

PIEZOELEKTRIČNI SENZORI I NJIHOVA PRIMENA NA POLJOPRIVREDNIM MAŠINAMA

PIEZOELECTRIC SENSORS AND THEIR APPLICATION IN AGRICULTURAL MACHINES

Vukić, Đ., Ercegović, Đ., Radičević, B., Oljača, M., Gligorević, K., Pajić, M.*

REZIME

Piezoelektrični senzori spadaju u grupu elektromehaničkih senzora i koriste se u svim oblastima nauke i tehnike, uključujući i poljoprivrednu tehniku. U radu je objašnjen fenomen piezoelektriciteta i dat je princip rada, karakteristike, način izvedbe i merne šeme sa piezoelektričnim sensorima. Kao tipična ilustracija primene ove vrste senzora u poljoprivrednoj tehnici prikazana je njihova primena na poljoprivrednim kombajnama za merenje gubitaka zrna.

Ključne reči: piezoelektricitet, senzor, merenje, merne šeme, gubitak zrna

SUMMARY

Piezoelectric sensors belong to the group of electromechanical sensors. They are used in all fields of science and technology, including in the agricultural machines. This paper explains the phenomenon of piezoelectricity and presents the principle of work, characteristics, way of realization and measuring schemes with piezoelectric sensors. As an typical illustration of the application of this kind of sensors in agricultural machines, their application in agricultural combine harvesters is presented, for the measurement of grain loss.

Keywords: piezoelectricity, sensor, measurement, measuring scheme, grain loss

UVOD

Piezoelektrični efekat se javlja kod nekih čvrstih tela i predstavlja vid pretvaranja mehaničke energije u električnu i obrnuto. Taj efekat je polarizacija nekih kristala pod uticajem spoljašnjih mehaničkih sila koje ta tela (kristale) istežu ili sabijaju u pravcu jedne od kristalografskih osa. Na graničnim površinama ovakvih tela javljaju se električna opterećenja. Po prestanku dejstva sile kristal postaje ponovo u električnom pogledu neutralan. Inače, piezoelektrični materijali spadaju u dielektrike (izolatore) koji imaju dipolnu strukturu.

* Prof. dr Đukan Vukić, prof. dr Đuro Ercegović, asistent mr Branko Radičević, dipl.ing.el., prof. dr Mićo Oljača, Kosta Gligorević, dipl.ing., Miloš Pajić, dipl.ing., Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku, Nemanjina 6, 11080 Beograd – Zemun, vukicd@agrif.bg.ac.rs

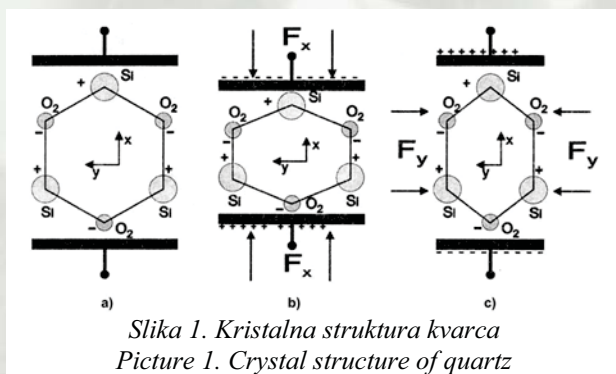
Piezoelektrični efekat su eksperimentalno otkrili braća Pjer i Žak Kiri 1880. godine. Najpoznatiji prirodni piezomaterijali su kvarc, Rošelova so, Senjetova so, amonijum-dihidrogen-fosfat i turmalin. Godine 1944. ustanovljeno je da piezoelektrična svojstva poseduju i neki keramički materijali, a već 1947. godine napravljen je prvi piezoelektrični senzor na bazi barijum-titanata.

Piezoelektrični senzori su generatorski pretvarači koji pretvaraju pritisak, istezanje ili torziju usled delovanja sile u količinu elektriciteta. Za proizvodnju piezoelektričnih senzora danas se najčešće koriste kristali dobijeni veštački i to keramika na bazi barijum-titanata i olovo-cikronata. Za merenje i registrovanje niskih pritisaka obično se koristi kristal olovo-cikronat koji ima veliku osetljivost.

