
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2005/2006

November 2005

EPP 451/3 - Robotik dan Automasi

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **EMPAT BELAS (14)** mukasurat dan **ENAM (6)** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

Sila jawab **LIMA (5)** soalan sahaja.

Calon boleh menjawab dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

...2/-

- S1. [a] Jelaskan maksud perkataan “Robot” dan “Robotik”.

Clarify the meaning of the word “Robot” and “Robotics”.

(20 markah)

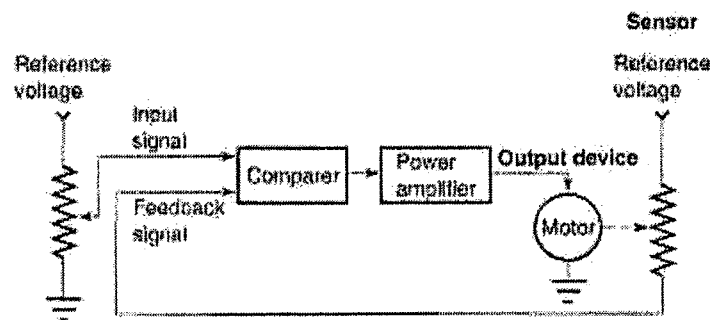
- [b] Lakarkan konfigurasi pengolah robot SCARA dan huraikan pergerakan sendi, paksi dan rangkainya. Lakarkan juga ruang kerja yang boleh dicapai oleh pengolah tersebut.

Sketch the configuration of SCARA robot manipulator and describe the movement of its joints, axes and links. Sketch also the work envelop that can be reached by the manipulator.

(30 markah)

- [c] Satu sistem servo gelung tertutup, seperti ditunjukkan dalam Rajah S1, diaplikasikan bagi mengawal posisi satu paksi robot. Huraikan bagaimana ia beroperasi.

A closed-loop servo system, as shown in Figure Q1, is implemented to control the position of a robot axis. Describe how it operates.



Rajah S1
Figure Q1

(30 markah)

- [d] Aturcara bagi robot boleh diklasifikasikan kepada sistem operasi dan aturcara aplikasi. Apakah perbezaan antara mereka?

Program for robot can be classified into operating system and application program. What is the difference between them?

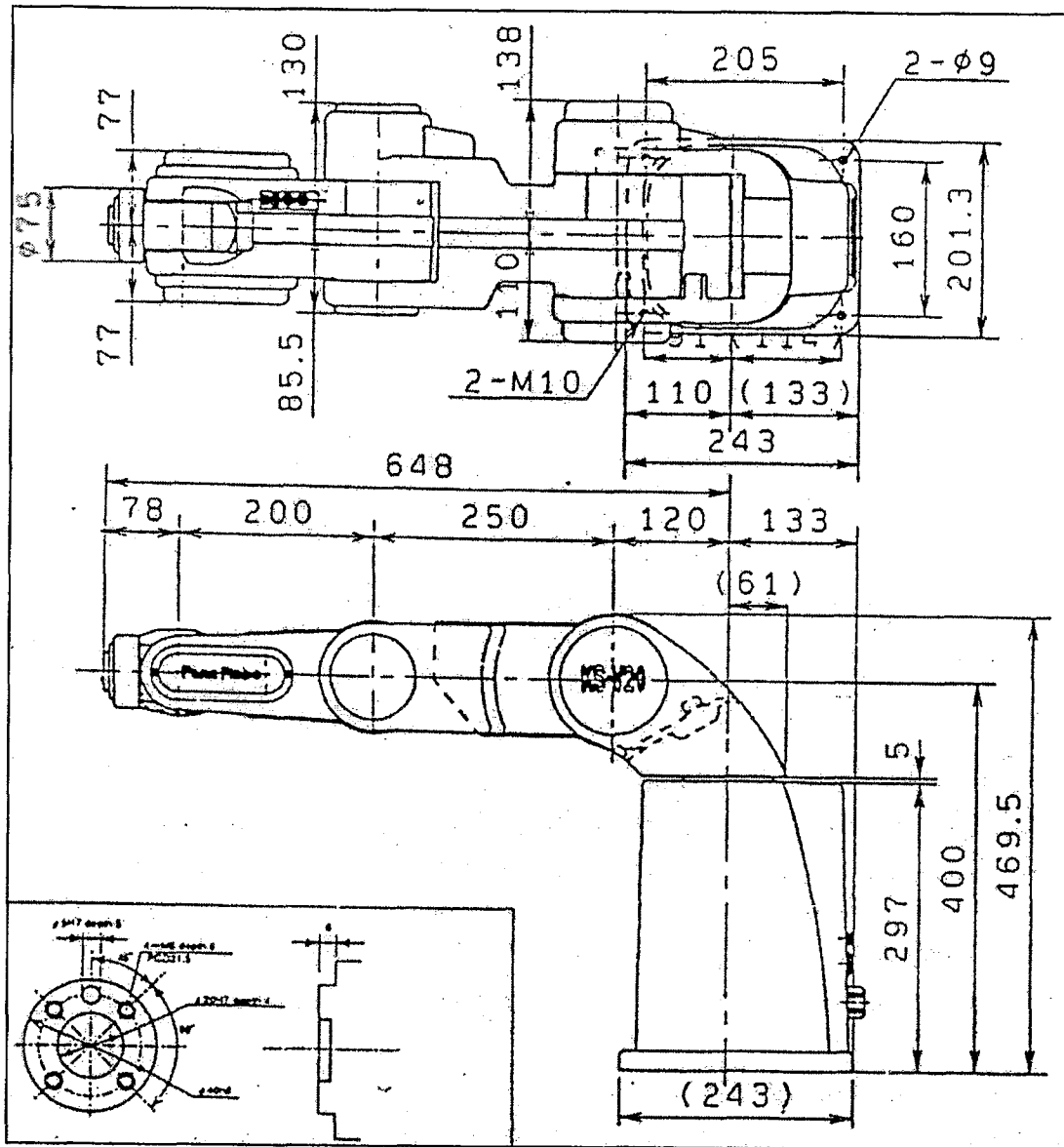
(20 markah)

