



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110897612 A

(43)申请公布日 2020.03.24

(21)申请号 201911290813.8

(22)申请日 2019.12.15

(71)申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72)发明人 吕良剑 赵晓斌 穆庚 叶大蔚
史传进

(74)专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司
31200

代理人 陆飞 陆尤

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/0488(2006.01)

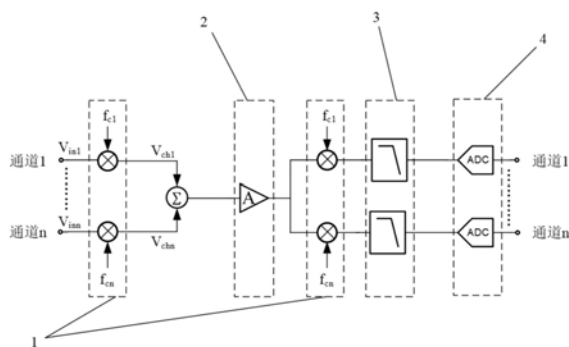
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端

(57)摘要

本发明属于模拟电路信号处理技术领域,具体为一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端。本发明多通道人体生理信号采集前端,主要包括斩波调制开关、仪表放大器、低通滤波器以及模数转换器。本发明通过在不同通道之间采用不同频率、相位、占空比等多种形式但互相正交的斩波信号调制和解调各个通道所采集到的人体生理信号,实现了多通道复用同一个仪表放大器,降低了多通道人体生理信号采集前端的面积和功耗,降低了所需斩波频率大小,弱化了仪表放大器带宽的要求以及提高了电路的输入阻抗。



1. 一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,设采集前端的通道数为 n ,则采集前端包括:分别设置在 n 个通道上的 n 个输入斩波调制开关、 n 个中间斩波调制开关、 n 个低通滤波器、 n 个模数转换器,以及一个仪表放大器; n 个通道共用一个仪表放大器;其中:

位于多个通道的所述斩波调制开关分别采用相互正交的斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_{c1} ... f_{cn} ,其中斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_{c1} ... f_{cn} 采用不同频率、相位以及占空比等多种形式以保证相互正交;各个通道的输入斩波调制开关分别将每个通道的生物电极所采集到的输入信号调制到对应斩波频率的奇倍频处,并将其耦合到仪表放大器的输入端;所述仪表放大器放大进入所述仪表放大器的高频输入信号,并输出放大后的信号;在所述仪表放大器的输出端,采用斩波信号 f_{c1} 的中间斩波调制开关解调通道1的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道1的最终输出信号;同理采用斩波信号 f_{c2} 的中间斩波调制开关解调通道2的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道2的最终输出信号;以此类推,采用斩波信号 f_{cn} 的中间斩波调制开关解调通道 n 的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道 n 的最终输出信号,进而完成多通道的解调过程;抑制通道相互干扰,实现多通道单独输出。

2. 根据权利要求1所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,所述每个通道的斩波调制开关将对应通道生物电极所采集到的输入信号调制到对应斩波频率的奇倍频,将所述混合信号同时耦合到仪表放大器的输入端;所述仪表放大器将同时放大被调制到斩波频率奇倍频的输入信号,并得到放大后的混合调制信号。

3. 根据权利要求2所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,采用斩波信号 f_{c1} 的中间斩波调制开关和采用斩波信号 f_{c2} 的中间斩波调制开关解调通道1和通道2的信号;以此类推采用斩波信号 f_{cn} 的中间斩波调制开关解调通道 n 的输出信号;解调后的通道1信号,含有通道1自身信息量、包含通道2在内的其余通道对通道1的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道1自身信息量处于低频处,其余通道对通道1的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处。

4. 根据权利要求3所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,所述低通滤波器用来滤除其余通道对通道1的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道1自身低频信息量;同理,解调后的通道2信号,含有通道2自身信息量、包含通道1在内的其余通道对通道2的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道2自身信息量处于低频处,其余通道对通道2的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处;所述低通滤波器用来滤除其余对通道2的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道2自身低频信息量;以此类推,在使用斩波信号解调对应通道 n 的输出信号时,解调后的通道信号,除了含有通道 n 自身的的信息量以外,还有其余通道对该通道的干扰量和被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道 n 自身的的信息量处于低频处,其余通道对通道 n 的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处;所述低通滤波器用来滤除其余通道对通道 n 的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道 n 自身的低频

