

NOVÉ TYPY OPTOELEKTRONICKÝCH SENZORŮ A JEJICH VYUŽITÍ V KONSTRUKCI PŘÍSTROJŮ

New Kinds of Optoelectronic Sensors and its Application in Instruments Design

Jan Hošek, Jiří Št'astný*

Abstract: This paper presents a review about little new kind of optoelectronic sensors with possible application in optomechanical instruments design. We had bought few examples of presented sensors and we had prepared seven experimental stands for its functional parameters testing. Prepared stands will be used for student's education mainly, but some sensors will be used for real instrument application too.

Key words: Optoelectronic sensors, application, instruments

1. Úvod

Jedním ze specifík přístrojové techniky je její úzká návaznost na aktuální znalosti fyziky, chemie a biologie, kde tyto obory diktují vznik a konstrukci nových typů přístrojové techniky. To zapříčiňuje trvalý vývoj a rozvoj nových přístrojů a s tím souvisejících nových přístupů k jejich konstrukci, pro dosahování stále vyšší citlivosti a rozlišení při zachování dlouhodobě stabilní opakovatelnosti prováděných měření. Tento trend byl ještě umocněn s rozvojem mikroelektroniky a počítačové techniky obecně, kdy nyní lze jen těžko nalézt mechanický nebo optický přístroj, v jehož konstrukci by nebyl použit, elektronický snímač nebo aktuátor. V posledních letech se pak v konstrukci řady optických přístrojů začínají používat nejen běžné integrální fotosenzory typu fotodiody a fotonásobiče nebo lineární a maticové fotodetektory typu CCD, CMOS a další, jejichž funkci lze studentům snadno demonstrovat, ale i řada dalších senzorů různých principů a funkcí. Abychom mohli studenty našeho zaměření seznámit s novými možnostmi použití těchto fotodetektorů, rozhodli jsme se některé vhodné senzory v rámci projektu FRVŠ zakoupit a připravit několik experimentálních úloh pro ověření jejich technických parametrů a funkce.

2. Přehled fotodetektorů

Na základě soustavného průzkumu publikací o využití různých typů fotodetektorů v konstrukci různých optických a mechanických přístrojů bylo rozhodnuto o zakoupení následujících typů fotodetektorů.

Nízkonapěťový fotonásobič:

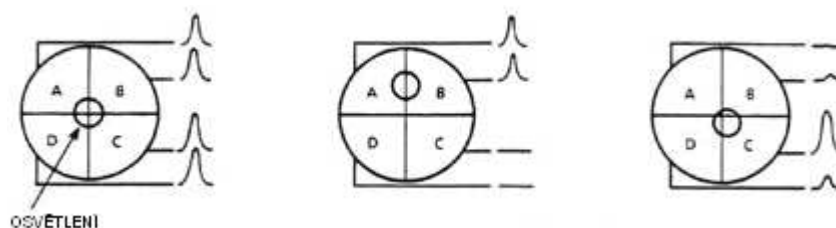
Zásadní výhodou nízkonapěťového fotonásobiče v konstrukci přístrojů představuje použití přijatelného napájecího napětí $U_i = 15V$ a jeho malé konstrukční rozměry, na rozdíl klasických fotonásobičů, kde je nezbytné napájecí napětí řádově tisíc voltů. Tyto výhody jsou pochopitelně vykoupeny poněkud nižší citlivostí $\sim 6 \cdot 10^4$ A/W při temném proudu 0,2 nA, avšak přesto se jedná zvláště pro laboratorní prostředí velmi vhodný fotodetektor.

Lavinová fotodioda:

Jedná se o speciální typ fotodiody, využívající jevu lavinového průrazu ke znásobení procházejícího fotoproudu ve velmi krátkém čase. Zásadní výhodou tohoto typu diody je její vysoká citlivost řádově 10^5 V/W i při vysokých frekvencích signálu až řádu GHz.

Segmentová dioda:

Jedná se o integrální fotodetektor citlivý na polohu světelného bodu na fotocitlivé ploše detektoru. Detektor se skládá z několika, obvykle čtyř samostatných fotodiód v různém uspořádání, nejčastěji ve tvaru naznačeném na obrázku 1, jejichž fotoproud je z detektoru vyveden jako čtyři analogové výstupy A, B, C, D.



