

METODE DE CREȘTERE A EFICIENȚEI SENZORILOR DE GAZE

M.Fosa, S.Vieru, T.Vieru

Introducere

Senzorii de gaze sunt dispozitive care permit de a determina concentrația unui anumit gaz sau grup de gaze într-un volum arbitrar de aer. Ei pot fi de mai multe feluri, în dependență de tipul dispozitivului sensibil (piezoacustic, optic, chimic, etc.).

Fiecare tip de sensor are caracteristicile lui de sensibilitate, ceea ce permite de a-i clasifica după gradul de sensibilitate și de a determina mai precis domeniul în care poate fi utilizat un tip sau altul. Astfel s-a determinat că senzorii optici prezintă caracteristici de sensibilitate foarte înalte, la un preț rezonabil al instalației.

Senzorii optici operează în spectrul optic de frecvențe ale câmpului electromagnetic, începând cu infraroșu depărtat (10 – 15 μm) pînă la ultraviolet departat (100 – 150 nm), ceea ce permite de a-i utiliza la detectarea aproape al oricărui gaz, în dependență de linia spectrală de absorbție pe care le are în domeniu optic de lungimi de undă.



Fig.1. Model tipic al unei instalații de detectare optică a gazelor

Un sensor optic are următoarele părți componente: emițătorul, care trebuie să aibă apertura și lățimea benzii de emisie cât mai îngustă pentru a asigura o sensibilitate înaltă a dispozitivului și o protecție bună contra zgomotelor generate de modele de ordin inferior. Emițătorii pot fi diode laser sau lasere, în dependență de gazul ce trebuie detectat și concentrația sa minimă. În caz că trebuie de realizat detectarea gazelor la o concentrație foarte mică, ceea ce implică o precizie mare a întregului sistem, sunt utilizate emițătoare laser.

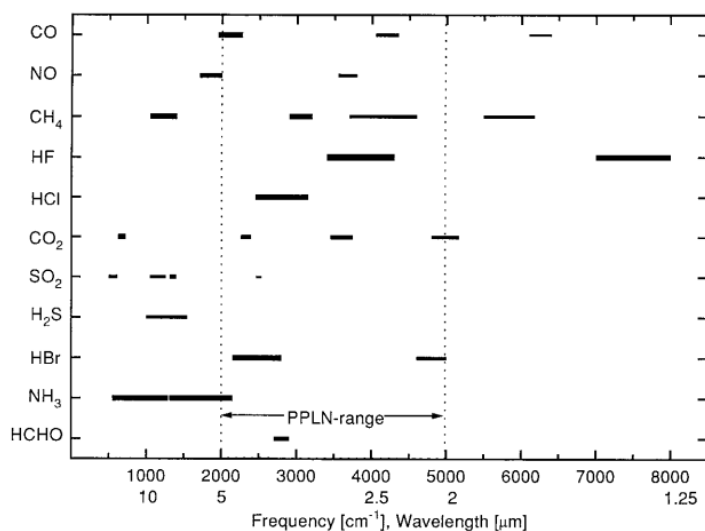


Fig. 2. Liniile spectrale de absorbție ale gazelor în domeniul de frecvențe optice

Senzorii de gaz se utilizează pentru determinarea concentrației diferitor gaze (CO₂, NO, HCl, CH₄, H₂S, NH₃ etc.) în incaperi sau chiar în atmosfera. De astfel acești senzori pot fi folosiți și ca instalații a sistemul de control al emisiilor de gaze în fabrici și uzine.

Moleculele de gaz absorb energia luminii într-un anumit interval de lungimi de undă, care este tipic pentru fiecare gaz (Fig. 2). În pofida formei complicate aspectrelor de absorbție, absorbția poate fi

identificată individual pentru fiecare gaz. Cu ajutorul analizei spectrale se poate determina cât locația liniei de absorbție atât și intensitatea absorbției. Componenta moleculelor de gaz poate fi identificată după spectrul de absorbție iar concentrația de gazul studiat - după intensitatea a spectrului de absorbție.

Problema detectării optice a gazelor se reduce la următoarele:

- realizarea unui emițător cu apertură și spectru îngust de emisie;
- realizarea unui fotoreceptor cu sensibilitatea înaltă;
- realizarea unei metode de mărire a sensibilității prin intermediul modulării semnalului, trecut prin gaz, pentru mărire raportului semnal-zgomot și mărire cantității de informație utilă din semnalul recepționat.

