
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2002/2003

Februari / Mac 2003

JNK 451/4 – Getaran Mekanik dan Kawalan Automatik

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat dan **LAPAN (8)** soalan yang bercetak serta **DUA (2)** halaman lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan.

Sila jawab **ENAM (6)** soalan sahaja. **TIGA (3)** soalan dari Bahagian A dan **TIGA (3)** dari Bahagian B.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

Lampiran :

1. Jadual Penjelmaan Laplace [2 mukasurat]

Serahkan **KESELURUHAN** soalan dan jawapan kertas peperiksaan ini kepada Ketua Pengawas di akhir sidang peperiksaan. Pelajar yang gagal berbuat demikian akan diambil tindakan disiplin.

KETUA PENGAWAS : Sila pungut :

- (a) **KESELURUHAN** kertas soalan ini (tanpa diceraikan mana-mana muka surat) dan mana-mana kertas soalan peperiksaan ini yang berlebihan untuk dikembalikan kepada Bahagian Peperiksaan, Jabatan Pendaftar, USM.

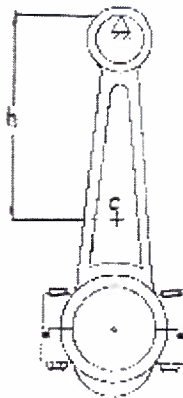
Peringatan :

1. Sila pastikan bahawa anda telah menulis angka giliran dengan betul.

BAHAGIAN A

- S1. [a] Satu rod penyambung berjisim 3-kg dan momen jisim sentroid inersia $I_c = 0.0412 \text{ kg.m}^2$ digantung di atas satu mata pisau pada permukaan dalam atas galas cemat sendi, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[a]. Bila diusik sedikit, rod tersebut kelihatan berayun 60 kali dalam 1 minit. Tentukan jarak h antara penyokong dan pusat jisim C.

A connecting rod of mass 3-kg and centroidal mass moment of inertia $I_c = 0.0412 \text{ kg.m}^2$ is suspended on a knife-edge about the upper inner surface of the wrist-pin bearing, as shown in Figure Q1[a]. When disturbed slightly, the rod was observed to oscillate 60 times in 1 min. Determine the distance h between the support and the center of mass C.



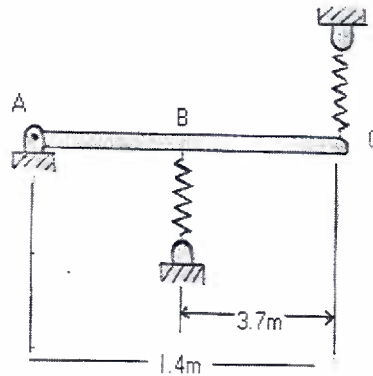
Rajah S1[a]
Figure Q1[a]

(40 markah)

- [b] Rod AC berjisim seragam 5-kg diikat pada pegas B dan pegas C yang masing-masing mempunyai pekali, $k_B = 500 \text{ N/m}$ dan $k_C = 620 \text{ N/m}$. Pegas-pegas tersebut boleh bertindak secara tegangan dan mampatan. Jika hujung pegas C dimampat sedikit dan kemudian dilepaskan, tentukan:
- [i] frekuensi getaran.
 - [ii] amplitud getaran pada titik C, di mana halaju pada titik tersebut ialah 0.9 m/s .

The 5-kg uniform rod AC is attached to springs of constant $k_B = 500 \text{ N/m}$ at B and $k_C = 620 \text{ N/m}$ at C , which can act in tension or compression. If the end C of the rod is depressed slightly and released, determine :

- [i] the frequency of vibration.
 [ii] the amplitude of the motion of point C , knowing the maximum velocity of that point is 0.9 m/s .

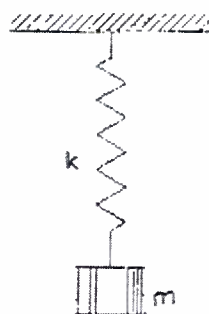


Rajah S1[b]
Figure Q1[b]

(60 markah)

- S2. [a] Dengan menggunakan kaedah tenaga, tentukan kesan jisim pegas pada frekuensi tabii bagi sistem jisim-pegas seperti yang ditunjukkan pada Rajah S2[a] di bawah. k dan m masing-masing mewakili kekakuan dan jisim pada sistem.

Using energy method, determine effect of the mass of the spring on the natural frequency of the spring-mass system shown in Figure Q2[a]. k and m represent stiffness and mass respectively in the system.



Rajah S2[a]
Figure Q2[a]

(40 markah)

- [b] Satu sistem getaran mempunyai jisim 3-kg, dan kekakuan pegas 2100 N/m dikenakan redaman likat di mana nisbah bagi dua amplitud yang berturutan bernilai 1.00 dan 0.98. Tentukan:

- [i] frekuensi tabii bagi system teredam.
- [ii] susutan logaritma
- [ii] faktor redaman
- [iv] pekali redaman.

A vibrating system consisting of a mass of 3-kg and a spring of stiffness 2100 N/m is viscously damped such that the ratio of any two consecutive amplitudes is 1.00 and 0.98. Determine:

- [i] *the natural frequency of the damped system.*
- [ii] *the logarithmic decrement.*
- [iii] *the damping factor.*
- [iv] *the damping coefficient.*

(60 markah)

- S3. [a] Sebuah mesin putaran yang besar menyebabkan lantai kilang berayun dalam bentuk sinus. Sebuah penekan tebuk akan dipasang pada paras lantai yang sama. Ukuran anjakan lantai pada tempat di mana penekan tebuk dipasang ialah $y(t) = 0.002 \sin \omega_b t$ (m). Tentukan daya maksimum yang dipindahkan pada penekan tebuk dalam keadaan salunan. Mesin diletak di atas getah pemasangan yang masing-masing mempunyai nilai kekakuan, $k = 40,000$ N/m, peredam, $c = 900$ N.s/m, dan jisim, $m = 3000$ kg.

A large rotating machine causes the floor of a factory to oscillate sinusoidally. A punch press is to be mounted on the same floor. The displacement of the floor at the point where the punch press is to be mounted is measured to be $y(t) = 0.002 \sin \omega_b t$ (m). Calculate maximum force transmitted to the punch press at resonance if the machine is mounted on the rubber fitting of stiffness, $k = 40,000$ N/m; damping, $c = 900$ N.s/m; and mass, $m = 3000$ kg.

(50 markah)

[b] Pengukur getaran mempunyai frekuensi tabii bernilai 5-Hz, dan faktor redaman, $\zeta = 0.6$. Kirakan frekuensi terendah yang dapat diukur dengan:

[i] 1 % ralat dan,

[ii] 2 % ralat.

Berikan komen-komen yang dapat anda rasai penting selepas tamat pengiraan bagi dua tahap kejituan tersebut.

A commercial-type vibration pickup has a natural frequency of 5-Hz and a damping factor, $\zeta = 0.6$. Determine the lowest frequency that can be measured with:

[i] 1 % error and,

[ii] 2 % error.

Give your comments on anything significant you notice after you complete your calculations for the two accuracy levels stated.

(50 markah)

S4. [a] Sistem dua jisim m_1 dan m_2 dihubungkan dengan dua buah pegas di mana kekukuhan masing-masing ialah k_1 dan k_2 seperti yang ditunjukkan pada Rajah S4[a]. Anjakan melurus bagi jisim-jisim tersebut ialah x_1 dan x_2 .

[i] Tentukan kebolehlenturan dan kekukuhan pengaruh pekali.

[ii] Tunjukkan songsangan matriks kebolehlenturan adalah bersamaan dengan matriks kekukuhan.

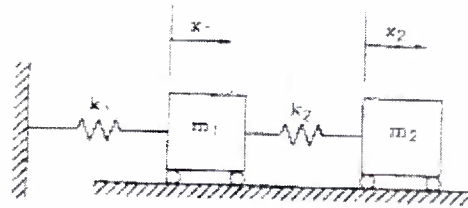
[iii] Tuliskan persamaan matriks bagi gerakan tersebut.

A system of two masses m_1 and m_2 connected by two springs of stiffness k_1 and k_2 is shown in Figure Q4[a]. The rectilinear displacements of the masses are x_1 and x_2 .

[i] Determine the flexibility and stiffness influence coefficients.

[ii] Show that the inverse of the flexibility matrix equals the stiffness matrix.

[iii] Write the matrix equation of the motion.



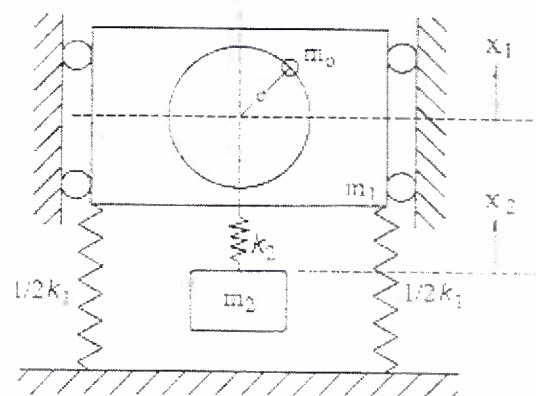
Rajah S4[a]
Figure Q4[a]

(40 markah)

- [b] Untuk sistem yang ditunjukkan di dalam Rajah S4[b], $m_1 = 200\text{-kg}$ dan jisim penyerap $m_2 = 50\text{-kg}$. Sekiranya m_1 diujakan oleh pemutaran tak seimbang $m_0e = 2\text{ kg-m}$., ketidakseimbangan putaran berlaku pada 1800 psm. Tentukan nilai yang sesuai bagi pegas penyerap k_2 dan amplitud m_2 .

For the system shown in Figure Q5[b], $m_1 = 200\text{-kg}$ and the absorber mass $m_2 = 50\text{-kg}$. If m_2 is excited by rotating unbalance of $m_0e = 2\text{ kg-m}$. Unbalance rotating at 1800 rpm. Determine the proper value of the absorber spring k_2 and the amplitude of m_2 .

(60 markah)

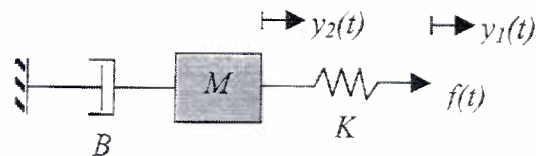


Rajah S4[b]
Figure Q4[b]

BAHAGIAN B

- S5. [a] Satu sistem pegas-jisim-peredam disusun seperti ditunjukkan dalam Rajah S5[a]. Apabila satu daya $f(t)$ dikenakan, pegas memanjang menghasilkan dua anjakan y_1 dan y_2 pada kedua hujung pegas. Dapatkan persamaan kebezaan mewakili sistem tersebut.

A spring-mass-damper system is arranged as shown in Figure Q5[a]. When a force $f(t)$ is applied, the spring extends generating two displacements y_1 and y_2 at the two end points of the spring. Obtain the differential equations describing the system.



Rajah S5[a]
Figure Q5[a]

(20 markah)

- [b] Sebuah peranti tak-lurus diwakili oleh rangkap $y = \sqrt{x}$. Dapatkan penghampiran lurus untuk peranti tersebut beroperasi pada masukan $x_o = 1/2$.

A nonlinear device is represented by the function $y = \sqrt{x}$. Determine the linear approximation for the device operating at input $x_o = 1/2$.

(20 markah)

- [c] Sistem gantungan bagi sebuah roda kereta diwakili oleh persamaan kebezaan di bawah.

Pembolehubah terlibat termasuk masa t , daya f , anjakan kereta y_1 , anjakan roda y_2 , jisim kereta M_1 , jisim roda M_2 , pekali peredam B , pemalar pegas K_1 dan pemalar keanjalan tayar K_2 . Dengan menggunakan penjelmaan Laplace, dapatkan rangkap pindah $Y_1(s)/F(s)$ dengan menganggap bahawa semua keadaan awal adalah sifar.

The suspension system for one wheel of a car is represented by the following differential equations below.

The variables involved include time t , force f , car displacement y_1 , wheel displacement y_2 , car mass M_1 , wheel mass M_2 , damper coefficient B , spring constant K_1 and tyre flexibility constant K_2 . Using Laplace transform, find the transfer function $Y_1(s)/F(s)$ assuming that all initial conditions are zero.

$$K_1(y_2(t) - y_1(t)) + B\left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_1(t)}{dt}\right) = M_1 \frac{d^2 y_1(t)}{dt^2}$$

$$f(t) - K_2 y_2(t) - K_1(y_2(t) - y_1(t)) - B\left(\frac{dy_2(t)}{dt} - \frac{dy_1(t)}{dt}\right) = M_2 \frac{d^2 y_2(t)}{dt^2}$$

(30 markah)

- [d] Sebuah pencetak jet laser menggunakan pancaran laser bagi mencetak dengan segera. Rangkap pindah sistemnya adalah $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{5s + 500}{s^2 + 60s + 500}$.

Masukan $r(t)$ mewakili kedudukan dikehendaki pancaran laser. Jika $r(t)$ adalah rangkap pelangkah seunit, dapatkan sambutan $y(t)$.

A laser jet printer uses a laser beam to print copy rapidly. The transfer function of the system is $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{5s + 500}{s^2 + 60s + 500}$. The input $r(t)$ represents the

desired position of the laser beam. If $r(t)$ is a unit step function, find the response $y(t)$.

(30 markah)

- S6. [a] Sistem kawalan gelung tertutup kenderaan terpandu automatik mempunyai rangkap pindah seperti berikut. Kira kepekaan sistem S_p^T disebabkan oleh perubahan parameter p bila $s = -3$ dan $p = 2$. Bandingkan kepekaan yang telah didapati dengan kepekaan sistem kawalan gelung terbuka.

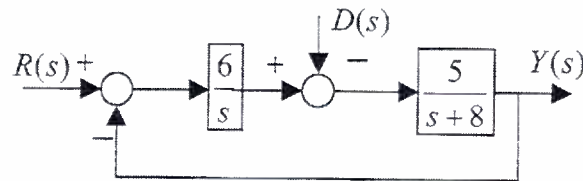
An automated guided vehicle closed loop control system has the following transfer function. Calculate the sensitivity S_p^T of the system due to the variation in parameter p when $s = -3$ and $p = 2$. Compare the sensitivity thus obtained with the sensitivity of open loop system.

$$T(s) = \frac{100p}{s(s+2)(s+4) + 5p}$$

(30 markah)

- [b] Rajah blok bagi satu sistem kawalan pekakas mesin ditunjukkan dalam Rajah S6[b]. Dapatkan sambutan keadaan mantap y_{ss} apabila masukan $R(s) = 0$ dan gangguan $D(s) = 1/s$. Komen sambutan keadaan mantap y_{ss} diperolehi.

The block diagram of a machine tool control system is shown in Figure Q6[b]. Find the steady state response y_{ss} when the input $R(s) = 0$ and the disturbance $D(s) = 1/s$. Comment the steady state response y_{ss} obtained.



Rajah S6[b]
Figure Q6[b]

(40 markah)

- [c] Satu pemacu cakera magnet memerlukan sebuah motor bagi mengubah kedudukan kepala baca/tulis pada alur data di atas cakera yang berputar. Rangkap pindah yang diberi di bawah mewakili sistem kawalan gelung tertutup pemacu cakera. Kira nilai K diperlukan supaya menghasilkan ralat keadaan mantap bersamaan 0.1 mm bagi satu masukan pelangkah seunit.

A magnetic disk drive requires a motor to position a read/write head over tracks of data on a spinning disk. The transfer function given below represents the disk drive closed loop control system. Calculate the required value of K in order to yield a steady state error equal to 0.1 mm for a unit step input.

$$T(s) = \frac{10000}{s^2 + 1000s + 10000K}$$

(30 markah)

- S7. [a] Rangkap pindah di bawah mewakili satu sistem kawalan bagi sebuah enjin kereta. Dapatkan masa memuncak T_p dan masa meningkat dari 10% hingga 90% nilai akhir T_{r1} akibat satu masukan langkah unit $R(s) = 1/s$.

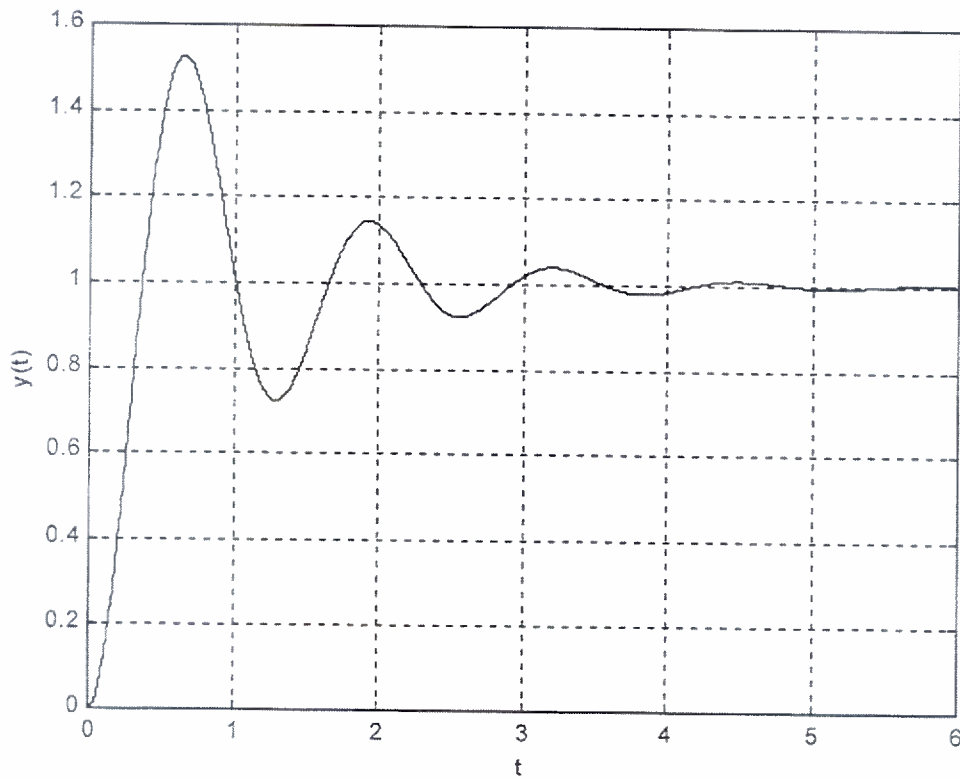
The transfer function below represent a control sistem of a car engine. Find the peak time T_p and rise time from 10% to 90% of final value T_{r1} due to a unit step input $R(s) = 1/s$.

$$T(s) = \frac{25}{s^2 + 7s + 25}$$

(40 markah)

- [b] Sambutan yang dihasilkan oleh sistem kawalan bagi sebuah kipas angin ditunjukkan dalam Rajah S7[b]. Berdasarkan graf tersebut anggarkan nilai peratusan lajukan dan masa enapan bagi sistem tersebut.

The response produced by a control system of a fan is shown in Figure Q7[b]. Based on the graph estimate the value of percentage overshoot and settling time for the system.

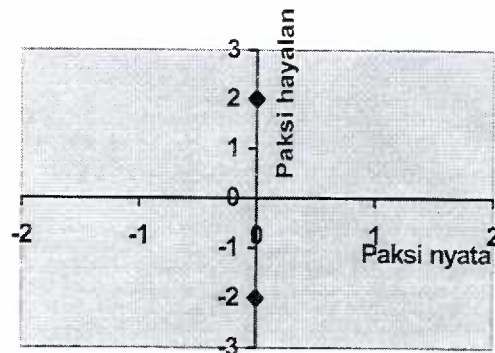


Rajah S7[b]
Figure Q7[b]

(30 markah)

- [c] Sistem kawalan bagi sebuah silinder hidraulik mempunyai kedudukan punca-puncanya dalam satah-s seperti ditunjukkan dalam Rajah S7[c]. Lakarkan dan terangkan bentuk sambutan yang dihasilkan oleh sistem tersebut apabila dikenakan masukan dedenyut.

A control system of a hydraulic cylinder has location of its roots in s-plane as shown in Figure Q7[c]. Sketch and explain the shape of the response produced by the system when an impulse input is applied.



