

UTICAJ TRANSDJUSERSKOG KUĆIŠTA NA DINAMIČKI ODZIV SENZORA PRITISKA SA ZAŠTITNIM ULOŠKOM

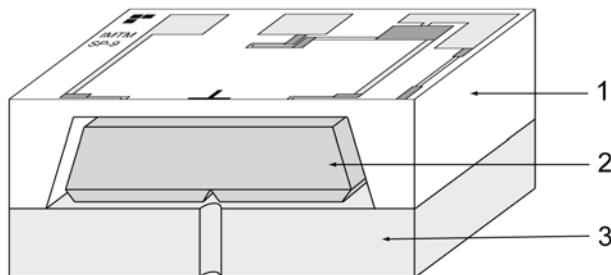
Vladislav Jovanov, Miloljub Smiljanić, Miloš Frantlović, Miloš Vorkapić
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju – Centar za mikroelektronske tehnologije i monokristale
Njegoševa 12, 11000 Beograd

Abstrakt – Eksperimentalno je proučavan uticaj komponenti IHTM transdjusera na njegov dinamički odziv. Dobijeni rezultati su pokazali da je dinamički odziv zavisao od ispitivanih sastavnih delova transdjusera. Utvrđeno je i da se korišćenom mernom metodom može ispitivati kvalitet transdjusera.

1. UVOD

Piezootporni senzori pritiska se koriste u različitim industrijskim postrojenjima za merenje pritiska fluida. U ovakvim postrojenjima često dolazi do hidrauličnih udara koji se manifestuju kao kratkotrajni impulsi pritiska čija vrednost značajno prevazilazi merni opseg senzora. Pojave ovakvih hidrauličnih udara dovode do nestabilnih uslova rada senzora pritiska, a u slučaju velikog preopterećenja i do uništenja senzora. U IHTM-CMTM su razvijeni silicijumski piezootporni senzori pritiska namenjeni za rad u nestabilnom okruženju, projektovani da izdrže velika preopterećenja.

Prilikom istraživanja senzora pritiska uništenih pri pojavi hidrauličnih udara utvrđeno je da pri velikom preopterećenju dolazi do pucanja dijafragme senzora. Potpuna zaštita senzora pri pojavi preopterećenja se ostvaruje ako se obezbedi da dijafragma senzora nalegne na ravnu podlogu. U skladu sa ovim zaključcima dizajniran je piezootporni senzor pritiska otporan na preopterećenja [2]. Osnovu ovog senzora čini čip prikazan na slici 1.



Slika 1. Skica poprečnog preseka čipa sa zaštitnim uloškom
1) pelet 2) zaštitni uložak 3) staklena podloga.

Pelet čipa se izrađuje od monokristalnog silicijuma n-tipa kristalne orijentacije (100). Formiranje dijafragme se vrši anizotropnim nagrizanjem, dok su piezootpornici p-tipa dobijeni difuzijom bora, a orijentisani su duž pravca $\langle 110 \rangle$ ose kristala. Time se koriste pravci najvećeg napreznja prilikom ugiba dijafragme. Postoje četiri piezootpornika postavljena po obodu dijafragme, dva normalna na ivicu i dva paralelna sa ivicom dijafragme. Ova četiri piezootpornika formiraju Weathstone-ov most.

Zaštitni uložak se izrađuje tehnologijom mikromašinstva na sličan način kao što se izrađuje i senzorska dijafragma [5]. Koriste se dve maske, jedna za gornju površinu i druga kojom se formiraju kanali za prolazak fluida (vazduh ili ulje) sa donje strane uloška. Zatim se vrši se dvostrani fotopostupak, a uložak se formira anizotropnim nagrizanjem

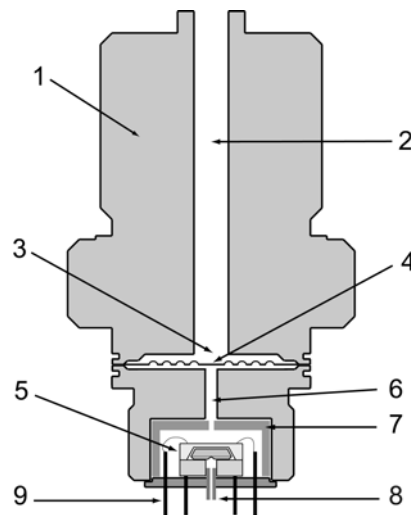
u 30% vodenom rastvoru KOH i to istovremeno sa obe strane uloška. Kanali za fluid su potrebni za relativne i diferencijalne senzore pritiska.

