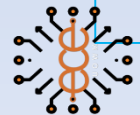
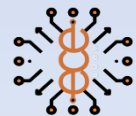


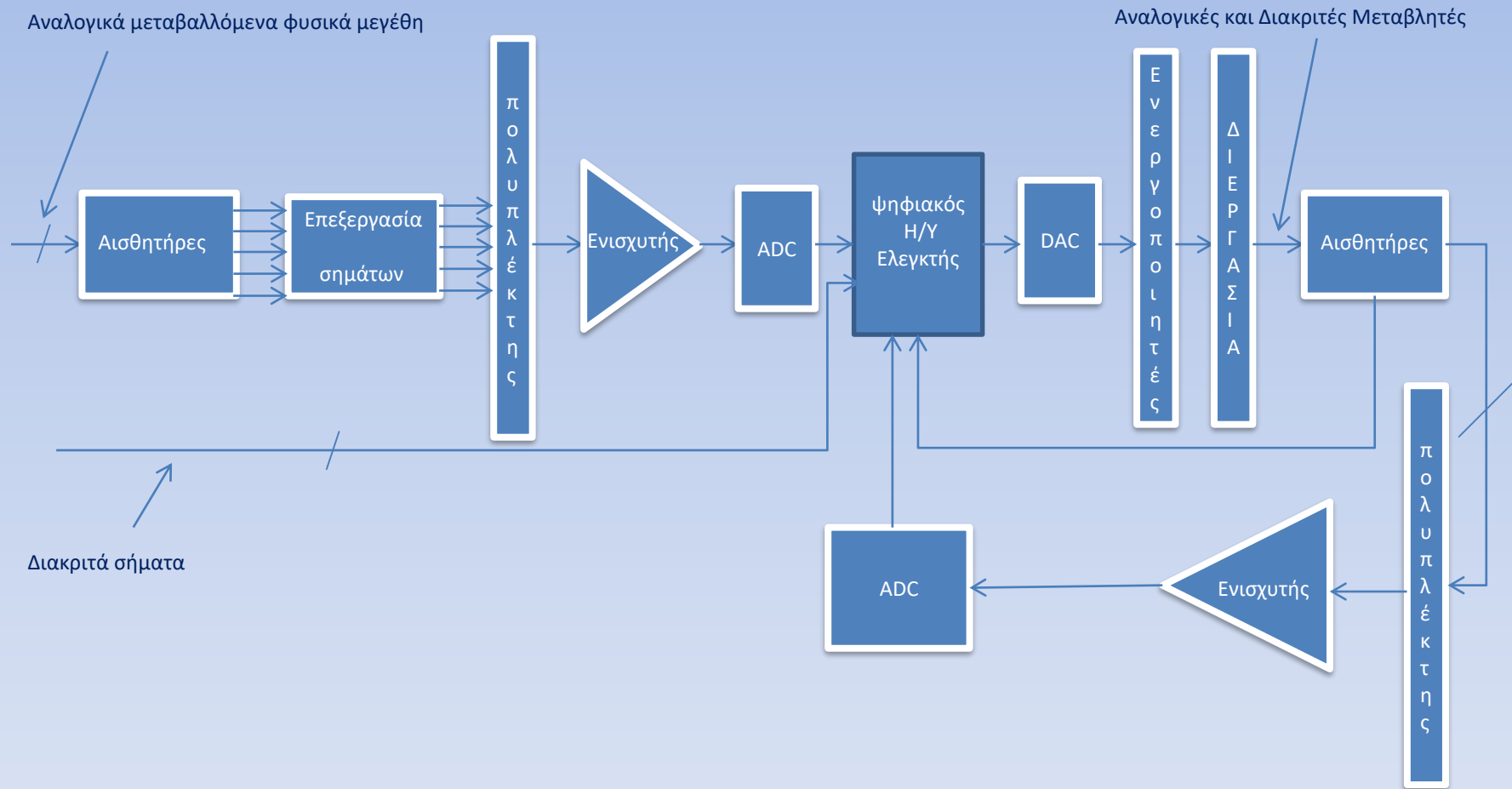
Εξαρτήματα για Αυτόματο Έλεγχο Διεργασιών

- 1. Αισθητήρες
- 2. Ενεργοποιητές
- 3. Μετατροπείς αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά ADC
- 4. Μετατροπείς ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά DAC





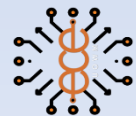
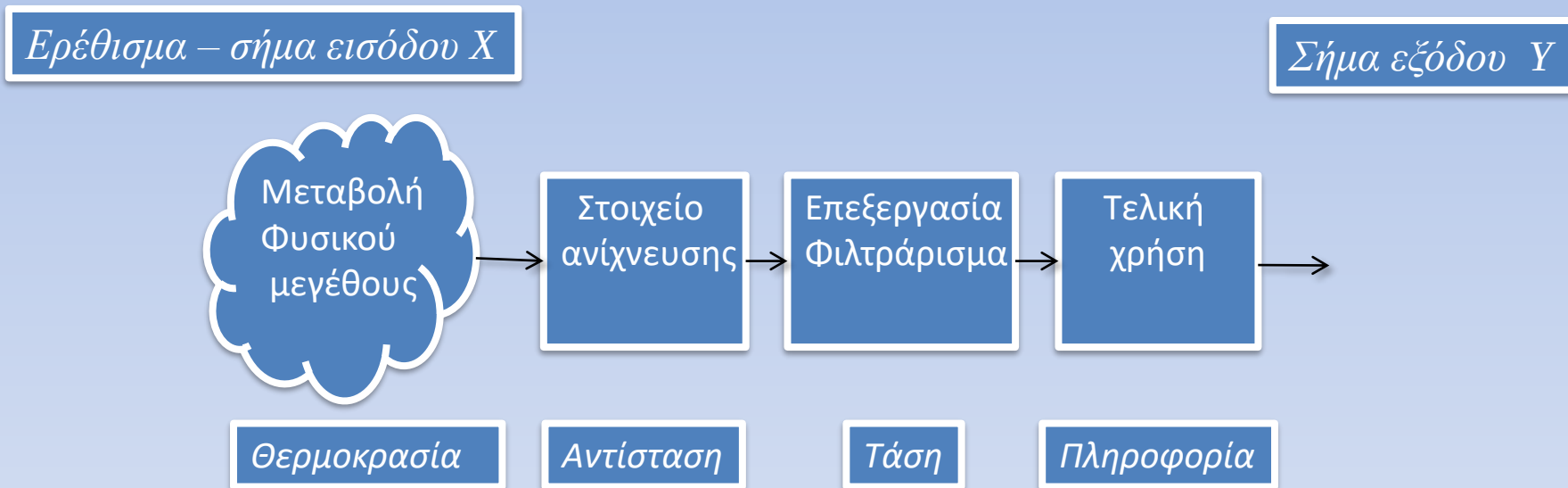
Σύστημα Ελέγχου Διεργασιών με Υπολογιστή



Αισθητήρες (sensors) και Μετατροπείς (Transducers)

- **Αισθητήρας** ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει τις μεταβολές ενός φυσικού μεγέθους(ερεθίσματος) και το μετατρέπει σε μια πιο χρήσιμη μορφή παράγοντας μία μετρήσιμη έξοδο, (ηλεκτρικής αντίστασης, τάσης, έντασης), που προκύπτει από μια αλλαγή της τιμής του ελεγχόμενου φυσικού μεγέθους(ερεθίσματος) .
- Ένας **μετατροπέας** είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ενέργεια από μια μορφή σε άλλη. Συνήθως ένας μετατροπέας μετατρέπει ένα σήμα από μια μορφή ενέργειας σε ένα σήμα σε μια άλλη μορφή.
- Στις περισσότερες των περιπτώσεων **Αισθητήρας και Μετατροπέας** ενσωματώνονται στην ίδια συσκευή.
- Στη συνέχεια η χρήση του όρου Αισθητήρας θα εκφράζει τη συσκευή που ανιχνεύει τις μεταβολές του ερεθίσματος και τις μετατρέπει σε αξιοποιήσιμη μετρούμενη μορφή.

Αισθητήρες (sensors) και Μετατροπείς (Transducers)



Αισθητήρες (sensors) και Μετατροπείς (Transducers)

Κατηγορίες Αισθητήρων με Βάση τον τύπο του Ερεθίσματος

Ερέθισμα	Παράδειγμα
Μηχανικό	Θέση, Ταχύτητα, Επιτάχυνση, Δύναμη, Ροπή, Πίεση, Τάση, Καταπόνηση, Μάζα, Πυκνότητα
Ηλεκτρικό	Ένταση, Τάση, Φορτίο, Αντίσταση, Αγωγιμότητα, Χωρητικότητα,
Θερμικό	Θερμοκρασία, Θερμότητα, Ροή Θερμότητας, θερμική αγωγιμότητα,
Ακτινοβολία	Τύπος ακτινοβολίας (πχ ακτίνες γ, ακτίνες Χ, Ορατό φως), ένταση, Μήκος κύματος
Μαγνητικό	Μαγνητικό Πεδίο, Ροή, Αγωγιμότητα, Διαπερατότητα
Χημικό	Ταυτότητα συστατικών στοιχείων, Συγκέντρωση, pH, Ρύποι

Κατηγορίες Αισθητήρων

Οι αισθητήρες ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Αναλογικοί

Παραδείγματα: θερμοστοιχείο, μετρητές τάσης, ποτενσιόμετρα.

2. Διακριτοί

Δυαδικοί (ON / OFF)

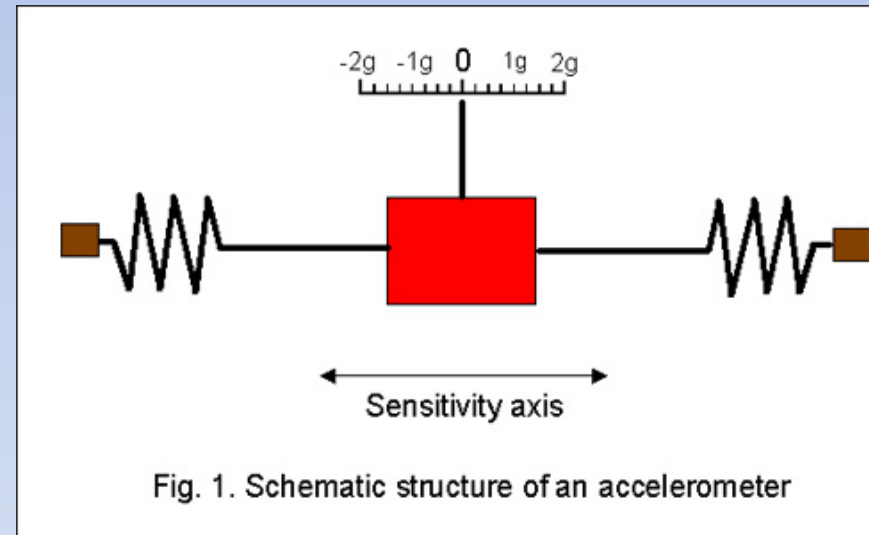
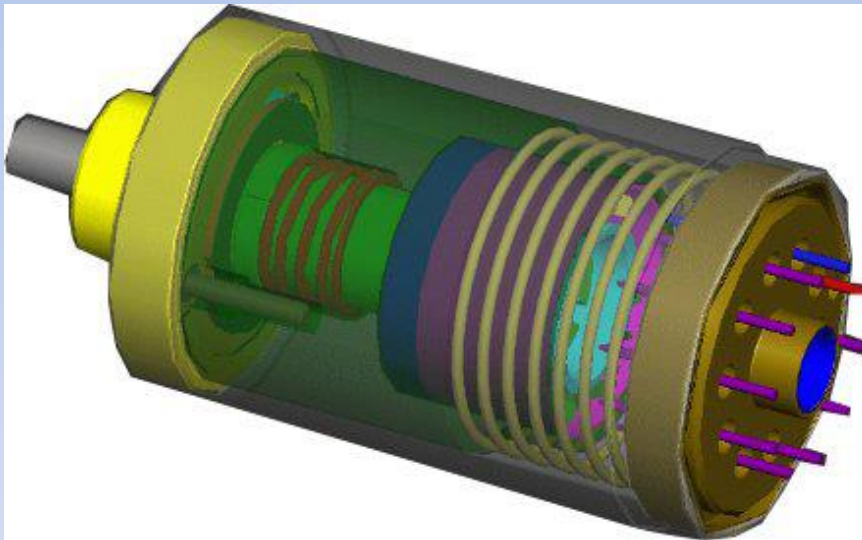
Παραδείγματα: Οριακός διακόπτης, φωτοηλεκτρικοί διακόπτες.

