



Vi tar pulsen på pulsoximetrar

Så mäter man pulsen och blodets syremättnad i bärbar utrustning

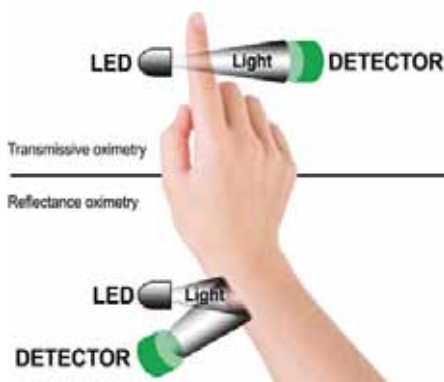
De förändringar som sker inom områden relaterade till medicin och konditionsträning, och den elektronikutrustning som utnyttjas, kan verkligen kallas revolutionerande. De krav som ställs på dagens sjukvårdsutrustning är omfattande, varierande och knepiga att tillgodose. Utrustning som förr användes mest på sjukhus, används nu för tillämpningar i hemmet och för konditionsövervakning.

Det blir till exempel allt vanligare att konsumentprodukter erbjuder möjlighet till pulstagnation och mätning av blodets syremättnad. Sådana mätningar kan göras med hjälp av pulsoximetrar som nu finns tillgängliga för både medicinskt hemmabruk och som en del av integrerad handleds-buren konditionsträning.

Denna artikel ger grundläggande kunskaper om pulsoximetri för tillämpningar inom medicin och konditionsträning. Vi kommer också att studera ett exempel på en konstruktion för en pulsoximeter som visar hur pulsen och syremättnaden mäts.

Det här är oximetri

En pulsoximeter är en icke-inträngande (noninvasiv) utrustning som tar pulsen och mäter syremättnaden i blodet, vanligtvis angiven i procent. Pulsoximetrar är lätta att känna igen tack vare sin klämliknande



Figur 1. Två oximetrimetoder.

prob, som normalt sätts på patientens fingrar.

En pulsoximeter kan vara en fristående utrustning, ingå i ett patientövervakningssystem, eller integreras i bärbara konditionsmätare. Därmed används pulsoximetrar av personal på sjukhus, patienter i hemmet, träningsentusiaster på gymmet och till och med av piloter i flygplan som saknar tryckkompensering.

Vad syremättnad innebär

Syremättnaden i blodet mäts med hjälp av hemoglobin, de röda blodkropparnas syrebärande pigment som ger dessa röd färg och överför syre till kroppens alla vävnader.

Det finns två sorters hemoglobin. Den första sorten kallas oxyhemoglobin och benämns HbO_2 (syremättat). Den andra sorten kallas deoxyhemoglobin och benämns Hb (syrefattigt).

Syremättnaden (SpO_2) är förhållandet mellan oxyhemoglobin och deoxyhemoglobin:

$$SpO_2 = HbO_2 / (Hb + HbO_2)$$

Syremättnaden i blodet uttrycks som en procentsats. Normalt ligger denna på 97% eller mer.

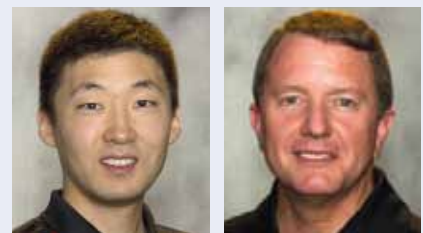
Hur syremättnaden mäts

En av de verkligt intressanta sakerna med hemoglobin är hur det reflekterar och absorberar ljus. Hb absorberar exempelvis mer och reflekterar mindre synligt rött ljus medan HbO_2 absorberar mer och reflekterar mindre infrarött ljus.

Eftersom syremättnaden kan bestämmas genom att värdena för Hb respektive HbO_2 jämförs, kan mätningen utföras genom att man genomlyser en kroppsdel – exempelvis ett finger eller en handled – med en röd lysdiod och en infraröd lysdiod och sedan jämför deras intensitet.

