

新型脉动式血氧仪应用特征与 技术支撑及其新趋势

New type pulse oximetry application characteristics and the technical support and new trend

叶云燕

摘要：本文对新型脉动式血氧仪应用特征与技术支撑及其 IR (红外光) 和 R (红色) LED 所需的源 (吸) 电流的测量作分析说明，并对智能脉动式脉搏测定仪技术的新趋势作介绍。

关键词：血氧饱和度，模拟前端，光电二极管

Abstract: In this paper, the new type pulse oximetry application characteristics and the technical support and IR (infrared) and R (red) LED the required source (suction), also analysis the current measurement and the new tendency of intelligent pulsing pulse meter technology is introduced.

Keywords: Oxygen saturation, Analog front end, photodiode

无创伤监护技术将是未来医学工程发展的重要方向，其脉动式血氧计是反映出人体心血管系统中许多生理病理的血流特征的无创医疗检测设备。脉动式血氧计通过利用不同的光波长感应脱氧血红蛋白和氧合血红蛋白的吸收属性，用于连续测量动脉的血氧饱和血红蛋白 (Hb) 的百分比和病人的脉搏数。也可以通过这种方法测量血氧饱和度，氧分压、心搏等生理信号，为临床诊断提供了强有力的技术支持。值此本文对新型脉动式血氧仪应用特征与技术支撑及其 IR (红外光) 和 R (红色) LED 所需的源 (吸) 电流的测量作分析说明，并对智能脉动式脉搏测定仪技术的新趋势作介绍。

1 脉动式血氧仪测量技术与构建

1.1 测量技术

基本测量技术，对一个手指头血氧的含量与饱和度的测量在手指处测量是最多的，但也可以在脚趾、耳朵，这也是最常见的测量血氧的地方。其测量原理就是用红光和红外光发射，这两个要非常接近（见图 1(a) 所示），他们在手指基本上非常接近的位置，才能保证检测的准确度。这本身对传感器技术与 LED 也是挑战。红光和红外光是分开工作的，当红光工作的时候，红外光是关闭的，发光二

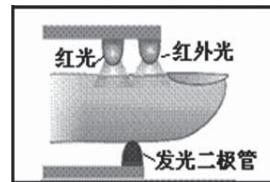


图 1(a) 血氧的含量与饱和度其本测量示意图

极管是同一个，可以减小红光和红外光之间的工作干扰，也保证了在同一个人体结构取得信息。

* 新型的脉动式血氧仪 (计)

它是应用丰富的混合信号、MEMS 和 DSP 或 MCU 芯片技术与其它先进的外围器件构成，实现无缝连接的信号链，从而实现了系统的高性价比和紧凑外形尺寸，其构建见图 1(b) 所示。可以看出脉动式血氧仪基本量计由放在病人耳垂、脚趾、手指或其它身体部位的传感器和数据采集系统组成，用于测量计算和显示氧饱和程度、心率和血流量。

