

Δρ. Φασουλάς Γιάννης

[jfasoulas@staff.teicrete.gr](mailto:jfasoulas@staff.teicrete.gr)

# Μηχατρονικά Συστήματα Ι

« Επενεργητές Μηχατρονικών Συστημάτων »



Εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου & Ρομποτικής  
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης  
Ηράκλειο Κρήτης, Ελλάς



## Εισαγωγική παρατήρηση

- Τα περισσότερα μηχανοηλεκτρονικά συστήματα συμπεριλαμβάνουν κάποιο είδος κίνησης, ή δράσης η οποία δημιουργείται από μια δύναμη, ή μια ροπή, που έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση, την μετατόπιση ή την περιστροφή. Οι επενεργητές είναι οι συσκευές, που προκαλούν αυτή την κίνηση, ή δράση. Έτσι, ένα σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού ενός μηχανοηλεκτρονικού συστήματος είναι η επιλογή του κατάλληλου τύπου μηχανικού ενεργοποιητή. Στη συνέχεια θα καλύψουμε μερικούς από τους πιο σημαντικούς επενεργητές.

## Επενεργητές (Actuators) - Γενικά

- **ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ:** Κυρίως περιστροφικοί κινητήρες οι οποίοι διατίθενται σε τεράστια ποικιλία μορφών και μεγεθών.
  - ✓ **Συνεχούς ρεύματος (DC-PM):** Ιδανικός αν δεν είχε το πρόβλημα των ψηκτρών : Εισάγουν αναξιοπιστία λόγω φθοράς και στατική τριβή που αποτελεί πρόβλημα για τον έλεγχο θέσης.  
<https://www.youtube.com/watch?v=LAIPHANEfQo>
  - ✓ **Βηματικοί.** Για εφαρμογές μικρής ισχύος. Θεωρητικά δεν χρειάζονται αισθητήρα θέσης και συστήματα κλειστού βρόχου.  
<https://www.youtube.com/watch?v=rxBTNh4iPuA>
  - ✓ **r/c Servo (Remote Controlled Servo).**  
<https://www.youtube.com/watch?v=D-QTSghkqVk>  
<https://www.youtube.com/watch?v=bu3SPwzcocU>  
<https://www.youtube.com/watch?v=-XSXfqd1N58>
  - ✓ **Σερβοκινητήρες εναλλασσομένου (AC Servo):** Τείνουν να επικρατήσουν για εφαρμογές μέσης και μεγάλης ισχύς.
    - Υπέρ : Ευκολία ελέγχου, οικονομικοί, ανυπέρβλητοι για εφαρμογές περιορισμένου χώρου – Τείνουν να επικρατήσουν.
    - Κατά : Απαιτούν μειωτήρα στροφών, υστερούν σε υψηλή ισχύ και δεν μπορούν να υπερφορτισθούν σοβαρά.

## Επενεργητές (Actuators) - Γενικά

- **ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΙ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ:**
  - Υπέρ : Απλοί, οικονομικοί και αξιόπιστοι.
  - Κατά: Δυσκολία ελέγχου θέσης (position control) λόγω συμπίεσότητας.  
<https://www.youtube.com/watch?v=UUd9LUpKRyY>
- **ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ**
  - Υπέρ: Ανυπέρβλητη σχέση ισχύος προς μέγεθος (βάρος), αξιοπιστία.
  - Κατά: Ογκώδη και ρυπαρά παρελκόμενα (μονάδα, σωληνώσεις λαδιού), σχετικά πολύπλοκα και ακριβά εξαρτήματα.  
<https://www.youtube.com/watch?v=fvggTPJDwY>
- **ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ**
  - ✓ Πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι (Ultrasonic Motor USM)  
<https://www.youtube.com/watch?v=sPr2I12urd8>
  - ✓ Μορφομήσιμα μεταλλικά κράματα (Muscle wires)  
<https://www.youtube.com/watch?v=-K57cbOhA5g>

## Ηλεκτρικοί επενεργητές που θα χρησιμοποιήσουμε στο εργαστήριο

- DC Κινητήρες μόνιμου μαγνήτη
- Κινητήρες rc/servo & smart servo
- Βηματικούς κινητήρες

