

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

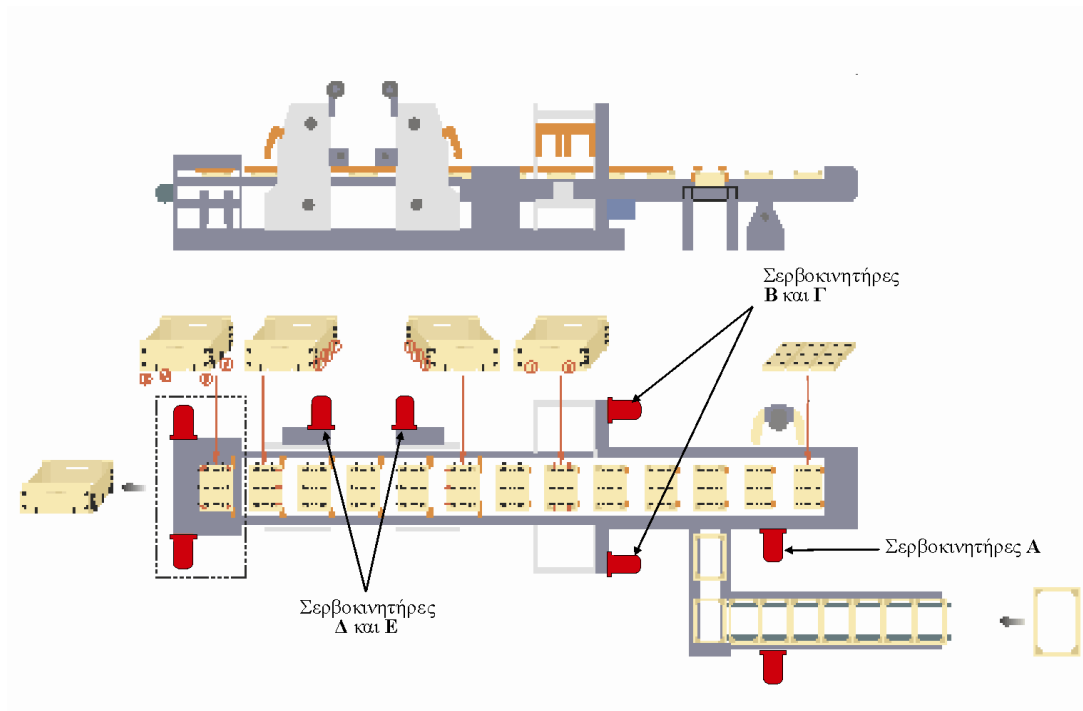
Θέμα εργασίας
9^ο εξάμηνο

*Σχεδιασμός σερβοκινητήριου συστήματος με
συνδυαστικό έλεγχο δύο κινητήρων*

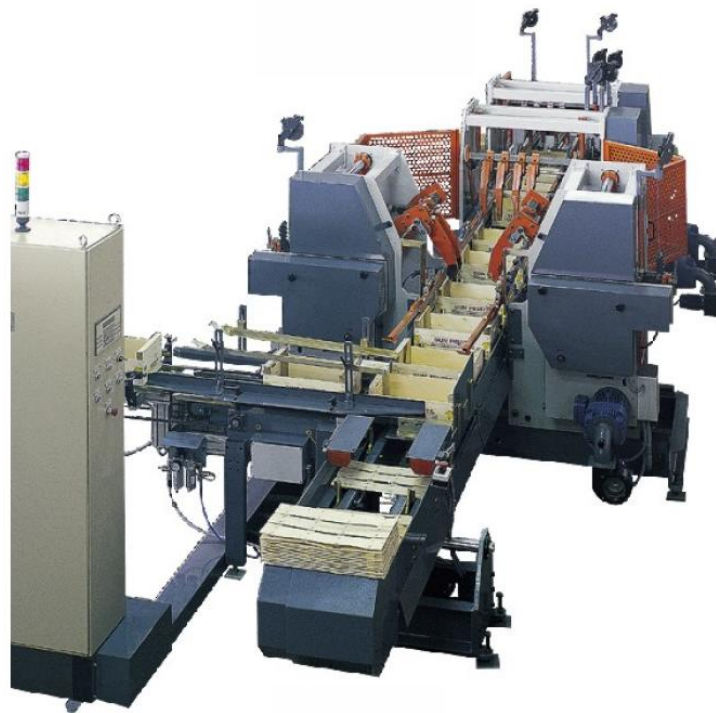
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