当今新型的脉动式血氧仪有二大类，其一是低端便携式脉动式血氧仪；其二是中程和高端便携式脉动式血氧仪。

1.2 脉动式血氧仪构建方案解析

* 关于脉动式血氧仪的理念

人类需要在整个身体内保持连续氧气供应才能维持生命。这个功能是由血液中的红细胞完成的。脉动式血氧仪采

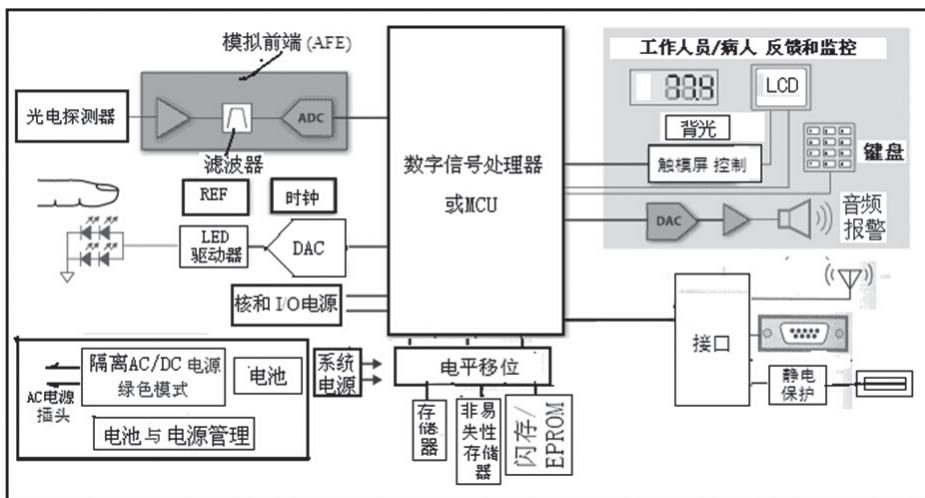


图 1(b) 基于 DSP 或 MCU 芯片与相关的外围器件构成的新型的脉动式血氧仪框图

用无创式技术测量血液中氧气含量。脉动式血氧仪测量的对象更准确地叫法是血氧饱和度，即所谓的 SPO_2 。测量得到的单个数字结果，代表了实际含氧量与全氧饱和的比值，用百分比表示。在肺部，氧气附着在受红细胞约束的蛋白质上，称为血色素（符号 Hb）。血液中的血色素有氧合血红蛋白 (HbO_2) 与还原形态血红蛋白 (Hb) 两种形态。高度饱和的血色素分子包括 4 个氧分子。血氧饱和度计算公式如下：

$$\text{血氧饱和度} (\text{SPO}_2) = \frac{\text{HbO}_2 \times 100}{\text{HbO}_2 + \text{Hb}} \%$$

典型的健康值为 90 至 100%，但可以低至 60%。

* 脉动式血氧仪系统设计特征

设计脉动式血氧仪系统时，需要解决多个难题，如低血流灌注、运动和皮肤湿度、杂散光干扰等。对于低血流灌注则光电二极管测量需要宽动态范围和低噪声增益的信号调理，以便捕捉脉搏事件。对于运动和皮肤湿度可以通过软件算法来解决。对于杂散光干扰需要使用具有更高信号处理能力的 DSP。

脉动式血氧仪是监测血液中含氧血红蛋白百分比的一种简单的非侵入式方法。这种方法使用脉动式血氧仪间接地测量患者血液的氧饱和度及皮肤中血液量的变化。LCD 显示屏上会显示血氧饱和度及心率。脉动式血氧仪可以作为独立的便携式装置出售，也可以连接到更大型的病患监护系统。电池驱动的便携式脉动式血氧仪可用于家庭监护。具有 LCD 显示屏驱动功能的超低功率 DSP 或 MCU。此类器件是便携式脉动式血氧仪的理想选择。

脉动式血氧仪包括两个关键组件：一个面向电池驱动

应用的低功率 MCU 或 DSP 和一个光学传感器。光学传感器包括两个 LED。这两个 LED 发出的光线透过皮肤（手指或耳垂）进入光电二极管。一个 LED 发射波长为 660nm 的红光，另一个 LED 发射波长为 910 nm 的红外光。

* 方案构建

脉动式血氧仪包括发射路径、接收路径、显示和背光、数据接口以及音频报警。发射路径包括红光 LED、红外光 LED 和用于驱动 LED 的 DAC。接收路径包括光电二极管传感器、信号调理、模数转换器和处理器。

脉动式血氧仪以非介入方式测量血液中的含氧量，该测量基于血液中血红蛋白的光吸收特性。在可见光谱和近红外光谱内，含氧血红蛋白 (HbO_2) 与脱氧血红蛋白 (Hb) 具有不同的吸收曲线。Hb 吸收的红光频率的光线较多，红外光 (IR) 频率的光线较少。 HbO_2 则相反，吸收的红光频率的光线较少，红外光 (IR) 频率的光线较多。红光和红外光 LED 尽可能相互靠近，通过人体中的单一组织位置透射光线。红光和红外光 LED 采用时间复用处理来透射光线，因此不会相互干扰。环境光线经过估算后，从红光和红外光信号中减去。一个能够响应红光和红外光的光电二极管接收光线，然后由一个跨导放大器产生与所接收光线强度成比例的电压。光电二极管接收的红光与红外光的比值用于计算血液中的氧气百分比。根据血液流动的脉冲特性，还会在测量周期中确定并显示脉搏率和强度。

1.3 脉动式血氧仪主要技术支持

* 用于脉动血氧仪的集成模拟前端 (AFE) 与超低功耗电源

脉动血氧仪的集成模拟前端芯片 AFE4490 (见图 1 左上桔红色框图) 是一款非常适合于脉动血氧仪应用的全集成模拟前端 (AFE)，是医疗脉动血氧仪应用的最好选择。此器件包含一个具有 22 位模数转换器 (ADC) 的低噪声接收器通道、一个 LED 传输部件和针对传感器以及 LED 故障检测的诊断功能。AFE4490 是一款可配置定时控制器。这个灵活性使得用户能够完全控制器件定时特性。为了减轻计时要求并为 AFE4490 提供一个低抖动时钟，还集成了一个由外部晶振供频的振荡器。此器件使用一个串行外设接口 (SPI) 与外部微控制器或主机处理器通信。AFE4490 是一个采用单一、紧凑型 QFN-40 封装 ($6\text{mm} \times 6\text{mm}$) 内的完整 AFE 解决方案，其额定温度范围为 -40 至 +85 °C。

