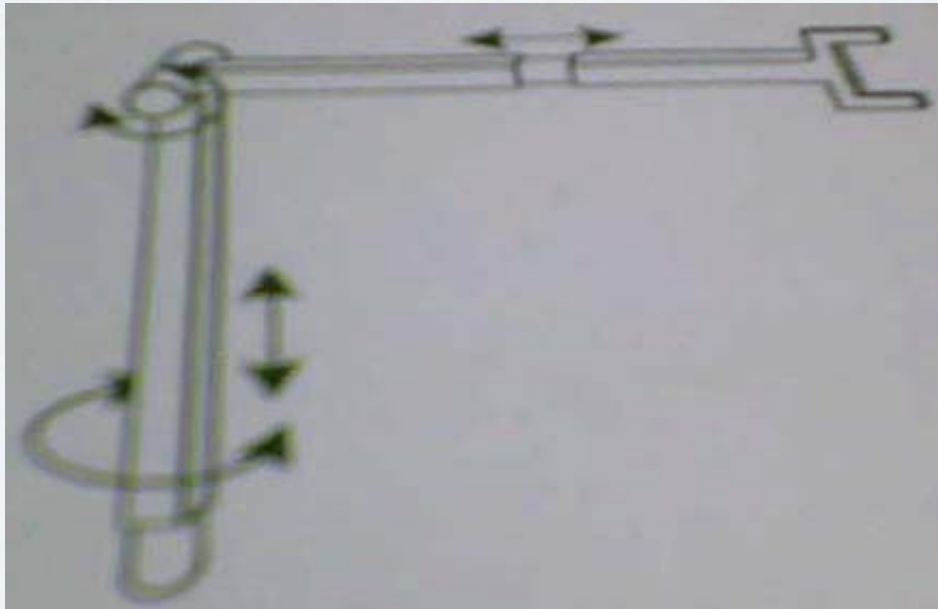


- 1.) OBJASNITE POJMOVE: DOHVAĆIVOST, HED, POMOLJIVOST, PRECIZNOST, TOČNOST!
 - 2.) NEKA JE VEKTOR KONFIGURACIJE ALATA $w = [p \ e^{q_n/n} \ \tau_3]^T$ PRI ČEMU q_n OZNAČAVA ZAKRET VALJANJA ALATA. OBJASNITE ZAŠTO JE VEKTOR POKREĆAVANJA τ_3 MNOŽEN FAKTOROM $e^{q_n/n}$! DOKAŽITE DA UVIJEK VRIJEDI JEDNAKOST $q_n = \frac{\pi}{2} \ln(w(4)^2 + w(5)^2 + w(6)^2)$, DOKAŽITE!
 - 3.) NAPIŠITE OPĆENITI OBLIK MATRICE HOMOGENE TRANSLUCIJE! OBJASNITE POJEDINE KOMPONENTE MATRICE.
 - 4.) SKICIRAJTE I OBJASNITE KINEMATIČKE PARAMETRE ZGLOBA!
 - 5.) ZA ČETVEROOSNI MANIPULATOR (RTRT TIPA), PRIKAZAN SLIKOM 1, ODREĐITE:
 - a) KINEMATIČKE PARAMETRE PREMA DENAVIT-HARTENBERGU
 - b) MATRICE TRANSFORMACIJE $T_0^1, T_1^2, T_2^3, T_3^k$
 - c) SKICIRAJTE RADNI PROSTOR OVOG ROBOTA!
- NAPOMENA! MOŽETE RAČUNATI O TOME DA ROBOT ZA $q_1, q_2, q_3, q_4 = 0$ IZGLEDA KAKO SLICI,