- S2. [a] Merujuk kepada lukisan kejuruteraan PanaRobo ditunjukkan dalam Rajah S2[a], kira koordinat sendi bagi sendi 1, 2 dan 3 jika robot tersebut perlu memposisikan titik pusat perkakasnya pada titik PW1 dalam koordinat kartesian.

Refer to the engineering drawing of PanaRobo shown in Figure Q2[a], calculate the joint coordinate for joint 1, 2 and 3 if the robot is required to position its tool center point to point PW1 in Cartesian coordinate.

...3/-

PW1: X ●-55.58, Y = +401.22, Z = +251.36, P = -93.83, R = -6.32, F = 1



Rajah S2[a]
Figure Q2[a]

(60 markah)

- [b] Huraikan kaedah-kaedah bagi melatih sebuah robot yang berikut:

Describe the following methods for training a robot:

- (i) **Mechanical Setup**

Pelarasan mekanik

...4/-

- (ii) Rakaman titik ke titik

Point-to-point Recording

- (iii) Task Lead-through

Bimbingan tugas

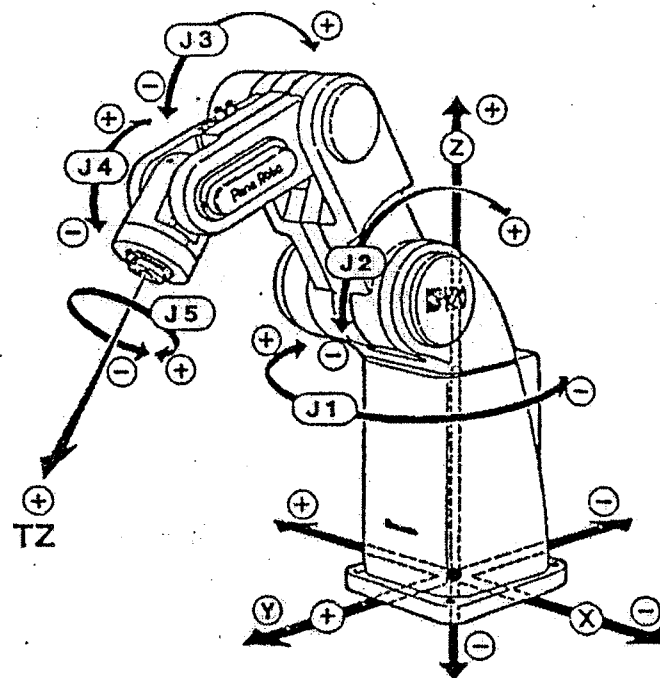
(15 markah)

- [c] Senaraikan
- LIMA
- langkah terlibat dalam melatih sebuah robot untuk suatu tugas baru dan huraikan setiap langkah dengan ringkas.