Čip sa zaštitnim uloškom se postupkom anodnog bondovanja spaja sa staklenom podlogom i zatim ugrađuje na kućište sa električnim kontaktima. Otpornici se postupkom bondovanja povezuju pomoću zlatne žice sa kontaktima na kućištu. Tako izrađen senzor pritiska se potom zavaruje u zaštitno metalno kućište, čime se formira transdjuser.

U ovom radu je eksperimentalno proučavan uticaj sastavnih komponenti transdjuserskog kućišta na dinamički odziv senzora pritiska kao i mogućnost razvoja merne metode kojom bi se na osnovu dinamičkog odziva testirao kvalitet kako samog transdjusera tako i njegovih komponenti.

2. OPIS METODE

Postoji više tipova zaštitnih metalnih kućišta za izradu transdjusera. U ovom radu je proučavan najzastupljeniji model IHTM transdjusera Tp-110. U zavisnosti od toga da li je senzor u transdjuseru relativni ili apsolutni uvode se oznake Tpr-110 i Tpa-110 respektivno. Na slici 2. prikazan je poprečni presek transdjusera Tpr-110.



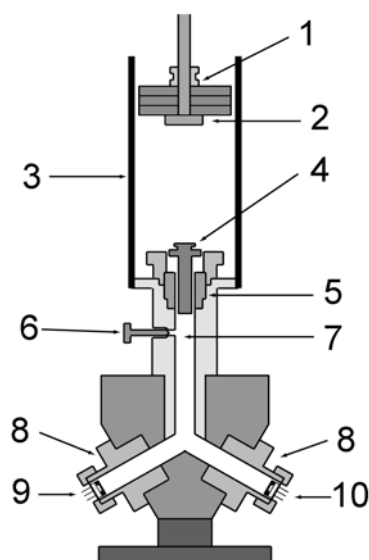
Slika 2. Šematski prikaz transdjusera pritiska Tpr-110
1) metalno kućište 2) ulazni kanal 3) ulazna predkomora
4) metalna dijafragma 5) senzor pritiska 6) uljna ispuna senzora
7) teflonska kapica 8) uvodnik referentnog pritiska
9) električni kontakti.

Metalni delovi kućišta transdjusera se izrađuju na strugu i praktično su isti za svaki transdjuser. Između dva metalna dela kućišta se stavlja izgravidirana metalna folija debljine 25 μm posle čega se ovi delovi spajaju pomoću plazma zavarivanja. Nakon zavarivanja, u metalno kućište se ubacuje teflonska kapica i zatim se senzor pritiska zavari za kućište. Na kraju se transdjuser puni uljem. Ulje služi da

prenese pritisak fluida od metalne dijafragme do senzora pritiska. Uloga teflonske kapice je da smanji ukupnu količinu ulja u transdjuserskom kućištu i time da smanji osetljivost transdjusera na temperaturne promene okoline.

Metalne dijafragme i teflonske kapice se prave pojedinačno i mogu se razlikovati od komada do komada. Stoga je potrebno na neki način kontrolisati njihov kvalitet. Pri statičkim merenjima pritiska kvalitet transdjusera zavisi samo od osobina senzora pritiska dok se kvalitet samog transdjusera i njegovih komponenti može ispitivati samo pri dinamičkim promenama pritiska.

Dinamičke promene pritiska su generisane pomoću generatora brzih impulsa pritiska koja je projektovan i izrađen u IHTM-CMTM [1]. Izgled uređaja za generisanje brzih impulsa pritiska i njegovi elementi prikazani su na slici 3.