Mätningen kan utföras med två vanliga metoder: (1) mätning av det ljus som överförs genom vävnaden (genomlysande, på engelska transmissive), och (2) mätning

Av Zhang Feng och Marten L. Smith, Microchip



Zhang Feng jobbar som senior applikationsingenjör på Microchip i Arizona. Han är civilingenjör och har studerat på Pekings tekniska universitet och Tekniska institutet i Illinois. På Microchip har han varit sedan 2005 och har bland annat utvecklat ett antal referenskonstruktioner och demonstratorer inom hälsovård.

Marten L. Smith har jobbat 30 år som halvleder- och systemingenjör på både Fortune 1000-företag och små entreprenörer. Han har lett globala projekt och utvecklat både hård- och mjukvara. Sin utbildning har han fått på Brigham Young och Universitetet i Phoenix.

av det ljus som reflekteras av vävnaden (reflekterad – på engelska reflectance). Se figur 1.

Genomlysningsmetoden används bland annat på sjukhus – de flesta patientövervakningssystem som används på sjukhus har en integrerad genomlysande pulsoximeter.

Den reflekterade metoden utnyttjas å sin sida i många av de nyaste och mest avancerade bärbara konditionsträningssprylarna.

Hur pulsen mäts

När hjärtat slår pumpas blod runt i kroppen. Vid varje hjärtslag pressas blodet ut i kapillärer, vars volym ökar något. Mellan hjärtslagen minskar volymen.

Denna volymförändring påverkar den mängd ljus, exempelvis mängden rött eller infrarött ljus, som kommer att överföras genom vävnaden.



Trots att skillnaden är mycket liten kan den mätas av en pulsoximeter med hjälp av samma metod som den som utnyttjas för att mäta syremättnaden.

En typisk pulsoximeter övervakar syremättnaden (SpO₂) i en människas blod utifrån hur rött ljus (vid våglängden 600–750 nm) och infrarött ljus (vid våglängden 850–1000 nm) absorberas av syremättat hemoglobin (HbO₂) och syrefattigt hemoglobin (Hb). Denna typ av pulsoximeter sänder alternerande rött och infrarött ljus genom en kroppsdel, till exempel ett finger, till en fotodiodsensor.

Fotodioden utnyttjas normalt för att ta emot det icke-absorberade ljuset från vardera lysdiod. Den signalen inverteras sedan med hjälp av en inverterande operationsförstärkare (op amp). Det ger en signal som representerar det ljus som har absorberats av fingret, såsom visas i figur 2.

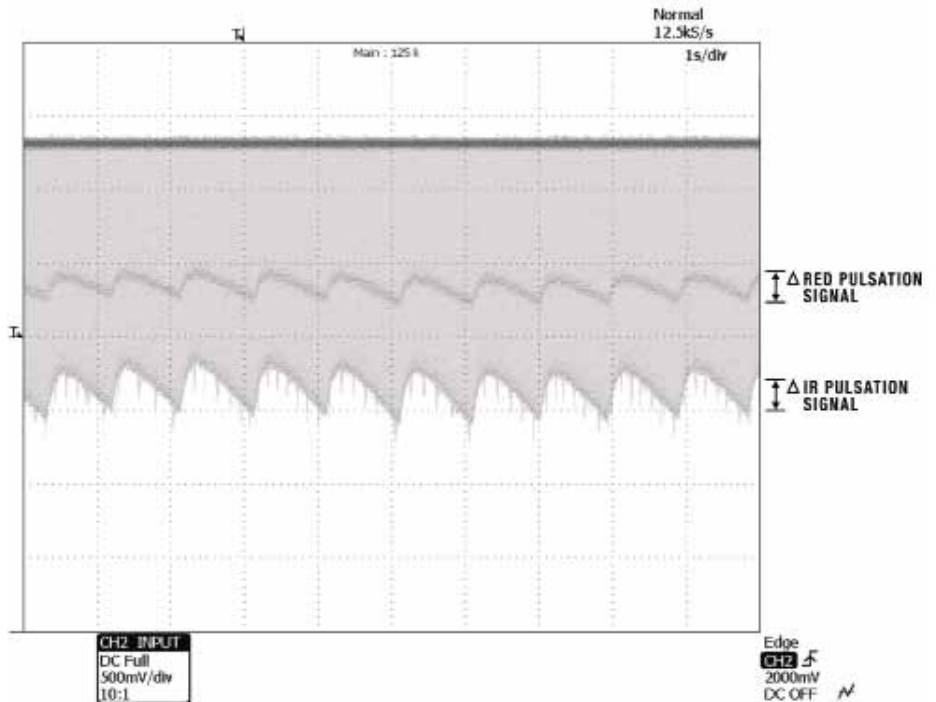
Amplituden (V_{pp}) för de röda och infraröda signalerna mäts och omvandlas till V_{rms}, för att ge ett förhållande som ges av följande ekvation:

$$\left(\frac{Röd_{AC,Vrms}}{Röd_{DC}} \right) / \left(\frac{IR_{AC,Vrms}}{IR_{DC}} \right)$$

SpO₂ bestäms med hjälp av detta förhållande och en uppslagstabell med empiriska formler. Pulsen beräknas med hjälp av antalet prov och provtagningsfrekvensen hos pulsoximeterens AD-omvandlare.

Uppslagstabellen är en viktig del av en pulsoximeter. Alla oximeterkonstruktioner har sina egna specifika tabeller, vanligen baserade på de kalibreringskurvor som fås av, bland annat, ett stort antal mätningar av försöksobjekt med olika nivåer av SpO₂. Figur 3 visar ett exempel på en kalibreringskurva.

Följande exempel visar i detalj de olika



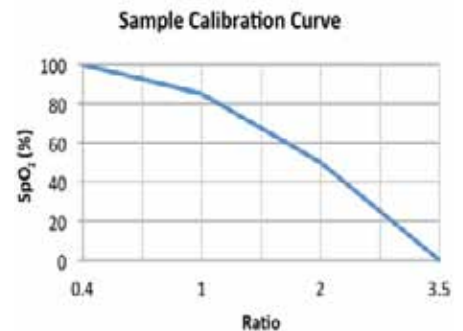
Figur 2. Pulserande röda och infraröda (IR) signaler i realtid, fångade av ett oscilloskop.

delarna i en genomlysande pulsoximeter. Den konstruktion som visas i figur 4, demonstrerar mätning av både puls och syremättnad.

SpO₂-proben i exemplet är en fingerklämma av standardutförande som integrerar en röd lysdiod och en infraröd lysdiod, plus en fotodiod. Lysdioderna styrs av en LED-drivkrets.

Rött och infrarött ljus som passerar genom fingret detekteras av en signalbehandlingskrets och leds sedan till en 12-bitars AD-omvandlarmodul som är integrerad i en digital signalstyrkrets (DSC), där procentsatsen för SpO₂ beräknas.

En analog SPDT-(Single Pole Double



Figur 3. Exempel på en kalibreringskurva.

