

**ΛΥΣΕΙΣ - ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΘΕΜΑΤΩΝ ΕΞΕΤΑΣΗΣ**

**Θέμα 1ο (30%)**

Ένας ρομποτικός βραχίονας εκτελεί κοπή επίπεδου φύλλου με ηλεκτρικό εργαλείο (π.χ. τόξο ή φλόγα πλάσματος), ακολουθώντας μια προ-σχεδιασμένη γραμμή μέσω οπτικού συστήματος αίσθησης. Περιγράψετε συνοπτικά:

(α) τις κύριες παραμέτρους που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και ποιότητα της κατεργασίας κοπής

(β) τη λειτουργία που επιτελεί κάθε υποσύστημα (οπτικής αίσθησης, κίνησης του βραχίονα, ενεργοποίησης του εργαλείου κατεργασίας), τα κύρια τεχνικά συστατικά του και το περιεχόμενο της πληροφορίας που ανταλλάσσει με τα άλλα υπο-συστήματα

(γ) τη συνολική λογική ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα κατά την εκτέλεση μιας κοπής.

(α) Η αποτελεσματικότητα και ποιότητα της κατεργασίας εξαρτάται από τη διατήρηση της ισχύος της θερμής δέσμης (τόξου ή φλόγας) η οποία προσκρούει στο υλικό και μέσω της οποίας υλοποιείται τοπικά η κοπή, αφενός, και από την κατάλληλη ταχύτητα πρόωσης ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κοπή κατά το μήκος της προ-σχεδιασμένης γραμμής. Με τη σειρά της, αυτή εξαρτάται από την ισχύ (τάση και ένταση) του ηλεκτρικού φαινομένου μεταξύ του άκρου του εργαλείου κατεργασίας και του δοκιμίου. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ισχύ είναι η αντίσταση, η οποία εξαστάται έντονα από τη γεωμετρική απόσταση μεταξύ εργαλείου και φύλλου.

(β1) Το υποσύστημα οπτικής αίσθησης περιλαμβάνει κάμερα η οποία διαθέτει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για τη θέση του εργαλείου στο χώρο. Εδிகότερα, η κάμερα διακρίνει (i) την απόκλιση της θέσης κατεργασίας (έστω  $\{x,y\}$  παράλληλα με το φύλλο) από την προ-σχεδιασμένη επιθυμητή τροχιά (γραμμή) και (ii) την κατακόρυφα ως προς το φύλλο απόσταση μεταξύ του άκρου κοπής και της επιφάνειας του φύλλου (έστω  $\{z\}$ ). Παρέχει αυτές τις πληροφορίες στον επεξεργαστή ελέγχου του ρ.β.

(β2) Το υποσύστημα κίνησης του βραχίονα περιλαμβάνει τους κινητήρες των αρθρώσεων του ρομποτικού βραχίονα και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα τροφοδοσίας τους. Δέχεται εντολές από τον επεξεργαστή ελέγχου του ρ.β.

(β3) Το υποσύστημα ενεργοποίησης του εργαλείου κατεργασίας περιλαμβάνει τα κυκλώματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας για το σχηματισμό της δέσμης κατεργασίας (τόξο ή φλόγα) και τα υπαγόμενα βοηθητικά κυκλώματα για αποφυγή υπερθέρμανσης (π.χ. ψύξη με υγρό) και, κατά περίπτωση, αποφυγή οξειδωσης (π.χ. παροχή αδρανούς αερίου). Δέχεται εντολές από τον επεξεργαστή ελέγχου του ρ.β. στο οποίον επίσης παρέχει μέτρηση της έντασης του καταναλισκόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

(γ) Η συνολική λογική ελέγχου (προγραμματισμός πραγματικού χρόνου του επεξεργαστή ελέγχου του ρ.β.) χρησιμοποιεί τις πληροφορίες θέσης στο επίπεδο  $\{x,y\}$  για να παρέχει εντολές διόρθωσης έτσι ώστε το εργαλείο να ακολουθεί το επιθυμητό περίγραμμα (γραμμή) και να διατηρεί την κατάλληλη ταχύτητα πρόωσης. Επίσης, χρησιμοποιεί την πληροφορία απόστασης του άκρου από το φύλλο και παρέχει εντολές για την προσαρμογή της "κατακόρυφης" απόστασης  $\{z\}$  (και, ενδεχομένως, την προσαρμογή της τάση τροφοδοσίας του εργαλείου) με στόχο να διατηρεί την ένταση του ρεύματος στο πλαίσιο της προδιαγραφής για επιτυχή κοπή.

