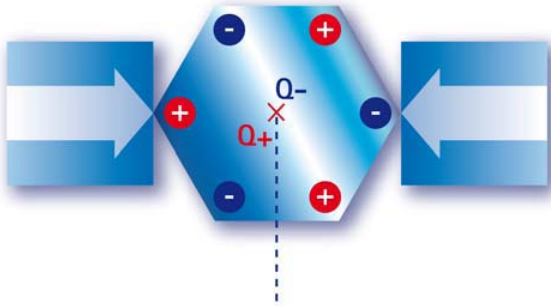


Piezo efekat i njegova primena

Piezoelektrični efekat je pojava električnog naboja na površini materijala kada se isti izloži mehaničkom pritisku i dođe do njegove deformacije.

Interesantno je da se piezoelektrični efekat javlja i kod živih bića: kosti deluju kao senzori za silu. Kada se izlože sili, kosti proizvode električni naboj proporcionalan unutrašnjem opterećenju. Ovaj naboj stimuliše nagomilavanje koščanog materijala, što prouzrokuje ojačanje koštane strukture na tim mestima gde je interno pomeranje (deformacija) bila najveća. Ovako nastaju strukture sa optimalnim odnosom mase i nosivosti.



Neki od materijala koji se koriste – naročito galijum fosfat i turmalin – imaju izuzetnu stabilnost u širokom temperaturnom opsegu, tako da mogu da se koriste na temperaturama do 1000°C.

Sve piezokeramike i turmalin nisu samo piezoelektrici, oni su i piroelektrici. To znači da se signal naboja ne oslobađa samo sa promenom opterećenja, nego i sa promenom temperature. Ova karakteristika nije svojstvena kvarcu i galijum fosfatu, zbog čega su ovi kristali posebno pogodni za merenja.

Primena

Ovaj princip merenja se koristi od 1940-tih, a danas je to sofisticirana tehnologija sa izuzetnom pouzdanošću: tako da se danas piezoeffekat uspešno primenjuje u mnogim kritičnim aplikacijama, kao što su medicinske, avio i nuklearne tehnologije.

Uspon piezoelektrične tehnologije je zasnovan na brojim prednostima. Iako su piezoelektrični senzori elektromehanički sistemi koji reaguju na pritisak, merni element gotovo da ne trpi nikakvu deformaciju (obično dolazi do ugiba od nekoliko mikrometara).



To je jedan od razloga zašto su ovi senzori toliko robusni i zašto imaju tako visoku sopstvenu frekvenciju i linearnost, čak i u najtežim uslovima. Piezoelektrična tehnologija je neosetljiva na elektromagnetna i radioaktivna zračenja.

Jedna od mana piezo senzora je njihova primena kod statičkih merenja. Statičke sile proizvode određenu količinu naboja na površini piezoelektričnog materijala. Prilikom rada sa uobičajenim elektronikama i materijalima koji nisu savršeno izolovani, dolazi do kontinualnog gubitka naboja, što proizvodi stalni gubitak signala. Povišene temperature proizvode dodatni pad unutrašnje otpornosti, tako da se samo materijali sa visokom impedansom mogu koristiti u takvim uslovima merenja.

Bilo bi pogrešno kada bi predpostavili da se piezoelektrični senzori mogu koristiti samo za veoma brze procese pod određenim uslovima. Postoje brojne aplikacije gde se merenja vrše u kvazi-statičkim uslovima, iako je to u svakom slučaju domen tehnologije mernih traka.

Otkriće

Električne osobine turmalina (dragi kamen koji privlači čestice pepela kada se užari) su bile poznate odavnina. Elektricitet koji je zavisio od temperature, naveo je Coulomb-a i Becquerel-a da postoji i elektricitet koji zavisi od pritiska. Oni su radili na toj teoriji, ali nisu mogli da daju dokaz. Nakon mnogih bezuspešnih pokušaja, što je često opisivano kao elektricitet usled trenja, 1880-te braća Pierre i Jacques Curie su konačno otkrili piezoeffekat na turmalinu.