其高精度 ADC 为光电探测器 (测量光电二极管) 提供了 AC/DC 性能卓越的小包装单芯片解决方案。通常，脉动式血氧计需要超低功耗和低噪声电源 (见图 1 左下端绿色电源所示)，以便支持延长的电池寿命和精密测量。其降压 - 升压转换器提供对锂离子电池技术的支持以及 96% 的效率。高 PSRR (电源抑制比) LDO (低压差线性稳压器) 还可用于其它低噪声电源。线性锂离子低单节充电器系列可满足壁插式和 USB 端口充电的要求。推出的创新下一代电量监测解决方案使用了“阻抗跟踪”，可自动了解 / 检测电池特性，从而延长电池寿命和系统运行时间。

* 光源

光源 (发光二极管) 将可见红光 (600nm 至 750nm) 和红外 (850nm 至 1000nm) 光照在耳垂、脚趾或手指。脱氧血红蛋白允许更多红外光穿过并吸收更多红光；高氧络血红蛋白则允许更多红光穿过并吸收更多红外光。图 2 为脉动式血氧仪的光源示意图。

血氧计感应并计算波长与血红蛋白的氧饱和度 (或不饱和) 成比例的光量。由于吸收测量中光的使用，设计

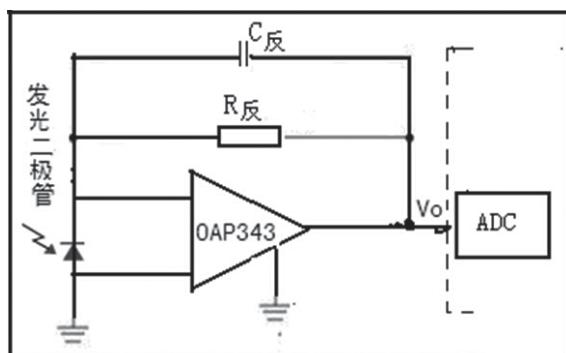


图 2 脉动式血氧仪的光源示意图

人员需要一个真正的“光压”转换器，将电流用作输入信号。适用于脉动式血氧计应用的光电二极管放大器种类是典型的反馈电阻 R 反互阻抗放大器 (OAP343) 和反馈电容 C 反交换式集成器。在任一种放大器配置中，结果输出电压 V_o 均由模数转换器读取，并串行化为 MSP430 MCU 或 TMS320™ DSP 处理和收集。

如上图 2 所示的反馈电阻放大器是最常见的电路生物电互阻抗电路。在反向配置中使用放大器，发光二极管的光照产生达到放大器相加点的小电流，并穿过反馈电阻。假设反馈电阻的值很大，此电路对光强度的改变极其敏感。在此示例配置中，只有 $0.001\text{~A} \mu\text{W}$ 的输入光信号将产生满摆幅输出。

根据设计要求，交换式集成器是一流的解决方案。如今 TI 公司的 IVC102 等交换式集成器没有反馈电阻的热噪声，也没有跨阻放大器中常发现的大型反馈电阻 ($R_{\text{反}} = 10\text{M}\Omega$) 的稳定性问题。使用一个发光二极管和两个 IVC102 交换式集成器将消除暗流和环境光错误，因为减去了对于二者均常见的错误。此外，IVC102 还允许在整数倍 AC 线路频率下同步采样，从而提供极高的噪声抑制。

1.4 脉动式血氧仪分类特征

* 低端便携式脉动式血氧仪

为适应低端设计，由高度集成的 MSP430 超低功耗微处理器 (MCU) 减少了在设计中所需的外部组件数。因为信号链、电源管理和显示驱动器的元件已集成到 MCU。该类脉动式血氧计的是信号采集问题是关键，从图 2 可知，反向反馈电阻 ($R_{\text{反}}$) 配置常与信号链中的增益放大器配合使用。但是，大反馈电阻值 ($R_{\text{反}} = 10\text{M}\Omega$) 可能借助因电路敏感度级别造成的光强度的轻微变化，来推动极高的输出摆幅。在设计时可以从将输出摆幅推至地面或低于地面中受益。双电源 (+5V 与 -5V) 自动置零互阻抗放大器 (见图 3 所示) 能使输出 V_o 摆幅接地，并使单电源器件摆幅非常接近地面。输出电压非常接近 0V 时，连接到 -5V 的下拉电阻 40KΩ 允许输出摆幅稍微低于地面，以将错误降至最低。当今已由新型的 (如 TI 公司产) 一系列可提供极高精密度、杰出长期稳定性和极低 $1/f$ 噪声的互阻抗放大器。