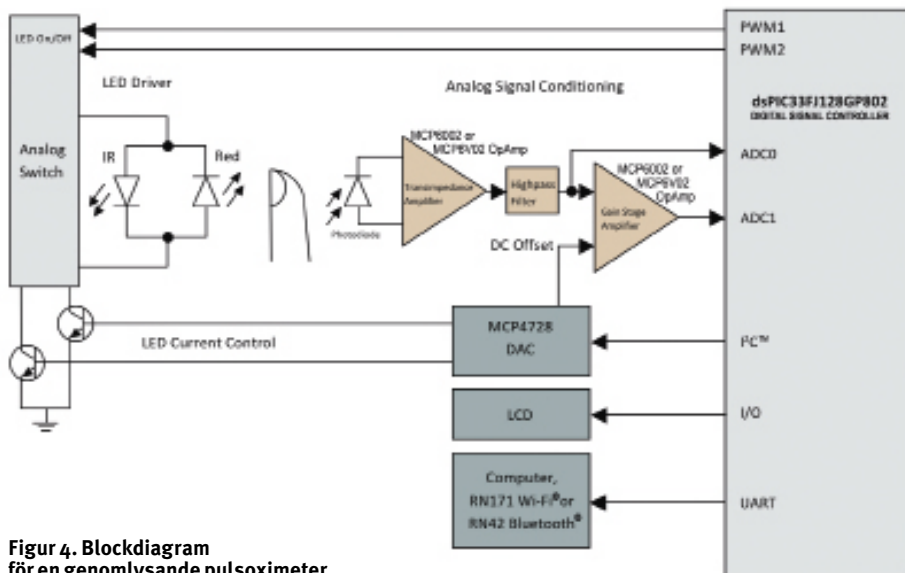
Throw)-switch, som drivs av två PWM-signalerna från DSCn, slår på och av antingen den röda eller den infraröda lysdioden. För att samla tillräckligt med AD-omvandlar-data och fortfarande ha tid att bearbeta informationen innan nästa lysdiod slår på, switchas lysdioderna på och av enligt timing-diagrammet i figur 5.

Lysdiodernas ström/intensitet styrs av en 12-bitars DA-omvandlare, som drivs av DSCn.

Den analoga signalbehandlingskretsen

Signalbehandlingskretsen har två steg. Det första steget är en transimpedansförstärkare och det andra steget är en förstärkare. Mellan de två stegen sitter ett högpasfilter.

Transimpedansförstärkaren omvandlar den ström på ett fåtal mikroampere som genereras av fotodioden, till några få millivolt. Signalen som utgår från denna första förstärkare passerar sedan genom högpasfiltret, som är utformat att minska störande kringljus.



Figur 4. Blockdiagram för en genomlysande pulsoximeter.

Utsignalen från högpassfiltret går sedan till andra stegets förstärkare med en förstärkning på 22 och en DC-offsetsänkning på 220 mV. Storleken på förstärkarens förstärkning och DC-offset ställs in så att nivån på förstärkarens utsignal ligger inom området för styrkretsens AD-omvandlare.

Digitalfiltret

Utgången från den analoga signalbehandlingskretsen är kopplad till DSCns integrerade 12-bitars AD-omvandlarmodul. I detta exempel utnyttjades en dsPIC DSC från Microchip Technology. Den dsPIC33FJ128GP802-krets som användes i konstruktionen gjorde det möjligt att dra nytta av dels dess integrerade DSP-funktioner, och dels Microchips konstruktionsverktyg för digitala filter.

AD-omvandlarprov tas under varje period som de båda lysdioderna är antingen på eller av. Eftersom det är svårt att göra ljusbaserade mätningar genom vävnader utnyttjades verktyget för filterkonstruktion för att implementera ett digitalt FIR-bandpassfilter av 513:e ordningen, som möjliggör filtrering av data från AD-omvandlaren. Det filtrerade datat utnyttjades sedan för att beräkna pulsamplituden, såsom visas i figur 6.

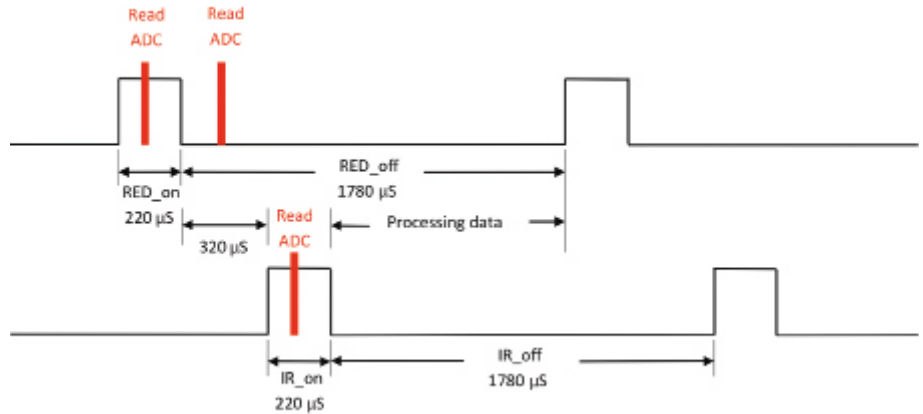
FIR-bandpassfiltrets specifikationer:

