

Implementacija novega senzorja za merjenje površinske vlažnosti v proizvodni liniji

Marko Sitar, Samo Beguš, Gaber Begeš, Janko Drnovšek in Domen Hudoklin

Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: maresitar@gmail.com

Povzetek. Glavni cilj projekta je bilo izboljšanje in preskušanje novega senzorja za merjenje površinske vlažnosti, s tem pa zagotovljeno doseganje večje zanesljivosti meritev v proizvodnji. Poleg izbire pravih komponent za izdelavo robustnih vezij in izbire primerne ohišja so bili za doseganje želene natančnosti meritev ključnega pomena temeljito preskušanje in manjše adaptacije. Merilni sistem deluje na podlagi absorpcije svetlobe NIR laserja. Sestavljen je iz dveh laserskih diod, ene z valovno dolžino, ki se v vodi absorbira, in druge, na katero vlaga tako rekoč ne vpliva. Robustna integrirana vezja so bila preskušena v Laboratoriju za metrologijo in kakovost. Funkcionalnost vezij je bila preverjena s preskušanjem na enakih vzorcih, na katerih so bila preskušena tudi prototipna vezja. Po nekaj manjših popravkih so vezja delovala pravilno in stabilno. Z vnovičnimi preskušnji in preverjanjem vezij smo potrdili, da so vezja dobro narejena in primerna za uporabo v industrijskih aplikacijah.

Ključne besede: NIR laser, merilni sistem, površinska vlažnost, brezkontaktni senzor, laserska dioda

Implementation of surface moisture measurement sensor in the production line

Surface moisture measurement system is improved and tested to ensure reliable measurements in a production line.

The robust parts of the system are made from the prototypes. The choice of the right components and housing together with testing and adaptations are crucial in assuring a proper operation of the system. The system is based on an NIR laser sensor for measuring the surface moisture. Two laser sources are used, one with water-absorbing wavelength and the other which is much less affected by water and two InGaAs photo diodes. The system is controlled with an NI CompactRIO embedded system.

The printed circuit boards are being tested in a laboratory of metrology and quality. Their functionality is verified by being tested on the same samples as the ones used in the prototype boards. Because of the excessive power consumption, the power supply of the laser diode control board is checked. After connecting the voltage controller on the board, the circuits operate well and stably. The conclusion drawn from the testing results is that the system is well made and can be reliably used in industrial applications.

Keywords: NIR based laser sensor, measurement system, surface moisture, non-contact sensor

1 UVOD

Cilj projekta je bila postavitve senzorja za merjenje površinske vlažnosti v proizvodno linijo v podjetju Domel, d.o.o. V procesu sestavljanja malih motorjev je za zagotavljanje kakovosti pomembna površinska vlažnost osi iz polimera.

Obstoječi senzorji, ki temeljijo na načelu mikrovalovnega merjenja ali na osnovi merjenja preko impedance, v našem primeru niso primerni, saj izmerijo vlažnost celotnega volumna telesa. Zato je bil razvit in proučen brezkontaktni senzor za merjenje površinske vlažnosti na podlagi absorpcije svetlobe [2].

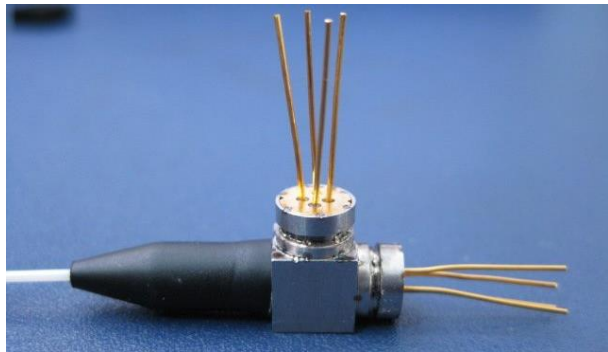
Za uvedbo senzorja v sestavljalo linijo je bilo treba iz prototipnih vezij narediti robustna tiskana vezja. Zaradi kompleksnosti in občutljivosti sistema je bila ključnega pomena pravilna izbira primernih komponent, kot tudi izbira ohišja, ki mora preprečiti vpliv zunanjih dejavnikov na merilni sistem, hkrati pa zadostiti omejitvam po ločljivosti meritev. Opravljenih je bilo veliko meritev in prilagoditev na tiskanih vezjih za zagotavljanje zanesljivega delovanja senzorja za merjenje površinske vlažnosti.

