



UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII
ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI
SPECIALIZAREA: TEHNOLOGII ȘI SISTEME DE TELECOMUNICAȚII



Microsenzori de acelerație

Profesor: ș.l. dr. ing. DANIELA IONESCU

Student: Cutia Marius

Microsenzori de accelerație

Introducere

Microsenzorii de accelerație reprezintă una dintre cele mai avansate inovații tehnologice, utilizate pe scară largă în diferite domenii ale industriei moderne. Acești senzori sunt capabili să detecteze și să măsoare accelerația, adică rata de schimbare a vitezei unui obiect, și să convertească această informație într-un semnal electric analizabil. Caracteristicile lor distinctive, precum dimensiunile reduse, sensibilitatea ridicată și adaptabilitatea la o gamă variată de medii, i-au transformat în componente indispensabile în tehnologia contemporană.

Accelerația este o mărime vectorială care descrie modul în care viteza unui obiect se schimbă în timp. Pentru a cuantifica această proprietate fizică în sisteme complexe, microsenzorii de accelerație se bazează pe principii fizice fundamentale, cum ar fi efectele piezoelectrice, capacitive sau piezorezistive. Acest lucru le permite să ofere măsurători precise, chiar și în condiții de mediu extrem de variabile.

Evoluția acestor dispozitive a fost impulsionată de progresele din domeniul Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS). Tehnologia MEMS a permis miniaturizarea componentelor mecanice și electrice, ceea ce a dus la dezvoltarea unor microsenzori de accelerație mai eficienți, mai economici și mai ușor de integrat în diverse sisteme. De exemplu, smartphone-urile moderne, dronele, automobilele autonome și dispozitivele portabile sunt echipate cu astfel de senzori, care joacă un rol esențial în funcționarea acestora.

Dezvoltarea și aplicarea microsenzorilor de accelerație nu sunt doar o demonstrație a progresului tehnologic, ci și un răspuns la nevoile crescânde de măsurare și control precis în diverse domenii. În industria auto, acești senzori asigură siguranța prin activarea airbagurilor și monitorizarea stabilității vehiculului. În domeniul medical, sunt utilizați pentru a monitoriza mișcările pacienților, contribuind la diagnosticarea și reabilitarea mai eficientă. În plus, avansurile în utilizarea lor în industria aerospațială și în aplicațiile de realitate augmentată subliniază potențialul lor enorm.

Scopul acestui referat este de a explora în detaliu structura, principiul de funcționare și aplicațiile microsenzorilor de accelerație, evidențiind impactul lor semnificativ asupra societății

moderne. Vom analiza principiile fundamentale care stau la baza funcționării lor, precum și provocările și oportunitățile care apar odată cu utilizarea acestor dispozitive.



Figura 1: Senzori de accelerație

I. Structura microsenzorilor de accelerație

Microsenzorii de accelerație sunt dispozitive complexe, iar structura lor este influențată de principiul de funcționare și aplicația specifică. În cadrul acestora, tehnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) joacă un rol central, reprezentând standardul modern pentru proiectarea și fabricarea acestor senzori.

1. *Structura microsenzorilor de accelerație*

Microsenzorii de accelerație sunt compuși din mai multe componente integrate armonios pentru a permite detectarea și măsurarea accelerației. Structura lor reflectă principiile fizice pe care le utilizează pentru a transforma mișcarea în semnale electrice utilizabile. În continuare, vom analiza în detaliu principalele elemente ale structurii acestora și variațiile în funcție de tipurile de senzori.

1.1. *Componente de bază*

Structura unui microsenzor de accelerație include următoarele componente principale:

1. **Element sensibil** (masa mobilă):

- Este partea activă a senzorului, care răspunde la forțele generate de accelerație.
- De obicei, masa mobilă este suspendată pe un suport elastic sau pe arcuri micromecanice, permițând deplasarea acesteia în funcție de accelerația aplicată.
- Materialele utilizate pentru masa mobilă sunt selectate pentru a asigura o combinație optimă între sensibilitate și rezistență mecanică.

