

Záznam a přenos pletysmografického vyšetření

Jan Semkovič, Vladislav Matějka

Katedra měřicí a řídicí techniky, FEI, VŠB – Technická univerzita Ostrava
17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba
Jan.Semkovic@vsb.cz, Vladislav.Matejka@vsb.cz

Abstrakt. Tato práce se zabývá možností telemetrického přenosu, uložení a zpracování dat z pulsního oximetru Criticare 504-USP do počítače. Tento přístroj snímá pletysmografickou křivku, EKG křivku, saturaci a tep. Pletysmografie je vyšetřovací metoda, která slouží k hodnocení jakosti prokrvení tkání a poskytuje informace o činnosti a reaktivitě cév. Prstová pletysmografie se zaměřuje na získávání záznamů pulsových vln během srdeční akce snímačem umístěným na konečcích prstů. V současnosti je pletysmografie klasickou neinvazivní metodou vyšetřování cév, která je užívána v angiologii i v pracovním lékařství.

Klíčová slova: pulsní křivka, pulsní oximetr, pletysmograf, EKG, tep, saturace, komunikace, rozhraní RS-232, mikropočesor

1 Úvod

Pletysmografická metoda je založena na průchodu světelných paprsků tkání. Světelné paprsky jsou vysílány ze světelného zdroje konstantní intenzity přiloženém na vnitřní stranu článku prstu. Na protilehlé straně prstu je čidlo - fotodioda. Světelné paprsky po průchodu tkání prstu dopadnou na fotodiodu.

Rytmické změny tkáně vzniklé při srdeční činnosti způsobí změnu elektrického proudu, která se na zapisovači zobrazí jako objemová vlna. Při vzestupu objemu krve v systole je absorbováno více světelných paprsků, takže jich na fotodiodu dopadne méně než v diastole, kdy je absorpce menší.

Pulsní oximetr Criticare 504 USP (Obr. 1) snímá pletysmografickou křivku, EKG křivku, saturaci a tep. Na rozdíl od např. EKG křivky není u pletysmografické křivky zcela jednoznačně určen tvar normálních a patologických křivek. Posuzování je tedy zcela na lékaři a je dosti subjektivní. Přesto však je takovéto vyšetření důležité a může odhalit závažné zdravotní problémy. Pro lékaře je nutné ukládání naměřených křivek, aby bylo možné tyto křivky znovu kdykoliv prohlédnout a případně je srovnat vzájemně mezi sebou. Doposud byl totiž výstup z pletysmografu prováděn pouze na připojenou tiskárnu. Z tohoto hlediska se jeví použití výpočetní techniky jako velice efektivní.



Obr. 1. Pulsní oximetr Criticare 504 USP.

Výsledkem práce je vytvoření komunikačního propojení s použitím ekonomicky nenáročných součástí, a to jak z hlediska nákladů pořizovacích, tak i provozních. Snahou bylo použít co nejvíce již dostupných součástí. Tato snaha však byla podřízena hlavně dostatečné rychlosti přenosu a přesnosti přenášených dat.

2 Návrh komunikačního propojení

Aby bylo možno přenášet data z pulsního oximetru do počítače, je nutné nejdříve propojit výstup oximetru se vstupem počítače. Pulsní oximetr 504-USP obsahuje dva analogové výstupy a jeden digitální výstup s rozhraním RS-232. Počítače mají běžně dvě rozhraní RS-232, takže nejjednodušší realizace propojení by byla právě přes toto rozhraní. Toto propojení by kromě jednoduchosti a nízké ceny mělo tu výhodu, že bychom dostávali data snímaná oximetrem – pletysmografickou křivku, saturaci a tep (přes jeden kabel). Bohužel bychom nedostávali křivku EKG, neboť toto přístroj nepodporuje. Ovšem největším nedostatkem tohoto řešení je příliš nízká kvalita přenášených křivek, což je pravděpodobně způsobeno nedostatečnou vzorkovací frekvencí přístroje. Takže bylo nutné použít jiné řešení s využitím již zmíněných analogových výstupů, na něž lze směřovat signály pomocí konfiguračního menu. Výstup signálu je kontinuální prostřednictvím konektorů typu BNC umístěných na zadním panelu přístroje.

Na výstupy je možno směřovat veškeré signály, které přístroj zpracovává. Úroveň výstupního signálu je v rozmezí 0 – 1 VDC. Pro přesné nastavení přístrojů snímající analogové výstupy je možno použít testovací signál.

