UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama

Sidang 1987/88

EEE 413 Sistem Kawalan Automatik

Tarikh: 30 Oktober 1987 Masa: 2.45 petang - 5.45 petang (3 Jam)

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi 10 muka surat berserta Lampiran (4 muka surat) yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab LIMA(5) soalan.

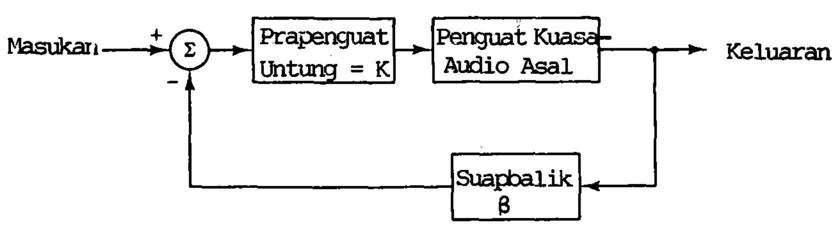
Jawab kesemua soalan di dalam Bahasa Malaysia.

Gunakan buku baru bagi setiap soalan.

...2/-

1. A: Suatu penguat kuasa-audio menghasilkan voltan keluaran 12 V melintangi suatu beban 16 Ω dengan isyarat masukan 1 V. Keluaran mengandungi herotan harmonik 3%. Kita ingin mengurangkan herotan harmonik kepada 0.5% dengan menggunakan suapbalik, seperti yang tertera di dalam RAJAH 1. Dapatkan K dan β supaya masukan 1 V akan menghasilkan keluaran 12 V dengan herotan 0.5%

(60%)



RAJAH 1

B: Lakarkan gambarajah keadaan untuk fungsi pindah berikut dengan menggunakan penguraian terus.

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 10s^2 + 5s + 10}$$

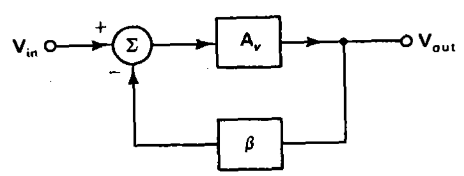
Tuliskan persamaan-persamaan keadaan daripada gambarajah keadaan dan tunjukkan bahawa persamaan-persamaan adalah di dalam pembolehubah-fasa bentuk berkanun (phase-variable canonical form).

(40%)

2\. A: (i) Dapatkan nilai β maksimum untuk operasi yang stabil (RAJAH 2).

(ii) Jika $\beta = 0.01$, cari nilai frekuensi 3 - dB atasan untuk sistem gelung-tertutup ini.

(50%)



A_v diberikan oleh $\dfrac{A_{vo}}{[1 + j(f/5\text{ KHz})]\,[1 + j(f/400\text{ KHz})]^2}$

$A_{vo} = 1000$

RAJAH 2

B: Diberi sistem

$$\dot{x}(t) = A\,x(t) + Bu(t)$$
$$c(t) = D\,x(t)$$

di mana

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -3 \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \qquad D = [\,1 \quad 1\,]$$

...4/-

(a) Tentukan kebolehkawalan dan kebolehcerapan keadaan sistem.

(b) Misalkan $u = - GX$, di mana $G = [\ g_1\ ,\ g_2\ ]$. Tentukan jika dan bagaimana kebolehkawalan dan kebolehcerapan sistem gelung-tertutup dikesani oleh unsur-unsur G.

(50%)

3. Gambarajah skematik yang tertera di dalam RAJAH 3 mewakili suatu sistem kawalan yang bertugas untuk memegang aras cecair di dalam tangki pada aras yang ditetapkan. Aras cecair dikawal oleh pelampung yang kedudukannya disambung kepada lengan penyentuh suatu pengesan ralat potensiometer. Isyarat ralat di antara aras rujukan dan aras sebenar cecair disuapkan kepada pengawal yang berfungsi pindah $G_c(s)$. Parameter-parameter sistem diberikan sebagai berikut:-

Motor AT:

Rintangan amartur	$R = 10$ ohm
Induktans amartur	$L =$ diabaikan
Pemalar tork	$K_i = 10$ oz - in./A
Pemalar dge lawan	$K_b = 0.075$ V/rad/s
Inersia rotor	$J_m = 0.005$ oz - in. - s^2
Geseran beban dan meter	diabaikan
Inersia beban	$J_L = 10$ oz - in. - s^2
Nisbah gear	$n = n_1/n_2 = 1/100$