Slika 3. Uređaj za generisanje brzih impulsa pritiska
1) tegovi 2) nosač tegova 3) vodica tegova 4) klip
5) cilindar 6) ispust za ulje 7) kanal napunjen uljem
8) adapteri 9) senzor koji se ispituje 10) referentni senzor.

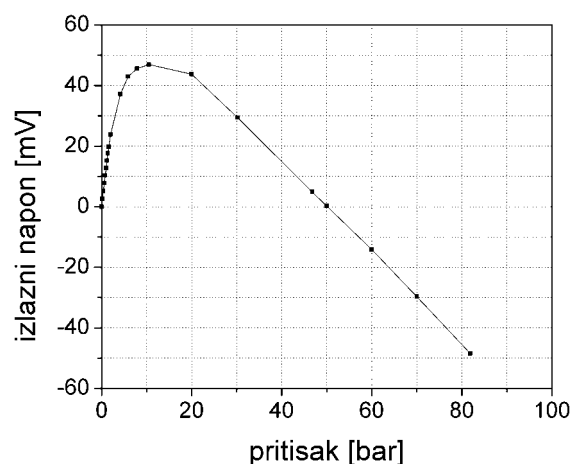
Telo uređaja ima dva identična kanala na čije krajeve se preko adaptera (metalnih kućišta) postavljaju referentni senzor i senzor pritiska koji se ispituju. Impuls pritiska se generiše tako što teg sa neke visine padne na klip. Generisani impuls se preko klipa prenosi na ulje i kroz ulje se prostire do senzora pritiska. U uređaju se osim impulsa pritiska formira i stojeći talas koji se manifestuje kao oscilacije anvelope osnovnog impulsa pritiska. Širina i veličina impulsa pritiska se reguliše pomoću mase tegova kao i visine sa koji tegovi padaju. Impuls pritiska zavisi i od vrste ulja korišćenog za punjenje aparature kao i od ukupne količine ulja u aparaturi. Oscilacije stojećeg talasa zavise od unutrašnje geometrije aparature [1].

Generisani impulsi pritiska su mereni istovremeno pomoću IHTM senzora pritiska sa zaštitnim uloškom i pomoću referentnog senzora pritiska opsega 200 bara. IHTM senzor pritiska bi se zatim ugradio u transdjusersko kućište i merenje bi se ponovilo. Utvrđivanje uticaja transdjuserskog kućišta i njegovih komponenti se vrši poređenjem odziva senzora i transdjusera. Da bi se dinamički odzivi IHTM senzora pritiska i IHTM transdjusera pritiska mogli direktno porediti generisani impulsi pritiska moraju da budu isti, što znači i da ukupna zapremina ulja u aparaturi mora da bude

ista. Stoga je odziv senzora pritiska meren tako što je senzor pritiska stavljen u transdjusersko kućište koje je napravljeno bez metalne dijafragme i bez teflonske kapice. Na taj način su uslovi merenja (generisani impuls i oscilacije stojećeg talasa) bili isti kao kada je vršeno merenje odziva transdjusera. Senzorski most se napaja pomoću strujnog izvora od 2 mA. Izlazni signali sa senzora pritiska, odnosno transdjusera, i referentnog senzora se direktno vode na digitalni osciloskop Tektornix TDS 3032B. Svako merenje je ponavljano najmanje četiri puta i podatke za ova četiri merenja je osciloskop automatski usrednjavao. Tako dobijeni podaci su potom prebacivani sa digitalnog osciloscopa na računar da bi se obradili i napravili grafici.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Za potrebe eksperimenta i svih merenja korišćen je isti IHTM senzor pritiska sa zaštitnim uloškom čija je statička karakteristika data na slici 4. Ofset je na svim dijagramima sveden na nulu radi lakšeg poređenja rezultata. Unutar mernog opsega senzora sa zaštitnim uloškom karakteristika je linearna. Povećanjem pritiska iznad mernog opsega električni izlaz senzora postepeno prestaje da se povećava. Pri tim vrednostima pritiska dijafragma senzora postepeno naleže na zaštitni uložak. Daljim povećanjem pritiska izlazni napon senzora ponovo postaje linearan sa pritiskom. Tada se senzor nalazi u blokadi, odnosno dijafragma senzora je potpuno nalegla na zaštitni uložak [2].

