

MAŠINSKI FAKULTET
UNIVERZITET U NIŠU

DIPLOMSKI RAD

TEMA: KONSTRUKTIVNO REŠENJE OMSKOG
PRETVARAČA ZA MERENJE PRITISKA

Kandidat:
Kulić Dragoljub

Mentor:
dr Bojan Rančić

NIŠ, 2007god.

SADRŽAJ

1.	UVOD	3
2.	PRETVARAČI ZA MERENJE PRITISKA	5
2.1.	Piezoelektrični davači pritiska	5
2.2.	induktivni pretvarači pritiska	6
2.2.1.	Induktivni pretvarači za merenje translatornog pomeranja (puta) 6	6
2.2.2.	Induktivni pretvarač za merenje pritiska - P 11	7
2.2.3.	TEHNIČKI PODACI PRETVARAČA PRITISKA P11	17
2.3.	Elastični merni elementi	18
2.3.1.	Elastični merni elementi kod pretvarača SILE	18
2.3.2.	Elastični merni elementi kod pretvarača pritiska	19
2.4.	PRETVARAČI SA MERNIM TRAKAMA	27
	(OMSKI PRETVARAČI)	27
2.4.1.	Merne trake	27
2.4.2.	Vitstonov most	30
2.4.3.	Greške merenja	34
2.4.4.	Kompenzacija poremećajnih dejstava	35
3.	PROJEKTOVANJE OMSKOG PRETVARAČA ZA MERENJE PRITISKA DO $600 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	39
3.1.	ODREDJIVANJE KONSTRUKTIVNOG IZVODJENJA TELA ELASTINOG ELEMENTA I KOEFICIJENTA PRETVARANJA PRETVARAČA PRITISKA	39
3.2.	DIMENZIONISANJE ELASTIČNOG ELEMENTA	40
3.3.	TEHNIČKA DOKUMENTACIJA	43
3.4.	BAŽDARENJE SNIMAČA (PRETVARAČA)	52
3.4.1.	BAŽDARENJE PROJEKTOVANOG PRETVARAČA	55
	ZAKLJUČAK	58

1. UVOD

U proučavanju zakonitosti pojava i procesa u prirodi i tehničkim sistemima eksperiment se koristi, već više vekova, kao jedan od osnovnih gnoseoloških metoda. To je razlog što se eksperimentu pridaje značajno mesto u nauci. Prema nekim procenama oko 80-90% istraživača u oblasti tehnoloških sistema bavi se eksperimentalnim istraživanjima procesa u ovim sistemima. Nauka proučava samo ono što se može izmeriti, treba, međutim, izdvojiti ono što zaslužuje da bude izmereno; treba, dakle, izvršiti, što potpunije, planiranje eksperimentalnog istraživanja. Dakle, jedna od važnih faza eksperimentalnog istraživanja je merenje. Savremena industrija se, takodje, ne može zamisliti bez primene merenja, koje je u svim industrijskim granama neodvojivo povezano sa tehnološkim procesima na kojima bazira proizvodnja. Automatika, koja naročito karakteriše današnji stepen razvoja, dobija sve svoje pokretačke impulse preko merenja.

Za racionalno izvođenje merenja i postizanje odgovarajuće, planom eksperimenta utvrđene, eksploatacione tačnosti potrebno je poznavanje teorije grešaka, poznavanje svojstava medijuma koji se meri, kao i fizičko-hemijske zakonitosti, na kojim baziraju primenjene merne metode.

Pri merenju mehaničkih, fizičkih, hemijskih, geometrijskih i drugih neelektričnih veličina koristimo dve grupe uređaja:

- merne instrumente za neelektrična merenja neelektričnih veličina i
- merne instrumente za električna merenja neelektričnih veličina.

Merni instrumenti za električna merenja neelektričnih veličina pružaju daleko šire mogućnosti, u odnosu na čisto mehaničke postupke. Kod ovih uređaja merenje se vrši transformacijom veličine koju merimo u neku primarnu električnu veličinu.

Dakle, promena ulazne fizičke veličine implicira odgovarajuću promenu izlazne električne veličine. To može biti npr. promena otpora, električnog napona, električne struje, kapaciteta, induktivnosti itd.

Osnovni element mernog kola, je pretvarač merne veličine (pretvarač, davač, senzor itd.). Prema načinu dejstva razlikujemo dve grupe pretvarača. Prvu grupu čine tzv. pasivni pretvarači, kod kojih promena ulazne mehaničke veličine izaziva odgovarajuću promenu električne veličine (omski pretvarači-merne trake, induktivni, kapacitivni). Druga grupa predstavlja aktivne pretvarače, u kojima se proizvodi električna veličina pod dejstvom merne veličine (piezoelektrični pretvarači).

