

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Πρώην ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ)  
Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής  
(Πρόγραμμα Σπουδών : Μηχανικών Αυτοματισμού)



**ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**Αλγόριθμοι Προγραμματισμού Βιομηχανικών  
Εγκαταστάσεων**

**(Industrial Installation Programming Algorithms)**

Απόστολος Λούλης

ΑΜ: 45380

Εξάμηνο Σπουδών: 11<sup>ο</sup>

ΕΠΙΒΛ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Χρήστος Δρόσος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2019-2020

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Απόστολος Λούλης.....του Μικελίου....., φοιτητής του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης..... του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π)θα αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε. ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.

Ο Δηλών



Ημερομηνία

10/1/2020

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου Κ. Χρήστο Δρόσο για την πολύτιμη καθοδήγησή στην διαμόρφωση της παρούσας εργασίας. Επιπλέον αφιερώνω την εργασία μου αυτή στους γονείς μου οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν και πίστεψαν σε εμένα , πιστεύοντας πάντα ότι κάποια στιγμή θα επιτύχω κάτι σημαντικό στην ζωή μου, για όλα αυτά τα χρόνια φοίτησης μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

## Περίληψη:

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη , ανάλυση , επεξήγηση και τελικά δημιουργία ενός αλγόριθμου αυτομάτου ελέγχου μέσω ενός μικροεπεξεργαστή - μικροελεγκτή με σκοπό την προσομοίωση του σε ένα περιβάλλον βιομηχανίας ή περιβάλλον γραμμής παραγωγής. Με την μελέτη των συστημάτων αυτόματου ελέγχου και την λειτουργία τους , καθώς και την χρήση του αλγόριθμου αυτού , γίνεται να επιτευχθεί η δημιουργία ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου το οποίο θα λειτουργεί αυτόνομα και θα ακολουθεί πιστά εντολή προς εντολή το πρόγραμμα ώστε να εκτελεί την αυτοματοποιημένη διαδικασία συνεχώς όταν χρειάζεται και να επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα – στόχο.

## Λέξεις-Κλειδιά:

αλγόριθμος, κλειστό , ανοιχτό, σύστημα έλεγχος , ελεγκτής , βιομηχανία , εγκατάσταση , γραμμή παραγωγής , προγραμματισμός , αποτέλεσμα , είσοδος , έξοδος

## Summary:

The purpose of this present work-(essay) is to study, analyze, explain and ultimately create an automatic control algorithm through a microprocessor - microcontroller for the purpose of simulating it in an industrial or production line environment. By studying the automated control systems and their operations, as well as using this algorithm, it is possible to create an automated control system that will operate autonomously and follow the program's command promptly to execute the automated process continuously when needed and achieve the desired target result.

## Περιεχόμενα:

Κεφάλαιο 1 Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις.....	8
1.1 Ορισμός Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων.....	8
1.2 Κατηγορίες Βιομηχανικών εγκαταστάσεων.....	8
1.3 Ηλεκτρικές-Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις , Αυτοματισμοί και Αλγόριθμοι.....	10
1.4 Ανάλυση και μελέτη Βιομηχανικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων – Αυτοματισμού..	12
Κεφάλαιο 2 Αλγόριθμοι σε Βιομηχανίες και Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις.....	14
2.1 Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου.....	14
2.1.1 Συνάρτηση Μεταφοράς.....	15
2.1.2 Κατηγορίες Συστημάτων Ελέγχου.....	17
2.2 Κριτήρια Βέλτιστου Ελέγχου.....	24
2.2.1 Απόσβεση.....	24
2.2.2 Ευστάθεια συστήματος.....	24
2.3 Αναλογικοί Ελεγκτές.....	26
2.3.1 Ελεγκτής Τύπου P.....	27
2.3.2 Ελεγκτής Τύπου I.....	27
2.3.3 Ελεγκτής Τύπου D.....	28
2.4 Συνδυασμός Αναλογικών Ελεγκτών.....	29
2.4.1 Ελεγκτής PI.....	29
2.4.2 Ελεγκτής PD.....	29
2.4.3 Ελεγκτής PID.....	29
2.4.4 Ρύθμιση παραμέτρων του ελεγκτή PID.....	31
Κεφάλαιο 3 Αλγόριθμοι σε Βιομηχανικά περιβάλλοντα μέσω των PLC.....	36
3.1 Εισαγωγή στα PLC.....	36
3.1.1 Γενικές πληροφορίες για τα PLC.....	36

3.1.2 Πλεονεκτήματα των PLC.....	37
3.1.3 Μειονεκτήματα των PLC.....	38
3.1.4 Εφαρμογές των PLC.....	39
3.1.5 Δομή ενός PLC.....	39
3.2 Λειτουργία ενός PLC και προγραμματισμός του .....	42
3.2.1 Κύκλος λειτουργίας ενός PLC.....	42
3.2.2 Προγραμματισμός ενός PLC.....	44
Κεφάλαιο 4: Πειραματική Αυτοματοποιημένη Εγκατάσταση μεταφοράς και αποθήκευσης προϊόντων.....	53
4.1 Δημιουργία μίας αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης.....	55
4.1.1 Εισαγωγή στο Arduino.....	55
4.2 Χαρακτηριστικά αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης.....	64
4.2.1 Λίστα εξαρτημάτων-υλικών.....	65
4.2.2 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο Εγκατάστασης.....	94
4.3 Πρόγραμμα αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης.....	96
4.3.1 Αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας-προγράμματος της εγκατάστασης .....	107
4.3.2 Διάγραμμα Ροής (Flow Chart).....	109
4.3.3 Συμπεράσματα.....	112
Βιβλιογραφία.....	113
Εικόνες.....	116

## Θεωρητικό Μέρος:

### **Κεφάλαιο 1: Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις**

#### **1.1 Ορισμός Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων**

Με τον όρο βιομηχανική εγκατάσταση ορίζεται κάθε συσκευή , σύστημα ή κομμάτι εξοπλισμού το οποίο δημιουργήθηκε για να εγκατασταθεί και να ενσωματωθεί μέσα σε μια βιομηχανία ή σε έναν κλάδο-τομέα αυτής , με σκοπό την αναβάθμιση του υπάρχων συστήματος της βιομηχανικής παραγωγής ενός εργοστασίου ή την επέκταση των λειτουργιών του .Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να εισαχθούν σε ένα εργοστάσιο βιομηχανικής παραγωγής αυτούσιες ή ως ένα κομμάτι το οποίο θα διαχειρίζεται την παραγωγή του εργοστασίου. Ανάλογα με τον τομέα-κλάδο της βιομηχανικής παραγωγής στην οποία ανήκει το εργοστάσιο , τοποθετούνται και οι ανάλογες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

#### **1.2 Κατηγορίες Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων**

Χαρακτηριστικές κατηγορίες βιομηχανικών κλάδων – τομέων βιομηχανικής παραγωγής οι οποίες χρειάζονται δικές τους βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή πολλές φορές συνδυασμό αυτών είναι οι :

1)Εγκαταστάσεις βιομηχανίας μεταλλευμάτων, μετάλλου, ξύλου και των προϊόντων αυτών

- Μηχανουργεία
- Ναυπηγεία
- Ξυλουργεία
- Τυπογραφεία
- Εργοστάσια κατασκευής ηλεκτρικών ειδών
- Βιομηχανίες ειδών αλουμινίου - χαλκού

2)Εγκαταστάσεις κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας και βιομηχανίας ειδών ματισμού

- Βαμβακουργεία
- Βιομηχανίες τεχνητών ινών, ιούτης και καννάβευς
- Ταπητουργεία
- Βιομηχανίες πλεκτών



- Βιομηχανίες κλωστών και υποδηματοποιίας

### 3)Εγκαταστάσεις επεξεργασίας ειδών διατροφής

- Αλευροβιομηχανίες
- Οινοπνευματοποιεία- ποτοποιεία
- Ελαιοτριβεία
- Παγοποιεία
- Κονσερβοποιεία
- Βιομηχανίες ζαχαρωδών και αμυλωδών προϊόντων
- Καπνοβιομηχανίες

### 4)Εγκαταστάσεις επεξεργασίας χημικών προϊόντων

- Βιομηχανίες χημικών λιπασμάτων
- Χαρτοβιομηχανίες
- Βιομηχανίες ελαστικού
- Φαρμακοβιομηχανίες
- Βιομηχανίες ασφάλτου
- Υαλουργεία

### 5)Εγκαταστάσεις δομικών υλών

- Τσιμεντοποιεία
- Ασβεστοποιεία
- Εργοστάσια φαβεντιανών ειδών (γύψου - στόκου – πλακοποιείας)
- Εργοστάσια επεξεργασίας μαρμάρων
- Εργοστάσια κατασκευής μονωτικών υλικών

### 6)Εγκαταστάσεις εκρηκτικών, εύφλεκτων και στερεών ή υγρών καυσίμων υλών

- εγκαταστάσεις υγρών ή αερίων καυσίμων υλών προς φωτισμό ,θέρμανση ή κίνηση (παραγωγής – επεξεργασίας – αποστάξεως - εναποθήκευσης – διανομής)
- εγκαταστάσεις παραγωγής (οξυγόνου – ασετυλίνης),
- εγκαταστάσεις στερεών καυσίμων και υλών (αποστάξεως – επεξεργασίας)
- εγκαταστάσεις εκρηκτικών (υλών παραγωγής – εναποθηκείσεως)

7)Εγκαταστάσεις μεταφοράς (εξαιρέσει των μεταλλίων και λατομείων)

- εγκαταστάσεις φορτοεκφορτώσεως
- εγκαταστάσεις μηχανοκίνητων ανελκυστήρων,
- μηχανικές εγκαταστάσεις πάσης φύσεως εκτελέσεως τεχνικών έργων

8)Εγκαταστάσεις καμίνων και κλιβάνων πάσης φύσεως και των συναφών συσκευών αυτών

9)Εγκαταστάσεις εξυπηρέτησεως των κτιρίων

- δίκτυα διανομής κρύου - ζεστού νερού
- δίκτυα αποχέτευσης ακαθάρτων και βρόχινων νερών
- συστήματα συλλογής ή αποθήκευσης απορριμμάτων
- μόνιμα πυροσβεστικά συστήματα με νερό ή άλλες πυροσβεστικές ουσίες,
- συστήματα παραγωγής ζεστού ή κρύου νερού ή αέρα για γενική χρήση ή για θέρμανση, ψύξη, αερισμό ή ρύθμιση υγρασίας σε κτιριακούς χώρους
- δίκτυα διανομής επεξεργασμένου νερού ή αέρα για παραγωγή τεχνητού κλίματος στα κτίρια μαζί με τις συσκευές παραγωγής και διανομής, όπως θερμαντικά σώματα, κλιματιστικές συσκευές, φίλτρα, μηχανήματα παραγωγής

10)Εγκαταστάσεις εντός μεταλλίων και λατομείων

- εξόρυξης μεταλλευμάτων
- μεταφοράς μεταλλευμάτων
- επεξεργασίας μεταλλευμάτων

### **1.3 Ηλεκτρικές-Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις , Αυτοματισμοί και Αλγόριθμοι**

Από την ίδρυση της πρώτης βιομηχανίας και με το πέρασμα των χρόνων, όλες οι παραπάνω βιομηχανίες που δημιουργήθηκαν μαζί με τους παρά-κλάδους τους είχαν την ανάγκη να προσαρμοστούν στην αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας , η οποία θα τους επέτρεπε την αύξηση του φόρτου εργασίας καθώς και την αύξηση της παραγωγής των προϊόντων τους με απώτερο το γιγαντιαίο κέρδος και την επέκτασή τους. Βιομηχανίες οι

οποίες είχαν στην αρχές έναν αριθμό ανθρώπων (ανθρώπινο δυναμικό) και σιγά σιγά αναπτύσσονταν αντιμετώπισαν κάποια στιγμή ογκώδεις γραμμές παραγωγής , οι οποίες χρειαζόντουσαν μεγάλο αριθμό ανθρώπινου δυναμικού για να ανταποκριθούν στην ζήτηση των προϊόντων τους.

Υπήρξε η ανάγκη λοιπόν να δημιουργηθούν γραμμές παραγωγής οι οποίες όχι μόνο θα ανταποκρίνονταν στον μεγάλο όγκο της παραγωγής αλλά και θα καθιστούσαν την μέθοδο παραγωγής του εκάστοτε προϊόντος , πιο γρήγορη και πιο αξιόπιστη από ότι παλαιότερα. Με αυτόν τον τρόπο άρχισαν να διεισδύουν σιγά σιγά πέρα από τις κλασικές ηλεκτρολογικές – υδραυλικές εγκαταστάσεις (οι οποίες εμπεριείχαν υδραυλικά και πνευματικά έμβολα , ηλεκτροκινητήρες , χρονικά κ.α), συστήματα τα οποία θα μπορούσαν μόνα τους να διαχειριστούν την μεγάλη και ογκώδης γραμμή παραγωγής χωρίς απαραίτητα την επέμβαση του ανθρώπου και μάλιστα με μεγαλύτερη ευκολία και σε λιγότερο χρόνο , με λιγότερο κόστος.

Αυτά τα συστήματα ονομάζονται σήμερα αυτοματοποιημένα συστήματα αυτόματου ελέγχου καθώς πολύ απλά μπορούν μόνα τους (αυτόματα) να διαχειρίζονται την οποιαδήποτε εργασία μέσα σε ένα εργοστάσιο ,τις γραμμές παραγωγής του καθώς και ολόκληρη την βιομηχανική εγκατάσταση. Σε κάθε ένα από αυτά τα συστήματα υπάρχει επιπλέον ανατροφοδότηση (feedback) μέσω διαφόρων αισθητηρίων ώστε να ελέγχονται μόνα τους και να δίνουν την έξοδο της διεργασίας στον χρήστη , για να ελέγχει και εκείνος με την σειρά του το σύστημα καθώς και την γραμμή παραγωγής .

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα αυτά ωστόσο για να λειτουργήσουν από μόνα τους χρειάζονται και τον κατάλληλο προγραμματισμό μέσω ενός μικρού υπολογιστή – τσίπ , το οποίο ονομάζεται ελεγκτής . Ο προγραμματισμός τους γίνεται μέσω διαφόρων αλγόριθμων σε προγραμματιστική γλώσσα με σκοπό την αυτοματοποιημένη διαχείριση και διαδικασία όλης της γραμμής παραγωγής που έχει η βιομηχανία στο εργοστάσιο της. Οι αλγόριθμοι αυτοί συνήθως γράφονται σε προγραμματιστικές γλώσσες που υποστηρίζονται από τους πλέον γνωστούς και ονομαζόμενους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές ή PLC , οι οποίοι υποστηρίζουν αλγόριθμους σε τέσσερις προγραμματιστικές γλώσσες :

- Προγραμματιστική Γλώσσα LADDER
- Προγραμματιστική Γλώσσα FBD
- Προγραμματιστική Γλώσσα STL
- Προγραμματιστική Γλώσσα Logic Function (LOGO)

Επιπλέον πέρα από τα PLC , η διαδικασία ελέγχου συνοδεύεται και από το SCADA , το οποίο είναι ένα πρόγραμμα που λειτουργεί παράλληλα με το PLC , εγκαθίσταται στον κεντρικό υπολογιστή κάθε βιομηχανίας και αντιπροσωπεύει ολόκληρη την λειτουργία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και διεργασιών – διαδικασιών του εργοστασίου. Με το πρόγραμμα αυτό ο χρήστης έχει την δυνατότητα να βλέπει γραφικά στην οθόνη του υπολογιστή του την διαδικασία παραγωγής και να την ελέγχει καθώς , επίσης και να

ειδοποιηθεί από το πρόγραμμα για τυχόν δυσλειτουργίες με την δυνατότητα άμεσης ενημέρωσης σε περίπτωση βλάβης.

## **1.4 Ανάλυση και μελέτη Βιομηχανικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων – Αυτοματισμού**

Οι σύγχρονες βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που μπορούν να ονομαστούν και εγκαταστάσεις αυτοματισμού απαρτίζονται από μηχανήματα διαφόρων ειδών που το καθένα αποσκοπεί στην εκτέλεση μιας λειτουργίας πάνω στην γραμμή παραγωγής όπως τροφοδοσία του συστήματος, εκτέλεση υδραυλικών – πνευματικών και μηχανικών κινήσεων, διατήρηση της ενέργειας και έλεγχος.

Για τροφοδοσία του συστήματος συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές μηχανές και ηλεκτρικοί κινητήρες ή αλλιώς ηλεκτροκινητήρες, εκατοντάδων ίππων, οι οποίοι μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και συνεπώς γίνονται αντικείμενα εξαιρετικής εκμετάλλευσης από τις βιομηχανίες. Οι κινητήρες αυτοί συνήθως διακρίνονται σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC Motors) και εναλλασσόμενου ρεύματος (AC Motors). Οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιμέρους στους "ασύγχρονους" ή "επαγωγικούς κινητήρες" και στους "σύγχρονους κινητήρες". Σύγχρονοι κινητήρες είναι οι κινητήρες στους οποίους η μέση ταχύτητα περιστροφής είναι ευθέως ανάλογη της συχνότητας της εφαρμοζόμενης εναλλασσόμενης τάσης.

Για διατήρηση της ενέργειας στις βιομηχανίες χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές μηχανές αυτή την φορά όμως ρυθμισμένες ως γεννήτριες για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπου η παροχή ενέργειας από την αντίστοιχη εταιρία ηλεκτρισμού διακοπεί, ώστε σε κρίσιμες καταστάσεις πάνω στην διαδικασία παραγωγής να μην υπάρξουν ανεπανόρθωτες ζημιές ή ακόμα και καταστροφή της γραμμής παραγωγής ή του προϊόντος.

Για εξοικονόμηση ενέργειας στις βιομηχανίες γίνονται με αντικατάσταση ηλεκτροκινητήρων με σύγχρονους κινητήρες υψηλού βαθμού απόδοσης, εκσυγχρονισμό των συστημάτων πεπιεσμένου αέρα, ρύθμιση και συντήρηση τους, αντικατάσταση λεβήτων, φούρνων, κλιβάνων, η θερμομόνωση αγωγών, δεξαμενών και άλλου εξοπλισμού, η ανάκτηση θερμότητας, η εγκατάσταση συστήματος ενεργειακής διαχείρισης, η υποκατάσταση υγρών καυσίμων από φυσικό αέριο, η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού κ.α. Με την εξοικονόμηση ενέργειας μιας βιομηχανίας μπορούν να επιτυγχάνονται και διεθνείς στόχοι όπως :

- Μείωση του κόστους παραγωγής του τελικού προϊόντος και συνεπώς αύξηση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας
- Μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων και προσαρμογή των βιομηχανιών στις υπό εφαρμογή σχετικές κοινοτικές οδηγίες
- Θετική συμβολή στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, λόγω μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας.

- Συμβολή στην προσπάθεια της χώρας για μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων και των δεσμεύσεων της χώρας, που έχουν τεθεί για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε διεθνές επίπεδο.

Για τον έλεγχο των βιομηχανικών εγκαταστάσεων εφαρμόζονται οι προγραμματιστικοί αλγόριθμοι μέσω των PLC και έτσι ελέγχεται όλη η διαδικασία παραγωγής. Οι διεργασίες που ελέγχονται μπορούν να δοθούν με χαρακτηριστικά παραδείγματα όπως: πότε πρέπει να γίνονται οι μηχανικές – υδραυλικές κινήσεις πιο γρήγορα ή πιο αργά, αυξομείωση ενέργειας (τάσης) των ηλεκτροκινητήρων ή των ηλεκτρικών μηχανών, καταμέτρηση ποιότητας και ποσότητας του τελικού προϊόντος.

Τέλος για να επιτευχθεί ολόκληρο το σύστημα που περιγράφηκε παραπάνω ο σχεδιασμός και η κατασκευή βιομηχανικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων απαιτεί ιδιαίτερη εμπειρία και εξειδικευμένες γνώσεις βιομηχανικών ηλεκτρολογικών – μηχανολόγων αφού διαφέρουν σημαντικά από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτηρίων κατοικίας και άλλων επαγγελματικών κτηρίων καθώς αυτού του είδους οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις:

- Τροφοδοτούν κυρίως μηχανήματα και μηχανολογικό εξοπλισμό παραγωγής σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες.
- Διαθέτουν σύνθετους ηλεκτρικούς πίνακες εκκίνησης και αυτοματισμού κινητήρων (συμβατικού αυτοματισμού ή αυτοματισμού με PLC).
- Ενίοτε διαθέτουν εγκαταστάσεις υποσταθμών μέσης τάσης και εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (γεννήτριες).
- Οι κανονισμοί ασφαλείας τόσο για την κατασκευή όσο και για την λειτουργία τους είναι διαφορετικοί και σαφώς πολύ αυστηρότεροι σχετικά με εγκαταστάσεις σε άλλου τύπου κτήρια.

Οι βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να διασφαλίζουν επίσης την ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση και την μέγιστη ασφάλεια, για την προστασία των ίδιων των εγκαταστάσεων αλλά και του μηχανολογικού εξοπλισμού που εξυπηρετούν καθώς και των εργαζομένων που τον χειρίζονται.

## Κεφάλαιο 2: Αλγόριθμοι σε Βιομηχανίες και Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις

### 2.1 Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

Ένα Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου ή αλλιώς Σ.Α.Ε απαρτίζεται από βασικά μέρη τα οποία λειτουργούν εναρμονισμένα , με σκοπό την ομαλή λειτουργία μιας διαδικασίας ώστε να επιτύχει τον επιθυμητό σκοπό. Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Σ.Α.Ε είναι τα εξής:

- **Σύστημα :** Το Σύστημα είναι ένα σύνολο στοιχείων , φυσικών , τεχνικών ή υβριδικών στοιχείων , τα οποία σχηματίζουν μια ομάδα – ενότητα και λειτουργούν σαν μια ομάδα – ενότητα. Ένα σύστημα καθορίζεται από δύο βασικά του χαρακτηριστικά:
  - i) Την εσωτερική δομή (Internal structure) που αντιπροσωπεύει την εσωτερική διάταξη των στοιχείων του
  - ii) Τη δυναμική λειτουργία (dynamic operation) που αφορά τις σχέσεις που έχουν τα στοιχεία μεταξύ τους, με ποιόν τρόπο αυτά συνδέονται μεταξύ τους και με το περιβάλλον καθώς και το πώς το περιβάλλον αλληλεπιδρά σε αυτά.
- **Είσοδο/Εξοδο:** Κάθε σύστημα ανεξαρτήτως εφαρμογής έχει μία είσοδο και μία έξοδο ή πολλές εισόδους και πολλές εξόδους ή συνδυασμό αυτών. Συνεπώς η έξοδος/οι ενός συστήματος εξαρτάται/ονται από την/τις αντίστοιχη/ες είσοδο/ους του. Για αυτόν τον λόγο η είσοδος του συστήματος πρέπει να δίνει στην έξοδο την επιθυμητή τιμή που χρειαζόμαστε , αλλιώς θα πρέπει να τροποποιείται με σκοπό να αποφύγουμε τυχόν ζημιές ή καταστροφές μέσα στο σύστημα αλλά και να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα η χρήση ενός μετασχηματιστή ,ώστε η τάση εισόδου που παρέχεται από την εταιρία παροχής ρεύματος να μην κάψει τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του συστήματος ,ώστε αυτά με την σειρά τους να λειτουργήσουν και να μας δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα , το οποίο είναι τελικά η έξοδος του συστήματος μας.
- **Ελεγκτή:** Στο σύστημα μας ωστόσο επιδρούν και εξωτερικοί παράγοντες όπως διάφοροι θόρυβοι , οι οποίοι ανατρέπουν την ομαλή λειτουργία του. Για αυτό και μεταξύ της εισόδου και του συστήματος μας τοποθετούμε έναν **ελεγκτή** , ο οποίος αυξομειώνει την είσοδο του συστήματος μας και προσπαθεί να ελαττώσει την επίδραση των διάφορων θορύβων , με σκοπό την συνέχιση της κανονικής λειτουργίας του συστήματος.

### 2.1.1 Συνάρτηση Μεταφοράς

Η περιγραφή εισόδου-εξόδου ενός συστήματος Σ.Α.Ε γίνεται με μαθηματική μοντελοποίηση του εκάστοτε συστήματος, τη ονομαζόμενη συνάρτηση μεταφοράς (transfer function). Η δημιουργία και χρήση συναρτήσεων μεταφοράς γίνεται με τη βοήθεια του μετασχηματισμού Laplace για τη λύση γραμμικών διαφορικών συστημάτων.

Ως **συνάρτηση μεταφοράς** ενός γραμμικού συστήματος, ορίζουμε το **λόγο** του μετασχηματισμού Laplace της **μεταβλητής εξόδου** προς το μετασχηματισμό Laplace της **μεταβλητής εισόδου**, θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες. Η συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται μόνο για μη χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα με σταθερές παραμέτρους.

Η γενική μορφή μιας γραμμικής διαφορικής εξίσωσης n-τάξης είναι:

$$A_n \frac{d^n c(t)}{dt^n} + \dots + A_1 \frac{dc(t)}{dt} + A_0 c(t) = B_m \frac{d^m r(t)}{dt^m} + \dots + B_1 \frac{dr(t)}{dt} + B_0 r(t)$$

όπου  $c(t)$  η συνάρτηση εξόδου και  $r(t)$  η συνάρτηση εισόδου. Στα φυσικά συστήματα ισχύει  $n \geq m$ . Μετασχηματίζοντας κατά Laplace και θεωρώντας όλες τις αρχικές συνθήκες μηδέν έχουμε:

$$A_n s^n C(s) + \dots + A_1 s C(s) + A_0 C(s) = B_m s^m R(s) + \dots + B_1 s R(s) + B_0 R(s) \rightarrow$$
$$(A_n s^n + \dots + A_1 s + A_0) C(s) = (B_m s^m + \dots + B_1 s + B_0) R(s)$$

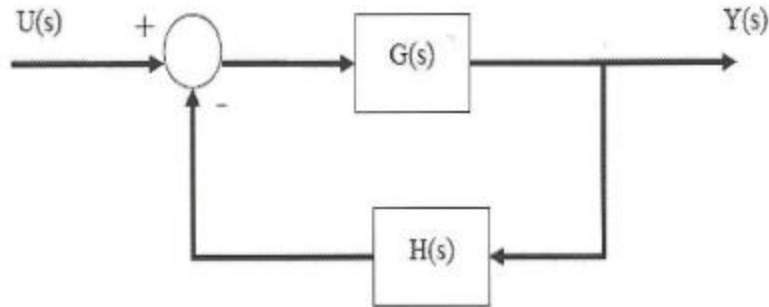
Ο λόγος  $\frac{C(s)}{R(s)}$  είναι η συνάρτηση μεταφοράς  $G(s)$  του συστήματος:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{B_m s^m + B_{m-1} s^{m-1} + \dots + B_0}{A_n s^n + A_{n-1} s^{n-1} + \dots + A_0} = \frac{P(s)}{Q(s)}$$

Το πολυώνυμο του παρονομαστή της συνάρτησης μεταφοράς ονομάζεται χαρακτηριστικό πολυώνυμο του συστήματος και η μελέτη του μπορεί να μας δώσει ορισμένες πληροφορίες για το σύστημα όπως για παράδειγμα την ευστάθεια του. Θέτοντας το πολυώνυμο του παρονομαστή ίσο με μηδέν, σχηματίζεται η χαρακτηριστική εξίσωση του συστήματος, καθώς οι ρίζες προσδιορίζουν τη συμπεριφορά απόκρισης του συστήματος. Από την παραγοντοποίηση των πολυωνύμων  $P(s)$  και  $Q(s)$  της συνάρτησης μεταφοράς προκύπτει η μορφή :

$$G(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_n)}$$

Η σταθερά  $K$  ονομάζεται κέρδος ή σταθερά ενίσχυσης και είναι πραγματικός αριθμός. Οι ρίζες  $z_1 \dots z_m$  του πολυωνύμου  $P(s)$  του αριθμητή ονομάζονται μηδενιστές της συνάρτησης μεταφοράς ενώ οι ρίζες του πολυωνύμου  $Q(s)$  του παρονομαστή ονομάζονται πόλοι της συνάρτησης μεταφοράς. Επιπλέον από την συνάρτηση μεταφοράς ενός συστήματος εντοπίζεται και ο βαθμός ή τάξη του συστήματος. Η τάξη του συστήματος δίνεται από τη μεγαλύτερη δύναμη στην οποία είναι υψωμένη η μιγαδική συχνότητα  $s$  στο πολυώνυμο του παρονομαστή. Στο σχήμα δίνεται το δομικό διάγραμμα ενός κλειστού Σ.Α.Ε με είσοδο  $u(t)$  και έξοδο  $y(t)$ .



Η συνάρτηση μεταφοράς του κλειστού συστήματος (closed loop transfer function) είναι ίση με:

$$G_{cl}(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Το πολυώνυμο  $G(s) \cdot H(s)$  ονομάζεται χαρακτηριστικό πολυώνυμο, ενώ η εξίσωση  $1 + G(s) \cdot H(s) = 0$  χαρακτηριστική εξίσωση του συστήματος.

Συνοψίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά από την χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς είναι:

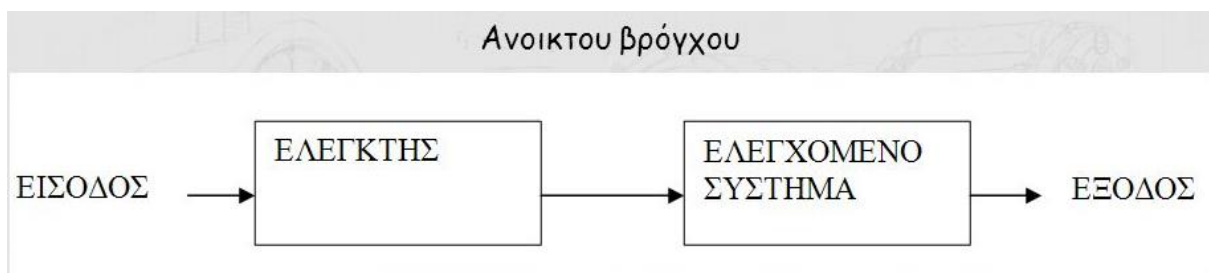
1. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι μια ιδιότητα του ίδιου του συστήματος και δεν εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος της διέγερσης
2. Η συνάρτηση μεταφοράς σχετίζεται με την είσοδο και την έξοδο, δεν παρέχει ωστόσο καμία πρόσθετη πληροφορία για τη φυσική δομή του συστήματος. Είναι πιθανό δυο διαφορετικά συστήματα να έχουν τις ίδιες συναρτήσεις μεταφοράς
3. Εάν γνωρίζουμε την συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος, μπορούμε να προσδιορίσουμε την έξοδο του για οποιαδήποτε μορφή εισόδου στο σύστημα.



### 2.1.2 Κατηγορίες Συστημάτων Ελέγχου

Τέλος ένα σύστημα χωρίζεται σε Σ.Α.Ε ανοιχτού βρόγχου και κλειστού βρόγχου.