2. Transductor:

- Este responsabil pentru convertirea mișcării mecanice în semnal electric.
- Tipurile de transductoare utilizate variază și includ:
 - Piezoelectric: Utilizează materiale care generează o tensiune electrică atunci când sunt deformat.
 - Capacitiv: Convertește schimbările de poziție ale masei mobile în variații de capacitate electrică.
 - Piezorezistiv: Exploatează schimbările de rezistență electrică ale unui material sub stres mecanic.

3. Suspensie elastică:

- Asigură menținerea masei mobile într-o poziție de echilibru și îi permite să revină la poziția inițială după ce accelerația încetează.
- Suspensia elastică determină sensibilitatea senzorului și gama de accelerații pe care acesta le poate măsura.

4. Carcasă:

- Protejează componentele interne ale senzorului de factori de mediu, cum ar fi umiditatea, praful sau șocurile mecanice.
- Materialele utilizate pentru carcasă sunt, de obicei, rezistente la temperaturi înalte și la uzură.

5. Circuit integrat:

- Acest modul procesează semnalul brut generat de transductor, amplificându-l și convertindu-l într-un format utilizabil de către sistemele externe.
- În funcție de aplicație, circuitul integrat poate include filtre, convertoare analog-digitale și module de comunicare.

1.2. Tipuri de structuri

Microsenzorii de accelerație sunt proiectați folosind diferite structuri, fiecare având avantaje și limitări specifice:

1. Structura piezoelectrică:

- Se bazează pe proprietatea materialelor piezoelectrice (cum ar fi cuarțul sau ceramica piezoelectrică) de a genera o tensiune electrică proporțională cu presiunea aplicată.
- Este utilizată frecvent în aplicații care necesită detectarea vibrațiilor sau a șocurilor, datorită sensibilității ridicate și a timpului de răspuns rapid.

2. Structura capacitivă:

- Utilizează variațiile capacitive dintre două plăci paralele, dintre care una este fixă, iar cealaltă mobilă.
- Acest tip de structură este preferat în aplicațiile care necesită stabilitate pe termen lung și consum redus de energie.

3. Structura piezorezistivă:

- Funcționează pe baza variației rezistenței unui material sub influența forțelor mecanice.
- Este adesea folosită în medii industriale datorită robusteții și capacității de a opera la temperaturi ridicate.

4. Structura MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems):

- Este cea mai populară și versatilă dintre toate, datorită miniaturizării și costurilor reduse de producție.
- Integrează componente mecanice și electrice la scară micrometrică pe un singur substrat, de obicei din siliciu.
- MEMS permite integrarea directă cu circuite electronice, reducând spațiul necesar și îmbunătățind fiabilitatea.

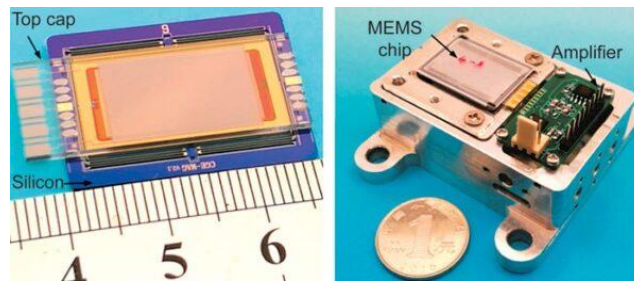
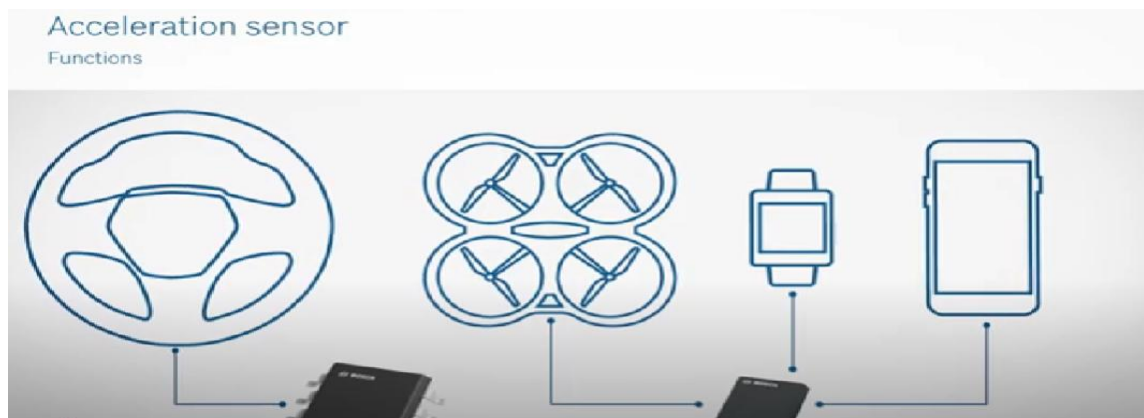