1. Περιγραφή του συστήματος

Η διάταξη είναι ένα μηχάνημα κατασκευής ξυλοκιβωτίων (ξύλινων τελάρων) για τη συσκευασία φρούτων. Θα εξεταστεί η μονάδα που βρίσκεται στο τελικό τμήμα της διαδικασίας και με αυτήν ολοκληρώνεται η κατασκευή των ξυλοκιβωτίων. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η λειτουργία της διάταξης.



(α)



(β)

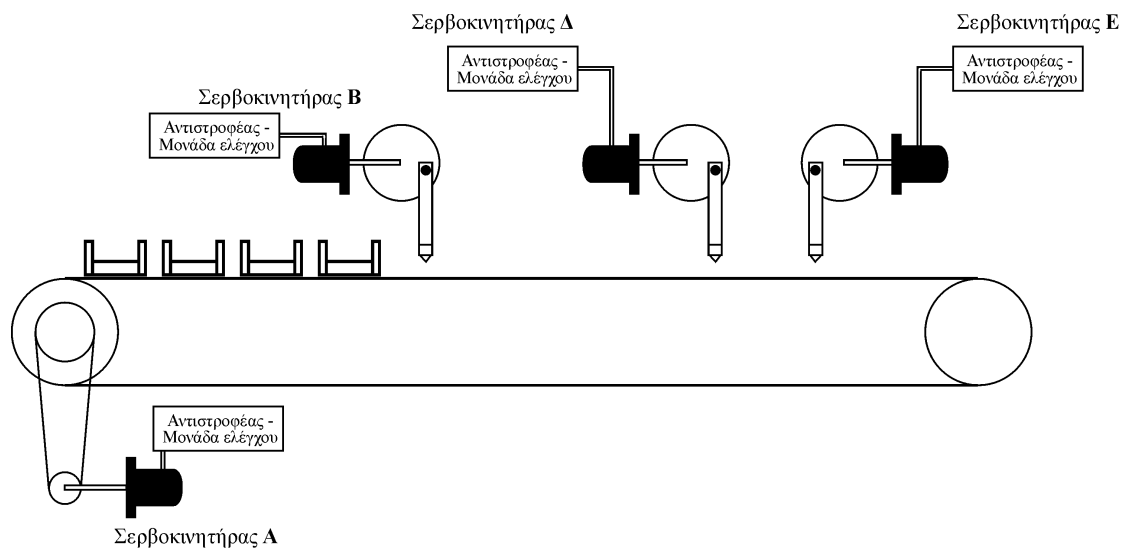
Σχήμα 1 Λειτουργία της διάταξης συναρμολόγησης της βάσης των ξυλοκιβωτίων

Το μηχάνημα αυτό παίρνει τις βάσεις και τα πλαϊνά ξύλινα τμήματα των κιβωτίων που έχουν κατασκευαστεί σε άλλα μηχανήματα σε προηγούμενα στάδια εργασιών και τα συνδέει μεταξύ τους. Αποτελείται από ένα κεντρικό διάδρομο ο οποίος μεταφέρει τις βάσεις των ξυλοκιβωτίων και ένα ακόμη διάδρομο σε σχήμα Γ του οποίου η διεύθυνση της κίνησης είναι κάθετη στη κίνηση του κεντρικού διαδρόμου και μεταφέρει τα πλαϊνά των ξυλοκιβωτίων. Τα πλαϊνά τμήματα τοποθετούνται το ένα μετά το άλλο πάνω στις βάσεις που έρχονται από την μια άκρη του κυρίως διαδρόμου και στη συνέχεια περνούν από ειδικούς συρραπτικούς βραχίονες που τα συρράπτουν στις θέσεις που συμβολίζονται με μικρούς κύκλους στο Σχήμα 1α. Οι συρραφές γίνονται στις τέσσερις πλευρές κάθε ξυλοκιβωτίου.