Ένα **Σ.Α.Ε ανοιχτού βρόγχου (open-loop control system)** περιλαμβάνει την είσοδο από το περιβάλλον, τον ελεγκτή, το σύστημα και τέλος την έξοδο του συστήματος. Η είσοδος του είναι ανεξάρτητη από την ελεγχόμενη έξοδο του και συνεπώς η ροή πληροφοριών γίνεται σε μία μόνο κατεύθυνση. Η διαδικασία ελέγχου σε ένα ανοιχτό Σ.Α.Ε ονομάζεται διεύθυνση ή οδήγηση (driving) και διαχωρίζεται από την πιο σύνθετη διαδικασία αυτόματου ελέγχου.



Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ανοιχτού Σ.Α.Ε είναι:

#### Πλεονεκτήματα:

- Απλή κατασκευή και ευκολία συντήρησης
- Μικρό κόστος
- Δεν υπάρχουν προβλήματα αστάθειας

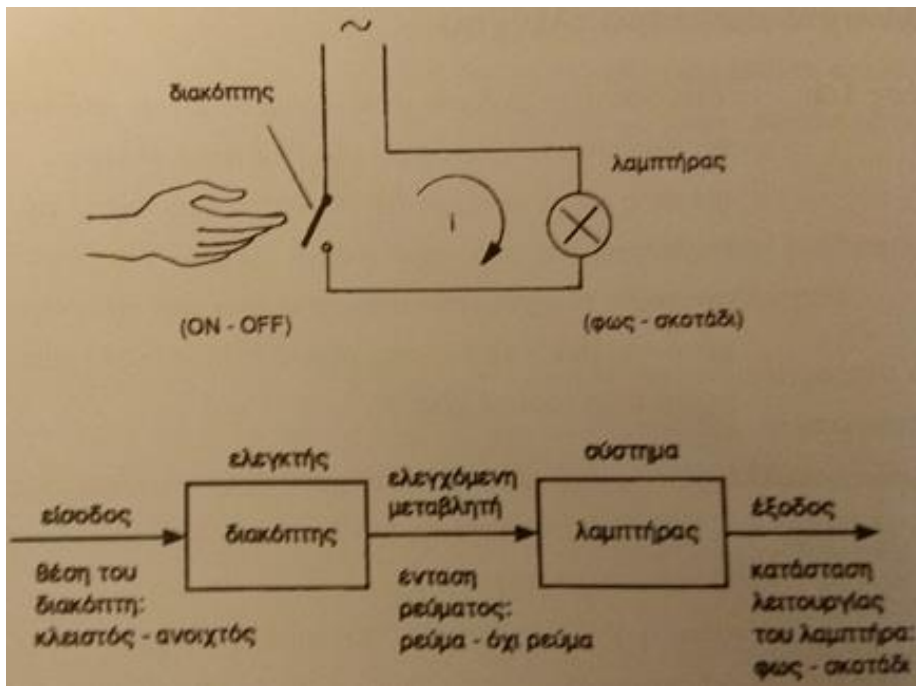
#### Μειονεκτήματα:

- Διάφορες διαταραχές(εσωτερικές, εξωτερικές),προκαλούν σφάλμα στην επιθυμητή τιμή της εξόδου και ως αποτέλεσμα την απόκλιση από το επιθυμητό αποτέλεσμα
- Για την διατήρηση των επιδιωκόμενων χαρακτηριστικών της εξόδου, απαιτείται περιοδική επαναρύθμιση των συνιστωσών του συστήματος.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

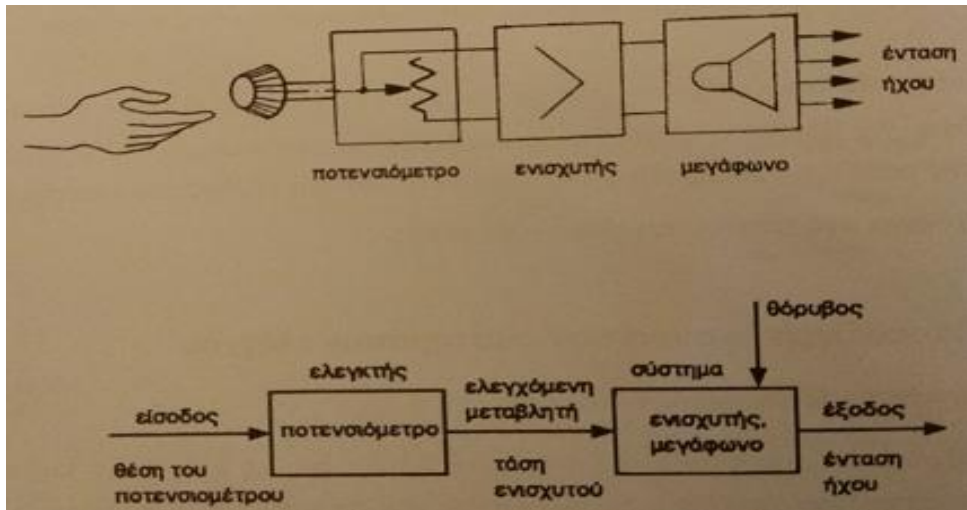
### 1. Ο ηλεκτρικός διακόπτης

Εξετάζουμε ως σύστημα έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα , με έξοδο την κατάσταση λειτουργίας του(φως – σκοτάδι). Θεωρούμε τον ηλεκτρικό διακόπτη ελεγκτή του συστήματος μέσω του οποίου επηρεάζουμε την ένταση του ρεύματος του κυκλώματος αυτού και ελέγχουμε την λειτουργία του λαμπτήρα (έλεγχος ON/OFF).



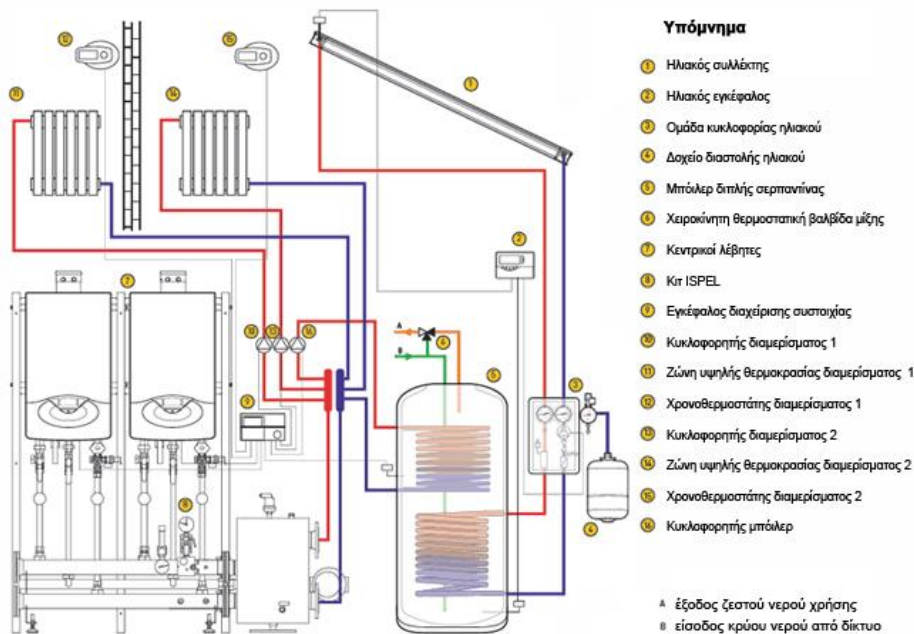
### 2. Ο έλεγχος έντασης του ραδιοφώνου

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε το ραδιόφωνο ως σύστημα ελέγχου(ενισχυτής, μεγάφωνο) και ως ελεγκτή το ποτενσιόμετρο με το οποίο μπορούμε να ελέγχουμε την τάση του ενισχυτή και ως συνέπεια την ένταση του ήχου που παράγουν τα μεγάφωνα του ραδιοφώνου.



### 3. Το σύστημα κεντρικής θέρμανσης

στο οποίο ο καυστήρας που έχει ελέγχεται μέσω ενός χρονοδιακόπτη για τον καθορισμό της περιόδου λειτουργίας και της περιόδου παύσης. (διαταραχές που επηρεάζουν το σύστημα όπως μεταβολές θερμοκρασίας, άνοιγμα των παραθύρων, δεν λαμβάνονται υπόψη).



Προβλέπεται η τοποθέτηση ικανής υδραυλικής ομάδας ασφαλείας

Ένα **Σ.Α.Ε κλειστού βρόγχου (closed - loop control system)** περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία από απαρτίζουν ένα Σ.Α.Ε ανοιχτού βρόγχου με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά.

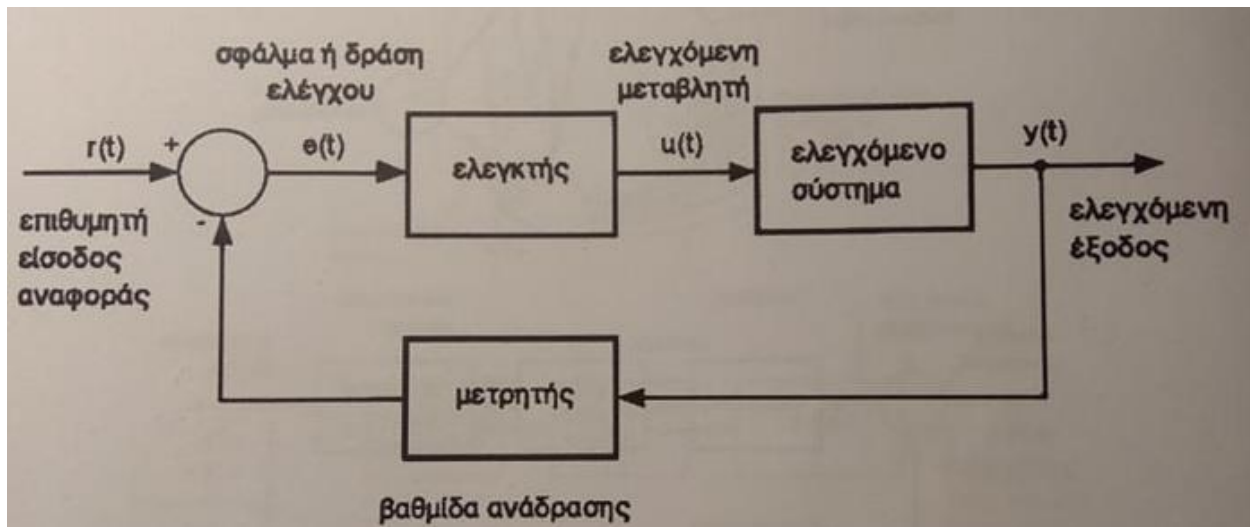


Το κλειστό Σ.Α.Ε είναι ένα σύστημα ελέγχου με ανάδραση , που εμπεριέχει εκτός από το ελεγχόμενο σύστημα μια βαθμίδα ελέγχου, μια βαθμίδα μέτρησης της ελεγχόμενης εξόδου και μια βαθμίδα σύγκρισης της με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς. Σε ένα κλειστό Σ.Α.Ε η δράση ελέγχου είναι συνάρτηση όχι μόνο της εισόδου αλλά και της πραγματικής εξόδου του συστήματος , έτσι ώστε η διαδικασία ελέγχου να παίρνει υπόψη της όχι μόνο το επιθυμητό αλλά και το πραγματικό αποτέλεσμα του ελέγχου.

Θεωρώντας τη σύγκριση εισόδου-εξόδου ως διαφορά χαρακτηρίζουμε ένα κλειστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου ως σύστημα με αρνητική ανάδραση (negative feedback).

Ο ρόλος της ανάδρασης επιδρά μεγάλη επιτυχία μέσα στο κλειστό Σ.Α.Ε καθώς συντελεί :

1. Στον περιορισμό του σφάλματος (ελαχιστοποίηση ή μηδενισμός)
2. Στην ευστάθεια (stability) του συστήματος
3. Στο εύρος λειτουργίας (bandwidth)
4. Στο συνολικό κέρδος (overall gain)
5. Στην μείωση ευαισθησίας (sensitivity) έναντι διάφορων διαταραχών που επιδρούν στο σύστημα

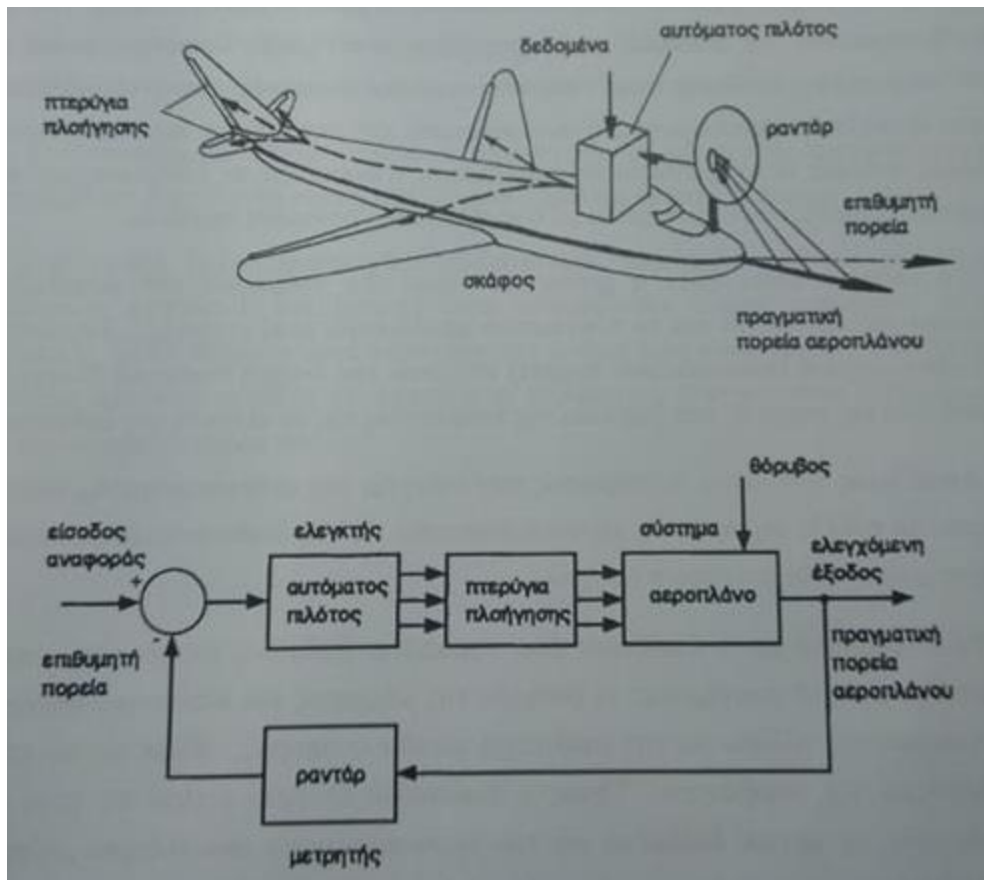


Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο αυτόματος έλεγχος της πορείας ενός αεροπλάνου:

Ο έλεγχος της πορείας ενός αεροπλάνου μέσω αυτόματου πιλότου καθορίζεται από μια σειρά εντολών, από τον αυτόματο πιλότο προς το σύστημα πλοήγησης του αεροπλάνου τα πτερύγια και το πηδάλιο, έτσι ώστε το αεροπλάνο να ακολουθήσει την σωστή πορεία.

Η πορεία του αεροπλάνου δίνεται ως ένα σύνολο δεδομένων στον αυτόματο πιλότο και αποτελεί την είσοδο αναφοράς. Ο αυτόματος πιλότος αποτελεί τον ελεγκτή και ασκεί μέσω των πτερυγίων τον έλεγχο στο ελεγχόμενο σύστημα, που είναι το αεροπλάνο. Το αποτέλεσμα του ελέγχου, η ελεγχόμενη έξοδος του συστήματος, είναι τελικά η πραγματική πορεία του αεροπλάνου.

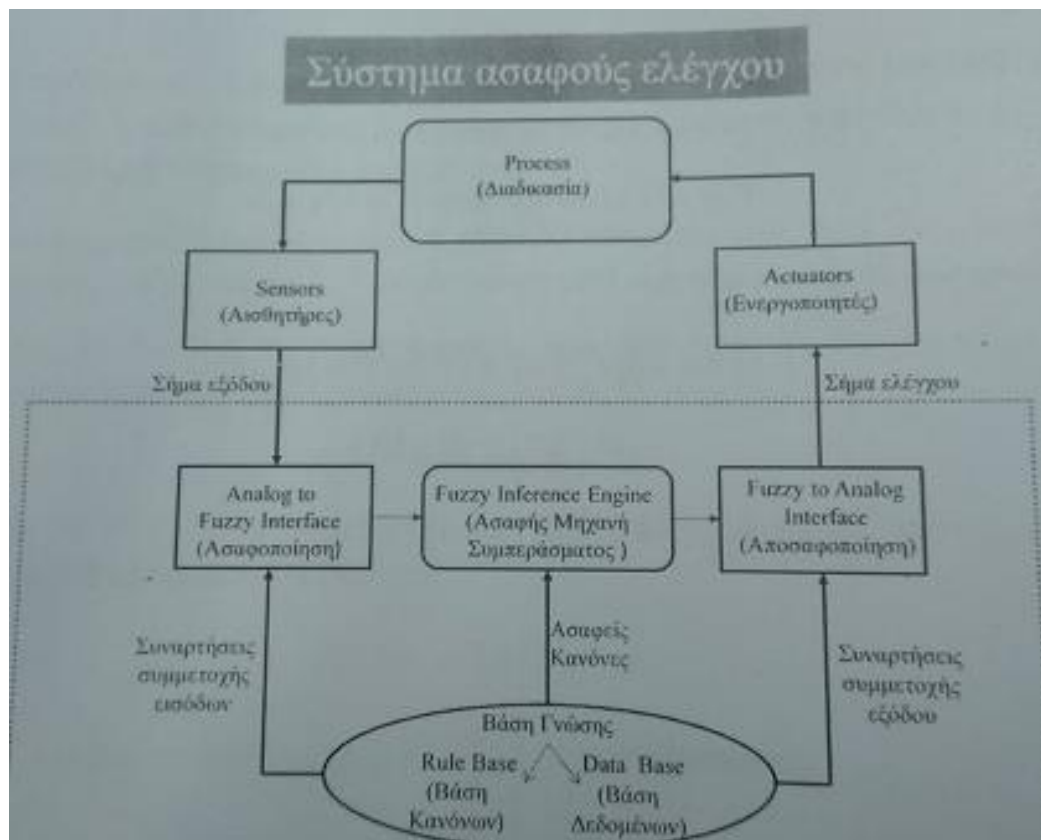
Μέχρι αυτό το σημείο το σύστημα ελέγχου του αεροπλάνου (αυτόματος πιλότος) λειτουργεί ως ανοιχτό Σ.Α.Ε. Ωστόσο το ανοιχτό αυτό σύστημα ελέγχου μπορεί να μετατραπεί σε κλειστό σύστημα ελέγχου, ικανό να μετρά κατά την διάρκεια της πτήσης την πραγματική του πορεία και να την συγκρίνει με την επιθυμητή του πορεία, ώστε να επαναφέρει το σκάφος στη σωστή κατεύθυνση κάθε δευτερόλεπτο. Για να αρχίσει να συμπεριφέρεται ως κλειστό Σ.Α.Ε χρειάζεται ένας μετρητής και ένα ραντάρ για εντοπισμό της θέσης του αεροπλάνου με σκοπό να μεταδίδει τα δεδομένα της μέτρησης συνεχώς στον αυτόματο πιλότο, ο οποίος να τα συγκρίνει με τα επιθυμητά δεδομένα και να δίνει εντολές για τη μετακίνηση των πτερυγίων και τη δόρθωση της κατεύθυνσης.



Άλλα παραδείγματα κλειστών Σ.Α.Ε με τους αντίστοιχους ελεγκτές τους , συνοπτικά είναι:

- Ο έλεγχος πορείας ή ακολουθίας (following control) σε οποιοδήποτε όχημα και ελεγκτή τον αυτόματο ελεγκτή ακολουθίας (following controller)
- Ο έλεγχος μίας επιθυμητής τιμής , η οποία παραμένει ή τείνει στο να παραμένει σταθερή , ο οποίος ονομάζεται έλεγχος σταθερής τιμής ή ρύθμιση (regulation) και ο αντίστοιχος ελεγκτής , ο ελεγκτής σταθερής τιμής ή αλλιώς ρυθμιστής (regulator)
- Ο έλεγχος ενός μηχανικού συστήματος μέσω ενός ηλεκτρικού, πνευματικού, υδραυλικού ή μηχανικού ελεγκτή με σερβομηχανισμό (servo-mechanism).
- Ο έλεγχος σε ένα δυαδικό μέγεθος (ON/OFF control) και ο ελεγκτής του , ελεγκτής (ON/OFF controller)
- Ο έλεγχος αναλογίας (P – Proportional Control), ολοκλήρωσης (I – Integral Control) και διαφόρισης (Differential Control) με ελεγκτές τους γνωστούς PI, PD και **PID** Controllers
- Ο έλεγχος ενός συστήματος με στόχο την εκπλήρωση ενός συγκεκριμένου κριτηρίου ελέγχου, ονομάζεται ως προς το κριτήριο αυτό , βέλτιστος έλεγχος (Optimal Control)
- Ο ψηφιακός έλεγχος ενός συστήματος ο οποίος ονομάζεται Digital Control και ο ελεγκτής του Digital Controller

- Ο έλεγχος ασαφών μεγεθών ο οποίος ονομάζεται ασαφής έλεγχος (fuzzy control) και εφαρμόζεται σε μη γραμμικά συστήματα που απαιτούν έλεγχο , με τις μεθόδους της ασαφούς λογικής , της ασαφούς μοντελοποίησης ,ασαφοποίησης , αποασαφοποίησης και τους λεγόμενους ελεγκτές ασαφούς λογικής (FLC) και ασαφείς PID ελεγκτές ( Fuzzy PID).Σε αυτή την περίπτωση βεβαίως ελέγχεται περισσότερο ο χειριστής – άνθρωπος , παρά η διαδικασία σαν σύστημα καθαυτό.



## 2.2 Κριτήρια Βέλτιστου Ελέγχου

Για να εκτιμήσουμε την απόδοση ενός κλειστού Σ.Α.Ε πρέπει πρώτα να αποφασίσουμε για 2 πράγματα:

1. Είδος Δοκιμής κλειστού Σ.Α.Ε
2. Κριτήρια Ποιότητας Ελέγχου

Τα πιο ευρέως διαδεδομένα και κοινώς χρησιμοποιούμενα κριτήρια για την σωστή και όσο το δυνατόν βέλτιστη απόδοση ενός κλειστού Σ.Α.Ε είναι :

- Απόσβεση  $\frac{1}{4}$  του πλάτους της απόκρισης
- Κρίσιμη Απόσβεση
- Ελαχιστοποίηση ή μηδενισμός του ολοκληρώματος της απόλυτης τιμής του σφάλματος

### 2.2.1 Απόσβεση

Με τον όρο απόσβεση σε ένα κλειστό Σ.Α.Ε εννοούμε ένα σήμα το οποίο αντιτίθεται στο χρονικό ρυθμό μεταβολής της ελεγχόμενης μεταβλητής. Είναι επιθυμητό τα συστήματα να διαθέτουν κάποιο επιθυμητό ποσοστό απόσβεσης, καθώς αυτό επιτρέπει την λειτουργία του ελεγκτή με υψηλότερο κέρδος, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας απόκρισης και βελτίωση της ταχύτητας εξόδου.

### 2.2.2 Ευστάθεια συστήματος

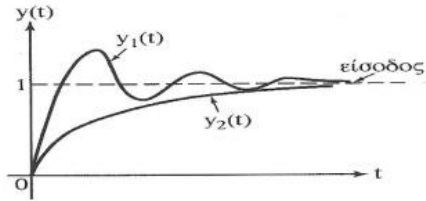
Η ευστάθεια παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά αλλά και στον σχεδιασμό ενός Σ.Α.Ε. Ένα σύστημα είναι ευσταθές όταν για βηματική είσοδο  $u(t) = 1$  και για χρόνο  $t \geq 0$  έχει βηματική απόκριση που τείνει σε μία πεπερασμένη τιμή, όταν ο χρόνος  $t$  τείνει στο άπειρο:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = M \neq \infty$$

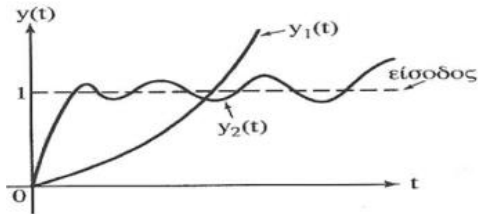
Ή αλλιώς, ευσταθές λέγεται ένα σύστημα όταν για οποιαδήποτε φραγμένη είσοδο, η έξοδος του είναι φραγμένη.

Ένα από τα πιο βασικά προβλήματα στην επιστήμη των Σ.Α.Ε είναι η σχεδίαση ενός συστήματος το οποίο θα είναι ευσταθές, δηλαδή που η έξοδος του θα ακολουθεί την είσοδο του χωρίς απόκλιση. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, κατά την σχεδίαση ενός Σ.Α.Ε επιδιώκεται πρώτα και πάνω από όλα η εξασφάλιση της ευστάθειας του συστήματος. Μετά από την εξασφάλιση αυτή επιδιώκεται η ικανοποίηση άλλων απαιτήσεων σχεδίασης, όπως ταχύτητα και ακρίβεια απόκρισης, εύρος ζώνης και σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση.



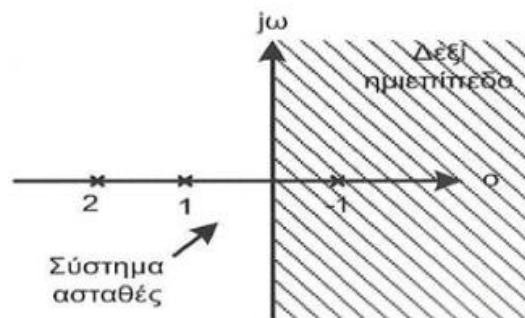
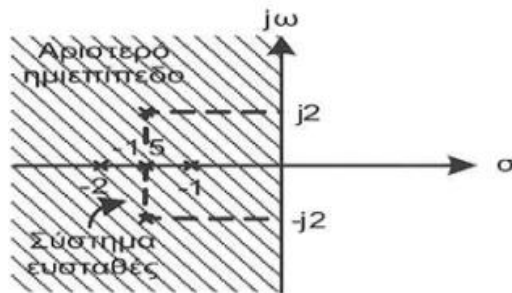


Απόκριση ευσταθούς συστήματος



Απόκριση ασταθούς συστήματος

Στο παραπάνω σχήμα, απεικονίζονται οι αποκρίσεις δύο συστημάτων όπου διακρίνεται η διαφορά μεταξύ ευσταθούς και ασταθούς συστήματος Σ.Α.Ε. Τα γραμμικά μη χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα συνδέονται επίσης και με τον τόπο ριζών. Για να είναι ένα σύστημα ευσταθές στον τόπο ριζών πρέπει **όλες** οι ρίζες του χαρακτηριστικού πολυωνύμου του να βρίσκονται στο αριστερό μιγαδικό επίπεδο. Αν έστω και μία βρίσκεται στο αριστερό μιγαδικό επίπεδο, τότε το σύστημα καθίσταται ασταθές.

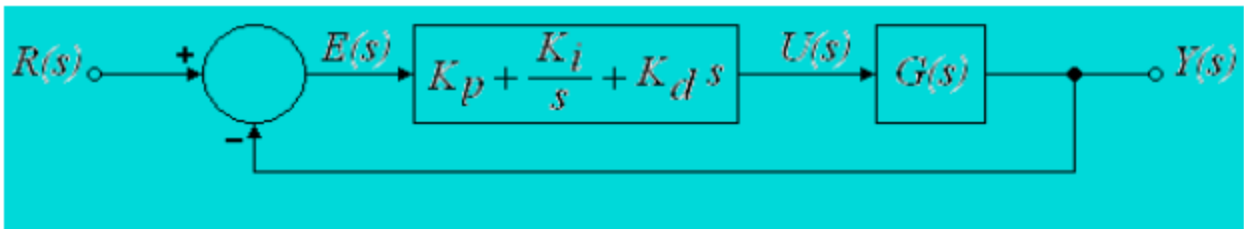


Τα Σ.Α.Ε εφαρμόζονται κατά κόρον στην βιομηχανία και όχι μόνο καθώς βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών που ξεκινούν από σπίτια και γραφεία σε εταιρίες μέχρι και στην ναυτιλία μέσα στα πλοία. Ένα Σ.Α.Ε καθιστά το πλέον διαδεδομένο σύστημα ελέγχου καθώς είναι το μέσο με το οποίο επιτυγχάνονται λιγότερες απώλειες στην διαδικασία μέχρι το τελικό αποτέλεσμα.

Ωστόσο δεν γίνεται όλες οι εφαρμογές να έχουν το ίδιο Σ.Α.Ε, ούτε τον ίδιο ελεγκτή αφού αναλόγως με την εφαρμογή ή την διαδικασία υπάρχουν διαφορετικές παρεμβολές και θόρυβοι που επιδρούν και αλλοιώνουν το αποτέλεσμα. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν διαφόρων ειδών ελεγκτές ή συνδυασμοί τους με σκοπό την ορθή λειτουργία του συστήματος το οποίο λειτουργούσε με διαταραχές και χρειαζόταν διόρθωση της διαδικασίας του.

### 2.3 Αναλογικοί Ελεγκτές

Πριν από την χρήση των PLC χρησιμοποιήθηκε (και χρησιμοποιείται ακόμα) ο αναλογικός ελεγκτής τριών όρων ή αλλιώς PID. Με την χρήση του ελεγκτή PID σε διάφορα βιομηχανικά συστήματα επιτεύχθηκε ο έλεγχος και η σταθερότητα των διεργασιών στις βιομηχανικές διεργασίες καθώς με τον PID μέσα στον σύστημα, το σύστημα προσαρμοζόταν στις τυχόν αποκλείσεις από την επιθυμητή τιμή που έπρεπε να δώσει (τελικό αποτέλεσμα διεργασίας) καθώς και ενάντια σε διαταραχές που επιδρούσαν εναντίον του. Ο ελεγκτής τριών όρων PID αποτελείται από τους ελεγκτές P, I και D οι οποίοι με τους συνδυασμούς τους βοηθούν το σύστημα να ανταποκριθεί σε οποιαδήποτε δυσκολία, με κάποια μειονεκτήματα ωστόσο.