**Θέμα 2ο (30%)**

Δώστε την αναλυτική περιγραφή του χώρου εργασίας για μηχανισμό ως ακολούθως

#	Χαρακτηρισμός	Μέγεθος	Παρατηρήσεις
L0	βάση		παράλληλη με {y} αποκλείει $x < 0$
A0	πρισματική άρθρωση	[-5,0]	cm κατά τον άξονα {y}
L1	σύνδεσμος	4	
A1	στροφική άρθρωση	[60, 120]	deg, θετική κατά τη $\Phi\Delta\Omega^*$
L2	σύνδεσμος	5	cm
A2	Άκρο εργασίας	-	-

\*  $\Phi\Delta\Omega$  = Φορά των Δεικτών του Ωρολογίου

Λόγω της πρισματικής σύνδεσης A0 του συνδέσμου  $L1=4$  με τη βάση, η άρθρωση A1 κινείται επί του άξονα {y} μεταξύ των τεταγμένων  $y=-5+4=-1$  και  $y=0+4=4$ . Σε κάθε θέση της, το άκρο εργασίας A2 περιορίζεται στο εσωτερικό τόξου ανοίγματος  $\varphi=60^\circ$  με κέντρο την εκάστοτε θέση της άρθρωσης A1 και ακτίνα το μήκος του συνδέσμου  $L2=5$ . Αυτό το τόξο σχηματίζεται μεταξύ των γωνιακών θέσεων 60 και 120 deg ως προς το σύνδεσμο L1, δηλαδή ως προς τον άξονα {y} με τον οποίον ο σύνδεσμος αυτός είναι - κατά την εκφώνηση - παράλληλος. Επομένως, ως προς τη διάσταση {x}, το άκρο A2 διατηρείται μεταξύ της τιμής στο άκρο του τόξου (όταν  $A1=60^\circ$  ή  $A1=120^\circ$ ), δηλαδή  $x1=L2.\cos(\varphi/2)=5\sqrt{3}/2$ , και της τιμής στην "κορυφή" του τόξου, (όταν  $A1=90^\circ$ ), δηλαδή  $x2=L2=5$ .

$$x^2 + (y-4)^2 \leq 25 \quad (\alpha)$$

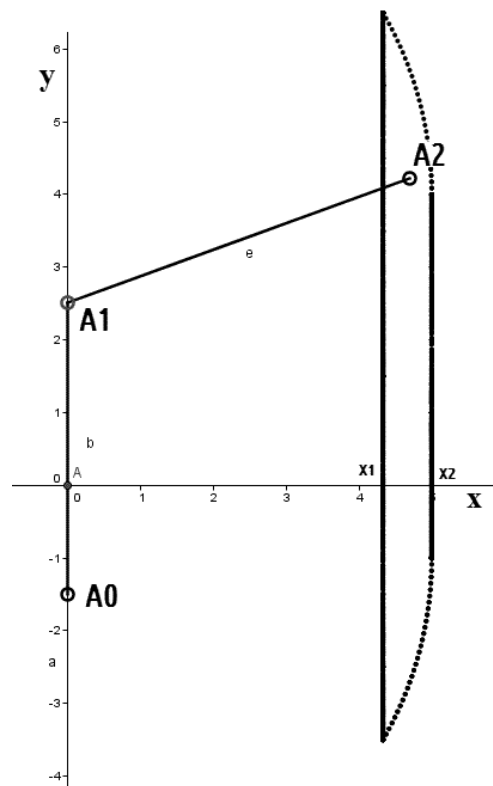
$$x^2 + (y+1)^2 \leq 25 \quad (\beta)$$

$$5 \geq x \geq -5\sqrt{3}/2 \quad (\gamma) \quad (\approx 4.33)$$

(α) περιορισμός στο εσωτερικό τόξο ακτίνας  $L2=5$  το οποίο σχηματίζεται όταν η άρθρωση A0 βρίσκεται στην "ανώτερη" θέση [0,0] και, αντίστοιχα, η άρθρωση A1 μεταφέρεται στη θέση [0,4]

(β) περιορισμός στο εσωτερικό τόξο, ακτίνας  $L2=5$ , δηλαδή όταν η άρθρωση A0 βρίσκεται στην "κατώτερη" θέση [0,-5] και η άρθρωση A1 στη θέση [0,-1]

(γ) περιορισμός της τεταγμένης {x} στα όρια της κίνησης της άρθρωσης A1 στο διάστημα  $60^\circ-120^\circ$ .



### Θέμα 3ο (40%)

Το άκρο εργασίας ενός BPB κινείται στον άξονα  $\{x\}$  σε τροχιά που περνάει διαδοχικά από τα εξής σημεία, κατά τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές:

Σημείο:	A	B	Γ
θέση	0.5	1.4	2.0
ταχύτητα	1.0	1.5	1.8
t=	0	1	2

Υπολογίστε, κατάλληλη πολυωνυμική τροχιά παρεμβολής (με ελεύθερη μεταβλητή το χρόνο  $t$ ), χωριστά για τη θέση  $X_p(t)$ , και την ταχύτητα  $V_p(t)$ . Εφαρμόστε την έκφραση για την ταχύτητα σε τροχιά με έναρξη το σημείο A για να υπολογίσετε τη θέση που θα αντιστοιχούσε στα σημεία B και Γ. Αναλόγως, εφαρμόστε την έκφραση για τη θέση ως τροχιά με έναρξη το σημείο A για να υπολογίσετε την ταχύτητα που θα αντιστοιχούσε στα σημεία A, B και Γ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχει απόκλιση ως προς τις τιμές του πίνακα; Εξηγήστε την απάντησή σας με ένα συνοπτικό σχόλιο.

Η πολυωνυμική παρεμβολή θέσης αφορά πολυώνυμο 2ου βαθμού της μορφής  $X_p(t)=at^2+bt+c$ , όπου οι συντελεστές  $(a,b,c)$  επιλέγονται ώστε η τιμές του πολυωνύμου να ταυτίζονται με τις τιμές (θέσεις) της τροχιάς τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές, δηλαδή να ικανοποιούνται οι συνθήκες:

$$X_p(t=0) = c = 0.5 \quad (\text{σημείο A})$$

$$X_p(t=1) = a+b+c = 1.4 \quad (\text{σημείο B})$$

$$X_p(t=2) = 4a+2b+c = 2.0 \quad (\text{σημείο Γ})$$

Η επίλυση αυτών των εξισώσεων (σύστημα τριών γραμμικών εξισώσεων με τρεις αγνώστους) δίνει τους συντελεστές  $a=-0.15$ ,  $b=1.05$  και  $c=0.5$ .

Αντίστοιχα, για την πολυωνυμική παρεμβολή ταχύτητας, έστω  $V_p(t)=a't^2+b't+c'$ , πρέπει να ικανοποιούνται οι συνθήκες:

$$V_p(t=0) = c' = 1.0 \quad (\text{σημείο A})$$

$$V_p(t=1) = a'+b'+c' = 1.5 \quad (\text{σημείο B})$$

$$V_p(t=2) = 4a'+2b'+c' = 1.8 \quad (\text{σημείο Γ})$$

Η επίλυση αυτών των εξισώσεων δίνει  $a'=-0.1$ ,  $b'=0.6$  και  $c'=1$ .

Η παρεμβολή  $V_p(t)$  εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της θέσης χρησιμοποιώντας το χρονικό ολοκλήρωμα της ταχύτητας, δηλαδή  $X_v(t)=a't^3/3+b't^2/2+c't+d$ . Ταυτόχρονα, λόγω της συνθήκης σύμπτωσης της τροχιάς στο αρχικό σημείο A, ο συντελεστής  $d$  είναι γνωστός διότι θα ισχύει  $X_v(0)=d=0.5$ . Ομοίως, η παρεμβολή  $V_p(t)$  εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της ταχύτητας χρησιμοποιώντας την παράγωγο της θέσης, δηλαδή  $V_x(t)=2at+b$ .

Σημείο	t	$X_p(t)$	$V_p(t)$	$X_v(t)$	$V_x(t)$	$\Delta X$	$\Delta V$
A	0.0	0.50	1.00	0.50	1.05	0.00	-0.05
B	1.0	1.40	1.50	1.77	0.75	0.37	0.75
Γ	2.0	2.00	1.80	3.43	0.45	1.43	1.35
μέση τιμή:		1.30	1.43	μέση απόκλιση:		0.49	0.51

Και στις δύο περιπτώσεις, η εφαρμογή για  $t=\{0,1,2\}$  δίνει μέση απόκλιση (RMS) της τάξης του 0.5 (σε διαστάσεις ταχύτητας ή θέσης) που αντιστοιχεί σε περίπου 35% της μέσης τιμής της αντίστοιχης παραμέτρου. Αυτή η (σχετικά σημαντική) απόκλιση δείχνει ότι τα δεδομένα της εκφώνησης δεν αντιστοιχούν στην υπόθεση μιας ομοιόμορφης, τοπικά "λείας" δυναμικής.