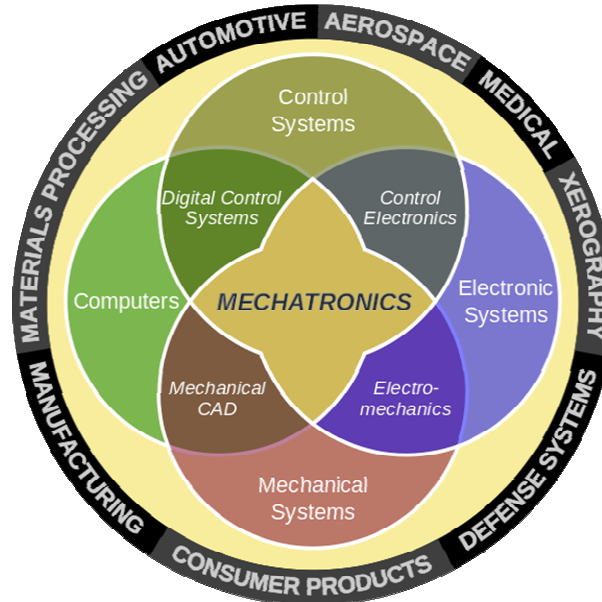




**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**



**ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**Σχεδίαση και κατασκευή συστήματος μέτρησης πίεσης και μήκους  
(Spring Rate Tester)**

Φοιτητής:

**Καλυβίδης Παναγιώτης**  
(ΑΜ: 080003)

Επιβλέπων Καθηγητής:

**Δρ. Κοσμάνης Θεόδωρος**

**Θεσσαλονίκη Δεκέμβριος 2013**

*Η εικόνα που χρησιμοποιείται στο εξώφυλλο (σελίδα 1) πάρθηκε από το διαδίκτυο. Από τη σελίδα :*

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mecha\\_workaround.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mecha_workaround.svg)

# Περιεχόμενα

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Μηχατρονική

1.1.2 Ιστορική εξέλιξη της Μηχατρονικής

1.1.3 Εφαρμογές Μηχατρονικής

### 1.2. Μικροελεγκτής ( microcontroller)

1.2.1. Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών

1.2.2. Εφαρμογές μικροελεγκτών

1.2.3. Κατασκευαστές μικροελεγκτών

### 1.3. Αισθητήρες ( Sensors )

1.3.1. Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

1.3.2. Ταξινόμηση Αισθητήρων

1.3.3. Σύστημα Αισθητήρων

1.3.4. Εφαρμογές Αισθητήρων

## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΕΛΑΤΗΡΙΑ

### 2.1. Ανάρτηση Αυτοκινήτου

### 2.2. Στιβαρότητα Ελατηρίου

2.2.1. Νόμος του Hooke για τα ελατήρια

2.2.2. Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων

### 2.3. Μέτρηση Στιβαρότητας Ελατηρίου ανάρτησης αυτοκινήτου

2.3.1. Θεωρητική μέθοδος

2.3.2. Πειραματική μέθοδος

## 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

### 3.1. Περιγραφή της Πειραματικής Διάταξης

### 3.2. Μηχανικά εξαρτήματα

3.2.1. Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας

3.2.2. Υδραυλική αντλία

3.2.3. Υδραυλικός κύλινδρος

3.2.4. Άνω βάση στήριξης του ελατηρίου

3.2.5. Οδηγός άνω βάσης

3.2.6. Κάτω βάση στήριξης του ελατηρίου

3.2.7. Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης

3.2.8. Διάταξη σε θέση λειτουργίας

### 3.3. Ηλεκτρικά- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα

- 3.3.1. Ηλεκτροκινητήρας
- 3.3.2. Ηλεκτροβαλβίδες κίνησης εμβόλου
- 3.3.3. Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης
- 3.3.4. Αισθητήρας μέτρησης πίεσης
- 3.3.5. Τροφοδοτικό 12 Vdc
- 3.3.6. Μονάδα επεξεργασίας σημάτων – δεδομένων
  - 3.3.6.1. DATAQ
  - 3.3.6.2. Arduino
- 3.3.7. Ηλεκτρικά κυκλώματα
  - 3.3.7.1. Ρελέ-διακόπτης
  - 3.3.7.2. μετατροπείς αναλογικών σημάτων
- 3.3.8. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ-ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

- 4.1. Προγραμματισμός
- 4.2. Arduino IDE
  - 4.2.1. Περιγραφή του προγράμματος της Διάταξης
  - 4.2.2. Κώδικας
    - 4.2.2.1. Διαδικασία Μέτρησης
    - 4.2.2.2. Διαδικασία βαθμονόμησης των αισθητήρων

## 5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 5.1. Αποτελέσματα

## 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- 6.1. Παράρτημα 1- Αισθητήρας μετατόπισης OPKON ELPT300
- 6.2. Παράρτημα 2- Αισθητήρας πίεσης Kellerdruck 21RE series
- 6.3. Παράρτημα 3 - Dataq Di-145 starter kit
- 6.4. Παράρτημα 4 - ARDUINO

## 7. Βιβλιογραφία

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μηχανολογικού συστήματος για τον προσδιορισμό της στιβαρότητας ελικοειδών ελατηρίων ανάρτησης αυτοκινήτων και κατ' επέκταση διάφορων μηχανολογικών εφαρμογών.

Το πρώτο σκέλος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι μια αναφορά στην επιστήμη της μηχανικής, τους μικροελεγκτές και τους αισθητήρες. Ενώ στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα τμήματα που απαρτίζουν την κατασκευή μας και τη λειτουργία αυτών.

Για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητος ο συνδυασμός μηχανισμών κίνησης, ελέγχου και αισθητήρων οι οποίοι θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω.

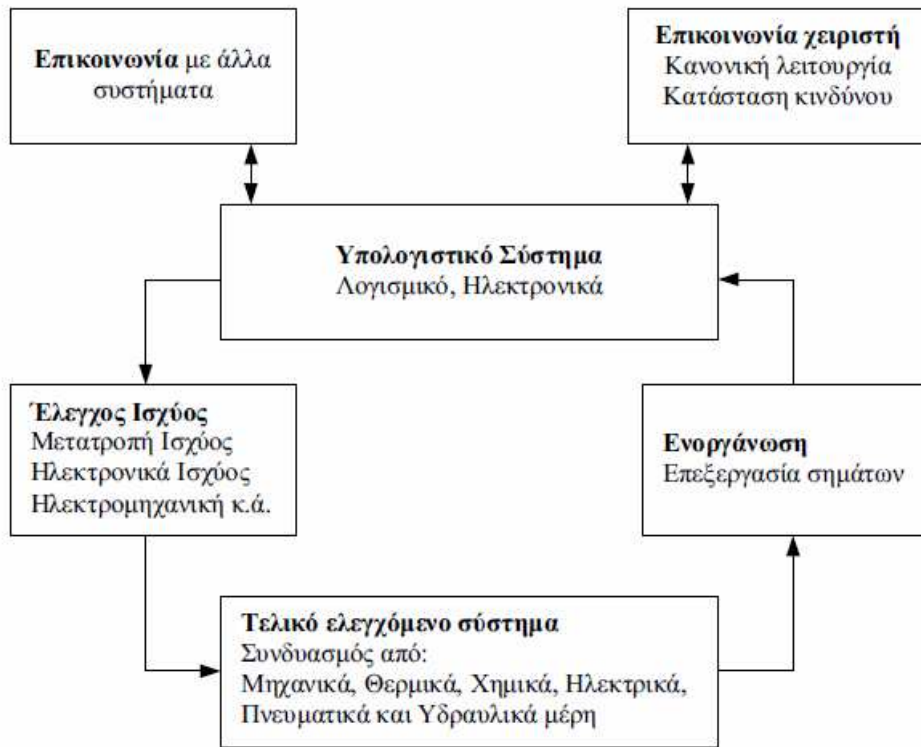
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Μηχατρονική

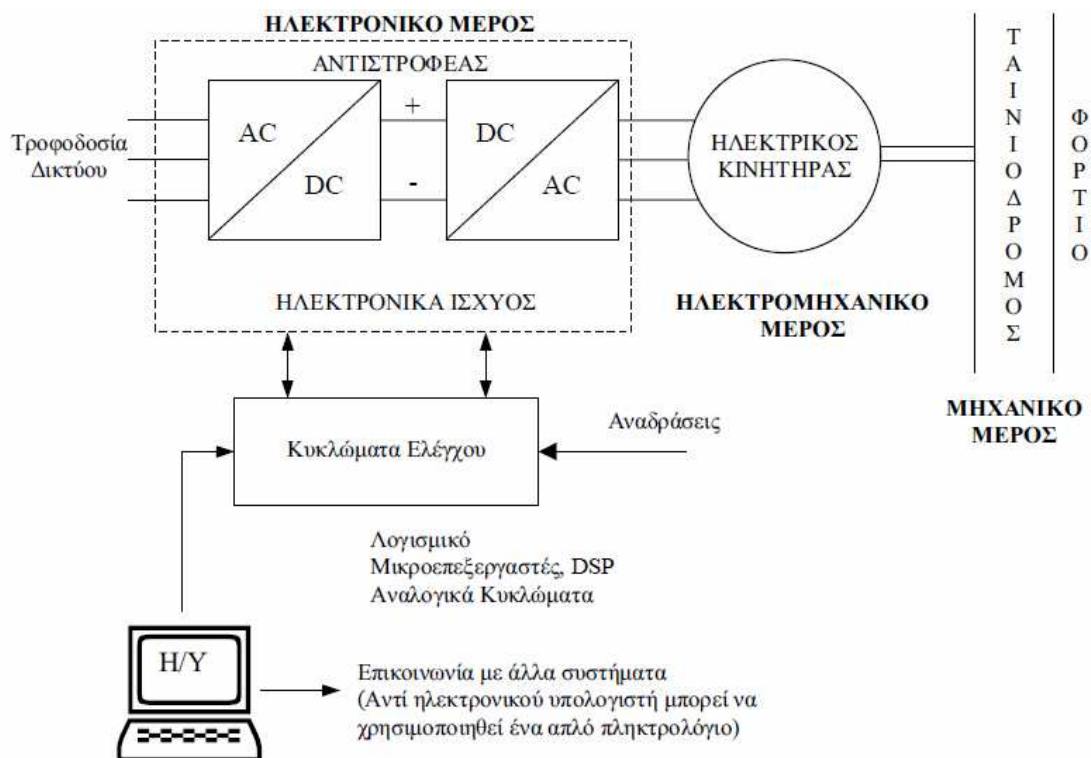
**Μηχατρονική** (Μηχανική + Ηλεκτρονική + Πληροφορική) είναι ο συνδυασμός των επιστημών της μηχανολογίας, της ηλεκτρονικής, των υπολογιστών και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, με σκοπό τον σχεδιασμό και κατασκευή νέων προηγμένων βιομηχανικών προϊόντων.

Δεν είναι κάτι το νέο βέβαια, στην ουσία υπάρχει την τελευταία 40ετία με τα δημιουργήματά της να έχουν πραγματική και πολύ αξιόλογη εφαρμογή τα τελευταία, περίπου 15 χρόνια, με τις εφαρμογές της να βρίσκουν απήχηση σε όλους τους κλάδους της επιστήμης (βιομηχανία, αεροναυπηγική, υγεία, γεωργία, μηχανολογία κλπ.).

Ένα σύστημα μηχατρονικής παράλληλα με την μηχανική του δομή και τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης, αποτελείται και από ένα σύνολο ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (αισθητήρες(sensors), τροφοδοτικά (power supply), ενεργοποιητές (actuators), κάρτες απόκτησης δεδομένων (Data Acquisition System, DAQ), ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (Digital Signal Processor, DSP), μικροελεγκτών (microcontrollers) ανάλογα με τον σκοπό της εφαρμογής μας.



Σχήμα 1-1: Δομικό διάγραμμα συστήματος Μηχατρονικής [2]



Σχήμα 1-2: Τυπικό σύστημα Μηχατρονικής (σύστημα ηλεκτρικής κίνησης) [2]

Όπως βλέπουμε και από τα σχήματα 1-1 και 1-2 η τεχνολογία της Μηχατρονικής πηγάζει κάθε φορά που διασταυρώνονται οι ακόλουθες επιστήμες:

- Μηχανική
- Ηλεκτρονική – Αισθητήρες
- Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές- Λογισμικό
- Έλεγχος
- Μετατροπή ενέργειας

### 1.1.2 Ιστορική εξέλιξη της Μηχατρονικής

[2] Η τεχνολογία της Μηχατρονικής χρησιμοποιήθηκε στην Ιαπωνία στο τέλος του '60 από την εταιρία Yaskawa Electric Co. για εφαρμογές ελέγχου ηλεκτρικών κινητήρων μέσω ηλεκτρονικών Υπολογιστών. Κατά τη διάρκεια του '70 η Μηχατρονική συγκεντρώνεται περισσότερο γύρω από τη τεχνολογία των σερβοκινητήρων με εφαρμογές στον αυτόματο έλεγχο μικροκινητήρων, αυτόματο έλεγχο κινητήρων εστίασης φακών για φωτογραφικές μηχανές, αυτόματους πωλητές μικροποϊόντων (vending machines) κ.α. Κατά τη δεκαετία του '80 η τεχνολογία της μηχατρονικής χρησιμοποιεί την επιστήμη των μικροεπεξεργαστών σε μηχανολογικά συστήματα έτσι ώστε να πετύχει καλύτερη συμπεριφορά των συστημάτων καθώς και τη μείωση του κόστους αυτών. Ρομποτικά συστήματα και συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου ηλεκτρικών κινητήρων με τη χρησιμοποίηση των μικροεπεξεργαστών ή /και των ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (Digital Signal Processor, DSP) πετυχαίνουν καλύτερη συμπεριφορά, μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος ( γίνονται περισσότερο συμπαγή), περισσότερες δυνατότητες ελέγχου, μεγαλύτερη αξιοπιστία και μικρότερο κόστος. Επίσης, κατά τη δεκαετία του '80 η Μηχατρονική ασχολείται με τα ηλεκτρονικά συστήματα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90 στα αντικείμενα της Μηχατρονικής προστίθεται η τεχνολογία των επικοινωνιών έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα στα διάφορα σύστημα ή προϊόντα της Μηχατρονικής να συνδέονται υπό τη μορφή δικτύου. Αυτή η εξέλιξη έδωσε νέες λειτουργικές δυνατότητες ελέγχου ρομποτικών συστημάτων από απόσταση, καθώς και έλεγχο οχημάτων από απόσταση. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90 η



τεχνολογία της μηχανικής ασχολείται επίσης με θέματα βιοϊατρικής (τηλεχειρουργική, τεχνητή καρδιά κ.α.) και με ειδικά μικρού όγκου επιταχύμετρα ( accelerometers) τα οποία ενεργοποιούν τους αερόσακους ασφάλειας οχημάτων. Επίσης, στην αυτοκινητοβιομηχανία βρίσκει εφαρμογές στα ηλεκτρικά κιβώτια ταχυτήτων.

Επομένως, από την ιστορική εξέλιξη της Μηχανικής μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επιστήμη αυτή εξελίσσεται καθημερινά προσφέροντας εξελιγμένα βιομηχανικά προϊόντα και προηγμένα βιομηχανικά συστήματα παραγωγής.

### **1.1.3 Εφαρμογές Μηχανικής**

Τα ακόλουθα συστήματα ή βιομηχανικά προϊόντα είναι μερικά από τα αποτελέσματα της μηχανικής :

- **Ρομπότ**
- **Βιοϊατρικά συστήματα ( Τηλεχειρουργικά μηχανήματα, έξυπνα χάπια, τεχνητή καρδιά κ.α.)**
- **Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης**
- **Ηλεκτρικά αυτοκίνητα και άρματα**
- **Συστήματα ελέγχου μικτροκινητήρων**
- **Συστήματα ασφάλειας αυτοκινήτων με αερόσακους**
- **Αυτόματα συστήματα προσγείωσης αεροπλάνων**
- **Ηλεκτρικά κιβώτια ταχυτήτων**
- **Ανεμογεννήτριες και Υδροηλεκτρικά εργοστάσια**
- **Συστήματα ελέγχου έξυπνων κατοικιών και κτιρίων**
- **Φωτογραφικές μηχανές, φωτοτυπικά μηχανήματα, πλυντήρια αυτόματα μηχανήματα πώλησης κ.α.**
- **Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλοίων**
- **Συστήματα παραγωγής προϊόντων**
- **Ταινιόδρομοι**

[2]

## 1.2.1 Μικροελεγκτής ( microcontroller)

Μεγάλο κεφάλαιο στο χώρο της μηχανικής κατέχουν οι μικροελεγκτές, καθώς είναι το στοιχείο το οποίο μαζί με τους αισθητήρες είναι η βάση για τη δομή ενός μηχανικού συστήματος.

Μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου/εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές.



Σχήμα 1-3: Μικροελεγκτής τύπου Arduino

Θα μπορούσε να παρομοιαστεί με έναν μικροϋπολογιστή. Όπως ακριβώς ένας μικροϋπολογιστής έχει επεξεργαστή, μνήμη, περιφερειακές συσκευές και εκτελεί προγράμματα έτσι κι ένας μικροελεγκτής διαθέτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά και μάλιστα ολοκληρωμένα σε ένα μόνο chip. Το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στη μνήμη προγράμματος.

## 1.2.2 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές γενικά προγραμματίζονται σε γλώσσες χαμηλού επιπέδου. Τελευταία όλο και περισσότεροι προγραμματιστές επιλέγουν γλώσσες υψηλότερο επιπέδου.

Ως γλώσσα χαμηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο υλικό (γλώσσα μηχανής, assembly).

Ως γλώσσα υψηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία είναι αυστηρά δομημένη και υπάρχει συγκεκριμένος compiler ο οποίος μετατρέπει το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής για το συγκεκριμένο μικροελεγκτή.

### Πλεονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

Ο προγραμματιστής έχει τον απόλυτο έλεγχο της συμπεριφοράς του μικροελεγκτή.

- Μπορεί να επιτύχει με απόλυτη ακρίβεια διάφορους χρονισμούς.
- Δεν απαιτείται η δαπάνη για την αγορά assembler καθώς συνήθως διατίθεται δωρεάν από την κατασκευάστρια εταιρεία

### Μειονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Απαιτείται μεγαλύτερος κόπος για την εκμάθηση της συμβολικής γλώσσας του εκάστοτε μικροελεγκτή.
- Τα προγράμματα που δημιουργούνται σε συμβολική γλώσσα δεν είναι ευανάγνωστα και ο προγραμματιστής δυσκολεύεται να θυμηθεί τη λογική που έχει εφαρμόσει όταν χρειάζεται να κάνει τροποποιήσεις εκ των υστέρων.
- Είναι δυσκολότερο να δουλέψουν πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.

### Πλεονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Είναι ευκολότερη η ανάπτυξη μεγάλων και σύνθετων προγραμμάτων.
- Μπορούν να δουλέψουν πιο εύκολα πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.

### Μειονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Σε εφαρμογές με κρίσιμους χρονισμούς είναι δυσκολότερη η συγγραφή κώδικα που ανταποκρίνεται στους χρονισμούς αυτούς.
- Μερικές φορές η δαπάνη για την αγορά compiler δεν αποτελεί αμελητέο μέγεθος
- Σε παλιότερους compilers ο κώδικας μηχανής που παραγόταν δεν ήταν βελτιστοποιημένος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικροελεγκτής με πολύ περισσότερη μνήμη.
- Οι compilers που κυκλοφορούν σήμερα διαθέτουν εξελιγμένα εργαλεία για βελτιστοποίηση (optimization) του κώδικα και έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη ακόμα και των πιο δύσπιστων προγραμματιστών.

Οι μικροελεγκτές βρίσκουν πλέον εφαρμογή οπουδήποτε απαντώνται συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου όπως:

- Σε κυκλώματα τηλεπικοινωνιών
- Σε συστήματα τηλεματικής
- Σε συστήματα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition)
- Σε εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος
- Σε συστήματα διασύνδεσης
- Σε εφαρμογές δικτύων

Όταν λέμε ενσωματωμένα συστήματα (Embedded Systems) εννοούμε συστήματα τα οποία είναι βασισμένα σε μικροεπεξεργαστή (ή επίσης FPGA ή DSP). Υπάρχουν δεκάδες εταιρείες παγκοσμίως που κατασκευάζουν μικροελεγκτές. Οι περισσότερες εταιρείες παράγουν μεγάλη γκάμα μικροελεγκτών. Από πολύ μικρούς και φθηνούς για απλές εφαρμογές έως ιδιαίτερα προηγμένους για πολύ απαιτητικές εφαρμογές. [3]

### 1.3.1 Αισθητήρες ( Sensors )

**Αισθητήρας** ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Για παράδειγμα, το υδραργυρικό θερμόμετρο μετατρέπει τη μετρούμενη θερμοκρασία σε διαστολή, η οποία μπορεί να αναγνωστεί από ένα βαθμονομημένο σωλήνα.

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κουμπιά ανελκυστήρων ευαίσθητα στην αφή και λάμπες φωτισμού που εκπέμπουν λαμπρότερα ή απαλότερα αγγίζοντας τη βάση τους. Υπάρχουν αναρίθμητες ακόμη χρήσεις που οι περισσότεροι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται. Εφαρμογές τους συναντούμε στα αυτοκίνητα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία και τη ρομποτική.

### 1.3.2 Γενικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>Εύρος</b>	Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα.
<b>Ακρίβεια</b>	Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.
<b>Σφάλμα</b>	Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.
<b>Ανοχή</b>	Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.
<b>Διακριτική Ικανότητα</b>	Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.
<b>Ευαισθησία</b>	Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς την αλλαγή εισόδου, είναι ίση με

	τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.
<b>Βαθμονόμηση</b>	Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.
<b>Νεκρή ζώνη</b>	Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.
<b>Γραμμικότητα</b>	Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο του αισθητήρα.
<b>Απόκριση</b>	Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει την τελική τιμή η έξοδος
<b>Καθυστέρηση</b>	Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.
<b>Ευστάθεια</b>	Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.
<b>Υστέρηση</b>	Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.
<b>Επαναληψιμότητα</b>	Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.
<b>Ολίσθηση</b>	Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.
<b>Στατικό σφάλμα</b>	Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.
<b>Χρόνος λειτουργίας</b>	Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

[4]

### 1.3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Η αντίληψη του φυσικού κόσμου προϋποθέτει την ενασχόληση με ποικιλόμορφες φυσικές και χημικές ποσότητες, οι οποίες όσον αφορά το μετρούμενο μέγεθος διακρίνονται στις παρακάτω έξι περιοχές σήματος.

- Την περιοχή θερμικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την θερμοκρασία, την θερμότητα και τη ροή θερμότητας.
- Την περιοχή μηχανικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα τη δύναμη, την πίεση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση και τη θέση
- Την περιοχή χημικού σήματος: Τα σήματα αυτής της κατηγορίας είναι οι εσωτερικές ποσότητες ύλης, όπως είναι η συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου υλικού, η σύνθεσή του ή ο ρυθμός αντίδρασης
- Την περιοχή μαγνητικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την ένταση του μαγνητικού πεδίου, την πυκνότητα ροής και την μαγνήτιση
- Την περιοχή σήματος ακτινοβολίας: Τα σήματα αυτά είναι ποσότητες που χαρακτηρίζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως η ένταση, το μήκος κύματος, η πόλωση και η φάση
- Την περιοχή ηλεκτρικού σήματος: Με συνηθέστερα σήματα την τάση, την ένταση και το φορτίο.

Η παραπάνω ταξινόμηση αφορά τις φυσικές ποσότητες που ο **αισθητήρας** πρέπει να αντιληφθεί και έτσι είναι αυτονόητο ότι και η ταξινόμηση των αισθητήρων ακολουθεί την παραπάνω ταξινόμηση. Έτσι οι αισθητήρες διακρίνονται σε **θερμικούς, μηχανικούς, χημικούς, μαγνητικούς και ακτινοβολίας**.

Μια εναλλακτική μέθοδος ταξινόμησης των αισθητήρων βασίζεται στο κατά πόσο χρησιμοποιούν ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας. Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου χωρίς βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται **παθητικοί** ή αυτοδιεγειρόμενου σήματος εξόδου (self-generating). Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου αισθητήρα είναι το θερμοστοιχείο το οποίο παράγει μια ηλεκτροδιεγερτική δύναμη από τη διαφορά στις θερμοκρασίες επαφής.

Οι αισθητήρες που παράγουν ηλεκτρικό σήμα εξόδου με βοηθητική πηγή ενέργειας καλούνται **ενεργητικοί** ή διαμορφωμένου σήματος (modulating). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φωτοδίοδοι, τα φωτοκύτταρα και τα

θερμίστορ. Στους ενεργητικούς αισθητήρες η βοηθητική πηγή ενέργειας χρησιμεύει σαν κύρια πηγή για το σήμα εξόδου του αισθητήρα και η μετρούμενη φυσική ποσότητα το διαμορφώνει ενισχύοντας ή υποβιβάζοντας το.

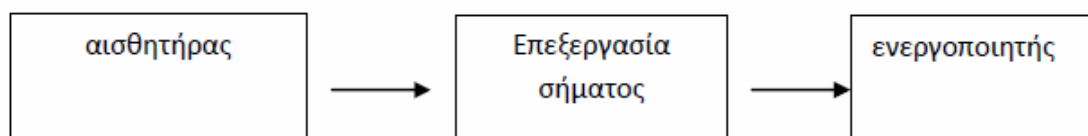
### 1.3.4 Σύστημα Αισθητήρων

Τα συστήματα αισθητήρων χρησιμοποιούνται, γενικά, για τη διεξαγωγή ελέγχων και μετρήσεων. Ο όρος μορφομετατροπέας (transducer) χρησιμοποιείται τόσο για το τμήμα εισόδου, όσο και εξόδου του συστήματος αισθητήρων.

Ο ρόλος του μορφομετατροπέα εισόδου είναι η συλλογή πληροφοριών για μια φυσική ή χημική ποσότητα από τον έξω κόσμο. Για το λόγο αυτό οι μορφομετατροπείς ονομάζονται αισθητήρες. Συχνά τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τους αισθητήρες είναι ασθενή και πρέπει να ενισχυθούν ή να υποστούν κάποιου είδους επεξεργασία. Αυτό γίνεται στο κομμάτι επεξεργασίας σήματος του συστήματος αισθητήρων.

Τέλος ο ρόλος του μορφομετατροπέα εξόδου είναι η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε μια μορφή αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις, ή η ενεργοποίηση κάποιου γεγονότος όπως για παράδειγμα το άνοιγμα ή το κλείσιμο μιας βαλβίδας. Για το λόγο αυτό οι μορφομετατροπείς συχνά καλούνται ενεργοποιητές (actuators).