Zatim se vrši obrada primarne električne veličine (pojačavanje, linearizacija itd.) i pretvara u normalizovanu električnu veličinu, najčešće u strujnom ili naponskom obliku.

Ovaj signal se može direktno očitavati na odgovarajućem instrumentu ili se vodi u uređaj za registrovanje gde se zapisuje zakon promene merne veličine.

Veliki deo problema u mašinstvu često rešavamo primenom tenzometrije, čiji se metod zasniva na izučavanju i merenju deformacija, što u većini slučajeva daje mogućnosti za ocenu naponsko-deformacionog stanja. Metode i sredstva tenzometrije su brojne i mogu se podeliti na sledeće grupe: rentgenske, polarizaciono-optičke, Mauarovih traka, krutih prevlaka, galvanskih prevlaka, i metode zasnovane na pretvaranju deformacije površine objekta ispitivanja pomoću tenzometra i tenzometrijskih pretvarača, kojima pripadaju, pored ostalih, i električni tenzometri.

U daljem izlaganju zadržaćemo se samo na karakteristikama i sredstvima za merenje pritiska, što je i cilj ovog rada.

ZAKLJUČAK

U ovom radu objašnjena su opšta pitanja konstruisanja i određivanja karakteristika snimača za merenje pritiska. Prikazane su, u opštim crtama, karakteristike i greške sredstava elektrotenzometrije, a zatim je detaljnije razmotrena važna faza u toku eksploatacije snimača, baždarenje snimača.

Prema principu rada, pretvarači za merenje pritiska dele se na tri osnovne grupe, a to su:

- piezoelektrični davači pritiska
- induktivni pretvarači pritiska i
- omski pretvarači pritiska.

Piezoelektrični davači pritiska se koriste za merenje brzo promenljivog pritiska, gde se zahteva visoko-frekventni odziv (kod nekih konstrukcija iznad 500 kHz), ili gde se zahteva odgovarajuće kratko vreme odziva.

Kod piezoelektričnih davača za merenje brzo promenljivog pritiska postavlja se problem osetljivosti na ubrzanje. Membrana i drugi elementi, koji su u kontaktu sa piezoelektričnim elementom, pri ubrzanom kretanju deluju inercijalnim silama na pločicu izazivajući signal smetnje.

Induktivni pretvarači daju dobre rezultate i pri statičkim i pri kvazistatičkim merenjima. Pošto su, obično, smešteni u metalna kućišta (magnetske štirove), zaštićeni su od uticaja spoljašnjih elektromagnetskih polja, što, uz veliku osetljivost merenja, omogućava široku primenu induktivnih pretvarača u mernim i kontrolnim sistemima. Predstavnik ove grupe je induktivni pretvarač za merenje pritiska P-11 koji je u radu detaljnije opisan.

Elastični merni elementi u obliku debelozidne cevi, izrađene od kvalitetnog čelika, nalaze čestu primenu za merenje srednjih i velikih sila. Na boku stuba treba du budu zalepljene najmanje četiri identične merne trake. Kod dinamometara, koji se primenjuju za praktična merenja, lepi se osam i više mernih traka postavljenih u vertikalnom i horizontalnom položaju i raspoređenih po obimu elastičnog mernog elementa. Na taj način se kompenzuje uticaj eventualnog krivljenja zbog neaksialnog delovanja sile, kao i zbog individualnih razlika karakteristika traka.

Elastične ljske se široko primenjuju kao elastični elementi kod mnogih mašina i uređaja, gde se koriste kao elastični merni elementi, elastični zaptivači, temperaturski kompenzatori, distantni elementi itd.

Kada se primenjuju kao elastični merni elementi, elastične ljske se izrađuju u obliku membrana (kružne elastične ljske, čvrsto uklještene po obimu), membranskih čaura i kompenzacionih cevi. Membrane se, prema obliku, dele na: ravne, talasaste, i talasaste sa ivičnim rebrom. Često se talasaste membrane sa ivičnim rebrom spajaju u membransku čauru. U dosta slučajeva na središnjem delu membrane je zalepljena, zalemljena ili zavarena kruta pločica (tzv. kruti centar, kruto središte), koja služi za povezivanje membrane (kao primarnog pretvarača) sa sekundarnim pretvaračem. Kada

membrana služi kao element za zaptivanje, tada je prečnik krutog centra samo nešto manji od radnog prečnika membrane. Kod uređaja, kod kojih je potrebno skokovito premeštanje krutog centra membrane pri dostizanju pritiska određene vrednosti, primenjuju se ispušćene membrane (najčešće sferičnog oblika). Pri opterećenju membrane sa ispušćene strane dolazi do gubitka stabilnosti i skokovite promene smeru ugiba, čime se ostvaruje funkcija uključi (ili isključi).