Ψηφιακοί (π.χ. μετρητής παλμών)

Παραδείγματα: φωτοηλεκτρική διάταξη, οπτικός κωδικοποιητής.

Αισθητήρες

Επιταχυνσιόμετρο: Αναλογική συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των κραδασμών και σοκ.



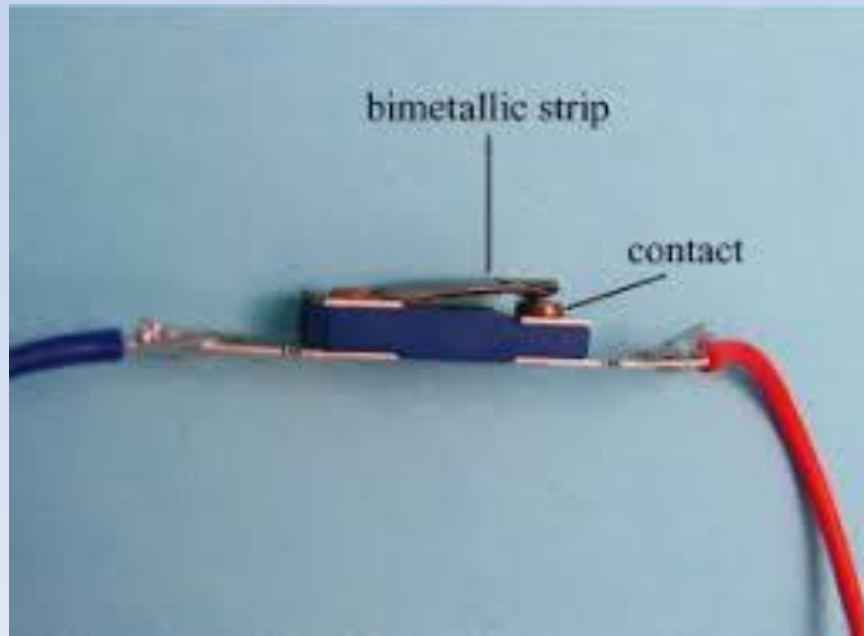
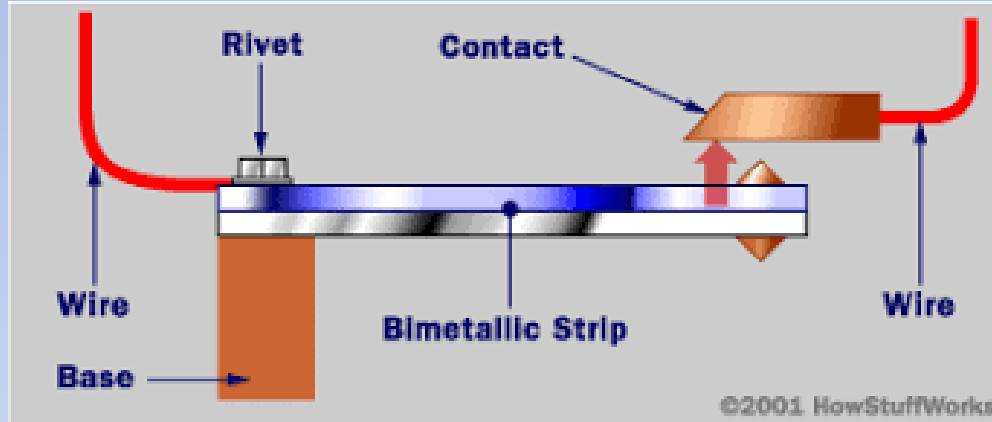
Αισθητήρες

Πολύμετρο: Συσκευή που μετρά διάφορα ηλεκτρικά μεγέθη όπως, ένταση ρεύματος, ηλεκτρική τάση, αντίσταση, κλπ.



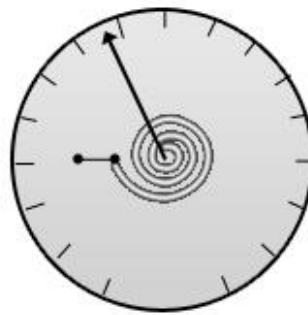
Αισθητήρες

Διμεταλλικός διακόπτης: Δυναμικός διακόπτης που χρησιμοποιεί διμεταλλικό πηνίο για να ανοίξει και να κλείσει την ηλεκτρική επαφή ως αποτέλεσμα της αλλαγής θερμοκρασίας. Αποτελείται από δύο μεταλλικές λωρίδες διαφορετικών συντελεστών θερμικής διαστολής συνδεδεμένες μεταξύ τους.



Αισθητήρες

Διμεταλλικό θερμόμετρο: Αναλογική συσκευή μέτρησης θερμοκρασίας που αποτελείται από διμεταλλικό σπείρωμα που αλλάζει σχήμα σε απόκριση στις μεταβολές της θερμοκρασίας.



© 2010 Chipkin Automation Systems Inc.



Αισθητήρες

Αισθητήρας ροής ρευστού: Αναλογική μέτρηση του ρυθμού ροής του υγρού.

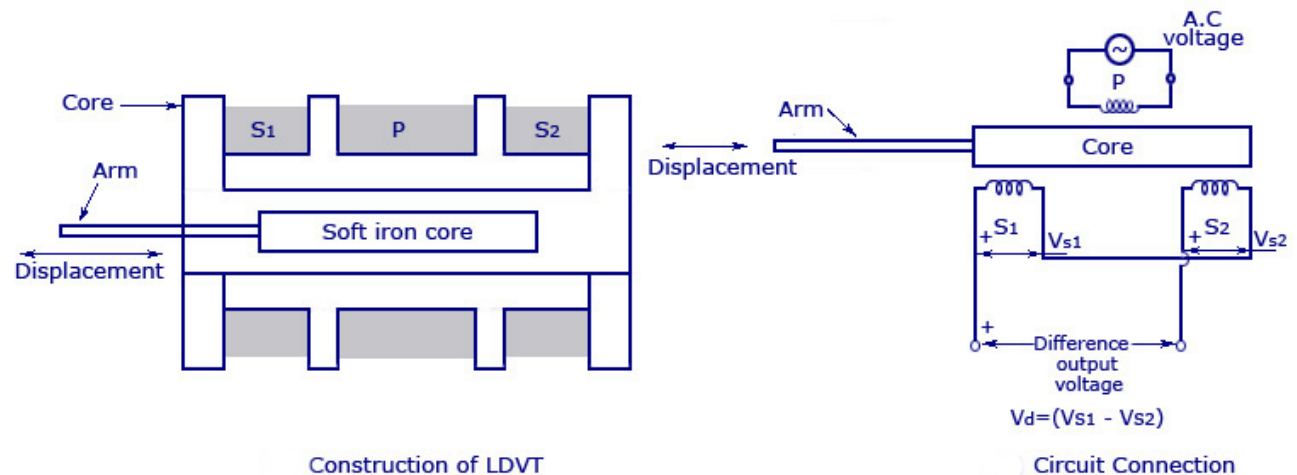
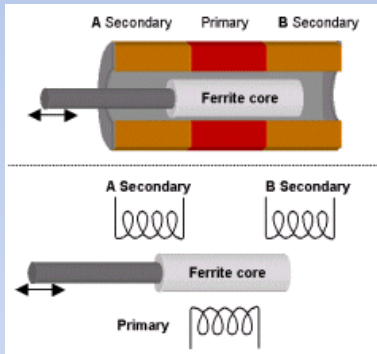
Διακόπτης ροής ρευστού: Ο δυαδικός διακόπτης ενεργοποιείται με αύξηση της πίεσης του ρευστού.



Αισθητήρες

(LVDT) Γραμμικής Μεταβλητής Διαφορικός Μετασχηματιστής :

Αναλογικός αισθητήρας θέσης αποτελούμενος από πρωτεύον πηνίο απέναντι από δύο δευτερεύοντα πηνία διαχωρισμένα από έναν μαγνητικό πυρήνα. Όταν ενεργοποιείται το κύριο πηνίο, η επαγόμενη τάση σε δευτερεύοντα πηνία είναι συνάρτηση της θέσης του πυρήνα.



Construction and Circuit Connection of LVDT

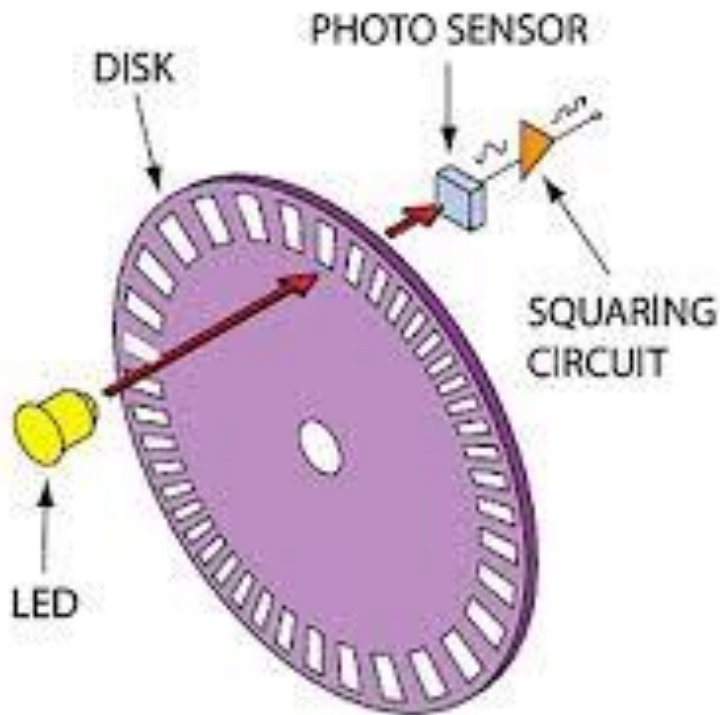
Αισθητήρες

Οριακός διακόπτης (μηχανικός): Δυναμικός αισθητήρας επαφής, στον οποίο ο βραχίονας ή το μπουτόν κλείνει ή ανοίγει μια ηλεκτρική επαφή.



Αισθητήρες

Οπτικός κωδικοποιητής: Ψηφιακή συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θέσης ή / και της ταχύτητας, που αποτελείται από δίσκο με σχισμές που διαχωρίζει μια πηγή φωτός από ένα φωτοκύτταρο.



Αισθητήρες

(Strain gauge) Ένδειξη τάσης: Αναλογικός αισθητήρας μέτρησης της καταπόνησης: Χρησιμοποιείται ευρέως για μέτρηση δύναμης, ροπής ή πίεσης.