Figura 2: Accelerometru

II. Principiul de funcționare

Microsenzorii de accelerație funcționează pe baza detectării mișcării relative dintre o masă mobilă și un cadru fix atunci când senzorul este supus unei accelerații. În funcție de tipul de senzor și tehnologia utilizată, această mișcare este transformată într-un semnal electric, care este apoi procesat pentru a oferi informații precise despre accelerația măsurată.



Link: <https://www.youtube.com/watch?v=RLOGZl0lpjQ>

Principiul general al funcționării microsenzorilor de accelerație

Orice microsenzor de accelerație are la bază **legea fundamentală a mișcării** enunțată de Isaac Newton:

$$F=ma$$

unde:

- **F** este forța aplicată;
- **m** este masa;
- **a** este accelerația.

Masa mobilă din interiorul senzorului este suspendată pe un mecanism elastic (de exemplu, arcuri micromecanice fabricate prin tehnologia MEMS). Atunci când senzorul este supus unei accelerații, masa mobilă se deplasează față de poziția sa inițială, iar această mișcare este măsurată și transformată în semnal electric.

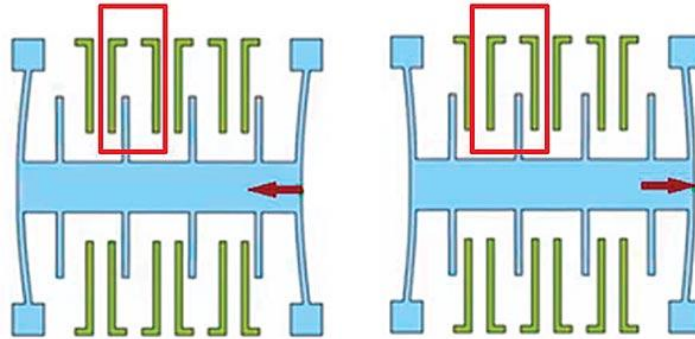


Figura 3: Accelerația este măsurată în MEMS, prin detectarea schimbării capacității. Pe măsură ce senzorul este accelerat, materialul de siliciu (albastru), ca un arc, rămâne în urmă și variază distanța dintre plăcile capacitive (casetele roșii), deci capacitatea (C). Tensiunea (U) variază atunci când sarcina (Q) este constantă. Din relația $C = Q/U$ se determină magnitudinea accelerației unui obiect.

2.1. Tipuri de mecanisme de detectare

Microsenzorii de accelerație utilizează diferite mecanisme de detectare a mișcării masei mobile. Cele mai comune sunt capacitive, piezoelectrice și piezorezistive, fiecare având un principiu distinct de funcționare.

1. Detectarea capacitivă

Microsenzorii de accelerație capacitivă, în special cei fabricați prin tehnologia MEMS, sunt cei mai răspândiți datorită sensibilității ridicate și stabilității lor. Principiul lor de funcționare este bazat pe variația capacității electrice dintre două plăci de condensator.

- **Funcționare:**

Masa mobilă este atașată de o serie de plăci conductoare, care formează condensatori cu alte plăci fixe. În momentul în care masa mobilă se deplasează sub influența accelerației, distanța dintre plăcile condensatorului se modifică, ceea ce duce la o variație a capacității electrice. Această variație este măsurată și procesată pentru a calcula accelerația.

- **Avantaje:**
 - Sensibilitate ridicată la accelerații mici.
 - Răspuns liniar.
 - Consum redus de energie.

2. Detectarea piezoelectrică

Acești senzori se bazează pe proprietatea materialelor piezoelectrice (cum ar fi cuarțul sau anumite ceramici) de a genera o tensiune electrică atunci când sunt supuse unei forțe mecanice.