...5/-

Persamaan-persamaan motor

$$e_a = Ri + e_b \qquad e_b = K_b\,\omega_m$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \qquad T_m = K_i\,i = J\dot{\omega}_m$$

$$\theta_c = \frac{n_1\theta_m}{n_2} = n\,\theta_m \qquad J = J_m + n^2 J_L$$

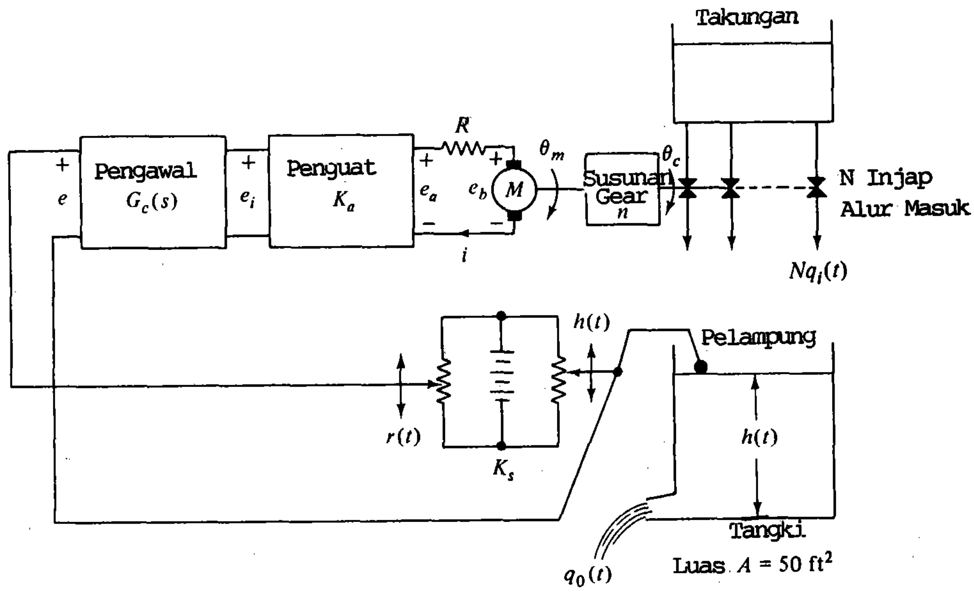
Dinamik tangki : Terdapat N alur masuk kepada tangki daripada takungan. Semua injap alur masuk mempunyai ciri-ciri yang sama, dan dikawal serentak oleh θ_c . Persamaan-persamaan yang mentadbir isipadu adalah

$$q_I(t) = K_I N\,\theta_c(t) \qquad K_I = 10\ \text{ka}^3/\text{s-rad}$$

$$q_0(t) = K_0 h(t) \qquad K_0 = 50\ \text{ka}^3/\text{s}$$

$$h(t) = \frac{\text{isipadu tangki}}{\text{luas tangki}} = \frac{1}{A}\int [q_I(t)-q_0(t)]\,dt$$

...6/-



RAJAH 3

Untung Penguat : $K_a = 50$

Pengesan Ralat : $K_s = 1$ V/kaki

$$e(t) = K_s\ [\ r(t) - h(t)\ ]$$

(a) Lakarkan gambarajah blok sistem keseluruhan, yang menunjukkan hubungan berangkap di antara fungsi-fungsi pindah.

(40%)

...7/-

(b) Andaikan fungsi pindah pengawal ,$G_c(s)$, satu. Cari FPGB $G(s) = H(s)/E(s)$ dan FPGT $M(s) = H(s)/R(s)$. Carikan persamaan ciri sistem GT. Catatan bahawa semua parameter sistem ditentukan kecuali untuk N, bilangan alur masuk.

(30%)

(c) Gunakan kriteria Routh-Hurwitz kepada persamaan ciri dan dapatkan apakah bilangan alur masuk maksimum (integer) supaya sistem masih stabil asimptotik ; $G_c(s) = 1$.

(30%)

4. Gambarajah blok suatu sistem kawalan suapbalik ditunjukkan di dalam RAJAH 4.

(a) Tuliskan persamaan dinamik sistem di dalam bentuk vektor-maktriks.

(30%)

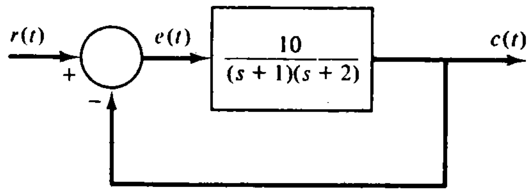
(b) Lakarkan gambarajah keadaan untuk sistem.

