Tema 2

În cadrul cele de-a doua teme vom analiza în frecvenţă mişcarea verticală a unui elicopter:

0.5p 1. vom vedea cum se deformează hodograful procesului atunci când modelul este perturbat multiplicativ;

0.5p 2. vom vedea cum putem ajusta hodograful prin construirea de noi sisteme care să compenseze caracteristica iniţială;

0.5p 3. vom vedea cum răspunde în diferite situaţii sistemul nostru la intrări armonice;

0.5p 4. vom proiecta noi sisteme care să ajusteze diagramele Bode ale procesului.

Pentru început, găsiţi-vă ID-urile în catalogul electronic de pe Moodle şi apelaţi:

```
>>P_tan = date_indiv_SS(ID);
```

pentru a vă obţine procesul personalizat cu care veţi lucra în temă.

1. Vom începe prin analiza hodografului. Declarăm următorul vector de pulsaţii:

```
>>omeg = logspace(-2, 2, 1000)';
```

care ne va selecta banda frecvenţială de interes pentru procesul nostru.

Precizare: De fiecare dată când apelăm `nyquist()` sau `bode()`, vom adăuga drept parametru şi vectorul `omeg`.

0.1p a) Figuraţi diagrama Nyquist a lui `P_tan` şi memoraţi într-o variabilă numită `inters1` partea reală a punctului în care hodograful lui `P_tan` intersectează axa OX în dreapta axei imaginare. Remarcaţi faptul că această valoare este chiar $P_{tan}(s)$ evaluat în $s = 0$.

Precizare: În cadrul acestei teme, puteţi selecta valorile cerute de pe grafic, sau le puteţi calcula prin argumentele de ieşire ale unor rutine de calcul, folosind faptul că funcţiile `bode()` şi `nyquist()` returnează vectorii ale căror valori sunt ilustrate în grafice. În general, varianta cu argumentele de ieşire are precizie mai bună, deoarece graficul rotunjeste implicit numerele la una sau două zecimale.

0.1p b) Întoarceţi-vă la diagrama Nyquist a lui `P_tan` şi memoraţi într-o variabilă numită `inters2` partea reală a punctului în care hodograful intersectează axa OX în stânga axei imaginare. Observaţi că intersecţia se produce în dreapta punctului $(-1, 0)$. Vom discuta pe viitor semnificaţia acestui aspect.

Vom inspecta acum modul în care se alterează hodograful atunci când modelul procesului se modifică.

0.1p c) Figuraţi diagrama Nyquist a lui `P_tan * 2` şi memoraţi într-o variabilă numită `inters3` partea reală a punctului în care hodograful intersectează axa OX în stânga axei imaginare. Apelaţi `hold on` şi redesenaţi hodograful lui `P_tan`. Remarcaţi faptul că diagrama procesului modificat s-a ,,dilatat" la de două ori dimensiunea iniţială, iar punctul de intersecţie s-a apropiat de $(-1, 0)$.

0.1p d) Figuraţi diagrama Nyquist a lui `P_tan * exp(-1i * pi / 4)` şi memoraţi într-o variabilă numită `inters4` partea reală a punctului în care hodograful intersectează axa OX în stânga axei imaginare. Apelaţi `hold on` şi redesenaţi hodograful lui `P_tan`. Remarcaţi faptul că diagrama procesului modificat s-a rotit cu 45 de grade în sens orar faţă de prima orientare, iar punctul de intersecţie s-a apropiat de $(-1, 0)$.

0.1p e) Figuraţi diagrama Nyquist a lui `P_tan` înmulţit cu $\frac{1}{s}$. Observaţi că hodograful are acum o asimptotă verticală. Polii sistemului de pe axa imaginară întotdeauna determină acest tip de fenomen pentru reprezentările în frecvenţă. Memoraţi într-o variabilă numită `asimpt` coordonata de pe OX a acestei asimptote.