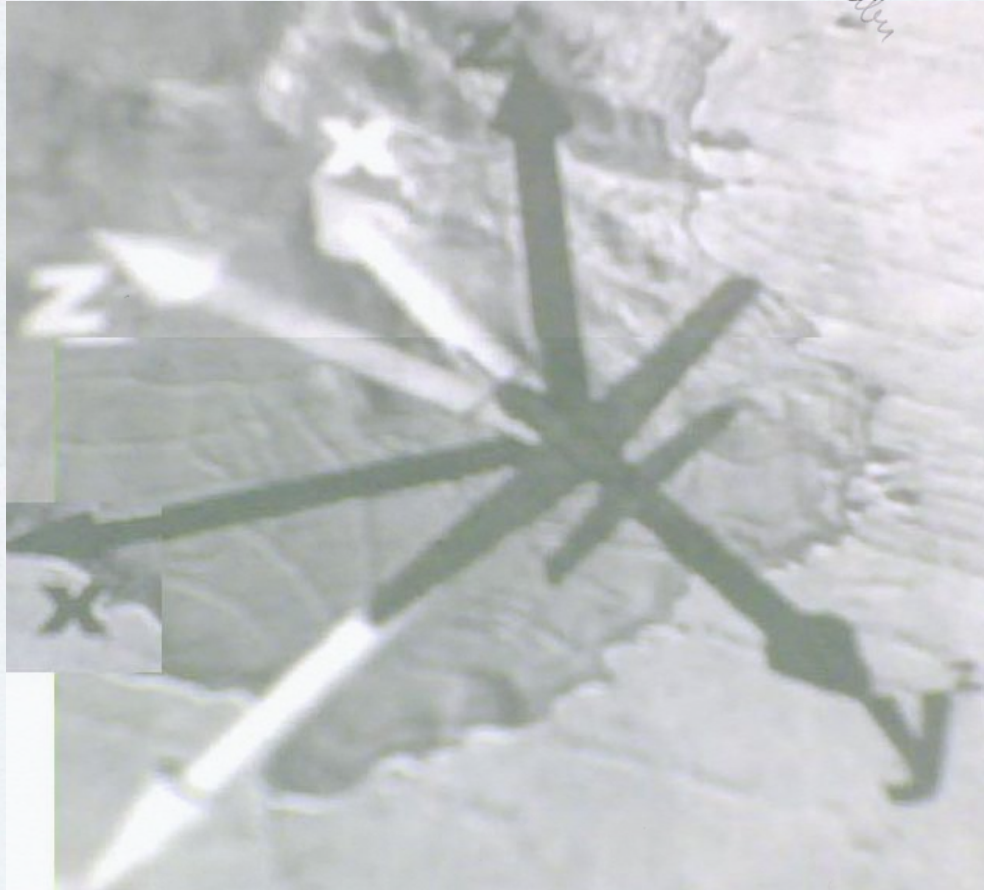
SLIKA 1. RTRT ROBOT UZ 5 ZADATAK

- 6.) NAPIŠITE VEKTOR KONFIGURACIJE ALATA ROBOTA IZ PRETHODNOG ZADATAKA, ODREĐITE INVERZNU KINEMATIKU TOG ROBOTA.

NAPOMENA! NIJE POTREBNO MNOŽITI MATRICE TRANSFORMACIJE IZ PRETHODNOG ZADATAKA, VEKTOR ALATA MOŽETE IZRAČUNATI DIREKTNO IZ SLIKE!

7.) TAJNI AGENT IVICA UGRADIO JE U SVOJ AVION NOVI HIGH-TECH SUSTAV ZA 3D VIZUALIZACIJU ORIJENTACIJE AVIONA. ONO ŠTO IVICA NE ZNA JEST DA DIGITALNI ŽIROSKOP AVIONA MJERI ZAKRETE U EULEROVIM KUTEVIMA U SERVENCI (ZYX) DOK Njegov 3D VIRTUALIZACIJSKI SUSTAV POKAZUJE SMJER NA TEMELJU (ZYX) SEKVENCE. AKO ŽIROSKOP VRAĆA VRIJEDNOST (90, 45, 180) DALI ĆE IVICA USPIJETI DOĆI NA DRUGI KRAJ OTOČA KAO ŠTO POKAZUJE Njegov VREĆA? (Slika 2). U KOJEM SMJERU IDE IVICA? NACRTAJTE!

by Lulu



Slika 2.

1) (26) NAPIŠITE I OBJASNITE OBLIK PODMATRICE B^k JACOBIANA TREĆEG ČLANKA SCARA ROBOT A KIMI.

2) (56) TREBA ZAVRTITI ROBOTSKI ČLANAK MASE m_1 OKO OSI z^0 IKAO ŠTO JE PRIKAZANO NA SLICI 1. ZANEHARIVŠI TREŃE U ZGLOBU z_1 - L-E METODOM IZRAČUNAJTE KOLIKI JE ZAKRETNI MOMENT POTREBAN DA BISTE VRTILI ŠTAČ.

NAPOMENA: GRAVITACIJA DJELOUJE PREMA KOORDINATNOM SUSTAVU ZEMLJE, IKAO ŠTO JE PRIKAZANO NA SLICI 1. PRI IZRAČUNAVANJU KORISTITE SE OZNAČENIM OSIMA z^0, z^1



SL.1

3) (26) KAKO SE ODR. TENZOR INERCIJE MANIPULATORA I KAKVO ULOGU IMU U DOBIVANJU DINAMIČKOG MODELA MANIPULATORA?

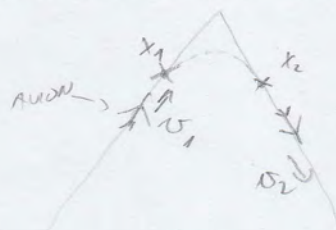
4) (66) NAPIŠITE ZAVRŠNI OBLIK MOMENTNE JEDNAOSTBE ZGLOBA ROBOT A TE DAVJIO FIZIKALNO OBJASNIJENJE SVAKE KOMPONENTE JEDNAOSTBE. U OKVIRU DOGOVORA OBJASNITE TUSTINOV MODEL TREŃJA.

5) (36) OBJASNITE TAYLODOV POSTUPAK OGRANIČENIH DOŠTUPANJA, KOJA JE VEZA IZMEĐU TAYLOROVOG PLANIRANJA TRAJEKTORIJE I HO-COOČKOVU METODU

6) (56) AVION LETI PREMA PUTANJI NASLICI 2 BRZINOM $\vec{v}_1 = [v_x^1, v_y^1]$. AUTAPILOT MORA ZAKRENUTI AVION U TOČKI $\vec{x}_1 = [x_1, y_1]$, TE POTON NASTAVITI GIBANJE BRZINOM $\vec{v}_2 = [v_x^2, v_y^2]$ U TOČKI $\vec{x}_2 = [x_2, y_2]$

a. ODREDITE MATRIČNI IZRAZ ZA PARAMETRE POLINOMA 3. STUPNJA ZA KOJIMČEĆE INTERPOLIRATI TRAJEKTORIJU MEĐUOVUO ZAKRETA. PRI INTERPOLACIJI JE POTREBNO OSIGURATI KONTINUIRANOST BRZINA U TOČKAMA \vec{x}_1 I \vec{x}_2 , VISINI AVIONA SE TOKOM LETA NE MJEŃJA!

b. KOJI STUPANJ POLINOMA ZA INTERPOLACIJU BISTE KORISTILI IKAOBI MORTALI OSIGURATI I KONTINUIRANOST AKCELERACIJA U TOČKAMA \vec{x}_1 I \vec{x}_2 ?



SL.2.

by
t.h.v.g.a.n.g.e.l

7) (26) OBJASNITE METODU KOJOM SE KOD PLANIRANJA TRAJEKTORIJE RAČUNAVU PARAMETRIČKA VREMENA. KAKO BISTE TU METODU PROMJENILI U PRETHODNOM PROMJENU ZAKRETA AVIONA, AKA SU BRZINE AVIONA OGRANIČENE TAKO DA $\max(\vec{v}) \leq [v_x^{\max}, v_y^{\max}]$?

$$\vec{r}_{k-1}^k$$

$$p_{kj}^i = \frac{\partial D_{ij}}{\partial g_k}$$

$$h_c(\theta) = -\mathcal{E}\mathcal{S}$$

9. Na slici 3 prikazan je slijedni regulator jednog zgloba robota. Moment tromosti tog zgloba kreće se u granicama $[1, 10] \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