Ένα απλό μπλοκ διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



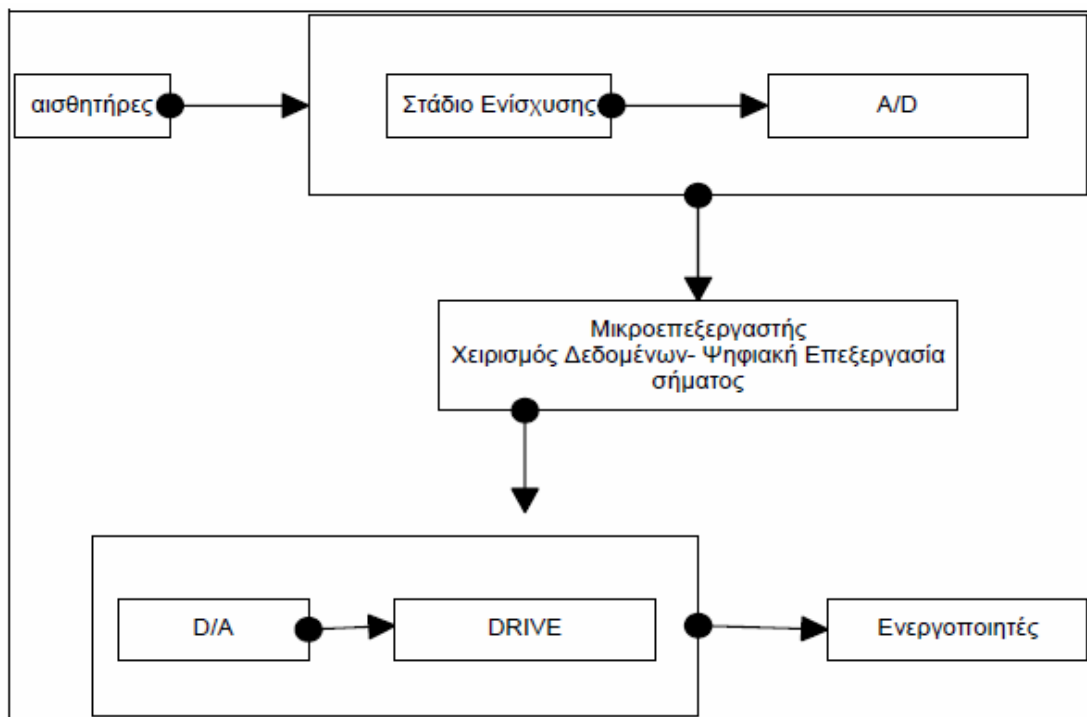
Σχήμα 1-5 : Απλό block διάγραμμα συστήματος αισθητήρα.[4]

Ένα τυπικό σύστημα αισθητήρων μπορεί να αποτελείται από πολλές διατάξεις και διαφορετικές διατάξεις της σύγχρονης μικροηλεκτρονικής. Οι διατάξεις αυτές ενισχύουν, μετατρέπουν σε ψηφιακά και τελικά εισάγουν σε ένα μικροεπεξεργαστή τα σήματα που δημιουργούνται από τον αισθητήρα. Στη συνέχεια είναι δυνατόν ο μικροεπεξεργαστής να ελέγχει μια σειρά άλλων



μικροηλεκτρονικών διατάξεων οι οποίες μετατρέπουν από ψηφιακά σε αναλογικά τα σήματα έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι σε ενεργοποιητές.

Το παρακάτω σύστημα αισθητήρα αποτελείται από διακριτά μεταξύ τους τμήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με καλωδίωση από σημείο σε σημείο. Όμως τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες όπως η συγκόλληση πλακιδίου και η τρισδιάστατη και επιφανειακή μικρομηχανική, που επιτρέπουν την παραγωγή αισθητήρων και ενεργοποιητών με τεχνολογίες συμβατές με τη συνήθη διαδικασία κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



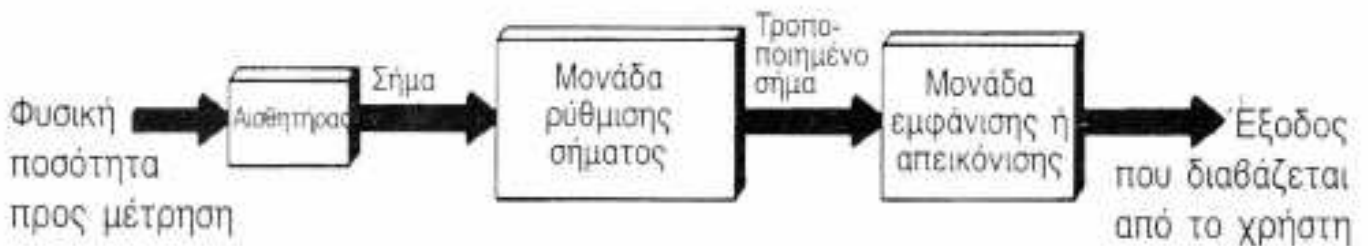
Σχήμα 1-6 : Σύστημα αισθητήρων σε ολοκληρωμένο κύκλωμα [4]

### 1.3.5 Εφαρμογές Αισθητήρων

Οι κατηγορίες συστημάτων που έχουν εφαρμογή οι αισθητήρες είναι οι ακόλουθες:

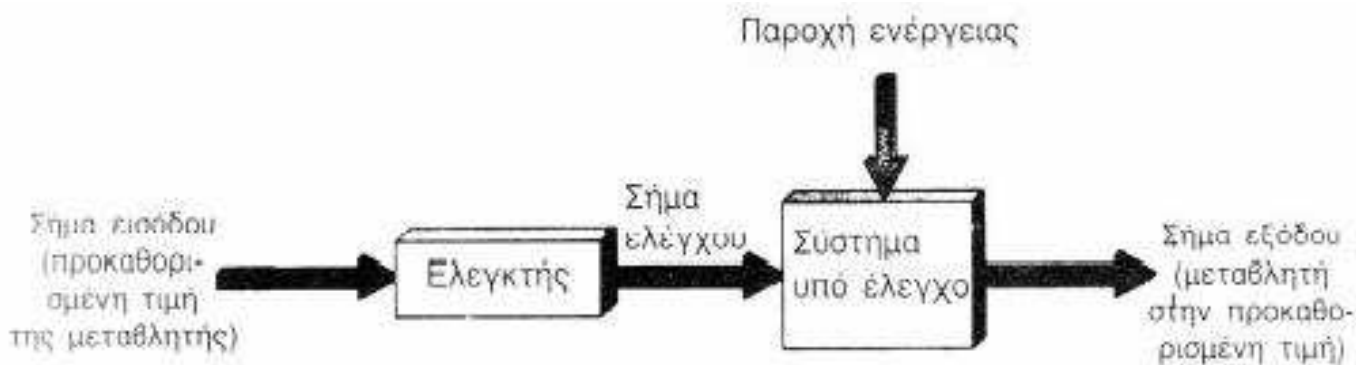
- Σύστημα μέτρησης
- Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου
- Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου

Συγκεκριμένα, ένα σύστημα μέτρησης εμφανίζει ή καταγράφει μία ποσοτική έξοδο που αντιστοιχεί στην μεταβλητή που μετρά, αλλά δεν ελέγχει την τιμή της ποσότητας εισόδου. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος μέτρησης. [4]



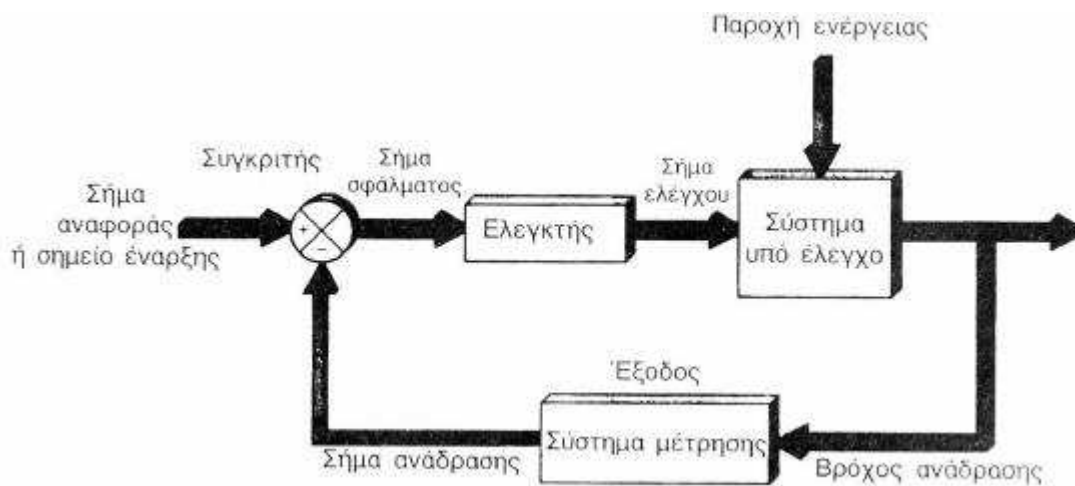
Σχήμα 1-7: Λειτουργικά στοιχεία ενός συστήματος. [4]

Η έξοδος ενός συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόγχου, όπως αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί, ελέγχεται από ένα σήμα που έχει μια προκαθορισμένη τιμή.



Σχήμα 1-8: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόγχου.  
[4]

Τέλος, ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου (βλέπε ακόλουθο σχήμα), περιλαμβάνει σύστημα μέτρησης και η κατάσταση της εξόδου επηρεάζεται άμεσα από την κατάσταση της εισόδου. Συγκεκριμένα, μετρά την τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου στην έξοδο του συστήματος και τη συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή. Η διαφορά των τιμών καλείται σφάλμα.



Σχήμα 1-9: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου  
[4]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΕΛΑΤΗΡΙΑ

### 2.1 Ανάρτηση Αυτοκινήτου

Η **ανάρτηση** αποτελεί ένα είδος ελαστικού συνδέσμου που διαχωρίζει τις αναρτημένες (όπως είναι το πλαίσιο, η μηχανή, οι επιβάτες, κτλ.) με τις μη αναρτημένες (οι τροχοί, οι δίσκοι πέδησης, οι άξονες του διαφορικού, κτλ.) μάζες ενός οχήματος. Κάθε σύστημα ανάρτησης αποτελείται από ένα σύνολο μηχανικών αρθρώσεων και συναρμογών, που συνεργάζονται με ελατήρια και αμορτισέρ και λειτουργούν για να ελέγξουν την κατακόρυφη ταλάντωση των τροχών και τη συνεπαγόμενη αυξομείωση της απόστασης τους από το αναρτημένο κυρίως σώμα του οχήματος. Η λειτουργία των αναρτήσεων αφορά αφενός την άνεση, δηλαδή την μείωση των ταλαντώσεων που φτάνουν στο αμάξωμα και στην καμπίνα των επιβατών, και αφετέρου την οδηγησιμότητα του οχήματος.

### 2.2 Στιβαρότητα Ελατηρίου

#### 2.2.1 Νόμος του Hooke για τα ελατήρια

Μια δύναμη μπορεί να κινήσει ή και να παραμορφώσει ένα σώμα. Στην περίπτωση της παραμόρφωσης, αυτή θεωρείται μόνιμη όταν εξακολουθεί να υφίσταται και μετά την άσκηση της συγκεκριμένης δύναμης στο σώμα.

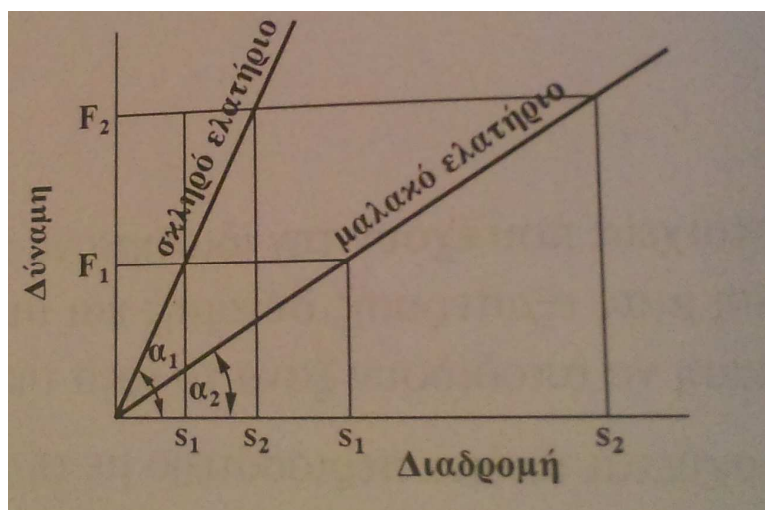
Αντίθετα, εάν το σώμα επανέλθει στο αρχικό του σχήμα τότε η παραμόρφωση ονομάζεται ελαστική. Για την περίπτωση των **ελατηρίων** ισχύει:

Τα ελατήρια είναι στοιχεία που έχουν την ιδιότητα να παραμορφώνονται κάτω από την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης και όταν επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση να αποδίδουν ξανά το έργο της παραμόρφωσης.

Η ιδιότητα αυτή ενισχύεται ακόμα περισσότερο με την χρησιμοποίηση υλικών με μεγάλη ελαστικότητα και με κατάλληλη κατασκευαστική διαμόρφωση. Υλικό και μορφή του ελατηρίου καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τις απαιτήσεις για δύναμη και διαδρομή του ελατηρίου. Όμως καθοριστικό ρόλο παίζουν επίσης το μέγεθος, το βάρος και η θερμοκρασία.

Κάθε ελατήριο παραμορφώνεται από μία δύναμη **F** το δε σημείο εφαρμογής της δύναμης μετατοπίζεται κατά τη διαδρομή **S**. Αν η διαδρομή **S** και η δύναμη **F** σχεδιαστούν σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων θα δώσουν το διάγραμμα του ελατηρίου, η δε γραμμή που θα προκύψει λέγεται χαρακτηριστική γραμμή του ελατηρίου.

Αν το ελατήριο είναι κατασκευασμένο από υλικά για τα οποία ισχύει ο νόμος του Hooke και εργάζεται χωρίς τριβές τότε η χαρακτηριστική του γραμμή είναι ευθεία. Διαδρομή **S** και δύναμη **F** είναι ποσά ανάλογα δηλαδή διπλάσια δύναμη προκαλεί διπλάσια διαδρομή. Όσο πιο μεγάλη κλίση έχει (όρθια είναι η ευθεία, τόσο μικρότερη είναι η διαδρομή για την ίδια δύναμη, δηλαδή τόσο σκληρότερο είναι το ελατήριο (σχήμα 2-1).



Σχήμα 2-1: Ευθεία χαρακτηριστική γραμμή ενός σκληρού και ενός μαλακού ελατηρίου [5]

Η δυσκαμψία του ελατηρίου εκφράζεται από το λόγο δύναμης προς τη διαδρομή που είναι ίσος με την **εφαπτομένη της γωνίας κλίσης α της χαρακτηριστικής του γραμμής**. Επειδή ο λόγος αυτός παραμένει ίδιος για όλα τα φορτία, ονομάζεται “στιβαρότητα του ελατηρίου” **K** (ή σκληρότητα – σταθερά του ελατηρίου)

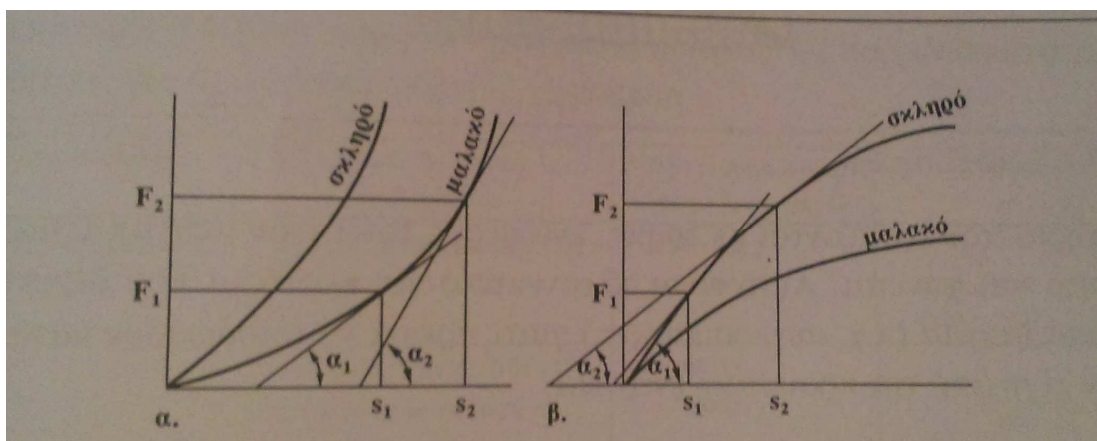
$$K = \epsilon\phi(\alpha) = F/S_1 = F_2/S_2 = (F_2 - F_1)/(S_2 - S_1) \text{ σε N/mm [5]}$$

Η στιβαρότητα του ελατηρίου είναι γενικά ο λόγος της δύναμης **F** σε Newton προς τη διαδρομή **S** σε mm. (**Νόμος του Hooke**)

Ευθείες ή περίπου ευθείες χαρακτηριστικές γραμμές έχουν π.χ. τα ελατήρια με επίπεδες λάμες, τα δισκοειδή ελατήρια τύπου στήλης, οι ράβδοι στρέψεως και τα κυλινδρικά ελικοειδή ελατήρια με τα οποία θα ασχοληθούμε στη παρούσα εργασία.

Αν η στιβαρότητα (σταθερά) του ελατηρίου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της συμπίεσης ή εφελκυσμού του τότε η χαρακτηριστική του γραμμή είναι καμπύλη. Διακρίνουμε καμπύλες με κυρτότητα προς τα άνω (progressive – προοδευτικό) (σχήμα 2-2α) και κυρτότητα προς κάτω (digressive-παρεκβατικό) (σχήμα 2-2β). Οι πρώτες δείχνουν ότι το ελατήριο γίνεται σκληρότερο όσο αυξάνει το φορτίο, πράγμα που είναι επιθυμητό π.χ. στα ελατήρια ανάρτησης οχημάτων. Οι δεύτερες δείχνουν αντίθετα ότι το ελατήριο γίνεται μαλακότερο όσο αυξάνει το φορτίο. Αυτό είναι επιθυμητό όταν, μετά από μια ορισμένη φόρτιση, απαιτείται μεγαλύτερη διαδρομή που να αντιστοιχεί σε αύξηση της δύναμης, όπως συμβαίνει σε ελατήρια ρυθμιστικών πίεσης.

Σε αυτή την περίπτωση την καμπύλη γραμμή δεν την εκφράζει ο **Νόμος του Hooke** αλλά θα πρέπει να βρεθεί η μαθηματική εξίσωση που την εκφράζει με τη **μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων**. [5]



Σχήμα 2-2(α, β): Καμπύλες χαρακτηριστικές γραμμές, α. με κυρτότητα προς τα άνω (progressive), β. με κυρτότητα προς τα κάτω ( digressive). [5]

### 2.2.2 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων

Εάν είναι γνωστό ότι η μετρούμενη ποσότητα  $y$  (εξαρτημένη μεταβλητή) είναι γραμμική συνάρτηση του  $x$  (ανεξάρτητη μεταβλητή), είναι δηλαδή

$$y = a_0 + a_1 x$$

οι πιο πιθανές τιμές του  $a_0$  (τομή στην αρχή των αξόνων) και του  $a_1$  (κλίσης) μπορούν να εκτιμηθούν από μια ομάδα  $n$  ζευγών πειραματικών δεδομένων  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , στα οποία οι τιμές  $y$  είναι "μολυσμένες" με τυχαίο σφάλμα κανονικής κατανομής και με μηδενική μέση τιμή (π.χ. πειραματική



Ανάλογες (αν και πολύ πιο σύνθετες) εξισώσεις λαμβάνονται και για τους συντελεστές πολυωνύμων υψηλότερου βαθμού. Η χρήση των εξισώσεων αυτών (για  $m > 1$ ) δεν είναι πρακτική και οι εξισώσεις αυτές δεν χρησιμοποιούνται σχεδόν ποτέ. Απλούστερη είναι η κατάστρωση του συστήματος των κανονικών εξισώσεων και η λύση του. Η λύση του συστήματος, δηλ. ο υπολογισμός του διανύσματος των συντελεστών  $a_0, a_1, \dots, a_n$ , γίνεται συνήθως με τη βοήθεια **υπολογιστή**.

Η ποιότητα της προσαρμογής εκτιμάται από τον "συντελεστή προσδιορισμού",  $r^2$  (coefficient of determination) που παρέχεται από την εξίσωση:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

όπου  $\hat{y}_i$  είναι η υπολογιζόμενη (μέσω του πολυωνύμου) τιμή του  $y$  η οποία αντιστοιχεί στην τιμή  $x_i$  και  $\bar{y}$  είναι η μέση τιμή των πειραματικών τιμών  $y$ . Είναι πάντοτε  $0 \leq r^2 \leq 1$ . Αν είναι επακριβώς  $r^2 = 1$  τότε υπάρχει τέλεια προσαρμογή και η καμπύλη διέρχεται από όλα τα πειραματικά σημεία. Όσο μικρότερος είναι ο  $r^2$  από το 1, τόσο η διασπορά των σημείων γύρω από την άριστη καμπύλη προσαρμογής αυξάνει. Άλλο μέτρο της ποιότητας προσαρμογής είναι το ίδιο το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων  $S$ , το οποίο προφανώς μηδενίζεται όταν υπάρχει απόλυτη προσαρμογή. [6]



## 2.3 Μέτρηση Στιβαρότητας Ελατηρίου ανάρτησης αυτοκινήτου

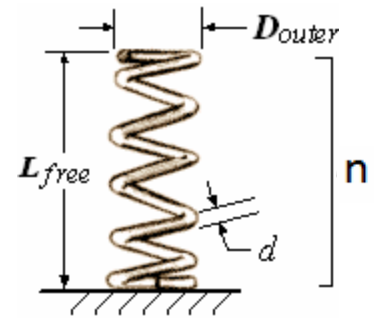
Υπάρχουν δύο τρόποι να προσδιορίσουμε τη στιβαρότητα ενός ελατηρίου αυτοκινήτου αν αυτή δεν μας δίνεται από κάποιο τεχνικό εγχειρίδιο:

- Θεωρητική μέθοδος
- Πειραματική μέθοδος

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με ελικοειδή ελατήρια ανάρτησης οχημάτων. Για τα ελικοειδή ελατήρια ισχύει:

Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός ελατηρίου και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο μπορούμε να υπολογίσουμε τη σκληρότητα του. Η συνάρτηση που εκφράζει τη σκληρότητα του σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κατασκευής του είναι:

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} \quad [5]$$



Όπου

**K** η στιβαρότητα του ελατηρίου σε N/mm

**G** το μέτρο διάτμησης του υλικού του ελατηρίου σε N/mm<sup>2</sup> (ανάλογα με τη περιεκτικότητα του χάλυβα σε άνθρακα, χρώμιο κ.α. Το μέτρο ελαστικότητας για χάλυβες ελατηρίων κυμαίνεται από  $11,4 \cdot 10^6$  και  $11,7 \cdot 10^6$ )

**d** η διάμετρος του σύρματος του ελατηρίου σε mm

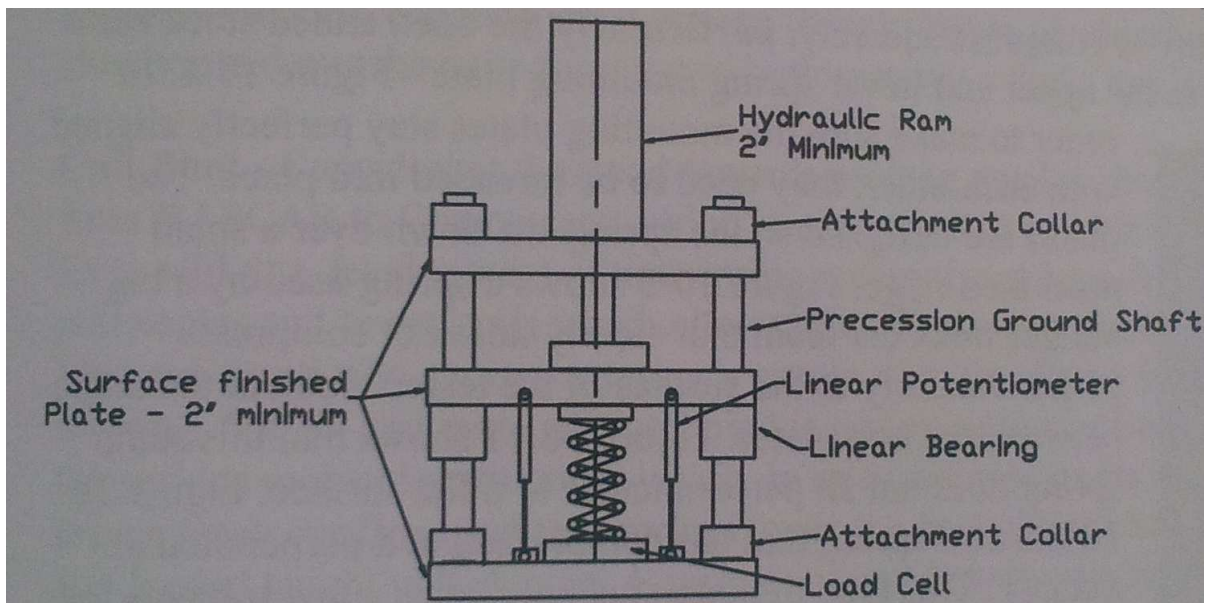
**D** η διάμετρος του ελατηρίου σε mm

**n** ο αριθμός των ενεργών σπειρών του ελατηρίου

Με αυτή τη μέθοδο μπορούμε μόνο να προσεγγίσουμε την πραγματική τιμή ενός ελατηρίου διότι κάνουμε αρκετές παραδοχές για στοιχεία που δεν γνωρίζουμε όπως τη μεταλλουργική διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή του ελατηρίου (ψυχρή-θερμή έλαση, θερμική κατεργασία υλικού), κόπωση του ελατηρίου από τη χρήση, την ακριβή τιμή του μέτρου διάτμησης.

### 2.3.2 Πειραματική μέθοδος

Για τη μέτρηση της στιβαρότητας ενός ελατηρίου με τη πειραματική μέθοδο χρειαζόμαστε μια διάταξη όπου θα πιέζουμε με κάποια δύναμη το ελατήριο και θα παίρνουμε μετρήσεις για τη δύναμη που εφαρμόζουμε και τη μετατόπιση προκύπτει από αυτή. Έτσι αν παίρνουμε μετρήσεις για την δύναμη που ασκούμε στο ελατήριο “βηματικά” ανά μονάδα μήκους, παίρνουμε ένα διάγραμμα για τη στιβαρότητα του ελατηρίου σε ένα ευρύ φάσμα μετατόπισης.



Σχήμα 2-3: Σχέδιο πειραματικής διάταξης μέτρησης στιβαρότητας ελατηρίου. [7]

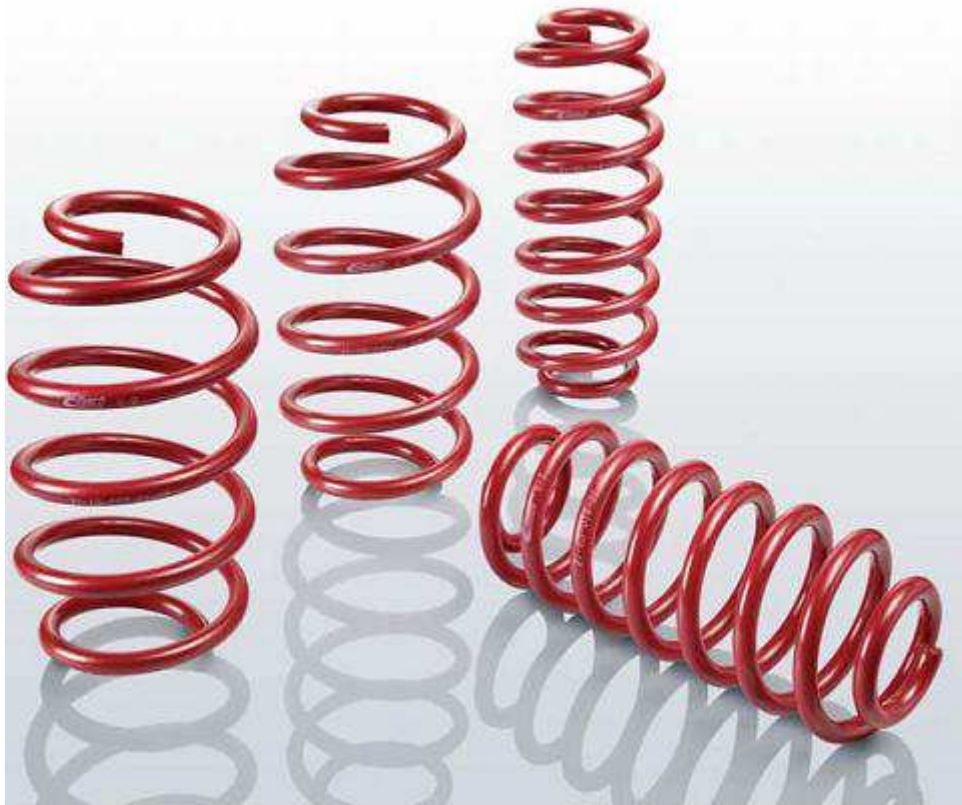
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

### 3.1 Περιγραφή της Πειραματικής Διάταξης

Σκοπός αυτής της πειραματικής διάταξης είναι η μέτρηση της σιβαρότητας ενός ελατηρίου ανάρτησης αυτοκινήτου σε όλο το φάσμα της λειτουργίας - κίνησής του και να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του,

- Γραμμικό
- Μη-γραμμικό

Όσο και ως προς την **αλλοίωση** των χαρακτηριστικών του από τη χρήση και τον χρόνο.