(30%)

(c) Cari persamaan peralihan keadaan untuk sistem. Ungkapkan persamaan-persamaan di dalam bentuk vektor-matriks. Keadaan-keadaan awal dinyatakan oleh $x(t_o)$ dan masukan $r(t)$ adalah fungsi unit langkah, $U_s(t - t_o)$, yang digunakan pada $t = t_o$.

(40%)

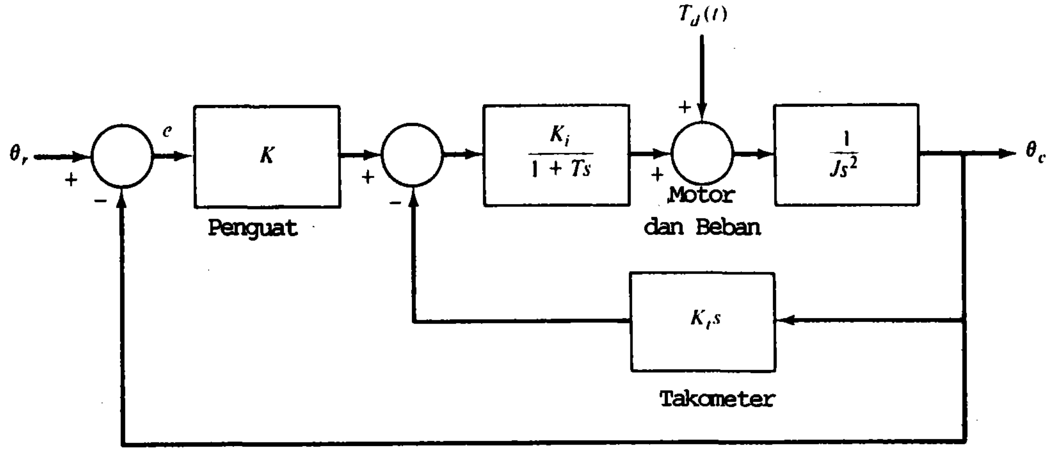
...8/-



RAJAH 4

5. Gambarajah blok suatu sistem kawalan suapbalik tertera seperti di dalam RAJAH 5. Parameter-parameter sistem yang telah ditetap adalah:

$T = 0.1$ $J = 0.01$ $K_i = 10$



RAJAH 5

...9/-

Dianggapkan bahawa semua unit parameter-parameter ini adalah tekal (consistent) sehingga tidak perlu penukaran.

(a) Tentukan bagaimana nilai K dan K_i mempengaruhi ralat keadaan-mantap [e(t) adalah ralat]

bila $\theta_r(t) = t\ U_s(t)$. Setkan $T_d = 0$

(25%)

(b) Tentukan bagaimana nilai K dan K_i mempengaruhi nilai keadaan-mantap $\theta_c(t)$ bila tork gangguan T_d adalah fungsi unit langkah, $T_d(t) = U_s(t)$. Di dalam kes ini setkan $\theta_r(t) = 0$.

(25%)

(c) Setkan $K_t = 0.01$ dan dengan parameter-parameter sistem seperti yang diberikan di atas, cari nilai keadaan-mantap minimum $\theta_c(t)$ yang anda sebenarnya boleh dapat dengan mengubah K, bila tork gangguan T_d adalah fungsi unit langkah. Berikan nilai keadaan-mantap minimum θ_c ini dan nilai K yang bersepadan. Anggaplah bahawa $\theta_r = 0$ untuk bahagian ini. Daripada sudut-pandangan sambutan fana, apakah anda akan mengoperasikan sistem dengan nilai K ini? Terangkan.

(25%)

(d) Anggapkan bahawa adalah dikehendaki untuk mengoperasi sistem dengan K seperti yang dipilih di dalam bahagian (c). Cari nilai K_t supaya punca-punca kompleks persamaan ciri akan mempunyai satu bahagian nyata -2.5 . Carikan ketiga-tiga punca ini.

(25%)

...10/-

6. A: Apakah yang dimaksudkan dengan suapbalik?
Berikan contoh yang mudah untuk menerangkan konsep ini.

(20%)

B: Sistem kawalan suapbalik mempunyai dua ciri yang penting.

(i) Pengaturan
(ii) Kebolehkawalan

Terangkan dengan bantuan gambarajah dan contoh.

(40%)

C: Bincangkan kesan suapbalik ke atas

(i) Perubahan parameter
(ii) Kawalan dinamik

(40%)

7. Fungsi pindah gelung-terbuka suatu sistem kawalan diberikan sebagai

$$G(s) = \frac{10}{s^3 + 6s^2 + 11s + 6}$$

Binakan diagram Nyquist untuk G(s) ini, dan tentukan ciri-ciri yang berkaitan yang mempengaruhi prestasi gelung-tertutup.

