

POLARIMETRIČNI TEMPERATURNI SENZOR: analiza polarizacijskega ločitvenega razmerja in dolžine senzorskega dela

Miha Završnik, Denis Donlagić, Dali Donlagić

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija

Ključne besede: fizika, optika, merjenje temperature, senzori temperaturni polarimetrični, senzori optični dvolomni, komponente polarizacijske, vodenje procesov industrijskih, senzori z vlakni optičnimi, ER razmerje polarizacijsko ločitveno

Povzetek: Analizirali smo vpliv polarizacijskega ločitvenega razmerja vhodnega polarizatorja, koherenčnih lastnosti svetlobnega vira in dolžine senzorskega in dovodnega vlakna na polarimetrične meritve temperature. Iz rezultatov je razvidno, da je možno z uporabo polarizatorjev z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem in minimalno dolžino visoko dvolomnega optičnega vlakna ter nizko koherentnim virom svetlobe realizirati cenen polarimetrični termometer z omejeno občutljivostjo. Izveden je bil temperaturni polarimetrični senzor za absolutne meritve temperature, ki deluje v področju od 40°C do 60°C.

Polarimetric temperature sensor: extinction ratio and sensing length examination

Keywords: physics, optics, temperature measurements, polarimetric temperature sensors, birefringent fiber sensors, polarizing fiber sensors, polarizing components, industrial process control, optical fiber sensors, ER, extinction ratio

Abstract: Temperature is one of the most important parameters to be measured in industrial process control. The primary reason for interest in industrial fiber optic temperature sensors is their electromagnetic immunity and electrical passivity. This enables the use of fiber optic sensors in electromagnetically hostile and hazardous environments. During the last decade, many intrinsic optical fiber temperature sensors have been proposed using the Michelson or Mach-Zehnder configuration. However, those interferometers suffer low selectivity and require a well isolated and undisturbed reference arm that is very hard to produce. An alternative to the classic interferometry is a polarimetric sensor which uses the interference of two polarization eigenmodes in high birefringence fibers.

We theoretically and experimentally investigated the influences of the sensing and lead fiber length, the extinction ratio of the input polarizer and the coherence properties of the light source for polarimetric temperature measurements. We have shown that there is a possibility to construct a relatively simple and inexpensive fiber optic polarimetric thermometer for absolute temperature measurements by using a low ER polarizer and a low coherent source.

The proposed polarimeter does not exhibit high sensitivity. However, it is easy to achieve a large unambiguous range with a resolution below 0.1°C, which satisfies most demands in many industrial and medical applications.

1 Uvod

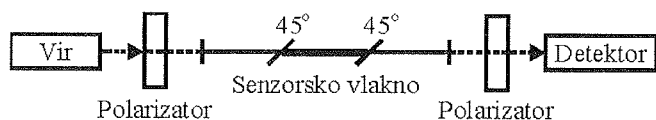
Temperatura je ena izmed najpomembnejših merilnih veličin v procesni industriji. Poglavitni razlog, zaradi katerega nas zanimajo temperaturni senzori, izvedeni z uporabo optičnih vlaken, je njihova elektromagnetna imunost in električna pasivnost. Optične vlakenske senzore je mogoče uporabljati v elektromagnetno onesnaženih in eksplozivnih okoljih. V zadnjem desetletju se je pojavilo veliko število optičnih vlakenskih senzorjev z notranjim delovanjem, ki temeljijo na Michelsonovi ali Mach-Zehnderjevi konfiguraciji [1]. Problem omenjenih interferometrov je njihova nizka selektivnost, ki zahteva dobro izolirano in neobremenjeno referenčno vejo, kar je praktično zelo težko izvesti. Alternativno h klasičnim interferometrom ponujajo polarimetrični senzori, pri katerih med sabo interferirata lastna polarizacijska rodova, ki se razširjata znotraj vlakna z ohranjanjem polarizacije [2,3,4,5]. Polarimetrični senzori, ki temeljijo na pojavu dvolomnosti, so v splošnem preprostejši od tradicionalnih enorodovnih interferometričnih senzorjev. Kljub temu ostaja potreba po dokaj zahtevnem procesiranju signalov in uporabi dragih polarizacijskih komponent. Dodatna slabost interferometričnih senzorjev je določitev absolutne temperature, saj je izhod iz

interferometra periodična funkcija. Za rešitev tega problema so bile predlagane mnoge rešitve, kot npr. dvolovalovna interferometrija ali interferometrija z uporabo "bele svetlobe" [6], ki pa povečajo zahtevnost senzorja in s tem tudi ceno ter tako zmanjšajo področja uporabe.