Samplingsfrekvens: 500 Hz
 Passbandets rippel: 0,1 –dB
 Passbandets frekvens: 1 och 5 Hz
 Stoppbandets rippel: 50 –dB
 Stoppbandets frekvens: 0,05 och 25 Hz
 Filterlängd: 513
 FIR-fönster: Kaiser

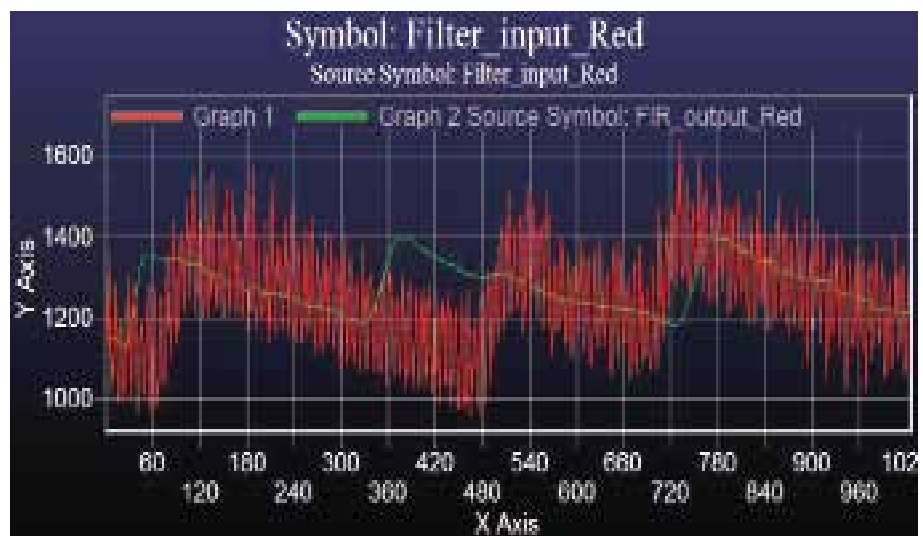
Slutsats

Marknaden för medicinsk utrustning för hemmabruk och konditionsträning utrustning växer i snabb takt. Behovet av utrustning som kan mäta pulsen och blodets syremättnad kommer att öka kraftigt under kommande år.

Referenskonstruktioner för pulsoximetrar, såsom exempelvis den som beskrivs i denna artikel, kan vara till stor hjälp för att ge konstruktörer av utrustning för medicinskt bruk och konditionsträning en god grund för fortsatt arbete mot tillverkning och marknads lansering av deras konstruktioner. ■



Figur 5. Timing-diagram.



Figur 6. Ingående och filtrerad data. Kurva 1, i rött, är FIR-filtrets insignal. Kurva 2, i grönt, är FIR-filtrets utsignal. X-axeln visar antalet AD-omvandlarprov. Y-axeln visar AD-omvandlarens kodvärden.

REFERENSMATERIAL:

Konstruktion av pulsoximetrar

- "Principles of Pulse Oximetry Technology" (2002). <http://www.oximetry.org/pulseox/principles.htm>
- Microchip Technologys online-center för konstruktion av medicinteknik: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/products/medical/pulseoximeter.html/>
- Webster, J. G. (1997). "Design of Pulse Oximeters", Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing.

Simulering av pulsoximetrar

- Fluke Biomedical (2007). Index 2XL SpO2 Simulator User Manual.