Σχήμα 3-1: Ελατήρια Ανάρτησης Αυτοκινήτου

Για να επιτύχουμε το σκοπό μας χρειαζόμαστε:

- Μια κινητήρια δύναμη που θα πιέζει κατακόρυφα το ελατήριο
- Έναν αισθητήρα για τη μέτρηση αυτής της δύναμης
- Έναν αισθητήρα για τη μέτρηση της μετατόπισης κατά την εφαρμογή της δύναμης στο ελατήριο.
- Μια μονάδα ελέγχου που να συλλέγει τις τιμές των αισθητήρων, να κάνει τους κατάλληλους υπολογισμούς και να τα απεικονίζει σε μία οθόνη
- Μια βάση για τη στήριξη του ελατηρίου
- Μια μεταλλική κατασκευή για να στηριχθούν τα ανωτέρω.

Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **Μηχανικά**
- **Ηλεκτρονικά-Ηλεκτρικά**

## 3.2 Μηχανικά εξαρτήματα

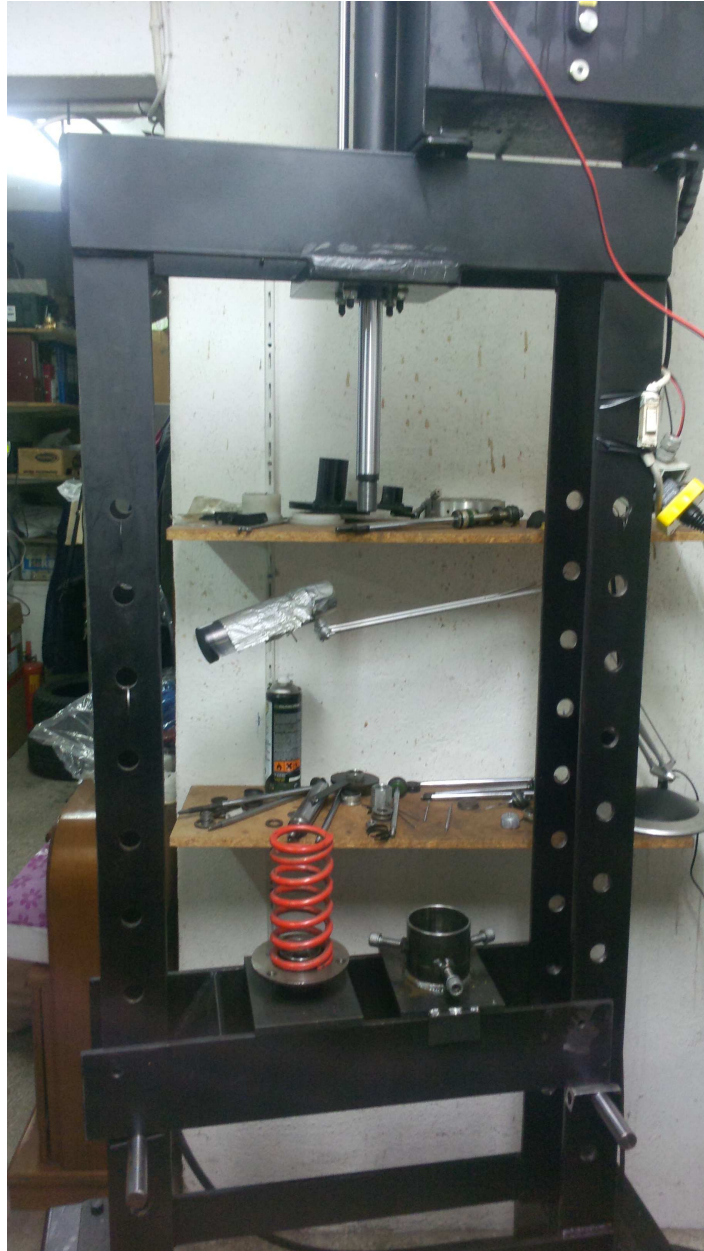
Τα μηχανικά κομμάτια από τα οποία αποτελείται η κατασκευή μας επιγραμματικά είναι:

- Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας
- Υδραυλική αντλία
- Υδραυλικός βραχίονας (έμβολο, διωστήρας-βάκτρο)
- Άνω βάση στήριξης του ελατηρίου
- Οδηγός άνω βάσης
- Κάτω βάση στήριξης του ελατηρίου
- Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης

### 3.2.1. Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας

Το πλαίσιο της υδραυλικής πρέσας είναι η βάση πάνω στην οποία θα στηριχτούν όλα τα εξαρτήματα και το στοιχείο το οποίο θα παραλαμβάνει όλα τα φορτία κατά τη μέτρηση και θα πρέπει αρκετά στιβαρό για να παραμένει απαραμόρφωτο από τις δυνάμεις που θα του ασκούνται ώστε να μην αλλοιωθούν τα αποτελέσματα της μέτρησης και τα χαρακτηριστικά της κατασκευής του. Κατασκευάστηκε σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τυποποιημένου μηχανήματος με διαστάσεις (Υψος:1600mm, Μήκος: 800mm,

Πλάτος: 200mm), είναι κατασκευασμένο από λάμες χάλυβα st37 πάχους 10mm και πλάτους 100mm. Η αντοχή του εκτιμάται σε 10t κάθετου φορτίου.



Σχήμα 3-2: Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας

### 3.2.2 Υδραυλική αντλία

Η υδραυλική αντλία είναι το εξάρτημα που μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του ηλεκτροκινητήρα σε πίεση και αυτή η πίεση μετατρέπεται με τη σειρά της σε κάθετη κίνηση του εμβόλου, το οποίο με τη σειρά του κινεί την ράβδο επενέργειας (βάκτρο).

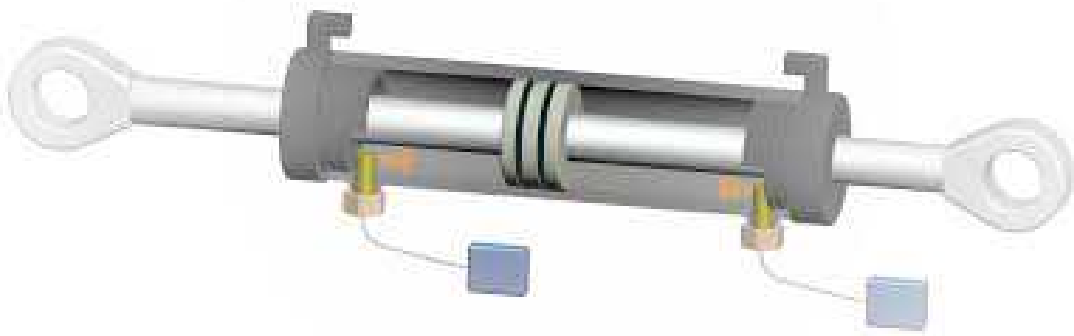


Σχήμα 3-4: Υδραυλική αντλία [8]

### 3.2.3 Υδραυλικός κύλινδρος (εμβολο, διωστήρας-βάκτρο)

Για τις ανάγκες της κατασκευής κρίθηκε κατάλληλη η χρήση εμβόλου  $\Phi 40\text{mm}$  και βάκτρου  $\Phi 30\text{mm}$  για την υδραυλική πρέσα και αντλία παροχής  $1,2\text{ Lt/h}$  σύμφωνα με τον ηλεκτροκινητήρα που επιλέχθηκε για να έχουμε μέγιστη πίεση στο υδραυλικό κύκλωμα  $300\text{ bar}$  και την κατάλληλη ταχύτητα στην κίνηση του εμβόλου  $2\text{cm/sec}$ .

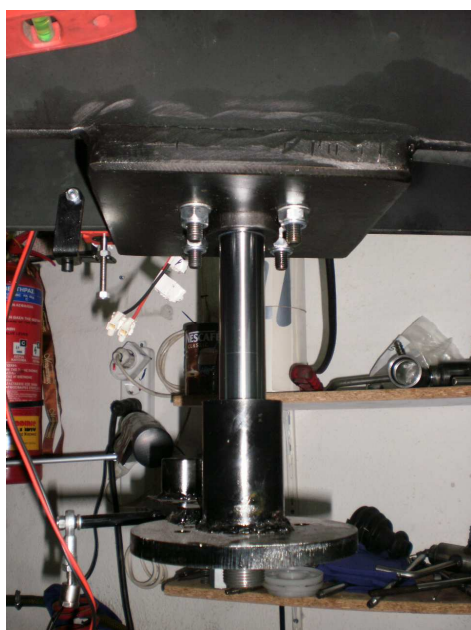




Σχήμα 3-5: Τυπικό σχέδιο υδραυλικού κυλίνδρου διπλής ενέργειας [8]



Σχήμα 3-6: Έμβολο και βάκτρο υδραυλικού κυλίνδρου

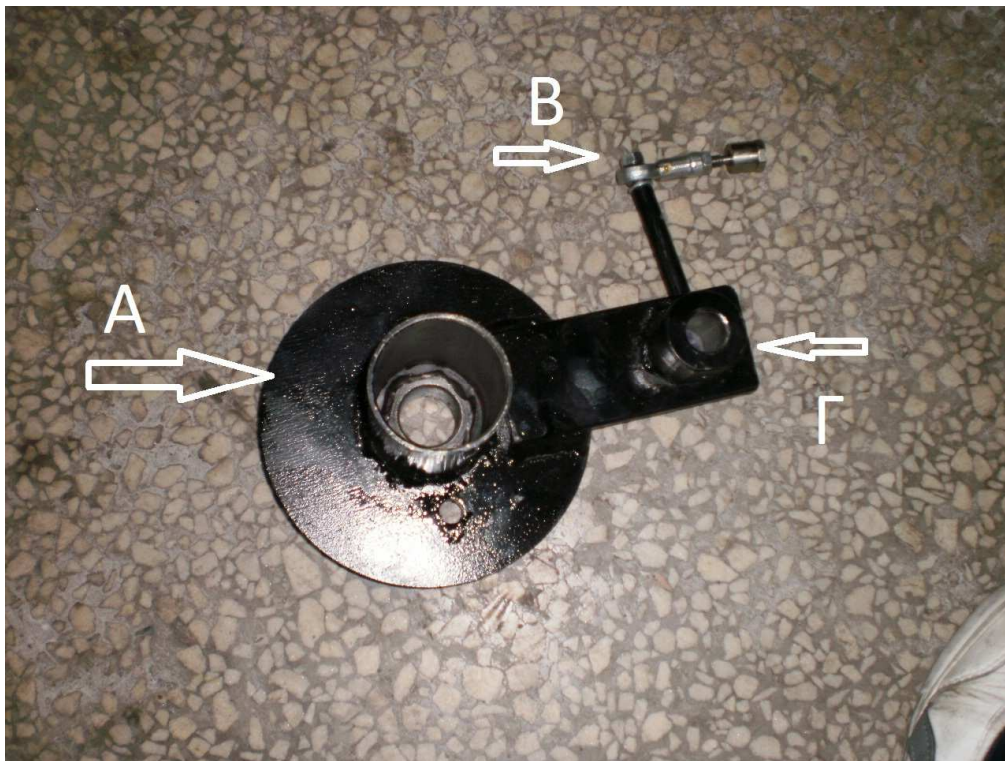


Σχήμα 3-7.1-7.2: Έμβολο και βάκτρο της κατασκευής μας

### 3.2.4 Άνω βάση στήριξης του ελατηρίου

Μετά από εκτεταμένες δοκιμές και έρευνα, κατασκευάστηκε η άνω βάση στήριξης των ελατηρίων. Ο ρόλος αυτού του εξαρτήματος είναι το κεντράρισμα του ελατηρίου στο βάκτρο του εμβόλου της πρέσας για την αποφυγή ατυχημάτων **(α)**, η στήριξη του στελέχους του αισθητήρα γραμμικής μετατόπισης **(β)**, η στήριξη του οδηγού της βάσης **(γ)**.

Η εξωτερική διάμετρος του πιατέλου αντιστοιχεί στη μέγιστη διάμετρο των πιο κοινά χρησιμοποιούμενων ελατηρίων σε επιβατικά αυτοκίνητα (υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής πιατέλου-αντάπτορα για την τοποθέτηση ελατηρίου με μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή του εξαρτήματος).

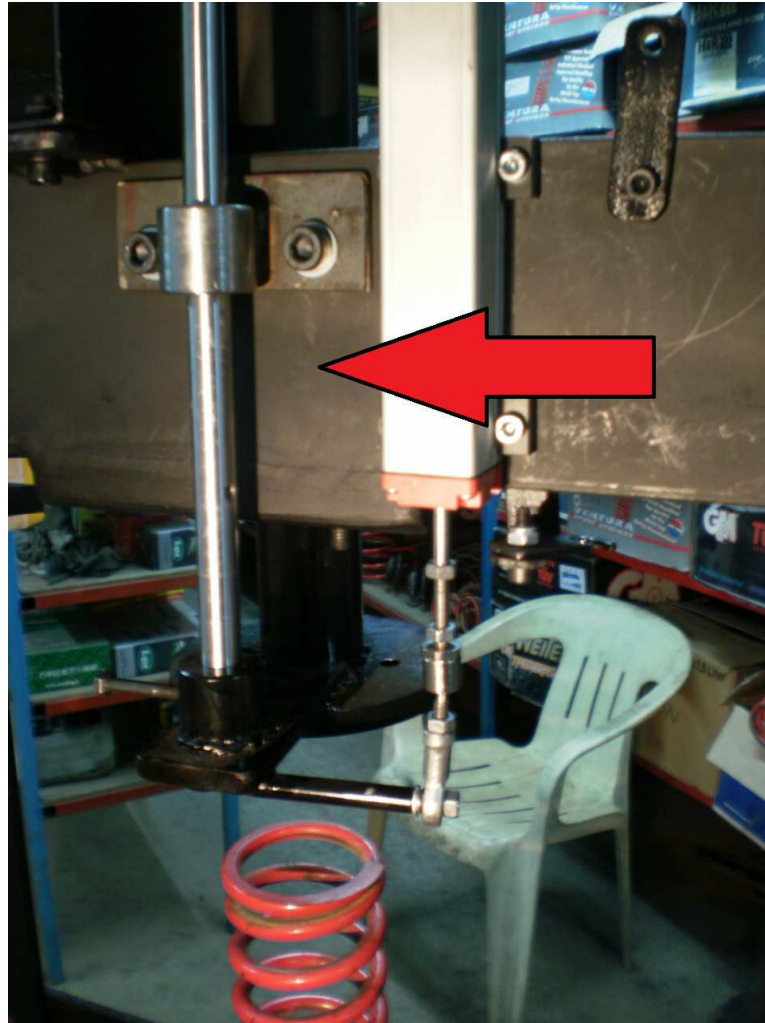


Σχήμα 2-7: Άνω βάση στήριξης ελατηρίου



### 3.2.5 Οδηγός άνω βάσης

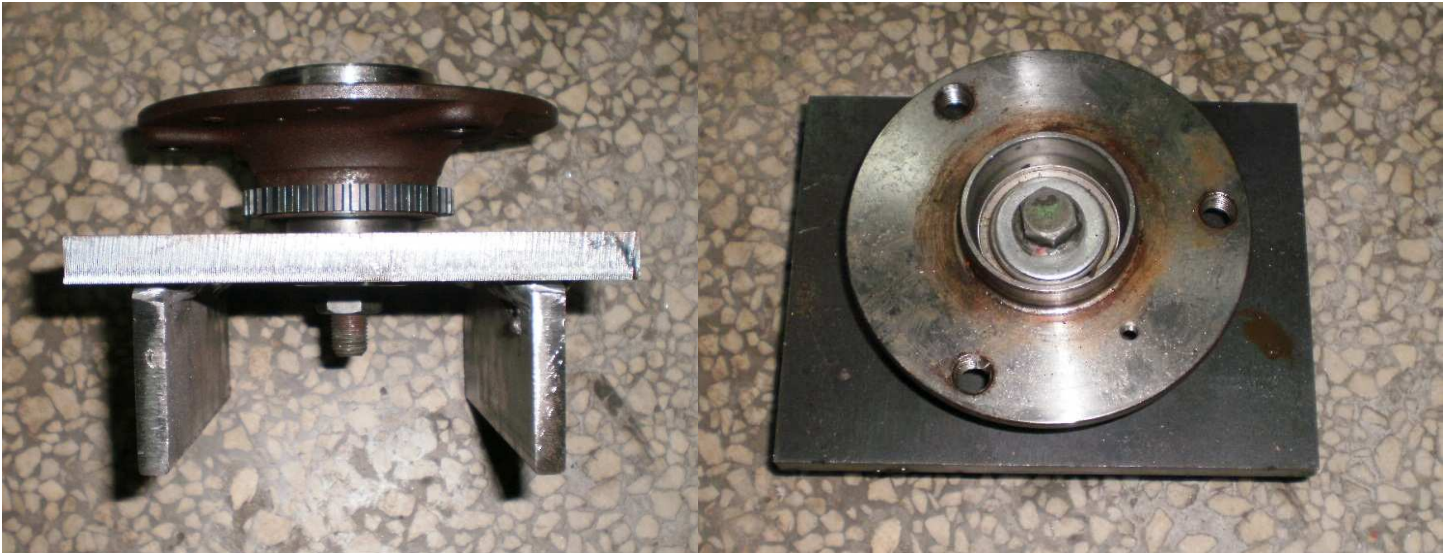
Ο ρόλος αυτού του εξαρτήματος είναι να προστατεύει την κατασκευή από την τάση του ελατηρίου να περιστρέφεται κατά την συμπίεσή και την εκτόνωση του.



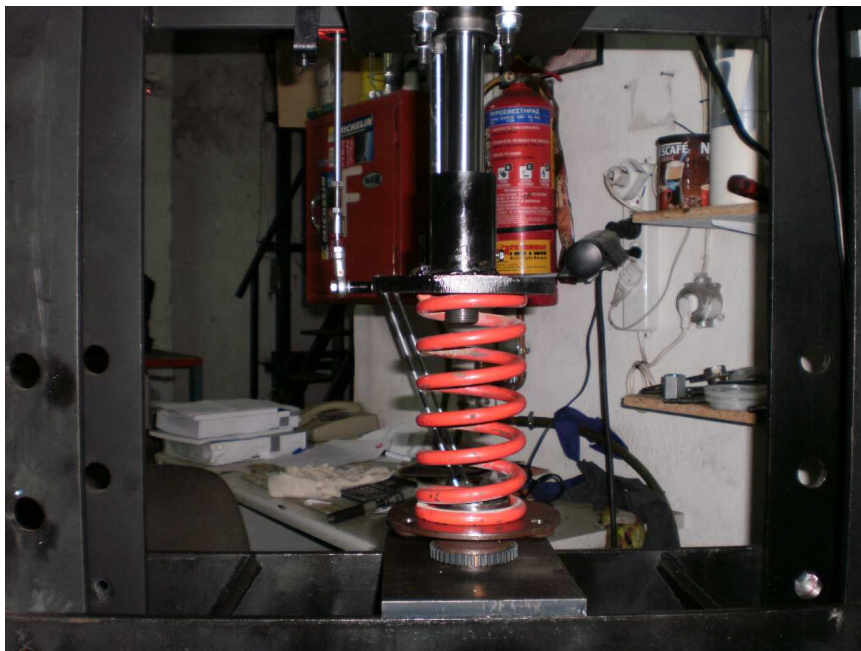
Σχήμα 2- 8: Οδηγός άνω στήριξης ελατηρίου

### 3.2.6. Κάτω βάση στήριξης του ελατηρίου

ο ρόλος αυτού το εξαρτήματος είναι να στηρίζει και να κεντράρει το ελατήριο. Παράλληλα έχει έδραση με ρουλεμάν για την αποφυγή στρεπτικών δυνάμεων στο ελατήριο κατά την συμπίεση του και την δημιουργία σφάλματος στη μέτρηση.



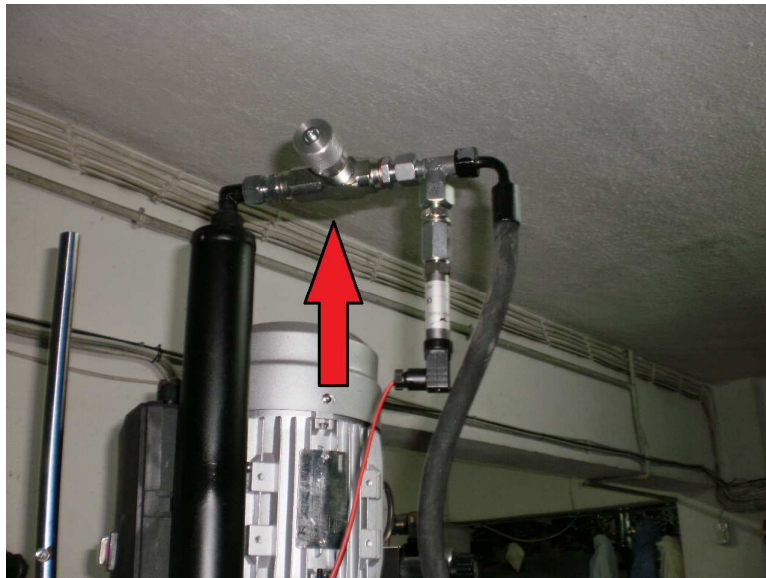
Σχήμα 3- 9: Κάτω βάση στήριξης ελατηρίου



Σχήμα 3- 10: Διάταξη σε λειτουργία

### 3.2.7. Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης

Ο ρόλος αυτού του εξαρτήματος είναι η μείωση της ταχύτητας με την οποία επανέρχεται το έμβολο στην αρχική του θέση όταν αυτό έχει πιέσει ένα ελατήριο. Αυτό το πετυχαίνουμε “στραγγαλίζοντας” την πίεση που έχει το λάδι κατά την κίνηση του εμβόλου προς τα επάνω.



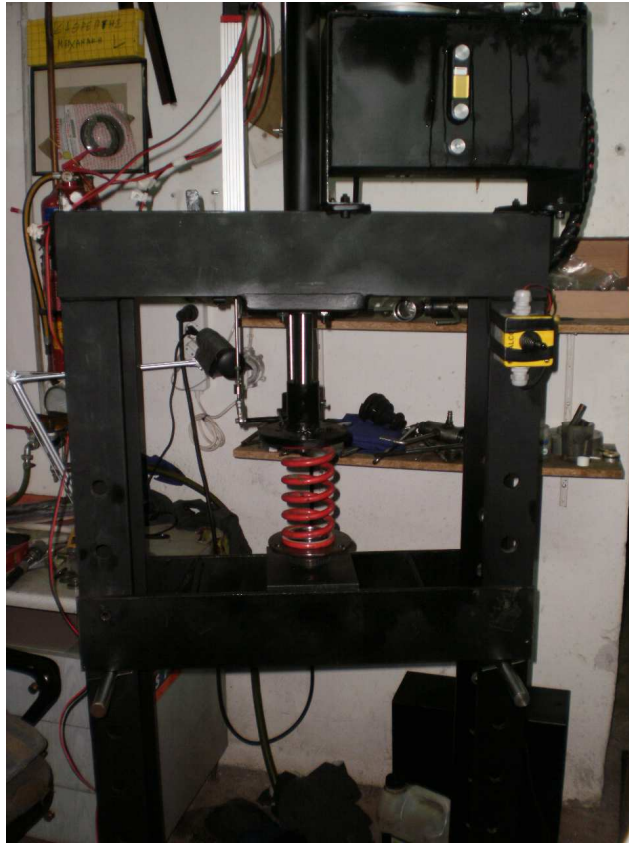
Σχήμα 3- 11: Ρυθμιστική βαλβίδα

### 3.2.8. Διάταξη σε θέση λειτουργίας

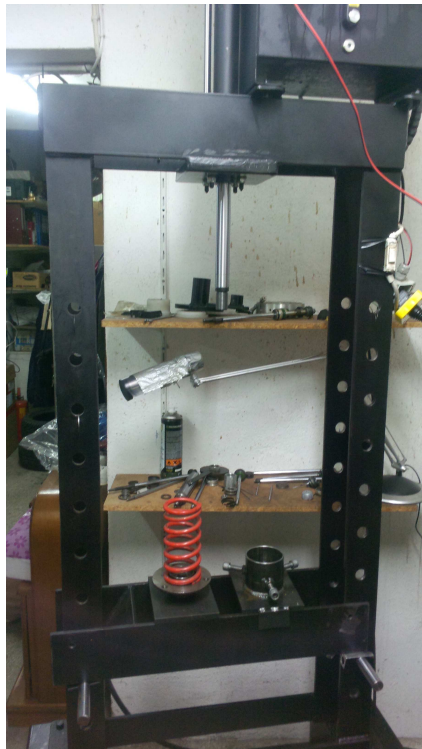


(α)





(β)



(γ)

Σχήματα 3- 12(α, β, γ): Διάταξη σε θέση λειτουργίας

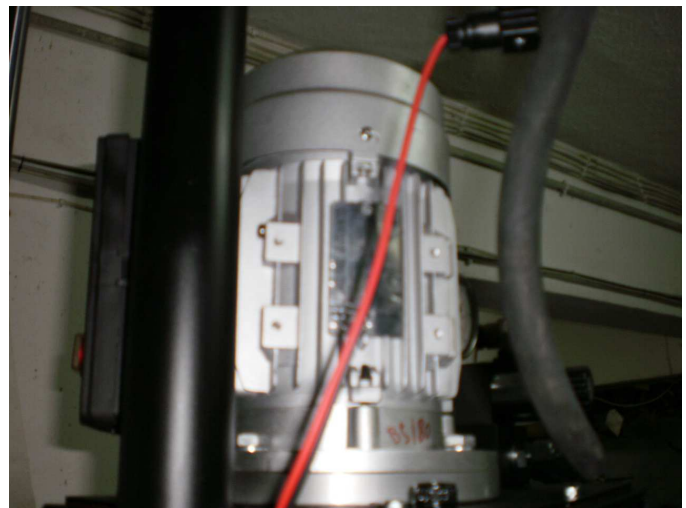
### 3.3 Ηλεκτρικά- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα

Τα εξαρτήματα τα οποία κρίθηκαν κατάλληλα για την εφαρμογή είναι:

- Ηλεκτροκινητήρας
- Ηλεκτροβαλβίδες κίνησης εμβόλου πρέσας
- Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης (ή αλλιώς αισθητήρας θέσης)
- Αισθητήρας μέτρησης πίεσης
- Τροφοδοτικό 12 Vdc
- Μονάδα επεξεργασίας σημάτων – δεδομένων
- Ηλεκτρικά κυκλώματα (ρελέ(relay), μετατροπείς αναλογικών σημάτων (DC/DC converter)

#### 3.3.1 Ηλεκτροκινητήρας

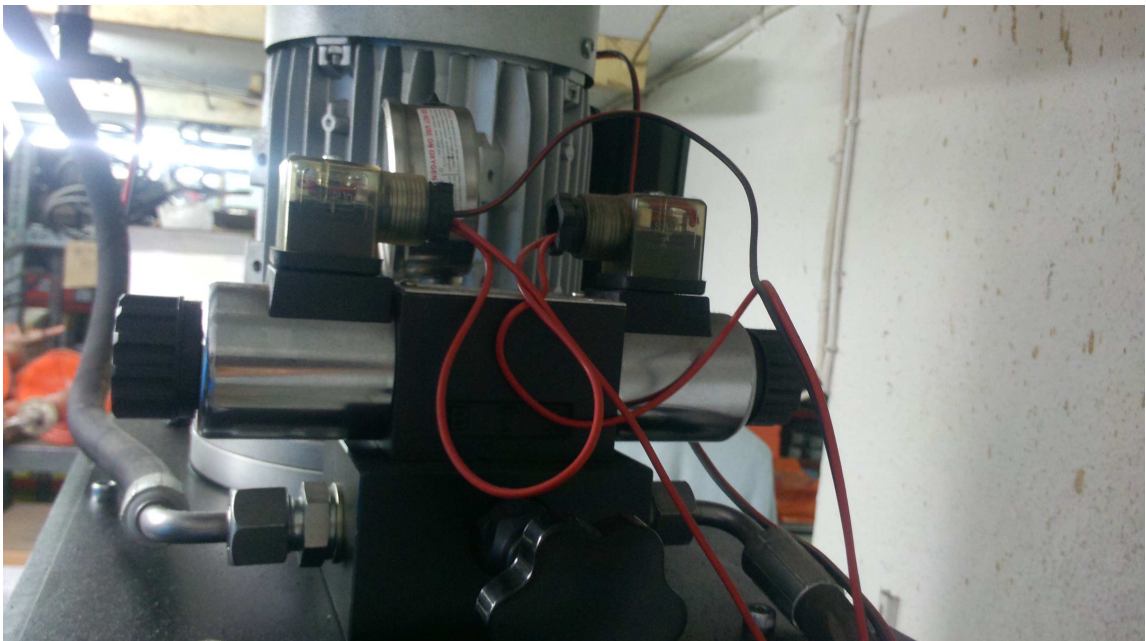
Ο ηλεκτροκινητήρας που επιλέχθηκε είναι ιταλικής προέλευσης της εταιρίας Mottori Elettrici. Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος ηλεκτροκινητήρας διότι λειτουργεί με μονοφασικό ρεύμα (το οποίο μας εξυπηρετεί διότι στην εγκατάστασή μας δεν έχουμε εύκολη πρόσβαση σε τριφασικό ρεύμα). Η Ισχύς του ηλεκτροκινητήρα είναι 1 hp και οι στροφές λειτουργίας του είναι 1450 rpm.



