输入,具有为 $G\ \Omega$ 级的很高的输入电阻和为几 pF 的很小的输入电容;

宽带场效应管 Q1 的外围电路包括源级连接到 $-5V$ 电源的电阻 R9 以及电阻 R16、R15;

$+5V$ 电源经过电阻 R16、R15 接到地,电阻 R16、R15 连接点接宽带场效应管 Q1 的栅极 g2,可以使宽带场效应管 Q1 获得最佳的直流工作点;

电容 C2 与电阻 R15 并联,对提供给宽带场效应管 Q1 的栅极 g2 的电压进行滤波,宽带场效应管 Q1 的漏极接 $+5V$ 电源;

宽带晶体管 Q2 的集电极、发射极分别通过电阻 R10、电阻 R12 连接到 $+5V$ 电源、 $-5V$ 电压,形成电压跟随电路;宽带场效应管 Q1 的源级经电阻 R11 与宽带晶体管 Q2 基极连接,输入信号经电阻 R13 输出,其中,串联在宽带场效应管 Q1 的源级和宽带晶体管 Q2 基极的小电阻 R11 的值大于 $1\ \Omega$ 小于 $100\ \Omega$,用于调整高频响应,使得频率响应具有较好的平坦性;电阻 R13 约为 $1\sim 2\ \Omega$ 电阻,用于缓冲,避免宽带晶体管产生高频震荡。

2. 根据权利要求 1 所述的有源探头电路,其特征在于,所述的高通模块包括电阻 R2 和隔直电容 C3,输入信号的高频部分通过电阻 R2 和隔直电容 C3 送至阻抗变换模块中的宽带场效应管 Q1 的栅极 g1;

所述的低通模块包括电阻 R3 和 R4、低噪声低漂移的 JFET 型运算放大器 U1、电阻 R7、R8 和电容 C4 组成一个局部反馈网络以及输出电阻 R6;

电阻 R3 和 R4 串联之和为 $1M\ \Omega$,输入信号经过电阻 R3、电阻 R4 接地,电阻 R3 和 R4 串联连接点接到运算放大器 U1 的正端;

运算放大器 U1 输出端一方面通过电阻 R6 接到宽带场效应管 Q1 栅极 g1,另一方面通过电阻 R7、R8 接地,电阻 R7、R8 的连接点通过电容 C4 连接到运算放大器 U1 的负端,构成局部

反馈网络,用于调节输入信号允许通过的上限频率,并满足:

$$\frac{R7}{R8} = \frac{R3}{R4}。$$

3. 根据权利要求 2 所述的有源探头电路,其特征在于,所述的直流反馈网络由电阻 R15、电阻 R5 串联到地组成,阻抗变换模块的输出经过电阻 R15、电阻 R5 分压后,反馈到运算放大器 U1 的负端,并满足:

$$20(\text{Log} \frac{R15}{R5}) - A = 20(\text{Log} \frac{R3}{R4}) \quad ;$$

其中 A 为宽带场效应管和宽带晶体管的插入损耗。

4. 根据权利要求 1 所述的有源探头电路,其特征在于,所述输出电路包括电容 C6、C7 和电阻 R14,电阻 R14 与电容 C7 并联;输入信号端通过电容 C6 接地,用于高频频率响应的调节,对输入信号进行频率补偿;输入信号经过并联的电阻 R14 与电容 C7 输出,输出阻抗主要由 R14 决定,输出电路输出信号经探头传输线后接到示波器输入端,与示波器内部的 50 Ω 形成高频低阻分压网络,达到衰减和匹配的目的,其中,电容 C7 和电阻 R14 并联,用于补偿高频信号。

一种数字示波器单端有源探头电路

技术领域

[0001] 本发明属于示波器技术领域,更为具体地讲,涉及一种数字示波器单端有源探头电路。

背景技术

[0002] 数字示波器探头是连接被测电路与数字示波器输入端的电子部件,在电子测试中被广泛的使用。通常数字示波器探头分为无源探头和有源探头。

[0003] 无源探头由导线和连接器制成,在需要衰减或补偿时,还包括电阻器和电容器。无源探头中没有有源器件,即晶体管或放大器,因此不需为探头供电。通常,无源探头输入阻抗高($1M\Omega$ 或 $1M\Omega$),但带宽有限,一般不超过 $500MHz$ ($-3dB$),在低带宽测试中使用广泛。