- **Funcționare:**

Când masa mobilă exercită o forță asupra materialului piezoelectric din senzor, aceasta produce o sarcină electrică proporțională cu accelerația aplicată. Sarcina este colectată și amplificată pentru a genera un semnal utilizabil.
- **Avantaje:**
 - Rezistență excelentă la temperaturi ridicate.
 - Stabilitate pe termen lung.

3. Detectarea piezorezistivă

Senzorii piezorezistivi măsoară variațiile de rezistență electrică ale unor materiale speciale (piezorezistive) atunci când sunt supuse unor deformații mecanice.

- **Funcționare:**

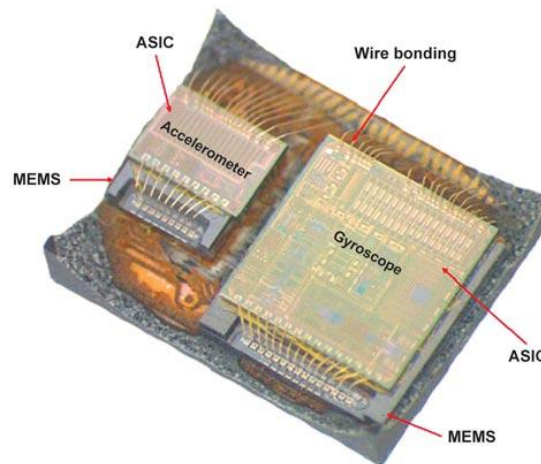
Mișcarea masei mobile cauzează o deformare a materialului piezorezistiv, ceea ce duce la o schimbare a rezistenței electrice. Această schimbare este transformată într-un semnal de tensiune sau curent.
- **Avantaje:**
 - Performanță bună în condiții de vibrații mari.
 - Ușor de fabricat și integrat.

2.2. Rolul tehnologiei MEMS în principiul de funcționare

Tehnologia MEMS a schimbat fundamental modul în care sunt proiectați și fabricați microsenzorii de accelerație. Principiile de funcționare menționate anterior sunt optimizate prin integrarea componentelor mecanice și electronice pe un singur cip.

- **Capacitatea de miniaturizare:** MEMS permite realizarea de structuri extrem de mici, precum mase mobile și arcuri, care funcționează cu precizie la scara micrometrică.
- **Precizie și repetabilitate:** Fabricarea MEMS prin procese litografice asigură control strict asupra dimensiunilor și caracteristicilor mecanice ale senzorilor.
- **Integrare completă:** Majoritatea microsenzorilor de accelerație moderni combină detectarea capacitivă și circuitele de procesare a semnalului într-un singur dispozitiv compact.

Figura 4: Accelerometru cu giroscop



Link: https://www.youtube.com/results?search_query=aplicatii+ale+microsenzori+de+acceleratie

III. Tipuri de microsenzori de accelerație

Microsenzorii de accelerație sunt clasificați în funcție de caracteristici precum numărul de axe pe care pot detecta accelerația, principiul de funcționare, tehnologia utilizată și aplicațiile pentru care sunt concepuți. Fiecare tip are avantaje și limitări specifice, care le determină utilizarea în diferite domenii.

3.1. Clasificare în funcție de numărul de axe

Aceasta este una dintre cele mai importante clasificări, influențând direct domeniul de aplicabilitate al senzorilor.

1. **Senzori uniaxiali** - Acești senzori măsoară accelerația pe o singură axă (de obicei, axa XXX). Sunt utilizați în aplicații simple, cum ar fi: Monitorizarea vibrațiilor mecanice în motoare, detectarea șocurilor mecanice. Ca avantaj ar fi prețul redus și fiabilitate crescută.
2. **Senzori biaxiali** - Senzorii biaxiali pot detecta accelerația pe două axe (de obicei, XXX și YYY). Aceștia sunt ideali pentru aplicații unde mișcarea are loc în plan bidimensional, cum ar fi: Echipamente robotice, monitorizarea mișcărilor vehiculelor pe suprafețe plane.
3. **Senzori triaxiali** - Senzorii triaxiali sunt cei mai avansați și detectează accelerația pe toate cele trei axe (XXX, YYY și ZZZ). Sunt standardul în majoritatea aplicațiilor moderne, cum ar fi: Smartphone-uri și dispozitive portabile, drone și vehicule autonome.