* 中程和高端便携式脉动式血氧仪

中高端实施可能需要具有低电源电流的更高性能处理器

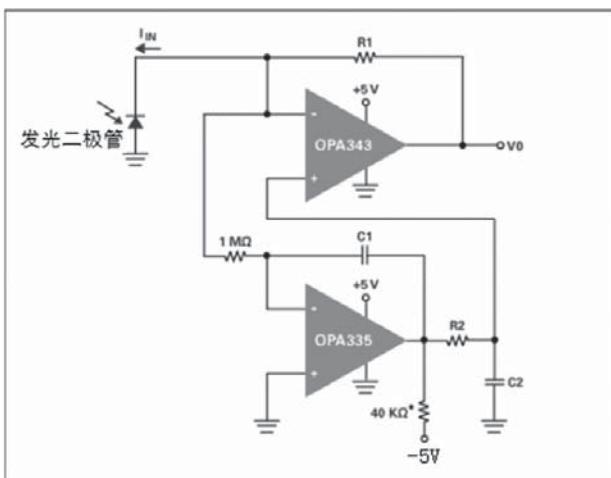


图 3 双电源自动置零互阻抗放大器

和更高精密度的模拟组件。低功耗 DSP 技术可以消除由其它光源或读取信息时出现的移动而导致的信号失真，仅提取重要信号。通过复杂算法，DSP 技术可精确读取极低电平信号。这一附加处理功能在脉动式血氧计中非常有用，它能测量其它波长的吸收以检测其它种类氧络血红蛋白的饱和度。

2 必须对脉动式血氧仪两个 LED 电流进行测量

由于包括两个 LED 光学传感器是脉动式血氧仪关键组件，驱动脉动式血氧仪传感器中内部 IR(红外光) 和 R(红色) LED 所需的源 (吸) 电流就是一典例。即两个 LED 测量源电流或吸电流是脉动式血氧仪使用的关键电路，因它用于激励传感器。为此必须对其 LED 电流进行测量。

由于脉动式血氧仪是一种无创医疗设备，用于连续测量氧饱和血红蛋白 (Hb) 的百分比和病人的脉搏数。携氧血红蛋白 (氧合血红蛋白) 吸收红外 (IR) 光谱区中的光，未携氧的血红蛋白 (脱氧血红蛋白) 则吸收可见红 (R) 光。使用脉动式血氧脉搏血氧仪进行测量时，一般是将包含两个 LED (有时更多，取决于测量算法的复杂度) 和一个光传感器 (光电二极管) 的一个夹子夹在病人的手指或耳垂上。一个 LED 发射红光 (600 nm 至 700 nm 波长)，另一个 LED 则发射近红外光 (800 nm 至 900 nm 波长)。夹子通过电缆与处理器单元相连。根据制造商的要求，两个源电流分别快速并有顺序地激励相应的 LED，源电流的直流电平

取决于所驱动的 LED。当光线透过组织时，检测器同步捕捉来自各 LED 的光线。

脉动式血氧仪设计所用的低功耗、精密源电流 (电流流入负载) 或吸电流 (电流流出负载) 需要提供数十毫安的电流 (老产品为数百毫安)。这些电路中的有源元件包括低功耗精密运算放大器、精密并联基准电压源以及 MOSFET 或双极性晶体管。为了省电，可以增加一个模拟开关，以便在待机模式下关断源电流或吸电流。如果要求超精密设计，则可以用超精密串联基准电压源代替并联基准电压源。

所示典例，其中一个直流吸电流驱动脉动式血氧仪红光和红外 LED。这些直流吸电流分别允许 10.3mA 和 15.2mA 的电流流过红光和红外 LED。

3 新趋势

上述研讨是以健康状况监护和诊断的相关应用程序等为出发点，探讨生命体征监护市场趋势，以及为应对这些趋势而开发的新型技术。值此对开发智能血氧脉搏测定仪模块是新趋势作介绍。

智能智能脉动式脉搏测定仪 (外见图 4 所示) 和热量消耗脉搏计，透过连接流行便携设备，让使用者更加清楚自身的健康数据进而更好掌握自身的健康情况。此感应性高的设备可以在运动的同时进行数据的读取和收集。透过连结计算器将数据同步传给家人或是专业医疗顾问。也可以需求订制嵌入式模块。

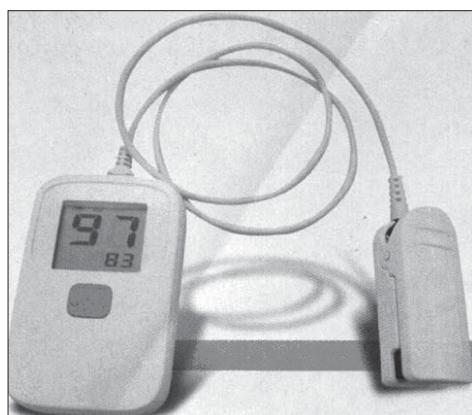


图 4 智能脉动式脉搏测定仪外形示意