Η κίνηση του συστήματος γίνεται από πέντε σερβοκινητήρες που ελέγχονται από ισάριθμα αυτόνομα συστήματα ελέγχου τα οποία λειτουργούν συνδυαστικά μεταξύ τους. Ο σερβοκινητήρας Α χρησιμοποιείται για την κίνηση του κύριου μεταφορικού διαδρόμου ο οποίος μεταφέρει τις βάσεις των κιβωτίων. Τα πλαϊνά τμήματα έρχονται από τον διάδρομο σχήματος Γ ο οποίος κινείται από έναν επαγωγικό κινητήρα που βρίσκεται μόνιμα σε λειτουργία, ενώ ο σερβοκινητήρας Α κινείται για μια συγκεκριμένη απόσταση ώστε να έρθει η βάση κάθε κιβωτίου ακριβώς κάτω από το κάθε πλαϊνό. Στη συνέχεια κινείται το κιβώτιο προς το πρώτο τμήμα συρραφής ενώ η κίνηση του διαδρόμου συνεχίζεται ώστε να έρθει η επόμενη βάση και να εφαρμοστεί στο νέο πλαϊνό της. Έτσι, η απόσταση που διανύει κάθε φορά ο σερβοκινητήρας Α προσδιορίζεται ανά στάδιο κίνησης και κάθε φορά η κίνηση που κάνει είναι όση η απόσταση που χρειάζεται να φύγει το ένα κιβώτιο (βάση-πλαϊνό) και να έρθει το επόμενο.

Η κίνηση του μηχανήματος συρραφής γίνεται από τους σερβοκινητήρες Β και Γ, οι οποίοι ξεκινούν όταν έρθει το κιβώτιο στην κατάλληλη θέση. Ένας αισθητήρας ελέγχει ότι τη στιγμή εκείνη υπάρχει κάποιο κιβώτιο στη κατάλληλη θέση για συρραφή και στη περίπτωση που δεν υπάρχει το κιβώτιο δεν δίνεται εντολή να ξεκινήσουν οι σερβοκινητήρες Β και Γ. Ο έλεγχος αυτός είναι απαραίτητος γιατί η κίνηση του σερβοκινητήρα Α ανά στάδιο θέσης κιβωτίου γίνεται συνεχώς, ασχέτως αν υπάρχουν ή όχι κιβώτια στο διάδρομο.

Στη συνέχεια κινείται το κιβώτιο για το δεύτερο στάδιο συρραφής, δηλαδή τη συρραφή στις άλλες του δύο πλευρές. Η κίνηση αυτών των μηχανημάτων συρραφής γίνεται από τους σερβοκινητήρες Δ και Ε. Γίνεται πρώτα η συρραφή στη μια πλευρά από το μηχάνημα του σερβοκινητήρα Δ και στη συνέχεια στην άλλη πλευρά του κιβωτίου από το μηχάνημα του σερβοκινητήρα Ε. Ανάμεσα στις δύο συρραφές μεσολαβεί ένα στάδιο κίνησης του κιβωτίου. Και στη περίπτωση αυτή, η κίνηση των δύο σερβοκινητήρων γίνεται ελέγχοντας προηγουμένως ότι υπάρχει κιβώτιο εκείνη τη στιγμή στις θέσεις βάσης των μηχανημάτων συρραφής. Εκεί, ολοκληρώνεται η κατασκευή του ξυλοκιβωτίου και στη συνέχεια είτε φεύγει με ταινιόδρομο για τη συσκευασία, είτε δύο ακόμη σερβοκινητήρες τοποθετούν συρραφές στις τέσσερις άκρες του κιβωτίου, αν και εφόσον απαιτείται επιπλέον σταθερότητα στη κατασκευή του κιβωτίου. Η διαδικασία αυτή συμβολίζεται με το διακεκομμένο πλαίσιο (Σχήμα 1) και είναι συνήθως προαιρετική στη κατασκευή.



