

Vibrometer založený na PSD detektore

Števo Stano · Elektrotechnika

16.07.2014



Článok pojednáva o možnostiach detekcie prejavov rôznych chorôb a základných životných funkcií v rámci Medzinárodnej klasifikácii chorôb (MKCH 10). Dôraz je kladený na neinvazívne a bezdotykové metódy merania jednotlivých prejavov s cieľom navrhnúť zariadenie na zisťovanie porúch základných životných funkcií (respiračná a kardiovaskulárna činnosť) pomocou vibračnej analýzy.

Úvod

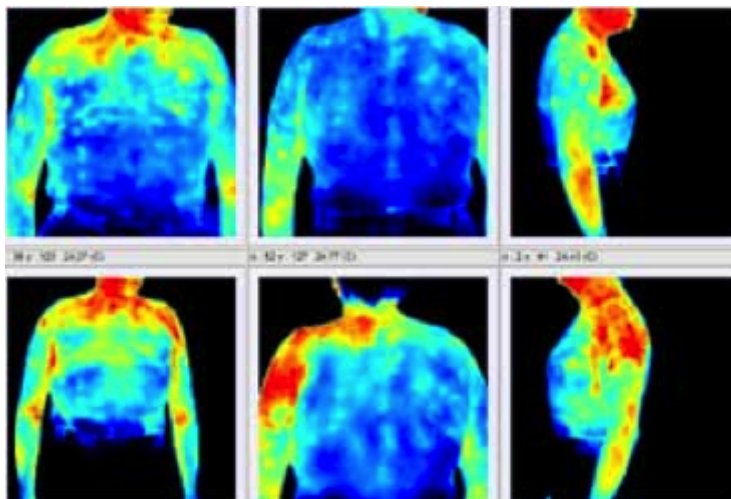
V rámci inteligentnej budovy sa doposiaľ nestretávame so systémami, ktoré by upozorňovali obyvateľov pred chorobou, ktorá v nich začína prepukáť, alebo priamo pred zlyhaním jednej zo základných životných funkcií a následným privolaním pomoci. Takýto systém by nemal obmedzovať užívateľov budov (v pohybe, v komforte a pod.), preto by mal byť systém detekujúci zdravotný stav užívateľa budovy založený na princípe bezdotykového merania. To znamená, systému, ktorý dokáže merať všetky vonkajšie prejavy životných funkcií alebo rôznych chorôb bez nutnosti invazívneho zásahu alebo senzorov na povrchu tela. Každé z ochorení má podľa medzinárodnej klasifikácie chorôb svoje špecifické symptómy, podľa ktorých je možná identifikácia (diagnostika) konkrétneho ochorenia. Niektoré z týchto ochorení majú aj prejavy, ktoré môžeme zistiť určitým (špecifickým) bezdotykovým spôsobom. Tieto ochorenia nám ponúkajú možnosti pre náš návrh zariadenia. Obmedzujú všetky detekovateľné choroby na bližšie vyhranenú skupinu chorôb.

Chemické rozbery sú v tomto smere pomerne zložité, keďže merania podliehajú značnej „chybe“ hlavne vplyvom prostredia. Kombináciou merania plynov by sa nám podarilo detekovať poruchy dýchania, avšak len v niektorých konkrétnych prípadoch. Rozpoznávanie pH prípadne hustoty už poskytujú komplexnejšie informácie. Prínos do tejto oblasti by malo zlepšenie komplexného rozpoznávania chemického zloženia moču. Rozpoznávanie na základe zmeny hmotnosti nám môže pomôcť pri dlhodobejšej diagnostike a môže odhaliť rôzne dôsledky porúch tráviacej sústavy aj štítnej žľazy alebo psychických porúch. Na krátkodobú diagnostiku alebo na prejavy základných životných funkcií toto meranie má minimálny dopad. Diagnostika na základe reakcií na podnety je účinnou metódou v spojení s iným meraním, avšak využiteľná je prevažne iba v krízových situáciách. Dôvodom je hlavne spôsobovaný značný diskomfort užívateľom takéhoto systému.

Rozpoznávanie na základe zmeny farby sa dá spojiť s optickým rozpoznávaním chorôb

a tým zvýšiť jeho možnosti. Optické rozpoznávanie poskytuje značné možnosti pri rozpoznávaní chorôb a je využiteľné takmer pri každom type detekcie. Rozvoj tejto problematiky by mal veľký prínos pre ľubovoľné nasadenie. Rovnako veľké možnosti poskytuje aj rozpoznávanie na základe zmeny teploty. Na rozdiel od optického rozpoznávania však dokáže detekovať aj rôzne vnútrotelové poruchy. Prínosné je taktiež rozpoznávanie na základe rozboru zvuku. Jeho najväčším prínosom je detekcia najmä respiračných ochorení. Nápomocná však môže byť aj pri sekundárnej detekcii rôznych úrazov sprevádzaných spontánnymi reakciami, napríklad pri bolestiach.

V spolupráci s nadradeným riadiacim systémom môže nasledovne reagovať aj na konkrétne povely a privolať pomoc. Je preto zrejmé, že komplexný systém bezdotykového merania chorôb bude syntézou hlavne optického rozpoznávania, hlasovej analýzy popřípade tepelného merania. Ostatné opísané merania je vhodné používať skôr ako doplnky diagnostiky. Veľký prínos by malo aj zlepšenie vlastností merania chemických rozborov moču, neinvazívneho chemického rozboru krvi alebo elektromagnetického poľa človeka.[2][3] Meranie s jednotlivými metódami, zhodnotenie nameraných dát a praktická realizácia konečného zariadenia sú úlohy, ktoré je potrebné rozpracovať a tvoria výzvu pre budúcnosť.