Σήμα εξόδου του ελεγκτή  
στο πεδίο του χρόνου

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Σήμα εξόδου του ελεγκτή  
στο πεδίο του Laplace

$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

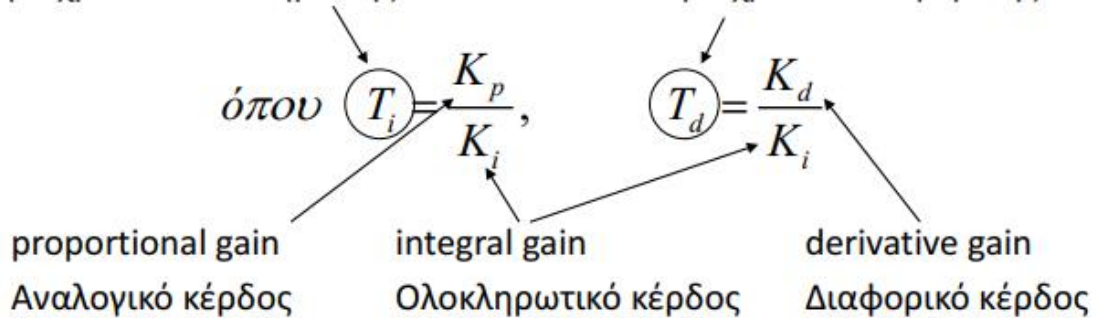
$$= K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

integral time constant

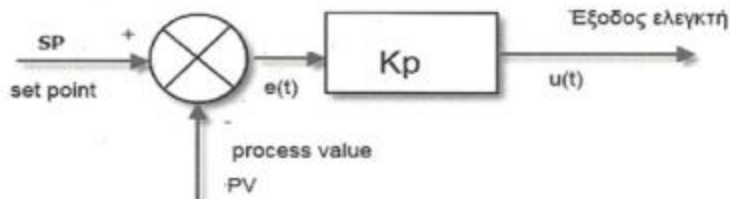
σταθερά χρόνου ολοκλήρωσης

derivative time constant

σταθερά χρόνου διαφόρισης



### 2.3.1 Ελεγκτής Τύπου P



Ο ελεγκτής τύπου P (Proportional) ή αλλιώς αναλογικός όρος P (ανάλογος του σφάλματος), βοηθά στην βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος, τόσο στην μεταβατική όσο και στην μόνιμη απόκριση, καθώς μειώνει τον χρόνο ανύψωσης. Το μειονέκτημα που έχει είναι ότι δεν μπορεί ποτέ να εξαλείψει από μόνος του το μόνιμο σφάλμα που υπάρχει για αυτό και λειτουργεί καλύτερα σε συνδυασμό με άλλους αναλογικούς ελεγκτές μαζί.

### 2.3.2 Ελεγκτής Τύπου I

Ο ελεγκτής τύπου I (Integral) ή αλλιώς ολοκληρωτικός όρος I (ανάλογος του ολοκληρώματος του σφάλματος), χρησιμοποιείται σε συστήματα όπου εμφανίζουν μόνιμο σφάλμα. Αυξάνοντας την έξοδο του, ο ελεγκτής (λόγω ολοκληρώματος στην έξοδο) για όσο υπάρχει το μόνιμο σφάλμα, τείνει στο να εξαλείψει τελείως το μόνιμο σφάλμα αυτό. Βέβαια αυτό γίνεται εις βάρος της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος και της ευστάθειας του.

### 2.3.3 Ελεγκτής Τύπου D

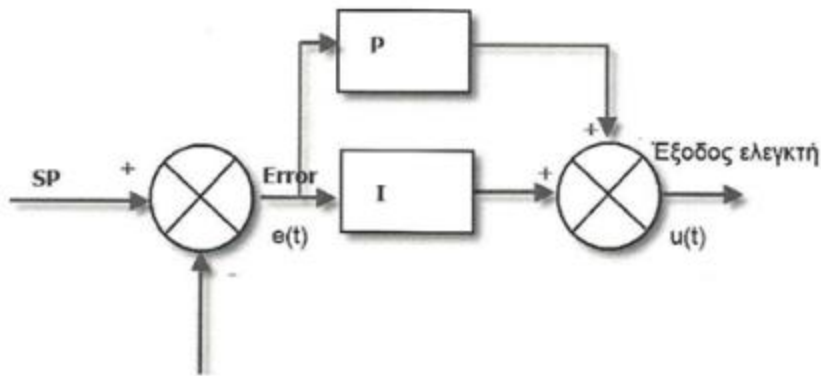
Ο ελεγκτής τύπου D (Derivative) , ή αλλιώς διαφορικός όρος D ( ανάλογος της παραγώγου του σφάλματος) , επιδρά στο σύστημα αυξάνοντας την σταθερότητα του(ευστάθεια συστήματος) μειώνει την υπερύψωση (overshooting) και βελτιώνει την μεταβατική απόκριση του συστήματος. Όμως λόγω της επιβολής στην πράξη περιορισμού της εξόδου του, δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του αλλά σε συνδυασμό με άλλους αναλογικούς ελεγκτές.

Αναφορικά η επιρροή των αναλογικών όρων των ελεγκτών P,I και D στην απόκριση ενός συστήματος κλειστού βρόγχου συνοψίζονται στον εξής πίνακα:

	Rise time Χρόνος ανόδου ή ανύψωσης ( $t_r$ )	Maximum overshoot Μέγιστη υπερύψωση ( $y_m$ )	Settling time Χρόνος αποκατάστασης ( $t_s$ )	Steady-state error Μόνιμο σφάλμα
<b>P</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ</b>	<b>ΑΥΞΗΣΗ</b>	<b>Μικρή αλλαγή</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ</b>
<b>I</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ</b>	<b>ΑΥΞΗΣΗ</b>	<b>ΑΥΞΗΣΗ</b>	<b>ΕΞΑΛΕΙΨΗ</b>
<b>D</b>	<b>Μικρή αλλαγή</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ</b>	<b>ΜΕΙΩΣΗ</b>	<b>Μικρή αλλαγή</b>

## 2.4 Συνδυασμός Αναλογικών Ελεγκτών

### 2.4.1 Ελεγκτής PI

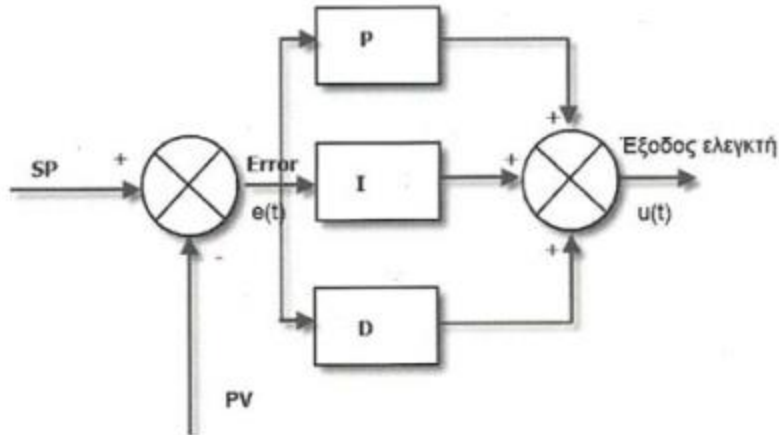


Ο ελεγκτής P από μόνος του μειονεκτεί καθώς δεν μπορεί να μηδενίσει το μόνιμο σφάλμα. Το μειονέκτημα του, το εξουδετερώνει ο ελεγκτής I. Όμως ο ελεγκτής I είναι αργός. Το πρόβλημα αυτό το εξουδετερώνει ο ελεγκτής P. Έτσι ο ελεγκτής PI εμφανίζει τα πλεονεκτήματα του των ελεγκτών P και I, χωρίς τα μειονεκτήματά τους για αυτό και χρησιμοποιείται όπου απαιτείται ταχεία, ακριβής ρύθμιση.

### 2.4.2 Ελεγκτής PD

Ο συνδυασμός του ελεγκτή P μαζί με τον ελεγκτή D, που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλους ελεγκτές, σε περιπτώσεις με ξαφνικές αλλαγές φορτίου όταν ο αναλογικός ελεγκτής από μόνος του (P) δεν είναι ικανός να περιορίσει το σφάλμα σε επιθυμητό επίπεδο, δημιουργεί τον ελεγκτή PD. Αυτός επιτρέπει την λειτουργία του συστήματος υπό έλεγχο με μεγαλύτερες τιμές κέρδους (σε σχέση με τον απλό αναλογικό έλεγχο), περιορίζοντας έτσι τις ταλαντώσεις του συστήματος και ελαττώνοντας το σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση.

### 2.4.3 Ελεγκτής PID



Ο αναφορικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής ή ελεγκτής PID , έχει μεγάλη απλότητα στην δομή του και χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών (βιομηχανίες , συστήματα παραγωγής και διανομής ενέργειας , πλοία , αεροπλάνα , πυρηνικούς αντιδραστήρες , συστήματα ρομποτικής κ.α ) με την απόδοσή του να κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

Ο ελεγκτής PID εμφανίζει τα πλεονεκτήματα των τριών όρων από τους οποίους αποτελείται:

- Είναι γρήγορος (P)
- Κάνει ακριβή ρύθμιση και μηδενίζει το μόνιμο σφάλμα (I)
- Επιδρά αντίθετα στις απότομες μεταβολές της ελεγχόμενης μεταβλητής (D)

Με βάση τα παραπάνω πλεονεκτήματα , ο PID χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια , γρήγορος έλεγχος και η ελεγχόμενη μεταβλητή να αλλάζει απότομα τις τιμές της(εμφάνιση απότομων μεταβολών των τιμών της).

\*Σημείωση\*:

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν κάποια σαφή μειονεκτήματα από την χρήση των όρων PID , για αυτό και θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη ρύθμιση ώστε να μην συμβούν τα παρακάτω:

- Αυξάνοντας το αναλογικό κέρδος μειώνεται το μόνιμο σφάλμα , όμως εάν το αυξήσουμε πολύ τότε το σύστημα αποσταθεροποιείται.
- Ο ολοκληρωτικός έλεγχος I επιφέρει ισχυρή μείωση του μόνιμου σφάλματος , αλλά μειώνει την ευστάθεια του συστήματος.

- Ο διαφορικός έλεγχος αυξάνει την απόσβεση και βελτιώνει την ευστάθεια χωρίς να επηρεάζει το μόνιμο σφάλμα.

#### 2.4.4 Ρύθμιση παραμέτρων του ελεγκτή PID

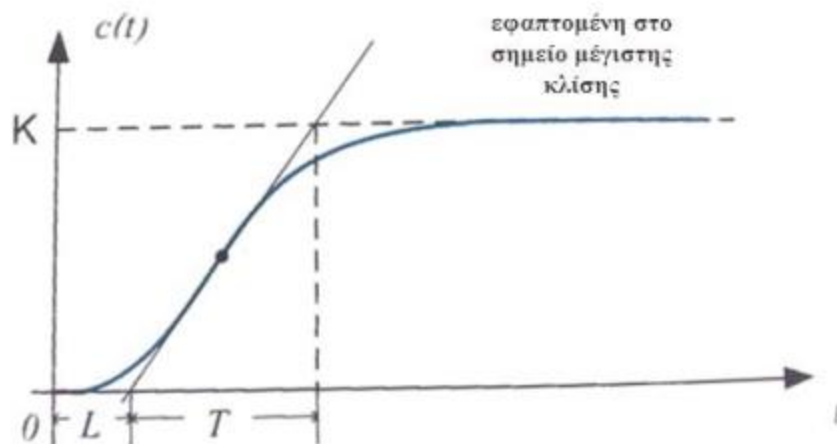
Για να λειτουργήσει ένας ελεγκτής PID , χρειάζεται ακριβής ρύθμιση των παραμέτρων του ( των όρων P,I και D) ώστε να λειτουργήσει με σκοπό να ελέγξει το σύστημα , και με την σειρά του το σύστημα να δώσει την επιθυμητή τιμή στην έξοδο. Ωστόσο υπάρχει ένα τεράστιο εύρος τιμών που οι όροι P,I,D μπορούν να πάρουν , καθώς και ένας άπειρος συνδυασμός αυτών των τιμών που πρέπει να συνδυαστεί κατάλληλα μεταξύ των τριών όρων αυτών ώστε να υπάρχει ο τέλειος έλεγχος στο ελεγχόμενο σύστημα μας.

Τέλεια ρύθμιση από την αρχή δεν μπορεί να γίνει απευθείας στους τρεις όρους του ελεγκτή PID , όμως μπορούν να βρεθούν οι αρχικές – προσεγγιστικές τιμές τους ώστε να υπάρξει μια βελτίωση και στην συνέχεια με περαιτέρω μελέτη του προβλήματος και του συστήματος να βρούμε το “τέλειο” ζευγάρι τιμών των όρων P,I,D. Με τις μεθόδους των **Ziegler – Nichols** και **Cohen-Coon** μπορούμε να βρούμε αυτές τις αρχικές προσεγγιστικές τιμές και έτσι να αρχίσουμε να επιφέρουμε κάποιο αποτέλεσμα στον έλεγχο του συστήματος προς την επιθυμητή τιμή της εξόδου του.

##### 1. Πρώτη μέθοδος των Ziegler – Nichols :

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και αλλιώς μέθοδος μεταβατικής απόκρισης , στηρίζεται δε στον πειραματικό προσδιορισμό της βηματικής απόκρισης της διεργασίας και εφαρμόζεται σε συστήματα με “αργή” απόκριση. Με σκοπό λοιπόν να εφαρμόσει κάποιος την πρώτη μέθοδο των Ziegler – Nichols στο ελεγχόμενο σύστημα του θα πρέπει πρώτα να απομονώσει την εγκατάσταση από το υπόλοιπο σύστημα και να εξετάσει την απόκριση του συστήματος για μοναδιαία είσοδο (γνωστή και ως βηματική είσοδο). Η χρήση της μεθόδου συνήθως γίνεται σε εγκαταστάσεις τύπου 0, για τις οποίες η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος μπορεί να πάρει προσεγγιστικά την μορφή :

$$G = \frac{K}{T} \frac{e^{-Ls}}{s + 1/T}$$



**Επιθυμητή μορφή μοναδιαίας βηματικής απόκρισης για την 1<sup>η</sup> μέθοδο Ziegler-Nichols**

Για βηματική είσοδο μέσα στο σύστημα μας, θα πάρουμε μοναδιαία βηματική απόκριση η οποία θα έχει την μορφή του σχήματος. Παίρνοντας υπόψη την γραφική παράσταση του σχήματος οι παράμετροι L και T ορίζονται με βάση την εφαπτομένη της καμπύλης στο σημείο κλίσης.

Πιο συγκεκριμένα :

- η καθυστέρηση νεκρού χρόνου L, ορίζεται ως το διάστημα της διαταραχής (αρχή των αξόνων), ως το σημείο τομής της εφαπτομένης με τον οριζόντιο άξονα.
- Η σταθερά χρόνου T, ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από το σημείο του οριζόντιου άξονα στο οποίο η εφαπτομένη τέμνει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, η οποία αντιστοιχεί την τιμή της εξόδου, όπως αυτή διαμορφώνεται στην μόνιμη κατάσταση (μετά την αποκατάσταση της διαταραχής).

Με βάση τις τιμές των L και T, οι προτεινόμενες τιμές των παραμέτρων για τον ελεγκτή PID από την 1<sup>η</sup> μέθοδο των Ziegler – Nichols διαμορφώνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος ελεγκτή	$K_P$	$K_I$	$K_D$
P	T/L	0	0
PI	0.9T/L	3.33/L	0
PID	1.2T/L	0.5/L	0.5L



Σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα η σχέση εισόδου-εξόδου του ελεγκτή PID διαμορφώνεται ως:

$$u(t) = 1.2 \frac{T}{L} e(t) + 0.6 \frac{T}{L^2} \int_0^t e(t) dt + 0.6T \frac{de(t)}{dt}$$

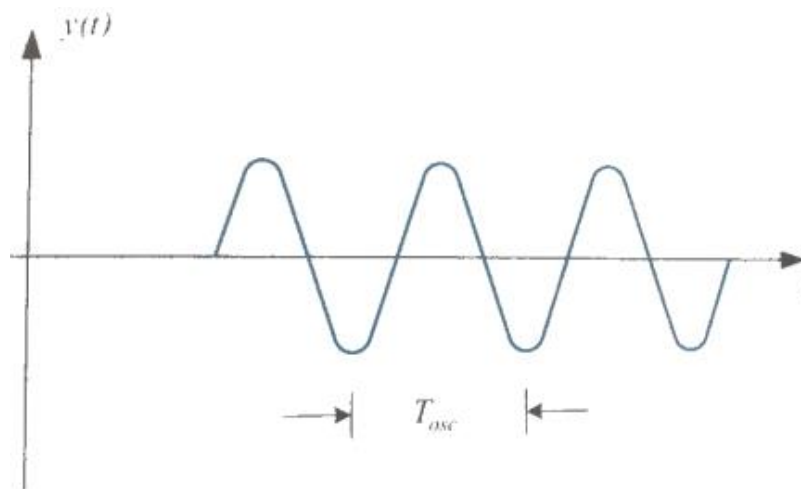
Και η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή θα έχει την μορφή :

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L}\right)^2}{s}$$

## 2. Δεύτερη μέθοδος των Ziegler – Nichols :

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και μέθοδος ορίου ευστάθειας και βασίζεται στον έλεγχο του συστήματος **μόνο** με αναλογικό ελεγκτή και εφαρμόζεται στα συστήματα όπου η έξοδος τους μπορεί να οδηγηθεί σε αμείωτες ταλαντώσεις. Για τον καθορισμό των 2 παραμέτρων ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Τοποθετείται αναλογικός ελεγκτής με μεταβλητό κέρδος  $K_p$  σε σειρά με την εγκατάσταση μηδενίζοντας τις παραμέτρους I και D και έτσι κλείνει ο βρόγχος με μοναδιαία αρνητική ανάδραση.
- Αυξάνεται διαδοχικά το αναλογικό κέρδος  $K_p$  του ελεγκτή ως την κρίσιμη τιμή ( $K_p = K_{cr}$ ) για την οποία η έξοδος εμφανίζει συντηρούμενες ταλαντώσεις. Εάν η έξοδος δεν εμφανίσει σταθερές ταλαντώσεις για οποιαδήποτε τιμή του κέρδους  $K_p$ , η μέθοδος αυτή **δεν** μπορεί να εφαρμοστεί.



**2<sup>η</sup> μέθοδος των Ziegler-Nichols, απόκριση εξόδου**

Με βάση την τιμή του κέρδους  $K_p=K_{cr}$  και την τιμή  $T_{osc}$  της περιόδου ταλάντωσης , οι ενδεικτικές τιμές από την 2<sup>η</sup> μέθοδο των Ziegler – Nichols ( $K_p, K_i, K_d$ ) του ελεγκτή διαμορφώνονται ως εξής:

Τύπος ελεγκτή	$K_p$	$K_i$	$K_D$
P	$0.5K_{cr}$	0	0
PI	$0.45K_{cr}$	$1.2/T_{osc}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$2/T_{osc}$	$0.125T_{osc}$

Σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές του πίνακα , η σχέση εισόδου – εξόδου του ελεγκτή γίνεται :

$$u(t) = 0.6K_{cr}e(t) + 1.2\frac{K_{cr}}{T_{osc}} \int_0^t e(t)dt + 0.075K_{cr}T_{osc} \frac{de(t)}{dt}$$

ενώ η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή παίρνει την μορφή :

$$G_c(s) = 0.075K_{cr}T_{osc} \left( \frac{s + \frac{4}{T_{osc}}}{s} \right)^2$$

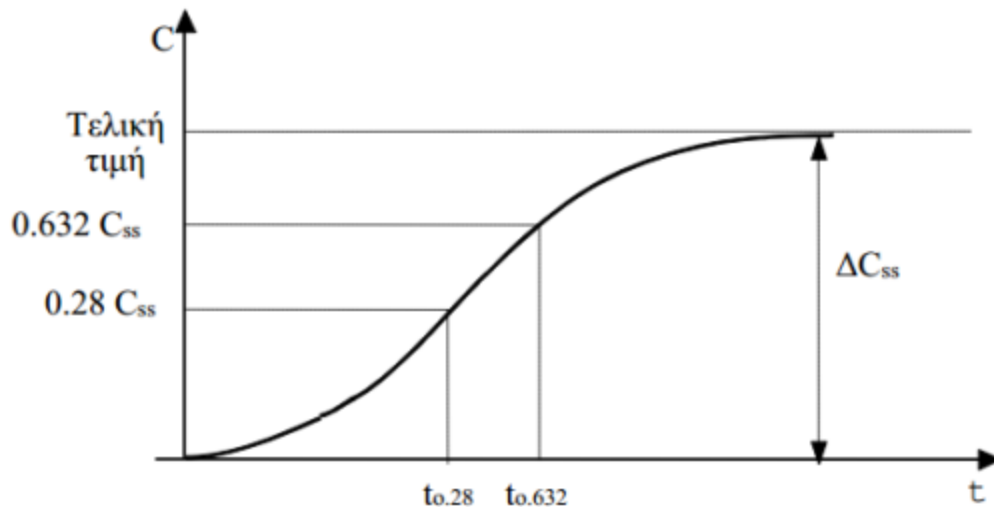
### 3. Μέθοδος των Cohen-Coon :

Οι παράμετροι του PID ελεγκτή μπορούν να υπολογισθούν και με την μέθοδο των Cohen-Coon.

Υποθέτουμε ότι η διεργασία αποτελείται από μοντέλο 1<sup>ου</sup> βαθμού με βραδυπορία:

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_d s}}{\tau s + 1}$$

Ο ελεγκτής τίθεται σε χειροκίνητη θέση (από automatic σε manual) και προκαλείται βηματική μεταβολή στην είσοδο της διεργασίας  $\Delta m$  με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η έξοδος της κατά  $\Delta C$ .



Καμπύλη απόκρισης σε βηματική μεταβολή εισόδου.

Από την καμπύλη βηματικής απόκρισης στο πεδίο του χρόνου βρίσκονται οι παράμετροι της διεργασίας κάνοντας χρήση των εξισώσεων:

$$K = \Delta C_{ss} / \Delta m = B/A \quad t_d = 1.5 (t_{0.28} - 1/3 t_{0.63})$$

$$\tau = 1.5(t_{0.63} - t_{0.28}) \quad \alpha = t_d / \tau$$

Στην συνέχεια από τις εξισώσεις Cohen-Coon επιλέγονται οι παράμετροι του PID ελεγκτή:

Τύπος του Ελεγκτή	Μέθοδος Cohen-Coop
Αναλογίας (P)	$K_c = \frac{(1/\alpha + 0.333)}{K}$
Αναλογίας + ολοκλήρωσης (PI)	$K_c = \frac{(0.9/\alpha + 0.082)}{K}$ $\tau_i = \tau \frac{3.33\alpha + 0.333\alpha^2}{1 + 2.2\alpha}$
Αναλογίας + ολοκλήρωσης + διαφόρισης (PID)	$K_c = \frac{(1.35/\alpha + 0.27)}{K}$ $\tau_i = \tau \frac{2.5\alpha + 0.5\alpha^2}{1 + 0.6\alpha}$ $\tau_d = \tau \frac{0.37\alpha}{1 + 0.2\alpha}$

\*Σημείωση 1<sup>η</sup> \*:

Δεν υπάρχει υπεροχή της μίας μεθόδου έναντι της άλλης ως προς την ακρίβεια των παραμέτρων , ωστόσο παρατηρείται ότι οι εξισώσεις των Ziegler – Nichols είναι πιο εύχρηστες.

\*Σημείωση 2<sup>η</sup> \*:

Και οι δύο μέθοδοι δίνουν πάντα σωστές τιμές για την αρχική ρύθμιση των παραμέτρων του PID ελεγκτή ωστόσο , για να λυθεί το πρόβλημα που αντιμετωπίζει το σύστημα μας , συνίσταται περαιτέρω μελέτη του προβλήματος και επαναπροδιορισμός των τιμών του PID ελεγκτή ώστε να βρούμε τις κατάλληλες και οριστικές τιμές που θα επιλύσουν ολοκληρωτικά το πρόβλημα που αντιμετωπίζει το σύστημα μας.

## Κεφάλαιο 3: Αλγόριθμοι σε Βιομηχανικά περιβάλλοντα μέσω των PLC

### 3.1 Εισαγωγή στα PLC

#### 3.1.1 Γενικές πληροφορίες για τα PLC

Ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής ή PLC είναι μια συσκευή που λειτουργεί όπως ένας υπολογιστής που όμως έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε βιομηχανικό περιβάλλον. Δέχεται σήματα από την είσοδο του , τα σήματα αυτά επεξεργάζονται μέσω του προγράμματος το οποίο είναι αποθηκευμένο στο PLC και δίνει στην έξοδο του το αποτέλεσμα του προγράμματος.

Το PLC αντικαθιστά τον κλασικό αυτοματισμό στις βιομηχανίες (ηλεκτρονόμοι, χρονικά, απαριθμητές). Έτσι, αντί για την κατασκευή ενός ηλεκτρολογικού πίνακα με αυτοματισμούς που να αποτελείται από πολύπλοκες συνδεσμολογίες, τοποθετείται ένα PLC και η λειτουργία του αυτοματισμού προγραμματίζεται μέσω προγραμματιστή ή μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με την βοήθεια ειδικού λογισμικού.

### 3.1.2 Πλεονεκτήματα των PLC

Τα πλεονεκτήματα των PLC, έναντι των κλασικών αυτοματισμών είναι αρκετά, με αυτά να εστιάζουν στην ταχύτητα εύρεσης του προβλήματος, τον χρόνο υλοποίησης μιας διαδικασίας, το κόστος, την κατασκευαστική αντοχή, τον εύκολο προγραμματισμό τους και το μεγάλο εύρος των εφαρμογών που μπορούν τα PLC να λειτουργήσουν. Πιο συγκεκριμένα :

- Ο χρόνος υλοποίησης του αυτοματισμού μιας διαδικασίας είναι πολύ πιο γρήγορος ( μηδενικός) σε σχέση με την κατασκευή ενός κλασικού πίνακα αυτοματισμού
- Το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι μικρότερο από το κόστος ενός μεγάλου αριθμού βοηθητικών ηλεκτρονόμων, χρονικών, απαριθμητών, κ.α
- Τα PLC είναι ευέλικτα στην τροποποίηση λειτουργίας του αυτοματισμού καθώς, εάν χρειάζεται αλλαγή στον αυτοματισμό αυτή μπορεί να γίνει άμεσα αλλάζοντας το πρόγραμμα.
- Το ίδιο PLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές
- Δεν απαιτείται κάποια δύσκολη γλώσσα προγραμματισμού αλλά προγραμματισμός με βάση τις γλώσσες : LADDER, FBD, STL, LOGO με πιο διαδεδομένες την γνωστή ηλεκτρολογική συνδεσμολογική γλώσσα (διάγραμμα LADDER και την γλώσσα STL (statement list)
- Το PLC διαθέτει εύκολο εντοπισμό των εισόδων και των εξόδων του με την βοήθεια ενσωματωμένων LED στις μονάδες εισόδων και εξόδων του. Επιπλέον μπορούμε να παρακολουθήσουμε την ροή εκτέλεσης του προγράμματος με την βοήθεια του λογισμικού του.
- Δεν υπάρχει πρόβλημα μη ενημερωμένων σχεδίων καθώς το PLC αποθηκεύει το τελευταίο πρόγραμμα στην μνήμη του (το οποίο μπορεί τροποποιηθεί και να εκτυπωθεί σε χαρτί) και έτσι ο τεχνικός μπορεί να γνωρίζει πάντα πιο πρόγραμμα υπάρχει στο PLC.
- Τα PLC λόγω του μικρού μήκους του καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο από ότι οι κλασικοί πίνακες αυτοματισμού.
- Ο αυτοματισμός με PLC παρέχει ευελιξία και πολλές δυνατότητες αφού μπορούμε πολύ εύκολα να δημιουργούμε πολύπλοκες και έξυπνες διεργασίες οι οποίες μπορούν να καλύψουν παραπάνω από μία εφαρμογές, και οι οποίες θα ήταν πολύ πιο δύσκολο να υλοποιηθούν με τον κλασικό αυτοματισμό

- Τα PLC ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης σε σχέση με τους πίνακες αυτοματισμού , αφού όταν υπάρξει μια βλάβη στον πίνακα αυτοματισμού υπάρχει καθυστέρηση μόνο στην διαδικασία παραγωγής , μέχρι αυτή η βλάβη να εντοπιστεί και να επιλυθεί ή να διορθωθεί μερικώς. Στον κλασικό πίνακα αυτοματισμού , αφού εντοπιστεί η βλάβη θα πρέπει να έχουμε το κατάλληλο εξάρτημα ή ανταλλακτικό και να το αντικαταστήσουμε με αυτό το οποίο έχει βλάβη και δεν λειτουργεί . Αντιθέτως τα PLC χαλάνε σπάνια και διαθέτουν μεγάλη εγγύηση από την εταιρία που το προμηθεύτε η βιομηχανία.
- Τα PLC μπορούν να τροποποιηθούν τοποθετώντας νέες μονάδες εισόδων και εξόδων.
- Σε μία βιομηχανική εγκατάσταση ή γραμμή παραγωγής που χρησιμοποιεί PLC , παρέχεται δυνατότητα σύνδεσης με ηλεκτρονικούς υπολογιστές οι οποίοι παρέχουν σε γραφικό περιβάλλον την λειτουργία της εγκατάστασης ή γραμμής παραγωγής αυτής ( SCADA Program) , σύνδεση με το σύστημα αποθήκευσης της εγκατάστασης κ.α

### 3.1.3 Μειονεκτήματα των PLC

Τα PLC δεν διαθέτουν πολλά μειονεκτήματα , ωστόσο θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν σαν μειονεκτήματα :

- Η έλλειψη ενημέρωσης των τεχνικών όλων των βαθμίδων που δυσκολεύει και δημιουργεί προβλήματα στην εφαρμογή των PLC.
- Για πολύ απλές εφαρμογές , η χρήση των κλασικών αυτοματισμών ίσως είναι πιο οικονομική
- Εάν παρουσιαστεί βλάβη στο PLC , είναι δυνατόν (βέβαια σπάνια) να μην διορθώνεται με αποτέλεσμα να χρειάζεται αντικατάσταση ενός μέρους του PLC ή ολόκληρη αντικατάσταση του, ενώ στον κλασικό αυτοματισμό , για να ξαναλειτουργήσει ένας πίνακας , είναι αρκετή η αντικατάσταση ενός χρονικού, ρελέ κ.α
- Τα PLC πολλές φορές είναι ευαίσθητα στον ηλεκτρονικό θόρυβο και για αυτό απαιτούνται ειδικές κατασκευές για προστασία τους.
- Η εγκατάσταση , ο προγραμματισμός , η παρακολούθηση λειτουργίας και η συντήρηση ενός PLC απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό , πράγμα που σημαίνει αυξημένο κόστος στο ανθρώπινο προσωπικό για την βιομηχανία που το έχει.

### 3.1.4 Εφαρμογές των PLC

Τα PLC στην εξωτερικό αλλά και στην Ελλάδα , βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών και έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τους κλασικούς αυτοματισμούς. Ορισμένες από αυτές είναι :

- Μέσα μεταφοράς εμπορευμάτων και μετακίνησης (τεράστια χρήση σε πλοία)
- Ασανσέρ
- Συναγερμοί
- Υδροηλεκτρικά φράγματα
- Συστήματα γεννητριών
- Ανεμογεννήτριες
- Κυλιόμενες σκάλες
- Γραμμές παραγωγής στην βιομηχανία
- Έξυπνα σπίτια (παρακλάδι των PLC , τα λεγόμενα KNX)

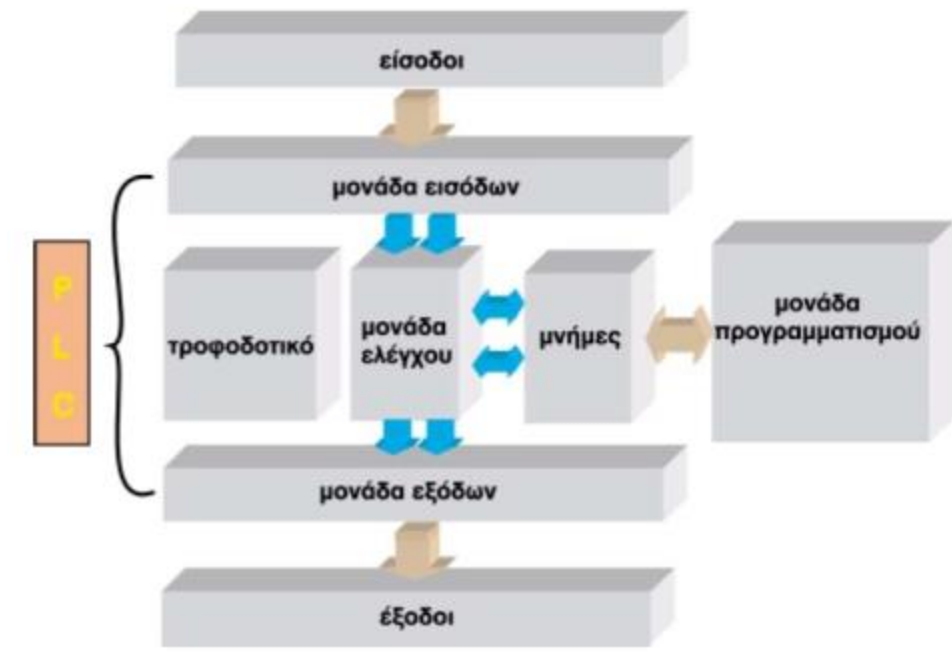
Βλέπουμε λοιπόν ότι τα PLC καλύπτοντας ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών απασχολούν έναν μεγάλο αριθμό μηχανικών από όλους τους κλάδους.