3.2. Clasificare în funcție de tehnologia utilizată

Tehnologia utilizată influențează performanța, sensibilitatea și aplicațiile senzorului.

1. **Senzori piezoelectrice** - Acești senzori utilizează materiale care generează o tensiune electrică proporțională cu accelerația aplicată. Sunt frecvent utilizați în: Monitorizarea vibrațiilor în echipamente industriale, aplicații la temperaturi ridicate.
2. **Senzori piezorezistivi** - Detectează accelerația prin variațiile rezistenței materialelor piezorezistive. Sunt potriviți pentru: Aplicații cu vibrații mari, testarea șocurilor mecanice.
3. **Senzori capacitivi** - Sunt cei mai utilizați în dispozitivele MEMS datorită sensibilității lor ridicate și a consumului redus de energie. Aplicațiile includ: Smartphone-uri, sisteme de navigație pentru vehicule.
4. **Senzori MEMS** - Microsenzorii de accelerație MEMS sunt cei mai răspândiți și versatili. Utilizând tehnologia MEMS, aceștia combină componente mecanice și electronice pe un singur cip, ceea ce le oferă un avantaj competitiv în aplicații comerciale și industriale.

Caracteristici distinctive ale senzorilor MEMS:

- Dimensiuni extrem de mici.
- Costuri reduse de producție.
- Capacitatea de integrare cu alte componente electronice.

Tabel 1: Comparativ: Senzori MEMS vs. senzori tradiționali

Caracteristică	Senzori MEMS	Senzori tradiționali
Dimensiuni	Micrometrice	Mai mari
Cost	Scăzut	Ridicat
Sensibilitate	Ridicată	Variabilă
Integrare electronică	Excelentă	Limitată
Aplicații	Largi (auto, mobil, medical)	Mai restrânse

Tipurile de microsenzori de accelerație sunt extrem de diverse, iar selecția unui anumit tip depinde de cerințele aplicației. Tehnologia MEMS continuă să domine piața datorită versatilității și eficienței sale, permițând integrarea acestor senzori în dispozitive și sisteme care necesită performanțe de înaltă precizie la costuri accesibile.

IV. Aplicațiile microsenzorilor de accelerație

Microsenzorii de accelerație au revoluționat numeroase industrii prin versatilitatea și performanța lor ridicată. Dimensiunile mici, costurile accesibile și capacitatea de a detecta schimbările de accelerație cu precizie au făcut posibilă integrarea acestor dispozitive într-o varietate de sisteme. Mai jos sunt detaliate principalele domenii în care acești senzori sunt utilizați.

4.1. Aplicații în industria auto

Microsenzorii de accelerație au o utilizare extinsă în industria auto, fiind esențiali pentru siguranța și confortul vehiculelor moderne.

4.1.1. Sistemele de airbaguri

Microsenzorii de accelerație detectează rapid schimbările bruște de accelerație cauzate de coliziuni. Această informație este folosită pentru a declanșa airbagurile în milisecunde, protejând astfel ocupanții vehiculului.

4.1.2. Sisteme de control al tracțiunii și stabilității

Acești senzori monitorizează mișcările laterale și longitudinale ale vehiculului, permițând sistemelor electronice să ajusteze frânarea și să controleze tracțiunea pentru a preveni derapajele.

4.1.3. Sisteme de navigație inerțială

În vehiculele autonome, microsenzorii de accelerație sunt integrați în sistemele de navigație inerțială pentru a monitoriza poziția și mișcările vehiculului, completând informațiile oferite de GPS.

4.2. Aplicații în dispozitivele mobile

Microsenzorii de accelerație sunt prezenți în aproape toate smartphone-urile și dispozitivele portabile moderne.

4.2.1. Detectarea orientării

Acești senzori permit dispozitivelor să identifice orientarea ecranului și să ajusteze automat afișajul, fie în mod portret, fie în mod peisaj.