Obr. 1 Schéma funkce fotodetektoru polohy – čtyřdiody.

Při osvětlení detektoru kruhovým světelným obrazovým polem přesně na střed detektoru, budou v tomto uspořádání všechny čtyři fotodiody osvětleny stejnou intenzitou záření a hodnoty jejich výstupních proudů budou totožné. Při obecné změně polohy bude výstupní proud dané fotodiody úměrný jejímu osvětlení. Odtud lze snadno určit souřadnice polohy středu světleného pole dle rovnic:

$$X = (A + D) - (B + C) \quad (2.1)$$

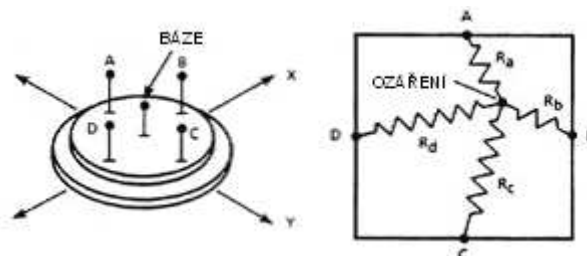
$$Y = (A + B) - (C + D) \quad (2.2)$$

Zásadní výhodou tohoto typu detektoru polohy oproti složitějším maticovým sensorům je jednoduchost zpracování dat a především vysoká použitelná vzorkovací frekvence omezená až 100 MHz.

Křemíkový polohový detektor (PSD):

Principiálně obdobný typ senzoru polohy s analogovými výstupy k segmentové fotodiodě je křemíkový polohový detektor. Tento detektor se však neskládá z několika samostatných fotocitlivých prvků, ale z jediného polovodičového prvku na křemíkové podložce s omezenou vodivostí, jak je naznačeno na obrázku 2. Při lokálním osvětlení fotocitlivé vrstvy detektoru generující v daném místě odpovídající fotoproud, dojde v důsledku vlastního odporu Si vrstvy ke snížení napětí na výstupech A, B, C, D senzoru

v závislosti na vzdálenosti místa ozáření od jednotlivých výstupů. Tím se funkčně PSD detektor chová zcela analogicky, jako výše uvedený detektor využívající čtyřdiody a polohu osvětlovacího svazku lze určit taktéž pomocí rovnic (2.1) a (2.2).



Obr 2 Schéma funkce křemíkového polohového detektoru.

Dle typu a velikosti citlivé plochy PSD fotodetektoru pak jeho rozlišení dosahuje rozmezí od 0,5 mm až 0,3 μm .

Senzor barvy:

Dalším typem senzoru v současné době používaný v řadě přístrojů i průmyslových aplikací jsou senzory barvy. Jejich funkce je velmi jednoduchá a skládají se většinou ze tří samostatných fotodiód, před kterými jsou umístěny barevné filtry odpovídající třem základním barvám RGB. Vyhodnocení barvy pozorovaného záření pak spočívá v měření poměru výstupních proudů jednotlivých fotodiód. Zásadním problémem řady těchto senzorů je, že fotodiody jsou citlivé především na záření delších vlnových délek a pro dosažení správného vizuálního vjemu je nutné zakoupit senzor s fotosenzitometrickou charakteristikou odpovídající charakteristice lidského oka nebo hodnoty výstupních proudů vhodně korigovat.

Senzor vlnové délky:

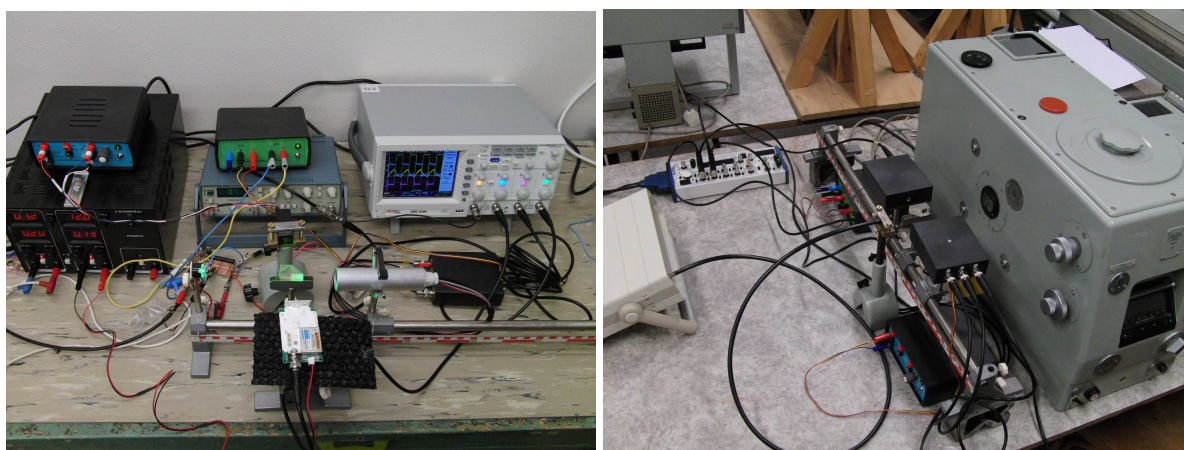
Posledním nově zakoupeným fotodetektozem je senzor vlnové délky, který částečně může nahradit jinak poměrně komplikovanou konstrukci spektrometru pro případ dostatečně monochromatického měřeného zdroje záření. Tento fotodetektor se skládá ze dvou na sobě vytvořených fotodiód s rozdílnou spektrální charakteristikou. Při měření rozdílu fotoproudů obou fotodiód tento detektor umožňuje určit měřenou vlnovou délku dopadajícího záření s rozlišením až 0,01 nm ve spektrálním rozsahu (450) 600-900 nm.

3. Výsledky

Po výběru jednotlivých konkrétních zajímavých typů senzorů byly vybrané typy senzorů zakoupeny od několika dodavatelů. V naprosté většině případů byly uvedené senzory pořízeny pouze jako elektronické součástky a bylo pro ně nutné vyrobit příslušné napájecí zdroje, vyhodnocovací části a mechanické zajištění krytu senzoru. Ukázky jednotlivých vyrobených příslušenství a zakrytování detektorů jsou uvedeny na obrázku 3. Po testování jednotlivých senzorů a ověřování jejich deklarovaných parametrů a funkce bylo přistoupeno k přípravě několika laboratorních úloh, ve kterých se studenti předmětu Konstrukce přístrojů a Optoelektronické systémy mohou seznámit s možnostmi jejich funkce a použití v konstrukci různých přístrojů a experimentálních zařízení. Ukázka příkladů dvou připravených experimentálních úloh je zobrazena na obrázku 4. Zakoupené detektory a další zařízení pak bude použito nejen pro výuku, ale také pro naši vědeckou činnost.



*Obr 3 Ukázky příkladů zabudování jednotlivých senzorů, včetně nezbytné elektroniky a zdrojů.
Zleva nahoře: 1D PSDS 6873, čtyřdioda S 6695-01, 2D PSD S2044, 2D PSD S 7848-01, senzor barvy. Zleva
dole: fotonásobič H 5783, lavinová fotodioda C 5331-04, senzor vlnové délky WS7.56-T05, stabilizovaný zdroj
5V/12V, stabilizovaný zdroj 5V/12V s ovladačem výkonu laseru.*



*Obr 4 Ukázka přípravy laboratorní úlohy Měření frekvenčních vlastností vybraných snímačů záření – vlevo a
úlohy Měření barev spektrálně citlivými senzory - vpravo..*

Acknowledgement

Tento projekt byl podporován grantem FRVŠ 646/2008.

Kontaktní adresa

Odbor přesné mechaniky a optiky, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní ČVUT, Technická 4, Praha 6, Česká republika, tel.: +420 224 352 552, E-mail: Jan.Hosek@fs.cvut.cz

*Odbor elektrotechniky, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Fakulta strojní ČVUT, Technická 4, Praha 6, Česká republika, tel.: +420 224 352 699, E-mail: Jiri.Stastny@fs.cvut.cz