2 ZASNOVA SENZORJA

Senzor za merjenje površinske vlažnosti na podlagi absorpcije svetlobe NIR laserja (Near-Infrared laser) je brezkontaktni senzor. Sestavljen je iz dveh laserskih diod, ki sta kombinirani v enem ohišju s skupnim izhodnim optičnim vlaknom (slika 1). Prva laserska dioda proizvaja svetlobo z valovno dolžino 1490 nm, ki se v vodi absorbira, druga laserska dioda (referenčna) pa svetlobo z valovno dolžino 1310 nm, na katero vlaga tako rekoč nima vpliva [2]. Tako dobimo odčitek, ki pomeni relativno vlažnost na površini vzorca.

Vzorec je majhen, zato je uporabljen skupek optičnih vlaken, za osvetlitev vzorca z infrardečo svetlobo in površinski odboj curka iz vzorca. Takšna konfiguracija

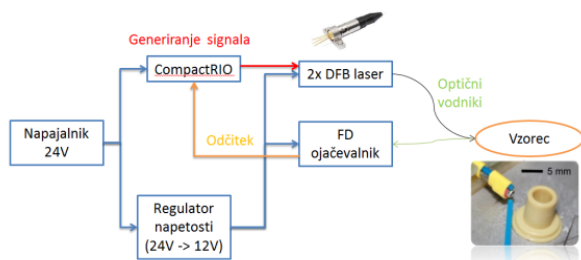
je zelo primerna za industrijske aplikacije, saj je občutljiva elektronska oprema fizično ločena od merilnega mesta, kar v veliki meri zmanjša vpliv zunanjih dejavnikov (preostalih elektronskih naprav, motenj, ...).



Slika 1: Dve laserski diodi, kombinirani v enem ohišju

Difuzno odbita svetloba od vzorca se prek optičnih vlaken prenese do dveh fotodiod, katerih signala sta nato ojačena z operacijskima ojačevalnikoma in obdelana v realnem času. Signala iz fotodiodnih ojačevalnikov sta vzorčena z vgrajenim 24-bitnim sistemom (ADC) NI CompactRIO in obdelana v realnem času s pomočjo programske opreme NI LabView. Signala za krmiljenje laserjev sta generirana s 16-bitnim sistemom (DAC) [2].

Blokovna shema sistema je prikazana na sliki 2. Moči curkov laserjev sta 1,47 mW pri valovni dolžini 1310 nm (referenčna laserska dioda) in 1,43 mW pri 1490 nm (merilna laserska dioda) [1].



Slika 2: Blokovna shema sistema

3 IZDELAVA IN IMPLEMENTACIJA

Iz prototipnih komponent so bila izdelana tiskana vezja zaradi zagotavljanja večje robustnosti sistema ter implementacije sistema v industrijsko okolje. Z izdelavo tiskanih vezij se izognemo vplivu motenj iz okolice, pridobimo pa na zanesljivosti, robustnosti in tudi estetiki sistema.

Izdelava tiskanih vezij in celotnega sistema se je začela s preskušanjem prototipnih vezij, ki so že bila narejena. Po preskušanju sta bili opravljeni optimizacija

in adaptacija elementov. Izdelali smo sheme in izbrali prave elemente za posamezna vezja.

Po izdelavi vezij in spajkanju elementov smo znova preskušali delovanje vezij ter jih vgradili v primerno ohišje.

3.1 Vezja in komponente

Za doseganje želene ločljivosti in natančnosti senzorja površinske vlažnosti so vezja med seboj fizično ločena. S tem se izognemo presluhu signalov in odstranimo odvečne motnje iz sistema, pripomoremo pa tudi k boljšemu hlajenju posameznih vezij in posledično zmanjšanju napak pri meritvah.

Celoten senzor površinske vlažnosti sestavljajo komponente opisane v nadaljevanju.

• Fotodiodni ojačevalnik (FD ojačevalnik)

Dve fotodiodi sta uporabljeni za merjenje optičnih signalov. Signala iz fotodiod sta ojačena z dvema ojačevalnikoma (slika 3) in priključena na ADC CompactRIO sistem. Prvi FD ojačevalnik je uporabljen za merjenje moči laserske svetlobe, ki potuje do vzorca, drugi pa za merjenje difuzno odbite svetlobe od vzorca. Uporabljeni sta bili fotodiodi InGaAs. Vpliv svetlobe iz okolice je odstranjen z demodulacijo signala v realnem času z uporabo ojačevalnika »lock-in« [2].