- a) (2 boda) Objasnite tzv. min-max postupak određivanja parametara slijednog PD regulatora! Odredite parametre K_p i K_d slijednog regulatora u sustavu upravljanja prikazanom na slici 3 tako da odzivi ne prekorače zadane pokazatelje kvalitete odziva $\xi=1$ i $T=0.1\text{s}$ koristeći relacije za koeficijent prigušenja i prirodnu frekvenciju neprigušenih oscilacija uz ispunjen uvjet $K_p K_d = 1$:

$$\xi = \frac{K_d K_I K}{2 \sqrt{\frac{J_{ue}}{J_u K_p K_I K}}}, \omega_n = \sqrt{\frac{J_{ue} K_p K_I K}{J_u}}$$

$$c = \frac{J_{ue}}{J_u} \leq 1$$

$$J_{ue} \text{ ROVJE} = J_{min}$$

$$\xi = \frac{K_d}{2} \sqrt{\frac{J_{ue}}{J_u K_p K_I K}}$$

$$\omega_n = \dots$$

- b) (2 boda) Kojim dodatkom mehaničkoj konstrukciji robota možete smanjiti utjecaj promjenjivog momenta tromosti na motor zgloba? Objasnite!

$$J = J_r + \frac{J_e(\theta)}{C}$$

REDUKCIJA

- c) (1 boda) Koju je modifikaciju potrebno uvesti u upravljački uređaj kako bi se poboljšala točnost u dobivanju zadanog dinamičkog momenta? Objasnite i označite na slici!

REDUKCIJA

- d) (1 boda) Koju je modifikaciju potrebno uvesti u upravljački uređaj kako biste eliminirali pogrešku u stacionarnom stanju? Objasnite i označite na slici!

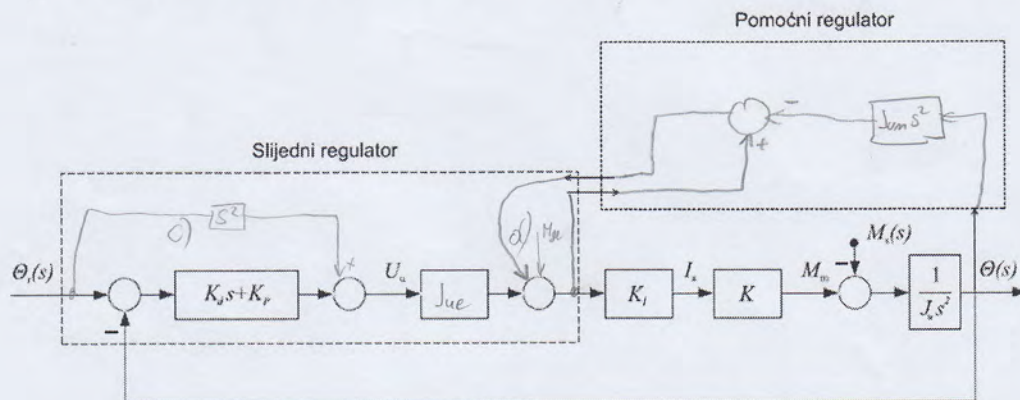
NE POTREBNO JE KORIGIRATI STACIONARNI MOMENT USTANOVI SILE I REŽC.

- e) (3 boda) Kako biste maksimalno iskoristili rezultat planiranja trajektorije Ho-Cookovim postupkom u prethodno modificiranom sustavu upravljanja? Može li se u takvom sustavu regulacije položaja umjesto PD regulatora koristiti P regulator? Obrazložite svoj odgovor.

- f) (2 boda) Na slici označite dodatnu shemu robustnog upravljanja kojom biste smanjili utjecaj momenta M_s . Objasnite djelovanje tog robustnog upravljanja na principu pojačanja!