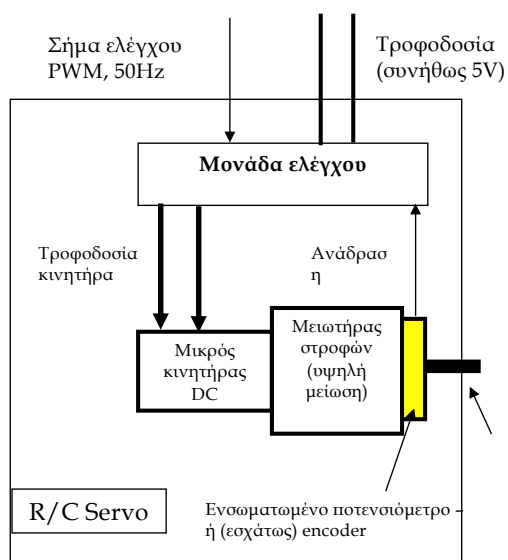


## Ρομπότ με επενεργητές τύπου r/c Servo





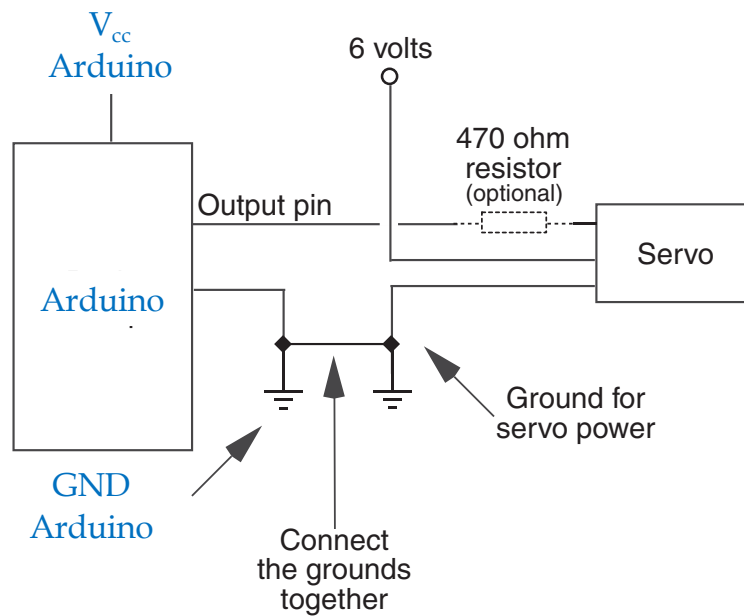
## Ανατομία ενός r/c Servo (Remote Controlled Servo)



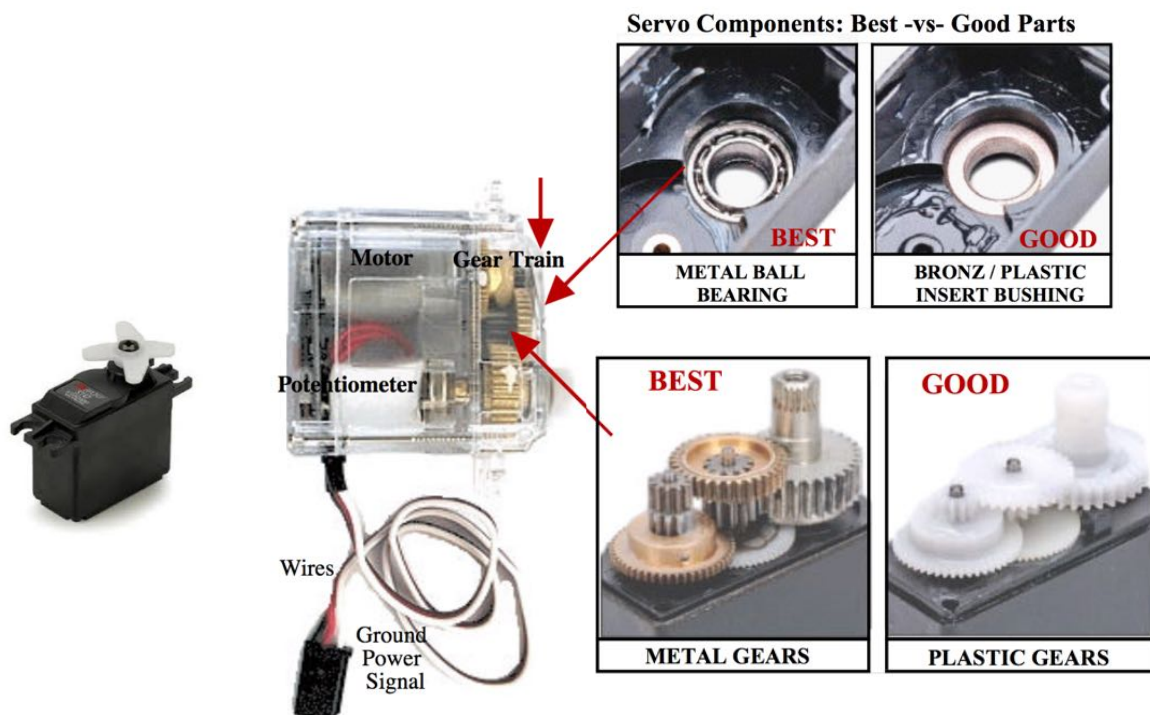
- Μικρής ισχύος ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου γωνίας στροφής
- Γωνίες στροφής : τυπικά +/- 90
- Χρειάζεται απλώς τροφοδοσία και ένα **σήμα ελέγχου PWM**, συνήθως 50 Hz.
- Λόγω της υψηλής μείωσης, η διαθέσιμη ροπή στον άξονα είναι αρκετά υψηλή.