V mnogih industrijskih in biomedicinskih aplikacijah, kjer je podana zahteva po elektromagnetni imunosti in električni pasivnosti, je ponavadi zadostna temperaturna občutljivost 0.1 °C. V prispevku smo teoretično in eksperimentalno preverili vplive polarizacijskega ločitvenega razmerja vhodnega polarizatorja, koherenčnih lastnosti svetlobnega vira ter dolžine senzorskega in dovodnega vlakna na merilno območje in delovanje polarimetričnega termometra.

2 Teorija in simulacije

Sestava polarimetričnega senzorja z uporabo visoko dvolomnih optičnih vlaken je prikazana na sliki 1. Senzorsko vlakno je z dovodnim in odvodnim vlaknom povezano z zlitimi spoji, tako da je kot med lastnimi osmi vlaken 45°.



Slika 1: Sestava polarimetričnega senzora

2.1 Merjenje temperature

V visoko dvolumnem vlaknu se polarizacijska rodova LP_{01x} in LP_{01y} razširjata s fazno hitrostjo, ki je določena z lomnima količnikoma n_x in n_y . Razlika lomnih količnikov $\Delta n = n_x - n_y$ je določena z dvolumno dolžino $L_B = \lambda / \Delta n$. V primeru visoko dvolumnih vlaken z notranjimi stresnimi elementi (dvolumnost, ki je posledica stresnih elementov, je temperaturno odvisna) je temperaturna občutljivost podana s sledečim izrazom [4]:

$$\frac{1}{L_{\text{senzor}}} \frac{d(\Delta\phi)}{dT} = \frac{k}{L_{\text{senzor}}} \left[\frac{\Delta n}{n} \frac{dn}{dT} + \Delta n \frac{dL}{dT} \right] \quad (1)$$

pri tem je $\Delta\phi$ fazna zakasnitev, $k=2\pi/\lambda$ valovni vektor, L_{senzor} dolžina senzorskega vlakna in T merjena temperatura. Ker se dolžina senzorskega vlakna v primeru polarimetričnega senzora spremeni enako za oba polarizacijska rodova, lahko drugi člen v enačbi (1) zanemarimo in (1) dobi obliko:

$$\frac{1}{L_{\text{senzor}}} \frac{d(\Delta\phi)}{dT} = \frac{k}{L_{\text{senzor}}} \left[\frac{\Delta n}{n} \frac{dn}{dT} \right] \quad (2)$$

2.2 Vpliv polarizacijskega ločitvenega razmerja, dovodnega vlakna in koherentnih lastnosti vira

Da bi preverili vpliv dolžine dovodnega vlakna in koherentnih lastnosti vira svetlobe, si oglejmo dva idealna primera: prvič, roda LP_{01x} in LP_{01y} sta na koncu dovodnega vlakna koherentna ter govorimo o koherentnem primeru in drugi, roda LP_{01x} in LP_{01y} na koncu dovodnega vlakna nista koherentna. V slednjem imamo opraviti z nekoherentnim primerom.

1. Koherentni primer

Za raziskavo vpliva polarizacijskih ločitvenih lastnosti vhodnega polarizatorja in dolžine senzorskega vlakna na polarimetrični termometer predpostavimo, da je polarizator glede na os dovodnega vlakna zasukan za kot θ . Izhodni polarizator (analizator) obravnavamo kot idealen polarizator.

Z uporabo Jonesove matrične notacije lahko zapišemo sledečo enačbo za polarimetrični termometer:

$$E_{\text{izhod}} = P_{\text{izhod}} \cdot T_{\text{dovod}} \cdot T_{45} \cdot T_{\text{senzor}} \cdot T_{45} \cdot T_{\text{odvod}} \cdot P_{\text{vhod}} \cdot E_{\text{vhod}}$$

$$I_{\text{izhod}} = \langle E_{\text{izhod}} E_{\text{izhod}}^* \rangle \quad (3)$$

kjer je E_{vhod} stolpični vektor vhodne električne poljske jakosti, P_{vhod} Jonesova matrika za vhodni polarizator, ki je glede na hitro os dovodnega dvolumnega vlakna zasukan za kot θ . P_{izhod} je Jonesova matrika, ki opisuje izhodni polarizator, T_{dovod} in T_{odvod} predstavljata dovodno in odvodno vlakno, T_{45} je matrični zapis za 45° spoj in T_{senzor} predstavlja senzorski del vlakna. Matrike za posamezne člene v enačbi (2) lahko zapišemo kot:

$$E_{\text{vhod}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$P_{\text{vhod}} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_{\text{dovod}} = \begin{bmatrix} \exp(i\phi_{x_{\text{in}}}) & 0 \\ 0 & \exp(i\phi_{y_{\text{in}}}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$T_{45} = \begin{bmatrix} 1 & \pm 1 \\ \mp 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$T_{\text{senzor}} = \begin{bmatrix} \exp(i\phi_x) & 0 \\ 0 & \exp(i\phi_y) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T_{\text{odvod}} = \begin{bmatrix} \exp(i\phi_{x_{\text{out}}}) & 0 \\ 0 & \exp(i\phi_{y_{\text{out}}}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$P_{\text{izhod}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Z uporabo enačb (2)-(10) lahko zapišemo izraz za izhodno gostoto svetlobnega toka polarimetričnega termometra:

$$I_{\text{izhod}} = I_0 \left[\underbrace{\frac{1}{2}(A^2 + B^2) + \frac{1}{2}(B^2 - A^2) \cos \phi}_{\text{senzorsko vlakno}} - \underbrace{4AB \sin \phi \sin \phi_1}_{\text{motnja dovoda}} \right] \quad (11)$$

kjer je

$$\phi = 2\pi/\lambda \Delta n L_{\text{senzor}}$$

$$\phi_1 = 2\pi/\lambda \Delta n L_{\text{dovod}}$$

$$A = \sin^2 \theta + \cos \theta \sin \theta$$

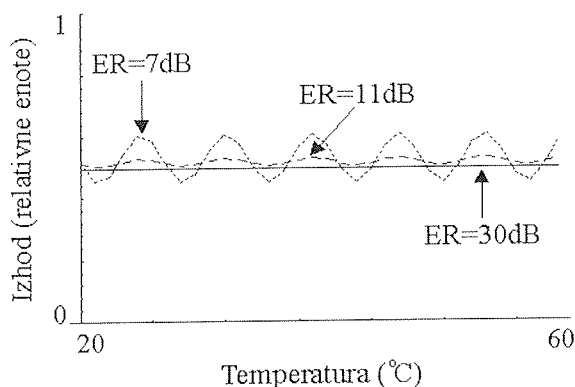
$$B = \cos^2 \theta + \cos \theta \sin \theta$$

Izraz je v splošnem odvisen od vstopnih pogojev (kotni zamik θ in rezultirajoče polarizacijsko ločitveno razmerje vhodnega polarizatorja), dolžine senzorskega

vlakna L_{senzor} in dolžine dovodnega vlakna L_{dovod} v primeru neidealnega vzbujanja s polarizirano svetlobo. Polarizacijsko ločitveno razmerje polarizirane svetlobe v dovodnem visoko dvolomnem vlaknu je določeno z:

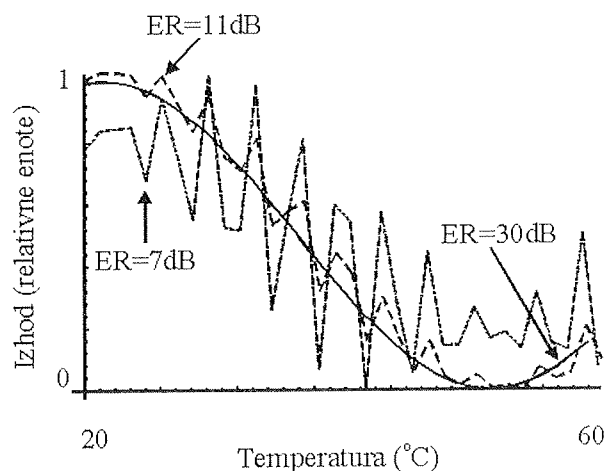
$$ER = 10 \log \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \quad (12)$$

kjer je θ kotni zamik polarizatorja. Enačba (12) predstavlja gostoto svetlobnega toka na izhodu iz senzorskega sistema in je sestavljena iz dveh delov. Prvi del je odvisen samo od temperature senzorskega vlakna, medtem ko je drugi del odvisen od pogojev tako v senzorskem kot v dovodnem vlaknu (temperatura, vibracije, nateg, itd.). Zaradi tega lahko drug del obravnavamo kot motnjo dovoda, ki je odvisna od polarizacijskega ločitvenega razmerja ter je tako posledica neidealnih razmer vzbujanja. Slika 2 prikazuje teoretično izračunan izhod iz polarimetra za konstantno temperaturo senzorskega dela in spremenljive pogoje v dovodnem vlaknu pri različnih polarizacijskih ločitvenih razmerjih. Slika 3 nadalje prikazuje teoretično dobljene



Slika 2: Teoretično izračunan izhod polarimetra v odvisnosti od temperature dovodnega vlakna za konstantno temperaturo senzorskega vlakna in spremenljiva polarizacijska ločitvena razmerja

izhodne karakteristike za primer, kadar hkrati spreminjamo temperaturo senzorskega in dovodnega vlakna pri različnih polarizacijskih ločitvenih razmerjih. Dovodno vlakno se obnaša kot dodatni senzorski element, s čimer se poveča merilna negotovost.