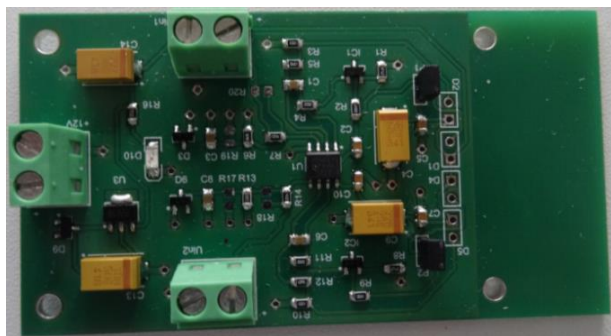


Slika 3: Tiskano vezje fotodiodnega ojačevalnika

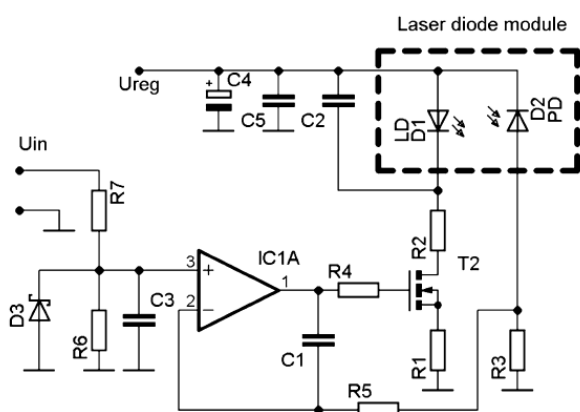
• Krmilnik laserskih diod

Krmilnika za laserski diodi sta integrirana na skupnem tiskanem vezju skupaj z regulatorjem za znižanje napajalne napetosti z 12 V na 8 V (slika 4).

Krmilnika prek povratnozančne veze in upora R5 zagotavljata konstantno moč v vsakem trenutku za obe laserski diodi (slika 5), saj le tako dobimo časovno stabilno in ponovljivo meritev, ki je primerna za uporabo v konkretni aplikaciji. Upor R2 je dodan za omejevanje toka na laserski diodi v primeru odpovedi tranzistorja T2 (slika 5). Laserski diodi sta napajani s pravokotnimi impulzi frekvenc, ki sta izbrani tako, da se izniči vpliv svetlobe iz okolice (100 Hz), hkrati pa tudi vpliv motenj iz električnega omrežja (50 Hz). Optična moč laserjev je nastavljena prek vhodne napetosti U_{in} , ki jo krmilimo z vgrajenim sistemom CompactRIO. S krmiljenjem laserjev z izmeničnim signalom in detekcijo »lock-in«, se izniči vpliv svetlobe iz okolice in kratkotrajno lezenje karakteristike laserjev [1].



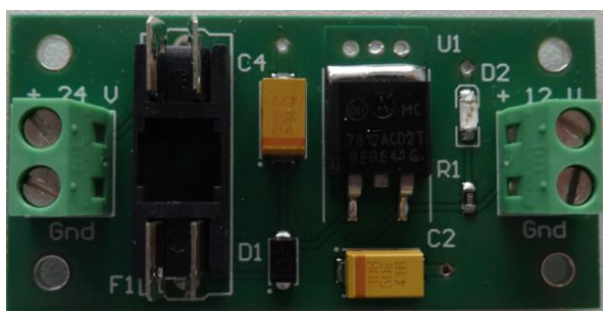
Slika 4: Vezje krmilnika laserskih diod



Slika 5: Shema krmilnika za lasersko diodo

• Glavni regulator napetosti

Glavni regulator napetosti (slika 6) zniža napetost napajalnika s 24 voltov na 12 voltov, ki je primerna napajalna napetost za preostala vezja v sistemu. Zaradi stabilnosti celotnega sistema in zmanjšanja motenj je tudi glavni regulator na posebnem vezju.



Slika 6: Vezje glavnega regulatorja napetosti

• NI CompactRIO

NI CompactRIO je robusten vgrajeni sistem, ki skrbi za zajemanje, obdelavo in shranjevanje signalov v realnem času, služi pa tudi za predstavitev rezultatov končnemu uporabniku. Poleg tega omogoča tudi zelo hitro načrtovanje in programiranje.