Obr.1: Diagnostika pomocou termografie. [1]

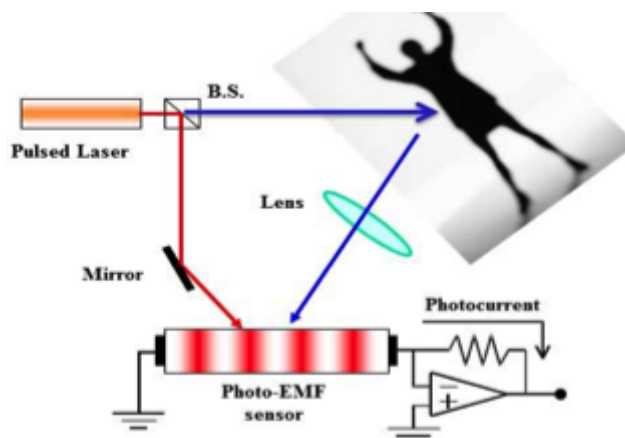
Zrejme najväčšie možnosti detekcie najmä akútnych zlyhaní základných životných funkcií, na ktoré je článok primárne zameraný, poskytuje vibračná analýza. Pomocou týchto meracích aplikácií je možné vytvoriť zariadenie schopné detekcie všetkých prejavov zlyhania životných funkcií. Zároveň možnosť rozpoznania veľkej škály ochorení spomínaných v Medzinárodnej klasifikácii chorôb respiračného alebo kardiovaskulárneho pôvodu. Ako najvhodnejšia kombinácia sa potom ukazuje spojenie s termografickou metódou alebo optickou detekciou. Tieto metódy sú schopné (buď vzájomnom prepojení alebo oddelene) priniesť najväčšie množstvo objektívnych informácií potrebných pre správnu diagnostiku a včasné odhalenie problému.

Podnetom pre pokračovanie vývoja vybratého zariadenia je jeho vysoký praktický význam. Jedná sa hlavne o prevenciu u chorých ľudí (v domácej liečbe), u ľudí na pracoviskách, kde musia byť v úplnom zdravotnom poriadku a nemôže dôjsť k ich náhlemu kolapsu alebo pri rizikových povolaniach. Zariadenie môže slúžiť ako jednoduchý a rýchly analyzátor zdravotného stavu v rôznych oblastiach, pričom si takéto zariadenie môže nájsť cestu aj do bežných domovov alebo kancelárií, ako

zariadenie včasného varovania pred hroziacim zlyhaním.

Vibrometer

Asi najbližšie k zariadeniu, ktoré by spĺňalo naše kritéria sa dostali Chen-Chia Wang a spol. z Brimrose Corp. of America spolu s Narasimha S. Prasad z NASA Langley Research Center svojím prístrojom. Ide v princípe o meranie vibrácií tela spôsobené kontrakciami srdca vďaka Dopplerovému efektu a pulznému laseru. Toto zariadenie môže ľahko dešifrovať povrchové vibrácie do výchylky 10-12 m a zároveň ponúka pomerne dobrý pomer signálu k šumu (SNR). Konkrétne ide o päť vrcholov vibrácií srdcových stôp spôsobených kontrakciou komôr, uzavretím aorty, uzatvorením pulmonálnej chlopne, kontrakciou átria a kontrakcie papilárneho svalu pri ukončení fázy atrio-ventrikulárnych ventilov.

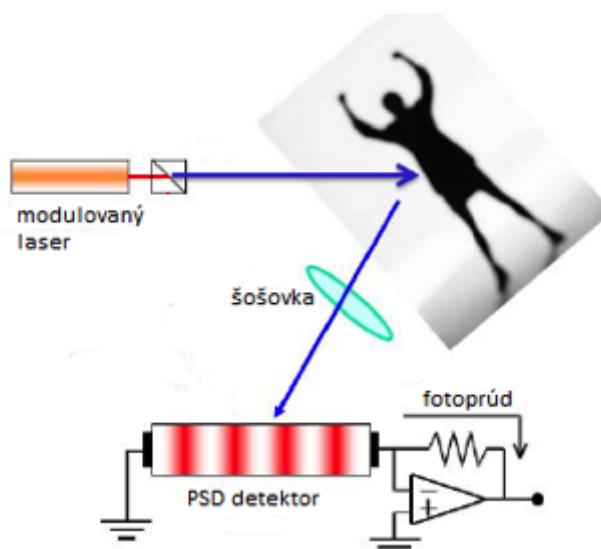


Obr.2:Principiálna schéma vibrometra.

Technológia pulzného laserového vibrometra je založená na rozmiestnení osvetlenia pulzového svetelného zdroja a druhu fotovodiča nazvaného Foto-EMF senzor. Vďaka tejto kombinácii má výborné vlastnosti pri sledovaní vibrácií povrchov, ako je napríklad ľudské telo, kvôli svojej optickej nerovnosti. V samotnom zariadení pulzný laserový výstup svetelného lúča je rozdelený na dve vetvy. Jeden svetelný lúč je priamo vedený do foto-EMF snímača, zatiaľ čo ďalší svetelný lúč je zameraný na ľudský subjekt v určitej vzdialenosti. Svetelný lúč rozptýlený od povrchu určitej časti tela subjektu je zhromaždený systémom šošovky, pretože je možno očakávať difúzny rozptyl od opticky nerovného povrchu, ako oblečenie alebo koža. Následne je svetelný lúč poslaný do foto-EMF snímača a tam sa integruje s pôvodným svetelným lúčom. Na základe tohto princípu dostávame priebeh vibrácií tela, čo je následne ďalej filtrované. Pri samotnom meraní na osobe bolo vidno periodický priebeh spôsobený piatimi krokmi kontrakcie srdca, ako je vidno aj na EKG.