Návrh propojení je tedy následující: na jednom analogovém výstupu je pletysmografická křivka, na druhém EKG křivka, a na rozhraní RS-232 bude tep a saturace. Průběh tepu a saturace v čase není důležitý, lékaře zajímá pouze jejich ustálená hodnota, takže vzorkovací frekvence zde nehraje žádnou roli a proto mohou být tyto veličiny vysílány přes RS-232 přístroje. U pletysmografické a EKG křivky naopak vzorkovací frekvence hraje podstatnou roli, neboť je nutné znát jejich a tvar a tudíž jejich průběh v čase, a vzhledem k nedostatečné vzorkovací frekvenci vnitřního A/D převodníku přístroje musí být tyto veličiny vzorkovány a převáděny

mimo přístroj. Počítač však běžně není vybaven analogovými vstupy a pořízení A/D převodníkové karty je příliš nákladné a navíc ji není možné vložit do notebooku. Takže bylo nutné nejdříve vytvořit jakýsi mezičlánek, který by převáděl analogové výstupy na digitální a dále posílal na některý ze standardních vstupů počítače. Jako ideální mezičlánek se jeví jednoduchý mikroprocesor, který by přijímal data z obou analogových výstupů a z rozhraní RS-232 a všechna přijatá data by posílal na rozhraní RS-232 počítače.

3 Výběr vhodného mikroprocesoru

Přenos přes RS-232 je digitální, takže je nutné převést analogové vstupy na digitální. K tomuto účelu musí být mikroprocesor vybaven alespoň dvoukanalovým A/D převodníkem. Pro přesnost stačí, aby byl tento převodník pouze osmi-bitový, nicméně s ohledem na zobrazení křivek na monitoru by bylo lepší použít přesnější převodník. Pokud bychom použili osmi-bitový převodník, pak bychom mohli dostat $2^8 = 256$ různých úrovní signálu. Ovšem pokud bude mít monitor rozlišení 1024x768, což je poměrně běžné rozlišení, pak dostaneme na výšku celkem 1024 bodů. Proto by pro hladší křivku bylo lepší použít A/D převodník desetibitový, čímž dostaneme přesně $2^{10} = 1024$ úrovní. Vzorkovací frekvence převodu byla určena na 150 Hz, což je pro pletysmografickou i pro EKG křivku dostatečná frekvence.

Dále by měl být tento mikroprocesor vybaven dvěma rozhraními schopnými komunikovat s RS-232, jedním pro příjem dat z přístroje, druhým pro vysílání do počítače. Po úvaze se však došlo k závěru, že by teoreticky stačilo pouze jedno rozhraní. Z přístroje totiž data pouze přijímáme a nepotřebujeme do něj nic vysílat, naopak do počítače data pouze vysíláme a při vhodném naprogramování mikroprocesoru a přijímacího programu v počítači nepotřebujeme z počítače nic přijímat. Přijímání i vysílání jsou zcela samostatné činnosti a mohou tedy fungovat současně. Rozhraní RS-232 používá pro přenos dat (bez řídicích vstupů a výstupů) třídrátové vedení, jeden drát pro vysílání, druhý pro přijímání a třetí je zem. Takže by stačilo připojit přijímací kabel do přístroje, vysílací do počítače a zem do obou dvou. Nevýhodou zde je však přenosová rychlost. I když na jednom rozhraní funguje přijímání i vysílání zcela odděleně, nemohou používat různé přenosové rychlosti. Nastavená přenosová rychlost platí pro celé rozhraní, čili jak pro příjem, tak pro vysílání. Pulsní oximetr používá maximální přenosovou rychlost 19200 baudů a při použití jednoho rozhraní musí být tedy použita stejná přenosová rychlost pro přenos z mikroprocesoru do počítače. Počítače jsou schopny používat přenosovou rychlost i desetkrát vyšší.

Bylo tedy třeba uvážit, zda přenosová rychlost 19200 baudů je dostatečná pro přenos z mikroprocesoru do počítače. Hlavním kritériem této úvahy je požadavek na přenos dat a zobrazování v počítači v reálném čase.

Přenosová rychlost vyjádřená v baudech znamená počet přenesených bitů za jednu vteřinu. Při přenosové rychlosti 19200 baudů tedy bude za vteřinu přeneseno 19200 bitů. Přenesení jednoho bajtu zabere osm bitů informačních a dva bity řídicí (start-bit a stop-bit), celkem deset bitů. Během vteřiny je tedy mikroprocesor schopen odeslat 1920 bajtů. Pro naše účely musí mikroprocesor přenést převedené hodnoty z A/D

převodníku (čili aktuální hodnotu pletysmografické a EKG křivky) a hodnoty přijaté z RS-232 (saturace a tep) dříve, než bude proveden další A/D převod. Při vzorkovací frekvenci 150 Hz se A/D převody konají každých 6,66 ms. Pokud budeme předpokládat osmi-bitový A/D převodník, pak během 6,66 ms musí mikroprocesor odeslat celkem čtyři bajty. Jestliže je mikroprocesor schopen během vteřiny odeslat 1920 bajtů, pak můžeme snadno vypočítat, že během 6,66 ms odešle 12,7872 bajtů. Můžeme odeslat až 12 bajtů během jednoho A/D převodu, což nám dává možnost například použít více-bitový, přesnější A/D převodník nebo během přenosu můžeme posílat i různé řídicí bajty apod. Z toho vyplývá, že přenosová rychlost 19200 baudů je dostatečná a můžeme tedy použít mikroprocesor s pouze jedním rozhraním pro přenos do RS-232 počítače.

