

STRUCTURI DE REGLARE PENTRU LASERI

PROF. COORDONATOR: PROF. UNIV. DR. ING. ABRUDEAN MIHAI
STUDENT: CEOCA OVIDIU

1. INTRODUCERE

Un laser este un dispozitiv care emite lumină printr-un proces de amplificare optică bazat pe emisia stimulată de radiații electromagnetice. Cuvântul laser este un anacronim care a luat naștere ca acronim pentru amplificarea luminii prin emisie stimulată de radiații (en. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, abv. LASER). Primul laser a fost construit în 1960 de Theodore Maiman la Hughes Research Laboratories, pe baza lucrărilor teoretice ale lui Charles H. Townes și Arthur Leonard Schawlow.

Un laser se deosebește de alte surse de lumină prin faptul că emite lumină coerentă. Coerența spațială permite ca un laser să fie focalizat pe un punct strâns, permițând aplicații precum tăierea cu laser și litografia. De asemenea, ea permite ca un fascicul laser să rămână îngust pe distanțe mari (colimare), o caracteristică utilizată în aplicații precum indicatoarele laser și lidar (light detection and ranging). De asemenea, laserele pot avea o coerență temporală ridicată, ceea ce le permite să emită lumină cu un spectru de frecvență foarte îngust. Alternativ, coerența temporală poate fi utilizată pentru a produce impulsuri ultracurte de lumină cu un spectru larg, dar cu durate de până la o femtosecundă.

Laserele sunt utilizate în unitățile de discuri optice, imprimantele cu laser, scanerele de coduri de bare, instrumentele de secvențiere a ADN-ului, comunicațiile optice cu fibre optice și în spațiu liber, fabricarea cipurilor semiconductoare (fotolitografie), chirurgia cu laser și tratamentele cutanate, tăierea și sudarea materialelor, dispozitivele militare și de aplicare a legii pentru marcarea țintelor și măsurarea distanței și vitezei, precum și în afișajele de iluminat cu laser pentru divertisment. Laserele cu semiconductori în spectrul albastru până la UV apropiat au fost, de asemenea, utilizate în locul diodelor emițătoare de lumină (LED) pentru a excita fluorescența ca sursă de lumină albă; acest lucru permite o zonă de emisie mult mai mică datorită radianței mult mai mari a laserului și evită căderea de intensitate a LED-urilor; astfel de dispozitive sunt deja utilizate în unele faruri de mașină.

Laserul a fost utilizat în mod restrictiv în cercetarea științifică și în armele militare până în anii 1990, când utilitatea sa s-a extins la o varietate de alte aplicații. Sweeney et al. (2002) au prezentat un proiect real al unei oglinzi de orientare rapidă (en. Fast Steering Mirror, abv. FSM) și datele de performanță ale acesteia în sistemul de telecomunicații cu laser în spațiu liber și au discutat compromisurile mecanice între gama de mișcare și alte structuri. Bazându-se

pe principiul reflexiei fascicului laser, dezvoltarea rapidă a numeroaselor sale aplicații a cerut din ce în ce mai mult o aliniere optică precisă pentru sistemele optice bazate pe laser.

Sistem de poziționare cu fascicul laser de precizie (en. precision laser-beam positioning system, abv. PLPS) a fost dezvoltat pentru a măsura cu precizie deformarea laserului față de axa optică dorită. În plus, performanța sa de lucru se bazează în principal pe măsura în care deplasările ortogonale ale laserului sunt reduse la minimum. Succesul unui mecanism de poziționare a fascicului laser în PLPS depinde de capacitatea fascicului laser de a-și păstra proprietățile pe distanțe lungi fără deviații și de a fi focalizat în puncte specificate în mod uniform.

Este important să se studieze precizia poziționării fascicului laser. O rezolvare mai precisă și o performanță mai bună a PLPS pot asigura o direcționare precisă și stabilă a fascicului laser pentru caracteristicile de răspuns rapid ale oglinzilor active și menținerea alinierii. PLPS poate contribui la robustețea sistemelor optice, atunci când luăm în considerare mediile dificile din cauza stresului structural, a vibrațiilor și a derapajelor. O deplasare unghiulară foarte mică a fascicului laser poate induce erori semnificative de poziție a fascicului atunci când este amplificată de perturbațiile nedorite.