Zistilo sa že vibrometer dosahoval presné výsledky aj cez priliehavé oblečenie na nohe, najlepšie výsledky ale dosahoval na odhalenom krku. Zároveň porovnávali priebehy na osobe v pokoji a po fyzickej činnosti, kde mohli jasne vidieť zrýchlenie činnosti srdca. Avšak jeho hlavnou nevýhodou je rozmer a privysoká cena. Tento typ vibrometra sa používa na vedecké účely a na zisťovanie malých vibrácií. K našim účelom je zbytočne citlivý a pre praktické nasadenie nevhodný. Zároveň pracuje s intenzitou lasera, ktorá už nespadá do triedy bezpečnosti vhodnej pre bežné nasadenie.

Preto pre ďalšie aplikácie snímania vibrácií ľudského tela budeme potrebovať vytvoriť jednoduchší, menej náročný vibrometer. ten by mal byť zložený z bežných a lacných súčiastok a zároveň nebude nebezpečný okoliu. Z týchto kritérií zároveň budú vyplývať určité obmedzenia aj na použiteľnosť samotného vibrometra, ktorú ukáže až praktické odskúšanie. Ako najvhodnejšie riešenie sme vybrali triangulačný diaľkomer používaný aj v priemysle a robotických aplikáciách na určovanie vzdialenosti. V kombinácii s vhodným detektorom odrazeného lúča môžeme z neho vytvoriť zároveň vibrometer, ktorý bude v našom prípade založený na modulovanom laserovom zdroji kvôli potlačeniu šumu a PSD detektore.



Obrázok číslo 3: Princíp fungovania nášho vibrometra

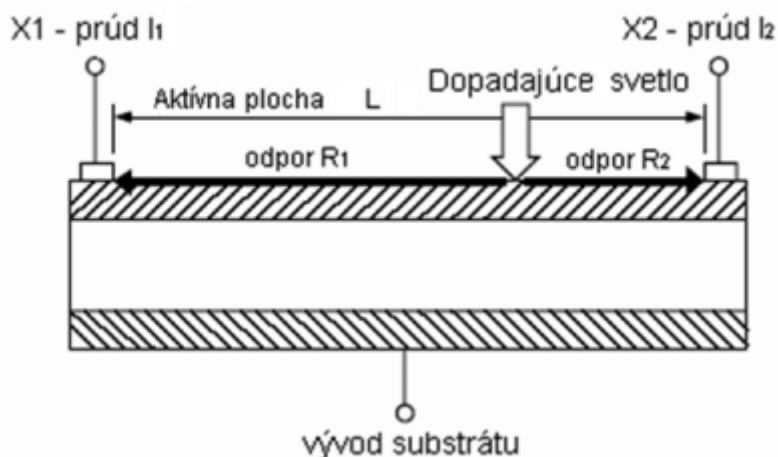
PSD detektor

PSD (Position Sensitive Detectors) sú optoelektronické senzory, ktoré umožňujú presne určiť pozíciu dopadajúceho svetelného zväzku na aktívnu rezistívnu fotocitlivú plochu senzoru. Štruktúru detektoru je možné prirovnať k tzv. dióde s laterárnym foto efektom, ktorý bol objavený Wallmarkom v roku 1957, hoci účinok bol popísaný Schottkym v roku 1930. Neskôr bol účinok spracovaný Lucovskym a bol ďalej rozvíjaný mnohými výskumnými pracovníkmi. PSD poskytuje veľmi vysoké rozlíšenie a rýchlu reakciu a je vhodný najmä pre aplikácie, kde sú potrebné veľmi malé posuny na meria v reálnom čase. PSD sú bežne používané v bezkontaktnom meraní vzdialenosti pomocou triangulačného princípu pre rôzne vzdialenosti, pri meraní vibrácií, alebo pri meraní nabitých častíc a vyhodnotenie interferogramov v úspornom spektrometrickom dizajne. Umožňujú tak na diaľku detekovať pohyb, zmerať veľkosť výchylky alebo určiť tvar určitého predmetu.

Pozícia sa určuje porovnaním veľkosti prúdov z kontaktov detektora, ktorých veľkosť sa spojito mení v závislosti na pozícii dopadajúceho zväzku na citlivú plochu. Detektory môžu byť navrhnuté pre meranie v jednom smere (1-D), ale aj pre meranie pozície v dvoch súradniciach (2-D). 1-D detektory sa vyznačuje obdĺžnikovým pozdĺžnym tvarom aktívnej citlivej plochy dlhej až desiatky mm, zatiaľ čo detektory pre 2-D merania obvykle majú tvar štvorca o hrane dlhej taktiež až niekoľko desiatok mm.