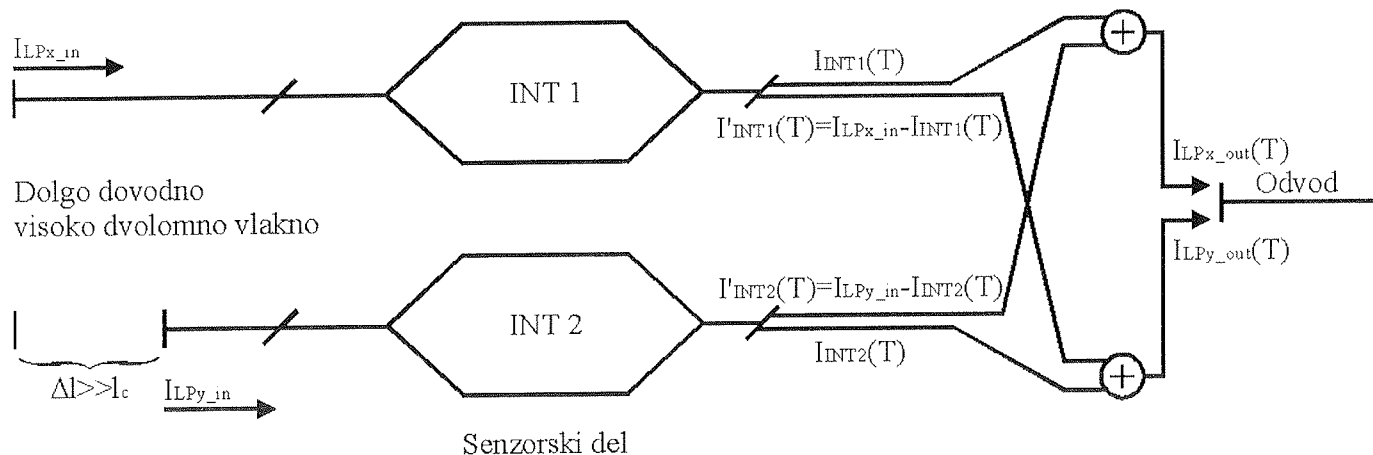


Slika 3: Teoretično določen izhod polarimetra za koherenten primer: hkratno spreminjanje temperature dovodnega in senzorskega vlakna za različna polarizacijska ločitvena razmerja vhodnega polarizatorja

2. Nekoherentni primer

Kadar polarizacijska rodova na koncu dovodnega vlakna nista koherentna, lahko interferometer razstavimo v dva idealna (neskončno polarizacijsko ločitvena razmerja) "vzajemno nekoherentna" interferometra, kot je prikazano na sliki 4.

Na prvem 45° spoju se zaradi obeh nekoherentnih rodov, ki se razširjata vzdolž dovodnega vlakna vzbujata oba polarizacijska rodova znotraj visoko dvolomnega senzorskega vlakna. Na drugem 45° spoju med seboj interferirata le tista rodova, ki sta bila koherentna



Slika 4: Model nekoherentnega polarimetra

na prvem spoju. Zaradi tega lahko merilni del predstavimo kot dva med seboj ločena interferometra. Optična moč, ki je sklopljena v vsakega od polarizacijskih rodov odvodnega vlakna, je tako vsota prispevkov posameznih interferometrov in jo lahko zapišemo kot:

$$I_{LPx_izhod}(T) = I_{INT1}(T) + [I_{LPy_vhod} - I_{INT2}(T)] \quad (14)$$

$$I_{LPy_izhod}(T) = I_{INT2}(T) + [I_{LPx_vhod} - I_{INT1}(T)]$$

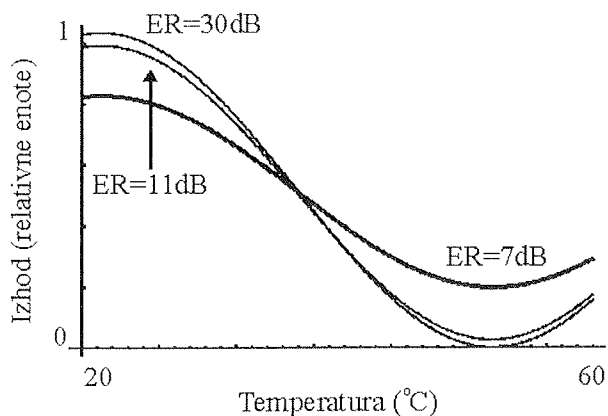
kjer sta $I_{LPx_izhod}(T)$ in $I_{LPy_izhod}(T)$ gostoti svetlobnega toka v glavnih oseh izhodnega vlakna. I_{INT1} , in I_{INT2} sta gostoti svetlobnega toka interference med polarizacijskima rodovima v prvem in drugem razstavljenem interferometru. Njuna komplementarna izhoda sta enaka $I_{INT1} = I_{LPx_vhod} - I_{INT1}$ in $I_{INT2} = I_{LPy_vhod} - I_{INT2}$. I_{LPx_vhod} in I_{LPy_vhod} sta gostoti svetlobnega toka rodov vzdolž dovodnega vlakna.

Z uporabo enačb (14) in (12) lahko izhod iz polarimetra zapišemo kot:

$$I_{LPy_izhod} = I_{LPx_vhod} + (I_{LPy_vhod} - I_{LPx_vhod}) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \phi \right] \quad (15)$$

$$I_{LPx_izhod} = I_{LPy_vhod} + (I_{LPx_vhod} - I_{LPy_vhod}) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \phi \right]$$

Z uporabo izraza za izračun polarizacijskega ločitvenega razmerja ($ER = 10 \log(I_{LPx_vhod}/I_{LPy_vhod})$) se enačba (15) preoblikuje v obliko:



Slika 5: Teoretično določen izhod polarimetra za nekoherenten primer: hkratno spreminjanje temperature dovodnega in senzorskega vlakna za različna polarizacijska ločitvena razmerja vhodnega polarizatorja

$$I_{LPy_izhod} = I_{LPy_vhod} \left[1 + \left(10^{-\frac{ER}{10}} - 1 \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \phi \right] \right] \quad (16)$$

$$I_{LPx_izhod} = I_{LPx_vhod} \left[10^{-\frac{ER}{10}} + \left(1 - 10^{-\frac{ER}{10}} \right) \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \phi \right] \right]$$

Iz enačbe (16) je razvidno, da je izhod polarimetra neodvisen od pogojev dovodnega vlakna, ne glede na polarizacijsko ločitveno razmerje. V primeru nekoherentnega delovanja vpliva zmanjšanje polarizacijskega ločitvenega razmerja vhodnega polarizatorja samo na vidljivost interferenčnega vzorca, ki se zmanjša (slika 5).

2.3 Teoretični zaključek

Ugotovimo lahko, da je za polarimetrični termometer potrebno uporabiti polarizator z velikim polarizacijskim ločitvenim razmerjem, ali pa zagotoviti, da postaneta vzbujena polarizacijska rodova v dovodnem vlaknu nekoherentna pred vstopom v senzorski del. To lahko dosežemo z uporabo dovolj dolgega kosa dovodnega vlakna. V simulacijah smo uporabljali idealen izhodni polarizator. Za odpravo vplivov odvodnega vlakna v primeru uporabe neidealnega izhodnega polarizatorja je potrebno upoštevati enake ukrepe kot za dovodno vlakno.

Minimalna dolžina dovodnega visoko dvolomnega vlakna, ki zagotavlja nekoherentnost med polarizacijskimi rodovi, je odvisna od koherenčnih lastnosti vira in jo lahko izrazimo s pomočjo koherenčne dolžine ℓ_c vira, dvolomne dolžine optičnega vlakna L_B in valovne dolžine vira λ :

$$L_{dovod} \gg \frac{\ell_c \cdot L_B}{\lambda} \quad (17)$$

Dodatni pogoj, ki ga je potrebno izpolniti, je zadostna koherenčna dolžina vira, tako da polarizacijska rodova ne postaneta nekoherentna znotraj senzorskega dela:

$$\ell_c > \frac{\lambda \cdot L_{sensing}}{L_B} \quad (18)$$

Kadar uporabljamo polarizatorje z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem je potrebno izpolniti pogoja (17) in (18).