4 Zapojení mikroprocesoru

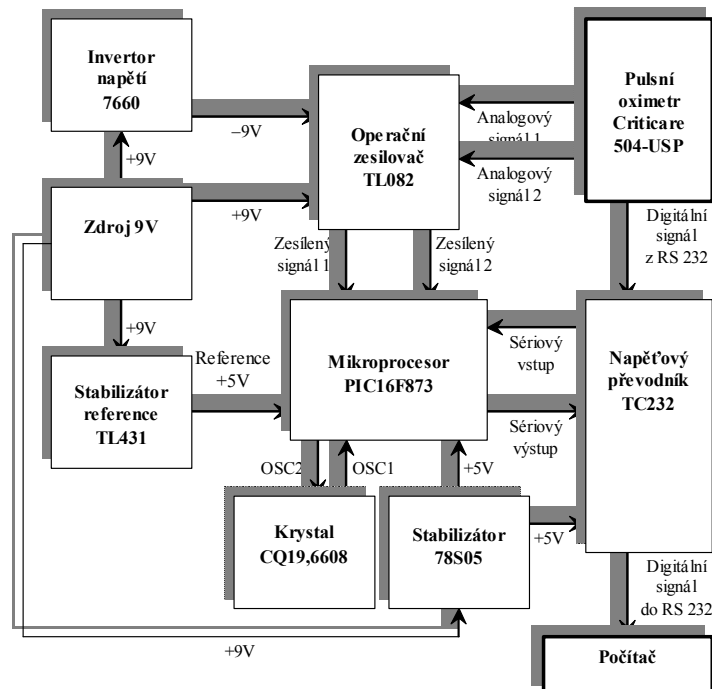
Jako mezičlánek pro přenos dat z pulsního oximetru do počítače byl vytvořen obvod, jehož hlavním členem je mikroprocesor PIC16F873 firmy Microchip. Tento mikroprocesor je vzhledem ke své architektuře a vybavení velice levný. Je vybaven mj. pětikanálovým desetibitovým A/D převodníkem a jedním rozhraním USART, které je schopno komunikovat s rozhraním RS-232.

Mikroprocesor PIC16F873 má možnost připojení maximálního i minimálního referenčního napětí pro A/D převodník. Vzhledem k tomu, že výstupní analogové signály z pulsního oximetru se pohybují od 0 do 1V, je možnost připojení minimálního referenčního napětí nevyužita (v takovém případě se za minimum považuje zem, neboli 0V), kdežto možnost připojení maximálního referenčního napětí je naopak využita (v opačném případě by se za maximální referenční napětí považovalo napájecí napětí, neboli 5V, čímž by byl rozsah A/D převodníku značně nevyužit). Nejideálnější řešení by bylo připojení 1V jako maximálního referenčního napětí.

Pro zesílení obou vstupních signálů z 0 – 1V na 0 – 5V byl použit obvod TL082. Tento obvod obsahuje dva operační zesilovače, které jsou založeny na technologii BI-FET II. Jsou vhodné mimo jiné pro použití v aplikacích, kde se vstupní signál rychle mění. Výhodou je možnost výměny tohoto zesilovače za přesnější, neboť spousta operačních zesilovačů má stejně určené vývody.

Pro vytvoření záporného napětí pro napájení operačních zesilovačů je použit obvod 7660. Tento obvod při přivedení napětí mezi 0 – 10V na vstup vytvoří na svém výstupu napětí přesně opačné (čili 0 až -10V).

Mikroprocesor PIC16F873 s rozhraním USART je sice určen pro sériovou komunikaci, ale není zcela kompatibilní s rozhraním RS-232. Zatímco způsob a možnosti nastavení odesílání a přijímání zpráv jsou u obou stejné, napěťové úrovně při přenosu se liší. U RS-232 je napětí pro úroveň 0 rovno 3 až 25V a pro úroveň 1 rovno -3 až -25V. U mikroprocesoru je napětí pro úroveň 0 rovno 0V a pro úroveň 1 je rovno napájecímu napětí mikroprocesoru, které bude v našem případě 5V, čímž zachováme standardní úrovně TTL. Pro převod napěťových úrovní byl použit obvod TC 232 (stejně zapojení jako MAX 232)



Obr. 2. Blokové schéma propojení mezi PC a pulsním oximetrem.