2. În cadrul exerciţiului trecut, am văzut că modificările aduse în modelul procesului pot cauza apropierea intersecţiei cu axa OX de punctul $(-1, 0)$. Vom învăţa pe viitor că acest lucru nu este de dorit, deoarece indică tendinţă spre instabilitate în buclă închisă. Vom încerca să remediem acest lucru. Fie:

```
>>C_1 = tf(K_1, [T_1 1]);
```

un element de ordin întâi unde `K_1` şi `T_1` sunt doi scalari reali.

Determinaţi `K_1` şi `T_1` astfel încât hodograful lui `P_tan * C_1`:

0.1p a) să intersecteze axa OX între -0.5 şi 0;

0.1p b) să treacă în dreapta axei imaginare prin punctul $(100, 0)$ $\longrightarrow$ *Amintiţi-vă de remarca de la punctul* 1.*a*) .

Vom învăţa faptul că prima cerinţă indică un grad sporit de stabilitate a elicopterului în buclă închisă, iar cea de-a doua denotă o reglare foarte precisă a înclinării verticale a elicopterului.

O alternativă mai folosită în practică a lui `C_1` este:

```
>>C_2 = K_2 * tf([1 1], [T_2 1]);
```

care, vom vedea semestrul viitor, este numit un ,,compensator de fază". `K_2` si `T_2` sunt doi scalari reali. Determinaţi `K_2` si `T_2` astfel încât hodograful lui `P_tan * C_2`:

0.1p a) să intersecteze axa OX între -0.5 şi 0;

0.1p b) să treacă în dreapta axei imaginare prin punctul $(100, 0)$.

0.1p c) să nu intersecteze cercul unitate în cadranele II şi III.

Vom învăţa că ultima cerinţă semnifică faptul că elicopterul tolerează întârzieri semnificative ale comenzii pe linia de comunicaţie, atunci când încercăm să îl ghidăm de la distanţă.

Precizare: Puteţi figura foarte simplu cercul unitate pe grafic prin instrucţiunea:

```
>>hold on; nyquist(tf([-1 1], [1 1]), omeg);
```

din moment ce acest cerc este chiar hodograful lui $\frac{-s+1}{s+1}$.

3. Diagramele Bode sunt folosite pentru a determina modul în care răspunde un sistem la intrări armonice. Fie intrarea:

$$u(t) = 7\sin\left(t + \frac{\pi}{4}\right)\mathbf{1}(t),$$

pe care o aplicăm la intrarea procesului. Ieşirea în regim permanent va fi:

$$y_p(t) = 7|P_{tan}(j \cdot 1)| \sin\left(t + \frac{\pi}{4} + \arg\{P_{tan}(j \cdot 1)\}\right)\mathbf{1}(t).$$

0.1p a) Figuraţi diagramele Bode ale lui `P_tan`. Memoraţi în două variabile scalare numite `amp1` şi `def1` amplitudinea, respectiv defazajul **în grade** al ieşirii în regim permanent pentru `P_tan`, atunci când la intrare avem $u(t)$. Observaţi că se verifică formula lui $y_p(t)$.

0.1p b) Figuraţi diagramele Bode ale lui `3 * P_tan`. Memoraţi în două variabile scalare numite `amp2` şi `def2` amplitudinea, respectiv defazajul **în grade** al ieşirii în regim permanent pentru `3 * P_tan`, atunci când la intrare avem $u(t)$. Observaţi că nu s-a modificat defazajul de la punctul a).

0.1p c) Figuraţi diagramele Bode ale lui `exp(-1i * pi / 6) * P_tan`. Memoraţi în două variabile scalare numite `amp3` şi `def3` amplitudinea, respectiv defazajul **în grade** al ieşirii în regim permanent pentru `exp(-1i * pi / 6) * P_tan`, atunci când la intrare avem $u(t)$. Observaţi că nu s-a modificat amplitudinea de la punctul a).