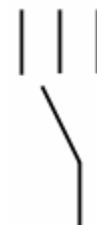
Σχήματα 3- 12.α - β: Ηλεκτροκινητήρας της κατασκευής

### 3.3.2 Ηλεκτροβαλβίδες κίνησης εμβόλου πρέσας

Η λειτουργία αυτού του εξαρτήματος είναι μέσω ενός ηλεκτρομαγνητικού πηνίου να ελευθερώνει τη ροή λαδιού προς το έμβολο της πρέσας. Υπάρχουν δύο ηλεκτροβαλβίδες στο σύστημά μας, η μία ελέγχει την κίνηση προς τα κάτω και η άλλη την κίνηση προς τα πάνω. Επίσης στο εξάρτημα αυτό υπάρχει και μία μηχανική βαλβίδα από την οποία ρυθμίζουμε την μέγιστη πίεση που μπορούμε να πετύχουμε στο κύκλωμα του λαδιού (από 0 έως 300 bar). Τον έλεγχο των ηλεκτροβαλβίδων τον πετυχαίνουμε μέσω ενός διακόπτη τριών θέσεων (θέση 1: ενεργοποιεί την βαλβίδα κίνησης προς τα κάτω, θέση 2: ενεργοποιεί την κίνηση προς τα πάνω, θέση 3: θέση ισορροπίας)



Σχήμα 3-13.1: Ηλεκτροβαλβίδες

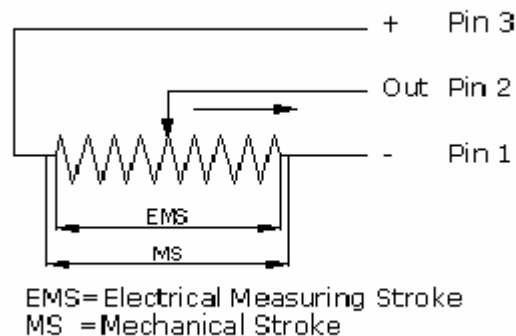


Σχήμα 3- 13.2: Ηλεκτρικός Διακόπτης 3 θέσεων

### 3.3.3 Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης (linear transducer)

Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης (linear transducer) είναι ένα ποτενσιόμετρο που αποτελείται από :

- Σπείρες σύρματος
- Μια ολισθαίνουσα (κινητή) επαφή
- Μια πηγή συνεχούς τάσης



Το ποτενσιόμετρο έχει μία αντίσταση  $R$  και η κινητή επαφή pin2 μπορεί να κινηθεί από τη θέση του pin3 ( $x=0$ ) έως τη θέση pin1 ( $x=\max$ ). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε μοντέλου η θέση του pin3 συνήθως ορίζει τη θέση με μήκος=0 και το pin1 το συνολικό μήκος που μπορεί να μετρήσει ο αισθητήρας.

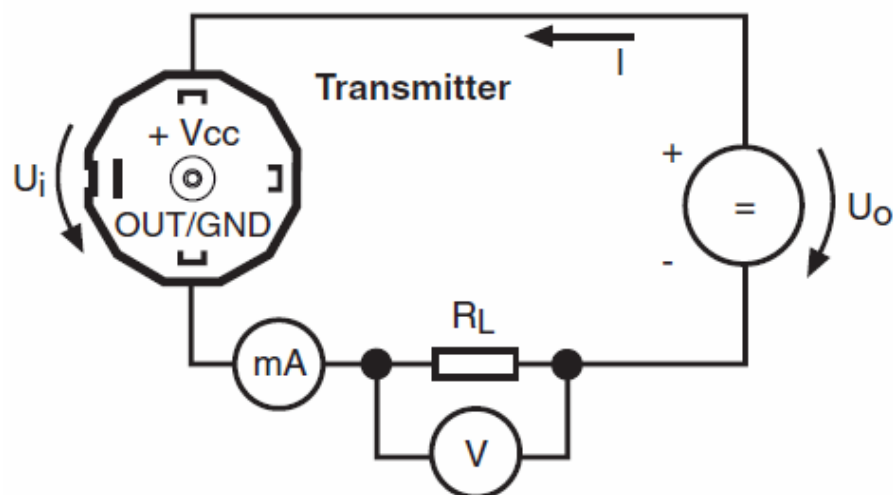
Για την εκλογή του κατάλληλου αισθητήρα έπρεπε να λάβουμε υπ' όψην το φάσμα λειτουργίας αισθητήρα. Αυτό το φάσμα μπορούμε να το προσδιορίσουμε σύμφωνα με την εφαρμογή μας. Στα σύγχρονα αυτοκίνητα η διαδρομή της κίνησης ενός ελατηρίου από το ελεύθερό του μήκος δύσκολα ξεπερνά τα 170-230mm, έτσι για την εφαρμογή μας κρίθηκε κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ένας αισθητήρας της εταιρίας **OPKON**, της σειράς **ELPT** και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο **300** διότι υπερκαλύπτει τις ανάγκες μας σε μήκος (300mm). Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει είσοδο 12-28V και έξοδο για το σήμα του 0-10V . Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για τον αισθητήρα στο παράρτημα 1. [9]



Σχήμα 3- 14: Αισθητήρας **Opkon Elpt 300**

### 3.3.4 Αισθητήρας μέτρησης πίεσης (piezoresistive pressure transmitter)

Είναι ένας πιεζοκρύσταλλος, ο οποίος όταν δεχτεί μια μηχανική καταπόνηση (αλλαγή πίεσης στο υγρό που βρίσκεται) αλλάζει η ωμική αντίσταση στους ακροδέκτες του.



Για την εφαρμογή μας κρίθηκε κατάλληλη η χρήση ενός πιεζοηλεκτρικού στοιχείου για τη μέτρηση της πίεσης που εφαρμόζεται στο έμβολο της πρέσας και κατ' επέκταση τη δύναμη που εφαρμόζεται στο ελατήριο. Για τις ανάγκες μας η κατάλληλη λύση βρέθηκε από την εταιρία **kellerdruck** με το μοντέλο **Series 21 R** διότι υπερκαλύπτει το εύρος πίεσης λειτουργίας της πρέσας(300bar). Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει είσοδο 8-28V και έξοδο για το σήμα σε mili Ampere με εύρος από 4 έως 20 mA. Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για τον αισθητήρα στο παράρτημα 2. [10]





Σχήμα 3- 15: Αισθητήρας πίεσης **kellerdruck Series 21 R**

### 3.3.5 Τροφοδοτικό 12 Vdc

Για τη χρήση των ανωτέρω αισθητήρων κρίθηκε απαραίτητη η αγορά ενός **τροφοδοτικού** με input 220V AC και output 12V DC, για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου οικιακού ρεύματος σε 12V συνεχούς τάσης

Με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Input Voltage: 100~240VAC, 50/60Hz
- Output Voltage: 12VDC Dual Output
- Output Current: 0~10A
- Shell Material: Metal case / Aluminum case
- Protection: Shortage Protection, Overload Protection, Over Voltage Protection
- Working Temperature: 0~40°C
- Storage Temperature: -20~60°C
- Ambient Humidity: 0~95% Non-Condensation
- Demension: 85mm (L) x 58mm (W) x 30mm (H)
- IN-DOOR USE ONLY

**Connection:**

- L, N: AC power input
- GND: DC power output "-"
- V: DC power output "+"
- +V / ADJ: Adjust the output voltage

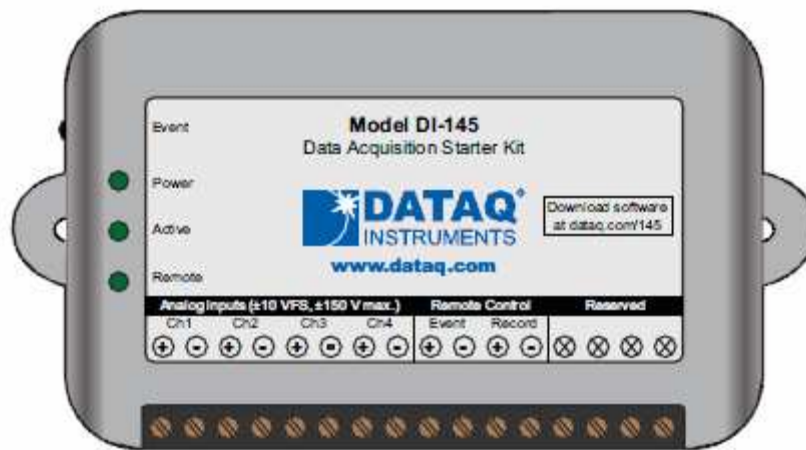


Σχήμα 3-16 :Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού 12V dc

### 3.3.6 Μονάδα επεξεργασίας σημάτων – δεδομένων

#### 3.3.6.1 DATAQ

Αρχικά για την επεξεργασία των αναλογικών σημάτων των αισθητήρων προτιμήθηκε να γίνει η χρήση μίας κάρτας απόκτησης δεδομένων (Data Acquisition, Daq) και πιο συγκεκριμένα το σύστημα της εταιρίας DATAQ di - 145 starter kit. Το εν λόγω πακέτο προτιμήθηκε διότι τα χαρακτηριστικά του υπερκαλύπτουν τις ανάγκες της κατασκευής μας σε υπολογιστική ισχύ, συνοδεύεται με δικό του λογισμικό, τα αναλογικά σήματα από τους αισθητήρες (έξοδοι των αισθητήρων) μπορούν να διαβαστούν άμεσα από τη μονάδα(εισόδους της μονάδας επεξεργασίας σήματος). Τέλος η τιμή του σε σχέση με τον ανταγωνισμό είναι πολύ δελεαστική. Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για το Dataq Di-145 starter kit στο παράρτημα 3.



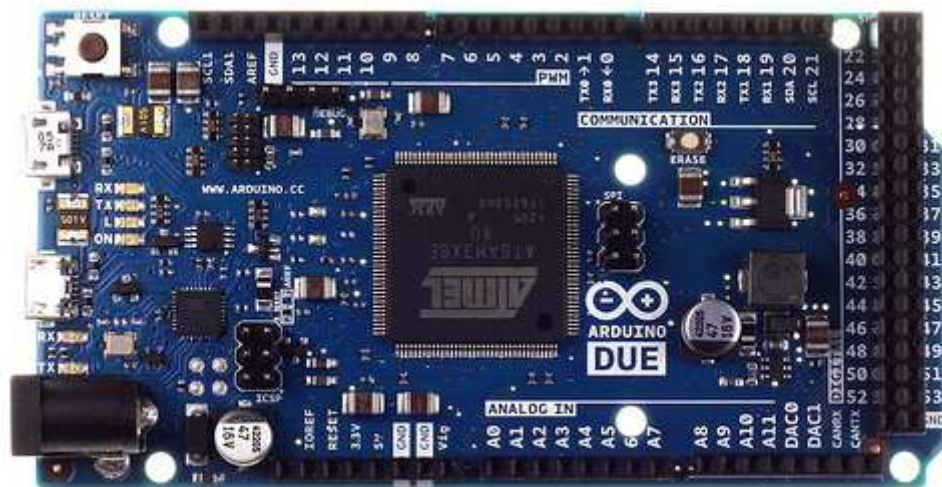
Σχήμα 3- 17: πακέτο Dataq Di-145 starter kit [11]

Γρήγορα η λύση αυτή απορρίφθηκε λόγω της αδυναμίας προγραμματισμού της μονάδας σύμφωνα με τις ανάγκες της διάταξης. Έπειτα από εκτενή έρευνα στραφήκαμε στη χρήση μικροελεγκτή τύπου **arduino** ο οποίος είναι οικονομικός, είναι ανοιχτού κώδικα, χρησιμοποιείται ευρέως (υπάρχει ολόκληρη κοινότητα στο INTERNET βασισμένη στο arduino), συνοδεύεται από δικό του δωρεάν λογισμικό (IDE) από το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί. Παράλληλα με αυτή την αλλαγή στο σχεδιασμό της διάταξης, έπρεπε να βρεθεί λύση στα προβλήματα που δημιουργούνται. Όπως την μετατροπή των αναλογικών σημάτων στην έξοδο των αισθητήρων που ήδη αγοραστήκαν σε κάτι το οποίο μπορεί να διαβάσει το arduino. [11]

### 3.3.6.2 Arduino

Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές).

Πιο συγκεκριμένα για την εφαρμογή μας χρησιμοποιήθηκε ένα **arduino due** το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε το σύστημά μας πλήρως αυτόνομο.



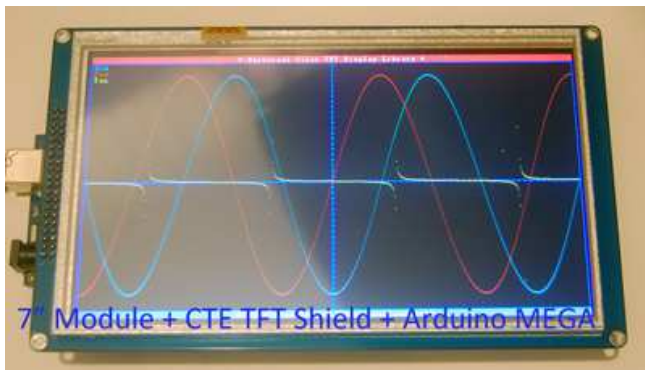
Σχήμα 3- 18: Arduino due [12]

Πιο αναλυτικά το due διαθέτει 18 ψηφιακά pins εισόδου/εξόδου (εκ των οποίων 12 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως έξοδοι PWM), 12 αναλογικές εισόδους, 4 UART (hardware σειριακές θύρες), επεξεργαστή τύπου ARM ATSAM3X8E 32bit της Atmel χρονισμένο στα 84 MHz, δύο θύρες USB από τις οποίες μπορεί να προγραμματιστεί μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, κουμπί επαναφοράς και κουμπί διαγραφής.

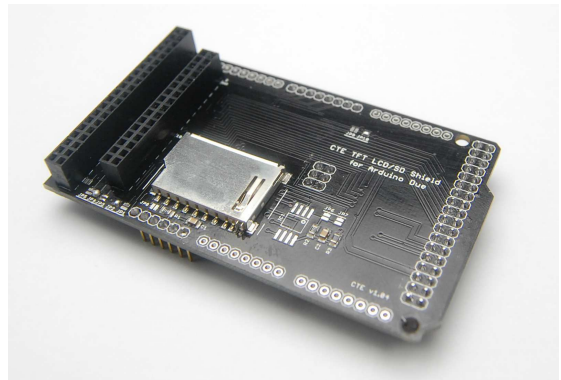
Με τη χρήση του arduino μας δίνεται η δυνατότητα να απεικονίσουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των διαγραμμάτων που αυτό είναι προγραμματισμένο να κάνει σε μία οθόνη. Για τη διάταξη αυτή επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί μία οθόνη 7" αφής τύπου LCD/ TFT και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο **7.0" inch TFT LCD module Font IC 800x480 SSD1963** της εταιρίας Coldtears Electronics.

Χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο διότι με τον κατάλληλο προσαρμογέα-shield (CTE TFT LCD/SD SHIELD for arduino due) γίνεται άμεσα η αναγνώριση της οθόνης από το arduino. Επίσης υπάρχουν έτοιμες

βιβλιοθήκες κώδικα για το λογισμικό του Arduino που κάνουν εύκολο τον προγραμματισμό της οθόνης ( δημιουργία του interface όπου θα απεικονιστούν τα δεδομένα- αποτελέσματα των μετρήσεων). Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για το arduino και τα περιφερειακά του εξαρτήματα στο παράρτημα 4. [12]



Σχήμα 3- 19: οθόνη 7" LCD/ TFT

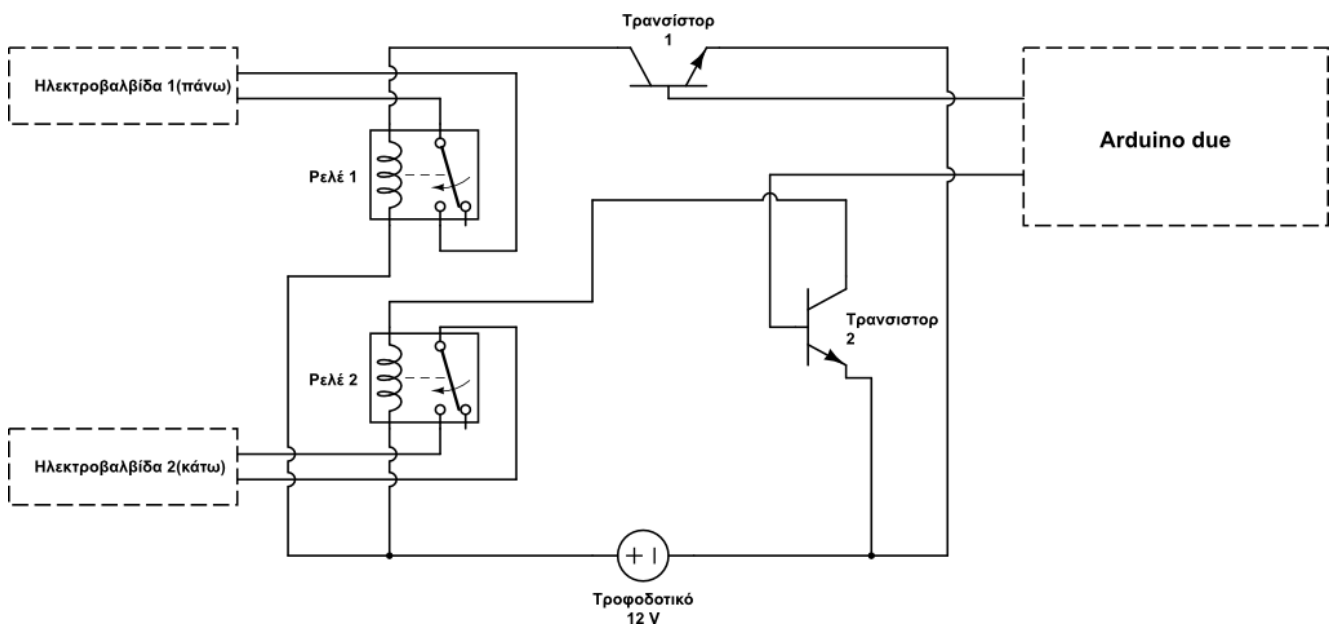


Σχήμα 3- 20: CTE TFT LCD/SD SHIELD for arduino due

### 3.3.7 Ηλεκτρικά κυκλώματα (ρελέ-relay, μετατροπείς αναλογικών σημάτων (DC/DC converter))

#### 3.3.7.1 Ρελέ-διακόπτης

Μέσω των ψηφιακών εξόδων (digital output) του arduino μας δίνεται η δυνατότητα να ελέγξουμε την κίνηση του εμβόλου της πρέσας (πάνω/κάτω) βάζοντας παράλληλα με τον χειροκίνητο διακόπτη που ελέγχει τις ηλεκτροβαλβίδες της πρέσας, έναν ηλεκτρονικά ελεγχόμενο διακόπτη ο οποίος θα παίρνει εντολές από τον μικροελεγκτή. Έτσι με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία μέτρησης ενός ελατηρίου θα γίνεται αυτόματα μόνο με το πάτημα ενός κουμπιού. Η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να γίνει άμεσα με την σύνδεση του arduino απευθείας στις ηλεκτροβαλβίδες, διότι η τάση λειτουργίας των ψηφιακών εξόδων του arduino είναι 3,3V DC ενώ η τάση λειτουργίας των ηλεκτροβαλβίδων είναι 220V AC. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να φτιάξουμε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο θα προστατεύει το arduino από τα 220V AC των ηλεκτροβαλβίδων αλλά παράλληλα θα μπορεί να ελέγχει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος προς αυτές. Έτσι κατασκευάστηκε το παρακάτω ηλεκτρικό κύκλωμα.

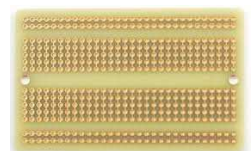
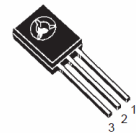


Σχήμα 3- 20: ηλεκτρικό σχέδιο διακοπών

Για την υλοποίηση αυτού του κυκλώματος χρειαζόμαστε δύο ρελέ 12V τα οποία όταν είναι οπλισμένα θα κλείνουν τις επαφές προς τις ηλεκτροβαλβίδες (220V) και δύο τρανζίστορ τύπου npn (για να μην πάει το ηλεκτρικό φορτίο στον arduino) τα οποία όταν δέχονται τάση 3,3V στη βάση τους θα οπλίζουν το κάθε ρελέ 12V αντίστοιχα. Την εντολή στο τρανζίστορ θα τη δίνει ο arduino μέσω των ψηφιακών Pin εξόδου που διαθέτει (digital pin output).

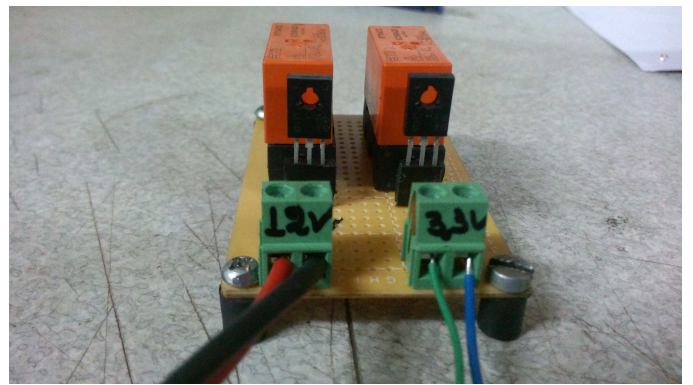
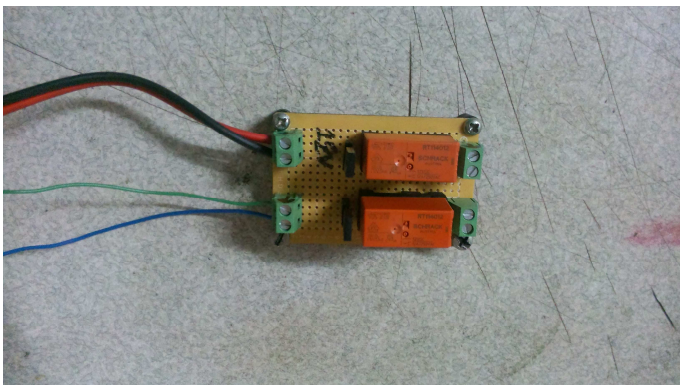
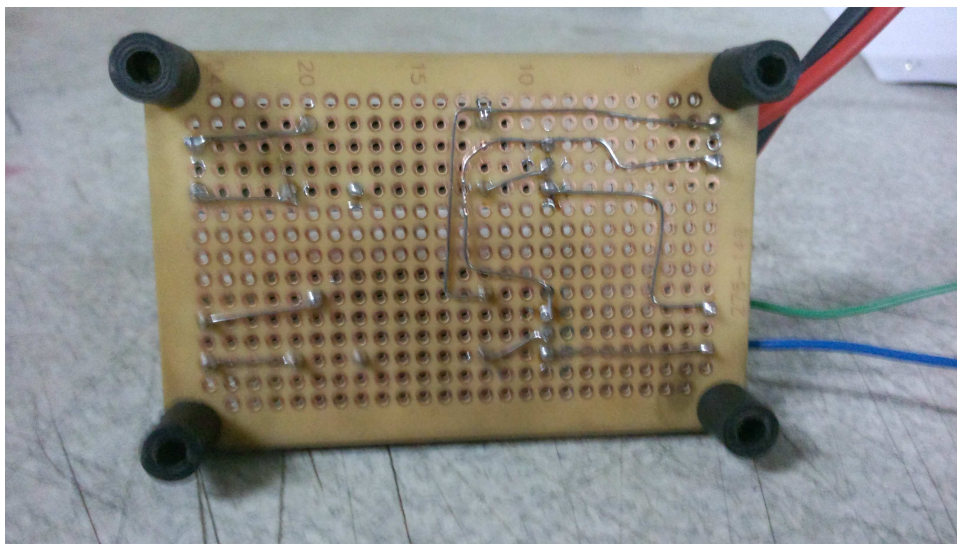
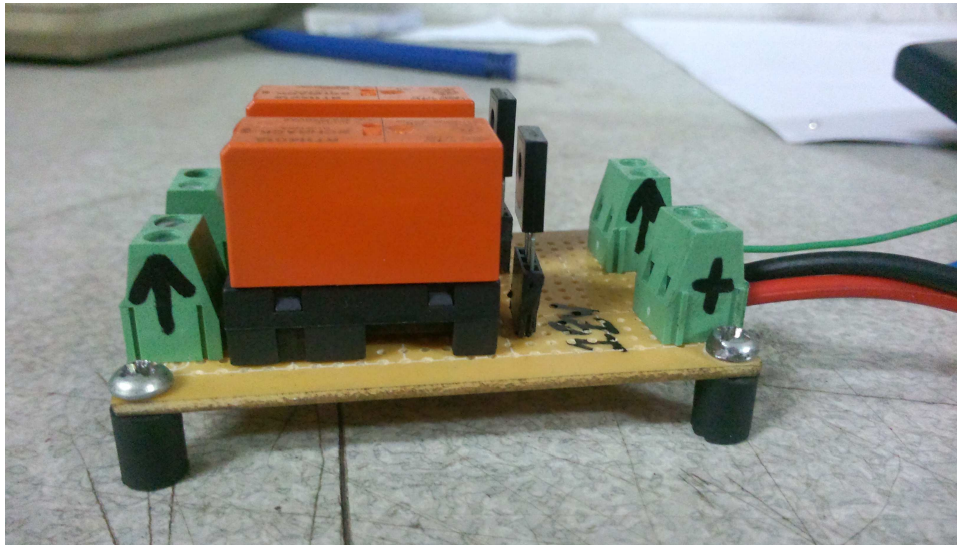
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση αυτού το κυκλώματος είναι:

- Δύο ρελέ Schrack RT114012
- Δύο τρανζίστορ BD139
- Μία pcb πλακέτα για να τοποθετηθούν τα παραπάνω



Ακολουθούν εικόνες της κατασκευής του κυκλώματος.