(70%)

Lakarkan sambutan terhadap suatu input langkah untuk sistem gelung-tertutup.

(30%)

-oooOooo-

LAMPIRAN (I)

JADUAL JELMAAN LAPLACE

Laplace Transform, $F(s)$	Time Function, $f(t)$
$\frac{1}{s}$	$u(t)$ (unit step function)
$\frac{1}{s^2}$	t
$\frac{n!}{s^{n+1}}$	t^n (n = positive integer)
$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{e^{-at}-e^{-bt}}{b-a}$
$\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}\, t$
$\frac{1}{(1+sT)^n}$	$\frac{1}{T^n(n-1)!} t^{n-1} e^{-t/T}$
$\frac{\omega_n^2}{(1+Ts)(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$\frac{T\omega_n^2 e^{-t/T}}{1-2\zeta T\omega_n+T^2\omega_n^2}+\frac{\omega_n e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t-\phi\right)}{\sqrt{(1-\zeta^2)(1-2\zeta T\omega_n-T^2\omega_n^2)}}$, where $\phi=\tan^{-1}\frac{T\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-T\zeta\omega_n}$

LAMPIRAN (II)

Laplace Transform, $F(s)$	Time Function, $f(t)$
$\dfrac{\omega_n}{s^2+\omega_n^2}$	$\sin \omega_n t$
$\dfrac{\omega_n}{(1+Ts)(s^2+\omega_n^2)}$	$\dfrac{T\omega_n}{1+T^2\omega_n^2} e^{-t/T} + \dfrac{1}{\sqrt{1+T^2\omega_n^2}} \sin(\omega_n t - \phi)$ where $\phi = \tan^{-1} \omega_n T$
$\dfrac{\omega_n^2}{s(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$1 + \dfrac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\, t - \phi\right)$ where $\phi = \tan^{-1} \dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$
$\dfrac{\omega_n^2}{s(s^2+\omega_n^2)}$	$1 - \cos \omega_n t$
$\dfrac{1}{s(1+Ts)}$	$1 - e^{-t/T}$
$\dfrac{1}{s(1+Ts)^2}$	$1 - \dfrac{t+T}{T} e^{-t/T}$
$\dfrac{\omega_n^2}{s(1+Ts)(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$1 - \dfrac{T^2\omega_n^2}{1-2T\zeta\omega_n+T^2\omega_n^2} e^{-t/T} + \dfrac{e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\, t - \phi\right)}{\sqrt{(1-\zeta^2)(1-2\zeta T\omega_n+T^2\omega_n^2)}}$ where $\phi = \tan^{-1} \dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta} + \tan^{-1} \dfrac{T\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-T\zeta\omega_n}$
$\dfrac{\omega_n^2}{s^2(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$t - \dfrac{2\zeta}{\omega_n} + \dfrac{1}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\, t - \phi\right)$ where $\phi = 2\tan^{-1} \dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$
$\dfrac{\omega_n^2}{s^2(1+Ts)(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$t - T - \dfrac{2\zeta}{\omega_n} + \dfrac{T^3\omega_n^2}{1-2\zeta\omega_n T+T^2\omega_n^2} e^{-t/T} + \dfrac{e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\, t - \phi\right)}{\omega_n\sqrt{(1-\zeta^2)(1-2\zeta\omega_n T+T^2\omega_n^2)}}$ where $\phi = 2\tan^{-1} \dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} + \tan^{-1} \dfrac{T\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-T\omega_n\zeta}$
$\dfrac{1}{s^2(1+Ts)^2}$	$t - 2T + (t+2T)e^{-t/T}$

LAMPIRAN (III)