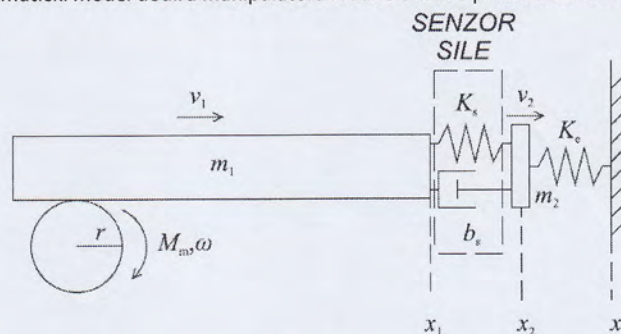
POJAČANJE I SMANJENJE SE POJAČANJE U

REGULACIJI.



Slika 3.

10. (5 b) Opišite matematički model dodira manipulatora i radne okoline prikazan na slici 4.



Slika 4.

11. (2 b) Objasnite princip upravljanja silom dodira upravljanjem impedancijom manipulatora. Kako glasi zakon upravljanja impedancijom za manipulator s jednim, a kako s dva SSG?

OSNOVE ROBOTIKE - ZAVRŠNI ISPIIT (30 BODOVA)

1. (2 b) Koje vrste pogona koriste u robota? Navestite glavne prednosti i nedostatke pripadajućim vrstama pogona: jednostavnost montaže, snaga, mala težina, precizno pozicioniranje, složena konfiguracija, elastičnost u opterećenju, velika izdržljivost, mogućnost skretanja, zaštitivanje radnog prostora, velika brzina odziva.

2. (4 b) Za istosmjerni motor koji pogoni zglob robota poznate su vrijednosti parametara: $R_a = 2 \Omega$, $L_a = 22.5 \text{ mH}$, $U_n = 220 \text{ V}$, $M_n = 8.5 \text{ Nm}$, $\omega_n = 157.07 \text{ s}^{-1}$, $J = 1.529$. Izračunajte nazivnu struju i koeficijent viskoznog trenja B motora. Izračunajte prijenosnu funkciju motora $G(s) = \Omega(s)/U_a(s)$, te pokažite koje veličine možete zanemariti i zašto!

3. (4 b) Za jednoserijski manipulator na slici 1 pogonjen motorom iz prethodnog zadatka:

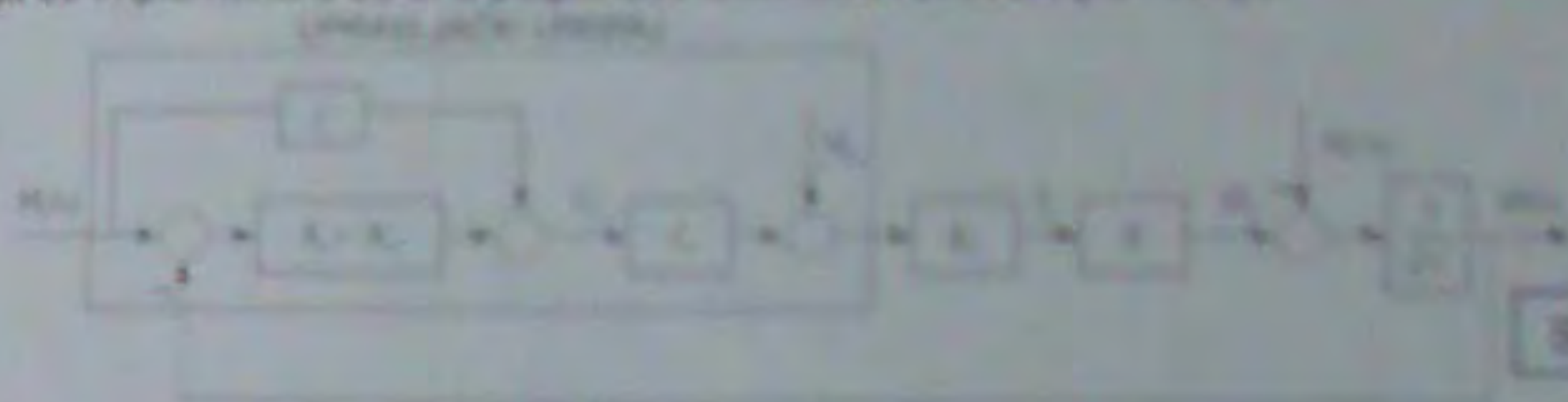
- Odredite dinamičku jednadžbu momenta zgloba!
- Objasnite koji žarivot stvara moment pri mirovanju motora, koji pri gibanju konstantnom brzinom, a koji pri ubrzanom gibanju.
- Izračunajte kutnu brzinu žarvota u reduktor prijenosnog omjera $i = 10$ između motora i zgloba. Kako prisutnost reduktora djeluje na moment zgloba?



