



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

ΤΟΠΤΣΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Επιβλέπων

ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ

**Καθηγητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του
Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

Αθήνα, Ιούνιος 2020

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
ΣΥΝΟΨΗ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
THESIS INFORMATION.....	6
ABSTRACT.....	6
SUMMARY.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ.....	8-26
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.3 Δομή ταινιόδρομου.....	10
1.4 Χαρακτηριστικές εξισώσεις.....	12
1.5 Βασικά μέρη μεταφορικής ταινίας.....	13
1.6 Είδη μιάτων.....	17
1.7 Παράγοντες που επηρεάζουν χωρητικότητα μιάτων.....	21
1.8 Δομή μεταφορικών κοχλιών.....	23
1.9 Κατηγορίες.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΜΕΙΩΤΗΡΕΣ.....	27-34
2.1 Περιγραφή.....	27
2.2 Μειωτήρες.....	28
2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά μειωτήρων στροφών.....	32
2.4 Εγκατάσταση και συντήρηση μειωτήρων.....	32
2.5 Προβλήματα μειωτήρων.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC).....	35-61
3.1 Γενικές πληροφορίες.....	35
3.2 Γενική δομή PLC.....	36
3.3 Προγραμματισμός PLC.....	48
3.4 Block προγράμματος.....	48
3.4.1 Γλώσσες προγραμματισμού.....	52
3.5 Εφαρμογές.....	54
3.5.1 Αυτοματισμός δύο μεταφορικών ταινιών.....	54
3.5.2 Εγκατάσταση μεταφοράς υλικών.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....	62-83
4.1 Περιγραφή σερβοκινητήρων και εφαρμογές τους.....	62
4.2 Εξέλιξη.....	62
4.3 Γενικά χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων.....	62
4.4 Κατηγορίες σερβοκινητήρων.....	64
4.4.1 Ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες.....	66
4.4.2 Σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος.....	67
4.4.3 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	68
4.5 Κριτήρια επιλογής σερβοκινητήρων.....	69
4.6 Σύγκριση βασικών σερβοκινητήρων.....	69
4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σερβοκινητήρα.....	72
4.8 Τομείς εφαρμογών.....	73
4.8.1 Εφαρμογές στην ρομποτική.....	74
4.8.2 Χρήση σε βιομηχανικούς μηχανισμούς.....	76



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ	84-110
5.1 Διατάξεις αισθητήριων.....	84
5.2 Εφαρμογές αισθητηρίων.....	104
5.3 Ανάπτυξη αισθητήρα.....	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Μεταφορικές ταινίες»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Τοπτσόγλου Βασίλειος
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Μαλατέστας Παντελής, Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολογων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2020-2021

ΣΥΝΟΨΗ

Οι μεταφορείς είναι ανθεκτικά και αξιόπιστα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην αυτοματοποιημένη διανομή και αποθήκευση, καθώς και στις εγκαταστάσεις παραγωγής και παραγωγής. Σε συνδυασμό με τον ελεγχόμενο από υπολογιστή εξοπλισμό χειρισμού παλετών, αυτό επιτρέπει την αποδοτικότερη λιανική, χονδρική και κατασκευαστική διανομή. Θεωρείται ένα σύστημα εξοικονόμησης εργασίας που επιτρέπει σε μεγάλους όγκους να μετακινούνται γρήγορα μέσω μιας διαδικασίας, επιτρέποντας στις εταιρείες να μεταφέρουν ή να λαμβάνουν μεγαλύτερους όγκους με μικρότερο αποθηκευτικό χώρο και με μικρότερο κόστος εργασίας.

Οι μεταφορείς ιμάντων είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι μεταφορείς με κινητήρα επειδή είναι οι πιο ευπροσάρμοστοι και λιγότερο δαπανηροί. Τα προϊόντα μεταφέρονται απευθείας στον ιμάντα έτσι ώστε να μπορούν να μεταφέρονται με επιτυχία τόσο κανονικά όσο και ακανόνιστα αντικείμενα, μεγάλα ή μικρά, ελαφρά και βαριά. Οι μεταφορείς ιμάντων κατασκευάζονται επίσης με καμπύλες τομές που χρησιμοποιούν κωνικούς κυλίνδρους και καμπύλους ιμάντες για τη μεταφορά προϊόντων γύρω από μια γωνία. Αυτά τα συστήματα μεταφοράς χρησιμοποιούνται συνήθως στα γραφεία ταχυδρομικής διαλογής και στα συστήματα χειρισμού αποσκευών αεροδρομίων.

Οι μεταφορείς ιμάντων είναι γενικά αρκετά όμοιοι στην κατασκευή που αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο με κυλίνδρους σε κάθε άκρο μιας επίπεδης μεταλλικής κλίνης. Οι μεταφορικοί ιμάντες από καουτσούκ χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταφορά αντικειμένων με ακανόνιστες επιφάνειες πυθμένα, μικρά αντικείμενα που πέφτουν μεταξύ των κυλίνδρων (π.χ. μεταφορικός ιμάντας σούσι) ή σάκου προϊόντος που θα διαφύγουν μεταξύ των κυλίνδρων. Ο ιμάντας περιστρέφεται γύρω από κάθε έναν από τους κυλίνδρους και όταν ένας από τους κυλίνδρους τροφοδοτείται (από ηλεκτρικό κινητήρα) ο ιμάντας ολισθαίνει διαμέσου της κλίνης μεταλλικού σκελετού, κινώντας το προϊόν. Σε εφαρμογές βαριάς χρήσης τα κρεβάτια τα οποία τραβιέται ο ιμάντας αντικαθίστανται από κυλίνδρους. Οι κύλινδροι επιτρέπουν την μεταφορά βάρους καθώς μειώνουν την ποσότητα τριβής που παράγεται από την μεγαλύτερη φόρτιση στον ιμάντα. Η εξαίρεση από την τυπική κατασκευή μεταφορικού ιμάντα είναι ο μεταφορέας ιμάντα σάντουιτς. Ο μεταφορικός ιμάντας Sandwich Belt χρησιμοποιεί δύο μεταφορικούς ιμάντες, αντί για έναν. Αυτοί οι δύο συμβατικοί μεταφορικοί ιμάντες είναι τοποθετημένοι πρόσωπο με πρόσωπο, για να συγκρατούν σταθερά τα αντικείμενα που μεταφέρονται με ένα "σάντουιτς" τύπου λαβή.

Οι μεταφορείς ιμάντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά του προϊόντος σε ευθεία γραμμή ή μέσω αλλαγών στην ανύψωση ή την κατεύθυνση. Για τη μεταφορά υλικών χύδην όπως σπόροι, ορυκτός, άνθρακας, άμμος κλπ., Πάνω σε ήπιες κλίσεις ή απαλές καμπύλες, χρησιμοποιείται ένας μεταφορικός ιμάντας. Η κοιλότητα του ιμάντα εξασφαλίζει ότι το ρευστό υλικό βρίσκεται μέσα στις άκρες του ιμάντα. Η σκάφη επιτυγχάνεται διατηρώντας τους κυλίνδρους αδράνειας σε μια γωνία προς την οριζόντια πλευρά στις πλευρές του πλαισίου αδράνειας. Ένας αγωγός μεταφοράς σωλήνων χρησιμοποιείται για διαδρομές υλικού που απαιτούν ευκρινέστερες στροφές και κλίσεις μέχρι 35 μοίρες. Ένας μεταφορέας σωλήνων χαρακτηρίζει τα άκρα του ιμάντα που κυλίνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα κυκλικό τμήμα όπως ένας σωλήνας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα πλήρες **σύστημα μεταφοράς** αποτελείται από τρία βασικά εξαρτήματα. Τα μέρη περιλαμβάνουν το προφίλ αλουμινίου, την κινητήρια μονάδα και τη μονάδα ακρών. Το προφίλ αλουμινίου περιέχει το στήριγμα της ταινίας μεταφοράς. Η κινητήρια μονάδα αποτελείται από το βραχίονα κινητήρα, τα αντικρουόμενα έδρανα και τον ηλεκτρικό κινητήρα. Η μονάδα άκρων αποτελείται από τη τροχαλία και τους ιμάντες σύσφιξης. Οι πρόσθετες μονάδες είναι τμήματα που μπορεί να περιλαμβάνονται προαιρετικά, όπως οι βάσεις και οι πλευρικοί οδηγοί.

Μέρη και λειτουργίες των μεταφορικών συστημάτων:

Το στήριγμα της ταινίας μεταφοράς: πρόκειται για ένα απλοποιημένο στοιχείο που βοηθά τον μεταφορικό ιμάντα να τραβηχτεί γρήγορα. Λειτουργεί επίσης ως σταθερή υποστήριξη για τον ιμάντα για να διασφαλίσει ότι δεν θα χαλαρώσει όταν το βάρος ενός αντικειμένου τοποθετηθεί στον ιμάντα.

Η τροχαλία: Η κύρια λειτουργία των τροχαλιών στη μονάδα των άκρων είναι ο έλεγχος της κίνησης του ιμάντα. Ως εκ τούτου, οι τροχαλίες τοποθετούνται στρατηγικά για να γυρίσουν τη ζώνη γύρω και να την αναγκάσουν να επιστρέψει, ο κενός ιμάντας περιστρέφεται γύρω από έτοιμος για φόρτωση από τις τροχαλίες της ουράς.

Η μονάδα οδήγησης: Αυτές οι μηχανικές μονάδες βοηθούν το σύστημα μεταφοράς να λειτουργεί συνεχώς, αντίστροφα και ρυθμίζει την κατεύθυνση επανειλημμένα. Το αντίθετο ρουλεμάν βοηθά στην αποτελεσματική περιστροφή μεταξύ των τμημάτων του συστήματος. Η μονάδα οδήγησης είναι ιδανική για την παροχή της απαιτούμενης υποστήριξης κίνησης για αποτελεσματική λειτουργία του ιμάντα.

Η ζώνη αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα υλικού. Είναι κοινό για τις ζώνες να έχουν τρία στρώματα: ένα επάνω κάλυμμα, ένα σφάγιο και ένα κατώτατο κάλυμμα. Ο σκοπός του σφάγιου είναι να παρέχει γραμμική δύναμη και σχήμα. Το σφάγιο είναι συχνά υφαντό ή μεταλλικό ύφασμα που έχει ένα στημόνι και υφάδι. Το στημόνι αναφέρεται σε διαμήκη κορδόνια των οποίων τα χαρακτηριστικά αντοχής και ελαστικότητας καθορίζουν τις ιδιότητες λειτουργίας του ιμάντα. Το υφάδι αντιπροσωπεύει το σύνολο των εγκάρσιων καλωδίων, επιτρέποντας στην ειδική αντίσταση έναντι των κοπών, των δακρύων και των κρουστών και ταυτόχρονα της υψηλής ευλυγισίας. Τα πιο κοινά υλικά σφαγίων είναι χάλυβας, πολυεστέρας, νάιλον, βαμβάκι και αραμίδιο (κατηγορία ανθεκτικών στη θερμότητα και ισχυρών συνθετικών ινών, με το όνομα Twaron ή Kevlar ως εμπορικό σήμα). Τα καλύμματα είναι συνήθως διάφορες ελαστικές ή πλαστικές ενώσεις που προσδιορίζονται με τη χρήση του ιμάντα.

Σήμερα υπάρχουν διαφορετικοί τύποι μεταφορικών ιμάντων που έχουν δημιουργηθεί για τη μεταφορά διαφόρων ειδών υλικού που διατίθενται σε υλικά PVC και καουτσούκ. Το υλικό που ρέει πάνω από τον ιμάντα μπορεί να ζυγιστεί στη διαμετακόμιση χρησιμοποιώντας ένα ζυγό ζώνης. Οι ζώνες με χωριστά διαχωριστικά χωρίσματα, γνωστές ως ζώνες ανύψωσης, χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά χαλαρών υλικών σε απότομες κλίσεις. Οι μεταφορείς ζώνης χρησιμοποιούνται σε φορτία χύδην αυτοεφοδιασμού και σε φορητά με ανυψωτικό υλικό. Η τεχνολογία μεταφορικών ταινιών χρησιμοποιείται επίσης στη μεταφορά των μεταφορικών μέσων, όπως τα κινούμενα πεζοδρόμια ή κυλιόμενες σκάλες, καθώς και σε πολλές γραμμές κατασκευής. Τα καταστήματα συχνά διαθέτουν μεταφορικούς ιμάντες στον μετρητή απογείωσης για την μετακίνηση αντικειμένων ψαρέματος και μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαιρέτες ελέγχου σε αυτές τις διαδικασίες. Οι περιοχές σκι χρησιμοποιούν επίσης μεταφορικούς ιμάντες για τη μεταφορά των σκιέρ στο λόφο. Οι βιομηχανικές και κατασκευαστικές εφαρμογές για μεταφορικούς ιμάντες περιλαμβάνουν το χειρισμό του πακέτου, τους μεταφορείς με ιμάντες, τη διαχείριση των απορριμμάτων, τον χειρισμό της τσάντας, τους μεταφορείς κωδικοποίησης και πολλά άλλα.

POST-GRADUATE**THESIS:****«Belt Conveyor »****STUDENT:****Toptsoglou Vasileios****SUPERVISOR:****Malatestas Pantelis, Professor in the department of Electrical and Electronics Engineering of UNIWA****ACADEMIC YEAR:****2020-21****ABSTRACT**

Conveyors are durable and reliable components used in automated distribution and warehousing, as well as manufacturing and production facilities. In combination with computer-controlled pallet handling equipment this allows for more efficient retail, wholesale, and manufacturing distribution. It is considered a labor saving system that allows large volumes to move rapidly through a process, allowing companies to ship or receive higher volumes with smaller storage space and with less labor expense.

Belt conveyors are the most commonly used powered conveyors because they are the most versatile and the least expensive^[1]. Products are conveyed directly on the belt so both regular and irregular shaped objects, large or small, light and heavy, can be transported successfully. Belt conveyors are also manufactured with curved sections which use tapered rollers and curved belting to convey products around a corner. These conveyor systems are commonly used in postal sorting offices and airport baggage handling systems.

Belt conveyors are generally fairly similar in construction consisting of a metal frame with rollers at either end of a flat metal bed. Rubber conveyor belts are commonly used to convey items with irregular bottom surfaces, small items that would fall in between rollers (e.g. a sushi conveyor bar), or bags of product that would sag between rollers. The belt is looped around each of the rollers and when one of the rollers is powered (by an electrical motor) the belting slides across the solid metal frame bed, moving the product. In heavy use applications the beds which the belting is pulled over are replaced with rollers. The rollers allow weight to be conveyed as they reduce the amount of friction generated from the heavier loading on the belting. The exception to the standard belt conveyor construction is the Sandwich Belt conveyor. The Sandwich Belt conveyor uses two conveyor belts, instead of one. These two conventional conveyor belts are positioned face to face, to firmly contain the items being carried in a "sandwich-like" hold.

Belt conveyors can be used to transport product in a straight line or through changes in elevation or direction. For conveying Bulk Materials like Grains, Ore, Coal, Sand etc., over gentle slopes or gentle curvatures, a troughed belt conveyor is used. The trough of the belt ensures that the flowable material is contained within the edges of the belt. The trough is achieved by keeping the idler rollers in an angle to the horizontal at the sides of the idler frame. A Pipe Conveyor is used for material travel paths that require sharper bends and inclines up to 35 degrees. A pipe conveyor features the edges of the belt being rolled together to form a circular section like a pipe.

Like a Troughed Belt Conveyor, a Pipe Conveyor also uses idler rollers. However, in this case the idler frame completely surrounds the conveyor belt helping it to retain the pipe section, while pushing it forward. In the case of travel paths requiring high angles and snake-like curvatures, a Sandwich Belt is used. The sandwich belt design enables materials carried to travel along a path of high inclines up to 90-degree angles, enabling a vertical path as opposed to a horizontal one. This transport option is also powered by idlers.

Other important components of the Belt Conveying System apart from the Pulleys and Idler rollers include the Drive Arrangement of reducer Gear Boxes, Drive motors and associated couplings.

Scrapers to clean the belt, Chutes for controlling the discharge direction, Skirts for containing the discharge on the receiving belt, Take Up assembly for "tensioning" the belt and Technological Structures like Stringer, Short Post, Drive Frames, Pulley Frames make up the balance items to complete the Belt Conveying system. In certain applications Belt Conveyors can also be used for static accumulation or cartons

SUMMARY

A complete conveyor system is composed of three main components. The parts include the aluminum profile, the driving unit, and the extremity unit. The aluminum profile contains the conveyor belt support. The driving unit is composed of namely the motor bracket, counter-bearings and the electrical drive. The extremity unit is made up of the pulley and clamping straps. The add-on modules are parts that may be optionally included such as the stands and the lateral guides.

Parts and Functions of Conveyor Systems

The conveyor belt support: this is a simplified component that assists the conveyor belt to swiftly draw itself. It also works as a firm support for the belt to ensure that it does not sag when the weight of an item is placed on the belt.

The pulley: The main function of the pulleys in the extremity unit is to control the movement of the belt. As such, the pulleys are strategically positioned to turn the belt around and cause it to return back, the empty belt is turned around ready for loading by the tail pulleys.

The driving unit: These mechanical units assist the conveyor system to run continuously, reverse, and adjust direction repeatedly. The counter bearing helps with efficient rotation between parts of the system. The driving unit is ideal in providing the required motion support for the belt to function effectively.

The belt consists of one or more layers of material. It is common for belts to have three layers: a top cover, a carcass and a bottom cover. The purpose of the carcass is to provide linear strength and shape. The carcass is often a woven or metal fabric having a warp & weft. The warp refers to longitudinal cords whose characteristics of resistance and elasticity define the running properties of the belt. The weft represents the whole set of transversal cables allowing to the belt specific resistance against cuts, tears and impacts and at the same time high flexibility. The most common carcass materials are steel, polyester, nylon, cotton and aramid (class of heat-resistant and strong synthetic fibers, with Twaron or Kevlar as brand names). The covers are usually various rubber or plastic compounds specified by use of the belt.

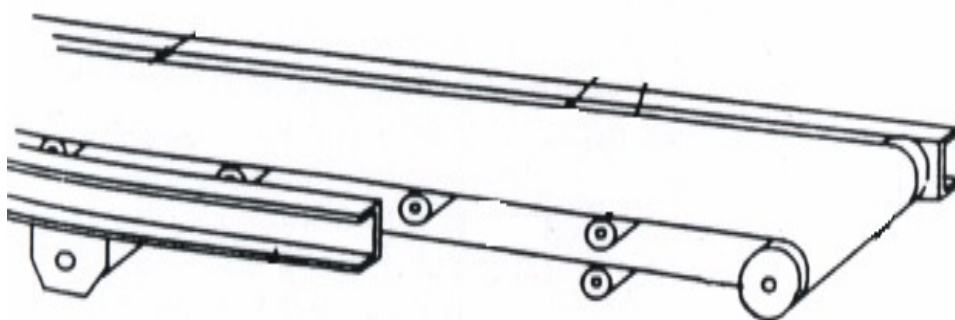
Today there are different types of conveyor belts that have been created for conveying different kinds of material available in PVC and rubber materials. Material flowing over the belt may be weighed in transit using a beltweigher. Belts with regularly spaced partitions, known as *elevator belts*, are used for transporting loose materials up steep inclines. Belt Conveyors are used in self-unloading bulk freighters and in live bottom trucks. Belt conveyor technology is also used in conveyor transport such as moving sidewalks or escalators, as well as on many manufacturing assembly lines. Stores often have conveyor belts at the check-out counter to move shopping items, and may use checkout dividers in this process. Ski areas also use conveyor belts to transport skiers up the hill. Industrial and manufacturing applications for belt conveyors include package handling, trough belt conveyors, trash handling, bag handling, coding conveyors, and more.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΤΑΙΝΙΕΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλέον κοινά χρησιμοποιούμενες μεταφορικές μηχανές είναι οι ταινιόδρομοι. Ο ταινιόδρομος διαθέτει στα δύο άκρα του τύμπανα γύρω από τα οποία τυλίγεται καθώς κινείται ο ιμάντας. Συνήθως το ένα από τα δύο ακραία τύμπανα είναι οδηγό και μεταδίδει (μέσω της αναπτυσσόμενης τριβής) την ελκτική δύναμη στον ιμάντα. Καθ' όλο το μήκος των δύο κλάδων (φορτίου και επιστροφής) υπάρχουν στοιχεία στήριξης (ράουλα) που είναι πιο πυκνά τοποθετημένα στον κλάδο του φορτίου



Εικόνα 1.1 Ταινιόδρομος

Το υλικό φορτώνεται μέσω κατάλληλων τροφοδοτών σε ένα ή περισσότερα σημεία του ίδιου κλάδου με ελεύθερο ή ελεγχόμενο μέσω ειδικών διατάξεων τρόπο. Οι ταινιόδρομοι, χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως είναι τα χυτήρια, τα ηλεκτροπαραγωγά εργοστάσια, η μεταλλουργική βιομηχανία, τα λατομεία και τα αεροδρόμια. Διακρίνονται σε στάσιμους και κινητούς, με την συντριπτική πλειοψηφία να ανήκει στην πρώτη κατηγορία. Οι κινητοί ταινιόδρομοι μπορούν να μεταφέρουν διαφόρων τύπων φορτία, σε διάφορες θέσεις εργασίας και έχουν δυνατότητα μεταβολής της κλίσης τους. Οι μηχανές και τα συστήματα διακίνησης υλικών καταλαμβάνουν σημαντικό μέρος του παραγωγικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην σύγχρονη βιομηχανία. Είναι προϊόντα μια εξελικτικής πορείας που καθορίζεται από την συνολική τεχνολογική ανάπτυξη και όπως συμβαίνει με τα περισσότερα τεχνολογικά συστήματα, παρουσιάζουν ραγδαία ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες τόσο όσον αφορά την ποιότητα της ενσωματωμένης τεχνολογίας όσο και το φάσμα των βιομηχανικών, παραγωγικών και ευρύτερων εφαρμογών τους. Η ανάπτυξη και η εξέλιξη των μηχανών και συστημάτων διακίνησης υλικών είναι συνυφασμένη με την ανθρώπινη παραγωγική δραστηριότητα και κυριώς με την μαζική βιομηχανική παραγωγή.

Οι ταινιόδρομοι είναι συνήθως σταθερά συστήματα μεταφοράς και ανήκουν στην ομάδα συνεχών συστημάτων διακίνησης υλικών. Κύρια εφαρμογή τους είναι η μεταφορά χύδην (σε σωρό) υλικού σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ταινιόδρομοι είναι εξαιρετικά αξιόπιστα, παραγωγικά και ασφαλή συστήματα που καλύπτουν μια σειρά εφαρμογών που καθιστούν αυτές τις μηχανές. Απαραίτητες εδώ και

δεκαετίες και αποτελούν κρίσιμα στοιχεία σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις κάθε είδους. Ειδικά στη μεταλλευτική βιομηχανία, στην υπέργεια και υπόγεια εξόρυξη, οι ταινιόδρομοι χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση μεγάλων όγκων ορυκτών υλικών. Οι ταινιόδρομοι γίνονται όλο και πιο ισχυροί. Ενώ μόλις 20 χρόνια πριν, η ανάπτυξη ενός ταινιοδρόμου μήκους 300 μέτρων μήκους 1000 τόνων ανά ώρα (tph) ήταν μια μεγάλη πρόκληση, τα σημερινά συστήματα είναι ικανά να κινούν 20.000 tph πάνω από 10 χιλιόμετρα ή και περισσότερο. Ειδικά τα συστήματα χειρισμού υλικών με υψηλές χωρητικότητες σε μεγάλες αποστάσεις παρέχουν μερικές μοναδικές προκλήσεις στο σχεδιασμό για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία του ταινιοδρόμου.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Το 1892 ο Thomas Robins παρουσίασε μια σειρά από εφευρέσεις που οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός μάντα μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά άνθρακα, μεταλλευμάτων και άλλων προϊόντων. Στη συνέχεια το 1905 ο μηχανικός Richard Sutcliffe εφηύρε τους πρώτους μάντες μεταφοράς για χρήση σε ανθρακωρυχεία όπου έφερε την επανάσταση στον κλάδο της εξόρυξης, ενώ το 1913 ο Henry Ford εισήγαγε γραμμές συναρμολόγησης ταινιοδρόμων στο εργοστάσιο της Ford Motor Company στο Michigan των ΗΠΑ.

Το 1972 στην Νέα Καληδονία ο μηχανικός Marcel Boccheti σχεδίασε την μεγαλύτερη ευθεία μεταφορική ταινία με μήκος 13,8 χιλιόμετρα. Σήμερα το μακρύτερο μεταφορικό σύστημα στον κόσμο με μάντες είναι στην Δυτική Σαχάρα με μήκος 98 χιλιόμετρα μακριά από το ορυχείο φωσφόρου της Bu Craa στην ακτή Νότια της Ελ-Αγιούν.

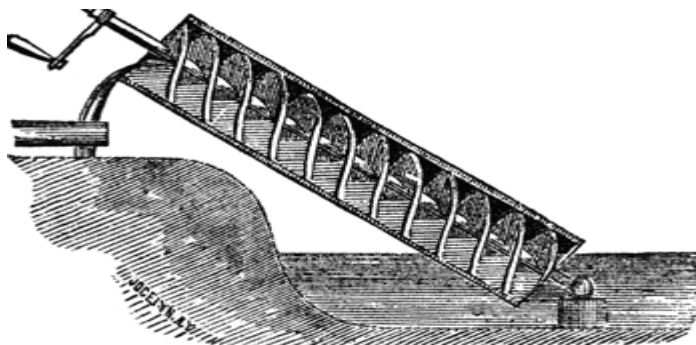
Τέλος, η μεγαλύτερη διεθνής ενιαία μεταφορική ταινία ξεκινάει από ένα λατομείο στην περιοχή Μεγκαλίανα τη Ινδίας και καταλήγει σε ένα εργοστάσιο τσιμέντου στο Μπαγκλαντές με συνολικό μήκος 17 χιλιόμετρα και μεταφέρει ασβεστόλιθο και σχιστόλιθο με παροχή 960 τόνους/ώρα.



Εικόνα 1.2 Ιστορική εξέλιξη

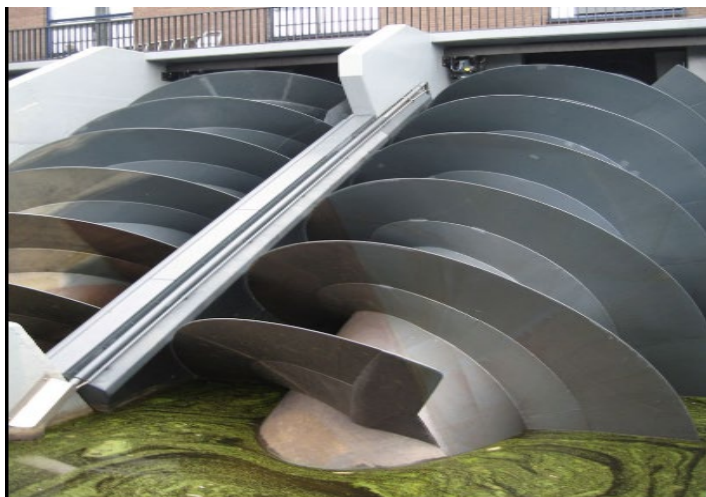
Η εφεύρεση της αντλίας νερού με κοχλία αποδίδεται στον πολυμαθή Αρχιμήδη από τις Συρακούσες τον 3ο αιώνα π.Χ.^[1] Ένα μεγάλο μέρος του έργου του Αρχιμήδη στη μηχανική προέκυψε από την εκπλήρωση των αναγκών της γεννέτειρας πόλης του των Συρακουσών. Ο Έλληνας Αθηναίος συγγραφέας Ναύκρατις περιέγραψε πώς ο βασιλιάς Ιέρων Β' ανέθεσε στον Αρχιμήδη να σχεδιάσει ένα τεράστιο πλοίο, τη Συρακουσία, το οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ταξίδια πολυτελείας, για μεταφορά προμηθειών και ως ναυτικό πολεμικό πλοίο. Σύμφωνα με τον Αθήναιο, ήταν ικανό να μεταφέρει 600 άτομα και περιλάμβανε διακοσμητικούς κήπους, ένα γυμναστήριο και ένα ναό αφιερωμένο στη θεά Αφροδίτη μεταξύ των εγκαταστάσεών του.

Δεδομένου ότι σε ένα πλοίο αυτού του μεγέθους θα διέρρεε ένα σημαντικό ποσό νερού διαμέσου του κύτους, ο κοχλίας του Αρχιμήδη υποτίθεται ότι αναπτύχθηκε με σκοπό την απομάκρυνση του νερού. Η μηχανή του Αρχιμήδη ήταν μια συσκευή με ένα περιστρεφόμενο κοχλία σε σχήμα έλικας μέσα σε έναν κύλινδρο. Γυρνούσε χειροκίνητα και μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά νερού από ένα χαμηλού επίπεδου σώμα του νερού σε κανάλια άρδευσης.



Εικόνα 1.2.1 Κοχλία Αρχιμήδη

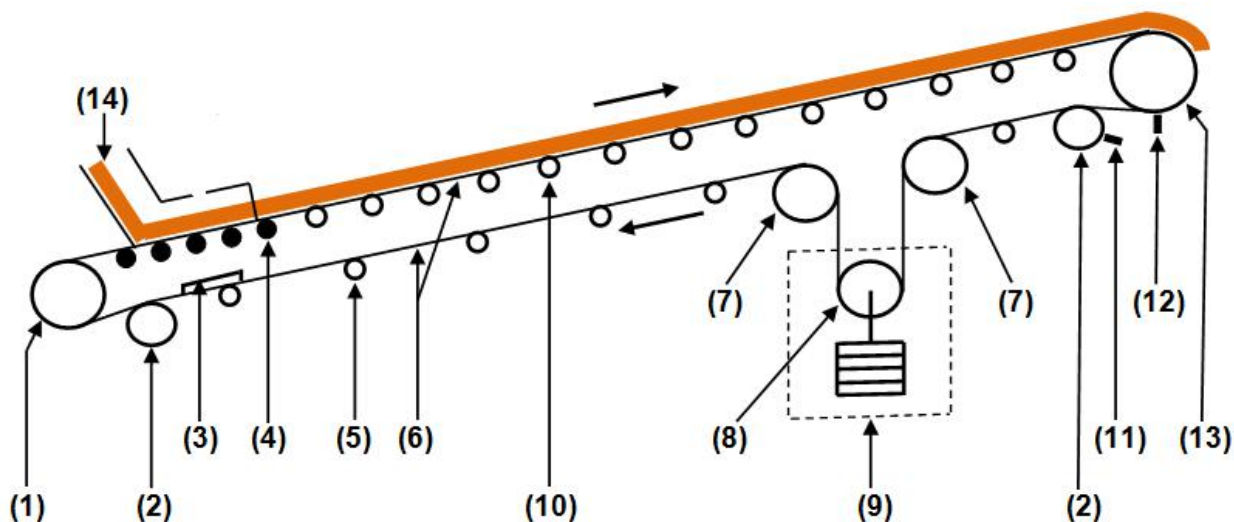
Ο κοχλίας του Αρχιμήδη όπως περιγράφονταν στα ρωμαϊκά χρόνια από τον Βιτρούβιο μπορεί να ήταν μια βελτίωση σε σχέση με μία μπρούντζινη αντλία-κοχλία που είχε χρησιμοποιηθεί για την άρδευση των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας 350 χρόνια πριν.^{[3][4]} Σε αυτό συγκαταλέγεται και η περιγραφή του κλασικού συγγραφέα Στράβωνα ότι οι κρεμαστοί κήποι ποτίζονταν με κοχλίες. Το πρώτο στον κόσμο θαλασσοπόρο ατμόπλοιο με βιδωτή έλικα ήταν το SS Archimedes, το οποία ξεκίνησε να λειτουργεί το 1839 και ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του Αρχιμήδη και του έργου του πάνω στον κοχλία.



Εικόνα 1.2.2 Παράδειγμα εφαρμογής

1.3 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΟΥ

Μία τυπική μορφή ενός ταινιόδρομου είναι η παρακάτω:



Εικόνα 1.3.1 Δομή ταινιόδρομου

- Τροχαλίας ουράς.
- Τροχαλία κάμψης.
- Εσωτερικό σύστημα καθαρισμού ιμάντα.
- Κύλιστρα περιοχής φόρτωσης.
- Κύλιστρα επιστροφής.
- Ιμάντας.
- Τροχαλία ποδός.
- Τροχαλία τάνυσης.
- Διάταξη τάνυσης.
- Κύλιστρα φορτίου.
- Διάταξη καθαρισμού τυμπάνων.
- Εξωτερικό σύστημα καθαρισμού ιμάντα.
- Οδηγό τύμπανο.
- Διάταξη τροφοδοσίας.

Χαρακτηριστικά των υλικών.

Το είδος του χρησιμοποιούμενου φορτίου και οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες αποτελούν τους κύριους παράγοντες που καθορίζουν τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της σχεδίασης μιας μεταφορικής μηχανής και των εξαρτημάτων της. Τα φορτία που χρησιμοποιούνται στις εσωτερικές μηχανές διαιρούνται σε φορτία μονάδος και ογκώδη φορτία.

Τα μεμονωμένα φορτία περιλαμβάνουν προϊόντα που συνήθως χαρακτηρίζονται από το β αριθμό των κομματιών π.χ. μέρη και εξαρτήματα μηχανών, τυποποιημένα κιβώτια κ.λπ. ως επίσης προϊόντα διαφόρων διαστάσεων (κουτιά, ράβδοι, συσκευασμένα είδη, σάκοι, κ.λπ.). Τα μεμονωμένα φορτία χαρακτηρίζονται από όλες τις διαστάσεις τους, το σχήμα, το βάρος και από ειδικά χαρακτηριστικά εάν υπάρχουν. Στα ειδικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται θερμοκρασία, εκρηκτικότητα, αναφλεξιμότητα, ευθραυστότητα.

Τα ογκώδη φορτία περιλαμβάνουν διάφορα συσσωρευμένα φορτία, κοκκώδη και κονιοποιημένα υλικά (μετάλλευμα, άνθρακας, τύρφη, τυπική άμμος τσιμέντο, πριονίδια, κ.λπ.). Τα ογκώδη φορτία χαρακτηρίζονται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες όπως η κατανομή των ξεχωριστών μερών σύμφωνα με τις διαστάσεις, ο όγκος και το ειδικό βάρος, το περιεχόμενο της υγρασίας, η κινητικότητα των μερών του, η γωνία διασποράς, η λειαντικότητα και ειδικές ιδιότητες.

Σωρός και Διαστάσεις. Όταν πρόκειται για κοκκώδη υλικά ή ποσοτική κατανομή των κόκκων του ογκώδους φορτίου σύμφωνα με τις διαστάσεις είναι γνωστή σαν κοκκομετρική σύνθεση ή χώρος-διάστασεις του φορτίου. Οι διαστάσεις των κόκκων καθορίζονται γραμμικά σε χιλιοστά (mm).

Γωνία Διασποράς (σωρού). Όταν ένα υλικό εναποτίθεται σε σωρό μετά την ηρεμία του σχηματίζεται ένας κώνος. Η γωνία του κώνου που σχηματίζεται από την οριζόντιο και την γενέτειρα του κώνου όταν το υλικό πέφτει ελεύθερα ή πέφτει από ένα κοίλο κύλινδρο είναι η γωνία διασποράς (Φ_{st}).

Γωνία Δυναμικής (υπερφορτώσεως) (Φ_{dyn}). Η γωνία αυτή καθορίζεται κατά τον ίδιο τρόπο με την γωνία στατικής διασποράς αλλά μετρείται όταν η μεταφορική ταινία βρίσκεται σε λειτουργία είναι μικρότερη κατά 5 μέχρι 15 της στατικής. Σε μερικά υλικά μπορεί να είναι μικρότερη κατά 20.

1.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Ικανότητα συνεχών μεταφορικών ιμάντων. Η ανυψωτική ικανότητα των συνεχών μεταφορικών μηχανών εξαρτάται από το βάρος του φορτίου ανά τρέχον μέτρο του μήκους W_m (kp/m) του ιμάντα και από την ταχύτητα μεταφοράς v (m/second). Τότε η ικανότητα του ιμάντα είναι $W_m * v$ (kp/second) και η ωριαία απόδοση δίδεται από την σχέση: $Q = 3,6 * W_m * v$ (t/h) Συντελεστής αντίστασης κίνησης. Όταν μια μεταφορική ταινία η ανυψωτική μηχανή είναι ανάγκη να ανεβάσει φορτίο Q (t/h) σε ένα ύψος H (m) τότε είναι η καταναλισκόμενη ισχύς είναι:

$$N_m = \frac{1000 * QH}{3600 * 75} = \frac{Q * H}{270} \text{ (hp)}$$

ή

$$N_{th} = \frac{1000 * QH}{3600 * 102} = \frac{Q * H}{367} \text{ (KW)}$$

Καθώς και για βαθμό απόδοσης h η απαιτούμενη ισχύ είναι:

$$N_r = \frac{N}{h} = \frac{Q \cdot H}{270 \cdot h} \text{ (hp)} = \frac{Q \cdot H}{360 \cdot h} \text{ (KW)}$$

Η σχέση αυτή ισχύει για μεταφορικές μηχανές που προορίζονται να ανεβάσουν φορτίο σε ύψος H . Σε περιπτώσεις οριζόντιας μεταφοράς του φορτίου ($H=0$) δεν ισχύει. Η απαιτούμενη ισχύ για την κίνηση μεταφορικών μηχανών εκφράζεται από την αντίσταση κατά την κίνηση. Αν το βάρος του φορτίου ανά τρέχον μέτρο ιμάντα είναι W_m σε kp/m το μήκος του ιμάντα L σε m και ο συντελεστής τριβής w , τότε η δύναμη που θα απαιτηθεί για να μεταφερθεί το βάρος είναι: $F_f = W_m \cdot L \cdot w$ (kp) και η απαιτούμενη ισχύ για να υπερνικηθεί η τριβή θα είναι:

$$N_f = \frac{F_f \cdot v}{75} = \frac{W_m \cdot L \cdot w}{75} = \frac{Q \cdot L \cdot w}{75 \cdot 3,6} = \frac{Q \cdot L \cdot w}{270} \text{ (hp)}$$

και η συνολική κατανάλωση ισχύος θα είναι:

$$N_f = \frac{F_f \cdot v}{102} = \frac{W_m \cdot L \cdot w}{102} = \frac{Q \cdot L \cdot w}{102 \cdot 3,6} = \frac{Q \cdot L \cdot w}{367} \text{ (KW)}$$

$$N = \frac{Q \cdot H}{270} + \frac{Q \cdot L \cdot w}{270} \text{ (hp)} \quad \text{ή} \quad N = \frac{Q \cdot H}{367} + \frac{Q \cdot L \cdot w}{367} \text{ (KW)}$$

Από τις παραπάνω δύο σχέσεις καθορίζεται η ισχύς την κίνησης του οδηγού της τροχαλίας αν στο συντελεστή τριβής W_o λάβουμε υπόψη μας και τους συντελεστές τριβής που επηρεάζουν την κίνηση του ιμάντα τότε:

$$N_o = \frac{Q \cdot H}{270} + \frac{Q \cdot L \cdot W_o}{270} \text{ (hp)} \quad \text{ή} \quad N_o = N_o = N \cdot h$$

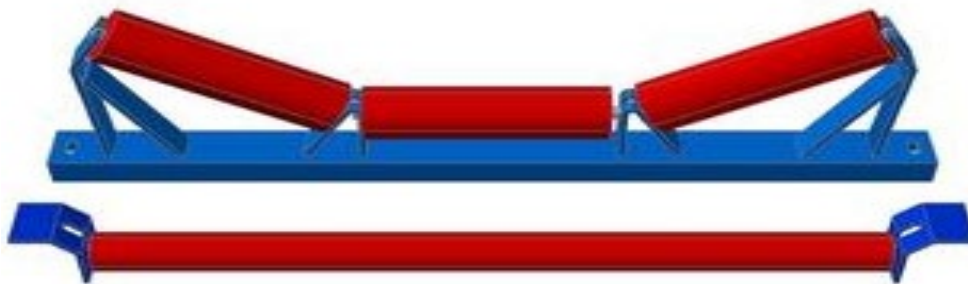
και για βαθμό απόδοσης h θα ισχύει:
$$\frac{Q \cdot H}{367} + \frac{Q \cdot L \cdot W_o}{367} \text{ (KW)}$$

Έστω είναι ο συντελεστής αντιστάσεως για τα ξεχωριστά κομμάτια σε σχέση με το μικτό βάρος του μεταφερόμενου φορτίου π.χ. το βάρος του υλικού και το βάρος των κινουμένων στοιχείων της μηχανής. Έτσι αν W_o είναι το βάρος της μεταφορικής μηχανής που μεταφέρει βάρος W τότε η δύναμη έλξης για την οριζόντια κίνηση είναι: $F = (W + W_o) \cdot w$. Πρακτικά όμως ο συντελεστής αντιστάσεως κυμαίνεται μέσα σε όρια που εξαρτώνται από τον τύπο της μεταφορικής ταινίας.

1.5 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗΣ ΤΑΙΝΙΑΣ

Ο σκελετός

Ο σκελετός αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη ενός ταινιόδρομου, καθώς πάνω σε αυτόν στηρίζεται ο ιμάντας και όλα τα κινούμενα μέρη.



Εικόνα 1.5.1 Σκελετός

Τα τύμπανα

Τύμπανο είναι ένας κύλινδρος με κλειστά άκρα συνήθως, ο οποίος προσδίδει στη μεταφορική ταινία την απαιτούμενη πρόσφυση προκειμένου να την κινήσει (οδηγό τύμπανο) ή περιστρέφεται ελεύθερα προκειμένου η ταινία να περιστραφεί γύρω από αυτόν (τύμπανο επιστροφής). Διακρίνεται επίσης το τύμπανο τάνσης το οποίο χρησιμοποιείται για να διατηρεί σταθερή την τάνση της μεταφορικής ταινίας και το τύμπανο ποδός (ή ανακλαστήρας), το οποίο χρησιμεύει για την αλλαγή της κατεύθυνσης της ταινίας και την αύξηση της γωνίας περιέλιξης αυτής στο τύμπανο κίνησης ή επιστροφής.



Εικόνα 1.5.2 Κυλινδρικό τύμπανο

Προφυλακτήρες και στόμια φόρτωσης

Εάν οι προφυλακτήρες και τα στόμια φόρτωσης δεν σχεδιασθούν και τοποθετηθούν ορθά μπορούν να επιφέρουν ζημιές στην μεταφορική ταινία. Επομένως η σχεδίαση των πρέπει να στηρίζεται σε προσεκτικούς υπολογισμούς. Ο πιο ακριβής υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου ενός στομίου καθορίζεται από την κατασκευή σχεδίου που δείχνει την φόρτωση και εκφόρτωση των υλικών για μια δεδομένη περίοδο που αντιστοιχεί σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας ή σε μια ημέρα ή σε μια εναλλαγή.

Σφικτήρες

Όλες οι καλά μελετημένες ταινίες χρησιμοποιούν συσκευές σφικτήρων για τους παρακάτω λόγους:

1. Να εξασφαλίσουν κατάλληλη δύναμη τάνσης για να αποφεύγεται η ολίσθηση στην οδηγό τροχαλία.
2. Να εξασφαλίσουν κατάλληλη δύναμη τάνσης κατά την φόρτωση και άλλα σημεία κατά το μήκος του μιάντα αυτό είναι αναγκαίο για να αποφεύγονται απώλειες στην περιοχή της σκαφίδωσης μεταξύ των κυλίστρων και για να μη χύνεται το υλικό από τον μιάντα.
3. Να αποφεύγεται το τσαλάκωμα και συρίκνωμα του μιάντα.
4. Να επιτρέπει το τύλιγμα του μιάντα σε περίπτωση ματίσματος. Χωρίς αυτό το τύλιγμα μικρά κομμάτια του καινούργιου μιάντα που χρειάζονται δύο ματίσματα θα έπρεπε να προστεθούν για κάθε επισκευή ματίσματος. Οι σφικτήρες χρησιμοποιούνται ακόμη για περιοδικές ρυθμίσεις, χειροκίνητες αυτόματες, ή με υδραυλικές ή πνευματικές συσκευές. Οι χειροκίνητοι ρυθμιζόμενοι σφικτήρες χρησιμοποιούνται σε μεταφορικές ταινίες με μήκος μικρότερο των 60,0 m.



Εικόνα 1.5.3 Συσκευή σφικτήρα

Ηλεκτρομειωτήρες

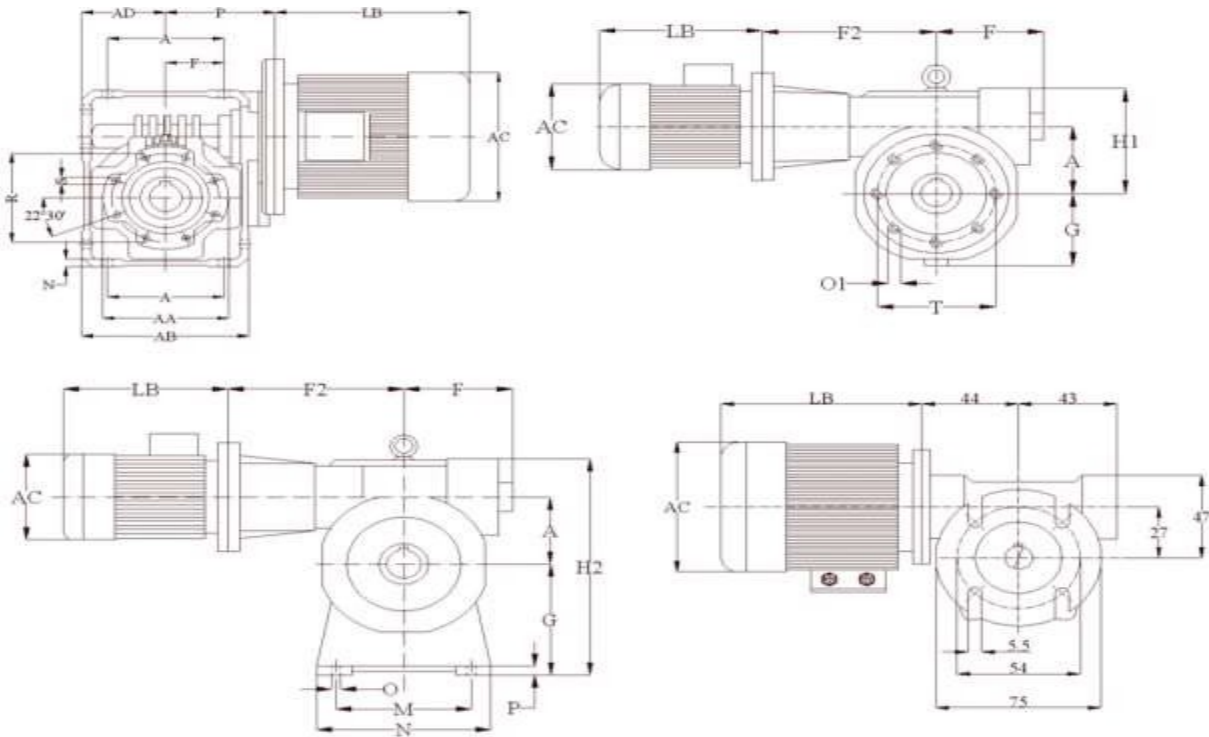
Η μετάδοση κίνησης σε ένα ταινιόδρομο, επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλεκτρομειωτήρων, οι οποίοι μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τροφοδοτούνται σε μηχανική ενέργεια στον άξονά τους, παράγοντας την απαιτούμενη ροπή σε συνδυασμό με τον κατάλληλο αριθμό στροφών προκειμένου να υπερνικήσουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα τύμπανα και τις τριβές στα ράουλα και να κινήσουν τον μιάντα.

Ο ηλεκτρομειωτήρας αποτελείται από τον ηλεκτροκινητήρα και το μειωτήρα στροφών. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι βιομηχανικού τύπου, τριφασικής παροχής ρεύματος, ασύγχρονου βραχυκυκλωμένου δρομέα, προστασίας IP55, κλάσης μόνωσης F, συχνότητας λειτουργίας 50 Hz. Το υλικό κατασκευής του σώματος είναι συνήθως χυτοσίδηρος και η έδρασή τους γίνεται με πέλματα (τύπος B3) ή με φλάντζα (B5).

Συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτροκινητήρες με τέσσερις (4) πόλους, έχοντας έτσι αριθμό στροφών στον άξονα τους 1400 rpm.

Για την επίτευξη ταχυτήτων που να ικανοποιούν τις προδιαγραφές κάθε περίπτωσης ταινιοδρόμου, κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν μειωτήρες στροφών, οι οποίοι μειώνουν τον αριθμό

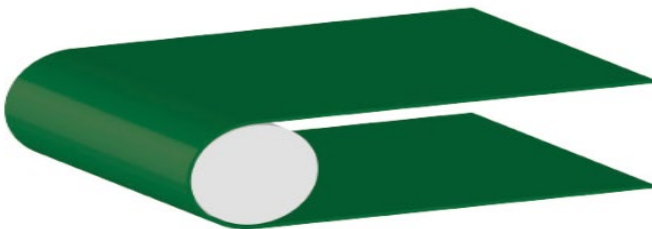
στροφών του ηλεκτροκινητήρα (1400 rpm) που συνδέεται στην είσοδό τους, στον επιθυμητό τελικό αριθμό στροφών εξόδου, ανάλογα της σχέσης μείωσης που θα επιλεγθεί.



Εικόνα 1.5.4 Σκαρίφημα μειωτήρα

Ιμάντας

Το κύριο στοιχείο ενός ταινιόδρομου είναι ο ιμάντας (ταινία) που μεταφέρει το φορτίο και εξασφαλίζει ταυτόχρονα την εφαρμογή της ελκτικής δύναμής για την υπερνίκηση – από την οδηγό διάταξη – των αντιστάσεων κίνησης της μηχανής. Η κύρια διάσταση του ιμάντα είναι το πλάτος του, μέγεθος που είναι αυστηρά τυποποιημένο. Ένας ελαστικός ιμάντας, θα πρέπει να παρουσιάζει υψηλή αντοχή, χαμηλό βάρος και χαμηλή σχετική επιμήκυνση, υψηλή ελαστικότητα (ευκαμψία) τόσο στην διαμήκη όσο και στην εγκάρσια κατεύθυνση και θα πρέπει να αντέχει στις πολλαπλές κάμψεις στις οποίες υπόκειται καθώς περνά από τα τύμπανα και τους ανακλαστήρες. Τα καλύμματά του θα πρέπει να αντέχουν την αποξেসτική δράση του μεταφερόμενου φορτίου και θα πρέπει επίσης να μην επηρεάζονται από την φυσικοχημική δράση του περιβάλλοντος εργασίας.



Εικόνα 1.5.5 Ιμάντας

1.6 ΕΙΔΗ ΙΜΑΝΤΩΝ

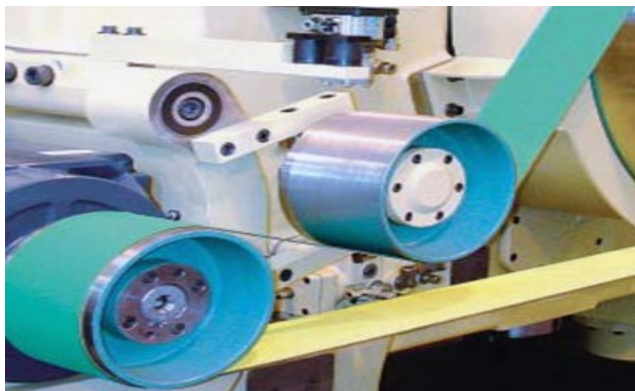
Επίπεδοι ιμάντες

Οι επίπεδοι ιμάντες κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, τα κυριότερα από τα οποία είναι: δέρμα, υφαντά πλέγματα ή μη, συνθετικά και συνδυασμό υλικών.

Δερμάτινοι ιμάντες. Το δέρμα είναι πολύ κατάλληλο υλικό για ιμάντες, διότι έχει μεγάλο συντελεστή τριβής και μικρή επιμήκυνση. Αντοχή και ευκαμψία διαφέρουν στα διάφορα είδη. Μειονεκτήματα είναι ότι για την μεταφορά μεγάλων ισχύων πρέπει να έχουμε ιμάντες με πολλές στρώσεις από δέρμα δηλαδή μεγάλο πάχος ιμάντα.

Υφαντοί ιμάντες. Κατασκευάζονται από οργανικά υλικά (π.χ. βαμβάκι, τρίχες καμήλας ή κατσίκας, φυσικό μετάξι, καννάβι) ή από συνθετικά υλικά (π.χ. νάιλον, περλών, ορλόν, τεχνητό μετάξι).

Έναντι των δερμάτινων ιμάντων έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να κατασκευασθούν ατέρμονες και εμφανίζουν έτσι πιο ήρεμη λειτουργία.



Εικόνα 1.6.1 Επίπεδος ιμάντας

Σύνθετοι ιμάντες

Είναι ένας συνδυασμός συνθετικού υλικού και δέρματος. Αποτελούνται κατά κανόνα από 2 έως 3 στρώσεις και συγκεκριμένα μία στρώση από δέρμα που παρέχει μεγάλο συντελεστή τριβής, μια στρώση από συνθετικό υλικό που παρέχει υψηλή αντοχή σε

εφελκυσμό και μικρή επιμήκυνση. Επιπλέον μπορεί να υπάρχει μια Τρίτη προστατευτική στρώση από δέρμα ή από πλαστικοποιημένο υφαντό για μονόπλευρη καταπόνηση. Οι ιμάντες αυτοί είναι πολύ ελαστικοί και δεν επηρεάζονται από λιπαντικά και καιρικές συνθήκες.

Έχουν καλό βαθμό απόδοσης, μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα μεταφοράς τριπλάσιας ισχύος από τους δερμάτινους και είναι καταλλήλοι για μεγάλες σχέσεις (1:20) μικρές αποστάσεις αξόνων και μεγάλες ταχύτητες.

Τραπεζοειδείς ιμάντες

Οι τραπεζοειδείς ιμάντες έχουν εκτοπίσει σε μεγάλο βαθμό τους κοινούς επίπεδους ιμάντες διότι έχουν τριπλάσια ικανότητα μεταφοράς ισχύος, εργάζονται πιο μαλακά και πρακτικά χωρίς ολίσθηση. Απαιτούν μικρότερη γωνία περιέλιξης, επιτυγχάνοντας έτσι μεγάλες σχέσεις μετάδοσης και μικρότερες αποστάσεις αξόνων. Ο χώρος που καταλαμβάνουν είναι επομένως μικρότερος, όπως και η δυνατότητα εργασίας πολλών ιμάντων τοποθετημένων ο ένας δίπλα στον άλλο. Είναι

κατασκευασμένοι από ελαστικό και έχουν τραπεζοειδή διατομή. Στο άνω μέρος, ενσωματωμένα στο ελαστικό, υπάρχουν ενισχυτικά νήματα για την παραλαβή των εφελκυστικών δυνάμεων.

Όλο το σώμα είναι τυλιγμένο σε ύφασμα και βουλκανιζάρεται μέσα σε φόρμες. Οι κανονικοί τραπεζοειδείς ιμάντες κατασκευάζονται σε τυποποιημένες διαστάσεις με μια γωνία πλευρών $\alpha=32^\circ \dots 38^\circ$ σε 12 μεγέθη κατά DIN2215 και εσωτερικά μήκη από 100 έως 18000 mm.



Εικόνα 1.6.2 Τραπεζοειδής ιμάντας

Οδοντωτοί ιμάντες

Οι οδοντωτοί ιμάντες φέρουν οδόντες στο άνω ή στο άνω και στο κάτω μέρος που συνεργάζονται με οδοντωτές τροχαλίες. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η μεταφορά της δύναμης και της κίνησης με ταχύτητα ιμάντα μέχρι 80 m/sec. Η δύναμη εφελκυσμού παραλαμβάνεται από κλώνους χαλύβδινων συρματιδίων, που είναι ενσωματωμένοι στον, από συνθετικό υλικό κατασκευασμένο, ατέρμονα ιμάντα. Οι χαλύβδινοι αυτοί κλώνοι προσδίνουν στον ιμάντα ασυνήθιστη ευκαμψία και μεγάλη αντίσταση σε επιμηκύνσεις. Το συνθετικό υλικό του ιμάντα διαθέτει μεγάλη αντοχή σε φθορά, σε γήρανση και σε επιδράσεις από λάδι, βενζίνη, οινόπνευμα και ηλιακό φως. Επειδή οι ιμάντες αυτοί απαιτούν μικρή πρόταση, τα φορτία στα έδρανα είναι μικρά. Η θερμοκρασία λειτουργίας επιτρέπεται να φτάσει μέχρι τους 80°C.

Ταινίες φίλτρου

Είναι ορισμένες ταινίες επιτρέπουν στα σωματίδια να διέρχονται και να μη μεταφέρονται κατά μήκος της ταινίας μεταφοράς. Οι βιομηχανίες μπορούν να χρησιμοποιούν ιμάντες φίλτρων για να αποστραγγίσουν την περίσσεια υγρού και να απομακρύνουν τοξίνες.



Εικόνα 1.6.3 Ταινία φίλτρου

Ιμάντες μεταλλικών ινών

Οι υφασμάτινοι ιμάντες διαθέτουν αλυσίδες μεταλλικών συνδέσεων ή συρμάτων που έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν τη ροή του αέρα καθώς ένα αντικείμενο κινείται κατά μήκος.



Εικόνα 1.6.4 Μεταλλικές ίνες

Αρθρωτοί ιμάντες

Οι αρθρωτοί ιμάντες διαθέτουν συχνά μεταλλική κατασκευή. Η ποιότητα της άρθρωσης του ιμάντα του δίνει μια επίπεδη, σταθερή επιφάνεια ικανή να περιστρέφεται γύρω από σύστημα του τυμπάνου μέσω αρθρωτών μεντεσέδων. Οι μεταλλικές αρθρωτές ζώνες είναι ανθεκτικές και μπορούν να αντέξουν σε βαριές χρήσης.

Πλαστικοί ασφαλιστικοί ιμάντες

Οι πλαστικοί ιμάντες παρέχουν στους κατασκευαστές και τους χειριστές μια εναλλακτική λύση στις μεταλλικές και υφασμάτινες ταινίες.

Μεταφορικές ταινίες λείας επιφάνεια

Το υλικό του ιμάντα είναι πλαστικό λείο. Η μεταφορική ταινία δεν μπορεί να πάρει κλίση μεγαλύτερη από 15ο, αλλιώς το προϊόν θα γλιστράει πίσω.



Εικόνα 1.6.5 Λεία επιφάνεια

Μεταφορικές ταινίες με προφίλ / τακούνια

Το υλικό του ιμάντα είναι πλαστικό και έχει τσέπες ή τακούνια κάθε πχ. 500mm, οι οποίες μοιάζουν με κουβαδάκια ή με διαμερίσματα. Επίσης έχει προφίλ και στις δύο πλαϊνές πλευρές κατά μήκος. Η κυλιόμενη ταινία μεταφοράς αυτού του τύπου μπορεί να πάρει κλίση μέχρι 60ο, χωρίς το προϊόν να γλιστράει πίσω.



Εικόνα 1.6.6 Ιμάντας με τακούνι

Μεταφορικές ταινίες αντιολισθητικής επιφάνειας

Το υλικό του ιμάντα είναι πλαστικό αντιολισθητικό «άγριο» με αυλακώσεις, που επιτρέπουν στη μεταφορική ταινία να πάρει κλίση μέχρι 30ο, αλλιώς το προϊόν θα γλιστράει πίσω.

Επίπεδες μεταφορικές ταινίες

Οι επίπεδες ταινίες μεταφοράς εδράζονται συνήθως σε επίπεδη λαμαρίνα είτε είναι οριζόντιες είτε είναι υπό κλίση. Ράουλα υπάρχουν μόνο κάτω από την ταινία κατά την διαδρομή επιστροφής. Οι επίπεδες ταινίες μεταφοράς μπορούν να μεταφέρουν όλα τα χοντρόκοκκα χύδην προϊόντα όπως pellets ζωοτροφών, κροκέτες, κλπ. τα οποία είναι εύθραυστα. Επίσης εφαρμόζονται και στον τομέα της συσκευασίας για μεταφορά συσκευασμένου προϊόντος, όπως 25-kg σακί.



Εικόνα 1.6.7 Επίπεδη μεταφορική ταινία

Κοίλες μεταφορικές ταινίες (τύπου v)

Οι κοίλες μεταφορές ταινίες έχουν σχήμα v και φροντίζουν το χύδην προϊόν να μένει στην μέση και να μην χύνεται δεξιά και αριστερά. Αυτό επιτυγχάνεται επειδή (σε μία εγκάρσια τομή) έχουν τρία ράουλα. Στο αριστερό έχει κλίση -45° , το μεσαίο είναι οριζόντιο και το δεξί ράουλο έχει κλίση $+45^\circ$. Οι κοίλες μεταφορικές ταινίες χρησιμοποιούνται για μεταφορά χύδην υλικών όπως τσιμέντο, άμμος, αλάτι, λιπάσματα, ορυκτά μεταλλεύματα και γενικά προϊόντα σε σκόνες.



Εικόνα 1.6.8 Χύδην υλικά

1.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΙΜΑΝΤΑ

Πλάτος ιμάντα

Το ελάχιστο πλάτος του ιμάντα μπορεί να επηρεαστεί από τις απαιτήσεις του σημείου φόρτωσης ή μεταφοράς ή από το μέγεθος του υλικού και την πρόσμιξη των λεπτών σωματιδίων

Ταχύτητα ιμάντα

Η πιθανή ταχύτητα του ιμάντα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από τις παραμέτρους φόρτωσης, εκφόρτωσης και μεταφοράς, τα πρότυπα συντήρησης, το μέγεθος των κόκκων των υλικών κλπ.

Πυκνότητα υλικών και γωνία στατικής απόθεσης

Λόγω των ελαστικών παραμορφώσεων του ιμάντα καθώς αυτός διέρχεται από τα ράουλα, μειώνεται η φυσική γωνία απόθεσης του υλικού. Αυτή η μειωμένη γωνία είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας καθώς ρυθμίζει άμεσα την επιφάνεια εγκάρσιας τομής του υλικού επί του ιμάντα και συνεπώς και τον «όγκο» που μεταφέρεται.

Η γωνία στατικής απόθεσης $\varphi(^{\circ})$ είναι η γωνία κλίσης ενός σωρού υλικού που σχηματίζεται όταν αυτό εναποτεθεί πάνω σε μια σταθερή οριζόντια βάση. Η γωνία αυτή εξαρτάται από την ρευστότητα των κόκκων του υλικού και είναι αντιστρόφως ανάλογη μ' αυτήν.

Γωνία κλίσης ταινιοδρόμου

Η γωνία κλίσης ενός ταινιοδρόμου μεταβάλλει τη φέρουσα ικανότητα. Η περιοχή διατομής φορτίου ενός κεκλιμένου φορτίου μειώνεται όταν παρατηρείται σε ένα κατακόρυφο επίπεδο η γωνία στατικής απόθεσης να μειώνεται κάθετα στον ιμάντα. Μια προσέγγιση της μειωμένης χωρητικότητας μπορεί να προσδιοριστεί πολλαπλασιάζοντας την οριζόντια χωρητικότητα από το συνημίτονο της γωνίας κλίσης.

Γωνία σκαφίδωσης

Για τα συνήθη τρία περιστρεφόμενα ράουλα, η πιο κοινή γωνία σκαφίδωσης είναι 35° αν και οι γωνίες μεταξύ των καμπυλών από 20° έως 45° δεν είναι ασυνήθιστες. Οι υψηλές τιμές γωνιών σκαφίδωσης παρέχουν αυξημένη χωρητικότητα, αλλά μπορούν να έχουν συνέπειες για κυρτές και κοίλες καμπύλες καθώς και στις ζώνες μετάβασης.

Ράουλα διαμόρφωσης

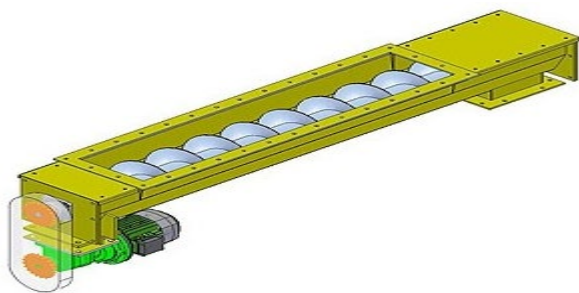
Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση για τα ράουλα που δημιουργούν την σκαφίδωση είναι τα 3 ράουλα ίσου μήκους. Αυτή η διαμόρφωση και τα κανονικά ανοίγματα φαίνονται στο Σχήμα 10 παρακάτω. Άλλες διαμορφώσεις όπου ο σχηματισμός της σκαφίδωσης γίνεται με 5 ράουλα ίσου μήκους ή και άνισα είναι περιπτώσεις που δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά. Για τους μεγάλους ιμάντες, δεν είναι ασυνήθιστη η διάταξη σκαφίδωσης με 5 ράουλα.

Γωνία δυναμικής απόθεσης / υπερφόρτωσης

Η γωνία δυναμικής απόθεσης υλικού, είναι η γωνία που αυτό σχηματίζει ως προς το οριζόντιο επίπεδο πάνω στη μεταφορική ταινία κατά τη μεταφορά του, όπως φαίνεται. Η γωνία αυτή, συνήθως κυμαίνεται από 5° έως 5° (για κάποια υλικά μπορεί να είναι και άνω των 20°) και είναι πάντα μικρότερη της γωνίας στατικής απόθεσης του υλικού.

Μεταφορά φορτιού με κοχλίες

Οι σωληνοειδείς κοχλίες είναι ένα ελικοειδές σπείρωμα μέσα σε ένα σωλήνα για μετακίνηση υγρών ή χύδην υλικών. Οι σωληνοειδείς κοχλίες σε πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά χύμα υλικού. Οι κοχλίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε οριζόντια ή σε μικρή κλίση για τη μεταφορά του υλικού. Ο πρώτος κοχλίας φτιάχτηκε από τον Αρχιμήδη για την άντληση νερού.



Εικόνα 1.7.1 Σωληνοειδής κοχλίας

1.8 ΔΟΜΗ ΜΕΤΦΟΡΙΚΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ

Οι κοχλίες αποτελούνται συνήθως από μια σκάφη ή σωλήνα, ο οποίος περιέχει σπειροειδή σπειρώματα ή ένα συνεχές σπείρωμα κατά μήκος του σωλήνα. Ο ρυθμός μεταφοράς του όγκου του υλικού είναι ανάλογος με τη ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κοχλία. τις βιομηχανικές εφαρμογές ο κοχλίας χρησιμοποιείται ως ένας τροφοδότης μεταβλητής ταχύτητας, μεταβάλλοντας την ταχύτητα μεταφοράς του υλικού μέσω της μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του άξονα, στο ρυθμό που έχει οριστεί από την παραγωγική διαδικασία.

Οι μεταφορικοί κοχλίες μπορούν να λειτουργήσουν και με ροή κεκλιμένη προς τα πάνω όταν το επιτρέπει ο χώρος, καθώς είναι μια οικονομική μέθοδος ανύψωσης. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σε διαθέσιμους κοχλίες διαφορετικών μεγεθών και ικανότητας μεταφοράς. Είναι σχεδιασμένοι για τσιμέντο αλλά και για άλλα χύδην υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία δομικών υλικών όπως άμμος, ασβεστόλιθος, ιπτάμενη τέφρα, γύψος, φίλλερ κ.α. τους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τυποποιημένες διαστάσεις κοχλιών με την προτεινόμενη ισχύ του ηλεκτρομειωτήρα καθώς και η επιρροή της γωνίας λειτουργίας τους.

1.9 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Οι κοχλίες τύπου "U" ή αλλιώς ανοιχτού τύπου κοχλίες

Διατίθενται σε τυποποιημένα μεγέθη $\varnothing 150$ μέχρι $\varnothing 350$ mm με ηλεκτρομειωτήρες προσαρμοσμένους απευθείας στον άξονα και καλύμματα στεγανοποίησης. Προορίζονται για χρήση σε διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες ενώ στη βιομηχανία δομικών υλικών χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις με σακόφιλτρα (συλλέγουν το φίλλερ στο κάτω μέρος του φίλτρου και το μεταφέρουν σε σιλό), για μεταφορά άμμου και άλλων χύδην υλικών. Κοχλίες τύπου "U" ειδικών προδιαγραφών χρησιμοποιούνται και στη βιομηχανία σκυροδέματος για μεταφορά του νωπού σκυροδέματος από ένα σημείο σε ένα άλλο εντός του εργοστασίου. Για τέτοιες εφαρμογές οι κοχλίες κατασκευάζονται με χρήση αντιδιαβρωτικών υλικών, χωρίς ενδιάμεσα ρουλεμάν και με καλύτερης ποιότητας στεγανά.



Εικόνα 1.9.1 Τύπου U

Οι κατακόρυφοι κοχλίες

Οι κατακόρυφοι κοχλίες διατίθενται σε διαμέτρους από $\varnothing 193$ μέχρι $\varnothing 458$ mm με απευθείας κίνηση ή μέσω τροχαλιών. Το ύψος μεταφοράς του υλικού που εξαρτάται από τις ανάγκες της εφαρμογής καθορίζει τις υπόλοιπες διαστάσεις. Σκοπός αυτών των κοχλιών είναι η κατακόρυφη μεταφορά (ανύψωση) μεγάλων ποσοτήτων χύδην υλικού, με απαίτηση για πολύ μικρό χώρο εγκατάστασης, εύκολη συντήρηση και μηδενική ρύπανση του περιβάλλοντος. Αυτοί οι ειδικοί κοχλίες κατασκευάζονται με χυτοσιδηρά ενδιάμεσα ρουλεμάν και χωρίς ακριανό ρουλεμάν στην κάτω πλευρά, με υψηλής ποιότητας εξαρτήματα και με ειδική τεχνογνωσία που μπορεί και εγγυάται υψηλές αποδόσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 1.9.2 Κατακόρυφοι κοχλίες

Κοχλίες τροφοδοσίας

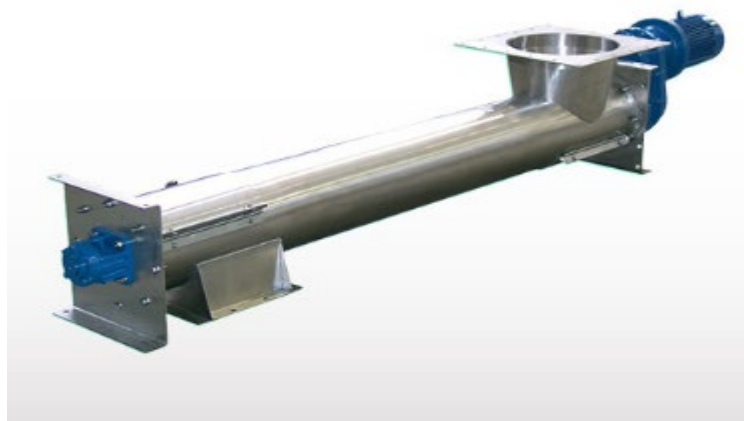
Οι κοχλίες τροφοδοσίας αποτελούνται από ένα ειδικό σύστημα κοχλία μεταφοράς, που περικλείεται εντός σωληνοειδούς καλύμματος. Αυτοί χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση του υλικού με προκαθορισμένο ρυθμό από το χώρο αποθήκευσης στην είσοδο του κοχλία.



Εικόνα 1.9.3 Κοχλίας τροφοδοσίας

Περιστροφικοί τροφοδότες

Οι περιστροφικοί τροφοδότες χρησιμοποιούν έναν κυλινδρικό ρότορα με θύλακες συγκεκριμένου όγκου που παρέχει μια σταθερή ροή του υλικού. Η ταχύτητά μεταφοράς του υλικού εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Αυτές οι μονάδες συχνά τροφοδοτούνται από το σύστημα οδήγησης του μεταφορικού κοχλίας χωρίς την ανάγκη για πρόσθετο σύστημα για την κίνηση του.



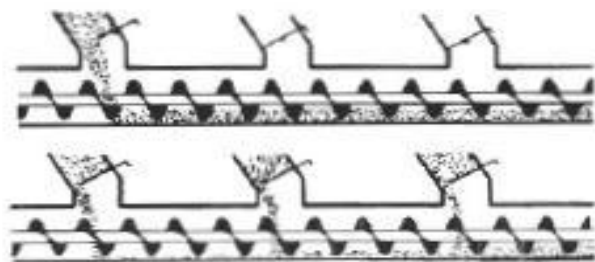
Εικόνα 1.9.4 Περιστροφικός κοχλίας

Σύστημα πολλαπλών εισόδων

Οι εγκαταστάσεις συχνά απαιτούν την χρήση μεταφορέων με πολλαπλές εισόδους τροφοδοσίας από διαφορετικές πηγές είτε μεμονωμένα είτε ταυτόχρονα. Όταν μια είσοδος θα είναι ανοικτή ανά πάσα στιγμή, μια άλλη πύλη ή θα είναι κλειστή ή θα έχει περιορισμό στο στόμιο της και δε θα επιτρέπει την υπερφόρτωση του μεταφορέα. Όταν υπάρχουν περισσότερες από μία πύλες ανοικτές, πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να περιοριστεί η ροή από το καθένα έτσι ώστε το συνολικό ποσοστό δε θα υπερβαίνει τα όρια του μεταφορικού κοχλίας.

Πλευρική φόρτωση

Στα συστήματα με πλευρικές εισόδους είναι εξοπλισμένα με μια πύλη για την παροχή ενός μέσου ρύθμισης ή τερματισμού της ροής εισόδου για να «αποφορτιστεί» ο μεταφορικός κοχλίας από την υπερβολική πίεση του μεταφερόμενου υλικού. Όταν χρησιμοποιείται πλευρική είσοδος, ο κοχλίας θα πρέπει να περιστρέφεται προς την είσοδο ώστε να εξασφαλίζει σταθερή ροή.



Εικόνα 1.9.5 Πλευρική φόρτιση

Εκτροπή στην είσοδο

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου απαιτείται κατακόρυφη είσοδος του υλικού, υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης βλάβης λόγω της αδράνειας του υλικού ή από τα εξογκώματα του. Στο πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την χρήση πλακών για την εκτροπή του υλικού, ή ενός θαλάμου για συσσώρευση του υλικού στην είσοδο του στομίου.



Εικόνα 1.9.6 Εκτροπή στην είσοδο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΙΩΤΗΡΕΣ

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε ένας μονοβάθμιος μειωτήρας τύπου ατέρμονα - κορώνας. Η σχεδίαση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαστάσεις με τη βοήθεια του λογισμικού Inventor® της AutoDesk®. Αποτελέσματα της εργασίας είναι η τρισδιάστατη σχεδίαση του μειωτήρα και των επιμέρους εξαρτημάτων του, τα σχέδια συναρμολόγησης και τα κατασκευαστικά σχέδια.

Σκοπός της εργασίας είναι η παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού σχετικά με τις οδοντώσεις και τη βασική τους εφαρμογή που είναι οι μειωτήρες. Ειδικότερα το εκπαιδευτικό υλικό αφορά τον τρόπο λειτουργίας των μειωτήρων, τη συναρμολόγηση - αποσυναρμολόγησή τους και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μελών τους. Το εκπαιδευτικό αυτό υλικό, που αναπτύχθηκε με σύγχρονες τεχνικές τρισδιάστατης μοντελοποίησης, περιλαμβάνει τρισδιάστατα σχέδια, ρεαλιστικές απεικονίσεις, animations καθώς και τα μηχανολογικά σχέδια του συνόλου των εξαρτημάτων του συγκεκριμένου μοντέλου μειωτήρα που σχεδιάστηκε, με στόχο να βοηθήσει κατά την εκπαιδευτική διαδικασία στο μάθημα των Στοιχείων Μηχανών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικόνα 2 Παράδειγμα μειωτήρα

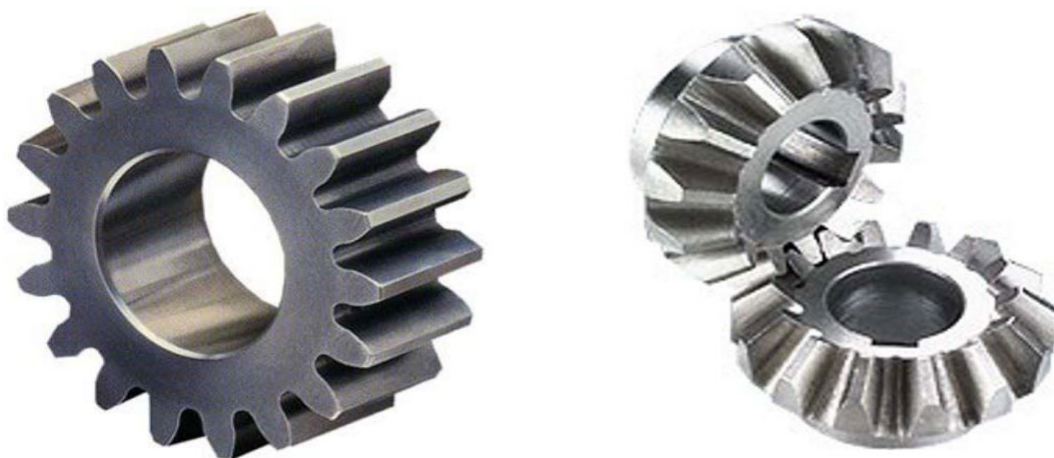
2.1 ΜΕΙΩΤΗΡΕΣ

Η μετάδοση ισχύος σε μια βιομηχανική εγκατάσταση συνιστά μια διαδικασία πολλών σταδίων αλλά και πολλαπλών μετατροπών. Για παράδειγμα η ευθύγραμμη κίνηση ενός ιμάντα προκύπτει από τη μετατροπή τις περιστροφικής κίνησης του κινητήριου μοτέρ σε ευθύγραμμη κίνηση, ωστόσο η μετατροπή αυτή γίνεται σε περισσότερα από ένα στάδια.

Οι πολλαπλές αυτές μετατροπές αφορούν διάφορες παραμέτρους της κίνησης και διαμορφώνουν έναν τελικό συντελεστή ισχύος του εκάστοτε μηχανισμού μετάδοσης κίνησης. Το πρώτο στάδιο μιας τυπικής διαδικασίας μετάδοσης ισχύος είναι η μείωση των στροφών του κινητήριου μοτέρ που συνδυάζεται συχνά με την αλλαγή του άξονα περιστροφής τις μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η πρώτη μετατροπή της κίνησης που παράγεται από την ενέργεια που μεταδίδει ο κινητήρας στον άξονά του, γίνεται από τους μειωτήρες στροφών.

Ο άξονας περιστροφής της κίνησης που μεταδίδει ο μειωτήρας μπορεί να είναι παράλληλος, τεμνόμενος ή ασύμβατος με τον άξονα του κινητήρα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με γρανάζια. Τα γρανάζια, σαν μηχανισμός αλλαγής των στροφών, εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Μέσα στο κέλυφος του μειωτήρα μπορούν να είναι προσαρμοσμένοι πολλοί οδοντωτοί τροχοί διαφόρων τύπων. Οι συνήθεις τύποι γραναζιών που αξιοποιούνται στην κατασκευή των μειωτήρων φαίνονται και είναι:

- οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί
- οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί
- οι ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί και
- το σύστημα ατέρμονα κοχλία – κορώνας



Εικόνα 2.1.1 Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί



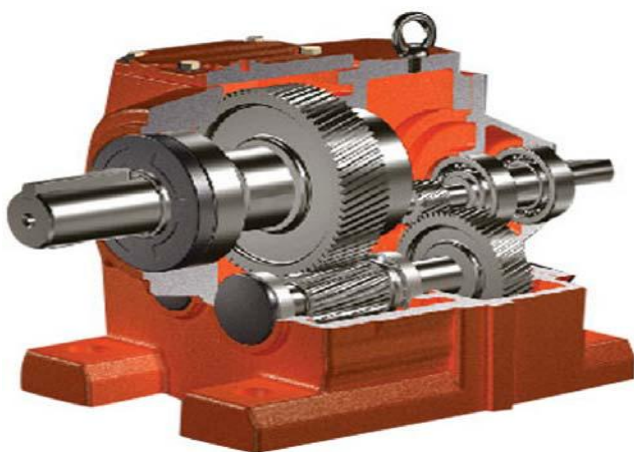
Εικόνα 2.1.2 Ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί

Τύποι και Δομή Μειωτήρων

Οι διάφοροι τύποι μειωτήρων καθορίζονται από τη μετατροπή της κίνησης που είναι επιθυμητή και αξιοποιούν διάφορους τύπους γραναζιών από αυτούς που προαναφέρθηκαν, προκειμένου να επιτύχουν τη ζητούμενη σχέση μετάδοσης. Στους διάφορους τύπους των μειωτήρων χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχοι τύποι γραναζιών. Για παράδειγμα, σε ένα ευθύγραμμο μειωτήρα που είναι μειωτήρας παράλληλων αξόνων, χρησιμοποιούνται μετωπικά γρανάζια, ενώ στους γωνιακούς μειωτήρες χρησιμοποιούνται κωνικά γρανάζια ή γρανάζια ατέρμονα κοχλία – κορώνας.

Μειωτήρας Παράλληλων Αξόνων

Στο είδος αυτό του μειωτήρα, όπως φαίνεται στο κέλυφος του μειωτήρα μπορεί να έχει τρεις οπές που να διαμορφώνουν σχήμα ισοσκελούς τριγώνου για να τοποθετηθούν μέσα σ' αυτές τρεις διατάξεις γραναζιών. Αυτό σημαίνει ότι η μείωση των στροφών θα γίνει σε δύο στάδια.



Εικόνα 2.1.3 Μειωτήρας Στροφών παράλληλων Αξόνων

Σε μια τέτοια διάταξη, όπως φαίνεται, τα δύο μικρότερα γρανάζια συνήθως μπαίνουν στις δύο τρύπες που συνιστούν τη βάση του τριγώνου, ενώ το μεγάλο γρανάζι συνήθως μπαίνει στην κορυφή του ισοσκελούς τριγώνου. Τα γρανάζια μπορούν να έχουν ευθεία δόντια, αλλά κατά προτίμηση έχουν δόντια με κλίση. Η διάταξη του μεγάλου γραναζιού περιλαμβάνει και τον άξονα εξόδου με τις μειωμένες στροφές. Αυτός με τη σειρά του μπορεί να συνδέεται με το μηχανισμό στον οποίο επιθυμείται να μεταδοθεί η κίνηση μέσω φλάντζας.

Ο άξονας εξόδου μπορεί να είναι κοίλος και να προσαρμόζεται στο μεγάλο γρανάζι μέσω σφήνας. Στη διάταξη του γραναζιού εξόδου από το γρανάζι και προς την πλευρά του μειωτήρα μπορούν να παρεμβάλλονται κατά σειρά, ανάμεσα σε δύο δακτυλίους ασφάλισης, κοχλίας εξαγωγικός με ροδέλα ασφαλείας, ρουλμάν και παρεμβύσματα. Μετά το δεύτερο δακτύλιο ασφάλισης που βρίσκεται προς την πλευρά του μειωτήρα, συνήθως τοποθετείται τσιμούχα λαδιού. Οι δύο άλλες διατάξεις γραναζιών μπορούν να έχουν άξονες πινιόν, προσαρμοσμένους επίσης με σφήνες πάνω στα γρανάζια, να έχουν ρουλμάν μπρος και πίσω από το κάθε γρανάζι και να έχουν από την πλευρά της σύνδεσης με τον εξωτερικό μηχανισμό, παρεμβύσματα και δακτυλίους ασφάλισης.

Το κέλυφος του μειωτήρα στην πάνω πλευρά του φέρει βαλβίδα εξαερισμού και από την κάτω πλευρά συνήθως το καπάκι κλεισίματος του και τη φλάντζα συναρμογής. Στην κάθετη πλευρά απέναντι από τις τρύπες φέρει πινιόν, βιδωτές τάπες, τάπες κλεισίματος και ασφαλιστική τάπα.

Γωνιακός Μειωτήρας

Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται υπάρχουν δύο τρύπες από τη διαμήκη πλευρά του κελύφους και μια τρύπα από την μικρή πλευρά του κελύφους. Από την τρύπα αυτή εισέρχεται η διάταξη γραναζιού που συνδέεται με τον άξονα του κινητήριου μοτέρ. Ο άξονας πινιόν συνδέεται με σφήνα με μετωπικό γρανάζι με κεκλιμένα δόντια. Ο άξονας εισόδου φέρει στην άκρη του, από την πλευρά του κινητήριου μοτέρ, κωνική οδόντωση και μέσω αυτής συνδέεται με το μηχανισμό εισόδου. Μεταξύ γραναζιού και μηχανισμού εισόδου μπορούν να τοποθετηθούν δύο ρουλμάν και ανάμεσά τους παρεμβύσματα.



Εικόνα 2.1.4 Γωνιακός μειωτήρας στροφών

Στη διαμήκη πλευρά του κελύφους προσαρμόζονται δύο διατάξεις γραναζιών. Η μία συνιστά τη διάταξη εξόδου που μπορεί να έχει και το μεγάλο μετωπικό γρανάζι με κεκλιμένα δόντια. Ο άξονας εξόδου συνδέεται με το γρανάζι με δύο σφήνες. Από τη μια πλευρά του γραναζιού είναι τοποθετημένα κατά σειρά: ρουλμάν, παρεμβύσματα, δακτύλιος ασφάλισης και τάπα κλεισίματος. Από την άλλη πλευρά της διάταξης του γραναζιού εξόδου είναι τοποθετημένα κατά σειρά: αποστακτικός δακτύλιος, ρουλμάν, δακτύλιος ασφάλισης και τσιμούχα λαδιού. Η δεύτερη διάταξη που προσαρμόζεται στη διαμήκη πλευρά του κελύφους είναι αυτή του κωνικού γραναζιού που αποτελεί και το κλειδί της μετατροπής της κίνησης. Αυτή μπορεί να διαθέτει κωνικό γρανάζι συνδεδεμένο με μια σφήνα με άξονα πινιόν. Η διάταξη αυτή μετατροπής της διεύθυνσης της κίνησης, (η οποία παράλληλα συνιστά και ένα στάδιο μείωσης των στροφών), φέρει και από τις δύο πλευρές του κωνικού γραναζιού από ένα ρουλμάν, δακτυλίους ασφάλισης παρεμβύσματα και τάπες κλεισίματος.

Το κέλυφος από την πλευρά του μηχανισμού εισόδου φέρει το καπάκι του μειωτήρα, ενώ από την απέναντι πλευρά μπορεί να φέρει πινιόν. Στην πάνω πλευρά του κελύφους μπορεί να τοποθετηθεί η βαλβίδα εξαερισμού.

Πλανητικοί Μειωτήρες

Οι πλανητικοί μειωτήρες παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους διακρίνουν από τους συνήθεις μειωτήρες. Το βασικότερο είναι η χαμηλή (κατά κανόνα αλλά όχι πάντα) ισχύς λειτουργίας τους, αλλά και η μεγάλη ακρίβεια ρύθμισης που επιτυγχάνουν. Χαρακτηρίζονται επίσης από το ότι μολονότι επιτυγχάνουν σημαντικές σχέσεις μείωσης και αρκετά μεγάλες ροπές εξόδου κατασκευάζονται σε μικρά σχετικά μεγέθη.



Εικόνα 2.1.5 Πλανητοκός μειωτήρας

Σημειώνεται πως σε ορισμένες εφαρμογές, όπως σε αυτοκινούμενες υπερκατασκευές, χρειάζεται να διαχειριστούν πολύ μεγάλα φορτία. Κάποια άλλα χαρακτηριστικά των πλανητικών μειωτήρων στροφών είναι η αυξημένη μηχανική απόδοση τους και η ιδιαίτερα αθόρυβη λειτουργία τους.

Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων και εν γένει έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και προσφέρουν μεγάλη αξιοπιστία.

Στους πλανητικούς μειωτήρες συνηθέστατα ο άξονας εξόδου είναι φλαντζωτός. Αυτό προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα όπως τη δυνατότητα διαχείρισης υψηλών ακτινικών φορτίων, αλλά και την οικονομία που επιτυγχάνεται στην κατανάλωση ισχύος διότι το οδηγούμενο φορτίο συνδέεται απευθείας με το κινητήριο σύστημα, χωρίς τα συνήθη στοιχεία σύνδεσης (π.χ. κόμπλερ, adaptors, κ.λπ.). Πρέπει να σημειωθεί ακόμα πως στους περισσότερους πλανητικούς μειωτήρες η λίπανση γίνεται με συνθετικό λάδι, το οποίο διαρκεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μειωτήρα.

Οι πλανητικοί μειωτήρες χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα ελέγχου κίνησης (motion control systems). Βρίσκουν ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα πιο εξελιγμένα από αυτά τα συστήματα όπως στα συστήματα ρομποτικής και αυτό γιατί προσφέρουν υψηλή ακρίβεια θέσης, συνδεδεμένοι με ειδικές διατάξεις με τους σερβοκινητήρες και τους βηματικούς κινητήρες οι οποίοι ενεργοποιούν τους μηχανισμούς κίνησης στα συστήματα αυτά. Πρέπει να τονισθεί πως, καθώς εξελίχθηκε η τεχνολογία των πλανητικών μειωτήρων, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σε διάφορα μοντέλα μειωτήρων πολλαπλές δυνατότητες οδήγησης. Έτσι, υπάρχουν πλανητικοί μειωτήρες που οδηγούνται από ηλεκτροκινητήρα, αλλά κι άλλοι που οδηγούνται από υδραυλικό κινητήρα ή από ελεύθερο άξονα. Αντίστοιχες δυνατότητες έχουν αναπτυχθεί και στις εξόδους των διαφόρων τύπων πλανητικών μειωτήρων, καθώς μια σειρά από διαφορετικούς σχεδιασμούς καλύπτει πολλαπλές απαιτήσεις.

2.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μειωτήρων Στροφών

Βασικά χαρακτηριστικά των μειωτήρων στροφών είναι:

- Οι αποκτούμενες στροφές εισόδου και εξόδου
- Η Ισχύς που απορροφάται από την κινούμενη μηχανή (KW)
- Απορροφούμενη Ροπή Nm x Ταχύτητα Μηχ. rpm/9550.
- Τα χαρακτηριστικά της κίνησης όπως το είδος του κινητήριου και κινούμενου μηχανήματος (ηλεκτροκινητήρας κ.λπ.)
- Η διάρκεια λειτουργίας του μειωτήρα
- Τα επιβαλλόμενα φορτία στους άξονες εισόδου – εξόδου του μειωτήρα, κρουστικά, καμπτικά κ.λπ. (Thrust – Overhung Loads).
- Το περιβάλλον και οι υπάρχουσες εν γένει συνθήκες λειτουργίας, όπως θερμοκρασία, υγρασία, ακάθαρτο περιβάλλον κ.λπ..

Αφού συγκεντρωθούν όλα τα παραπάνω στοιχεία, μπορεί να γίνει η τελική επιλογή και αξιολόγηση του κατάλληλου μειωτήρα από τους καταλόγους των διαφόρων κατασκευαστών.

2.4 Εγκατάσταση και Συντήρηση Μειωτήρων

Το βασικότερο στοιχείο για τη σωστή λειτουργία χωρίς θόρυβο, κραδασμούς και ζημιές ενός μειωτήρα είναι η σωστή έδρασή του και η τέλεια, κατά το δυνατόν, ευθυγράμμιση και σύνδεση των αξόνων του. Στη συνέχεια προστίθεται το απαιτούμενο λιπαντικό από την είσοδο πλήρωσης, έως ότου αρχίσει να ρέει από την τάπα στάθμης του (ποσότητα ορισμένη από τον κατασκευαστή). Έπειτα ασφαλίζονται καλά οι τάπες και ο μειωτήρας είναι πλέον έτοιμος για λειτουργία.

Από πλευράς συντήρησης των μειωτήρων, μερικά βασικά στοιχεία που πρέπει να επισημανθούν είναι:

- Ο τακτικός έλεγχος της σύνδεσής του, ειδικά σε εφαρμογές με κρουστικά φορτία
- Η επισήμανση τυχόν ασυνήθιστων θορύβων, διαρροών, υπερθέρμανσης που σαν αιτία θα μπορούσαν να έχουν τη καταστροφή των ρουλμάν, των τσιμουχών και των οδοντώσεων αντίστοιχα.
- Η κανονική λίπανση (στο σωστό χρόνο, ποσότητα και ποιότητα λιπαντικού όπως ορίζει ο κατασκευαστής)

2.5 Προβλήματα Μειωτήρων

Θόρυβος

Ένα από τα προβλήματα των μειωτήρων είναι και ο θόρυβος που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα αίτια αυτού του φαινομένου θα μπορούσαν να αποδοθούν σε τρία κύρια φαινόμενα:

- Το πρώτο είναι η διακύμανση της φόρτισης των δοντιών των τροχών, όπου μέσω των αξόνων και των ρουλμάν του μειωτήρα, μεταφέρεται ο θόρυβος στο κέλυφος του
- Το δεύτερο είναι το είδος και η ποιότητα των ρουλμάν του μειωτήρα και
- Το τρίτο φαινόμενο εντοπίζεται στα χτυπήματα του λιπαντικού στο μέσα μέρος του κελύφους, ειδικότερα σε μεγάλες ταχύτητες λειτουργίας της εγκατάστασης.

Υπερθέρμανση μειωτήρων

Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των μειωτήρων (ιδιαίτερα των μειωτήρων ατέρμονα – κορώνας) δεν είναι ασυνήθιστο. Τα αίτια που το προκαλούν εντοπίζονται κυρίως στην απώλεια της μεταφερόμενης από το μειωτήρα ισχύος, λόγω τριβής από τα ρουλμάν και τις τσιμούχες, καθώς και της ανάδευσης του λιπαντικού από την περιστροφή των οδοντωτών τροχών του μειωτήρα. υπερθέρμανση των μειωτήρων αποτελεί ένα φαινόμενο που δεν μπορεί εύκολα να υπολογισθεί, διότι εξαρτάται από πολλούς συντελεστές, όπως η επιφάνεια του κελύφους του μειωτήρα, το είδος της ψύξης του (με ή χωρίς ανεμιστήρα), η ποσότητα του λιπαντικού και η μορφή της κυκλοφορίας του

στο εσωτερικό του μειωτήρα. Για το λόγο αυτό η υπερθέρμανση των μειωτήρων εκτιμάται μόνο εμπειρικά από δοκιμές.

Περιβάλλον λειτουργίας μειωτήρα

Όπως η υπερθέρμανση έτσι και η ψύξη θα πρέπει να ερευνάνται για την ορθή λειτουργία του μειωτήρα, καθώς σε εφαρμογές με θερμοκρασία περιβάλλοντος κάτω των 30°C παρουσιάζονται μεγάλα προβλήματα στην αντοχή των υλικών κατασκευής του μειωτήρα. Συγκεκριμένα το κέλυφος των μειωτήρων, συνήθως από χυτοσίδηρο, γίνεται υπερβολικά εύθραυστο σε θερμοκρασία των -30°C . Μερικά ακόμη στοιχεία στο περιβάλλον λειτουργίας που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να μελετούνται στην αντιμετώπισή τους, είναι η υπερβολική σκόνη και η υγρασία.

Εξωτερική φόρτιση μειωτήρων

Το είδος της εξωτερικής φόρτισης των μειωτήρων αποτελεί ένα σοβαρό στοιχείο ελέγχου, με σκοπό την αποφυγή τυχόν προβλημάτων λειτουργίας τους. Τα επιβαλλόμενα καμπτικά και κρουστικά φορτία πρέπει να ελέγχονται σχολαστικά ώστε να αποφεύγονται οι συχνές φθορές στα ρουλμάν στήριξης των αξόνων (εισόδου – εξόδου) του μειωτήρα, στις τσιμούχες αλλά και στις οδοντώσεις γραναζιών του.

Ανοχές κατασκευής εξαρτημάτων και Μετατοπίσεις αξόνων

Μερικοί από τους κανόνες που πρέπει να τηρούνται για την ομαλή και μακροχρόνια λειτουργία των μειωτήρων είναι:

- Η απόσταση των αξόνων εισόδου – εξόδου συνιστάται να κυμαίνεται μεταξύ 0,00mm και +0,05mm
- Επιβάλλεται η δυνατότητα ρύθμισης της αξονικής μετατόπισης των αξόνων ατέρμονα και κορώνας μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.



Εικόνα 2.4 Έδραση μειωτήρων στροφών

Κεφάλαιο 3

Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC)

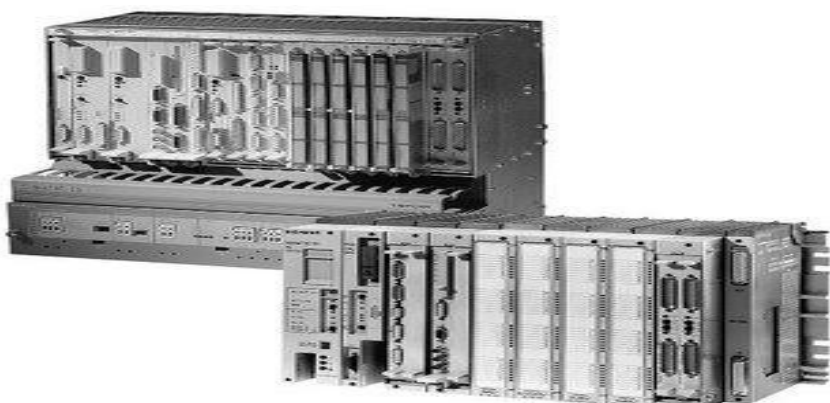
3.1 Γενικές πληροφορίες

Κομβικής σημασίας για την επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η χρήση ενός PLC (programmable logic controller). Κρίνεται σκόπιμη λοιπόν, μια σύντομη αναφορά στο ρόλο που επιτελεί, στην ιστορική του εξέλιξη, στα πλεονεκτήματα της χρήσης του, καθώς επίσης και στα δομικά του στοιχεία και τον προγραμματισμό του.

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής είναι ένας βιομηχανικός υπολογιστής για την υλοποίηση ηλεκτρομηχανικών διαδικασιών, καθώς και διαδικασιών αυτοματισμού. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να ορισθεί ως μια ψηφιακή συσκευή, φέρουσα μικροεπεξεργαστή και προγραμματιζόμενη μνήμη, με τη δυνατότητα αποθήκευσης και εκτέλεσης εντολών του χρήστη, για υλοποίηση συναρτήσεων λογικής Boole, ακολουθιακής λογικής, χρονισμού, απαρίθμησης και αριθμητικών πράξεων, έτσι ώστε, μέσω ψηφιακών ή αναλογικών εισόδων/εξόδων, να ελεγχθεί η λειτουργία μιας σύνθετης μηχανής ή μιας ολόκληρης διαδικασίας.

Πριν τη γέννηση των PLCs, ο συμβατικός τρόπος υλοποίησης ενός συστήματος αυτοματισμού, επέτασσε τη χρήση βοηθητικών ρελέ, χρονοδιακοπών, ωρομετρητών, απαριθμητών κλπ. Είναι εμφανές ότι η εγκατάσταση όλων αυτών των βοηθητικών συσκευών, αλλά και οποιαδήποτε μελλοντική αλλαγή στο σύστημα αυτοματισμού, ήταν εκτός από δαπανηρή και χρονοβόρα, καθώς οι τεχνικοί θα έπρεπε να καλωδιώσουν μια προς μια, κάθε τέτοια βοηθητική συσκευή. Η ανάγκη για λύση αυτών των πρακτικών προβλημάτων, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των PLC.

Η ανάπτυξη των PLCs άρχισε το 1968, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, και για λογαριασμό μιας αμερικάνικης αυτοκινητοβιομηχανίας (GE), με την πρώτη εγκατάσταση PLC σε βιομηχανικό περιβάλλον να συντελείται το 1969. Η εμβρυακή μορφή του PLC ήταν διαφορετική από τη σημερινή, καθώς περιείχε ψηφιακά στοιχεία που αντικαθιστούσαν αποκλειστικά τα βοηθητικά ρελέ.



Εικόνα 3.1.1 Το πρώτο PLC- Modicon

Ακολουθώς η εξέλιξή τους διήλθε από διάφορα στάδια, σημαντικότερα των οποίων, ήταν η ενσωμάτωση ψηφιακών στοιχείων χρονισμού και απαρίθμησης, και κυρίως όταν βάσισαν τη δομή και λειτουργία τους σε μικροεπεξεργαστές. Σταδιακά απέκτησαν και επικοινωνιακές δυνατότητες για τη δικτύωσή τους, καθώς και δυνατότητες ψηφιακού ελέγχου κλειστού βρόχου (PID), ενώ αργότερα άρχισαν να υιοθετούνται διεθνείς τυποποιήσεις που αφορούσαν τόσο τη δικτύωσή τους, όσο και τον προγραμματισμό τους (IEC 1131-3).

Βασικά πλεονεκτήματα των PLC έναντι του συμβατικού αυτοματισμού και με βάση πάντα τα όσα προαναφέρθηκαν είναι:

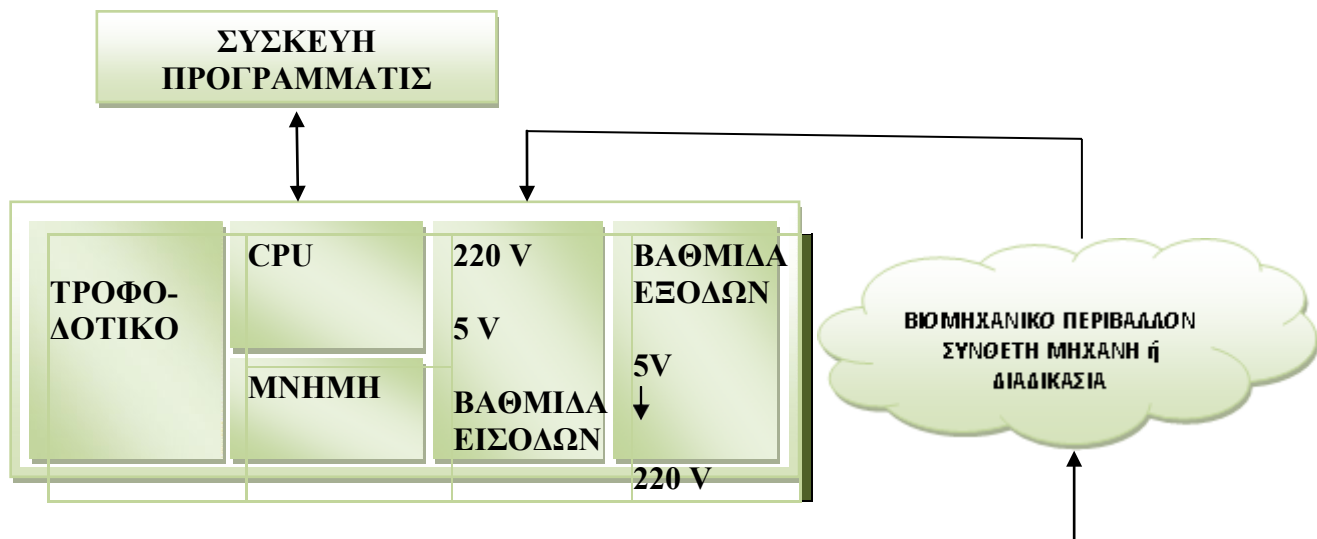
- Οικονομία χρόνου, αφού η γραφή του προγράμματος μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την εγκατάσταση του PLC και των συσκευών εισόδου/εξόδου, δυνατότητα που απουσιάζει στο συμβατικό αυτοματισμό. Επίσης στην οικονομία χρόνου συντελεί και η μείωση των καλωδιώσεων που προκύπτει από την αντικατάσταση πολλών βοηθητικών συσκευών με απλό κώδικα.
- Οικονομία χώρου, καθώς διαθέτουν δεκάδες χρονοδιακόπτες και απαριθμητές και εκατοντάδες βοηθητικά ρελέ σε συγκριτικά πολύ μικρό όγκο.
- Επάρκεια βοηθητικών επαφών, σε αντίθεση με το συμβατικό αυτοματισμό, καθώς κάθε θέση μνήμης που παίζει το ρόλο βοηθητικού ρελέ μπορεί να χρησιμοποιηθεί όσες φορές απαιτείται σε ένα πρόγραμμα.
- Εύκολη τροποποίηση της λογικής του συστήματος αυτοματισμού, καθώς η επέμβαση γίνεται στο πρόγραμμα, γεγονός που δεν απαιτεί επέμβαση στις καλωδιώσεις και στον εξοπλισμό. Έτσι αποφεύγεται παύση λειτουργίας του συστήματος, όπως συνέβαινε στη συμβατική προσέγγιση του αυτοματισμού.
- Εύκολος εντοπισμός βλαβών, αφού υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης οποιουδήποτε εσωτερικού στοιχείου κατά την εκτέλεση του προγράμματος, η δυνατότητα για παρακολούθηση με οπτικές ενδείξεις από LED, της κατάστασης ON/OFF των συσκευών εισόδου/εξόδου, καθώς επίσης η δυνατότητα για διεξαγωγή διαγνωστικών δοκιμών για τον εντοπισμό βλαβών.
- Τέλος δεν πρέπει να παραγνωρισθεί το γεγονός ότι ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής έχει εκσυγχρονίσει τον τρόπο και τα μέσα εργασίας, καθώς έχει απομακρύνει το μηχανικό από το χώρο των καλωδίων, των ρελέ κλπ και τον έφερε σε χώρο γραφείου με τη χρήση προσωπικού υπολογιστή.

3.2 Γενική δομή PLC

Ένα PLC γενικά αποτελείται από τα παρακάτω μέρη όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2.1.1:

- Ο επεξεργαστής (CPU)
- Οι βαθμίδες εισόδων

- Οι βαθμίδες εξόδων
- Η μνήμη
- Το τροφοδοτικό ισχύος



Εικόνα 3.2.1 Βασικά μέρη ενός PLC

Η συσκευή προγραμματισμού που φαίνεται στην εικόνα, είναι μια περιφερειακή συσκευή που χρησιμοποιείται μόνο κατά το στάδιο προγραμματισμού του PLC. Στην περίπτωση μας είναι ένας κοινός προσωπικός υπολογιστής.

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι PLC, αυτά με συμπαγή μορφή κατασκευής και αυτά με δομική μορφή. Τα PLCs της πρώτης κατηγορίας έχουν συγκεκριμένο αριθμό βαθμίδων εισόδου και εξόδου και είναι γενικά μη επεκτάσιμα. Περιλαμβάνουν εκτός των εισόδων/εξόδων, τροφοδοσία, επεξεργαστή, θύρα επικοινωνίας με τη συσκευή προγραμματισμού, διακόπτη επιλογής κατάστασης λειτουργίας, ενδεικτικά LED κλπ και είναι κατάλληλα για εφαρμογές μικρού μεγέθους. Η φιλοσοφία δομικής κατασκευής χρησιμοποιείται στα PLCs μεσαίου και μεγάλου μεγέθους. Τα PLC αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από μια βάση συγκεκριμένων διαστάσεων πάνω στην οποία τοποθετούνται οι διάφορες λειτουργικές μονάδες όπως η μονάδα τροφοδοσίας, η μονάδα επεξεργαστή και οι διάφορες βαθμίδες εισόδου/εξόδου. Όπως θα γίνει αντιληπτό στο επόμενο κεφάλαιο, το PLC που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής ακολούθησε τη δομική προσέγγιση.

Το PLC που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη των στόχων της διπλωματικής εργασίας είναι το S7-300 της Siemens.

Συνοπτικά η όλη διάταξη του PLC περιλαμβάνει τα παρακάτω μέρη:

- Το πλαίσιο στήριξης (Mounting Rail)
- Μονάδα τροφοδοσίας
- Τον επεξεργαστή CPU 312C
- Ψηφιακές εισόδους/εξόδους
- Βαθμίδα αναλογικών εισόδων
- Βαθμίδα αναλογικών εξόδων
- Κάρτα μνήμης (Micro Memory Card)
- Καλώδιο διασύνδεσης με τον υπολογιστή

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν γίνεται αναφορά σε καθένα από αυτά τα μέρη ξεχωριστά, παρουσιάζονται τα ιδιαίτερα τους χαρακτηριστικά, καθώς και ο τρόπος τοποθέτησης και δήλωσής τους, έτσι ώστε να συγκροτηθεί ένα PLC δομικής κατασκευής, που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της εφαρμογής μας.

Πλαίσιο στήριξης (Mounting rail)

Το πλαίσιο στήριξης απλά στηρίζει τις κάρτες που δομούν το PLC. Πάνω του βιδώνονται οι διάφορες μονάδες του PLC, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρικά, με συνδετήρες στο πίσω μέρος των καρτών.



Εικόνα 3.2.2 Mounting rail του PLC

Στη γενική περίπτωση, στην πρώτη θέση του πλαισίου στήριξης βιδώνεται το τροφοδοτικό, ακολούθως η CPU και ακολουθούν οι υπόλοιπες μονάδες που έχουν επιλεγεί ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε το PLC. Το PLC το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, δε διαθέτει ξεχωριστή μονάδα τροφοδοσίας για την επίτευξη της dc τάσης (24V) που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του, και για αυτό χρησιμοποιήθηκε εξωτερικό τροφοδοτικό. Έτσι στην πρώτη θέση βιδώθηκε η CPU, στη δεύτερη η κάρτα αναλογικών εισόδων και στην τρίτη η μονάδα αναλογικών εξόδων.

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας(CPU)

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας(CPU) είναι η μονάδα του PLC που ελέγχει και συντονίζει τη συνολική λειτουργία του, εκτελώντας εντολές που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη. Όλα τα σύγχρονα PLC έχουν CPU βασισμένη σε μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μαζί με τα απαραίτητα συμπληρωματικά κυκλώματα αποτελούν το μηχανισμό ‘νοημοσύνης’ του PLC.

Οι βασικές λειτουργίες της CPU του PLC είναι οι ακόλουθες:

- Λειτουργίες εισόδων /εξόδων, οι οποίες ως επί το πλείστον περιλαμβάνουν τη σάρωση των εισόδων και την ενημέρωση των εξόδων του PLC.
- Λογικές και αριθμητικές λειτουργίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τις λογικές λειτουργίες της άλγεβρας Boole (όπως οι AND, OR, NAND), καθώς και βασικές αριθμητικές πράξεις όπως πρόσθεση, αφαίρεση κλπ. Τέλος σε αυτές τις λειτουργίες περιλαμβάνονται και όλες οι ειδικές λειτουργίες επεξεργασίας όπως αυτές του χρονισμού, της απαρίθμησης και της σύγκρισης δεδομένων.
- Λειτουργίες ανάγνωσης, γραφής και ειδικής τροποποίησης του περιεχομένου των θέσεων μνήμης που μπορεί να αφορά δεδομένα ή εντολές.
- Επικοινωνιακές λειτουργίες, που περιλαμβάνουν ειδικές λειτουργίες που πρέπει το PLC να υλοποιεί κατά την επικοινωνία του με περιφερειακές βαθμίδες εισόδων/εξόδων, με ειδικές βαθμίδες, με άλλο PLC κλπ.

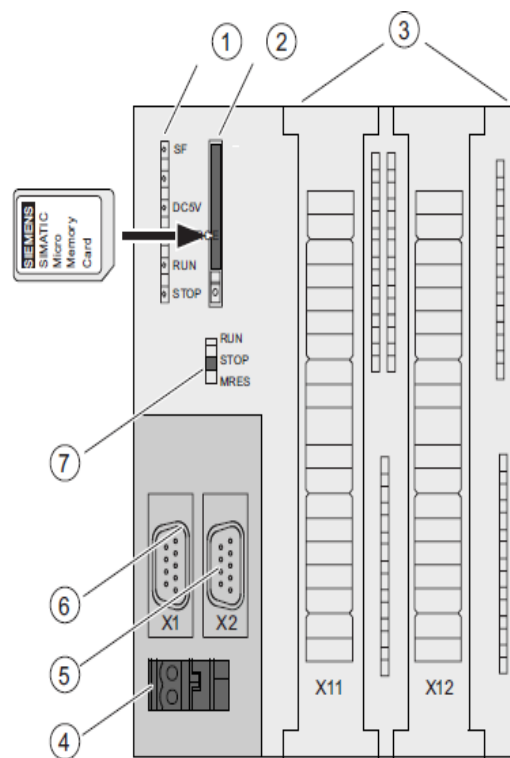
Η μονάδα CPU που χρησιμοποιήσαμε είναι η CPU 312c. Εκτός από τη CPU, η μονάδα περιλαμβάνει τη μνήμη του PLC, ενώ επίσης διαθέτει ενσωματωμένες 10 ψηφιακές εισόδους και 6 ψηφιακές εξόδους. Επιπλέον, διαθέτει τις υποδοχές στις οποίες συνδέονται τόσο το καλώδιο τροφοδοσίας, όσο και το καλώδιο για την επικοινωνία με τον υπολογιστή. Ακολουθεί μια συνολική παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών της βαθμίδας (εξωτερική και εσωτερική), έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος χρήσης της, καθώς επίσης οι δυνατότητες που παρέχει στον προγραμματιστή, αλλά και οι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπ’ όψιν από αυτόν (πχ περιορισμοί στη διαθέσιμη μνήμη).



Εικόνα 3.2.3 Μονάδα CPU 312c

Με μια εγγύτερη ματιά σε μια μονάδα CPU τύπου 31xC μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω ενδείξεις και λειτουργικά στοιχεία.

1. Ενδείξεις κατάστασης και σφάλματος.
2. Θέση για την SIMATIC Micro Memory Card.
3. Συνδέσεις για ενσωματωμένες εισόδους/εξόδους (10 DI/6 DO στην CPU 312c).
4. Σύνδεση τροφοδοσίας.
5. Διεπαφή X2 (PtP ή DP) – Η διεπαφή αυτή απουσιάζει από τη μονάδα CPU 312c.
6. Διεπαφή X1 (MPI).
7. Διακόπτης επιλογής κατάστασης λειτουργίας



Εικόνα 3.2.4 Λειτουργικά στοιχεία

Οι ενδείξεις κατάστασης και σφαλμάτων λειτουργίας του PLC φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ενδείξεις LED	Χρώμα	Σημασία
SF	Κόκκινο	Σφάλμα υλικού ή λογισμικού.
DC5V	Πράσινο	Τάση 5 V για τη CPU και ο S7-300 διάυλος είναι εντάξει.
FRCE	Κίτρινο	Ενδειξη της κατάστασης της CPU, στην οποία οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι εξαναγκασμένα ενεργοποιημένες από μια συνάρτηση αποσφαλμάτωσης(debug function).

RUN	Πράσινο	Η CPU σε κατάσταση RUN. Το LED αναβοσβήνει σε κατάσταση STARTUP με ρυθμό 2 Hz, και σε κατάσταση HOLD με ρυθμό 0.5 Hz.
STOP	Κίτρινο	Η CPU σε κατάσταση STOP και HOLD ή STARTUP. Το LED αναβοσβήνει με 0.5 Hz, όταν η CPU ζητά reset μνήμης και κατά τη διάρκεια του reset με 2 Hz.

Οι πιθανές θέσεις του διακόπτη επιλογής λειτουργίας του PLC και οι λειτουργίες που αυτό εκτελεί για κάθε μια από αυτές είναι οι παρακάτω.

Θέση	Σημασία	Περιγραφή
RUN	RUN λειτουργία	Η CPU εκτελεί το πρόγραμμα του χρήστη.
STOP	STOP λειτουργία	Η CPU δεν εκτελεί το πρόγραμμα του χρήστη.
MRES	Reset της μνήμης της CPU	Επιλογέας λειτουργίας με δυνατότητα reset της μνήμης της CPU. Το reset της μνήμης της CPU με τον τρόπο αυτό, απαιτεί μια ακολουθία ενεργειών. Κρατάμε το MRES πατημένο το πολύ για 3s, μέχρι το LED STOP να αρχίσει να αναβοσβήνει με μικρή συχνότητα.

		Ακολούθως το απελευθερώνουμε, και μετά το ξαναπατάμε, μέχρι η ένδειξη του LED STOP να αρχίσει να αναβοσβήνει με μεγάλη συχνότητα. Το reset έχει πλέον γίνει.
--	--	--

Εσωτερικά η CPU περιλαμβάνει μικροεπεξεργαστή και μνήμη. Ο μικροεπεξεργαστής είναι το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιεί το PLC, έτσι ώστε να εκτελεί τις αποθηκευμένες στη μνήμη του εντολές, να καθορίζει τη σειρά λειτουργιών του συστήματος και να ελέγχει για λάθη. Στη CPU 312c ο μικροεπεξεργαστής φτάνει χρόνο επεξεργασίας 200-400 ns για

κάθε δυαδική εντολή.

Μνήμη CPU

Η μνήμη της CPU 312c οργανώνεται σε τρεις περιοχές. Αυτές είναι η μνήμη καταχώρησης (load memory), η μνήμη συστήματος (system memory) και η μνήμη εργασίας (work memory). Καθεμιά από αυτές, επιτελεί διαφορετικό ρόλο για τη λειτουργία του PLC, συνεπώς είναι και διαφορετικού τύπου (RAM, flash EPROM κλπ).

Μνήμη καταχώρησης (load memory)

Η μνήμη καταχώρησης της CPU 312c εδράζεται αποκλειστικά στη SIMATIC Micro Memory Card. Το μέγεθος της μνήμης καταχώρησης ταυτίζεται με αυτό της Micro Memory Card. Χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει τα μπλοκ κώδικα (code blocks), τα μπλοκ δεδομένων (data blocks), καθώς και τα δεδομένα του συστήματος (system data), όπως τις ρυθμίσεις, τις συνδέσεις, τις παραμέτρους των βαθμίδων κλπ. Από το γεγονός ότι η Micro Memory Card και μόνο, αποτελεί τη μνήμη καταχώρησης, γίνεται αντιληπτό, ότι για να φορτωθεί το πρόγραμμα χρήστη και να λειτουργήσει η CPU, θα πρέπει να έχει προηγηθεί τοποθέτηση της Micro Memory Card στο ειδικό slot της CPU.

Η Micro Memory Card είναι τύπου Flash EPROM (Flash Erasable Programmable Read Only Memory). Ο τύπος αυτός μνήμης, μπορεί να διατηρήσει τα δεδομένα σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας, όπως ακριβώς και οι ηλεκτρικά διαγραφόμενες EEPROMs. Όμως, μπορεί να διαγραφεί σε συντομότερο χρονικό διάστημα από αυτές.

Μνήμη εργασίας (work memory)

Η μνήμη εργασίας, που είναι μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM), είναι ενσωματωμένη στη CPU, και δεν είναι δυνατή η επέκτασή της. Χρησιμοποιείται για να τρέξει ο κώδικας και για την επεξεργασία δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όταν το PLC εκκινεί τη λειτουργία του, το πρόγραμμα αντιγράφεται από τη μνήμη καταχώρησης (load memory) στη μνήμη εργασίας (work memory). Το πρόγραμμα εκτελείται από τη μνήμη εργασίας.

Μνήμη συστήματος (system memory)

Η μνήμη συστήματος (system memory), είναι μνήμη τύπου RAM, είναι ενσωματωμένη στη CPU, και δεν είναι επεκτάσιμη. Περιλαμβάνει περιοχές διευθύνσεων για τα bit μνήμης, τους χρονιστές, τους απαριθμητές κλπ, την περιοχή απεικόνισης εισόδων/εξόδων (process image) και τέλος τα τοπικά δεδομένα (local data).

Περιοχή διευθύνσεων

Η περιοχή διευθύνσεων των S7 CPU διαιρείται σε περιοχές τελεστών. Αυτές οι περιοχές είναι οι ακόλουθες:

Περιοχή διευθύνσεων μνήμης απεικόνισης εισόδων: Κατά την έναρξη ενός κύκλου σάρωσης OB1, η CPU διαβάζει τις τιμές των εισόδων στις βαθμίδες εισόδων και τις αποθηκεύει στην περιοχή απεικόνισης εισόδων.

Περιοχή διευθύνσεων μνήμης απεικόνισης εξόδων: Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου σάρωσης, το πρόγραμμα υπολογίζει τις τιμές για τις εξόδους και τις γράφει στη περιοχή της μνήμης για απεικόνιση εξόδων. Στο τέλος του κύκλου σάρωσης, η CPU γράφει τις υπολογισμένες τιμές εξόδου στις βαθμίδες

εξόδου.

Περιοχή διευθύνσεων μνήμης bit: Η περιοχή αυτή παρέχει μνήμη για την ενδιάμεση αποθήκευση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών του προγράμματος.

Περιοχή διευθύνσεων μνήμης χρονιστών: Είναι η περιοχή μνήμης όπου είναι διαθέσιμοι οι χρονιστές.

Περιοχή διευθύνσεων μνήμης απαριθμητών: Είναι η περιοχή μνήμης όπου είναι διαθέσιμοι οι απαριθμητές.

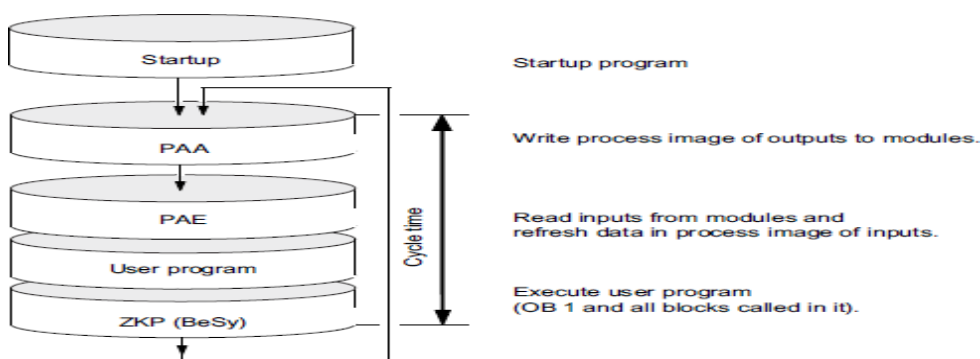
Περιοχή διευθύνσεων μνήμης τοπικών δεδομένων: Στην περιοχή αυτή αποθηκεύονται τα προσωρινά δεδομένα ενός μπλοκ κώδικα (OB1, FB, FC) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του μπλοκ.

Περιοχή απεικόνισης εισόδων/εξόδων

Όταν το πρόγραμμα του χρήστη απευθύνεται στις περιοχές διευθύνσεων εισόδων/εξόδων, δεν εξετάζει απευθείας τις καταστάσεις σημάτων στις αντίστοιχες βαθμίδες εισόδου/εξόδου. Αντιθέτως, προσπελαίνει μια περιοχή μνήμης που είναι τμήμα της μνήμης συστήματος της CPU. Αυτή ακριβώς η περιοχή της μνήμης, είναι η περιοχή απεικόνισης που χωρίζεται σε περιοχή απεικόνισης εισόδων και σε περιοχή απεικόνισης εξόδων.

Η προσέγγιση αυτή, πλεονεκτεί της άμεσης προσπέλασης των τιμών εισόδου/εξόδου, στο γεγονός ότι παρέχει στη CPU μια σταθερή απεικόνιση των σημάτων κατά τη διάρκεια της κυκλικής εκτέλεσης προγράμματος. Έτσι, ενώ η κατάσταση του σήματος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της κυκλικής εκτέλεσης προγράμματος, το σήμα στην περιοχή απεικόνισης διατηρείται μέχρι να ανανεωθεί στον επόμενο κύκλο σάρωσης.

Το λειτουργικό σύστημα ανανεώνει τις τιμές στην περιοχή απεικόνισης, περιοδικά, με το σχήμα που ακολουθεί να απεικονίζει την αλληλουχία της παραπάνω διαδικασίας στη διάρκεια ενός κύκλου σάρωσης.



Εικόνα 3.2.5

Περιοχή τοπικών δεδομένων(local data)

Η περιοχή τοπικών δεδομένων αποθηκεύει προσωρινές μεταβλητές των μπλοκ κώδικα, πληροφορίες έναρξης για τα OBs, παραμέτρους μεταφοράς και τέλος τα διάφορα ενδιάμεσα αποτελέσματα κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Διατηρησιμότητα μνήμης (retentivity of memory)

Η CPU διαθέτει ένα τμήμα διατηρήσιμης μνήμης, δηλαδή ένα τμήμα μνήμης, όπου τα δεδομένα διατηρούνται ελλείψει τροφοδοσίας, καθώς και κατά τη διάρκεια επανεκκίνησης (warm start).

Διατηρήσιμα τμήματα μνήμης υπάρχουν και στους τρεις τύπους μνήμης που διαθέτει η CPU. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη μνήμη καταχώρησης, το πρόγραμμα είναι πάντα διατηρήσιμο, καθώς είναι αποθηκευμένο στη Simatic Micro Memory Card, όπου είναι προστατευμένο από απώλεια ισχύος και επανεκκίνηση της μνήμης της CPU. Επίσης και στη μνήμη συστήματος υπάρχει τμήμα της, που ορίζεται από τον ίδιο το χρήστη μέσα από τις ιδιότητες της CPU, η οποία μπορεί να διατηρεί bit μνήμης, τιμές χρονιστών και απαριθμητών.

Οι πίνακες που ακολουθούν συνοψίζουν βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας CPU 312c, η γνώση των οποίων θεωρείται κρίσιμη για τον μετέπειτα προγραμματισμό της

Βαθμίδες ψηφιακής εισόδου/εξόδου

Η βαθμίδα ψηφιακών εισόδων είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να δέχεται διακριτά σήματα (ηλεκτρικές τάσεις AC ή DC) από τις συσκευές εισόδου και ακολούθως να τα μετατρέπει κατάλληλα και να τα απομονώνει ηλεκτρικά, πριν τη μεταφορά τους στη μνήμη του PLC. Το διακριτό σήμα εισόδου είναι σήμα δυο καταστάσεων ON και OFF, με το ON να αντιστοιχεί στην ονομαστική τάση εισόδου (24VDC η πιο δημοφιλής), ενώ το OFF στη μηδενική τιμή. Τέτοια σήματα δίνουν συσκευές πεδίου, όπως μπουτόν κάθε είδους, οριακοί διακόπτες, διακόπτες προσέγγισης, φωτοκύτταρα κλπ.

Στη βαθμίδα εισόδων, αρχικά συντελείται μετατροπή του επιπέδου τάσης και μια διαμόρφωση των σημάτων εισόδου, έτσι ώστε αυτά να είναι συμβατά με την τάση λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή (5 VDC) και των υπόλοιπων ηλεκτρονικών στοιχείων. Ακολούθως, τα διαμορφωμένα σήματα οδηγούνται στη μονάδα ηλεκτρικής απομόνωσης, για να απομονωθούν τα υψηλά επίπεδα ισχύος που χαρακτηρίζουν τις συσκευές εισόδου, από τα ασθενή (λογικά) σήματα του μικροεπεξεργαστή. Σε επόμενη φάση το διαμορφωμένο και ηλεκτρικά απομονωμένο πλέον σήμα, πολυπλέκεται με άλλα παρόμοια σήματα που παράγει η βαθμίδα εισόδου, προκειμένου αυτά να μεταφερθούν σειριακά στο μικροεπεξεργαστή.

Η ψηφιακή βαθμίδα εξόδων είναι η βαθμίδα μέσω της οποίας, τα αποθηκευμένα στη μνήμη απεικόνισης εξόδων αποτελέσματα της λογικής επεξεργασίας του προγράμματος, μεταφέρονται στις συσκευές εξόδου (ρελέ ισχύος, πηνία ηλεκτροβαλβίδων, ενδεικτικές λυχνίες, πηνία ηλεκτροπνευματικών βαλβίδων κλπ).

Η λογική λειτουργίας τους, είναι η αντίστροφη αυτής των βαθμίδων ψηφιακών εισόδων. Τα σήματα που προέρχονται από την εκτέλεση του προγράμματος είναι ασθενή (λογικά), συνεπώς ρόλος της βαθμίδας εξόδων είναι να τα μετατρέψει σε σήματα ικανά να ενεργοποιήσουν συσκευές εξόδου. Αμέσως μετά τη σειριακή μεταφορά των λογικών σημάτων από τη μνήμη απεικόνισης εξόδων, αυτά αποπολυπλέκονται στην αντίστοιχη μονάδα της βαθμίδας και μεταφέρονται στην αντίστοιχη επιμέρους έξοδο της βαθμίδας εξόδων. Ακολουθεί η είσοδος των αποπολυπλεγμένων σημάτων στη μονάδα διατήρησης (δεν υπάρχει αντίστοιχη στις βαθμίδες ψηφιακών εισόδων). Η ανάγκη για την ύπαρξη αυτής της μονάδας οφείλεται στην περιοδική ενημέρωση των εξόδων από τον μικροεπεξεργαστή κατά τη διάρκεια ενός κύκλου σάρωσης. Στη

μονάδα διατήρησης λοιπόν, μέσω ολοκληρωμένων κυκλωμάτων latch ή hold, το σήμα της βαθμίδας εξόδου διατηρεί την τελευταία τιμή που απέστειλε ο μικροεπεξεργαστής, μέχρι την επόμενη ανανέωση αυτής στο τέλος του επόμενου κύκλου σάρωσης. Οι υπόλοιπες μονάδες της βαθμίδας λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο με τις αντίστοιχες των ψηφιακών βαθμίδων εισόδου και είναι κατά σειρά οι μονάδες της ηλεκτρικής απομόνωσης, της οπτικής ένδειξης και της μετατροπής σε επίπεδα σημάτων ισχύος.

Στην περίπτωση μας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στα τεχνικά στοιχεία της CPU 312c, αυτή διαθέτει ενσωματωμένες 10 ψηφιακές εισόδους και 6 ψηφιακές εξόδους.

Οι ενσωματωμένες εισοδοί και έξοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως κανονικές εισοδοί και έξοδοι είτε για την υλοποίηση άλλων τεχνολογικών λειτουργιών, όπως απεικονίζεται.

Standard	Input interrupt	Count	X1	
			1 ⌀	
DI	X	C0 (A)	2 ⌀	DI+0.0
DI	X	C0(B)	3 ⌀	DI+0.1
DI	X	C0 (N)	4 ⌀	DI+0.2
DI	X	Z1 (A)	5 ⌀	DI+0.3
DI	X	Z1 (B)	6 ⌀	DI+0.4
DI	X	Z1 (N)	7 ⌀	DI+0.5
DI	X	Sync 0	8 ⌀	DI+0.6
DI	X	Sync 1	9 ⌀	DI+0.7
DI	X		10 ⌀	DI+1.0
DI	X		11 ⌀	DI+1.1
			12 ⌀	2 M
			13 ⌀	1L+
DO		V0	14 ⌀	DO+0.0
DO		V1	15 ⌀	DO+0.1
DO			16 ⌀	DO+0.2
DO			17 ⌀	DO+0.3
DO			18 ⌀	DO+0.4
DO			19 ⌀	DO+0.5
			20 ⌀	1 M

Cn Counter n
 A, B, N Sensor signals
 Sync n Sync signal n (on-the-fly setting of actual value)
 Cn Comparator n
 X Pin usable, if not occupied by technological functions.

Εικόνα 3.2.6

Βαθμίδες αναλογικής εισόδου

Η βαθμίδα αναλογικών εισόδων περιέχει όλα τα απαραίτητα κυκλώματα για την υποδοχή των αναλογικών σημάτων και τη διακριτοποίησή τους. Κύρια μονάδα της βαθμίδας αυτής είναι ο A/D μετατροπέας(Analog to Digital), ο οποίος μετατρέπει το αναλογικό σήμα εισόδου σε μια ψηφιακή τιμή. Στη συνέχεια, η τιμή αυτή μεταβιβάζεται στη μνήμη αναλογικών εισόδων, όπου η CPU τη χειρίζεται με βάση το πρόγραμμα χρήστη. Για προφανείς λόγους οικονομίας, οι κατασκευαστές φροντίζουν η κάθε βαθμίδα αναλογικών εισόδων να μπορεί να δεχθεί περισσότερα του ενός είδη σήματος. Για αυτό το λόγο, σε βαθμίδες με μεγάλο αριθμό εισόδων, της μονάδας A/D μετατροπής προηγείται ένα μπλοκ προσαρμογής, το οποίο είναι ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα που μετατρέπει το αναλογικό σήμα εισόδου, σε σήμα που εκ κατασκευής δέχεται ο A/D μετατροπέας. Τα αναλογικά σήματα που μπορεί να δεχτεί μια βαθμίδα αναλογικών εισόδων, είναι τυποποιημένα και συμβατά με τα αντίστοιχα σήματα εξόδου των αναλογικών συσκευών εισόδου. Τα σήματα αυτά μπορεί να είναι είτε σήματα τάσης (πχ 0-10V, 0-5 V κλπ) είτε σήματα ρεύματος(πχ 4-20 mA κλπ).

Αξίζει να τονιστεί ότι οι αναλογικές βαθμίδες εισόδων σε αντίθεση με τις αντίστοιχες ψηφιακών εισόδων διαθέτουν τοπική μνήμη στην οποία αποθηκεύονται τα αποτελέσματα της διακριτοποίησης του αναλογικού σήματος.

Επιπλέον, η βαθμίδα αναλογικών εισόδων διαθέτει έναν A/D μετατροπέα κοινό για κάθε αναλογική είσοδο. Ο μετατροπέας επεξεργάζεται το σήμα μιας αναλογικής εισόδου κάθε φορά, και η εναλλαγή των σημάτων που προωθούνται στο μετατροπέα κάθε στιγμή, γίνεται με τη βοήθεια ενός επιλογέα εισόδων, που στέλνει το σήμα μιας μόνο εισόδου σε κάθε παλμό ενός ρολογιού.

Η βαθμίδα αναλογικών εισόδων έχει χρόνο λειτουργίας ανεξάρτητο από τον κύκλο σάρωσης του PLC, ο οποίος εξαρτάται, τόσο από το χρόνο για τη διακριτοποίηση των σημάτων όλων των αναλογικών εισόδων με τη σειρά, όσο και από τη μέθοδο διακριτοποίησης που έχει επιλεγεί. Παρόλα αυτά, ο χρόνος αυτός είναι σημαντικά μικρότερος του κύκλου σάρωσης του PLC, γεγονός που δε δημιουργεί πρόβλημα στη λειτουργία του PLC.

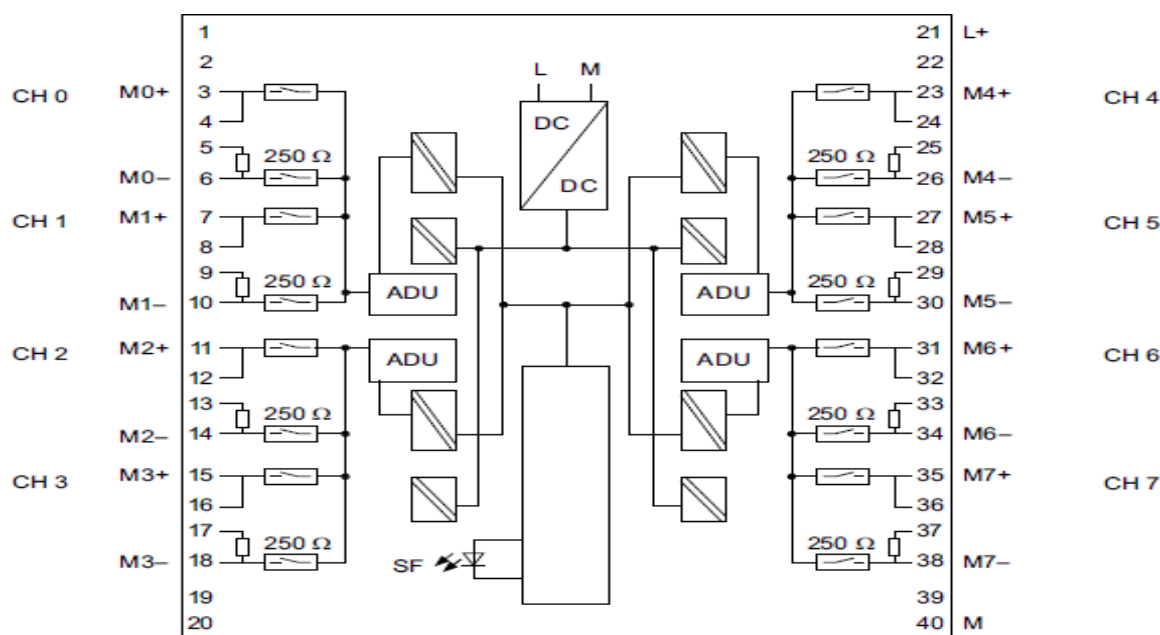
Η κάρτα αναλογικών εισόδων που χρησιμοποιήσαμε είναι η SM331-AI 8x16 Bit (6ES7331-7NF10-0AB0). Περιέχει 8 εισόδους ομαδοποιημένες σε 4 ομάδες των δυο καναλιών. Κάθε ομάδα καναλιών μπορεί να ρυθμισθεί έτσι ώστε να δέχεται σήμα είτε τάσης είτε ρεύματος. Τα εύρη τάσης που μπορεί να δεχθεί είναι από -5V μέχρι +5V, από 1V μέχρι 5V και από -10V μέχρι 10V.

Τα αντίστοιχα εύρη ρεύματος (για την περίπτωση των αισθητήρων 4 καλωδίων), είναι από 0 mA μέχρι 20 mA, από 4 mA μέχρι 20 mA, και από -20 mA μέχρι 20 mA. Η κάρτα για τη λειτουργία της απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία 24 VDC.

Τα 16 bit (15 bit+πρόσημο) αναφέρονται στη διακριτικότητα (resolution) κάθε ομάδας καναλιών. Η έννοια της διακριτικότητας, εκφράζει τη μικρότερη διαφορά που μπορεί να προσδιορίσει ο A/D μετατροπέας, σε σχέση με το μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου, και αναφέρεται στον αριθμό των bits της δυαδικής λέξης που παριστά την ψηφιακή τιμή του αναλογικού σήματος. Όπως προείπαμε, ο μετατροπέας της μονάδας είναι 16 bit, άρα υπάρχουν $2^{16}=65536$ διαφορετικές ψηφιακές τιμές μεταξύ του ελαχίστου και μεγίστου, επομένως έχουμε $2^{-16}=0,000015$ βήματα της πλήρους κλίμακας.

Στην περίπτωσή μας, είσοδος στην κάρτα αναλογικών εισόδων είναι το σήμα από τους αισθητήρες δύναμης.

Το ηλεκτρολογικό διάγραμμα της βαθμίδας αναλογικών εισόδων SM331-AI 8x16 Bit (6ES7331-7NF10-0AB0) που χρησιμοποιήσαμε, παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2.2.6 που ακολουθεί.



Εικόνα 3.2.6.1

Βαθμίδες αναλογικής εξόδου

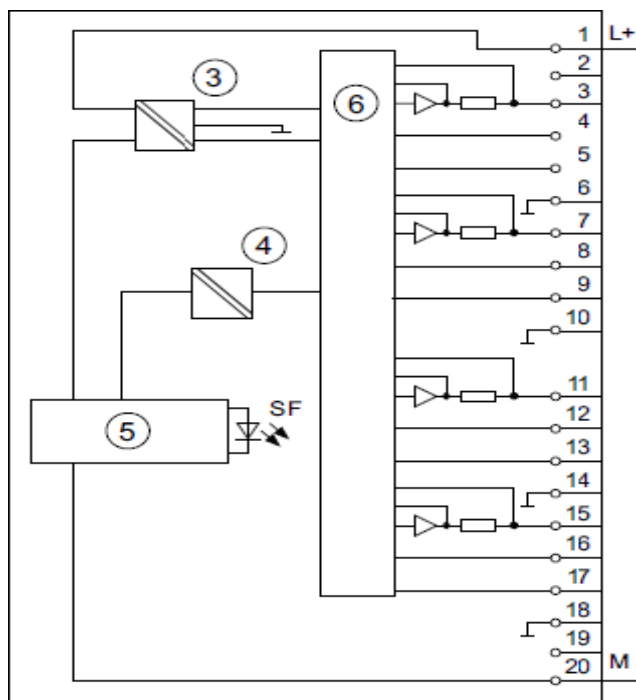
Οι βαθμίδες αναλογικών εξόδων λαμβάνουν τα ψηφιακής μορφής αποτελέσματα της εκτέλεσης του προγράμματος χρήστη από τη CPU, και τα μετατρέπουν σε ένα σήμα (τάση ή ρεύμα) αναλογικής μορφής, για να ελέγξουν τη λειτουργία μιας αναλογικής συσκευής. Στην περίπτωσή μας η αναλογική συσκευή είναι οι αναλογικές βαλβίδες.

Αρχικά, η ψηφιακή λέξη φθάνει σε ένα D/A μετατροπέα (Digital to Analog converter), ο οποίος παράγει στην έξοδό του μια αντίστοιχη σταθερή ηλεκτρική τάση. Είναι εμφανές, ότι η έξοδος του μετατροπέα συνεχίζει να είναι διακριτή, παρουσιάζοντας έναν αριθμό επιπέδων τάσης που εξαρτάται από τη διακριτικότητα της βαθμίδας. Επομένως το σήμα στην έξοδο του μετατροπέα, είναι μια μεταβαλλόμενη, αλλά και βαθμισμένη τάση. Για να προσομοιάζει αυτό το σήμα περισσότερο σε ένα

αναλογικό, οδηγείται σε κυκλώματα ενισχυτή και φίλτρου τα οποία ομαλοποιούν την βαθμισμένη τάση ή το ρεύμα εξόδου. Η ακρίβεια εξόδου μιας αναλογικής βαθμίδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τη συχνότητα ενημέρωσης της ψηφιακής λέξης εισόδου και κατ' επέκταση από τον κύκλο σάρωσης του PLC, καθώς τα δεδομένα που προκύπτουν από την επεξεργασία του προγράμματος και αφορούν τη βαθμίδα αναλογικών εξόδων, αποστέλλονται σε αυτή μια φορά σε κάθε κύκλο σάρωσης. Πρέπει να τονιστεί ότι στις αναλογικές βαθμίδες είτε εισόδου είτε εξόδου έχουμε οπτική απομόνωση της CPU από τα αναλογικά κυκλώματα. Επιπλέον και οι δυο απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος ή τάσης συγκεκριμένων προδιαγραφών.

Αρκετές βαθμίδες αναλογικών εξόδων, εκτός της τυπικής σύνδεσης με τις αναλογικές συσκευές, παρέχουν δυνατότητα τροφοδοσίας των συσκευών εξόδου με σύνδεση 4 αγωγών, για μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της εφαρμοζόμενης τάσης, η οποία είναι αρκετές φορές διαφορετική από την κανονική. Οι δυο επιπλέον αγωγοί συνδέονται απευθείας στο φορτίο. Με τον τρόπο αυτό η βαθμίδα μετρά άμεσα την τάση στα άκρα του φορτίου και επιφέρει αυτόματα την απαιτούμενη διόρθωση.

Η κάρτα αναλογικών εξόδων που χρησιμοποιήσαμε εμείς, είναι η SM332-AO 4x12 bit (6ES7332-5HD01-0AB0). Περιέχει 4 εξόδους ομαδοποιημένες σε ένα γκρουπ. Για καθεμία από αυτές μπορούμε να επιλέξουμε αν το σήμα εξόδου θα είναι τάση ή ρεύμα. Τα εύρη τάσης εξόδου είναι από 1V μέχρι 5V, από 0V μέχρι 10V και από -10V μέχρι 10V. Τα αντίστοιχα εύρη ρεύματος είναι από 0 mA μέχρι 20 mA, από 4 mA μέχρι 20 mA και από -20mA μέχρι 20 mA. Η κάρτα για τη λειτουργία της απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία 24 VDC. Η διακριτικότητα της βαθμίδας είναι 12 bit με το ένα από αυτά να έχει ρόλο προσήμου στην περίπτωση εξόδων με εύρη από -10V μέχρι 10V ή από -20 mA μέχρι 20 mA. Τέλος, οι συγκεκριμένη κάρτα αναλογικών εξόδων υποστηρίζει εκτός της τυπικής καλωδίωσης 2 αγωγών, και την καλωδίωση 4 αγωγών, η χρησιμότητα της οποίας αναλύθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 3.2.6.2

Μονάδα προγραμματισμού

Ο προγραμματισμός του PLC γίνεται είτε μέσω ειδικής αποσπώμενης συσκευής προγραμματισμού είτε μέσω απλού προσωπικού υπολογιστή. Στην περίπτωση μας, για τον προγραμματισμό του PLC χρησιμοποιήθηκε ένας προσωπικός υπολογιστής με λειτουργικό σύστημα Windows XP. Το πρόγραμμα γράφτηκε με χρήση του λογισμικού της Siemens Simatic Step7. Η επικοινωνία του υπολογιστή με το PLC για τη φόρτωση του προγράμματος, αλλά και για παρακολούθηση διαφόρων μεταβλητών του PLC στη διάρκεια της λειτουργίας του, συντελείται μέσω του Multipoint Interface(MPI) και της PC Adapter USB της Siemens.

3.3 Προγραμματισμός PLC

Δομή προγράμματος

Σε κάθε PLC υπάρχουν αποθηκευμένα δυο είδη προγράμματος, που είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Αυτά είναι το λειτουργικό σύστημα ή εκτελέσιμο πρόγραμμα και το πρόγραμμα χρήστη.

Το λειτουργικό σύστημα είναι ένα ειδικό πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα μηχανής, το οποίο οδηγεί το μικροεπεξεργαστή της CPU στο να πραγματοποιήσει τις διάφορες εσωτερικές λειτουργίες όπως επεξεργασία, έλεγχο και επικοινωνία. Οδηγεί δηλαδή όλες τις βασικές λειτουργίες, που έχουν ήδη προαναφερθεί, τις οποίες εκτελεί η CPU του PLC. Το πρόγραμμα αυτό αποθηκεύεται μόνιμα σε ένα τμήμα της μνήμης, που είναι πάντα τύπου ROM. Αναπτύσσεται από τον κατασκευαστή και αποθηκεύεται στη μνήμη μόνιμα χωρίς να χρειάζεται, αλλά και να επιδέχεται αλλαγών.

Το πρόγραμμα χρήστη, από την άλλη πλευρά, είναι το σύνολο των εντολών του χρήστη, έτσι ώστε το PLC να εκτελέσει την εκάστοτε λειτουργία αυτοματισμού ή ελέγχου για την οποία το χρησιμοποιεί ο χρήστης. Το πρόγραμμα αυτό, όπως προαναφέρθηκε, αποθηκεύεται στη μνήμη καταχώρισης της CPU (στη flash EPROM MMC στην περίπτωση μας), επιδέχεται αλλαγών, και επιτρέπει στο χρήστη με τρόπο που αυτός κρίνει αποδοτικότερο, να αξιοποιήσει όλες τις δυνατότητες που του παρέχει το PLC για την υλοποίηση της εκάστοτε εφαρμογής.

Το πρόγραμμα χρήστη, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61131-3, δεν δομείται ως μια απλή ακολουθία ομάδων εντολών μέσα σε ένα πρόγραμμα. Αντίθετα, αποτελείται από συστατικά μέρη διαφορετικά μεταξύ τους και με διαφορετική αποστολή το καθένα, ως δομικά στοιχεία του προγράμματος. Ο τρόπος αυτός δόμησης του προγράμματος καλείται «Δομικός Προγραμματισμός».

3.4 Block προγράμματος

Τα δομικά στοιχεία ενός προγράμματος χρήστη αναφέρονται στο πρότυπο IEC 61131-3 ως Μονάδες Οργάνωσης Προγράμματος. Το λογισμικό προγραμματισμού Simatic Step7 που χρησιμοποιήσαμε, περιλαμβάνει τις Μονάδες Οργάνωσης Προγράμματος ή αλλιώς block κώδικα που περιγράφονται ακολούθως:

Organization Blocks (OBs)

Τα OBs αποτελούν τη διαπαφή μεταξύ του λειτουργικού συστήματος και του προγράμματος χρήστη. Καλούνται από το λειτουργικό σύστημα και ελέγχουν την κυκλική και οδηγούμενη από διακοπές (interrupt-driven) εκτέλεση προγράμματος, την εναρκτήρια συμπεριφορά του PLC και την αντιμετώπιση λαθών.

Τα OBs είναι μπλοκ προγράμματος που «κτίζονται» από άλλες Μονάδες Οργάνωσης Προγράμματος, όπως τα FBs και FCs που θα αναφερθούν παρακάτω, καθώς και από απλές εντολές. Αποφασίζουν την

ακολουθία με την οποία τα διάφορα κομμάτια του προγράμματος εκτελούνται.

Ένα OB μπορεί να διακόψει την εκτέλεση ενός άλλου OB. Το ποιο OB επιτρέπεται να διακόψει ένα άλλο OB εξαρτάται από την προτεραιότητά του. Τα OBs με υψηλότερη προτεραιότητα μπορούν να διακόψουν τα χαμηλότερης προτεραιότητας. «Διακοπές»(interrupts) είναι τα γεγονότα που προκαλούν την κλήση ενός OBs. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλοι οι τύποι OB, η λειτουργία τους, καθώς και η προτεραιότητά τους.

Type of Interrupt	Organization Block	Priority Class (Default)	See also
Main program scan	OB1	1	Organization Block for Cyclic Program Processing (OB1)
Time-of-day interrupts	OB10 to OB17	2	Time-of-Day Interrupt Organization Blocks (OB10 to OB17)
Time-delay interrupts	OB20	3	Time-Delay Interrupt Organization Blocks (OB20 to OB23)
	OB21	4	
	OB22	5	
	OB23	6	
Cyclic interrupts	OB30	7	Cyclic Interrupt Organization Blocks (OB30 to OB38)
	OB31	8	
	OB32	9	
	OB33	10	
	OB34	11	
	OB35	12	
	OB36	13	
	OB37	14	
	OB38	15	

Type of Interrupt	Organization Block	Priority Class (Default)	See also
Hardware interrupts	OB40	16	Hardware Interrupt Organization Blocks (OB40 to OB47)
	OB41	17	
	OB42	18	
	OB43	19	
	OB44	20	
	OB45	21	
	OB46	22	
	OB47	23	
DPV1 interrupts	OB 55	2	Programming DPV1 Devices
	OB 56	2	
	OB 57	2	
Multicomputing interrupt	OB60 Multicomputing	25	Multicomputing - Synchronous Operation of Several CPUs
Synchronous cycle interrupt	OB 61 OB 62 OB 63 OB 64	25	Configuring Short and Equal-Length Process Reaction Times on PROFIBUS-DP
Redundancy errors	OB70 I/O Redundancy Error (only in H systems)	25	"Error Handling Organization Blocks (OB70 to OB87 / OB121 to OB122)"
	OB72 CPU Redundancy Error (only in H systems)	28	
Asynchronous errors	OB80 Time Error OB81 Power Supply Error OB82 Diagnostic Interrupt OB83 Insert/Remove Module Interrupt OB84 CPU Hardware Fault OB 85 Program Cycle Error OB86 Rack Failure OB87 Communication Error	25 (or 28 if the asynchronous error OB exists in the startup program)	Error Handling Organization Blocks (OB70 to OB87 / OB121 to OB122)
Background cycle	OB90	29 ¹⁾	Background Organization Block (OB90)
Startup	OB100 Restart (Warm start)	27	Startup Organization Blocks (OB100/OB101/OB102)
	OB101 Hot Restart	27	
	OB102 Cold Restart	27	
Synchronous errors	OB121 Programming Error OB122 Access Error	Priority of the OB that caused the error	Error Handling Organization Blocks (OB70 to OB87 / OB121 to OB122)
¹⁾ The priority class 29 corresponds to priority 0.29. The background cycle has a lower priority than the free cycle.			

Από τους παραπάνω πίνακες ξεχωρίζουμε δύο βασικούς τύπους OB, οι οποίοι είναι αυτός της κυκλικής εκτέλεσης προγράμματος (cyclic program processing) και αυτός των κυκλικών διακοπών (cyclic interrupt),

Η κυκλική εκτέλεση προγράμματος (cyclic program processing) είναι ο συνηθής τρόπος εκτέλεσης προγράμματος στα PLC. Αυτό σημαίνει ότι το λειτουργικό σύστημα τρέχει σε ένα βρόχο προγράμματος (κύκλος) και εκτελεί το organization block OB1 μια φορά σε κάθε βρόχο. Το πρόγραμμα χρήστη που είναι γραμμένο στο OB1, εκτελείται στο εξής κυκλικά. Η χρονική διάρκεια εκτέλεσης ενός βρόχου εξαρτάται από το πλήθος και το είδος των εντολών του προγράμματος χρήστη. Τα OB κυκλικών διακοπών (cyclic interrupt) εξασφαλίζουν τη διακοπή της εκτέλεσης του προγράμματος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι διακοπές ενεργοποιούνται σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Τα OBs της κατηγορίας αυτής, που φαίνονται στο παραπάνω πίνακα, αντιστοιχούν το καθένα σε διαφορετικό και ορισμένο εκ των προτέρων χρονικό διάστημα διακοπής. Το PLC που χρησιμοποιήσαμε υποστηρίζει μόνο το block κυκλικής διακοπής OB35. Το χρονικό διάστημα διακοπής μπορεί να καθοριστεί από το χρήστη μέσω των ρυθμίσεων hardware της CPU του PLC.

Function Blocks (FB)

Τα Function Blocks (FBs) ανήκουν στις Μονάδες Οργάνωσης Προγράμματος που ο χρήστης μπορεί να προγραμματίσει ο ίδιος. Διαθέτουν μία ή περισσότερες εισόδους και ομοίως μια ή περισσότερες εξόδους. Τέτοια μπλοκ διαθέτουν μνήμη, καθώς είναι αντιστοιχισμένα σε ένα μπλοκ δεδομένων (data block) έκαστο, το οποίο και αποτελεί τη μνήμη τους (instance data block). Οι παράμετροι που μεταφέρονται στο FB και οι στατικές μεταβλητές αποθηκεύονται στο instance data block. Οι προσωρινές μεταβλητές είναι αποθηκευμένες στη στοίβα τοπικών δεδομένων. Τα περιεχόμενα του instance data block δε χάνονται μετά την εκτέλεση του FB, σε αντίθεση με αυτά της στοίβας τοπικών δεδομένων που παύουν να υπάρχουν.

Το γεγονός ότι τα function block διαθέτουν μνήμη σημαίνει ότι οι τιμές των εξόδων εξαρτώνται εκτός από τις τιμές των εισόδων και από την αποθηκευμένη πληροφορία στα instance data blocks. Περισσότερα για τα FBs και τη διασύνδεσή τους με τα instance data block θα αναφερθούν στη συνέχεια, αφού γίνει περαιτέρω κατανοητή και η λειτουργία των instance data block.

System function blocks (SFBs)

Τα System function blocks (SFBs) είναι ενσωματωμένα στη S7 CPU και δίνουν στο χρήστη πρόσβαση σε σημαντικά function block του συστήματος. Αυτά τα function block δε χρειάζεται να τα προγραμματίσει ο ίδιος ο χρήστης, αλλά μπορεί να τα καλέσει στο πρόγραμμά του. Τα SFBs, είναι μέρος του λειτουργικού συστήματος και δεν φορτώνονται σαν μέρος του προγράμματος. Όπως και τα FBs διαθέτουν μνήμη, δηλαδή η κλήση τους πρέπει να συνοδεύεται από τη δημιουργία ενός instance data block, έτσι ώστε να φορτωθούν στη CPU ως μέρος του προγράμματος. Οι S7 CPUs παρέχουν SFBs για επικοινωνίες μέσω ρυθμισμένων συνδέσεων, καθώς και για ενσωματωμένες ειδικές συναρτήσεις.

Instance Data Blocks (instance DBs)

Τα Instance Data Blocks (instance DBs), όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σχετίζονται με την κλήση ενός FB ή SFB. Δημιουργούνται αυτόματα κατά τη διάρκεια της μεταγλώττισης (compilation). Οι πραγματικές παράμετροι και οι στατικές μεταβλητές ενός FB αποθηκεύονται σε ένα τέτοιο μπλοκ. Με τον όρο instance εννοούμε την κλήση ενός FB. Έτσι για παράδειγμα, αν ένα FB καλείται πέντε φορές στο πρόγραμμα χρήστη, υπάρχουν πέντε instances αυτού του μπλοκ. Η δημιουργία ενός instance DB προϋποθέτει την ύπαρξη του αντίστοιχου FB, επομένως είναι απαραίτητη η δήλωση του αριθμού του FB κατά τη δημιουργία του instance DB.

Η ύπαρξη αυτού του είδους μνήμης παρέχει μια σειρά πλεονεκτημάτων στο προγραμματιστή, ανάλογα με τον τρόπο που τα χρησιμοποιεί και τα αντιστοιχεί στα διάφορα FBs.

Πρώτα απ' όλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα instance data block για κάθε ξεχωριστή κλήση ενός FB. Το γεγονός αυτό καθιστά τα FBs απολύτως επαναχρησιμοποιήσιμα, καθώς με ένα τέτοιο μπλοκ μπορούν να ελεγχθούν πλήθος ομοειδών συσκευών εξόδου (πχ διαφορετικοί κινητήρες). Τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε συσκευή μπορούν να είναι αποθηκευμένα σε διαφορετικό instance DB. Είναι προφανές ότι το DB που θα ανατεθεί στο δεδομένο FB, είναι αυτό που θα καθορίσει ποια θα είναι η προς έλεγχο συσκευή εξόδου.

Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός instance DB για διαφορετικές κλήσεις ενός FB. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να μεταφέρουμε ταυτόχρονα τα ίδια δεδομένα για μια σειρά συσκευών προς έλεγχο. Με τη μέθοδο αυτή συντελείται εξοικονόμηση μνήμης και βελτιστοποιημένη χρήση των μπλοκ δεδομένων.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός instance DB, για διαφορετικές κλήσεις, διαφορετικών FBs. Μέσα σε ένα FB είναι δυνατή η κλήση άλλων υπαρχόντων FBs. Ο χρήστης μπορεί να αναθέσει τα δεδομένα κλήσης (instance data) που απαιτούνται για αυτό στο instance DB του υπάρχοντος FB, επομένως στην περίπτωση αυτή δεν απαιτούνται επιπλέον DBs για τα καλούμενα FBs.

Στα πλαίσια της σύντομης αυτής παρουσίασης δεν κρίνεται σκόπιμη περαιτέρω αναφορά στον προγραμματισμό των τριών παραπάνω μεθόδων. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο αναγνώστης μπορεί να απευθυνθεί στο αντίστοιχο τεχνικό εγχειρίδιο της Siemens.

Functions (FCs)

Οι Functions (FCs) ανήκουν και αυτές στα μπλοκ που προγραμματίζει ο ίδιος ο χρήστης, Μπορεί να έχουν περισσότερες από μια εισόδους, αλλά μόνο μια έξοδο. Σε αντίθεση με τα FBs που αναφέρθηκαν παραπάνω, δε διαθέτουν μνήμη. Οι προσωρινές μεταβλητές που ανήκουν στη FC αποθηκεύονται στη στοίβα τοπικών δεδομένων, συνεπώς η ύπαρξη τους παύει με το πέρας της εκτέλεσης της Function. Επιπλέον δεν είναι δυνατή η ανάθεση αρχικών τιμών στα τοπικά δεδομένα μιας FC. Από το γεγονός αυτό, και αν συνυπολογίσουμε την απουσία μνήμης, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η εκτέλεση μιας FC με τις ίδιες τιμές εισόδου, δίνει κάθε φορά τα ίδια αποτελέσματα στην έξοδο. Εκτός των FCs που γράφει ο χρήστης, ο κατασκευαστής παρέχει έτοιμες και κάποιες Standard FCs, πχ AND, ADD, OR, SQRT κλπ, μερικές εκ των οποίων είναι επεκτάσιμες, δίνουν δηλαδή τη δυνατότητα στο χρήστη να αποφασίσει το πλήθος των εισόδων τους. Μια FC από τη στιγμή που θα ορισθεί μπορεί να κληθεί όσες φορές θέλει ο χρήστης μέσα στο πρόγραμμα χωρίς περιορισμούς.

System Functions (SFCs)

Κατ' αντιστοιχία με τις SFBs υπάρχουν και οι System Functions, που είναι και αυτές ενσωματωμένες στην S7 CPU. Η κλήση τους μπορεί να γίνει μέσα από το πρόγραμμα χρήστη. Οι SFCs είναι μέρος του λειτουργικού συστήματος και δε φορτώνονται σα μέρος του προγράμματος. Όπως και οι απλές

FCs, οι SFCs είναι μπλοκ χωρίς μνήμη. Οι SFCs που παρέχονται από τις S7 CPUs έχουν ποικιλία λειτουργιών όπως είναι ο έλεγχος προγράμματος, η μεταφορά πακέτων δεδομένων, η ανανέωση των μνημών απεικόνισης εισόδων/εξόδων, η διευθυνσιοδότηση των βαθμίδων κλπ.

Shared Data Blocks (DBs)

Τα Shared DBs είναι περιοχές δεδομένων για αποθήκευση των δεδομένων χρήστη. Εκτός από τα δεδομένα που είναι αντιστοιχισμένα σε ένα FB ή SFB τα Shared Data μπορούν να ορισθούν και να χρησιμοποιηθούν από κάθε μπλοκ. Σε αντίθεση με τα λογικά μπλοκ (OBs, FCs, FBs, SFCs, SFBs), τα DBs δεν περιέχουν εντολές της STEP 7. Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση δεδομένων χρήστη, δηλαδή περιέχουν δεδομένα-μεταβλητές με τα οποία το πρόγραμμα χρήστη λειτουργεί. Το μέγεθός τους ποικίλει με το μέγιστο μέγεθος να εξαρτάται από τον τύπο της CPU.

Όταν καλείται ένα λογικό μπλοκ (OB, FC, FB) μπορεί να καταλαμβάνει προσωρινά, χώρο στην περιοχή μνήμης τοπικών δεδομένων. Εκτός της περιοχής αυτής, ένα λογικό μπλοκ μπορεί να δεσμεύσει μια περιοχή μνήμης με τη μορφή ενός DB, από το οποίο μπορεί να διαβάσει ή να γράψει δεδομένα. Σε αντίθεση με τα δεδομένα στην περιοχή τοπικών δεδομένων, τα δεδομένα σε ένα DB δε σβήνονται όταν αυτό κλείσει, δηλαδή μετά την εκτέλεση του λογικού μπλοκ που το καλεί.

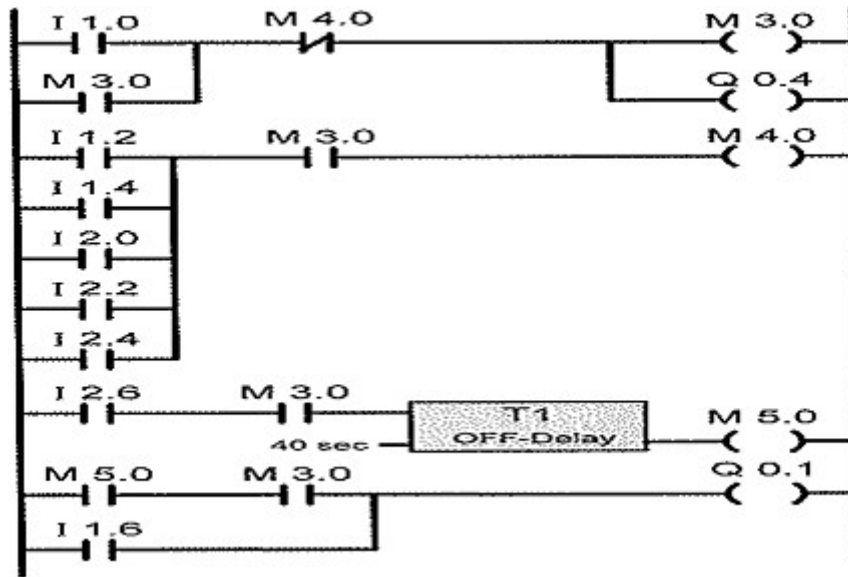
Είναι φανερό ότι η διαφορά ενός instance και ενός shared DB, έγκειται στο γεγονός ότι το instance αντιστοιχεί αποκλειστικά σε ένα FB, ενώ τα shared είναι προσβάσιμα από κάθε λογικό μπλοκ.

3.4.1 Γλώσσες προγραμματισμού

Οι γλώσσες προγραμματισμού των PLC ορίζονται από το τρίτο μέρος του διεθνούς προτύπου IEC 61131-3 το οποίο είναι αποδεκτό από το σύνολο των κατασκευαστών PLC. Το πρότυπο αυτό ενσωματώνει πέντε προσεγγίσεις προγραμματισμού οι οποίες είναι το κλιμακωτό διάγραμμα (Ladder Diagram ή LAD), το διάγραμμα λογικών γράφων (Function Block Diagram, FBD), η λίστα εντολών (Statement List-STL), το δομημένο κείμενο (Structured Text, ST) και τέλος ο γράφος διαδοχικών λειτουργιών (Sequential Function Chart, SFC). Από αυτές τις πέντε προσεγγίσεις η STEP 7 υποστηρίζει τις τρεις πρώτες (LAD, FBD, STL) για τις οποίες κρίνεται σκόπιμη περαιτέρω αναφορά. Οι άλλες γλώσσες προγραμματισμού είναι στη STEP 7 διαθέσιμες μέσω προαιρετικών πακέτων.

Κλιμακωτό διάγραμμα (Ladder Diagram, LAD)

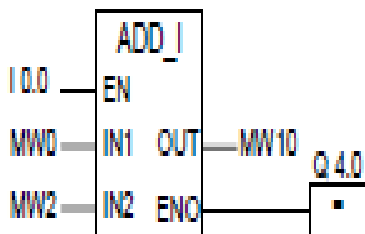
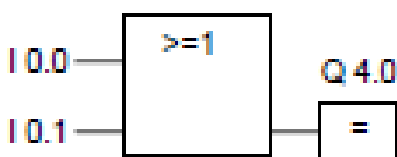
Το κλιμακωτό διάγραμμα (LAD) είναι μια γραφική αναπαράσταση της γλώσσας προγραμματισμού της STEP 7. Η μορφή του είναι παρόμοια με τα αυτή των κλασικών συρματομένων κυκλωμάτων αυτοματισμού, έτσι ώστε να είναι οικεία στο μηχανικό αυτοματισμών. Η LAD επιτρέπει στον προγραμματιστή να κατευθύνει τη ροή ισχύος, καθώς αυτή περνά από ποικίλες επαφές, περίπλοκα στοιχεία, και πηνία εξόδων. Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται ένα πρόγραμμα PLC γραμμένο σε γλώσσα LAD.



Εικόνα 3.4.1 Γλώσσα ladder

Διάγραμμα Λογικών Γράφων (Function Block Diagram, FBD)

Το διάγραμμα λογικών γράφων (FBD) είναι και αυτό μια γραφική απεικόνιση της γλώσσας προγραμματισμού της STEP 7. Χρησιμοποιεί ως σύμβολα για την αναπαράσταση της λογικής, ορθογώνια σχήματα (μπλοκ), τα οποία περιέχουν λογικές συναρτήσεις, που είναι οικείες στον προγραμματιστή από την άλγεβρα Boole. Επιπλέον είναι δυνατή η απευθείας αναπαράσταση σύνθετων συναρτήσεων, πχ μαθηματικών συναρτήσεων, σε συνδυασμό με τα λογικά μπλοκ. Παραδείγματα τέτοιων στοιχείων προγραμματισμού σε FBD φαίνονται στα σχήματα.



Εικόνες 3.4.2 Πύλες

Λίστα εντολών (Statement List, STL)

Η λίστα εντολών (STL) είναι γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη σε κείμενο. Είναι χαμηλού επιπέδου και ομοιάζει με τη γλώσσα μηχανής. Όταν το πρόγραμμα είναι γραμμένο σε STL, οι μεμονωμένες εντολές αντιστοιχούν στα βήματα με τα οποία η CPU εκτελεί το πρόγραμμα. Για τη διευκόλυνση του προγραμματισμού, η STL έχει επεκταθεί για να περιλαμβάνει και κάποιες δομές προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Κάθε εντολή της γλώσσας αυτής χωρίζεται σε δυο μέρη: τη λειτουργία που επιτελεί η εντολή, και το όνομα της μεταβλητής για την οποία θα υλοποιηθεί η λειτουργία αυτή. Και τα δυο μέρη της εντολής συντομογραφούνται κατά το μέγιστο δυνατό, με τις εντολές να γράφονται η μια κάτω από την άλλη εν είδει λίστας, εξ ου και το όνομα της γλώσσας. Τα προγράμματα που γράφτηκαν στα πλαίσια της παρούσης διπλωματικής είναι όλα γραμμένα σε αυτή τη γλώσσα προγραμματισμού.

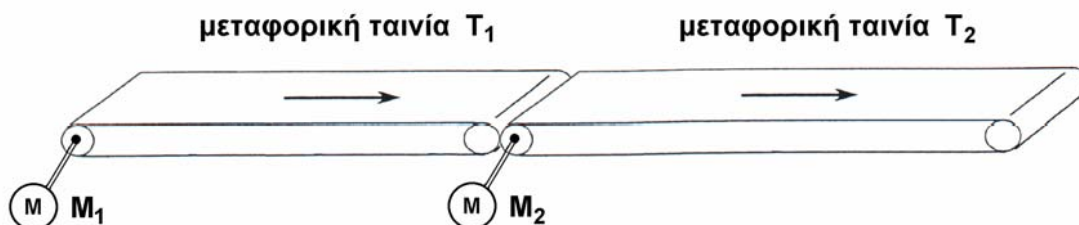
3.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ PLC

3.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Αυτοματισμός δύο μεταφορικών ταινιών

Περιγραφή της εφαρμογής.

Στο σχήμα 1 φαίνονται δύο μεταφορικές ταινίες T_1 και T_2 που κινούνται από τους ηλεκτροκινητήρες M_1 και M_2 αντίστοιχα και μεταφέρουν κιβώτια σε μια παραγωγική διαδικασία.



Εικόνα 3.5.1

1. Οι ταινίες T_1 και T_2 ξεκινούν πιέζοντας το μπουτόν S1 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”.
2. Για να σταματήσουν να λειτουργούν οι ταινίες πιέζεται το μπουτόν S2 επαφής “ κανονικά κλειστής ”. Προκειμένου να μεταφερθούν τα κιβώτια που βρίσκονται επάνω στις ταινίες, οι T_1 και T_2 σταματούν αντίστοιχα 30 sec και 70 sec μετά την πίεση του S2.
3. Όταν σταματήσει η ταινία T_1 λόγω υπερφόρτισης του κινητήρα που την κινεί, προκειμένου να μεταφερθούν τα κιβώτια που βρίσκονται επάνω στην ταινία T_2 , η τελευταία συνεχίζει να λειτουργεί ακόμη για 40 sec και στη συνέχεια σταματά.
4. Όταν σταματήσει η ταινία T_2 λόγω υπερφόρτισης του κινητήρα που την κινεί, σταματά αμέσως και η ταινία T_1 .

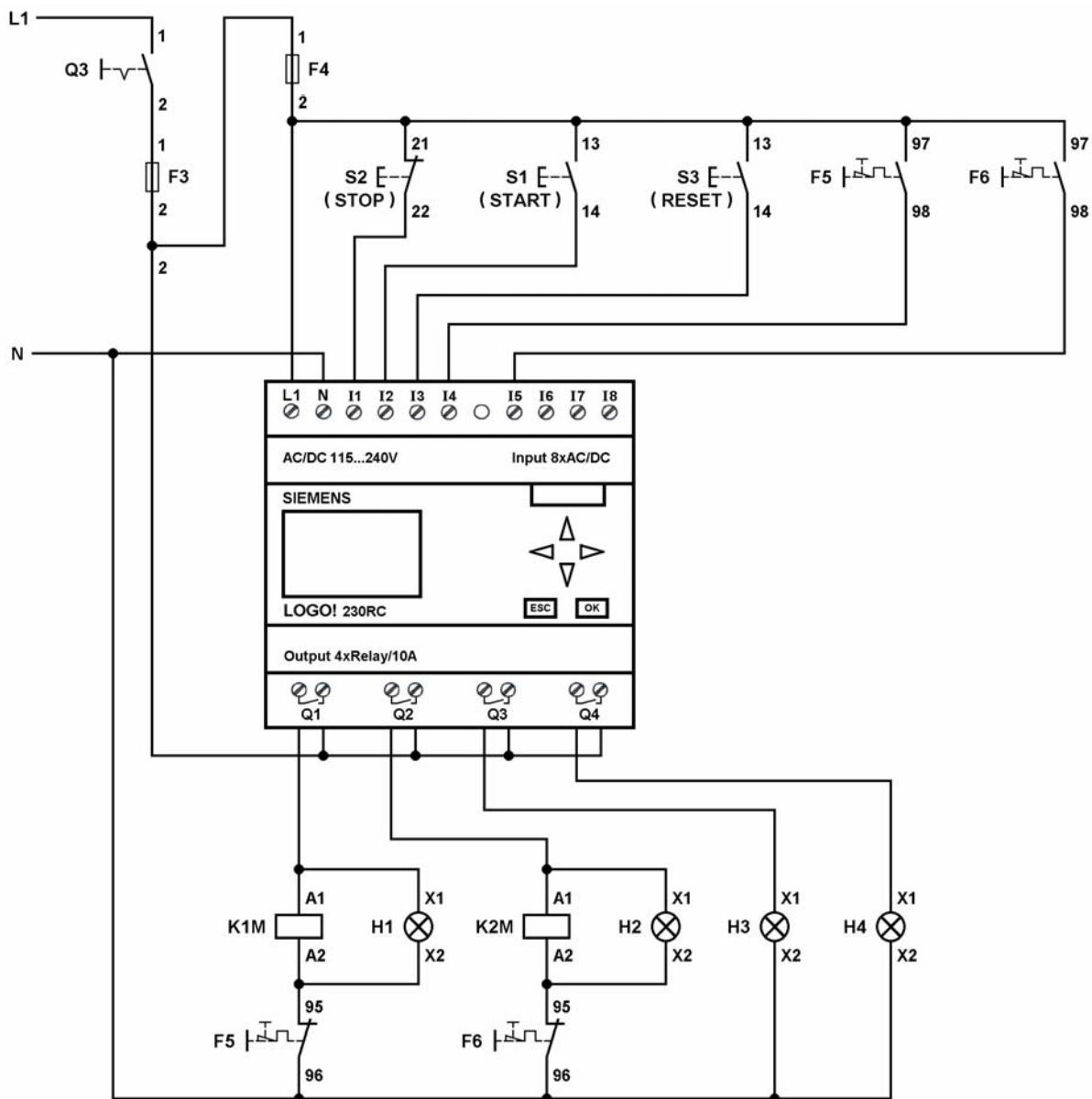
5. Η υπερφόρτιση των κινητήρων M_1 και M_2 δηλώνεται από τις λυχνίες ένδειξης H3 και H4 αντίστοιχα, οι οποίες αναβοσβήνουν με συχνότητα 2 Hz. Το αναβόσβημα μιας λυχνίας ένδειξης παύει με την πίεση ενός μπουτόν S3 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”.
6. Η λειτουργία των κινητήρων M_1 και M_2 δηλώνεται από τις λυχνίες ένδειξης H1 και H2 αντίστοιχα.
7. Να γραφεί πρόγραμμα για PLC με το οποίο να ελέγχεται η λειτουργία των ταινιών της παραπάνω παραγωγικής διαδικασίας.

Επίλυση της εφαρμογής.

Χαρακτηρισμός εισόδων και εξόδων του PLC

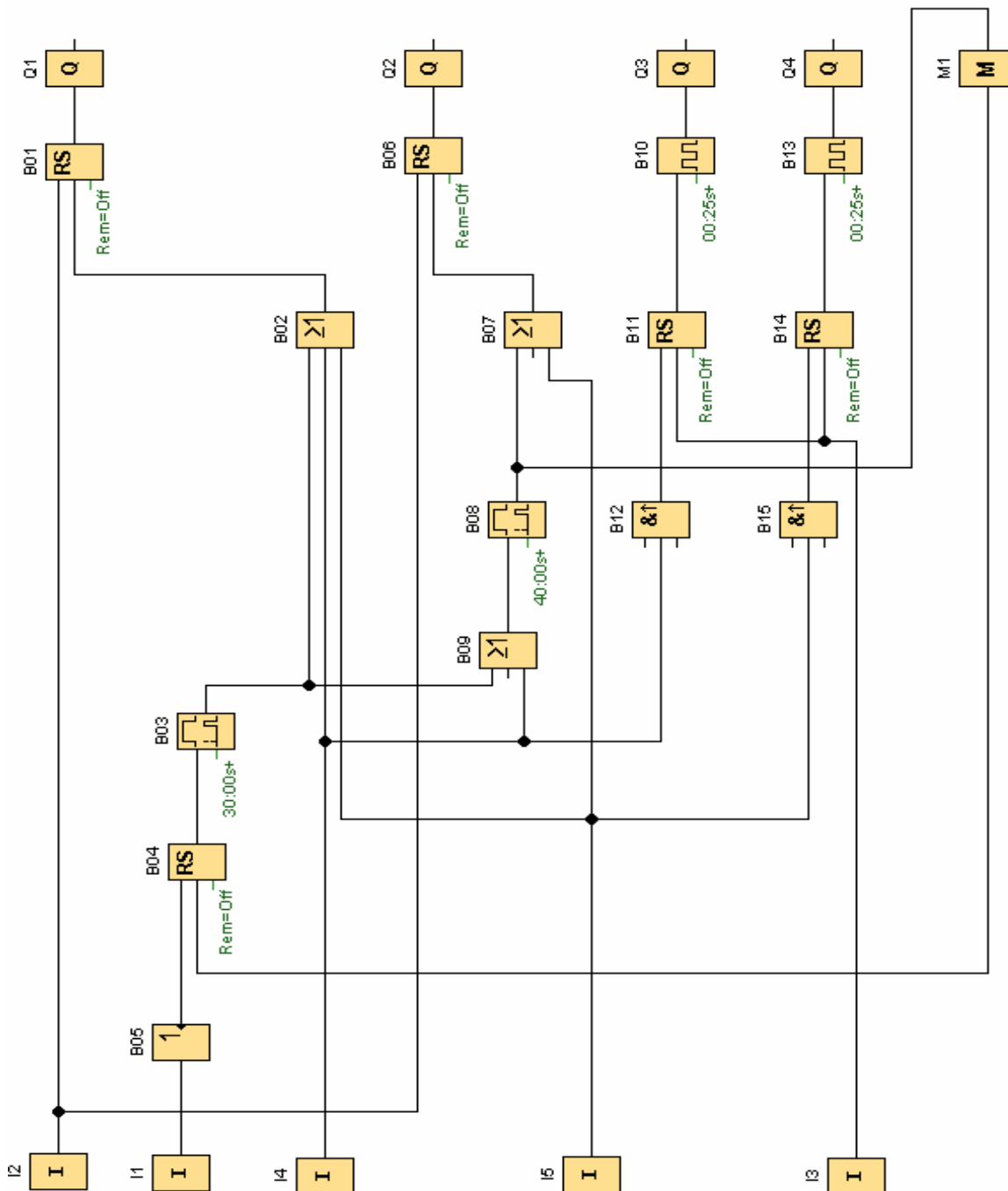
Περιγραφή	Χαρακτηρισμός
Είσοδοι	
Μπουτόν S1 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”	I 2
Μπουτόν S2 επαφής “ κανονικά κλειστής ”	I 1
Μπουτόν S3 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”	I 3
Επαφή 97-98 θερμικού F5 (ηλεκτροκινητήρας M_1)	I 4
Επαφή 97-98 θερμικού F6 (ηλεκτροκινητήρας M_2)	I 5
Εξοδοι	
Πηνίο ηλεκτρονόμου ισχύος K1M (και λυχνία ένδειξης λει- τουργίας H1 του ηλεκτροκινητήρα M_1)	Q 1
Πηνίο ηλεκτρονόμου ισχύος K1M (και λυχνία ένδειξης λει- τουργίας H2 του ηλεκτροκινητήρα M_2)	Q 2
Λυχνία ένδειξης H3	Q 3
Λυχνία ένδειξης H4	Q 4

Καλωδίωση του PLC



Εικόνα 3.5.1.2

Πρόγραμμα λειτουργίας του αυτοματισμού



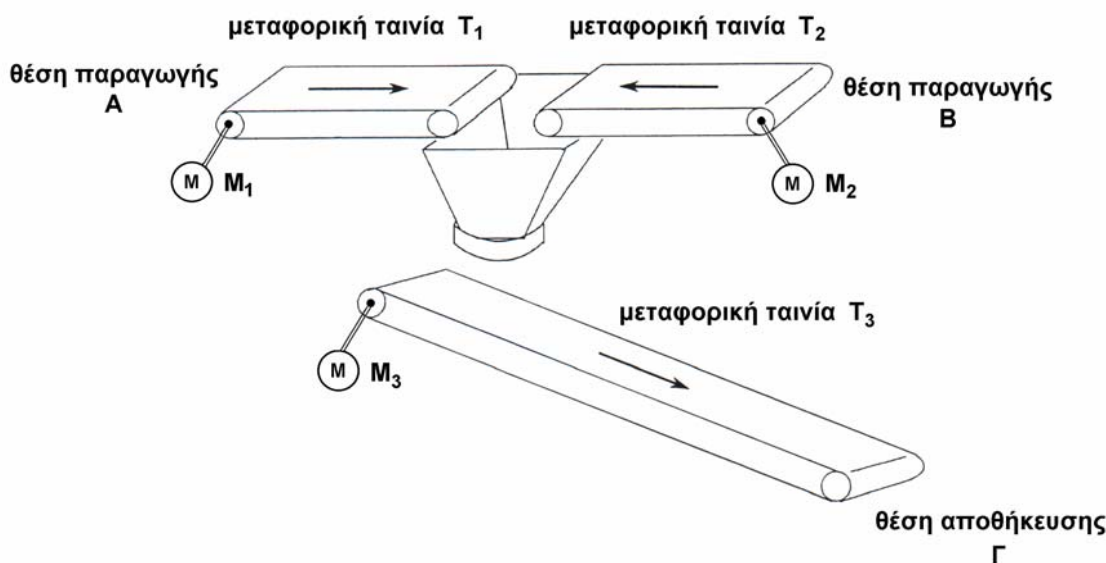
Εικόνα 3.5.1.3

3.5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Εγκατάσταση μεταφοράς υλικών

Περιγραφή της εφαρμογής.

Στο σχήμα 1 φαίνεται μια εγκατάσταση παραγωγής, όπου σακιά με αλεύρι μεταφέρονται από τη θέση παραγωγής A ή τη θέση παραγωγής B στην τελική θέση αποθήκευσης Γ με τις μεταφορικές ταινίες T_1 , T_2 και T_3 . Οι ταινίες T_1 , T_2 και T_3 κινούνται από τους ηλεκτροκινητήρες M_1 , M_2 και M_3 αντίστοιχα.



Εικόνα 3.5.2.1

1. Η ταινία T_1 ξεκινά πιέζοντας το μπουτόν S1 επαφής “ κανονικά ανοικτής ” και η ταινία T_2 πιέζοντας το μπουτόν S2 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”. Για να υπάρχει ομαλή ροή των σακίων προς τη ταινία T_3 , πρέπει να βρίσκεται σε λειτουργία μόνο μια από τις ταινίες T_1 , T_2 .
2. Η ταινία T_3 ξεκινά, όταν τεθεί σε λειτουργία μια από τις ταινίες T_1 , T_2 .
3. Για να σταματήσει να λειτουργεί η ταινία T_1 πιέζεται το μπουτόν S3 επαφής “ κανονικά κλειστής ”. Προκειμένου να μεταφερθούν στη θέση αποθήκευσης τα σακιά που βρίσκονται επάνω στις ταινίες T_1 και T_3 , οι T_1 και T_3 σταματούν αντίστοιχα 30 sec και 70 sec μετά την πίεση του S3.
4. Για να σταματήσει να λειτουργεί η ταινία T_2 πιέζεται το μπουτόν S3 επαφής “ κανονικά κλειστής ”. Προκειμένου να μεταφερθούν στη θέση αποθήκευσης τα σακιά που βρίσκονται επάνω στις ταινίες T_2 και T_3 , οι T_2 και T_3 σταματούν αντίστοιχα 30 sec και 70 sec μετά την πίεση του S3.
5. Όταν σταματήσει η ταινία T_1 ή η ταινία T_2 λόγω υπερφόρτισης του κινητήρα που την κινεί, προκειμένου να μεταφερθούν στη θέση αποθήκευσης τα σακιά που βρίσκονται επάνω στην ταινία T_3 , η τελευταία συνεχίζει να λειτουργεί ακόμη για 40 sec και στη συνέχεια σταματά.
6. Όταν σταματήσει η ταινία T_3 λόγω υπερφόρτισης του κινητήρα που την κινεί, σταματά αμέσως και η ταινία T_1 ή η ταινία T_2 (όποια λειτουργεί).

7. Η υπερφόρτιση των κινητήρων M_1 , M_2 και M_3 δηλώνεται από τις λυχνίες ένδειξης H_4 , H_5 και H_6 αντίστοιχα, οι οποίες αναβοσβήνουν με συχνότητα 2 Hz. Το αναβόσβημα μιας λυχνίας ένδειξης παύει με την πίεση ενός μπουτόν S_4 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”.
8. Η λειτουργία των κινητήρων M_1 , M_2 και M_3 (η κίνηση των ταινιών T_1 , T_2 , T_3) δηλώνεται από τις λυχνίες ένδειξης H_1 , H_2 και H_3 αντίστοιχα.
9. Οι κινητήρες M_1 , M_2 και M_3 τροφοδοτούνται από τα ρελέ ισχύος $K1M$, $K2M$ και $K3M$ αντίστοιχα.
10. Να γραφεί πρόγραμμα για PLC με το οποίο να ελέγχεται η λειτουργία της παραπάνω εγκατάστασης μεταφοράς υλικών.

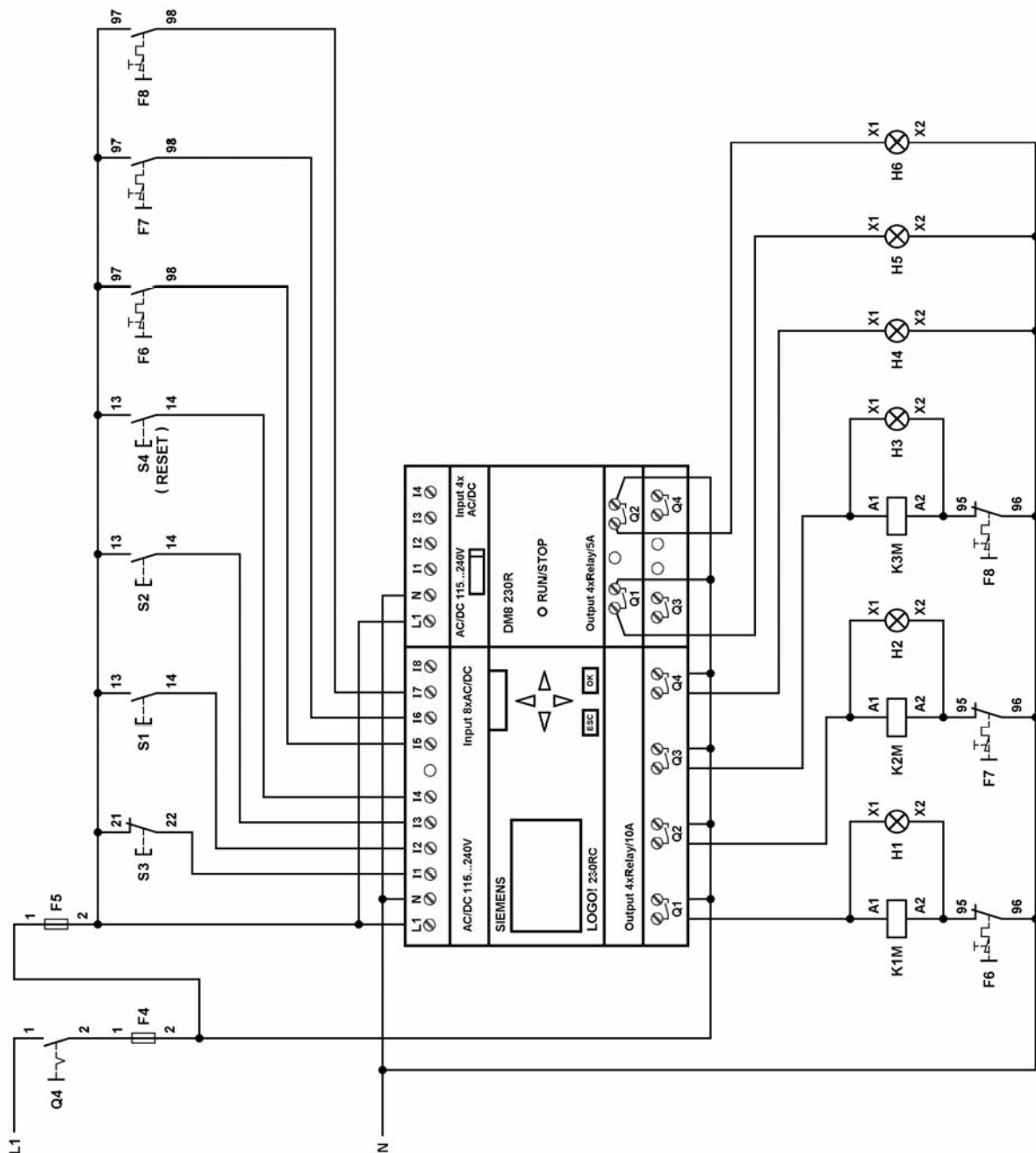
Επίλυση της εφαρμογής.

Χαρακτηρισμός εισόδων και εξόδων του PLC

Περιγραφή	Χαρακτηρισμός
Είσοδοι	
Μπουτόν S_1 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”	I 2
Μπουτόν S_2 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”	I 3
Μπουτόν S_3 επαφής “ κανονικά κλειστής ”	I 1
Μπουτόν S_4 επαφής “ κανονικά ανοικτής ”	I 4
Επαφή 97-98 θερμικού F_6 (ηλεκτροκινητήρας M_1)	I 5
Επαφή 97-98 θερμικού F_7 (ηλεκτροκινητήρας M_2)	I 6
Επαφή 97-98 θερμικού F_8 (ηλεκτροκινητήρας M_3)	I 7
Εξόδοι	
Πηνίο ηλεκτρονόμου ισχύος $K1M$ (ηλεκτροκινητήρας M_1)	Q 1
Πηνίο ηλεκτρονόμου ισχύος $K2M$ (ηλεκτροκινητήρας M_2)	Q 2
Πηνίο ηλεκτρονόμου ισχύος $K3M$ (ηλεκτροκινητήρας M_3)	Q 3
Λυχνία ένδειξης H_4	Q 4
Λυχνία ένδειξης H_5	Q 5
Λυχνία ένδειξης H_6	Q 6

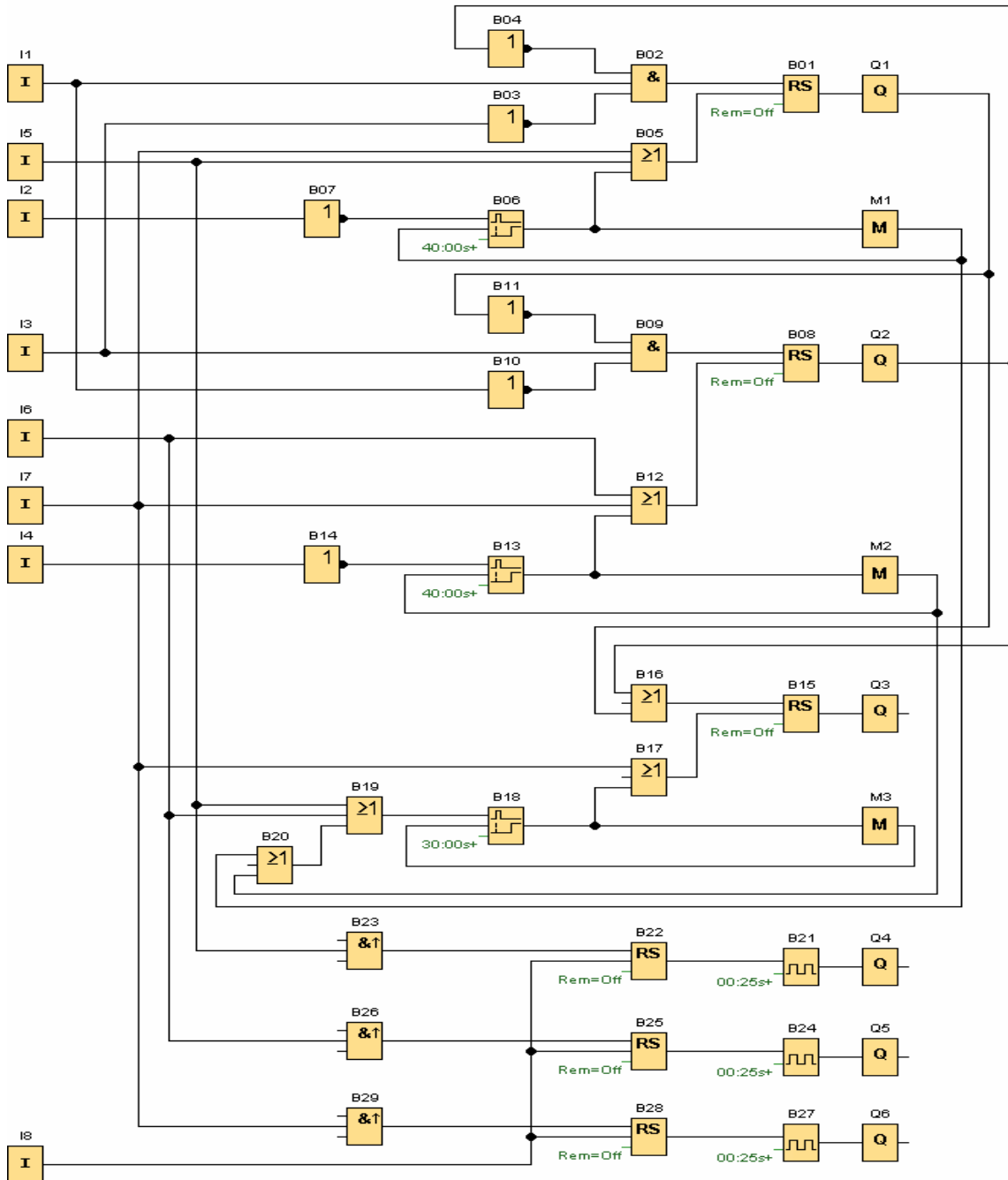
Καλωδίωση του PLC.

Πρόγραμμα λειτουργίας του αυτοματισμού



Εικόνα 3.5.2.2

Το πρόγραμμα λειτουργίας του αυτοματισμού



Εικόνα 3.5.2.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

4.1 Περιγραφή σερβοκινητήρων και εφαρμογές τους

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα διάφορα είδη σερβοκινητήρων και θα περιγραφούν περιληπτικά οι σερβοκινητήρες AC/ DC και οι δυνατότητες που έχουμε κατά την λειτουργία τους. Επίσης, θα γίνει αναφορά και στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων αλλά και στην μεγάλη γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

4.2 Εξέλιξη

Η προέλευση της λέξης σερβοκινητήρας προέρχεται από το γαλλικό Le Servomoteur που στα ελληνικά μεταφράζεται ως “δούλος κινητήρας”. Συγκεκριμένα η λέξη servo προέρχεται από τη Λατινική γλώσσα στην οποία servus σημαίνει “υπηρέτης” και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον J.L. Farcot το 1868 για να περιγράψει την χρήση υδραυλικών κινητήρων και ατμοκίνητων μηχανών στο πηδάλιο ενός πλοίου. Ο πρώτος ηλεκτροκίνητος σερβομηχανισμός κατασκευάστηκε το 1898 από τον Άγγλο H. Calendar. Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου και κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται έλεγχος ταχύτητας, θέσης και ροπής του άξονα του κινητήρα. Κλασικά παραδείγματα είναι η χρησιμοποίηση τους σε ρομποτικούς βραχίονες, αυτόματες εργαλειομηχανές, τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα και σε αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων. Με την εξέλιξη των σερβοκινητήρων, η τεχνολογία πέρασε από τον κλασικό έλεγχο ταχύτητας (speed control) στο συνολικό έλεγχο κίνησης (motion control). Αυτή η εφαρμογή ήταν καθοριστική τόσο για την εξέλιξη της ρομποτικής όσο και πολλών άλλων νέων τεχνολογιών.

4.3 Γενικά χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων είναι τα βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, όπως η πυκνότητα ισχύος, η ροπή αδράνειας, ο βαθμός απόδοσης και χρησιμοποιούνται σε κινητήρια συστήματα υψηλών απαιτήσεων, όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ακρίβεια και γρήγορη ταχύτητα απόκρισης του συστήματος σε έλεγχο ροπής, ταχύτητας και θέσης. Ο σερβοκινητήρας ουσιαστικά μας δίνει τη δυνατότητα, εκτός από την απλή ρύθμιση των στροφών και της ταχύτητας που γίνονται και στους συνήθεις κινητήρες με ρυθμιστές στροφών και inverters, να γίνεται πραγματικός έλεγχος της θέσης του άξονα του κινητήρα (positioning). Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο σώμα του κινητήρα ενός συγκεκριμένου αισθητηρίου (resolver ή encoder) που ελέγχει με συγκεκριμένες διαδικασίες την ταχύτητα και τη θέση του άξονα του κινητήρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε σερβοκινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

- Η ροπή του κινητήρα που είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης ελέγχου, η οποία αναπτύσσεται από τον ενισχυτή λόγω του σφάλματος στην είσοδο του.
- Η φορά της ροπής που καθορίζεται από την πολικότητα (στιγμιαία) της τάσης ελέγχου.

Ένας σερβοκινητήρας πρέπει να αναπτύσσει υψηλή ροπή ώστε να αλλάζει γρήγορα η ταχύτητα του, να περιστρέφεται σταθερά σε μεγάλη περιοχή ταχυτήτων και να έχει υψηλή ταχύτητα απόκρισης στις εντολές του συστήματος ελέγχου. Οι σερβοκινητήρες δεν μπορούν να επιτελέσουν την τόσο σημαντική λειτουργία τους λειτουργώντας μεμονωμένα, αλλά αποτελούν το βασικό στοιχείο ενός συνολικού συστήματος αυτοματισμού που επιτελεί έλεγχο κίνησης. Στο συνολικό σερβόσυστημα εντάσσονται εκτός από τον σερβοκινητήρα, η μονάδα ελέγχου που στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι ένα PLC και ο σερβοενιχυτής (servodrive) που αποτελεί τον ενδιάμεσο κρίκο μεταξύ της μονάδας ελέγχου και του σερβοκινητήρα. Οι σερβοκινητήρες κατασκευαστικά μοιάζουν πολύ με τους κοινούς κινητήρες, παρόλα αυτά δεν είναι οι ίδιοι. Διαφέρουν στο ότι ενσωματώνουν διατάξεις μέτρησης και σύστημα ανάδρασης το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σερβομηχανισμό οδήγησης με σκοπό να ελεγχθεί είτε η ροπή, είτε η ταχύτητα του, είτε η θέση του. Μερικές φορές μάλιστα, έχουμε σύνδεση ειδικών ανεμιστήρων ώστε να εξασφαλίζεται η ψύξη του κινητήρα στις χαμηλές στροφές. Οι διατάξεις μέτρησης και ανάδρασης συνήθως ελέγχουν τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που οδηγούν το κινητήρα μέσω διαφόρων σημάτων και σε τυχόν εξωτερικές διαταραχές των παραμέτρων ταχύτητας, ροπής και θέσης ο σερβοκινητήρας αποκρίνεται ανάλογα και με γρήγορη ταχύτητα. Επίσης, η χρήση της ανάδρασης κάνει το σύστημα μας σχετικά ανεπηρέαστο σε πιθανές εξωτερικές διαταραχές και εσωτερικές μεταβολές των παραμέτρων του συστήματος. Ο σερβομηχανισμός οδήγησης συνίσταται στο σερβοενιχυτή που αποτελεί ένα ξεχωριστό στοιχείο του σερβόσυστηματος. Ωστόσο το σύστημα ανάδρασης είναι ενσωματωμένο στο σερβοκινητήρα. Οι περισσότεροι σερβοκινητήρες φέρουν ενσωματωμένη μια παλμογεννήτρια αυξητικού ή απόλυτου τύπου και άλλα εξαρτήματα και συσκευές όπως: διάταξη απόσβεσης ταλαντώσεων, φρένο και κωδικοποιητή. Αν η παλμογεννήτρια είναι αυξητικού τύπου τότε παράγουν ένα συγκεκριμένο αριθμό παλμών ανά περιστροφή του άξονα του σερβοκινητήρα, ενώ αν είναι απόλυτου θέσεως τότε δίνουν στην έξοδό τους συγκεκριμένο αριθμό ως αποτέλεσμα μιας ακολουθίας bit. Και στις δύο περιπτώσεις τα σήματα μπορούν να μεταφερθούν στη μονάδα ελέγχου, όπου με τον κατάλληλο προγραμματισμό να επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος του σερβοκινητήρα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να αφορά είτε στη θέση περιστροφής του άξονα ως προς τις 360 μοίρες που συνιστούν μια πλήρη περιστροφή, είτε στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα, είτε στην αναπτυσσόμενη σε αυτόν ροπή.



Εικόνα 4.3.1 Σερβοκινητήρας με σύστημα ψηφιακών-συλλέκτη και ενσωματωμένο κωδικοποιητή, ταχογεννήτρια και φρένο

Αν εξετάσει κανείς τους σερβοκινητήρες από τη σκοπιά των ηλεκτροκινητήρων, από λειτουργική άποψη κύριο γνώρισμα τους είναι η ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες επιταχύνσεις, όταν ξεκινούν από πλήρη ακινησία δηλαδή να έχουν μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης. Για να τα επιτευχθούν αυτά τα δύο θα πρέπει:

- Ο δρομέας να έχει μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο.
- Να υπάρχουν περιελίξεις αντισταθμίσεως οι οποίες επιτρέποντας την ανάπτυξη μεγαλύτερων ρευμάτων αυξάνουν τη ροπή στρέψης.
- Να είναι μειωμένη η σταθερά χρόνου L/R του τυλίγματος του ρότορα.

4.4 Κατηγορίες σερβοκινητήρων

Οι σερβοκινητήρες διακρίνονται στις πιο κάτω κατηγορίες:

Πνευματικοί: κάνουν χρήση της πνευματικής ενέργειας που παρέχεται από ένα συμπιεστή και τη μετασχηματίζουν σε μηχανική ενέργεια με τη βοήθεια πιστονιών ή στροβίλων. Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στον έλεγχο, εξαιτίας της αναπόφευκτης συμπιεστότητας του χρησιμοποιούμενου αερίου. Για το λόγο αυτό και δεν χρησιμοποιούνται συχνά, εκτός από εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο της αρπάγης του εργαλείου.

Υδραυλικοί: μετασχηματίζουν την υδραυλική ενέργεια μίας δεξαμενής σε μηχανική, με χρήση κατάλληλων αντλιών. Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να υλοποιήσουν τόσο μεταφορική (χρήση ενός εμβόλου) όσο και περιστροφική κίνηση (χρήση αξονικών ή ακτινικών εμβόλων).

Ηλεκτρικοί: μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού σε μηχανική. Τα πιο συνηθισμένα είδη ηλεκτρικών κινητήρων είναι οι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος που διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψυκτρών-συλλέκτη (brushless dc servomotors), οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης και οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών (permanent-magnet servomotors).

Οι μαγνήτες που χρησιμοποιούνται στους σερβοκινητήρες είναι οι κεραμικοί μαγνήτες, οι μαγνήτες AlNiCo (αλουμινίου- νικελίου -κοβαλτίου), Σαμαρίου Κοβαλτίου και Νεοδύμιου (rare earth). Απαραίτητα συνοδευτικά εξαρτήματα αυτών των κινητήρων είναι ένας μετασχηματιστής, ένας ανορθωτής τάσης και ένας πυκνωτής. Τα εξαρτήματα αυτά μετασχηματίζουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή κατάλληλου μεγέθους και στη συνέχεια την αποθηκεύουν.



Εικόνα 4.3.2 Σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη (brushless), σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος



Εικόνα 4.3.3 Σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μόνιμου μαγνήτη

Οι υδραυλικοί και ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες παρουσιάζουν ποικίλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τη χρήση τους στις διάφορες εφαρμογές. Σε επίπεδο εγκατάστασης οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες εμφανίζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ευρεία διάθεση της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- χαμηλό κόστος και μεγάλη ποικιλία προϊόντων
- υψηλός συντελεστής μετατροπής ισχύος
- εύκολη συντήρηση
- δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον εργασίας
- είναι διαθέσιμοι σε ένα ευρύτερο φάσμα τιμών ισχύος Ταυτόχρονα όμως παρουσιάζουν τους παρακάτω περιορισμούς:
- χρειάζονται ειδική προστασία, ειδικά όταν λειτουργούν σε εύφλεκτο περιβάλλον
- εξαιτίας της επίδρασης της βαρύτητας (π.χ. σε ένα ρομποτικό βραχίονα) μπορεί να προκληθεί βραχυκύκλωμα. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η χρήση ειδικών φρένων

Από την άλλη πλευρά οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες παρουσιάζουν αρκετά αξιοσημείωτα μειονεκτήματα.

Τα πιο σημαντικά είναι:

- η ανάγκη ύπαρξης πηγής υδραυλικής ισχύος
- το υψηλό κόστος, μικρή ποικιλία προϊόντων και με ιδιαίτερες δυσκολίες κατασκευής τους σε μικρές διαστάσεις
- ο χαμηλός συντελεστής μετατροπής ισχύος
- οι αυξημένες ανάγκες συντήρησης

- η ρύπανση του περιβάλλοντος εργασίας εξαιτίας διαρροών υδραυλικού ρευστού Παρόλα αυτά οφείλουμε να σημειώσουμε ότι οι υδραυλικοί κινητήρες:
- δεν παρουσιάζουν προβλήματα βραχυκυκλώσεων
- είναι αυτολυπαινόμενοι, με το υδραυλικό ρευστό να εκτελεί εκτός των άλλων χρέη ψυκτικού μέσου
- είναι ιδιαίτερος ασφαλείς σε επικίνδυνα περιβάλλοντα
- παρουσιάζουν πολύ υψηλές σχέσεις ισχύος-βάρους

Αν εξετάσουμε τις δύο παραπάνω κλάσεις κινητήρων από πλευράς λειτουργίας θα διαπιστώσουμε ότι και οι δύο τύποι σερβοκινητήρων παρουσιάζουν καλή δυναμική συμπεριφορά, αν και οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες εμφανίζουν μεγαλύτερη ευκολία ελέγχου. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται με την άμεση εξάρτηση της δυναμικής συμπεριφοράς των υδραυλικών σερβοκινητήρων από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το χρησιμοποιούμενο ρευστό. Επίσης οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες δίνουν χαμηλές ροπές σε υψηλές ταχύτητες, για αυτό και σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούνται υψηλές ροπές σε χαμηλές ταχύτητες είναι αναγκαία η χρήση μειωτήρων. Από την άλλη, οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες είναι σε θέση να δημιουργήσουν μεγάλες ροπές σε μικρές ταχύτητες, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η ενδιάμεση χρήση μειωτήρων.

4.4.1 Ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες

Οι βασικότεροι τύποι ηλεκτρικών σερβοκινητήρων περιστροφικής κίνησης είναι οι εξής:

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος: απαιτούν πιο απλό κι οικονομικό έλεγχο προσφέροντας ικανοποιητική δυναμική συμπεριφορά. Ωστόσο, έχουν μικρή πυκνότητα ισχύος, υψηλό κατασκευαστικό κόστος και κυρίως, υψηλό κόστος συντήρησης. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται ακόμη σε πολλά σερβοκινητήρια συστήματα, αλλά αντικαθίστανται συνεχώς από τους σημαντικά πλεονεκτικότερους σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη χωρίς συλλέκτη.

Σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης: αντέχουν σε θερμικές καταπονήσεις, έχουν μικρή αδράνεια και μικρό κόστος κατασκευής. Ωστόσο, μειονεκτούν ως προς το βαθμό απόδοσης και την πυκνότητα ισχύος σε σύγκριση με τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και συνεπώς έχουν περιορισμένη εφαρμογή ως σερβοκινητήρες. Οι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης διακοπτικής διέγερσης έχουν απλή κατασκευή, μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες, έχουν απλό κι οικονομικό έλεγχο κι ανοχή σε σφάλματα φάσεων. Ωστόσο, παράγουν ταλαντώσεις ροπής κι έντονο ακουστικό θόρυβο με αποτέλεσμα η χρησιμοποίησή τους σε σερβοκινητήρια συστήματα να δικαιολογείται μόνο όταν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε σύγκριση με τα μειονεκτήματα είναι σημαντικά για την εφαρμογή.

Σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη: είναι οι κινητήρες που συγκεντρώνουν τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που απαιτεί ένα σερβοκινητήριο σύστημα, όπως μεγάλη πυκνότητα ισχύος, μικρή αδράνεια, σταθερή ροπή κι υψηλό βαθμό απόδοσης. Η τεχνική που χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο των σερβοκινητήρων είναι η τεχνική του διανυσματικού ελέγχου, γιατί επιτυγχάνει ανεξάρτητο έλεγχο της διέγερσης ως προς τον έλεγχο του ρεύματος φορτίου. Έτσι, έχουμε άμεσο έλεγχο της ροπής

με πολύ γρήγορη απόκριση του κινητήρα σε μεταβατικά φαινόμενα (γρήγορες επιταχύνσεις κι επιβραδύνσεις του κινητήρα) καθώς και ακρίβεια σε έλεγχο ταχύτητας και θέσης.

Επαγωγικοί ή ασύγχρονοι κινητήρες: έχουν μικρό κόστος κατασκευής και σχετικά μικρή ροπή αδράνειας, αλλά κυρίως μειονεκτούν ως προς τη πυκνότητα ισχύος σε σύγκριση με τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη. Επίσης, στους επαγωγικούς κινητήρες είναι περισσότερο πολύπλοκη η εφαρμογή του διανυσματικού ελέγχου κι η υλοποίησή του εξαρτάται από τις παραμέτρους της μηχανής. Οι επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μεταβλητής ταχύτητας βαθμωτού ελέγχου V/f , ενώ η χρήση τους ως σερβοκινητήρες είναι περιορισμένη.

4.4.2 Σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Οι μονοφασικοί αποτελούνται από δύο τυλίγματα στο στάτη με τέτοια τοποθέτηση, ώστε να παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90 μοιρών με το ρότορα. Το ένα τύλιγμα ονομάζεται τύλιγμα αναφοράς και τροφοδοτείται από μια εναλλασσόμενη τάση σταθερής τιμής, ενώ το άλλο τύλιγμα είναι τύλιγμα ελέγχου και τροφοδοτείται από την τάση ελέγχου. Όταν λοιπόν εφαρμοστούν αυτές οι τάσεις στα τυλίγματα τότε δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο από τα δύο ρεύματα που διαρρέουν τα τυλίγματα και ο ρότορας περιστρέφεται. Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακές συσκευές, όπως ψυγεία κ.α.

Οι τριφασικοί σερβοκινητήρες αποτελούνται από δύο τυλίγματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένα στο στάτη και ένα στο δρομέα. Το τύλιγμα του στάτη είναι γνωστό και ως τύλιγμα τυμπάνου. Κατασκευαστικά το τύλιγμα του στάτη αποτελείται από τρία όμοια διανεμημένα μονοφασικά τυλίγματα, τοποθετημένα στο χώρο σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνίες 120 μοιρών. Ο αριθμός των πόλων των τυλιγμάτων αυτών, για δεδομένη συχνότητα τροφοδοσίας, καθορίζει τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα. Ανάλογα δε με τις τάσεις τροφοδοσίας και τον τύπο του κινητήρα, τα τυλίγματα του στάτη συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο. Με τους τριφασικούς κινητήρες μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερη αποδοτικότητα και καλύτερο έλεγχο της κίνησης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζουν μεγάλη ροπή στρέψης για μικρές γωνιακές ταχύτητες. Η σχέση μεταξύ ροπής και γωνιακής ταχύτητας είναι όμοια με αυτήν των σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος που ελέγχονται από το ρότορα, δηλαδή η ροπή στρέψης μικραίνει γραμμικά σε συνάρτηση με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας.

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος ποικίλλουν ανάλογα με την ταχύτητα του άξονα, τη ροπή, την τάση του ρεύματος, και την ισχύ εξόδου. Τέλος, οι αναστρεφόμενοι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουν τη δυνατότητα να επιτυγχάνουν ωρολογιακή και αντιωρολογιακή περιστροφή με τα ίδια σχεδόν χαρακτηριστικά λειτουργίας.

4.4.3 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος

Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι βασικά τεσσάρων τύπων:

1. Ο πρώτος τύπος είναι αυτός που τα τυλίγματα του στάτορα τροφοδοτούνται από πηγή σταθερής τάσεως ή ρεύματος, ενώ το τύλιγμα του ρότορα από μια τάση ελέγχου V_e . Οι σερβοκινητήρες αυτοί είναι γνωστοί σαν ελεγχόμενοι από το ρότορα. Σε αυτούς τους σερβοκινητήρες αν διατηρούμε σταθερή την τάση ελέγχου V_e , η ροπή στρέψης μικραίνει γραμμικά καθώς αυξάνει η γωνιακή ταχύτητα ω του κινητήρα.
2. Ο δεύτερος τύπος σερβοκινητήρα είναι ο ελεγχόμενος από το στάτορα. Σε αυτόν τον τύπο το τύλιγμα του ρότορα τροφοδοτείται από μια πηγή σταθερής τάσεως ή ρεύματος, ενώ το τύλιγμα του στάτορα από μια τάση ελέγχου. Σε αυτούς τους σερβοκινητήρες η ροπή στρέψης είναι ανεξάρτητη από τη γωνιακή ταχύτητα του ρότορα και εξαρτάται μόνο από τη σταθερά K και το ρεύμα του στάτορα. Ωστόσο αν το μαγνητικό υλικό εργάζεται στον κόρο, η ροπή στρέψης επηρεάζεται και από τη γωνιακή ταχύτητα του στάτορα και μάλιστα, σε πολύ μεγάλες γωνιακές ταχύτητες η ροπή μικραίνει γιατί αυξάνει πάρα πολύ η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη.
3. Ο τρίτος τύπος είναι ο σερβοκινητήρας με τα τυλίγματα στάτορα και ρότορα σε σύνδεση σειράς. Οι σερβοκινητήρες αυτοί έχουν διπλό τύλιγμα στο στάτορα, έτσι που το καθένα να συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του ρότορα με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων. Η ροπή στρέψης του κινητήρα μεταβάλλεται εκθετικά και εξαρτάται από τα μεγέθη του ρεύματος ελέγχου και της γωνιακής ταχύτητας. Η ροπή στρέψης είναι πολύ μεγάλη κατά την εκκίνηση οπότε η γωνιακή ταχύτητα είναι μικρή, ενώ μικραίνει απότομα όταν η γωνιακή ταχύτητα μεγαλώνει. Χρησιμοποιείται κυρίως εκεί όπου απαιτείται μεγάλη ροπή κατά την εκκίνηση (όπου έχουμε περιστροφή μαζών), αφού η γραμμικότητα δεν παίζει κανένα ρόλο.
4. Ένας ιδιαίτερα σημαντικός τύπος σερβοκινητήρας είναι αυτός με μόνιμο μαγνήτη. Ο σερβοκινητήρας του τύπου αυτού έχει αντί για τυλίγματα στάτορα μόνιμο μαγνήτη ενώ, ο ρότορας έχει κανονικό τύλιγμα μέσα από το οποίο ελέγχεται ο κινητήρας. Μοιάζει πολύ με τους κινητήρες παράλληλης διέγερσης και λόγω του μικρού όγκου του χρησιμοποιείται σε Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου πάνω σε αεροπλάνα. Ο μικρός όγκος του κινητήρα πετυχαίνεται με ειδικό κράμα μόνιμου μαγνήτη.



Εικόνα 4.4.1 Διάφορα είδη σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος

4.5 Κριτήρια επιλογής σερβοκινητήρων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα είδη των σερβοκινητήρων ποικίλλουν. Κατά την επιλογή του καταλληλότερου κινητήρα για την υλοποίηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής, υπάρχουν κάποια κριτήρια τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα, η ταχύτητα απόκρισης, η ακρίβεια και το σφάλμα που οφείλεται σε εξωτερική διαταραχή, σε συνδυασμό με το κόστος, τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία του κινητήρα. Επίσης, η επιλογή ενός σερβοκινητήρα γίνεται έχοντας υπόψη ότι η ισχύς του θα πρέπει να καλύπτει την ισχύ του φορτίου (ωφέλιμη) αλλά και τις τριβές (απώλειες) της διάταξης. Πέραν αυτού ο σερβοκινητήρας πρέπει να λειτουργεί στις επιθυμητές ταχύτητες και να μπορεί να δίνει την απαραίτητη επιτάχυνση στο δρομέα και στο φορτίο. Η κατηγοριοποίηση των σερβοκινητήρων, γίνεται συνήθως βάση της ταχύτητας και του βάρους τους. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική προσπάθεια για βελτίωση της απόδοσης των σερβοκινητήρων και για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε μία ευρεία ποικιλία, με συγκρίσιμα μεταξύ τους χαρακτηριστικά και για διάφορες τιμές ισχύος. Στο παρελθόν οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες μονοπωλούσαν το ενδιαφέρον, κυρίως λόγω της υψηλής ισχύος που είχαν σε σχέση με το βάρος ή το μέγεθος τους. Όμως τα διάφορα προβλήματα και απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα η ανάγκη υδραυλικής μονάδας, οδήγησαν τους κατασκευαστές στους ηλεκτρικούς κινητήρες. Ο καλύτερος σχεδιασμός και κατασκευή, η αντοχή σε μεγαλύτερες υπερφορτώσεις για εύλογα χρονικά διαστήματα, καθώς και πολλά άλλα πλεονεκτήματα, έχουν καταστήσει τους ηλεκτρικούς κινητήρες πιο ελκυστικούς για τον χρήστη. Σε πλήθος εφαρμογών πρέπει να επιλέγει όχι μόνο ο σερβοκινητήρας, αλλά και το σύστημα σερβοκίνησης του οποίου τμήματα είναι η διάταξη ανάδρασης (της θέσης, ταχύτητας, ροπής) και η διάταξη τροφοδοσίας. Χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος σερβοκίνησης για κάθε εφαρμογή.

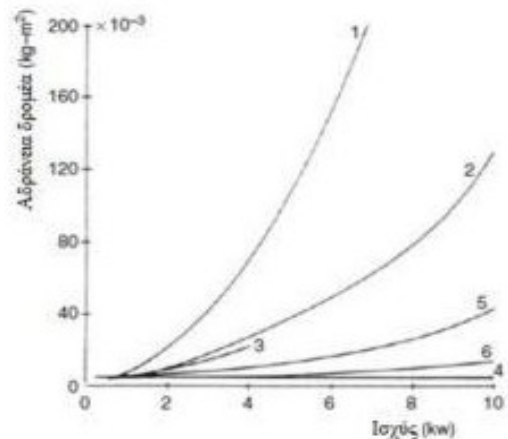
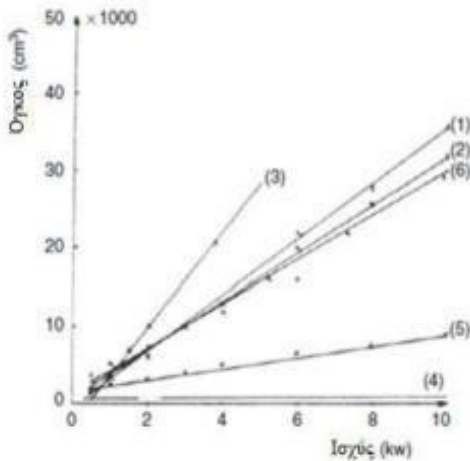
4.6 Σύγκριση βασικών τύπων σερβοκινητήρων

Η επιλογή του σερβοκινητήρα εξαρτάται από κάποια συγκεκριμένα κριτήρια και την προτεραιότητα τους στην εφαρμογή όπου θα χρησιμοποιηθεί, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας απόκρισης, της επίδρασης σε εξωτερική ροπή, του μεγέθους, του κόστους, του κόστους λειτουργίας, της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, απαραίτητο κριτήριο στην επιλογή ενός συγκεκριμένου κινητήρα για την κάλυψη των απαιτήσεων της εφαρμογής ως προς τη δυναμική συμπεριφορά, είναι η σύγκριση της ταχύτητας απόκρισης και της επίδρασης της εξωτερικής ροπής μεταξύ των διάφορων τύπων σερβοκινητήρων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν οι αριθμοί αντιστοιχούν στους πιο κάτω τύπους σερβοκινητήρων:

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη
- Επαγωγικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος
- Βηματικοί σερβοκινητήρες
- Ηλεκτροϋδραυλικοί σερβοκινητήρες
- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτη Νεοδυμίου (rare earth magnet)
- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες (brushless)

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα αυτά θεωρείται κοινή ονομαστική ταχύτητα 1500 rpm και ονομαστική ισχύς μέχρι 10KW για όλους τους τύπους σερβοκινητήρων. Στο πρώτο διάγραμμα, φαίνεται η μεταβολή του όγκου σε σχέση με την ονομαστική ισχύ του κάθε σερβοκινητήρα. Παρατηρούμε ότι οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν τον μικρότερο όγκο για μια δεδομένη ισχύ, χωρίς να περιλαμβάνεται ο όγκος του τροφοδοτικού. Επίσης, η ευθεία γραμμή δείχνει ότι ο μικρότερος υδραυλικός κινητήρας μπορεί να παράγει ισχύ μέχρι 10 KW, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα για τους υδραυλικούς σερβοκινητήρες. Όσο αφορά τους ηλεκτρικούς σερβοκινητήρες, την μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με το μέγεθος, παράγουν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτη Νεοδυμίου. Δεν περιλαμβάνεται ούτε εδώ ο όγκος της μονάδας ισχύος, η οποία δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλη. Στην συνέχεια ακολουθούν οι σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες (brushless) και οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Αμέσως μετά έχουμε τους σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη που έχουν μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με την ονομαστική ισχύ, από ότι οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι βηματικοί κινητήρες δεν είναι πολύ αποτελεσματικοί αφού όσο αυξάνεται η ισχύς αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και το όγκος και μόνο σε μικρές τιμές ονομαστικής ισχύος μπορούν να συναγωνιστούν με τους άλλους τύπους κινητήρες. Σε πολύ χαμηλές τιμές ονομαστικής ισχύος, η αναλογία όγκου και ισχύος είναι παρόμοια για όλους τους τύπους σερβοκινητήρες και σε αυτές τις περιπτώσεις η επιλογή του κινητήρα εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα απόκρισης και την επίδραση εξωτερικής ροπής.



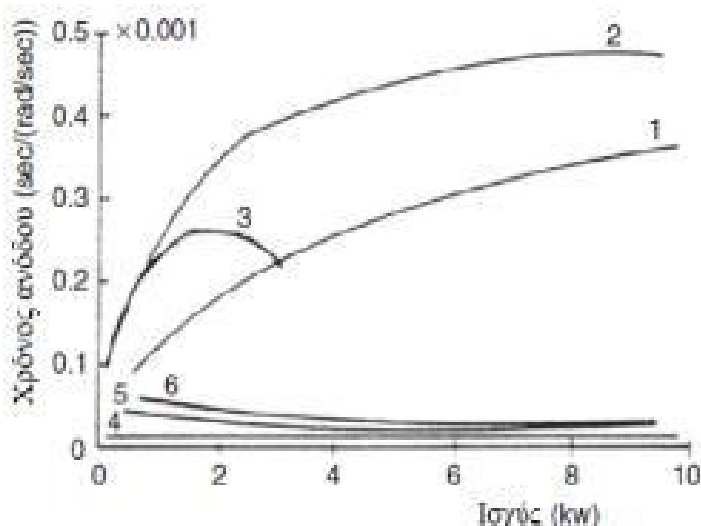
Εικόνας 4.6.1

Διάγραμμα αδράνειας δρομέα-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων

Διάγραμμα του όγκου(μεγέθους)-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων

Η ταχύτητα απόκρισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την αδράνεια του σερβοσυστήματος. Στο σχήμα αυτό συγκρίνεται η αδράνεια του κάθε σερβοκινητήρα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αδράνεια στον άξονα του. Παρατηρούμε ότι για διάφορες τιμές ισχύος οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν τη μικρότερη αδράνεια. Από τους ηλεκτρικούς κινητήρες, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες είναι αυτοί που έχουν την μικρότερη αδράνεια και αποτελούν την αντικατάσταση των υδραυλικών κινητήρων όταν λαμβάνεται υπόψη η ταχύτητα απόκρισης, αφού όταν έχουμε μικρότερη αδράνεια αυξάνεται η δυνατότητα για γρήγορη απόκριση. Οι βηματικοί σερβοκινητήρες είναι διαθέσιμοι μόνο για χαμηλές τιμές ονομαστικής ισχύος και η αδράνεια τους είναι υψηλότερη από αυτή των υδραυλικών κινητήρων, των κινητήρων συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψυκτρών-συλλέκτη και των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με 'rare earth' μαγνήτη. Η αδράνεια των επαγωγικών κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος για μικρές τιμές ονομαστικής ισχύος είναι μικρή και αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται και η ονομαστική ισχύς. Η αδράνεια των σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη, για χαμηλές τιμές ισχύος, είναι παρόμοια με την αδράνεια των άλλων σερβοκινητήρων αλλά αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται η ονομαστική τιμή ισχύος.

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται ο χρόνος ανόδου (saturated setting time) των σερβοκινητήρων σε σχέση με την ισχύ, χωρίς αδράνεια φορτίου. Χρόνος ανόδου είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε η έξοδος να αποκτήσει για πρώτη φορά την τιμή της μόνιμης κατάστασης ισορροπίας, δηλαδή την τιμή του βηματικού σήματος εισόδου. Παρατηρώντας το σχήμα, διαπιστώνουμε ότι οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες έχουν μικρότερο χρόνο ανόδου σε σχέση με τους ηλεκτρικούς σερβοκινητήρες. Η αντικατάσταση των υδραυλικών κινητήρων από ηλεκτρικούς κινητήρες θα είναι καλύτερη για εφαρμογές με χαμηλές τιμές ισχύος. Όσο αφορά τους ηλεκτρικούς κινητήρες, τον ταχύτερο χρόνο απόκρισης έχουν οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη Νεοδυμίου και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες και στη συνέχεια ακολουθούν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη, οι βηματικοί κινητήρες και οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 4.6.2 Διάγραμμα αδράνειας δρομέα-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων

Όπως είναι αναμενόμενο, κανένας σερβοκινητήρας δεν υπερέχει σε όλα τα πιο πάνω χαρακτηριστικά και η καταλληλότητα του εξαρτάται κυρίως από την εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Όσο αφορά το φορτίο αδράνειας και την απαιτούμενη ισχύ της εφαρμογής, διακρίνουμε τις πιο κάτω γενικές περιπτώσεις:

Μικρό φορτίο αδράνειας και χαμηλή ισχύς: Για αυτούς τους τύπους εφαρμογών, οι υδραυλικοί κινητήρες παρέχουν την υψηλότερη ταχύτητα απόκρισης. Οι πιο ανταγωνιστικοί κινητήρες, ως προς τον υδραυλικό κινητήρα, είναι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτες Νεοδυμίου και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψύκτρων- συλλέκτη. Η επίδραση της εξωτερικής ροπής σχετικά με την ταχύτητα ενός υδραυλικού κινητήρα είναι μεγαλύτερη από ότι τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη και οι βηματικοί κινητήρες έχουν χαμηλότερη ταχύτητα απόκρισης από τους υδραυλικούς κινητήρες και τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτες Νεοδυμίου.

Μεγάλο φορτίο αδράνειας και χαμηλή ισχύς: Υπό αυτές τις συνθήκες, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος παρέχουν την καλύτερη ταχύτητα απόκρισης. Ακολουθούν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι υδραυλικοί κινητήρες και μετά οι βηματικοί κινητήρες. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους υδραυλικούς από ότι στους ηλεκτρικούς κινητήρες.

Μικρό φορτίο αδράνειας και υψηλή ισχύς: Σε αυτή τη περίπτωση οι υδραυλικοί κινητήρες παρέχουν την μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης. Ακολουθούν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και οι βηματικοί κινητήρες οι οποίοι έχουν την μικρότερη ταχύτητα αντίδρασης. Όταν όμως έχουμε υψηλά ποσοστά ισχύος, τότε οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος συναγωνίζονται τους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους ηλεκτρικούς κινητήρες, από ότι στους υδραυλικούς κινητήρες.

Μεγάλο φορτίο αδράνειας και υψηλή ισχύς: Υπό αυτές τις συνθήκες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες παράγουν μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης από ότι οι υδραυλικοί κινητήρες, ενώ ακολουθούν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μαζί με τους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους υδραυλικούς κινητήρες.

Εάν για μία συγκεκριμένη εφαρμογή, η χρήση σερβοκινητήρων ικανοποιεί τις απαιτήσεις δυναμικής συμπεριφοράς, τότε η τελική απόφαση εξαρτάται συνήθως από το κόστος, την αξιοπιστία, και τη διαθεσιμότητα του κάθε κινητήρα.

4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σερβοκινητήρων

Πλεονεκτήματα:

Ο σερβοκινητήρας έχει την ικανότητα να προσδίδει μεγάλη ροπή (ή επιτάχυνση) κατά τη στιγμή της εκκίνησης και έχει πολύ μικρή ροπή αδράνειας. Δηλαδή στους σερβοκινητήρες ο λόγος “ροπή εκκίνησης/ροπή αδράνειας” είναι πολύ μεγάλος πράγμα που δεν συμβαίνει στους κοινούς κινητήρες.

- Δυνατότητα περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τιμών ροπής.
- Η μεγάλη αυτή μηχανική ροπή τον καθιστά ικανό να οδηγήσει βαριά φορτία.
- Έχει μικρή καθυστέρηση το οποίο συνεπάγεται γρήγορο χρόνο αντίδρασης.

- Έχει αρνητική ανατροφοδότηση η οποία εξασφαλίζει καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας του (μείωση της ευαισθησίας του συστήματος σε μεταβολές των παραμέτρων ή σε ανεπιθύμητες διαταραχές - αυτό βέβαια είναι για ελεγκτές)
- Ελέγχεται εύκολα από τους σύγχρονους ελεγκτές ρομποτικών εφαρμογών.
- Υψηλή αποδοτικότητα. Σε μικρά φορτία μπορεί να πλησιάσει και το 90%.
- Μεγάλη ποικιλία εμπορικών μοντέλων και σε διάφορα μεγέθη.
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα κραδασμών και παράγουν ελάχιστο θόρυβο σε σχέση με άλλους κινητήρες.

Μειονεκτήματα:

- Χρειάζεται μεγάλη ένταση ρεύματος για να εκκινήσει.
- Το κόστος του συστήματος σερβοκίνησης είναι υψηλό. Περιλαμβάνει το κόστος του σερβοκινητήρα, της διάταξης τροφοδοσίας και της διάταξης ελέγχου.
- Υπάρχει πιθανότητα δυσλειτουργίας, εφόσον υπερφορτωθεί μηχανικά.
- Υψηλή κατανάλωση.
- Δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε σύστημα ανοικτού βρόχου αφού απαιτείται ανατροφοδότηση. Το σύστημα κλειστού βρόχου μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα για τον κινητήρα, σε περιπτώσεις όπου ένα φυσικό εμπόδιο εμποδίζει την πορεία της κίνησης.
- Η πολυπλοκότητα του ελέγχου σε σχέση με άλλους κινητήρες.

4.8 Τομείς εφαρμογών σερβοκινητήρων

Η δυνατότητα που προσφέρουν οι σερβοκινητήρες στα συστήματα ελέγχου κίνησης με τον παράλληλο έλεγχο ταχύτητας και θέσης, με πολύ μεγάλη ακρίβεια και χωρίς περιορισμούς μηχανικής ισχύος, δηλαδή αναγκαίας ροπής, τους καθιστά κατάλληλους για μια τεράστια γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών. Οι περισσότερες από αυτές αναφέρονται σε εξελιγμένη αυτοματοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών και στη μεταφορά και συσκευασία υλικών και προϊόντων. Οι σερβομηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στον ναυτικό εξοπλισμό πλοήγησης και σε στρατιωτικές εφαρμογές ελέγχου πυρός. Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αυτόματες εργαλειομηχανές, σε δορυφορικές κεραίες ανίχνευσης, στον απομακρυσμένο έλεγχο αεροπλάνων, σε αυτόματα συστήματα πλοήγησης σε πλοία και αεροπλάνα (cruise control), καθώς και σε αντιαεροπορικά οπτικά συστήματα ελέγχου. Ένα παράδειγμα εφαρμογής στα αεροσκάφη, είναι τα συστήματα “fly-by-wire” που χρησιμοποιούν τους σερβομηχανισμούς για να ενεργοποιούν τις επιφάνειες ελέγχου του αεροσκάφους. Τα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα στις αντίστοιχες εφαρμογές χρησιμοποιούν RC servos.

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε διάφορους βιομηχανικούς μηχανισμούς ώστε να εκτελούν περίπλοκες κινήσεις. Οι αισθητήρες κίνησης που είναι ενσωματωμένοι στους κινητήρες αυτούς, τους καθιστούν κατάλληλους σε εφαρμογές όπου απαιτείται ελεγχόμενη κίνηση.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη του τομέα της ρομποτικής οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται διαρκώς σε διάφορες ρομποτικές εφαρμογές (π.χ. ρομποτικοί βραχίονες) αλλά και σε αυτόνομους ρομποτικούς μηχανισμούς ή ρομποτικά συστήματα. Τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μεταξύ άλλων εξελιγμένες εργαλειομηχανές κατεργασιών υλικών και μηχανές συγκόλλησης και βαφής μετάλλων, αλλά και συστήματα συναρμολόγησης σε κατασκευαστικές βιομηχανίες. Στην κατεργασία των υλικών, οι σερβοκινητήρες κατέχουν εξέχοντα ρόλο στην αναβάθμιση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών σε εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου (CNC). Χρησιμοποιούνται στις κοπές μετάλλων οποιασδήποτε μορφής. Βρίσκουν ιδιαίτερες εφαρμογές σε τριαξονικά συστήματα κοπής, σε σύγχρονες κοπές εν κινήσει πολλαπλών σταθμών και μπορούν να επιτύχουν κοπές εν κινήσει με συγχρονισμό μέχρι 12 αξόνων. Ιδιαίτερη εφαρμογή συναντούν στις μηχανές συρματοουργίας. Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβομηχανισμών είναι η χρησιμοποίησή τους στις φωτογραφικές μηχανές αυτόματης εστίασης, όπου κινούν με ακρίβεια το φακό, και ως εκ τούτου να ρυθμίζουν την εστίαση. Επίσης, βρίσκουν εφαρμογή σε οτιδήποτε έχει να κάνει με τηλεχειριζόμενη κίνηση, από απλά παιχνίδια μικρών παιδιών μέχρι πιο προηγμένα και πολύπλοκα μοντέλα. Συγκεκριμένα, οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε τηλεχειριζόμενα οχήματα ώστε να κινούν με ακρίβεια τις επιφάνειες ελέγχου. Για παράδειγμα μπορούν να ελέγχουν την κλίση ενός αεροσκάφους και το πηδάλιο ενός πλοίου ή στα τηλεχειριζόμενα αυτοκίνητα, να ελέγχουν το γκάζι, τα φρένα, τη διεύθυνση και τις ταχύτητες.

Οι σερβοκινητήρες διευρύνουν την εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό τομέα της βιομηχανίας χρησιμοποιούμενοι σε μηχανές που κάνουν επεξεργασία χαρτιού, ξύλου και μαρμάρου. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν στις μηχανές παραγωγής πλαστικών προϊόντων (extruders, μηχανές blow, κ.λπ.). Ειδικές εφαρμογές βρίσκουν και σε άλλες βιομηχανίες, όπως στην καπνοβιομηχανία και στην τυπογραφία. Στον τομέα της μεταφοράς και συσκευασίας υλικών και προϊόντων βρίσκουν μαζική εφαρμογή. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται σε εγκιβωτιστικά συστήματα, σε παλετοποιητικά συστήματα διαφόρων προϊόντων και σε συστήματα 'pick and place'. Τέλος, χρησιμοποιούνται σε μηχανές συσκευασίας, σε καρτονέττες, σε ετικέτες και σε γεμιστικά μηχανήματα χύδην, στερεών και υγρών προϊόντων.

4.8.1 Εφαρμογές σερβοκινητήρων στην ρομποτική

Για την πραγματοποίηση της επιθυμητής κίνησης ενός ρομποτικού μηχανισμού απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση των αρθρώσεών του. Αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση σερβοκινητήρων, οι οποίοι και κινούν συνολικά ένα μηχανικό σύστημα. Οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιούνται στις συνήθεις ρομποτικές εφαρμογές αποτελούν εξέλιξη των κινητήρων που επί σειρά ετών χρησιμοποιούνταν σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού. Στις ρομποτικές εφαρμογές οι κινητήρες χρειάζεται να πληρούν ορισμένες επιπλέον απαιτήσεις σε σχέση πάντα με τις συμβατικές βιομηχανικές εφαρμογές. Απαιτήσεις για χαμηλή αδράνεια και μεγάλη σχέση ισχύος-βάρους, ικανότητα ανάπτυξης υψηλών επιταχύνσεων, δυνατότητα λειτουργίας σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων, ακρίβεια, παρακολούθηση της επιβαλλόμενης τροχιάς και συνεχή περιστροφή ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες λειτουργίας. Οι σερβοκινητήρες πληρούν όλες αυτές τις απαιτήσεις και είναι οι καταλληλότεροι κινητήρες για εφαρμογές στον τομέα της ρομποτικής.

Οι σερβοκινητήρες έχουν πολύ μεγάλη σημασία στον τομέα της ρομποτικής, καθώς διευκολύνουν την ευφυή και φυσική κίνηση. Χρησιμοποιούνται σε ρομποτικά συστήματα όλων των ειδών και μπορούν να διαβιβάζουν πληροφορίες σχετικά με την περιστροφή του κινητήρα στον άξονά του, με αποτέλεσμα το ρομπότ να μπορεί να 'γνωρίζει' τις κινήσεις των διαφόρων μερών του. Για εφαρμογές μικρότερης κλίμακας μεγέθους χρησιμοποιούνται συνήθως οι RC servos και παρόλο που είναι πολύ μικροί είναι εξαιρετικά ισχυροί, κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για χρήση στα διάφορα ρομποτικά μοντέλα, όπως για παράδειγμα στους ρομποτικούς βραχίονες. Η κατανάλωση ενέργειας ενός σερβοκινητήρα είναι γενικά χαμηλή, εφόσον καταναλώνει μόνο ενέργεια σε σχέση με το μηχανικό του φορτίο, καθιστώντας τον έτσι ιδανικό και για χρήση σε ρομποτικά συστήματα που λειτουργούν με μπαταρία.

Οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιούνται στις ρομποτικές εφαρμογές μπορεί να είναι τριών ειδών: πνευματικοί, υδραυλικοί ή ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες. Στους ρομποτικούς βραχίονες που είναι επιφορτισμένοι με τη διακίνηση μεγάλων ωφέλιμων φορτίων, συνήθως κρίνεται απαραίτητη η χρήση υδραυλικών σερβοκινητήρων. Στην περίπτωση αυτή οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες όχι μόνο είναι πιο κατάλληλοι από τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς, αλλά επιπλέον το κόστος της υδραυλικής εγκατάστασης αποτελεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής επένδυσης του ρομποτικού συστήματος. Πάντως σε όλες εκείνες τις εφαρμογές που δεν έχουμε μεγάλα ωφέλιμα φορτία, προτιμάται η χρήση ηλεκτρικών σερβοκινητήρων. Οι τελευταίοι μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στο μηχανολογικό υποσύστημα του ρομπότ, είναι όμως εύλογο να θεωρηθεί ότι αποτελούν ένα ξεχωριστό υποσύστημα.



Εικόνα 4.8.1 Ρομποτικός βραχίονας τεσσάρων αξόνων με χρήση RC servo.



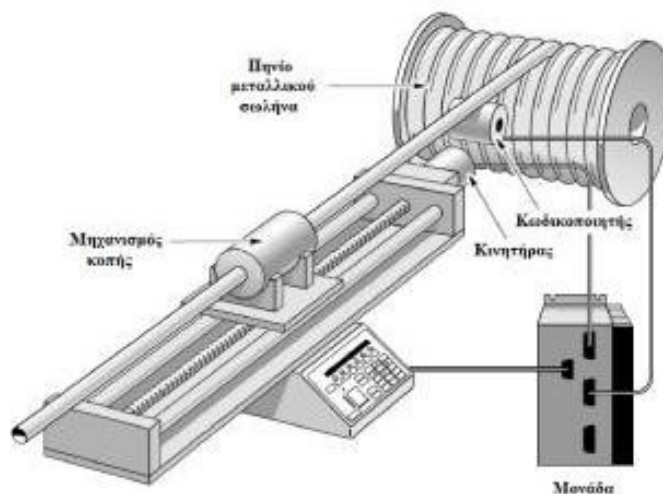
Εικόνα 4.8.2 Ρομποτικό σύστημα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων PUMA 200.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της βιοϊατρικής τεχνολογίας, οι σερβοκινητήρες έχουν μεγάλη εφαρμογή στην ιατρική και συγκεκριμένα στα ιατρικά ρομποτικά συστήματα. Παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το σύστημα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων PUMA το οποίο διαθέτει έξι βαθμούς ελευθερίας και οι κινήσεις του εκτελούνται από σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος. Το PUMA είναι ένα προγραμματιζόμενο, ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομπότ που σχεδιάστηκε για να υποβοηθά το χειρουργό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Παρέχει ακριβή, λεπτή εργασία και την απαιτούμενη σταθερότητα με τη βοήθεια στερεοστατικού πλαισίου και εικόνων αξονικής τομογραφίας.

4.8.2 Χρήση σερβοκινητήρων σε βιομηχανικούς μηχανισμούς

Μηχανισμός κοπής μεταλλικών σωλήνων

Στην πιο κάτω εφαρμογή, παρουσιάζεται ένας κόπτης μετάλλων του οποίου ο μηχανισμός κίνησης ελέγχεται από ένα σερβοκινητήριο σύστημα. Όπως παρατηρούμε, ένας μηχανισμός κοπής τροφοδοτείται διαρκώς με μεταλλικούς σωλήνες μέσω ενός ειδικού “πηνίου”. Η περιστρεφόμενη λεπίδα του μηχανισμού κοπής, προκειμένου να ολοκληρώσει μία κοπή πρέπει να περιστραφεί αρκετές φορές γύρω από τον σωλήνα. Για να έχουμε όμως μέγιστη απόδοση του μηχανήματος, ο μεταλλικός σωλήνας δεν πρέπει να σταματά όταν γίνεται ο τεμαχισμός. Έτσι για να έχουμε ένα καθαρό τεμαχισμό, η λεπίδα θα πρέπει να προχωράει παράλληλα με το μεταλλικό σωλήνα, ενώ η κοπή διεξάγεται.



Εικόνα 4.8.3 Μηχανισμός κοπής μεταλλικών σωλήνων με χρήση σερβοκινητήριου συστήματος.

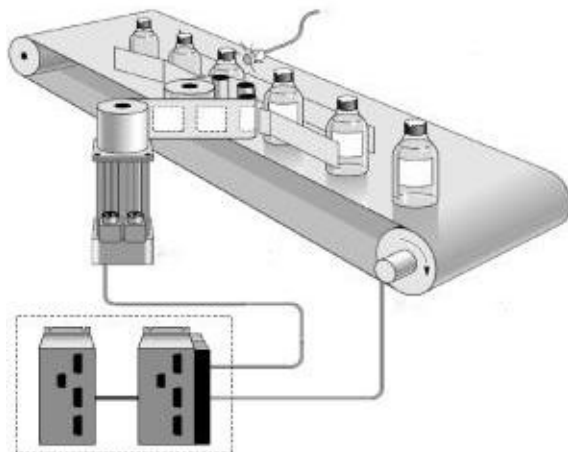
Η μονάδα ελέγχου λαμβάνει πληροφορίες για την κίνηση του σωλήνα από ένα εξωτερικό κωδικοποιητή και ταυτόχρονα καταγράφει το μήκος του σωλήνα που περνάει από την περιστρεφόμενη λεπίδα. Μόλις καταγραφεί το απαιτούμενο μήκος για κοπή, το σερβοκινητήριο σύστημα επιταχύνει το κοπτικό μηχανισμό μέχρι να αποκτήσει ίση ταχύτητα με αυτή του σωλήνα και στέλνει σήμα για να ξεκινήσει η κοπή.

Μηχανισμός τοποθέτησης ετικετών σε φιάλες

Η εφαρμογή αυτή είναι ένας μηχανισμός σήμανσης που εφαρμόζει ετικέτες πάνω σε φιάλες, οι οποίες κινούνται πάνω σε ένα ιμάντα μεταφοράς. Η απόσταση μεταξύ των φιαλών δεν είναι σταθερή και για αυτό ο ιμάντας μπορεί να επιβραδύνει, να επιταχύνει ή να σταματήσει οποιαδήποτε στιγμή. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόζει με ακρίβεια τις ετικέτες πάνω στις κινούμενες φιάλες και να λειτουργεί για όλες τις ταχύτητες. Για την υλοποίηση του μηχανισμού αυτού είναι απαραίτητη η χρήση μίας μονάδας ελέγχου η οποία θα μπορεί να δεχτεί είσοδο από ένα κωδικοποιητή αναρτημένο στον ιμάντα μεταφοράς και να λαμβάνει όλες τις ταχύτητες και τις αποστάσεις από το ρολό των ετικετών.

Το σερβοςύστημα είναι απαραίτητο γιατί παράγει κατάλληλη ροπή και ταχύτητα, ώστε να ξεπεραστούν οι υψηλές τριβές κατά την εφαρμογή των ετικετών αλλά και η αδράνεια των μεγάλων ρολών.

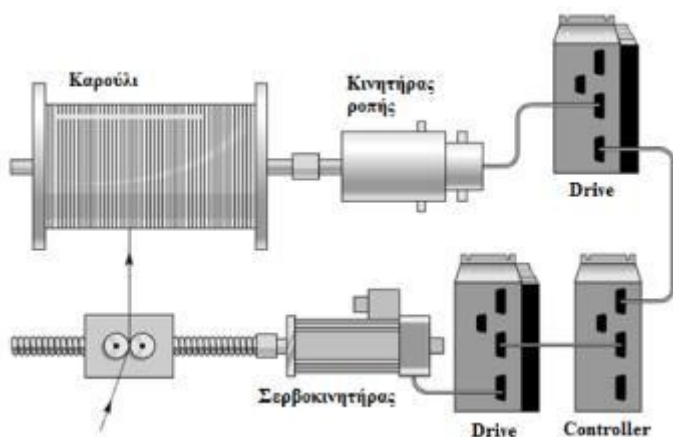
Οι θέσεις των φιαλών πάνω στον ιμάντα μεταφοράς καταγράφονται από φωτοαισθητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τη μονάδα ελέγχου. Μόλις η πρώτη ακμή της ετικέτας έρθει σε επαφή με τη φιάλη, η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή στον σερβοκινητήρα να επιταχυνθεί με ταχύτητα ίση με αυτήν της γραμμής μεταφοράς. Ο σερβοκινητήρας συνεχίζει να κινείται με αυτή τη ταχύτητα μέχρι να εφαρμοστεί πλήρως η ετικέτα και στη συνέχεια επιβραδύνει ως ένα σημείο περιμένοντας την επόμενη φιάλη.



Εικόνα 4.8.4 Μηχανισμός τοποθέτησης ετικετών σε φιάλες με χρήση σερβοκινητήριου συστήματος

Μηχανισμός περιτυλίξεως νήματος

Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβοκινητήρων είναι στον μηχανισμό περιτυλίξεως νήματος (filament winding). Το προϊόν τυλίγεται σε ένα καρούλι που περιστρέφεται με μέγιστη ταχύτητα 2000 rpm και σταθερό ρυθμό. Στον συγκεκριμένο μηχανισμό (Parker Motion & Control application), η ένταση στο νήμα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,2 lbs και 0,6 lbs ώστε να μην είναι τεντωμένο και η διάμετρος περιτυλίξεως κυμαίνεται μεταξύ 2" και 4". Το νήμα τυλίγεται πάνω στο καρούλι με τη βοήθεια ενός ειδικού βραχίονα, ο οποίος ταλαντώνεται μπρος-πίσω με σταθερή ταχύτητα και αντιστρέφεται στο τέλος της κάθε κίνησης. Η απαιτούμενη ταχύτητα του κοχλία κίνησης (ball screw) είναι 60 rpm.



Εικόνα 4.8.5 Μηχανισμός περιτυλίξεως νήματος (filament winding)

Η πρωταρχική απαίτηση της κίνησης της μπομπίνας (καρούλι), είναι να παρέχει μια ελεγχόμενη ένταση, που σημαίνει ότι είναι απαραίτητος ο έλεγχος ροπής και όχι ο έλεγχος ταχύτητας. Αν ο κινητήρας παράγει σταθερή ροπή, η ένταση στο νήμα θα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την διάμετρο περιτυλίξεως. Δεδομένου ότι η διάμετρος περιτυλίξεως είναι 2:1, η ένταση από την αρχή μέχρι το τέλος θα μειωθεί κατά 50%. Για να είναι αποδεκτή η λειτουργία σταθερής ροπής, η 3:1 ένταση είναι αρκετή. (Για να διατηρηθεί σταθερή ένταση, η ροπή πρέπει να αυξάνεται ανάλογα με την διάμετρο

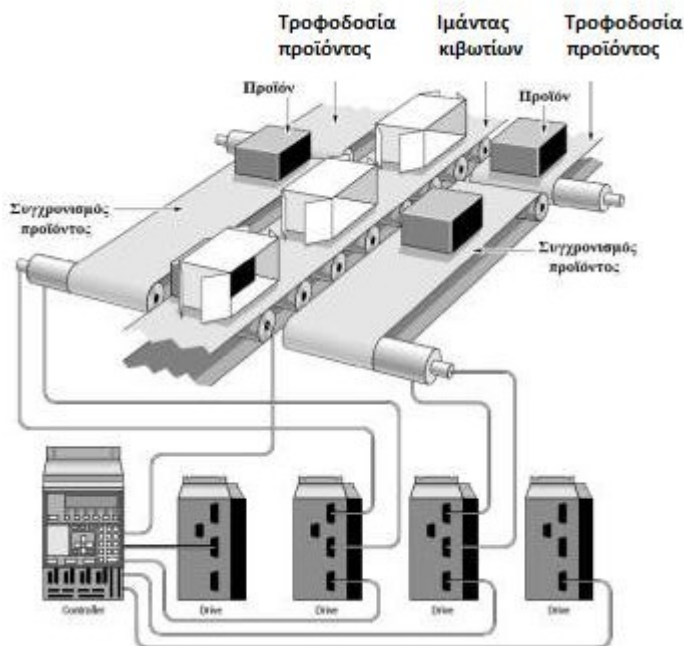
περιτυλίξεως). Η απαίτηση αυτή οδηγεί στη χρήση σερβοκινητήρα με λειτουργία ροπής (η ανάγκη για σταθερή ταχύτητα λειτουργίας κάνει το βηματικό κινητήρα ακατάλληλο). Εάν κατά τη λειτουργία της μηχανής κοπεί το νήμα, η ταχύτητα θα μειωθεί και θα πάρει την προγραμματισμένη της τιμή.

Μηχανισμός συσκευασίας

Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβοκινητήρων είναι στους διάφορους μηχανισμούς συσκευασίας. Στο πιο κάτω παράδειγμα απεικονίζεται ένα σύστημα συσκευασίας κιβωτίων. Ο ιμάντας μεταφοράς των κιβωτίων κινείται μεταξύ δύο άλλων ιμάντων οι οποίοι μεταφέρουν το προϊόν που πρέπει να τοποθετηθεί με ακρίβεια μέσα στα κουτιά χωρίς να σταματήσει η λειτουργία τους.

Η ταχύτητα του ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων μπορεί να διαφέρει σε κάθε συσκευασία. Όταν το προϊόν είναι έτοιμο τότε ο ελεγκτής πρέπει να αποφασίσει σε ποιο κιβώτιο μπορεί να το τοποθετήσει και στη συνέχεια το μεταφέρει σε ευθύγραμμη θέση με το κινούμενο κουτί. Το προϊόν πρέπει να κινείται κατά μήκος της πλευράς του πλαισίου τον κατάλληλο χρόνο, έτσι ώστε να μεταφερθεί με επιτυχία μέσα στο κιβώτιο.

Για τον έλεγχο της συγκεκριμένης εφαρμογής απαιτείται ένας αυτόνομος ελεγκτής πολλαπλών αξόνων (standalone multiple-axis controller). Ο ελεγκτής μπορεί να εκτελέσει προφίλ κίνησης βασισμένος σε εξωτερικό κωδικοποιητή που είναι τοποθετημένος στο κεντρικό ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων. Οι δύο ιμάντες μεταφοράς του προϊόντος οδηγούνται από ειδικούς σερβοκινητήρες για υψηλές ταχύτητες και επιταχύνσεις. Ο ελεγκτής μέσω του σήματος που λαμβάνει από τον αισθητήρα που βρίσκεται στον ιμάντα μεταφοράς των προϊόντων βλέπει αν ένα προϊόν είναι έτοιμο και στη συνέχεια κάνει κίνηση με βάση την κατάσταση των κιβωτίων στον ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων και την κατάσταση του προϊόντος από τον άλλο ιμάντα μεταφοράς. Ο ελεγκτής χειρίζεται τον έλεγχο των δύο ιμάντων μεταφοράς των προϊόντων και την είσοδο του εξωτερικού κωδικοποιητή, καθώς και ένα αισθητήρα εισόδου για την παρακολούθηση την κατάσταση των κουτιών. Έτσι ο ελεγκτής μπορεί άμεσα να αποφασίσει σε ποιο κιβώτιο πρέπει να τοποθετηθεί το προϊόν αλλά και σε ποια θέση βρίσκεται. Στη συνέχεια επιταχύνει το προϊόν σε ευθύγραμμη θέση με το αντίστοιχο κιβώτιο προς συσκευασία, το τοποθετεί στο πλαίσιο, και συνεχίζει να παρακολουθεί το υπόλοιπο προϊόν και τις θέσεις των κουτιών.



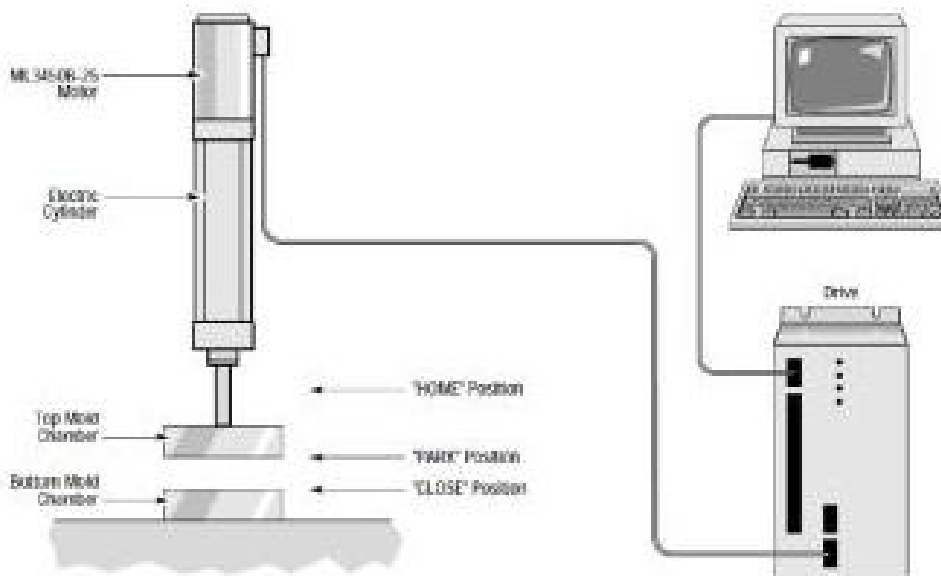
Εικόνα 4.8.6 Μηχανισμός συσκευασίας - τοποθέτηση προϊόντων σε κιβώτια.

Μορφοποίηση πλαστικού με μηχανισμό χύτευσης με έγχυση

Οι μηχανές χύτευσης με έγχυση (injection molding machines) είναι από τους πιο κοινούς μηχανισμούς μορφοποίησης πλαστικών. Στον πιο κάτω μηχανισμό, χρησιμοποιείται ένα σύστημα το οποίο κλείνει το θάλαμο χύτευσης, εφαρμόζει πίεση σε αυτόν για 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια ανοίγει το καλούπι με το μορφοποιημένο πλαστικό. Οι λειτουργίες όμως αυτές, συγχρονίζονται και με άλλες ενέργειες της μηχανής. Για παράδειγμα, όταν ο θάλαμος χύτευσης είναι ανοιχτός τότε ο κινητήρας πρέπει να είναι «παρκαρισμένος» σε μία προκαθορισμένη θέση ώστε να μην εμποδίζεται η εξαγωγή του μορφοποιημένου πλαστικού.

Ο έλεγχος κίνησης σε αυτή την εφαρμογή απαιτεί σειριακή σύνδεση με υπολογιστή, έλεγχο θέσης και ροπής και δυνατότητα αλλαγής πίεσης. Ο κινητήρας οδηγώντας τη ράβδο που βρίσκεται μέσα στο κύλινδρο, επεκτείνει ή μαζεύει το πάνω μέρος του θαλάμου χύτευσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας της μηχανής, ο σερβοενισχυτής πρέπει να ελέγχει τη θέση του κινητήρα. Όταν το πάνω μέρος του θαλάμου χύτευσης κλείνει με το κάτω μέρος τότε πρέπει να εφαρμοστεί πίεση.

Καθώς εφαρμόζεται η πίεση αυτή στο καλούπι, η θέση του κινητήρα δεν είναι σημαντική. Ωστόσο, πρέπει να γίνεται έλεγχος της πίεσης στο θάλαμο χύτευσης, εφαρμόζοντας ροπή από τον κινητήρα. Ένας κοινός σερβοκινητήρας θέσης μπορεί να εφαρμόσει ροπή μόνο δημιουργώντας ένα σφάλμα θέσης. Ο έλεγχος της ροπής μέσω της θέσης, δεν είναι πολύ ακριβής και μπορεί να δημιουργήσει αστάθειες. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι καλύτερο να επιλεγθεί ένα σερβόσύστημα που θα μπορεί να κάνει εναλλαγή μεταξύ του έλεγχου θέσης και του έλεγχου ροπής χωρίς αστάθεια και στη συνέχεια, ενώ βρίσκεται σε κατάσταση ελέγχου ροπής, να ελέγχει άμεσα τη ροπή του κινητήρα

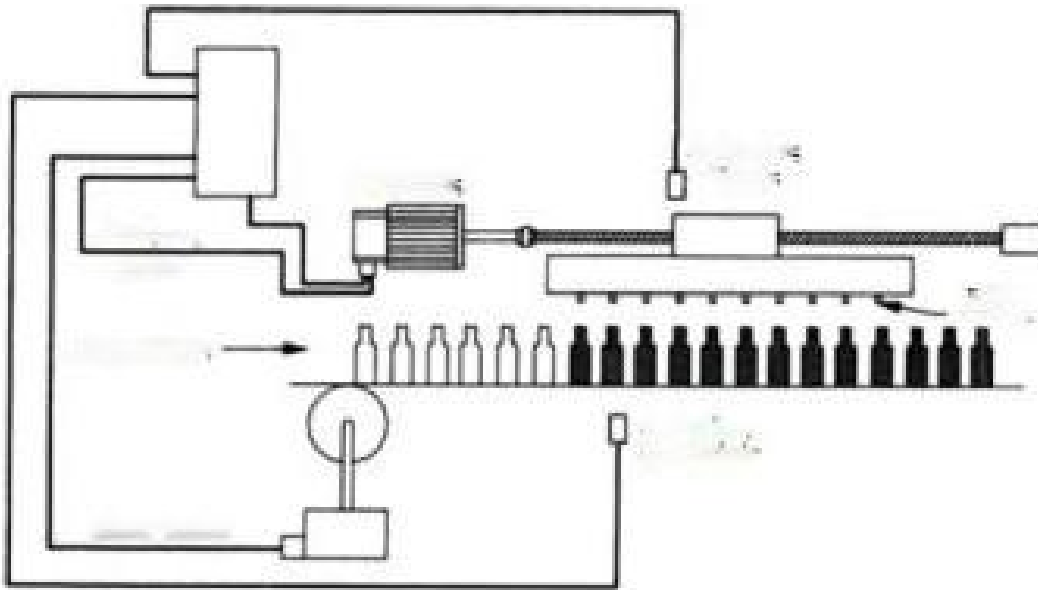


Εικόνα 4.8.7 Μηχανισμός χύτευσης με έγχυση για μορφοποίηση πλαστικού.

Μηχανισμός αυτόματης γέμισης φιαλών

Σε αυτή την εφαρμογή, όπως φαίνεται, έχουμε αυτόματη γέμιση φιαλών μέσω ειδικών στομιών καθώς κινούνται κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς. Κάθε ένα από τα στόμια γέμισης πρέπει να ακολουθεί μία φιάλη και να κινείται παράλληλα με αυτή, αφού το προϊόν εκχύνεται κατά την διάρκεια της κίνησης. Τα στόμια γέμισης είναι τοποθετημένα σε ένα κινούμενο φορείο που οδηγείται μέσω ενός σερβομηχανισμού. Όταν ο κινητήρας γυρίζει τον άξονα, στον οποίο βρίσκεται το φορείο με τα στόμια γέμισης, τότε το φορείο κινείται οριζόντια κατά μήκος του άξονα αυτού. Αυτή η κίνηση θα πρέπει να είναι ευθύγραμμη και σταθερή, ώστε τα στόμια γέμισης να μπορούν να μεταφέρουν το προϊόν στις φιάλες με όσο το δυνατόν μικρότερη διαρροή.

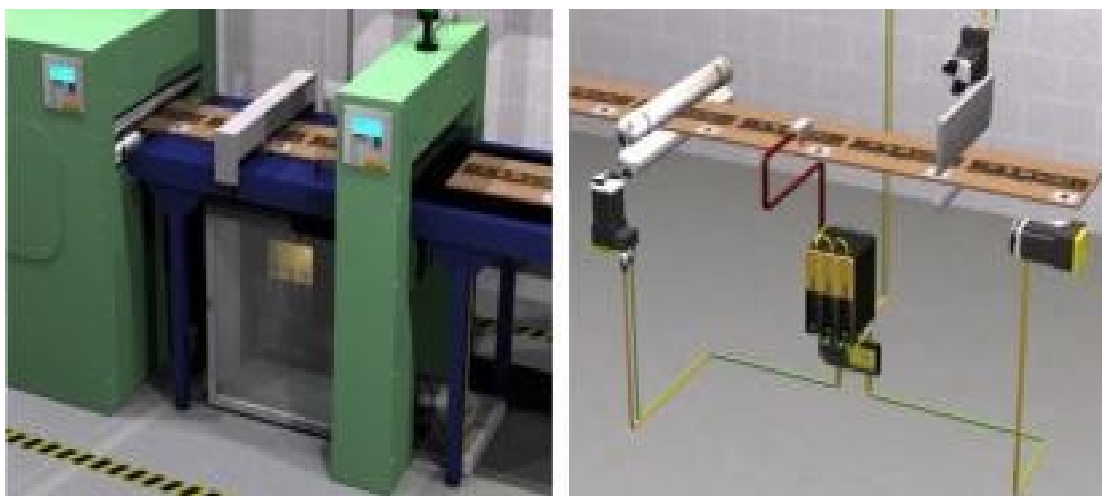
Το σερβοκινητήριο σύστημα χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή θέσης που επιτρέπει την ανίχνευση της θέσης και της ταχύτητας καθώς οι φιάλες κινούνται επάνω στην γραμμή μεταφοράς. Ο κύριος κωδικοποιητής (master encoder) ανιχνεύει τις φιάλες καθώς κινούνται κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς. Για την τοποθέτηση των φιαλών στην γραμμή μεταφοράς και τον καθορισμό της απόστασης μεταξύ τους, χρησιμοποιείται ένα άλλο σερβοκινητήριο σύστημα. Έτσι η απόσταση μεταξύ των φιαλών καθώς περνούν το σημείο γέμισης είναι καθορισμένη με ακρίβεια, ώστε η απόσταση μεταξύ των λαιμών της κάθε φιάλης να ταιριάζει με την απόσταση μεταξύ των στομιών γέμισης. Το σύστημα περιέχει επίσης ένα ανιχνευτή ο οποίος εμποδίζει την έκχυση του προϊόντος από το στόμιο γέμισης σε περίπτωση που μία φιάλη λείπει ή εμφανίζονται μεγάλα κενά διαστήματα μεταξύ των φιαλών. Το σερβοκινητήριο σύστημα συγκρίνει τη θέση των φιαλών από τον κύριο κωδικοποιητή, με το σήμα ανάδρασης που δηλώνει τη θέση του κινούμενου φορτίου με τα στόμια γέμισης. Έτσι ο σερβοεπισχυτής θα αυξήσει ή θα μειώσει την ταχύτητα του μηχανισμού του φορτίου ώστε τα στόμια γεμίσματος να κινούνται ακριβώς με την ταχύτητα των φιαλών.



Εικόνα 4.8.8 Μηχανισμός αυτόματης γέμισης φιαλών με χρήση σερβοκινητήρα.

Μηχανισμός κοπής ακριβείας:

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης των σερβοκινητήριων συστημάτων είναι στους μηχανισμούς με ακρίβεια κοπής. Η λειτουργία ενός τέτοιου μηχανισμού είναι η κοπή (και η κόλληση) προεκτυπωμένου υλικού πλαστικού (όπως οι σακούλες των Super Market) ή χαρτιού (όπως τραπεζομάντιλο) σε προκαθορισμένο μήκος, έτσι ώστε το τυπωμένο τμήμα να είναι πάντα κεντραρισμένο στην ίδια θέση. Ο έλεγχος του σερβοκινητήρα των κυλίνδρων που προωθούν το υλικό προς το μαχαίρι κοπής γίνεται από έναν ελεγκτή, ενώ το μαχαίρι κοπής ελέγχεται από έναν ελεγκτή που δέχεται ένα ψηφιακό σήμα.



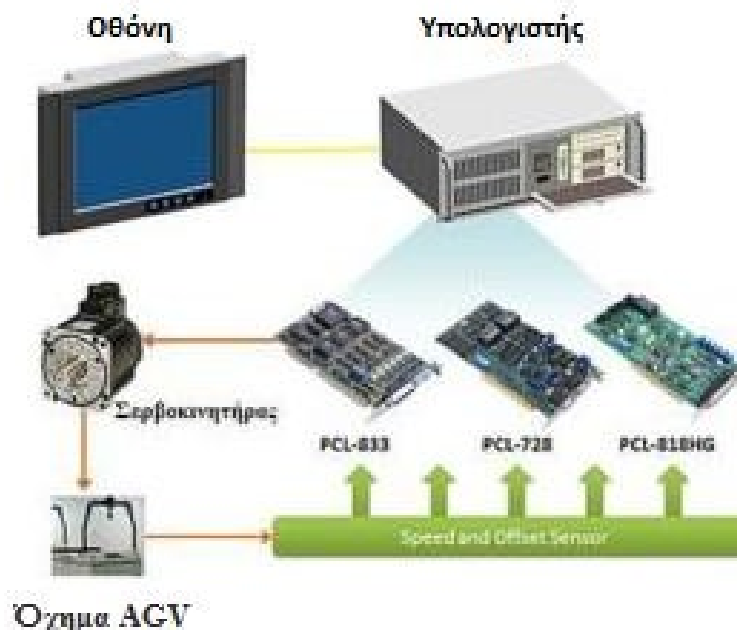
Εικόνα 4.8.9 Μηχανή κοπής ακριβείας με σερβοκινητήριο σύστημα.

Επειδή με τον κλασικό τρόπο ελέγχου του μήκους είναι αδύνατο να συγχρονιστεί η κοπή του υλικού με την εκτύπωση λόγω ολίσθησης, χρησιμοποιείται ένα φωτοκύτταρο χρώματος που ανιχνεύει ένα μικρό προεκτυπωμένο σημάδι που βρίσκεται μεταξύ των εκτυπωμένων τμημάτων του υλικού. Αυτό το φωτοκύτταρο συνδέεται με μια είσοδο πολύ υψηλής ταχύτητας του ελεγκτή (controller). Έτσι «κλειδώνει» αυτόματα τη θέση του άξονα του σερβοκινητήρα των κυλίνδρων που προωθούν το υλικό σε σχέση με το προεκτυπωμένο σημάδι και υπολογίζει μια νέα θέση προώθησης (κατά τη διάρκεια της κίνησης) σε περίπτωση ολίσθησης, έτσι ώστε το υλικό να κοπεί πάντα στη σωστή θέση και πάντα ενδιάμεσα από τα προεκτυπωμένα σημάδια .

Αυτόματα καθοδηγούμενο όχημα:

Ένα αυτόματα καθοδηγούμενο όχημα (Automated Guided Vehicle) είναι ένα κινητό ρομπότ που ακολουθεί τους δείκτες ή τα καλώδια στο πάτωμα ή χρησιμοποιεί σύστημα μηχανικής όρασης ή λέιζερ. Η οδήγηση των οχημάτων αυτών γίνεται με την χρήση σερβοκινητήρων.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές για να μετακίνηση υλικών γύρω από μια εγκατάσταση παραγωγής. Ένα τέτοιο όχημα μπορεί να ενσωματώσει ήχο, φως, και τεχνολογίες πληροφορικής που θα του δίνουν τη δυνατότητα να επικοινωνεί με άλλα ρομπότ, ώστε να εξασφαλίζεται η κυκλοφορία και ο προορισμός των υλικών σε όλη την εγκατάσταση.



Εικόνα 4.9 Σύστημα αυτόματα καθοδηγούμενου οχήματος (AGV) με χρήση σερβοκινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

5.1 Διατάξεις αισθητηρίων

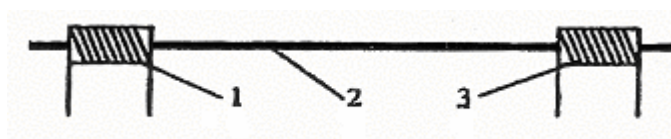
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι βασικές διατάξεις φυσικών αισθητήρων. Πρόκειται για αισθητήρες θέσης, μάζας, πεδίου και αισθητήρες που εξυπηρετούν πολλούς σκοπούς ταυτόχρονα (multipurpose sensors).

Αισθητήρες μετατόπισης

Η κατηγορία των αισθητήρων θέσης χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες. Πρόκειται για τους τερματικούς διακόπτες, τους απόλυτους/διαφορικούς αισθητήρες καθώς και τους αισθητήρες ταχύτητας και τα επιταχυνσιόμετρα.

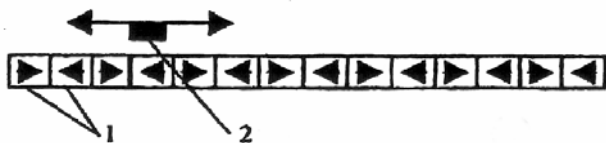
Οι τερματικοί διακόπτες είναι αισθητήρες πεδίου με ένα μηχανισμό που φέρει ελεγκτή πεδίου σαν διακόπτη on/off. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία πρόκειται για αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο της μαγνητο-αντίστασης και έχουν μικρό κόστος μαζικής παραγωγής αλλά και χαμηλή ποιότητα. Ο κύριος ανταγωνιστής αυτών των συσκευών είναι οι χωρητικοί διακόπτες.

Όσον αφορά τους απόλυτους/διαφορικούς γραμμικούς και γωνιακούς αισθητήρες η λειτουργία τους είναι η ανίχνευση της απόστασης μεταξύ δύο σημείων, που συνήθως αντιστοιχούν στα σημεία διέγερσης και λήψης του κυκλώματος. Παραδείγματα τέτοιων αισθητήρων είναι οι διατάξεις MDL (μαγνητοσυστολική γραμμή καθυστέρησης), οι οποίες συνδυάζουν ανίχνευση χρόνου καθυστέρησης και τροποποίηση της τάσης όπως και οι διατάξεις LVDT (γραμμικός, μεταβλητός, διαφορικός μετασχηματιστής). Η ευαισθησία (sensitivity) και η αβεβαιότητα (uncertainty) των αισθητήρων αυτής της κατηγορίας μπορούν να είναι 10 μ m και 100 μ m/m, αντίστοιχα, με κόστος της τάξης του 0.1kEuro/αισθητήρα. Οι συσκευές αυτές μπορούν να είναι και ασύρματες ενώ ο κύριος ανταγωνιστής τους είναι οι υπερηχητικοί αισθητήρες θέσης, οι οποίοι είναι φθηνότεροι αλλά λιγότερο ακριβείς.



Εικόνα 5.1 Διάταξη MDL σε αισθητήρα θέσης (1: κινούμενο πηνίο διέγερσης, 2: MDL, 3: κινούμενο πηνίο λήψης)

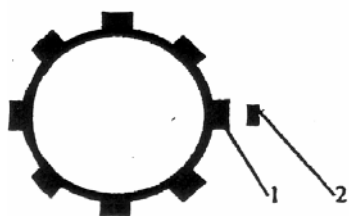
Οι διαφορικοί αισθητήρες θέσης ανιχνεύουν την απόσταση την οποία διανύει μια αισθητήρια κεφαλή και όχι την απόλυτη θέση της. Ο πιο κλασικός μαγνητικός αισθητήρας της κατηγορίας είναι η μαγνητική ταινία, όπου μια μαγνητική κεφαλή "διαβάζει" τη μαγνητική ροή καθώς αυτή διέρχεται από την κορυφή της ταινίας. Πρόκειται για μια καλωδιακή συσκευή η οποία έχει κατασκευαστεί από μια σειρά σκληρών μαγνητών των οποίων η διάταξη είναι τέτοια ώστε η διεύθυνση μαγνήτισης να είναι κατακόρυφη. Η ευαισθησία και η αβεβαιότητα των αισθητήρων αυτών κυμαίνονται στο 1 μ m και 10 μ m/m, αντίστοιχα, με κόστος της τάξης του 1kEuro/μέτρο. Ο κύριος ανταγωνιστής τους είναι η οπτική ταινία, η οποία έχει παρόμοιες ιδιότητες.



Εικόνα 5.1.2 Διάταξη ταινίας με μόνιμους μαγνήτες (1: λεπτά υμένα από σκληρό μαγνητικό υλικό, 2: μαγνητική κεφαλή ανάχνευσης)

Σύμφωνα με αυτή την διάταξη, η ανάγνωση της απόλυτης θέσης γίνεται με την ταυτόχρονη χρήση πολλών λωρίδων, που διαθέτουν δυαδική ψηφιακή λογική απεικόνιση πολύπλεξης. Αυτή η φαινομενικά δύσκολη έννοια σημαίνει απλά ότι για ένα συγκεκριμένο και κβαντισμένο μήκος μέτρησης, που θα θεωρούμε ως το μοναδιαίο εύρος μέτρησης, έχοντας n λωρίδες, οι οποίες είναι χωρισμένες σε 2, 4, 8, 16, 32, ..., 2^n ζεύγη μαγνητικών περιοχών, είναι δυνατή η ανάγνωση και μέτρηση της θέσης με ευαισθησία της τάξης του $L/2^n$, όπου L είναι το κβαντισμένο μήκος μέτρησης. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι, αν το ελάχιστο μήκος ενός ζεύγος μαγνητικών περιοχών είναι L_q , ήτοι η κάθε μαγνητική περιοχή έχει μήκος ίσο με $L_q/2$, και αν διαθέτουμε n λωρίδες παράλληλης ανάγνωσης, τότε το κβαντισμένο μήκος μέτρησης είναι ίσο με $2^{n-1}L_q$, και η ευαισθησία ανάγνωσης είναι L_q . Για παράδειγμα, οι πλέον απλές τεχνικές μικροηλεκτρονικής λιθογραφίας (βλέπε Κεφάλαιο 10 στις Σημειώσεις Ηλεκτροτεχνίας) μπορούν να επιτύχουν μήκος μαγνητικής περιοχής της τάξης του 1 μm . Από την άλλη μεριά, κάνοντας χρήση μαγνητικής ανάχνευσης με κεφαλή video, είναι δυνατή η χρήση 32 καναλιών ή παράλληλων λωρίδων ανάγνωσης. Έτσι, μια μετρητική ταινία με 32 λωρίδες μέτρησης και μήκος μαγνητικής περιοχής ίσο με 1 μm , έχει κβαντισμένο μήκος μέτρησης ίσο με 64 mm και ευαισθησία ανάγνωσης 1 μm . Παρόμοια τεχνική μπορεί να αναπτυχθεί και με οπτική λογική (διαφανείς και αδιαφανείς περιοχές) με διέγερση και ανάγνωση με φωτοτρανσίστορ και φωτοδιόδους αντίστοιχα.

Οι γωνιακοί αισθητήρες, μπορούν να είναι απόλυτοι και διαφορικοί. Η πιο κλασική μορφή αυτού του είδους αισθητήρων είναι ο περιστρεφόμενος δίσκος, όπως αυτός αποτυπώνεται στο σχήμα 9. Πρόκειται για διαφορικό αισθητήρα με πλήθος εφαρμογών όπως το σύστημα ABS των αυτοκινήτων. Η αρχή λειτουργίας του είναι η εξής: καθώς ο δίσκος που συγκρατεί τους μαγνητικούς οδόντες, περιστρέφεται, η μαγνητική κεφαλή τους μετρά μέσω μιας σειράς παλμών. Επίσης, έχουν προταθεί γωνιακοί αισθητήρες που βασίζονται σε επαγωγικές και άλλες μαγνητικές τεχνικές.



Εικόνα 5.1.3 Γωνιακός αισθητήρας θέσης (1: μόνιμοι μαγνήτες σε ακτινική διάταξη, 2: κεφαλή ανάχνευσης πεδίου)

Οι αισθητήρες ταχύτητας καθώς και οι επιταχυντές είτε ανιχνεύουν άμεσα ταχύτητα και επιτάχυνση αντίστοιχα, είτε βασίζονται στον υπολογισμό της απόκρισης απόλυτων ή διαφορικών αισθητήρων θέσης. Ένα είδος διάταξης που χρησιμοποιείται ως μετρητής ταχύτητας ή επιταχυνσιομέτρο είναι και η επαγωγική, όπου με την κίνηση μιας αδρανούς μαγνητικής μάζας στην κορυφή ενός πηνίου δημιουργείται αλλαγή της μαγνητικής ροής στο πηνίο. Στην περίπτωση του επιταχυνσιομέτρου που βασίζεται στην τεχνική των μαγνητοσυστολικών γραμμών καθυστέρησης, η αλλαγή της ροής στη γραμμή καθυστέρησης προκαλείται από δυναμική κίνηση ενός μόνιμου μαγνήτη, που παίζει και το ρόλο της αδρανούς μάζας.

Τέλος ειδική κατηγορία στους αισθητήρες μετατόπισης, αποτελούν τα δилаτόμετρα, τα οποία παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία –της τάξης των nm- και πολύ μικρό εύρος μετρήσεων –της τάξης των μικρών. Τυπικά παραδείγματα δилаτομέτρων που βασίζονται σε μαγνητικά υλικά είναι οι διατάξεις LVDT, οι οποίες έχουν ως κύριο ανταγωνιστή τα χωρητικά δилаτόμετρα. Όλες αυτές οι συσκευές μπορούν να είναι καλωδιακές ή ασύρματες.

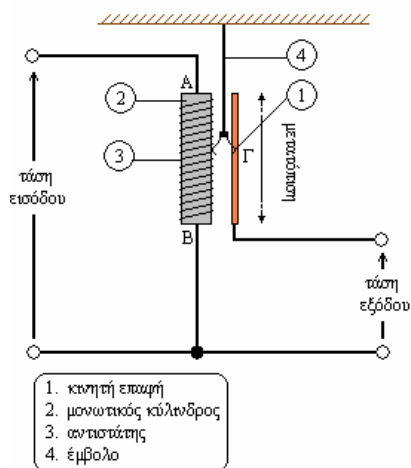
Μετατόπιση ονομάζεται η μετακίνησή ενός σημείου αναφοράς από μία αρχική θέση προσδιορισμένη στο χώρο, σε μια τελική. Εάν η μετατόπιση γίνεται σε μια ευθεία γραμμή, τότε ονομάζεται *γραμμική μετατόπιση*, ενώ αν γίνεται κατά μία γωνία περιστροφής, τότε λέγεται *γωνιακή μετατόπιση*.

Υπάρχουν αισθητήρες που διαθέτουν την ικανότητα να καταγράφουν αυτά τα είδη κινήσεων. Εάν αυτοί οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να μετρούν τη μετατόπιση ως προς το χρόνο, τότε είναι κατάλληλοι για μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Αντίστροφα, υπάρχουν όργανα που μετράνε την ταχύτητα ή την επιτάχυνση, από τα οποία είναι δυνατό τελικά να εξαχθεί η μετατόπιση.

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες διατάξεις αισθητήρων μετατόπισης περιγράφονται στην ενότητα αυτή.

Γραμμικό Ποτενσιόμετρο

Το γραμμικό ποτενσιόμετρο αποτελείται από μία επαφή κινητή κατά μήκος ενός στοιχείου που εμφανίζει αντίσταση. Η κινητή επαφή είναι συνδεδεμένη με ένα έμβολο, του οποίου το άκρο έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια, η μετατόπιση της οποίας πρόκειται να μετρηθεί. Η τυπική μορφή ενός γραμμικού ποτενσιομέτρου φαίνεται στο σχήμα 17.



Εικόνα 5.1.4 Διάταξη γραμμικού ποτενσιομέτρου

Η σχεδίαση της διάταξης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την περίπτωση της προβλεπόμενης μέτρησης. Το τμήμα της κινητής επαφής συνήθως κατασκευάζεται από κράματα χαλκού, λόγω της καλής αγωγιμότητάς τους, σε συνδυασμό με τη σχετικά ελαστική συμπεριφορά τους που τους

επιτρέπει να διατηρούν καλή ηλεκτρική επαφή με την αντίσταση. Τα στοιχεία που αποτελούν την αντίσταση λέγονται αντιστάτες. Οι αντιστάτες συνήθως κατασκευάζονται από λεπτό σύρμα νικελίου ή λευκόχρυσου που τυλίγεται γύρω από ένα κύλινδρο από μονωτικό υλικό. Εναλλακτικά, οι αντιστάτες μπορούν να κατασκευαστούν από υμένια άνθρακα, μετάλλων ή αγώγιμων πλαστικών για καλύτερη διακριτική ικανότητα. Η ολίσθηση της κινητής επαφής επάνω στον αντιστάτη γίνεται ομαλά και ομοιόμορφα με τη συνδρομή ενός οδηγού.

Η λειτουργία του γραμμικού ποτενσιομέτρου έχει ως εξής: Εφαρμόζεται μια τάση εισόδου V_1 στα άκρα του αντιστάτη, δηλαδή στα σημεία Α και Β του σχήματος 17. Η τάση εξόδου V_0 μετράται μεταξύ της κινητής επαφής στο σημείο Β και του ενός άκρου του αντιστάτη στο σημείο Γ. Η τάση εισόδου V_1 , η τάση εξόδου V_0 και η απόσταση ΒΓ συνδέονται με γραμμική σχέση. Εάν υπάρξει μετατόπιση στη μετρούμενη επιφάνεια, θα κινηθεί αντίστοιχα και το έμβολο, παρασύροντας την κινητή επαφή. Έτσι, θα μεταβληθεί και η απόσταση ΒΓ, μεταβάλλοντας την τάση εξόδου V_0 . Η μεταβολή αυτή γίνεται αντιληπτή με τη βοήθεια ενός βολτομέτρου και μπορεί να ερμηνευθεί, με κατάλληλη βαθμονόμηση, σε μετατόπιση.

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων επηρεάζεται από τη μικρή μη γραμμικότητα του κυλίνδρου. Με τη χρήση φθείρονται μηχανικά ο αντιστάτης και η κινητή επαφή, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η απόκρισή τους. Επίσης, η ένδειξη μετατόπισης αλλοιώνεται από την προσθήκη μιας μικρής φυσικής αντίστασης ή ακόμα και από ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα. Τα ποτενσιόμετρα από τυλιγμένο καλώδιο έχουν γραμμικότητα $\pm 1\%$ και αντίσταση που κυμαίνεται από 10Ω έως $200k\Omega$, ενώ τα ακριβότερα ποτενσιόμετρα υμενίων έχουν γραμμικότητα $\pm 0,01\%$ και αντίσταση από 100Ω έως $1M\Omega$. Η διακριτική ικανότητα του ποτενσιομέτρου τυλιγμένου καλωδίου εξαρτάται από τον αριθμό των περιελίξεων γύρω από τον κύλινδρο. Άμεση ανάγνωση επιτυγχάνεται εύκολα με ένα βολτόμετρο βαθμονομημένο με μονάδες μετατόπισης. Είναι δυνατή, επίσης η ανάγνωση από απόσταση, χρησιμοποιώντας την τάση εξόδου σαν ένα σήμα εισόδου σε ένα άλλο σύστημα μέτρησης. Το κόστος των γραμμικών ποτενσιομέτρων είναι χαμηλό αλλά δεν διαθέτουν εξαιρετική ακρίβεια.

Η χρησιμοποίησή τους συνήθίζεται στον έλεγχο των διαστάσεων αντικειμένων σε συστήματα ποιοτικού ελέγχου και άλλες εφαρμογές. Εκτός του γραμμικού ποτενσιομέτρου, υπάρχουν και άλλες συσκευές μέτρησης με βάση το ποτενσιόμετρο όπως το λογαριθμικό ποτενσιόμετρο, το ποτενσιόμετρο συνημιτόνου και το περιστροφικό ποτενσιόμετρο.

Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)

Πρόκειται για τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αισθητήρα μέτρησης μετατόπισης για μετατοπίσεις έως 300mm και συνήθως αποκαλείται LVDT από τα αρχικά της αγγλόφωνης ονομασίας του. Η διάταξη αποτελείται από τρία πηνία, δύο δευτερεύοντα και ένα πρωτεύον, στο κέντρο του οποίου βρίσκεται ένας πυρήνας από μαλακό μαγνητικό υλικό (μαλακό σίδηρο, άμορφο σύρμα FeSiB κ.α.). Τα δευτερεύοντα πηνία έχουν μεταξύ τους αντίθετη περιέλιξη.

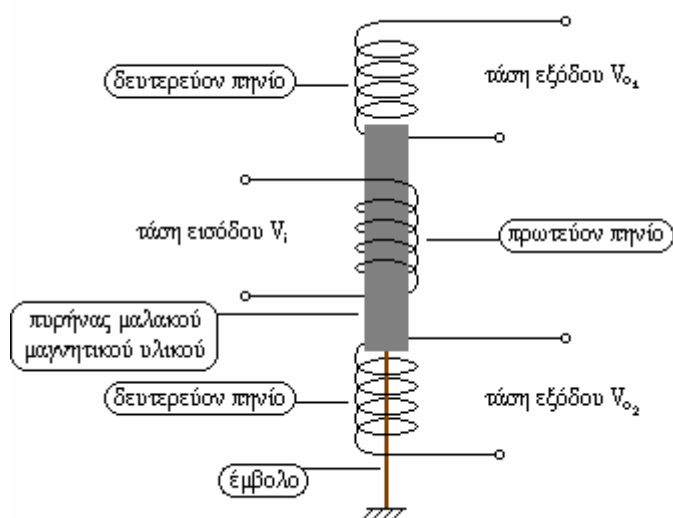
Σύμφωνα με το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής:

Όταν ένας αγωγός μετακινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται μία ηλεκτρεγερτική δύναμη στα άκρα του, η οποία είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής. Συνεπώς, αν εφαρμοστεί μία εναλλασσόμενη τάση στο πρωτεύον πηνίο, τότε αυτό θα παράγει εναλλασσόμενη μαγνητική ροή και λόγω του νόμου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής θα επαχθεί μια ηλεκτρεγερτική δύναμη στο δευτερεύον πηνίο. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη στο δευτερεύον πηνίο εξαρτάται από το ποσό του ρεύματος που ρέει στο πρωτεύον πηνίο και το πηλίκο του αριθμού περιελίξεων στο πρωτεύον και στο δευτερεύον πηνίο.

Η ονομασία του αισθητήρα περιγράφει την αρχή λειτουργίας του:

1. Πρόκειται για μετασχηματιστή ο οποίος υπόκειται στις αρχές της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.
2. Διαθέτει ένα πρωτεύον και δύο δευτερεύοντα πηνία, τα οποία συνδέονται και παρέχουν τη διαφορά των τάσεών τους στις αντίστοιχες εξόδους τους, εξ' ου και *διαφορικός*.
3. Η μαγνητική σύζευξη ανάμεσα στα πηνία μπορεί να μεταβληθεί επηρεάζοντας το μέγεθος της επαγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης, άρα *μεταβλητός*.
4. Ο σχεδιασμός της διάταξης είναι τέτοιος, ώστε η μεταβολή της μαγνητικής σύζευξης μεταξύ των πηνίων να γίνεται γραμμικά, εξ' ου και *γραμμικός*.

Στο σχήμα φαίνεται η απεικόνιση μιας διάταξης LVDT με ένα πρωτεύον πηνίο στο κέντρο και δύο δευτερεύοντα πηνία εκατέρωθεν. Τα πηνία βρίσκονται στον ίδιο άξονα. Στο κέντρο της διάταξης, εσωτερικά του πρωτεύοντος πηνίου, τοποθετείται ο πυρήνας του μαλακού μαγνητικού υλικού, που είναι ελεύθερος να κινείται κατά μήκος του κεντρικού άξονα. Ο πυρήνας συνδέεται μέσω ενός εμβόλου με το σημείο του οποίου η μετατόπιση θα μετρηθεί. Έτσι, η κίνηση του μετρούμενου σημείου μεταφέρεται στον πυρήνα του μαλακού μαγνητικού υλικού.



Εικόνα 5.1.5 Τυπική διάταξη LVDT

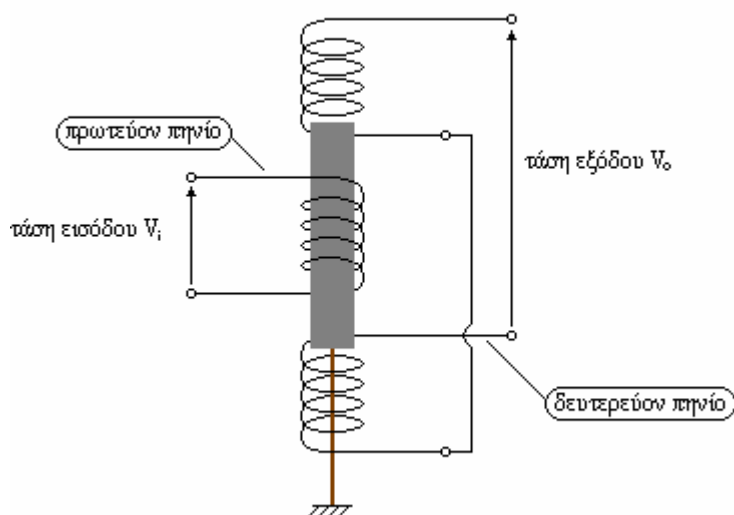
Αν το πρωτεύον πηνίο τροφοδοτηθεί με εναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργείται από αυτό ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο με τη βοήθεια του πυρήνα μαλακού μαγνητικού υλικού προκαλεί ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης στα άκρα των δευτερευόντων πηνίων. Αν τα δευτερεύοντα πηνία συνδεθούν όπως φαίνεται στο σχήμα 19 και δεδομένου ότι ο πυρήνας βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο της διάταξης, τα δύο παραγόμενα σήματα από τα δευτερεύοντα πηνία αλληλοαναιρούνται.

Μόλις κινηθεί ο πυρήνας προς κάποια κατεύθυνση, αυτομάτως αυξάνεται η σύζευξη του πρωτεύοντος πηνίου με το πηνίο προς το οποίο κινήθηκε ο πυρήνας και εξασθενεί η σύζευξη με το άλλο.

Στο σχήμα φαίνεται ένα διάγραμμα που αποδίδει τη σχέση του πλάτους της τάσης εξόδου των δευτερευόντων πηνίων V_0 – μετατόπισης του πυρήνα.

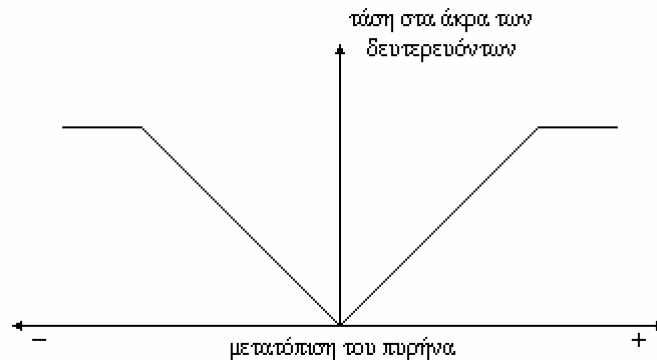
Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όταν ο πυρήνας του μαλακού μαγνητικού υλικού βρίσκεται στο κέντρο της διάταξης, η τάση στα άκρα των δευτερευόντων πηνίων είναι μηδενική. Αυτή η τάση αυξάνει με τη μετατόπιση, μέχρι το σημείο που η σύζευξη του πρωτεύοντος πηνίου με το ένα δευτερεύον γίνεται μέγιστη, ενώ με το άλλο μηδενίζεται. Από αυτό το σημείο και έπειτα η τάση εξόδου σταθεροποιείται σε μια τιμή. Αυτό το φαινόμενο λέγεται φαινόμενο του κόρου και εξαιτίας αυτού του φαινομένου περιορίζεται το πρακτικό εύρος λειτουργίας του LVDT.

Τα LVDT είναι εξαιρετικά ευαίσθητα και παρέχουν διακριτική ικανότητα έως 0,05mm. Το εύρος των μετρούμενων μετατοπίσεων κυμαίνεται από 0,1mm έως 300mm περίπου. Ο πυρήνας δεν έρχεται σε επαφή με τα πηνία και κατά συνέπεια δεν παρατηρείται έντονη τριβή ή μηχανική φθορά. Το LVDT έχει ακρίβεια της τάξης του $\pm 0,5\%$ της ένδειξης.



Εικόνα 5.1.6 Διάταξη LVDT με συνδεδεμένα τα δευτερεύοντα πηνία

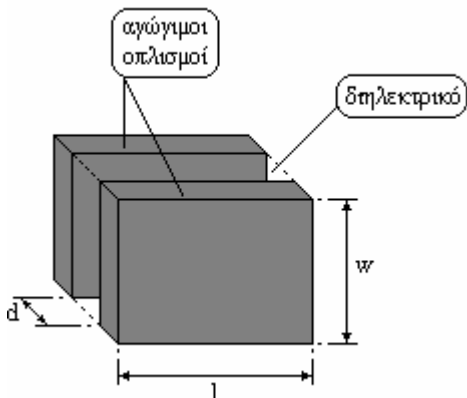
Η συσκευή μέτρησης μπορεί να τροποποιηθεί, ώστε να τροφοδοτείται από πηγή συνεχούς τάσης και να παρέχει συνεχή τάση εξόδου ή να κατασκευαστεί με τρόπο που να αντιμετωπίζει δονήσεις και κρούσεις. Επίσης, τα LVDT μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα μέτρησης δύναμης, πίεσης ή επιτάχυνσης.



Εικόνα 5.1.7 Διάγραμμα τάσης εξόδου των δευτερευόντων πηνίων V_0 – μετατόπισης του πυρήνα

Μέτρηση μετατόπισης με πυκνωτή μεταβλητού εμβαδού

Πυκνωτής ονομάζεται ένα ηλεκτρικό στοιχείο αποτελούμενο από δύο αγωγούς, που ονομάζονται οπλισμοί, σε μικρή απόσταση και το υλικό που βρίσκεται ανάμεσά τους, που λέγεται διηλεκτρικό. Ως διηλεκτρικό χρησιμοποιούνται υλικά όπως το γυαλί, η μίκα ή η κηροζίνη, τα οποία αντιστέκονται στην παρουσία ηλεκτρικού πεδίου. Στο σχήμα φαίνονται οι οπλισμοί ενός πυκνωτή και το διηλεκτρικό. Χαρακτηριστικό του πυκνωτή είναι η χωρητικότητα που εμφανίζει. Χωρητικότητα είναι η ιδιότητα ενός στοιχείου να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 5.1.8 Χωρητική – πυκνωτική διάταξη

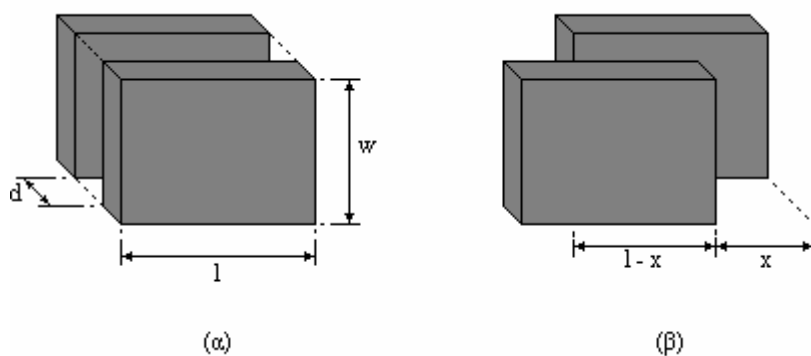
Μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το farad (F). Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή δίνεται από τη σχέση (15):

$$C = A \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r / d \quad (15)$$

όπου A είναι το εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή σε m^2 , ϵ_0 η απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του ελεύθερου χώρου και ισούται με $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m, ϵ_r είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά ή ηλεκτρική διαπερατότητα του υλικού του διηλεκτρικού και είναι αδιάστατο μέγεθος και d είναι η απόσταση των οπλισμών.

Η σχετική διηλεκτρική σταθερά ισούται με το πηλίκο της πυκνότητας ηλεκτρικής ροής μέσα σε ένα υλικό προς την πυκνότητα ηλεκτρικής ροής που υπάρχει στον ελεύθερο χώρο για την ίδια ένταση ηλεκτρικού πεδίου.

Υπάρχουν συσκευές μέτρησης μετατόπισης, που ονομάζονται *χωρητικοί μετατροπείς μετατόπισης*. Αυτές οι συσκευές βασίζονται στη χρησιμοποίηση πυκνωτών στους οποίους δημιουργείται αλλαγή χωρητικότητας ανάλογη της μετατόπισης. Ο μετατροπέας *μεταβλητής επιφάνειας* στηρίζεται στη μεταβολή της επιφάνειας επικάλυψης των οπλισμών για την αλλαγή της χωρητικότητας.



Εικόνα 5.1.9 Μεταβολή της χωρητικότητας του πυκνωτή με τη μετατόπιση

Στο σχήμα το εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή είναι:

$$A = w \cdot l$$

Συνεπώς, η χωρητικότητά του είναι:

$$C_0 = (w \cdot l) \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r / d$$

Αν ο ένας οπλισμός μετατοπισθεί ως προς τον άλλον κατά απόσταση x όπως στο σχήμα,

τότε το εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή είναι:

$$A' = w \cdot (l - x)$$

και η χωρητικότητά του είναι:

$$C_x = w \cdot (l - x) \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r / d$$

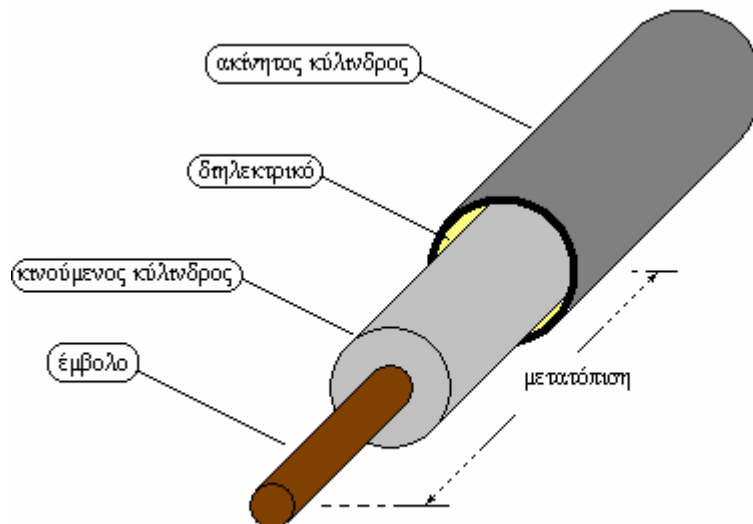
ή

$$C_x = [w \cdot l \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r / d] - [w \cdot x \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r / d]$$

Αφού η αλλαγή χωρητικότητας είναι ανάλογη της αλλαγής της επιφάνειας επικάλυψης, είναι δυνατό να κατασκευαστεί μία συσκευή μέτρησης μετατόπισης που να εκμεταλλεύεται αυτήν ακριβώς την ιδιότητα. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα. Οι κύλινδροι που εμφανίζονται στο σχήμα αποτελούν τους οπλισμούς ενός πυκνωτή. Το διηλεκτρικό είναι επενδυμένο στο εσωτερικό του ακίνητου κυλίνδρου. Το έμβολο έρχεται σε επαφή με την προς μέτρηση επιφάνεια. Έτσι, μέσω του εμβόλου μεταφέρεται η μετατόπιση στον κινούμενο κύλινδρο. Εφόσον κινείται ο εσωτερικός κύλινδρος, μεταβάλλεται το εμβαδόν επικάλυψης των οπλισμών του πυκνωτή και κατά

συνέπεια η χωρητικότητά του. Με αυτό τον τρόπο μετράτε η μετατόπιση σε κατάλληλα βαθμονομημένο βολτόμετρο.

Το σήμα εξόδου που δίνεται στο βολτόμετρο χρειάζεται ειδική ρύθμιση. Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι θερμοκρασιακές μεταβολές γιατί επηρεάζουν τη χωρητικότητα του πυκνωτή και εισάγουν σφάλματα στη μέτρηση. Οι χωρητικοί μετατροπείς μετατόπισης χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις μικρών μετατοπίσεων. Υπάρχουν ορισμένες συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας, υγρασίας ή ραδιενέργειας. Επίσης, υπάρχουν συσκευές που μπορούν να μετρήσουν μετατόπιση μεταβάλλοντας τη χωρητικότητα του πυκνωτή μέσω αλλαγής της ηλεκτρικής διαπερατότητας ϵ_r του διηλεκτρικού ή της απόστασης d των οπλισμών. Είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι και διαθέτουν άπειρη διακριτική ικανότητα, αλλά ταυτόχρονα έχουν υψηλό κόστος και απαιτούν προσεκτική τοπική ρύθμιση. Εξαιτίας αυτών χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές όπως είναι η ανίχνευση επιφανειακής μορφολογίας υλικών, η μέτρηση μηχανικής φθοράς ή δημιουργίας ρωγμών σε ένα υλικό κ.α..



Εικόνα 5.1.10 Χωρητικός μετατροπείς μετατόπισης μεταβλητής επιφάνειας

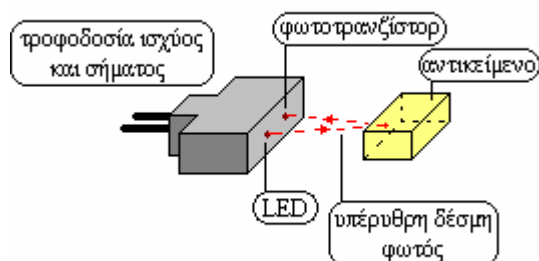
Οπτικός αισθητήρας μετατόπισης

Οι οπτικοί αισθητήρες ή οπτοαισθητήρες αποτελούνται από μία πηγή και έναν ανιχνευτή φωτός. Η πηγή φωτός μπορεί να τοποθετηθεί απέναντι από τον ανιχνευτή. Η μέθοδος μέτρησης κατά την οποία χρησιμοποιείται αυτή η διάταξη, ονομάζεται μέθοδος της *διαπερατότητας*. Κατά τη μέθοδο *ανακλώμενης οπτικής δέσμης* η πηγή φωτός τοποθετείται δίπλα στον ανιχνευτή, ο οποίος λαμβάνει την αντανάκλαση της παραγόμενης δέσμης φωτός.

Οι πηγές φωτός είναι συνήθως δίοδοι φωτοεκπομπής (LED) και οι ανιχνευτές είναι φωτοτρανζίστορ πυριτίου. Το φως που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι οπτικό ή υπέρυθρο. Η εγκατάσταση και συντήρηση της συσκευής είναι πιο εύκολη όταν χρησιμοποιείται οπτικό φως, αλλά με το υπέρυθρο φως επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα, γιατί επηρεάζεται λιγότερο από το φαινόμενο της συμβολής που μπορεί να προκαλέσουν γειτονικές πηγές φωτός.

Όταν χρησιμοποιούνται αισθητήρες διαπερατότητας, η πηγή φωτός εκπέμπει ορατό κόκκινο ή υπέρυθρο φως το οποίο λαμβάνει ο ανιχνευτής που έχει τοποθετηθεί απέναντι. Αν παρεμβληθεί κάποιο αντικείμενο, η λήψη της δέσμης φωτός από τον ανιχνευτή διακόπτεται και με αυτόν τον τρόπο διαπιστώνεται η ύπαρξη του αντικειμένου.

Στο σχήμα εμφανίζεται μία διάταξη αισθητήρα ανακλώμενης οπτικής δέσμης. Η δέσμη φωτός που εκπέμπεται από τη δίοδο φωτοεκπομπής ανακλάται επάνω στο αντικείμενο και ανιχνεύεται από το φωτοτρανζίστορ.



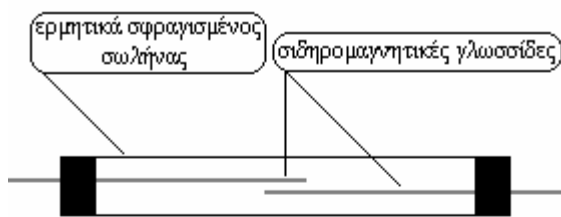
Εικόνα 5.1.11 Οπτικός αισθητήρας με μέθοδο ανακλώμενης οπτικής δέσμης

Η επιφάνεια του αντικειμένου που ελέγχεται με αυτή τη διαδικασία συνήθως καλύπτεται με ειδική ανακλαστική επιστρώση προκειμένου να μειώνονται τα σφάλματα της μέτρησης. Επίσης, η μετάδοση του φωτός μπορεί να γίνεται με τη μορφή παλμών και να υπάρχει ειδικό φιλτράρισμα, ώστε να ελαττώνεται η πιθανότητα εσφαλμένων ενδείξεων. Κατά τη μέθοδο της ανακλώμενης οπτικής δέσμης η ύπαρξη και η ισχύς της ανακλώμενης δέσμης μπορεί να ερμηνευθεί κατάλληλα, ώστε να παρέχει πληροφορίες για την απόσταση του αντικειμένου.

Η ισχύς της εκπεμπόμενης δέσμης φωτός καθορίζει την ελάχιστη απόσταση προσέγγισης, στην οποία λειτουργεί ο αισθητήρας. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζουν και η ευαισθησία του φωτοτρανζίστορ, καθώς και η φύση του ελεγχόμενου αντικειμένου. Για τη μέθοδο ανάκλασης η απόσταση κυμαίνεται από 1mm μέχρι 7mm και σε ορισμένες περιπτώσεις υπερβαίνει και αυτά τα όρια. Οι οπτικές ίνες εξυπηρετούν στην εφαρμογή της τεχνικής σε σημεία απρόσιτα από άλλους αισθητήρες. Ο ανιχνευτής φωτός έχει δική του τροφοδοσία και παράγει κατάλληλη τάση εξόδου, η οποία συνήθως χρειάζεται ενίσχυση, αλλά επιτρέπει τη λήψη ενδείξεων από απόσταση. Σε πιο σύγχρονα μοντέλα παρέχεται και ένδειξη της απόστασης. Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα συναγερμού και στον έλεγχο ποιότητας, κατά την παραγωγική διαδικασία.

Αισθητήρας Διακόπτη Με Γλωσσίδα

Μια τυπική διάταξη ενός διακόπτη με γλωσσίδα αποτελείται από δύο μικρές σιδηρομαγνητικές γλωσσίδες κλεισμένες ερμητικά μέσα σε ένα λεπτό γυάλινο σωλήνα. Στο σχήμα φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός διακόπτη με γλωσσίδα.



(α)

ανοικτός διακόπτης



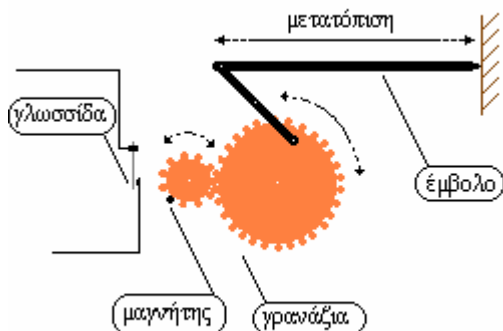
(β)

κλειστός διακόπτης

Εικόνα 5.1.12 Αισθητήρας Διακόπτη με Γλωσσίδα

Οι γλωσσίδες είναι λεπτές και ευλύγιστες και μαγνητίζονται εύκολα με την παρουσία μαγνητικού πεδίου, επειδή είναι σιδηρομαγνητικές. Συνήθως συναντιόνται δύο τύποι διακόπτη με γλωσσίδα. Ο πρώτος χαρακτηριστικός τύπος διακόπτη έχει δύο γλωσσίδες όπως περιγράφηκε, τα άκρα των οποίων έλκονται και έρχονται σε επαφή, κλείνοντας ένα κύκλωμα, όταν περάσει ένας μαγνήτης από μικρή απόσταση. Ο δεύτερος τύπος διακόπτη διαθέτει μία εύκαμπτη γλωσσίδα μεταξύ δύο επαφών. Αρχικά, η γλωσσίδα εφάπτεται στη μία επαφή, οπότε το κύκλωμα είναι ανοικτό. Μόλις περάσει ένας μαγνήτης από μικρή απόσταση, η γλωσσίδα μετακινείται προς την άλλη επαφή και κλείνει ένα κύκλωμα μέχρι να απομακρυνθεί ο μαγνήτης, οπότε επιστρέφει στην αρχική της θέση.

Με αυτή τη διάταξη προσδιορίζεται εύκολα η γωνιακή περιστροφή ενός άξονα. Εάν τοποθετηθεί ένας μόνιμος μαγνήτης στον άξονα και ο διακόπτης στερεωθεί κοντά του, περιστρέφοντας τον άξονα, ο μαγνήτης θα περνάει περιοδικά κοντά από τον διακόπτη. Έτσι, η γλωσσίδα θα κλείνει περιοδικά ένα κύκλωμα δίνοντας μία έξοδο με παλμική μορφή. Με κατάλληλη επεξεργασία της εξόδου προσδιορίζεται η γωνιακή μετατόπιση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Με μια λίγο πιο σύνθετη κατασκευή, όπως του σχήματος 26 είναι δυνατή και η απευθείας μέτρηση γραμμικής μετατόπισης.



Εικόνα 5.1.13 Μέτρηση μετατόπισης από αισθητήρα με γλωσσίδα

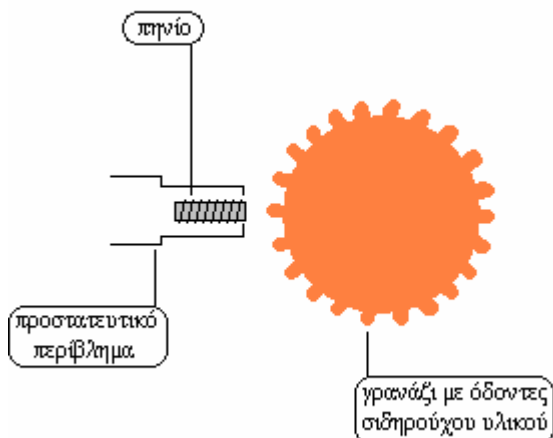
Το έμβολο τοποθετείται στην επιφάνεια που πρόκειται να μετρηθεί. Οποιαδήποτε μετακίνησή της μεταφέρεται μέσω του εμβόλου στο γρναζί, το οποίο περιστρέφεται και παράλληλα περιστρέφει το μικρότερο γρναζί. Με κατάλληλη διάταξη γρναζιών η κίνηση καταλήγει σε ένα γρναζί, όπου έχουν στερεωθεί ένας ή περισσότεροι μαγνήτες σε έναν ή περισσότερους οδόντες του αντίστοιχα. Ο μαγνήτης περνάει περιοδικά κοντά σε ένα διακόπτη με γλωσσίδα και έτσι προκαλεί το περιοδικό κλείσιμο ενός κύκλωματος. Το κύκλωμα παράγει μία έξοδο με μορφή παλμών, η οποία δίνει πληροφορίες για τη μετατόπιση.

Η απόσταση του μαγνήτη από τις γλωσσίδες καθορίζεται με βάση την ισχύ του μαγνήτη, το υλικό κατασκευής των γλωσσίδων και την απόστασή τους όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό. Η ταχύτητα λειτουργίας του διακόπτη μπορεί να είναι μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Οι γλωσσίδες που βρίσκονται εντός του σωλήνα δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες, όπως την υπάρχουσα σκόνη και άρα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση σε σχέση με άλλα είδη διακοπών. Χρειάζονται προστασία όμως, από τυχόν δονήσεις ή κρούσεις, γιατί πρόκειται για εύθραυστες συσκευές.

Οι διακόπτες με γλωσσίδα είναι σχετικά φθηνοί και οι κυριότερες εφαρμογές που βρίσκουν είναι στα ποδήλατα, όπου υπολογίζουν ταχύτητα και απόσταση, σε συστήματα αυτόματου κλειδώματος, σε συστήματα συναγερμού και αλλού.

Γωνιόμετρο Μεταβλητής Μαγνητικής Αντίστασης

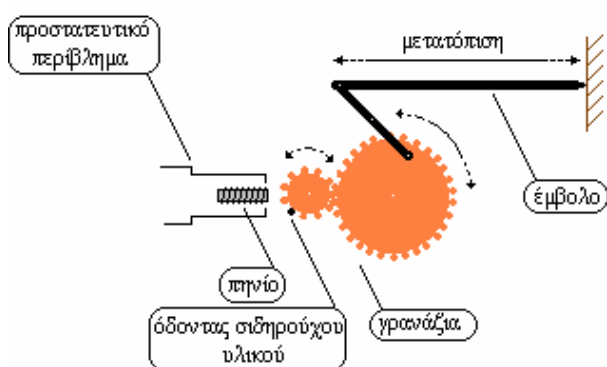
Πρόκειται για μικρές μαγνητικές συσκευές, οι οποίες αποτελούνται από ένα μικρό πηνίο στερεωμένο σε σταθερό σημείο κοντά σε ένα τροχό που μπορεί να περιστραφεί. Το πηνίο βρίσκεται μέσα σε προστατευτική θήκη. Οι αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γωνιακής απόκλισης. Στο σχήμα δίνεται η απεικόνιση ενός τέτοιου αισθητήρα.



Εικόνα 5.1.14 Αισθητήρας προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

Τα δόντια του γραναζιού είναι κατασκευασμένοι από σιδηρούχο υλικό και έτσι γίνεται ανιχνεύσιμη η ύπαρξή τους από το πηνίο. Κάθε φορά που περνάει ένας όδοντας κοντά από το πηνίο, μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο γύρω του και παράγεται μία τάση εξόδου, η οποία μπορεί να ληφθεί στην οθόνη βολτομέτρου ή αμπερομέτρου με τη μορφή παλμού. Ανάλογα με τον αριθμό των παλμών μπορεί να προσδιοριστεί η γωνιακή περιστροφή.

Αν αναχθεί αυτός ο αισθητήρας σε μια διάταξη αντίστοιχη του σχήματος, θα ήταν δυνατή η μέτρηση γραμμικής μετατόπισης.



Εικόνα 5.1.15 Μέτρηση μετατόπισης από αισθητήρα προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

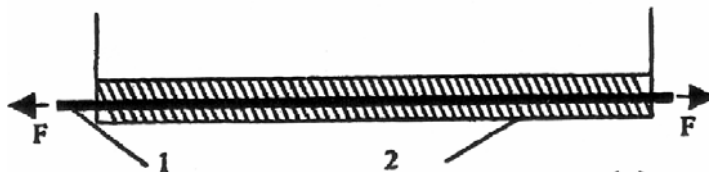
Τυπικοί αισθητήρες αυτού του τύπου ανιχνεύουν σιδηρομαγνητικά υλικά σε αποστάσεις έως 2,5mm. Έχουν πολλές εφαρμογές, οι κυριότερες από τις οποίες είναι η ανίχνευση της γωνίας ενός άξονα, ο χρόνος ανάφλεξης ή η ταχύτητα σε κινητήρες, ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σκληρούς ή μαλακούς δίσκους υπολογιστών. Το μικρό τους μέγεθος είναι σημαντικό πλεονέκτημα, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που δεν είναι δυνατή η χρήση άλλων αισθητήρων λόγω του μεγέθους τους. Αρκετές διατάξεις αυτού του αισθητήρα δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν, ενώ άλλες σφραγίζονται μέσα σε θήκες, όπου προστατεύονται από ακραίες

θερμοκρασίες και πιέσεις, καθώς και δραστικές χημικές ουσίες. Το κόστος τέτοιων συσκευών είναι χαμηλό, αλλά η λειτουργία τους επηρεάζεται από την ύπαρξη ανεπιθύμητων σημάτων θορύβου.

Αισθητήρες Μάζας

Στην κατηγορία των αισθητήρων μάζας συμπεριλαμβάνονται οι κυψελίδες φορτίου (load cells), οι αισθητήρες πίεσης (pressure sensors), οι μετρητές ροπής καθώς και τα ροόμετρα (flow meters) με τα ροόμετρα μάζας, ως παράγωγες εφαρμογές.

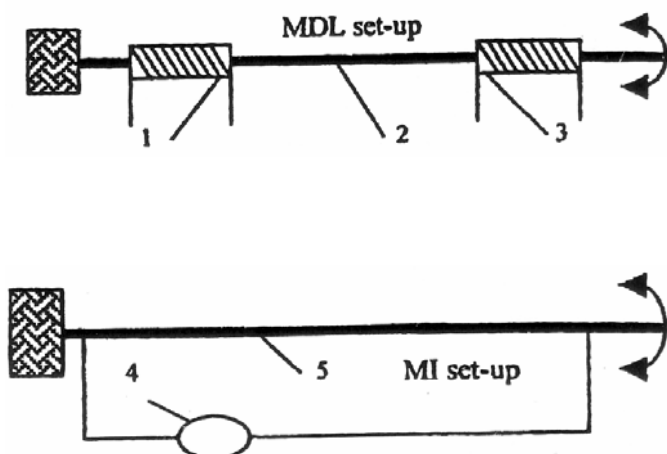
Οι συσκευές αυτές μπορούν να ανιχνεύουν έμμεσα τις εφαρμοζόμενες τάσεις βασιζόμενοι σε μετρήσεις αισθητήρων θέσης ή αισθητήρων μηχανικής τάσης. Φυσικά υπάρχουν διατάξεις με μαγνητικά υλικά, οι οποίες μπορούν να ανιχνεύουν άμεσα τις εφαρμοζόμενες τάσεις και συνεπώς να υπολογίζουν φορτίο, πίεση και ροπή στρέψης. Οι κυψελίδες φορτίου που μετρούν άμεσα εφελκυστικές τάσεις είναι κυρίως επαγωγικές διατάξεις, στις οποίες ως πυρήνας χρησιμοποιείται ένα ευαίσθητο σε τέτοιου είδους τάσεις υλικό, όπως λόγω χάρη θετικά μαγνητοσυστολικά υλικά. Η διαπερατότητα μειώνεται καθώς εφαρμόζεται τάση, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αντίστοιχη μείωση στην έξοδο της διάταξης. Τέτοιου είδους διατάξεις έχουν εφαρμοστεί και σε επιταχυνσιόμετρα. Έχει προταθεί και διάταξη MDL για κυψελίδα φορτίου στην οποία τέτοια τεταμένα υλικά χρησιμοποιήθηκαν σε σύζευξη με τη γραμμή καθυστέρησης. Με τη διάταξη του MDL επιτεύχθηκαν καλύτερα επίπεδα ευαισθησίας και αβεβαιότητας, της τάξης των 10-100rpm και 100-300rpm, αντίστοιχα, και με κόστος 1kEuro/αισθητήρα.



Εικόνα 5.1.16 Επαγωγική διάταξη αισθητήρα εφελκυσμού (1: πυρήνας από μαλακό μαγνητικό υλικό, 2:πηνίο διέγερσης).

Παράλληλα με χρήση διατάξεων MDL έχουν πραγματοποιηθεί άμεσες μετρήσεις πιέσεων. Η πίεση μετρήθηκε πάνω στο στοιχείο της γραμμής καθυστέρησης. Η ευαισθησία και η αβεβαιότητα των συσκευών αυτών κυμαίνονται στα 10rpm και 100rpm, αντίστοιχα, με κόστος 1kEuro/αισθητήρα. Η μονοτονική και μη υστερητική απόκριση αυτών των αισθητήρων δεν ήταν ικανές να εξασφαλίσουν την εμπορική τους εκμετάλλευση εξαιτίας του μεγάλου ανταγωνισμού με τις συσκευές με πιεζοηλεκτρικά υλικά. Το κόστος παραγωγής τους δεν είναι συγκρίσιμο με την προαναφερθείσα τεχνική, παρά το γεγονός ότι η απόκριση του MDL έχει σαφές πλεονέκτημα.

Για μετρήσεις στρεπτικών τάσεων χρησιμοποιούνται προανοπτημένα μαγνητικά υλικά, τα οποία υποβάλλονται σε στρέψη. Για την εφαρμογή αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί το φαινόμενο της μαγνητοεμπέδησης καθώς και οι διατάξεις MDL, με εξίσου ανταγωνιστικές ιδιότητες. Η ευαισθησία και η αβεβαιότητα των συσκευών αυτών είναι περίπου 100rpm και 1000rpm, αντίστοιχα, με κόστος 1kEuro/αισθητήρα. Όσον αφορά τους αισθητήρες ροής ευρέως γνωστές στη βιομηχανία είναι οι συσκευές που βασίζονται σε ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές.



Εικόνα 5.1.16 Διάταξη MDL και μαγνητο – εμπέδησης για έλεγχο στρεπτικών τάσεων (1: κινούμενο πηνίο διέγερσης, 2: MDL, 3: κινούμενο πηνίο λήψης, 4: εναλλασσόμενο κύκλωμα διέγερσης, 5: στοιχείο μαγνητο – αντίστασης).

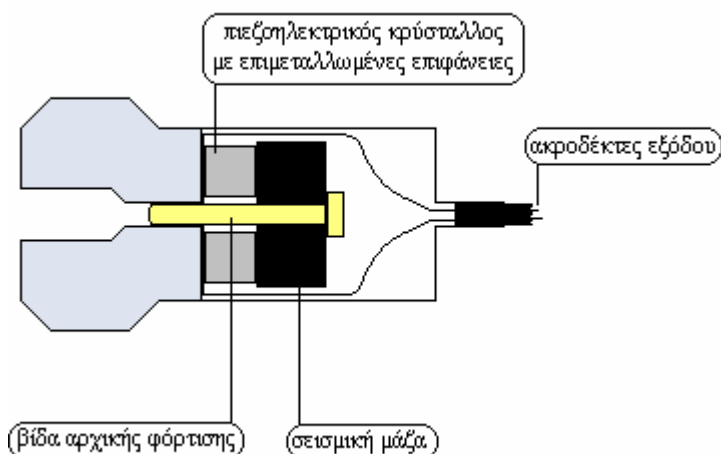
Πιεζοηλεκτρικό Επιταχυνσιόμετρο

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών να εμφανίζουν τάση στα άκρα τους, όταν ασκείται σε αυτά μηχανική καταπόνηση με τη μορφή θλίψης ή εφελκυσμού. Τα υλικά που έχουν αυτή την ιδιότητα ονομάζονται πιεζοηλεκτρικά και ισχύει για αυτά και η αντίστροφη διαδικασία. Αν, δηλαδή, εφαρμοστεί τάση στα άκρα ενός πιεζοηλεκτρικού υλικού, τότε αυτό θα παραμορφώνεται ανάλογα με τη φορά του δυναμικού. Όταν ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό καταπονείται διαδοχικά σε εφελκυσμό και θλίψη, παράγει εναλλασσόμενη τάση στα άκρα του.

Το πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο είναι πολύ διαδεδομένο. Στο σχήμα φαίνεται η τυπική του διάταξη που αποτελείται από μία μάζα συνδεδεμένη με ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο με επιμεταλλωμένες επιφάνειες που καταλήγουν σε δύο ακροδέκτες.

Όταν η συσκευή επιταχύνεται, η μάζα μετακινείται και καταπονεί τον κρύσταλλο θλιπτικά αν επιταχύνεται ή εφελκυστικά αν επιβραδύνεται. Έτσι παράγεται αντίστοιχη τάση στα άκρα του κρυστάλλου, η οποία είναι ανάλογη της επιτάχυνσης και μέσω των ακροδεκτών μεταφέρεται σε ένα κατάλληλα βαθμονομημένο βολτόμετρο. Εισάγοντας και άλλα δεδομένα στους υπολογισμούς μπορούν να προσδιοριστούν και άλλες παράμετροι, όπως η μετατόπιση.

Για τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως πιεζοηλεκτρικά όπως ο χαλαζίας και το τρυγικό νάτριο ή κάλιο, επειδή έχουν μικρό κόστος και υψηλή μηχανική αντοχή. Τα πιεζοηλεκτρικά επιταχυνσιόμετρα έχουν υψηλές τάσεις εξόδου, οι οποίες όμως, συνοδεύονται από ηλεκτρικό θόρυβο. Είναι αρκετά εύρηστες συσκευές, καθώς είναι μικρές, ελαφριές και αντέχουν αρκετά υψηλές επιταχύνσεις της τάξης των 250000 m/sec^2 .



Εικόνα 5.1.17 Πιεζοηλεκτρικό επιταχυνσιόμετρο

Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες: τους αισθητήρες πλατίνας (Pt temperature sensors), τα θερμοζεύγη και τα thermistors.

Αισθητήρια πλατίνας

Τα αισθητήρια πλατίνας στηρίζονται στην γραμμική μεταβολή της ειδικής αντίστασης της πλατίνας συναρτήσει της θερμοκρασίας και έχουν ένα μεγάλο εύρος μέτρησης. Η ευαισθησία και η αβεβαιότητα της μέτρησης με έναν τέτοιο αισθητήρα μεγαλώνει με την καθαρότητά του. Έτσι, μπορούν να βρεθούν οι αισθητήρες υπερκαθαράς πλατίνας με αβεβαιότητα 1 mK.

Θερμοζεύγη

Τα θερμοζεύγη είναι αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο Seebeck, που μελετήθηκε στο κεφάλαιο 1.1. Οι αισθητήρες αυτοί δεν έχουν γραμμική απόκριση και είναι ευαίσθητοι σε ορισμένα εύρη μέτρησης.

Thermistor

Το όνομα *thermistor* επινοήθηκε ως αρκτικόλεξο για την περιγραφή ενός στοιχείου των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που έχει αξιοσημείωτη μεταβολή της ειδικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία σε μία εκτεταμένη περιοχή θερμοκρασιών "*thermally-sensitive-resistor*". Αυτές οι συσκευές αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του 1940 ως αποτέλεσμα της έρευνας των ιδιοτήτων των οξειδίων των μετάλλων που έχουν αναμιχθεί μη στοιχειομετρικά και στις οποίες, σε ορισμένες περιπτώσεις, ίχνη ακαθαρσιών έχουν προστεθεί σε πολύ μικρές ποσότητες.

Τα αποτελέσματα των διαφόρων αναμιξεων ήταν η ανάπτυξη συσκευών που σύντομα έγιναν εμπορικά διαθέσιμες από ένα μεγάλο αριθμό εταιρειών. Οι συσκευές αυτές είχαν μεγάλη εξάπλωση επειδή η ειδική ηλεκτρική αντίσταση τους μεταβαλλόταν κατά 4 και 5% ανά βαθμό Κελσίου που ήταν αρκετά μεγαλύτερη από οποιοδήποτε άλλο στοιχείο ή κράμα μετάλλου. Επιπλέον, επειδή τα οξείδια των

μετάλλων είναι ημιαγώγιμα, αντιθέτως με τα μέταλλα, μία μεγάλη γκάμα τιμών της αντίστασης ήταν διαθέσιμη.

Στη δεκαετία του 1950 ανακαλύφθηκε ότι το κεραμικό τιτανικό βάριο έχει ημιαγώγιμες ιδιότητες, όταν μικρές ποσότητες είτε βαρίου είτε τιτανίου αντικατασταθούν από άτομα με παρόμοια ακτίνα και μεγαλύτερο σθένος. Επιπλέον, σε μία περιορισμένη περιοχή θερμοκρασιών, πάνω από το σημείο Curie, έχουμε μία αξιοσημείωτη άνοδο της ειδικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία, της τάξης 15% ανά °C.

Φαίνεται λοιπόν λογικό ότι και αυτό το υλικό, στη μορφή συσκευής, να μπορεί να χαρακτηριστεί ως thermistor, αλλά για αρκετό καιρό ο όρος χρησιμοποιούνταν μόνο για συσκευές που είχαν μείωση της αντίστασης με την θερμοκρασία. Στις μέρες μας, όμως, ο όρος thermistor είναι γενικός. Συσκευές με μείωση της αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας λέγονται NTC (Negative temperature Coefficient of Resistance) και συσκευές που έχουν αύξηση της αντίστασης με την θερμοκρασία ονομάζονται PTC (Positive temperature Coefficient of Resistance).

Η έρευνα στα οξειδία των NTC thermistor δεν έχει οδηγήσει σε κάποια αύξηση της μεταβολής της αντίστασης, έχει όμως παρατηρηθεί ανώμαλη συμπεριφορά σε συγκεκριμένη μίξη οξειδίων που περιέχουν το Vd_2O_5 ως συστατικό. Σ' αυτό το υλικό παρατηρούμε μείωση της ειδικής αντίστασης κατά 100% ανά °C για μια πολύ συγκεκριμένη περιοχή θερμοκρασιών περίπου στους 68 °C. Περαιτέρω έρευνα είναι δυνατόν να δημιουργήσει τέτοια συμπεριφορά και σε άλλες θερμοκρασίες χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά. Τέτοια έρευνα έχει γίνει και έχει οδηγήσει σε ραγδαία εξέλιξη των PTC τιτανικού βαρίου thermistors στο οποίο μπορεί να προστεθεί τιτανικός μόλυβδος ή τιτανικό στρόντιο σε μικρές ποσότητες με ελεγχόμενο τρόπο. Μ' αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η κατασκευή thermistor με μεταβολή της ειδικής αντίστασης κατά 60% ανά °C σε μικρή περιοχή θερμοκρασιών (μερικούς δεκάδες βαθμούς). Η μεταβολή αυτή μπορεί να λαμβάνει χώρα από τους -100°C μέχρι τους 350°C ανάλογα με την περιεκτικότητα σε τιτανικό στρόντιο ή μόλυβδο.

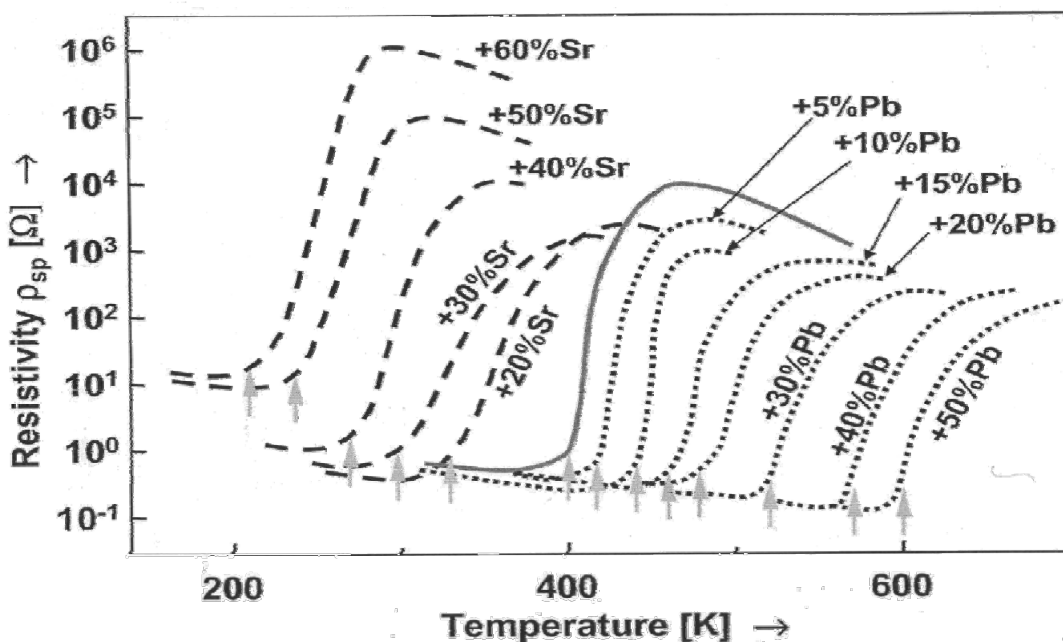
Επίσης, έχουν παρασκευαστεί NTC και PTC υλικά με μικρή μεταβολή στην ειδική αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία (<2% ανά °C) και βρίσκουν εφαρμογές σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις. Για τους συνηθισμένους NTC thermistors η εξάρτηση της αντίστασης με την θερμοκρασία ακολουθεί ένα εκθετικό νόμο. Αυτό συμβαίνει και στους μονοκρυσταλλικούς thermistors καρβιδίου του πυριτίου, οι οποίοι έχουν εφαρμογές από τους -100°C έως τους 300°C.

Οι PTC thermistors είναι κατασκευασμένοι από δύο ειδών υλικά: συνδυασμούς υλικών που έχουν ως βάση τη δομή του τιτανικού βαρίου (ένα άλλο εμπορικό όνομα γι' αυτούς είναι Posistors) και ημιαγωγούς με την μορφή διαμαντιού, όπως το πυρίτιο (ένα άλλο όνομα είναι Silistors). Το φάσμα θερμοκρασίας που οι thermistors τιτανικού βαρίου είναι λειτουργικοί εξαρτάται από την σύνθεσή του. Οι thermistors που έχουν την κρυσταλλική δομή του διαμαντιού έχουν μικρή μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με την θερμοκρασία ($\approx 0,8\%$ ανά °C για το πυρίτιο), αλλά είναι πιο εφαρμόσιμη για μια ευρύτερο φάσμα θερμοκρασίας.

Η βασική ιδιότητα των υλικών των thermistor είναι η σχέση αντίστασης- θερμοκρασίας. Όμως, η θερμοκρασία του υλικού μπορεί να επηρεαστεί με διάφορους τρόπους. Ο ένας είναι από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Άλλος είναι από θέρμανση εξ' αιτίας της εσωτερικής ενέργειας, που μπορεί να είναι αποτέλεσμα της σύνδεσης της συσκευής σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή η απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, συνήθως στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Επιπλέον, όταν έχουμε μεγάλη θέρμανση τέτοιας μορφής, η θερμοκρασία του υλικού δεν είναι σταθερά για δοσμένη εσωτερική ενέργεια, αφού η θερμική αγωγιμότητα εξαρτάται από το περιβάλλον.

Το τιτανικό βάριο ($BaTiO_3$), που μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα μη αγωγίμο κεραμικό, επιδεικνύει μία έντονη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής αντίστασης σε μία σχετικά μικρή περιοχή θερμοκρασίας. Μία μεγάλη ποικιλία thermistors είναι διαθέσιμη, στην οποία το υλικό είναι ένα μίγμα από τιτανικό βάριο-στρόντιο- μόλυβδο. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες της ειδικής αντίστασης

σε σχέση με την θερμοκρασία για διαφορετικές αναλογίες τιτανικού στροντίου και τιτανικού μολύβδου στο τιτανικό βάριο.

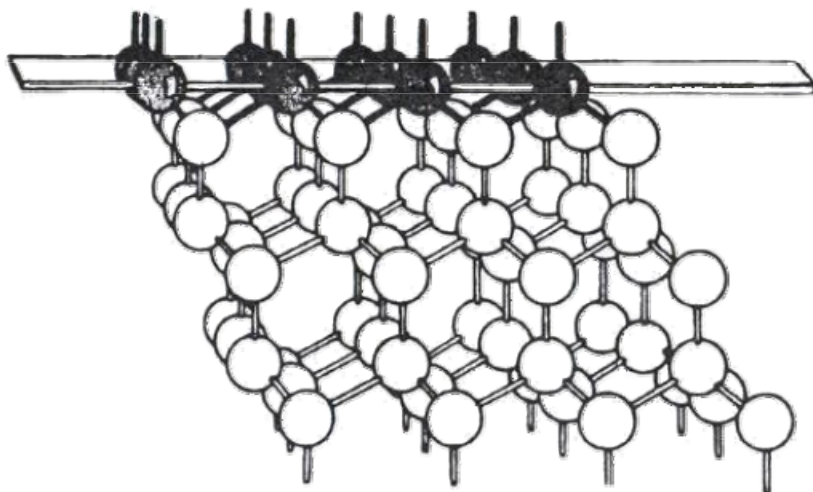


Εικόνα 5.1.18 Καμπύλες ειδικής αντίστασης θερμοκρασίας τιτανικού βαρίου-στροντίου-μολύβδου

Η ημιαγώγιμη συμπεριφορά δημιουργείται από την αντικατάσταση ατόμων, βαρίου από στοιχεία που έχουν παρόμοιο μέγεθος ιόντος με το Ba^{2+} και σθένος μεγαλύτερο από δύο ή από στοιχεία με παρόμοια ιοντική ακτίνα με το Ti^{4+} και σθένος μεγαλύτερο του 4. Για παράδειγμα, η χρησιμοποίηση Sb^{3+} σε μικρές συγκεντρώσεις (0,3 άτομα

%) προκαλούν την αλλαγή του σθένους στα γειτονικά ιόντα τιτανίου από +4 σε +3. Αυτό σημαίνει ότι από τα ιόντα αυτά ένας αριθμός πλεονάζοντος, ίσος με τον αριθμό των ιόντων, παράγονται και είναι ελεύθερα να κινηθούν στο πλέγμα. Συνεπώς, έχουμε ημιαγωγιμότητα n-τύπου και μία ειδική αντίσταση της τάξης των $30 \Omega \text{ cm}$ σε θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Το $BaTiO_3$ είναι ένα πολυκρυσταλλικό κεραμικό υλικό. Σε τέτοια υλικά το περιβάλλον των ατόμων στα όρια των κόκκων είναι πολύ διαφορετικό με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αντίστοιχα, στην περιοχή αυτή του κόκκου, η ενέργεια των ηλεκτρονίων και γενικότερα η συμπεριφορά των φορέων. Συγκεκριμένα, στα άτομα των ορίων του κόκκου πολλοί δεσμοί μένουν ασυμπλήρωτοι από ηλεκτρόνια, αφού δεν υπάρχουν αφού δεν υπάρχουν αντίστοιχα γειτονικά άτομα προς την εξωτερική πλευρά.



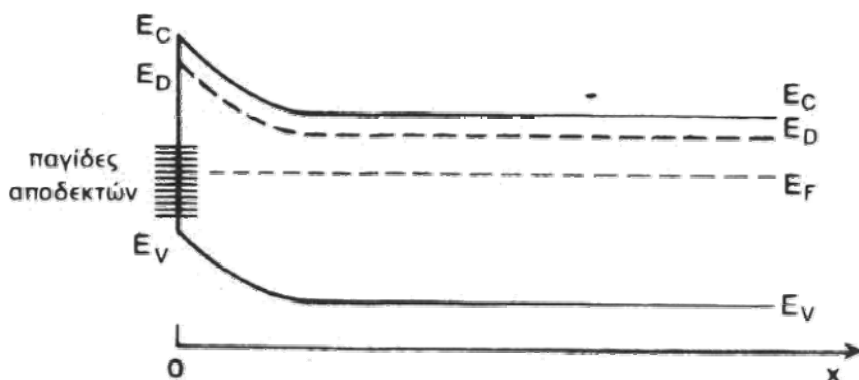
Εικόνα 5.1.19 Τα άτομα στην εξωτερική επιφάνεια ενός κρυστάλλου τετρασθενούς στοιχείου. Δείχνονται η μία από τις τέσσερις κατευθύνσεις των τροχιακών σθένους των ατόμων, που καθώς μένουν αδέσμευτα είναι προσανατολισμένα προς το χώρο έξω από το κρύσταλλο

Δημιουργείται έτσι μια ενεργειακή στάθμη επιφάνειας από αποδέκτες, που βρίσκεται μέσα στην απαγορευμένη ζώνη του διαγράμματος των ενεργειακών ζωνών του ημιαγωγού. Η πυκνότητα των αποδεκτών στη στάθμη επιφάνειας είναι όση και των ατόμων στην επιφάνεια ενός κόκκου.

Αυτό οφείλεται στην τάση των αποδεκτών της στάθμης επιφάνειας να μετατρέψουν την επιφανειακή περιοχή του κρυστάλλου σε p-τύπου ημιαγωγό, ανεξάρτητα από το χαρακτήρα του εσωτερικού του (ενδογενής, p-τύπου ή n-τύπου). Πρακτικά αυτό σημαίνει πως υπάρχει ένα φράγμα δυναμικού στα όρια των κόκκων που πρέπει να ξεπεράσουν οι φορείς αγωγιμότητας για να κινηθούν στον επόμενο κόκκων.

Το τιτανικό βάριο είναι σιδηροηλεκτρικό υλικό. Αυτό σημαίνει πως παρατηρείται μία αυθόρμητη πόλωση στους κόκκους. Οι φορείς πόλωσης στα όρια του κόκκου έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση αυτού του φράγματος δυναμικού με αποτέλεσμα η κίνηση των φορέων αγωγιμότητας να γίνεται πιο εύκολα και συνεπώς η τιμή της αντίστασης του υλικού να μην είναι τεράστια.

Πάνω από την θερμοκρασία Curie, όμως, όπου το υλικό δεν είναι πλέον σιδηροηλεκτρικό και χάνεται η αυθόρμητη πόλωση, το φράγμα δυναμικού στα όρια των κόκκων μεγαλώνει, οπότε γίνεται πιο δύσκολη η κίνηση των φορέων αγωγιμότητας διάμεσο των κόκκων άρα η τιμή της ειδικής αντίστασης αυξάνεται. Σ' αυτό το φαινόμενο οφείλεται και η πολύ μεγάλη αύξηση της τιμής της αντίστασης σε μια πολύ μικρή περιοχή θερμοκρασίας (κοντά στην θερμοκρασία Curie).



Εικόνα 5.1.20 Η παράλληλη κάμψη της κορυφής της ζώνης σθένους και του πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας κοντά στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού n-τύπου, σαν αποτέλεσμα της ζώνης αποδεκτών σε στάθμες επιφανείας. Ο άξονας x κατευθύνεται από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του στερεού

Αισθητήρες Πεδίου

Οι αισθητήρες πεδίου κατέχουν ίσως το μεγαλύτερο κομμάτι στην παγκόσμια αγορά των μαγνητικών αισθητήρων. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες πεδίου είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται για μικρές διακυμάνσεις πεδίου ή ακόμη για ανίχνευση κάποιας μαγνητικής ανωμαλίας (MAD). Τα φαινόμενα της μαγνητο-αντίστασης και της μαγνητο-εμπέδησης καθώς και επαγωγικές τεχνικές όπως οι fluxgates είναι από τις σημαντικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη αισθητήρων πεδίου με μαγνητικά υλικά. Σε ειδικές εφαρμογές τέτοιων αισθητήρων έχει χρησιμοποιηθεί και το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής.

Οι πιο αξιόπιστοι αισθητήρες για μετρήσεις χαμηλού πεδίου είναι οι επαγωγικές διατάξεις με μαγνητικά υλικά. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν ευαισθησία και αβεβαιότητα της τάξης του 0.1pT και 1pT, αντίστοιχα.

Οι αισθητήρες πεδίου τύπου μαγνητο-αντίστασης –με μορφή πολυστρωματικών υμενίων- χαρακτηρίζονται από την κάθετη μαγνητική ανισοτροπία των φερρομαγνητικών στρωμάτων. Οι αισθητήρες αυτοί κατασκευάζονται σε μαζική παραγωγή με χρήση τεχνικών παρασκευής λεπτών υμενίων επιτρέποντας έτσι χαμηλό κόστος παραγωγής, συγκεκριμένα της τάξης των 10-100 Euro/αισθητήρα. Η ευαισθησία και η αβεβαιότητά τους κυμαίνονται σε σαφώς καλύτερα επίπεδα απ' ό,τι στους αισθητήρες τύπου Hall- ως ενδεικτικές τιμές αναφέρονται οι 1nT και 10nT, αντίστοιχα.

Το φαινόμενο της μαγνητο-εμπέδησης, σε άμορφα και νανοκρυσταλλικά σύρματα επιτρέπει πολύ καλύτερα επίπεδα ευαισθησίας και αβεβαιότητας, της τάξης των 1- 10pT και 100pT, αντίστοιχα. Το κόστος μιας τέτοιας συσκευής κυμαίνεται στα 100- 300Euro/αισθητήρα. Όμως παρά το γεγονός ότι το κόστος αυτών των συσκευών είναι σχετικά υψηλό σε σύγκριση με τους αισθητήρες μαγνητο-αντίστασης, τα πολύ καλά

χαρακτηριστικά τους, επιτρέπουν τη χρήση τους σε βιομηχανικές εφαρμογές και εφαρμογές αυτοματισμού. Και το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη αισθητήρων πεδίου για μη καταστρεπτικό έλεγχο μαγνητικών επιφανειών. Όσον αφορά την απόδοση κύριοι ανταγωνιστές όλων αυτών των αισθητήρων που βασίζονται σε μαγνητικά φαινόμενα και υλικά παραμένουν τα μαγνητόμετρα SQUID. Οι αισθητήρες αυτοί παρουσιάζουν ευαισθησία της τάξης του 1fT.

Αισθητήρες εγγραφής & ανάγνωσης πληροφορίας

Η κατηγορία των αισθητήρων εγγραφής και ανάγνωσης πληροφορίας διαιρείται σε δύο υποκατηγορίες: τα καταγραφικά μέσα και τους αισθητήρες ασφάλειας.

Στα καταγραφικά μέσα συμπεριλαμβάνονται οι επιφάνειες εγγραφής και οι κεφαλές ανάγνωσης. Οι μαγνητικές κεφαλές ανάγνωσης αφορούν κυρίως αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο της μαγνητο-αντίστασης (giant MR)

Οι αισθητήρες ασφάλειας σχετίζονται με την δημιουργία ενός κώδικα που να βασίζεται σε μια σειρά μαγνητικών σημάτων. Τα σήματα αυτά επιτρέπουν την αναγνώριση ενός αντικειμένου χωρίς να υπάρχει άμεση οπτική παρατήρηση. Αυτού του είδους οι αισθητήρες, δύναται να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου για πρακτικούς λόγους, είναι αδύνατη η οπτική κωδικοποίηση (optical bar coding).

Πολυπαραμετρικοί αισθητήρες (multipurpose sensors)

Αυτοί οι αισθητήρες, προσδιορίζουν την ομάδα των αποκαλούμενων «έξυπνων» αισθητήρων στην οποία συμπεριλαμβάνονται δύο υποκατηγορίες. Πρόκειται για τους πολυπαραμετρικούς και τους αυτοδιορθούμενους αισθητήρες. Οι αισθητήρες πολλαπλών παραμέτρων (multi-parameter) είναι ικανοί να ανιχνεύουν περισσότερα από ένα φυσικά μεγέθη. Παράδειγμα τέτοιου αισθητήρα είναι μια μαγνητο-ελαστική διάταξη που να ανιχνεύει πεδίο και τάση ταυτόχρονα. Κάτι τέτοιο μπορεί συμβαίνει επειδή η παλμική έξοδος του αισθητήρα είναι ρυθμισμένη σε εύρος εξαιτίας του περιβάλλοντος πεδίου ενώ το πλάτος παλμού ρυθμίζεται μόνο από τις εφελκυστικές τάσεις. Οι αυτοδιορθούμενοι (reacting) αισθητήρες, είναι ολοκληρωμένα ηλεκτρομηχανικά συστήματα, που «αισθάνονται» και αντιδρούν ανάλογα με τη μέτρηση. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας οδήγησης πυραύλου, περιλαμβάνει έναν ακριβή αισθητήρα πεδίου για πλοήγηση ο οποίος μετρά την διεύθυνση της κίνησης του πυραύλου και ένα σύστημα αντίδρασης, το οποίο αλλάζει τη διεύθυνση του πυραύλου ανάλογα με μια προεπιλεγμένη εντολή.

5.2 Εφαρμογές Αισθητήρων

Παρακάτω επιχειρείται μια περιληπτική παρουσίαση των κυριότερων εφαρμογών των αισθητήρων.

Βιομηχανικές Εφαρμογές

Το βασικό πεδίο των βιομηχανικών εφαρμογών αναφέρεται στη διεξαγωγή μη καταστρεπτικών δοκιμών και τους σχετικούς υπολογισμούς. Σε τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται αισθητήρες ανίχνευσης μικρής έντασης πεδίου- με περισσότερο χρησιμοποιούμενους τους αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο Hall. Οι αισθητήρες Hall έχουν ευαισθησία της τάξης του 0.1mT, εκείνοι που βασίζονται στο φαινόμενο της μαγνητο-αντίστασης (MR) 1μT ενώ σε διατάξεις τύπου μαγνητο-εμπέδησης η ευαισθησία κυμαίνεται στα 10-100pT. (Στην ορολογία των αισθητήρων η τιμή της ευαισθησίας, αντιπροσωπεύει την ικανότητα του αισθητήρα να ανιχνεύει μικρές διακυμάνσεις μετρούμενου μεγέθους). Έχουν επίσης προταθεί και αισθητήρια στοιχεία τύπου MDL που πραγματοποιούν ικανοποιητικές μετρήσεις.

Το δεύτερο πιο σημαντικό πεδίο βιομηχανικών εφαρμογών είναι εκείνο των ελεγκτών θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης/δόνησης. Πρόκειται στην πλειοψηφία τους για διακόπτες θέσης που στηρίζονται στο φαινόμενο της γιγάντιας μαγνητο-αντίστασης (''giant'' MR) και έχουν επαναληψιμότητα καλύτερη από 10^{12} , με κόστος περίπου 1Euro/αισθητήρα. Ανάλογα με την απαιτούμενη ευαισθησία χρησιμοποιούνται και κατάλληλα είδη αισθητήρων θέσης.

Λόγου χάρη, όταν απαιτείται καλή ευαισθησία, της τάξης του $1\mu\text{m}$, χρησιμοποιούνται διαφορικοί αισθητήρες θέσης τύπου μαγνητικής ταινίας με μόνιμους μαγνήτες. Το κόστος τους κυμαίνεται στο 1kEuro/αισθητήρα. Γενικά η τεχνική του MDL –με κόστος περίπου 0.1kEuro/αισθητήρα- προτιμάται όταν η επιθυμητή ευαισθησία είναι της τάξης των 1-10 μm .

Όσον αφορά τους αισθητήρες μάζας όπως οι κυψελίδες φορτίου, οι μετρητές ροπής στρέψης και οι μετρητές πίεσης (pressure gauges), στις βιομηχανικές τους εφαρμογές βασίζονται σε αγωγή ή ημιαγωγή υλικά. Οι μετρητές μηχανικής τάσης (strain gauges), είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες για μετρήσεις φορτίου. Κάποιες νέες τεχνικές που χρησιμοποιούν το φαινόμενο της μαγνητο-εμπέδησης και την τεχνική της μαγνητοσυστολικής γραμμής καθυστέρησης έδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα όσον αφορά την ευαισθησία των μετρητών φορτίου -και παράγωγων μεγεθών. Στην περίπτωση αυτών των τεχνικών αν και η ευαισθησία που έχουν οι διατάξεις αυτές είναι καλύτερη από εκείνη των μετρητών μηχανικής τάσης το βασικό πρόβλημα παραμένει η μικρή διάρκεια ζωής τους, η οποία είναι περίπου 10^8 ενώ εκείνη των μετρητών μηχανικής τάσης είναι περίπου 10^{12} .

Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, η προστασία του περιβάλλοντος αναδεικνύεται σε θέμα ζωτικής σημασίας. Αυτό που δύναται να προσφέρει η επιστήμη των αισθητήρων προς αυτή την κατεύθυνση είναι η μέτρηση διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν την περιβαλλοντική κατάσταση.

Μείζονος σημασίας ζήτημα είναι η ανίχνευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ανίχνευση αυτή πραγματοποιείται με χρήση αισθητήρων πεδίου. Το εύρος των μετρήσεων εκτείνεται από συνεχή πεδία μέχρι εναλλασσόμενα πεδία συχνότητας 30GHz. Η ευαισθησία των μετρήσεων που λαμβάνονται, κυμαίνεται από μερικά pT ως μερικά mT και οι μαγνητικοί αισθητήρες έχουν κυριολεκτικά κατακτήσει το συγκεκριμένο τομέα (επαγωγικές διατάξεις και αισθητήρες πεδίου τύπου μαγνητο- εμπέδησης).

Τέλος γίνεται χρήση αισθητήρων και σε εφαρμογές που σχετίζονται με την απαρίθμηση των εν κινήσει οχημάτων σε κατοικημένες περιοχές με στόχο την ανάπτυξη διορθωτικών ενεργειών στην κυκλοφοριακή σηματοδότηση.

Εφαρμογές στον Αυτοματισμό

Στα καινούρια οχήματα υπάρχει η τάση για χρησιμοποίηση όλο και περισσότερων αισθητήρων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στα αυτοκίνητα που παράγονται σήμερα χρησιμοποιούνται περισσότεροι από 1500 αισθητήρες. Οι μαγνητικοί αισθητήρες κυριαρχούν σε πολλές αισθητήριες εφαρμογές αυτού του χώρου, με σημαντικότερο και πιο γνωστό τον γωνιακό μαγνητικό αισθητήρα θέσης που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του συστήματος ABS στα φρένα των αυτοκινήτων. Ο τρόπος λειτουργίας του έχει σχέση με την περιστροφή ενός δακτυλίου που φέρει οδόντες από μόνιμο μαγνήτη κατά την κίνηση του τροχού. Οποιαδήποτε ξαφνική και αναπάντεχη εμπλοκή των τροχών κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος ενεργοποιεί το σύστημα anti-block (ABS) ανακουφίζοντας έτσι για απειροστά του δευτερολέπτου την πίεση από το φρενάρισμα.

Άλλη μια εφαρμογή των μαγνητικών αισθητήρων στα οχήματα, είναι οι αισθητήρες ροπής στρέψης οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο πεδάλιο διεύθυνσης του τροχού και στην παρακολούθηση της λειτουργίας της απράκτου. Αν και βρίσκονται σε στάδιο εργαστηριακής ανάπτυξης αναμένεται ότι πολύ σύντομα, θα ξεκινήσει η βιομηχανική παραγωγή τους. Επιπλέον δοκιμαστικά έχουν χρησιμοποιηθεί αισθητήρες, προκειμένου να διευκολύνουν τη διαδικασία οδήγησης, είτε μέσω της

ενημέρωσης που παρέχουν στον οδηγό σχετικά με την κατάσταση της πορείας του αυτοκινήτου ή ακόμη και μέσω της αντίδρασης που προβάλλουν σε μια λανθασμένη απόφαση του οδηγού.

Εργαστηριακοί Αισθητήρες

Όσον αφορά τον τομέα των εργαστηριακών αισθητήρων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε ό,τι αφορά την επιστήμη της μετρολογίας. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη εφαρμογή είναι αυτή που σχετίζεται με τον προσδιορισμό των δευτερευόντων προτύπων βαθμονόμησης πεδίου (secondary standards), διαδικασία που βασίζεται σε ακριβείς αισθητήρες πεδίου. Και σε αυτή την εφαρμογή κυριαρχούν οι επαγωγικές διατάξεις.

Μια άλλη εφαρμογή είναι ο χαρακτηρισμός δομής και ο μαγνητικός χαρακτηρισμός με τα μικροσκόπια ατομικής δύναμης (AFM), μαγνητικής δύναμης (MFM) και το μικροσκόπιο διέλευσης-σάρωσης (STM). Με τέτοια μικροσκόπια, προσδιορίζεται λεπτομερώς η τοπογραφία μιας επίπεδης επιφάνειας. Στα προαναφερόμενα μικροσκόπια, μια ακίδα που δονείται στην κορυφή της επιφάνειας, δημιουργεί δυνάμεις (Van der Waals για το AFM, μαγνητικές δυνάμεις για το MFM και ηλεκτρικές δυνάμεις για το STM) ανάλογα με την τοπογραφία της εξεταζόμενης επιφάνειας.

5.3 Ανάπτυξη ενός Αισθητήρα

Η δημιουργία ενός αισθητήρα αποτελεί από μόνη της μια επιστήμη όπου συνδυάζονται γνώσεις από την επιστήμη των υλικών, την ηλεκτρονική και τη μετρολογία. Στην ενότητα αυτή θα γίνει παρουσίαση μιας σχετικά γενικευμένης διαδικασίας που μπορεί να ακολουθηθεί για την ανάπτυξη ενός αισθητήρα. Δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη και τις βασικές αρχές των μαγνητικών αισθητήρων.

Καθορισμός του υπό μέτρηση Φυσικού Μεγέθους

Καταρχήν πρέπει να γίνει ο προσδιορισμός του προβλήματος και συνεπώς του φυσικού μεγέθους που θα μετρηθεί. Το υπό μέτρηση μέγεθος μπορεί να είναι θέση, μάζα, πεδίο, χρόνος, ηλεκτρικά μεγέθη, θερμοκρασία καθώς και παράγωγά τους μεγέθη.

Μόλις ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των φυσικών ιδιοτήτων που θα μετρηθούν κάτι που έχει άμεσο αντίκτυπο και στα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αισθητήρα. Οι πιο σημαντικές από αυτές τις ιδιότητες είναι το εύρος λειτουργίας, η ευαισθησία, η αβεβαιότητα και η εξάρτηση της απόκρισης του αισθητήρα από παραμετρικά φαινόμενα.

Η ευαισθησία είναι ο λόγος της εξόδου προς την είσοδο του αισθητήρα. Η ευαισθησία δείχνει πόσο εύκολα ένας αισθητήρας μπορεί να μετρήσει ένα φυσικό μέγεθος.

Η αβεβαιότητα ενός αισθητήρα είναι η απόκλιση της μέτρησης από την πραγματική τιμή του φυσικού μεγέθους, τη στιγμή της μέτρησης. Το σφάλμα που προσδιορίζεται από την τιμή της αβεβαιότητας περιλαμβάνει το σφάλμα που εκτιμάται μέσω της ακρίβειας του αισθητήρα αλλά και το σφάλμα από την επίδραση παραμετρικών φαινομένων. Η αβεβαιότητα ενός μαγνητικού αισθητήρα, αφορά κυρίως την υστέρηση που προκαλείται από τη μαγνητική απόκριση του χρησιμοποιούμενου υλικού.

Η απόκριση μιας συσκευής ισούται με το χρόνο που απαιτείται για να ληφθεί η τελική τιμή εξόδου της συσκευής για μια συγκεκριμένη είσοδο. Η απόκριση ενός μαγνητικού αισθητήρα εξαρτάται από το περιβάλλον πεδίο, τη θερμοκρασία, την υγρασία καθώς και το χρόνο.

Το εύρος λειτουργίας του αισθητήρα, ισούται με τα όρια εντός των οποίων η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα, δηλαδή η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρά. Στις προδιαγραφές των αισθητήρων αναφέρονται επίσης, το θερμοκρασιακό εύρος καθώς και το εύρος τιμών υγρασίας.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του αισθητήρα που αναγράφεται στις προδιαγραφές του είναι η διακριτότητα, η οποία αναφέρεται στο μικρότερο διάστημα που μπορεί να ανιχνευθεί και να μετρηθεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτότητα μιας αισθητήριας συσκευής τόσο μικρότερη υποδιαίρεση του μεγέθους μπορεί αυτή να μετρήσει.

Επιλογή της Αρχής Λειτουργίας

Όταν πλέον έχουν προσδιοριστεί τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του υπό ανάπτυξη αισθητήρα, σειρά έχει ο καθορισμός των κριτηρίων που αφορούν την επιλογή του μαγνητικού φαινομένου και του υλικού που θα χρησιμοποιηθούν. Οι πιο σημαντικές παράμετροι για την επιλογή του μαγνητικού φαινομένου και του υλικού που θα χρησιμοποιηθούν σε αισθητήριες εφαρμογές είναι ο βαθμός εξάρτησης από την ευαισθησία, την αβεβαιότητα, το περιβάλλον πεδίο, την θερμοκρασία και την υγρασία. Στη συνέχεια συντάσσεται ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά του κάθε φαινομένου και τις απαιτούμενες ιδιότητες έτσι ώστε να επιλεγεί το φαινόμενο εκείνο που ικανοποιεί περισσότερο τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Η επιλογή ενός μαγνητικού φαινομένου ανάμεσα σε φαινόμενα αγωγών, ημιαγωγών, υπεραγωγών, οπτικοηλεκτρονικής κ.λ.π, χωρίς αυτό να είναι περισσότερο θεμιτό από τα προαναφερόμενα φαινόμενα, μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία του όλου σχεδιασμού.

Προσαρμογή & Χαρακτηρισμός του Υλικού

Εφόσον επιλεγεί κάποιο μαγνητικό φαινόμενο για την ανάπτυξη του αισθητήρα απαραίτητος είναι τόσο ο χαρακτηρισμός της αισθητήριας συσκευής όσο και η κατάλληλη προσαρμογή του μαγνητικού υλικού.

Τεχνικές Παρασκευής Υλικού

Η ανάπτυξη της συσκευής περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την κατασκευή του μαγνητικού υλικού. Οι κύριες τεχνικές παρασκευής είναι τρεις:

- τεχνικές παρασκευής λεπτών υμενίων
- τεχνικές παρασκευής παχιών υμενίων
- τεχνικές παρασκευής ταχέων ψυχόμενων μεταλλικών ινών (rapid quenching techniques)

Τεχνικές παρασκευής λεπτών υμενίων

Ο τρόπος σχηματισμού στερεών στρωμάτων πάνω σε συγκεκριμένες επιφάνειες, είναι η τεχνική σύνθεσης υλικών από συστατικά που βρίσκονται σε αέρια κατάσταση. Η διαδικασία αυτή γίνεται είτε με χημική αντίδραση των στοιχείων που αποτίθενται (χημική απόθεση ατμών – CVD) είτε με απλή (φυσική) απόθεση ατμών (PVD). Η χημική απόθεση ατμών λαμβάνει χώρα σε αντιδραστήρα υπό υψηλές θερμοκρασίες. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης χημικών ατμών είναι η πυρόλυση, η αναγωγή, η οξείδωση και η νιτρίδωση.

Οι πιο γνωστές τεχνικές φυσικής εναπόθεσης ατμών είναι η τεχνική της εξάχνωσης υλικών και αυτή του θρυμματισμού του υλικού που πρόκειται να εναποθεθεί. Και οι δύο τεχνικές πραγματοποιούνται σε συνθήκες κενού.

Πιο κλασική τεχνική, είναι αυτή που πραγματοποιείται με εξάχνωση ενός θερμαινόμενου υλικού. Το υλικό αυτό θερμαίνεται σε συνθήκες κενού, εξαχνώνεται και διασπείρεται σε όλο το χώρο άρα και στην προεπιλεγμένη επιφάνεια εναπόθεσης του υλικού. Η εξάχνωση γίνεται είτε με ωμική θέρμανση είτε με δέσμη ηλεκτρονίων (ηλεκτρονικό πυροβόλο).

Η τεχνική της εξάχνωσης με θρυμματισμό βασίζεται στην απομάκρυνση επιφανειακών ατόμων ή μορίων από την επιφάνεια ενός υλικού -μέσω βομβαρδισμού με ενεργοποιημένα ιόντα- τα οποία στη συνέχεια προσκρούουν υπό ελεγχόμενες συνθήκες με το υπόστρωμα εναπόθεσης.

Τεχνικές παρασκευής παχιών υμένων

Με την τεχνική αυτή ένα υδατικό ή μη διάλυμα, ελεγχόμενης σύστασης, απλώνεται με σπάτουλα στις επιφάνειες εναπόθεσης και κατά τη θερμική επεξεργασία πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις εκείνες που δίνουν υμένα συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.

Τεχνικές παρασκευής ταχέως ψυχόμενων ινών

Η κύρια εφαρμογή των τεχνικών παρασκευής ταχέως ψυχόμενων μεταλλικών ινών (rapid quenching techniques), αφορά την παρασκευή άμορφων μαγνητικών υλικών. Τα άμορφα μαγνητοσυστολικά υλικά (ταινίες και σύρματα), είναι είτε συμβατικά ή με επικάλυψη γυαλιού (glass-covered amorphous wires).

Η τεχνική παρασκευής των άμορφων ταινιών και ινών βασίζεται στην ταχεία απόψυξη του τηγμένου μητρικού κράματος, το οποίο προσκρούει είτε σε περιστρεφόμενο τύμπανο χαλκού (δημιουργία ταινιών) είτε σε υδάτινο κύλινδρο (δημιουργία ινών). Η ταχεία απόψυξη- της τάξης των 10^6 K/sec- προσδίδει την άμορφη δομή των ταινιών και των ινών.

Η πρόσφατα αναπτυχθείσα τεχνική Taylor, αφορά την παρασκευή συρμάτων με επικάλυψη γυαλιού. Μία μήτρα από άμορφο πυρίτιο, γύρω από την οποία βρίσκεται πηνίο που διαρέεται από ρεύμα, φέρει στο εσωτερικό της το κράμα. Όταν το άμορφο πυρίτιο περιέλθει σε παχύρρευστη κατάσταση τότε εκχύομενο ταυτόχρονα με το τηγμένο κράμα ξεκινά η μορφοποίηση μεγάλου μήκους συρμάτων στην επιφάνεια των οποίων υπάρχει επίστρωση γυαλιού (glass-covered wires). Τα σύρματα που λαμβάνονται με την τεχνική αυτή έχουν εσωτερική και εξωτερική διάμετρο της τάξης των 10μm και 20μm, αντίστοιχα.

Χαρακτηρισμός του αισθητήρα

Όσον αφορά τον χαρακτηρισμό της διάταξης, η διαδικασία περιλαμβάνει χαρακτηρισμό δομής, μαγνητικό χαρακτηρισμό και βαθμονόμηση του αισθητήριου στοιχείου.

Ο μαγνητικός χαρακτηρισμός έχει σχέση με τον προσδιορισμό των καμπυλών B-H και λ-H, σε ένα ή και περισσότερους άξονες ανισοτροπίας του υλικού.

Ο χαρακτηρισμός της δομής αφορά τον χαρακτηρισμό της επιφάνειας του υλικού του αισθητήρα με χρήση μικροσκοπίων σάρωσης, όπως SEM, TEM, με μικροσκοπία ατομικής, μαγνητικής δύναμης και διέλευσης-σάρωσης (AFM, MFM, STM, αντίστοιχα), με περίθλαση ακτίνων X καθώς και με διαφορική, θερμική ανάλυση (DTA).

Προσαρμογή των ιδιοτήτων του υλικού.

Τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού της συσκευής, υποδεικνύουν και την διαδικασία προσαρμογής του υλικού, που θα ακολουθηθεί.

Ανόπτηση

Από τις πιο σημαντικές διαδικασίες προσαρμογής είναι η ανόπτηση, μέσω της οποίας ελέγχεται η μικροδομή του μαγνητικού υλικού. Η ανόπτηση πραγματοποιείται με θερμική κατεργασία και ταυτόχρονα με παραμετρικό έλεγχο του πεδίου, της μηχανικής τάσης και του ρεύματος που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω είδη ανόπτησης:

- θερμική ανόπτηση
- θερμική ανόπτηση με εφαρμογή μαγνητικού πεδίου
- εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος σε ατμόσφαιρα αργού (flash current annealing)
- εφαρμογή ρεύματος και μηχανικής καταπόνησης ταυτόχρονα (stress current annealing)
- θερμική κατεργασία με ταυτόχρονη εφελκυστική καταπόνηση (creep induced)

Εισαγωγή προσμίξεων

Μια άλλη διαδικασία προσαρμογής είναι η νόθευση του μαγνητικού υλικού με στόχο την σκλήρυνσή του μέσω αγκύρωσης των μαγνητικών διπόλων σε συγκεκριμένους προσανατολισμούς. Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία νόθευσης του μαγνητικού υλικού είναι η διάχυση και η ιοντική εμφύτευση.

Η διαδικασία εναπόθεσης των προσμίξεων πραγματοποιείται τοποθετώντας το υλικό σε φούρνο όπου υπάρχει συνεχής ροή αδρανούς αερίου ενώ η πηγή των προσμίξεων μπορεί να είναι σε αέρια, υγρή ή σε στερεή φάση.

Η βασική αρχή της τεχνικής της ιοντικής εμφύτευσης είναι η πρόσκρουση κατάλληλων ιόντων με ενέργειες 3-400keV, πάνω στην επιφάνεια του υπό νόθευση υλικού. Ανάλογα με την ενέργεια τους τα προαναφερθέντα ιόντα εισάγονται σε βάθη από 100-10000 Å περίπου κάτω από την επιφάνεια του υλικού. Τελικά τα ιόντα που εισέρχονται στο υλικό σκεδάζονται με τα άτομα και τα ηλεκτρόνια του υλικού, με αποτέλεσμα την συνεχή επιβράδυνσή τους ως την ακινητοποίησή τους.

Τέλος πραγματοποιούνται διαδικασίες βαθμονόμησης του αισθητήρα με χρήση πρωτευόντων (primary), δευτερευόντων (secondary) και εργασιακών προτύπων (working standards). Τα τελευταία σχετίζονται με τη χρήση αισθητήριων οργάνων. Το απαιτούμενο επίπεδο αβεβαιότητας σε κάθε εφαρμογή είναι αυτό που καθορίζει ποια τεχνική βαθμονόμησης θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά.

Το Ηλεκτρονικό Μέρος του Αισθητήρα

Μετά την ανάπτυξη του αισθητήριου στοιχείου που ολοκληρώνεται με την διαδικασία χαρακτηρισμού και προσαρμογής του υλικού, ακολουθεί η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού μέρους του αισθητήρα. Το ηλεκτρονικό μέρος αναφέρεται στην δημιουργία του κυκλώματος διέγερσης, του κυκλώματος ρύθμισης του σήματος εξόδου και του κυκλώματος αυτο-βαθμονόμησης.

Το κύκλωμα διέγερσης είναι είτε συνεχές είτε ημιτονοειδές, τριγωνικό ή παλμικό ρεύμα που εφαρμόζεται ωμικά ή επαγωγικά στο αισθητήριο μέσο. Η κατανάλωση ενέργειας αυτού του κυκλώματος κυμαίνεται από 1nW ως 1mW. Στον σχεδιασμό τέτοιων κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται ευρέως ενισχυτές MOSFET και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Τα κυκλώματα ρύθμισης σήματος και αυτοβαθμονόμησης είναι συνήθως ενισχυτές που φέρουν μετατροπείς σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και μικροϋπολογιστές για την εκπόνηση λογισμικών διαδικασιών.

Έλεγχος Παραμετρικών Φαινομένων

Μετά και την ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού μέρους σειρά έχουν οι εργασίες που αφορούν τον προσδιορισμό της επίδρασης των παραμετρικών φαινομένων στον αισθητήρα. Κυριότερα είναι το περιβάλλον ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, η θερμοκρασία, η υγρασία και ο χρόνος.

Η επίδραση του χρόνου στη συσκευή συνήθως αντιμετωπίζεται μέσω διαδικασίας γήρανσης. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με χρήση ενός συνδυασμού οξειδωτικής και χημικής προσβολής του υλικού.

Το ζήτημα της εξάρτησης από την θερμοκρασία επιλύεται μέσω της σταθεροποίησης της απόκρισης που απαιτείται μέσα σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά όρια. Τα όρια αυτά (κατώτερο και ανώτερο) θεωρούνται ως το χαμηλότερο και υψηλότερο όριο της θερμικής συμπεριφοράς του αισθητήρα.

Η παρεμβολή του περιβάλλοντος ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι ίσως το πιο σοβαρό πρόβλημα στους μαγνητικούς αισθητήρες. Βέβαια αν πρόκειται για αισθητήρα πεδίου δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα εφόσον το περιβάλλον πεδίο είναι το μέγεθος που μετράται. Σε διαφορετική όμως περίπτωση υπάρχουν δύο λύσεις: η μία αφορά την κλασική μαγνητική θωράκιση, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση και η άλλη είναι η ακύρωση του περιβάλλοντος πεδίου με χρήση διατάξεων σε σειρά και αντίθετα έτσι ώστε να τα επαγόμενα μαγνητικά πεδία να αναιρούνται μεταξύ τους.

Η προστασία του αισθητήρα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (βροχή, υγρασία, υψηλή θερμοκρασία) επιτυγχάνεται με το πακετάρισμα (housing) του αισθητήρα. Αυτό κυρίως αναφέρεται στους αριθμούς IP (βαθμοί υδατοστεγανότητας) της συσκευής.

Τέλος ο αισθητήρας βαθμονομείται ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα και πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των διορθωτικών κινήσεων. Με την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου είναι έτοιμος τόσο ο αισθητήρας όσο και ο φάκελος με τα τεχνικά χαρακτηριστικά (technical envelope).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

1. https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/12676/1/DT_M_%ce%a3%ce%9a%ce%9f%ce%a5%ce%a1%ce%a4%ce%97_%ce%a7%ce%9f%ce%9b%ce%a4%ce%91_246822.pdf
2. <https://www.electricalab.gr/e-yliko/siemens-plc-simatic-s7-200/571-plc-siemens-logo/file>
3. <https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5599/1/%CE%99%CF%89%CE%AC%CE%BD%CE%BD%CE%B7%CF%82%CE%9A%CE%BF%CE%BA%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%AC%CE%BA%CE%B7%CF%82%CE%A4%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf>
4. <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16225/1/DT2012-0012.pdf>
5. <https://electricalnews.gr/texnika-arthra/isxyra-revmata/ilektrikoi-kinitires/item/429-serbokinitires-ilektrikoi-kinitires-g-meros>
6. <http://artemis.library.tuc.gr/DT2009-0285/DT2009-0285.pdf>
7. http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2137/hlg_201400897.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. <https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/12334/1/%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%91%CE%A1%CE%9C%CE%9F%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%A3%CE%A7%CE%95%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3%20%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A4%CE%91%CE%9E%CE%95%CE%A9%CE%9D%20%CE%A4%CE%91%CE%99%CE%9D%CE%99%CE%9F%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%A9%CE%9D%20%CE%9C%CE%95%20%CE%A7%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%92%CE%91%CE%A3%CE%95%CE%A9%CE%9D%20%CE%A3%CE%A7%CE%95%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%9B%CE%A5%CE%A3%CE%95%CE%A9%CE%9D%20%20%CE%9A%CE%BF%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%BB%CE%AE%CF%82%20%CE%A6%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82.pdf>
9. https://www.eef.edu.gr/media/2554/hlektrikes_mixanes_2_site.pdf



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

10. https://www.eef.edu.gr/media/2420/e_h00023a.pdf
11. https://www.eef.edu.gr/media/2434/e_h00008.pdf
12. https://www.eef.edu.gr/media/2386/e_h00062.pdf
13. <http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4630/%ce%a0%cf%84%cf%85%cf%87%ce%b9%ce%b1%ce%ba%ce%ae%20%ce%b5%cf%81%ce%b3%ce%b1%cf%83%ce%af%ce%b1%20cd.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Conveyor_belt#History