3 Eksperimentalni rezultati

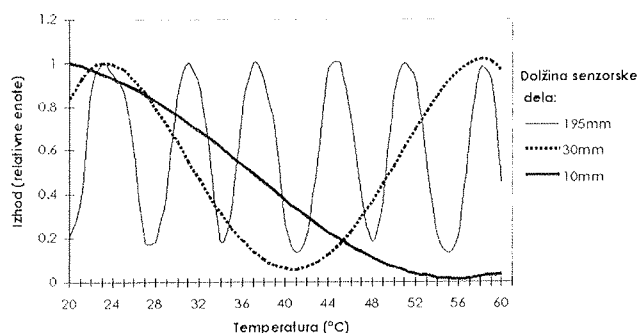
Da bi lahko izpolnili naš osnovni cilj, t.j. realizirati cenovno ugoden absolutni temperaturni polarimetrični senzor, je potrebno minimizirati število optičnih komponent. Realizacija tako zajema uporabo kratkih senzorskih vlaken, ki zagotavljajo neperiodičen izhodni signal in uporabo polarizatorjev z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem ali pravilnim sklopom med laser-

sko diodo in vlaknom z ohranjanjem polarizacije (zadostna polarizacijska ločitvena razmerja lahko dosežemo že s pravilnim sklapljanjem laserske diode in visoko dvolomnega vlakna). Kot primer smo realizirali polarimetrični merilnik temperature, ki omogoča absolutne meritve temperature v območju od 20°C do 60°C.

3.1 Absolutna meritev temperature

V splošnem je izhod polarimetra kosinusna funkcija z zelo majhnim področjem nedvoumnosti. Za doseg večjega področja nedvoumnosti in absolutnega načina merjenja z minimalnim procesiranjem signalov smo postopoma zmanjševali dolžino senzorskega visoko dvolomnega vlakna. Vsi eksperimentalni rezultati so bili doseženi z uporabo Fibercorevega visoko dvolomnega vlakna HB800, ki ima visoko stopnjo lastne dvolomnosti ($L_B=0.8\text{mm}$). Senzorsko vlakno je bilo z dovodnim in odvodnim spojeno s 45° zlitimi spoji. Eksperimentalni interferogrami za tri različne dolžine vlaken so prikazani na sliki 6. Iz interferogramov in enačbe (2) lahko določimo temperaturno občutljivost:

$$\frac{1}{L_{\text{senzor}}} \frac{d(\Delta\phi)}{dT} = 5,63 \text{ radK}^{-1}\text{m}^{-1}$$



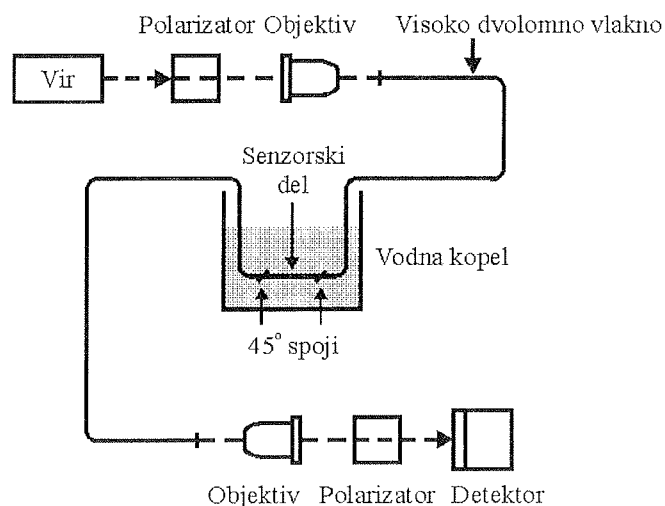
Slika 6: Eksperimentalni interferogrami za različne dolžine senzorskega vlakna

Iz rezultatov je razvidno, da povzroči dolžina senzorja približno 10 mm fazno zakasnitev $\pi/2$ preko celotnega merilnega področja (20°C do 60°C). Omenjen način zaznavanja izhodnega signala označimo kot kvadratno detekcijo. V primerjavi z meritvami, kjer uporabimo daljše kose merilnega vlakna, smo zmanjšali občutljivost, razmerje med področjem merilne nedvoumnosti in ločljivosti pa je ostalo nespremenjeno.

3.2 Polarizacijsko ločitveno razmerje in dovodni šum

Eksperimentalno preverjanje vplivov polarizacijskega ločitvenega razmerja in dovodnega šuma je bilo izvedeno z uporabo sestava, ki je prikazan na sliki 7 (10mm senzorsko vlakno). V koherentnem primeru smo uporabljali lasersko diodo z valovno dolžino 850nm in koherentno dolžino približno 1mm ($\Delta\lambda=0.7\text{nm}$) ter dovodno vlakno dolžine 1m. Za nekoherentni primer smo

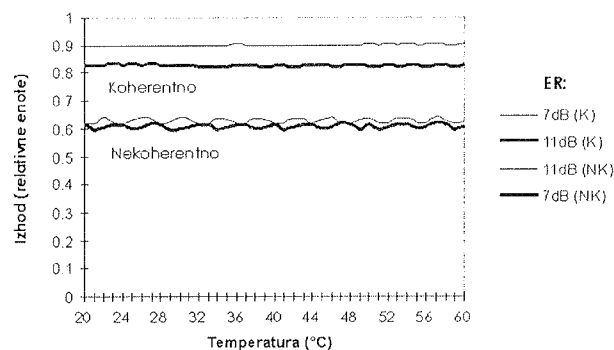
dolžino dovodnega vlakna povečali na 35m. Za različne kotne zamike vhodnega polarizatorja smo spreminjali temperaturo vodne kopeli od 20°C na 60°C ter pri tem opazovali izhod iz senzorja.