Principiálne PSD predstavuje fotodiódu s fotocitlivou rezistívnou vrstvou v tvare pásiku alebo plôšky. V prípade jednorozmernej štruktúry je vrchná strana súčiastky

opatrená dvoma kontaktmi X1 a X2 medzi ktorými je aktívna odporová fotocitlivá vrstva dĺžky L. Tretí kontakt je na substrát vyvedený v spodnej časti štruktúry a tvorí zem. Na obrázku je vidno princíp fungovania celého PSD detektora. Miesto kam dopadne zväzok svetla generuje elektrický prúd I, ktorý sa v osi X rozdeľuje na dve zložky I1 a I2 úmerné pozícii bodu dopadajúceho svetla. To je dané odporom R1 a R2 na svetlo citlivé plochy medzi už spomenutým bodom, kam dopadá svetlo a kontaktmi X1 a X2. Čím bližšie je bod ku kontaktu, tým je odpor medzi nimi a vrstvou tvorený a menší tým väčší prúd je odberaný z daného kontaktu. Porovnaním prúdov I1 a I2 kontaktov X1 a X2 je možné určiť pozíciu zväzku v osi X. Častejšie sa však určuje pozícia od stredu senzora, pretože zväzok dopadajúceho svetla do stredu generuje rovnaký prúd pre obidva výstupné kontakty.



Obr.4: Zjednodušený prierez štruktúrou PSD.[2]

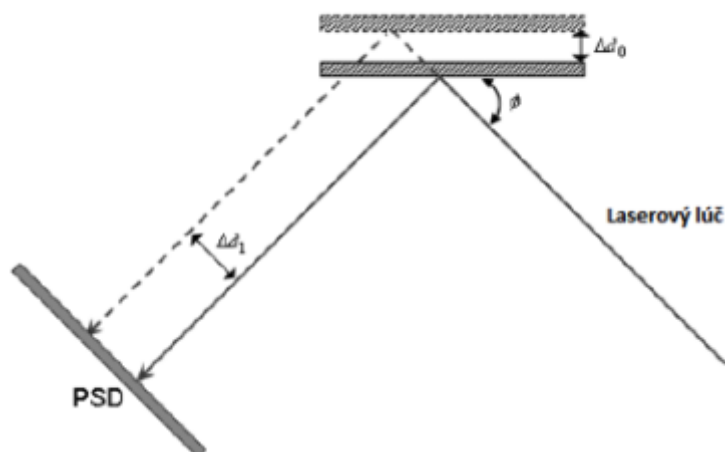
Vzdialenosť x bodu dopadajúceho zväzku svetla od stredu aktívnej plochy detektora je možné vyjadriť zo vzorca:

$$\frac{l_2 - l_1}{l_1 + l_2} = \frac{2x}{L} \quad (1)$$

Následným meraním zmien pozície dopadajúceho lúča vplyvom zmeny uhlu odrazu spôsobenom pohybom objektu vieme merať vibrácie meraného telesa. Pre meranie lineárneho posunutia objektu sa laserový lúč premieta na cieľ, kde sa odráža pod uhlom. Odrazený lúč je potom premietaný na aktívnu oblasť 1D PSD detektora. Vzďialenosť premiestneného objektu o Δd_0 , sa potom vypočíta pomocou znalosti uhla, φ , odrazeného laserového lúča a posuvu lasera Δd_1 , meraného v PSD detektore.

$$\Delta d_0 = \frac{\Delta d_1}{2 \cos \varphi} \quad (2)$$

Jediným obmedzením tohto zariadenia je vzdialenosť použitia, kedy sme schopný merať na vzdialenosť maximálne 20cm. Vzhľadom na to je potrebné vhodne zvoliť umiestnenie zariadenia. Po vhodnej demodulácii spôsobenej moduláciou lasera sme schopný snímať vibrácie spôsobené srdcom, dýchaním prípadne inými vplyvmi ako sú svalové kŕče, vibrácie kostí atď..