Talasastim membrana se postižu dva osnovna cilja: povećava se elastičnost membrane u radijalnom pravcu (povećava se radni hod) i omogućava se promena karakteristike membrane na račun promene visine i oblika rebara. Najviše se koriste talasaste membrane sa: testerastim, trapezoidnim, sinusoidnim i aperiodičnim rebrima, ali i talasaste membrane sa torusnim i cilindričnim ivičnim rebrom.

Kod najvećeg broja otpornih pretvarača kao sekundarni pretvarački elementi koriste se merne trake. Princip rada merne trake zasniva se na tenzotropnom efektu, tj. promeni otpornosti metalne žice (provodnika) pri njenom istezanju, što je uočio lord Kelvin još 1856. godine. Prve žičane merne trake izumeo je 25-ogodišnji američki inženjer Edvard Simons 1936. godine, a patentirao ih je 1942. godine. Prve merne trake bile su od žica, a danas se proizvode od metalne folije, tankog filma ili poluprovodnika. Merna traka je sastavljena od višestruko savijene metalne folije, koja čini mernu rešetku, lepi se između nosača rešetke (koji mora da bude dobar izolator i ne sme da bude higroskopan) i zaštitnog pokrivača (koji se obično izrađuju od providne plastične mase), tako da se dobije pretvarač u obliku pravougaonika. Dužina merne rešetke se kreće, počev od 0.8 mm, preko 2, 6, 10, 20, pa do 500 mm. Debljina merne trake iznosi, u zavisnosti od veličine trake, od 0.05 do 0.2 mm, a težina merne trake je reda veličine 0.1, 0.2 g. Trake se, pomoću lepkova na bazi epoksidnih smola, pričvršćuju na površinu objekta merenja, ili primarni elastični merni element. Lepljenjem se ostvaruje čvrst spoj trake i podloge, tako da su deformacije, koje nastaju na objektu u pravcu dužine merne trake, praktično jednake deformaciji trake.

Merna traka, u prvoj aproksimaciji, reaguje na deformacije u pravcu dužine, a ne i na deformacije u pravcu širine merne trake. To se objašnjava činjenicom da je uzdužni presek metalne folije mnogo veći od poprečnog preseka, pa lepak, kojim je traka pričvršćena za podlogu, može u punoj meri da prenese deformaciju po dužini, ali ne i po širini merne rešetke. Princip rada merne trake zasniva se na poznatom zakonu, da otpornost provodnika zavisi od njegovih dimenzija (površine poprečnog preseka i dužine) i specifične otpornosti materijala od koga je izrađen.

Zavisno od promene veličina koje se mere, razlikuju se statička, kvazistatička i dinamička merenja.

Statičke merne veličine se karakterišu nepromenljivošću merne veličine za vreme mernog procesa. Međutim, najčešće se izvode kvazistatička merenja, pri kojima se merna veličina menja veoma sporo. Pri ovim merenjima nastaju vrlo male promene otpornosti. Zbog toga se koristi mostni spoj, tj. veći broj mernih traka se ugrađuje u grane mernog mosta. Određenim rasporedom mernih traka može da se postigne povećanje osetljivosti i kompenzacija od eventualnih negativnih uticaja (na primer, temperature).

Dinamička merenja obuhvataju brže promenljive, kao i merne veličine koje

periodično osciluju. I za dinamička merenja se koristi merni most, ali mora da se koristi i uređaj za beleženje i prikazivanje merene veličine.

Najjednostavniji i najpoznatiji merni most izumeo je engleski fizičar ser Čarls Vitston (Sir Charles Wheatston) 1843. godine. Ovaj most je pogodan za merenje malih promena jedne otpornosti, a samim tim i za određivanje promene otpornosti merne trake. S obzirom da je deformacija linearno proporcionalna promeni otpornosti, proističe da se merenjem promene otpornosti može odrediti promena deformacije na posmatranom mestu objekta merenja. Četri grane mosta stvaraju se otpornicima od R_1 do R_4 . Ako se na tačke 2 i 3, tzv. "napojnu dijagonalu", dovede poznat napon U_n , tada se između tačaka 1 i 4 ("merna dijagonala") formira izlazni napon mosta U_i , čija vrednost zavisi od odnosa otpornosti R_1/R_2 i R_4/R_3 .