### 3.3.7.2 μετατροπείς αναλογικών σημάτων (DC/DC converter)

Μετά την αλλαγή του μικροελεγκτή από Di-145 σε arduino due δημιουργήθηκε ένα μεγάλο πρόβλημα. Τα σήματα που έχουν οι αισθητήρες που αγοράστηκαν δεν μπορούν να διαβαστούν απευθείας από τον arduino due διότι λόγω του επεξεργαστή (ATSAM3X8E) που έχει μπορεί να δεχτεί στις αναλογικές του εισόδους τάση μέχρι 3,3V dc. Αρχικά επιχειρήθηκε η λύση του προβλήματος με τη χρήση διαιρέτη τάσης, αλλά τα αποτελέσματα ήταν αποθαρρυντικά λόγω της χαμηλής ακρίβειας που είχε το σήμα μετά τη μετατροπή. Έπειτα από εκτενή αναζήτηση βρέθηκε στο internet μια εταιρία (Κίνα) που κατασκευάζει μετατροπείς αναλογικών σημάτων - απομονωτές (DC/DC converter/isolator) σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη. Πιο συγκεκριμένα για την εφαρμογή μας, το σήμα στην έξοδο του αισθητήρα πίεσης από 4-20mA dc θα μετατραπεί σε 0-3V dc και το σήμα στην έξοδο του αισθητήρα μετατόπισης από 0-10V dc θα μετατραπεί σε 0-3V dc.

Τα converters που αγοράστηκαν είναι τα εξής :

- ISOEM A4-P2-O8

Όπου

A4 η έξοδος 4-20mA από τον αισθητήρα πίεσης

P2 η τάση 12V τροφοδοσίας του converter

O8 η έξοδος του σήματος 0-3V για τον arduino

- ISOEM U2-P2-O8

Όπου

U2 η έξοδος 0-10V από τον αισθητήρα μετατόπισης

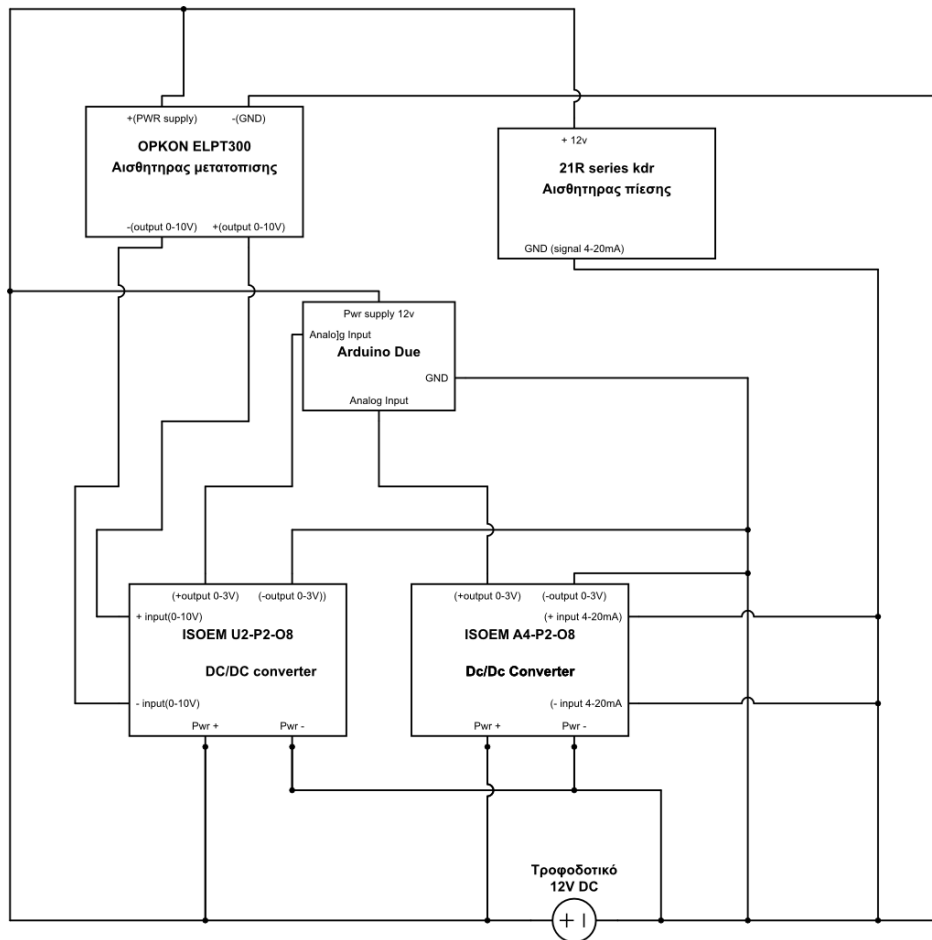
P2 η τάση 12V τροφοδοσίας του converter

O8 η έξοδος του σήματος 0-3V για τον arduino



**ISOEM - U(A)□ - P□ - O□**

Σχήμα 3-21: DC/DC converter/isolator με δυνατότητα επιλογής εισόδου-εξόδου-τάση τροφοδοσίας



Σχήμα 3-22: ηλεκτρικό σχέδιο σύνδεσης των converter στους αισθητήρες





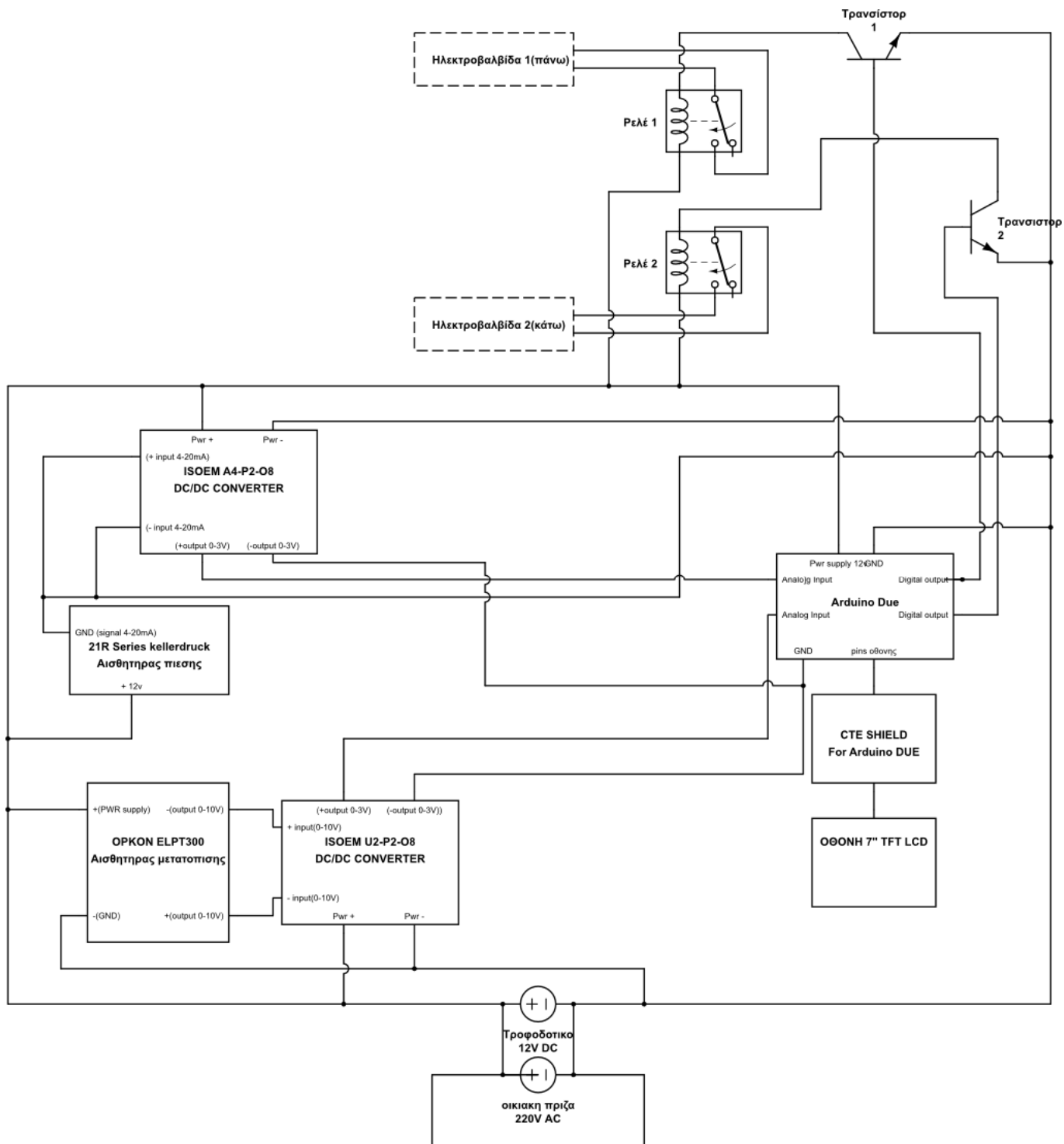


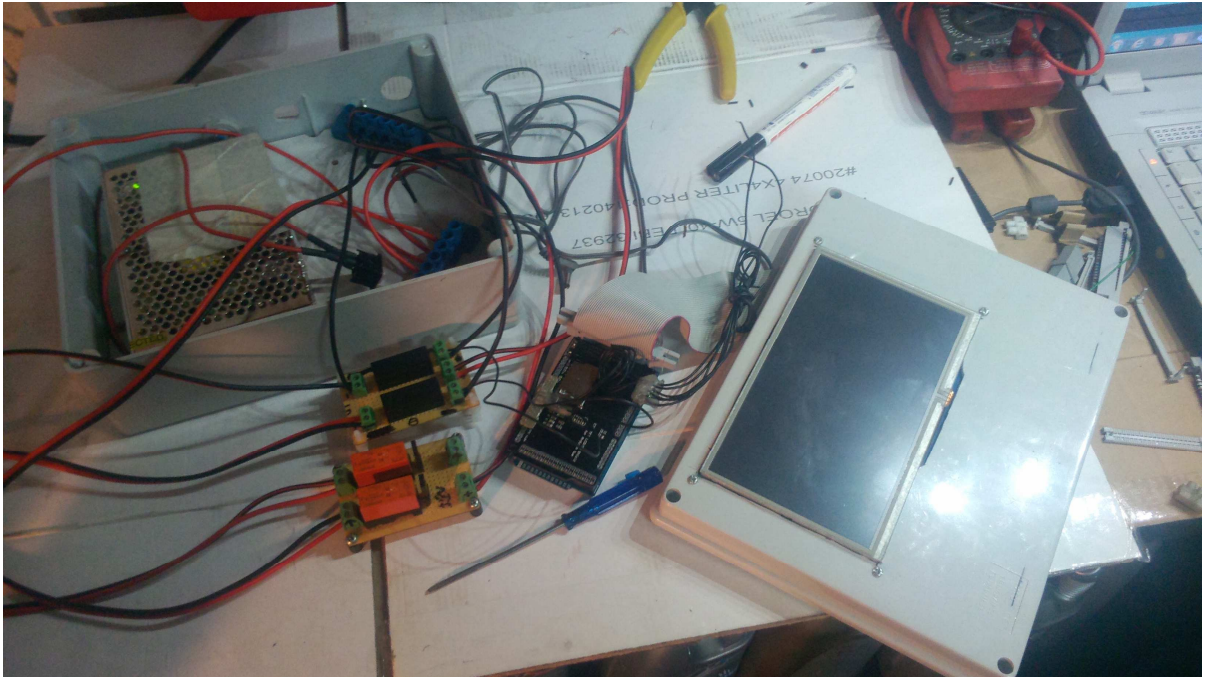
Σχήματα 3-23, 3-24 : Κατασκευή pcb πλακέτας για την τοποθέτηση/σύνδεση των converters

### **3.3.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ-ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ**

Ακολουθεί το συνοπτικό Ηλεκτρικό Σχέδιο της πειραματικής Διάταξης.

Σχήματα 3-25: Συνοπτικό Ηλεκτρικό Σχέδιο





Εικόνα 3-24: Συνδεσμολογία ηλεκτρικών εξαρτημάτων







## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

### 4.1.1 Προγραμματισμός

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή Arduino γίνεται μέσω του περιβάλλοντος IDE, το οποίο είναι δωρεάν και μπορούμε να το κατεβάσουμε από την επίσημη σελίδα του Arduino ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

### 4.1.2 Arduino IDE

Το Arduino IDE, είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (integrated development environment), που περιέχει έναν επεξεργαστή πηγαίου κώδικα, έναν μεταγλωττιστή, εργαλεία αυτόματης παραγωγής κώδικα, αποσφαλματωτή, συνδέτη, σύστημα ελέγχου εκδόσεων και εργαλεία κατασκευής γραφικών διασυνδέσεων χρήστη για τις υπό ανάπτυξη εφαρμογές. Συνδέεται με το hardware μέρος του arduino για να φορτώσει προγράμματα και να επικοινωνεί μαζί τους. Ο κώδικας που έχει γραφεί για το Arduino ονομάζεται sketch. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα εργαλεία του περιβάλλοντος ανάπτυξης, υπό μορφή κουμπιών.

Εργαλεία ανάπτυξης Arduino IDE	
Εργαλείο	Περιγραφή
	Ελέγχει για συντακτικά λάθη στον κώδικα.
	Μεταγλωττίζει τον κώδικα και το φορτώνει στο Arduino. Αν δεν είναι συντακτικά σωστός δε μπορεί να γίνει η φόρτωση.
	Δημιουργεί ένα νέο sketch.
	Παραθέτει ένα μενού με όλα τα sketch. Ενεργοποιώντας ένα από αυτά, θα ανοίξει αυτόματα στο τρέχον παράθυρο.
	Αποθηκεύει ένα sketch.
	Ανοίγει τη σειριακή οθόνη. Μέσω αυτής παρακολουθείται η ανταλλαγή δεδομένων που γίνεται στη σειριακή θύρα.

Το Arduino IDE είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει:

- ✓ Ένα πρακτικό περιβάλλον για τη συγγραφή των προγραμμάτων, με συντακτική χρωματική σήμανση.
- ✓ Βιβλιοθήκες για προέκταση της, εύκολες στην πρόσβαση μέσω διαδικτύου.
- ✓ Compiler (μεταγλωττιστής) για τη μεταγλώττιση των sketch.

✓ Μία σειριακή οθόνη (serial monitor) που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής (USB), αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά στο Arduino μέσω αυτής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον προσδιορισμό τυχόν λαθών των sketch (σεναρίων).

✓ Την επιλογή για μεταφορά των μεταγλωττισμένων sketch στο Arduino.

Η γλώσσα συγγραφής κώδικα του Arduino, βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C, καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVR libc.

Λόγω της καταγωγής της από τη C, στη γλώσσα συγγραφής κώδικα του Arduino, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ουσιαστικά οι ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπων δεδομένων και τους ίδιους τελεστές όπως και στη C. Πέρα από αυτές όμως, υπάρχουν κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που βοηθούν για τη διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino.

Κάθε sketch εκτελείται μέσα από τον ορισμό δυο συναρτήσεων:

✓ Setup(): Η συγκεκριμένη συνάρτηση καλείται όταν ξεκινάει ένα sketch.

Χρησιμοποιείται για αρχικοποίηση μεταβλητών, ορισμό ακροδεκτών και για την εισαγωγή βιβλιοθηκών. Η Setup συνάρτηση εκτελείται μόνο μια φορά, κατά την παροχή τροφοδοσίας ή μετά από reset.

✓ Loop(): Μετά την Setup συνάρτηση, ακολουθεί η Loop (βρόχος) συνάρτηση, η οποία κάνει ακριβώς αυτό που δηλώνει το όνομα της, δηλαδή εκτελείται διαδοχικούς «κύκλους», επιτρέποντας στο πρόγραμμα να αλλάζει και να ανταποκρίνεται. Χρησιμοποιείται για να ελέγχεται η πλακέτα Arduino.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα σύνταξης κώδικα στο περιβάλλον του προγράμματος IDE.

[12]

```
int buttonPin = 3;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
}

void loop()
{
  // ...
}
```

Εικόνα 4.1: Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίζουμε τον σειριακό διάλογο στα 9600bps και τον ψηφιακό ακροδέκτη 3 σαν είσοδο.

### 4.2.1 Περιγραφή του προγράμματος της Διάταξης

Οι διαδικασίες που θα πρέπει να εκτελέσει ο arduino μέσω του προγράμματος είναι οι εξής:

- ✓ Η δημιουργία ενός interface (διεπαφής) για την Οθόνη όπου θα απεικονίζονται τα κουμπιά εντολών (Start, Stop, Up, Down, Data, Graph), το διάγραμμα (Force/Distance) και ο πίνακας των αποτελεσμάτων (Force, Distance, Stiffness) και η εναλλαγή μεταξύ αυτών.
- ✓ Η παραλαβή των αναλογικών σημάτων από τους αισθητήρες, η μετατροπή τους από bits (ψηφιακή κλίμακα) σε μετρήσιμο μέγεθος (Newton, Millimeters).
- ✓ Η χρήση των ψηφιακών εξόδων (Digital output) για τον έλεγχο της κίνησης του εμβόλου (πάνω- κάτω) μέσω των διακοπών-ρελέ.
- ✓ Η δημιουργία των πινάκων με τα δεδομένα από τη διαδικασία μέτρησης και η προσωρινή τους αποθήκευση, ώστε να τα απεικονίσουμε ως πίνακα ή ως γράφημα στην οθόνη μέσω του interface.

### 4.2.2 Κώδικας

Λόγω του μεγάλου όγκου του κώδικα που δημιουργήθηκε για αυτήν εφαρμογή (12 σελίδες). Θεωρήθηκε σκόπιμο πως πρέπει να παρουσιαστούν μόνο τα σημεία ιδιαίτερης προσοχής, τα οποία είναι τα εξής :

- ✓ Η διαδικασία μέτρησης
- ✓ Η διαδικασία βαθμονόμησης των αισθητήρων

#### 4.2.2.1 Διαδικασία Μέτρησης

Σ' αυτό το κομμάτι του κώδικα γίνονται τα εξής:

- ✓ Ελέγχουμε αν έχει πατηθεί το κουμπί Start
- ✓ Διαβάζουμε τα σήματα των αισθητήρων
- ✓ Ελέγχουμε αν η δύναμη είναι μεγαλύτερη του μηδενός (αν ξεκίνησε να συμπιέζεται το ελατήριο) και μηδενίζουμε την απόσταση
- ✓ Ξεκινάει η μέτρηση με βήμα μέτρησης (t) σύμφωνα με το μήκος μέτρησης που έχουμε ορίσει.
- ✓ Τέλος μέτρησης

Ακολουθεί εικόνα με μέρος του κώδικα που αποτελεί τη φάση μέτρησης του ελατηρίου.

```
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργολεία Βοήθεια
telikoprogramma9 §
else if(patima==Start){

while(m2<count && Apostteliki<=distvalueinmm && Apost<200) //count??
{
digitalWrite(pindown,HIGH); // ksekina na katebaineis
Force=readForce();
Apost=readapost();

if (Force >=1 && proti==true )// ##### proti fora-midenisma apostasis
{
Apostproti=readapost();
proti=false ;
delay(5000);
}

else if (Force >= 1)
{
Apost=readapost();
Apostteliki=Apost-Apostproti;

if (Apostteliki >= t) {

pinakas[m1][1]=Force;
m1++;
pinakas[m2][2]=Apostteliki;
m2++;
t=t+((distvalueinmm-Apostteliki)/count);
}
}
```

Εικόνα 4-2: κώδικας για τη μέτρηση των τιμών της σιβαρότητας.

### 4.2.2.1 Διαδικασία βαθμονόμησης των αισθητήρων

Για κάθε τιμή που θα διαβάζουμε πρέπει να περιορίσουμε το σφάλμα που δέχεται ο αισθητήρας από εξωτερικούς παράγοντες (παρεμβολές), Για αυτό το λόγο η τιμή που διαβάζουμε από τον αισθητήρα έγινε σε μορφή συνάρτησης, όπου στην έξοδο της συνάρτησης θα έχουμε το “καθαρισμένο” από παρεμβολές σήμα. Αυτό το πετυχαίνουμε βγάζοντας τον μέσο όρο από κάθε 50 τιμές που διαβάζει ο arduino. Έτσι σ’ αυτό το κομμάτι του κώδικα γίνονται τα εξής:

- ✓ Διαβάζουμε την τιμή του αισθητήρα πίεσης
- ✓ Την χαρτογραφούμε αναλόγως (mapping)
- ✓ Φτιάχνουμε ένα βρόγχο (Loop) όπου για κάθε 50 τιμές του αισθητήρα παίρνουμε τον μέσο όρο
- ✓ Πολλαπλασιάζουμε με μία σταθερή τιμή για την μετατροπή της πίεσης από bar σε Newton



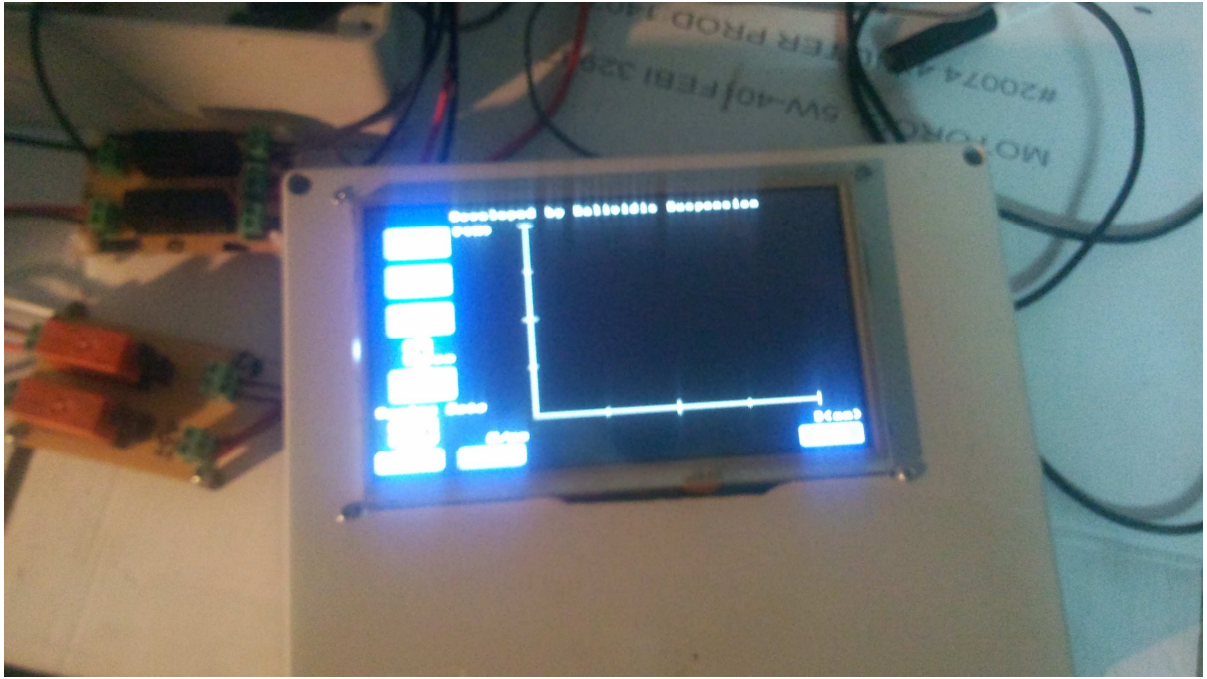
```
telikoprogramma9
}
}
}

int readForce(){
  int n=0;
  int z=13; // μετατροπή Bar σε Newton
  int AVPiesi=0;
  int nPiesi=0;
  int Force=0;
  while(n<=50)
  {
    AVPiesi=analogRead(piesi);
    AVPiesi= map(AVPiesi,0,1861,0,1500);
    nPiesi=nPiesi+AVPiesi;
    n++;
  }
  nPiesi=nPiesi/n;
  Force=nPiesi*z;
  return Force;
}

int readapost(){
  int q=0;
  int AVApost=0;
  int nApost=0;
  while(q<=50)
  {
    AVApost=analogRead(apost);
    AVApost= map(AVApost,1,3687,45,3050);
```

Εικόνα 4-3: κώδικας για τη βαθμονόμηση των αισθητήρων



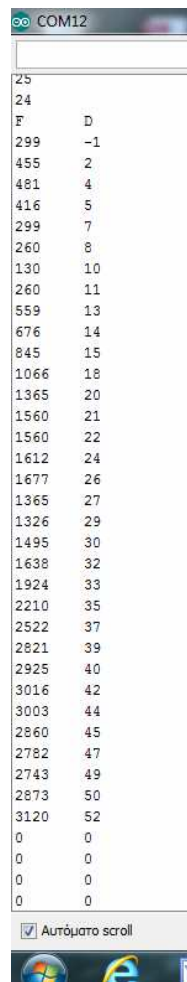


Εικόνα 4-3: Interface σε λειτουργία

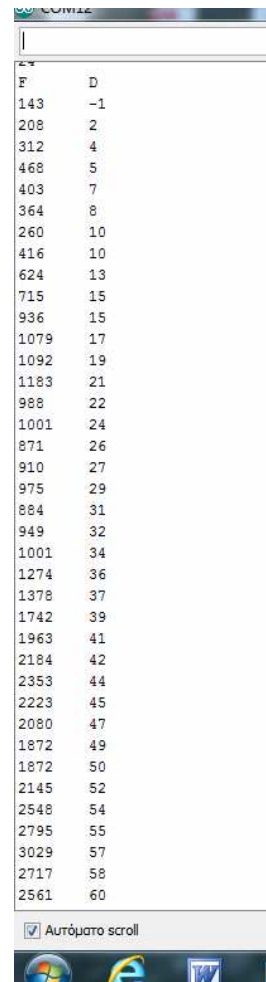
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## 5.1 Αποτελέσματα

Για τις Ανάγκες της παρουσίασης της εργασίας έγιναν μετρήσεις σε 2 ελατήρια. Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών έγινε τροποποίηση στον κώδικα του προγράμματος ώστε να εμφανίσει τις τιμές από τους πίνακες των αποτελεσμάτων στη σειριακή οθόνη επικοινωνίας του arduino και του υπολογιστή, έπειτα τα αποτελέσματα αυτά περάστηκαν σε ένα φύλλο του excel όπου με την χρήση της **μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων** δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα στιβαρότητας των ελατηρίων.