List FIVE steps involved in training a robot for a new task and describe each steps briefly.

(25 markah)

- S3. [a] Berdasarkan Rajah S3[a], nyatakan dan huraikan
- TIGA
- sistem koordinat yang terdapat pada PanaRobo.

Based on Figure Q3[a], state and describe the THREE coordinate systems that exist in PanaRobo.Rajah S3[a]
Figure Q3[a]

(15 markah)

...5/-

- [b] Sebahagian aturcara PanaRobo melakukan pemasangan ditunjukkan dalam Jadual S3[b](i). Koordinat-koordinat bagi titik PW4, PW8, PW13 and PW17 disenaraikan dalam Jadual S3[b](ii). PW4 adalah posisi awal komponen yang akan dipasang. PW13 adalah posisi akhir komponen dalam kawasan pemasangan. Port keluaran 1 disambungkan kepada sebuah injap solenoid yang mengawal sebuah penggenggam pneumatik. Komen setiap baris aturcara dan lukiskan laluan pergerakan penggenggam.

A portion of PanaRobo program performing assembly is shown in Table Q3[b](i). The coordinates for points PW4, PW8, PW13 and PW17 are listed in Table Q3[b](ii). PW4 is the initial position of the component to be assembled. PW13 is the final position of the component in assembly area. Output port 1 is connected to a solenoid valve that controls a pneumatic gripper. Comment each line of the program and draw the path of the gripper movement.

Jadual S3[b](i)

Table Q3[b](i)

```

MOVE PW8
SPEED 80,80,50
ACCEL L
MOVE L PW4
OUT 1, 1
DELAY 5
MOVE L PW8
MOVE PW17
MOVE L PW13
OUT 1, 0
DELAY 5
MOVE L PW17

```

Jadual S3[b](ii)

Table Q3[b](ii)

```

PW4: X=+179.88,Y=+404.26,Z=+346.11,P=-94.26,R=+21.67,F=1
PW8: X=+180.85,Y=+407.48,Z=+476.88,P=-94.29,R=+21.63,F=1
PW13: X=+413.37,Y=+104.63,Z=+187.51,P=-94.98,R=-15.41,F=1
PW17: X=+427.76,Y=+104.64,Z=+522.69,P=-94.99,R=-15.41,F=1

```

(40 markah)

...6/-

- [c] Sebahagian dari dua aturcara bagi dua pengawal motor pelangkah Vexta paksi XY dan paksi ZR melakukan operasi ambil dan letak ditunjukkan dalam Jadual S3[c](i) dan Jadual S3[c](ii). Port keluaran 1 pengawal XY disambungkan kepada port masukan 1 pengawal ZR. Port keluaran 2 pengawal ZR disambungkan kepada port masukan 1 pengawal XY. Port keluaran 4 pengawal ZR disambungkan kepada port masukan 2 pengawal XY. Port masukan 2 pengawal ZR disambungkan kepada satu penderia optik. Komen setiap baris kedua-dua aturcara. Ubah aturcara tersebut supaya semua paksi akan bergerak serentak.

A portion of two programs for two XY axes and ZR axes Vexta stepping motor controllers performing pick and place operation is shown in Table Q3[c](i) and Table Q3[c](ii) respectively. Output port 1 of XY controller is connected to input port 1 of ZR controller. Output port 2 of ZR controller is connected to input port 1 of XY controller. Output port 4 of ZR controller is connected to input port 2 of XY controller. Input port 2 of ZR controller is connected to a optical limit sensor. Comment each line of both programs. Modify the programs so that all axes will move simultaneously.

Jadual S3[c](i)
Table Q3[c](i)

XY axes	
[17]	V1 1500
[18]	V2 1000
[19]	H1 -
[20]	H2 -
[21]	MHOME1
[22]	MHOME2
[23]	DELAY 1
[24]	H1 +
[25]	H2 +
[26]	D1 100
[27]	D2 30
[28]	INC1
[29]	INC2
[30]	DELAY 1
[31]	OUT 1,1
[32]	CJMP 1,1,60
[33]	CJMP 2,1,35
[34]	JMP 31
[35]	OUT 1,0

Jadual S3[c](ii)
Table Q3[c](ii)

ZR axes	
[13]	V1 3000
[14]	V2 350
[15]	H1 -
[16]	H2 +
[17]	MHOME1
[18]	MHOME2
[19]	DELAY 1
[20]	IN 1,1
[21]	H1 +
[22]	H2 -
[23]	D1 300
[24]	D2 90
[25]	INC2
[26]	INC1
[27]	DELAY 1
[28]	CJMP 2,1,53
[29]	DELAY 1

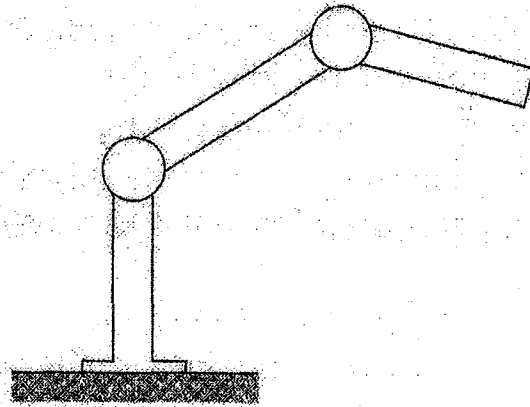
(45 markah)

...7/-

- S4. [a] Dengan menggunakan skema tatatanda untuk menentukan konfigurasi pengolah, lakarkan gambarajah (sama dengan Rajah S4[a]) untuk robot-robot yang berikut:

Using the notation scheme for defining manipulator configurations, sketch diagrams (similar to Figure Q4[a]) of the following robots:

1. (a) TRT, (b) VVR,
2. (a) TRT:R, (b) TVR:TR,
3. (a) OLO (b) LVL



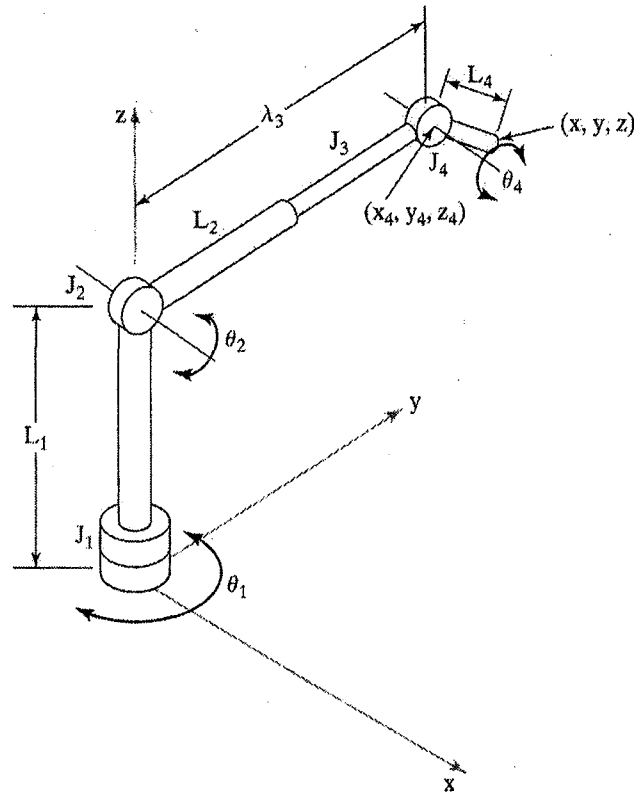
Rajah S4[a]
Figure Q4[a]

(30 markah)

- [b] Diberi koordinat *dunia* untuk robot TRL:R di dalam Rajah Q4[b] sebagai $x = 300$ mm, $y = 0$, $z = 500$ mm, dan $\alpha = 45^\circ$; dan diberi penyambung yang mempunyai nilai $L_0 = 0$, $L_1 = 400$ mm, λ_3 mempunyai julat daripada 200 mm ke 350 mm, dan $L_4 = 25$ mm, tentukan sudut sendi θ_1 , θ_2 , λ_3 , dan θ_4 .