Dacă primele două puncte țin mai mult de posibilitățile tehnice ale industriei producătoare de dispozitive semiconductoare, atunci punctul trei ține mai mult de prelucrarea logică a semnalului, ceea ce dă posibilitate de a ridica de câteva ori sensibilitatea dispozitivelor fizice.

1. Modularea semnalului purtător

Orice sistem senzorial este caracterizat de sensibilitatea minimă, care la rândul ei este determinată de atenuarea modei de lucru, care depinde și ea de lungimea căii de transmisiune și concentrația gazului în mediul dat.

$$\alpha_{\min}(z) = \ln \left[(P_0 + P_n) P_{\min}^{-1} \right] \cdot z^{-1}$$

Relația de mai sus descrie metoda de calcul a atenuării semnalului optic, unde P_{\min} este puterea semnalului pentru care $SNR \geq 20$.

Principalul scop al spectroscopiei în frecvență este modularea semnalului emis de laser și efectul său asupra intensității luminii transmise prin volumul de gaz studiat.

Dacă presupunem că frecvența de modulație a laserului este de valoare relativ mică, atunci frecvența centrală a laserului suportă unele devieri în jurul frecvenței centrale de emisie.

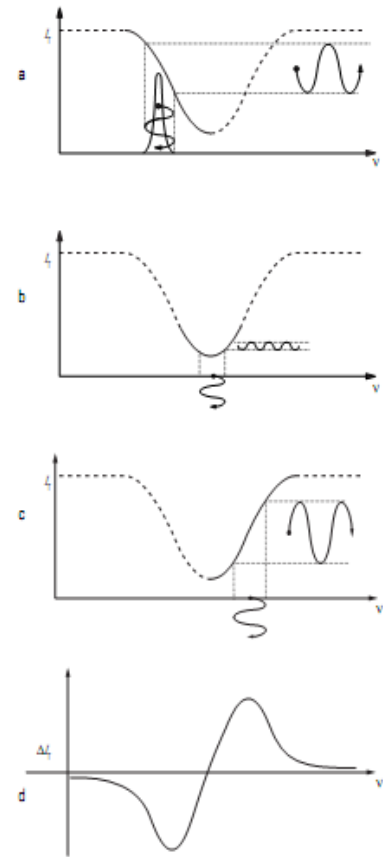


Fig. 3. Spectrosopia cu modulare în frecvență

O metodă foarte eficientă de prelucrare este modularea semnalului emis de laser și demodularea lui la o frecvență multiplă celei de modulare.

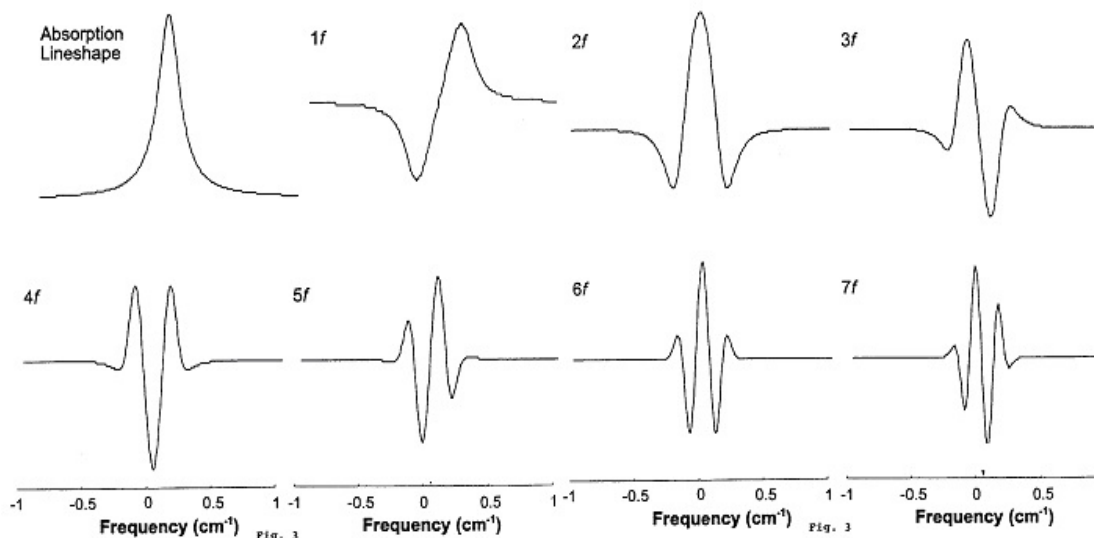


Fig. 4. Forma semnalului demodulat cu frecvențe multiple semnalului modulator

Daca linia laserului este mai îngustă decât linia spectrală de absorbție, atunci în apropierea zonei de absorbție, ea începe să moduleze semnalul în regim sincron. Astfel modulația în frecvență a semnalului emis de laser este transpusă în intensitatea luminii transmise de laser, care poate fi recepționată de fotodiodă. O altă modalitate este transpunerea modulației semnalului emis de laser din spectru de frecvență în spectru de amplitudine.