Piezoelektrični senzori se koriste u svim oblastima nauke i tehnike, uključujući i poljoprivrednu tehniku. Najčešće se koriste za prijem i predaju zvuka u vazduhu i vodi, za otkrivanje i lociranje podvodnih ciljeva, za merenje statičkih i dinamičkih pritisaka, za merenje vibracija i udara i dr. Tipičan primer primene piezoelektričnih senzora u poljoprivrednoj tehnici je njihova primena na poljoprivrednim kombajnima za merenje gubitaka zrna, što je prikazano u ovom radu.

PRINCIP RADA PIEZOELEKTRIČNIH SENZORA

Princip rada piezoelektričnih senzora, odnosno pojava piezoelektriciteta pri deformaciji kvarca može se objasniti na uprošćenoj šemi kristalne ćelije posmatrane iz pravca optičke z-ose, [1], [2]. Hemijska formula kvarca je Si_2O_3 pri čemu su atomi Si pozitivni, a O_2 negativni. Atomi su smešteni u temenima heksagonalne ćelije. Elektrode dobijene metalizacijom površine pretvarača omogućavaju stvaranje polja, odnosno odvođenje izlaznog napona. Kod kvarcnog pretvarača sa debljinskom deformacijom elektrode su smeštene normalno na pravac x-ose. Na



Slika 1. Kristalna struktura kvarca
Picture 1. Crystal structure of quartz

ploči pozitivnog naelektrisanja (slika 1.b). Ako se ista ćelija podvrgne sili u normalnom pravcu, tj. duž y-ose, na elektrodama će se pojaviti ista količina elektriciteta, ali sa suprotnim znakom (slika 1.c). Ukoliko sila deluje duž z-ose, na elektrodama se ne dobija naelektrisanje, što znači da je osetljivost u z pravcu jednaka nuli.

Model kristala kvarca prikazan na slici 1 može da posluži i za ilustraciju inverznog piezoelektričnog efekta, koji se sastoji u deformaciji pretvarača ako se na njegove ploče dovede određena količina elektriciteta.

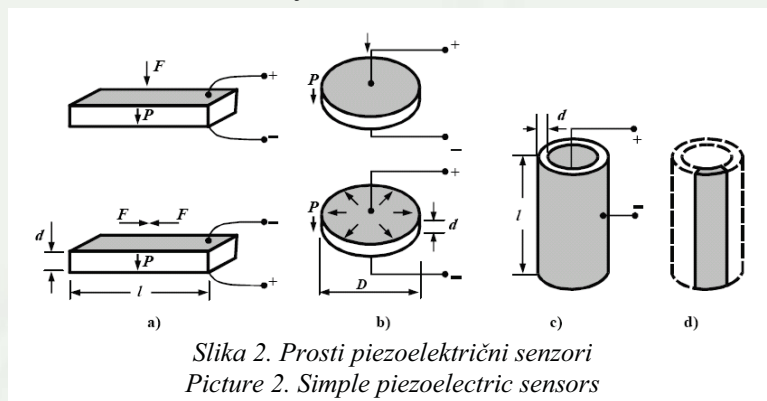
slici 1 prikazana je uprošćena šema kristalne strukture kvarca u vezi sa ilustracijom i objašnjenjem piezoelektrične pojave na kojoj se zasniva princip rada piezoelektričnih senzora.

U nedeformisanom stanju sva naelektrisanja su međusobno kompenzovana, pa je napon između elektroda jednak nuli (slika 1.a). Pri dejstvu sile u pravcu x-ose na gornjoj ploči se pojavljuje višak nosilaca negativnog, a na donjoj

Kod ovih piezoelektričnih materijala javlja se tzv. piroelektrični efekat. On se sastoji u pojavi napona ako se pretvarač izloži brzom temperaturnoj promeni. Piroelektrični efekat izaziva smetnje pri merenjima piezoelektričnim pretvaračima ako se temperatura okoline naglo menja.

IZVEDBE PIEZOELEKTRIČNIH SENZORA

Piezoelektrični senzori se dele na proste, višestruke i transformatorske, [2], [3]. Prosti piezoelektrični senzori se grade u obliku prizme, diska, cilindra ili dela cilindra (slika 2). Ovi senzori se karakterišu osetljivošću i čvrstinom.