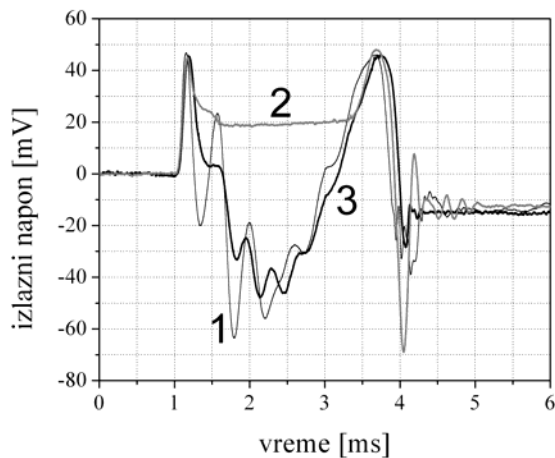


Slika 4. Statička karakteristika IHTM senzora pritiska

Merenja su vršena uvek pri istim uslovima: korišćen je teg mase 160 grama, visina sa koje je teg padao iznosi 19 cm. Prvo je snimljen dinamički odziv IHTM senzora pritiska koji se nalazio u transdjuserskom kućištu bez metalne dijafragme i teflonske kapice. Potom je ubačena teflonska kapica i merenje je ponovljeno. Na kraju je vršeno merenje kada se senzor nalazio u transdjuserskom kućištu sa metalnom dijafragmom ali bez teflonske kapice. Na slici 5. su prikazani snimljeni dinamički odzivi.

Sa grafika predstavljenih na slici 5. se vidi da se uzlazna ivica odziva poklapa u sva tri merenja. Može se zaključiti da metalna dijafragma i teflonska kapica nemaju uticaja na usponsku ivicu odziva. Oscilacije formiranog stojećeg talasa vidljive su na odzivu senzora i na odzivu gde je u kućište ubačena teflonska kapica. Oscilacije se nalaze na "trihu" odziva pošto vrednost impulsa pritiska pređe 20 bara (slika 8. grafik 1.), odnosno kada senzor uđe u blokadu. Teflonska kapica utiče na ove oscilacije tako što ih ublažuje, raspored maksimuma i minimuma se razlikuje jer kapica menja unutrašnju geometriju transdjusera (grafik 3. slika 5.). Kod

transdjuserskog kućišta sa metalnom dijafragmom nema oscilacija stojećeg talasa i čitav "trbuh" odziva je zaravljnjen (grafik 2. slika 5.). Metalna dijafragma se na neki način ponaša kao blokada i ne prenosi celokupan impuls pritiska na senzor.

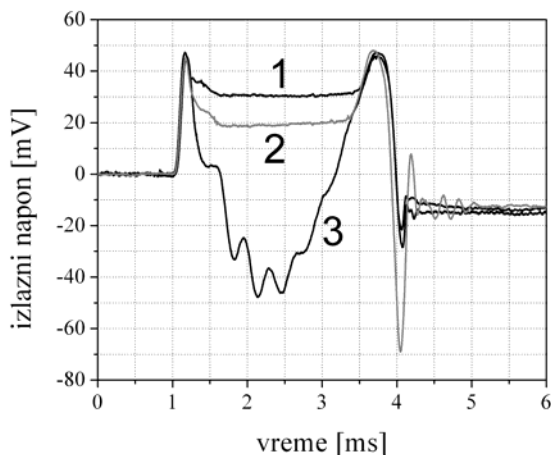


Sl.5. Dinamički odziv

- 1) IHTM senzora pritiska u transdjuserskom kućištu bez metalne dijafragme i teflonske kapice
- 2) IHTM transdjusera pritiska bez teflonske kapice
- 3) IHTM senzora pritiska u transdjuserskom kućištu sa teflonskom kapičom ali bez metalne dijafragme.