Given the world coordinates for the TRL:R robot in Figure Q4[b] as $x = 300$ mm, $y = 0$, $z = 500$ mm, and $\alpha = 45^\circ$; and given that the links have values $L_0 = 0$, $L_1 = 400$ mm, λ_3 has a range from 200 mm to 350 mm, and $L_4 = 25$ mm, determine the joint angles θ_1 , θ_2 , λ_3 , and θ_4 .

...8/-



Rajah S4[b]
Figure Q4[b]

(30 markah)

- [c] Sendi berputar (jenis V) untuk robot industri mempunyai julat putaran 240° . Ralat mekanikal di dalam sendi dan masukan/keluaran sambungan dapat diterangkan oleh taburan normal dengan min pada titik yang ditetapkan, dan sisihan piawai sebanyak 0.25° . Tentukan bilangan bit simpanan yang diperlukan didalam mengawal memori yang membolehkan kejituan sendi berlaku tetapi kurang daripada kebolehlangannya. Gunakan enam sisihan piawai dalam mengukur kebolehlangannya.

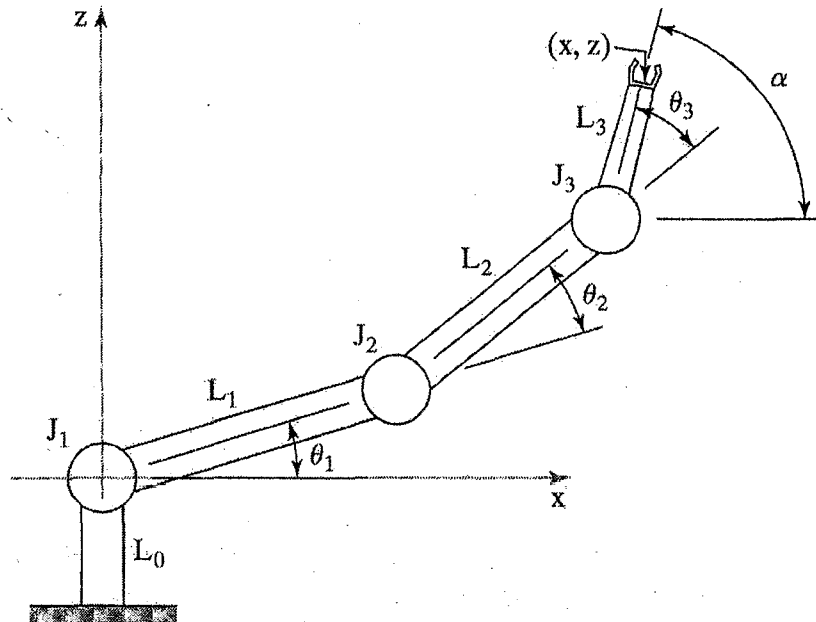
The revolving joint (type V) of an industrial robot has a range of 240° rotation. The mechanical errors in the joint and the input/output links can be described by a normal distribution with its mean at any given addressable point, and a standard deviation of 0.25° . Determine the number of storage bits required in the controller memory so that the accuracy of the joint is as close as possible to, but less than, its repeatability. Use six standard deviations as the measure of repeatability.

(20 markah)

...9/-

- [d] Sambungan pengolah RR:R di dalam Rajah Q4[d] mempunyai panjang seperti berikut: $L_1 = 500$ mm, $L_2 = 400$ mm, dan $L_3 = 25$ mm. Tentukan nilai θ_1 , θ_2 , dan θ_3 yang menetapkan kedudukan hujung lengan (x , z) pada nilai koordinat *dunia* (650 mm, 250 mm), dan $\alpha = 0^\circ$. Andaikan pengolah adalah pada orientasi dibawah.

The links of the RR:R manipulator in Figure Q4[d] have the following lengths: $L_1 = 500$ mm, $L_2 = 400$ mm, and $L_3 = 25$ mm. Determine the values of θ_1 , θ_2 , and θ_3 that position the end-of-arm at the (x , z) world coordinate values of (650 mm, 250 mm), and $\alpha = 0^\circ$. Assume the manipulator is in the "below" orientation.



Rajah S4[d]
Figure Q4[d]

(20 markah)

- S5. [a] Unit pemacu bagi meja kedudukan untuk mesin sisipan komponen adalah berdasarkan kepada mekanisma motor pelangkah dan skru bebanang. Spesifikasi untuk kelajuan meja adalah 25 mm/s dalam julat 600 mm dan ketepatan adalah 0.025 mm. Pic untuk skru bebanang adalah 4.5mm, dan nisbah gear adalah 5:1 (5 pusingan untuk motor untuk setiap pusingan skru bebanang). Ralat mekanikal pada motor, kotak gear, skru bebanang, dan meja dikategorikan dengan taburan normal yang mempunyai sisihan piawai = 0.005 mm.