Najveću osetljivost ima piezoelektrik u obliku trake, ali ima malu čvrstinu i lako se lomi pod uzdužnim naprezanjima. Oblik diska je povoljniji od trake u pogledu čvrstine, dok najbolju čvrstinu ima senzor u obliku cilindra, ali ga je tehnološki najteže

proizvesti. Inače, glavni nedostaci prostih piezoelektričnih senzora su mali izlazni napon i slaba mehanička čvrstoća.

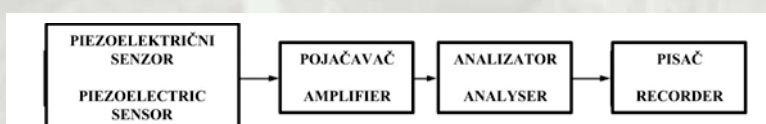
Višestruki piezoelektrični senzori se grade redno-paralelnim vezivanjem više prostih piezoelektričnih senzora i navedeni nedostaci prostih piezoelektričnih senzora su kod njih manje izraženi.

Transformatorski piezoelektrični senzori se sastoje iz dve piezoaktivne sekcije, [2]. Prva sekcija radi na principu inverznog piezoelektrika, a druga na principu direktnog dielektrika. Senzori ovog tipa se primenjuju za merenje električnih veličina (struja, napon, frekvencija).

MERNE ŠEME SA PIEZOELEKTRIČNIM SENZORIMA

Tipična merna šema sa piezoelektričnim sensorima, koja je prikazana na slici 3, ima četiri elementa: piezoelektrični senzor, pojačavač, analizator i pisar.

Uloga pojačavača je da pojača relativno slab izlazni signal senzora i da transformiše visoku izlaznu impedansu



Slika 3. Merna šema sa piezoelektričnim sensorom
Picture 3. Measuring scheme with a piezoelectric sensor

senzora na nižu vrednost. Osnovni deo pojačavača naelektrisanja čini konvertor naelektrisanja u napon koji po svojoj strukturi predstavlja operacioni pojačavač velikog koeficijenta pojačanja i vrlo velike ulazne otpornosti.

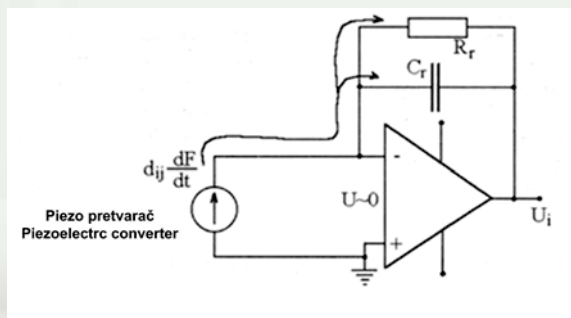
Na slici 4 prikazana je ekvivalentna šema piezoelektričnog senzora priključenog na konvertor naelektrisanja u napon.

Kao element za negativnu reakciju primenjen je kondenzator C. Paralelno sa kondenzatorom kod praktičnih pojačavača vezuje se otpornik R, koji omogućava kvalitetno statičko merenje, [2].

Potpuna blok šema pojačavača naelektrisanja prikazana je na slici 5.

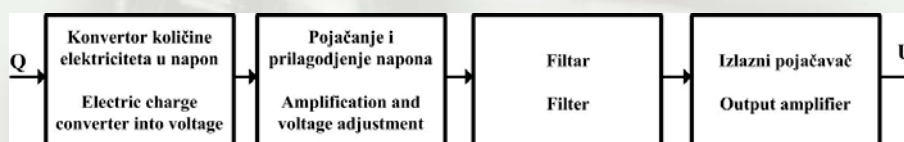
Nakon konverzije količine elektriciteta u napon, signal se prilagođava po amplitudi, s obzirom na osetljivost pretvarača. Po potrebi ovaj stepen može da sadrži i galvansko odvajanje ulaza od izlaza.

Analizator služi za merenje nekih karakteristika signala (vršne vrednosti, koren srednje kvadratne vrednosti, srednja apsolutna vrednost i dr.).



