UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua

Sidang Akademik 1997/98

Februari 1998

EEE 476 - Sistem Kawalan Lanjutan

Masa : [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEMBILAN(9) muka surat berserta Lampiran(**2 muka surat**)bercetak dan ENAM(6) soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

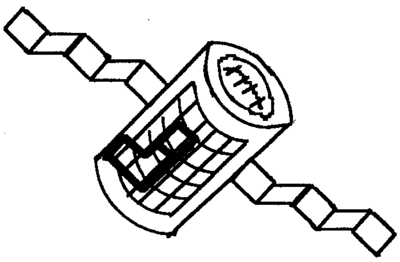
Jawab LIMA (5) soalan.

Agihan markah bagi soalan diberikan di sut sebelah kanan soalan berkenaan.

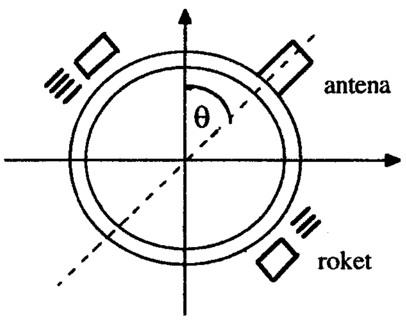
Jawab semua soalan di dalam Bahasa Malaysia

...2/-

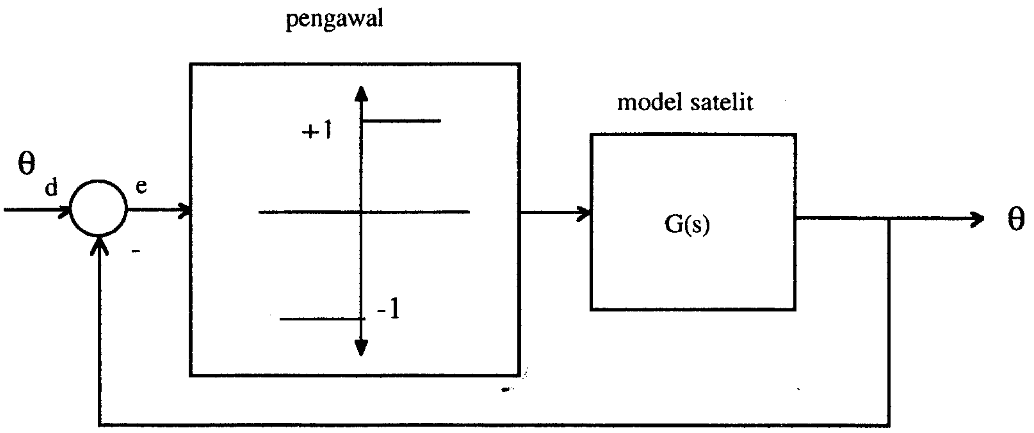
1. Suatu satelit angkasa perlu direkabentuk bersama sistem pengawal yang akan menentukan orientasi antenanya supaya dapat beroperasi dengan baik. Perubahan orientasi biasanya dicapai menggunakan sepasang jet (roket) kecil yang dipasang secara bertentangan seperti ditunjukkan dalam rajah di bawah. Struktur sistem kawalan yang akan dibentuk menggunakan model relay seperti dalam rajah 1 (c).



(a)
Satelit



(b)
Orientasi



(c)
struktur pengawal

...3/-

i. (a) Anggapkan bahawa model satelit diberi oleh

$$G(s) = \frac{1}{s^2}$$

Dapatkan lakaran potret fasa dengan mengguna kaedah analitiks iaitu selesaikan bagi hubungan $\dot{\theta}$ dengan θ bagi kedua-dua kedudukan "relay" tanpa isyarat masuk

(20%)

(b) Anggapkan bahawa model satelit diberi pula oleh

$$G(s) = \frac{3}{s(1+2s)}$$

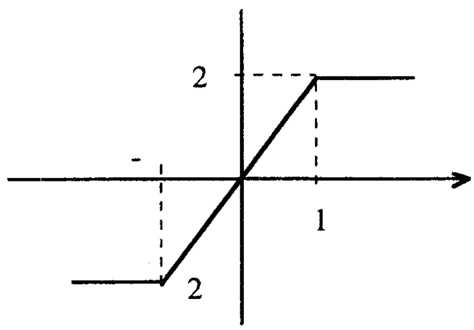
Dapatkan lakaran potret fasa bagi isyarat rala menggunakan kaedah ekacerun bagi masukan langkah dan kawalan relay.

(30%)

(c) Anggapkan pula bahawa model satelit diberi oleh

$$G(s) = \frac{1}{s(1+2s)}$$

Sistem kawalan pula mempunyai ciri relay dan lelurus seperti dibawah.