• Senzor temperature PT100

Ker na merjenje površinske vlažnosti močno vpliva tudi temperatura, je v sistem dodan tudi senzor temperature Pt100, ki izmeri temperaturo čim bližje merjenemu vzorcu. S tem lahko v vsakem trenutku zagotavljamo natančen podatek o temperaturi v okolici merilnega mesta.

• Preskusno merilno mesto

Preskusno merilno mesto, ki ga vidimo na sliki 7, je bilo sestavljeno iz nastavljivega merilnega nastavka, na katerega je bil privijačen optični vodnik, ter namenskega nastavka, ki je natančno pozicioniral merjeni vzorec. Mogoče je bilo tudi prilagajanje merilnega nastavka optičnega vlakna na preskusnem mestu.

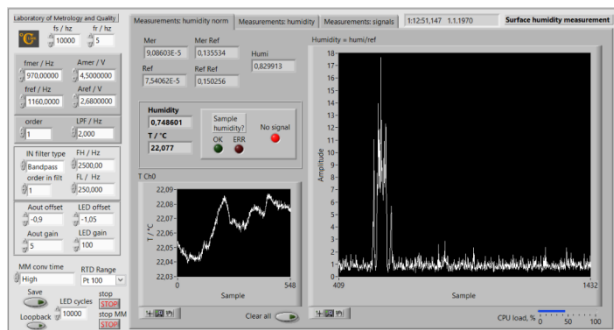


Slika 7: Preskusno merilno mesto

3.2 Uporabniški vmesnik

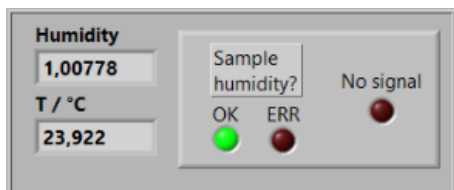
Uporabniški vmesnik deluje prek omrežja LAN. Za delovanje potrebujemo brezplačen vtičnik LabView za Internet Explorer ali drug brskalnik.

Na uporabniškem vmesniku lahko vidimo relativno vlažnost, temperaturo ter grafa potekov obeh veličin skozi čas, omogoča pa nam tudi spreminjanje nastavitvev. Uporabniški vmesnik je prikazan na sliki 8.



Slika 8: Uporabniški vmesnik

Za končnega uporabnika sta najpomembnejši del uporabniškega vmesnika podatek o relativni vrednosti, ki je odvisna od površinske vlažnosti, in podatek o temperaturi okolice merjenega vzorca (slika 9). Signalne diode kažejo stanje procesa (*OK* – površinska vlažnost vzorca znotraj dovoljene meje, *ERR* – površinska vlažnost vzorca zunaj dovoljene meje, *No Signal* – okvara na povezavi s senzorjem ali odstranjen vzorec). Preostali podatki, ki jih lahko vidimo na uporabniškem vmesniku (slika 9), so namenjeni nastavljanju pravilnega delovanja laserjev in spreminjanju drugih parametrov.



Slika 9: Uporabniški vmesnik (vrednost relativne vlažnosti, temperature in kontrolne lučke)

4 REZULTATI

Na sliki 10 je prikazana sprememba relativne vlažnosti pri meritvi suhega vzorca (prvi del krivulje), ki je bil en mesec v komori z 10-odstotno relativno vlago pri 20°C in meritvi mokrega vzorca (drugi del krivulje), ki je bil 24 ur namočen v vodo (100-odstotna vlaga). Meritev je bila izvedena na eni točki vzorca polimernega dela motorja. Na grafu vidimo, da se vrednost relativne površinske vlažnosti povzpne iz 1,05 (suh vzorec) na 1,25 (moker vzorec). Ker pa površina vzorca ni enakomerna in ker se vrednost relativne površinske vlažnosti na različnih delih vzorca razlikuje, bo najbrž treba vzorec vrteti in iz povprečja meritev določiti natančno vrednost relativne površinske vlažnosti.

Po daljši izpostavljenosti vlagi lahko mokri vzorci spremenijo barvo, za kar bo potrebno dodatno preskušanje vpliva spremembe barve na merilni rezultat.

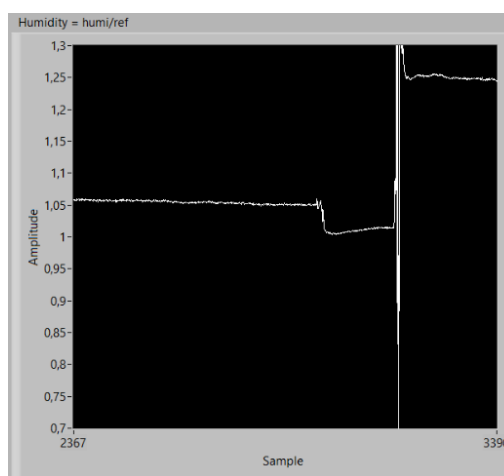
Tiskana vezja so bila razvita in preskušena v laboratoriju za metrologijo in kakovost. Funkcionalnost tiskanih vezij je bila preverjena s preskušanjem na enakih vzorcih, kot so bila preskušena prototipna vezja. Po prvih preskušanjih nismo dobili pravega odziva, zato smo se poglobili v preverjanje vezij. Preverili smo napajanje vezja zaradi prevelike porabe električnega toka in ugotovili, da je težava v napačni povezavi napetostnega regulatorja na tiskanem vezju za krmiljenje laserskih diod. Po pravilni vezavi in s tem odpravljeni težavi so rezultati pokazali, da so izmerjene vrednosti relativne površinske vlažnosti vzorca reprezentativne in zanesljive.

5 SKLEP

Rezultati kažejo na dobro delovanje senzorja površinske vlažnosti. Senzor se je pokazal kot primeren in dovolj zanesljiv za implementacijo v proizvodni liniji.

Po preskusih, pregledu rezultatov in dogovoru s podjetjem Domel, d.o.o., smo se odločili, da bo zaradi neenakomerne površine vzorca potrebna adaptacija držala vzorca, ki bo le-tega vrtel. S tem bo vlažnost izmerjena po celotni površini vzorca, iz povprečja meritev pa bo nato izračunana relativna površinska vlažnost vzorca, ki bo natančnejša in bolj reprezentativna kot meritev vzorca le na enem mestu.

Po prilagoditvah, ki bodo še izvedene na merilnem nastavku, bo potrebno ponovno preskušanje senzorja za merjenje površinske vlažnosti.



Slika 10: Graf razlike relativne površinske vlažnosti med suhim in mokrim vzorcem

LITERATURA

- [1] C. Byung Il, N. Hyunsoo, W. Sang Bong, K. Jong Chul, and K. Su Yong, "Design, Construction and Performance Test of a Reflection Type Quadruple Beam Infrared Moisture Meter" *Proc. 5th Int. Symp. Humidity Moisture – ISHM 2006 Rio Jan. Bras. 2006.*
- [2] S. Beguš, G. Begeš, J. Drnovšek, and D. Hudoklin, "A novel NIR laser-based sensor for measuring the surface moisture in polymers," *Sens. Actuators Phys.*, vol. 221, pp. 53–59, Jan. 2015.

Marko Sitar je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani s področja avtomatike. Trenutno končuje magistrski študij na področju robotike, usmerja pa se tudi v elektroniko, elektronska vezja in komponente.

Samo Beguš je doktoriral na področju preciznega merjenja gostote magnetnega pretoka s pomočjo jedrske magnetne resonance. Ukvarja se z meritvami v akustiki, magnetiki, termometriji, higrometriji ter z razvojem senzorjev in merilnih sistemov.

Gaber Begeš je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Doktoriral je leta 2009. Področje zanimanja je tehniška kakovost v najširšem pomenu. Merjenje za zagotavljanje tehniške kakovosti in uporaba orodij za zagotavljanje kakovosti sta glavni temi za raziskave in delo s študenti in industrijskimi partnerji.

Janko Drnovšek je po magisteriju v Imperial College of Science and Technology v Londonu doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in bil nato štiri leta vodja razvoja v IskraEmeco. Od leta 1986 je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je od leta 1996 redni profesor. Ukvarja se s teorijo merjenj, merilnimi metodami in merilno instrumentacijo. Je podpredsednik evropskega združenja nacionalnih meroslovnih laboratorijev Euramet.

Domen Hudoklin je docent na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od leta 1997 se na področju higrometrije ukvarja z razvojem merilnih principov vlagomerov, razvojem in vzdrževanjem referenčnih etalonov ter prenosom vrednosti in uporabo v industriji.