### 3.1.5 Δομή ενός PLC

Η δομή ενός PLC , καθώς το PLC μοιάζει με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και στην ουσία είναι ένας μικροϋπολογιστής για βιομηχανικό περιβάλλον , ανεξαρτήτως κατασκευαστικής εταιρίας , γλώσσας προγραμματισμού και μεθοδολογίας με τον οποίο είναι προγραμματισμένο , είναι η ακόλουθη :

- Μονάδες εισόδων
- Μονάδες εξόδων
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)
- Μνήμες
- Μονάδα τροφοδοσίας
- Πλαίσια στήριξης-επέκτασης
- Βοηθητικές μονάδες
- Θύρες επικοινωνίας

Η δομή ενός PLC συνοψίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Πιο αναλυτικά η δομή ενός PLC αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Μονάδες εισόδων:** Αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδες με τον έξω κόσμο. Αυτές χωρίζονται σε ψηφιακές και αναλογικές. Οι ψηφιακές εισοδοι αναγνωρίζουν μόνο δύο τιμές (τιμή υψηλής και χαμηλής τάσης) οι οποίες προέρχονται από το τροφοδοτικό του PLC ή από άλλο εξωτερικό τροφοδοτικό. Οι αναλογικές εισοδοι αναγνωρίζουν μία μεταβλητή τιμή. Παράδειγμα είναι η μέτρηση στάθμης λαδιού σε μία δεξαμενή. Η μεταβαλλόμενη στάθμη του λαδιού μεταφράζεται από το αισθητήριο σε μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό σήμα και που διακυμαίνεται από (πχ 5 ως 20 mA) ή από ( 0 έως 10V) . Ο γενικός ρόλος των εισόδων του PLC είναι να διαβάσουν ένα ηλεκτρικό μέγεθος και να το μετατρέπουν σε έναν αριθμό ο οποίος είναι αναγνωρίσιμος από την CPU του PLC και μπορεί να τον επεξεργασθεί. Συνήθως στις εισόδους του PLC συνδέονται εξαρτήματα που αφορούν τους αυτοματισμούς όπως αισθητήρια (θερμοκρασίας , στάθμης κ.α) και μπουτόν (start,stop κ.α). Η τάση τροφοδοσίας ανάλογα με τον τύπο του PLC μπορεί να είναι 24V DC ή 110-220V AC.
- Μονάδες εξόδων:** Οι μονάδες εξόδων ενός PLC διακρίνονται και αυτές στις δύο κατηγορίες: των αναλογικών και ψηφιακών εξόδων. Οι ψηφιακές έξοδοι μπορούν να λαμβάνουν την κατάσταση ON και την κατάσταση OFF. Σε αυτές τις εξόδους συνδέονται τα φορτία. Η σύνδεση τους γίνεται απευθείας ή μέσω διατάξεων όπως ρελέ κ.α. Οι αναλογικές έξοδοι παρέχουν μια μεταβαλλόμενη τιμή όπως για παράδειγμα ένα ηλεκτρικό σήμα που να κυμαίνεται από (0 έως 10 V) και το οποίο οδηγεί σε ένα όργανο μέτρησης όπως μέτρηση δύναμης ,πίεσης, θερμοκρασίας ,στάθμης υγρών, ταχύτητας ή βάρους. Ο γενικός ρόλος των εξόδων είναι η μετατροπή των επεξεργασμένων σημάτων



της CPU του PLC ,σε κατάλληλες τάσεις ώστε αυτές να σταλούν προς την εγκατάσταση. Επίσης στις εξόδους συνδέονται ρελέ κινητήρων , ρελέ ελέγχου , λυχνίες , βαλβίδες κ.α. Η τροφοδοσία των εξόδων είναι ανάλογη της τροφοδοσίας των εισόδων , με αυτή να είναι 24 V DC , 110 έως 220 V AC. Το κάθε PLC περιλαμβάνει έναν μέγιστο αριθμό εισόδων και εξόδων , τις οποίες ορίζει η κατασκευαστική εταιρία του.

- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU) : Πρόκειται για τον εγκέφαλο του PLC. Στην CPU εκτελείται το λειτουργικό πρόγραμμα του χρήστη και το πρόγραμμα του PLC. Η CPU πραγματοποιεί πολλαπλές και ταυτόχρονες λειτουργίες όπως απαρίθμηση , χρονομέτρηση, σύγκριση δεδομένων, μαθηματικούς υπολογισμούς και άλλες λειτουργίες. Ουσιαστικά η CPU καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργούν τα εξαρτήματα τα οποία υπάρχουν μέσα στην εγκατάσταση , τον τρόπο λειτουργίας τους και οδηγεί το σύστημα έτσι ώστε να παράγει ακριβώς το αποτέλεσμα που χρειαζόμαστε.

- Μνήμες του PLC : Οι μνήμες ενός PLC χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1)Μνήμη συστήματος(ROM/PROM): Σε αυτή την μνήμη ,η κατασκευαστική εταιρία του PLC αποθηκεύει το λειτουργικό σύστημα του PLC δηλαδή όλες τις οδηγίες προκειμένου να δουλέψουν σωστά όλες οι βασικές λειτουργίες του PLC.

2)Μνήμη προγράμματος(RAM): Αυτή η μνήμη χρησιμοποιείται για εκτελεσθούν όλα τα προσωρινά προγράμματα καθώς και να διαβασθούν τα προσωρινά δεδομένα του PLC. Το πρόγραμμα το οποίο έχει αναπτυχθεί στην μνήμη RAM , όταν διακοπεί η τροφοδοσία δεν χάνεται , λόγω μια ειδικής μπαταρίας λιθίου διάρκειας ενός χρόνου ή ενός πυκνωτή ,τα οποία μπορούν να συντηρήσουν την λειτουργία του PLC και συνεπώς να συντηρήσουν τα δεδομένα του για κάποιο χρονικό διάστημα.

3)Μνήμη EEPROM: Αυτή η μνήμη χρησιμοποιείται για να αποθηκευτεί το πρόγραμμα , εφόσον πάρει την τελική μορφή του , απελευθερώνοντας χώρο από την μνήμη RAM.

- Μονάδες τροφοδοσίας: Η μονάδα τροφοδοσίας έχεις ως σκοπό να παρέχει την απαραίτητη τάση μέσα στα κυκλώματα του PLC , έτσι ώστε αυτό και τα ηλεκτρονικά του στοιχεία ( τρανζίστορ , ολοκληρωμένα κυκλώματα) να λειτουργήσουν σωστά. Για την σωστή τροφοδοσία ενός PLC συμβουλευόμαστε τα τεχνικά φυλλάδια της εταιρίας.

- Πλαίσια στήριξης-επέκτασης: Τα πλαίσια στήριξης – επέκτασης είναι ειδικές βάσεις , πάνω στις οποίες τοποθετούνται οι βαθμίδες για την δημιουργία ενός PLC. Στην βάση αυτή είναι ενσωματωμένο ένα σύστημα αγωγών μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες μονάδες με την CPU. Αν οι υπάρχουσες θέσεις του κεντρικού πλαισίου δεν επαρκούν για να τοποθετηθούν οι μονάδες εισόδων/εξόδων που είναι αναγκαίες για μια συγκεκριμένη εφαρμογή , τότε χρησιμοποιούνται περισσότερα πλαίσια επέκτασης για την τοποθέτηση πρόσθετων μονάδων συνδεδεμένα μέσω μιας ειδικής μονάδας διασύνδεσης ή καλωδίων. Επισημαίνεται ότι κάθε εταιρία για το μοντέλο της , παρέχει ειδικό σύστημα πλαισίου του PLC της.
- Βοηθητικές μονάδες: Οι βοηθητικές μονάδες δεν είναι απαραίτητες για να λειτουργήσει ένα PLC , όμως με την χρήση τους επιτυγχάνουμε έναν καλύτερο γενικό έλεγχο αυτοματισμού. Αυτές είναι:
  - 1)Μονάδα Προσομοίωσης
  - 2)Modem
  - 3)Οθόνες (Monitors)
  - 4)Εκτυπωτές
- Θύρα επικοινωνίας: Είναι χρήσιμη για την ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ χρήστη και συσκευής και μπορεί να γίνει σειριακά ή παράλληλα.

## 3.2 Λειτουργία ενός PLC και προγραμματισμός του

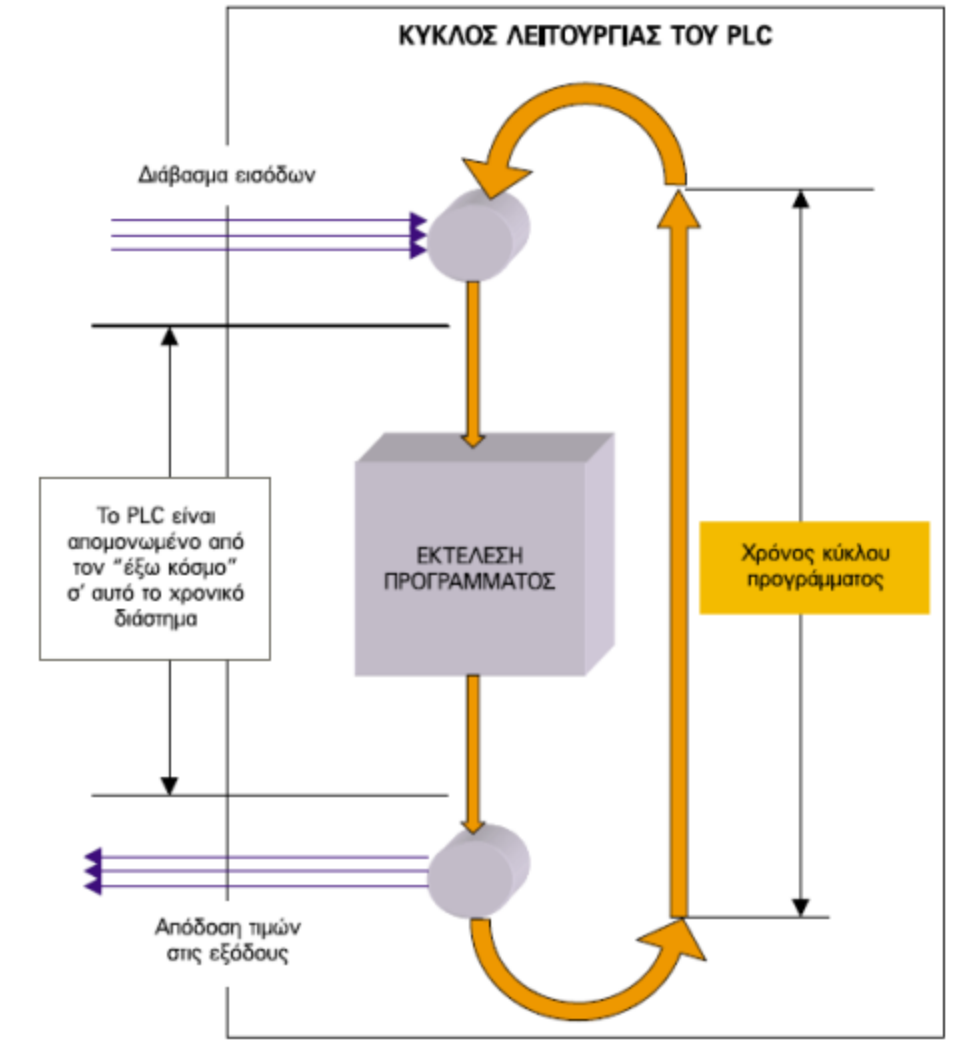
### 3.2.1 Κύκλος λειτουργίας ενός PLC

Ένα PLC όταν λειτουργεί , ακολουθάει μια σειρά διαδικασιών με σκοπό να ολοκληρώσει έναν κύκλο λειτουργίας του. Όταν το PLC βρίσκεται σε λειτουργία (RUN) η CPU διαβάζει τις εισόδους του PLC ( για κάθε είσοδο ελέγχει αν αυτή βρίσκεται σε κατάσταση υψηλής(λογικό 1) ή χαμηλής τάσης(λογικό 0). Κάθε τιμή από κάθε είσοδο αποθηκεύεται σε μια ειδική περιοχή της μνήμης που ονομάζεται εικόνα εισόδων.

Στην συνέχεια η CPU χρησιμοποιεί τα δεδομένα που πήρα από τις εισόδους (τιμές εισόδων 0,1) και εκτελεί τις εντολές του προγράμματος(το πρόγραμμα αποτελείται από μία σειρά λογικών πράξεων).Αφού εκτελεσθεί το πρόγραμμα , δίνονται τα αποτελέσματα στις εξόδους του PLC.Αυτά αποθηκεύονται στην ειδική περιοχή της μνήμης που ονομάζεται εικόνα εξόδων.

Τέλος η CPU παρέχει τις τιμές της εικόνας εξόδων στις εξόδους του PLC (υψηλή τάση για όποια έξοδο έχει 1 και χαμηλή τάση 0 για όποια έξοδο έχει 0).Αυτά τα βήματα αποτελούν

έναν κύκλο λειτουργίας ενός PLC ,για όσο χρονικό διάστημα αυτό βρίσκεται σε κατάσταση RUN.Όταν τελειώσει ένας κύκλος λειτουργίας του PLC , εάν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση RUN ξαναεκτελεί τα βήματα αυτά με την ίδια ακριβώς σειρά. Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά ένας ολόκληρος κύκλος λειτουργίας ενός PLC.

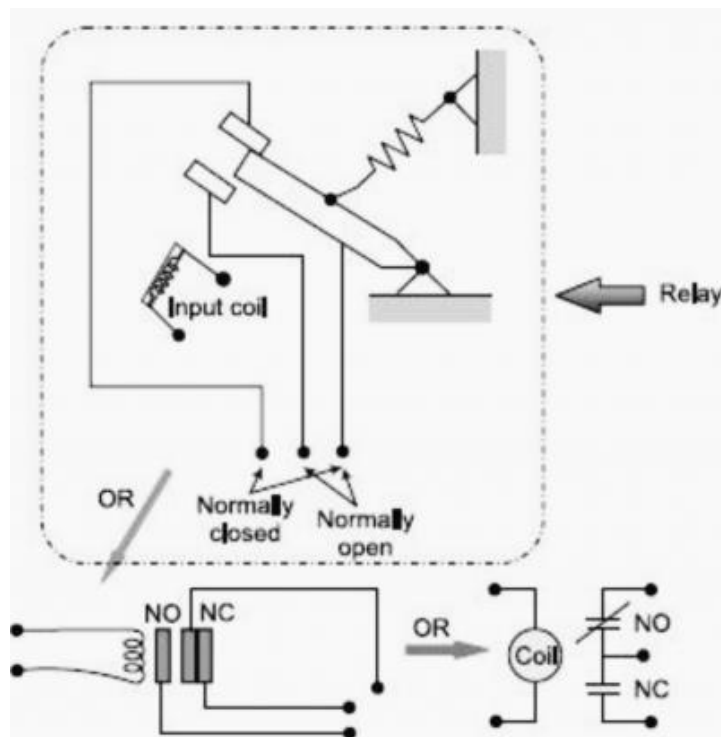


### 3.2.2 Προγραμματισμός ενός PLC

Ένα PLC για να λειτουργήσει και να ελέγχει τις διεργασίες που θέλουμε , χρειάζεται να προγραμματιστεί στην αντίστοιχη γλώσσα προγραμματισμού που αυτό υποστηρίζει. Οι πιο διαδεδομένες είναι η γλώσσα LADDER και η γλώσσα STL ( Statement List ) με τις οποίες ο προγραμματιστής του PLC ή το τεχνικός μπορεί να δημιουργήσει αλγόριθμους με σκοπό να φτιάξει το αναγκαίο πρόγραμμα ώστε να λειτουργεί και να ελέγχεται μια βιομηχανική διεργασία ή μια γραμμή παραγωγής.

- **Η γλώσσα LADDER:**

Η γλώσσα LADDER αποτελείται από ηλεκτρολογικά σχήματα και συνδέσεις μεταξύ αυτών , δημιουργώντας έτσι ηλεκτρολογικά διαγράμματα στα οποία μπορούμε να δώσουμε τιμές και να ελέγχουμε τον τρόπο με τον οποίο αυτά λειτουργούν καθώς και την κατάσταση στην οποία αυτά θα βρίσκονται (Normally Open ,Normally Closed). Για παράδειγμα ένα απλό διάγραμμα LADDER, μπορούμε να θεωρήσουμε ένα απλό κύκλωμα ρελέ το οποίο αποτελείται από ένα πηνίο και επαφές όπως στο παρακάτω σχήμα :

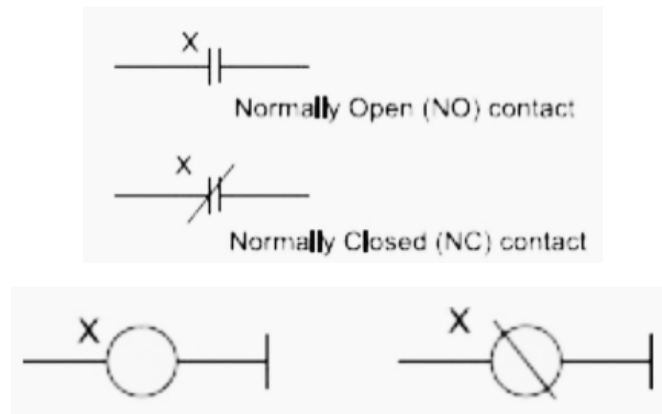


Το σχήμα αυτό απεικονίζει ένα κύκλωμα με επαφές NO και NC:

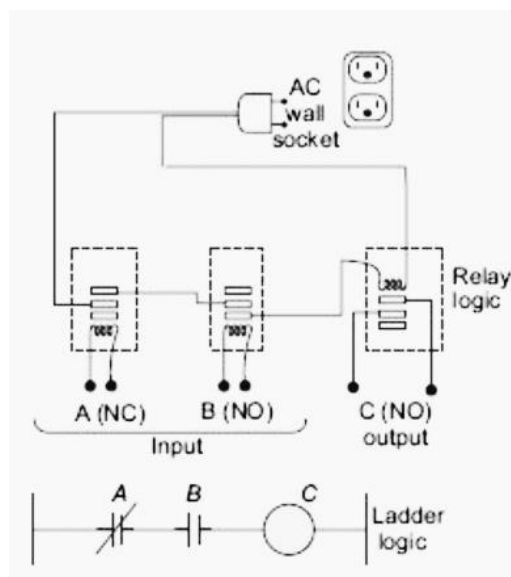
Όταν εφαρμόζεται τάση στο πηνίου εισόδου , το ρεύμα που δημιουργείται , δημιουργεί με την σειρά του μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο τραβάει προς το μέρος του έναν μεταλλικό διακόπτη , οι επαφές αγγίζουν μεταξύ τους , κλείνοντας τον διακόπτη. Η επαφή που κλείνει όταν ενεργοποιείται το πηνίο ονομάζεται normally open (NO). Αντιθέτως η επαφή που αγγίζουν μεταξύ τους όταν το πηνίο δεν είναι ενεργοποιημένο ονομάζονται normally closed

(NC). Με αυτό τον τρόπο , όταν το πηνίο του κυκλώματος ενεργοποιηθεί οι επαφές αλλάζουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ρελέ τους καθώς η μία επαφή κλείνει (NO) και η άλλη ανοίγει (NC).

Το ίδιο κύκλωμα μπορεί να αναπαρασταθεί σχηματικά στην γλώσσα LADDER. Τα ρελέ στην γλώσσα LADDER απεικονίζονται σε σχηματική μορφή. Οι επαφές εισόδου απεικονίζονται με δύο παράλληλες γραμμές. Οι επαφές normally open απεικονίζονται ως δύο γραμμές οι οποίες θα είναι ανοιχτές (μη αγώγιμες) όταν η είσοδος δεν είναι ενεργοποιημένη, ενώ οι επαφές normally closed απεικονίζονται με δύο γραμμές οι οποίες ενώνονται με μια διαγώνια γραμμή. Οι επαφές εξόδου απεικονίζονται ως ένας κύκλος ο οποίος συνδέεται με τις επαφές NO και NC.

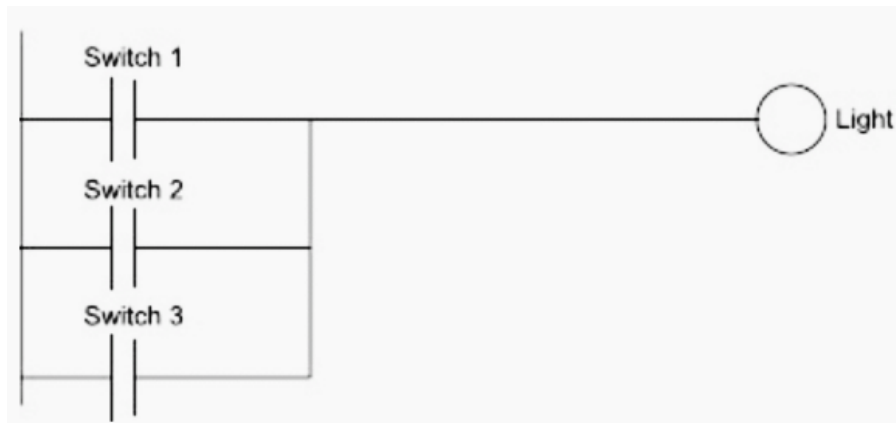


Εάν απαιτείται να λειτουργήσει η επαφή NO του ρελέ , συνδεδεμένη με μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC Source) μέσω δύο επαφών με ρελέ εισόδου A(NC) , B (NO) , τότε στην γλώσσα LADDER σχηματίζεται το ακόλουθο ηλεκτρολογικό διάγραμμα:



Ένα άλλο παράδειγμα της γλώσσας LADDER , είναι το ακόλουθο:

Σε μία εφαρμογή χρειαζόμαστε να έναν ελεγκτή με βάση την λειτουργία των ρελέ , που θα επιτρέπει τον έλεγχο του φωτός μέσα σε ένα δωμάτιο , μέσω τριών διακοπών. Η επίλυση του προβλήματος αυτού μέσω PLC , προγραμματισμένο σε γλώσσα LADDER απεικονίζεται ως εξής:



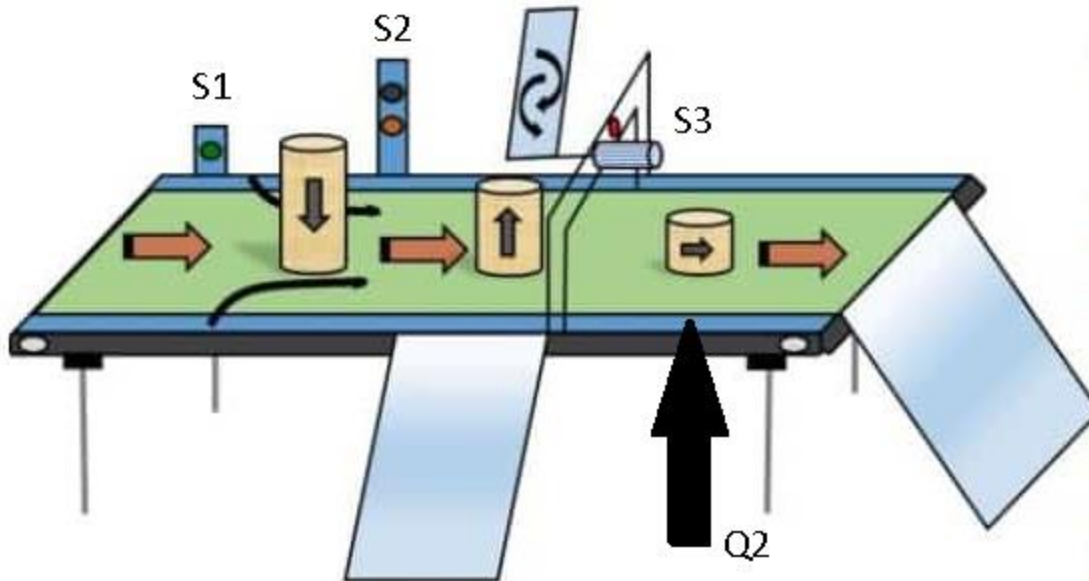
Στο σχηματικό διάγραμμα αυτό , οποιοσδήποτε από τους τρεις διακόπτες είναι ικανός να ανάψει την πηγή φωτός , ωστόσο θα πρέπει και οι τρεις διακόπτες να είναι απενεργοποιημένοι δηλαδή κλειστοί για να κλείσει πάλι η πηγή φωτός.

Βλέπουμε ότι με την γλώσσα LADDER , με εύκολο και γρήγορο τρόπο μπορούμε ενώνοντας διαφορετικά ηλεκτρολογικά στοιχεία μεταξύ τους και δίνοντας τους τις κατάλληλες τιμές να δημιουργήσουμε ένα κύκλωμα ελέγχου το αυτοματισμού το οποίο θα ελέγχει μια ολόκληρη βιομηχανική εγκατάσταση. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο η προγραμματιστική γλώσσα αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται κατά κόρον , καθώς μπορούμε να φτιάξουμε προγραμματιστικούς αλγόριθμους σχηματικά απλά ενώνοντας τα μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα.

- **Η γλώσσα STL ή Statement List:**

Η γλώσσα STL είναι η δεύτερη πιο διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού για τον προγραμματισμό και την λειτουργία ενός PLC , που λειτουργεί με βάση μια λίστα εντολών (κώδικα) παρόμοιων με την γλώσσα προγραμματισμού ενός μικροεπεξεργαστή , στις οποίες δίνουμε λογικές τιμές σε διάφορα αντικείμενα όπως στις εισόδους και στις εξόδους του PLC , σε διάφορα αισθητήρια , σε κινητήρες , διακόπτες,LED,αυτόματες πόρτες κ.α. Η γλώσσα STL αποτελεί την πιο ευέλικτη μορφή προγραμματισμού για την δημιουργία λογαρίθμων και προγραμμάτων των PLC, ωστόσο απαιτεί έναν έμπειρο προγραμματιστή ή τεχνικό για να προγραμματίσει το PLC σε αυτή την γλώσσα, καθώς είναι πολύ πιο δύσκολη σε σχέση με τις άλλες γλώσσες προγραμματισμού των PLC (LADDER,FBD,LOGO).

Για παράδειγμα , σε μία βιομηχανική εγκατάσταση στην οποία υπάρχει γραμμή παραγωγής η οποία αποτελείται από έναν ταινιόδρομο ο οποίος μεταφέρει πράγματα , πρέπει να προγραμματίσουμε ένα PLC ώστε η αυτόματη βιομηχανική εγκατάσταση του ταινιόδρομου να κάνει τα εξής:



1) Με το πάτημα του START button να υπάρχει έναρξη λειτουργίας της αυτόματης εγκατάστασης , ενώ με το πάτημα του STOP button σταμάτημα της λειτουργίας της αυτόματης εγκατάστασης.

2) Κατά την διάρκεια λειτουργίας της αυτόματης εγκατάστασης θα πρέπει να εκτελούνται τα παρακάτω:

- i) Αν έχουμε σήμα από το αισθητήριο S1 η ταινία Q2 να ξεκινά μετά από 4 sec.
- ii) Αν έχουμε σήμα από το αισθητήριο S2 η ταινία να σταματά για 3 sec και μετά να ξεκινάει.
- iii) Αν έχουμε σήμα από το αισθητήριο S3 η ταινία να σταματάει μετά από 1 sec.
- iv) Αν η ταινία βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία και πατηθεί το STOP button τότε η ταινία να σταματάει οριστικά (εφόσον βρίσκεται σε λειτουργία).

Η λύση του προβλήματος μέσω ενός PLC , προγραμματισμένο σε γλώσσα STL δίνεται ως εξής:

- Βήμα 1<sup>ο</sup>:

Φτιάχνουμε έναν πίνακα ο οποίος θα αντιπροσωπεύει όλα τα στοιχεία τα οποία υπάρχουν στην αυτοματοποιημένη βιομηχανική εγκατάσταση καθώς και το τι στοιχεία είναι αυτά και με τι ονομασία θα αναφέρονται μέσα στο πρόγραμμα της γλώσσας STL του PLC.