Dokazali su pomoću eksperimenta, da se površinski napon javlja paralelno sa mehaničkim opterećenjem kojim se kristal izlaže (kvarc ili topaz).

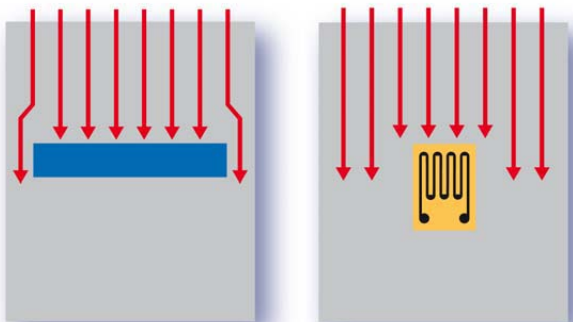
Dva brata su svoje otkriće nazvali polarni elektricitet, termin koji je ubrzo zamenjen sa piezoelektricitetom. 1881, Gabriel Lippmann je predvideo obrnuti piezoeffekat, odn. pojavu da se kristal deformiše kada se izloži električnom polju. Braća Curie su kasnije potvrdile ovaj efekat eksperimentom. Kada se osvrnemo, to što su braća Curie postigli je stvarno izuzetno, s obzirom na ograničenja koja su bila nametnuta tehnologijom. Dokazali su piezoelektrični efekat uz pomoć tanke folije, lepka, žica i magneta.

Materijali

Dve važne grupe materijala se koriste kod piezoelektričnih senzora: piezoelektrične keramike i specijalni kristali. Keramike (kao što je PZT) se proizvode sinterovanjem i poseduju piezoelektričnu konstantu, koja može biti dva reda veličine veća nego kod kristalnih materijala. Nažalost, ova visoka osetljivost, je praćena lošom dugotrajnom stabilnošću. Piezoelektrična keramika može da se posmatra kao namagnetisana željezna šipka (ili magnetna kaseta). Magnetizam se naknadno „unosí“ u materijal i može se menjati vremenom. Monokristali (kao što su turmalin, kvarc, galijum fosfat – GaPO₄) su drugačiji. U njihovom slučaju je specifična struktura kristalne rešetke odgovorna za piezo efekat. U principu su kristali manje osetljivi, ali imaju značajno višu, gotovo beskonačnu dugotrajnu stabilnost.

Svakako način na koji se koriste merni elementi je veoma različit kod primene senzora sile na bazi mernih traka i kod piezoelektričnih senzora sile. Merne trake se instaliraju na merna tela koja se deformišu kada se izlože sili. Tako celokupno opterećenje prolazi kroz telo, a samo deo kroz merne trake. Zbog krutosti kristala, piezo tehnologija je zasnovana na činjenici da kompletna sila prolazi kroz sam senzor i tako imamo pravi mehatronički element. Visoka stabilnost monokristala omogućava da piezo senzori budu veoma kompaktni.

Ova minimalna deformacija kristala pri nominalnom opterećenju je takođe idealna za linearnost senzora, pošto mala pomeranja veoma malo utiču na promenu toka sile. Kombinujte ovo sa stabilnošću mernog elementa i imate senzor sa odgovarajućim stepenom sigurnosti od preopterećenja i dugotrajnom stabilnošću.



Piezo senzori omogućavaju pouzdana merenja od najširih do najužih opsega

Kao što je već napomenuto, sila koja deluje na piezo senzor je direktno proporcionalna električnom izlazu (signalu) naboju. Ova činjenica omogućava pouzdana merenja procesnih sila u mnogim industrijskim aplikacijama. Odnos između sile koja deluje i generisanog naelektrisanja ne zavisi od veličine i oblika piezo kristala, već samo od materijala. Važi sledeći obrazac:

$$Q = q_{11} \cdot n \cdot F, \text{ gde je}$$

n: broj kvarcnih elemenata povezanih u seriju

F: mehaničko opterećenje (sila/pritisak)

q_{11} : konstanta materijala, na pr. -4.3pC/N

Q: generisan električni naboj

Mogući su razni merni opsezi u zavisnosti od veličine piezo senzora. Međutim, apsolutna električna osetljivost ne zavisi od mernog opsega.