O problemă cu care se confruntă spectroscopia în frecvență este apropierea de limita domeniului de zgomote, în special pentru modulații de frecvențe înalte. În cazul dat, sursa principală de zgomote este zgomotul de alicie al fotonilor, detectat în amplitudinea semnalului utilizat pentru detectare.

Pentru sursele laser cu modulație în frecvență de valoare joasă, zgomotul de alicie deși și are o însemnătate mare, nu prezintă unica sursă de zgomote, de exemplu diodele laser suportă fluctuații mari a intensității de emisie.

Datorită zgomotelor introduse în semnalul detectat de fotoreceptor, forma semnalului obține un contur neregular cu variații nesemnificative de amplitudine, ceea ce poate împiedica utilizarea acestei metode în sisteme care necesită ca semnalul să fie legat de punctul zero al sistemului. O soluție ar fi utilizarea mai multor fotoreceptori, care ar neutraliza acest effect, însă nu îl va elimina de tot.

Această componentă AM apare în urma unor efecte residuale ale semnalului etalon, de la mărimea ferestrei fotoreceptorului și a inerției lui, și în multe cazuri de la combinarea unor suprafețe parțial reflective.

2. Sisteme cu modularea semnalului

În cazul sistemului prezentat în figura 5, semnalul recepționat este demodulat într-o gama de componente ale semnalului purtător cu frecvențe multiple semnalului modulator, pentru a fi pe urmă sumate în urma prelucrării la calculator (fig.5). În urma unei astfel de prelucrări calitatea semnalului recepționat crește considerabil, iar sensibilitatea sistemului la fluctuația concentrației gazelor sporește.

Mărirea sensibilității este obținută în urma suprapunerii semnalelor primite în urma demodularii semnalului recepționat, cu însăși semnalul recepționat. Aceasta face ca amplitudinea semnalului rezultat să crească cu câteva nivele și mai bine să descrie linia de absorbție a liniei spectrale studiate. Ca urmare a suprapunerii date poziția liniei de absorbție este calculată din poziția centrelor amplitudinilor semnalului primit.

După ce este determinată poziția liniei de absorbție, poate fi determinată o serie de parametri ai gazului studiat cum ar fi presiunea, temperatura, concentrația, ca urmare a datelor primite din analiza spectroscopică a semnalului. Deasemenea din informația obținută pot fi aflate multe date utile despre gazul studiat, fără a lua în considerație interferența cu liniile de absorbție adiacente.

Metoda data prezintă interes deoarece cu ajutorul măririi preciziei de detectare poate fi micșorată distanța emițător – receptor, astfel se minimizează gabaritele dispozitivului final, și respectiv și costul său.

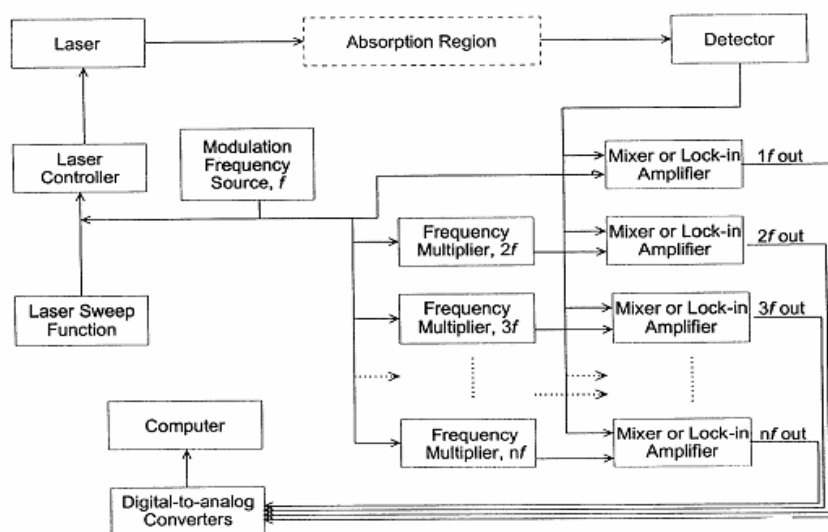


Fig. 5. Schema bloc a unui sistem detector cu modularea semnalului optic cu frecvențe multiple semnalului modulator