Ca soluție pentru a face față mediilor nedorite, Orzechoski et al. (2008a) au utilizat un controler adaptiv pentru a obține o variație minimă a erorilor de ieșire în ceea ce privește suprimarea oscilațiilor în sistemul de dirijare a fascicului laser. Mai mult, Orzechoski et al. (2008b) au demonstrat, de asemenea, capacitățile noului dispozitiv cu cristale lichide și ale unui controler adaptiv pentru a suprima jitterul de lățime de bandă mare. Astfel, eforturile de a depăși aceste variații prin corectarea de-alinierii pe axa optică pot îmbunătăți stabilizarea fascicului și performanța sistemului.

2. SCOPUL LUCRĂRII

Scopul acestei lucrări este de a proiecta un controler astfel încât PLPS să aibă capacitatea de a urmări rapid semnalele de comandă și de a respinge perturbațiile nedorite. Ca una dintre cele mai importante specificații de proiectare, sensibilitatea întregului sistem trebuie să fie mai mică de 10 dB la 20 Hz pe cele două axe. De asemenea, controlerul ar trebui să obțină un răspuns tranzitoriu bun în limitele unei anumite limitări a intrării de comandă pe ambele axe și o frecvență de eșantionare de 3 kHz. În plus, PLPS însuși este considerat ca fiind subiectul care trebuie să îndeplinească obiectivele de control descrise.

3. PROIECTARE CONTROLER

Pentru PLPS cu două axe, luăm în considerare structura de control cu reacție cu doi parametri în fiecare buclă, așa cum se arată în Figura 1. În acest caz, am presupus că modelul PLPS este considerat ca un sistem multivariabil liniar 2x2 și că neliniaritatea sa este neglijabilă.

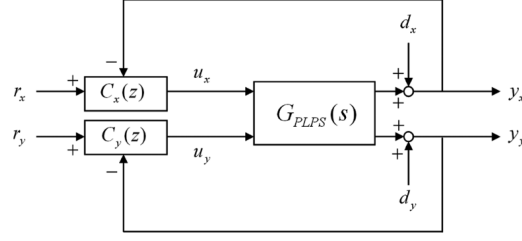


FIGURE 1. Diagrama bloc a sistemului de control cu PLPS

Fie modelul PLPS descris de relația 3.1.

$$G_{PLPS}(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Primul pas în strategia de control implică măsurarea setului de date de răspuns în frecvență de la PLPS cu două axe cu ajutorul unui analizor de semnal dinamic. Pentru model, reprezentat printr-o matrice de funcții de transfer 2x2, așa cum este descrisă în ecuația 3.1, este necesar să se obțină cele patru date de răspuns în frecvență corespunzătoare. Având în vedere aceste considerente, am excitat PLPS cu o formă de undă sinusoidală, apoi am măsurat mărimea (în dB) și faza (în grade) a răspunsurilor. Pe baza unei serii de teste de laborator, au fost colectate date fiabile de răspuns ale PLPS.

După ce am efectuat mai multe teste de validitate a modelului, am stabilit că ordinele corecte ale tuturor $G_{ij}(s)$, unde i și $j = 1, 2$ sunt (gradul numitorului=gradul numitorului) egal cu 3=6. Adică rezulă următoarea funcție de transfer descrisă de relația:

$$G_{ij}(s) = \frac{b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^6 + a_5 s^5 + \dots + a_1 s + a_0} \quad (3.2)$$

Apoi, a fost utilizată estimarea prin metoda celor mai mici pătrate (en. Least Square Estimation, abv.LSE) pentru a identifica coeficienții din ecuație. Astfel, s-au determinat 381 puncte valide pentru $G_{22}(s)$, în timp ce pentru $G_{11}(s)$, $G_{12}(s)$, $G_{21}(s)$ s-au găsit doar 341 puncte valide.

Odată stabilit modelul multivariabil al PLPS, trebuie analizată existența și amploarea interacțiunilor dintre modele înainte de a ne ocupa de controlul descentralizat. Matricea de câștig relativ (en. Relative Gain Array, abv. RGA) introdusă de (Bristol 1996) oferă o perspectivă analitică asupra selecției perechilor de variabile controlate prin manipulare. De asemenea, este utilizată pentru a prezice comportamentul răspunsurilor controlate (Shinsky 1981).

Relația 3.3 definește modelul în spațiul stărilor pentru PLPS. Unde fiecare K_{ij} sunt câștigurile în regim staționar ale funcțiilor de transfer din ecuația 3.1

$$\begin{aligned} y_x &= K_{11}u_x + K_{12}u_y \\ y_y &= K_{21}u_x + K_{22}u_y \end{aligned} \quad (3.3)$$

Apoi, matricea calculată a câștigurilor în regim staționar este dată de relația 3.4

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} 1.44641 & -7.95380 \times 10^{-2} \\ -2.83913 \times 10^{-2} & 1.08425 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Care prin definiția lui Bristol are forma generală descrisă de relația 3.5.

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 1 - \lambda_{11} \\ 1 - \lambda_{11} & \lambda_{11} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Unde λ_{11} este:

$$\lambda_{11} = \frac{1}{1 - \frac{K_{12}K_{21}}{K_{21}K_{22}}} \quad (3.6)$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 1.00144 & -1.44198 \times 10^{-3} \\ -1.44198 \times 10^{-3} & 1.00144 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Rezultatele ecuației 3.7 conduc la concluzia că variabilele de intrare-ieșire ale instalației PLPS sunt aproape decuplate. În consecință, ele ne motivează să proiectăm un controler descentralizat care să asigure caracteristicile dorite în buclă închisă. Proiectarea controlerului descentralizat constă în principal din subsisteme de controler independente și prezintă mai multe avantaje, inclusiv flexibilitate în funcționare, toleranță la defecțiuni, proiectare simplificată și reglaj față de o proiectare complet multivariabilă (Campo și Morari 1994). Având în vedere dinamica PLPS, se proiectează un controler independent cu o singură intrare și o singură ieșire (SISO) în fiecare buclă.

În această etapă, se încearcă mai întâi să proiectăm un controler SISO pentru bucla de pe axa x fără a ține cont de efectul buclei de pe axa y. În mod similar, se va proiecta un alt controler pentru bucla axei y. Din motive de simplitate, se va descrie aici doar proiectarea buclei axei x, așa cum se arată în Figura 2.

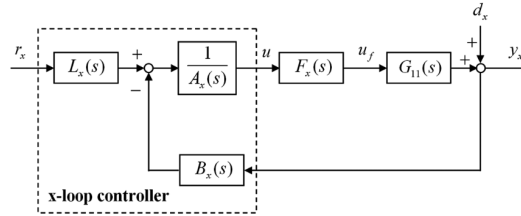


FIGURE 2. Controler descentralizat pentru axa X

Se alege următorul controler de ordinul 3 din relația 3.8.

$$C_x(s) = \frac{B_X(s)}{A_X(s)} = \frac{d_2 s^2 + d_1 s + d_0}{s(s^2 + c_1 s + c_0)} \quad (3.8)$$

Astfel se ajunge la funcția de transfer în buclă închisă din relația 3.9.

$$T_x(s) = \frac{L_X(s)N_{11}(s)H(s)}{A_X(s)Q(s) + M(s)B_x(s)} = \frac{L_X(s)N_{11}(s)H(s)}{\delta_x(s)} \quad (3.9)$$

Unde δ este definită de relația 3.10.

$$\delta_x(s) = A_X(s)Q(s) + M(s)B_x(s) = s^{13} + \delta_{12}s^{12} + \dots + \delta_1s + \delta_0 \quad (3.10)$$

4. BIBLIOGRAFIE

- (1) Youngtae Woo & Young Chol Kim (2011) A Controller Design for Precision Laser-Beam Positioning System, International Journal of Optomechanics, 5:2, 107-127, DOI: 10.1080/15599612.2011.581740
- (2) Chang,H.;Ge,W.-Q.; Wang, H.-C.; Yuan, H.; Fan, Z.-W. Laser Beam Pointing Stabilization Control through Disturbance Classification. Sensors 2021, 21, 1946. <https://doi.org/10.3390/s21061946>
- (3) Turan, Harun, and Şeref Naci Engin. "LQR Based Optimal PID Controller Design for Suppression of the Jitter in Laser Beam." In 2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1-4. IEEE, 2020.
- (4) González-Romeo, Lorenzo L., et al. "Contraction-based nonlinear controller for a laser beam stabilization system using a variable gain." IEEE Control Systems Letters 5.3 (2020): 761-766.