Poređenje sa sistemom sa mernim trakama pokazuje značajnu razliku između električne osetljivosti:

Primer 1:

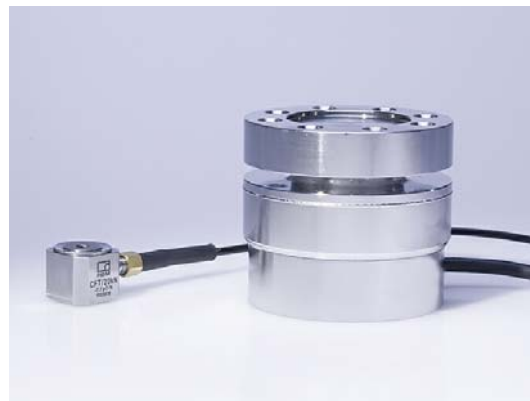
5kN piezo senzor \Rightarrow karakteristika: -4.3pC/N

5kN senzor sa mernim trakama \Rightarrow karakteristika 2mV/V , tj. $0.4\mu\text{V/N}$

Primer 2:

140kN piezo senzor \Rightarrow karakteristika: -4.3pC/N

140kN senzor sa mernim trakama \Rightarrow karakteristika 2mV/V , tj. $0.014\mu\text{V/N}$



U principu osetljivost piezo senzora ne zavisi od mernog opsega. Ova činjenica obezbeđuje osnovu za precizna i pouzdana merenja u širokom mernom opsegu, preko nekoliko podopsega (dekada). U praksi to znači da 5kN može biti izmereno isto precizno sa 140kN senzorom kao i sa 5kN senzorom.

Izuzetno visoka mogućnost zaštite od preopterećenja je obezbeđenja bez gubitka tačnosti, što je važno kada se mere male sile za vreme kontrole proizvodnje prekidača ili kontrolnih elemenata. U ovom slučaju je malu silu ispitivanja ($<20\text{N}$) potrebno pouzdano i precizno kontrolisati. Međutim kada dođe do udara mašine ili kada se senzori ugrađuju, nominalna sila može biti višestruko premašena. Tako piezo senzor sa kapacitetom od 1kN se može koristiti bez problema za aplikaciju 0-20N, kako bi izbegli slučajno preopterećenje. Prednosti piezo principa su očigledna: pouzdan rad može biti zagarantovan sa konstantnom visokom osetljivošću.

Još jedna osobina piezo tehnologije je da omogućava da se najmanje promene precizno i pouzdano izmere čak i pri visokom mrtvom teretu. Mrtav teret se može vrlo lako "nulirati". Nabojni ulaz je potrebno resetovati kako bi poništili izlazni signal od piezo senzora, tj. promenili naboj. Prednost: bilo kakav uticaj na signal usled mrtvog tereta se može eliminisati i tako dobijamo odgovarajući odnos između željenog signala i signala usled mrtvog tereta. Rezultat je poboljšan kvalitet signala.

Ukratko: Tehnologija merenja sile uz pomoć piezo elemenata nudi izuzetne karakteristike za pouzdana praćenja procesa proizvodnje i procesa ispitivanja proizvoda:

- rezolucija i osetljivost su nezavisne od mernog opsega i nude "ugrađenu" zaštitu od preopterećenja
- kompaktan dizajn omogućava ugradnju piezo senzora na veoma skućena mesta
- izuzetna krutost i istovremeno merenje bez ugiba obezbeđuju da se izvrše mnogo ciklusa pouzdanih merenja
- signal naboja se lako kompenzuje

Ključne reči: sila, dinamička merenja, piezo davači sile, kontrola procesa proizvodnje, ispitivanje proizvoda.

Autor: Hotimir ml. Ličen, TRCpro, Petrovaradin