Kod mernih pretvarača, gde postoje zahtevi za velikom tačnošću, sve trake u mernom mostu treba da reaguju na dejstvo merene fizičke veličine, tj. da budu "aktivne". Most sa sve četiri aktivne merne trake naziva se puni most. U analizi napona i deformacija mogu da se primene merni mostovi sa jednom aktivnom mernom trakom (tzv. četvrt most) ili sa dve aktivne merne trake (polu most). Četvrt most treba izbegavati, jer ne mogu da se eliminišu negativni uticaji različitih vrsta.

U stvari, uvek se koristi puni most, s tim da je broj aktivnih traka na objektu merenja različit, dok se deo mosta koji nedostaje dopunjava otpornicima, koji se nalaze u pojačavaču.

Prethodno je pokazano, da se klasičnim punim Vitstonovim mostom, prikazanim na slikama, može da otkloni negativan uticaj temperature. Međutim, pri merenju je potrebno: poništiti i negativne uticaje zbog promene modula elastičnosti; omogućiti podešavanje osetljivosti mosta; omogućiti takozvano tariranje mosta, ako je potrebno; omogućiti baždarenje (kalibraciju) i slično. Ovo može da se ostvari složenijim mostovima sa mernim trakama.

Najčešće greške merenja jesu: greške merenja nastale zbog odstupanja pravca lepljenja trake u odnosu na pravac deformacije (zbog koso postavljene merne trake) i greške zbog nepoštovanja pravila predznaka.

Pomoću merne trake mere se deformacije u pravcu u kome je traka postavljena. Za jednostavnije oblike mernih objekata i slučajeve opterećenja nije teško odrediti pravac, u kome treba postaviti mernu traku da bi se izmerio glavni (najveći) napon, tj. deformacija. Tada se na mernom objektu postavljaju tri merne trake pod poznatim uglovima.

Da bi se izbegle greške pri postavljanju traka, svi proizvođači mernih traka na standardnoj mernoj traci crticama označavaju glavne pravce. Osim toga, proizvode i merne trake za merenje u dva pravca pod 90° , za merenje pod uglom od 45° u odnosu na uzdužnu osu, što se koristi pri merenju deformacija od momenta uvijanja; rozete, tj. tri merne trake na jednom nosaču međusobno postavljene pod uglovima $0/45/90^\circ$ ili $0/60/120^\circ$, kao i specijalne rozete, lance rozeta i lance mernih traka za merenje deformacija na mestima bliskim jedno drugom.

Dozvoljena je zamena mesta mernih traka, pod uslovom da sve merne trake imaju istu nazivnu otpornost. Zamena se ne može obaviti, ako se koristi polumost ili četvrt most,

jer se kod ovih spojeva u mernom pojačavaču kao dopuna nalazi ugrađen polu most ili tri četvrtine mosta. Priključna mesta pojedinih mernih traka mogu da se zanemare, jer su bez uticaja na merni signal. Bira se ona vrsta priključka koja omogućava najkraće veze (provodnike). Pri zameni mesta priključaka, menja se predznak mernog signala, ali ostaje isti po apsolutnoj vrednosti. Predznak i iznos ostaju isti ako istovremeno priključci 2 i 3, kao i 1 i 4 zamene mesta.

Za vreme merenja u pojedinim granama Vitstonovog mosta može da dođe do promena, koje nisu posledica promene deformacija, već su posledica poremećajnih dejstava (temperatura, vlažnost, magnetsko polje, dužina provodnika itd.). Merne trake treba zaštititi od uticaja poremećajnih dejstava, a ako to nije moguće, poremećajna dejstva treba na odgovarajući način poništiti, tj. kompenzovati. Najčešći poremećaji nastaju zbog: promena temperature za vreme merenja, primene merne trake sa drugačijom nazivnom vrednošću otpornosti i velike dužine provodnika.

Standardne merne trake se koriste za temperature od -20°C do 70°C . Postoje visoko-temperaturne merne trake, koje mogu da se primene do 600°C .

Uticaj povećanja temperature pri merenju ogleda se u:

- povećanju otpornosti merne rešetke,
- porastu izduženja objekta merenja i
- porastu izduženja merne rešetke.

Ovi uticaji se ispoljavaju kao prividno izduženje, koje se sabira sa izduženjem, nastalim zbog mehaničkog opterećenja.