Slika 1

4. (2 b) Nacrtajte i opišite strukturu pseudoklasiravnog regulatora s predupravljanjem (PDFF). Koje su prednosti ovog regulatora pred PI regulatorom?

5. (2 b) Zadana trajektorija izračunata je He-Cookovim postupkom planiranja trajektorije. Objasnite kako izgleda transformirana struktura sustava upravljanja prikazanog na slici 2 koja se implementira da bi u potpunosti iskoristila rezultate planiranja.



Slika 2

6. (3 b) Objasnite pojam nominalnog slijednog regulatora. Odredite parametre K_p i K_d nominalnog slijednog regulatora u sustavu upravljanja prikazanom na slici 2 za zadatu frekvenciju neprigušenih oscilacija $\omega_n = 10 \text{ s}^{-1}$ i relativni koeficijent prigušenja $\zeta = 1$ koristeći dolje navedene relacije uz ispunjen uvjet $K_p K_d = 1$. Moment konstantnog tog zgloba kreće se u granicama

$$\zeta = \frac{K_d}{2} \sqrt{\frac{J_m}{K_r J}} \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K_p K_r}{J}}$$

7. (5 b) Objasnite princip djelovanja Hsiaovog adaptivnog regulatora. Objasnite koje je modifikacije tog regulatora potrebno uvesti u praksi. Nacrtajte shemu praktične realizacije tog regulatora!

8. (4 b) Po čemu se regulacijske petlje robotskih sustava CNC tipa razlikuju od standardnih regulacijskih petli? Nacrtajte i objasnite tipične odziva brzine vrtnje i položaja robotskih sustava CNC tipa. Nacrtajte regulacijsku petlju robotskog sustava CNC tipa!

9. (2 b) Objasnite princip hibridnog upravljanja silom dodira. Koji se tip regulatora koristi?

10. (2 b) Objasnite princip upravljanja silom dodira upravljanjem impedancijom manipulatora. Kako glasi zakon upravljanja impedancijom za manipulator s dva SDOF?

1. (2 bi) Koje vrste pogona koriste se u robotici? Razvijajte sljedeće prednosti i nedostatke pripadajućim vrstama pogona: jednostavnost montaže, snaga, slaba točnost pozicioniranja, složena konstrukcija, osjetljivost na opterećenje, velika iskoristivost, mogućnost skretanja, zagađivanje radnog prostora, velika brzina odziva.

2. (4 bi) Za električni motor kojim pogoni zglobov robota poznate su vrijednosti parametara: $R_a = 2 \Omega$; $I_n = 22.5 \text{ A}$; $U_n = 220 \text{ V}$; $M_n = 8.68 \text{ Nm}$; $\omega_n = 157.07 \text{ s}^{-1}$; $J = 1.528$. Izračunajte radnu struju i koeficijent viskoznog trenja B motora. Izračunajte prijenosnu funkciju motora $G(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta U(s)}$, te pokažite koje veličine možete zanemariti i zašto!

3. (4 bi) Za jednadžni manipulator na slici 1 pogonjen motorom iz prethodnog zadatka:

- Određite dinamičku jednadžbu momenta tereta!
- Objasnite kojim faktorom stvaraju moment pri mirovanju motora, kojim pri gibanju konstantnom brzinom, a kojim pri ubrzanom gibanju.
- Izračunajte kutnu brzinu članka uz reduktor prijenosnog omjera $i = 10$ između motora i zgloba. Kako prisutnost reduktora djeluje na moment tereta?