...10/-

The drive unit of a positioning table for a component insertion machine is based on a stepping motor and leadscrew mechanism. The specification for the table speed 25 mm/s over a 600 mm range and the accuracy is 0.025 mm. The pitch of the leadscrew is 4.5 mm, and the gear ratio is 5:1 (5 turns of the motor for each turn of the leadscrew). The mechanical errors in the motor, gear box, leadscrew, and table connection are characterized by a normal distribution with standard deviation = 0.005 mm.

Tentukan:

Determine:

- (i) **bilangan minimum sudut langkah untuk motor pelangkah.**
the minimum number of step angles in the stepping motor.
- (ii) **frekuensi deretan denyut yang diperlukan untuk memandu meja dan kelajuan maksimum yang dikehendaki.**
the frequency of the pulse train required to drive the table at the desired maximum speed.

(30 markah)

- [b] **Robot TLR mempunyai sendi putaran (jenis R) dimana sambungan keluaran bersambung dengan pemasangan sendi. Dengan hanya mengambil kira rekabentuk sendi ini, sambungan keluaran adalah 600 mm panjang, dan jumlah julat putaran sendi adalah 40° . Resolusi ruang untuk sendi ini dianggap sebagai pengukuran linear pada sendi, yang bernilai ± 0.5 mm. Diketahui ketidaktepatan mekanikal pada sendi mempunyai ralat putaran $\pm 0.018^{\circ}$. Sekiranya sambungan keluaran adalah tegar maka ini menyebabkan tiada ralat penambahan merujuk kepada pesongan.**

A TLR robot has a rotational joint (type R) whose output link is connected to the wrist assembly. Considering the design of this particular joint, the output link is 600 mm long, and the total range of rotation of the joint is 40° . The spatial resolution of this joint is assumed as a linear measure at the wrist, and is specified to be ± 0.5 mm. It is known that the mechanical inaccuracies in the joint result in an error of $\pm 0.018^{\circ}$ rotation. Assumed the output link is perfectly rigid, therefore no additional errors due to deflection.

- (i) **Dengan adanya aras ralat mekanikal di dalam sendi, tunjukkan ianya adalah mustahil untuk mencapai spesifikasi resolusi ruang.**

With the given level of mechanical error in the joint, show that it is possible to achieve the spatial resolution specified.

...11/-

- (ii) Tentukan bilangan minimum bit yang diperlukan didalam memori kawalan robot untuk menentukan spesifikasi resolusi ruang.

Determine the minimum number of bits required by the control memory of robot to obtain the spatial resolution specified.

(30 markah)

- [c] Motor pelangkah digunakan untuk memandu dua paksi sesuatu mesin penyisipan yang digunakan untuk pemasangan elektronik. Sebuah papan litar diletakkan di atas meja di mana ia harus berada pada kedudukan yang tepat untuk memasukkan komponen-komponen kedalam papan litar. Julat setiap paksi = 700 mm. Skru bebenang yang mempunyai pic 3.0 mm digunakan untuk memacu setiap paksi. Ralat mekanikal yang wujud pada kedudukan meja dapat dikategorikan dengan sisihan piawai taburan normal = 0.005 mm. Jika ketepatan diperlukan untuk meja adalah 0.04 mm, tentukan: (i) bilangan sudut langkah yang harus dipunyai oleh motor pelangkah, dan (ii) berapa banyakkah bit yang diperlukan didalam mengawal memori bagi setiap paksi untuk mengenalpasti setiap kawalan kedudukan.

Stepping motors are used to drive the two axes of an insertion machine used for electronic assembly. A printed circuit board is mounted on the table which must be positioned accurately for reliable insertion of components into the board. Range of each axis is 700 mm. The lead screw used to drive each axis has a pitch of 3.0 mm. The inherent mechanical errors in the table positioning can be characterized by a Normal distribution with standard deviation = 0.005 mm. If the required accuracy for the table is 0.04 mm, determine: (i) the number of step angles that the stepping motor must have, and (ii) how many bits are required in the control memory for each axis to uniquely identify each control position.