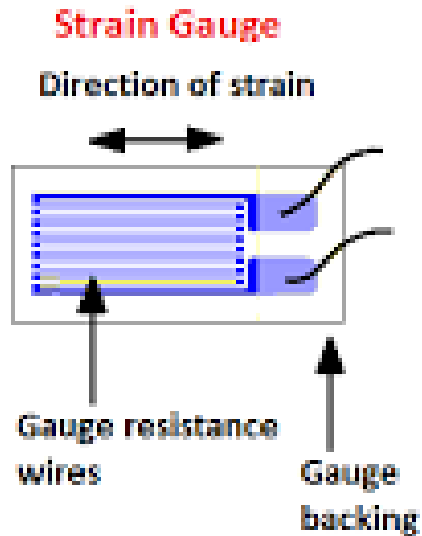


Figure #1

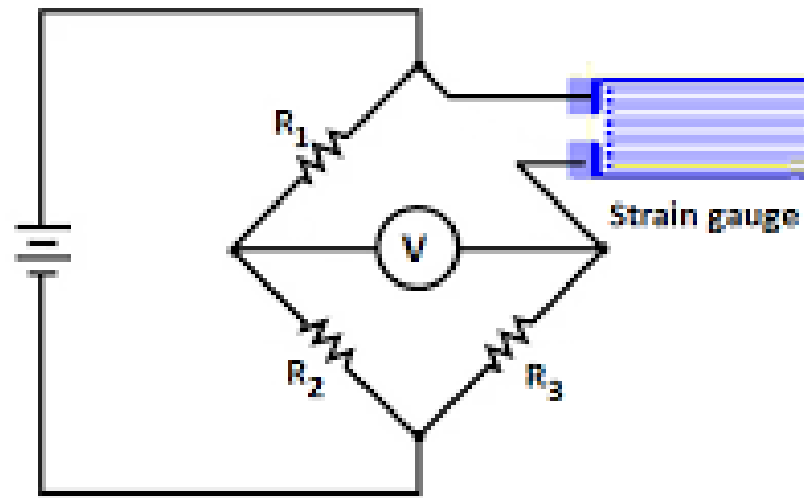
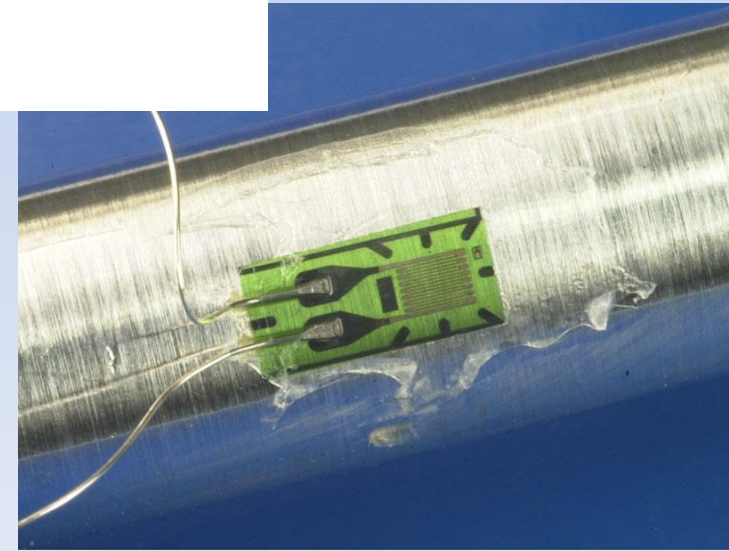


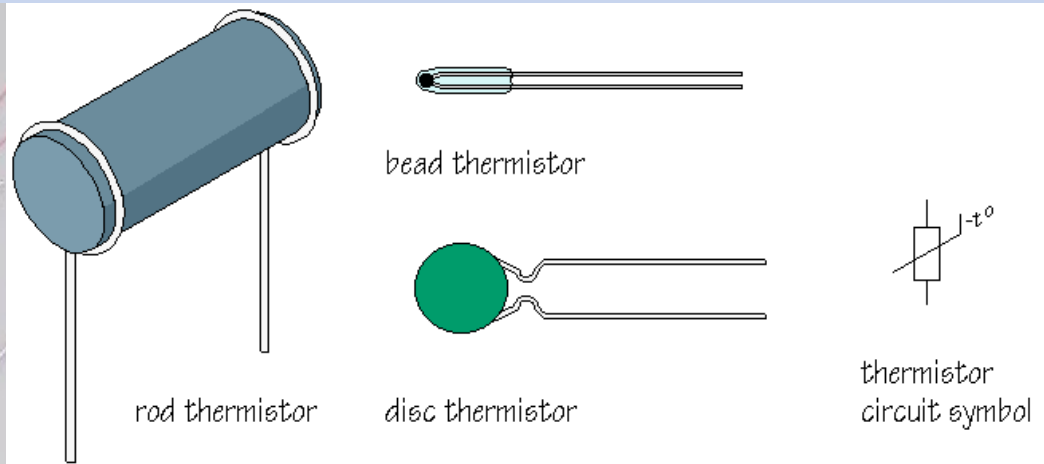
Figure #2



Αισθητήρες

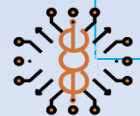
Θερμίστορ: Αναλογική συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας με βάση την αλλαγή στην ηλεκτρική αντίσταση ενός ημιαγώγιμου υλικού καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

- Ένα **thermistor (θερμίστορ)** είναι ένας τύπος αντιστάτη, του οποίου η αντίσταση εξαρτάται από τη θερμοκρασία, περισσότερο από ότι στις τυποποιημένες αντιστάσεις.
- Η λέξη είναι σύνθεση των λέξεων **thermal** και **resistor**.



Αισθητήρες

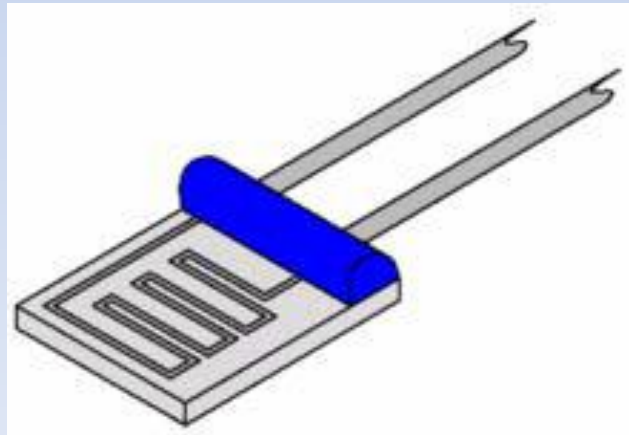
- Οι Θερμίστορ είναι δύο αντίθετων θεμελιωδών τύπων: **NTC** και **PTC**
- Στους **Θερμίστορ NTC**, η **αντίσταση μειώνεται** όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Ένα **NTC** χρησιμοποιείται συνήθως ως αισθητήρας θερμοκρασίας, ή σε σειρά με ένα κύκλωμα ως περιοριστής ρεύματος εισόδου.
- Στους **Θερμίστορ PTC**, η **αντίσταση αυξάνεται** όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Τα Θερμίστορ PTC εγκαθίστανται συνήθως σε σειρά με ένα κύκλωμα και χρησιμοποιούνται για την προστασία από συνθήκες υπερέντασης, ως επαναρυθμισμένες ασφάλειες.



Αισθητήρες RTDs

- RTDs (Resistance Temperature Detector –Ανιχνευτές Θερμοκρασίας Αντίστασης:

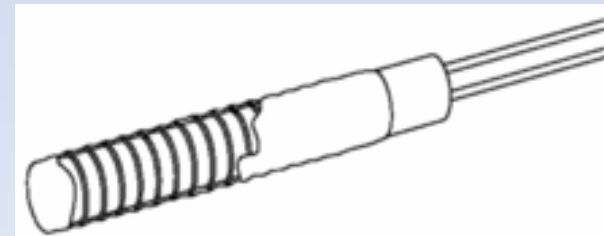
Είναι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Τα RTDs αποτελούνται από ένα λεπτό σύρμα τυλιγμένο γύρω από έναν κεραμικό ή γυάλινο πυρήνα, αλλά χρησιμοποιούνται και άλλες κατασκευές. Το σύρμα είναι ένα καθαρό υλικό, συνήθως πλατίνα, νικέλιο ή χαλκός. Το υλικό έχει μια ακριβή σχέση αντίστασης / θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται για να παρέχει ένδειξη θερμοκρασίας. Καθώς τα στοιχεία RTD είναι εύθραυστα, συχνά στεγάζονται σε προστατευτικούς καθετήρες.



Thin-film PRT



Coil-element PRT

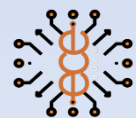


Wire-wound PRT

Αισθητήρες RTDs

Οι πιο συνηθισμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία έχουν ονομαστική αντίσταση **100 ohm στους 0 ° C** και ονομάζονται αισθητήρες **Pt100** ("Pt" είναι το σύμβολο για την πλατίνα, "100" για την αντίσταση σε ohms στους 0°C). Είναι επίσης δυνατή η λήψη αισθητήρων **Pt1000**, όπου **1000 η αντίσταση σε ohms στους 0°C**.

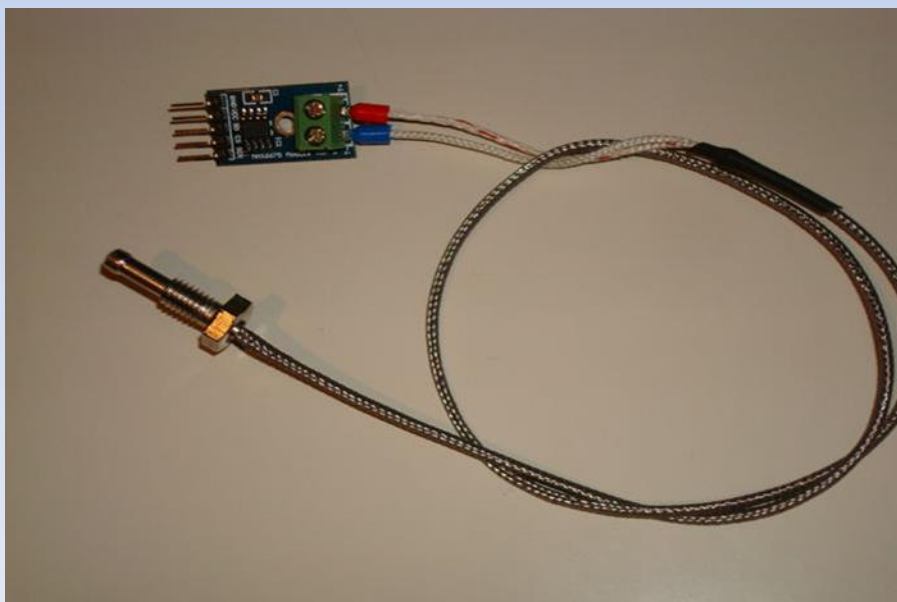




Αισθητήρας Thermocouple -Θερμοζεύγος

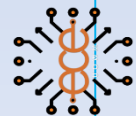
Thermocouple-Θερμοζεύγος : Αναλογική συσκευή μέτρησης θερμοκρασίας με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο.

Ένα **θερμοζεύγος** αποτελείται από δύο αγωγούς από διαφορετικά μέταλλα ή κράματα μετάλλων. Όταν δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή αναπτύσσεται μεταξύ τους μια διαφορά δυναμικού E (Seebeck) που εξαρτάται από την θερμοκρασία T και το είδος των μετάλλων. Για μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας ΔT ισχύει ο τύπος **$E = \alpha \Delta T$** , όπου **α** ο συντελεστής Seebeck σε $\mu V/^{\circ}C$

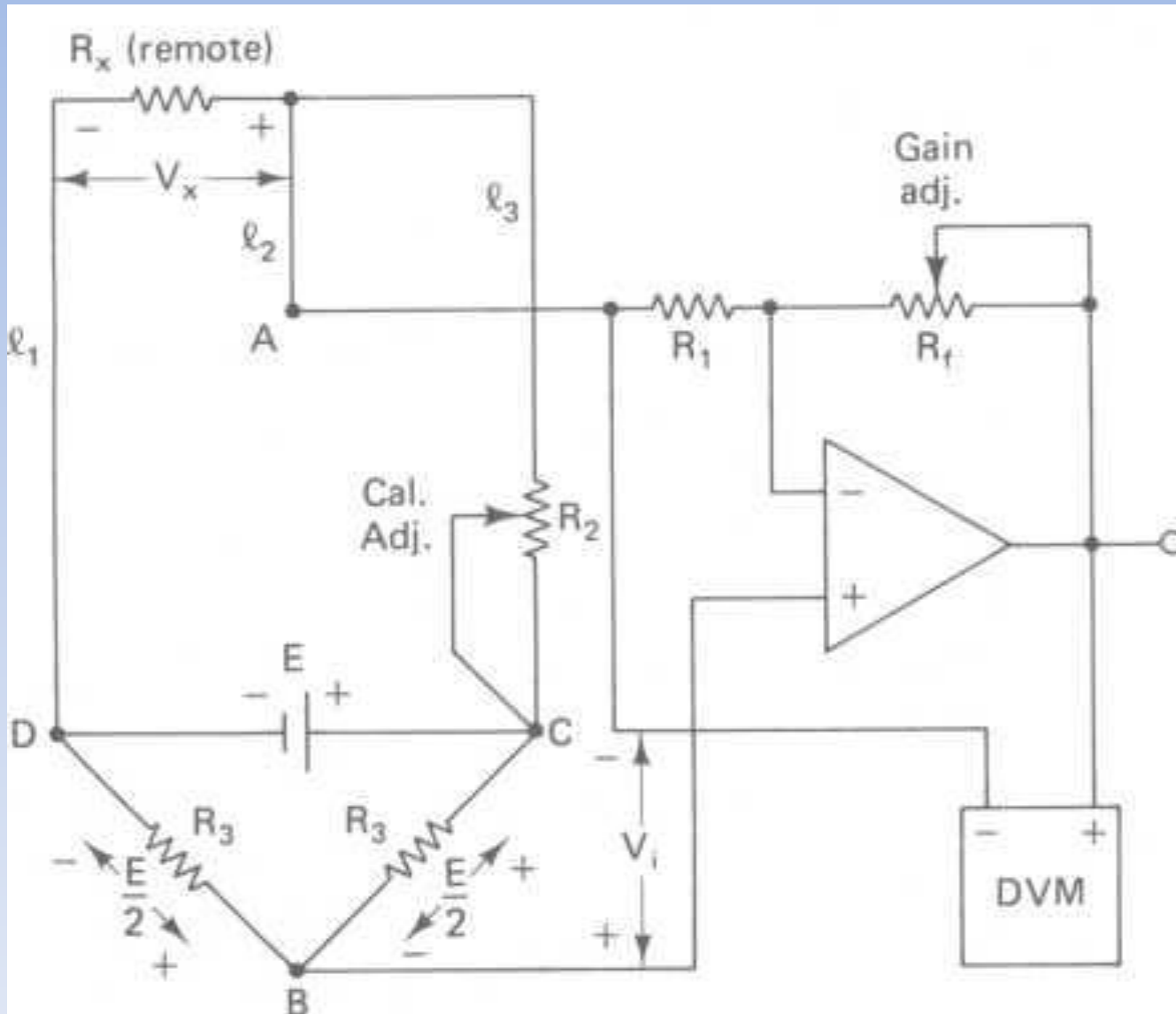


Θερμίστορ Vs RTDs

- Οι Θερμίστορ διαφέρουν από resistance temperature detectors (RTDs) τους ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης στο ότι το υλικό που χρησιμοποιείται σε ένα Θερμίστορ είναι γενικά κεραμικό ή πολυμερές, ενώ οι RTDs χρησιμοποιούν καθαρά μέταλλα.
- Οι Θερμίστορ έχουν τη μορφή χαντρών, ράβδων και δίσκων, αλλά οι RTDs έχουν διαφορετικά σχήματα και μεγέθη .
- Η απόκριση θερμοκρασίας είναι επίσης διαφορετική. Οι RTDs είναι χρήσιμοι σε μεγαλύτερες κλίμακες θερμοκρασίας, ενώ οι Θερμίστορ συνήθως επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ακρίβεια σε περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών, συνήθως -90°C έως 130°C .



Μέτρηση μιας άγνωστης θερμοκρασίας με έναν απομακρυσμένο Θερμίστορ



RTDs vs thermocouples

- Οι δύο συνηθέστεροι τρόποι μέτρησης θερμοκρασιών για βιομηχανικές εφαρμογές είναι:
- με ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης (**RTD**)
- και με θερμοστοιχεία (**thermocouples**).

Η επιλογή μεταξύ τους καθορίζεται συνήθως από τέσσερις παράγοντες.

Θερμοκρασία

Εάν οι θερμοκρασίες διεργασίας είναι μεταξύ -200 και $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, μια βιομηχανική RTD είναι η προτιμώμενη επιλογή.

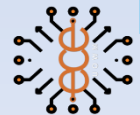
Τα θερμοστοιχεία κυμαίνονται από -180 έως $2.320\text{ }^{\circ}\text{C}$

και για θερμοκρασίες άνω των $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι η μόνη συσκευή μέτρησης θερμοκρασίας επαφής.

RTDs vs thermocouples

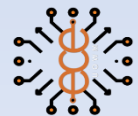
Χρόνος απόκρισης

Εάν η διαδικασία απαιτεί μια πολύ γρήγορη απόκριση στις μεταβολές της θερμοκρασίας (κλάσματα ενός δευτερολέπτου σε αντίθεση με δευτερόλεπτα), τότε ένα Θερμοστοιχείο είναι η καλύτερη επιλογή.



Μέγεθος

Ένα τυπικό περίβλημα **RTD** έχει διάμετρο 3,175 έως 6,35 mm, οι διάμετροι των θηκών για θερμοστοιχεία μπορεί να είναι μικρότερες από 1,6 mm .



Ακρίβεια και απαιτήσεις ευστάθειας

Εάν μια ανοχή 2°C είναι αποδεκτή και δεν απαιτείται το υψηλότερο επίπεδο επαναληψιμότητας, θα χρησιμοποιηθεί ένα θερμοστοιχείο.

Οι **RTD** είναι ικανές για μεγαλύτερη ακρίβεια και μπορούν να διατηρήσουν σταθερότητα για πολλά χρόνια, ενώ τα θερμοστοιχεία μπορούν να αποκλίνουν μέσα στις πρώτες ώρες χρήσης.

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Εύρος : Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα.

Ακρίβεια : Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.

Σφάλμα : Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.

Ανοχή : Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.

Διακριτική ικανότητα: Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.

Ευαισθησία: Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς τη αλλαγή εισόδου, είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.

Βαθμονόμηση : Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.

Νεκρή ζώνη: Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.

Γραμμικότητα: Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο του αισθητήρα.

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Απόκριση: Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει την τελική τιμή η έξοδος.

Καθυστέρηση: Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.

Ευστάθεια: Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.

Υστέρηση: Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.

Επαναληψιμότητα: Η παραγωγή του ιδίου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.

Ολίσθηση: Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.

Στατικό σφάλμα: Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.

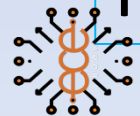
Χρόνος λειτουργίας: Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.

Actuators - Ενεργοποιητές

Ενεργοποιητές: είναι συσκευές που μετατρέπουν ένα σήμα εντολής ελεγκτή σε μια αλλαγή μιας φυσικής παραμέτρου.

Η αλλαγή είναι συνήθως μηχανική (π.χ. θέση ή ταχύτητα).

Ένας **ενεργοποιητής** είναι επίσης ένας μετατροπέας επειδή αλλάζει έναν τύπο φυσικής ποσότητας σε κάποια εναλλακτική μορφή (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα σε περιστροφική ταχύτητα ηλεκτρικού κινητήρα).



Actuators - Ενεργοποιητές

Ένας ενεργοποιητής αποκρίνεται στο σήμα εξόδου ενός ελεγκτή και **παρέχει τη μηχανική δράση** για να λειτουργήσει η τελική συσκευή ελέγχου, η οποία είναι τυπικά μια βαλβίδα, ένα αμορτισέρ ή ένας διακόπτης. Ένα ευρύ φάσμα ενεργοποιητών είναι διαθέσιμοι και η επιλογή του κατάλληλου ενεργοποιητή πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω:

- Να ταιριάζει με τις μηχανικές απαιτήσεις της ελεγχόμενης συσκευής.
- Να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του συστήματος ελέγχου, ιδίως το σήμα εξόδου του ελεγκτή.
- Να είναι κατάλληλο για το εργασιακό περιβάλλον που θα λειτουργήσει (από άποψη ασφάλειας).



Actuators - Ενεργοποιητές

- 1. Ηλεκτρικοί Ενεργοποιητές

Ηλεκτροκινητήρες (γραμμικοί ή περιστροφικοί)

Σερβοκινητήρες DC

AC Κινητήρες

Βηματικοί κινητήρες

Σωληνοειδή

Ρελέ



- 2. Υδραυλικοί Ενεργοποιητές

Χρήση υδραυλικού ρευστού ως κινητήρια δύναμη

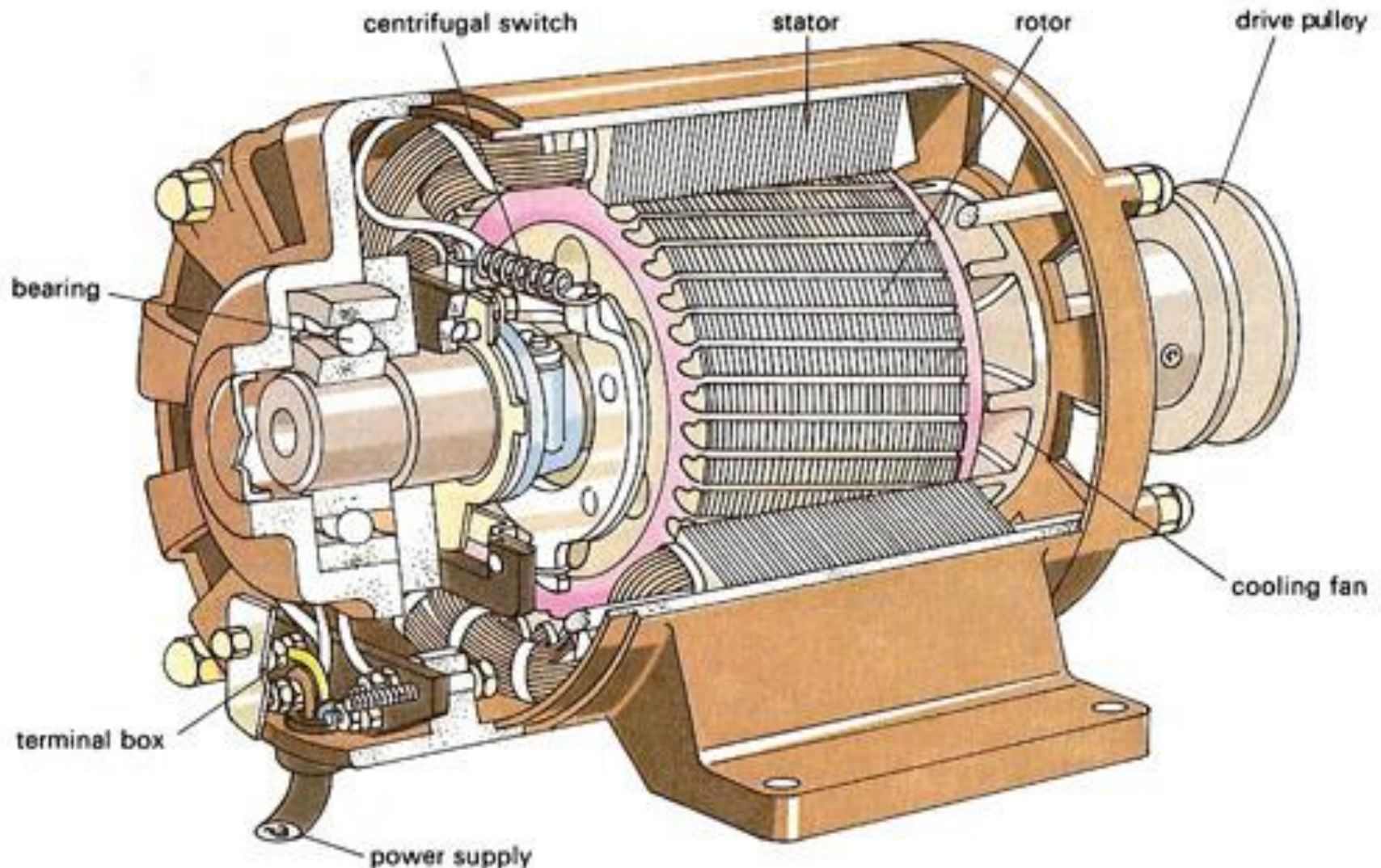


- 3. Πνευματικοί Ενεργοποιητές

Χρήση συμπιεσμένου αέρα ως κινητήρια δύναμη



Ηλεκτροκινητήρες



Actuators - Ενεργοποιητές

Ηλεκτροκινητήρες DC

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται ευρέως:

- Ευκολία στη χρήση συνεχούς ρεύματος.
- Π.χ. κινητήρες σε αυτοκίνητα.
- Γραμμική σχέση ροπής-ταχύτητας.

Ένας ειδικός τύπος κινητήρων συνεχούς ρεύματος είναι οι [Σερβοκινητήρες](#).

Για τον έλεγχο της ταχύτητας χρησιμοποιείται ένας βρόχος ανατροφοδότησης.



Actuators - Ενεργοποιητές

AC Κινητήρες

Χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία.

Πλεονεκτήματα: Υψηλότερη Ισχύς Ευκολία συντήρησης

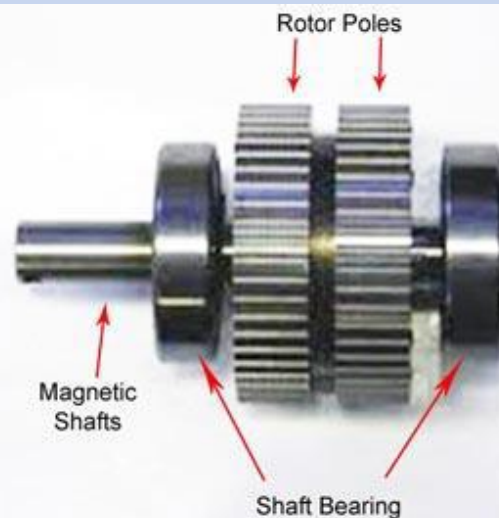
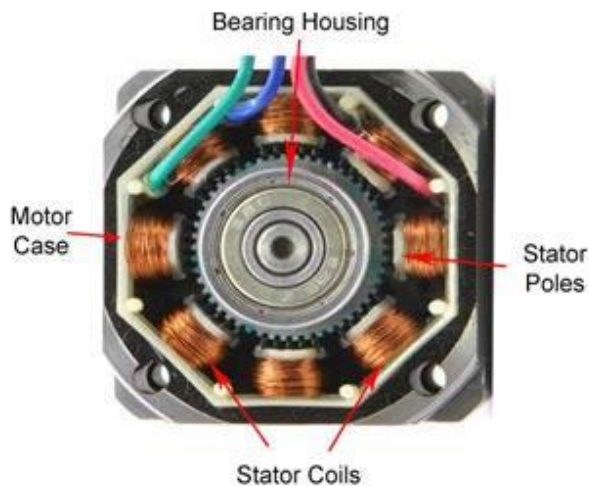
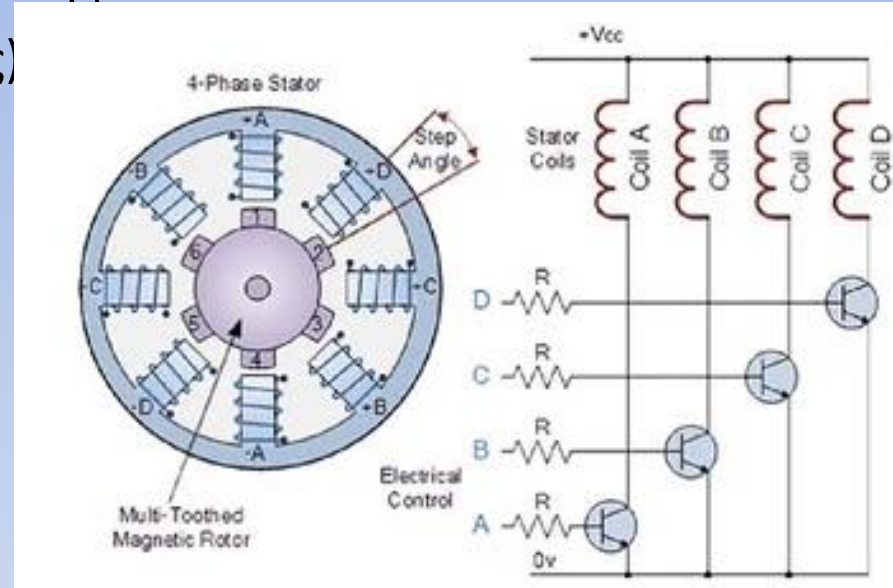
Δύο τύποι: Επαγωγικοί κινητήρες και Σύγχρονοι κινητήρες



Actuators - Ενεργοποιητές

Βηματικός κινητήρας

Παρέχει περιστροφή με τη μορφή διακριτής Γωνιακής μετατόπισης (γωνίες βήματος)
Κάθε γωνία βήματος ενεργοποιείται από ένα διακριτό ηλεκτρικό παλμό.
Χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου.



Actuators - Ενεργοποιητές

Η **γωνία βήματος** δίνεται από τη σχέση: $\alpha = \frac{360}{n_s}$

όπου n_s είναι ο αριθμός των βημάτων για το κινητήρα (ακέραιος)

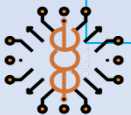
Η **συνολική γωνία** μέσω της οποίας περιστρέφεται ο κινητήρας (A_m) δίνεται από:

$$A_m = n_p \alpha$$

όπου n_p = αριθμός παλμών που λαμβάνονται από τον κινητήρα.

Η **γωνιακή ταχύτητα** δίνεται από: $\omega = \frac{2\pi f_p}{n_s}$ όπου f_p = συχνότητα παλμών

Η **ταχύτητα περιστροφής** δίνεται από: $N = \frac{60 f_p}{n_s}$



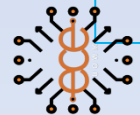
Actuators - Ενεργοποιητές

Παράδειγμα:

Ένας βηματικός κινητήρας έχει **γωνία βήματος** = $3,6^\circ$.

(1) Πόσοι παλμοί n_p απαιτούνται για τον κινητήρα για να κάνει δέκα πλήρεις περιστροφές;

(2) Ποια συχνότητα παλμών f_p απαιτείται για τον κινητήρα για να περιστραφεί με ταχύτητα 100 rpm (στροφές / λεπτό);



Λύση

$$\alpha = \frac{360}{n_s}$$

$3.6^\circ = 360 / n_s$; Άρα $3.6^\circ (n_s) = 360$; $n_s = 360 / 3.6 = 100$
step angles

$$A_m = n_p \alpha$$

(1) Δέκα πλήρεις περιστροφές : $10(360^\circ) = 3600^\circ = A_m$
Άρα $n_p = 3600 / 3.6 = 1000$ pulses

$$N = \frac{60fp}{n_s}$$

(2) Όπου $N = 100$ rev/min:

$$100 = 60 fp / 100$$

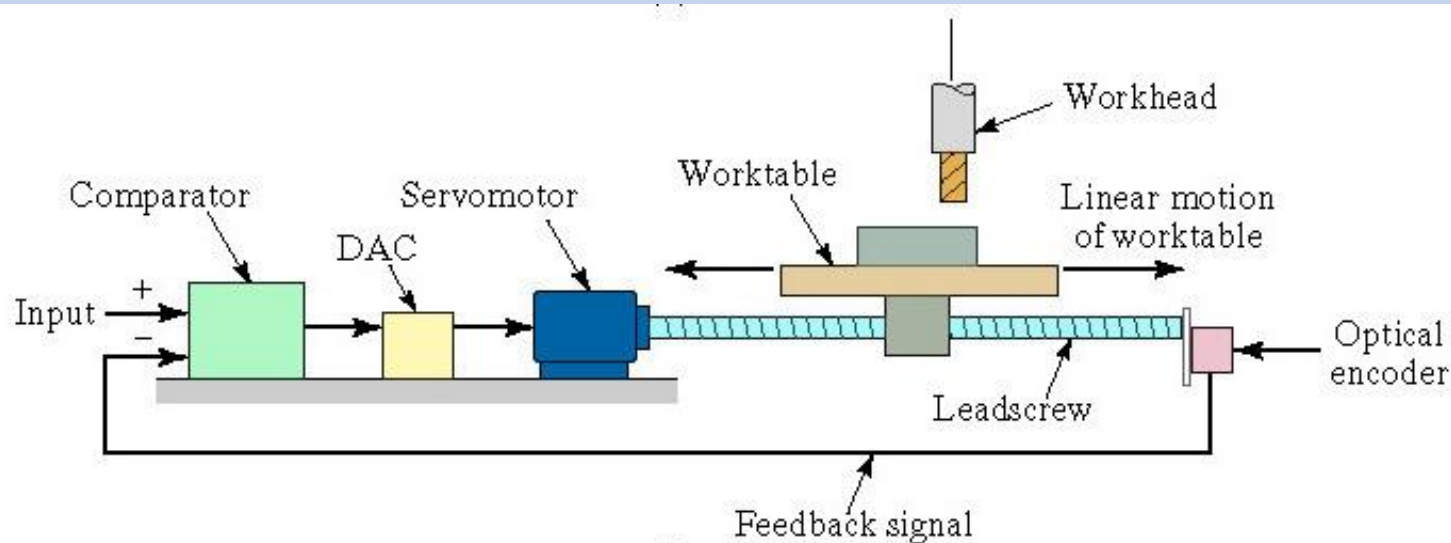
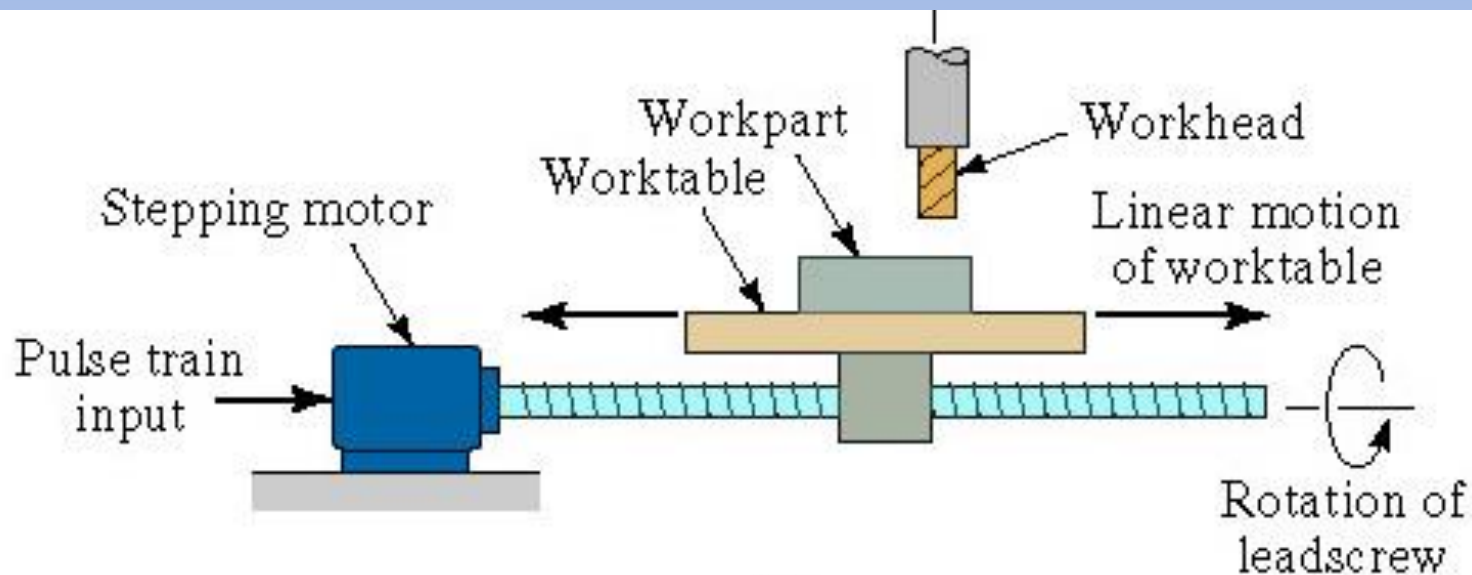
$$10,000 = 60 fp$$

$$fp = 10,000 / 60 = 166.667 = 167 \text{ Hz}$$



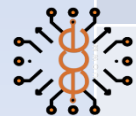
Actuators - Ενεργοποιητές

Stepper motor and Servomotor



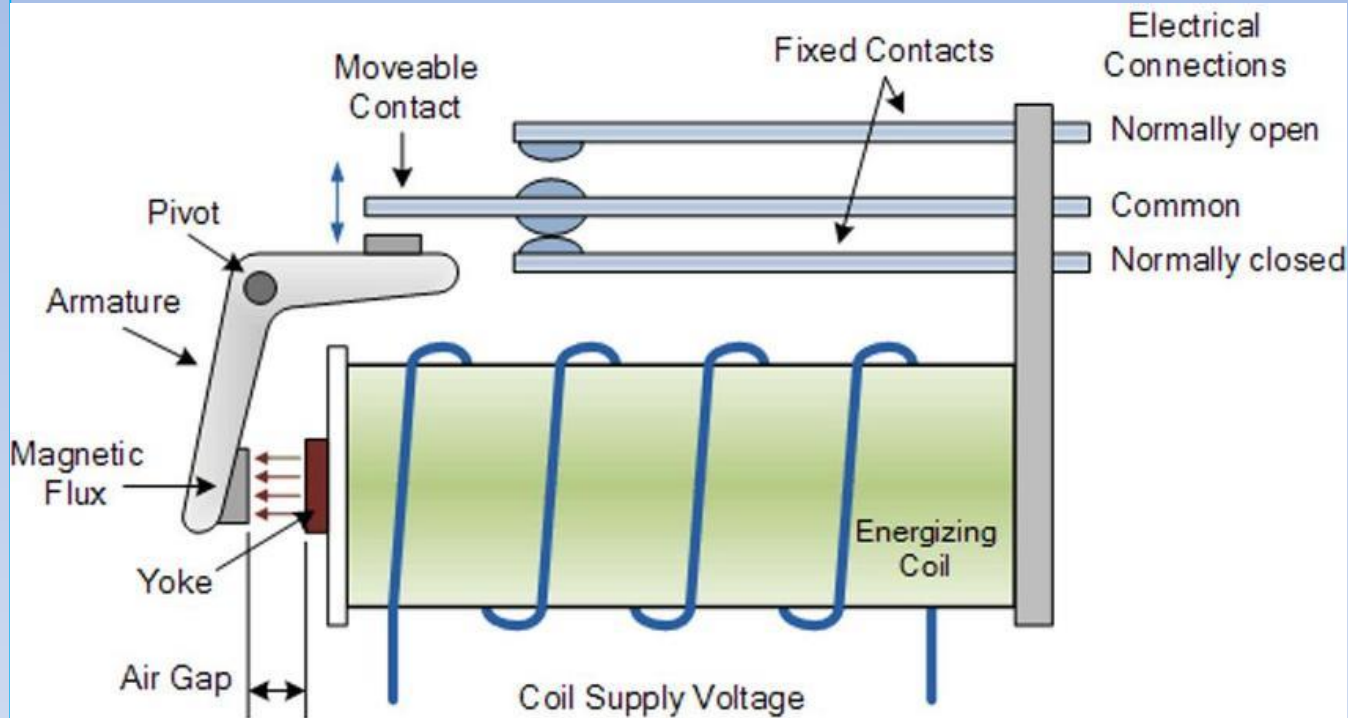
Actuators - Ενεργοποιητές

System Characteristic	Hydraulic System	Pneumatic System
Fluid	Oil	Compressed Air
Compressibility	Incompressible	Compressible
Pressure level	20 MPa	0.7 MPa
Applied force	High	Low
Actuation speed	Low	High
Speed control	Accurate speed control	Difficult to control speed
Fluid leaks	Safety hazard	No problem
Cost	High	Low

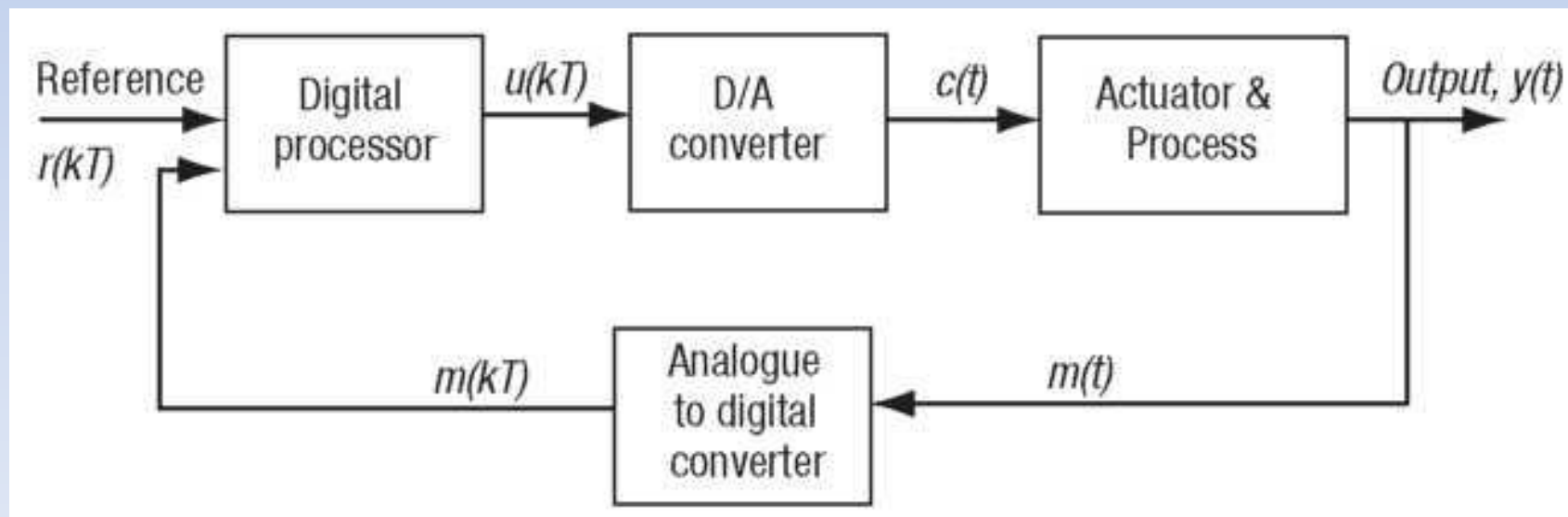
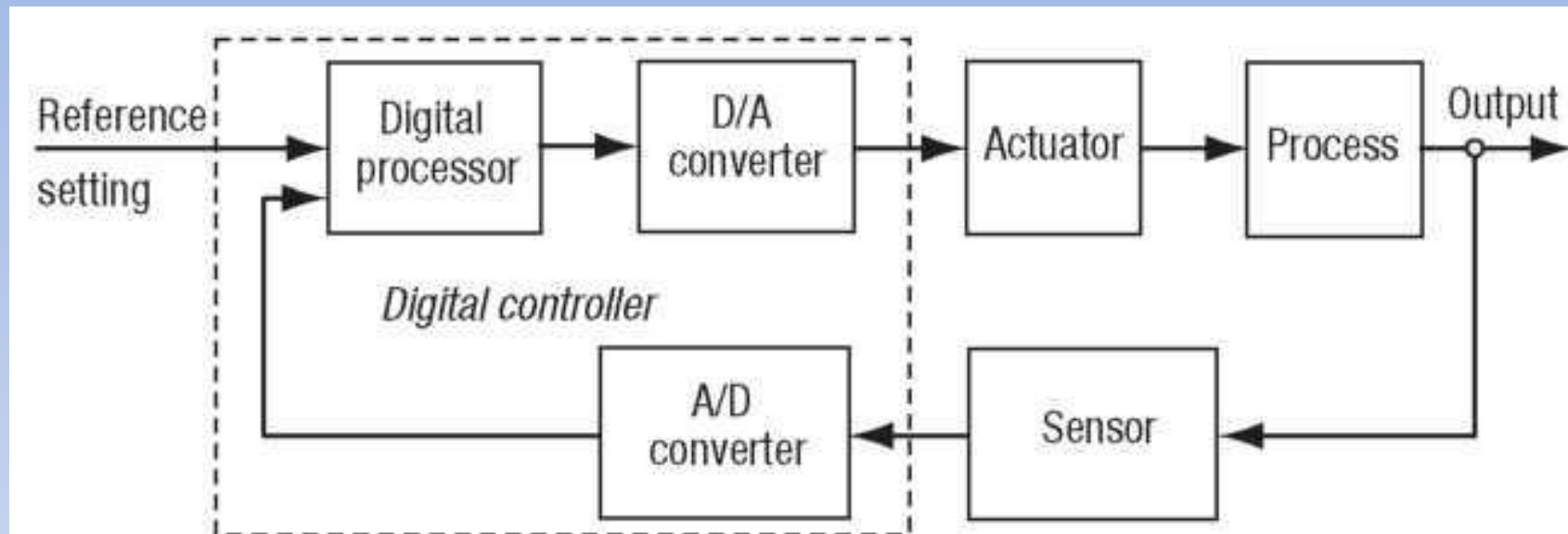


Actuators - Ενεργοποιητές

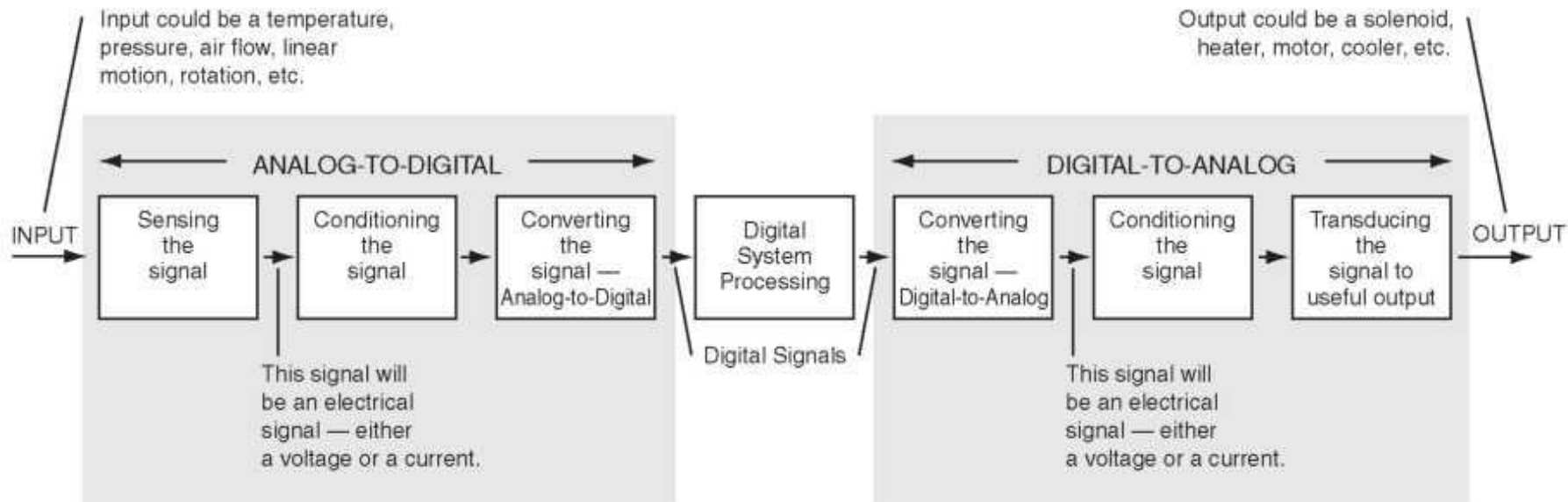
Ηλεκτρομηχανικά Ρελέ:



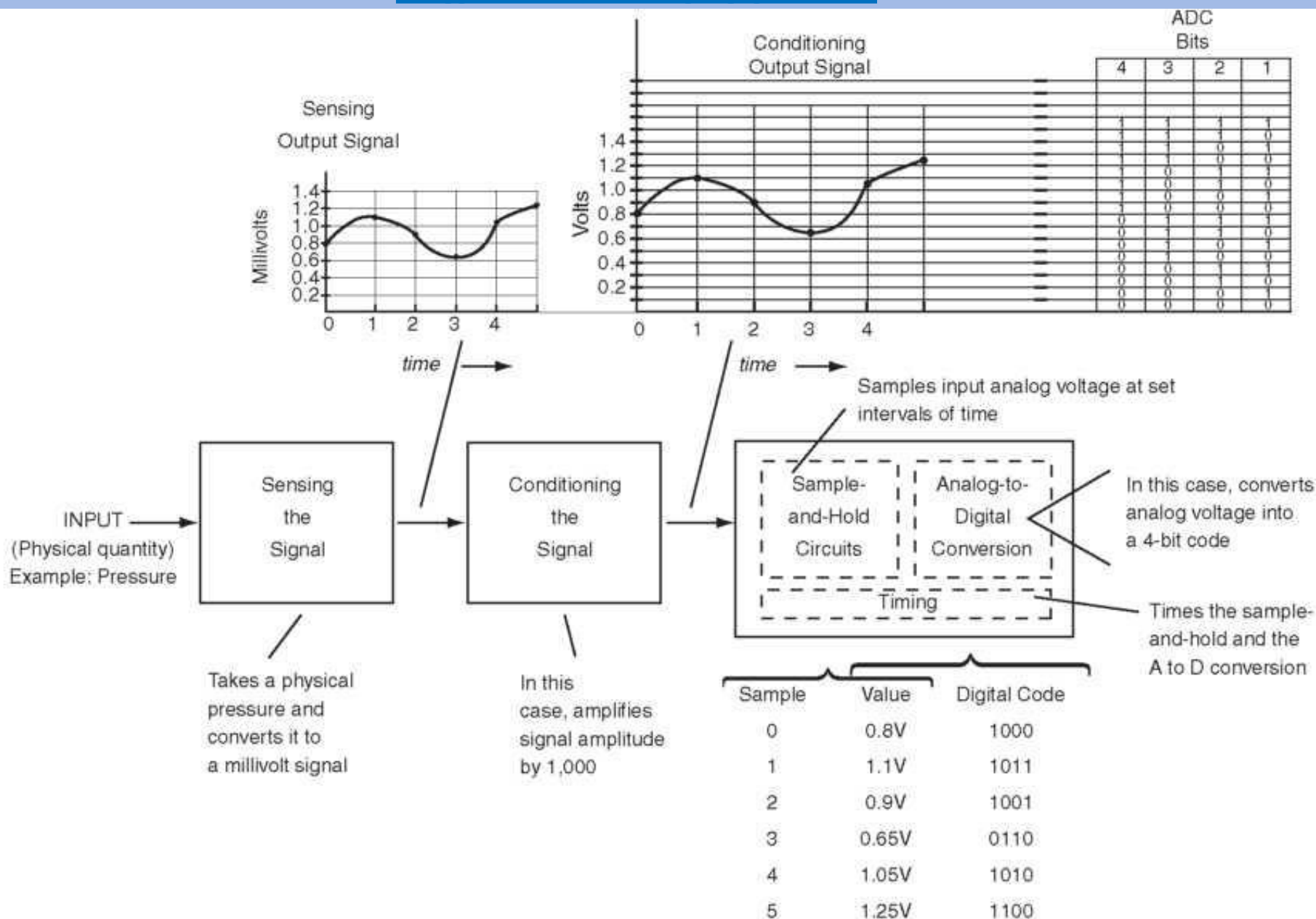
Block diagram of a typical DDC loop



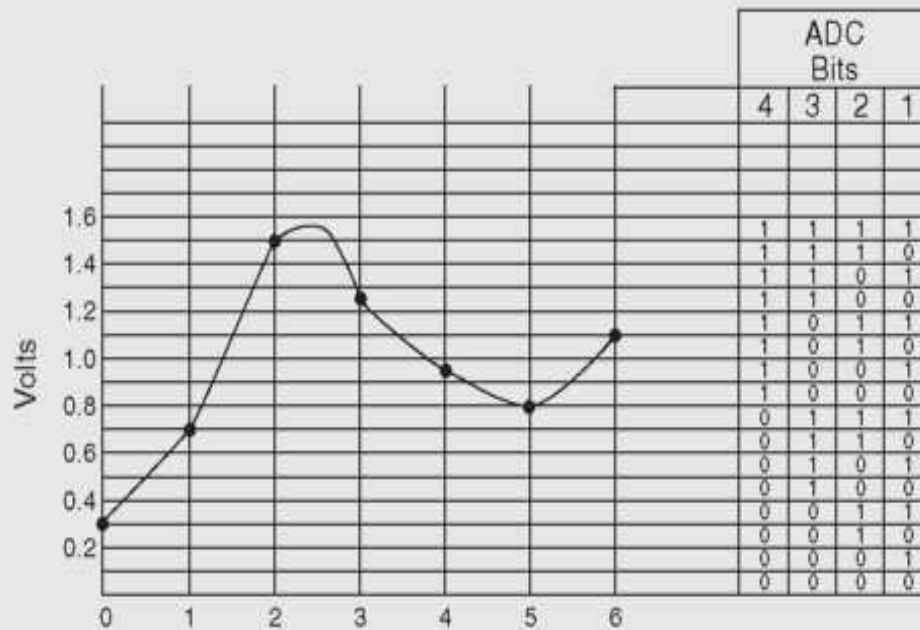
Ένα τυπικό σύστημα που περιγράφει τη λειτουργία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό



Οι βασικές λειτουργίες για την μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό



Παράδειγμα



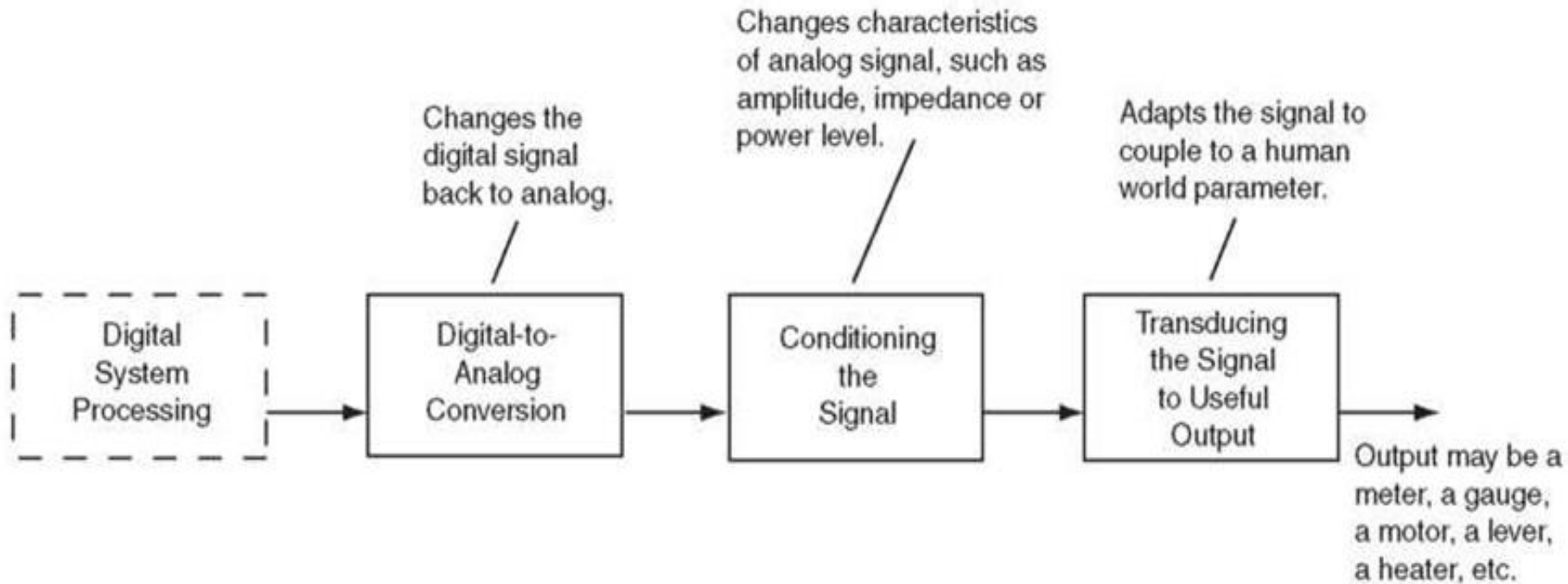
Sample Interval	Signal Value	Digital Code			
		4	3	2	1
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Answer:

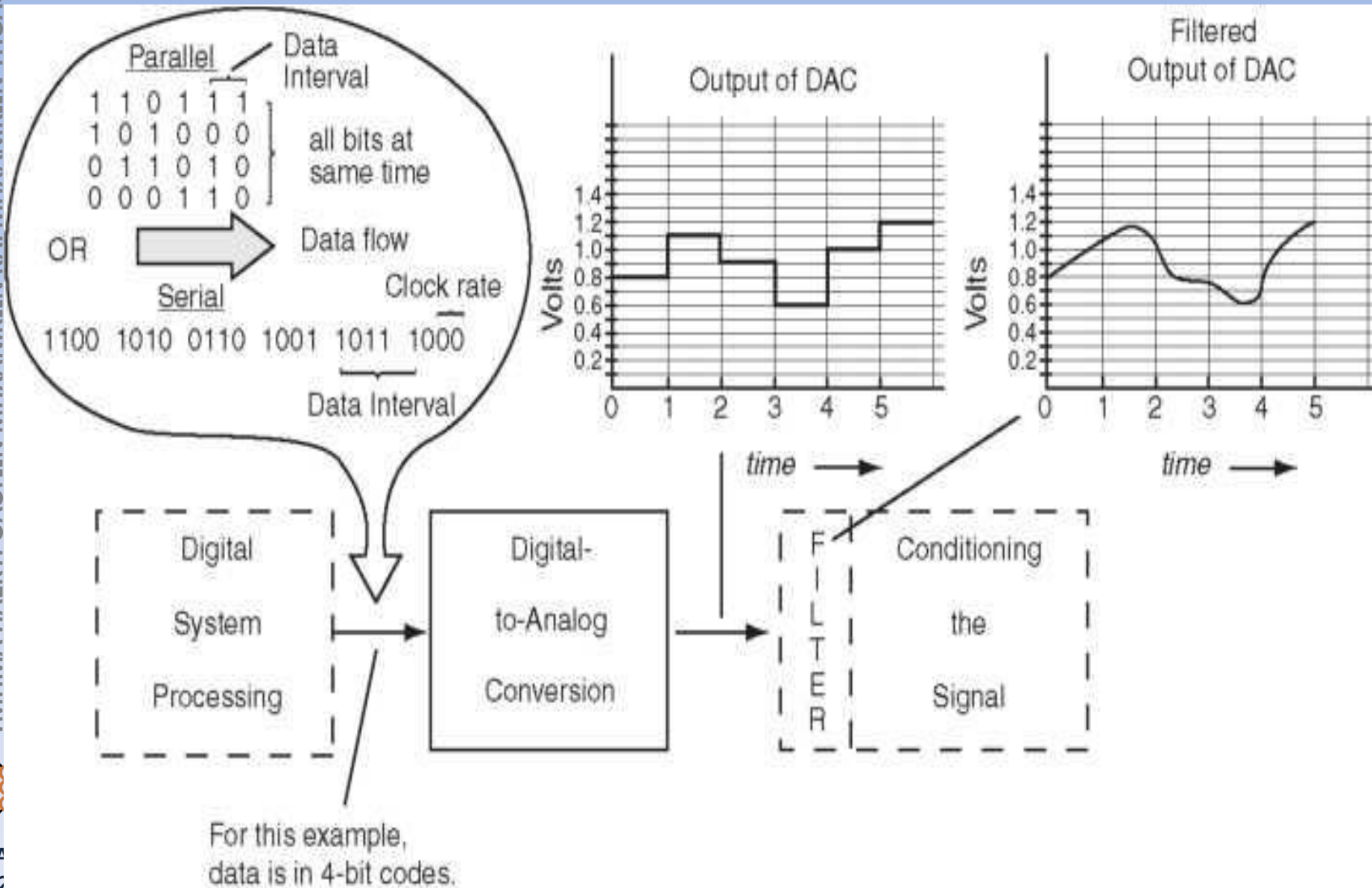
Signal Interval	Signal Value	Digital Code			
		4	3	2	1
0	0.3V	0	0	1	1
1	0.7V	0	1	1	1
2	1.5V	1	1	1	0
3	1.25V	1	1	0	0
4	0.95V	1	0	0	1
5	0.8V	1	0	0	0
6	1.1V	1	0	1	1



Διαδικασία μετατροπής Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό



Διαδικασία μετατροπής Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό

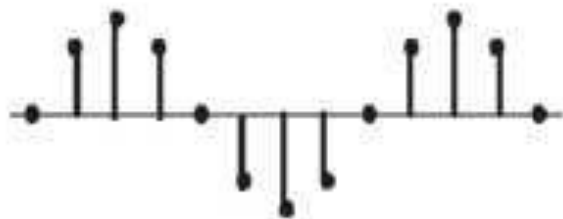
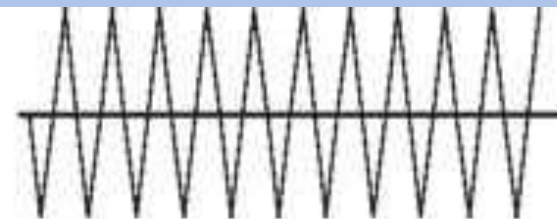


Δειγματοληψία (Sampling)

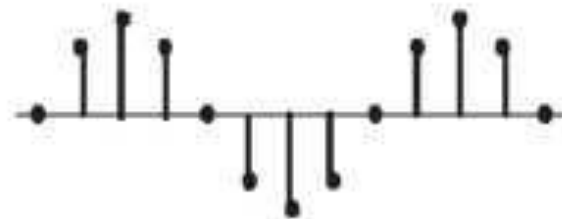
Παράδειγμα σωστής και εσφαλμένης δειγματοληψίας:
A. Σωστή (8 samples/cycle); B. Λάθος (<2 samples/cycle).



Original
data

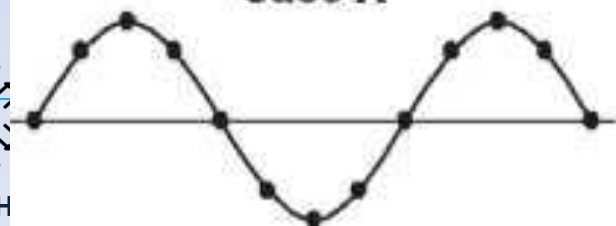


Sampled
data



Case A

Case B



Reconstructed
data



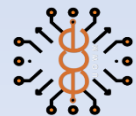
Μετατρέποντας ένα σήμα με διακύμανση από 0 μέχρι 10 Volt με έναν αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα των 8 bit θα έχουμε:

$$10V = \Sigma(2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0)F \Rightarrow$$

$$10V = \Sigma(128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1)F = 255F \Rightarrow$$

$$F = 10V / 255 = V_{range} / (2^8 - 1) = 0.392V$$

$$R_{A/D} = \frac{\textit{Measurement Band}}{2^n - 1}$$

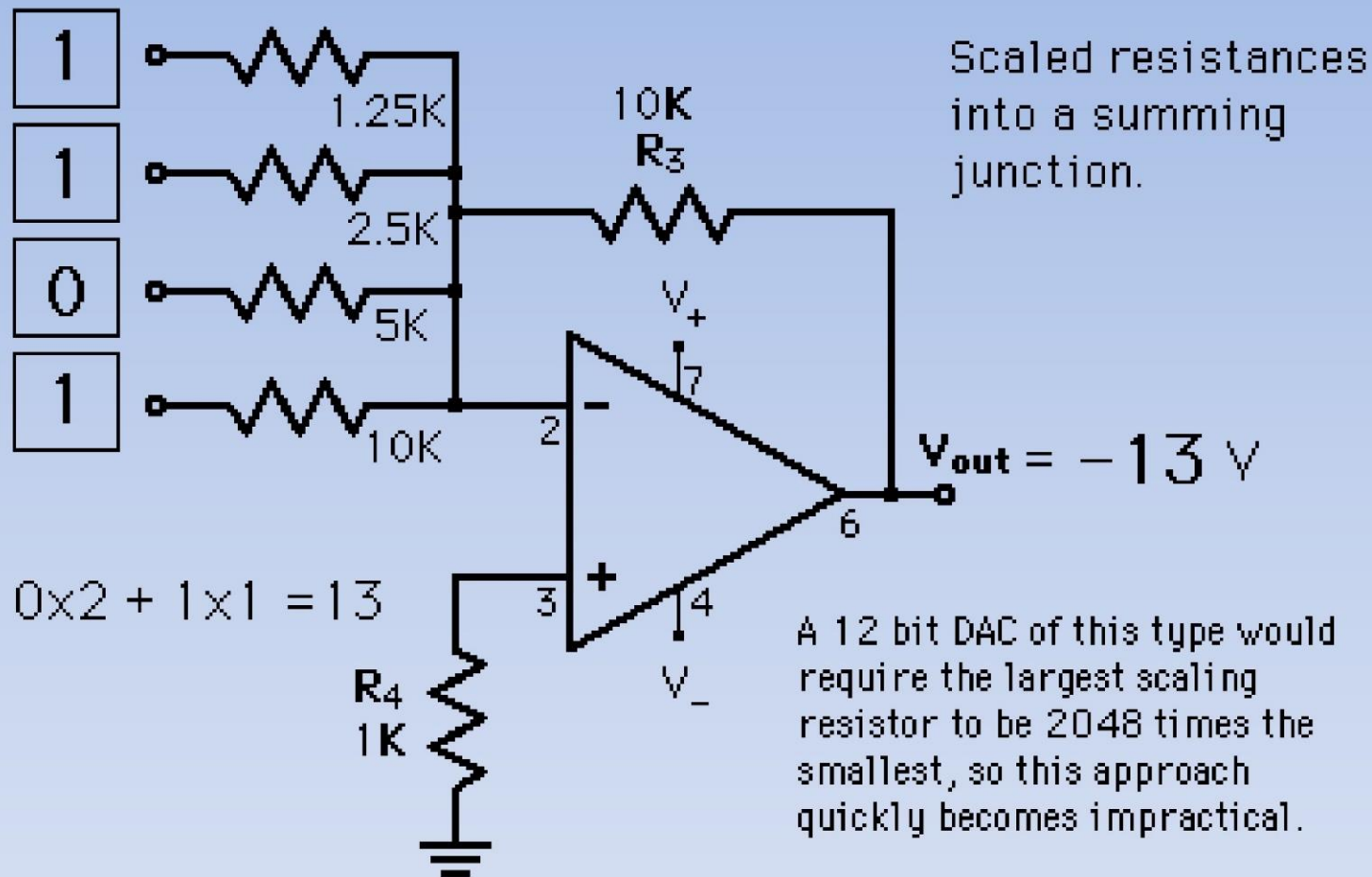


Μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικό

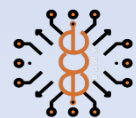
Digital to Analogue conversion

Inputs in volts are weighted in the summing amplifier to produce the corresponding analog voltage.

$$1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 13$$

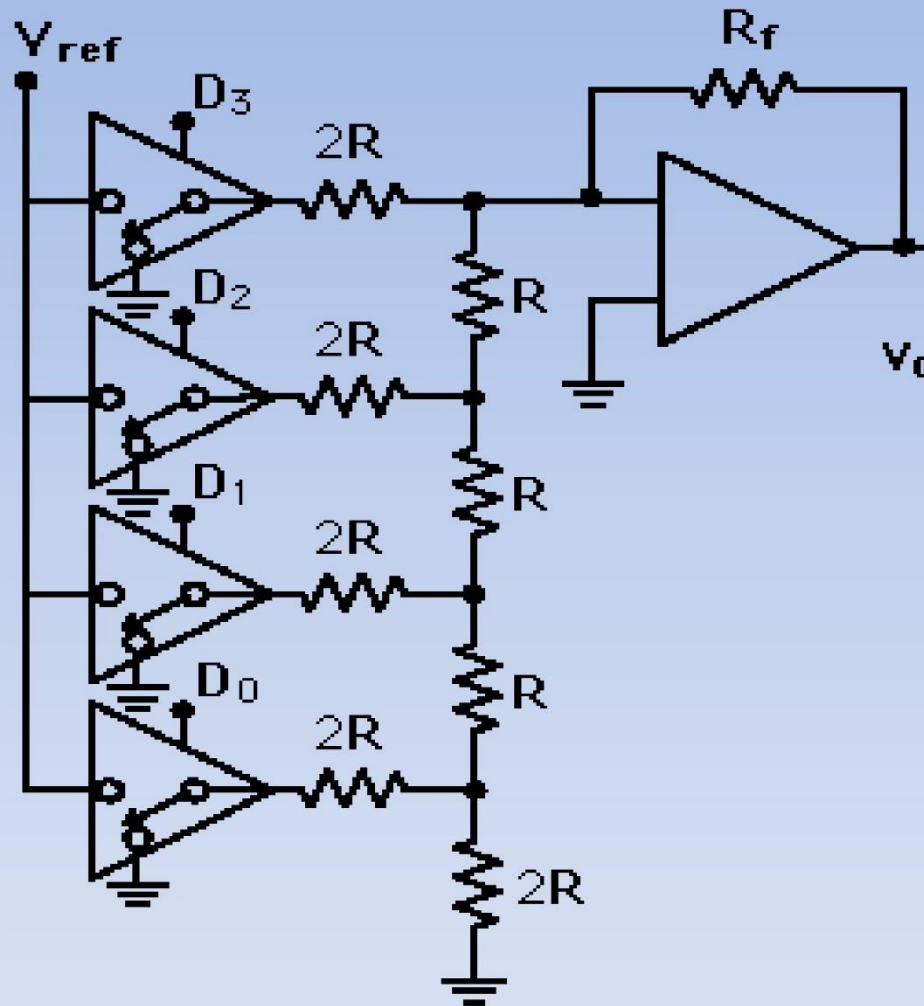


Παράδειγμα μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό
με **Weighted Sum DAC**.



Μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικό

Digital to Analogue conversion



$$V_{out} = \frac{R_f}{R} V_{ref} \left[\frac{D_0}{16} + \frac{D_1}{8} + \frac{D_2}{4} + \frac{D_3}{2} \right]$$

Παράδειγμα μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό
με R-2R Ladder DAC.