Na osnovu grafika sa slike 5. može se zaključiti da metalna dijafragma i teflonska kapica utiču na produženje trajanja impulsa u transdjuseru. Iako nije značajnija razlika ipak se vidi da teflonska kapica uzrokuje duži impuls pritiska u poređenju sa metalnom dijafragmom.

Nakon ovih merenja preostalo je da se ispita dinamički odziv kompletnog transdjusera pritiska i da se utvrdi u kojoj meri on produžava trajanje impulsa pritiska. Takođe se javila potreba da se ispita pojava blokade koju stvara metalna dijafragma transdjusera.



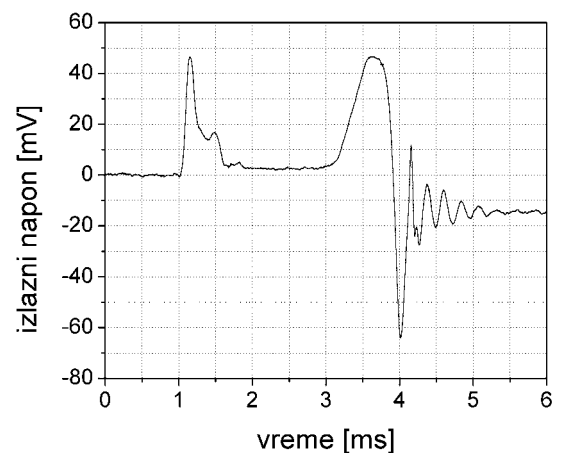
Sl.6. Dinamički odziv

- 1) kompletnog IHTM transdjusera pritiska
- 2) IHTM transdjusera pritiska bez teflonske kapice
- 3) IHTM senzora pritiska u transdjuserskom kućištu sa teflonskom kapičom ali bez metalne dijafragme.

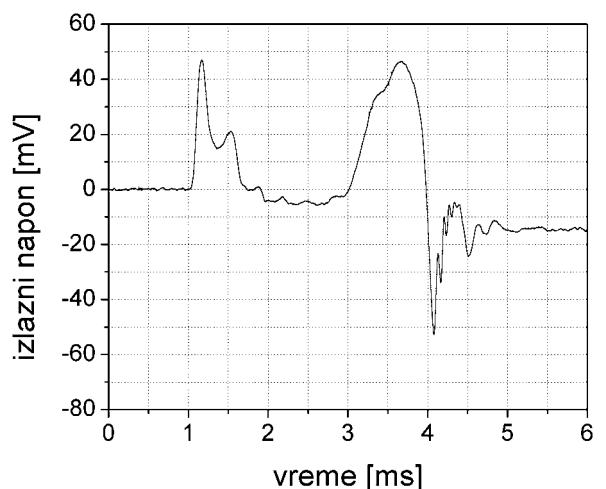
Na slici 6. je predstavljen snimljeni odziv kompletnog transdjusera zajedno sa graficima 2. i 3. sa slike 5. radi lakšeg poređenja. Očekivalo se da će trajanje impulsa pritiska biti najduže kod kompletnog transdjusera, međutim sa slike 6. se vidi da se dužina trajanja impulsa kompletnog transdjusera

(grafik 1. na slici 6.) poklapa sa dužinom trajanja impulsa kod transdjuserskog kućišta sa teflonskom kapičom i bez metalne dijafragme (grafik 3. slika 6.). Izgleda da trajanje impulsa dominantno zavisi od one komponente transdjusera koja ga najviše produžava (teflonska kapica). Poredeći grafike 1. i 2. sa slike 6. primećuje se da se blokada metalne dijafragme javila pri različitim izlaznim naponima senzora pritiska, odnosno unutar transdjusera su ostvareni različiti pritisci. Pojava blokade se razlikuje od transdjusera do transdjusera i karakteriše svaki transdjuser ponaosob. Stoga je vršeno merenje sa ciljem da se utvrdi može li se ovom metodom okarakterisati pojava blokade, a time i sam transdjuser pritiska.

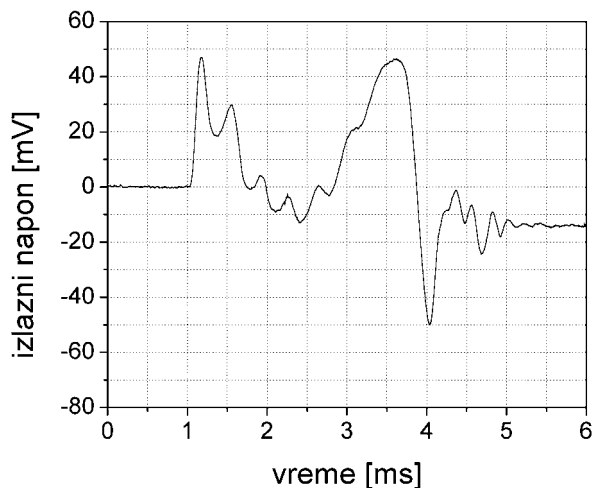
Merenje je vršeno tako što je dužina generisanog impulsa držana konstantnom, ali je menjana maksimalna vrednost impulsa pritiska. Ovo se postiže tako što se masa tege koji pada ne menja ali se menja visina sa koje teg pada [1]. Ovim postupkom se zapravo menja brzina impulsa jer se za isto vreme uspostavlja različita maksimalna vrednost pritiska. Što je veća visina sa koje teg pada to je veća i brzina generisanog impulsa pritiska. Korišćena je masa tege od 160 grama i visine od 11, 14 i 19 cm. U kućište nije bila ugrađena teflonska kapica u želji da se ispita samo uticaj metalne dijafragme.



Sl.7.a. Dinamički odziv IHTM transdjusera za impuls generisan padom tege sa visine od 19 cm.



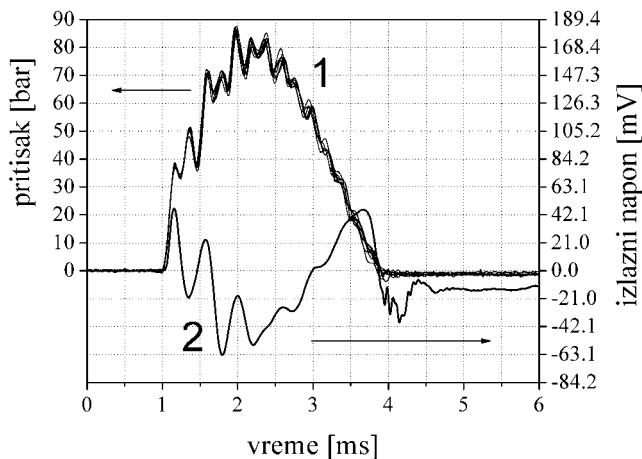
Sl.7.b. Dinamički odziv IHTM transdjusera za impuls generisan padom tege sa visine od 15 cm.



Sl.7.c. Dinamički odziv IHTM transdjusera za impuls generisan padom tega sa visine od 11 cm.

Na slici 7. predstavljeni su snimljeni odzivi. Na slici 7.a. se vidi da metalna dijafragma blokira impuls pritiska i da ne prenosi u potpunosti na senzor pritiska. Sa smanjenjem brzine impulsa blokada dijafragme je sve manja (slika 7.b.). Na slici 7.c. se vidi da je dijafragma skoro u celosti prenela impuls pritiska. Pomoću ove metode moguće je odrediti pri kojoj brzini impulsa dolazi do pojave blokade dijafragme. Karakteristike generisanog impulsa pritiska mogu se odrediti na osnovu odziva referentnog senzora.

Na slici 8. dati su dijagrami odziva referentnog senzora za sva merenja kada je teg mase 160 grama padao sa visine od 19 cm zajedno sa dijagramom odziva IHTM senzora pritiska u transdjuserskom kućištu bez metalne dijafragme i bez teflonske kapice (grafik 1. na slici 5.) radi lakšeg poređenja. Na levoj strani se nalazi skala pritiska u barima, proračunata je na osnovu izlaznog napona referentnog senzora i njegove osetljivosti. Sa desne strane je skala izlaznog napona.



Sl.8. Dinamički odzivi 1) referentnog senzora i 2) IHTM senzora sa uloškom u transdjuserskom kućištu bez metalne dijafragme i bez teflonske kapice.

Sa slike 8. se vidi da se odziv referentnog senzora veoma malo razlikuje od merenja do merenja što govori o dobroj ponovljivosti merenja. Dužina trajanja impulsa koju pokazuje referentni senzor se praktično poklapa sa dužinom trajanja impulsa koju pokazuje IHTM senzor pritiska. Dakle, na osnovu odziva referentnog senzora mogu se odrediti i brzina i trajanje generisanog impulsa pritiska.

4. ZAKLJUČAK

Ekperimentalno je ispitivan uticaj nekih sastavnih komponenti transdjusera na dinamički odziv ugrađenog senzora pritiska. Na osnovu snimljenih dinamičkih odziva transdjusera utvrđeno je da komponente transdjuserskog kućišta utiču na generisani impuls pritiska. Teflonska kapica dominantno određuje trajanje impulsa pritiska kod transdjusera dok se metalna dijafragma ponaša kao neka vrsta zaštite jer blokira brze impulse pritiska.

Za sada ne postoji potpuno objašnjenje za ove dve pojave. Ispitivanja će se nastaviti do razvoja odgovarajućeg modela koji će objasniti dinamičko ponašanje transdjusera pritiska.

Ova metoda pruža i mogućnost kontrole kvaliteta dinamičkog ponašanja transdjusera pritiska. Snimanjem dinamičkog odziva transdjusera moguće je detektovati pojavu neregularnog odziva što bi navelo na zaključak da neka od komponenti transdjusera ili da sam transdjuser nije odgovarajućeg kvaliteta. Moguće je odrediti vreme koliko transdjusersko kućište produžava trajanje impulsa pritiska koji registruje senzor kao i brzinu impulsa pri kojoj dolazi do blokade metalne dijafragme. Ove vrednosti bi karakterisale dinamički odziv transdjusera.

LITERATURA

- [1] Miloljub Smiljanić, Milan Matić, Miloš Frantlović, Vladimir Gajić, Bogdan Popović, Žarko Lazić, "Generator brzih impulsa pritiska za merenje odziva senzora i transmisera pritiska", Zbornik radova 46 Konf za ETRAN, Banja Vrućica – Teslić, 4-7.juna 2002, tom 4, pp. 202-205.
- [2] Milan Matić, Žarko Lazić, Bogdan Popović, Vladimir Gajić, Mirjana Popović, "Uticaj velikog preopterećenja na senzore pritiska - konstrukcija i merenje", Zbornik radova 46 Konf za ETRAN, Banja Vrućica – Teslić, 4-7.juna 2002, tom 4, pp. 206-209.
- [3] Miloljub Smiljanić, Milan Matić, Bogdan Popović, "Ispitivanje pouzdanosti senzora pritiska pod uticajem višestrukih preopterećenja", Zbornik radova 47 Konf za ETRAN, Herceg Novi, 8-13. juna 2003, tom 4, pp. 126-129.
- [4] Milan Matić, Miloš Frantlović, "Promena piezootpornosti prilikom preopterećenja senzora pritiska", Zbornik radova 47 Konf za ETRAN, Herceg Novi, 8-13. juna 2003, tom 4, pp. 130-132.
- [5] Žarko Lazić, Milče Smiljanić, Mirjana Popović, "Projektovanje i tehnološka izrada uloška za zaštitu dijafragme senzora pritiska od preopterećenja", Zbornik radova 48 Konf za ETRAN, Čačak, 6-10. juna 2004, tom 4, pp. 168-171.

Abstract – The influence of IHTM transducer parts on his dynamic response has been experimentally studied. The results have shown that dynamic response is dependant on the examined parts of transducer body. It has been determined that the quality of transducer can be tested with used measure method.

TRANSDUCER BODY INFLUENCE ON DYNAMIC RESPONSE OF PRESSURE SENSOR WITH A PROTECTIVE IMPLANT

Vladislav Jovanov, Miloljub Smiljanić, Miloš Frantlović, Miloš Vorkapić