信息量。

5. 根据权利要求4所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,所述低通滤波器滤除其余通道对解调通道的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留解调通道自身的低频信息量,并将解调通道自身的低频信息量输入到所述模数转换器的输入端;所述模数转换器将解调通道的低频模拟信息量转化为数字信息量,便于解调通道最终输出信号处理、保存以及传输。

6. 根据权利要求1-5之一所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,所述斩波调制开关由四个晶体管M1- M4组成;其中,M1源级接M3漏极,M1漏极接M4源级,M2源级接M3源级,M2漏极接M4漏极,M1和M2的栅极接 φ ,M3和M4的栅极接M1和M2栅极信号的反相信号 $\bar{\varphi}$;斩波信号为一上下幅值对应1和-1,占空比为50%的方波信号;当斩波信号处于高电平时,即 $\varphi = 1$,M1和M2导通,输入信号对应 V_{in} ;当斩波信号处于低电平时, $\varphi = 0$,M3和M4导通,输入信号对应 $-V_{in}$;所述斩波调制开关在时域上实现了斩波信号与输入信号的相乘。

7. 根据权利要求1-5之一所述的多通道人体生理信号采集前端,其特征在于,所述仪表放大器由一个放大器和连接在其两边的两组电容 C_{fb} 、电阻 R_{seuso} 组成;斩波调制开关中的各个通道分别通过电容 C_{in} 与仪表放大器连接,电容 C_{fb} 和电阻 R_{seuso} 构成电容负反馈,用于精确控制电路的闭环增益 C_{in}/C_{fb} 。

一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端

技术领域

[0001] 本发明属于模拟电路信号处理技术领域,具体涉及一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端。

背景技术

[0002] 人体生理信号是进行医学临床诊断和日常健康监护的重要参考依据,其主要包括脑电信号(EEG)、心电信号(ECG)以及肌电信号(EMG)等等。随着人们对于日常身体健康监测的需求日益增长,极大地促进了可穿戴医疗电子设备的发展。

[0003] 人体生理信号采集前端是可穿戴医疗电子设备的主要组成部分,其性能决定了所获取的人体生理信号的质量。由于所要采集处理的人体生理信号的频率低、幅值小,因此对人体生理信号采集前端的噪声性能提出了很高的要求。斩波调制技术(chopping modulation technique)可以在不影响噪底的前提下,可以有效消除人体生理信号采集前端中仪表放大器的噪声和失调,可以极大提高人体生理信号采集前端的处理精度。因此斩波调制技术被广泛应用到人体生理信号采集电路中。

[0004] 在实际的人体生理信号采集前端中,往往需要同时采集多个通道的人体生理信号。通过将单通道人体生理信号采集前端并行在一起,可以实现同时采集多通道的人体生理信号。但是这意味着每个采集通道都需要有单独的仪表放大器、低通滤波器以及模数转换器,这无疑会消耗很大的功耗和面积。文献[1]和文献[2]中通过在每个通道中采用不同的斩波频率进行调制和解调可以实现多通道复用一個仪表放大器,这将极大地节省功耗和面积。但是随着通道数目的上升,会导致所需斩波信号的频率最大值随之上升,这会提高仪表放大器的带宽要求,进而增加仪表放大器的设计压力。同时过高的斩波信号频率还会导致人体生理信号采集前端电路的输入阻抗降低,使得电极寄生阻抗对于人体生理信号采集的影响程度提高。

[0005] 通过加入不同相位、占空比等不同形式但相互正交的斩波信号来调制和解调各个通道所采集到人体生理信号,同样可以实现多通道复用一個仪表放大器。同时基于正交斩波调制的人体生理信号采集前端会延缓斩波信号频率随通道数目增加而上升的速度。在相同通道数目的条件下,其所需的斩波频率最大值远远低于基于不同斩波频率调制的人体生理信号采集前端所需的斩波频率最大值。这无疑会降低仪表放大器的带宽要求以及提高整体的输入阻抗,降低电极寄生阻抗对于人体生理信号采集的影响程度。

[0006] 参考文献

【1】Y.-L. Tsai, F.-W. Lee, T.-Y. Chen, and T.-H. Lin, "A 2-channel - 83.2dBcrosstalk 0.061mm² CCIA with an orthogonal frequency chopping technique," in IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers, Feb. 2015, pp. 92-93.

【2】P. Khatavkar and S. Aniruddhan, "552 nW per channel 79 nV/r_{thz} ECG acquisition front-end with multi-frequency chopping," in Proc. IEEE BioCAS, Oct. 2014, pp. 624-627.

发明内容

[0007] 为了解决文献[1]和文献[2]中多通道斩波频率最大值过大的问题,本发明提供一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端。

[0008] 本发明提供的基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端,其电路结构如图1所示,设采集前端的通道数为 n ,则采集前端包括:分别设置在 n 个通道上的 n 个输入斩波调制开关、 n 个中间斩波调制开关、 n 个低通滤波器、 n 个模数转换器,以及一个仪表放大器; n 个通道共用一个仪表放大器;其中:

位于多个通道的所述斩波调制开关分别采用相互正交的斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_{c1} ... f_{cn} ,其中斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 f_{c1} ... f_{cn} 采用不同频率、相位以及占空比等多种形式以保证相互正交。各个通道的输入斩波调制开关分别将每个通道的生物电极所采集到的输入信号调制到对应斩波频率的奇倍频处,并将其耦合到仪表放大器的输入端。所述仪表放大器放大进入所述仪表放大器的高频输入信号,并输出放大后的信号。在所述仪表放大器的输出端,采用斩波信号 f_{c1} 的所述中间斩波调制开关解调通道1的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道1的最终输出信号。同理采用斩波信号 f_{c2} 的所述中间斩波调制开关解调通道2的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道2的最终输出信号。以此类推,采用斩波信号 f_{cn} 的所述中间斩波调制开关解调通道 n 的输出信号,经过所述低通滤波器滤除高频谐波分量后,输入到所述模数转换器的输入端,经所述模数转换器转换后,得到通道 n 的最终输出信号,进而完成多通道的解调过程;抑制通道相互干扰,实现多通道单独输出。同时所述仪表放大器的失调和闪烁噪声因为只经过各个通道输出斩波调制开关一次斩波调制,而被调制到各个斩波频率的奇倍频,同样会被各个通道的低通滤波器滤除。

[0009] 本发明中,所述每个通道的斩波调制开关将对应通道生物电极所采集到的输入信号调制到对应斩波频率的奇倍频,将所述混合信号同时耦合到仪表放大器的输入端。所述仪表放大器将同时放大被调制到斩波频率奇倍频的输入信号,并得到放大后的混合调制信号。

[0010] 本发明中,采用斩波信号 f_{c1} 的中间斩波调制开关和采用斩波信号 f_{c2} 的中间斩波调制开关解调通道1和通道2的信号。以此类推采用斩波信号 f_{cn} 的中间斩波调制开关解调通道 n 的输出信号;解调后的通道1信号,含有通道1自身信息量、包含通道2在内的其余通道对通道1的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道1自身信息量处于低频处,其余通道对通道1的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处。

[0011] 本发明中,所述低通滤波器用来滤除其余通道对通道1的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道1自身低频信息量。同理解调后的通道2信号,含有通道2自身信息量、包含通道1在内的其余通道对通道2的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道2自身信息量处于低频处,其余通道对通道2的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处。所述低通滤波器用来滤除其余对通道2的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道2自身低频信息量。以此类推,在使用斩波信号解调对应通道 n 的输出信号时,解调

后的通道信号,除了含有通道n自身的信息量以外,还有其余通道对该通道的干扰量和被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,其中通道n自身的信息量处于低频处,其余通道对通道n的干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声处于高频处。所述低通滤波器用来滤除其余通道对通道n的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留通道n自身的低频信息量。

[0012] 本发明中,所述低通滤波器滤除其余通道对解调通道的高频干扰量以及被调制后的所述仪表放大器的失调和闪烁噪声,保留解调通道自身的低频信息量,并将解调通道自身的低频信息量输入到所述模数转换器的输入端。所述模数转换器将解调通道的低频模拟信息量转化为数字信息量,便于解调通道最终输出信号处理、保存以及传输。

[0013] 本发明中,所述斩波调制开关,由四个晶体管M1-M4组成,其电路结构如图2所示;其中,M1源级接M3漏极,M1漏极接M4源级,M2源级接M3源级,M2漏极接M4漏极,M1和M2的栅极接 φ ,M3和M4的栅极接M1和M2栅极信号的反相信号 $\bar{\varphi}$ 。斩波信号为一上下幅值对应1和-1,占空比为50%的方波信号。当斩波信号处于高电平时($\varphi = 1$),M1和M2导通,输入信号对应 V_{in} 。当斩波信号处于低电平时($\varphi = 0$),M3和M4导通,输入信号对应 $-V_{in}$ 。因此所述斩波调制开关在时域上实现了斩波信号与输入信号的相乘。

[0014] 本发明中,所述仪表放大器,由一个放大器和连接在其两边的两组电容 C_{fb} 、电阻 R_{seuso} 组成(参见图1所示);斩波调制开关中的各个通道分别通过电容 C_{in} 与仪表放大器连接,电容 C_{fb} 和电阻 R_{seuso} 构成电容负反馈,用于精确控制电路的闭环增益 C_{in}/C_{fb} 。所述仪表放大器,同时放大被调制到斩波频率奇倍频的通道1到通道n的输入信号,并输出放大后的混合调制信号;通道1到通道n中生物电极所采集到的人体生理信号共用所述仪表放大器进行放大处理。

[0015] 所述低通滤波器,在通道1滤除被调制后的仪表放大器的失调和1/f噪声以及包含通道2在内的其它通道对通道1的高频干扰量,在通道2滤除被调制后的仪表放大器的失调和1/f噪声以及包含通道1在内的其它通道对通道2的高频干扰量。以此类推,在通道n滤除被调制后的仪表放大器的失调和1/f噪声以及其它通道对通道n的高频干扰量。使得在通道1中输入到模数转换器中的只有通道1本身信息量,在通道2中输入到模数转换器中的只有通道2本身信息量。在通道n中输入到模数转换器中的只有通道n本身信息量。

[0016] 所述模数转换器,在通道1到通道n中将通道1到通道n的低频模拟信息量转化为数字信息量,便于通道1到通道n最终输出信号的后续处理。同理在其它通道中,将相应通道的低频模拟信息量转化为数字信息量,便于最终输出信号的后续处理。

[0017] 本发明提供的基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端,通过在不同通道之间采用不同频率、相位、占空比等不同形式单相位正交的斩波信号调制和解调各个通道采集到的人体生理信号,实现了多通道复用一個仪表放大器,同时抑制了仪表放大器的失调和1/f噪声以及不同通道之间的干扰。在降低了多通道人体生理信号采集前端的面积和功耗的基础上,降低了所需斩波频率的大小,从而降低了仪表放大器的带宽要求以及提高了整体的输入阻抗。

附图说明

[0018] 图1为基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端电路原理图。

[0019] 图2 为斩波调制开关电路原理图。

[0020] 图3 为基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端系统框图。

[0021] 图4为斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 $f_{c1}\cdots f_{cn}$ 的时域波形图。

[0022] 图中标号:1为斩波调制开关阵列,2为仪表放大器,3为低通滤波器阵列,4为模数转换器阵列。

具体实施方式

[0023] 以下将结合图1和图3以及图4分析本发明提供的人体生理信号采集前端采集和处理多通道人体生理信号的的整体流程,对本发明做进一步阐述。

[0024] 各个通道的生物电极将人体细胞的离子交换活动转化为对应的电信号,输入到各自的斩波调制开关。其中 n 个通道的斩波调制开关分别采用不同频率、相位、占空比等不同形式单相位正交的斩波信号 f_{c1} 、 f_{c2} 、 $f_{c1}\cdots f_{cn}$ 。各个通道的输入信号被对应的斩波调制开关调制到相应斩波信号的奇倍频处,被调制之后的多通道信号混合输入到公用的仪表放大器的输入端。

[0025] 在仪表放大器本身带宽满足要求的前提下,仪表放大器对被调制到斩波频率奇倍频的多通道输入信号进行放大,并在输出端输出放大信号。此时的仪表放大器的输出信号对应被调制放大之后的 n 个通道的混合信号。通过采用斩波信号为 f_{c1} 的斩波调制开关调制仪表放大器输出的混合信号,可以将通道1本身输入信号解调回低频处同时将仪表放大器本身的失调和 $1/f$ 噪声调制到斩波频率的奇倍频处,还会产生包含通道2在内的其它通道对通道1的交调分量。由于斩波频率的奇倍频和包含通道2在内的其它通道对通道1的交调分量相对于通道1被解调后的原始信号而言都是高频量,因此可以通过低频滤波器将仪表放大器本身的失调和 $1/f$ 噪声和包含通道2在内的其他通道对通道1的交调分量滤除,只保留通道1的原始信号。以此类推,通过在采用斩波信号为 f_{cn} 的斩波调制开关调制仪表放大器输出的混合信号,可以将通道 n 本身输入信号解调回低频处同时将仪表放大器本身的失调和 $1/f$ 噪声调制到斩波频率的奇倍频处,还会产生其他通道对通道 n 的交调分量。由于斩波频率的奇倍频和其他通道对通道 n 的交调分量相对于通道 n 被解调后的原始信号而言都是高频量,因此可以通过低频滤波器将仪表放大器本身的失调和 $1/f$ 噪声和其他通道对通道 n 的交调分量滤除,只保留通道 n 的原始信号。

[0026] 在实现将仪表放大器本身的失调和 $1/f$ 噪声以及其余通道对通道1的交调干扰滤除后,将通道1保留的原始信号输入到模数转换器的输入端,将其转化为通道1对应的数字信号,再进行后续的处理。以此类推,将通道 n 保留的原始信号输入到模数转换器的输入端,将其转化为通道 n 对应的数字信号,再进行后续的处理。至此该基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端实现了多通道人体生理信号的分别采集、处理与输出的功能。

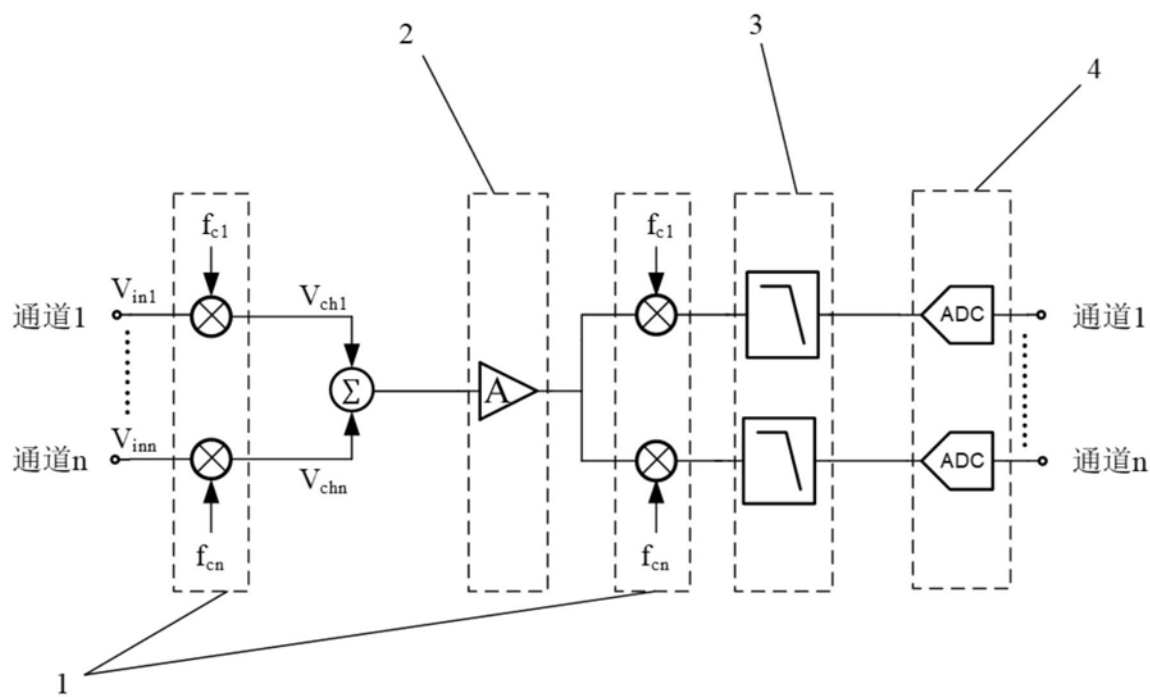


图3

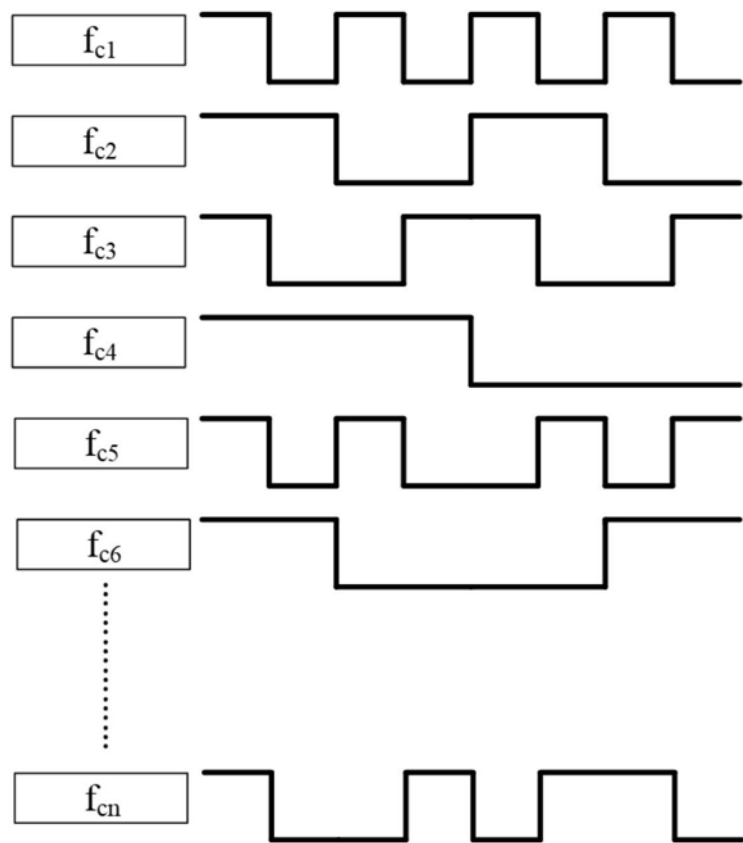


图4

专利名称(译)	一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端		
公开(公告)号	CN110897612A	公开(公告)日	2020-03-24
申请号	CN201911290813.8	申请日	2019-12-15
[标]申请(专利权)人(译)	复旦大学		
申请(专利权)人(译)	复旦大学		
当前申请(专利权)人(译)	复旦大学		
[标]发明人	吕良剑 赵晓斌 穆庚 叶大蔚 史传进		
发明人	吕良剑 赵晓斌 穆庚 叶大蔚 史传进		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/0402 A61B5/0476 A61B5/0488		
CPC分类号	A61B5/0402 A61B5/0476 A61B5/0488 A61B5/7203 A61B5/7225 A61B5/725		
代理人(译)	陆飞		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明属于模拟电路信号处理技术领域，具体为一种基于正交斩波调制的多通道人体生理信号采集前端。本发明多通道人体生理信号采集前端，主要包括斩波调制开关、仪表放大器、低通滤波器以及模数转换器。本发明通过在不同通道之间采用不同频率、相位、占空比等多种形式但互相正交的斩波信号调制和解调各个通道所采集到的人体生理信号，实现了多通道复用同一个仪表放大器，降低了多通道人体生理信号采集前端的面积和功耗，降低了所需斩波频率大小，弱化了仪表放大器带宽的要求以及提高了电路的输入阻抗。