Είναι φανερό ότι χρειάζεται συνδυασμένη λειτουργία όλων των σερβοκινητήρων μεταξύ τους ώστε να αποφευχθούν ατέλειες στη κατασκευή των ξυλοκιβωτίων αλλά επίσης και να προστατευτούν τα διάφορα τμήματα της διάταξης. Με άλλα λόγια, η κίνηση κάθε σερβοκινητήρα θα πρέπει να έχει απόλυτη ακρίβεια, γιατί στη σωστή απόκρισή του οφείλεται κατά μεγάλο μέρος η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Για παράδειγμα, η κίνηση του σερβοκινητήρα Α και κυρίως η θέση που θα σταματήσει πρέπει να είναι απόλυτα ακριβής. Μάλιστα πρέπει να φτάνει στη θέση του ομαλά και χωρίς υπερύψωση, ώστε να τοποθετηθεί σωστά το πλαϊνό τμήμα με τη βάση του ξυλοκιβωτίου. Γι' αυτό το λόγο η μορφή του σήματος της θέσης αναφοράς της κίνησης του σερβοκινητήρα Α είναι ράμπα με ομαλά τα σημεία εκκίνησης και σταματήματος. Οι σερβοκινητήρες Γ και Δ πρέπει να ξεκινούν όταν θα έχει ολοκληρωθεί το κάθε στάδιο κίνησης του Α και μάλιστα θα πρέπει να δοθεί κάποιο διάστημα ως νεκρός χρόνος μετά την ολοκλήρωση της κίνησης του Α και πριν ξεκινήσουν οι Β και Γ, ώστε να σταθεροποιηθεί με μηχανικό μέσο η θέση του κιβωτίου για να τοποθετηθούν σωστά οι συρραφές. Οι σερβοκινητήρες Β και Γ κινούν τους βραχίονες συρραφής και συνεπώς η κίνησή τους θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο γρήγορη. Γι' αυτό το λόγο, εφαρμόζεται βηματική μεταβολή του σήματος της θέσης αναφοράς και στη συνέχεια επαναφορά στην αρχική του θέση. Επίσης, η εκκίνηση αλλά και το σταμάτημα των Β και Γ θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ταυτόχρονη.