F	D
25	
24	
F	D
299	-1
455	2
481	4
416	5
299	7
260	8
130	10
260	11
559	13
676	14
845	15
1066	18
1365	20
1560	21
1560	22
1612	24
1677	26
1365	27
1326	29
1495	30
1638	32
1924	33
2210	35
2522	37
2821	39
2925	40
3016	42
3003	44
2860	45
2782	47
2743	49
2873	50
3120	52
0	0
0	0
0	0
0	0



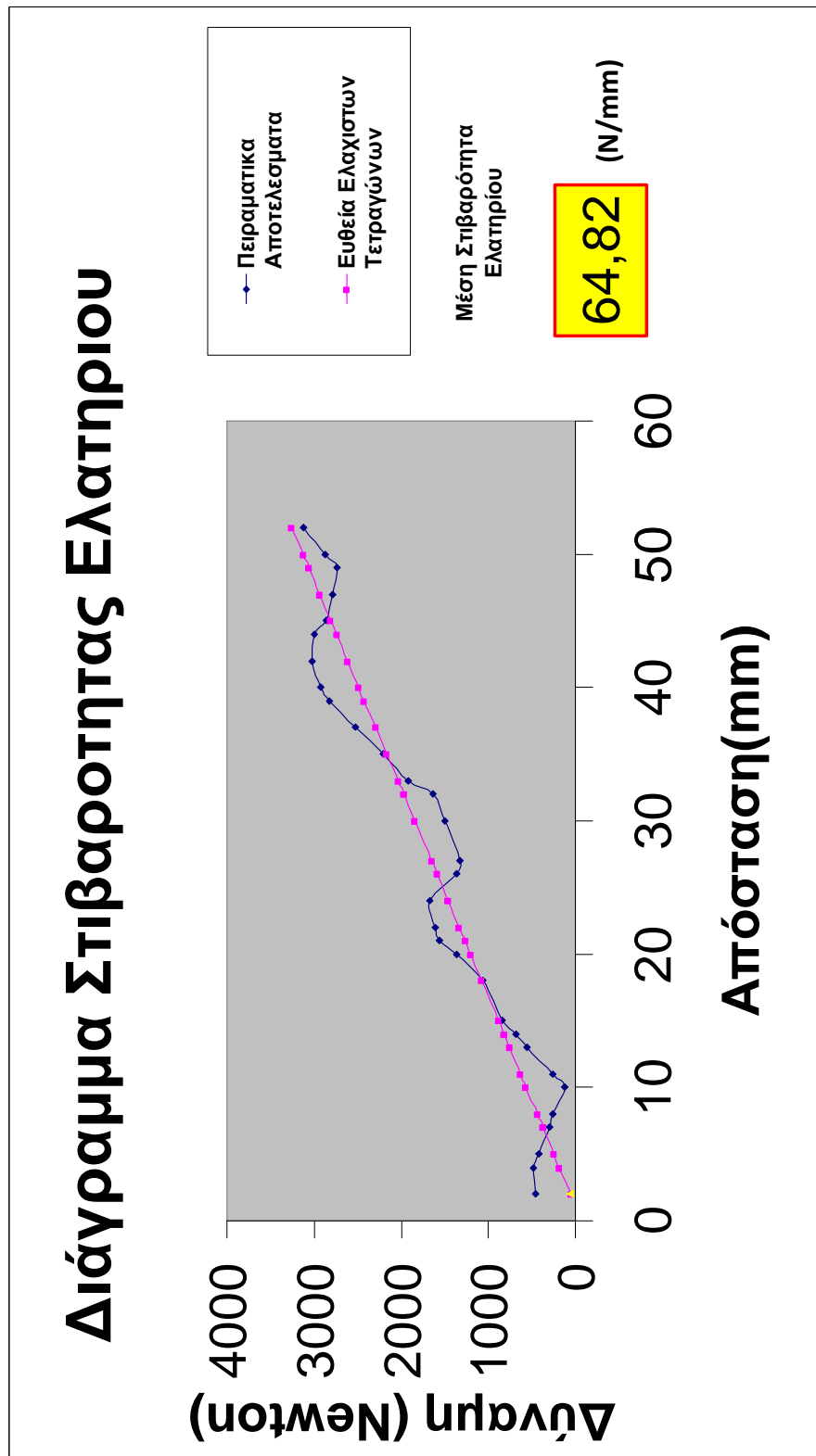
F	D
143	-1
208	2
312	4
468	5
403	7
364	8
260	10
416	10
624	13
715	15
936	15
1079	17
1092	19
1183	21
988	22
1001	24
871	26
910	27
975	29
884	31
949	32
1001	34
1274	36
1378	37
1742	39
1963	41
2184	42
2353	44
2223	45
2080	47
1872	49
1872	50
2145	52
2548	54
2795	55
3029	57
2717	58
2561	60

Εικόνες 5-1(αριστερά) :

5-2(δεξιά) :

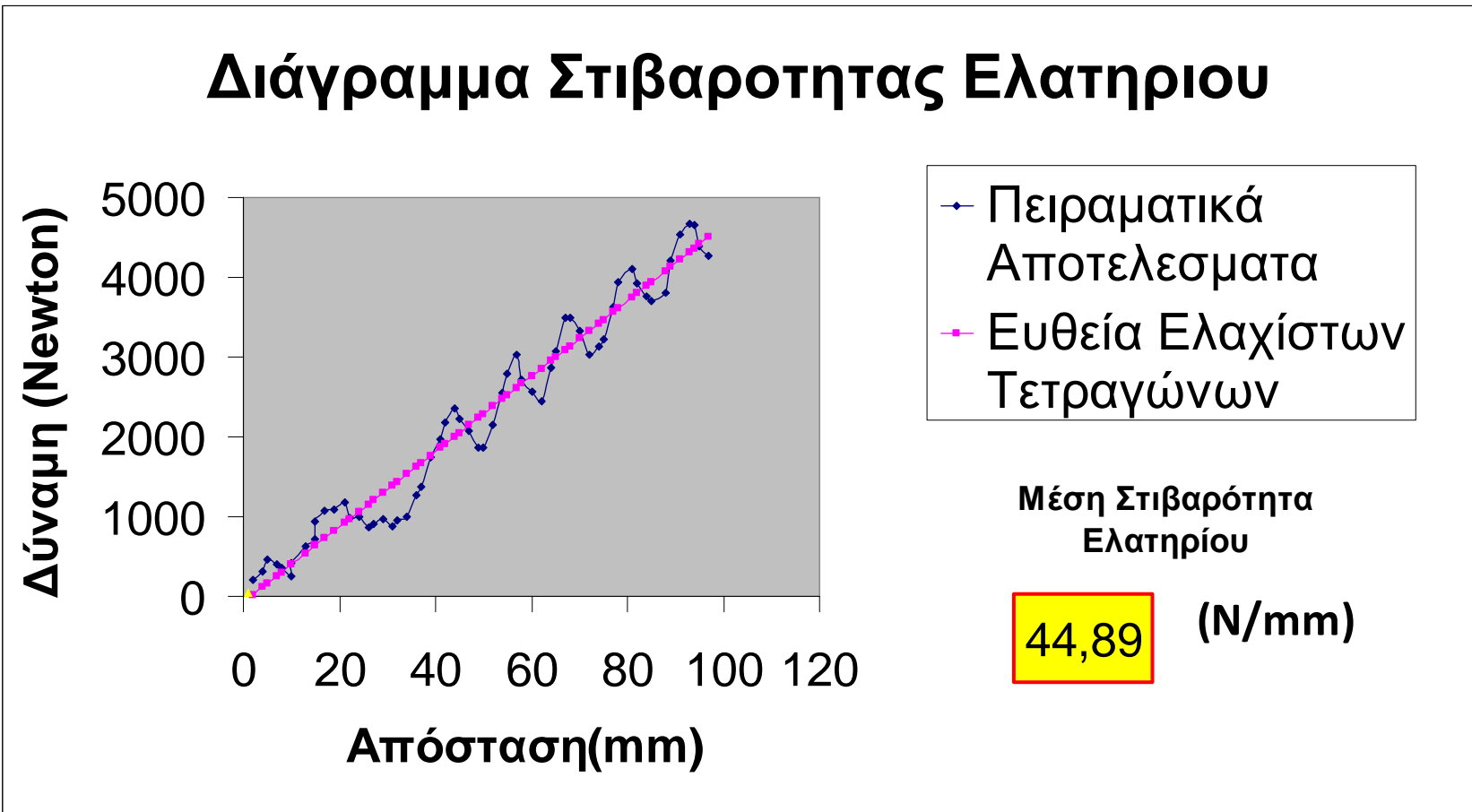
Αποτελέσματα από τις μετρήσεις στη σειριακή οθόνη

Ακολουθούν τα διαγράμματα από τις μετρήσεις:



Εικόνα 5-3: Ελατήριο 1 - Διάγραμμα στιβαρότητας που αντιστοιχεί στις μετρήσεις του ελατηρίου από την εικόνα 5-1

Εικόνα 5-4: Ελατήριο 2 - Διάγραμμα στιβαρότητας που αντιστοιχεί στις μετρήσεις του ελατηρίου από την εικόνα 5-2



## Ελατήριο 1

Η μέτρηση αυτού του ελατηρίου έγινε στα 50 mm με πλήθος μετρήσεων 30. Όπως βλέπουμε από τη μπλε γραμμή (πειραματικά δεδομένα) δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε αν το ελατήριο έχει γραμμική συμπεριφορά για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων ώστε να βελτιστοποιήσουμε την τυχαιότητα των πειραματικών σημείων. Έτσι από τη ροζ γραμμή προσεγγίζουμε το Ελατήριο που μετρήσαμε ως είναι γραμμικό.

Επίσης πήραμε το μέσο όρο των μετρήσεων της στιβαρότητας κάθε σημείου και έτσι έχουμε τη μέση στιβαρότητα του ελατηρίου που είναι :

**64,82 N/mm**

## Ελατήριο 2

Εικόνα 5-4: Διάγραμμα στιβαρότητας που αντιστοιχεί στις μετρήσεις του ελατηρίου από την εικόνα 5-2

Η μέτρηση αυτού του ελατηρίου έγινε στα 100 mm με πλήθος μετρήσεων 60. Όπως βλέπουμε από τη μπλε γραμμή (πειραματικά δεδομένα) δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε αν το ελατήριο έχει γραμμική συμπεριφορά για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων ώστε να βελτιστοποιήσουμε την τυχαιότητα των πειραματικών σημείων. Έτσι από τη ροζ γραμμή προσεγγίζουμε το Ελατήριο που μετρήσαμε ως γραμμικό.



Επίσης πήραμε το μέσο όρο των μετρήσεων της στιβαρότητας κάθε σημείου και έτσι έχουμε τη μέση στιβαρότητα του ελατηρίου που είναι :

**44,89 N/mm**

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Παράρτημα 1- Αισθητήρας μετατόπισης ΟΡΚΟΝ ELPT300 [9]

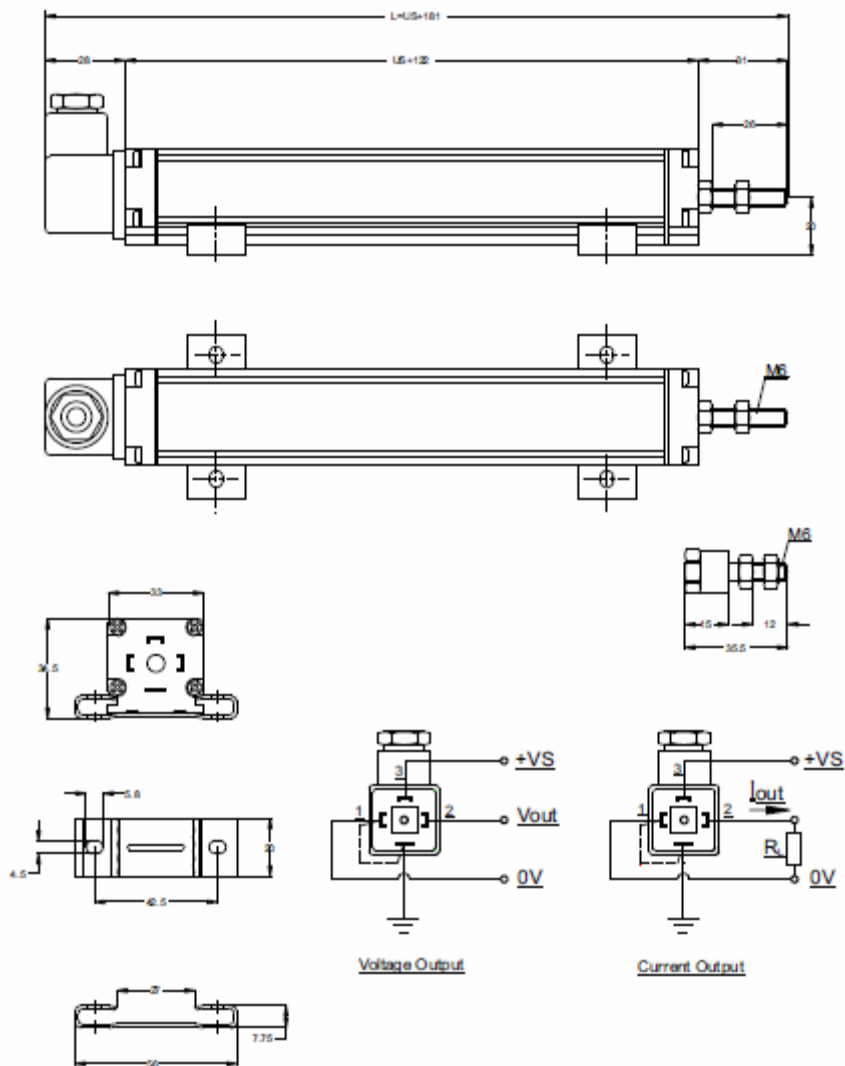
Παρακάτω υπάρχουν πίνακες με τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα και κατασκευαστικά σχέδια.

		<b>Resistive Linear Position Transducer</b>			<b>ELPT</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Output 4-20 mA or 0-20 mA or 0-10 V</li> <li>• Internal electronic circuit</li> <li>• Stable output signal against supply voltage variations</li> <li>• Best solution for automation systems</li> </ul>			
<b>Main Applications</b>					
Plastic/ Metal Injection Moulding Machineries, Textile Machineries, Transfer/ Hydraulic Machineries, Marble/ Stone Machineries and General Automation Applications					
<b>Specifications</b>					
Mechanical stroke		30mm to 1250mm			
Output		4-20 mA, 0-20 mA or 0-10 V			
Linearity		± %0,05			
Resolution		Infinite			
Load resistance		Min. 10 Kohm			
Repeatability		≤ %0.01			
Mechanical life		100 * 10 <sup>6</sup> Cycles			
Displacement speed		≤ 5 m/s			
Permissible applied voltage		12-30 VDC			
Electrical connections		4 Pole connector			
Case dimensions		33mm x 33mm			
Case material		Anodized aluminium			
Rod diameter		6mm			
Rod material		Stainless steel			
IP Degree		IP 65			
Working temperature		- 20 / + 80 °C			
Mechanical fixing		Variable brackets			
<b>Dimensions</b>					
Model	LM	Mechanical stroke (MS)	Electrical measuring stroke (EMS)	Total lenght (L)	
ELPT	300	302mm	300mm	443mm	

Electrical Specifications	
Current output	4-20 mA
Voltage output	0-10 V
Supply voltage	12-24 Volt DC
Load resistance	$\geq 10 \text{ Kohm}$
Electrical connections	4 pole, hydraulic type

Mechanical Specifications	
Mechanical Fixing	Variable Brackets
Rod Diameter	6 mm
Rod Material	Stainless Steel
IP Degree	IP54
Case Material	Anodized Aluminium
Mechanical Stroke	30 to 1000 mm

Performances	
Linearity	$\pm \%0,5$ and $\pm \%0,05$
Mechanical Life	$100 * 10^6$ Cycle
Repeatability	$\leq \%0.05$
Displacement Speed	$\leq 5 \text{ m/s}$
Working Temperature	- 20 / + 80 °C





## Παράρτημα 2- Αισθητήρας πίεσης Kellerdruck 21RE series [10]

Παρακάτω υπάρχουν πίνακες με τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα και κατασκευαστικά σχέδια.

### SPECIFICATIONS

#### Series 21 R / 21 SR / 21 MR

PR 21 R/SR/MR <sup>1)</sup>	0,5	1	2	5	10	16								bar	vented gauge
PAA 21 R/SR/MR		1	2	5	10	16								bar	absolute
PA 21 R/SR/MR <sup>2)</sup>		1	2	5	10	16	30	50	100	160	200	400	600	bar	sealed gauge
Over Range	2	3	4	10	20	25	50	75	150	250	300	500	700	bar	

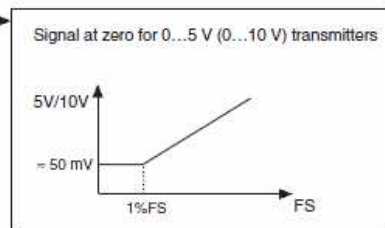
<sup>1)</sup> mPm connector only, not cable

<sup>2)</sup> Zero at 1000 mbar abs.

Signal Output	4...20 mA	0...5 Vdc	1...6 Vdc	0...10 Vdc	0...100 mV
Supply Voltage	8...28 Vdc	9...28 Vdc		13...28 Vdc	8...28 Vdc / 10 Vdc
Current required	max. 25 mA	4 mA max.			2 mA max.
Zero/Span Tolerance	0,5 %FS	0,5 %FS <sup>4)</sup>	0,5 %FS	0,5 %FS <sup>4)</sup>	± 0,1 %FS
Configuration	2-Wire	3-Wire		4-Wire	
Electrical Connection: mPm 193 or cable 2 m, 4 core	OUT/GND:	GND: Pin 1 / Green		GND: Pin 1 / White	
	Pin 1 / White	+OUT: Pin 2 / White		+OUT: Pin 2 / Red	
	+Vcc: Pin 3/Brown	+Vcc: Pin 3 / Brown		+Vcc: Pin 3 / Black	
				-OUT: Blue	
Linearity	± 0,2 % typ. / ± 0,5 % max.				
Total Error Band <sup>3)</sup> +18...+22 °C	± 0,5 % typ. / ± 1 % max.				
Total Error Band <sup>3)</sup> 0...+50 °C	± 1 % typ. / ± 2 % max.				
Total Error Band <sup>3)</sup> -20...+80 °C	± 2,5 % typ. / ± 4 % max.				

<sup>3)</sup> Total error band includes linearity, hysteresis, repeatability, zero/span offsets and temperature effects.

<sup>4)</sup> Signal at zero ≈ 50 mV

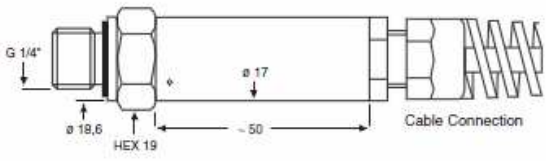


Operating Temperature	-20...+80 °C (on demand -40...100 °C)
Pressure Port	G 1/4" male
Pressure Media	Compatible with 316L stainless steel
Weight	≈ 75 g
Electromagnetic Compatibility	CE marked: Fully tested to EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-6-4
Enclosure Protection	IP 65
Insulation	> 100 MΩ / 500 Vdc
Vibration	20 g (5...2000 Hz, max. amplitude ± 3 mm), according to IEC 68-2-6
Shock	20 g (11 ms)

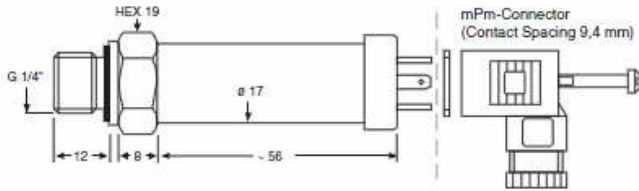
User Notes: Basic 100 mV transmitters are calibrated at 10 Vdc to produce 0...100 mV signal (nominal), and require a stable voltage supply. They can be operated at 5 Vdc to give 0...50 mV signal or 20 Vdc to give 0...200 mV signal. The circuit is a compensated resistance bridge and is completely passive with no diodes or reactive components. Bridge resistance is 3,5 kΩ nominal.

The 6...28 V supply transmitter is fitted with an internal regulator. The mPm connector has a PG7 cable gland entry suitable for cables between 4 and 6 mm diameter. Screw terminals and solder lags are provided. The G 1/4 pressure connection has an integral Viton® seal at the shoulder. Alternatively it may be sealed using a face seal on the flat nose of the pressure port.

**Series 21 R / 21 SR / 21 MR: with cable**



**Series 21 R / 21 SR / 21 MR: with plug**



**Electrical Connections**

	2-Wire	3-Wire	4-Wire
Green		GND	GND (white)
White	OUT/GND	+OUT	+OUT (red)
Brown	+Vcc	+Vcc	+Vcc (black)
			-OUT (blue)

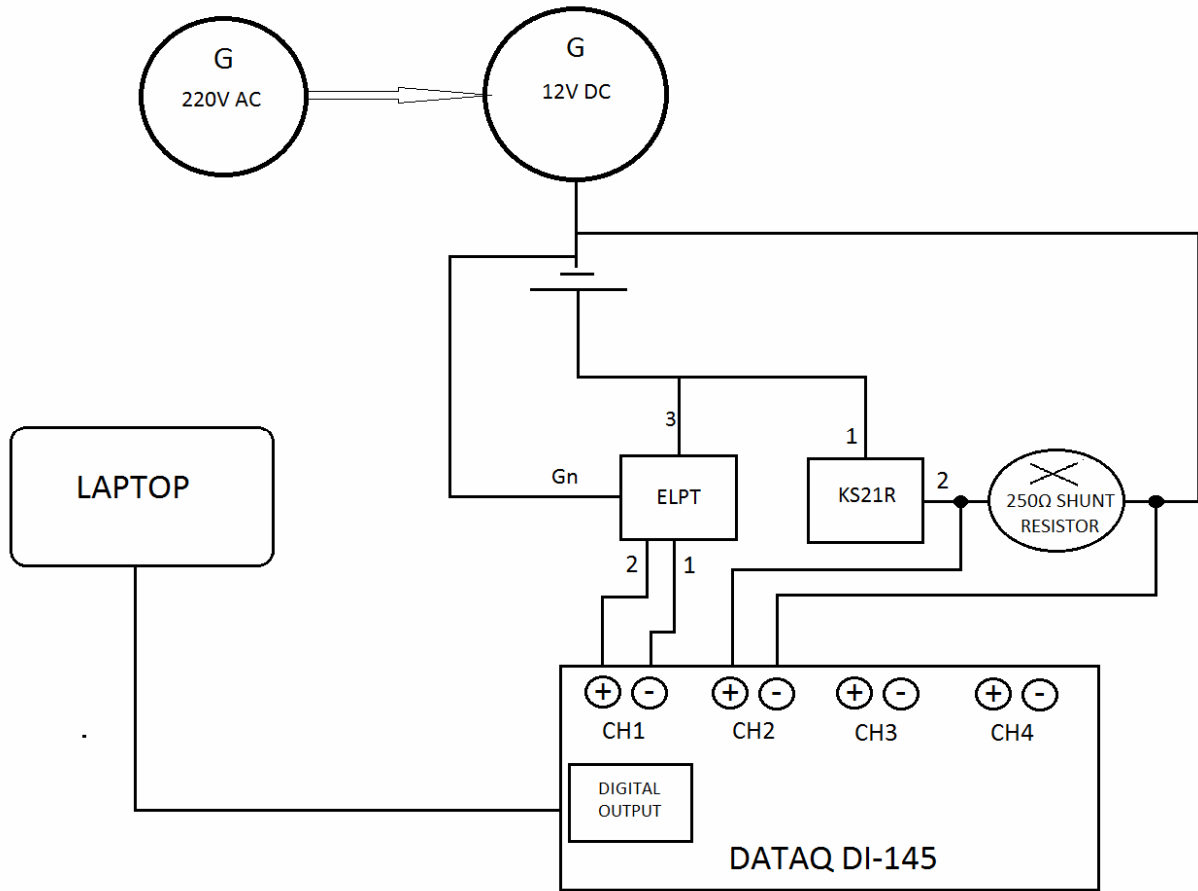
	2-Wire	3-Wire	4-Wire
1	OUT/GND	GND	GND
2		+OUT	+OUT
3	+Vcc	+Vcc	+Vcc
4			-OUT

## Παράρτημα 3 - Dataq Di-145 starter kit [11]

Πίνακας με αναλυτικά στοιχεία για το πακέτο απόκτησης δεδομένων (data acquisition)

DI-145 Specifications	
<b>Signal Inputs</b>	
<b>Analog Inputs</b>	
Number of Channels:	4
Configuration:	Differential
Full Scale Range:	±10VFS
Input impedance:	1 MΩ, each input to ground
Isolation:	none
Accuracy:	±0.25% of FSR
Overall inaccuracy:	±64mV (at 25°C)
DC common mode rejection:	40db (at 25°C)
Max input without damage:	±75 V peak, continuous ±150 V peak, one minute or less
Max common mode voltage:	±10V
Analog frequency response:	-3db @ 100 Hz
<b>Digital Inputs</b>	
Number of Channels:	2
Pull-up value:	47 KΩ from + input to to 3.3V
Pull-down value:	4.7 KΩ from - input to USB ground
Input high voltage threshold:	1.8 V minimum
Input low voltage threshold:	1.4 V maximum
Operating range:	0 - 30 V
Absolute maximum values:	±30 VDC
<b>ADC Characteristics</b>	
Resolution:	Overall: 1 part in 1,024 (10-bit) Above zero: 1 part in 511 Below zero: 1 part in 512 1 ADC Count = ±19.5 mV
Max sample throughput rate:	240 Hz
Min sample throughput rate:	0.44 samples per minute
Sample rate timing accuracy:	50 ppm
<b>Reserved Inputs (Digital Inputs)</b>	
Digital In 0:	WnDAQ remote start/stop
Digital In 1:	WnDAQ remote events
<b>Indicators and Connections</b>	
Interface:	USB 2.0 (mini-B style connector)
Indicators (LED):	Power, Active, Digital
Input Connections:	One 16-position terminal strip
<b>Power</b>	
Power Consumption:	0.30 watts, via USB interface
<b>Environmental</b>	
Operating Temperature:	0°C to 35°C (32°F to 95°F)
Operating Humidity:	0 to 90% non-condensing
Storage Temperature:	-20°C to 45°C (-4°F to 113°F)
Storage Humidity:	0 to 90% non-condensing
<b>Physical Characteristics</b>	
Enclosure:	Hardened Plastic
Mounting:	Desktop; bulkhead
Dimensions:	2.625D × 5.5W × 1.53H in. (6.67D × 13.97W × 3.89H cm.)
Weight:	3.6 oz.
<b>Software Support</b>	
WnDAQ/Lite software:	OS support: Windows XP (32-bit), Windows Vista and Windows 7 (32- and 64-bit versions) Sample Rate Limit: 240 Hz
Backwards compatability:	DI-194RS compatibility mode supports Linux and MatLab
Programming:	<a href="#">DATAQ Instruments SDK</a>

Μπλοκ Διάγραμμα σύνδεσης του Dataq Di-145 starter kit στη διάταξη της εργασίας



## Παράρτημα 4 - ARDUINO [12]

### Αρχιτεκτονική Arduino

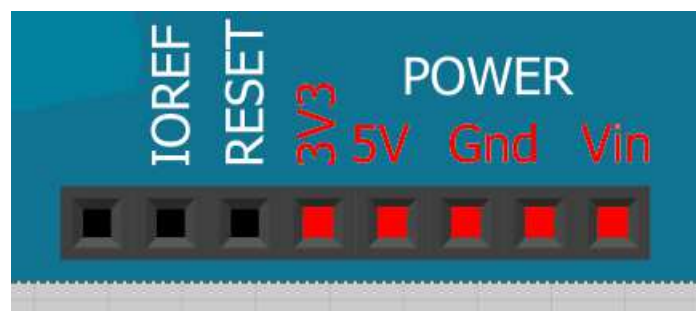
Το Arduino, είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια μητρική πλακέτα, με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή.

### Arduino Shields

Τα Shields, είναι πλακέτες που μπορούν να συνδεθούν στην κορυφή ενός μικροελεγκτή Arduino, επεκτείνοντας τις δυνατότητές του. Τα διαφορετικά shields, ακολουθούν την ίδια φιλοσοφία, δηλαδή την ευκολία στην τοποθέτηση και το μικρό κόστος στην παραγωγή τους. Μερικά από αυτά φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

### Τροφοδοσία

Το Arduino, πρέπει να τροφοδοτηθεί με ρεύμα, είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φισ των 2.1mm που βρίσκεται στην κάτω αριστερή γωνία. Για την αποφυγή προβλημάτων, η εξωτερική τροφοδοσία θα πρέπει να είναι από 7 ως 12V.



*Είσοδοι/Εξοδοι τροφοδοσίας Μικροελεγκτή Arduino*

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Vin: Η τάση εισόδου της πλακέτας, όταν χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή ενέργειας. Η τροφοδοσία τάσης γίνεται μέσω αυτού του ακροδέκτη.
- ✓ 5V: Η τάση που χρησιμοποιείται από τα διάφορα μέρη της πλακέτας και το μικροελεγκτή είναι 5V. Η τάση αυτή, την οποία δίνει αυτός ο ακροδέκτης, είναι είτε η τάση 5V που δίνει η σύνδεση με USB, είτε η ρυθμισμένη τάση που δίνεται μέσω του Vin.
- ✓ 3.3V: Η τάση αυτή παράγεται από το ολοκληρωμένο FTDI. Το όριο άντλησης ρεύματος είναι 50mA.
- ✓ GND: Είσοδοι γείωσης.

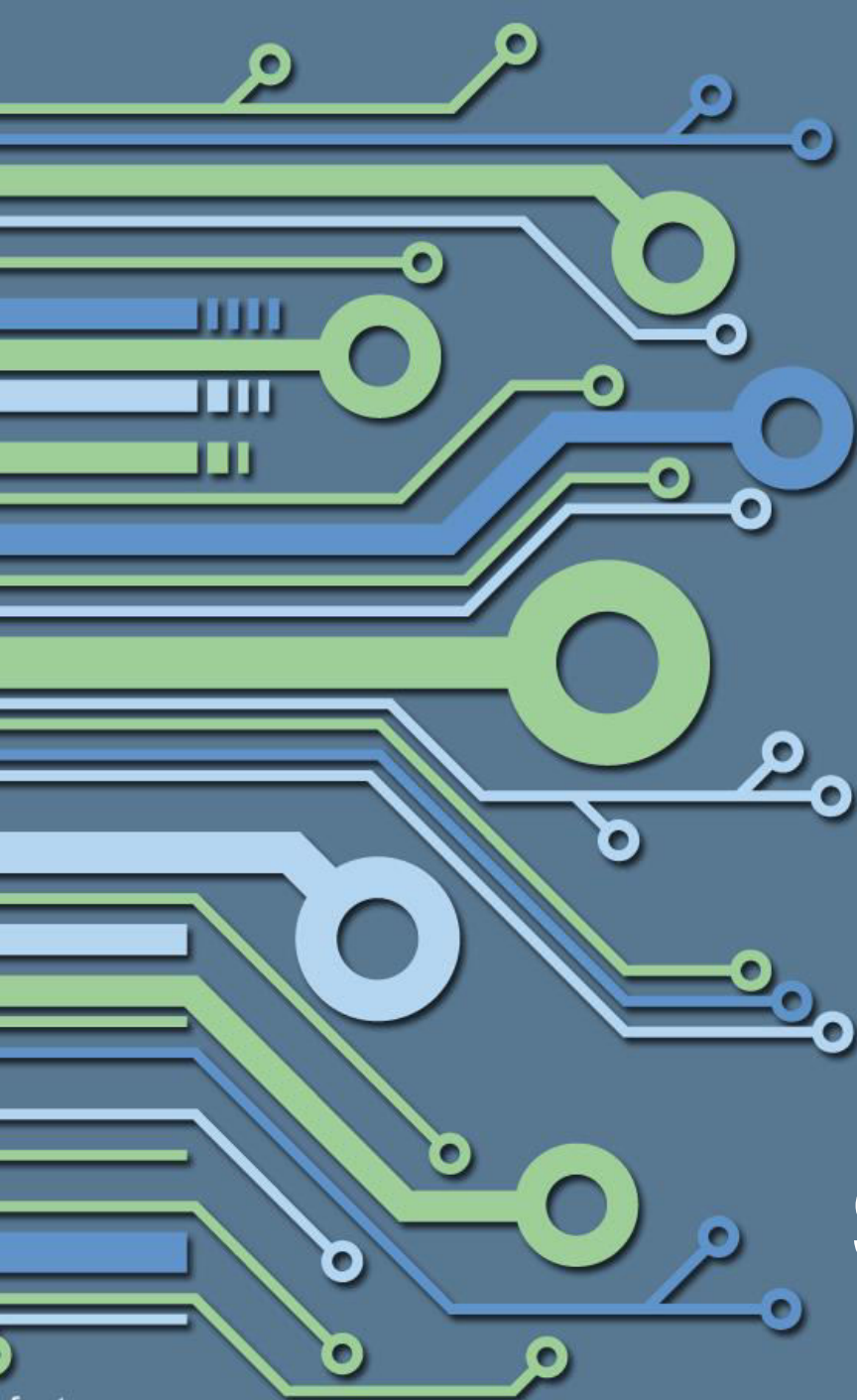
## Μνήμη Arduino

Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328, έχει τρεις ομάδες μνήμης. Διαθέτει flash memory, στην οποία αποθηκεύονται τα Arduino sketch, SRAM (static random access memory), στην οποία δημιουργείται το sketch και χρησιμοποιεί τις μεταβλητές όταν τρέχει, και EEPROM, η οποία χρησιμοποιείται από τους προγραμματιστές για την αποθήκευση μακροχρόνιων πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, η μνήμη του ATmega328 αποτελείται από:

- ✓ 2KB μνήμης SRAM: Η ωφέλιμη μνήμη, που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματα για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. Η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή πατηθεί το κουμπί επανεκκίνησης.
- ✓ 1KB μνήμης EEPROM: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγγραφή ή ανάγνωση δεδομένων από τα προγράμματα. Σε αντίθεση με την SRAM, δε χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνησης.
- ✓ 32KB μνήμης Flash: Από τα 32, τα 2 KB χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino, που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware, είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση προγραμμάτων στο μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB. Τα υπόλοιπα 30KB της μνήμης Flash, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, δε χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνησης.

## Βιβλιογραφία

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mecha\\_workaround.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Mecha_workaround.svg)
- [2] Στεφ.Ν.Μανιάς- Γ.Κωστάκης, *Η τεχνολογία της Μηχατρονικής ως εξειδίκευση του Ηλεκτρολόγου μηχανικού*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [3] Γ. Χαμηλοθώρης, *Εισαγωγή στη Μηχατρονική*, ΤΕΙ Πειραιά.
- [4] Τριτσώνης Α., *Αισθητήρες κίνησης και Μετατόπισης*, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης – Τμήμα Ηλεκτρονικής.
- [5] Ιωαννης Κ. Στεργίου-Κωνσταντίνος Ι. Στεργίου, *Στοιχεία Μηχανών 1*, Εκδόσεις ΣΕ
- [6] [http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course\\_225\\_4334.pdf](http://www.physics.upatras.gr/UploadedFiles/course_225_4334.pdf)
- [7] *Race Car Engineering* – Rowley Race Dynamics
- [8] <http://hydrosolutions.gr/>
- [9] <http://www.opkon.com.tr>
- [10] <http://www.kellerdruck.com>
- [11] <http://www.dataq.com>
- [12] <http://www.arduino.cc>



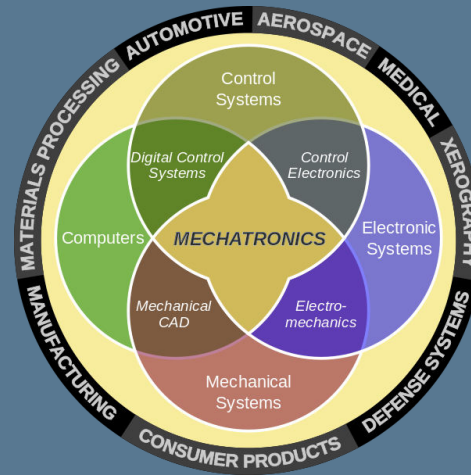
# Spring Rate Tester



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ  
ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ  
(SPRING RATE TESTER)



Φοιτητής:

Καλυβίδης Παναγιώτης  
(ΑΜ: 080003)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Κοσμάνης Θεόδωρος  
Θεσσαλονίκη Δεκέμβριος 2013

# ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- ✓ Αναφορά στην επιστήμη της μηχανικής, τους μικροελεγκτές και τους αισθητήρες
- ✓ Περιγραφή τρόπου μέτρησης στιβαρότητας ελικοειδών ελατηρίων
- ✓ Ανάπτυξη ενός μηχανικού συστήματος για τον προσδιορισμό της στιβαρότητας ελικοειδών ελατηρίων ανάρτησης αυτοκινήτων
- ✓ Ανάλυση των τμημάτων που απαρτίζουν την κατασκευή και την λειτουργία αυτών
- ✓ Ανάλυση Αποτελεσμάτων



# Μηχατρονική

Μηχατρονική είναι ο συνδυασμός των επιστημών της μηχανικής και της πληροφορικής

- ✓ Εφαρμογές:  
βιομηχανία, αεροναυπηγική, υγεία, γεωργία, μηχανολογία
- ✓ Δομή μηχανικού συστήματος:  
μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης, αισθητήρες, ενεργοποιητές, μικροελεγκτές, τροφοδοτικά



# Μικροελεγκτές

Μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο διαθέτει:

- ✓ επεξεργαστή
- ✓ Μνήμη
- ✓ διάφορα περιφερειακά κυκλώματα
- ✓ θύρες εισόδου/εξόδου (i/o)

# Αισθητήρες

**Αισθητήρας** ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο

Τύποι αισθητήρων ανίχνευσης :

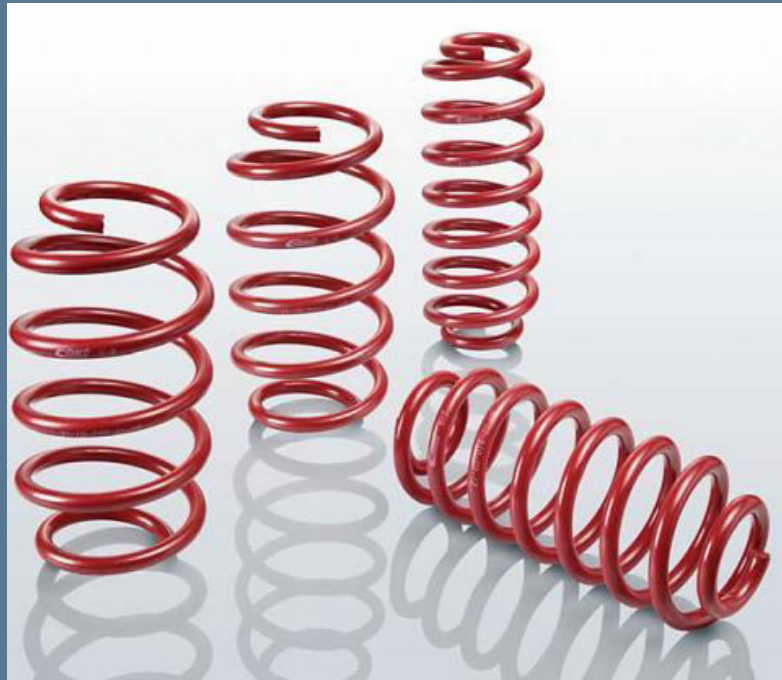
Θερμοκρασίας, Υγρασίας, Πίεσης, Φωτός, Κίνησης αντικειμένου, Επιπέδου θορύβου, Παρουσίας αντικειμένου

Χαρακτηριστικά Αισθητήρων:

Εύρος, Ακρίβεια, Σφάλμα, Ανοχή, Διακριτική Ικανότητα, Ευαισθησία, Βαθμονόμηση, Νεκρή ζώνη, Γραμμικότητα, Απόκριση, Καθυστέρηση, Ευστάθεια, Υστέρηση, Επαναληψιμότητα, Ολίσθηση

# Ελατήρια

Τα ελατήρια είναι στοιχεία που έχουν την ιδιότητα να παραμορφώνονται κάτω από την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης και όταν επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση να αποδίδουν ξανά το έργο της παραμόρφωσης



# Νόμος του Hooke

Η στιβαρότητα του ελατηρίου είναι γενικά ο λόγος της δύναμης  $F$  σε Newton προς τη διαδρομή  $S$  σε mm

## Προσδιορισμός Στιβαρότητας Ελικοειδών Ελατηρίων

- ✓ Θεωρητική Μέθοδος
- ✓ Πειραματική Μέθοδος



# Θεωρητική Μέθοδος

Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός ελατηρίου και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο μπορούμε να υπολογίσουμε τη σκληρότητα του. Η συνάρτηση που εκφράζει τη σκληρότητα του σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κατασκευής του είναι :

$$K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$$

Όπου

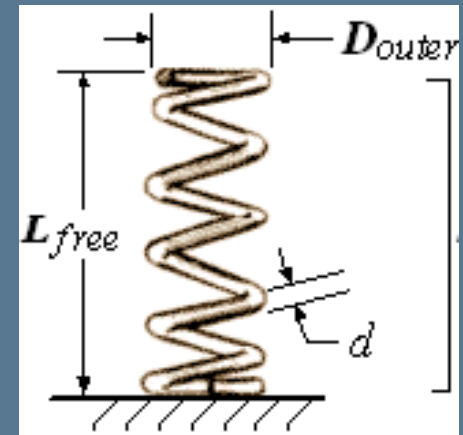
**K** η στιβαρότητα του ελατηρίου σε N/mm

**G** το μέτρο διάτμησης του υλικού του ελατηρίου σε N/mm<sup>2</sup>

**d** η διάμετρος του σύρματος του ελατηρίου σε mm

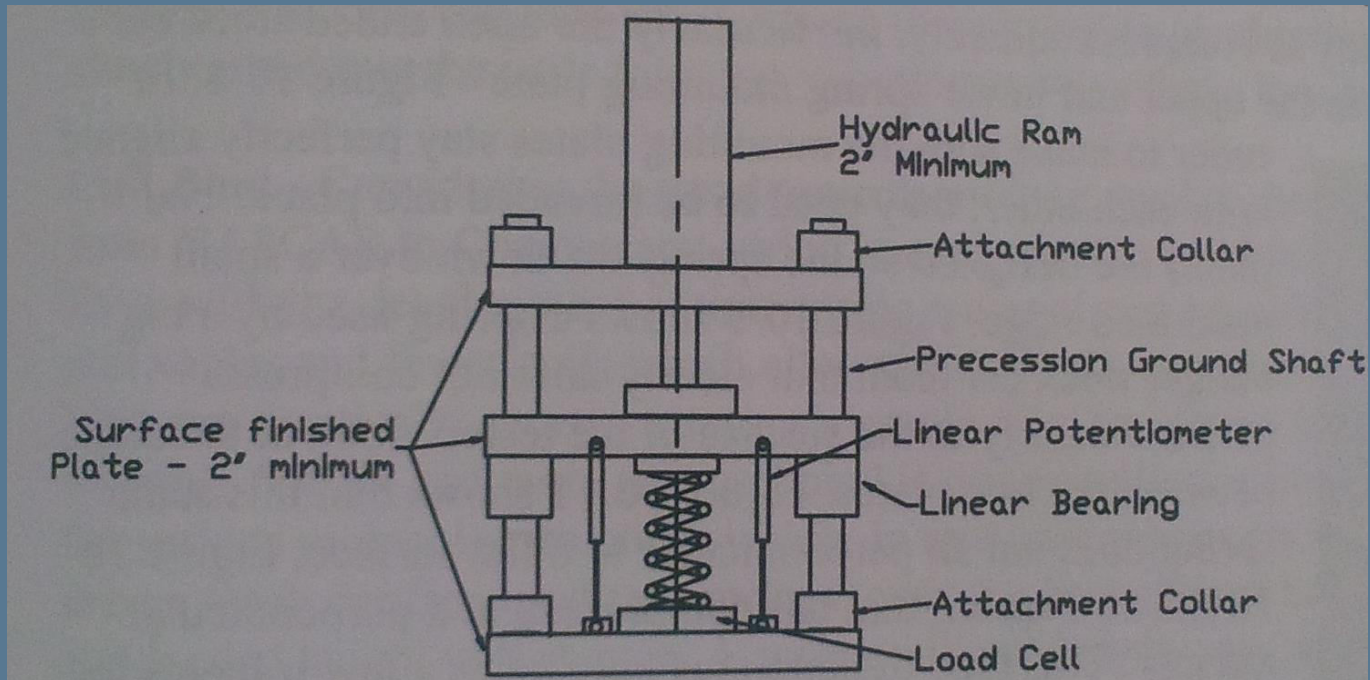
**D** η διάμετρος του ελατηρίου σε mm

**n** ο αριθμός των ενεργών σπειρών του ελατηρίου

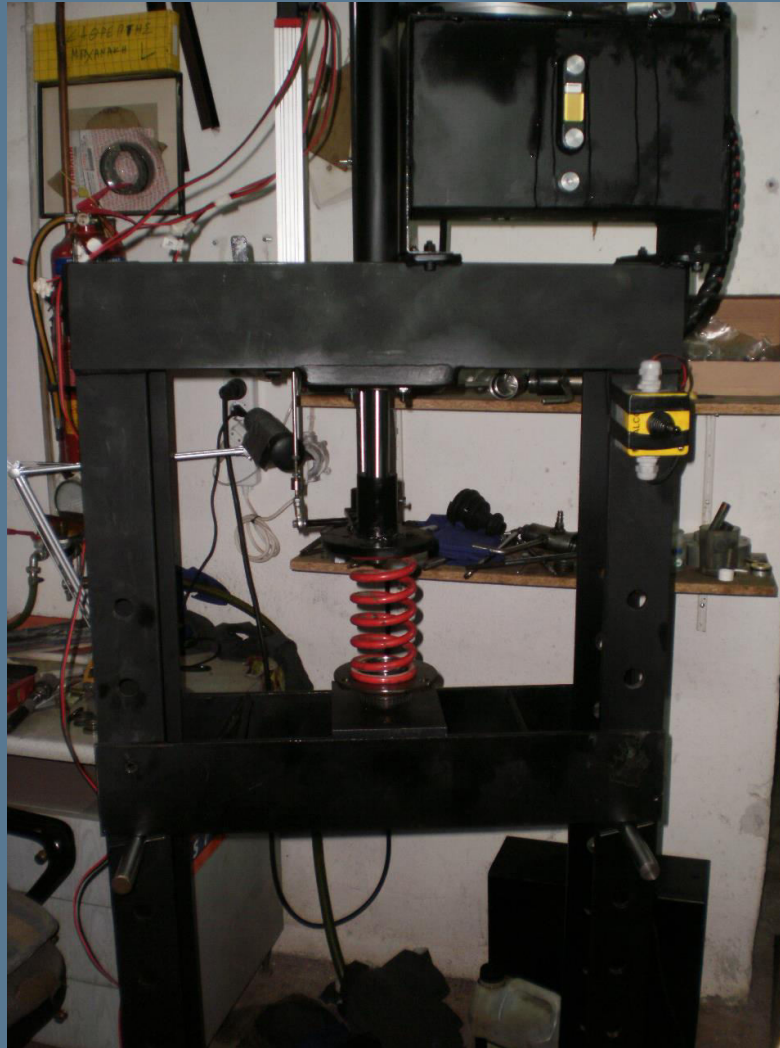


# Πειραματική Μέθοδος

Για τη μέτρηση της στιβαρότητας ενός ελατηρίου με τη πειραματική μέθοδο χρειαζόμαστε μια διάταξη όπου θα πιέζουμε με κάποια δύναμη το ελατήριο και θα παίρνουμε μετρήσεις για τη δύναμη που εφαρμόζουμε και τη μετατόπιση προκύπτει από αυτή



# Πειραματική Διάταξη

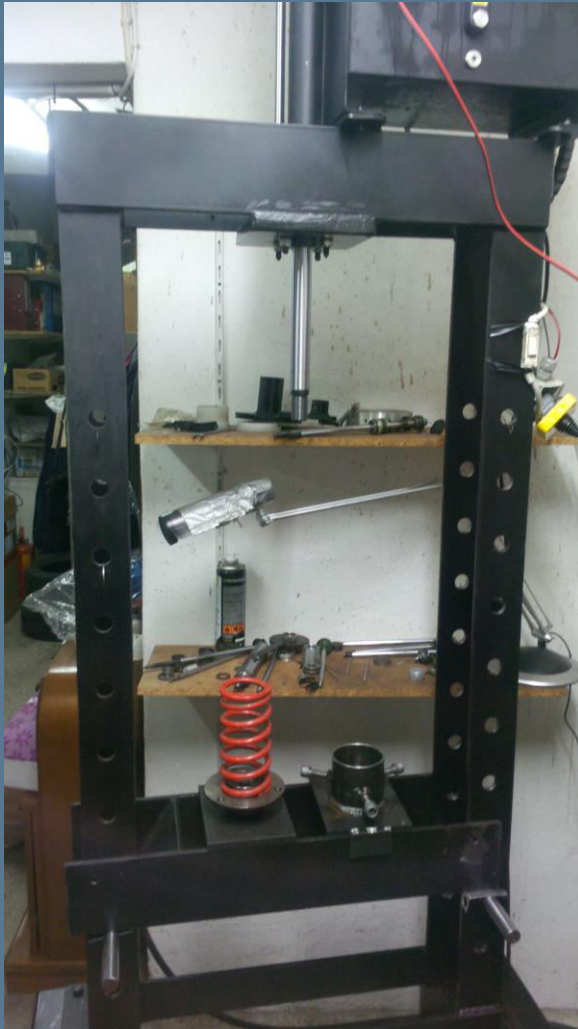


# Μηχανικά Εξαρτήματα

- ✓ Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας
- ✓ Υδραυλική αντλία
- ✓ Υδραυλικός βραχίονας (έμβολο, διωστήρας-βάκτρο)
- ✓ Άνω βάση στήριξης του ελατηρίου
- ✓ Οδηγός άνω βάσης
- ✓ Κάτω βάση στήριξης του ελατηρίου
- ✓ Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης



# Πλαίσιο υδραυλικής πρέσας



Κατασκευή από λάμες χάλυβα St 37, πάχους 10mm και πλάτους 100mm

Εκτίμηση αντοχής πλαισίου σε κάθετο φορτίο: 10 tn

# Υδραυλική αντλία



**Παροχή αντλίας:  
1.2Lt/hr**

**Μεγ. Πίεση: 300 bar**

**Ταχύτητα Εμβόλου:  
20mm/sec**

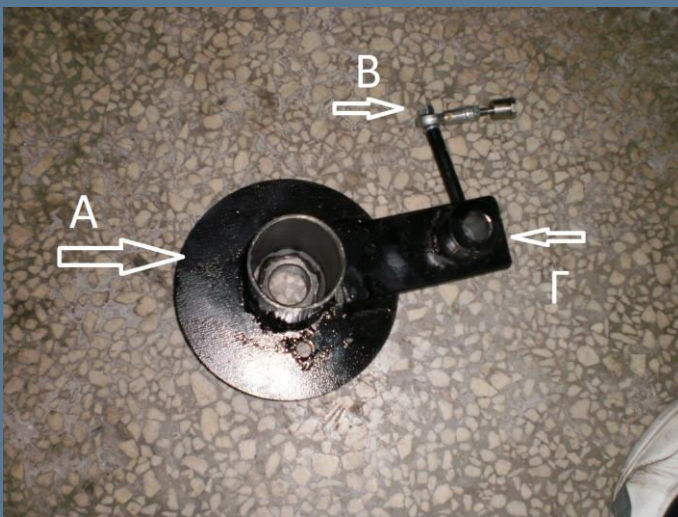
# Υδραυλικός βραχίονας



Έμβολο  $\Phi 40$  mm  
Βάκτρο  $\Phi 30$  mm



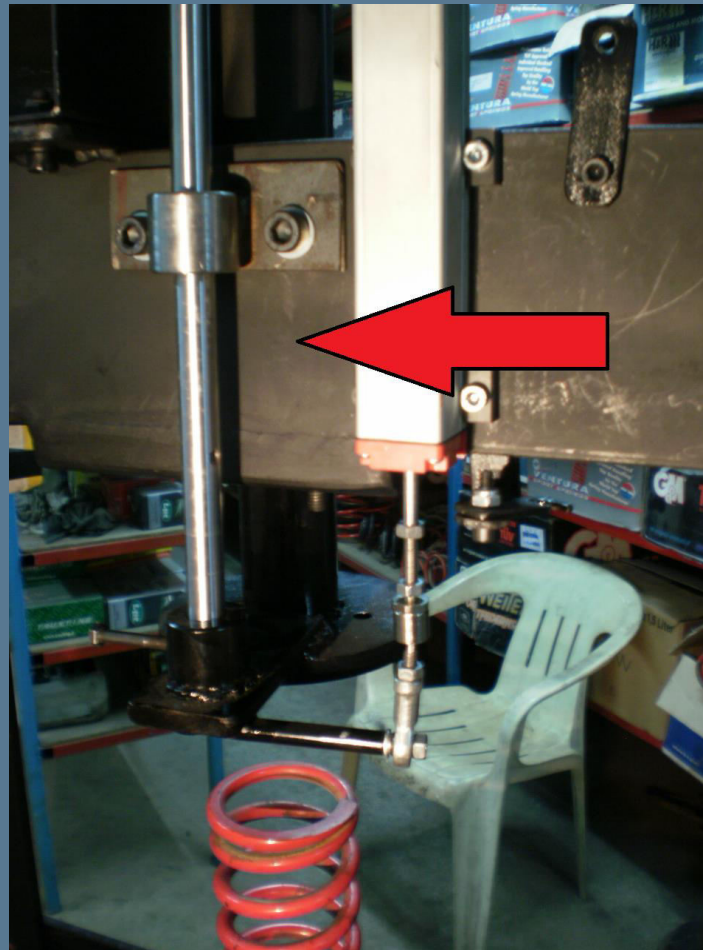
# Άνω βάση στήριξης ελατηρίου



- ✓ A) κεντράρισμα ελατηρίου
- ✓ B) στήριξη στελέχους αισθητήρα
- ✓ Γ) στήριξη οδηγού βάση



# Οδηγός άνω βάσης



# Κάτω βάση στήριξης ελατηρίου

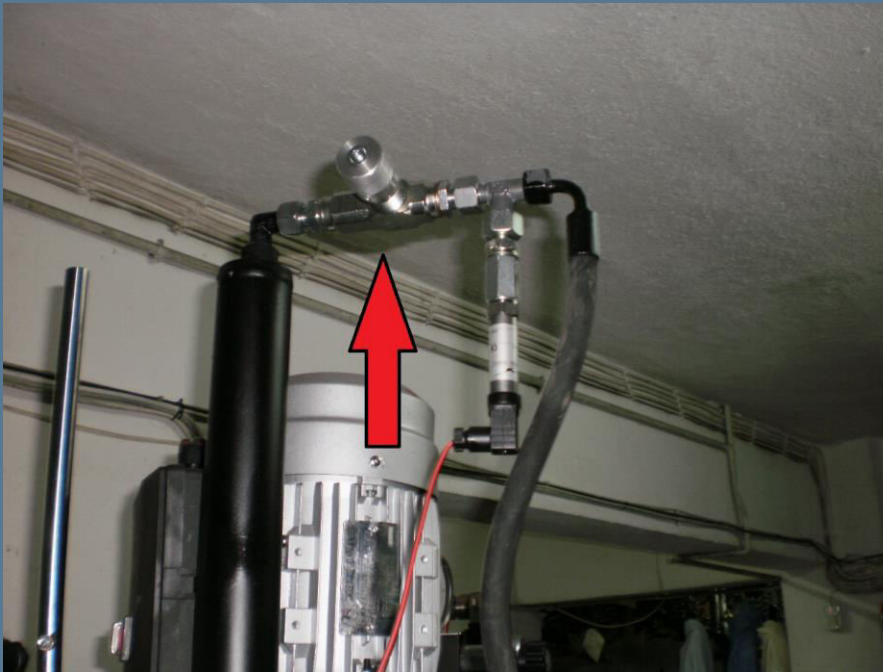


Έδραση με ρουλεμάν  
για την αποφυγή των  
στρεπτικών δυνάμεων



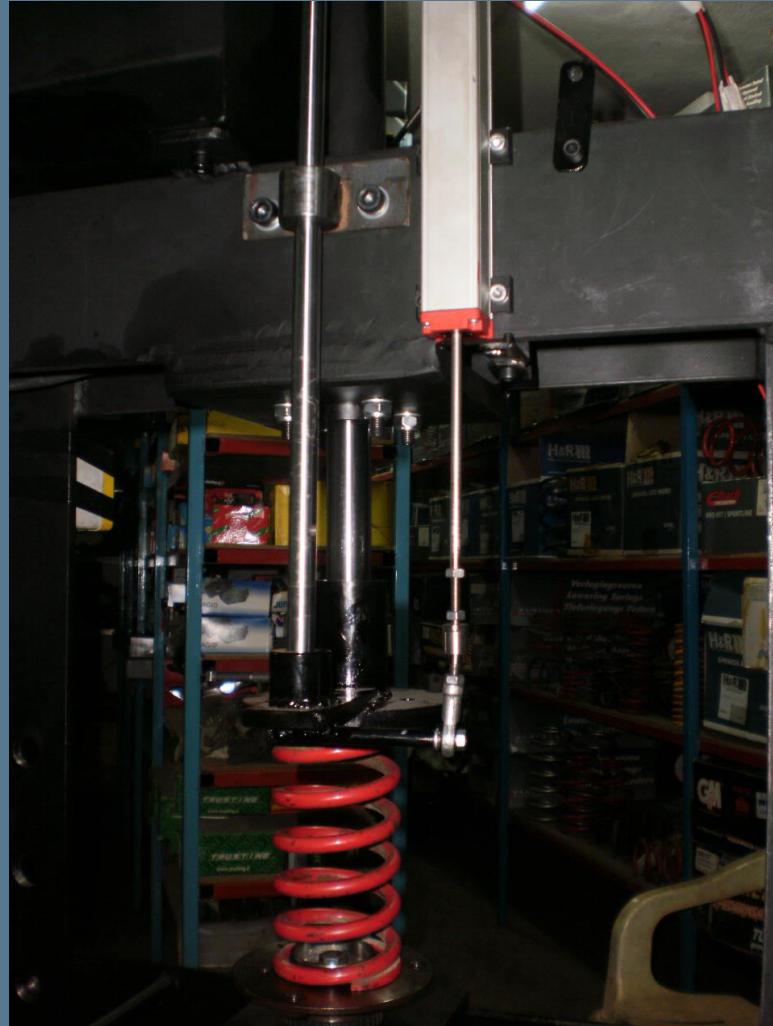


# Ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης



Μείωση της ταχύτητας  
του εμβόλου κατά την  
εκτόνωση  
(κίνηση προς τα πάνω)

# Διάταξη σε θέση λειτουργίας





# Ηλεκτρικά -Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα

- ✓ Ηλεκτροκινητήρας
- ✓ Ηλεκτροβαλβίδες κίνησης εμβόλου πρέσας
- ✓ Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης
- ✓ Αισθητήρας μέτρησης πίεσης
- ✓ Τροφοδοτικό 12 Vdc
- ✓ Μονάδα επεξεργασίας σημάτων – δεδομένων
- ✓ Ηλεκτρικά κυκλώματα (ρελέ(relay), μετατροπείς αναλογικών σημάτων (DC/DC converter

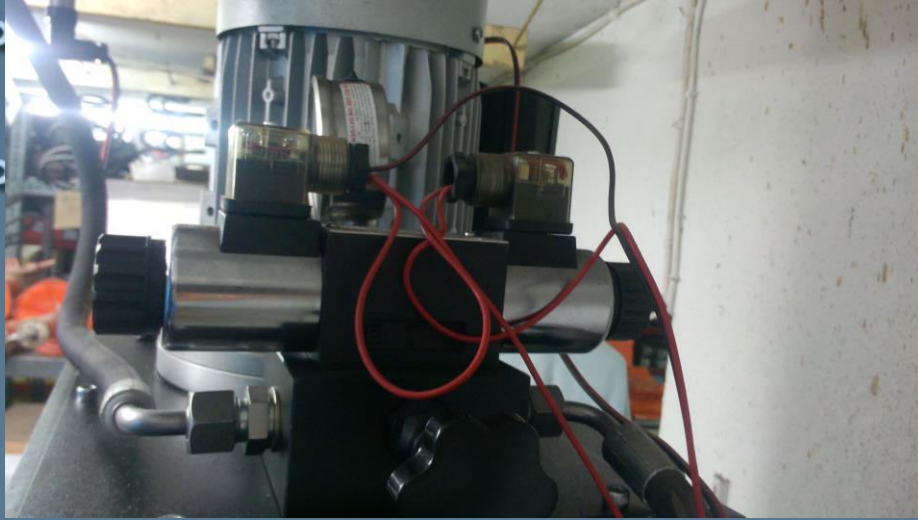
# Ηλεκτροκινητήρας



Μονοφασικός  
Ηλεκτροκινητήρας 1 hp



# Ηλεκτροβαλβίδες



Ηλεκτροβαλβίδες που ελέγχουν την κίνηση του εμβόλου (πάνω - κάτω)



# Αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης



- ✓ Τροφοδοσία : 12v dc
- ✓ Έξοδος σήματος : 0-10v dc
- ✓ Εύρος μέτρησης : 0-300 mm

# Αισθητήρας μέτρησης πίεσης



- Τροφοδοσία : 12v dc
- Έξοδος σήματος : 4-20mA
- Εύρος μέτρησης : 0-300 bar

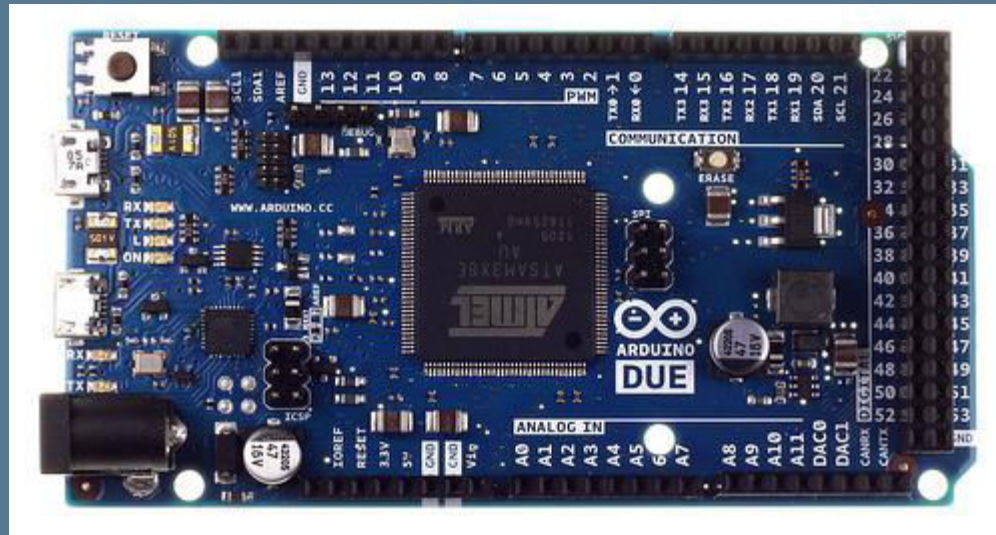
# Τροφοδοτικό 12V dc



- ✓ Είσοδος (input) : 220v ac
- ✓ Έξοδος (output): 12v dc
- ✓ Ρεύμα εξόδου(output current) : 4 A



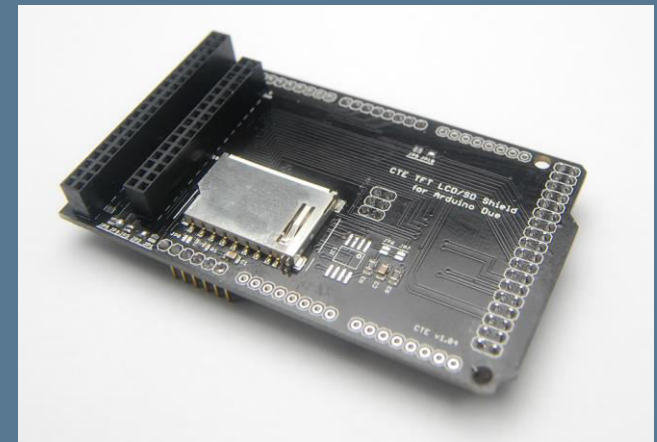
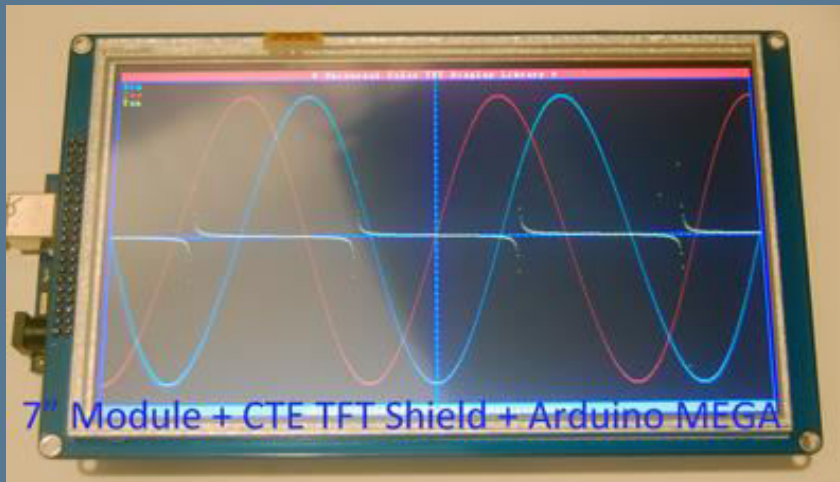
# Μονάδα επεξεργασίας σημάτων – δεδομένων - Arduino



# Arduino due

- ✓ 18 ψηφιακά pins εισόδου/εξόδου (I/O)
- ✓ 12 αναλογικά pin (analog input)
- ✓ 32bit 84Mhz επεξεργαστή
- ✓ Δυνατότητα σύνδεσης με οθόνη

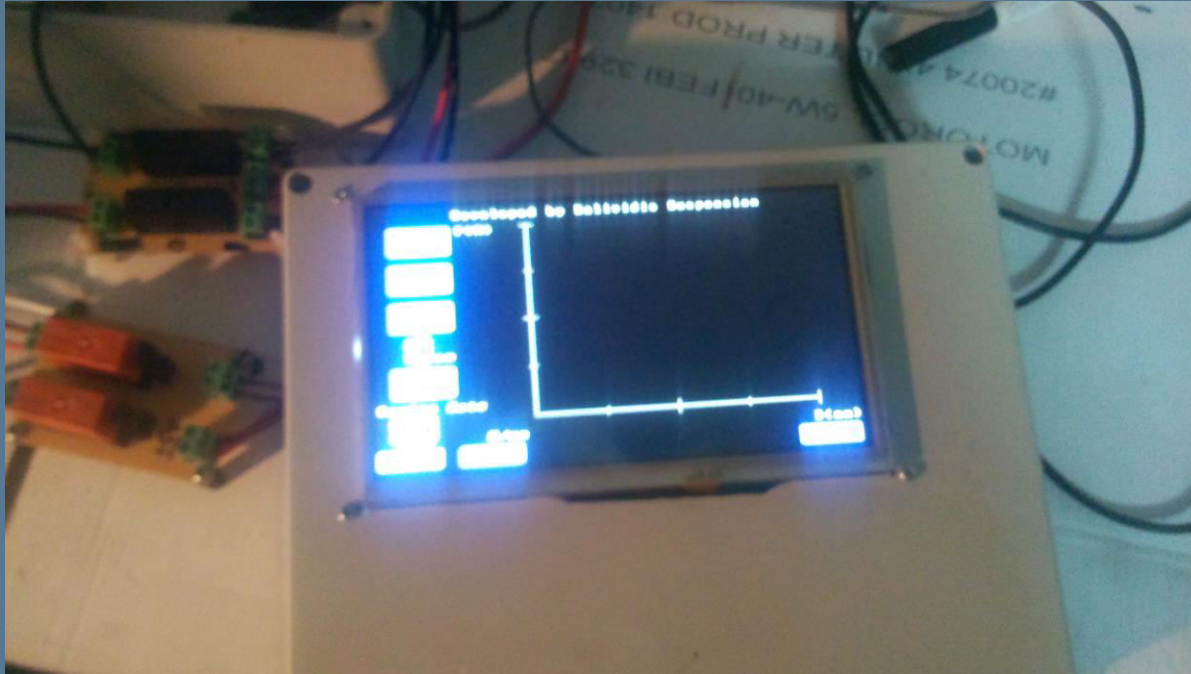
# Οθόνη



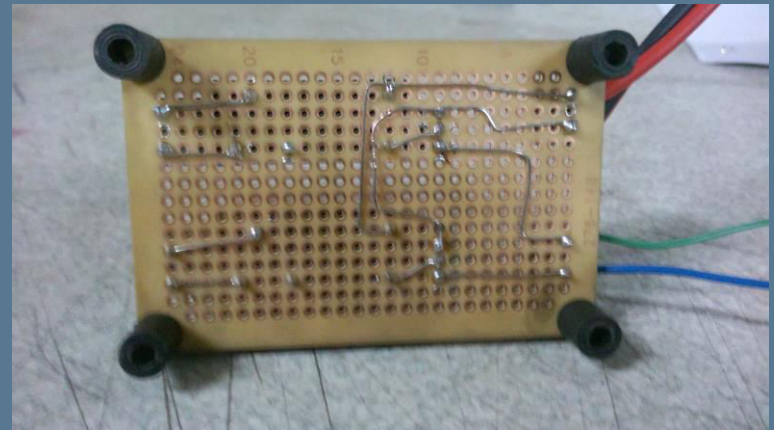
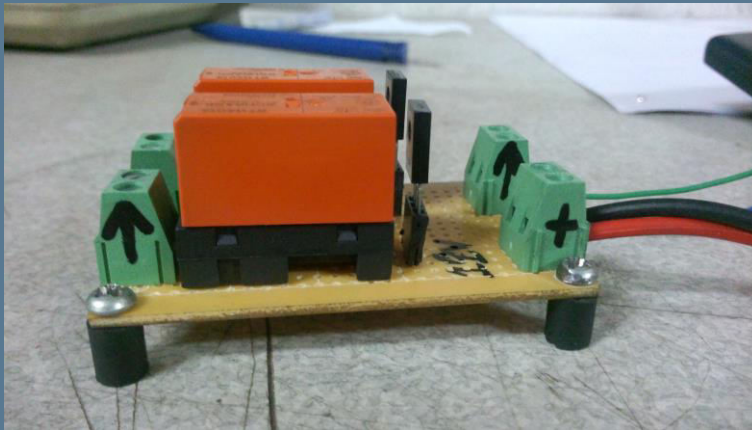
- ✓ 7 inch TFT lcd αφής
- ✓ Αντάπτορας οθόνης- arduino due



# Interface



# Διακόπτες - Ρελέ



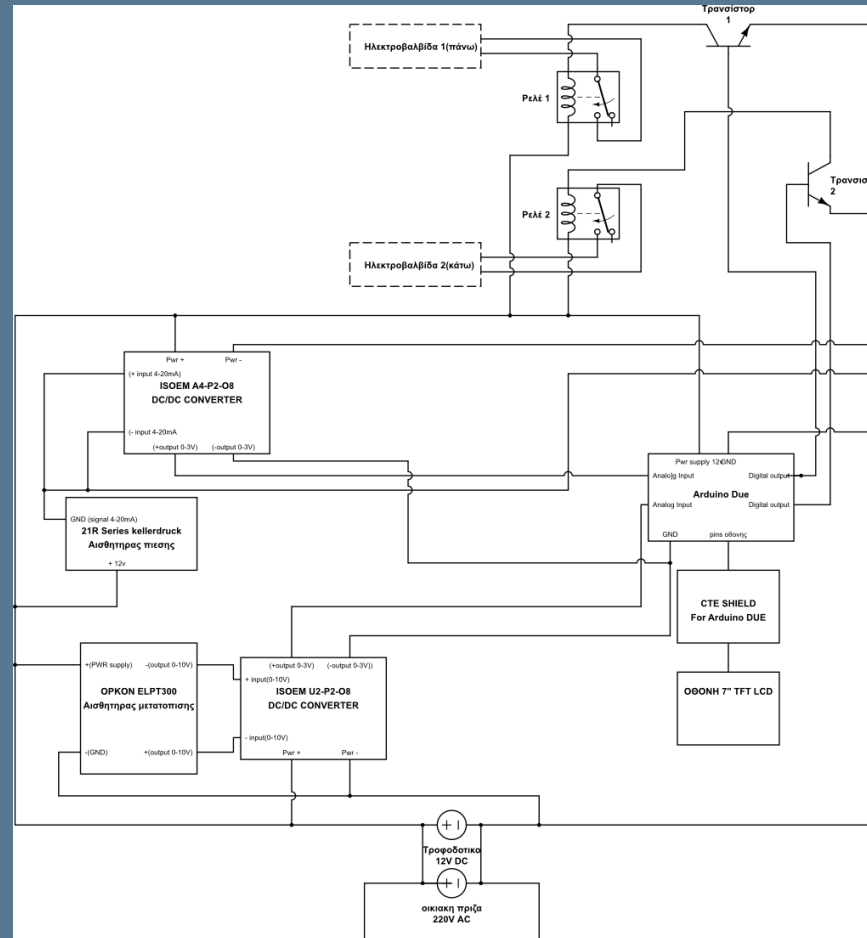
Έλεγχος των ηλεκτροβαλβίδων μέσω ψηφιακής εντολής του arduino

# Μετατροπείς αναλογικών σημάτων (dc/dc converter)



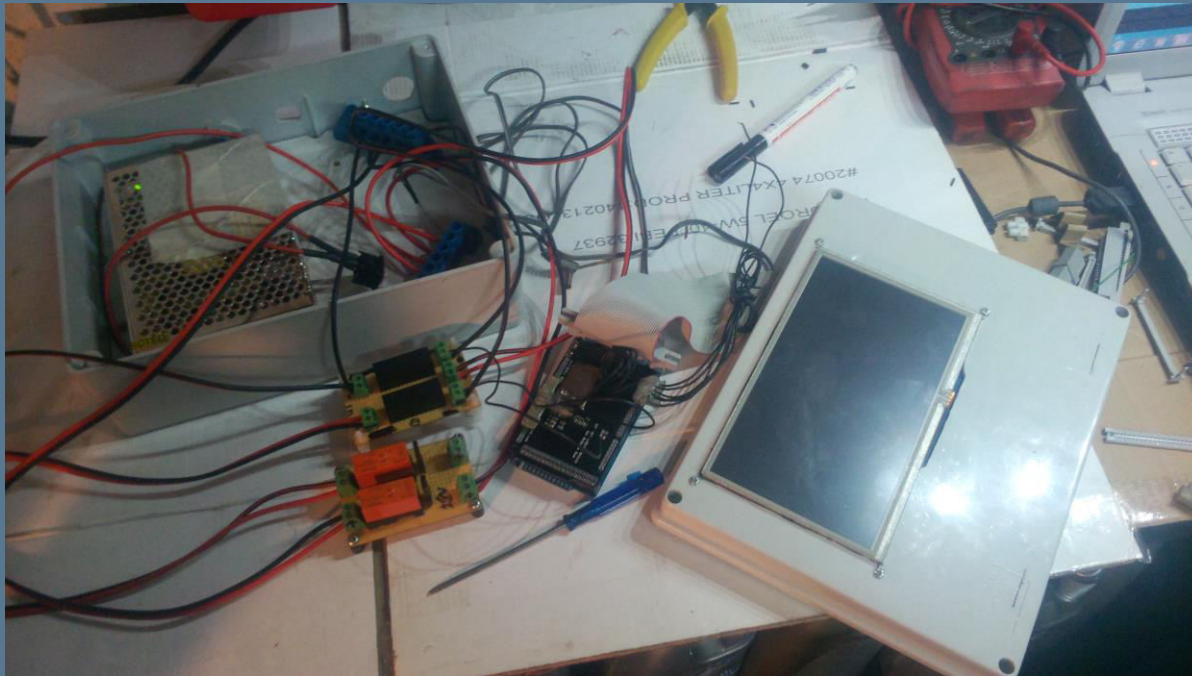
**Μετατροπή σημάτων αισθητήρων:  
Απο 0-10v σε 0-3v και 4-20mA σε 0-3v  
Για την ανάγνωση των σημάτων από το  
Arduino**

# Ηλεκτρολογικό σχέδιο





# Συνδεσμολογία Εξαρτημάτων



# Προγραμματισμός

```
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια
telikoprogramma9 $
else if(patima==Start){
    while(m2<count && Apostteliki<=distvalueinmm && Apost<200) //count??
    {
        digitalWrite(pindown,HIGH); // ksekina na katebaineis
        Force=readForce();
        Apost=readapost();

        if (Force >=1 && proti==true )// ##### proti fora-midenisma apostasis
        {
            Apostproti=readapost();
            proti=false ;
            delay(5000);
        }

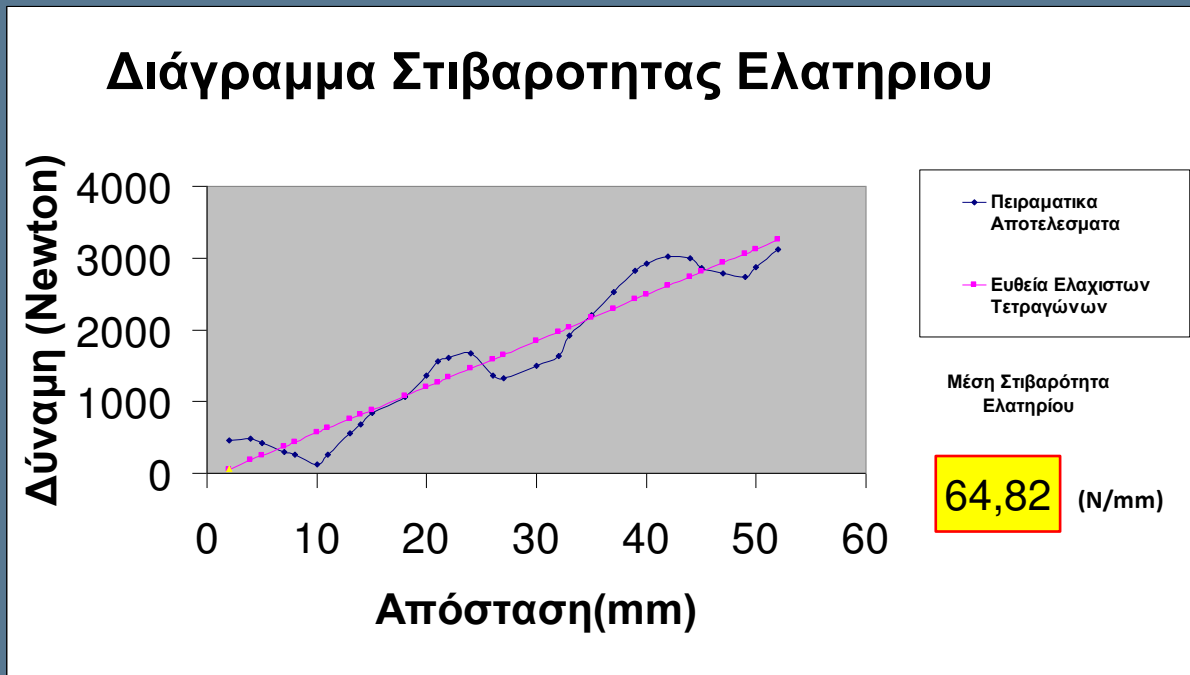
        else if (Force >= 1)
        {
            Apost=readapost();
            Apostteliki=Apost-Apostproti;

            if (Apostteliki >= t) {

                pinakas[m1][1]=Force;
                m1++;
                pinakas[m2][2]=Apostteliki;
                m2++;
                t=t+((distvalueinmm-Apostteliki)/count);
            }
        }
    }
}
```

- ✓ Περιβάλλον προγραμματισμού: arduino IDE
- ✓ Γλώσσα Προγραμματισμού: wiring

# Αποτελέσματα – Ελατήριο 1

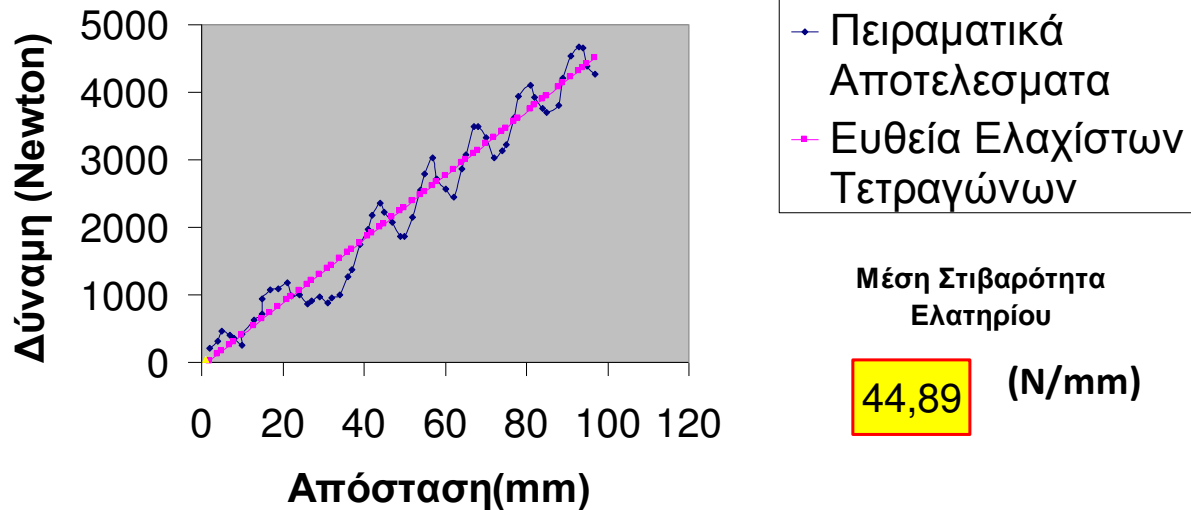


- ✓ Εύρος μέτρησης : 50 mm
- ✓ Πλήθος τιμών : 30



# Αποτελέσματα – Ελατήριο 2

## Διάγραμμα Στιβαρότητας Ελατηρίου



- ✓ Εύρος μέτρησης : 100 mm
- ✓ Πλήθος τιμών : 60

# Συμπεράσματα

- ✓ Απόκτηση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων για τη στιβαρότητα ελατηρίων ανάρτησης από τη μέτρηση μέσω της πειραματικής διάταξης
- ✓ Κατηγοριοποίηση ελατηρίου σύμφωνα με τη συμπεριφορά του (γραμμικό ή μη)



# Μελλοντική Μελέτη

- ✓ Βελτιστοποίηση βαθμονόμησης αισθητήρων
- ✓ Βελτιστοποίηση interface
- ✓ Βελτιστοποίηση διαδικασίας μέτρησης
- ✓ Μέτρηση μη γραμμικών ελατηρίων

# Βίντεο Μέτρησης





# ΤΕΛΟΣ

Ευχαριστώ για την Προσοχή σας



Ερωτήσεις