Slika 4. Ekvivalentna šema pojačavača naelektrisanja

Picture 4. Equivalent scheme of the electric charge amplification



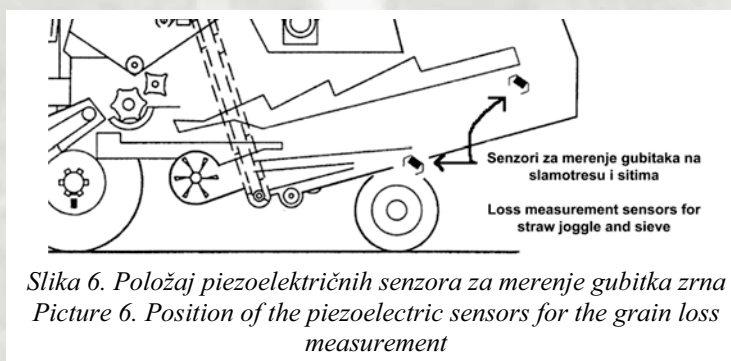
Slika 5. Potpuna blok šema pojačavača naelektrisanja

Picture 5. Full block scheme of the electric charge amplification

PRIMENA PIEZOELEKTRIČNIH SENZORA NA POLJOPRIVREDNIM MAŠINAMA

Piezoelektrični senzori nalaze primenu na samohodnim poljoprivrednim kombajnima i to u okviru uređaja za merenje gubitaka zrna. Osnovni element tog uređaja je piezoelektrični senzor eliptičnog poprečnog preseka. Takav oblik

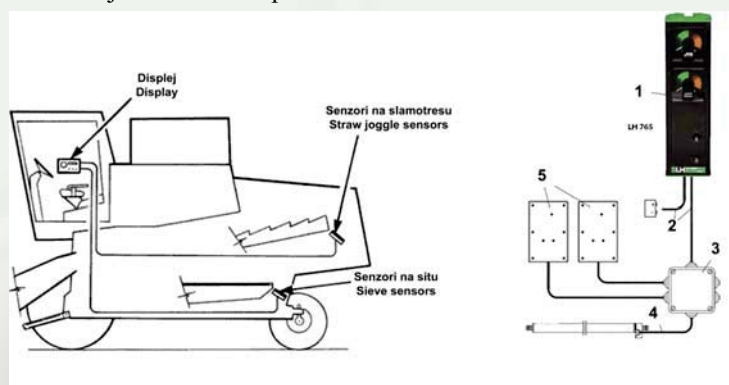
senzora je primenjen zato što to rešenje omogućava podešavanje aktivne površine senzora zakretanjem oko podužne ose i pruža mogućnost relativno dobrog odvođenja nataloženih



Slika 6. Položaj piezoelektričnih senzora za merenje gubitka zrna
Picture 6. Position of the piezoelectric sensors for the grain loss measurement

žetvenih otpadaka. Senzor je u obliku sonde koja ima osetljivost na celoj svojoj dužini.

Uređaj za merenje gubitaka zrna se realizuje ili sa jednom piezoelektričnom sondom za merenje gubitaka slobodnog zrna u slami ili sa dve piezoelektrične sonde za merenje gubitaka slobodnog zrna u slami i gubitaka slobodnog zrna u plevi. Na ekranu bord monitora u kabini, moguće je prikazati samo jedne, druge ili ukupne gubitke, [4], [5]. Zrna kulture koja se ubiraju izazivaju mehaničke impulse padajući na sonde gde se pretvaraju u električne impulse koji se prenose do elektronskog snopa u kome se sumiraju i pojačavaju. Karakteristika električnog signala duž cele sonde je konstantna i prenosi se do indikatora.



Slika 7. Savremeni sistem za praćenje gubitaka zrna sa piezoelektričnim senzorim i položaj njegovih komponenti na kombajnu (1. Displej, 2. Kablovi za povezivanje, 3. Sabirna kutija, 4. Kabl za povezivanje senzora sita, 5. Senzori slamotresa)

Picture 7. Grain loss actual tracking system with the piezoelectric sensor and the position of his components in the agricultural combine harvester (1. Display, 2. Connecting cables, 3. Assemble box, 4. Cable for the connecting sieve sensors, 5. Straw joggle sensors)

Piezoelektrični senzori se ugrađuju na stacionarne delove kombajna ispod sita i slamotresa i pričvršćuju pomoću gumenih amortizera (slika 6). Gumeni amortizeri prilikom procesa žetve omogućavaju, usled vibracija, automatsko čišćenje sonde. Inače, piezoelektrični senzor u ovom slučaju reaguje samo na pad ili udar zrna o sondu, dok na ostale materijale ne reaguje. Ako vrednost apsolutnih gubitaka zrna pređe maksimalnu dozvoljenu vrednost, koja je unapred zadata, aktivira se indikator na ekranu bord kompjutera u kabini rukovaoca koji na taj način na to upozorava.

