



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103884895 B

(45)授权公告日 2017. 10. 24

(21)申请号 201210558977.6

(22)申请日 2012.12.20

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103884895 A

(43)申请公布日 2014.06.25

(73)专利权人 北京普源精电科技有限公司  
地址 102206 北京市昌平区沙河镇踩河村  
156号

(72)发明人 史慧 王悦 王铁军 李维森

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 贾磊

(51)Int. Cl.

G01R 15/22(2006.01)

G01R 13/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102769432 A, 2012.11.07,

CN 1963538 A, 2007.05.16,

CN 102062797 A, 2011.05.18,

US 5834973 A, 1998.11.10,

CN 201819940 U, 2011.05.04,

CN 1139213 A, 1997.01.01,

王礼平. 双通道宽带隔离放大器的设计.《电测与仪表》. 2004, 第41卷(第6期), 第51-54页.

审查员 尤茜

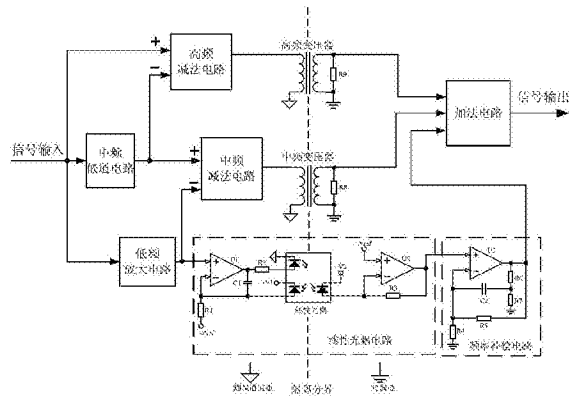
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54)发明名称

一种多路线性隔离电路及其示波器

(57)摘要

本发明提供了一种多路线性隔离电路,可应用于示波器等测量设备。将输入信号经过线性隔离后输出,输入输出信号电气上隔离。包括低频放大电路、线性光耦电路、频率补偿电路、中频低通电路、中频减法电路、中频变压器、高频减法电路、高频变压器和加法电路。将输入信号分成低频、中频和高频三部分,通过不同的通路进行隔离。低频信号通路使用线性光耦电路进行线性隔离,并增加频响补偿电路,补偿由于线性光耦的延时造成的幅频响应凹陷。由于变压器低频和高频不能兼顾的限制,所以变压器的频带宽度不会很大,本发明创造性的利用中频和高频两个变压器分别隔离中频信号和高频信号,从而极大的扩展了隔离电路的带宽。该多路线性隔离电路可以方便的应用于示波器等测量设备中。



1. 一种多路线性隔离电路,其特征在于,包括:低频放大电路、线性光耦电路、中频低通电路、中频减法电路、中频变压器、高频减法电路、高频变压器和加法电路;

输入信号分别输入所述低频放大电路、中频低通电路和高频减法电路的正输入端;

所述低频放大电路,用于对输入信号进行滤波,输出输入信号中的低频信号;所述低频信号分别输入所述线性光耦电路和中频减法电路的负输入端;

所述中频低通电路,用于对输入信号进行滤波,输出输入信号中的中频及低频信号;所述中频及低频信号分别输入所述中频减法电路的正输入端和高频减法电路的负输入端;

所述中频减法电路,用于将所述中频低通电路输入的中频及低频信号减去所述低频放大电路输入的低频信号,以输出中频信号;

所述高频减法电路,用于将所述输入的输入信号减去所述中频低通电路输入的中频及低频信号,以输出高频信号;

所述线性光耦电路,与所述低频放大电路相连,用于对低频放大电路输入的低频信号进行隔离,并将隔离后输出的低频信号输入所述加法电路;

所述中频变压器,与所述中频减法电路相连,用于对中频减法电路输入的中频信号进行隔离,并将隔离后输出的中频信号输入所述加法电路;

所述高频变压器,与所述高频减法电路相连,用于对高频减法电路输入的高频信号进行隔离,并将隔离后输出的高频信号输入所述加法电路;

所述加法电路,用于将输入的隔离后输出的低频信号、中频信号和高频信号相加,生成隔离后输出信号,并输出。

2. 如权利要求1所述的多路线性隔离电路,其特征在于:所述线性光耦电路的输出端还设有频率补偿电路;

所述频率补偿电路,用于增大所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号中的高频响应。

3. 如权利要求2所述的多路线性隔离电路,其特征在于:所述频率补偿电路由放大器U3、电阻R4、R5、R6、R7,电容C2构成;

所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号输入放大器U3的正输入端;

电阻R4、R5串接于放大器U3的输出端与接地之间;电阻R4、R5的连接点与放大器U3的负输入端相接;

R6、R7串接于放大器U3的输出端与接地之间;

电容C2连接于所述电阻R4、R5的连接点与所述电阻R6、R7的连接点之间。

4. 如权利要求1所述的多路线性隔离电路,其特征在于:

所述高频变压器采用传输线变压器绕制方式;该高频变压器的初级绕组和次级绕组采用双绞线、平行线或同轴线。

5. 如权利要求1所述的多路线性隔离电路,其特征在于:所述加法电路的增益根据所述线性光耦电路、中频变压器和高频变压器中的增益进行调整。

6. 如权利要求1所述的多路线性隔离电路,其特征在于:所述高频减法电路和加法电路采用全差分运算放大器;该高频变压器次级线圈两个输出端子连接到加法电路的全差分放大器的两个输入端;在所述线性光耦电路输出端与加法电路之间增设一个单端转差分电路;该单端转差分电路,用于使线性光耦电路输出的单端电路信号转换为差分电路信号。

7. 一种具有多路线性隔离电路的示波器,包括:衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC、控制处理模块和D/A转换模块;输入信号依次经衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC传送至控制处理模块;控制处理模块将增益控制信号发送至该可编程放大器;控制处理模块还将偏置信号经D/A转换模块发送至输入级缓冲和加法电路;其特征在于:

在所述可编程放大器 and 高速ADC之间串接有权利要求1至6中任意一种多路线性隔离电路,以实现信号隔离目的;

在所述控制处理模块与可编程放大器之间,以及控制处理模块与D/A转换模块之间,还串接有数字隔离器。

8. 如权利要求7所述的具有多路线性隔离电路的示波器,其特征在于:所述可编程放大器的输出为差分信号;在该可编程放大器与所述多路线性隔离电路之间,串接有差分转单端电路,以将所述差分信号转换为单端信号。

## 一种多路线性隔离电路及其示波器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子测量设备,特别是一种多路线性隔离电路及其示波器。

### 背景技术

[0002] 隔离电路可以将输入侧的电信号传递到输出侧,但输入侧和输出侧之间在电气上是隔离的,或者说是绝缘的,输入侧和输出侧之间只存在一个较小的电容。隔离电路可以提高测量时的共模抑制比,减少干扰,改善信号质量,也可以绝缘危险电压,保护设备和人身安全。在多通道示波器同时测量时,通道隔离还可以测量多个不同共模电压的信号,防止因通道间共地造成短路事故。

[0003] 从被处理的信号和隔离电路的频率响应看,隔离电路可以分为数字隔离电路和线性或模拟隔离电路。数字隔离电路只能隔离高、低电平信号,即数字信号,属于开关信号,技术上容易实现。线性隔离电路有时也称为隔离放大器,其输出信号和输入信号成线性关系,可以传递模拟信号,电路的频率响应可以从DC至很高的频率。高带宽(数百MHz以上)的线性隔离电路技术上较难实现。而实现具有很高DC精度的线性隔离电路,可以在示波器上实现电压表或万用表功能,具有很好的应用价值,但是在技术上具有更高的难度。

[0004] 线性隔离电路,常用的有以下几种方式:

[0005] 线性光耦隔离电路,线性光耦的隔离原理与普通光耦没有差别,只是将普通光耦的单发单收模式稍加改变,增加一个用于反馈的光接受电路用于反馈。这样,虽然两个光接受电路都是非线性的,但两个光接受电路的非线性特性都是一样的。这样,就可以通过反馈通路的非线性来抵消直通通路的非线性,从而达到实现线性隔离的目的。线性光耦能够实现非常高的线性度,能够对直流信号进行隔离,但是信号带宽最大只能到几MHz。

[0006] 变压器隔离电路,利用电磁感应原理,使一次侧与二次侧的电气完全绝缘,使回路隔离。变压器根据磁芯材料的不同和绕制方式的不同,可以实现对非常高的频率进行隔离。但是由于电磁感应的特点,变压器不能对直流和低频信号进行隔离,一般变压器能够隔离的最低能够到kHz级别。

[0007] 隔离放大器器件,目前市面上有一些集成的隔离放大器芯片,如ADI公司的AD203、AD215。该类器件利用变压器进行隔离,将输入进行线性调制成数字信号,然后利用变压器对数字信号进行隔离,隔离后的信号再经过解调,生成隔离后的模拟信号。这类具有较高的线性度,但是带宽一般很低,最大的目前只有几百kHz。

[0008] 为解决上述器件的缺点,现有技术也给出了多种解决方案,下面就对其中几种解决方案进行介绍:

[0009] A、专利号为CN96101007.X的专利,提供了一种解决方案,实现框图如图1所示。

[0010] 其使用两个不同带宽的放大器,将输入信号分成高频路径和低频路径,低频路径使用线性光耦进行隔离,高频路径使用变压器进行隔离。变压器次边使用两个绕组,产生相位相反的差分信号 $+V_{out}$ 和 $-V_{out}$ 。隔离后的低频信号经过增益调整和单端转差分放大器,输出的信号作为变压器次边的偏置。低频通路由于线性光耦的延时,导致叠加后的信号,在

高、低频结合处幅频响应塌陷,采用电路48、52、50、54进行补偿,使幅频响应在高、低频结合处,适当的提升,实现了幅频响应的平坦性。高低频结合处幅频变化如下图示意:

[0011] 此专利能够实现大带宽的线性隔离电路,但是有以下缺点:

[0012] 1、由于变压器次边采用了两个绕组,作为输出差分信号的正负极,较难保证正负极的相同相位,增加了变压器绕制的难度。

[0013] 2、采用线性光耦作为低频路径的隔离,低频路径的延时导致频响不平坦,采用了电路48、52、50、54进行补偿,由于电容器件离散,较难保证差分信号正负极完全一致。

[0014] 3、由于变压器既要满足最低频率和低频路径能够叠加,又要满足最高频率尽量大,由于变压器的限制,能够实现的带宽不大,最大能够到100MHz左右。

[0015] B、专利号为US5834973的专利,没有专利CN96101007.X的缺点,其实现框图如图2所示。

[0016] 此专利使用两个不同带宽的放大器,低带宽放大器实现低频路径,低频路径使用线性光耦进行隔离。低带宽放大器的输出经过124、126的分压,连接到高带宽放大器构成的减法电路一端,减法电路将输入信号减去低频路径的信号,输出的高频信号连接到变压器的原边,该高频信号和低频路径的信号相加即为输入信号。低频路径的线性光耦电路具有一定的增益,以抵消减法电路输入的低频信号的衰减量。高频信号使用变压器进行隔离,变压器次边输出和线性光耦的输出经过加法电路,产生隔离后的信号,从而实现对信号的线性隔离。

[0017] 此专利较好的解决了变压器绕制的问题,但有如下缺点:

[0018] 1、采用线性光耦作为低频路径的隔离,低频路径有一定的延时,直接和高频路径输出相加,会使高低频频率结合处幅频响应塌陷,此专利没有介绍补偿电路,输出信号的幅频响应不平坦。

[0019] 2、由于变压器既要满足最低频率和低频路径能够叠加,又要满足最高频率尽量大。由于变压器的限制,能够实现的带宽不大,最大能够到200MHz左右。

[0020] C、专利号为CN200610154738.9的专利,将专利US5834973的实现方法进行了具体的细化,并解决了其缺点,提供了延时补偿电路,其实现框图如图3所示。

[0021] 此专利和US5834973的实现思路一致,但进行了电路细化,增加了低频路径的延时补偿电路102、103、104。输入信号经过低频放大电路100,输出连接到减法电路101,减法输出即为高频信号。高频信号经过变压器26进行隔离,隔离后的信号连接到电路105。低频信号经过线性光耦电路102进行隔离,低频信号隔离后,经过延时补偿电路103、104进行延时补偿,并进行必要的放大,使低频路径的幅度和高频路径一致,补偿后的输出和高频隔离后的信号经过加法电路105,合成隔离后的信号,即实现对信号的线性隔离。

[0022] 此专利电路较详细,能够解决之前专利的缺点,但是还具有以下缺点:

[0023] 1、由于变压器既要满足最低频率和低频路径能够叠加,又要满足最高频率尽量大,由于变压器的限制,能够实现的带宽不大,最大能够到200MHz左右。

[0024] 2、专利中提到的延时补偿电路103或者22、24、29、30,实际并不能解决低频和高频路径交迭频率处的幅频凹陷。因为电容24、30在所示放大器电路中,起到了低通的作用,只能让低频路径的高频相对与低频变得更低,而不能起到适当提升高频的作用。电路103,实际也是RC低通电路,同样也不能起到适当提升高频的作用。

[0025] 3、由于提供的延时补偿电路不起作用,线性隔离电路的输出幅频响应不平坦。

[0026] 4、低频路径电路复杂。

[0027] 综上所述,目前现有技术主要缺点是能够实现的线性隔离电路带宽低,无法实现更大带宽的隔离示波器。并且,线性光耦电路会带来的频响凹陷问题。

## 发明内容

[0028] 本发明的主要目的在于解决现有技术中存在的问题,提供一种多路线性隔离电路及其示波器。

[0029] 本发明的目的是通过下述技术方案予以实现的:

[0030] 一种多路线性隔离电路,其特征在于,包括:低频放大电路、线性光耦电路、中频低通电路、中频减法电路、中频变压器、高频减法电路、高频变压器和加法电路;

[0031] 输入信号分别输入所述低频放大电路、中频低通电路和高频减法电路的正输入端;

[0032] 所述低频放大电路,用于对输入信号进行滤波,输出输入信号中的低频信号;所述低频信号分别输入所述线性光耦电路和中频减法电路的负输入端;

[0033] 所述中频低通电路,用于对输入信号进行滤波,输出输入信号中的中频及低频信号;所述中频及低频信号分别输入所述中频减法电路的正输入端和高频减法电路的负输入端;

[0034] 所述中频减法电路,用于将所述中频低通电路输入的中频及低频信号减去所述低频放大电路输入的低频信号,以输出中频信号;

[0035] 所述高频减法电路,用于将所述输入的输入信号减去所述中频低通电路输入的中频及低频信号,以输出高频信号;

[0036] 所述线性光耦电路,与所述低频放大电路相连,用于对低频放大电路输入的低频信号进行隔离,并将隔离后输出的低频信号输入所述加法电路;

[0037] 所述中频变压器,与所述中频减法电路相连,用于对中频减法电路输入的中频信号进行隔离,并将隔离后输出的中频信号输入所述加法电路;

[0038] 所述高频变压器,与所述高频减法电路相连,用于对高频减法电路输入的高频信号进行隔离,并将隔离后输出的高频信号输入所述加法电路;

[0039] 所述加法电路,用于将输入的隔离后输出的低频信号、中频信号和高频信号相加,生成隔离后输出信号,并输出。

[0040] 所述线性光耦电路的输出端还设有频率补偿电路;

[0041] 所述频率补偿电路,用于增大所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号中的高频响应。

[0042] 所述频率补偿电路由放大器U3、电阻R4、R5、R6、R7,电容C2构成;

[0043] 所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号输入放大器U3的正输入端;

[0044] 电阻R4、R5串接于放大器U3的输出端与接地之间;电阻R4、R5的连接点与放大器U3的负输入端相接;

[0045] R6、R7串接于放大器U3的输出端与接地之间;

[0046] 电容C2连接于所述电阻R4、R5的连接点与所述电阻R6、R7的连接点之间。

[0047] 所述高频变压器采用传输线变压器绕制方式;该高频变压器的初级绕组和次级绕组采用双绞线、平行线或同轴线。

[0048] 所述加法电路的增益根据所述线性光耦电路、中频变压器和高频变压器中的增益进行调整。

[0049] 所述高频减法电路和加法电路采用全差分运算放大器;该高频变压器次级线圈两个输出端子连接到加法电路的全差分放大器的两个输入端;在所述线性光耦电路输出端与加法电路之间增设一个单端转差分电路;该单端转差分电路,用于使线性光耦电路输出的单端电路信号转换为差分电路信号。

[0050] 一种具有多路线性隔离电路的示波器,包括:衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC、控制处理模块和D/A转换模块;输入信号依次经衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC传送至控制处理模块;控制处理模块将增益控制信号发送至该可编程放大器;控制处理模块还将偏置信号经D/A转换模块发送至输入级缓冲和加法电路;其特征在于:

[0051] 在所述可编程放大器 and 高速ADC之间串接有权利要求1至6中任意一种多路线性隔离电路,以实现信号隔离目的;

[0052] 在所述控制处理模块与可编程放大器之间,以及控制处理模块与D/A转换模块之间,还串接有数字隔离器。

[0053] 所述可编程放大器的输出为差分信号;在该可编程放大器与所述多路线性隔离电路之间,串接有差分转单端电路,以将所述差分信号转换为单端信号。

[0054] 本发明有益效果是:

[0055] 1、能够实现线性隔离电路,隔离后信号和输入信号基本一致。

[0056] 2、能够实现非常大的带宽信号的隔离,隔离带宽能够达500MHz以上。

[0057] 3、变压器绕制方便。

[0058] 4、线性光耦电路的频率补偿电路简单,调试方便。

[0059] 5、无需在高频电路增加延时电路进行线性光耦的补偿。

[0060] 6、能够方便的利用在隔离示波器前端中,实现隔离示波器功能。

## 附图说明

[0061] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明的限定。在附图中:

[0062] 图1为现有隔离电路示例一结构图;

[0063] 图2为现有隔离电路示例二结构图;

[0064] 图3为现有隔离电路示例三结构图;

[0065] 图4为多路线性隔离电路结构示意图;

[0066] 图5(A)为输入信号示意图;

[0067] 图5(B)为输出信号示意图;

[0068] 图6为信号频率叠加后幅频凹陷原理说明示意图;

[0069] 图7为频率补偿过程示意图;

[0070] 图8为多路线性隔离电路实施例1结构示意图;

- [0071] 图9为多路线性隔离电路实施例2结构示意图；  
[0072] 图10为现有示波器模拟前端的结构框图；  
[0073] 图11为应用多路线性隔离电路的示波器结构示意图。

### 具体实施方式

[0074] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合实施方式和附图，对本发明做进一步详细说明。在此，本发明的示意性实施方式及其说明用于解释本发明，但并不作为对本发明的限定。

[0075] 针对前述现有技术中所存在的问题，本发明通过将输入信号分成低频、中频和高频三部分，不同频率部分分别通过不同的独立通路进行隔离，从而实现高带宽线性隔离。图4为本发明多路线性隔离电路结构示意图。如图所示，该多路线性隔离电路，包括：低频放大电路、线性光耦电路、中频低通电路、中频减法电路、中频变压器、高频减法电路、高频变压器和加法电路。

[0076] 输入信号分别输入所述低频放大电路、中频低通电路和高频减法电路的正输入端。

[0077] 所述低频放大电路，用于对输入信号进行滤波，输出输入信号中的低频信号；所述低频信号分别输入所述线性光耦电路和中频减法电路的负输入端；

[0078] 所述中频低通电路，用于对输入信号进行滤波，输出输入信号中的中频及低频信号；所述中频及低频信号分别输入所述中频减法电路的正输入端和高频减法电路的负输入端；

[0079] 所述中频减法电路，用于将所述中频低通电路输入的中频及低频信号减去所述低频放大电路输入的低频信号，以输出中频信号；

[0080] 所述高频减法电路，用于将所述输入的输入信号减去所述中频低通电路输入的中频及低频信号，以输出高频信号；

[0081] 所述线性光耦电路，与所述低频放大电路相连，用于对低频放大电路输入的低频信号进行隔离，并将隔离后输出的低频信号输入所述加法电路；

[0082] 所述中频变压器，与所述中频减法电路相连，用于对中频减法电路输入的中频信号进行隔离，并将隔离后输出的中频信号输入所述加法电路；

[0083] 所述高频变压器，与所述高频减法电路相连，用于对高频减法电路输入的高频信号进行隔离，并将隔离后输出的高频信号输入所述加法电路；

[0084] 所述加法电路，用于将输入的隔离后输出的低频信号、中频信号和高频信号相加，生成隔离后输出信号，并输出。

[0085] 上述多路线性隔离电路中，输入信号连接到低频放大电路，低频放大器具有低通的效果，输出信号的频率成分为输入信号的直流至低频部分，简称低频信号。输入信号同时连接到中频低通电路，中频低通电路将输入信号进行低通滤波，滤除中频以上频率成分，中频低通电路输出直流至中频的频率成分。中频低通电路的输出连接到中频减法电路的正输入端，低频信号同时连接到中频减法电路的负输入端，进行减法运算，输出信号的频率成分即为从低频至中频部分，简称中频信号。中频低通电路的输出同时连接到高频减法电路的负输入端，输入信号同时连接到高频减法电路的正输入端，进行减法运算，高频减法电路的



输出即为信号频率的中频以上部分,即高频部分,简称高频信号。这样,就将输入信号按照频率分布分为了低频信号、中频信号和高频信号,若将此三路信号在直接相加,可如实还原输入信号,输入信号和被还原信号具有平坦的幅频响应、线性的相频响应和精确的脉冲响应。

[0086] 在本发明中,输入信号、低频信号、中频信号和高频信号之间关系如下图5所示。图5(A)为输入信号示意图,假设输入信号为理想脉冲,具有幅度为A,无限带宽的频率响应。图5(B)为输出信号示意图。其中,低频信号在频域表示如图所示, $f_1$ 为低频信号的截止频率。中频信号如图所示, $f_2$ 为中频信号的低截止频率, $f_3$ 为中频信号的高截止频率。高频信号如图所示, $f_4$ 为高频信号的截止频率。它们三者直接相加,相加后的信号和输入信号一样。

[0087] 变压器的最高频率和最低频率是个矛盾,要具有更低的工作频率,就需要磁芯具有更大的饱和磁通、更大的体积,或者线圈的匝数更多;要具有更高的工作频率,就需要磁芯有更高的导磁率、更小的体积和更少的线圈匝数。所以各种变压器的通频带(高截止频率减去低截止频率)无法做的很大,一般也就几百MHz。在线性隔离电路中,低截止频率要能满足线性光耦隔离电路的带宽,一般为几kHz至几十kHz,那么变压器的最高截止频率一般能够做到200MHz,更高带宽的就很难了。所以如果只用一个变压器进行低频信号以外频率成分的传输,无法实现大的隔离带宽。

[0088] 所以本发明创造性的将信号按频域分成三部分,其中中频信号和高频信号分别采用中频变压器和高频变压器进行隔离。中频变压器满足中频信号的要求,高频变压器满足高频信号的要求。

[0089] 中频变压器需要满足线性光耦电路的截止频率,一般为几kHz至几十kHz,然后实现尽可能大且失真小的高截止频率 $f_3$ 。中频变压器根据其要实现的频率,可以由多种绕制方式,如普通变压器绕制方式和传输线变压器绕制方式。磁芯的选用可以选用高饱和磁通的硅钢片、铁硅铝,以实现更大的传输功率和低截止频率,也可以选用高导磁率的铁氧体磁芯。

[0090] 本发明中的高频变压为了实现尽可能大的带宽,而且其低截止频率最好延伸到中频信号的高截止频率。所以采用传输线变压器绕制方式,可以实现尽可能高的频率响应,传输线变压器将初级绕组和次级绕组通过双绞线、平行线、同轴线等方式,形成传输线,初次级导线紧靠在一起,任意点的线间电容都很大,且在整个线上是均匀分布,由于导线绕在高导磁率磁芯上,故导线每小段的电感量也很大,且均匀分布在整个线上,因此传输线可以看成是无数个电感、电容组成的耦合链,完成了能量的传输,因此传输线变压器线间的电容不但不影响高频能量的传输,而是电磁能量转换的必要条件,由于电磁波主要是在导线间的介质中传播,磁芯的损耗对信号传输的影响就会大大减少,所以传输线变压器的最高工作频率就可以大大提高,可以到几GHz。本发明中选用高导磁率的软磁磁性,如铁氧体磁芯。高频变压器可以实现非常高的隔离带宽,500MHz以上。

[0091] 本发明中的磁芯一般可以选用圆磁环,绕线简单方便。当然需用其他形状,如方环也可以。

[0092] 在本实施例中,中频和高频变压器均采用1:1的原次边绕组,对信号进行1:1的隔离。当然,选用其他比例的变压器,也不影响本发明的创造性。相应的,只需将所述加法电路的增益根据线性光耦电路、中频变压器和高频变压器中的增益进行调整,使三路信号幅度

平衡一致即可。

[0093] 中频变压器输出的负载电阻为 $R_8$ ,将次边线圈中的电路转换成电压。高频变压器输出的负载电阻为 $R_9$ ,将次边线圈中的电路转换成电压。输出电压分别连接到加法电路的输入端。

[0094] 如图所示,所述线性光耦电路包括运算放大器 $U_1$ 、电阻 $R_1$ 、电阻 $R_2$ 、电容 $C_1$ 、线性光耦、运算放大器 $U_2$ 和电阻 $R_3$ 。线性光耦内部封装有一个发光二极管和两个匹配的光电二极管,一个用于反馈,一个用于隔离耦合信号。线性光耦最好选用Avago公司的HCNR200或HCNR201。放大器 $U_1$ 完成了发光二极管的驱动和反馈光电二极管的检测。放大器 $U_2$ 构成了电流电压变化电路,将光电二极管耦合的电流信号通过 $R_3$ 转换为电压输出。电路中 $R_2$ 作为发光二极管的限流电阻。电阻 $R_1$ 、 $R_3$ 决定了线性光耦电路的增益, $R_3/R_1$ 等于增益, $C_1$ 电容用于改善电路稳定性,同时起到了一定的低通作用。参考电源 $-V_{ref}$ 、 $+V_{ref}$ 用于使线性光耦电路的输入输出偏置一样,输入0V的电压,输出也是0V。

[0095] 线性光耦电路会有一些的延时,同时 $C_1$ 也有一些的低通作用,导致线性光耦输出和中高频信号叠加时,在低频信号和中频信号频率叠加的地方出现的幅频凹陷。如图6所示,输入信号为方波信号,输出信号分为低频信号和中高频信号。如果低频信号没有延时,直接相加后的波形和输入波形一致。但是,如果低频信号有延时 $t$ ,直接相加后的信号如下图,方波边沿后出现了凹陷,体现在频域,就是中频信号和低频信号的频率交迭处的幅频降低了,这个频率即为低频信号中的截止频率附近。同样电容 $C_1$ 对低频信号有一定的低通作用,也会使低频信号中的高频分量幅频变低,同样出现幅频凹陷。

[0096] 根据上述问题,如图4所示,本发明在所述线性光耦电路的输出端还设有频率补偿电路。所述频率补偿电路,用于增大所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号中的高频响应。

[0097] 具体来说,所述频率补偿电路由放大器 $U_3$ 、电阻 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ ,电容 $C_2$ 构成。所述线性光耦电路隔离后输出的低频信号输入放大器 $U_3$ 的正输入端。电阻 $R_4$ 、 $R_5$ 串接于放大器 $U_3$ 的输出端与接地之间。电阻 $R_4$ 、 $R_5$ 的连接点与放大器 $U_3$ 的负输入端相接。 $R_6$ 、 $R_7$ 串接于放大器 $U_3$ 的输出端与接地之间。电容 $C_2$ 连接于所述电阻 $R_4$ 、 $R_5$ 的连接点与所述电阻 $R_6$ 、 $R_7$ 的连接点之间。

[0098] 在该频率补偿电路中, $R_4$ 、 $R_5$ 构成放大器增益,增益等于 $R_5/R_4$ ,该增益乘以线性光耦电路的增益等于低频通路的总增益,需要等于1,使低频信号1:1的隔离,实现和中高频通路隔离后信号的相加。如果增益不等于1,相应的中高频通路的隔离增益也需要不等于1,需要和低频通路总增益相等。 $R_6$ 、 $R_7$ 和 $C_2$ 用于调整频率响应,其中 $C_2$ 、 $R_4$ 的乘积决定了补偿的频率点, $R_6/R_7$ 如果等于 $R_5/R_4$ ,则频率补偿电路输出信号的高频分量不增大、也不减小;如果 $R_6/R_7$ 大于 $R_5/R_4$ ,则输出信号的高频分量增大。该频率补偿电路能够对线性光耦电路延时和低通带来的频率凹陷进行补偿。

[0099] 该频率补偿过程如图7所示。频率补偿电路增大隔离后输出的低频信号中高频部分的频响,本质上是减小上述凹陷,使迭加后的信号该凹陷基本看不出来或淹没在噪声中。因为信号延时后,无论低频信号怎么抬升高频分量,在 $t$ 时刻内,低频信号始终是最低电平,所以迭加后还是会有一个很小的凹陷。但由于光耦电路的延时非常小,所以这个凹陷的时间是非常小的,基本可以忽略。所以本发明能够解决延时和低通带来的幅频响应凹陷问题。

[0100] 低频通路的信号经过频率补偿电路后,和中频变压器、高频变压器输出信号连接到加法电路输入端,进行相加,相加后的输出信号,和输入信号具有平坦的幅频响应、线性相位,即输出信号能够反应输入信号,即实现了线性隔离。

[0101] 本发明的绝缘隔离电压,由线性光耦、变压器的绕组导线决定,可以实现5000Vrms的隔离强度。

[0102] 下面以几个具体实施例对本发明作进一步说明:

[0103] 实施例1

[0104] 图8为本实施例结构示意图。本实施例适用于单端信号输入,单端信号输出的应用。

[0105] 本实施例中,低频放大电路使用R、C低通滤波,和放大器跟随电路。电阻和电容决定了低频放大电路的带宽,需要满足线性光耦电路的带宽,选用电阻为 $10\text{k}\Omega$ ,电容 $1.5\text{nF}$ ,低频放大电路的带宽为 $10\text{kHz}$ 。放大器可以选用任何高精度放大器,以满足对低频采样精度的要求,当然选用精密、低噪声、低失真、低偏置电流、低温漂这些更优的放大器,能够有利于对低频高精度技术效果的实现。例如选用ADI公司的AD823、AD8639等。

[0106] 线性光耦电路、频率补偿电路的放大器可以选用和低频放大电路相同的放大器。

[0107] 线性光耦电路的电阻电容取值为, $R_2$ 取 $150\Omega$ ,用于限流。 $R_1$ 取 $10\text{k}\Omega$ , $R_3$ 取 $5\text{k}\Omega$ ,线性光耦电路的增益为0.5, $C_1$ 推荐 $3\text{pF}$ 。

[0108] 频率补偿电路的增益为2,取 $R_4=R_5=1\text{k}\Omega$ ,根据实际光耦造成的频率凹陷,选择合适的电容,本实施例中, $C_2=100\text{pF}$ 。 $R_6$ 、 $R_7$ 的比例用于调节频率凹陷的程度,调节合适的值,使凹陷基本消失。本实施例中, $R_6=1.5\text{k}\Omega$ , $R_7=1\text{k}$ 。

[0109] 中频低通电路采用RC低通和运放构成的缓冲电路,设置中频低通截止频率为 $100\text{MHz}$ ,则 $R=100\Omega$ , $C=15\text{pF}$ ,运放选用带宽大于 $100\text{MHz}$ 的运放均可。例如选用ADI公司的AD8038、AD8012等。

[0110] 中频减法电路选用和中频低通一样的运放即可,电路构成比例减法电路,增益为1,其中4个电阻相等。

[0111] 高频减法电路选用高速运算放大器,本实施例需要实现至少 $500\text{MHz}$ 带宽的隔离电路。运放构成比例减法电路,增益为1,其中4个电阻相等。高速放大器可以选用ADI公司的AD8000、AD8001、AD8009等。

[0112] 加法电路可以选用和低频减法电路相同的运算放大器,构成比例加法电路,电路增益为1,其中4个电阻相等。

[0113] 本实施例中的中频变压器,为了实现 $100\text{MHz}$ 的带宽,而且其最低工作频率需要尽量低,至少延伸到小于 $10\text{kHz}$ 。而且初次级间的耐压要满足设计期望。本实施例中变压器绕制方式采用了传输线变压器方式,可以实现较好的频率响应。其他形式的变压器可以,但是频响响应稍差。

[0114] 中频变压器磁性最优选用高导磁率软磁铁氧体磁环,如北京七星飞行电子有限公司的R10K系列,如R10K-H13x7x5,直径 $13\text{mm}$ ,内径 $7\text{mm}$ 。如越峰电子材料股份有限公司的A10系列,如A10-T12x6x4,直径 $12\text{mm}$ ,内径 $6\text{mm}$ 。

[0115] 线材采用三层绝缘线,可以实现非常高的耐压,如日本古河电子工业株式会社的TEX-E三层绝缘线,线径 $\Phi 0.20\text{mm}$ 。如顺正电子有限公司的TIW-B直焊型三层绝缘线,线径 $\Phi$

0.20mm。

[0116] 绕制方式为初次级导线,每隔5mm拧成双绞线,绕制在磁环上,绕制20匝。

[0117] 本实施例的传输线变压器可以实现最低1kHz,最高100MHz的工作频率,频带范围内幅频响应波动很小。

[0118] 高频变压器需要满足低截止频率小于100MHz,尽量高的最高截止频率,本实施例需要大于500MHz。也采用传输线变压器方式,可以实现尽可能高的带宽。

[0119] 高频变压器磁性最优选用高导磁率软磁铁氧体磁环,如北京七星飞行电子有限公司的R10K系列,如R10K-H5x2.5x1.5,直径5mm,内径2.5mm。如越峰电子材料股份有限公司的A10系列,如A10-T5.05x2.42x1,直径5.05mm,内径2.42mm。

[0120] 线材采用三层绝缘线,可以实现非常高的耐压,如日本古河电子工业株式会社的TEX-E三层绝缘线,线径 $\Phi$ 0.20mm。如顺正电子有限公司的TIW-B直焊型三层绝缘线,线径 $\Phi$ 0.20mm。

[0121] 绕制方式为初次级导线,每隔3mm拧成双绞线,绕制在磁环上,绕制6匝。

[0122] 本实施例的传输线变压器可以实现最低100MHz,最高500MHz的工作频率,频带范围内幅频响应波动很小。

[0123] 变压器的绝缘强度由初次级绕组导线间的绝缘决定,本实施例中可以选用多层绝缘线,如3层绝缘线,可以实现5000V以上的电压器隔离度。

[0124] 本实施例可以实现带宽大于500MHz的线性隔离电路,具有5000V以上的电压隔离度。

[0125] 实施例2

[0126] 图9为本实施例结构示意图。本实施例适用于单端信号输入,差分信号输出的应用。

[0127] 本实施例和实施例1的区别是所述高频减法电路中采用全差分运算放大器,差分输出,驱动高频变压器初级线圈。全差分运算放大器可以选用ADI公司的ADA4927或者TI公司的LMH6552、LMH6554。

[0128] 与之相应的,所述加法电路也采用全差分放大器,可选用和高速加法器相同的放大器,构成比例加法电路。高频变压器次级线圈两个输出端子连接到加法电路的全差分放大器的两个输入端,加法电路的8个电阻选用相同的电阻,加法电路增益为1。

[0129] 原低频通路仍然为单端电路。只需在所述线性光耦电路输出端与加法电路之间增设一个单端转差分电路。该单端转差分电路,使用全差分运算放大器,以使单端电路信号转换为差分电路信号,输入加法电路。具体地,可以选用满足低频通路带宽的全差分放大器,如ADI公司的AD8476、AD8275。

[0130] 本实施例所提供的隔离电路,由加法电路最终输出的隔离信号为差分信号。

[0131] 本发明提供多路线性隔离电路,可应用于示波器等测量设备。图10为现有示波器模拟前端的结构框图。如图所示,该示波器,包括:衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC、控制处理模块和D/A转换模块。输入信号依次经衰减切换模块、输入级缓冲和加法电路、可编程放大器、高速ADC传送至控制处理模块。控制处理模块将增益控制信号发送至该可编程放大器。控制处理模块还将偏置信号经D/A转换模块发送至输入级缓冲和加法电路。

[0132] 图11为应用本发明所设计多路线性隔离电路的示波器结构示意图。如图所示,该示波器在上述现有示波器结构的基础上,在所述可编程放大器 and 高速ADC之间串接本发明所设计的多路线性隔离电路,以实现信号隔离目的。同时,还在所述控制处理模块与可编程放大器之间,以及控制处理模块与D/A转换模块之间,串接有数字隔离器。

[0133] 另外,如果所述可编程放大器的输出是差分信号,则在该可编程放大器与多路线性隔离电路之间串接差分转单端电路,以将其差分信号转换为单端信号,供多路线性隔离电路使用。

[0134] 本发明所设计的多路线性隔离电路及其示波器,通过将输入信号分成低频、中频和 高频三部分,不同频率部分分别通过不同的独立通路进行隔离,从而实现高带宽线性隔离。该电路具有能够实现线性隔离电路,隔离后信号和输入信号基本一致;能够实现非常大的带宽信号的隔离,隔离带宽能够达500MHz以上;变压器绕制方便;线性光耦电路的频率补偿电路简单,调试方便;无需在高频电路增加延时电路进行线性光耦的补偿;能够方便的利用在隔离示波器前端中,实现隔离示波器功能等优点。本领域一般技术人员在此设计思想之下所做任何不具有创造性的改造,均应视为在本发明的保护范围之内。

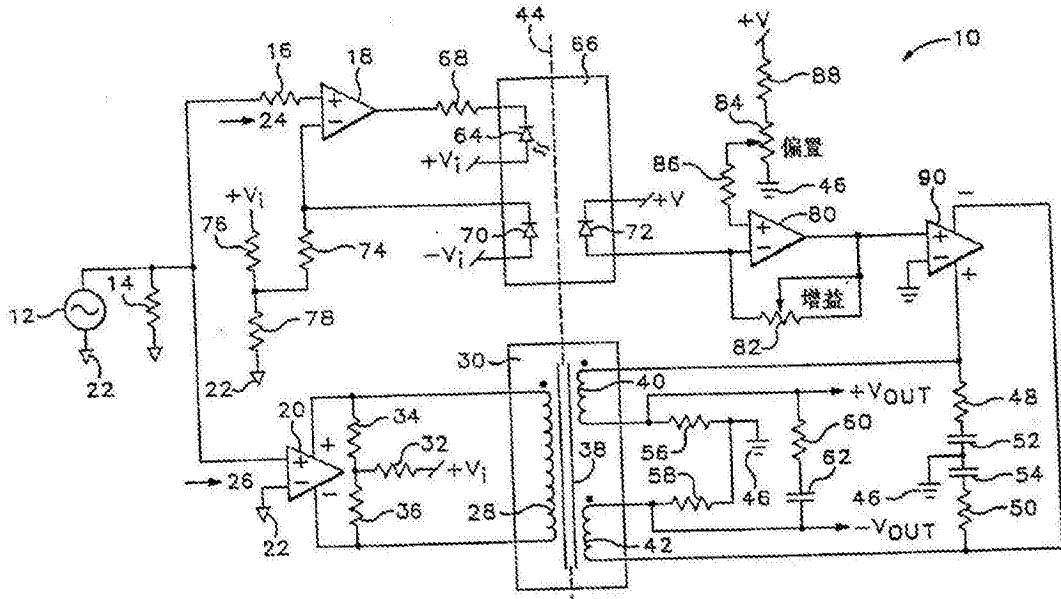


图1

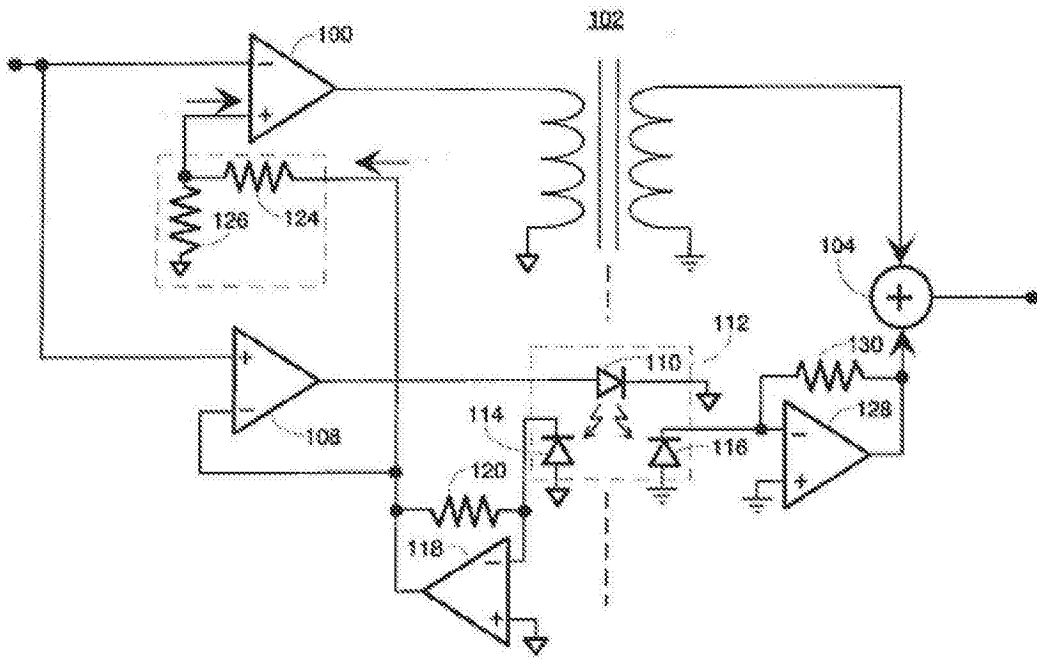


图2

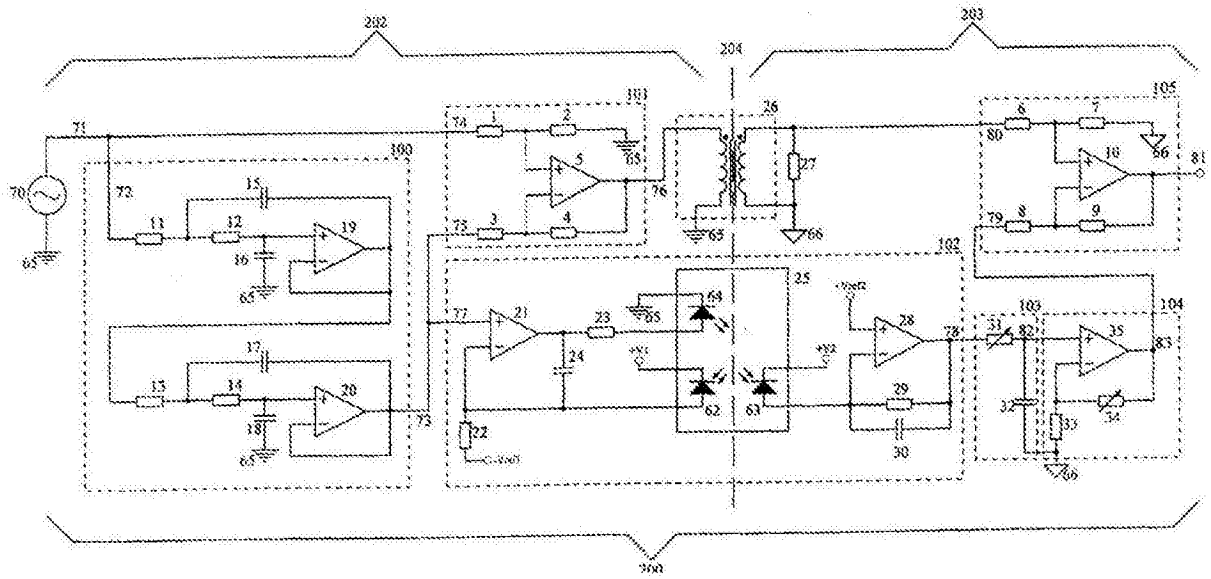


图3

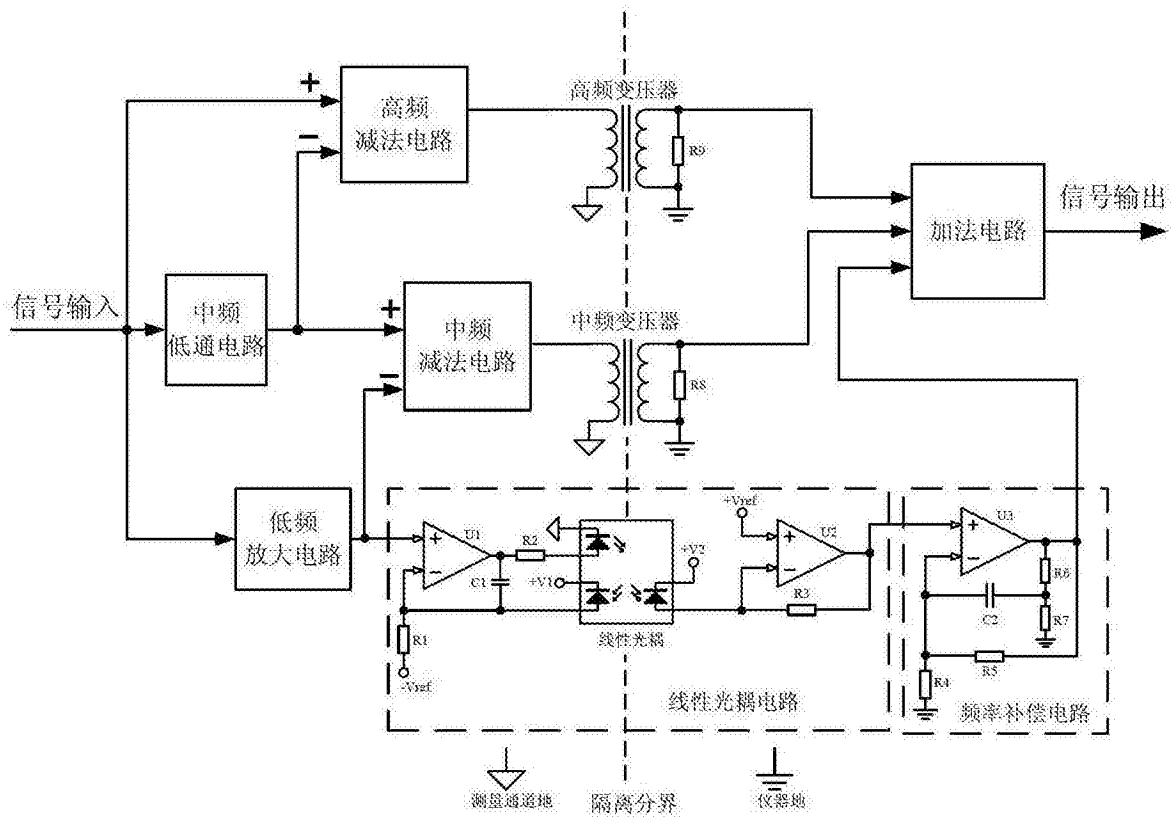


图4

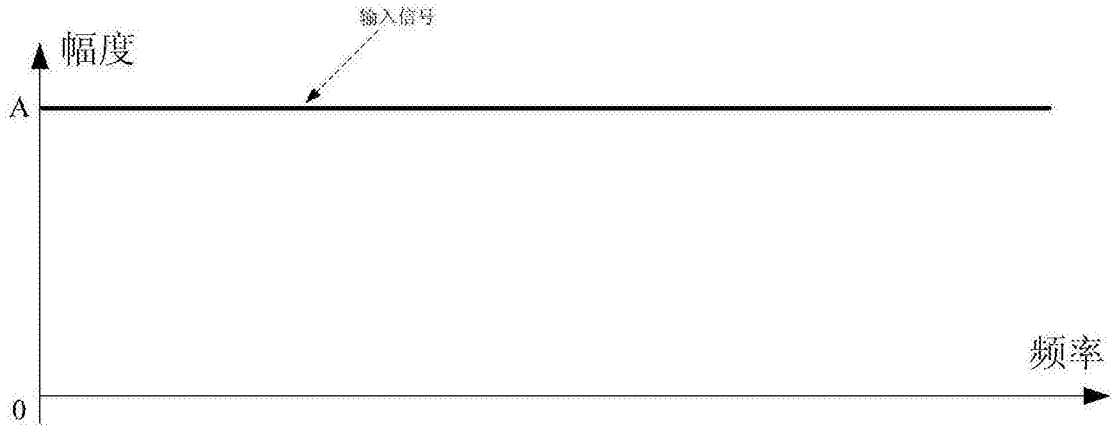


图5 (A)