Jedan od uobičajnih načina temperaturske kompenzacije je primena tzv. kompenzacione (slepe) merne trake. Postoje dva načina primene kompenzacione trake.

Prvi način se sastoji u dodavanju još jedne merne trake, koja se lepi na pomoćni objekt, koji je od istog materijala kao i objekt merenja i u neposrednoj je blizini objekta merenja (tako da su u svakom trenutku temperature obeju traka praktično jednake), ali nije mehanički opterećen. Kod drugog načina, kompenzaciona traka se lepi na specijalnu pločicu, koja prenosi temperaturu, a ne i deformaciju, jer je sa površinom objekta merenja spojena na kraju gde se ne nalazi kompenzaciona traka.

Uticaj temperature nema značaja kod primene punog mosta, jer je svaka merna traka izložena istoj temperaturskoj promeni, pa je termički deo ukupnog izduženja u svakoj mernoj traci isti i ima isti predznak, što znači da je uticaj temperature kod primene punog mosta eliminisan.

Često je pri merenju merno mesto udaljeno od uređaja za pojačanje i beleženje. U tom slučaju mora da se uzme u obzir faktor korekcije s obzirom na dužinu provodnika a . Pored te korekcije, često je potrebna korekcija s obzirom na nazivnu otpornost merne trake, jer prethodno izvedeni izrazi važe za nazivne otpornosti mernih traka od 120 W, kojima su prilagođeni merni pojačavači.

Za slučaj da se koriste merne trake druge nazivne otpornosti, potrebno je prethodne izraze korigovati faktorom korekcije C , koji uzima u obzir tu promenu. Vrednost faktora korekcije daju proizvođači merne opreme.

Potrebno je često izvoditi baždarenje instrumenta. Za vrlo tačna merenja potrebno je baždariti instrument pre i posle ispitivanja. Obično se instrumenti baždare za što više mernih tačaka za celo područje promenljivosti i to najpre u jednom smeru, npr. povećavanjem veličina, a onda u obrnutom smeru. Merodavna je srednja vrednost, dobijena od više merenja, koja se dobija primenom metode najmanjih kvadrata. Baždarenje pretvarača može se realizovati mehaničkim i električnim putem.

Statičko baždarenje pretvarača pritiska vrši se delovanjem niza pritisaka različitih vrednosti, dobijenih na hidrauličkim presama (ako je radna sredina pretvarača tečnost), a koji se kontrolišu pomoću oglednih manometara.

Specifičnost određivanja dinamičkih osobina pretvarača mehaničkih veličina sa mernim trakama uslovljena je, pre svega time, što ovi pretvarači, za razliku od drugih pretvarača koji se koriste u tenzometriji, po pravilu imaju dobro izraženu rezonantnu frekvenciju. Osim toga, dobijanje građenih signala u obliku mehaničkih veličina u određenom opsegu frekvenci veoma je specifično.

Dinamička svojstva pretvarača mehaničkih veličina mogu biti, do određenog stepena tačnosti, određena sledećim karakteristikama: sopstvenom frekvencijom osetljivog elementa pretvarača, prelaznom karakteristikom ili elektromehaničkom vremenskom konstantom pretvarača, amplitudno-frekventnim i faznofrekventnim karakteristikama pretvarača.

Dinamičko baždarenje pretvarača pritiska vrši se kako delovanjem jediničnog odskočnog pritiska, tako i sinusnog impulsa.

LITERATURA i web site-ovi

1. Rančić B., Sistemi za merenje, prikupljanje i obradu podataka I deo - Mašinski fakultet, Niš, 2005.
2. Hoffmann K., Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmeßstreifen, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1987.
3. Stoilković V., Merenje mehaničkih veličina električnim putem, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, 1980.
4. Milovančev S., Zbirka zadataka iz električnih merenja neelektiričnih veličina, Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2001.
5. Ristić B., Metrologija - strujno-tehnička merenja, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, 1981.
6. Grupa autora pod redakcijom Savić Z., Inženjersko mašinski priručnik, Knjiga I, drugo izdanje, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
7. Grupa autora pod redakcijom Savić Z., Inženjersko mašinski priručnik, Knjiga III, drugo izdanje, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
8. Stanković D., Fizičko-tehnička merenja, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
9. Norton H. N., Sensor and analyzer handbook, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New York, 1982.
10. Floyd L.T., Buchla D., Fundamentals of Analog Circuits, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey & Columbus, Ohio, 2002.

www.hbm.com

www.omega.com

www.smdsensors.com

www.vishay.com

www.blh.de

www.windmill.co.uk

www.philips.com