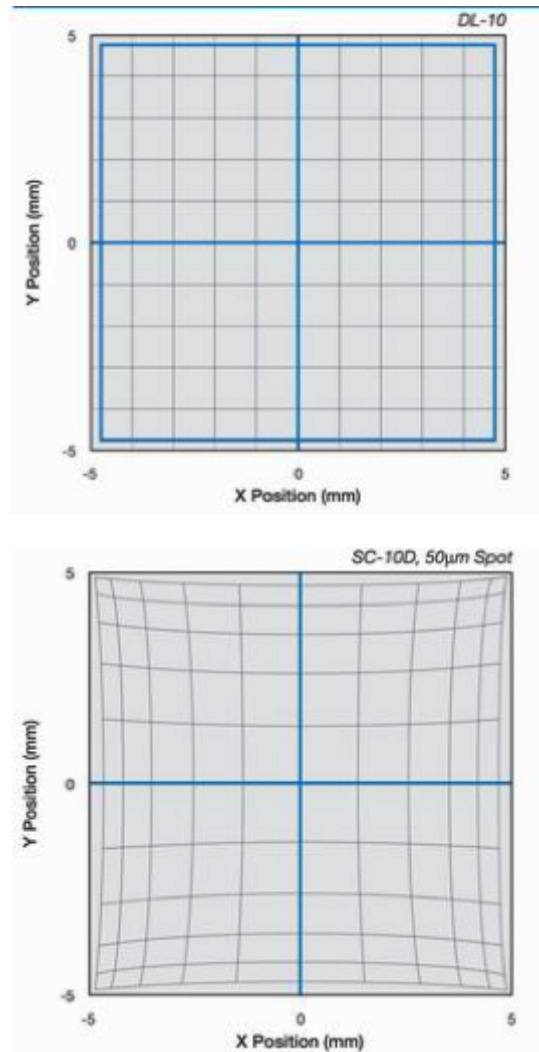


Obr.5: Princíp triangulačného vibrometra

Štruktúry PSD

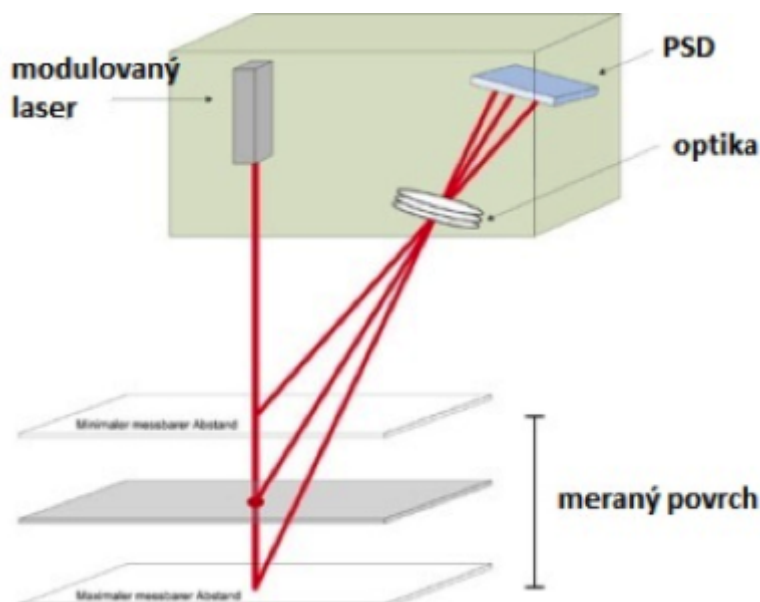
PSD detektory sa podľa štruktúry delia do dvoch skupín. Tetra a duo laterálne štruktúry. Tetra-laterálnu štruktúru charakterizuje veľmi rýchla odozva na zmenu polohy zväzku a nízky temný prúd. Do tejto skupiny patrí aj vylepšená tetra-laterálna štruktúra označovaná ako Pin-cushion. Tá už poskytuje vylepšenú aktívnu oblasť a elektródy, čo znižuje chybu detekcie pozície na úroveň blížiacu sa dual-laterálnej štruktúre. Princíp funkcia je podobný ako u klasickej 1-D štruktúry, tzn. stále je tu jedna citlivá plocha, ktorá však obsahuje 4 elektródy. Duo-laterálna štruktúra poskytuje malú chybu detekcie pozície a zároveň vysoké rozlíšenie. Princíp oproti tetra-laterálnej štruktúre je rozdielny.

Veľkej presnosti (až 99%) je tento krát dosiahnuté dvomi oddelenými svetlocitlivými rezistívnymi plochami, kde jedna je na povrchu (rovnako ako v prípade klasickeho 1-D detektora) a druhá na spodnej strane detektora. Každá potom vyhodnocuje pozíciu v jednom smere. Na Obr. 6 je znázornené porovnanie schopnosti detekcie jednotlivých štruktúr PSD (obrázky odpovedajú konkrétnym senzorum firmy UDT Sensors). Z obrázku je názorne vidieť takmer nulovú chybu detekcie pozície pre štruktúru dual-lateral, kde sa rozlíšenie v ose X a Y, vďaka oddeleným rezistívnym fotocitlivým plochám, navzájom neovplyvňuje. Vzájomné ovplyvňovanie sa potom prejavuje v jednoduchšej štruktúre tetra-lateral, ktorá však vďaka jednoduchšej konštrukcii dosahuje rýchlejšie odozvy na zmenu pozície.



Obr.6: Porovnanie schopnosti detekcie štruktúry DUAL-LATERAL (hore) a TETRA-LATERAL (dole). [2]

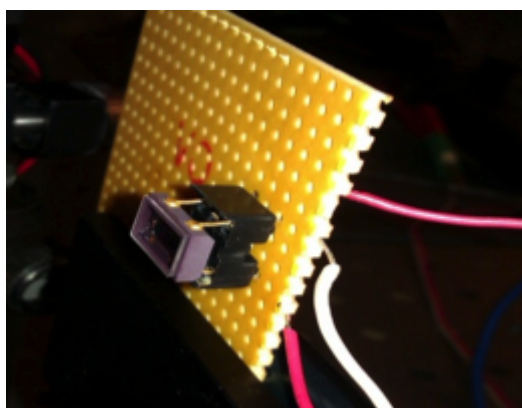
Konštrukčné parametre PSD detektorov sú dostatočne pestré pre rôzne nasadenia. Veľkosť aktívnej plochy sa pohybuje od 1 až po 80 milimetrov. Chyba detekcie sa pohybuje od 0,005 po 0,08 milimetra pre dual-laterálne štruktúry a 0,04 až 0,15 milimetra pri tetra-laterálnej štruktúre. Rozsah vlnových dĺžok, ktoré je PSD detektor schopný detekovať sa pohybuje od 320 po 1100 nanometrov a garantovaný tepelný rozsah sa pohybuje priemerne od -40 po 60 stupňov Celzia. Vyrábajú sa buď v plastikovom alebo keramickom púzdre.[3][4]



Obr.7: Princíp triangulačného vibrometra založenom na PSD detektore.