2. Δεδομένα του προβλήματος

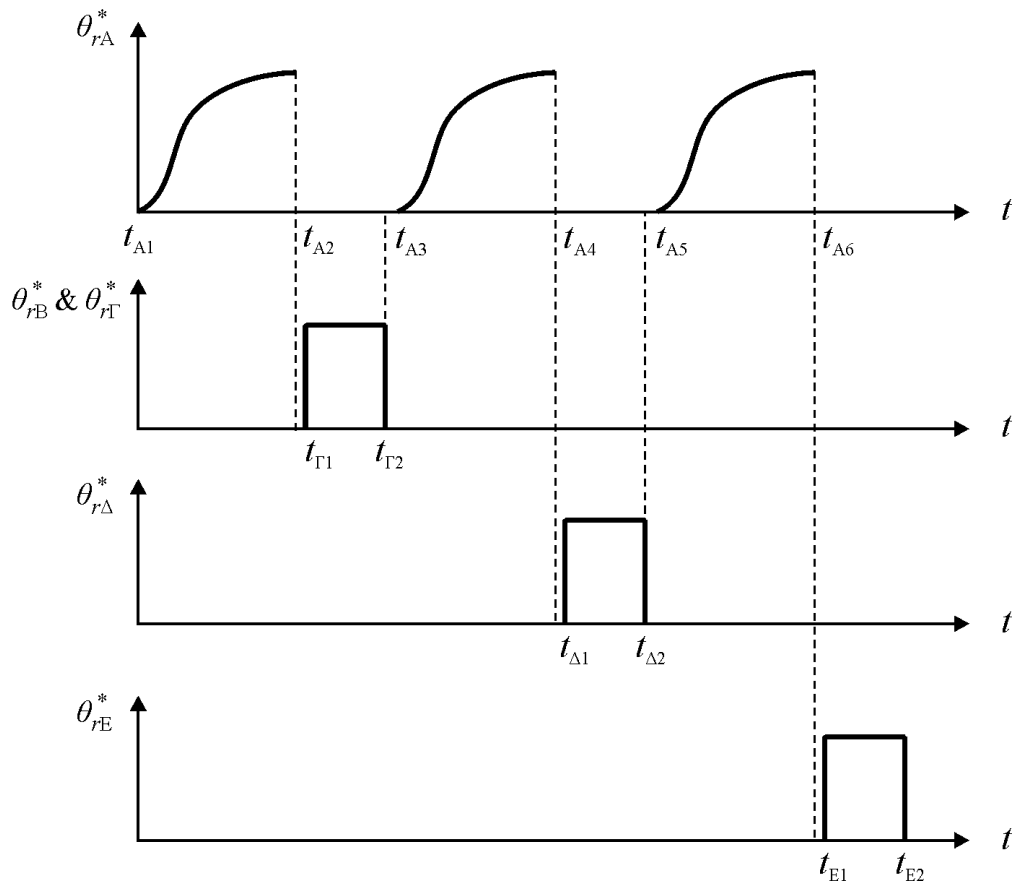
Θα εξεταστεί η συνδυαστική κίνηση δύο σερβοκινητήρων των A και B που εκτελούν το ένα στάδιο κίνησης και συρραφής των κιβωτίων στις δύο πλευρές. Η κίνηση του Γ γίνεται ταυτόχρονα με του B και συνεπώς η απόκριση τους είναι παράλληλη. Τα δύο άλλα στάδια συρραφής που γίνονται με τη συνδυαστική κίνηση των A-Δ και A-E είναι επανάληψη της κίνησης των A-B. Συνεπώς, για το σχεδιασμό του συστήματος αρκεί ο σχεδιασμός και η μελέτη της συνδυαστικής κίνησης των A-B.

Έχετε στη διάθεση σας δύο ηλεκτρικούς κινητήρες, ο ένας είναι επαγωγικός κινητήρας και θα χρησιμοποιηθεί ως σερβοκινητήρας A και ο άλλος είναι σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη ημιτονοειδούς διέγερσης και θα χρησιμοποιηθεί ως σερβοκινητήρας B. Τα ονομαστικά στοιχεία και τα στοιχεία του μοντέλου των δύο κινητήρων δίνονται στους πίνακες τιμών κάθε ομάδας εργασίας. Οι ροπές αδράνειας του φορτίου που κινούν οι ο κινητήρες A (διάδρομος μεταφοράς) και του φορτίου του κινητήρα B (μηχάνημα συρραφής) δίνονται στον πίνακα με τίτλο “Στοιχεία του Μοντέλου του Σερβοκινητήριου Συστήματος”.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι μορφές που πρέπει έχουν τα σήματα αναφοράς θέσης όλων των σερβοκινητήρων της διάταξης ώστε να ολοκληρωθεί η κατασκευή ενός ξυλοκιβωτίου. Οι κλίσεις που θα έχουν οι κυματομορφές των σημάτων θέσης αναφοράς στις διάφορες περιπτώσεις κίνησης του σερβοκινητήρα A είναι αντικείμενο ειδικής ρύθμισης. Το σήμα της θέσης αναφοράς της κίνησης του σερβοκινητήρα A είναι ράμπα με ομαλή εκκίνηση και σταμάτημα. Η διαδρομή που διανύει το κιβώτιο αντιστοιχεί σε ορισμένες περιστροφές του σερβοκινητήρα A (δίνονται στον Πίνακα “Στοιχεία του Μοντέλου του Σερβοκινητήριου Συστήματος”). Στη συνέχεια μεσολαβεί ένα μικρό νεκρό διάστημα ακινησίας 10 msec μέχρι να δοθεί η εντολή για σήμα αναφοράς στον σερβοκινητήρα B. Το σήμα θέσης αναφοράς του B είναι βηματικής μορφής και η διάρκειά του θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προλάβει ο σερβοκινητήρας B να εκτελέσει ένα ορισμένο αριθμό περιστροφών (δίνεται στον παραπάνω πίνακα τιμών) και να επιστρέψει στην αρχική του θέση, η οποία χαρακτηρίζεται ως θέση 0. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα δύο επόμενα στάδια μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του κιβωτίου δεν θα εξεταστούν γιατί είναι επανάληψη του σταδίου που εξετάζετε.