Na slici 7 može se videti jedan savremeni sistem za praćenje gubitaka zrna koji u svom sastavu ima tri piezoelektrična senzora, i to, dva za praćenje gubitaka na slamotresu i jedan piezoelektrični senzor za praćenje gubitaka na sitima.

Pritisak u pneumaticima savremenih radnih i transportnih mašina je veoma bitan element u toku kretanja (različite vrste podloga) i eksploatacije. Specijalni piezoelektrični senzor za



Slika 8. Merenje pritiska u pneumaticima (TPS sistem - Siemens VDO Corp.)

Picture 8. Pneumatic pressure measurement (TPS system - Siemens VDO Corp.)

pritisak (slika 8) ugrađen je u metalni naplatak. Pritisak vazduha deluje na piezoelektrični davač (tip: prosti disk) koji je ugrađen sa unutrašnje strane naplatka, i njegova vrednost se preko bežične (wierles) antene prenosi u prijemnik signala, a zatim do board kompjutera. Rukovaoca mašine očitava trenutni pritisak u pneumatiku. Podatak o vrednosti pritiska u pneumaticima bitno utiče na eventualno regulisanje režima eksploatacije i brzine kretanja radnih mašina po različitim vrstama i tipovima podloga u toku poljoprivrednih radova.

ZAKLJUČAK

U radu je opisana primena piezoelektričnih senzora na poljoprivrednim mašinama. Piezoelektrični senzori spadaju u grupu elektromehaničkih senzora i koriste se u svim oblastima nauke i tehnike, uključujući i poljoprivrednu tehniku. Primeri ugradnje piezoelektričnih senzora za merenje gubitka zrna kod žitnih kombajna omogućavaju precizno praćenje količine gubitaka zrna, čije numeričke vrednosti omogućavaju intervenciju rukovaoca mašine na vreme, kako bi se smanjili gubici u toku žetve. Takođe, jedna od primena savremenih piezoelektričnih senzora je njihova ugradnja i kontrola pritiska u pneumaticima, koja predstavlja pouzdan metod kontrole stanja i sigurnosti rada pneumatika u toku eksploatacije poljoprivrednih mašina.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat istraživanja koja se sprovode u okviru realizacije projekta „Efekti primene i optimizacije novih tehnologija, oruđa i mašina za uređenje i obradu zemljišta u biljnoj proizvodnji“, evidencionog broja TR 20092, koga finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1.] Webster J.: Instrumentation and Sensors Handbook, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA, 1998.
- [2.] Stanković D.: Fizičko-tehnička merenja, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1997.
- [3.] Popović M.: Senzori i merenja, Zavod za udžbenke i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
- [4.] Marković D., Veljić M., Krejić Z.: Merni sistemi na samohodnim poljoprivrednim kombajnima, Poljoprivredna tehnika, Vol. 30, br. 4, p.p. 35-46, Beograd, 2005.
- [5.] Marković D., Simonović V.: Autmatizacija žitnih kombajna, Savremena poljoprivredna tehnika, Vol. 34: 3-4, p.p. 244-250, Novi Sad, 2008.
- [6.] Vukić Đ.: Osnovi elektrotehnike i električnih merenja, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2004.
- [7.] Vukić, Đ., Oljača, M., Ercegović, Đ., Radičević, B.: Senzori ugaone brzine i njihova primena u poljoprivrednoj tehnici, Traktori i pogonske mašine, Vol. 13, No 3, Novi Sad, 2008.
- [8.] Clarence W. de Silva: Sensors and Actuators: Control System Instrumentation, CRC, 2007
- [9.] Oljača M., Gligorević K., Branković M., Dimitrovski Z., Tanevski D.: Primena elektronskih komponenti na traktorima i radnim mašinama u funkciji povećanja kontrole sigurnosti i eksploatacije, Poljoprivredna tehnika, N01, p.p. 107-118, Beograd, 2005.
- [10.] <http://ecat.georgfischer.com>
- [11.] <http://www.virmak.com/industry/senzori/senzori-pritiska.htm>

Rad primljen: 12.10.2009.

Rad prihvaćen: 19.10.2009.