4.2.2. Funcții de monitorizare a activității

Aplicațiile de fitness folosesc microsenzorii pentru a monitoriza activitatea fizică a utilizatorului, cum ar fi numărul de pași, distanța parcursă sau intensitatea exercițiilor.

4.2.3. Funcții de siguranță

Unele dispozitive utilizează microsenzorii pentru a detecta căderile bruște și pentru a activa funcții de urgență, cum ar fi apelurile automate la servicii de salvare.

4.3. Aplicații medicale

4.4. Aplicații aerospațiale

4.5. Aplicații în robotică

4.6. Aplicații în domeniul sportiv și recreativ

4.7. Aplicații industriale și altele.

Domeniile de aplicabilitate ale microsenzorilor de accelerație sunt aproape nelimitate, iar inovațiile constante în tehnologia MEMS extind în mod continuu aceste posibilități. De la protejarea vieții umane la îmbunătățirea calității vieții și a productivității, acești senzori sunt un pilon esențial al tehnologiei moderne.



Link: <https://www.youtube.com/shorts/zz9wdMJrS1E>

Concluzie

În concluzie, microsenzorii de accelerație reprezintă o componentă esențială în multe domenii ale tehnologiei moderne, având un impact semnificativ în diverse industrii și aplicații. Acești senzori sunt utilizați pentru a măsura accelerațiile și mișcările obiectelor, fiind cruciali în domenii precum automobilele, echipamentele medicale, telefoanele mobile, și tehnologiile de monitorizare a vibrațiilor și siguranței. În esență, microsenzorii de accelerație sunt capabili să detecteze mișcările într-un interval mic de timp și să le convertească în semnale electrice care pot fi procesate pentru a oferi informații precise despre comportamentul unui obiect.

Tehnologia MEMS (Microelectromechanical Systems) este fundamentul care susține majoritatea microsenzorilor de accelerație. MEMS permite integrarea de mici componente mecanice, electrice și senzoriale pe un cip de siliciu, făcând astfel posibile senzori extrem de mici, cu performanțe excelente și un consum redus de energie. Datorită acestei tehnologii, senzorii MEMS sunt mai ușor de produs, mai ieftini și mai eficienți comparativ cu senzorii tradiționali. Tehnologia MEMS a revoluționat multe domenii, contribuind la dezvoltarea unor dispozitive mai mici, mai inteligente și mai precise.

Un alt aspect important al microsenzorilor de accelerație este versatilitatea lor în utilizare. În industria auto, de exemplu, acești senzori sunt utilizați pentru monitorizarea sistemelor de siguranță, cum ar fi airbagurile și controlul stabilității vehiculului. În domeniul electronicelor, aceștia sunt esențiali pentru funcțiile de detecție a mișcărilor în telefoane mobile și ceasuri inteligente. În medicină, senzorii de accelerație pot fi folosiți pentru a monitoriza mișcările pacienților și pentru a ajuta la diagnosticul unor afecțiuni legate de mobilitatea fizică.

Pe lângă aplicațiile evidente, tehnologia MEMS se află și în continuă dezvoltare, deschizând noi posibilități pentru cercetare și dezvoltare. De exemplu, noile inovații în domeniul senzorilor de accelerație MEMS ar putea duce la crearea unor dispozitive mai precise, mai sensibile și mai eficiente, cu aplicații în domenii precum Internet of Things (IoT), automatizare industrială și chiar în cercetarea spațială.

Bibliografie

G. K. S. Pradhan, "MEMS Sensors: Design and Applications," Springer, 2019.

N. A. K. M. N. Khan, "MEMS Accelerometers and Gyroscopes: Fundamentals, Performance, and Applications," Wiley, 2017.

S. S. S. B. B. Agarwal, "Microelectromechanical Systems (MEMS): Technology and Applications," Elsevier, 2020.

R. M. White, "MEMS Materials and Processes Handbook," Springer, 2007.

I. V. Anderson, "MEMS Sensors: Accelerometers and Gyroscopes," Journal of Sensors, vol. 2018, no. 1, pp. 1-15.

J. H. Kim, "The Application of MEMS Accelerometers in Automotive Systems," IEEE Sensors Journal, vol. 11, no. 7, pp. 1867-1873, 2011.

<https://electronica-azi.ro/accelerometre-mems/>