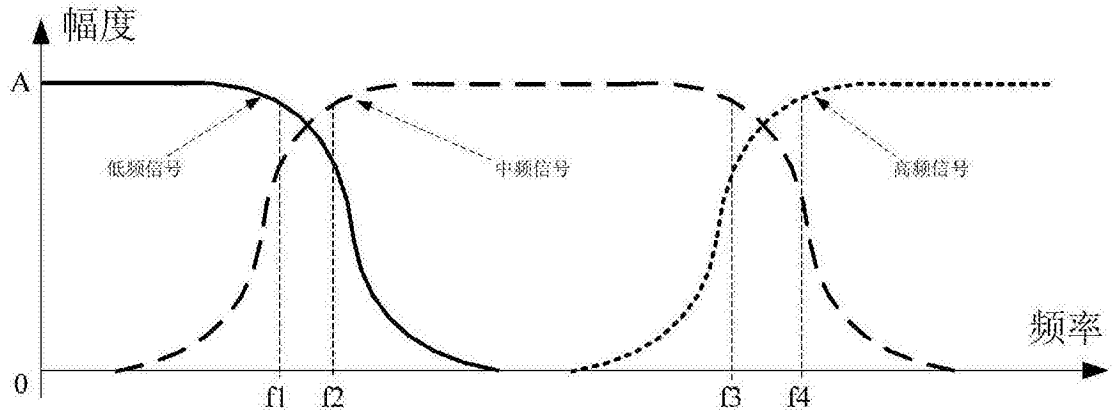


图5 (B)

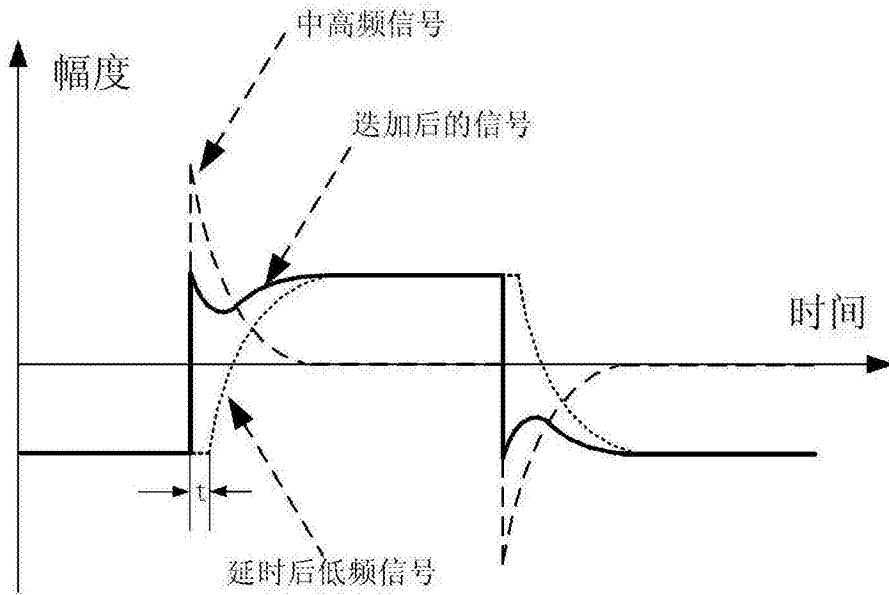


图6



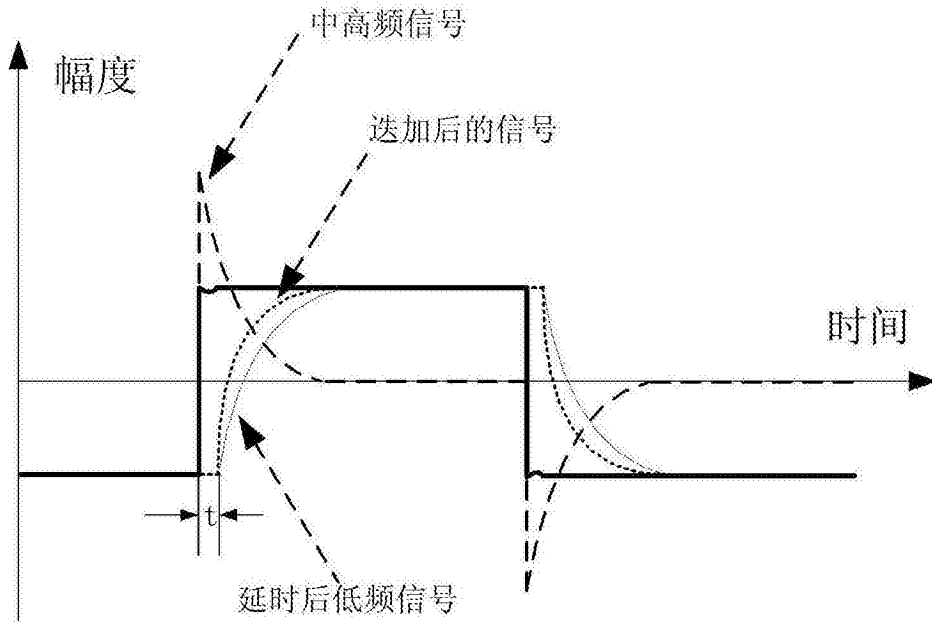


图7

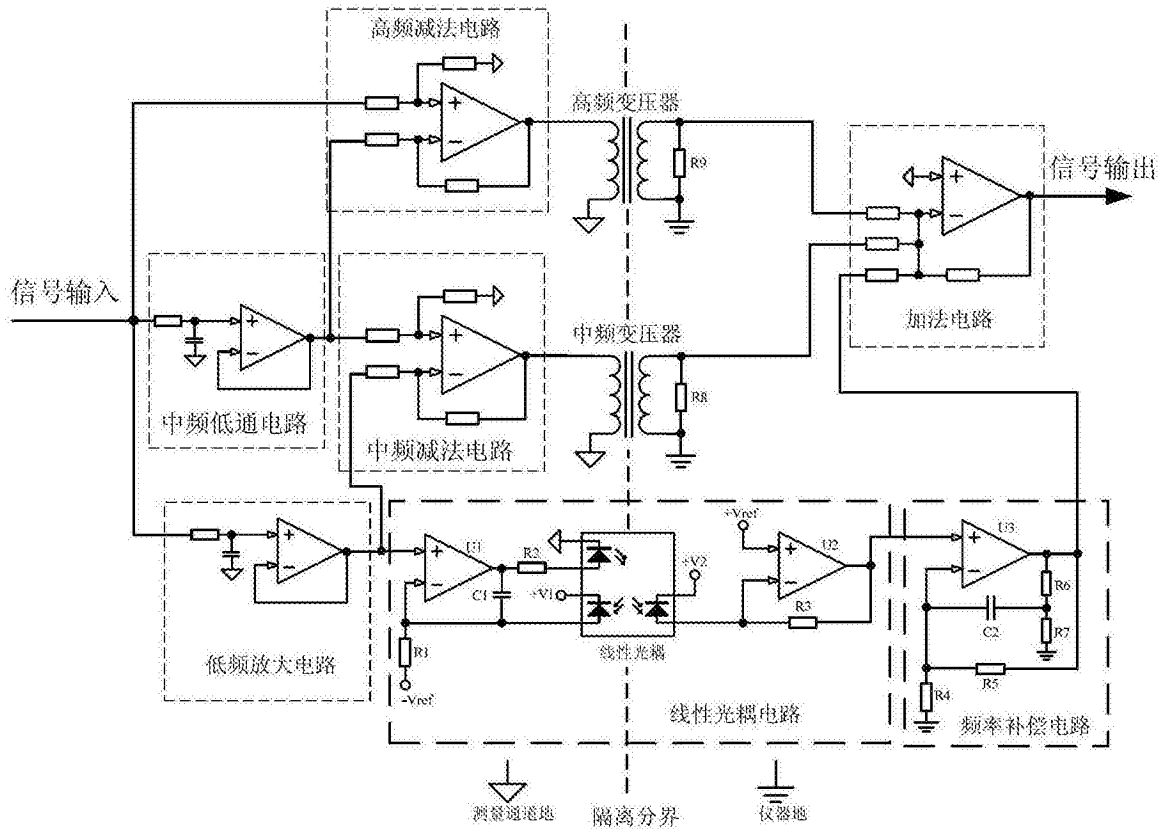


图8

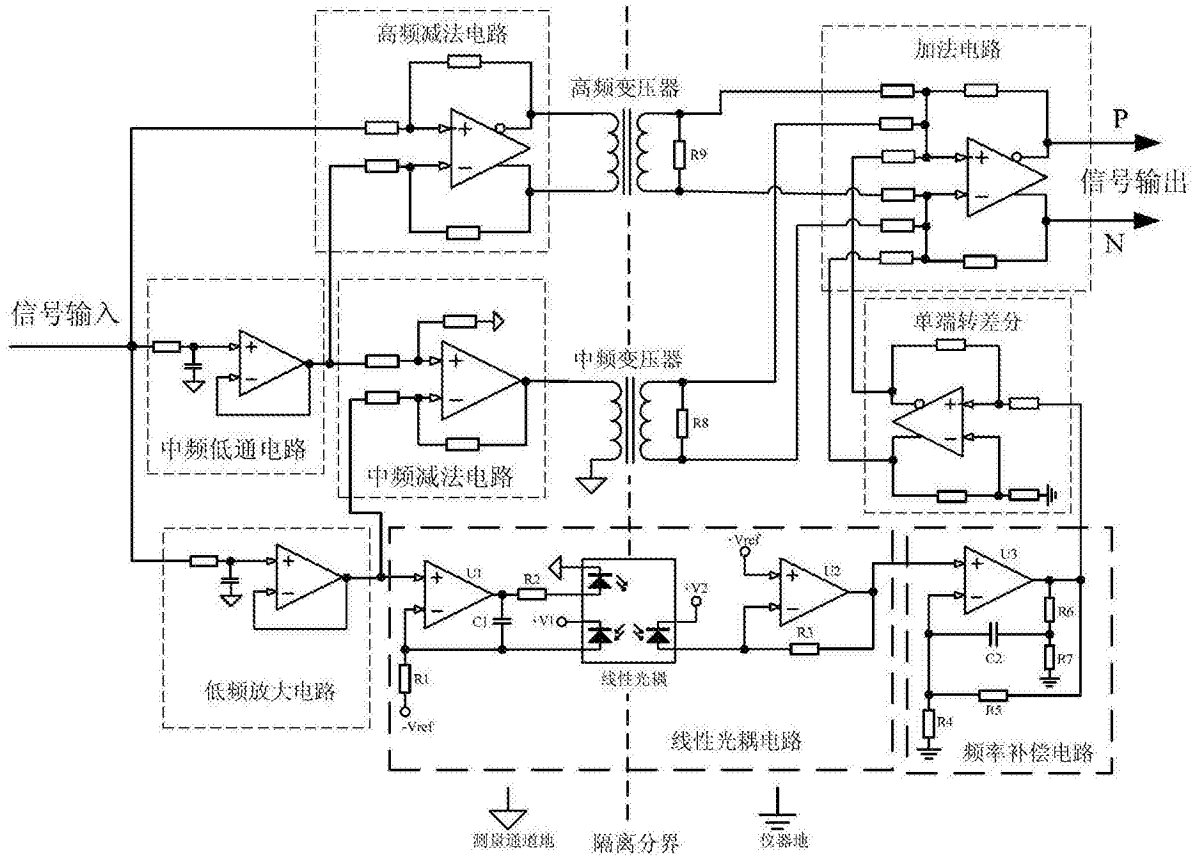


图9

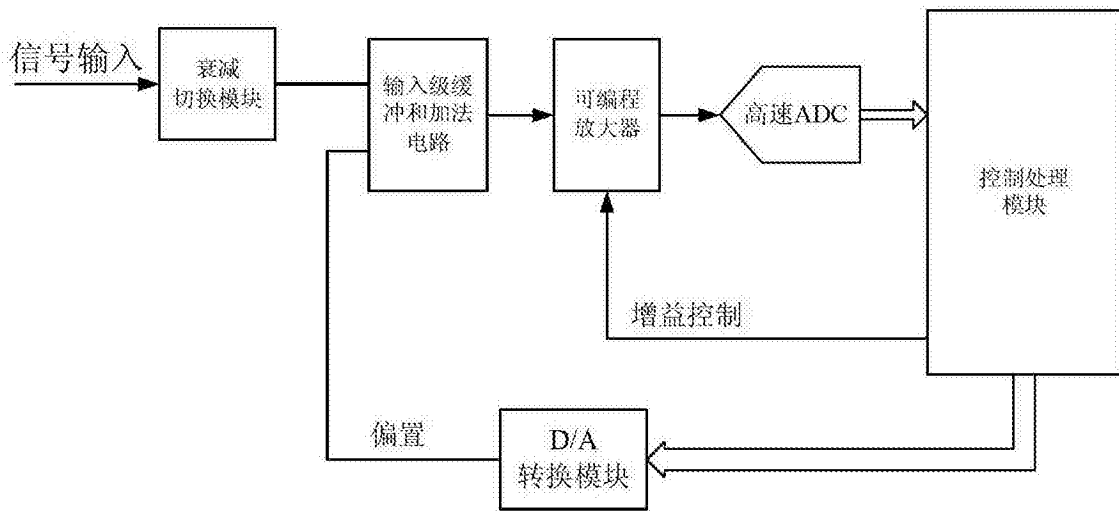


图10

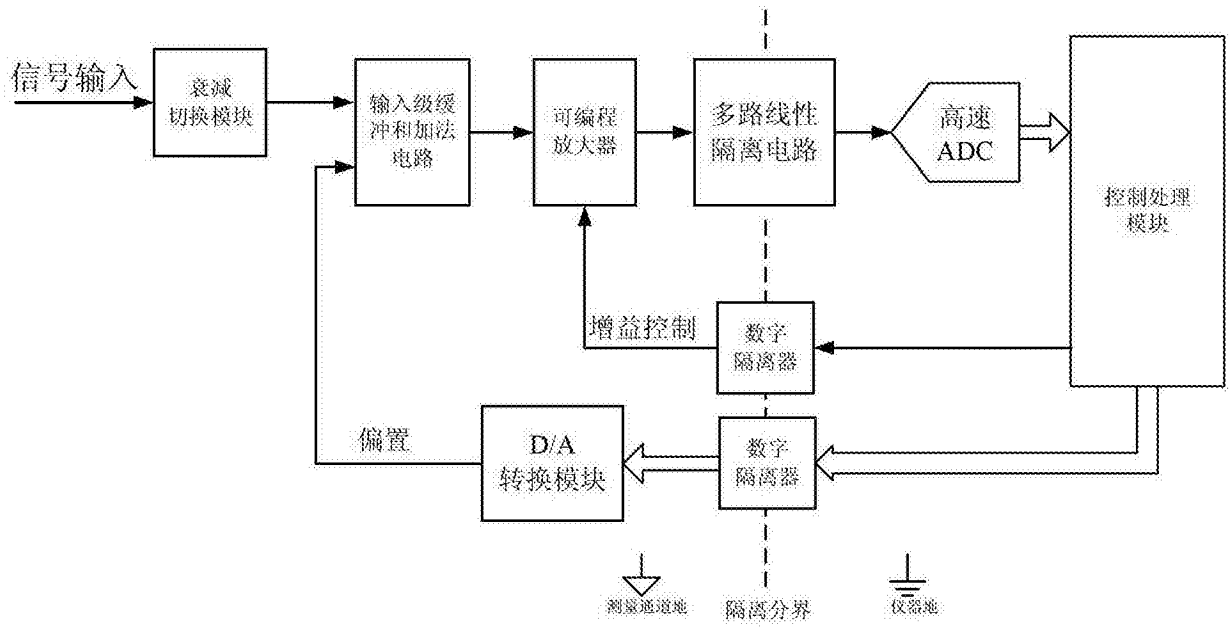


图11