Η ροπή φορτίου του συστήματος θα θεωρηθεί σταθερή. Αυτό είναι μια προσέγγιση ώστε να γίνει πιο απλός ο σχεδιασμός και η μελέτη του συστήματος. Οι ροπές φορτίου των δύο κινητήρων δίνονται στον Πίνακα “Στοιχεία του Μοντέλου του Σερβοκινητήριου Συστήματος”.

Το σύστημα ελέγχου υλοποιείται με ψηφιακή τεχνική και για τον έλεγχο του ρεύματος εφαρμόζεται η μέθοδος του βρόχου υστέρησης ρεύματος (PWM ελέγχου ρεύματος). Συνεπώς απαιτείται η ρύθμιση μόνο των παραμέτρων των ελεγκτών ταχύτητας και θέσης. Οι χρόνοι δειγματοληψίας του ψηφιακού ελεγκτή που υλοποιεί τον βρόχο υστέρησης ρεύματος και των ελεγκτών ταχύτητας και θέσης δίνονται στον Πίνακα “Στοιχεία των Ψηφιακών Ελεγκτών”.



Σχήμα 3 Σήματα αναφοράς θέσης των σερβοκινητήρων ώστε να ολοκληρωθεί η κατασκευή ενός κιβωτίου

3. Στόχος της σχεδίασης (βέλτιστο σερβοκινητήριο σύστημα)

Η ρύθμιση των παραμέτρων των δύο ελεγκτών (ταχύτητας και θέσης δρομέα) του σερβοκινητήρα A θα πρέπει να τέτοια ώστε η απόκριση στο σήμα αναφοράς θέσης να έχει όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο ανόδου και αποκατάστασης και να μην εμφανίζει υπερύψωση. Οι ίδιες απαιτήσεις υπάρχουν και για τον σερβοκινητήρα B, ωστόσο σε αυτόν επιτρέπεται μια μικρή υπερύψωση στην απόκριση θέσης, η οποία όμως δεν θα υπερβαίνει το 5%. Επίσης, οι χρόνοι λειτουργίας των σημάτων αναφοράς θέσης των δύο σερβοκινητήρων θα πρέπει να είναι οι μικρότεροι δυνατοί, αφήνοντας ωστόσο στον κάθε σερβοκινητήρα το χρονικό περιθώριο να εκτελέσει την κίνηση που του αναλογεί.

Ως συνολικό χρόνο λειτουργίας του συστήματος θα θεωρούμε ένα στάδιο κίνησης που ορίζεται ως το άθροισμα των χρόνων λειτουργίας των δύο σερβοκινητήρων, δηλαδή από τη στιγμή που δόθηκε το σήμα αναφοράς για τον κινητήρα A μέχρι να ολοκληρωθεί η κίνηση του B και να επιστρέψει στην αρχική του θέση 0.