Slika 7: Eksperimentalni sestav polarimetričnega termometra

Slika 8 prikazuje tipičen izhod iz merilnega sistema, ko spreminjamo temperaturo približno 1m dovodnega vlakna, temperatura senzorskega vlakna pa ostaja nespremenjena. Na sliki sta prikazana tako koherentni in nekoherentni primer. Kadar uporabljamo polarizatorje z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem, opazimo v koherentnem primeru močan vpliv dovodnih vlaken na izhodno gostoto svetlobnega toka. V nekoherentnem primeru ostaja izhod iz senzorja nespremenjen tudi ob uporabi polarizatorjev z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem.

Sliki 9 in 10 prikazujeta temperaturno odvisnost izhodne gostote svetlobnega toka za koherentni in nekoherentni primer, kadar hkrati spreminjamo temperaturo dovodnega in senzorskega vlakna. V koherentnem primeru

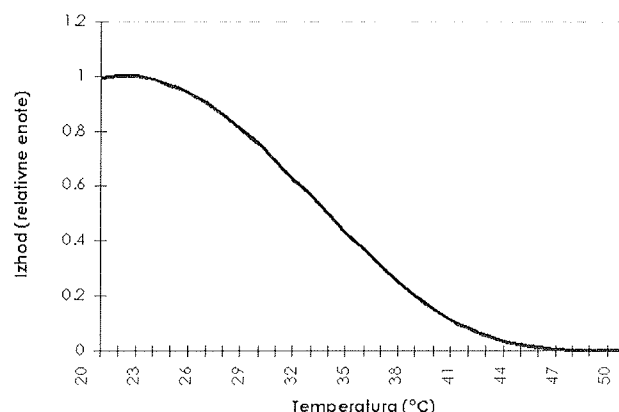


Slika 8: Eksperimentalno dobljen izhod polarimetra za konstantno temperaturo senzorskega vlakna in spremenljivo temperaturo dovodnega vlakna, pri različnih polarizacijskih ločitvenih razmerjih vhodnega polarizatorja

dobimo zelo šumen (kvazi periodičen) signal, še posebej, kadar uporabimo polarizatorje z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem. Zaradi tega koherentni primer ni uporaben za zastavljen način temperaturnega merjenja. V nekoherentnem primeru prikazanem na sliki 10 dobimo gladek in dobro definiran izhod preko celotnega merilnega področja. Za nižja polarizacijska ločitvena razmerja se zmanjša le vidljivost interferenčnega vzorca. Tudi v primeru izredno slabih polarizacijskih ločitvenih razmerij, okoli 7dB, dobimo še vedno uporabne rezultate. Kadar potrebujemo daljinsko delovanje senzorja, ga lahko povežemo s standardnimi telekomunikacijskimi vlakni. Pozornost pri sestavi je potrebno posvetiti predvsem zadostnemu delu visoko dvolomnega vlakna med polarizatorjem in senzorskim vlaknom, s katerim omogočimo nekoherentno delovanje.

Na koncu smo delovanje preverili tudi z uporabo nekoherentnega vira svetlobe. V našem primeru je bila to sveteča dioda s koherentno dolžino $5.7\mu\text{m}$ ($\Delta\lambda=125\text{nm}$). Da lahko polarizacijska rodova interferirata na koncu senzorskega vlakna, je bilo potrebno v

primeru uporabe sveteče diode senzorsko vlakno skrajšati na 4mm. Dobljeni rezultat je prikazan na sliki 11. Tudi kadar uporabljamo frekvenčno širokopasoven vir, dobimo dobro vidljivost interferenčnega vzorca.



Slika 11: Eksperimentalno dobljena temperaturna odvisnost polarimetra ob uporabi sveteče diode

Dobljeni eksperimentalni rezultati se ujemajo s teoretičnimi napovedmi, ki smo jih podali v drugem razdelku.

4 Zaključek

Teoretično in eksperimentalno smo raziskali vpliv dolžine senzorskega in dovodnega vlakna, polarizacijskega ločitvenega razmerja vhodnega polarizatorja in koherentnih lastnosti vira svetlobe. Pokazali smo, da lahko z uporabo polarizatorjev z nizkim polarizacijskim ločitvenim razmerjem in nizko koherentnih virov sestavimo enostaven in cenen polarimetrični termometer za merjenje absolutnih temperatur.