O altă metodă utilizează deasemenea modularea semnalului purtător. În ea semnalul suportă o modulare dublă înainte emițătorului. În timpul modulării semnalului sunt calculate suma și diferența dintre frecvențele modulatorare și respectiv după fotoreceptor este verificată integritatea semnalului inițial, astfel este determinată poziția liniilor de absorbție. Schema bloc a acestui sistem este prezentată în figura 6.

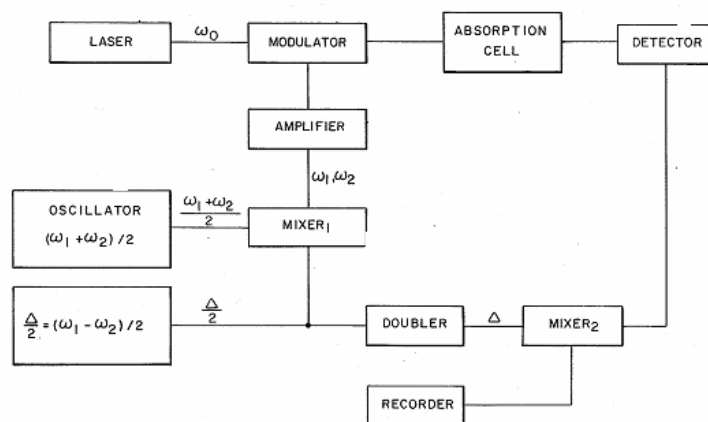


Fig.6. Schema bloc a sistemului cu modularea seamnalului înainte transmisiunii

Sistemul are următoarele părți componente:

- laserul modulat cu frecvența ω_0
- generatorul care generează frecvențele ω_1 și ω_2
- circuitul de calculare a diferenței $(\omega_1 - \omega_2)/2$
- mixerul care sumează $(\omega_1 + \omega_2)/2$
- modulatorul pentru modularea semnalului ω_0 cu semnalul $(\omega_1 + \omega_2)/2$
- detector (fotodiodă)
- mixerul care adună $(\omega_1 - \omega_2)/2$ cu semnalul recepționat de fotodiodă
- dispozitivul de prelucrare a datelor obținute

Avantajul acestui sistem este că fotoreceptorul primește semnalul dublu-modulat deja influențat de zgomote și liniile spectrale de absorbție și nu are loc amplificarea posterioară a semnalului cu tot cu zgomote. Semnalul de la bun început este modulat cu semnalul dublu, și mai puțin este influențat de zgomotele ce survin în urma interferențelor cu liniile spectrale vecine și zgomotele de fon care sunt prezente în mediul studiat.

Concluzie

În urma efectuării acestui studiu în domeniul utilizării senzorilor optici am observat un șir de avantaje ca: sensibilitatea înaltă a senzorului, posibilitatea de detectare non-contact, nu este sensibil la câmpurile electromagnetice, viteză sporită de răspuns, confortul tehnologiei integrate etc. De asemenea sunt ușor observate și dezavantajele utilizării acestei instalații: sensibilitatea selectivă la interferența luminii și expunerea la influența temperaturii.

Bibliografie

1. A compact ruggedized tunable diode laser spectrometer for oxygen sensing. M.Laakso, M.Jalonen, S.Laukkanen. The instrumentation, System and Automation Society. ISA EXPO 2005.
2. Frequency modulation spectroscopy using dual frequency modulation and detection. Th.F. Gallagher, G.R.Janik, C.B.Carlisle. U.S.Patent nr.4765736. Aug.23, 1988.
3. Gas temperature measurements using widely tunable long-wavelength VCSEL. A.Lytikine, A.Lim, W.Jager, J.Tulip. Applied Physics B 90, Laser and Optics. P. 323-327 (2008).
4. http://www.leister.com/axetris/pdf/Axetris_Laser_Diode_Gas_Detection_F64_ENG.pdf
5. http://www.leister.com/axetris/laser_gas_detection_products.htm
6. <http://www.ir-microsystems.com/web/products/microLGD.php>
7. <http://www.ir-microsystems.com/web/applications/ammonia.php>