[0004] 有源探头包含或依赖有源器件,如晶体管场效应管,需要外部提供电源。最常见的情况下,有源器件是一种场效应管(FET),它提供了非常低的输入电容,而低电容会在更宽的频段上保证高输入阻抗,减少高频信号的损耗。

[0005] 有源探头分为单端有源探头和差分有源探头,单端有源探头以地为参考,实现对被测电路单点测试,可以满足大部分应用场合;差分有源探头可测量浮置器件的信号,实质上它是两个对称的电压探头组成,分别对地段有良好绝缘和较高阻抗,差分信号是互相参考,而不是参考接地的信号,所以差分探头主要用于对差分信号的测试,可以在更宽的频率范围内提供很高的共模抑制比(CMRR)。

[0006] 国内数字示波器起步较晚,前几年主要是以低带宽、低采样率的低端示波器为主,配套的探头为无源探头。中高端市场被美国三大示波器厂商垄断,并且对配套部件有源探头也形成技术封锁和垄断,有源探头价格非常昂贵,单价往往是几千美元。近年来随着国内技术的不断进步和积累,国产数字示波器带宽开始进入 $1GHz$ 时代,要实现对更高频率信号的精确测量,除了提高自身模拟信号调理通道输入带宽,还需提供与之配套使用的有源探头。

[0007] 有源探头原理:

[0008] 从国外厂商提供的资料上看,单端有源探头基本原理如图 1 所示,单端有源探头的前端有一个高带宽的放大器,通常放大器的输入阻抗比较高,所以单端有源探头可以提供比较高的输入阻抗;同时放大器输出具有较强的驱动能力,后面可以接 50Ω 特种阻抗的传输线以及驱动 50Ω 的负载。由于 50Ω 的传输线可以提供很高的带宽,而前端的放大器为宽带放大器,所以整个单端有源探头系统可提供比无源探头更高的带宽。从原理上分析,单端有源探头的高输入带宽特性关键是有前端的放大器来保证,这个高带宽高输入阻抗放大器由国外示波器厂家通过定制集成电路来实现,而且要保证体积小,这样才能放在探头有限的空间里,因此实现成本非常高,而且这种定制的宽带运放为厂商的非卖品。

[0009] 差分有源探头结构原理如图 2 所示,与单端有源探头的区别在于其前端是差分放大器,同样,差分有源探头中的此类宽带差分输入运放也是定制而成。

[0010] 虽然有关示波器有源探头原理的相关介绍资料不少,但都是从功能原理上进行说

明,并未给出具体设计电路,而国外示波器厂家是通过定制专用的集成电路(IC)来实现,并且这类 IC 并不在市场上销售。

发明内容

[0011] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种数字示波器单端有源探头电路,以降低有源探头的成本低,提升性价比。

[0012] 为实现上述发明目的,本发明一种数字示波器单端有源探头电路,其特征在于,包括:

[0013] 一高通模块,为高频信号通路,用于隔离输入信号的直流及低频部分,输入信号的高频部分由此通过;

[0014] 一低通模块,为低频信号通路,输入信号的直流及低频部分由此通过;包括有一局部反馈网络,用于调节输入信号允许通过的上限频率,另外,低通模块也接收来自直流反馈网络的反馈信号,用于稳定单端有源探头电路的静态工作点;

[0015] 一阻抗变换模块,包括有宽带场效应管和电压跟随电路;

[0016] 其中宽带场效应管具有极高的输入阻抗,而输出阻抗极小,实现输入信号的阻抗变换;

[0017] 为增强驱动,在宽带场效应管输出端接有电压跟随电路,电压跟随电路用宽带晶体管设计为射级跟随器,或者用宽带运算放大器设计为电压跟随器;

[0018] 一直流反馈网络,将电压跟随电路输出的直流电压信号反馈送至低通模块,实现稳定的直流工作点;

[0019] 一输出电路,用于对输入信号频率进行补偿和增益进行调节,对输出阻抗进行调节,从而与后级示波器 $50\ \Omega$ 输入阻抗相配合。

[0020] 输入信号首先经过高通模块、低通模块输入到阻抗变换模块进行阻抗变换和增强驱动,然后在输出电路中进行频率补充、增益调节和输出阻抗调节,最后输出给后级示波器。

[0021] 本发明的发明目的是这样实现的:

[0022] 本发明数字示波器单端有源探头电路是结合高速信号完整性测试要求,通过分析单端有源探头的宽带测试原理,结合现有元器件而提出的。通过阻抗变换模块实现了单端有源探头高输入阻抗、输入电容尽量小,同时输出阻抗小的要求,同时通过输出电路,使得单端有源探头能够与示波器 $50\ \Omega$ 输入阻抗相配合。

附图说明

[0023] 图 1 是现有技术中示波器单端有源探头结构原理;

[0024] 图 2 是现有技术中示波器差分有源探头结构原理

[0025] 图 3 是本发明数字示波器单端有源探头电路一种具体实施方式原理框图;

[0026] 图 4 是图 3 所示的数字示波器单端有源探头电路的原理图;

[0027] 图 5 是数字示波器单端有源探头电路一具体实施方式下频率响应曲线图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,以便本领域的技术人员更好地理解本发明。需要特别提醒注意的是,在以下的描述中,当已知功能和设计的详细描述也许会淡化本发明的主要内容时,这些描述在这里将被忽略。

[0029] 图 3 是本发明数字示波器单端有源探头电路一种具体实施方式原理框图。

[0030] 在本实施例中,如图 3 所示,本发明数字示波器单端有源探头电路包括高通模块 1、低通模块 2、阻抗变换模块 3、直流反馈网络 4 以及输出电路 5。

[0031] 高通模块 1 为高频信号通路,包括有一隔直电容,用于隔离输入信号的直流及低频部分,输入信号的高频部分由此通过,送入阻抗变换模块 3 中。

[0032] 低通模块 2 为低频信号通路,输入信号的直流及低频部分由此通过,并送入阻抗变换模块 3。低通模块 2 中包括有一局部反馈网络,用于调节允许输入信号通过的上限频率,另外,低通模块 2 也接收来自直流反馈网络 4 的反馈信号,用于稳定单端有源探头电路的静态工作点。

[0033] 阻抗变换模块 3 中有宽带场效应管和电压跟随电路。其中宽带场效应管具有极高的输入阻抗,而输出阻抗极小,实现输入信号的阻抗变换;为增强驱动,在宽带场效应管输出端接有电压跟随电路,电压跟随电路用宽带晶体管设计为射级跟随器,或者用宽带运算放大器设计为电压跟随器。

[0034] 直流反馈网络 4 将电压跟随电路输出的直流电压信号反馈送至低通模块 3,实现稳定的直流工作点。同时,通过调节该直流反馈网络中的参数,可以实现单端有源探头电路直流增益的调节。

[0035] 输出电路 5 对输入信号频率进行补偿和增益调节,对输出阻抗进行调节,从而与后续示波器 $50\ \Omega$ 输入阻抗相配合。

[0036] 输入信号首先经过高通模块 1、低通模块 2 输入到阻抗变换模块 3 进行阻抗变换和增强驱动,然后在输出电路 5 中进行频率补充、增益调节和输出阻抗调节,最后输出给后续示波器。

[0037] 在输出电路 5 中,通过其增益调节,可以实现衰减倍数为 20dB (10 倍),或者衰减为 14dB (5 倍)。

[0038] 图 4 是图 3 所示的数字示波器单端有源探头电路的原理图。

[0039] 在本实施例中,如图 4 所示,本发明数字示波器单端有源探头电路的输入信号输入端还接有一小电阻 R1 和小电容 C1 组成的并联电路,小电阻 R1 阻值在几个~几十个欧姆、小电容 C1 容量在几 pF,输入信号经过该并联电路后,分别送入高通模块 1、低通模块 2。在阻尼测试环节中,由于引线等因素存在的分布电容、分布电感,该小电阻 R1 和小电容 C1 用于防止谐振,起到缓冲的作用。

[0040] 高通模块 1 包括电阻 R2 和隔直电容 C3,输入信号的高频部分通过电阻 R2 和隔直电容 C3 送至阻抗变换模块 3 中的宽带场效应管 Q1 栅极 g1。

[0041] 低通模块 2 包括电阻 R3 和 R4、低噪声低漂移的 JFET 型运算放大器 U1、电阻 R7、R8 和电容 C4 组成一个局部反馈网络以及输出电阻 R6。

[0042] 电阻 R3 和 R4 串联之和为 $1\text{M}\ \Omega$,输入信号经过电阻 R3、电阻 R4 接地,电阻 R3 和 R4 串联连接点接到运算放大器 U1 的正端,从而保证输入电阻为严格的 $1\text{M}\ \Omega$ 。

[0043] 运算放大器 U1 输出端一方面通过电阻 R6 接到宽带场效应管 Q1 栅极 g1,另一方面

通过电阻 R7、R8 接地,电阻 R7、R8 的连接点通过电容 C4 连接到运算放大器 U1 的负端,构成局部反馈网络,用于调节输入信号允许通过的上限频率,并满足:

$$[0044] \quad \frac{R7}{R8} = \frac{R3}{R4} \text{ (式 1-1)}$$

[0045] 阻抗变换模块 3 包括宽带场效应管 Q1 及其外围电路以及宽带晶体管 Q2 及其外围电路组成的射级跟随器作为电压跟随电路。

[0046] 宽带场效应管 Q1 为宽带双栅极场效应管,输入分别是栅极 g1 和 g2,其中栅极 g1 用于输入信号的输入,栅极 g2 用于直流偏置电压输入,很高的输入电阻(GΩ 级)和很小的输入电容(几 pF)。

[0047] 宽带场效应管 Q1 的外围电路包括源级连接到 -5V 电源的电阻 R9 以及电阻 R16、R15,电容 C2, +5V 电源经过电阻 R16、R15 接地,电阻 R16、R15 连接点接宽带场效应管 Q1 的栅极 g2,可以使宽带场效应管 Q1 获得最佳的直流工作点,这里选取的分压值为 4V。电容 C2 与电阻 R15 并联,对提供给宽带场效应管 Q1 的栅极 g2 的电压进行滤波。宽带场效应管 Q1 的漏极接 +5V 电源。

[0048] 宽带场效应管 Q1 的源级经电阻 R11 与宽带晶体管 Q2 基极连接,宽带晶体管 Q2 的集电极、发射极分别通过电阻 R10、电阻 R12 连接到 +5V 电源、-5V 电压,形成电压跟随电路,输入信号经电阻 R13 输出。其中,串联在宽带场效应管 Q1 的源级和宽带晶体管 Q2 基极的小电阻 R11 的值大于 1Ω 小于 100Ω,用于调整高频响应,使得频率响应具有较好的平坦性。电阻 R13 约为 1~2Ω 电阻,用于缓冲,避免宽带晶体管产生高频震荡。此外,宽带晶体管 Q2 的集电极通过电容连接到地,这样电阻 R10 和电容 C5 形成对 +5V 电源的 RC 滤波,这样可以减小宽带晶体管 Q2 供电的噪声。

[0049] 阻抗变换模块 3 的输出,即输入信号经电阻 R13 输出到直流反馈网络 4 以及输出电路 5。

[0050] 直流反馈网络 4 由电阻 R15、电阻 R5 串联到地组成,阻抗变换模块 3 的输出经过电阻 R15、电阻 R5 分压后,反馈到运算放大器 U1 的负端,并满足:

$$[0051] \quad \frac{R15}{R5} \approx \frac{R3}{R4} \text{ (式 1-2)}$$

[0052] 式 1-2 中电阻 R15 和 R5 的阻值除了考虑电阻 R3 和 R4 的比值关系,还需考虑交流信号经过宽带场效应管和晶体管的插入损耗 A 进行细微调整,插入损耗 A 通常约为 0.5~2dB。准确的关系如下:

$$[0053] \quad 20(\text{Log} \frac{R15}{R5}) - A = 20(\text{Log} \frac{R3}{R4}) \text{ (式 1-3)}$$

[0054] 通过调节电阻 R15、电阻 R5 比值,可以实现电路直流增益的调节,补偿插入损耗 A。

[0055] 输出电路 5 包括电容 C6、C7 和电阻 R14,电阻 R14 与电容 C7 并联;一端接输入信号,一端电容 C6 接地,用于高频频率响应的调节,对输入信号进行频率补偿;输入信号经过并联的电阻 R14 与电容 C7 输出,输出阻抗主要由 R14 决定,输出电路输出信号经探头传输线后接到示波器输入端,与示波器内部的 50Ω 形成高频低阻分压网络,达到衰减和匹配的目的,其中,电容 C7 和电阻 R14 并联,用于补偿高频信号。这里电阻 R14 的值(衰减 20dB 时)由如下方式确定:

[0056]
$$A + 20 \text{Log} \frac{50}{R_{14} + 50} = -20 \text{ (式 1-4)}$$

[0057] 其中 A 为宽带场效应管和宽带晶体管的插入损耗,可以根据准确的场效应管和晶体管的模型仿真获得,通常约为 $-0.5 \sim -2\text{dB}$,该损耗和后级的电阻网络衰减之和为 -20dB ,即衰减 10 倍的探头(通常也表示为 $\times 10$)。

[0058] 表 1 是本实例中,数字示波器单端有源探头电路的元器件参考清单。

[0059]

元件	说明	元件	说明
R1	51 Ω	C1	2pF
R2	10 Ω	C2	0.1 μ F
R3	800k Ω	C3	1nF
R4	200 k Ω	C4	0.1 μ F
R5	230 k Ω	C5	0.1 μ F
R6	4.7M Ω	C6	5pF
R7	12 k Ω	U1	ADA4XXX

[0060]

R8	3k Ω	Q1	BF9XXX, 封装 SOT323
R9	1k Ω		
R10	5.1 Ω	Q2	BFS5XXX, 封装 SOT323
R11	10 Ω		
R12	680 Ω		
R13	1 Ω		
R14	368 Ω		
R15	800k Ω		

[0061] 表 1

[0062] 在本实例中,通过对数字示波器单端有源探头电路进行测试,频率响应曲线如图 5 所示,有源探头电路衰减为 10 倍(-20dB),3dB 带宽优于 1.5GHz 的频率响应。

[0063] 在本实施例中,选用低噪声、低漂移的 JFET 型运算放大器 ADA4XXX,因为 JFET 型运放具有很高输入阻抗(约 $10^{12} \Omega$),这样可以确保输入阻抗控制在严格的 $1\text{M} \Omega$;Q1、Q2 选用宽带性能好、低噪声、体积小的管子,Q1 为 BF9XXX,Q 为 BFS5XXX;另外 PCB 选用高频损耗小的介质板材,有助于确保高频带宽。

[0064] 本发明中提出的数字示波器单端有源探头电路,除了因为选用的是分离元件,相比国外探头,体积略大,但基本可以接受,而且实现成本低,性价比高,有助于提升国产示波器综合水平,打破国外少数示波器厂家的垄断局面,大大节约宽带测试成本,具有非常好的推广价值。

[0065] 此外,随着国内半导体技术的不断进步,该电路还可以作为将来定制探头 IC 的原型电路,从而将该电路通过集成电路来实现,将有助于进一步减小体积,提高产品的一致性。

[0066] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述,以便于本技术领域的技术人员理解本发明,但应该清楚,本发明不限于具体实施方式的范围,对本技术领域的普通技

术人员来讲,只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内,这些变化是显而易见的,一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

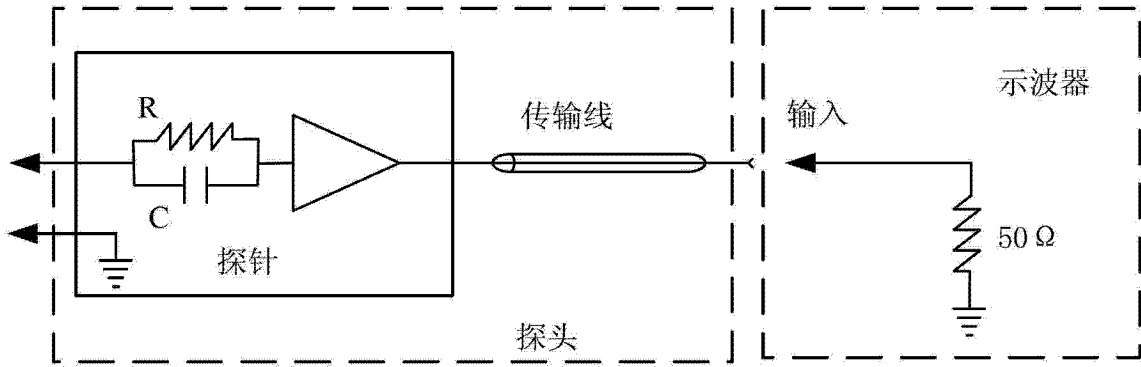


图 1

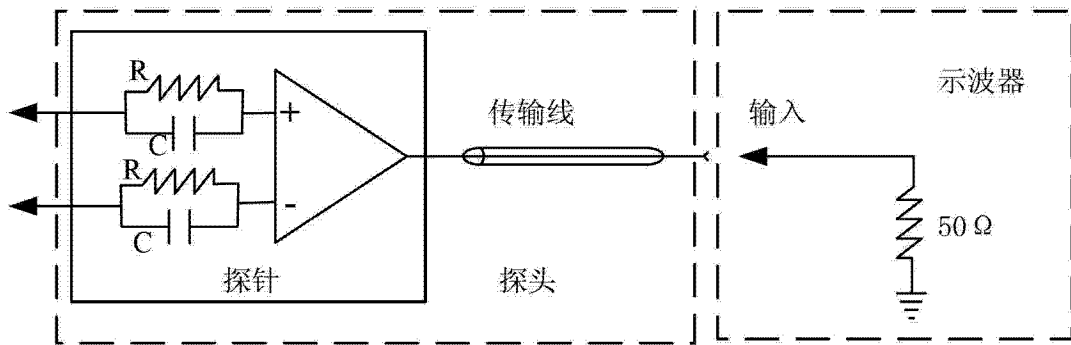


图 2

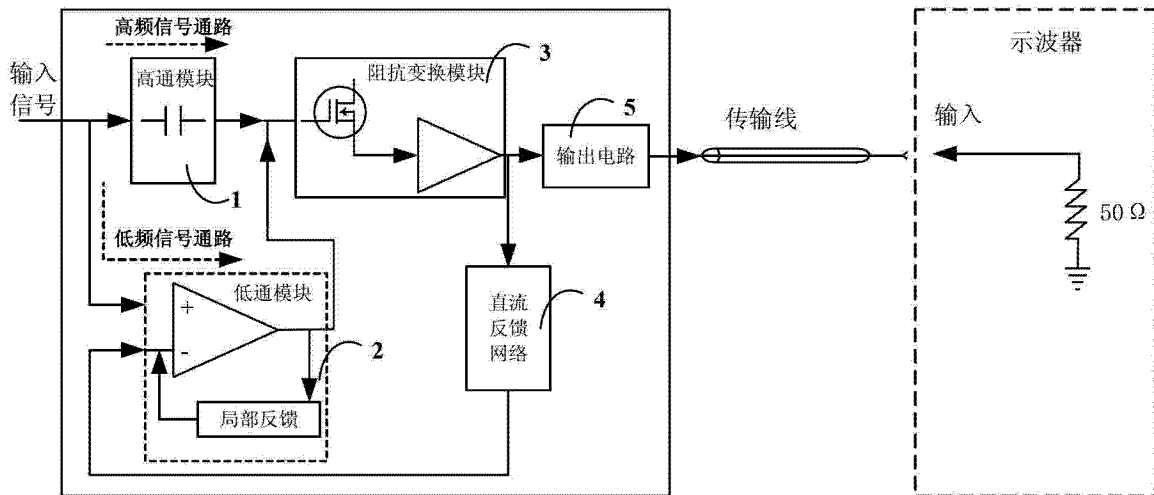


图 3

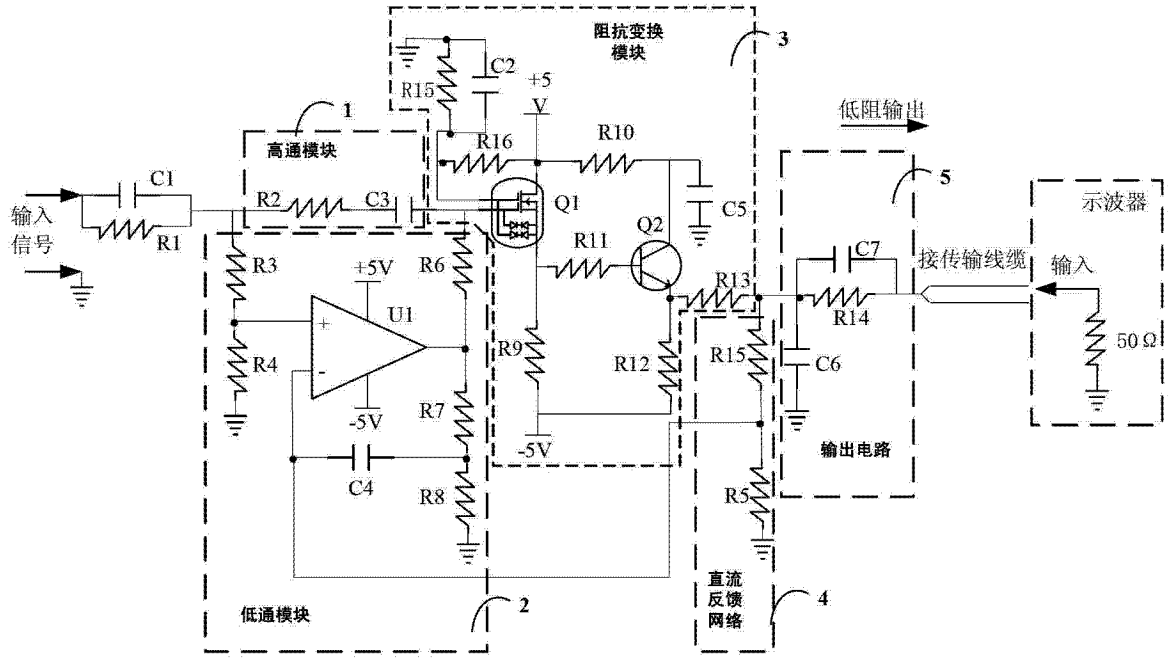


图 4

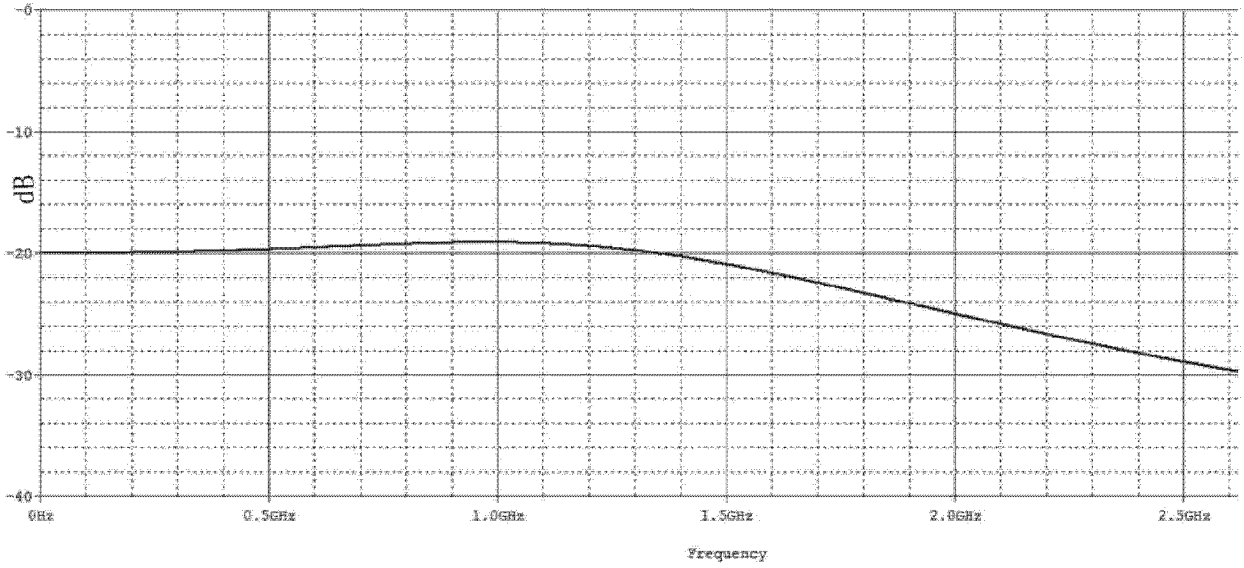


图 5