I/O	Στοιχείο	Περιγραφή Συνθήκη	Συμβολικό όνομα	Διεύθυνση PLC
Input (N.O)	Πλήκτρο 'start'	Ξεκινάει η αυτόματη εγκατάσταση όταν πιέζεται το πλήκτρο	START	I 124.2
Input(N.O)	Πλήκτρο 'stop'	Σταματάει η αυτόματη εγκατάσταση όταν πιέζεται το πλήκτρο	STOP	I 124.3
Output	<u>Ταινιόδρομος</u>	Όταν έχω start ξεκινάει/όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S1 ξεκινάει μετά από 4 sec/όταν έχω S2 ξαναξεκινάει μετά από 3 sec/όταν έχω S3 σταματάει μετά από 1 sec	MOTOR	Q 124.0
Input	Αισθητήριο S1	Όταν έχω κιβώτιο από το αισθητήριο S1 ,ανάβει το led	SENSOR 1	I 136.1
Input	Αισθητήριο S2	Όταν περνάει κιβώτιο από το αισθητήριο S2,ανάβει το led	SENSOR 2	I 136.2
Input	Αισθητήριο S3	Όταν περνάει κιβώτιο από το αισθητήριο S3,ανάβει το led	SENSOR 3	I 136.3



- Βήμα 2<sup>ο</sup> :

Φτιάχνουμε έναν πίνακα ο οποίος θα περιγράφει βήμα – βήμα τί γίνεται μέσα στην βιομηχανική εγκατάσταση , σε ποιο στάδιο βρίσκεται και τι εκτελείται κάθε φορά όταν ενεργοποιείται ένα στοιχείο της εγκατάστασης του ταινιόδρομου καθώς και τις διευθύνσεις με τις οποίες ασχολείται το πρόγραμμα μας (Μετρητές(Counters),Χρονιστές(Timers),μνήμες του PLC(Memories)):

Περιγραφή-Συνθήκη	Συμβολικό όνομα	Διεύθυνση PLC
Αναμονή 4 sec πριν την εκκίνηση του ταινιόδρομου	DELAY	T4
Σταμάτημα του ταινιόδρομου για 3 sec και στην συνέχεια εκκίνηση του	DELAY	T5
Αναμονή 1 sec και στην συνέχεια σταμάτημα του ταινιόδρομου	DELAY	T6
Όταν έχω Start , αποθηκεύει την ένδειξη της αυτόματης λειτουργίας ως λογικό 1	MEMORY	M0.0
Όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S1 ,γίνεται λογικό 1 ώστε να γνωρίζει το πρόγραμμα οτι περάσει κιβώτιο και στην συνέχεια χρησιμοποιείται ως μεταβλητή ελέγχου στο πρόγραμμα	MEMORY	M0.1
Όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S2 ,γίνεται λογικό 1 ώστε να γνωρίζει το πρόγραμμα οτι περάσει κιβώτιο και στην συνέχεια χρησιμοποιείται ως μεταβλητή ελέγχου στο πρόγραμμα	MEMORY	M0.2

Όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S3 ,γίνεται λογικό 1 ώστε να γνωρίζει το πρόγραμμα οτι περάσει κιβώτιο και στην συνέχεια χρησιμοποιείται ως μεταβλητή ελέγχου στο πρόγραμμα	MEMORY	M0.3
--	--------	------

- Βήμα 3<sup>ο</sup>:

Γράφουμε το πρόγραμμα σε γλώσσα STL και επεξηγούμε τι κάνει κάθε εντολή:

**Πρόγραμμα:**

```

A   I   124.2 //Όταν έχουμε Button Start (I 124.2),τότε ξεκινάει η λειτουργία της
S   M   0.0   //αυτόματης εγκατάστατης και κάνουμε λογικό 1 την Memory 0.0 ως ένδειξη
           //ενεργοποίησης της αυτόματης λειτουργίας.
A   I   136.1 //Όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S1 (I 136.1=Sensor 1) του ταινιόδρομου ,
A   M   0.0   //τότε ,εάν έχω λογικό 1 στην Memory 0.0 , φορτώνω χρονιστή κατηγορίας SS
L   S5T#4S   //T4 (μετά από χρόνο t , με αυτοσυγκράτηση) ,ο οποίος δίνει αναμονή στον
SS  T   4     //ταινιόδρομο να ξεκινάει μετά από 4 sec.
A   T   4     //Ελέγχω εάν έχω χρονιστή T4 ,και εφόσον έχω , ενεργοποιώ τον
S   Q   124.0 //ταινιόδρομο (Q124.0=Κινητήρας-Ταινιόδρομος) και επίσης κάνω λογικό 1
S   M   0.1   //την Memory 0.1(Memory ένδειξης Sensor 1).

A   I   136.2 //Όταν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S2 ((I 136.2 = Sensor 2)του ταινιόδρομου
A   M   0.0   // τότε ,εάν έχω λογικό 1 στην Memory 0.0
R   Q   124.0 //σβήνω τον ταινιόδρομο (Q124.0), φορτώνω χρονιστή T5 κατηγορίας SS
L   S5T#3S   //ο οποίος καθυστερεί τον ταινιόδρομο για 3 sec.
SS  T   5
A   T   5     //Στην συνέχεια ελέγχω εάν έχω χρονιστή T5 και εάν έχω ,τότε ξαναξεκινάω
S   Q   124.0 //τον ταινιόδρομο και κάνω λογικό 1 το Memory 0.2
S   M   0.2   //(Memory ένδειξης =Sensor 2).

```

```

A    I    136.3 //Εάν έχω ένδειξη του αισθητηρίου S3 (I 136.3 = Sensor 3) του ταινιόδρομου,
A    M    0.0 //Τότε εάω έχω λογικό 1 στην Memory 0.0
L    S5T#1S //Φορτώνω χρονιστή T6 κατηγορίας SS ο οποίος μετρά 1 sec
SS   T6
A    T6 //Ελέγχο εάν έχω χρονιστή T6 (που έχει μετρήσει για 1 second) και στην συνέχεια
R    Q 124.0 //σβήνω τον ταινιόδρομο (Q=124.0)
S    M    0.3 //Και κάνω λογικό 1 την Memory M0.3 (Memory ένδειξης =Sensor 3).

A    M    0.0 //Ελέγγω εάν έχω λογικό 1 στις Memories 0.0, 0.1 , 0.2 , 0.3 και τότε κάνω Reset
A    M    0.1 //τους χρονιστές T4,T5,T6 και τις Memories 0.1 , 0.2 , 0.3
A    M    0.2 //ώστε να εκτελείται ομαλά το πρόγραμμα .
A    M    0.3
R    T4
R    T5
R    T6
R    M    0.1
R    M    0.2
R    M    0.3

A    I    124.3 //Εαν έχω Button Stop ( I 124.3 = BUTTON STOP) ,τότε εάν έχω
A    M    0.0 //Memory 0.0 = 1 και ενεργοποιημένο τον ταινιόδρομο (Q124.0)
A    Q    124.0
R    Q    124.0 //Τότε κάνω Reset τον ταινιόδρομο , όλα τα Memories και όλους τους
R    M    0.0 //χρονιστές και το πρόγραμμα τελειώνει.
R    M    0.1
R    M    0.2
R    M    0.3
R    T4
R    T5
R    T6

```

- Βήμα 4<sup>ο</sup> :

Επεξηγούμε περιληπτικά την λειτουργία του προγράμματος και το πώς αυτό επιδρά στην βιομηχανική εγκατάσταση του ταινιόδρομου :

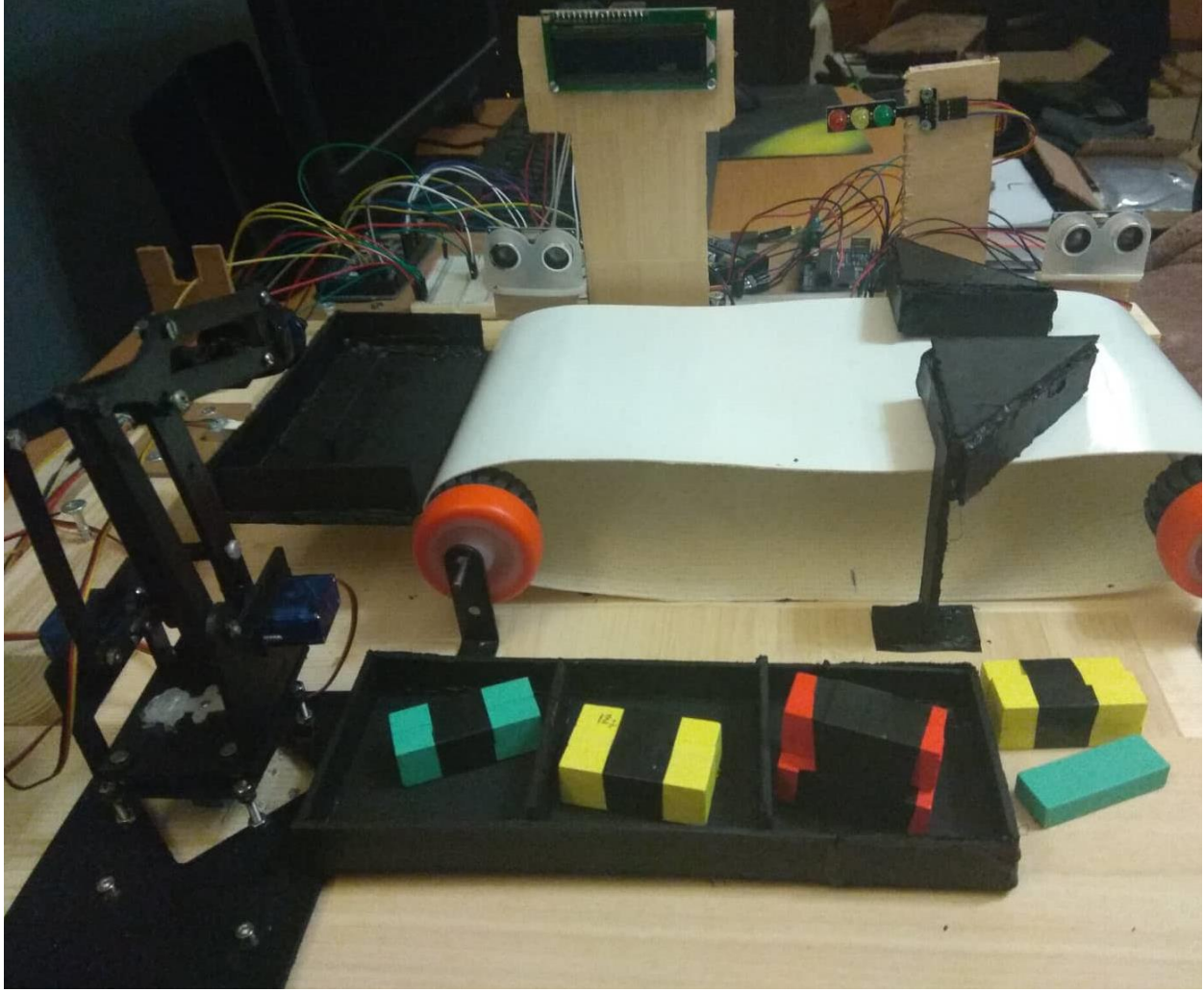
**Επεξήγηση Προγράμματος:**

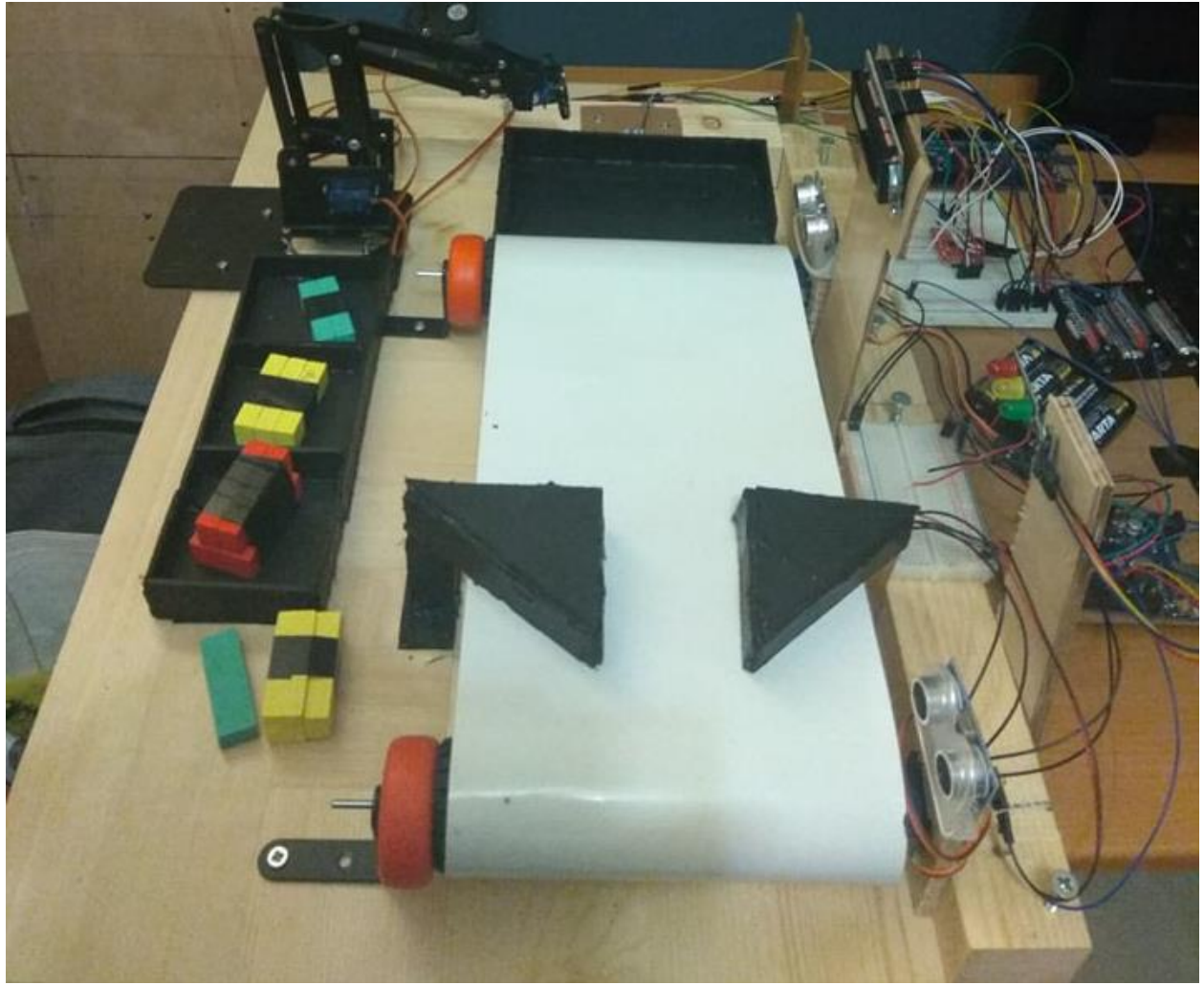
- Πατώντας το κουμπί Start (I 124.2), ο ταινιόδρομος(Q124.0) ξεκινάει (τον κινητήρα του) και παράλληλα την αυτόματη λειτουργία (Memory 0.0) ενώ είναι σε αναμονή για τυχόν ενδείξεις από τα αισθητήρια του(S1 =136.1 , S2 = 136.2 , S3 = 136.3).
- Με το που το αισθητήριο S1 λαμβάνει σήμα(τοποθέτηση κιβώτιου) , τότε ο ταινιόδρομος ξεκινά μετά από 4 second(χρονιστής T4) και κάνει ( λογικό) 1 την Memory 0.1(η οποία κρατήται ως ένδειξη ότι έχει περάσει κιβώτιο από το αισθητήριο S1) ενώ κινεί το κιβώτιο μέχρι το αισθητήριο S2.
- Έκει , όταν το αισθητήριο S2 έχει ένδειξη , τότε ο ταινιόδρομος σταματάει για 3 second (χρονιστής T5) και ξαναξεκινάει στέλνοντας το κιβώτιο προς το αισθητήριο S3 ,ενώ κάνει ( λογικό) 1 την Memory 0.2(η οποία κρατήται ως ένδειξη ότι έχει περάσει κιβώτιο από το αισθητήριο S2).
- Την στιγμή που το κιβώτιο φθάσει στο αισθητήριο S3 ,τότε ο ταινιόδρομος σταματάει τελείως μετά από 1 second (χρονιστής T6) για να μην πέσει το κιβώτιο ,κάνει ( λογικό) 1 την Memory 0.3(η οποία κρατήται ως ένδειξη ότι έχει περάσει κιβώτιο από το αισθητήριο S3) ενώ το κιβώτιο παραμένει στο τέλος του ταινιόδρομου για τυχόν παραλαβή.Σε αυτό το στάδιο το πρόγραμμα κάνει έλεγχο εάν το κιβώτιο έχει περάσει από τα αισθητήρια και σε περίπτωση που έχει περάσει και από τα 3 τότε κάνει reset τα πάντα (ουσιαστικά μηδενίζει τα Memories 0.1 , 0.2 , 0.3 και τους χρονιστές T4 , T5 , T6 , εκτός της Memory 0.0 (που είναι η ένδειξη αναμονής για την αυτόματη λειτουργία) για να ξαναξεκινήσει ο ταινιόδρομος από την αρχή).
- Σε οποιαδήποτε στιγμή ο χρήστης επιθυμεί την απόλυτη διακοπή της αυτόματης διαδικασίας και του ταινιόδρομου τότε ,δεν έχει παρά να πατήσει του BUTTON STOP ( ένδειξη 124.3) και το πρόγραμμα σταματάει ενώ κάνει τα πάντα reset(και την Memory 0.0).

\*Παρατηρούμε ότι η γλώσσα STL χρειάζεται αρκετά καλή γνώση καθώς είναι πολύπλοκη προγραμματιστικά σε σχέση με τις άλλες γλώσσες , καθώς οποιοδήποτε λάθος συντακτικό ή λάθος εντολής , μπορεί να οδηγήσει σε λάθος λειτουργία των διαδικασιών που γίνονται μέσω PLC , λάθος αποτέλεσμα των διαδικασιών της βιομηχανικής εγκατάστασης ή να την μη λειτουργία της εγκατάστασης αυτής.\*

## Κατασκευαστικό Μέρος:

### Κεφάλαιο 4: Πειραματική Αυτοματοποιημένη Εγκατάσταση μεταφοράς και αποθήκευσης προϊόντων





## 4.1 Δημιουργία μίας αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης

Τα PLC λειτουργούν με βάση την CPU που έχουν , η οποία κρύβει μέσα της έναν μικροεπεξεργαστή – μικροελεγκτή. Αυτός ο μικροϋπολογιστής είναι υπεύθυνος για όλες τις λειτουργίες που γίνονται μέσα στην βιομηχανική εγκατάσταση , από το διάβασμα και την εκτέλεση ενός προγράμματος , μέχρι τις λειτουργίες της γραμμής παραγωγής.

Εκμεταλλεόμενοι αυτό ακριβώς το στοιχείο διάφοροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν πειραματικές ηλεκτρονικές πλακέτες με μικροελεγκτή , για να πειραματιστούν στα προϊόντα τα οποία θέλουν μελλοντικά να κατασκευάσουν.

Οι ηλεκτρονικές πλακέτες Arduino και Raspberry (οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες) λόγω:

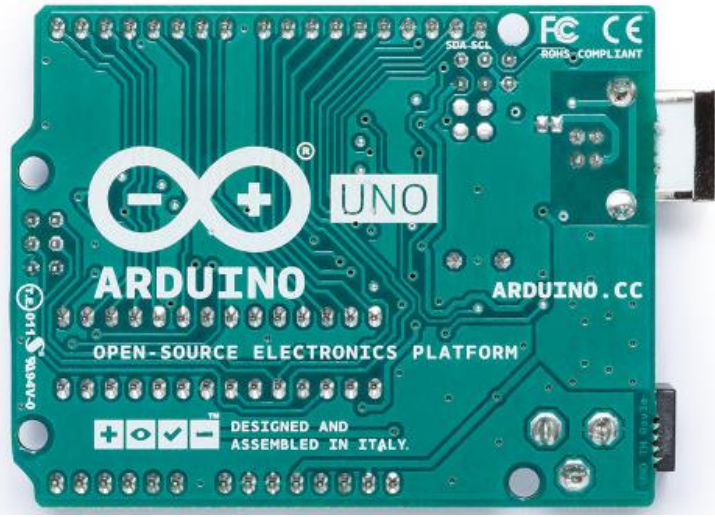
- Κόστους
- Ευκολίας στην μάθηση
- Ευελιξίας (καθώς συνδέονται με οποιοδήποτε αισθητήριο, κινητήρα κ.α)

με πρώτη το Arduino (προγραμματιζόμενο σε Arduino C/Arduino C++) και μεταγενέστερα και με πιο πολλές δυνατότητες το Raspberry (προγραμματιζόμενο με κανονικές γλώσσες προγραμματισμού όπως η Python), χρησιμοποιούνται για την δημιουργία και κατασκευή πειραματικών – δοκιμαστικών διατάξεων με σκοπό την δημιουργία μίας γραμμής παραγωγής ή ενός προϊόντος που εκτελεί κάποιες εντολές, το οποίο πρέπει να δοκιμαστεί σε αρχικό στάδιο , πριν αυτό περάσει τα τεστ και εισέλθει στην παραγωγή για κανονική κατασκευή του. Έτσι επιτυγχάνεται έλεγχος και μελετώνται οι ικανότητες και οι αντοχές ενός μοντέλου , καθώς και κατά πόσο το μοντέλο αυτό είναι πρακτικό σε κόστος και σε θέματα ζήτησης , πριν αυτό βγει για κατασκευή.

### 4.1.1 Εισαγωγή στο Arduino

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλακέτα που εμπεριέχει έναν μικροεπεξεργαστή- μικροελεγκτή , της Atmel που αποτελείται από ψηφιακά και αναλογικά pins τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για είσοδο και έξοδο και μία πειραματική διάταξη , καθώς και είσοδο για τροφοδοσία της πλακέτας , τόσο μέσω θύρας USB , όσο και μέσω τροφοδοτικού έως 12 V DC.

Πιο συγκεκριμένα το Arduino Uno:





Το Arduino Uno(Rev3) είναι μια πλακέτα με μικροελεγκτή που βασίζεται στο ATmega328P.

Διαθέτει:

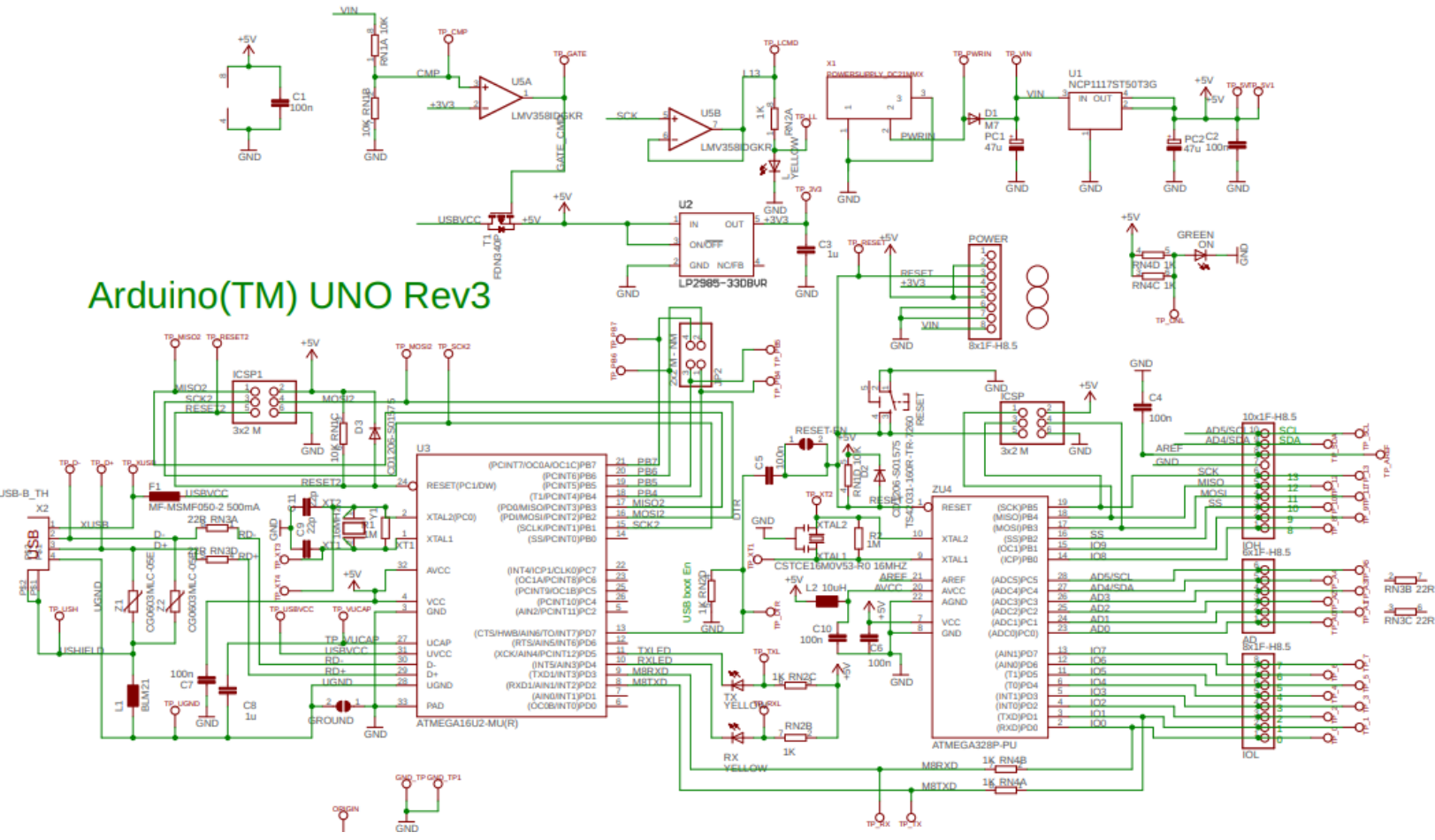
- 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου (από τις οποίες 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδο PWM)
- 6 αναλογικές εισόδους, κρυστάλλων quartz 16 MHz
- σύνδεση USB
- υποδοχή τροφοδοσίας
- κεφαλίδα ICSP και κουμπί επαναφοράς.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά(Tech Specs):

Microcontroller	<a href="#">ATmega328P</a>
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

# Σχηματικό Διάγραμμα(Schematics):

## Arduino(TM) UNO Rev3



To Arduino Mega 2560:





Το Arduino Mega 2560(Rev 3) είναι μια πλακέτα με μικροελεγκτή που βασίζεται στο ATmega2560.

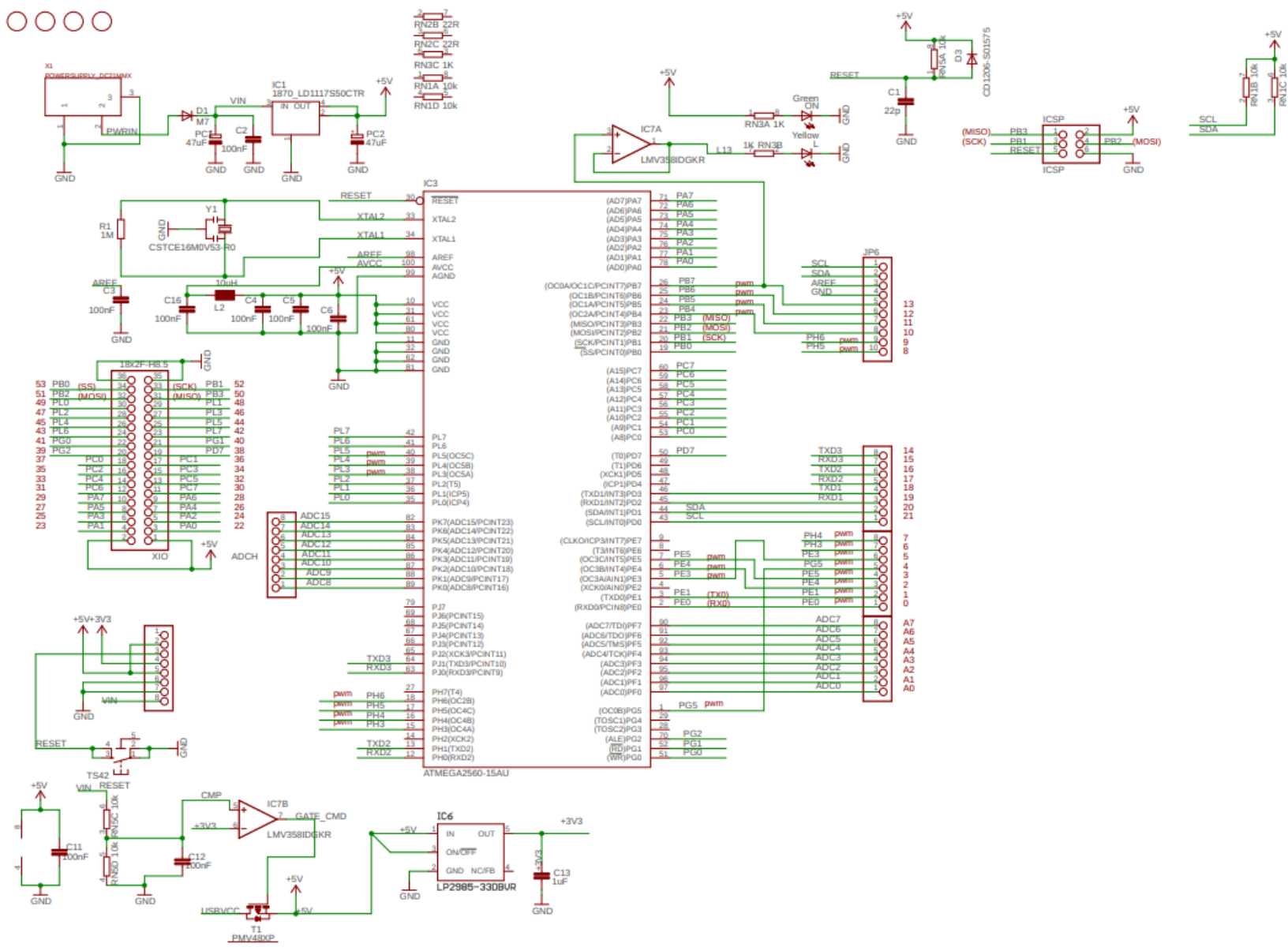
Διαθέτει:

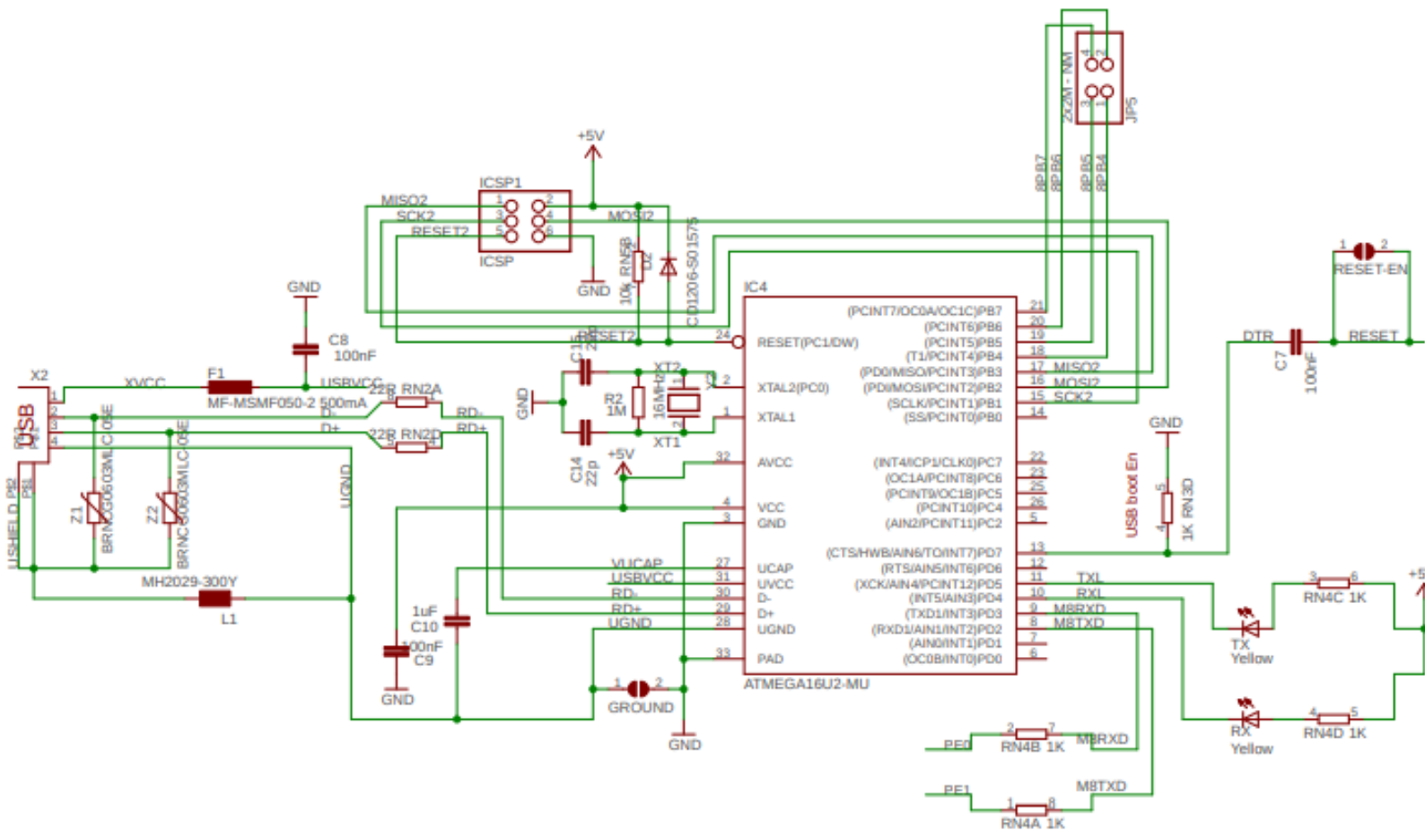
- 54 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου (από τις οποίες 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδο PWM)
- 16 αναλογικές εισόδους
- 4 UART (σειριακές θύρες υλικού)
- ταλαντωτή κρυστάλλου 16 MHz
- σύνδεση USB
- υποδοχή τροφοδοσίας
- κουμπί επαναφοράς

Τεχνικά Χαρακτηριστικά(Tech Specs):

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Σχηματικό Διάγραμμα(Schematics):





## 4.2 Χαρακτηριστικά αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης

Με την χρήση των δύο αυτών πλακετών και τους μικροεπεξεργαστές τους καθώς και με κατάλληλη ένωση μεταξύ διάφορων αισθητηρίων και των πλακετών Arduino (μεσω δοκιμαστικών καλωδίων (jumper wires) και δοκιμαστικών πλακετών (breadboard) δημιουργήθηκε η αυτοματοποιημένη πειραματική διάταξη μεταφοράς και αποθήκευσης προϊόντων.