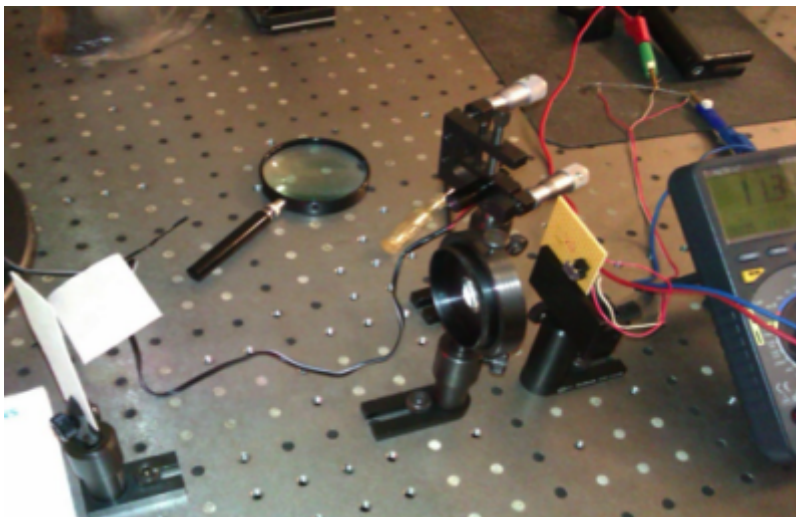
Vývoj zariadenia

V spolupráci s medzinárodným laserovým centrom sme navrhli teoretický koncept triangulačného vibrometra a testovali vlastnosti PSD detektora firmy HAMAMATSU o veľkosti aktívnej zóny 1x5mm, ktorý sme vybrali na základe jeho najvyššej rýchlosti spracovania svetelných zmien spomedzi dostupných detektorov na trhu. Po dodaní, bol PSD detektor testovaný na optickej lavici. Bola zostavená sústava s 50mW laserom na mikrometrickom posuvnom držiaku, bielou odrazovou plochou, zaoštrovacou optikou a detektorom. Vzďialenosť medzi laserom a odrazovou plochou bolo 18cm. Merali sme napätie na výstupe z detektora so 100k Ω odpormi.



Obr.8: Testovaný PSD detektor.

Pri dopade svetla na stred bol generovaný prúd 0mV. Na okrajoch PSD detektora bolo následne generované napätie 46mV na jednom kanály a -46mV na druhom. Následne po aplikovaní filtra, ktorý znížil výkon lasera na 4mW sme dosiahli maximálne 9,8mV na kanály. Čo odpovedá hodnote generovaného prúdu 98nA. Dokonca pri použití čiernej odrazovej plochy sa znížila hodnota maximálneho napätia až na 0,5mV. S týmito zisteniami bolo treba navrhnuť dostatočne citlivú elektroniku. Zároveň sme špecifikovali požadovanú veľkosť krytu zariadenia, vzhľadom na veľkosť detektora a nutnosť dodržať vzdialenosti dané požadovanou vzdialenosťou merania a geometrickými vlastnosťami zariadení.



Obr.9: Skúšobná zostava na optickej lavici.

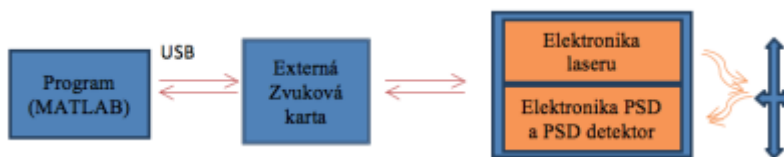
Za týmto účelom bol vyrobený prvý prototyp vibrometra. Bol založený už na externej zvukovej karte vo funkcii analógovo-digitálneho a digitálno-analógového prevodníka. Rovnako mal jednoduchú ovládaciu elektroniku lasera a všetky výpočty sa diali softwarovo. Tento model bol v konečnom dôsledku o niečo citlivejší, ale bol pomerne poruchový z dôvodu prierazov na operačné zosilňovače. Ako laser bol požitý dostupný a upravený bežný laserový modul. Následne na to vďaka skúsenostiam sa vyrobila nová verzia, už s PSD detektorom s 1x12mm aktívnou plochou firmy HAMAMATSU, čím sa zlepšila kvalita a stabilita použitej elektroniky, kde bolo prepracované napájanie lasera.

Sčítanie a odčítanie kanálov z detektora sa realizovalo už hardwarovo. Hardwarové operácie spôsobujú síce zníženú presnosť pri vysokých frekvenciách, čo však pre naše aplikácie vôbec nevedí, ale zlepšujú kvalitu výstupného signálu a uľahčujú nutnú výpočtovú náročnosť obslužného programu. Tento typ vibrometra sa na základe praktických skúsenosti nakoniec ukázal ako spoľahlivejší. Z toho dôvodu sa ďalej uvažovalo s nasadením tohto typu. Na laboratórne účely bol zhotovený ešte jeden vibrometer s rovnakou elektronikou, avšak so separátnou laserovou a detektorovou časťou a to za účelom možnej zmeny geometrie medzi oboma časťami. Zároveň bol vybavený aj vymeniteľnou optikou pre zvýšenie možnej vzdialenosti od meraného objektu (Toto zariadenie však sa zatiaľ stále testuje).

Opis spracovacej elektroniky

Celé zariadenie je fyzicky aj logicky členené do dvoch celkov. V prvom celku sa nachádza analógovo-číslcový a číslicovo-analógový prevodník v podobe externej zvukovej karty. Na audio výstup karty je napojená modulačná elektronika lasera. Na druhej strane na audio vstup je napojený výstup zo spracovacej elektroniky PSD detektora. Zvuková karta je prepojená s počítačom pomocou USB konektora, z ktorého je zároveň aj napájaná. Je osadená čipsetom C-Media CM6206 s vzorkovacou frekvenciou 48kHz, uvádzané celkové harmonické skreslenie je 0,017%. Deklarovaný pomer signálu k šumu SNR (Signal to Noise Ratio) tejto zvukovej karty je väčší ako 90 dB. Jej podmienkou je plná duplexnosť, to znamená, že karta dokáže spracovávať viacej zvukových súborov naraz či prehrávať a zároveň nahrávať zvukový záznam. Jej hlavnou prednosťou sa stala cena. Zvuková karta tak predstavuje DA a AD prevodník za

bezkonkurenčnú cenu. Drahá laboratórna meracia karta by bola zbytočná a v duchu lacnej a efektívne aplikácie nevhodná. Jedinou nevýhodou však zostáva nutnosť nezávislej inštalácie ovládačov externej zvukovej karty a nutnosť nastavenia jej konfigurácie pre správu prehrávanie a nahrávanie signálov.