Alte informaţii utile pe care le putem extrage din diagramele Bode sunt cele referitoare la două pulsaţii care, precum intersecţiile cu axa reală din diagrama Nyquist, ne ofera detalii referitor la stabilitatea în buclă închisă a sistemului.

0.1p d) Figuraţi diagramele Bode ale lui `P_tan * 100` şi memoraţi într-o variabilă numită `omeg_1` pulsaţia la care valoarea amplificării se apropie cel mai mult de 1 (0 dB).

0.1p e) Reveniţi la diagramele Bode ale lui `P_tan * 100` şi memoraţi într-o variabilă numită `omeg_2` pulsaţia la care valoarea fazei se apropie cel mai mult de -180 de grade.

Precizare: Amintiţi-va de comentariul de la exerciţiul 2. Acea amplificare statică în valoare de 100 aplicată lui `P_tan` e menită să asigure performanţe bune în buclă închisă (eroare staţionară scăzută şi timp de răspuns mic la referinţă treaptă unitară).

4. Vom construi acum două sisteme cu rolul de a ajusta caracteristica frecvenţială a lui `P_tan`. Fie:

```
>>C_3 = tf (K_3 * w_3, [1 w_3]);
```

un element de ordin întâi, unde `K_3` şi `w_3` sunt doi scalari reali.

Determinaţi `K_3` şi `w_3` astfel încât diagrama Bode de amplificare a lui `P_tan * C_3`:

0.1p a) să înceapă din 40 dB;

0.1p b) să descrească astfel încât, la pulsaţia de 0.2 rad/s, să fie cu 3 dB sub valoarea asimptotei de la joasă frecvenţă.

Ultima cerinţă semnifică faptul că dorim să atenuăm vârful de pe caracteristica de amplificare a sistemului, vârf ce produce oscilaţii importante în răspunsul procesului.

Dorim acum să vedem cum putem modifica diagrama de fază. Fie:

```
>>C_4 = 100 * tf(B_4 * [1 A_4], A_4 * [1 B_4]);
```

unde `A_4` şi `B_4` sunt doi scalari reali.

0.3p c) Figuraţi diagramele Bode ale sitemului `P_tan * C4` şi determinaţi `A_4` şi `B_4` astfel încât faza lui `P_tan * C4` în `omeg_2`, variabila calculată la subpunctul 3.*e*), să fie între -120 şi -150 grade.

Indicaţie: Încercaţi să luaţi `A_4 * B_4` egal cu `omeg^2` şi `A_4` mai mic decât `B_4`.

Adaugati următoarea instrucţiune:

```
>>save('tema_ID.mat', 'inters1', 'inters2', 'inters3', ...
'inters4', 'asimpt', 'K_1', 'T_1', 'K_2', 'T_2', 'amp1', ...
'def1', 'amp2', 'def2', 'amp3', 'def3', 'omeg_1', 'omeg_2', ...
'K_3', 'w_3', 'A_4', 'B_4');
```

la finalul script-ului MATLAB folosit pentru a rezolva tema, denumiţi-l `nume_prenume_grupa_tema2.m` şi încărcaţi fişierul `.m` pe Moodle până la data de **23.12.2021/23:59**, în secţiunea `Tema 2 - evaluare finala`.

Script-ul încărcat trebuie sa fie **rulabil fără erori** şi să genereze **un singur fişier `.mat` cu denumirea cerută**. Spre exemplu, Teo Rotaru de la 321AA cu ID-ul 734 din catalogul de pe Moodle va trebui să încarce `Rotaru_Teo_321AA_tema2.m`, care să genereze la rulare **doar** fişierul denumit `tema_734.mat`.

Opţional, puteţi încărca fişierul `.m` până la data de **16.12.2021/23:59**, în secţiunea `Tema 2 - evaluare pe parcurs`, pentru a primi un punctaj consultativ obţinut prin rularea soluţiilor prin checker. În acest fel, veţi mai avea aproximativ o săptămână pentru a ajusta eventualele nereguli.