Laplace Transform, $F(s)$	Time Function, $f(t)$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\omega_n\sqrt{\dfrac{1-2a\zeta\omega_n+a^2\omega_n^2}{1-\zeta^2}}\,e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)$ where $\phi=\tan^{-1}\dfrac{a\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-a\zeta\omega_n}$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{s^2+\omega_n^2}$	$\omega_n\sqrt{1+a^2\omega_n^2}\,\sin(\omega_n t+\phi)$ where $\phi=\tan^{-1}a\omega_n$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{(1+Ts)(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$\dfrac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sqrt{\dfrac{1-2a\zeta\omega_n+a^2\omega_n^2}{1-2T\zeta\omega_n+T^2\omega_n^2}}\,e^{-\zeta\omega_n t}$ $\times\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)+\dfrac{(T-a)\omega_n^2}{1-2T\zeta\omega_n+T^2\omega_n^2}e^{-t/T}$ where $\phi=\tan^{-1}\dfrac{a\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-a\zeta\omega_n}-\tan^{-1}\dfrac{T\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-T\zeta\omega_n}$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{(1+Ts)(s^2+\omega_n^2)}$	$\dfrac{\omega_n^2(T-a)}{1+T^2\omega_n^2}e^{-t/T}+\dfrac{\omega_n\sqrt{1+a^2\omega_n^2}}{\sqrt{1+T^2\omega_n^2}}\sin(\omega_n t+\phi)$ where $\phi=\tan^{-1}a\omega_n-\tan^{-1}\omega_n T$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{s(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$1+\dfrac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sqrt{1-2a\zeta\omega_n+a^2\omega_n^2}\,e^{-\zeta\omega_n t}$ $\times\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)$ where $\phi=\tan^{-1}\dfrac{a\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-a\zeta\omega_n}-\tan^{-1}\dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{s(1+Ts)(s^2+\omega_n^2)}$	$1+\dfrac{T\omega_n^2(a-T)}{1+T^2\omega_n^2}e^{-t/T}-\sqrt{\dfrac{1+a^2\omega_n^2}{1+T^2\omega_n^2}}\cos(\omega_n t+\phi)$ where $\phi=\tan^{-1}a\omega_n-\tan^{-1}\omega_n T$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as)}{s(1+Ts)(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$1+\sqrt{\dfrac{1-2\zeta a\omega_n+a^2\omega_n^2}{(1-\zeta^2)(1-2T\zeta\omega_n+T^2\omega_n^2)}}\,e^{-\zeta\omega_n t}$ $\times\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)+\dfrac{\omega_n^2T(a-T)}{1-2T\zeta\omega_n+T^2\omega_n^2}e^{-t/T}$ $\phi=\tan^{-1}\left[a\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}/(1-a\zeta\omega_n)\right]$ $-\tan^{-1}\dfrac{T\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{1-T\zeta\omega_n}-\tan^{-1}\dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$

LAMPIRAN (IV)

Laplace Transform, $F(s)$	Time Function, $f(t)$
$\dfrac{1+as}{s^2(1+Ts)}$	$t+(a-T)(1-e^{-t/T})$
$\dfrac{s\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\dfrac{\omega_n^2}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)$ where $\phi=\tan^{-1}\dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$
$\dfrac{s}{s^2+\omega_n^2}$	$\cos\omega_n t$
$\dfrac{s}{\left(s^2+\omega_n^2\right)^2}$	$\dfrac{1}{2\omega_n}t\sin\omega_n t$
$\dfrac{s}{\left(s^2+\omega_{n1}^2\right)\left(s^2+\omega_{n2}^2\right)}$	$\dfrac{1}{\omega_{n2}^2-\omega_{n1}^2}(\cos\omega_{n1}t-\cos\omega_{n2}t)$
$\dfrac{s}{(1+Ts)\left(s^2+\omega_n^2\right)}$	$\dfrac{-1}{\left(1+T^2\omega_n^2\right)}e^{-t/T}+\dfrac{1}{\sqrt{1+T^2\omega_n^2}}\cos(\omega_n t-\phi)$ where $\phi=\tan^{-1}\omega_n T$
$\dfrac{1+as+bs^2}{s^2(1+T_1s)(1+T_2s)}$	$t+(a-T_1-T_2)+\dfrac{b-aT_1+T_1^2}{T_1-T_2}e^{-t/T_1}$ $-\dfrac{b-aT_2+T_2^2}{T_1-T_2}e^{-t/T_2}$
$\dfrac{\omega_n^2(1+as+bs^2)}{s\left(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2\right)}$	$1+\sqrt{\dfrac{\left(1-a\zeta\omega_n-b\omega_n^2+2b\zeta^2\omega_n^2\right)^2+\omega_n^2(1-\zeta^2)(a-2b\zeta\omega_n)^2}{1-\zeta^2}}$ $\times e^{-\zeta\omega_n t}\sin\left(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\phi\right)$ where $\phi=\tan^{-1}\dfrac{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,(a-2b\zeta\omega_n)}{b\omega_n(2\zeta^2-1)+1-a\zeta\omega_n}-\tan^{-1}\dfrac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$
$\dfrac{s^2}{\left(s^2+\omega_n^2\right)^2}$	$\dfrac{1}{2\omega_n}(\sin\omega_n t+\omega_n t\cos\omega_n t)$