Obr.10: Bloková schéma nášho vibrometra.

V druhom celku sa nachádza jadro celého zariadenia. Tu je umiestnená časť s laserom a jeho modulačnou elektronikou a časť s PSD detektorom, jeho elektronikou a optikou. Vstupom do modulátora lasera je kontinuálny sínus prehrávaný zvukovou kartou a cez audio výstup privádzaný na riadiacu elektroniku lasera. Modulácia intenzity lasera sínusovým signálom sa zvolila za účelom potlačenia šumu. Modulačná frekvencia je 12kHz a je zvolená tak, aby vyhovovala rýchlosti elektroniky v detektore a zároveň aby bola najmenej ovplyvňovaná parazitným šumom. Presnejšie modulačná frekvencia je výsledkom kompromisu, vyššia modulačná frekvencia umožňuje snímať rýchlejšie deje. Teoreticky najvyššia frekvencia ($F_s/2$) 24 kHz sa ukázala ako nie príliš vhodná, pretože signál bol príliš ovplyvnený rekonštrukčným filtrom na výstupe karty a antialiasingovým filtrom na vstupe karty. Navyše pri frekvencii $F_s/2$ je mimoriadne citlivá na prípadné fázové rozdiely, čo viedlo k značným chybám pri demodulácii. Frekvencia $F_s/4$ sa ukázala ako spoľahlivá, ďalšie znižovanie už zlepšenie kvality signálu neprinieslo.

Za vstupom signálu do riadiacej elektroniky je umiestnený hornopriepustný filter za účelom orezania vstupného signálu na požadovaný sínus, t.j. orezania jednosmernej zložky. K signálu sa následne za filtrom pripája zdroj konštantného napätia 5V. Jeho úlohou je zabezpečiť konštantné svietenie lasera a teda posúva sínus do kladných hodnôt. V inom prípade by dochádzalo k neustálemu zapínaniu a vypínaniu lasera a signál by bol ovplyvnený prechodovými stavmi. Zdroj je doplnený o nastaviteľný odporový trimer na nastavenie napätovej úrovne pre ladenie lasera. Nastavuje sa ním hodnota signálu, aby vstupné amplitúdy do lasera nešli do záporných hodnôt. Ďalej sa tu nachádza napäťový delič, sčítavací bod, do ktorého vstupuje vstupný signál a záporná spätná väzba z lasera na reguláciu výkonu lasera podľa nášho nosného signálu. Zapojenie je prúdovým zdrojom pre samotný laser. Na výstupe lasera je následne zapojený druhý zosilňovač vo funkcii invertora na vytvorenie zápornej spätnej väzby a ako prevodník z napätia na prúd. Samotný laser je červenej farby o vlnovej dĺžke medzi 630 až 750 nm a strednej hodnote výkonu približne 1mW.

Svetelný signál vytvorený laserom sa po odrazení od predmetu vracia naspäť do detektora, kde je zaostrení svetelný zväzok optikou na detektor. Ako detektor je použitý jednoosový PSD S3932 detektor známej Japonskej firmy HAMAMATSU, špičky v laserových komponentoch na svetovom trhu. Rozmer aktívnej zóny je 1x12mm uložená v keramickom puzdre s priehľadným vrchným povrchom zo živice. Vlnová dĺžka detekovateľného svetelného zväzku je v rozmedzí 320 až 1100nm s maximom produkovaného výkonu pri 920nm, pri ktorom PSD detektor produkuje až 0,55A/W. Vzhľadom na tieto parametre sa náš laser svojou vlnovou dĺžkou pohybuje v hornej

tretej lineárnej oblasti výkonovej krivky. Odpor vnútorných elektród sa typicky pohybuje okolo $50\text{k}\Omega$ a vnútorná kapacita okolo 80pF . Nežiaducou vlastnosťou PSD detektorov je takzvaný čierny prúd. Ide o prúd ktorý tečie cez detektor aj bez svetla. Náš detektor ho má typicky na úrovni $0,2\text{nA}$. Citlivosť detektora je $0,3\mu\text{m}$ pri typickej chybe v 75% rozsahu okolo $\pm 60\mu\text{m}$ a čase schopnom detekovať zmenu $3\mu\text{s}$. Treba si však uvedomiť, že chyba detekcie závisí od množstva parametrov ako je šírka svetelného lúča, vlnová dĺžka zväzku, typ povrchu, uhol osi dopadu a samotným povrchom a ďalšie.