Το βέλτιστο προτεινόμενο σύστημα θα πρέπει να έχει το μικρότερο συνολικό χρόνο λειτουργίας και ταυτόχρονα να ικανοποιούνται οι περιορισμοί ως προς την ομαλή κίνηση του A καθώς και τους περιορισμούς ως προς την υπερύψωση στην απόκριση θέσης και των δύο σερβοκινητήρων, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως.

4. Σχεδιασμός του συστήματος – Αποτελέσματα της εργασίας

- i) *Προσδιορισμός των παραμέτρων των ελεγκτών για ανεξάρτητη λειτουργία των δύο κινητήρων*
- 4.1 Να καθοριστούν οι τιμές των περιοριστών ροπής των ελεγκτών ταχύτητας και θέσης καθώς και του περιοριστή της ολοκληρωτικής βαθμίδας του PI ελεγκτή ταχύτητας κάθε κινητήρα.
- 4.2 Να προσδιοριστούν τα κέρδη των ελεγκτών ταχύτητας και στη συνέχεια των ελεγκτών θέσης των δύο κινητήρων όταν λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους, για διάφορες περιπτώσεις εισόδων βήματος και ράμπας. Οι τιμές που θα προσδιοριστούν στο ερώτημα αυτό θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές τιμές για τον προσδιορισμό των τελικών τιμών των παραμέτρων του βήματος σχεδιασμού ii).
- 4.3 Για το κάθε σύστημα χωριστά, να εξεταστεί η ικανότητα του σε απόρριψη βηματικών διαταραχών της ροπής φορτίου και να βελτιωθούν οι τιμές των ελεγκτών που προσδιορίστηκαν στο ερώτημα 4.2 για διάφορες περιπτώσεις ταχύτητας περιστροφής: 50% και 80% της ονομαστικής σύγχρονης ταχύτητας. Για κάθε μια από τις παραπάνω ταχύτητες να εξεταστούν οι εξής περιπτώσεις βηματικών διαταραχών της ροπής φορτίου: (α) από 10% σε 30% και (β) από 20% σε 80% της ονομαστικής ροπής.
- ii) *Προσδιορισμός των παραμέτρων των ελεγκτών για το συνολικό σερβοκινητήριο σύστημα*
- 4.4 Να σχεδιαστεί η μορφή του σήματος αναφοράς θέσης του σερβοκινητήρα Α και να προσδιοριστούν οι χρόνοι των σημάτων αναφοράς θέσης και των δύο σερβοκινητήρων (Α και Β). Τα παραπάνω μπορούν να αναπροσαρμοστούν στη συνέχεια ώστε να πετύχετε το βέλτιστο λειτουργικό αποτέλεσμα.
- 4.5 Να προσδιοριστούν οι τελικές τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών ταχύτητας και θέσης κατά τη συνδυαστική λειτουργία των δύο σερβοκινητήρων, ώστε να επιτυγχάνεται ο μικρότερος συνολικός χρόνος λειτουργίας του συστήματος.
- 4.6 Να εξεταστεί πως μεταβάλλεται η απόκριση του συστήματος και ο συνολικός χρόνος λειτουργίας αν αυξηθούν οι ροπές φορτίου του Πίνακα “Στοιχεία του Μοντέλου του Σερβοκινητήριου Συστήματος”, στον σερβοκινητήρα Α κατά 15% και στον σερβοκινητήρα Β κατά 10%.
- Τα βήματα 4.4 και 4.5 θα επαναληφθούν ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της σχεδίασης και το βέλτιστο λειτουργικό αποτέλεσμα.
- iii) *Παρουσίαση των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων*
- 4.7 Για όλα τα παραπάνω ερωτήματα να καταγραφούν οι τιμές των παραμέτρων των ελεγκτών που επιλέχθηκαν και να παρουσιαστούν τα διαγράμματα: απόκρισης ταχύτητας, θέσης, ηλεκτρομαγνητικής ροπής, ρεύματος ροπής, ρεύματος πεδίου και του στιγμιαίου ρεύματος μιας φάσης σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα σήματα αναφοράς τους. Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα.