

ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ
Γ' ΕΠΑΛ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Πρόεδρος: *Σωτήριος Γκλαβάς*

ΓΡΑΦΕΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Β΄

Προϊστάμενος: *Παύλος Μάραντος*

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Στέφανος Οικονόμου

ΚΡΙΤΕΣ

Σαλωνίδου Αθηνά, Σχολικός Σύμβουλος Δ.Ε. ΠΕ 12.10

Γεωργάκης Θεόδωρος, Εκπαιδευτικός Δ.Ε. ΠΕ 12.05

Κορδάτος Βασίλειος, Εκπαιδευτικός Δ.Ε. ΠΕ 12.05, ΠΕ 12.06

ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Δρ. Παναγιώτης Λαζανάς Φιλολόγος, Σύμβουλος Β΄ ΙΕΠ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Παύλος Μάραντος

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ Γ' ΕΠΑΛ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σύγχρονη εποχή της πληροφορίας, τεχνολογικοί κλάδοι, που κάποτε αποτελούσαν διακριτά συστήματα, πλέον ενοποιούνται. Λίγα χρόνια παλιότερα, ένα μηχανικό σύστημα λειτουργούσε ανεξάρτητα από ένα ηλεκτρολογικό ή ένα ηλεκτρονικό σύστημα. Στην εποχή μας, υπάρχει η τάση τα συστήματα αυτά να συνδέονται μεταξύ τους, ώστε να εκτελούνται με ακρίβεια και αυτοματοποιημένα πολύπλοκες διεργασίες. Η αλληλεπίδραση αυτών των συστημάτων βρίσκει, μάλιστα, εφαρμογή τόσο στις πιο κοινές συσκευές καθημερινής χρήσης, όπως λ.χ. τα πλυντήρια ρούχων, – όσο και -σε πιο πολύπλοκα συστήματα, όπως λ.χ. τα ρομπότ.

Στο εγχειρίδιο αυτό θα παρουσιαστεί η ιστορία της μηχανικής, τα εξελικτικά στάδιά της, τα συστήματά της, καθώς και ορισμένες εφαρμογές της. Να τονιστεί ότι το παρόν εγχειρίδιο αποτελεί ένα σύνολο εισαγωγικών σημειώσεων που παρουσιάζουν τον κλάδο της μηχανικής και τα συστήματα, από τα οποία δομείται. Δε συνιστά ένα πλήρες ακαδημαϊκό βιβλίο, αλλά περισσότερο είναι ένας οδηγός για περαιτέρω αναζήτηση.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΣΚΟΠΟΣ	6
ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ	6
ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ	6
Η ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ	7
Ο ορισμός.....	7
Η εξέλιξη.....	8
Γενικό διάγραμμα μηχαντρονικού συστήματος	9
Τεχνολογίες που ενσωματώνονται.....	10
Πλεονεκτήματα μηχαντρονικών συστημάτων.....	11
ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ	12
Εισαγωγή.....	12
Συνήθη υποσυστήματα-μικροελεγκτών.....	12
Λογισμικό προγραμματισμού μικροελεγκτή	14
Arduino	15
Η πλακέτα του arduino	15
Το λογισμικό του arduino	16
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	18
Εισαγωγή.....	18
Βασικά χαρακτηριστικά αισθητήρων	18
Είδη και τεχνολογίες αισθητήρων	19
1. Αισθητήρες θερμοκρασίας.....	19
2. Οπτικοί αισθητήρες.....	21
3. Αισθητήρες μετατόπισης και κίνησης	23
4. Αισθητήρες πίεσης και βάρους.....	26
5. Αισθητήρες στάθμης και όγκου	29
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΑΣΗΣ	30
Εισαγωγή.....	30
Είδη και τεχνολογίες.....	30
Σερβοκινητήρες.....	30
Ηλεκτρικός κινητήρας	32
Βηματικός κινητήρας.....	33
Μηχανικός σερβοκινητήρας γραμμικής κίνησης.....	34
Μηχανικός σερβοκινητήρας περιστροφικής κίνησης.....	34
Υδραυλικός σερβοκινητήρας.....	35
Πνευματικός σερβοκινητήρας	35
Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής.....	36
ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ	38
Εισαγωγή.....	38
Πρωτόκολλο SPI.....	38
Πρωτόκολλο I2C.....	38
Πρωτόκολλο CAN	39
Πρωτόκολλο IEEE 802.3	41
Πρωτόκολλο USB.....	41
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	42
Εισαγωγή.....	42
Παρουσίαση τυπικών εφαρμογών μηχαντρονικής	42
Το ABS	42
Ευκαιρία για ερευνητική εργασία.....	43
Εικονογραφικό υλικό ως πηγή ιδεών για την ερευνητική εργασία	44
Υλικό από το διαδίκτυο	47

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός του μαθήματος είναι να έρθουν οι μαθητές σε επαφή με την μηχανική και, κυρίως, να αντιληφθούν ότι στη σύγχρονη εποχή οι μέχρι πρότινος διακριτοί τεχνικοί κλάδοι (ηλεκτρονική-μηχανολογία-πληροφορική-ηλεκτρολογία) πλέον αλληλοσυνδέονται και συνεργάζονται.

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟΥ

Το παρόν εγχειρίδιο επιδιώκει να περιγράψει τα βασικά μέρη της μηχανικής. Στην αρχή, δίνεται ο ορισμός και η ιστορική εξέλιξη της μηχανικής. Στη συνέχεια, αναλύεται η μηχανική σε τέσσερις μεγάλες ενότητες:

1. Μικροελεγκτές - Λογισμικό
2. Αισθητήρες
3. Συστήματα δράσης
4. Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η επιλογή των εννοιών έγινε κατά τρόπο που να παραπέμπει απευθείας στη λειτουργία των ζωντανών οργανισμών, όπου: το ερέθισμα γίνεται αντιληπτό με τις αισθήσεις, το νευρικό σύστημα το επεξεργάζεται και, έπειτα, δίνει την εντολή για την οποιαδήποτε κίνηση ή αντίδραση. Τέλος, παρατίθενται οι εφαρμογές της μηχανικής.

ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

Κρίνεται σημαντικό, οι μαθητές να μην κατευθύνονται στο να αποστηθίσουν όλες τις πληροφορίες του βιβλίου, αλλά να παρατηρήσουν, να επεξεργαστούν και να εφαρμόσουν σε εργαστηριακό επίπεδο την αλληλοσύνδεση κάποιων αισθητήρων με το λογισμικό και τα συστήματα δράσης. Ο μικροελεγκτής, στον οποίο θα βασιστεί η αλληλεπίδραση των βασικών μερών της μηχανικής, προτείνεται να είναι το Arduino (έχουν γίνει ήδη σχετικές επιμορφώσεις γι' αυτό), χωρίς, ωστόσο, να αποκλείεται και η χρήση άλλων παρόμοιων εργαλείων—, όπως λ.χ. το Raspberry.

Η ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΗ

ΟΡΙΣΜΟΣ - ΕΞΕΛΙΞΗ - ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο ορισμός

Όταν επινοήθηκε ο όρος “μηχαντρονική”, οι περισσότεροι άνθρωποι δεν είχαν ιδέα, σε τι ακριβώς αναφέρεται. Η μηχαντρονική έχει συνδεθεί με πλείστα διαφορετικά αντικείμενα -συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων παραγωγής, του ελέγχου κίνησης, της ρομποτικής, του ευφυούς ελέγχου, των ολοκληρωμένων συστημάτων, των ελεγκτών δονήσεων και θορύβου, των αυτοκινούμενων συστημάτων, της μοντελοποίησης και του σχεδιασμού, των αισθητήρων, καθώς, επίσης, και των μικροσυσκευών, όπως λ.χ. τα ηλεκτρομηχανικά συστήματα.

Η ΜΗΧΑΝΟΤΡΟΝΙΚΗ

Ο όρος “Μηχαντρονική” αναφέρεται στον συνδυασμό των επιστημών της Μηχανολογίας, της Ηλεκτρονικής - Ηλεκτρολογίας και της Πληροφορικής.

Μηχαντρονική = Μηχανολογία + Ηλεκτρονική + Πληροφορική

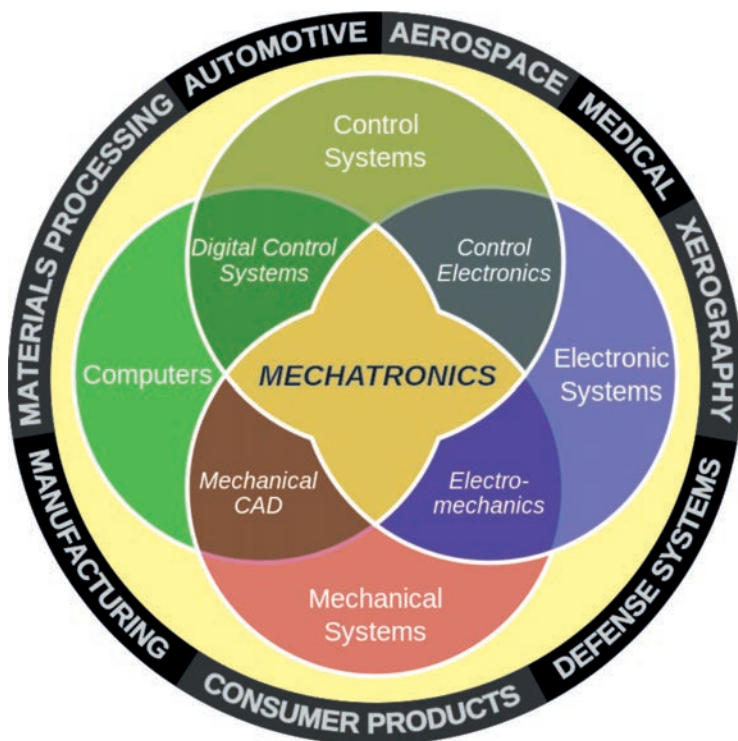
Θεωρείται ο εμπλουτισμός των κατά βάση μηχανολογικών συστημάτων με ηλεκτρονικά εξαρτήματα, που αρκετά συχνά εμπεριέχουν λογισμικό.

Μια αναπαράσταση των τομέων, από τους οποίους αποτελείται η μηχαντρονική και οι περιοχές εφαρμογής της, παρουσιάζεται στην εικόνα 1.

Αναλυτικότερα, η μηχαντρονική αποτελείται από:

1. Συστήματα ελέγχου
2. Ηλεκτρονικά συστήματα
3. Μηχανολογικά συστήματα
4. Υπολογιστές

Οι εφαρμογές της μηχαντρονικής αφορούν την αεροναυπηγική, τη βιομηχανία αυτοκινήτων, την κατασκευή υλικών κ.ά., όπως φαίνεται και στον εξωτερικό κύκλο της εικόνας 1.



Εικόνα 1. Το περιβάλλον της Μηχατρονικής.

Κατά την εξελικτική πορεία της συναρμογής των παραπάνω επιστημονικών πεδίων είχαν προταθεί πολλοί όροι, για να περιγραφεί αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των επιστημονικών πεδίων. Περισσότερο αποδεκτός σήμερα θεωρείται αυτός της "μηχατρονικής", ακριβώς επειδή αναφέρεται σε ένα δυναμικό σύστημα ολοκληρωμένης συνεργασίας της μηχανολογίας με την ηλεκτρονική, μέσω του ευφυούς ελέγχου των υπολογιστών, αλλά και κύρια εφαρμογή στον σχεδιασμό και την κατασκευή βιομηχανικών προϊόντων ή διαδικασιών. Διότι για την επίτευξη αυτής της συνεργασίας, απαιτούνται λογισμικό, αισθητήρες, ελεγκτές, συστήματα δράσης κλπ.

Η εξέλιξη

Ο όρος "μηχατρονική" επινοήθηκε από τον **Tetsuro Mori**, ανώτερο μηχανικό της ιαπωνικής εταιρείας Yaskawa, το 1969. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, η μηχανική βρήκε εφαρμογή στην σερβοτεχνολογία, στην οποία απλές βοηθητικές τεχνολογικές εφαρμογές σχετίζονται με μεθόδους ελέγχου -όπως, για παράδειγμα, στις αυτόματες πόρτες και στην αυτόματη εστίαση φακών φωτογραφικών μηχανών. Εν συνεχεία, κατά τη δεκαετία του 1980, η μηχανική χρησιμοποιήθηκε στην τεχνολογία των

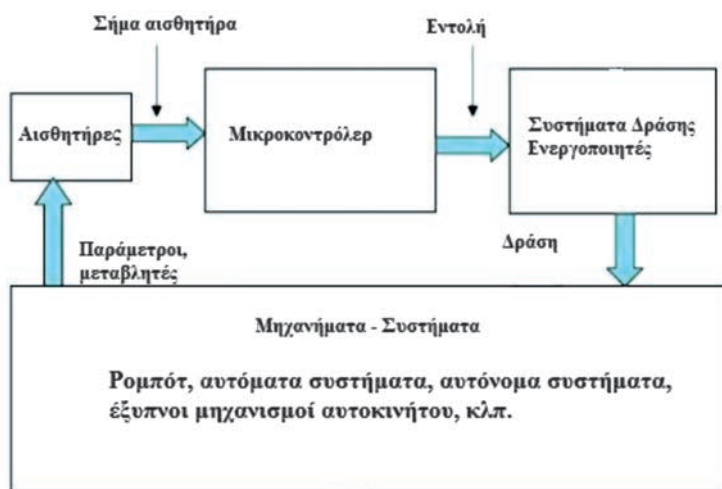
πληροφορικών συστημάτων, με τη βοήθεια της οποίας ενσωματώθηκαν μικροεπεξεργαστές σε μηχανικά συστήματα για τη βελτίωση των επιδόσεων τους. Τέλος, τη δεκαετία του 1990, η μηχανική εστίασε στην τεχνολογία των επικοινωνιών, προκειμένου να συνδυάσει και να ενοποιήσει προϊόντα σε μεγάλα δίκτυα, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής των ευφών συστημάτων, των τεχνολογιών και των λοιπών παραγώγων.

Γενικό διάγραμμα μηχανικού συστήματος

Ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται, κυρίως, από μηχανισμούς κίνησης και ελέγχου, αλλά και από αισθητήρες. Είναι ένα σύστημα, το οποίο ενσωματώνει την ψηφιακή επεξεργασία σήματος αλλά και τη μεταφορά αυτού του σήματος σε ένα τελικό σημείο δράσης, δημιουργώντας κινήσεις ή ενέργειες. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα ολοκληρωμένο σύστημα με αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές-μικροελεγκτές, καθώς και συστήματα δράσης.

Τα συστήματα της μηχανικής μπορούν, δημιουργώντας βρόχους αυτόματου ελέγχου, να διαιρεθούν σε ομάδες λειτουργίας, που ενδέχεται να αποτελούν μέρος μεγαλύτερων ενοτήτων.

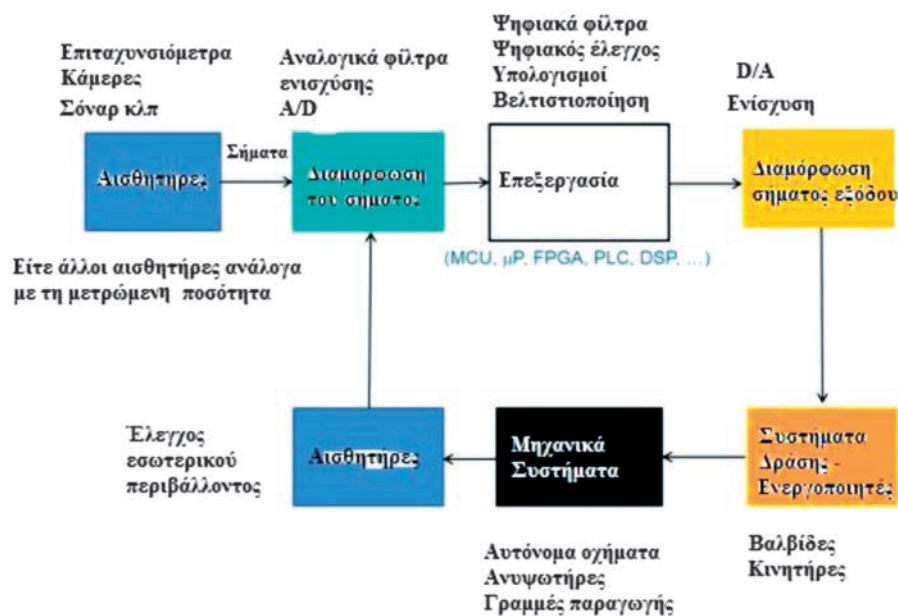
Το γενικό διάγραμμα ενός μηχανικού συστήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 2, όπου φαίνεται ότι ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται από αισθητήρες, έναν μικροεπεξεργαστή και από το μηχανολογικό μέρος του.



Εικόνα 2. Γενικό διάγραμμα μηχανικού συστήματος

Ένα πιο αναλυτικό διάγραμμα παρουσιάζεται στην εικόνα 3. Εκεί παρατηρούμε ότι οι αισθητήρες (sensors),-όπως τα επιταχυνσιόμετρα, οι κάμερες, τα σόναρς, τα θερμόμετρα- αντιλαμβάνονται μια εξωτερική ποσότητα

(ήχο, θερμοκρασία κ.α.). Η ποσότητα αυτή εισάγεται προς επεξεργασία σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή, ενισχυμένη ή όχι. Κατά την επεξεργασία γίνεται εκτίμηση των παραμέτρων. Στην έξοδο βγαίνει ένα σήμα (μια οδηγία) για τους ενεργοποιητές, οι οποίοι ενεργοποιούν ένα μηχανολογικό σύστημα. Τις περισσότερες φορές, ένας αισθητήρας μετρά την μεταβολή που προκάλεσε το σύστημα στο περιβάλλον και στέλνει, εκ νέου, προς επεξεργασία τα πρόσφατα δεδομένα. .



Εικόνα 3. Διάγραμμα μηχανικού συστήματος

Τεχνολογίες που ενσωματώνονται

Οι τεχνολογίες που ενσωματώνονται στη μηχανική είναι:

1. Αισθητήρες: Αποτελούν τις συσκευές που αναγνωρίζουν τις μεταβολές του περιβάλλοντος. Μετρούν θερμοκρασίες, πίεση, βάρος κλπ
2. Μικροεπεξεργαστές και μικροκοντρόλερς: Αποτελούν τον "εγκέφαλο" του συστήματος. Τα μεγέθη που μετρούν οι αισθητήρες, καταλήγουν στον μικροελεγκτή, ο οποίος θα αποφασίσει για μια δράση.
3. Ενεργοποιητές: Σε αυτούς καταλήγει η εντολή δράσης του μικροελεγκτή, ώστε να πραγματοποιηθεί η εντολή.
4. Συστήματα κίνησης: Διαιρούνται σε πνευματικά, υδραυλικά, μηχανικά & ηλεκτρικά.

Πλεονεκτήματα μηχανικών συστημάτων

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα μηχανικά συστήματα έναντι άλλων συστημάτων είναι τα ακόλουθα:

- Μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Φιλικότητα στο χρήστη.
- Χαμηλότερο κόστος.
- Περισσότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες.
- Μεγαλύτερη ευελιξία στην εφαρμογή.
- Φιλικότερα στο περιβάλλον.
- Περισσότερη ασφάλεια.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία.
- Μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.
- Μικρότερος όγκος.
- Καλύτερη απόδοση.
- Προσαρμοστικός σχεδιασμός - επαναπρογραμματισμός.

ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ

Εισαγωγή

Κάθε ζωντανός οργανισμός, όταν λάβει ένα μήνυμα, το επόμενο βήμα είναι να το επεξεργαστεί και να λάβει μια απόφαση δράσης. Παρόμοια, σε ένα μηχανητρονικό σύστημα το ερέθισμα (σήμα), που λαμβάνεται από τους αισθητήρες, οδηγείται στον μικροελεγκτή, ο οποίος, στη συνέχεια, το αναλύει και παίρνει μια απόφαση δράσης.

Ο μικροελεγκτής (microcontroller) είναι ένας τύπος επεξεργαστή -ή, καλύτερα, αποτελεί μια παραλλαγή του μικροεπεξεργαστή-, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει.

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα μικρό υπολογιστικό κύκλωμα, σχεδιασμένο σε ένα και μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης. Όπως κάθε υπολογιστικό κύκλωμα, περιέχει κεντρική μονάδα επεξεργασίας, έναν αριθμό καταχωρητών, κυκλώματα μνήμης και κυκλώματα ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Κάθε μικροελεγκτής είναι ικανός να ανταλλάξει σήματα με το εξωτερικό περιβάλλον, να εκτελέσει πράξεις ανάμεσα σε μεταβλητές και να καταχωρίσει κάποιες τιμές στη μνήμη RAM που διαθέτει.

Συνήθη υποσυστήματα-μικροελεγκτών

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα που αποτελεί τον μικροεπεξεργαστή περιέχει την Λογική και Αριθμητική Μονάδα (ALU), τους στοιχειώδεις καταχωρητές (registers), την πολύ υψηλής ταχύτητας προσωρινή μνήμη RAM (cache memory) και, κάποιες φορές, τον ελεγκτή μνήμης (memory controller). Όμως, για τη λειτουργία ενός πλήρους ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος, απαιτούνται πολλά εξωτερικά και περιφερειακά υποσυστήματα. Τέτοια είναι:

- **Το κύκλωμα συνδετικής λογικής** (glue logic), που αποτελεί μια ειδική μορφή ψηφιακών κυκλωμάτων, τα οποία επιτρέπουν τη σύνδεση διαφορετικών τύπων λογικών κυκλωμάτων, όπως λ.χ. τη σύνδεση των εξωτερικών μνημών και των άλλων περιφερειακών παράλληλης σύνδεσης στην αρτηρία δεδομένων (bus) του επεξεργαστή.



Εικόνα 4 Θέση κυκλώματος συνδετικής λογικής

- **Η μνήμη προγράμματος** (τύπου ROM, FLASH, EPROM κλπ), η οποία περιέχει το λογισμικό του συστήματος. Σε κάποια μοντέλα, είναι δυνατό το κλείδωμα αυτής της μνήμης, μετά την εγγραφή της, ώστε να προστατευτεί το περιεχόμενό της από αντιγραφή.
- **Η μνήμη RAM.**
- **Η μόνιμη μνήμη αποθήκευσης** παραμέτρων λειτουργίας (τύπου EEPROM ή NVRAM), η οποία να μπορεί να γράφεται στον πυρήνα του μικροελεγκτή. Αυτή η μνήμη έχει, έναντι της FLASH, το πλεονέκτημα της δυνατότητας διαγραφής και εγγραφής οποιουδήποτε μεμωμένου byte.
- **Το κύκλωμα αρχικοποίησης (reset).**
- **Ο διαχειριστής αιτήσεων διακοπής** (interrupt request controller) από τα περιφερειακά.
- **Το κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας** (brown-out detection), το οποίο αρχικοποιεί ολόκληρο το σύστημα και παρακολουθεί την τροφοδοσία, όταν αυτή πέσει κάτω από τα ανεκτά όρια, προλαμβάνοντας έτσι την αλλοίωση των δεδομένων.
- **Το κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας** (watchdog timer), το οποίο αρχικοποιεί το σύστημα, αν αυτό εμφανίσει σημάδια δυσλειτουργίας λόγω κολλήματος (hang).
- **Ο τοπικός ταλαντωτής** για την παροχή παλμών χρονισμού (clock).
- Ένας ή περισσότεροι **χρονιστές-απαριθμητές** υψηλής ταχύτητας (hardware timer-counter) για τη δημιουργία καθυστερήσεων, τη μέτρηση της διάρκειας και την απαρίθμηση των γεγονότων, καθώς και άλλων λειτουργιών ακριβούς χρονισμού.
- **Το ρολόι πραγματικού χρόνου** (Real Time Clock, RTC), το οποίο τροφοδοτείται από ανεξάρτητη μπαταρία και γι' αυτό πρέπει να έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος.
- Μια σειρά **ανεξάρτητων ψηφιακών εισόδων και εξόδων** (Parallel Input-Output, PIO).

Γενικά, όλες οι οικογένειες μικροελεγκτών ενσωματώνουν τα περισσότερα από τα παραπάνω περιφερειακά συστήματα, με διαφοροποιήσεις, κυρίως, στην ύπαρξη ή μη εσωτερικής μνήμης προγράμματος, καθώς επίσης και στο είδος της μνήμης αυτής. Έτσι, υπάρχουν:

- **Μικροελεγκτές χωρίς μνήμη προγράμματος**, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ROM-less. Αυτοί παρέχουν πάντοτε μια παράλληλη αρτηρία (bus) δεδομένων, πάνω στην οποία συνδέονται εξωτερικές μνήμες προγράμματος και RAM.
- **Μικροελεγκτές με μνήμη ROM**, η οποία κατασκευάζεται με το λογισμικό της (Mask ROM) ή γράφεται μόνο μια φορά (One Time Programmable, OTP). Ένα σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι, όταν αγοράζονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες, το κόστος τους παραμένει ιδιαίτερα χαμηλό.
- **Μικροελεγκτές με μνήμη FLASH**, οι οποίοι μπορούν συνήθως να προγραμματιστούν πολλές φορές. Αυτή είναι και η πιο διαδεδομένη κατηγορία. Συχνά, ο προγραμματισμός της μνήμης μπορεί να γίνει ακόμη και άνω στο κύκλωμα της ίδιας της ενσωματωμένης (embedded) εφαρμογής (Δυνατότητα In Circuit Programming, ISP). Αυτοί οι μικροελεγκτές έχουν, ουσιαστικά, αντικαταστήσει τους παλαιότερους τύπους EPROM, που έσβηναν με υπεριώδη ακτινοβολία.

Λογισμικό προγραμματισμού μικροελεγκτή

Ο μικροελεγκτής με τα υποσυστήματά του έχουν τη δυνατότητα να κάνουν πολλούς υπολογισμούς· όμως ο άνθρωπος είναι αυτός που θα δώσει τις απαραίτητες οδηγίες στον μικροελεγκτή για τους υπολογισμούς που θα εκτελέσει. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να υπάρχει ένας τρόπος επικοινωνίας του ανθρώπου με τον μικροεπεξεργαστή, καθώς και μια κοινή γλώσσα μεταξύ τους. Στο σημείο αυτό επεμβαίνει το λογισμικό. Το λογισμικό είναι ένα είδος προγράμματος, στο οποίο ο άνθρωπος-προγραμματιστής γράφει τις εντολές που απαιτείται να εκτελέσει ο μικροεπεξεργαστής και αυτές, εν συνεχεία, αποθηκεύονται στην μνήμη του μικροεπεξεργαστή.

Ένα τέτοιου είδους λογισμικό περιλαμβάνει τον κειμενογράφο, τον συμβολομεταφραστή και τον προσομοιωτή.

- **Ο κειμενογράφος (texteditor):** Με τον κειμενογράφο συντάσσουμε σε μνημονική γλώσσα το πηγαίο αρχείο, το οποίο, κατόπιν, θα μεταφραστεί και θα αποθηκευθεί στη μνήμη ROM του μικροελεγκτή. Τέτοιο πρόγραμμα μπορεί να είναι ένας οποιοσδήποτε κειμενογράφος χαρακτήρων ASCII.

- **Ο συμβολομεταφραστής (assembler):** Πρόκειται για το πρόγραμμα που μεταφράζει το πηγαίο αρχείο σε δεκαεξαδική μορφή -κατάλληλη να τη διαχειριστεί ο προγραμματιστής της μνήμης του μικροελεγκτή. Κατά τη μετάφραση παράγονται, επίσης, τα μηνύματα σφαλμάτων. Μετά τη διόρθωση των σφαλμάτων, ο συμβολομεταφραστής παράγει ένα αρχείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα επόμενα βήματα. Επιπροσθέτως, παράγονται αρχεία που περιέχουν αναφορές σφαλμάτων, καθώς και αρχεία εισόδου για τον προσομοιωτή (simulator).
- **Ο προσομοιωτής (simulator):** Αυτός είναι ένα βοηθητικό και όχι υποχρεωτικό πρόγραμμα. Το πρόγραμμα αυτό παράγει μία, βήμα προς βήμα, προσομοίωση της εκτέλεσης μιας διαδικασίας και επιδεικνύει τις τιμές που λαμβάνουν οι διάφοροι καταχωρητές ειδικού σκοπού και οι θέσεις της μνήμης RAM. Με τον τρόπο αυτόν, ο χρήστης μπορεί να βεβαιωθεί ότι το πρόγραμμα επιτελεί ακριβώς αυτό, για το οποίο προορίζεται, ενώ μπορεί, ακόμη, να ανιχνεύσει και τα σφάλματα που τυχόν υπάρχουν.

Arduino

Ο Arduino είναι ένας single-board μικροελεγκτής, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring. (Ουσιαστικά, πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Ο Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων, αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data ή SuperCollider.

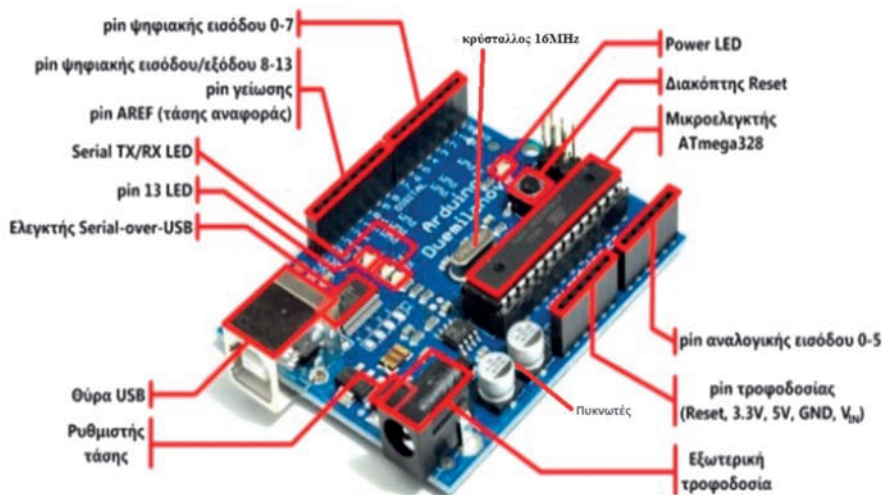
Η πλακέτα του Arduino

Η καρδιά του Arduino είναι, φυσικά, ένας μικροεπεξεργαστής. Αυτός είναι το “μυαλό” του Arduino και είναι προγραμματισμένος με τρόπο, ώστε να ελέγχει τα 14 ψηφιακά I/O pins και τα 6 αναλογικά που υπάρχουν πάνω στην πλακέτα ανάπτυξης. Δια μέσου αυτών των 20 pins γίνονται όλες οι διασυνδέσεις με τα εξωτερικά στοιχεία (κινητήρες, LEDs, LCD οθόνες κλπ), αλλά και με τους αισθητήρες (Ultrasonic, θερμομέτρα, accelerometers κ.α).

Στην πλακέτα ανάπτυξης υπάρχει μία επιπλέον θύρα USB, μέσω της οποίας γίνεται η μεταφορά δεδομένων προς κάποια άλλη συσκευή (συνήθως έναν υπολογιστή) και το αντίστροφο. Η κύρια χρήση αυτής της θύρας,

στα αρχικά στάδια εκμάθησης, είναι η μεταφορά του προγράμματος από τον υπολογιστή στον μικροεπεξεργαστή, αλλά και η οπτικοποίηση των δεδομένων που απορρέουν από την λειτουργία της συσκευής μετά τον προγραμματισμό της.

Στην εικόνα 5 παρουσιάζονται τα κύρια μέρη της πλακέτας του **Arduino**. Περισσότερες λεπτομέρειες θα δοθούν στο εργαστήριο.



Εικόνα 5. Η πλακέτα του Arduino

Χαρακτηριστικά λειτουργίας

- Τάση λειτουργίας 5V
- Τάση εισόδου/τροφοδοσίας 7-12V
- Ρεύμα εξόδου 40mA για κάθε είσοδο/έξοδο
- Ρεύμα εξόδου 50mA για την έξοδο 3.3V
- Flash μνήμη 32KB
- SRAM 2KB
- EEPROM 1KB

Το λογισμικό του Arduino

Τα προγράμματα -“sketches”, στη γλώσσα του Arduino- γράφονται στο περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino. Όταν ένα “sketch” είναι έτοιμο, πρέπει να μεταφερθεί στον μικροεπεξεργαστή μέσω της USB θύρας.

Το περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μία πολυπλατφορμική εφαρμογή γραμμένη σε Java και βασίζεται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Processing (<http://processing.org/>).

Βασικές λειτουργίες του IDE είναι οι ακόλουθες:

- Ο έλεγχος του κώδικα για λάθη.
- Ο τερματισμός της σειριακής κονσόλας.
- Η δημιουργία νέου έργου (sketch).
- Η παρουσίαση μενού με όλα τα αποθηκευμένα έργα.
- Η αποθήκευση του έργου.
- Η μεταγλώττιση του κώδικα και το ανέβασμα του στο Arduino.
- Η εμφάνιση της σειριακής κονσόλας. Ακολούθως, η αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Εισαγωγή

Το βασικό υποσύστημα της μηχανικής, που φέρνει σε επαφή τον μικροελεγκτή με το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αισθητήρες. Οι αισθητήρες είναι το σύστημα που λαμβάνει τα ερεθίσματα από το περιβάλλον. Αυτά τα ερεθίσματα (ή μηνύματα) μπορεί να είναι *οπτικά*, όπως ο έλεγχος της φωτεινότητας ενός χώρου με αποτέλεσμα το άναμμα/σβήσιμο μιας λάμπας, *χημικά* για τις ανάγκες της χημικής βιομηχανίας ή *μηχανικά*, όπως λ.χ. η μέτρηση της πίεσης κ.ά.

Προκειμένου να αναγνωρίσουν μια μεταβολή του εξωτερικού περιβάλλοντος, οι αισθητήρες πρέπει να κάνουν μετρήσεις σε κάποιο φυσικό μέγεθος. Αυτό, για παράδειγμα, σημαίνει ότι μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη διαδικασία θέρμανσης ενός προϊόντος μετρώντας τη θερμοκρασία του.

Στην παρούσα ενότητα, θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των αισθητήρων, καθώς και η λειτουργία των αισθητήρων μέτρησης της θερμοκρασίας, της φωτεινότητας, της μετατόπισης και κίνησης, της πίεσης, του βάρους, της στάθμης και του όγκου.

Βασικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Οι μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνονται με τη βοήθεια αισθητήρων ή, αλλιώς, “αισθητηρίων” (sensors). Οι αισθητήρες είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Έτσι, η μέτρηση αυτής της μεταβαλλόμενης ιδιότητας του αισθητήρα επιτρέπει τον άμεσο ποσοτικό υπολογισμό της τιμής του φυσικού μεγέθους.

Τα κοινά βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι η γραμμικότητα, η ευαισθησία, η διακριτική ικανότητα, η ακρίβεια και το εύρος τιμών εισόδου και εξόδου.

ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ

Ο αισθητήρας διαθέτει μία ιδιότητα ή ένα χαρακτηριστικό, του οποίου η τιμή μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται και η φυσική ποσότητα που μετρά. Είναι επιθυμητό, οι μεταβολές της προς μέτρηση φυσικής ποσότητας να προκαλούν αυστηρά ανάλογες μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται “γραμμικότητα” (linearity) και είναι ιδιαίτερης σημασίας.

ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

Η “ευαισθησία” (sensitivity) εκφράζει το πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους

ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Η “διακριτική ικανότητα” (resolution) εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους, που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας, και αναλόγως να μεταβάλλει την έξοδό του.

ΑΚΡΙΒΕΙΑ

Η “ακρίβεια” (accuracy) ισούται με το σφάλμα, που εγγενώς περιέχει η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο. Δηλώνει, δηλαδή, την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου.

ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

Το “εύρος τιμών εισόδου” (full-scale input, FSI) ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας.

ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ ΕΞΟΔΟΥ

Το “εύρος τιμών εξόδου” (full-scale output, FSO) ορίζει τις τιμές που μπορεί να λαμβάνει η τάση ή το ρεύμα εξόδου ενός αισθητήρα.

Να σημειωθεί, εξάλλου, εδώ ότι η θερμοκρασία αποτελεί τον συνηθέστερο παράγοντα που αλλοιώνει τις προδιαγραφές των αισθητήρων.

Είδη και τεχνολογίες αισθητήρων

1. Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες της θερμοκρασίας δεν είναι τίποτα άλλο από απλά θερμόμετρα. Ανάλογα με το είδος της μεταβολής, την οποία προκαλεί η αλλαγή της θερμοκρασίας σε κάποιο μέγεθος του θερμομέτρου, τα θερμόμετρα είναι διαφόρων ειδών.

Είδη Θερμομέτρων

Τα θερμόμετρα στηρίζονται στην αλλαγή της χαρακτηριστικής ιδιότητας του επιλεγμένου υλικού τους, εξαιτίας της μεταβολής της θερμοκρασίας. Οι ιδιότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι, εν γένει, οι ακόλουθες:

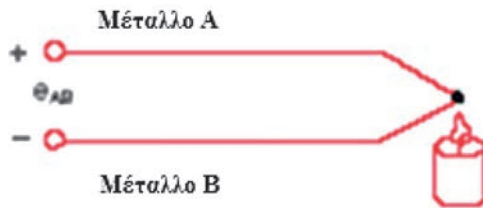
1. Η γραμμική διαστολή ενός υγρού.
2. Η γραμμική διαστολή ενός μετάλλου.
3. Η ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου.
4. Το φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού (ή “θερμοηλεκτρικό φαινόμενο”).

5. Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εφαρμογές που στηρίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός μετάλλου, για το λόγο ότι τα σήματα των εξόδων τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν "σχεδόν" άμεσα σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα.

Θερμοζεύγος

Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη ή “θερμοζεύγη” (thermocouples) αποτελούν ένα εξαιρετικά διαδεδομένο είδος ανιχνευτών θερμοκρασίας υψηλής ακρίβειας και χαμηλού κόστους. Αποτελούνται από δύο σύρματα διαφορετικών μετάλλων, τα οποία είναι ενωμένα σε δύο σημεία. Η ένωση αυτή, όταν θερμανθεί, παράγει μία μικρή τάση και ένα σχετικό προς αυτή ρεύμα (εικόνα 6). Η αναπτυσσόμενη τάση είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία της ένωσης.



Εικόνα 6. Θερμοζεύγος

Θερμίστορς

Τα “θερμίστορς” είναι αντιστάσεις, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Τα θερμίστορς είναι κατασκευασμένα από οξειδία των μεταβατικών μετάλλων της σειράς του σιδήρου, όπως το χρώμιο, το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το κοβάλτιο και το νικέλιο. Η αντίστασή τους μεταβάλλεται ισχυρά με τη θερμοκρασία, έχουν όμως υψηλά όρια ανοχής, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις της θερμοκρασίας να μην έχουν την ακρίβεια των άλλων μεθόδων. Από την άλλη μεριά, η ισχυρή μεταβολή της αντίστασης επιτρέπει τη χρήση των θερμίστορς και ως διακοπών ή περιοριστών ρεύματος. Τα θερμίστορς αποτελούν μια εξαιρετικά διαδεδομένη και οικονομική επιλογή για τη μέτρηση θερμοκρασιών.

Με βάση τα θερμίστορς έχουν, εξάλλου, κατασκευαστεί και κινητοί ανιχνευτές θερμοκρασίας (temperature probes).



Εικόνα 7. Θερμίστορς

2. Οπτικοί αισθητήρες

Οι οπτικοί αισθητήρες έχουν ως στόχο να μετρήσουν τις μεταβολές του φωτός. Προκειμένου να γίνει αυτό κατορθωτό, μετράται η μεταβολή στο μέγεθος ενός αισθητήρα, η οποία προκαλείται από την αλλαγή του μεγέθους τού φωτός, όπως λ.χ. της έντασής του. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των φωτοαντιστάσεων, καθώς και των φωτοδιόδων και φωτοτρανζίστορ.

Φωτοαντιστάσεις (LDRs)

Στις φωτοαντιστάσεις, η μεταβολή του φωτός μεταβάλλει ανάλογα και την τιμή της αντίστασης του υλικού του αισθητήρα.

Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται μέσα σε ένα υλικό, εξαιτίας των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν μέσα σε αυτό το υλικό και τα οποία λέγονται “ελεύθερα ηλεκτρόνια” ή “ηλεκτρόνια αγωγιμότητας” (conduction electrons). Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας έχει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη αγωγιμότητα -και άρα μικρότερη αντίσταση- εμφανίζει στη ροή του ρεύματος.

Όταν προσπίπτει φως σε ένα φωτοαγωγίμο υλικό, αυξάνεται ο αριθμός των ελευθέρων ηλεκτρονίων του. Αυτό γίνεται, επειδή τα προσπίπτοντα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια που είναι δεσμευμένα και τα καθιστούν ελεύθερα. Έτσι, η αντίσταση του φωτοαγωγίμου υλικού μειώνεται.



Εικόνα 8. Φωτοαντίσταση

Φωτοдиодοι και φωτοτρανζίστορ

Οι “φωτοдиодοι” και τα “φωτοτρανζίστορ” αποτελούν τα βασικά είδη φωτοβολταϊκών ανιχνευτών. Αυτά δημιουργούν ρεύμα, που ονομάζεται “φωτόρευμα”, (photocurrent) και είναι ανάλογο της προσπίπτουσας φωτεινής έντασης. Τα φωτοτρανζίστορ είναι, στην ουσία, φωτοдиодοι που, επιπρόσθετα, ενισχύουν το δημιουργούμενο ρεύμα και, έτσι, η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν των φωτοдиодων. Ο όρος “φωτοдиодος” μπορεί να επεκταθεί, ώστε να περιλαμβάνει και τις ηλιακές μπαταρίες. Συνήθως, όμως, αναφέρεται μόνο στους αισθητήρες φωτεινής στάθμης.



Εικόνα 9. Φωτοдиодος



Εικόνα 10. Φωτοτρανζίστορ

3. Αισθητήρες μετατόπισης και κίνησης

Η ανίχνευση της φυσικής θέσης και της κίνησης των αντικειμένων είναι ζωτικής σημασίας για τη μηχανική, αφού οι περισσότερες κατασκευές και διατάξεις διαθέτουν κινητά μηχανικά μέρη. Είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση ενός αντικειμένου ή να προσδιορίζουμε, εάν ή ποτέ ένα κινητό μέρος της διάταξής μας βρίσκεται σε κάποια προκαθορισμένη θέση στον χώρο. Άλλες φορές είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε, εάν και σε ποιο βαθμό ένα κινητό μέρος κινείται ή περιστρέφεται προς κάποια κατεύθυνση ή την αντίθετή της. Κάποιες φορές, μας ενδιαφέρει να προσδιορίσουμε, πόσο γρήγορα κινείται ένα κινητό μέρος. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, η γνώση της θέσης, της προσέγγισης, της μετατόπισης και της ταχύτητας ή της επιτάχυνσης ενός αντικειμένου αφορούν στο γενικότερο ζήτημα της ανίχνευσης κάποιας παραμέτρου της κίνησής του.

Ανάλογα, επομένως, με τη φύση της εφαρμογής μας πρέπει να χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες, που να ανιχνεύουν κάποιο από τα ακόλουθα μεγέθη:

- Θέση
- Προσέγγιση
- Μετατόπιση (ευθύγραμμη ή περιστροφική)
- Ταχύτητα ή επιτάχυνση

Η μετατόπιση προκύπτει από τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στη νέα και την παλαιά θέση του εξεταζόμενου αντικειμένου και, άρα, η εύρεση της θέσης ανάγεται στην ανίχνευση της μετατόπισης και αντίστροφα. Ένας τρόπος μέτρησης είναι με τη βοήθεια ενός ποτενσιομέτρου (γραμμικού ή περιστροφικού), καθώς γνωρίζουμε ότι η έξοδος ενός ποτενσιομέτρου είναι ανάλογη ορισμένου μήκους ή γωνίας. Οι πιο σύγχρονοι τρόποι μέτρησης της μετατόπισης και της θέσης είναι οι επαγωγικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης.

Η προσέγγιση αποτελεί μία ειδική περίπτωση ανίχνευσης θέσης, καθώς μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε, εάν θα ευρεθεί το εξεταζόμενο αντικείμενο σε μία συγκεκριμένη, προκαθορισμένη θέση. Η ανίχνευση της προσέγγισης δίνει δύο δυνατά αποτελέσματα (ΝΑΙ και ΟΧΙ) και είναι απλούστερη από την ανίχνευση θέσης, η οποία πρέπει να δίνει ως αποτελέσματα συνεχείς αριθμητικές τιμές (σε χιλιοστόμετρα ή μοίρες).

Η μέτρηση της προσέγγισης μπορεί να γίνει με μηχανικό τρόπο, όπως, για παράδειγμα, με τη βοήθεια ενός διακόπτη επαφής. Τοποθετούμε τον διακόπτη στη θέση που μας ενδιαφέρει και, όταν το κινούμενο αντικείμενο

φθάσει σε αυτήν τη θέση, κλείνει ή ανοίγει τον διακόπτη ενεργοποιώντας μέσω αυτού κάποιο κύκλωμα ελέγχου.

Ένας πιο ολοκληρωμένος τρόπος μέτρησης της προσέγγισης είναι μέσω της αντίστοιχης θέσης. Για να το κάνουμε αυτό, χρησιμοποιούμε έναν αισθητήρα μετατόπισης, ο οποίος παράγει μία τάση ανάλογη της θέσης.

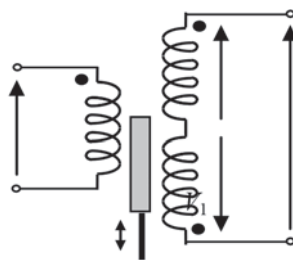
Υπάρχουν και ειδικές μέθοδοι μέτρησης της μετατόπισης, οι οποίες στηρίζονται αφενός στη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου (αισθητήρες προσέγγισης μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης, αισθητήρες προσέγγισης φαινομένου Hall) και αφετέρου στην ανάκλαση μίας φωτεινής δέσμης από το μετατοπιζόμενο αντικείμενο (οπτικοί αισθητήρες προσέγγισης).

Η μέτρηση της ταχύτητας και της επιτάχυνσης διαφέρει από τις μετρήσεις μηκών και γωνιών (θέσεων, μετατοπίσεων κ.ά.) και στηρίζεται σε διαφορετικές αρχές. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ενός αντικειμένου χρησιμοποιούνται τεχνικές υπερήχων ή ραδιοκυμάτων (radar). Σύμφωνα με αυτές τις τεχνικές, προς το κινούμενο αντικείμενο εκπέμπεται ένα κύμα (υπέρηχος ή ραδιοκύμα), το οποίο ανακλάται από το αντικείμενο και ένα τμήμα του επιστρέφει προς τη συσκευή εκπομπής. Το τμήμα του κύματος που επιστρέφει, έχει μήκος ελαφρά διαφορετικό από αυτό που εκπέμπεται, λόγω του φαινομένου Doppler, και η διαφορά αυτή σχετίζεται με την ταχύτητα του αντικειμένου.

Η μέτρηση της επιτάχυνσης σχετίζεται με τη μέτρηση της δύναμης, καθώς τα μεγέθη αυτά είναι ανάλογα. Ωστόσο, οι αισθητήρες δύναμης στηρίζονται στη μέτρηση του μεγέθους της πίεσης, η οποία προϋποθέτει τη φυσική επαφή του εξεταζόμενου αντικειμένου με το αντικείμενο που το πιέζει. Είναι όμως δυνατό να επιταχυνθεί ένα αντικείμενο, χωρίς να υποστεί πίεση, εάν, για παράδειγμα, μετατοπιστεί βίαια το στήριγμά του λόγω κάποιας δύναμης (βαρυτικής, φυγόκεντρης, ηλεκτρικής κ.ά.), που ενεργεί επάνω σε αυτό από απόσταση. Έτσι, υπάρχουν αισθητήρες ειδικά κατασκευασμένοι, για να μετρούν αποκλειστικά το μέγεθος της επιτάχυνσης, οι οποίοι ονομάζονται “επιταχυνσιόμετρα” (accelerometers).

Επαγωγικοί Αισθητήρες Μετατόπισης

Οι επαγωγικοί αισθητήρες μετατόπισης στηρίζονται σε έναν μετασχηματιστή, του οποίου ο πυρήνας σιδήρου συνδέεται στο εξεταζόμενο αντικείμενο. Όταν μετατοπίζεται το αντικείμενο, μετατοπίζεται και ο πυρήνας. Το δευτερεύον του μετασχηματιστή αποτελείται από



Εικόνα 11. Αρχή λειτουργίας επαγωγικού αισθητήρα

δύο ίδια πηνία, συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία ευρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη με το πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή με τη βοήθεια του πυρήνα σιδήρου. Εάν μετατοπιστεί ο πυρήνας προς μία κατεύθυνση, θα εισέλθει περισσότερο στο ένα δευτερεύον πηνίο και, επακόλουθα, θα αυξηθεί η σύζευξή του με αυτό, με αποτέλεσμα το πηνίο αυτό να εμφανίσει αυξημένη τάση στα άκρα του. Ταυτόχρονα, ο πυρήνας απομακρύνεται από το άλλο δευτερεύον πηνίο, με αποτέλεσμα αυτό να εμφανίσει μειωμένη τάση στα άκρα του. Η διαφορά των δύο τάσεων αποτελεί την τάση εξόδου και έχει πλάτος και διαφορά φάσης, που είναι ανάλογα της μετατόπισης του πυρήνα σιδήρου. (Η διαφορά φάσης υπολογίζεται ως προς το εναλλασσόμενο σήμα που εφαρμόζουμε στο πρωτεύον πηνίο, το οποίο αποτελεί σήμα αναφοράς).

Χωρητικοί Αισθητήρες Μετατόπισης

Οι χωρητικοί αισθητήρες μετατόπισης αξιοποιούν τη μεταβολή της χωρητικότητας C ενός επίπεδου πυκνωτή από τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά.

Αισθητήρες Υπερήχων

Η λειτουργία των αισθητήρων υπερήχων στηρίζεται στην εκπομπή ενός υπερηχητικού κύματος από ένα σημείο, στην ανάκλασή του πάνω σε μια επιφάνεια και στη λήψη, τέλος, του ανακλώμενου κύματος. Το κύμα εκπέμπεται σε παλμούς και μετριέται το χρονικό διάστημα μεταξύ εκπομπής και λήψης του κύματος.

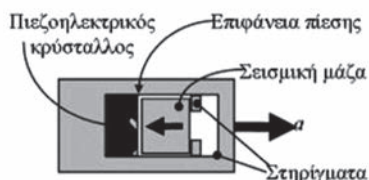


Εικόνα 12. Αισθητήρες υπερήχων

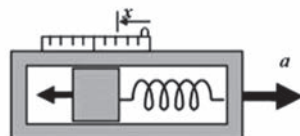
Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι αισθητήρες που ανιχνεύουν επιταχύνσεις και, επιπρόσθετα, δονήσεις και κρούσεις. Διαθέτουν μία μάζα m , που τείνει να κινηθεί αντίθετα από την κατεύθυνση της επιτάχυνσης (λόγω της

αδράνειας που εμφανίζει) και η οποία ονομάζεται και “σεισμική μάζα”. Υπάρχουν δύο τρόποι αξιοποίησης του φαινομένου αυτού για την παραγωγή ενός ανάλογου ηλεκτρικού σήματος εξόδου: στον πρώτο, η σεισμική μάζα πιέζει έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο και στον δεύτερο τρόπο, επιμηκώνει ένα ελατήριο.



Εικόνα 13. Λειτουργία με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο



Εικόνα 14. Λειτουργία με ελατήριο

4. Αισθητήρες πίεσης και βάρους

Η πίεση αποτελεί μέτρο της δύναμης ή της μηχανικής τάσης, που ασκείται από ένα εξωτερικό αίτιο στην εξωτερική επιφάνεια κάποιου σώματος. Το βάρος είναι η σταθερή προς τα κάτω δύναμη, που ασκεί η Γη σε ένα σώμα, και αποτελεί μία ειδική περίπτωση δύναμης. Εάν τοποθετηθεί ένα σώμα σε επαφή με έναν αισθητήρα πίεσης, ο αισθητήρας μπορεί να μετρά τη δύναμη που δέχεται το σώμα από ένα εξωτερικό αίτιο ή από τη Γη -ανάλογα με τη σχετική θέση σώματος και αισθητήρα (κατακόρυφη, οριζόντια κ.ά.). Με τον τρόπο αυτό, η μέτρηση του βάρους ανάγεται στη μέτρηση της πίεσης και γι' αυτό οι μετρητές της πίεσης χρησιμοποιούνται και για τη μέτρηση του βάρους.

Τα κυριότερα είδη αισθητήρων πίεσης είναι τα ακόλουθα:

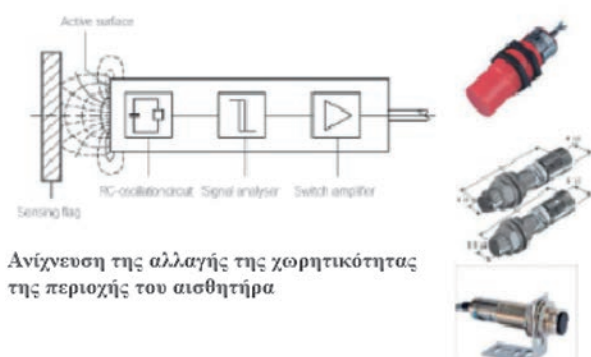
1. Μανόμετρα υγρού και αερίου.
2. Χωρητικοί αισθητήρες.
3. Επαγωγικοί αισθητήρες.
4. Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες και αισθητήρες πιεζοαντίστασης.
5. Μετρητές μηχανικής τάσης και κυψελίδες φορτίου.

Οι μεταβολές της πίεσης προκαλούν μεταβολές σε χαρακτηριστικά μεγέθη των αισθητήρων, όπως η χωρητικότητα, η αυτεπαγωγή και η τιμή της αντίστασης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι χωρητικοί και επαγωγικοί αισθητήρες πίεσης, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες και οι αισθητήρες πιεζοαντίστασης.

Χωρητικοί και Επαγωγικοί Αισθητήρες Πίεσης

Η λειτουργία αυτού του είδους των αισθητήρων στηρίζεται στην ύπαρξη ενός ελαστικού διαφράγματος, το οποίο χωρίζει έναν κλειστό χώρο σε δύο ημιχώρους. Εάν ο ένας ημιχώρος βρίσκεται στην πίεση που θέλουμε να μετρήσουμε και ο άλλος σε μία πίεση αναφοράς (όπως π.χ. σε ατμοσφαιρική πίεση), τότε το διάφραγμα μετατοπίζεται προς μία κατεύθυνση. Η μετατόπιση αυτή μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός πυκνωτή και, άρα, αλλαγή της χωρητικότητάς του ή αλλοίωση της μαγνητικής διαρροής, που διαρρέει ένα ή δύο πηνία, και, κατά συνέπεια, αλλαγή της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, που αυτά παρουσιάζουν στα άκρα τους.

Χωρητικοί αισθητήρες προσέγγισης



Εικόνα 15. Χωρητικός αισθητήρας



Εικόνα 16. Επαγωγικοί αισθητήρες

Αισθητήρες πιεζοαντίστασης

Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν την μεταβολή της τιμής της αντίστασης ενός μεταλλικού σύρματος, όταν αυτό πιεστεί κατά μήκος της κύριας διάστασής του.

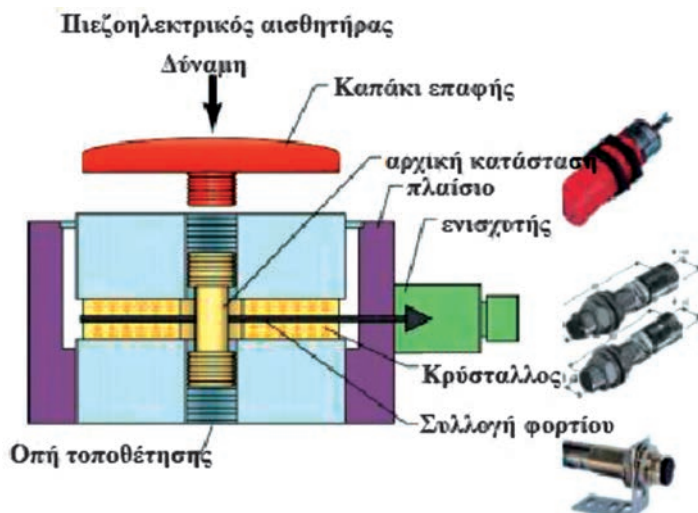
Αισθητήρας πιεζοαντίστασης



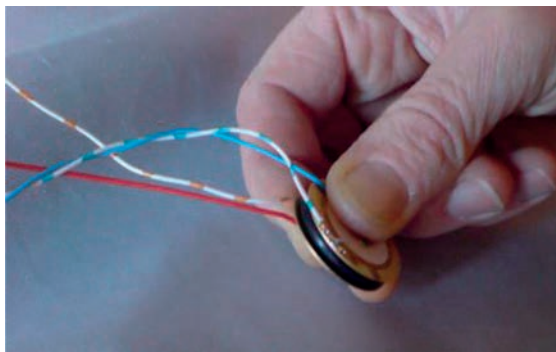
Εικόνα 17 Αισθητήρας πιεζοαντίστασης

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης

Όταν συμπιέζεται ή εφελκύεται ένας κρύσταλλος, μετατοπίζονται οι θέσεις των θετικών και αρνητικών φορτίων του και, έτσι, εμφανίζεται στα άκρα του μία ποσότητα φορτίου (θετικού στο ένα άκρο και αρνητικού στο άλλο), δηλαδή διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται “πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο” (piezoelectric effect) και εμφανίζεται σε όλα τα κρυσταλλικά υλικά· είναι όμως ιδιαίτερα έντονο σε ορισμένα μόνο υλικά, όπως ο χαλαζίας, τα οποία ονομάζονται για το λόγο αυτό πιεζοηλεκτρικά.



Εικόνα 18. Σχηματική αναπαράσταση πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα



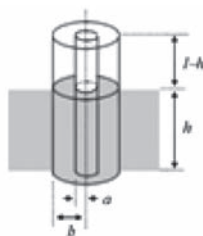
Εικόνα 19. Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας

5. Αισθητήρες στάθμης και όγκου

Οι αισθητήρες στάθμης και όγκου χρησιμοποιούνται στην περίπτωση υγρών, τα οποία καταλαμβάνουν το κάτω τμήμα του δοχείου ή της δεξαμενής, όπου τίθενται, και σχηματίζουν μία οριζόντια ελεύθερη επιφάνεια στο άνω μέρος. Το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της δεξαμενής, που καταλαμβάνεται, εξαρτάται από τον όγκο του υγρού. Η απόσταση της ελεύθερης επιφάνειας από τον πυθμένα της δεξαμενής αποτελεί τη στάθμη (level) του υγρού. Σήμερα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της στάθμης υγρών χωρητικοί αισθητήρες, αλλά και αισθητήρες πίεσης.

Χωρητικοί αισθητήρες στάθμης

Οι χωρητικοί αισθητήρες στάθμης αποτελούνται από έναν κυλινδρικό πυκνωτή, στον οποίο το διάκενο μεταξύ των κυλινδρικών οπλισμών δεν περιέχει διηλεκτρικό και μπορεί να γεμίσει με υγρό, μεταβάλλοντας με τον τρόπο αυτό την χωρητικότητα του.



Εικόνα 20. Χωρητικός αισθητήρας στάθμης

Προκειμένου να υπολογιστεί η στάθμη ενός υγρού, θα μπορούσαν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν και αισθητήρες θέσης, υπερήχων και βραχυκυκλώματος.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΡΑΣΗΣ

Εισαγωγή

Ένα σύστημα δράσης είναι ένα είδος κινητήρα υπεύθυνου για την κίνηση ή τον έλεγχο ενός μηχανισμού ή ενός συστήματος. Λειτουργεί με την παροχή ενέργειας, συνήθως με την μορφή ηλεκτρικής ενέργειας ή υδραυλικής πίεσης ή πνευματικής πίεσης, την οποία μετατρέπει σε κίνηση κάποιας μορφής. Ένα σύστημα δράσης είναι ο μηχανισμός, με τον οποίο ένα σύστημα δρα στο περιβάλλον. Αυτό το σύστημα μπορεί να είναι απλό (π.χ. ένα σταθερό μηχανικό ή ηλεκτρονικό σύστημα), μπορεί να βασίζεται σε λογισμικό (π.χ. πρόγραμμα οδήγησης του εκτυπωτή, σύστημα ελέγχου ρομπότ κ.ά), ή μπορεί να κινητοποιείται από έναν άνθρωπο.

Είδη και τεχνολογίες

Υπάρχουν πολλά είδη συστημάτων δράσης. Στη συνέχεια, θα γίνει αναφορά στους σερβοκινητήρες και την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.

Σέρβοκινητήρες

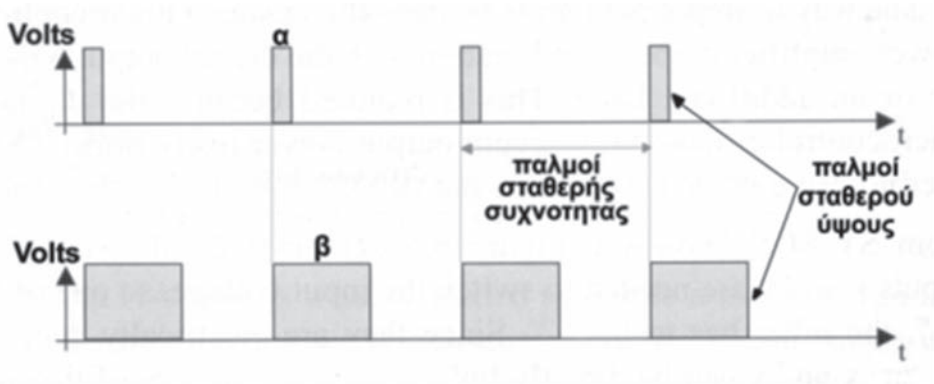
Η προέλευση της λέξης “σερβοκινητήρας” ανάγεται στο γαλλικό -Le Servomoteur, που στα ελληνικά αποδίδεται ως “ο δούλος κινητήρας”. Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου και σε εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται έλεγχος της ταχύτητας, της θέσης και της ροπής του άξονα του κινητήρα. Κλασικά παραδείγματα χρησιμοποίησης σερβοκινητήρων είναι στους ρομποτικούς βραχίονες, στις αυτόματες εργαλειομηχανές, στα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα, καθώς και στα αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων.

Κύριο γνώρισμα των σερβοκινητήρων είναι η ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες επιταχύνσεις, όταν ξεκινούν από πλήρη ακινησία -δηλαδή, να έχουν μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης.

Όταν στους σερβοκινητήρες εφαρμοστεί η τάση λειτουργίας τους, τότε αυτοί περιστρέφονται με μια συγκεκριμένη ταχύτητα (σύμφωνα και με τις προδιαγραφές τους). Για να περιστραφεί ένας σερβοκινητήρας με διαφορετικές ταχύτητες, χρησιμοποιείται η τεχνική PWM (Pulse Width Modulation). Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, ο κινητήρας οδηγείται όχι με σταθερή τάση, αλλά με παλμούς σταθερής συχνότητας και ύψους, η διάρκεια των οποίων καθορίζει και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.

Στο παρακάτω σχήμα, αν $\beta = 5 \cdot \alpha$ και ο κινητήρας, όταν οδηγείται από την α' κυματομορφή, περιστρέφεται με ταχύτητα U , τότε η ταχύτητά του

θα είναι $5 \cdot U$, εάν οδηγηθεί από τη β' κυματομορφή.



Τάση λειτουργίας

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε συστήματα μικρών αυτόνομων ρομπότ χαρακτηρίζονται από συνεχή τάση λειτουργίας. Χωρίζονται, μάλιστα, σε δύο κατηγορίες: α) Στους μικρούς DC κινητήρες, οι οποίοι έχουν τάση 1,5 - 6V και β) στους υψηλότερης ποιότητας κινητήρες με τάση 12 - 24V.

Ταχύτητα περιστροφής

Η ταχύτητα περιστροφής στους κινητήρες αφορά στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα, όταν ο κινητήρας λειτουργεί υπό κανονική ηλεκτρική τάση και με δεδομένο φορτίο. Γενικά, μετράται σε στροφές ανά λεπτό (Rounds Per Minute), στους περιστροφικούς (σερβο) σε μοίρες ανά λεπτό και στους βηματικούς κινητήρες σε βήματα ανά δευτερόλεπτο.

Βασικά χαρακτηριστικά των κινητήρων:

1. Η ροπή του κινητήρα είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης.
2. Η φορά της ροπής καθορίζεται από την πολικότητα της τάσης.

Πλεονεκτήματα σερβοκινητήρα:

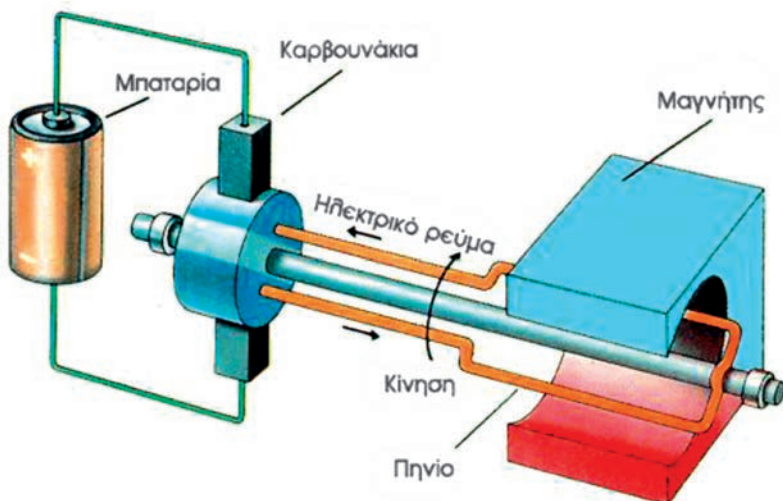
- Έχει τη δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τιμών ροπής.
- Μπορεί να περιστρέφεται σε υψηλές ταχύτητες.
- Ελέγχεται εύκολα από τους σύγχρονους ελεγκτές ρομποτικών εφαρμογών.
- Διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία εμπορικών μοντέλων.

Μειονεκτήματα σερβοκινητήρα:

- Υψηλό κόστος.
- Υψηλή κατανάλωση.

Ηλεκτρικός κινητήρας

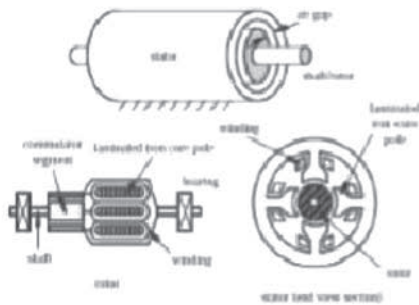
Ο σερβοκινητήρας (servomotor) είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος εφοδιασμένος με αισθητήρα προσδιορισμού της θέσης του άξονα περιστροφής του. Στην εικόνα 21 βλέπουμε τη βασική αρχή λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα.



Εικόνα 21. Ηλεκτρικός κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ροπή. Είναι μία από τις καθαρότερες και πιο εύκολα διαθέσιμες μορφές συστημάτων δράσης, διότι δεν εμπλέκει λάδι.

DC κινητήρες



Μετατροπή ενέργειας σε περιστροφική κίνηση

Χρήση DC ρεύματος

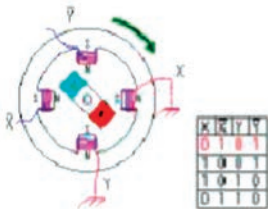
Συνήθης χρήση για εφαρμογές χαμηλής ισχύος

Εικόνα 22. Ηλεκτρικός κινητήρας

Βηματικός κινητήρας

Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούν συνδυασμό ηλεκτρικών παλμών για την κίνηση. Για να κινηθεί ο ρότορας, εφαρμόζεται διαδοχικά σε κάθε ένα από τα ζεύγη ηλεκτρομαγνητών (εικόνα 23) ορισμένη τάση ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από το ένα ζεύγος ηλεκτρομαγνητών στο διπλανό του, ο ρότορας μετατοπίζεται κατά κάποιες μοίρες, λόγω των μαγνητικών δυνάμεων που εφαρμόζονται σε αυτόν. Η γωνία αυτή ονομάζεται “βήμα του κινητήρα”.

Βηματικός κινητήρας



Περίπτωση DC κινητήρα

Χρήση ηλεκτρομαγνητών

Ακριβής βηματική κίνηση



Εικόνα 23. Βηματικός κινητήρας

Πλεονεκτήματα βηματικού κινητήρα

- ✓ Σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζεται φρένα για να μένει ακίνητος ή για να επιβραδύνεται .
- ✓ Στις μικρές ταχύτητες περιστροφής, αλλά και κατά την εκκίνησή του,

παράγει μεγάλες τιμές ροπής.

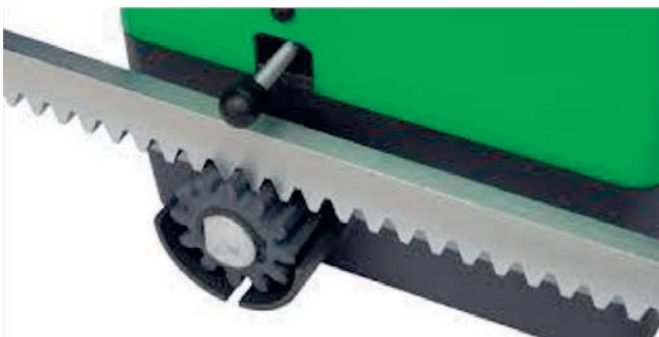
- ✓ Είναι πολύ αξιόπιστος, καθώς για τη λειτουργία του δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές (όπως λ.χ. στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος) κι έτσι η διάρκεια ζωής του εξαρτάται μόνο από την αξιοπιστία του εδράνου κύλισης.
- ✓ Δεν απαιτείται η χρήση αισθητήρων και κυκλωμάτων ανάδρασης για τον προσδιορισμό της θέσης του άξονα κίνησης.
- ✓ Μπορεί να επιτύχει μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής.
- ✓ Μπορεί να επιτύχει πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.

Μειονεκτήματα βηματικού κινητήρα

- ✓ Θορυβώδης λειτουργία.
- ✓ Αδυναμία περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- ✓ Κατά τη μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μη σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.

Μηχανικός σερβοκινητήρας γραμμικής κίνησης

Ένας μηχανικός σερβοκινητήρας γραμμικής κίνησης λειτουργεί με τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική κίνηση. Περιλαμβάνει γρανάζια, τροχαλίες, αλυσίδες και άλλες συσκευές. Ένα παράδειγμα μηχανικού σερβοκινητήρα είναι αυτό της κρεμαγιέρας.



Εικόνα 24. Κρεμαγιέρα

Μηχανικός σερβοκινητήρας περιστροφικής κίνησης

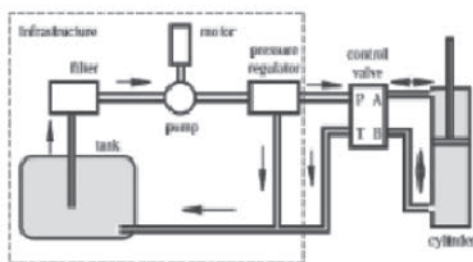
Μια άλλη ενδιαφέρουσα λειτουργία ενός κινητήρα είναι ότι μπορεί να γυρίζει έναν άξονα από τις 0 μέχρι τις 180 μοίρες. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη, όταν θέλουμε να κινείται κάποιο μέρος ελεγχόμενα. Αν σταθεροποιήσουμε κάπου τη βάση του σερβοκινητήρα, μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε, προκειμένου να πετύχουμε στην κατασκευή μας κίνηση σε εύρος 180 μοιρών. Ο κινητήρας συνδέεται με ένα καλώδιο στην πηγή, ένα

δεύτερο στη γείωση και το τρίτο σε ένα pin του ελεγκτή, ώστε να μπορούμε να δίνουμε εντολές, για το πώς και πόσο θα στραφεί.

Υδραυλικός σερβοκινητήρας

Ένας υδραυλικός σερβοκινητήρας αποτελείται από έναν κυλινδρικό κινητήρα ή έναν κινητήρα ρευστού και, για να εκτελέσει μηχανολογικές λειτουργίες, χρησιμοποιεί την υδραυλική δύναμη. Η μηχανική κίνηση μπορεί να είναι γραμμική, περιστροφική ή ταλαντωτική. Επειδή τα υγρά είναι σχεδόν ασυμπίεστα, ένας υδραυλικός σερβοκινητήρας μπορεί να ασκήσει σημαντική δύναμη, αλλά περιορίζεται στην επιτάχυνση. Ο κινητήρας αυτός αποτελείται από έναν κοίλο κυλινδρικό σωλήνα, κατά μήκος του οποίου ένα έμβολο μπορεί να ολισθαίνει. Υπάρχουν κινητήρες διπλής και μονής ενέργειας. Ο όρος “διπλής ενέργειας” χρησιμοποιείται, όταν εφαρμόζεται πίεση σε κάθε πλευρά του εμβόλου, οπότε η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του εμβόλου σε κάθε πλευρά. Ο όρος “μονής ενεργείας” χρησιμοποιείται, όταν η πίεση του ρευστού εφαρμόζεται σε μόνο μία πλευρά του εμβόλου. Το έμβολο μπορεί να κινείται μόνο προς μία κατεύθυνση και ένα ελατήριο χρησιμοποιείται συχνά, για να βοηθήσει το έμβολο να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση. Οι κινητήρες αυτοί υλοποιούν τόσο τη μεταφορική όσο και την περιστροφική κίνηση.

Υδραυλικό σύστημα δράσης



Δεξαμενές και αντλίες

Η διαφορά πιέσεων ελέγχεται από υδραυλικές βαλβίδες



Εικόνα 25. Υδραυλικός σερβοκινητήρας

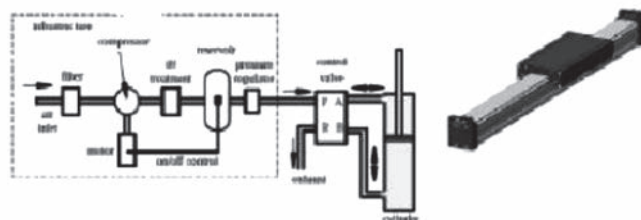
Πνευματικός σερβοκινητήρας

Ένας πνευματικός σερβοκινητήρας χρησιμοποιεί τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο περιοχών (κενό ή πεπιεσμένο αέρα σε υψηλή πίεση) και τη μετατρέπει είτε σε γραμμική είτε σε περιστροφική κίνηση. Η πνευματική

ενέργεια είναι επιθυμητή για τον βασικό έλεγχο της μηχανής, επειδή μπορεί να αποδοθεί γρήγορα στην εκκίνηση και το σταμάτημα της μηχανής και δεν χρειάζεται να αποθηκευτεί πιο πριν σε απόθεμα, για να λειτουργήσει. Οι πνευματικοί κινητήρες επιτρέπουν να παραχθούν μεγάλες δυνάμεις από σχετικά μικρές μεταβολές της πίεσης. Οι δυνάμεις αυτές χρησιμοποιούνται συχνά σε βαλβίδες, για να μετακινούν διαφράγματα και, έτσι, να επηρεάζεται η ροή ενός υγρού μέσω των βαλβίδων. Επιπλέον, οι πνευματικοί σερβοκινητήρες είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της πίεσης σε ισχύ.

Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν, όμως, ιδιαίτερη δυσκολία στον έλεγχο, εξαιτίας της αναπόφευκτης συμπιεστότητας του ρευστού. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συχνά για εφαρμογές που δεν απαιτούν ιδιαίτερη ακρίβεια, όπως λ.χ. το άνοιγμα και το κλείσιμο της αρπάγης ενός εργαλείου.

Πνευματικό σύστημα δράσης



Συμπιεστές και ρυθμιστές πίεσης

Η διαφορά πίεσης προκαλεί γραμμική κίνηση

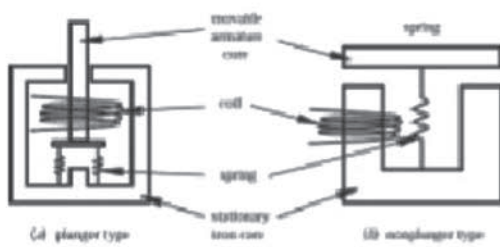
Μικρότερες πιέσεις σε σύγκριση με τους υδραυλικούς ενεργοποιητές

Εικόνα 26. Πνευματικός ενεργοποιητής

Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής

Ένας άλλος τύπος συστήματος δράσης είναι αυτός του ηλεκτρομαγνητικού ενεργοποιητή, που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε μαγνητικό πεδίο. Τέτοιου είδους σύστημα δράσης είναι η γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που έχει την ίδια βασική αρχή λειτουργίας με το ηλεκτρομηχανικό ρελέ και που μπορεί να ενεργοποιηθεί και να ελεγχθεί με τη χρήση τρανζίστορ ή MOSFET. Μια γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή, η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική δύναμη ώθησης ή έλξης ή κίνησης.

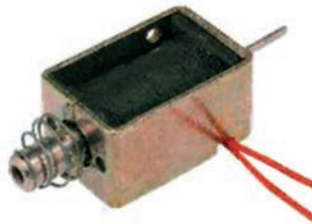
Ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής



Μετατρέπει την ενέργεια σε γραμμική κίνηση
Πηνίο και σιδερένιος πυρήνας
Το πηνίο παράγει μαγνητικό πεδίο και μετακινεί τον πυρήνα από σίδηρο

Εικόνα 27

Η γραμμική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα βασικά αποτελείται από ένα πηνίο τυλιγμένο γύρω από έναν κυλινδρικό σωλήνα με σιδηρομαγνητικό υλικό και από ένα "έμβολο", που είναι ελεύθερο να μετακινηθεί ή να γλιστρήσει "ΜΕΣΑ" και "ΕΞΩ" από το σώμα του πηνίου. Αυτού του είδους οι ενεργοποιητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν π.χ. στους σύρτες για το ηλεκτρικό άνοιγμα μιας πόρτας, ούτως ώστε να ανοίγουν ή να κλείνουν βαλβίδες, να κινούν και να λειτουργούν ρομποτικά άκρα και μηχανισμούς -ακόμα και για να ενεργοποιούν ηλεκτρικούς διακόπτες μόνο με την ενεργοποίηση του πηνίου.



Εικόνα 28

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ

Εισαγωγή

Ως “πρωτόκολλο επικοινωνίας” ορίζεται ένα σύνολο συμφωνημένων κανόνων μεταξύ δύο επικοινωνούντων μερών, το οποίο εξυπηρετεί τη μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι, δηλαδή, μια δέσμη κανόνων, στους οποίους στηρίζεται η επικοινωνία των συσκευών. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη μορφή, τον χρόνο και τη σειρά μετάδοσης των πληροφοριών και επιτρέπουν, επίσης, τον έλεγχο και τη διόρθωση σφαλμάτων κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των πληροφοριών. Στη συνέχεια, θα γίνει αναφορά στα πρωτόκολλα SPI, I2C, CAN bus, IEEE 802,3 και USB, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν και στο εργαστήριο.

Πρωτόκολλο SPI

Το SPI (Serial Peripheral Interface), όπως και το I2C που θα δούμε παρακάτω, αναπτύχθηκε με σκοπό αφενός την εύκολη επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και αφετέρου τον καλύτερο τρόπο διασύνδεσης των περιφερειακών μονάδων και των μικροελεγκτών. Το πρωτόκολλο SPI επιτρέπει τη σειριακή σύγχρονη επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία. Το SPI επιτρέπει σε δεδομένα των 8 bits να αποστέλλονται σύγχρονα και, την ίδια στιγμή, να λαμβάνονται σύγχρονα με ταχύτητα που φτάνει το 1Mbps. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πρωτοκόλλου είναι ότι:

1. επιτρέπει τη σύγχρονη επικοινωνία,
2. είναι σειριακό,
3. είναι πλήρως αμφίδρομο,
4. δεν είναι plug-and-play,
5. υπάρχει ένας και μοναδικός Master στον δίαυλο, ενώ μπορεί να υπάρχουν ένας ή και περισσότεροι Slaves.

Πρωτόκολλο I2C

Το I2C Bus αποτελεί ένα πρωτόκολλο, που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (μικροελεγκτών και λοιπών ολοκληρωμένων περιφερειακών μονάδων, όπως EEPROMs, A/D μετατροπών, LCD drivers, αισθητήρων), αλλά και αυτών με άλλους μικροελεγκτές. Είναι ένα πρωτόκολλο που μεταδίδει δεδομένα σειριακά. Με το I2C αποφεύγεται η χρησιμοποίηση ενός παράλληλου διαύλου δεδομένων, που προκαλεί μεγάλη πολυπλοκότητα στη σχεδίαση, αλλά και απαιτεί μεγαλύτερο κόστος. Βρίσκει πολλές εφαρμογές στα σύγ-

χρονα ηλεκτρονικά συστήματα, όπως σε συσκευές εικόνας και ήχου, σε τηλεφωνικές συσκευές, modems, dipswitches, embedded microprocessor boards, αλλά και στην επικοινωνία των αισθητήρων θερμοκρασίας με τις οθόνες, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επιτυγχάνει ταχύτητες, που μπορούν να φτάσουν μέχρι και 3.4Mbps, και οι οποίες είναι ικανές για την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε κόμβους, που το μήκος τού μεταξύ τους καλωδίου είναι μερικές δεκάδες μέτρα -μήκος αρκετά ικανό, αν θεωρήσουμε ότι οι αποστάσεις συνήθως δεν ξεπερνάνε τα μερικά μέτρα.

Το I2C υλοποιείται με την χρήση δύο καλωδίων διπλής κατεύθυνσης. Τα δύο αυτά καλώδια είναι το SDA (Serial Data), που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων, και το SCL (Serial Clock), που χρησιμοποιείται για ρολόι. Το μήκος του καλωδίου (bus) μπορεί να φτάσει τα 3 με 4 μέτρα, αλλά μπορεί και να αυξηθεί με τους λεγόμενους bus extenders έως και τα 100m.

Πρωτόκολλο CAN

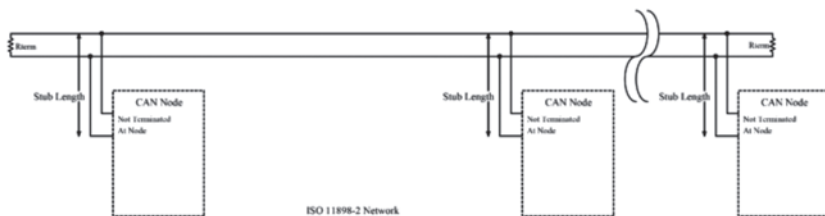
Ένας “ελεγκτής περιοχής δικτύου” (Controller Area Network), ή αλλιώς CAN-Bus, είναι ένα πρότυπο σχεδιασμένο να επιτρέπει στους μικροελεγκτές να επικοινωνούν με τις συσκευές, χωρίς την ανάγκη ενός κεντρικού υπολογιστή. Είναι ένα πρωτόκολλο που βασίζεται σε μηνύματα και σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογές αυτοκινήτων. Ο λόγος ήταν, γιατί τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα των οχημάτων δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά συνδέονται το ένα με το άλλο, επηρεάζουν το ένα το άλλο και αλληλοσυμπληρώνονται. Η αύξησή τους οδήγησε στα όρια την τεχνολογία, που μέχρι πρότινος χρησιμοποιούσε ένα καλώδιο για κάθε σήμα (κόστος, βάρος, χώρος). Η λύση στο πρόβλημα δόθηκε με την ανάπτυξη συστημάτων σειριακής μετάδοσης πληροφορίας μέσω διαύλων (bus), που απλοποιεί αισθητά την καλωδίωση, δίνοντας αφενός τη δυνατότητα για σύνθετες λειτουργίες και διευκολύνοντας αφετέρου τη διάγνωση βλαβών.

Το 1991, ο δίαυλος επικοινωνίας τύπου CAN (Controller Area Network, CAN bus) ήταν το πρώτο σύστημα διαύλου επικοινωνίας που εισήχθη σε εμπορικό όχημα. Έκτοτε, έγινε το βασικό σύστημα επικοινωνίας στον τομέα των οχημάτων, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε συχνότατα ως σύστημα επικοινωνίας στον χώρο των βιομηχανικών αυτοματισμών γενικότερα. Το CAN bus είναι ένας σειριακός ψηφιακός τρόπος σύνδεσης του εγκεφάλου με τα υποσυστήματα του αυτοκινήτου, ο οποίος χρησιμοποιεί μόλις δύο (2) καλώδια. Πάνω σε αυτά τα δύο (2) καλώδια είναι συνδεδεμένα τα περιφερειακά με σύνδεση συμβατή με CAN bus -, έξυπνοι αισθητήρες, μονάδα ηλεκτρονικής ανάφλεξης, υποσύστημα ABS, ενσωματωμένος υπολογιστής

ταξιδιού, ελεγκτές φώτων κ.ά.. Εκεί συνδέεται και η διαγνωστική υποδοχή (φίσα), μέσω της οποίας το διαγνωστικό μηχάνημα του συνεργείου μπορεί να πάρει πληροφορίες για την κατάσταση του οχήματος και να εντοπίσει τη βλάβη. Το CAN bus είναι ένα από τα πέντε (5) πρωτόκολλα για on-board diagnostics (OBD)-II.

Ο CAN είναι ένας multi-master δίαυλος για τη σύνδεση των ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου [ECU], γνωστών, επίσης, ως κόμβων. Για να υπάρξει επικοινωνία, απαιτούνται στο δίκτυο CAN δύο ή περισσότεροι κόμβοι. Η πολυπλοκότητα του κόμβου μπορεί να κυμαίνεται από μια απλή συσκευή I/O έως ένα ενσωματωμένο υπολογιστή με μια διεπαφή CAN και ένα εξελιγμένο λογισμικό. Ο κόμβος μπορεί, επίσης, να είναι μια πύλη που επιτρέπει σε έναν τυπικό υπολογιστή να επικοινωνεί με τις συσκευές μέσω μιας θύρας USB ή Ethernet πάνω σε ένα δίκτυο CAN.

Όλοι οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός διαύλου δύο καλωδίων. Τα καλώδια είναι των 120Ω συνεστραμμένου ζεύγους.



Εικόνα 29. High Speed CAN Network. ISO 11898-2

Ο CAN είναι συχνά αναπόσπαστο μέρος του μικροελεγκτή και:

- **Κατά τη λήψη:** Ο CAN μπορεί να αποθηκεύει τα ληφθέντα bits σειριακά, μέχρις ότου ολόκληρο το μήνυμα να είναι διαθέσιμο. Το μήνυμα μπορεί, στη συνέχεια, να φορτωθεί στον κεντρικό επεξεργαστή (συνήθως από τον ελεγκτή CAN προκαλώντας μια διακοπή).
- **Κατά την αποστολή:** ο κεντρικός επεξεργαστής στέλνει το μήνυμα μετάδοσης στον CAN, ο οποίος μεταδίδει τα bits σειριακά-διαδοχικά πάνω στο bus, όταν είναι ελεύθερο.

Ενδεικτική ταχύτητα μετάδοσης πληροφορίας είναι τα 500kbps (high-speed CAN), C κλάση.

Παραδείγματα εφαρμογών:

- Σύστημα διαχείρισης κινητήρα (Engine Management System)
- Έλεγχος συστήματος μετάδοσης (Transmission control)
- Συστήματα αντισμπλοκαρίσματος τροχών (Antilock Braking Systems, ABS)
- Συστήματα ελέγχου αμαξώματος (Active Body Control, ABC)

Πρωτόκολλο IEEE 802.3

Το 1985, το Ethernet έγινε επίσημα αποδεκτό από τον οργανισμό IEEE ως το πρότυπο 802.3 για τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα (LAN).

Το 802.3 είναι ένα πρότυπο προδιαγραφών για το Ethernet και αποτελεί μία μέθοδο φυσικής επικοινωνίας σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN). Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Σε γενικές γραμμές, το 802.3 καθορίζει τα φυσικά μέσα και τα χαρακτηριστικά της εργασίας του Ethernet. Το αρχικό Ethernet υποστήριζε ένα ρυθμό δεδομένων 10 Mbps και καθόριζε τα παρακάτω πιθανά φυσικά μέσα:

- 10Base2 (λεπτό ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος τμήματος 185 μέτρων)
- 10Base5 (χοντρό ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος τμήματος 500 μέτρων)
- 10BASE-F (καλώδιο οπτικών ινών)
- 10BASE-T (συνηθισμένο τηλεφωνικό συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων)
- 10BASE-36 (ευρυζωνικό πολλαπλών καναλιών ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος τμήματος 3.600 μέτρων)

Οι παραπάνω χαρακτηρισμοί είναι συντομογραφίες του IEEE. Το "10" αναφέρεται στην ταχύτητα μετάδοσης των 10 Mbps. Το "Base" αναφέρεται στη baseband σηματοδότηση, που σημαίνει ότι μόνο τα σήματα Ethernet μεταφέρονται στο μέσο. Το "T" αντιπροσωπεύει το συνεστραμμένο ζεύγος, το "F" αναφέρεται στο καλώδιο οπτικών ινών και, τέλος, τα "2", "5" και "36" αναφέρονται στο μήκος του ομοαξονικού καλωδίου. (Σημ: το μήκος 185 μέτρων έχει στρογγυλοποιηθεί μέχρι "2" για το 200). Το Ethernet ανήκει στην οικογένεια των προϊόντων LAN που καλύπτονται από το πρότυπο IEEE 802.3, το οποίο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο CSMA / CD.

Πρωτόκολλο USB

Ο "Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος", γνωστός και ως Universal Serial Bus ή, απλά, USB, είναι ένα σύστημα διαύλου, το οποίο χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ενός υπολογιστή με τα περιφερειακά συστήματα. Ο USB απαιτεί λίγο χώρο και μπορεί να παρέχει ενέργεια σε απλές συσκευές, όπως το ποντίκι, το πληκτρολόγιο ή την ιστοκάμερα. Με τη χρήση του USB, οι περιφερειακές συσκευές και τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να αναγνωρίζονται αυτόματα.

Ο USB λειτουργεί με τις ακόλουθες ταχύτητες:

- ✓ 1.5 Mbit/s (χαμηλή ταχύτητα),
- ✓ 12 Mbit/s (πλήρης ταχύτητα),
- ✓ 480 Mbit/s (υψηλή ταχύτητα),
- ✓ 5 Gbit/s (υπερυψηλή ταχύτητα).

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εισαγωγή

Η μηχαντρονική εφαρμόζεται σχεδόν παντού στη σύγχρονη εποχή. Μερικά συστήματα ή βιομηχανικά προϊόντα, τα οποία είναι παράγωγα της μηχαντρονικής, είναι τα παρακάτω:

1. Ρομπότ
2. Βιοϊατρικά συστήματα (τηλεχειρουργικά συστήματα, έξυπνα χάπια, τεχνητή καρδιά κλπ)
3. Συστήματα ηλεκτρικής κίνησης
4. Ηλεκτρικά αυτοκίνητα και άρματα
5. Συστήματα ελέγχου μικροκινητήρων
6. Συστήματα ασφάλειας αυτοκινήτων με αερόσακους
7. Αυτόματα συστήματα προσγείωσης αεροπλάνων
8. Ηλεκτρικά κιβώτια ταχυτήτων
9. Ανεμογεννήτριες και υδροηλεκτρικά εργοστάσια
10. Συστήματα ελέγχου έξυπνων κατοικιών και κτηρίων
11. Φωτογραφικές μηχανές, φωτοτυπικά μηχανήματα, πλυντήρια, αυτόματα μηχανήματα πώλησης αντικειμένων κλπ
12. Συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλοίων
13. Συστήματα παραγωγής προϊόντων
14. Ταινιόδρομοι

Παρουσίαση τυπικών εφαρμογών μηχαντρονικής

Το ABS

Το ABS είναι ένα σύστημα που εφαρμόζεται και στους τέσσερις τροχούς ενός αυτοκινήτου. Το σύστημα αυτό αποτρέπει το μπλοκάρισμα των τροχών, ρυθμίζοντας σε ένα απότομο φρενάρισμα την πίεση πέδησης των φρένων, όσο δυνατά κι αν πατήσουμε το φρένο. Η αποφυγή του μπλοκαρίσματος των τροχών μας δίνει την δυνατότητα, τη στιγμή που φρενάρουμε, να μπορούμε να στρίψουμε κατά βούληση το αυτοκίνητο και αυτό να συμπεριφερθεί όπως αναμένουμε. Επιπλέον, σε ένα ολισθηρό οδόστρωμα το ABS βοηθάει, ώστε το αυτοκίνητο να μην γλιστρήσει πάνω στο οδόστρωμα και να σταματήσει πιο γρήγορα.

Το σύστημα ABS αποτελείται από αισθητήρες ταχύτητας, βαλβίδες abs σε κάθε φρένο, αντλία, και έναν ελεγκτή. Οι αισθητήρες ταχύτητας αντιλαμβάνονται ένα απότομο φρενάρισμα από την απότομη μείωση της ταχύτητας. Οι αισθητήρες αυτοί βρίσκονται είτε σε κάθε τροχό, είτε στο διαφορικό. Οι βαλβίδες υπάρχουν σε κάθε φρένο και ρυθμίζουν πόσο δυ-

νατά θα πατηθεί το φρένο. Οι βαλβίδες βρίσκονται σε τρεις καταστάσεις: Στην κατάσταση 1, που είναι ανοιχτές και δεν επηρεάζουν το σύστημα πέδησης, στην κατάσταση 2, που οι βαλβίδες είναι κλειστές και μπλοκάρουν το φυσιολογικό φρενάρισμα, για να το κάνουν ρυθμιζόμενο, και στην κατάσταση 3, που οι βαλβίδες, λόγω του δυνατού φρεναρίσματος, αφήνουν το αυτοκίνητο να φρενάρει ελεγχόμενα -δηλαδή ανοιγοκλείνουν, για να ρυθμίσουν την πίεση του φρεναρίσματος. Η αντλία, λόγω των αλλαγών πίεσης στα φρένα από τις βαλβίδες, ρυθμίζει τη σωστή πίεση του υγρού στα φρένα. Τέλος, ο ελεγκτής είναι ένας μικροϋπολογιστής, ο οποίος λαμβάνει τα μηνύματα από τους αισθητήρες κίνησης και, όταν εντοπίσει απότομο φρενάρισμα από τους αισθητήρες, δίνει τις κατάλληλες εντολές στις βαλβίδες.

Ευκαιρία για ερευνητική εργασία.

Λαμβάνοντας υπόψη τα 14 συστήματα ή βιομηχανικά προϊόντα που παρατέθηκαν στην εισαγωγή, τα οποία είναι αποτέλεσμα της μηχανικής, και με τη βοήθεια των παρακάτω εικόνων, χωριστείτε σε ομάδες και:

1. Επιλέξτε μια εφαρμογή της μηχανικής.
2. Εντοπίστε τα μέρη, από τα οποία αποτελείται.
3. Βρείτε ποιους αισθητήρες χρησιμοποιεί.
4. Αναφέρατε ποια συστήματα δράσης εφαρμόζει
5. Εξηγήστε πώς και πού λαμβάνονται οι αποφάσεις δράσης.
6. Βρείτε ποια πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των διαφόρων στοιχείων του μηχανικού συστήματος.
7. Υλοποιήστε στο εργαστήριο ένα μηχανικό -ανάλογο του συστήματος που μελετήσατε.
8. Παρουσιάστε την εργασία σας στην τάξη.

Εικονογραφικό υλικό ως πηγή ιδεών για την ερευνητική εργασία

Παραδείγματα Μηχαντρονικών Συστημάτων

Ρobot

Παράδειγμα 1



Παραδείγματα Ρομπότ



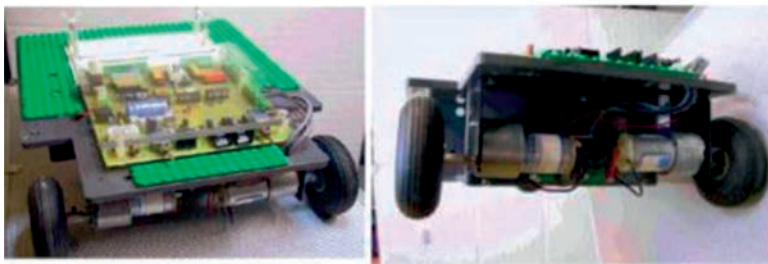
Ρομποτικοί αισθητήρες

Παράδειγμα 2

Κίνηση και έλεγχος δύναμης ενός έμμεσης κίνησης ρομπότ



Παράδειγμα 3



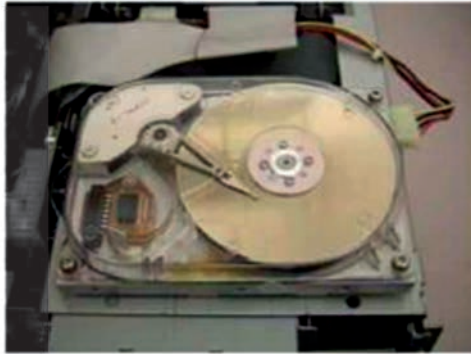
Προγραμματισμένο όχημα να κινείται σε ευθεία και να αποφεύγει τις συγκρούσεις

Παράδειγμα 4

Ο δίσκος του H/Y είναι ένα μηχανολογικό σύστημα.

Απαιτεί:

1. Ακρίβεια στη θέση της μαγνητικής κεφαλής
2. Ακριβή έλεγχο της ταχύτητας
3. Εξαγωγή ψηφιακών δεδομένων από μαγνητικό μέσο

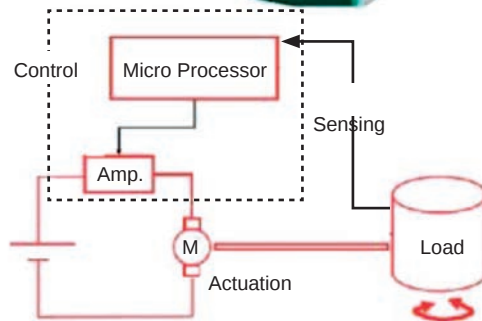


Παράδειγμα 5

Πλυντήριο

Απαιτεί:

- ❖ Μέτρηση του βάρους των ρούχων
 - ❖ Δοχείο ρούχων
 - ❖ Μέτρηση του βάθους του νερού
 - ❖ Κίνηση του κάδου
 - ❖ Ευκολία στη χρήση και αξιοπιστία
 - ❖ Χαμηλό κόστος
-
- ❖ AC και DC κινητήρες
 - ❖ Είσοδος και έξοδος νερού
-
- ❖ Αισθητήρες στάθμης νερού και ταχύτητας και ισορροπίας του κάδου



Παράδειγμα 6



Γερανοί φορτοεκφόρτωσης

Έχουν αυτόματα συστήματα μεταφορέων, ανύψωσης, μετακίνησης

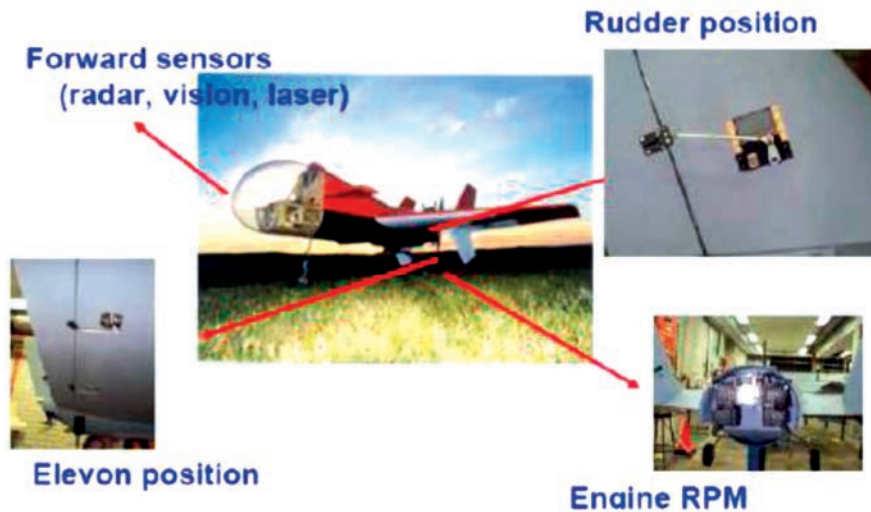
Παράδειγμα 7: Υποθαλάσσια οχήματα

Ο έλεγχος των οχημάτων γίνεται από Η/Υ που έχουν ενσωματωμένους

Διαθέτουν αισθητήρες, όπως σόναρ, οπτικούς, πίεσης, πυξίδες



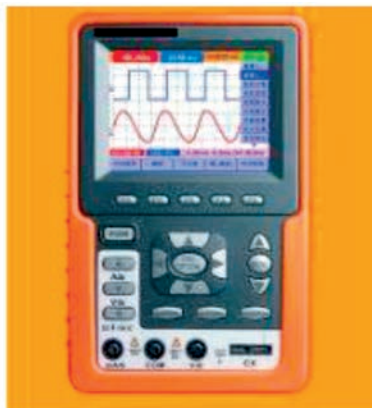
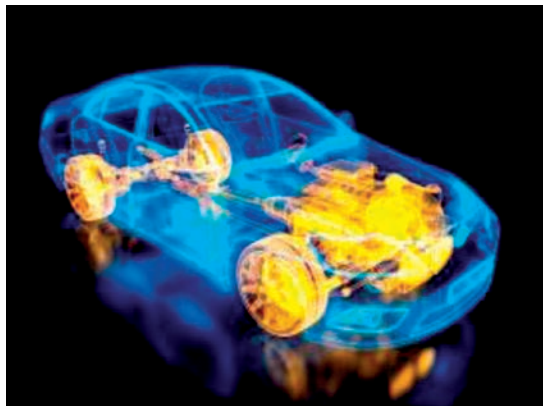
Παράδειγμα 8: Συστήματα ελέγχου αυτόνομης πτήσης



Παράδειγμα 9: Εφαρμογές ορυχείων



Και πολλές άλλες εφαρμογές. Η Μηχατρονική είναι παντού ανάμεσά μας



Υλικό από το διαδίκτυο

- Ahm2307vectorization: Own work - Own work, based on File:Mecha.gif. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons – στο: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mecha_workaround.svg#mediaviewer/File:Mecha_workaround.svg
- <http://slideplayer.gr/slide/2623329/>
- http://www.robolab.tuc.gr/ASSETS/PAPERS_PDF/ROBOTICS/LAB/3_ROBOTIC_MANIPULATORS_2_LAB.pdf
- http://www.teicm.gr/repository/repository/sygk_yliko/PTYXIAKES_ERGASIES/PTYXIAKES_ERGASIES_PLHROFORIKHS_2012/PTYXIAKES_TOMEA_3_%20B_MEROS/%CE%94%CE%B7%CE%BC%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%BF%CF%82%20%CE%97%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82%20-%20799/Dimopoulos.pdf
- http://www.robolab.tuc.gr/ASSETS/PAPERS_PDF/ROBOTICS/LAB/4_STEPPER&SERVOS_LAB.pdf
- http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_6.html
- <http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/Protocola%20Diasyndeshs.pdf>

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.