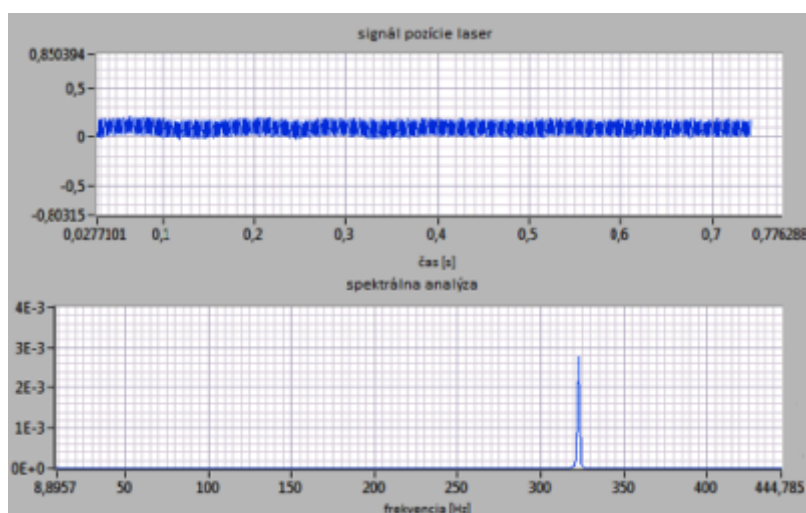
Z nášho PSD detektora sú vyústené štyri piny. Dva sú spoločná zem a dva sú zdrojom generovaného prúdu na základe dopadu svetelného zväzku bližšie k ľavému alebo pravému koncu PSD detektora. Oba signálové kanály z PSD detektora sú zosilnené pomocou zosilňovača a konvertované z prúdového signálu na napäťový. Následne sú oba kanály pomocou zosilňovača odčítané a invertovane sčítané. Vďaka tomuto dostávame časť vzťahu pre výpočet aktuálnej pozície dopadajúceho svetelného zväzku už hardwarovo spracovanú. Následne oba vytvorené signály sú zosilnené. Vďaka zapojeniu je toto zosilnenie pre jednosmernú zložku 1, striedavá zložka je posunutá do kladných hodnôt, kvôli spracovaniu zvukovou kartou. Vďaka tomu je signál aj frekvenčne orezaný. Zároveň odčítaný signál je zosilnený 100 násobne a vypovedá o pozícii svetelného zväzku na PSD detektore a druhý, sčítaný signál je 2 krát zosilnený a určuje intenzitu svetelného lúča. Vďaka tomuto údaju je možné zistiť aj farbu odrazového podkladu a tomu prispôbiť intenzitu lasera. Zosilnenie je zvolené pri rozdielovom signáli väčšie kvôli zlepšeniu citlivosti pri nule. Oba signály sú následne posielané do zvukovej karty, jeden ako ľavý kanál a druhý ako pravý kanál stereo zvuku.



Obr.11: Externá zvuková karta (hore), vibrometer vo finálnom puzdre (dole)

Celé zariadenie je napájané symetrickým napätím $\pm 12\text{V}$. Ako napájací zdroj je použitý adaptér $230\text{V AC} - 12\text{V DC}$, ktorého napätie je upravované na symetrické pred

vstupom do vibrometra. Celé zariadenie je zapuzdrené v hliníkových puzdrách, zvlášť pre vibrometer a zvlášť pre zvukovú kartu. Zvuková karta ma vyvedených viac výstupov, keďže sa používa aj pri ďalších zariadeniach. Optika bola zvolená taká, aby dostatočne zaostrila laserový lúč odrazený vo vzdialenosti okolo 10cm od zariadenia a dopadajúci na PSD detektor vzdialený približne 3cm za okrajom puzdra.



Obr.12: Priebeh s analýzou signálu z vibrometra pri meraní 333Hz rezonančnej ladičky.

Záver

Článok je zameraný rozvoj problematiky detekcie prejavov rôznych chorôb a základných životných funkcií v spojení praktického návrhu vybraného zariadenia pre monitorovanie zdravotného stavu s dôrazom na zlyhanie základných životných funkcií. Konkrétne pojednáva o triangulačnom vibrometri pre zisťovanie srdčej činnosti a činnosti dýchacej sústavy. Vibrometer je založený na technológii PSD detektora (Position Sensitive Detectors). Program pre následné spracovanie bude vyvíjaný v prostredí Matlab a jeho súčasťami bude spracovanie zvuku zo zvukovej karty použitej ako analógovo-digitálny a digitálno-analógový prevodník, z dôvodu zníženia nákladov a možnosti jednoduchšieho využitia zariadenia v praxi. Výstupom z programu budú signály z frekvenčného spracovania samotných nameraných signálov zvukovou kartou a signály po detekcii vibrácií spôsobených srdcovou aktivitou a respiračnými procesmi.

Literárne zdroje

1. Infračervená kamera SVIT, Onko cet [online]. Dostupné na internete: <http://www.onkocet.sk/pristroj/IR.htm>
2. Števo, Stanislav; Vnuk, Marek: Bezdotyková detekcia prejavov chorôb v budovách. In: iDB Journal. - ISSN 1338-3337. - Roč. 2, č. 1 (2012), str. 18-22
3. Števo, Stanislav; Vnuk, Marek: Technické aspekty bezdotykovej detekcie prejavov chorôb v budovách. In: iDB Journal. - ISSN 1338-3337. - Roč. 2, č. 2 (2012), str. 31-33
4. PSD - Position Sensitive Detector, Antonín Vojáček [online]. Dostupné na internete: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005031001>
5. Position Determination, Laser components [online]. Dostupné na internete: <http://www.lasercomponents.com/uk/application/position-determination/>
6. Andersson, H.2008. Position Sensitive Detectors - Device Technology and Applications in Spectroscopy. Sundsvall: Electronics Design Division, in the Department of

Information Technology and Media Mid Sweden University, SE-85170 Sundsvall Sweden. 2008. 92 s. ISBN 978-91-85317-91-

7. Bc. Marek Vnuk, 2013. Inteligentná budova - ochrana zdravia: diplomová práca. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2013. 111 s.

Spoluautormi článku sú Ing. Marek Vnuk, Ústav robotiky a kybernetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská technická univerzita a Ing. Jakub Osuský, PhD., Ústav aplikovanej mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská technická univerzita