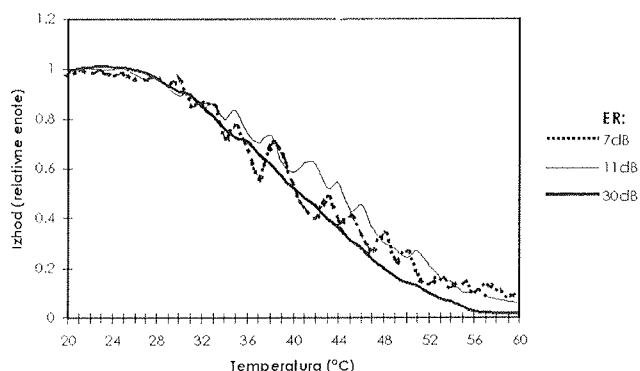
Predstavljen polarimeter ne dosega izredno visokih občutljivosti, zato pa je mogoče v širokem področju nedvoumnosti doseči ločljivosti pod $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar po navadi zadošča za večino industrijskih in medicinskih aplikacij.

Zahvala

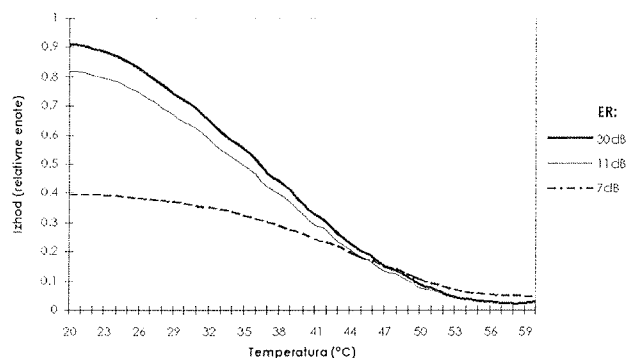
Za vse koristne predloge in diskusije bi se radi zahvalili Dr. Kenny Weirju in Prof. Brian Culshawu.

Literatura

- /1/ M. Corke, A.D. Kersey, D.A. Jackson, J.D.C. Jones, All-fibre "Michelson" thermometer, *Electronics Letters*, 19(13), 471-472 (1983)
- /2/ Y.Liu, B.M.A. Rahman, K.T.V. Grattan, Thermal-stress-induced birefringence in bow-tie optical fibers, *Applied Optics*, 33(24), 5611-5616 (1994)
- /3/ M.C. Mermelstein, High-Birefringence Fiber-Optic Polarimeter with Submicron Phase Delay Detectability, *Journal of Light-wave Technology*, LT-4(4), 449-453 (1986)



Slika 9: Eksperimentalno določen izhod polarimetra za koherenten primer: hkratno spreminjanje temperature dovodnega in senzorskega vlakna za različna polarizacijska ločitvena razmerja vhodnega polarizatorja



Slika 10: Eksperimentalno določen izhod polarimetra za nekoherenten primer: hkratno spreminjanje temperature dovodnega in senzorskega vlakna za različna polarizacijska ločitvena razmerja vhodnega polarizatorja

- /4/ R.C. Gauthier, Analysis of a birefringent sensor's dependence on the blocking properties of linear polarizers and the input laser beam's polarization state, *Applied Optics*, 35(31), 6271-6277 (1996)
- /5/ W. Eickhoff, Temperature sensing by mode-mode interference in birefringent optical fibers, *Optics Letters*, 6(4), 204-206 (1981)
- /6/ D.J. Webb, J.D.C. Jones, R.M. Taylor, D.A. Jackson, Extended range monomode fibre-optics sensors: spectral and polarisation techniques, *International Journal of Optoelectronics*, 3(3), 213-224 (1988)

mag. Miha Završnik, dipl. inž. el.
Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko,
Smetanova 17,
2000 Maribor
Tel.: 062 221 112, fax: 062 225 013
El. pošta: miha.zavrsnik@uni-mb.si

mag. Denis Donlagić, dipl. inž. el.
Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko,
Smetanova 17, 2000 Maribor,
Tel.: 062 221 112, fax: 062 225 013
El. pošta: ddonlagic@uni-mb.si

prof. dr. Dali Donlagić, dipl. inž. el.
Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko,
Smetanova 17, 2000 Maribor
Tel.: 062 221 112, fax: 062 225 013
El. pošta: donlagic@uni-mb.si

Prispelo (Arrived): 12.03.1997

Sprejeto (Accepted): 06.05.1997