5 Závěr

Pulsní oximetr je navržen pro samostatný provoz bez podpory počítače, nicméně použití počítače zefektivňuje práci s tímto přístrojem a lékařům významně ulehčuje a urychluje práci s naměřenými daty. Nedá se říct, že by použití počítače přineslo zcela nové možnosti v oblasti pletysmografie. Je to hlavně způsobeno tím, že pletysmografické křivky posuzuje každý lékař pouze vizuálně bez použití jednoznačně určené analýzy. Dokud nebude přijat jednoznačný aparát pro posuzování pletysmografických křivek, pak bude v této oblasti počítač sloužit pouze jako terminál a úložný prostor pro naměřená data bez přínosu možnosti zvýšení informační hodnoty naměřených křivek pomocí různých analýz. Přesto je nesporně použití počítače nenahraditelným a významným (a v dnešní době už přímo nutným) ulehčením práce. Návrhů, jak datově propojit pulsní oximetr s počítačem, je jistě mnoho. Jednou z možností by bylo i zakoupení nového pulsního oximetru, který by přímo plně podporoval komunikaci s počítačem. Ovšem kromě této možnosti nepřinášejí nové oximetry zdaleka takové vylepšení své funkce, aby bylo zakoupení nového přístroje vzhledem k ceně výhodné. Daleko levnější a efektivnější je vytvoření vlastního propojení již zakoupeného oximetru s počítačem. Dále byl brán ohled na co nejmenší náklady spojené s pořízením nutných součástí pro realizaci propojení. Ovšem nejdůležitějším faktorem byla přesnost a rychlost a kvalita přenosu.

Do budoucna se jeví asi jako nejpravděpodobnější vylepšení přechod od komunikace mezi mezičlánkem a počítačem přes rozhraní RS-232 na komunikaci přes rozhraní USB, čímž by se mimo jiné podstatně zvýšila rychlost i způsob komunikace. Již v této době existují mikroprocesory podporující komunikaci přes rozhraní USB, bohužel však v době realizace nebyly k dispozici. Přesto je kvalita navrženého a realizovaného komunikátoru naprosto vyhovující co se týče kvality přenosu, tak i pořizovacích nákladů na jeho sestavení.

Pro zpracování dat přenesených z pulsního oximetru do počítače byl vytvořen program v programovacím prostředí Delphi verze 5. Program je navržen tak, aby byl snadno ovladatelný a při samotném měření co nejvíce automatizovaný. Obsluha tak nemusí věnovat velkou pozornost jeho ovládání a může se věnovat pacientovi a měření. Program je schopen automaticky najít sériový port, na který je připojen komunikátor, při probíhající vyšetření se automaticky přepíná mezi měřeními, která mají být v rámci konkrétního vyšetření provedena. Uložené křivky je možné si kdykoliv prohlédnout, je možné nechat si zobrazit a libovolně na nich posunovat s kursory, pomocí kterých lze například určit časový rozdíl mezi dvěma vrcholy v grafu, křivky je možné vytisknout.

Tato práce přináší kromě konkrétního praktického využití přímo v nemocnici také náznak budoucího možného směru vývoje propojení mezi zdravotnickými přístroji a počítačem. Zde se jednalo o propojení pouze jednoho přístroje s počítačem. Ale rychlost počítačů, mikroprocesorů i komunikací stále roste. V budoucnu by mohlo být společně propojeno více přístrojů najednou s jedním počítačem, ať už pomocí dalšího mezičlánku nebo přímo, pokud to ovšem budou počítač i přístroje podporovat.

Reference

1. Oliva, I., Roztočil, K. *Pulsová vlna v diagnostice ischemické choroby dolních končetin*, Avicenum, 1982
2. Criticare, *Operator's manual 504/504 – US, 504P/504 – USP*
3. Criticare, *Service manual 504/504 – US, 504P/504 – USP*
4. Burkhard, K., Hans – Joachim, B. *Využití rozhraní PC pod Windows*
5. Goffon, P. *Sériová komunikace*, Grada, 1995
6. Microchip, www.microchip.com

Annotation.

The aim of this work is different methods and realizations of telemetric data transfer from pulse oximeter Criticare 504 USP to computer. This device takes the plethysmographical curve, ECG curve, saturation and beat. Plethysmography is diagnostic method, which serves for rating of well perfused tissue and gives information about working and reactivity of vessels. Finger plethysmography focus on acquiring records of pulse waves during hearth action by sensor, which is located on the end of finger. In present time, the plethysmography is classic non-invasive method for examinee of vessels, which is used in angiology and also in industrial medicine.