Σκοπός της δημιουργίας αυτής της εγκατάστασης είναι να λειτουργεί ως ένα ενότητα-σύνολο , αυτόματα , χωρίς την παρουσία ανθρώπων και απώτερος σκοπός της είναι η μεταφορά οποιουδήποτε φορτίου μέσα σε ένα εργοστάσιο ή βιομηχανία μέσω ενός ταινιόδρομου, η ζύγιση αυτών των προϊόντων και η τελική αποθήκευση τους με την βοήθεια ρομποτικού βραχίονα , ανάλογα με το βάρος τους (για σωστή τοποθέτηση) στις αποθήκες , ώστε τα προϊόντα να είναι ταξινομημένα, για μελλοντική χρήση τους . Πιο συγκεκριμένα η εργασία αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

- Κυρίως Μέρη (main constructed parts):

1) **Ταινιόδρομος:** Ο ταινιόδρομος κατασκευάστηκε με μία αντιολισθητική ταινία , 2 άξονες αλουμινίου και 2 σέρβο-κινητήρες. Σκοπός του είναι να μεταφέρει τα φορτία , αυτόματα , μέχρι το στάδιο ζύγισης τους , και μπορεί να λειτουργήσει αργά ή γρήγορα ανάλογα με τις ανάγκες τις βιομηχανίας ( συχνότητα τοποθέτησης προϊόντων για αποθήκευση)

2) **Ζυγαριά:** Κατασκευάστηκε από χαρτόνι και συνδέθηκε με αισθητήριο βάρους μέσω βιδών και σιλικόνης, της τάξης των 0.5 kg. Λειτουργία της είναι η ακριβής ζύγιση των φορτίων με ακρίβεια χιλιοστού και βάρος από 0 έως 500 g (maximum load) , για τον σωστό διαχωρισμό και αποθήκευση των προϊόντων με βάση το βάρος τους (ελαφριά προϊόντα – μεσαίου βάρους – βαρέα προϊόντα . Η ζυγαριά ωστόσο , με αλλαγή του αισθητηρίου βάρους και τοποθέτηση άλλου αναγκαίου αισθητηρίου μπορεί να μετρήσει μέχρι και 200 kg ή παραπάνω (ανάλογα με την εφαρμογή και κατάλληλη επιλογή αισθητηρίου.

3) **Ρομποτικός βραχίονας:** Κατασκευάστηκε από 3D Printed υλικό και ενώθηκε με βίδες και σέρβο-κινητήρες .Σκοπός της λειτουργίας του είναι η συλλογή-μεταφορά-τοποθέτηση φορτίων , από την περιοχή ζύγισης τους στην αποθήκη , όπου και θα ταξινομηθούν ανάλογα με το βάρος τους στην σωστή περιοχή της αποθήκης για ασφαλή κράτηση.



- Δευτερεύοντα μέρη (secondary constructed parts):

1) **LED Traffic Light:** Χρησιμοποιείται για να δώσει οπτική φωτεινή ένδειξη στο προσωπικό (ή στον παρατηρητή) , για το ξεκίνημα της λειτουργίας του ταινιόδρομου, το σταμάτημα της λειτουργίας του ταινιόδρομου , καθώς και την αρχή ένδειξης των μετρήσεων ζύγισης των προϊόντων αφού έχουν εισέλθει από τον ταινιόδρομο στην ζυγαριά.

2) **Αισθητήρια υπερήχων Sonar:** Η γενική χρήση τους είναι ο εντοπισμός εμποδίων ή κίνησης. Η χρήση τους σε συνδυασμό με τον ταινιόδρομο, καθιστά την ολοκλήρωση της αυτοματοποιημένης διαδικασίας του , καθώς βλέπουν (σαν ένα φωτοκύτταρο) πότε εισέρχεται φορτίο στον ταινιόδρομο και πότε εξέρχεται φορτίο από αυτόν ,δίνοντας έτσι σήμα στο Arduino για την κατάλληλη λειτουργία του.

3) **Οθόνη χαρακτήρων LCD 16x2:** Η χρήση της σε συνδυασμό με το αισθητήριο βάρους , καθιστά την οπτική επαφή με την μεταβλητή βάρους του εκάστοτε φορτίου , καθώς το προσωπικό ή ο παρατηρητής γνωρίζει βλέποντας την οθόνη , το βάρος του κάθε προϊόντος που εισέρχεται στην ζυγαριά.

#### 4.2.1 Λίστα εξαρτημάτων-υλικών

Αναλυτικά τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή είναι :

##### \*Ταινιόδρομος(Conveyor Belt)\*:

- 2 Servo κινητήρες (360°) για την περιστροφική κίνηση των αξόνων του ταινιόδρομου(Servo Micro 1.5kg.cm Continuous Rotation (Feetech FS90R))



Τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Servo Standar / 25T (Futaba/Feetech)

-Λειτουργία Servo : Αναλογική

-Μέγεθος Servo : Micro

-Περιστροφή: 360°

-Ροπή (6V): 1.5kg.cm

-Ταχύτητα (6V): 130 RPM

-Τύπος Γραναζιών: Πλαστικά

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

-Ταχύτητα Λειτουργίας(Operating Speed): 110RPM (4.8V)/130RPM (6V)

- Stall Torque:

- 1.3kg.cm/18.09oz.in(4.8V)
- 1.5kg.cm/20.86oz.in(6V)

-Τάση Λειτουργίας(Operating Voltage): 4.8V~6V

-Σύστημα Ελέγχου(Control System): Αναλογικό

-Διεύθυνση (Direction): CCW

-Γωνία Λειτουργίας (Operating Angle): 360 degrees

-Απαιτούμενος Παλμός (Required Pulse): 900us-2100us

-Bearing Type: None

-Τύπος Γραναζιού (Gear Type): Plastic

-Τύπος κινητήρα(Motor Type): Metal

-Διαστάσεις:

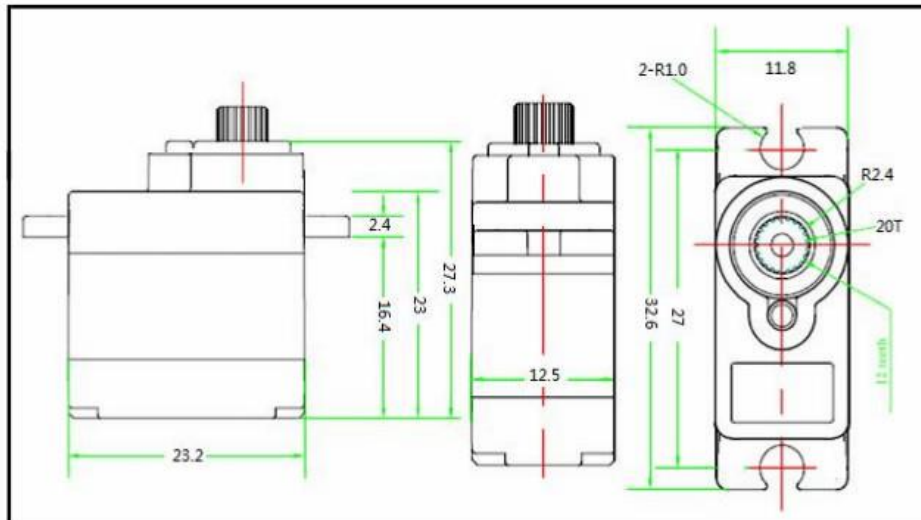
- 23.2 × 12.5 × 22 mm
- Βάρος(Weight): 9 g
- Μήκος Καλωδίου Σύνδεσης(Connector Wire Length): 20 cm

-Schematic:

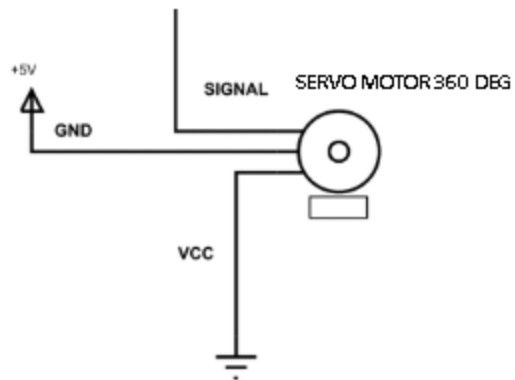
5. 控制特性 Control Specification:

No.	Item	Specification
5-1	控制信号 Command signal	Pulse width modification
5-2	放大器类型 Amplifier type	Analog comparator
5-3	脉冲宽度范围 Pulse width range	900~2100μsec
5-4	停止位置 Stop position	1500 (±5) μsec
5-5	旋转角度 Running degree	Continuous rotation
5-6	死区宽度 Dead band width	10 μsec
5-7	旋转方向 Rotating direction	CW(when 1500~900 μsec) CCW(when 1500~2100 μsec)

6. 外形图 The Drawings



-Circuit Diagram:



- 2 Άξονες αλουμινίου των 20 mm και διαμέτρου 3 mm(Precision Shaft - D3mm x L200mm)



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Διάμετρος: 3mm

-Μήκος: 200mm

-Τύπος: Round Shafting

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

-Διάμετρος (Diameter): 3mm

-Μήκος (Length): 200mm

- Γραμμικότητα Υλικού Άξονα (Linear shaft material): Gcr15 steel or 45#steel
- Σκληρότητα (Hardness): HRC60-62
- Αντοχή (Tolerance): g6
- Στρογγυλότητα (Roundness): Within 3μm
- Φινίρισμα (Finish): Chrome plated
- Πάχος Χρώματος (Thickness of Chrome plated):1-2μm

- 4 πλαστικές ρόδες με περίβλημα μαύρου καουτσούκ διαμέτρου(Wheel 42mm for N20 Motor)



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

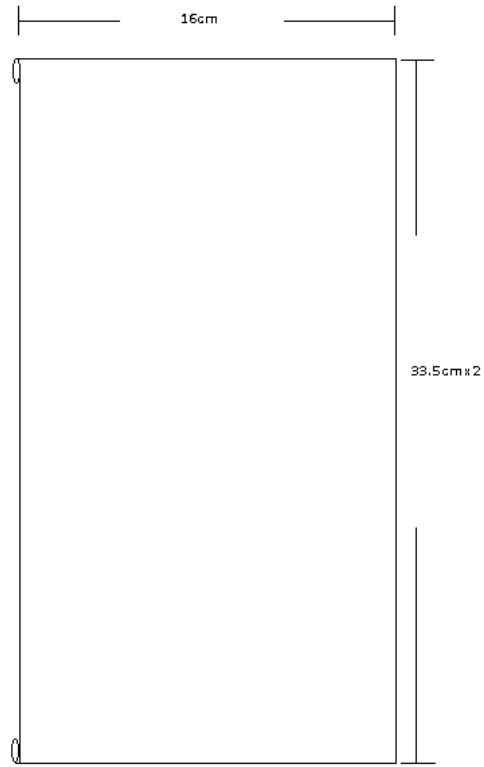
- Διάμετρος (Diameter): 42mm
- Πάχος (Thickness): 19mm
- Άνοιγμα (Aperture): D Shaft 3mm hole
- Υλικό (Material): ABS, Rubber

- 2 πλαστικές ρόδες με πορτοκαλί περίβλημα για σύνδεση της μεταλλικής γωνίας με τις ρόδες από καουτσούκ του ταινιόδρομου (διαμέτρου 4.5 cm)



- Ταινία του ταινιόδρομου

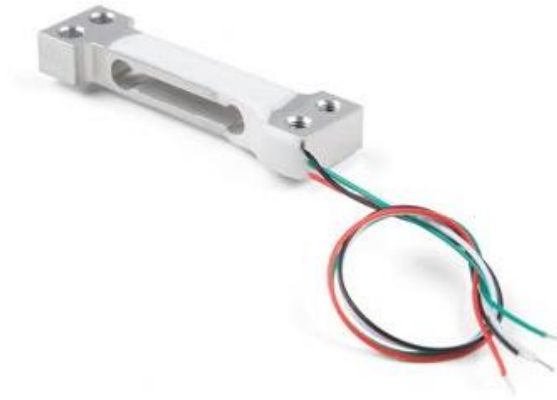
Χρησιμοποιήθηκε ταινία με αντιολισθητικό ύφασμα για την έξω όψη χρώματος άσπρου και αντιολισθητικό τρακτερωτό υλικό διαφανούς χρώματος για να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη επαφή με τις ρόδες από καουτσούκ. Οι διαστάσεις της ταινίας είναι :



- \*Ζυγαριά (Weight Scale)\*:

Για την ζυγαριά χρησιμοποιήθηκαν :

- Αισθητήριο βάρους (Μίνι Αισθητήρας Φορτίου - 500g, Ευθεία Μπάρα (TAL221))



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τύπος Αισθητήρα: Δύναμης
- Διασύνδεση: Αναλογική
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας: Χωρίς

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Χωρητικότητα Μέτρησης (Capacity): 500g
- Υλικό (Material): Aluminum-Alloy
- Τύπος ράβδου: Parallel Beam Type
- IP65 Rating



-Διαστάσεις:



-47x12x6mm

-Wire: 110mm

# TAL221

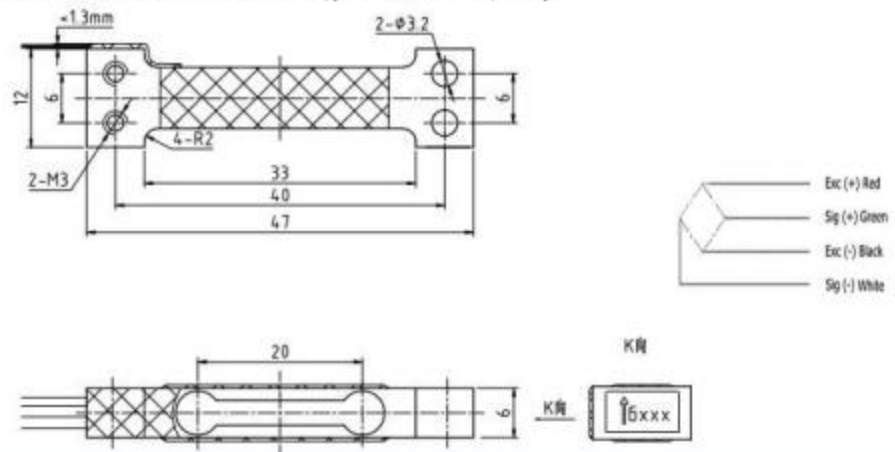
# MINIATURE LOAD CELL



**Features:**

- ◆ Capacity : 100-1500g
- ◆ Material: aluminum-alloy
- ◆ Type: Parallel beam type
- ◆ Defend grade: IP65
- ◆ Application : body scales, hand scales, kitchen scales, postal scales, fishing scales, baby body scales and other micro electronic weighing systems.

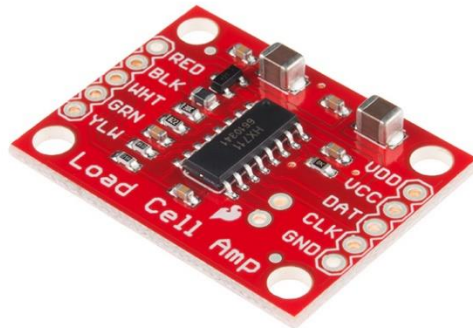
Electrical connection and Dimensions:(dimension unit: mm)



Specifications:				
capacity	g	100, 150, 200	300,500,750	1000,1500
rated output	mV/V	0.6 ± 0.15	0.7 ± 0.15	1.0 ± 0.15
safe overload	%FS	150		
ultimate overload	%FS	200		
excitation voltage	Vdc	≤6		
combined error	%FS	0.05		
zero balance	%FS	± 0.1		
non-linearity	%FS	± 0.05		
hysteresis	%FS	± 0.05		
repeatability	%FS	± 0.05		
creep	%FS/3min	± 0.05		
input resistance	Ω	1090 ± 10		
output resistance	Ω	1000 ± 10		
insulation resistance	M Ω	≥ 2000 @ 50 Vdc		
operating temperature range	℃	-10 - +40		
compensated temperature range	℃	-20 - +60		
temperature coefficient of SPAN	%FS/10℃	± 0.1		
temperature coefficient of ZERO	%FS/10℃	± 0.1		
Corner correction	%FS	± 0.1		
Electrical connection	cable	4 color wire, Ø0.6 × 110 mm excitation(+):Red excitation(-):Black signal(+):Green signal(-):White		

※Ordering code: model-capacity- rated output-accuracy-defend grade- the length of cable

- Ενισχυτής Αισθητήρα Φορτίου - HX711 (SparkFun Ενισχυτής Αισθητήρα Φορτίου - HX711)



Ο ενισχυτής κελιού SparkFun Load είναι ένας μικρός πίνακας ξεμπλοκαρίσματος για το HX711 IC που επιτρέπει να διαβάζουν τα αισθητήρια βάρους (όπως το tal221), εύκολα τις κυψέλες φορτίου για να μετρούν το βάρος.

Συνδέοντας τον ενισχυτή στον μικροελεγκτή, μπορούμε να διαβάσουμε τις αλλαγές στην αντίσταση της κυψέλης φορτίου και με κάποια βαθμονόμηση να λάβουμε πολύ ακριβείς μετρήσεις βάρους. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να δημιουργήσουμε βιομηχανική κλίμακα, τον έλεγχο της διαδικασίας ή την απλή ανίχνευση παρουσίας.

Συγκεκριμένα για αυτόν τον σκοπό το HX711 εμπεριέχει : Διαχωρισμό αναλογικής και ψηφιακής τροφοδοσίας, επαγωγέα 3.3uH και έναν πυκνωτή φίλτρου 0.1uF για ψηφιακή τροφοδοσία.

Το HX711 χρησιμοποιεί μια διεπαφή δύο συρμάτων (ρολόι και δεδομένα) για επικοινωνία. Οι καρφίτσες GPIO του μικροελεγκτή λειτουργούν με την βοήθεια πολλών βιβλιοθηκών που έχουν γραφτεί, διευκολύνοντας την ανάγνωση δεδομένων από το HX711.

Τα κυκλώματα φόρτωσης χρησιμοποιούν διαμόρφωση γέφυρας Wheatstone τεσσάρων συρμάτων για σύνδεση με το HX711. Αυτά είναι συνήθως χρωματισμένα RED, BLK, WHT, GRN και YLW. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί στη συμβατική έγχρωμη κωδικοποίηση κυψελών φορτίου:

- Red: Τροφοδοσία (Excitation+ or VCC)
- Black: Γείωση (Excitation- or GND)
- White: Ενισχυτής (Amplifier+, Signal+ or Output+)
- Green (A-, S- or O-)
- Yellow: Ασπίδα (Shield)

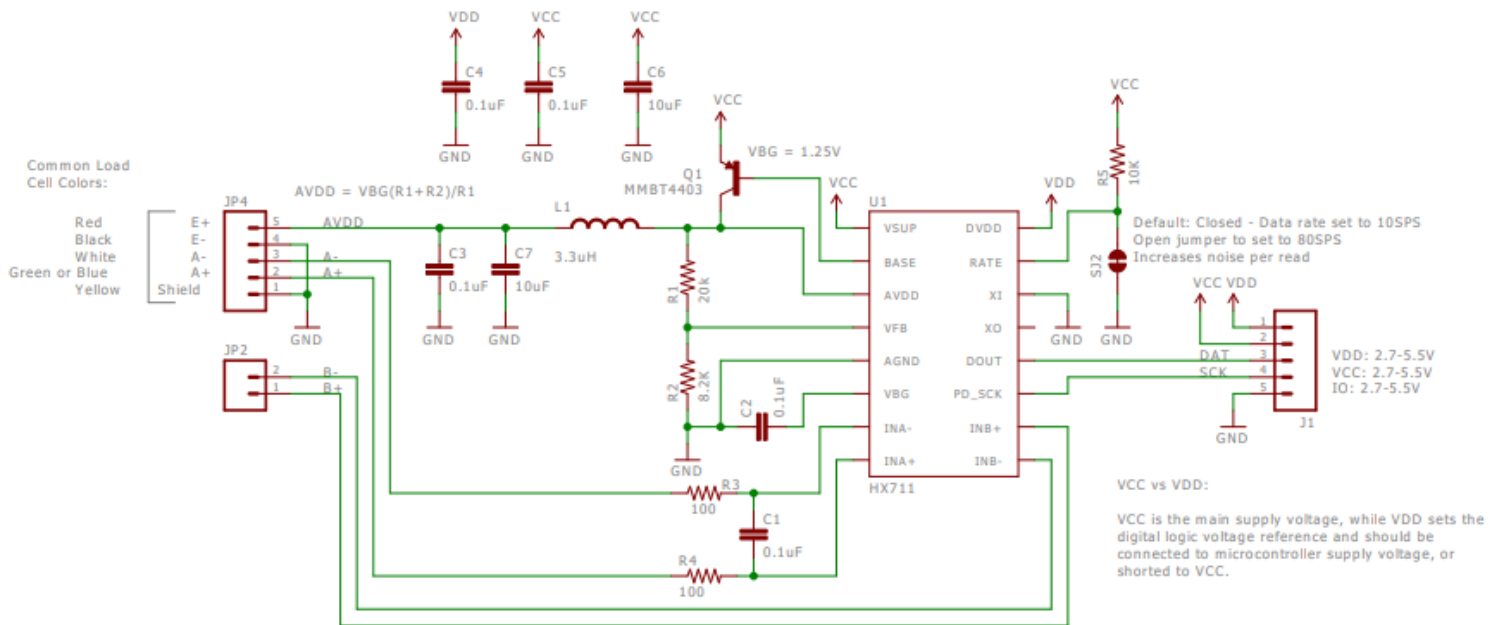
-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τύπος Αισθητήρα: Δύναμης
- Τυπική Τάση Εισόδου: 3.3VDC/5VDC
- Ρεύμα Λειτουργίας: 1.5mA
- Διασύνδεση: Αναλογική/Ψηφιακή
- Πρωτόκολλο Επικοινωνίας: Χωρίς

-Δυνατότητες:

- Τάση λειτουργίας (Operation Voltage): 2.7V–5V
- Ρεύμα λειτουργίας (Operation Current): < 1.5mA
- Επιλεγόμενος ρυθμός δεδομένων εξόδου: Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection

-Schematic:



-Datasheet:

## 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

### DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of  $\pm 20\text{mV}$  or  $\pm 40\text{mV}$  respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

### FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
  - normal operation  $< 1.5\text{mA}$ , power down  $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range:  $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

### APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

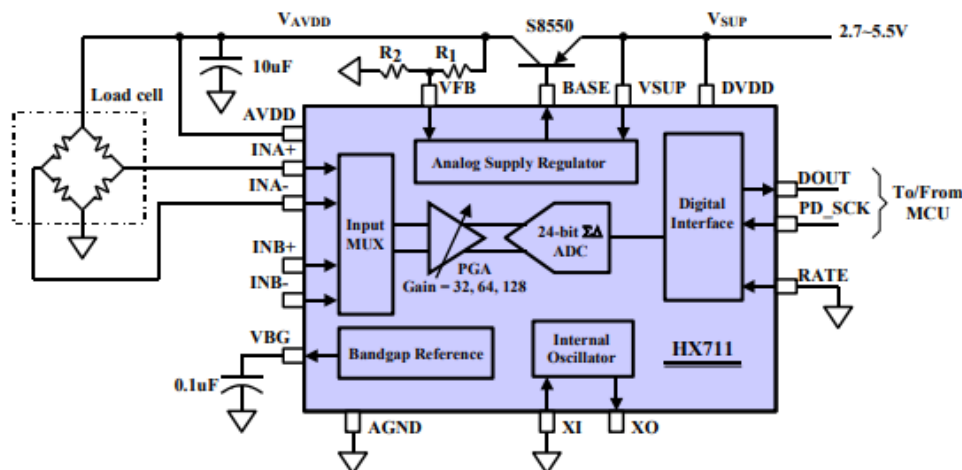


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram

- \*Ρομπωτικός Βραχίονας (Robot Arm)\*:

Για τον ρομποτικό βραχίονα χρησιμοποιήθηκαν 1 micro servo 360° για την περιστροφική κίνηση του άξονα x , 2 micro servo των 180° για την οριζόντια και κάθετη κίνηση των αξόνων y και z και ένα micro servo των 120° , για την λειτουργία της δαγκάνας.

Πιο συγκεκριμένα:

-Για το servo των 360° , τα τεχνικά χαρακτηριστικά , οι λειτουργίες του και τα διαγράμματα είναι όμοια με αυτά του που χρησιμοποιήθηκαν για τον ταινιόδρομο (σελίδες 57 έως 59).

-Τα servo των 180°(Servo Micro 2.2kg.cm Plastic Gears (Waveshare SG90)) έχουν τα εξής:



#### Τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Servo Standar: 25T (Futaba/Feetech)

-Λειτουργία Servo: Αναλογική

-Μέγεθος Servo: Micro

-Περιστροφή: 180°

-Ροπή (6V): 2.2kg.cm

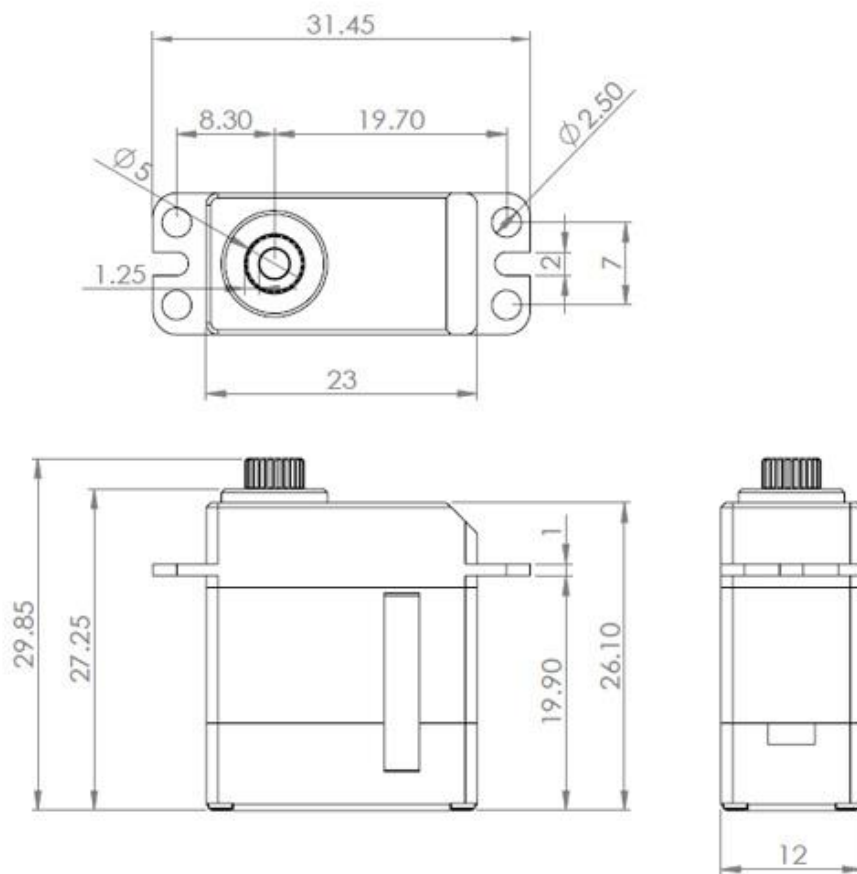
-Ταχύτητα (6V): 0.08sec/60°

-Τύπος Γραναζιών: Πλαστικά

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

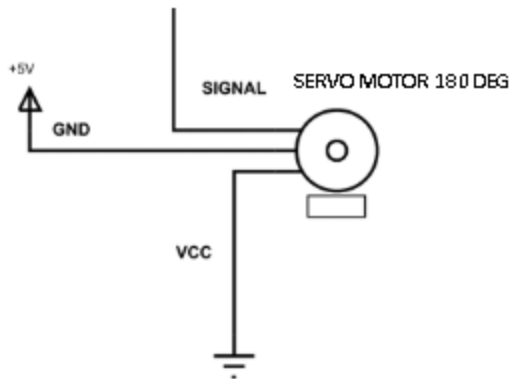
- Ροπή (Torque): 2.0kg/cm(4.8V)2.2kg/cm(6V)
- Ταχύτητα (speed): 0.09s/60°(4.8V)0.08s/60°(6V)
- Γωνία περιστροφής (Rotate angle): 180°
- Τάση λειτουργίας (Operating voltage): 4.8 ~ 6V
- Γρανάζια (Gear): plastic
- Dead band: 7us
- Βάρος (Weight): 10.5g
- Διάσταση (Dimension): 22.8mm × 12.2mm × 28.5mm

-Schematic:





-Circuit Diagram:



---

-Το servo των 120° (Servo Micro 1.5kg.cm Plastic Gears (Hitec HS-55)) που χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με την δαγκάνα Sub-Micro Gripper Kit έχουν τα εξής χαρακτηριστικά :

-Servo 120°:



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Servo Standar: 24T (Hitec)
- Λειτουργία Servo: Αναλογική
- Μέγεθος Servo : Micro
- Περιστροφή: 120°
- Ροπή (6V): 1.5kg.cm
- Ταχύτητα (6V): 0.14sec/60°
- Τύπος Γραναζιών: Νάιλον

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Output Shaft Style: 15 tooth (A1) spline
- Κλίμακα λειτουργίας τάσης (Voltage Range): 4.8V - 6.0V
- No-Load Speed (4.8V): 0.18 sec/60°
- No-Load Speed (6.0V): 0.14 sec/60°
- Stall Torque (4.8V): 16.66 oz-in. (1.2kg.cm)
- Stall Torque (6.0V): 20.83 oz-in. (1.5kg.cm)
- Max PWM Signal Range (Standard): 615-2390μsec
- Travel per μs (out of box): .114°/μsec
- Max Travel (out of box): 203°
- Pulse Amplitude: 3-5V
- Operating Temperature: -20°C to +60°C
- Current Drain - idle (4.8V): 5.4mA
- Current Drain - idle (6.0V): 5.5mA
- Current Drain - no-load (4.8V): 150mA
- Current Drain - no-load (6V): 180mA
- Continuous Rotation Modifiable: No
- Direction w/ Increasing PWM Signal: Clockwise
- Deadband Width: 8μs
- Motor Type: Coreless
- Feedback Style: 5KΩ Potentiometer
- Output Shaft Support Outer case serves as bearing
- Gear Type: Straight Cut Spur
- Gear Material: Nylon
- Wire Gauge: 28AWG

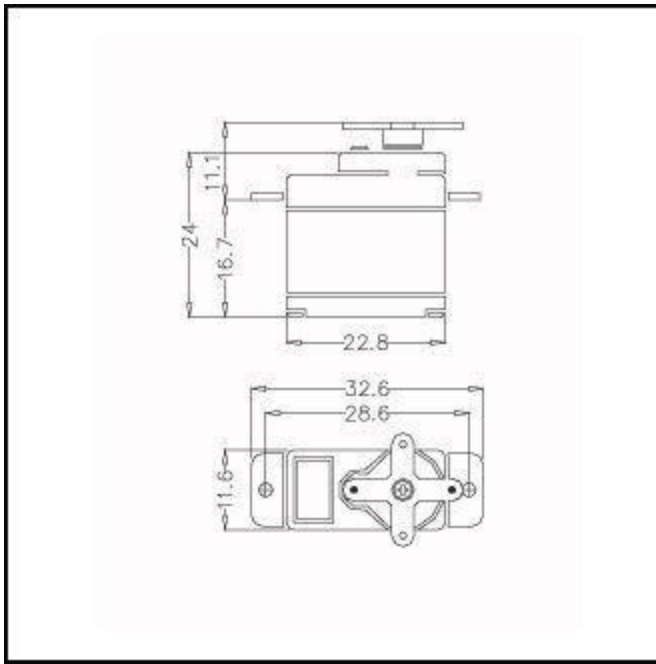
-Διαστάσεις:

-0.89" x 0.45" x 0.94" (22.8 x 11.6 x 24mm)

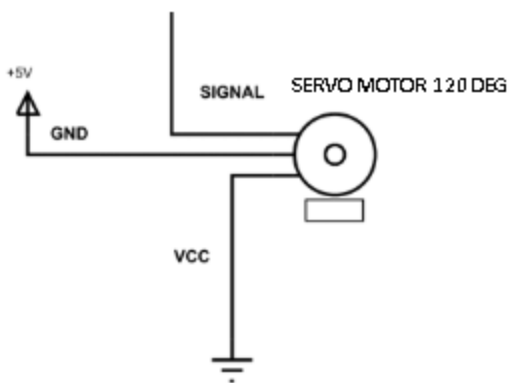
-Βάρος (Weight) : 0.28oz (8g)

-Μήκος καλωδίου (Wire Length) : 6.29" (160mm)

-Schematic:



-Circuit Diagram:



-Δαγκάνα:



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

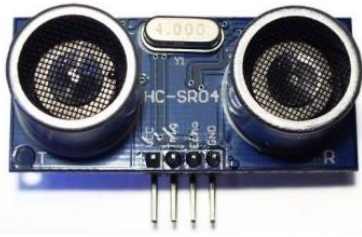
-Βάρος Προϊόντος (Product Weight): 0.17 oz (no servo)

-Servo Spline Compatibility 15T Sub-Micro (A1) Spline

-Servo Size Compatibility Hitec HS-55 and HS-5055MG servos

- \*Δευτερεύοντα αισθητήρια\*:

1) Αισθητήριο υπερήχων (Αισθητήρας Υπερήχων 2 - 400cm HC-SR04) :



Αισθητήρας Υπερήχων HC-SR04 για τον υπολογισμό απόστασης. Η απόσταση που μπορεί να υπολογίσει είναι από 2εκ. έως 400εκ. με ακρίβεια ενός εκατοστού.

-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Breadboard Friendly

-Τύπος Αισθητήρα: Απόστασης

-Τυπική Τάση Εισόδου: 5VDC

-Ρεύμα Λειτουργίας: 15mA

-Διασύνδεση: Ψηφιακή

-Πρωτόκολλο Επικοινωνίας: Χωρίς-Συνδεσμολογία

-VCC --> 5V Supply

-Trig --> Trigger Pulse Input

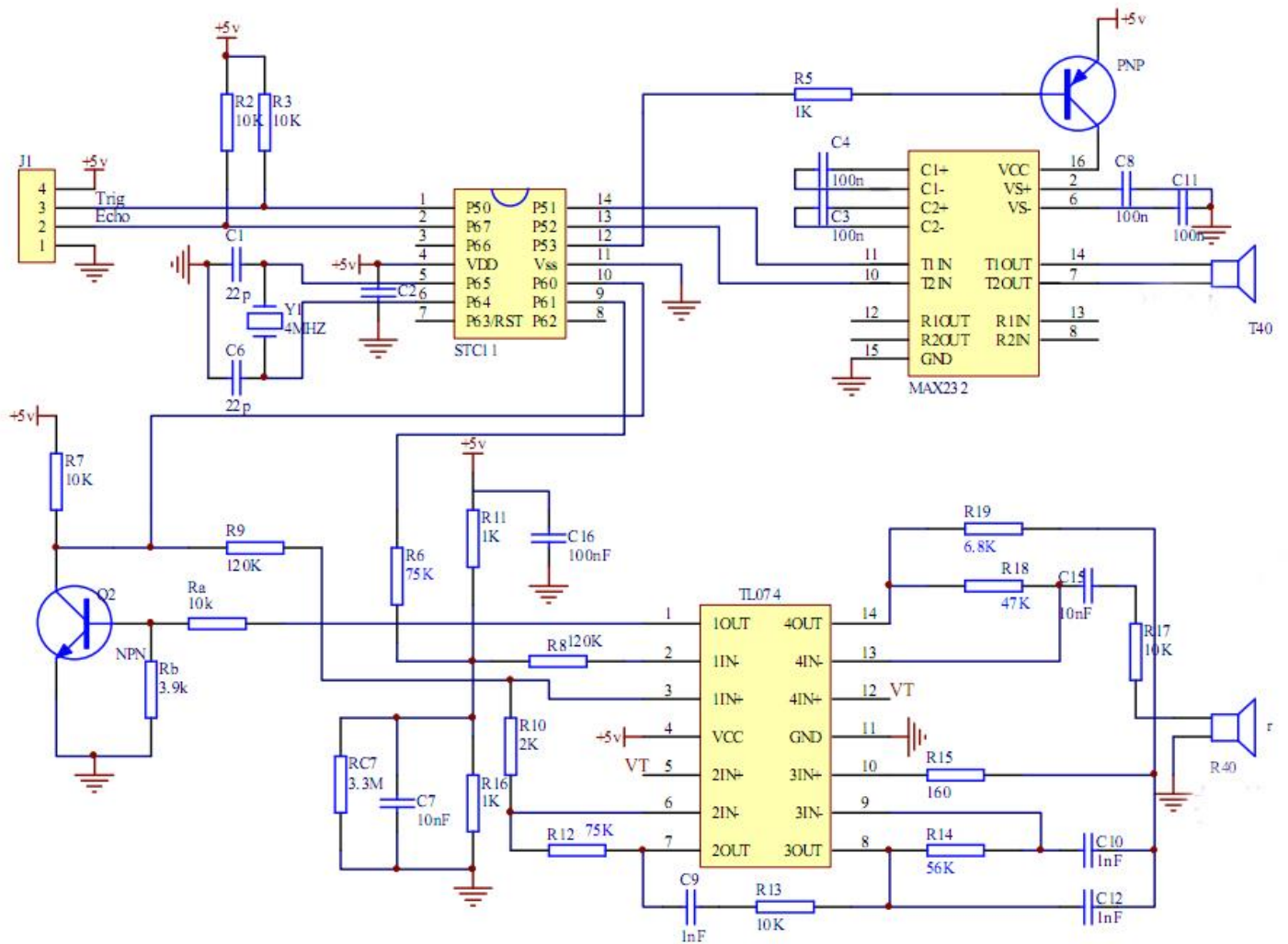
-Echo --> Echo Pulse Output

-GND --> 0V Ground

-Datasheet:

- Power Supply :+5V DC
  - Quiescent Current : <2mA
  - Working Currnt: 15mA
  - Effectual Angle: <15°
  - Ranging Distance : 2cm – 400 cm/1" - 13ft
  - Resolution : 0.3 cm
  - Measuring Angle: 30 degree
  - Trigger Input Pulse width: 10uS
  - Dimension: 45mm x 20mm x 15mm
- 

-Schematic:



## 2) LED Traffic Light Display Module 5V:



### -Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Χρώμα φωτισμού (Color): Red, Yellow and Green
- LED: 3x 8mm
- Φωτεινότητα (Brightness): Normal brightness
- Τάση (Voltage): 5V
- Input Digital signal output
- Interface: Common cathode red and yellow green control alone
- Material: PCB + Alloy + Plastic
- Μέγεθος (Size): 56x21x13mm

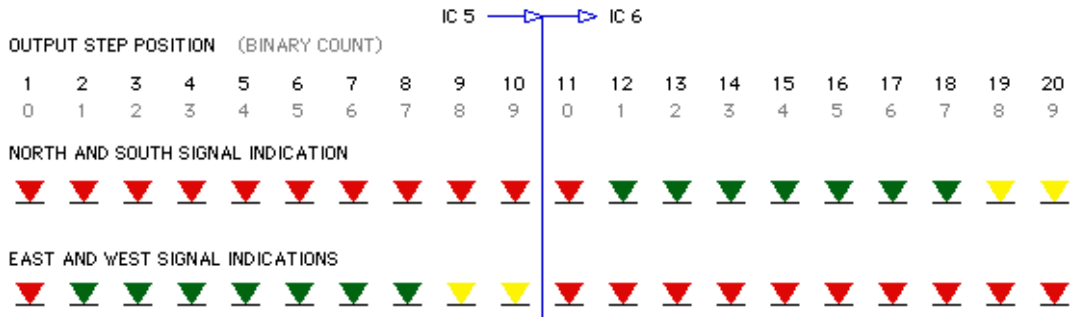
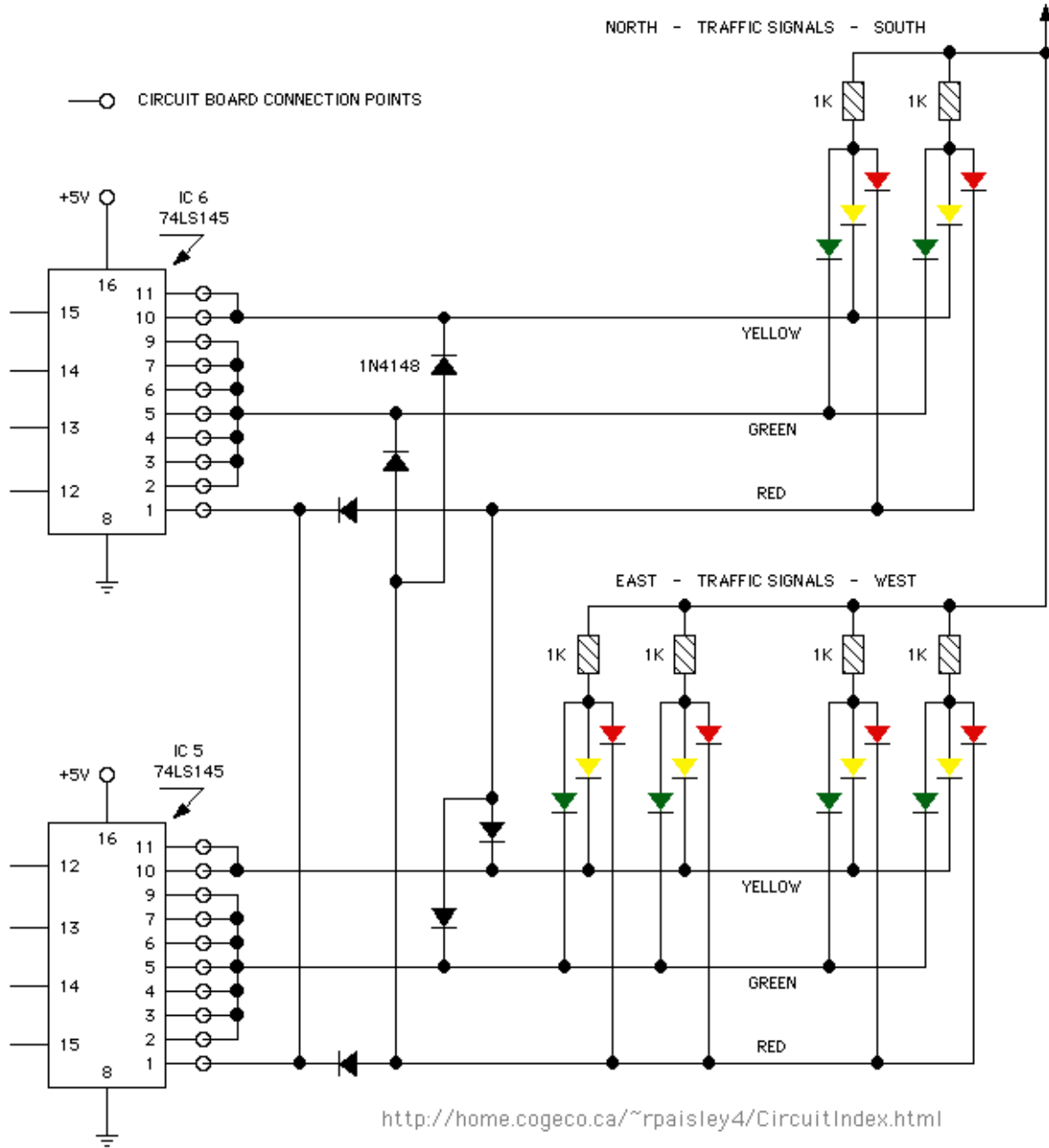
### -Schematic:

-Example 1:

# 20 OUTPUT SEQUENCING CIRCUIT - TRAFFIC LIGHT CIRCUIT FOR LEDS - T INTERSECTION -

©ROB PAISLEY 2011

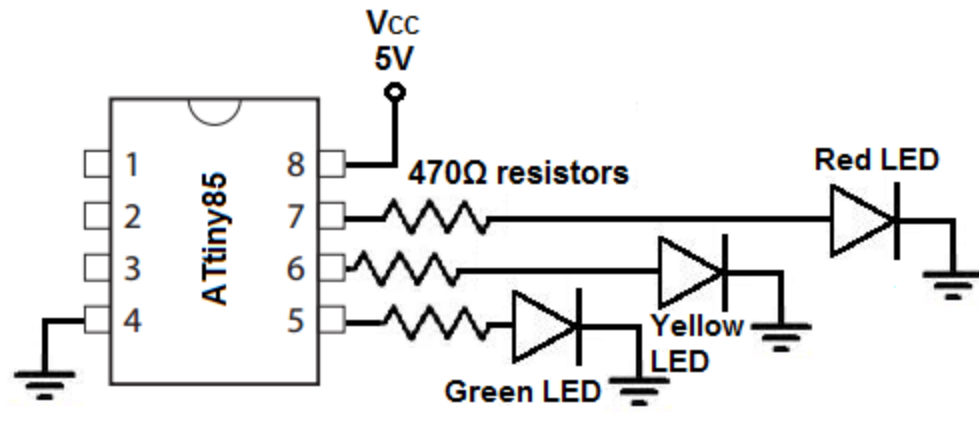
20 Output - Traffic Light T  
04 January, 2011 +12V



IF THE RESET INPUT OF THE 20 STEP CIRCUIT BOARD IS LOW - STEP POSITION 1 WILL BE FORCED



-Example 2:



3) Οθόνη LCD(Basic 16x2 Character LCD - White on Blue 5V (with Headers)):



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Τύπος: Character LCD
- Αριθμός Χαρακτήρων: 16x2
- Χρώματα Οθόνης: Μπλέ
- Διασύνδεση (παράλληλη): Parallel

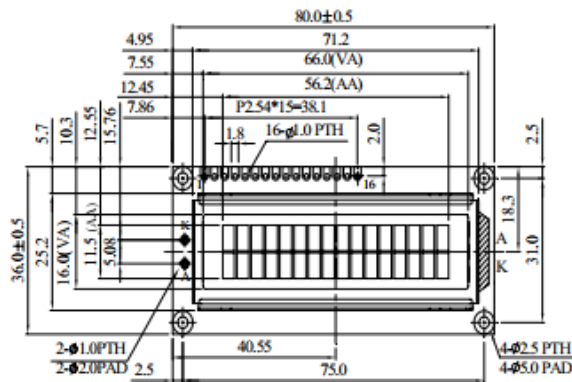
-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Display type: LCD
- Display type: Alphanumeric
- Display technology: STN Negative
- Number of characters (columns x lines): 16x2
- Background color: Blue
- Illumination: LED
- Controller type: ST7066, or equivalent
- Backlight color: White
- Number of pins: 16
- Type of pin configuration: 1x16

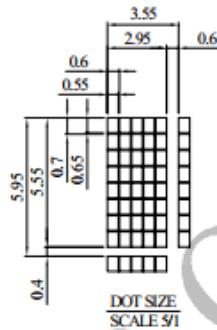
-Διαστάσεις

- 80 x 36 x 13.2mm
- Window (H x W): 66 x 16mm
- Contacts pitch: 2.54mm

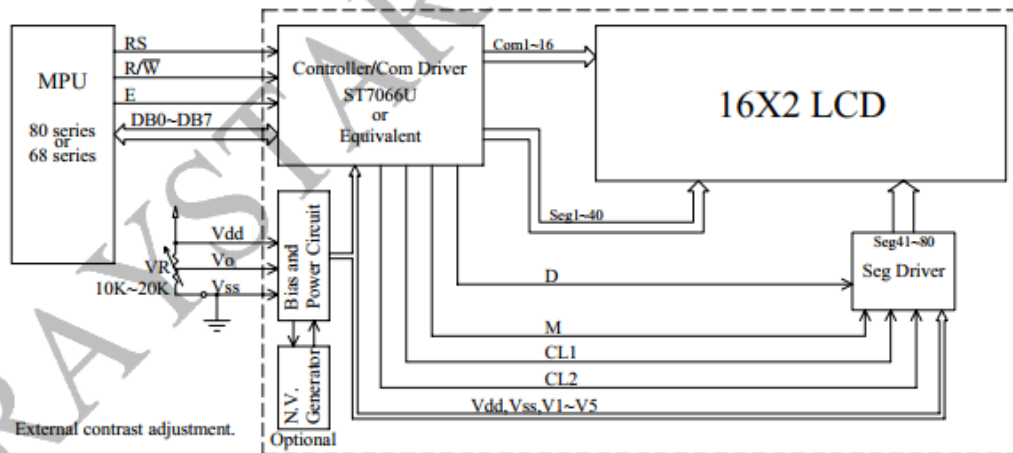
-Schematic:



PIN NO.	SYMBOL
1	Vss
2	Vdd
3	Vo
4	RS
5	R/W
6	E
7	DB0
8	DB1
9	DB2
10	DB3
11	DB4
12	DB5
13	DB6
14	DB7
15	A
16	K



The non-specified tolerance of dimension is ±0.3mm.



Character located	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
DDRAM address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

4) Ποτενσιόμετρο για ρύθμιση αντίθεσης της οθόνης με τους ψηφιακούς χαρακτήρες της (Potentiometer Linear B10Kohm - D6mm H9mm)



-Τεχνικά χαρακτηριστικά:

-Είδος Ποτενσιόμετρου: Single turn

-Τοποθέτηση: THT

-Αντίσταση : 10KΩ

-Power: 0.125 - 1/8W

-Ανοχή: ±20%

-Max. Operating Voltage: 200Volt

-Επιπλέον χαρακτηριστικά:

-Potentiometer type shaft

-Potentiometer kind single turn

-Resistance 10kΩ

-Power 125mW

-Tolerance ±20%

-Mounting THT

-Characteristics linear

-Body material metal

-Leads for PCB

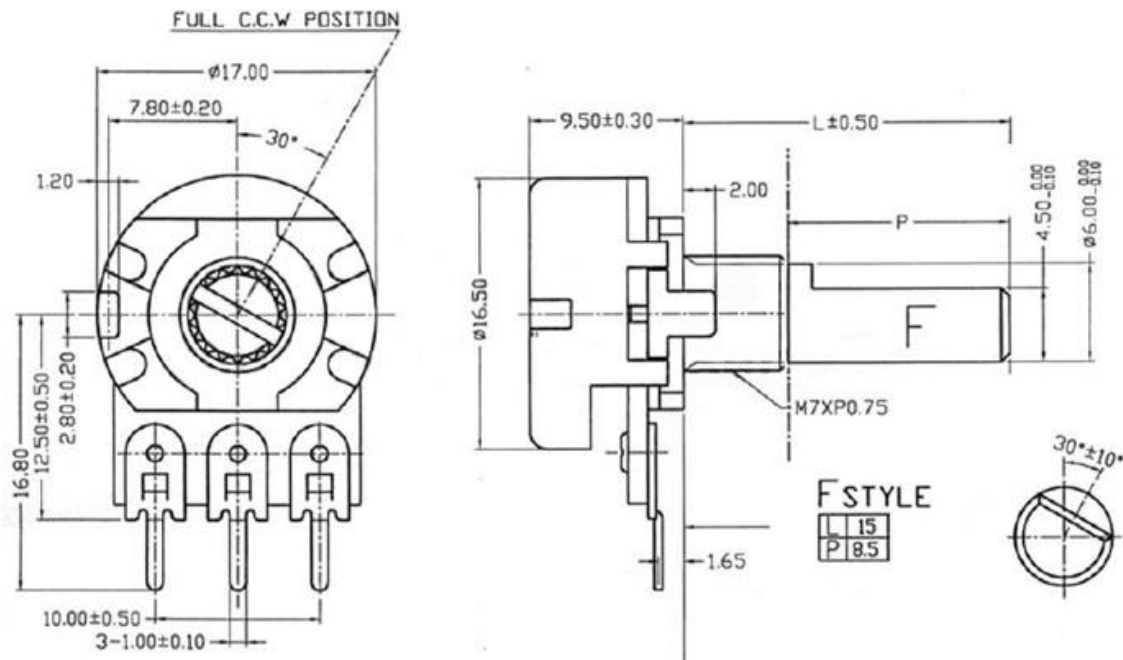
-Track material carbon

- Potentiometer features mono
- Shaft surface knurled
- Mechanical rotation angle 300°
- Max. operating voltage 200V

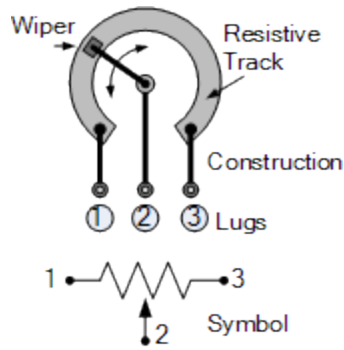
-Διαστάσεις

- Shaft diameter 6mm
- Shaft length 9mm
- Body dimensions  $\varnothing 17 \times 9.2$ mm
- Thread length 6mm
- Terminal pitch 5mm
- Panel cutout diameter 7.2mm

-Schematic:

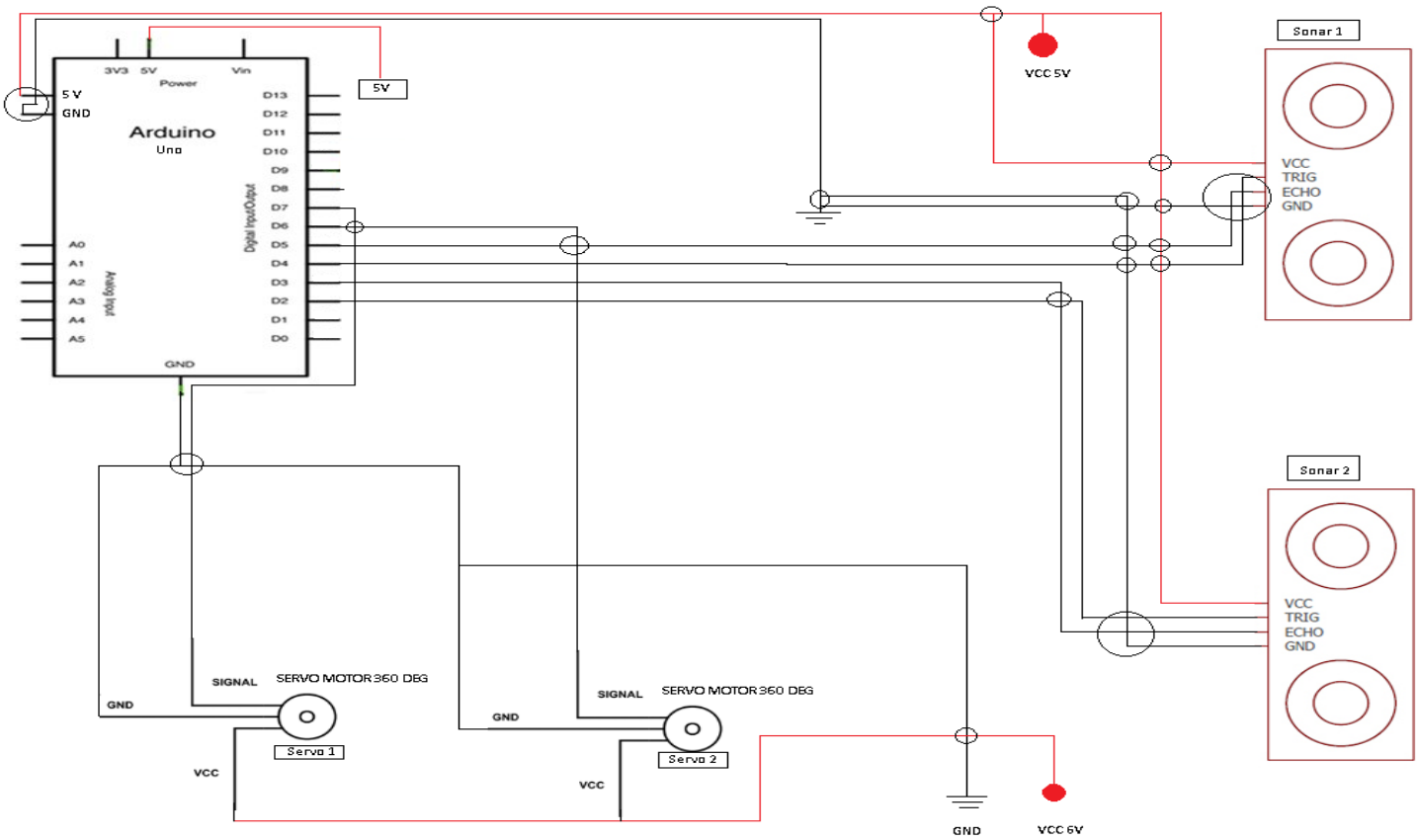


-Circuit Diagram:

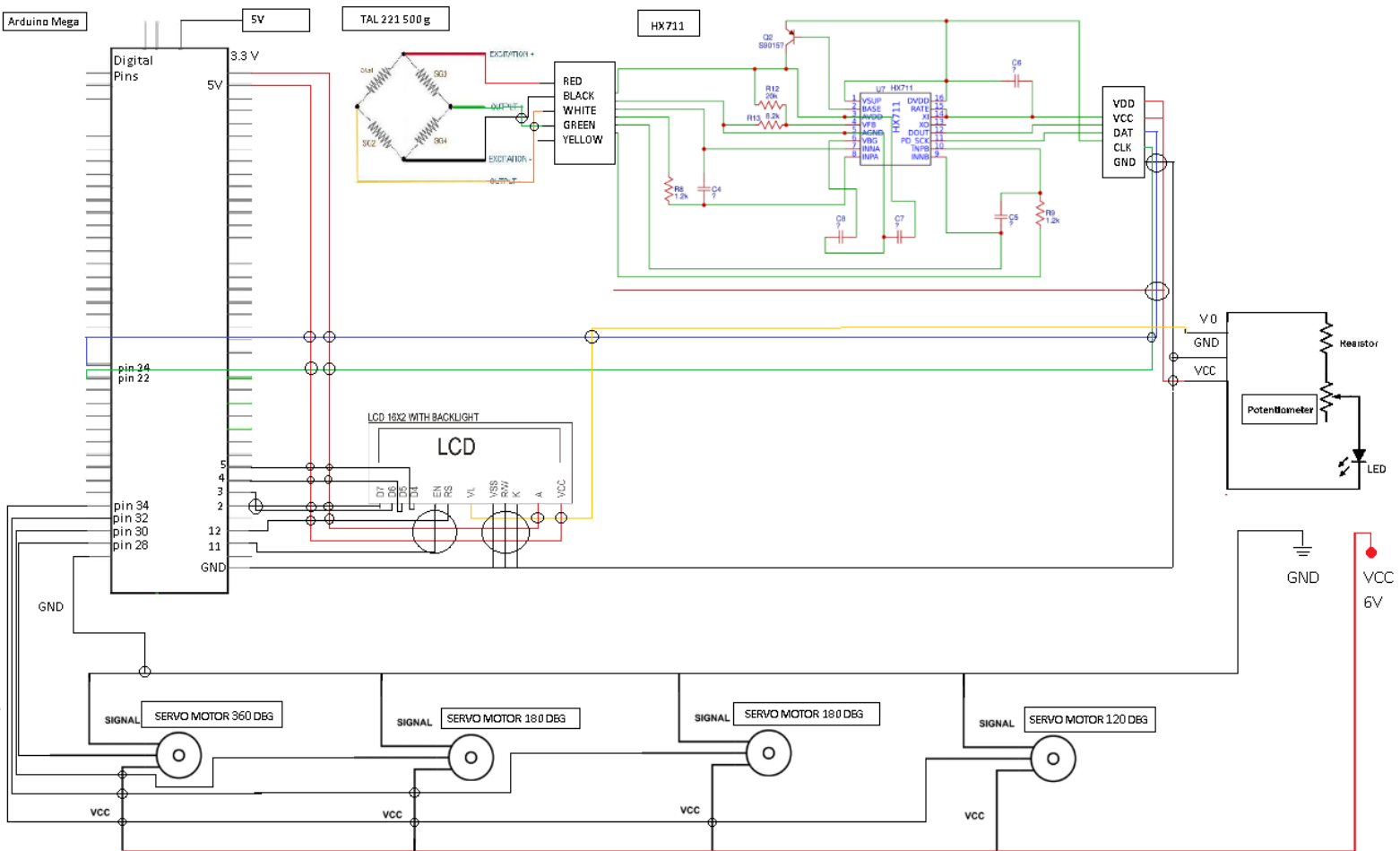


#### 4.2.2 Ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης

-Arduino Uno:



# -Arduino Mega:



### 4.3 Πρόγραμμα αυτοματοποιημένης βιομηχανικής εγκατάστασης

Το πρόγραμμα της εγκατάστασης , γράφτηκε σε Arduino C/C++ και διαχωρίζεται στα εξής 2 κύρια προγράμματα. Η χρήση 2 Arduino έγινε:

- τόσο για την διευκόλυνση και την απλότητα λειτουργίας των 2 προγραμμάτων ώστε αυτά να μην συμπίπτουν μεταξύ τους και να υπάρχει δυσλειτουργίας μεταξύ των εντολών
- όσο και για την παροχή ρεύματος των 2 Arduino , καθώς 1 από μόνο του , δεν θα έδινε επαρκές ρεύμα για να λειτουργήσουν όλα τα αισθητήρια και οι σερβοκινητήρες της κατασκευής αυτής

Τα δύο προγράμματα αυτά είναι :

#### \*Arduino Uno Program\*:

```
#include <Servo.h>                //Εισαγωγή Βιβλιοθήκης//

#define LIGHT_1_RED 8

#define LIGHT_1_YELLOW 9

#define LIGHT_1_GREEN 10         //Ορισμός LED //

const int trigPin1= 2;           //Δημιουργία μεταβλητών και αντιστοίχιση στα κατάλληλα
const int echoPin1= 3;           pins του Arduino
const int trigPin2= 4;
const int echoPin2= 5;           //

long duration1;                 //Δημιουργία μεταβλητών
int distance1;
long duration2;
int distance2;
int counter1= 0;
int counter2= 0;
```



```

Servo myservo1;
Servo myservo2;    //

void setup() {
  Serial.begin(9600);           //Δήλωση του αντικειμένων ως είσοδοι και του
                                //Έξοδοι του Συστήματος του Arduino

  pinMode(LIGHT_1_RED, OUTPUT);
  pinMode(LIGHT_1_YELLOW, OUTPUT);
  pinMode(LIGHT_1_GREEN, OUTPUT);

  digitalWrite(LIGHT_1_GREEN, LOW);
  digitalWrite(LIGHT_1_YELLOW, LOW);
  digitalWrite(LIGHT_1_RED, LOW);

  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);

  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);
}
//

void loop() {

  digitalWrite(trigPin1, LOW);   //Εκτέλεση επαναλαμβανόμενου κώδικα //
  delayMicroseconds(2);         // *Λειτουργία λήψης απόστασης από το αισθητήριο
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);  υπερήχων
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

```

```

duration1= pulseIn(echoPin1, HIGH);
distance1= duration1*0.034/2;

digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin2,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2,LOW);
duration2= pulseIn(echoPin2, HIGH);
distance2= duration2*0.034/2;          *//

if((distance1<20)&&(counter1== 0)){          //*Εάν η συνθήκη απόστασης ισχύει, τότε
    myservo1.attach(6);                      ξεκινάει ο ταινιόδρομος και ανάβει το πράσινο
    myservo2.attach(7);                      LED*//
    counter1= counter1 + 1;
    digitalWrite(LIGHT_1_GREEN, HIGH);
    digitalWrite(LIGHT_1_YELLOW, LOW);
    digitalWrite(LIGHT_1_RED, LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(LIGHT_1_GREEN,LOW);
    myservo1.write(107);
    myservo2.write(107);
}

if((distance2<15)&&(counter1== 1)){          //*Εάν η συνθήκη απόστασης ισχύει, τότε
    counter1= counter1 + 1;                  σταματάει ο ταινιόδρομος και ανάβει το κίτρινο
    delay(50);                               LED ,στην συνέχεια σβήνει και μετά
    digitalWrite(LIGHT_1_GREEN, LOW);        ανάβει το κόκκινο LED
    digitalWrite(LIGHT_1_YELLOW,HIGH);

```

```

digitalWrite(LIGHT_1_RED, LOW);
delay(1000);
myservo1.detach();
myservo2.detach();
}
if(counter1 == 2){
  counter1 = 0;
  delay(50);
  digitalWrite(LIGHT_1_GREEN, LOW);
  digitalWrite(LIGHT_1_YELLOW, LOW);
  digitalWrite(LIGHT_1_RED, HIGH);
  delay(3000);
  digitalWrite(LIGHT_1_RED, LOW);
  delay(1000);}
} //

```

\*Το πρόγραμμα του Arduino Uno χειρίζεται την λειτουργία του ταινιόδρομου , το πότε ξεκινάει και πότε πρέπει να σταματήσει , καθώς και την λειτουργία των traffic light LED , αφού δείχνει την κατάλληλη ένδειξη ανάλογα με την θέση όπου βρίσκεται το προϊόν.\*

**\*Arduino Mega Program\*:**

```
#include <Servo.h>                                /*Εισαγωγή βιβλιοθηκών και δημιουργία μεταβλητών
Servo myservo1,myservo2,myservo3,myservo4;
#include "HX711.h"
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
#define DOUT 24
#define CLK 22
HX711 scale;
float calibration_factor = (6830)*(453.59237);
int counter1;                                     *//

void setup() {                                    /*Αρχικοποίηση της ζυγαριάς και της οθόνης LCD

  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Weight(g): ");

  Serial.println("HX711 scale ");
  scale.begin(DOUT, CLK);
  scale.set_scale(calibration_factor);
  scale.tare();

}                                                 *//
```

```

void loop(){
    /*Επαναληπτική λειτουργία μετρήσεων και μεταφοράς τους στην
    οθόνη LCD
    counter1=counter1+1;
    Serial.print("Reading: ");
    Serial.print(scale.get_units(), 3);
    Serial.print(" grams ");
    delay(500);
    Serial.println();
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(scale.get_units(), 3);
    delay(2000);
}
*/

```

```

if(counter1=4){
    /* Αρχή της λειτουργίας του βραχίονα εάν έχουν τελειώσει
    οι μετρήσεις
    myservo1.attach(28);
    myservo2.attach(30);
    myservo3.attach(32);
    myservo4.attach(34);
    myservo1.write(100);
    myservo2.write(120);
    myservo3.write(90);
    myservo4.write(85);

```

```
if((scale.get_units())>0.001)&&(scale.get_units())<=0.011){  
  delay(500);//1  
  myservo4.write(140);  
  delay(500);  
  myservo2.write(120);  
  myservo3.write(100);  
  delay(500);  
  myservo2.write(90);  
  myservo3.write(110);  
  delay(500);  
  myservo2.write(80);  
  myservo3.write(100);  
  delay(500);  
  myservo4.write(85);  
  delay(500);  
  myservo2.write(120);  
  myservo3.write(110);  
  delay(500);  
  myservo1.write(70);  
  delay(500);  
  myservo1.write(50);  
  delay(500);  
  myservo1.write(25);  
  delay(500);  
  myservo2.write(70);//50-90  
  myservo3.write(60);  
  delay(500);  
  myservo4.write(140);  
  delay(500);
```

```
myservo4.write(85);  
delay(500);  
myservo2.write(120);  
myservo3.write(110);  
delay(500);  
myservo1.write(30);  
delay(500);  
myservo1.write(50);  
delay(500);  
myservo1.write(70);  
delay(500);  
myservo1.write(107); //thesh iso 2rh fora  
delay(500);}
```

```
if((scale.get_units(>0.011)&&(scale.get_units(<=0.015)){  
  delay(500); //2  
myservo4.write(140);  
delay(500);  
myservo2.write(120);  
myservo3.write(110);  
delay(500);  
myservo2.write(90);  
myservo3.write(110);  
delay(500);  
myservo2.write(78);  
myservo3.write(110);  
delay(500);  
myservo4.write(85);  
delay(500);
```

```
myservo2.write(120);
myservo3.write(110);
delay(500);
myservo1.write(70);
delay(500);
myservo1.write(50);
delay(500);
myservo1.write(25);
delay(500);
myservo2.write(70);
myservo3.write(95);
delay(500);
myservo4.write(140);
delay(500);
myservo4.write(85);
delay(1000);
myservo2.write(120);
myservo3.write(110);
delay(500);
myservo1.write(30);
delay(500);
myservo1.write(50);
delay(500);
myservo1.write(70);
delay(500);
myservo1.write(110); //thesh iso 2rh fora
delay(500);}

if(scale.get_units(>0.015){
```



```
    delay(500); //3
myservo4.write(140);
delay(500);
myservo2.write(120);
myservo3.write(110);
delay(500);
myservo2.write(90);
myservo3.write(110);
delay(500);
myservo2.write(75);
myservo3.write(120);
delay(500);
myservo4.write(85);
delay(500);
myservo2.write(120);
myservo3.write(110);
delay(500);
myservo1.write(70);
delay(500);
myservo1.write(20);
delay(500);
myservo2.write(140);
myservo3.write(180);
delay(500);
myservo4.write(140);
delay(500);
myservo4.write(85);
delay(500);
myservo2.write(120);
```

```
myservo3.write(90);  
delay(500);  
myservo1.write(30);  
delay(500);  
myservo1.write(50);  
delay(500);  
myservo1.write(70);  
delay(500);  
myservo1.write(100); //thesh iso 2rh fora  
delay(500);}
```

```
myservo1.detach();  
myservo2.detach();  
myservo3.detach();  
myservo4.detach();  
delay(1000);
```

```
}} *//
```

\*Το πρόγραμμα του Arduino Mega είναι υπεύθυνο για την λειτουργία της ζυγαριάς , ώστε να ζηγύζεται το προϊόν με ακρίβεια χιλιοστού, και οργανώνει την λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα , ώστε εκείνος να εκτελεί την διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης των προϊόντων αυτών.\*

#### 4.3.1 Αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας - προγράμματος της εγκατάστασης

Η αυτοματοποιημένη εγκατάσταση ξεκινάει όταν το αισθητήριο 1 (Sonar 1) ανιχνεύσει κίνηση ή αντικείμενο στην συγκεκριμένη περίπτωση. Αμέσως μετά ξεκινάει ο ταινιόδρομος ο οποίος λειτουργεί μέχρι να ληφθεί σήμα κίνησης από το αισθητήριο 2 (Sonar 2) , ενώ παράλληλα ανάβει το πράσινο LED ως ένδειξη ότι ο ταινιόδρομος λειτουργεί και μεταφέρει αντικείμενο.

Έπειτα , όταν ανιχνευθεί αντικείμενο από το 2ρο αισθητήριο , τότε σταματάει η λειτουργία του ταινιόδρομου ενώ σβήνει το πράσινο LED και ανάβει το πορτοκαλί LED ως ένδειξη ότι ο ταινιόδρομος έχει σταματήσει να μεταφέρει το αντικείμενο και αυτό έχει περάσει στην ζυγαριά για την διαδικασία μετρήσεων του βάρους του και συλλογή του προς την αποθήκη. Τέλος όταν οι μετρήσεις έχουν αρχίσει και σβήσει το κίτρινο LED , ανάβει το κόκκινο LED ως ένδειξη ότι η διαδικασία μέτρησης βρίσκεται σε εξέλιξη. Έτσι τελειώνει το 1<sup>ο</sup> μέρος της αυτοματοποιημένης λειτουργίας.

Στην συνέχεια το δεύτερο μέρος της αυτοματοποιημένης λειτουργίας ξεκινάει. Η ζυγαριά λαμβάνει μετρήσεις του αντικειμένου με ακρίβεια χιλιοστού και το καθαρό βάρος φαίνεται ακριβέστατα στην οθόνη LCD για να το βλέπει ο παρατηρητής ενώ αυτό το στάδιο κρατάει ως ότου ολοκληρωθούν 5 μετρήσεις του αντικειμένου. Ύστερα αφού έχουν τελειώσει οι μετρήσεις του αντικειμένου , ανάλογα με το βάρος του ( ελαφρύ 0.001-0.011 , κανονικό , 0.012 – 0.015, βαρύ >0.015) , ο ρομποτικός βραχίονας το συλλέγει και το πηγαίνει στην αντίστοιχη αποθήκη ( 1<sup>η</sup> για τα ελαφριά βάρη , 2<sup>η</sup> για τα κανονικά βάρη και 3<sup>η</sup> για τα βαρέα βάρη). Έπειτα ο ρομποτικός βραχίονας επιστρέφει στην θέση ισορροπίας του και αναμένει για περαιτέρω φορτία. Εάν η ένδειξη της ζυγαριάς δείξει 0 g τότε ο βραχίονας δεν κουνιέται από την θέση ισορροπίας του αφού η ένδειξη 0 σημαίνει ότι δεν υπάρχει φορτίο για περισυλλογή. Με αυτόν τον τρόπο κλείνει η αυτοματοποιημένη διαδικασία της κατασκευής.

-Πλεονεκτήματα Αυτοματοποιημένης Κατασκευής:

Η κατασκευή αυτή έγινε με βάση τα ιαπωνικά πρότυπα – μοντέλα στα οποία το 95% των βιομηχανιών τους δεν αποτελείται πια από ανθρώπινο δυναμικό αλλά από μηχανές οι οποίες λειτουργούν, αυτόματα και έξυπνα μόνο όταν χρειάζεται , και έτσι πετυχαίνουν την βελτιστοποίηση των διαδικασιών σε ότι αφορά τον τομέα του:

- Κόστους
- Χρόνου
- Κατάστασης προϊόντος
- Ενέργειας
- Απωλειών

- Ακρίβειας

Παρόμοιος τρόπος λειτουργίας υιοθετήθηκε και σε αυτή την κατασκευή, αφού όλα λειτουργούν αυτόματα μέσω αισθητηρίων , μόνο όταν χρειάζεται.



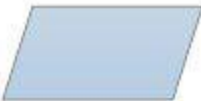
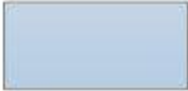

-Μειονεκτήματα Αυτοματοποιημένης Κατασκευής:

Υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα τα οποία δεν λύθηκαν λόγω κατασκευαστικού κόστους στην συγκεκριμένη εργασία. Αναφορικά αυτά είναι:

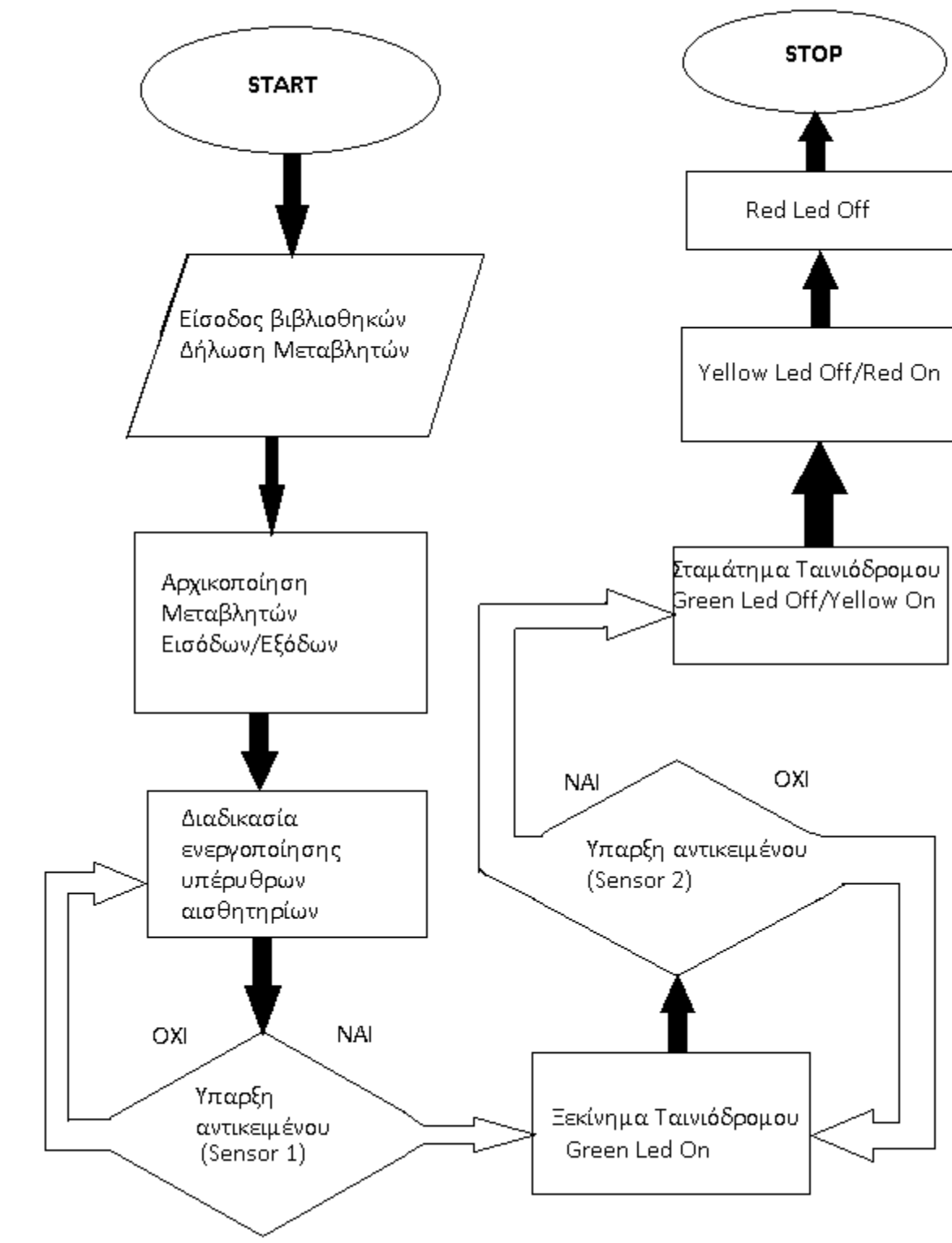
- Ο ταινιόδρομος δεν λειτουργεί στο 100% της ορθότητας όσον αφορά την τριβή και την ευθεία της κίνησης , αφού δεν κατασκευάστηκε ισοσταθμισμένος από εργοστάσιο
- Η διαφορά ύψους που υπάρχει μεταξύ ταινιόδρομου και ζυγαριάς , καθιστά την πτώση του αντικειμένου σε μη ακριβές σημείο και έτσι κάποιες φορές ο βραχίονας δεν αρπάζει τα φορτία με την πρώτη φορά
- Η αποθήκη δεν εμπεριέχει αισθητήρια για την ένδειξη της διαθεσιμότητας του χώρου που έχει η κάθε μια με αποτέλεσμα κάποιες φορές να πηγαίνουν τα φορτία σε γεμάτη αποθήκη

### 4.3.2 Διάγραμμα Ροής (Flow Chart)

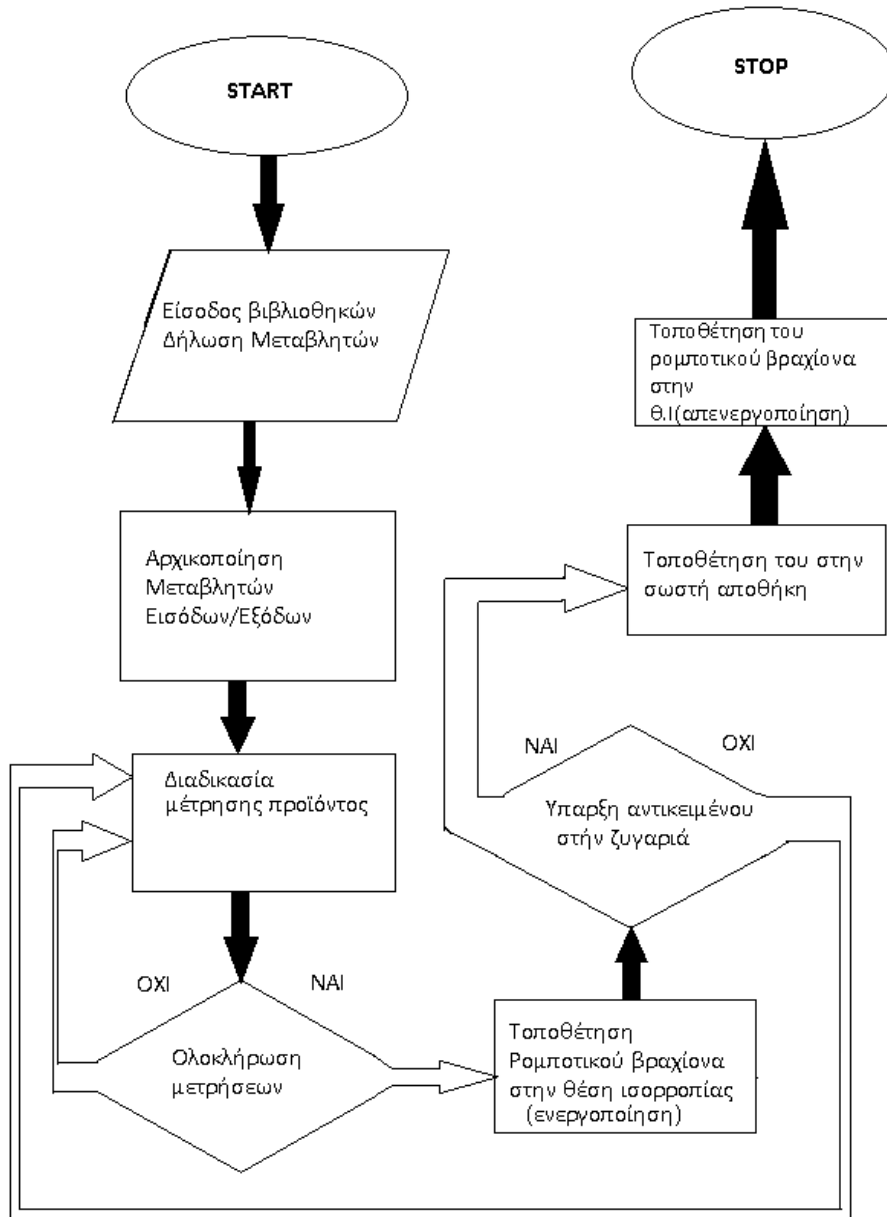
Το διάγραμμα ροής δείχνει σε κάποιον που δεν γνωρίζει από προγραμματισμό την λειτουργία της εγκατάστασης, σχηματικά με απλό γραφικό τρόπο:

Symbol	Name	Function
	Start/end	An oval represents a start or end point
	Arrows	A line is a connector that shows relationships between the representative shapes
	Input/Output	A parallelogram represents input or output
	Process	A rectangle represents a process
	Decision	A diamond indicates a decision

\*Arduino Uno Program Flow Chart:



\*Arduino Mega Program Flow Chart:



### **4.3.3 Συμπεράσματα**

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι δημιουργούνται για τον προγραμματισμό , τον έλεγχο και γενικότερα την λειτουργία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και γραμμών παραγωγής , μέσω διαφόρων μικροελεγκτών όπως τα PLC , είναι σημαντικοί αφού εκείνοι καθορίζουν όλη την διαδικασία και τις ενέργειες παραγωγής, από την αρχή του 1<sup>ου</sup> μηχανήματος μέσα σε μία εγκατάσταση μέχρι και το τελευταίο. Ωστόσο θα πρέπει πάντα να υπάρχουν ειδικοί που θα ρυθμίζουν τυχόν αποκλίσεις από τους στόχους ή θα ρυθμίζουν τα προγράμματα από την αρχή με σκοπό την διόρθωση τυχόν σφαλμάτων ή αποκλίσεων των διαδικασιών και την διατήρηση των λειτουργιών μίας βιομηχανίας.

Ωστόσο αυτό αφορά τα γραμμικά συστήματα αυτόματου ελέγχου και με την εξέλιξη της τεχνολογίας, που με την πάροδο της μελετώνται όλο και πιο περίπλοκα συστήματα , θα πρέπει να γίνει στροφή της τεχνολογίας από τα γραμμικά συστήματα και την αναλογικούς – ψηφιακούς ελεγκτές στην ασαφή λογική και την τεχνητή νοημοσύνη (A.I), ενώ θα πρέπει πάντα να υπάρχουν ειδικοί που να ρυθμίζουν τον έλεγχο σε κάθε τομέα , μέχρι να αντικατασταθούν οι ρυθμίσεις των αποκλίσεων των συστημάτων από ρομπότ ενσωματωμένα με τεχνητή νοημοσύνη.



## Βιβλιογραφία

- /www.t9hobbysport.com*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.t9hobbysport.com/>:  
[https://www.t9hobbysport.com/\\_app\\_/resources/images/www.t9hobbysport.com/main/55\\_spec.jpg](https://www.t9hobbysport.com/_app_/resources/images/www.t9hobbysport.com/main/55_spec.jpg)
- anadrasi.com*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.anadrasi.com/viomixanikes-ilektrikes-egatastaseis-aftomatismoι.php>
- cdn.shopify.com*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://cdn.shopify.com/>:  
[https://cdn.shopify.com/s/files/1/0015/7571/4865/products/1297\\_20\\_2\\_1200x1200.jpg?v=1571749871](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0015/7571/4865/products/1297_20_2_1200x1200.jpg?v=1571749871)
- Csanyi, E. (2017, Ιούνιος 12). Four most popular PLC programming languages for implementation of control diagrams. Ανάκτηση από <https://electrical-engineering-portal.com/most-popular-plc-programming-languages>
- grobotronics.com*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://grobotronics.com/>:  
<https://grobotronics.com/images/detailed/100/13879-01.jpg>
- <http://www.circuitous.ca/>. (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.circuitous.ca/20stepTrafficT.GIF>
- <http://www.projectsatbangalore.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
<http://www.projectsatbangalore.com/images/plc-based-sorting-system-using-metal-detection.jpg>
- <https://el.glosbe.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
<https://el.glosbe.com/el/el/%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7>
- <https://el.wikipedia.org/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82\\_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82)
- <https://en.wikipedia.org/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller)
- <https://sc01.alicdn.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
<https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1bJb2GFXXXXa9aFXXq6xXFXX6/220726101/HTB1bJb2GFXXXXa9aFXXq6xXFXX6.jpg>
- <https://sc01.alicdn.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από  
<https://sc01.alicdn.com/kf/HTB13CoeGFXXXXbGaXXXq6xXFXXz/220726101/HTB13CoeGFXXXXbGaXXXq6xXFXXz.jpg>

<https://slideplayer.gr/>. (n.d.). Ανάκτηση από

<https://slideplayer.gr/slide/1972245/7/images/9/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82+%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD+%CE%B1%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%85+%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CE%B3%CF%87>

<https://www.ariston.com/>. (n.d.). Ανάκτηση από

[https://www.ariston.com/gr/media/immagini/518\\_518\\_car\\_tec.jpg](https://www.ariston.com/gr/media/immagini/518_518_car_tec.jpg)

<https://www.kafkas.gr/>. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.kafkas.gr/proionta/viomichaniko-yliko/yliko-aftomatismou/othones/>

[i.pinimg.com](http://i.pinimg.com). (n.d.). Ανάκτηση από <https://i.pinimg.com/>:

<https://i.pinimg.com/564x/08/0f/e9/080fe9f7ffdf15133fc09dacf6a4a7df.jpg>

[sxetakis.gr](http://sxetakis.gr). (n.d.). Ανάκτηση από <https://sxetakis.gr/>:

[https://sxetakis.gr/media/catalog/product/cache/1/image/500x625/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/8/182pu\\_1\\_2.jpg](https://sxetakis.gr/media/catalog/product/cache/1/image/500x625/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1/8/182pu_1_2.jpg)

[www.algosystems.gr](http://www.algosystems.gr). (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.algosystems.gr/>:

<https://www.algosystems.gr/el/projects/%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-plcs/>

[www.electronics-tutorials.ws](http://www.electronics-tutorials.ws). (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.electronics-tutorials.ws/>:

<https://www.electronics-tutorials.ws/wp-content/uploads/2018/05/resistor-pot3.gif>

[www.electroschematics.com](http://www.electroschematics.com). (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.electroschematics.com/>:

<https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2018/07/3-us-sensor-schematic.jpg>

[www.futurlec.com](http://www.futurlec.com). (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.futurlec.com/>:

[https://www.futurlec.com/Pictures/POTKASHAFTD\\_DIM.jpg](https://www.futurlec.com/Pictures/POTKASHAFTD_DIM.jpg)

[www.opengov.gr](http://www.opengov.gr). (n.d.). Ανάκτηση από <http://www.opengov.gr/ypoiar/?p=1446>

Βελώνη, Α. (n.d.). [http://eclass.teipir.gr/](http://eclass.teipir.gr). Ανάκτηση από

<http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/HYS103/II.%20%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%AF%CE%BF%CF%85/1.%20%CE%A0%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%>

Γ. ΒΛΑΧΟΥ, Α. (2018). *ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ*. ΑΘΗΝΑ: ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.

Γεωργίου, Χ., Γιανναράς, Γ., Κούτσικος, Η., & Τσίμας, Σ. (n.d.). *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*. ΑΘΗΝΑ: ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ ΑΘΗΝΑ.

Κεμίδης, Α., Μπαργιώτας, Δ., & Σανδαλίδης, Χ. (2001). *electricalnews.gr*. Ανάκτηση από

[https://electricalnews.gr/texnika-arthra/ilektrikes-egkatastaseis/ilektrologikes-egkatastaseis/item/download/6\\_a15c022b35d2f768aa4d63dd873bfc5d](https://electricalnews.gr/texnika-arthra/ilektrikes-egkatastaseis/ilektrologikes-egkatastaseis/item/download/6_a15c022b35d2f768aa4d63dd873bfc5d)

Κοσμαράς, Α., Τιάκας, Γ., & Παππής, Ι. (n.d.). *www.mie.uth.gr*. Ανάκτηση από  
[http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/GreekIndustryKosmarasTiakasPappis2013.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/GreekIndustryKosmarasTiakasPappis2013.pdf)

Κωνσταντίνος, Α. (n.d.). *http://eclass.teipir.gr/*. Ανάκτηση από  
<http://eclass.teipir.gr/openececlass/modules/document/file.php/AUTO111/I.%20%CE%88%CE%B%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%82%20%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD%20%CE%94%CE%B9%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%B9%CF%8E%CE%BD>.

Κωνσταντίνος, Κ. (2011-2012). *http://nefeli.lib.teicrete.gr/*. Ανάκτηση από  
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/hlk/2011/KonstantinouKonstantinos/attached-document-1359366026-756621-13592/KonstantinouKonstantinos2011.pdf>

Παπουτσιδάκης, Μ. (n.d.). Ανάκτηση από <http://eclass.teipir.gr/>:  
<http://eclass.teipir.gr/openececlass/modules/document/file.php/AUTO104/I.%20%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%98%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%82/%CE%95%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AD%CF%82%20-%20Controllers.pdf>

Σ.Βασιλειάδου, Δ. . (2005). *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου ΙΙ*. Αθήνα: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ Ε.Π.Ε.

Σ.Βασιλειάδου, Δ. (2005). *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου Ι*. Αθήνα: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ Ε.Π.Ε.

Χριστόδουλος, Χ. (2018, Μάρτιος 16). *https://kemioteko.gr/*. Ανάκτηση από  
<https://kemioteko.gr/index.php/news/438-177gr-katigories-viomixanikon-egkatastaseon>

[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

## ΕΙΚΟΝΕΣ:

(<https://slideplayer.gr/>, n.d.)

(<https://www.ariston.com/>, n.d.)

(<http://www.projectsatabangalore.com/>, n.d.)

(<https://sc01.alicdn.com/>, n.d.)

(<https://sc01.alicdn.com/>, n.d.)

([sxetakis.gr](http://sxetakis.gr), n.d.)

([/www.t9hobbysport.com](http://www.t9hobbysport.com), n.d.)

([www.electroschematics](http://www.electroschematics.com), n.d.)

(<http://www.circuitous.ca/>, n.d.)

([cdn.shopify.com](https://cdn.shopify.com), n.d.)

([grobotronics.com](http://grobotronics.com), n.d.)

([www.futurlec.com](http://www.futurlec.com), n.d.)

([www.electronics-tutorials.ws](http://www.electronics-tutorials.ws), n.d.)

([i.pining.com](http://i.pining.com), n.d.)