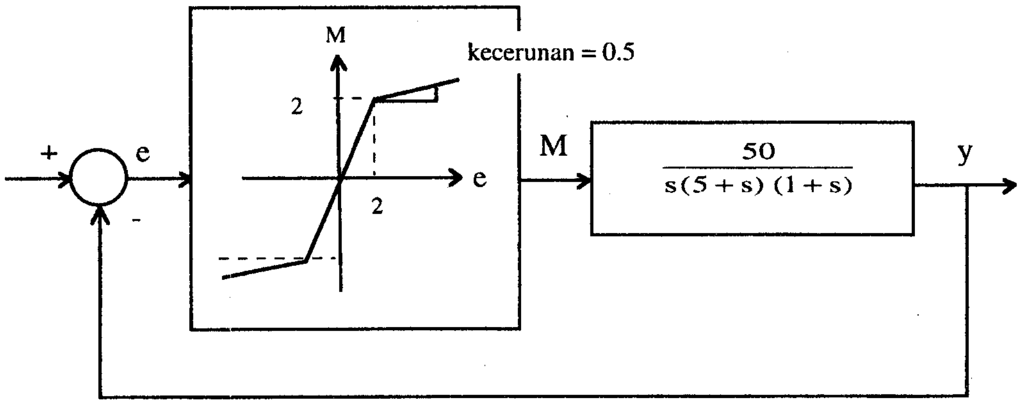


Rajah (d)

(50%)

Dapatkan lakaran potret fasa isyarat ralat secara ekacerun bagi sambutan langkah u (t) = 4.

2. Diberikan satu perkakasan penentu kedudukan antena seperti ditunjukkan di bawah



Pengawal yang digunakan merupakan penguat yang akan menepu secara perlahan.

(ii) Apakah fungsi perihalan untuk penguat tidak lelurus ini.

(10%)

...5/-

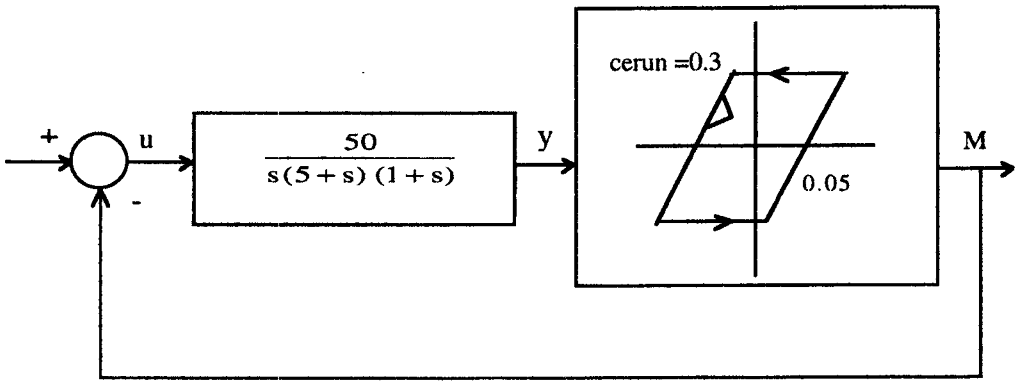
(ii) Lakarkan lakaran Nyquist bagi sistem lelurus berkenaan.

(20%)

(iii) Apakah frekuensi di mana kitaran had berlaku dan apakah amplitud kitaran had tersebut?

(20%)

(iv) Jika sistem yang sama dipacu pula seperti di bawah:



Apakah fungsi perihalan ketidak kelurusan ini?

(20%)

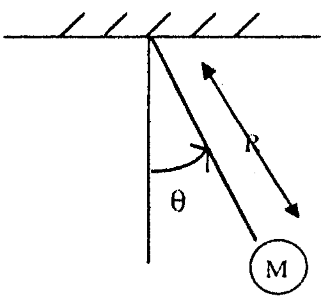
(v) Apakah amplitud dari fungsi kitaran hadnya?

(30%)

...6/-

3. Pertimbangkan pendulum dengan dinamik yang diperihalkan oleh

$$MR^2\ddot{\theta} + k\dot{\theta} + Mg\,R\sin\theta = 0$$



(a) Dengan memilih $x_1 = \theta$ dan $x_2 = \dot{\theta}$ dapatkan persamaan bagi sistem ruang keadaannya.

(20%)

(b) Apakah kedudukan keseimbangannya?

(20%)

(c) Leluruskan sistem di sekitar titik keseimbangannya dan bincangkan aspek kestabilannya.

(20%)

(d) Jika diberi MR = K = MgR = 1 dan persamaan tenaga diberi oleh

$$V(x) = (1-\cos\theta) + \frac{\dot{\theta}^2}{2}.$$

Bincangkan kestabilan sistem di sekitar (0,0).

(20%)

(e) Jika diberikan $V(x) = \frac{1}{2}\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}(\dot{\theta}+\theta)^2 + 2(1-\cos\theta)$

Bincangkan aspek kestabilannya.

(20%)

...7/-

4. (a) Pertimbangkan sistem lelurus yang diperihalkan oleh

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 4 \\ -8 & -12 \end{bmatrix}$$

Apakah fungsi tenaga yang sesuai dan buktikan ia merupakan sistem yang stabil.

(30%)

(b) Jika sistem tak lelurus yang diberi ialah

$$\dot{x}_1 = -3x_1 + x_2$$
$$\dot{x}_2 = x_1 - x_2 - x_2^3$$

Gunakan kaedah Krasovkii untuk mencari fungsi tenaga yang stabil.

(30%)

(c) Jika sistem tak lelurus diberi oleh

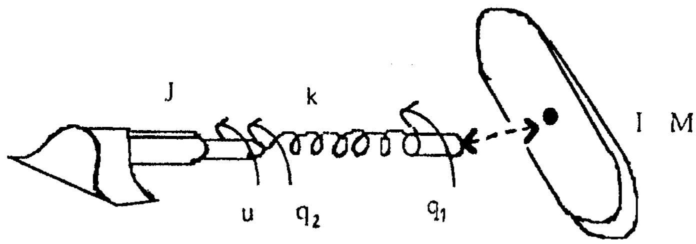
$$\dot{x}_1 = -x_1$$
$$\dot{x}_2 = -x_2 + x_1 x_2^2$$

Gunakan kaedah gradien berubah untuk menyelesaikan bagi fungsi tenaga yang stabil.

(40%)

5. Pertimbangkan kaedah kawalan bagi mekanisma dalam rajah di bawah yang menggambarkan lengan robot yang dipacu oleh motor melalui spring putaran (robot satu lengan sendi fleksibel), dalam planar menegak.

...8/-



Model sistem diberi oleh:

$$I\ddot{q}_2 + MgL\sin q_1 + k(q_1 - q_2) = 0$$

$$J\ddot{q}_2 - k(q_1 - q_2) = u$$

(a) Dengan memilih $x = \begin{bmatrix} q_1 & \dot{q}_1 & q_2 & \dot{q}_2 \end{bmatrix}^T$ tuliskan medan faktor **f** dan **g** bagi membentuk pelelurusan keadaan masukan $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})u$.

(20%)

(b) Periksa keboleh kawalan dan keadaan tak volutif sistem.

(20%)

(c) Dapatkan jelmaan keadaan $\mathbf{z} = \mathbf{z}(\mathbf{x})$ dan jelmaan masukan $u = \alpha(\mathbf{x}) + \beta(\mathbf{x})v$ untuk membentuk pelelurusan keadaan masukan.

(30%)

(d) Buktikan sama ada kawalan pelelurusan keadaan masukan yang anda bentuk dalam bahagian (c) boleh diguna secara sejagat dengan memperolehi songsangan sistem.

(30%)

...9/-

6. Pertimbangkan sistem tak lelurus:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} -x_1 \\ 2x_1 x_2 + \sin x_2 \\ 2x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e^{2x_2} \\ \frac{1}{2} \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = h(\mathbf{x}) = x_3$$

(a) Dapatkan kebezaan "Lie" bagi **h** berbanding **f**, bagi **h** berbanding **g** dan kebezaan tertib kedua **h** berbanding **f** dan **g**.

(25%)

(b) Dapatkan bentuk normal bagi sistem untuk pelelurusan masukan keluaran untuk μ dan ϕ.

(25%)

(c) Dapatkan matrik Jacobian bagi jelmaan $\mathbf{z} = (\mu_1\ \mu_2\ \phi)^T$ dan jelmaan songsangan.

(25%)

(d) Dengan menggunakan set kordinat yang baru di atas, apakah dinamik bagi sistem berkenaan?

(25%)

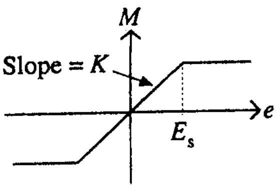
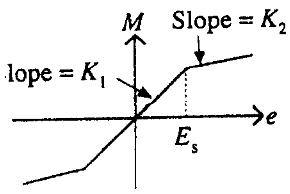
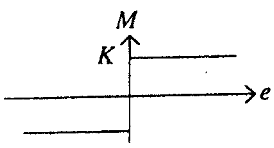
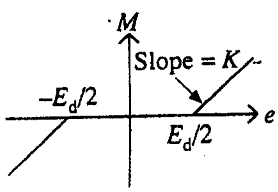
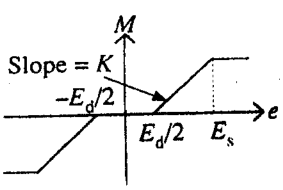
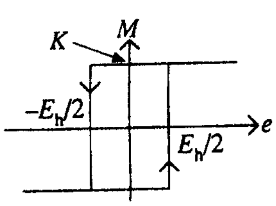
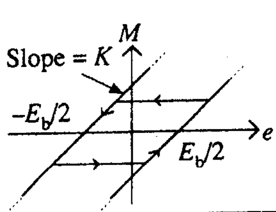
-oo0oo-

...10/-

Table 2.9 Laplace transforms of common functions.

Time function $f(t)$	Laplace transform $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$
1. $\delta(t)$: unit impulse	1
2. $u(t)$: unit step	$1/s$
3. t	$1/s^2$
4. t^n	$n!/s^{n+1}$
5. e^{at}	$1/(s-a)$
6. $\cos \omega t$	$s/(s^2+\omega^2)$
7. $\sin \omega t$	$\omega/(s^2+\omega^2)$
8. $e^{-at} \cos \omega t$	$\dfrac{s+a}{(s+a)^2+\omega^2}$
9. $e^{-at} \sin \omega t$	$\dfrac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$
10. $\dfrac{e^{-at}-e^{-bt}}{b-a}$	$\dfrac{1}{(s+a)(s+b)}$
11. $\dfrac{\omega}{\sqrt{(1-\zeta^2)}} e^{-\zeta\omega t} \sin[\omega\sqrt{(1-\zeta^2)}t]$	$\dfrac{\omega^2}{s^2+2\zeta\omega s+\omega^2}$
12. $\dfrac{1}{T^n(n-1)!} t^{n-1} e^{-t/T}$	$\dfrac{1}{(1+sT)^n}$
13. $1-\cos \omega t$	$\dfrac{\omega^2}{s(s^2+\omega^2)}$
14. $1-e^{-t/T}$	$\dfrac{1}{s(1+Ts)}$
15. $1-\dfrac{t+T}{T} e^{-t/T}$	$\dfrac{1}{s(1+Ts)^2}$
16. $\dfrac{\omega^2}{\sqrt{(1-\zeta^2)}} e^{-\zeta\omega t} \sin[\omega\sqrt{(1-\zeta^2)}t+\phi]$ where $\phi = \tan^{-1} \dfrac{\sqrt{(1-\zeta^2)}}{-\zeta}$	$\dfrac{s\omega^2}{s^2+2\zeta\omega s+\omega^2}$

Table 14.6 Some common describing functions for an input signal $e(t) = E_m \sin \omega t$.

Input–output characteristics	Describing function
	$N = K,\ E_m \le E_s$ $N = \frac{2K}{\pi}\left(\sin^{-1}\frac{E_s}{E_m} + \frac{E_s}{E_m}\sqrt{1-\left(\frac{E_s}{E_m}\right)^2}\right),\ E_m > E_s$
	$N = K_1,\ E_m \le E_s$ $N = \frac{2K_2}{\pi}\left\{\frac{\pi}{2} + \left(\frac{K_1}{K_2} - 1\right)\left[\sin^{-1}\frac{E_s}{E_m} + \frac{E_s}{E_m}\sqrt{1-\left(\frac{E_s}{E_m}\right)^2}\,\right]\right\},\ E_m > E_s$
	$N = \frac{4K}{\pi E_m}$
	$N = 0,\ E_m \le E_d/2$ $N = \frac{2K}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\frac{E_d}{2E_m} - \frac{E_d}{2E_m}\sqrt{1-\left(\frac{E_d}{2E_m}\right)^2}\,\right],\ E_m > E_d/2$
	$N = 0,\ E_m \le E_d/2$; N = as for deadzone, $E_d/2 < E_m \le E_s$; otherwise $N = \frac{2K}{\pi}\left[\sin^{-1}\frac{E_s}{E_m} - \sin^{-1}\frac{E_d}{2E_m} + \frac{E_s}{E_m}\sqrt{1-\left(\frac{E_s}{E_m}\right)^2} - \frac{E_d}{2E_m}\sqrt{1-\left(\frac{E_d}{2E_m}\right)^2}\,\right]$
	$N = 0,\ E_m \le E_h/2$; otherwise $N = \frac{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}{E_m}$, $\phi = \tan^{-1}\frac{A_1}{B_1}$ with: $A_1 = -\frac{2E_h K}{\pi E_m}$, $B_1 = \frac{4K}{\pi}\sqrt{1-\left(\frac{E_h}{2E_m}\right)^2}$
	$N = 0,\ E_m \le E_b/2$; otherwise N and ϕ as for hysteresis, with: $A_1 = -\frac{E_b K}{\pi}\left(2 - \frac{E_b}{E_m}\right), B_1 = \frac{KE_m}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} + \sin^{-1}\left(1 - \frac{E_b}{E_m}\right) + \frac{E_b}{E_m}\left(1 - \frac{E_b}{E_m}\right)\sqrt{\frac{2E_m}{E_b} - 1}\,\right]$