(40 markah)

- S6. [a] Satu skru bebanang dengan pic 7.5 mm memacu mejakerja untuk sistem kedudukan NC. Skru bebanang tersebut digerakkan oleh motor pelangkah yang mempunyai 250 sudut langkah. Mejakerja itu diaturcara untuk bergerak 120 mm dari posisi asal pada kelajuan 300 mm/min. Ketidaktepatan mekanikal di dalam sistem kedudukan litar terbuka dengan taburan normal dimana bersisihan piawaian adalah 0.005 mm. Julat paksi mejakerja adalah 500mm, dan terdapat 12 bit didalam pendaftar binari yang digunakan oleh kawalan digital untuk menyimpan kedudukan aturcara. Sistem kedudukan,

A leadscrew with a 7.5 mm pitch drives a worktable for NC positioning system. The leadscrew is powered by a stepping motor which has 250 step angles. The worktable is programmed to move a distance of 120 mm from its present position at a travel speed of 300 mm/min. The mechanical inaccuracies in the open loop positioning system can be described by a normal distribution whose standard deviation is 0.005 mm. The range of the worktable axis is 500 mm, and there are 12 bits in the binary register used by the digital controller to store the programmed position. For the positioning system,

Tentukan:

determine:

- (i) **resolusi kawalan**

control resolution

- (ii) **ketepatan**

accuracy

- (iii) **kebolehulangan**

repeatability

- (iv) **Berapakah bit minimum yang harus dipunyai oleh pendaftar binari untuk membolehkan sistem pemacu mekanikal menjadi penghad komponen di dalam mengawalresolusi?**

What is the minimum number of bits that the binary register should have so that the mechanical drive system becomes the limiting component on control resolution?

(40 markah)

- [b] Dua paksi meja kedudukan x-y setiap satunya dikawal oleh motor pelangkah yang bersambung dengan skru bebenang dengan 10:1 pengurangan gear. Bilangan sudut langkah pada setiap motor pelangkah adalah 20. Setiap skru bebenang mempunyai pic = 5.0 mm dan julat paksi ialah 300.0 mm. Terdapat 16 bit didalam setiap pendaftar binari digunakan oleh pengawal dalam menyimpan kedudukan data untuk dua paksi tersebut.

The two axes of an x-y positioning table are each driven by a stepping motor connected to a leadscrew with a 10:1 gear ratio. The number of step angles on each stepping motor is 20. Each leadscrew has a pitch = 5.0 mm and provides an axis range = 300.0 mm. There are 16 bits in each binary register used by the controller to store position data for the two axes.

- (i) Berapa resolusi kawalan untuk setiap paksi?

What is the control resolution of each axis?

- (ii) Berapakah kelajuan putaran dan frekuensi deretan denyutan yang diperlukan oleh setiap motor pelangkah untuk memandu meja pada 600 mm/min di laluan lurus daripada titik (25,25) ke titik (100,150)? Abaikan pecutan.

What are the required the rotational speeds and corresponding pulse train frequencies for each stepping motor to drive the table at 600 mm/min in a straight line from point (25,25) to point (100,150)? Ignore acceleration.

(40 markah)

- [c] Sebuah motor digunakan sebagai unit pemacu untuk sendi linear didalam industri robot. Sendi tersebut mesti mempunyai ketepatan 0.25 mm. Motor dipasangkan kepada skru bebenang melalui 2:1 nisbah gear. Pic untuk skru bebenang tersebut adalah 5.0 mm. Ralat mekanikal didalam sistem disebabkan oleh kerenggangan skru bebenang dan pengurang gear) boleh diterangkan dengan taburan normal dengan sisihan piawai = ± 0.05 mm. Tentukan bilangan sudut langkah yang harus diperlukan oleh motor bagi mencapai ketepatan.

A stepper motor serves as the drive unit for the linear joint of an industrial robot. The joint must have an accuracy of 0.25 mm. The motor is attached to a leadscrew through a 2:1 gear ratio. The pitch of the leadscrew is 5.0 mm. The mechanical errors in the system (due to backlash of the leadscrew and the gear reducer) can be represented by a normal distribution with standard deviation = ± 0.05 mm. Specify the number of step angles that the motor must have in order to meet the accuracy required.

(20 markah)

-000000000-