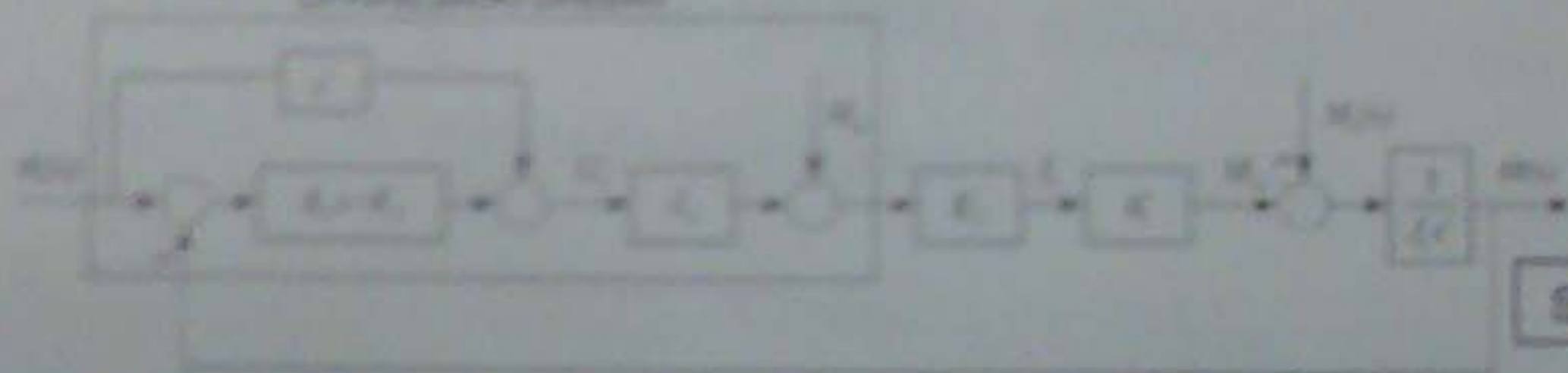


Slika 1.

4. (2 bi) Nacrtajte i opišite strukturu pseudoderivativnog regulatora s predupravljanjem (PDFF). Koje su prednosti ovog regulatora pred PI regulatorom?

5. (3 bi) Zadana trajektorija izračunata je Ho-Cockovim postupkom planiranja trajektorije. Objasnite kakav izgleda transformirana struktura sustava upravljanja prikazanog na slici 2 koja se implementira da bi u potpunosti iskoristila rezultate planiranja.

(Prijemni listovi)



Slika 2.

6. (3 bi) Objasnite pojam nominalnog sljednog regulatora. Odredite parametre K_p i K_d nominalnog sljednog regulatora u sustavu upravljanja prikazanom na slici 2 za zadanu frekvenciju neprirodnih oscilacija $\omega_n = 10 \text{ s}^{-1}$ i relativni koeficijent prigušenja $\xi = 1$ koristeći dolo navedene relacije uz ispunjen uvjet $K_p K_d = 1$. Moment tromosti tog zgloba kreće se u granicama:

$$I = \frac{J_1}{2} \sqrt{\frac{1}{K_d I_1}} \quad \omega_n = \sqrt{\frac{1}{I_1 K_d}}$$

7. (5 bi) Objasnite princip djelovanja Hialovog adaptivnog regulatora. Objasnite koje je modifikacije tog regulatora potrebno uvesti u praksi. Nacrtajte shemu praktične realizacije tog regulatora!

8. (4 bi) Po čemu se regulacijske petlje robotskih sustava CNC tipa razlikuju od standardnih regulacijskih petli? Nacrtajte i objasnite tipične odzive brzine vrtnje i položaja robotskih sustava CNC tipa. Nacrtajte regulacijsku petlju robotskog sustava CNC tipa!

9. (2 bi) Objasnite princip haptičnog upravljanja s lom dodira. Koji se tip regulatora koristi?

10. (2 bi) Objasnite princip upravljanja s lom dodira upravljanjem impedancijom manipulatora. Kako glasi zakon upravljanja impedancijom za manipulator s dva SSG?