Rajah S7[c]
Figure Q7[c]

(30 markah)

- S8. [a] Merujuk kepada persamaan ciri di bawah, plotkan kedudukan kutub-kutub pada satah s dan bincangkan kestabilan sistem tersebut.

Referring to the characteristic equation below, plot the location of the poles on s plane and discuss the stability of the system.

$$q(s) = (s - 1)(s + 2)(s + 3 + 2j)(s + 3 - 2j)$$

(30 markah)

- [b] Dengan menggunakan kriterium Routh-Hurwitz, periksa dan komen kestabilan sistem yang mempunyai persamaan ciri seperti di bawah.

Using Routh-Hurwitz criterion, examine and comment on the stability of the system which has the characteristic equation as below.

$$q(s) = s^5 + 3s^4 + 2s^3 + 8s + 6$$

(35 markah)

- [c] Tentukan julat kestabilan untuk K menggunakan kriterium Routh-Hurwitz sekiranya sistem tersebut mempunyai persamaan ciri seperti di bawah.

Determine the range of stability for K using Routh-Hurwitz criterion if the system has the characteristic equation as below.

$$q(s) = s^5 + s^4 + 2s^3 + s^2 + s + K$$

(35 markah)

-00000000-

Jadual Penjelmaan Laplace

Item	$f(t), t \geq 0$	$F(s)$
1	$\delta(t)$	1
2	$u(t)$	$\frac{1}{s}$
3	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
4	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
5	$e^{-at} f(t)$	$F(s+a)$
6	$f^k(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$	$s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f'(0^-) - \dots - f^{k-1}(0^-)$
7	$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s} + \frac{1}{s} \int_{-\infty}^0 f(t) dt$
8	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^n}$
9	$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{s(s+a)}$
10	$\frac{1}{(b-a)} (e^{-at} - e^{-bt})$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$
11	$\frac{1}{(b-a)} [(\alpha-a)e^{-at} - (\alpha-b)e^{-bt}]$	$\frac{s+\alpha}{(s+a)(s+b)}$
12	$1 - \frac{b}{(b-a)} e^{-at} + \frac{a}{(b-a)} e^{-bt}$	$\frac{ab}{s(s+a)(s+b)}$
13	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(c-b)(a-b)} + \frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
14	$\frac{(\alpha-a)e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{(\alpha-b)e^{-bt}}{(c-b)(a-b)} + \frac{(\alpha-c)e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{s+\alpha}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
15	$\alpha - \frac{b(\alpha-a)}{(b-a)} e^{-at} + \frac{a(\alpha-b)}{(b-a)} e^{-bt}$	$\frac{ab(s+\alpha)}{s(s+a)(s+b)}$
16	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
17	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$

LAMPIRAN

18	$\frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega} \sin(\omega t + \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha}\right)$	$\frac{s + \alpha}{s^2 + \omega^2}$
19	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s + a)^2 + \omega^2}$
20	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{(s + a)}{(s + a)^2 + \omega^2}$
21	$\frac{1}{\omega} \sqrt{(\alpha - a)^2 + \omega^2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha - a}\right)$	$\frac{(s + \alpha)}{(s + a)^2 + \omega^2}$
22	$\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t, \zeta > 1$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$
23	$\frac{1}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t - \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{-a}\right)$	$\frac{1}{s \left[(s + a)^2 + \omega^2 \right]}$
24	$1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \left(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi \right), \phi = \cos^{-1} \zeta, \zeta > 1$	$\frac{\omega_n^2}{s \left(s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2 \right)}$
24	$\frac{\alpha}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{(\alpha - a)^2 + \omega^2}{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha - a}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{-a}\right)$	$\frac{(s + \alpha)}{s \left[(s + a)^2 + \omega^2 \right]}$
26	$\frac{e^{-ct}}{(c - a)^2 + \omega^2} + \frac{e^{-at} \sin(\omega t + \phi)}{\omega \sqrt{(c - a)^2 + \omega^2}}, \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{c - a}\right)$	$\frac{1}{(s + c) \left[(s + a)^2 + \omega^2 \right]}$