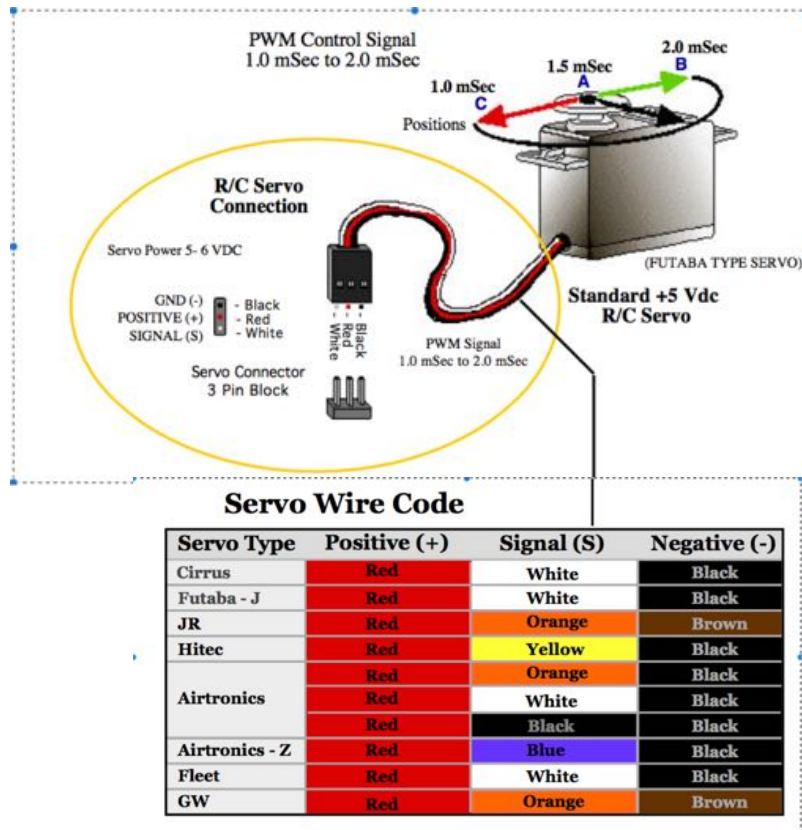
## Βασική σύνδεση rc-servo με τον μικροελεγκτή



## Ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός rc/servo



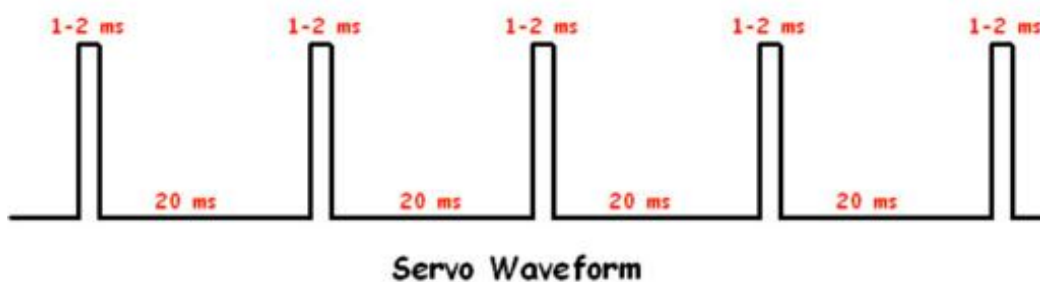
## Τυποποίηση καλωδίων rc/servo



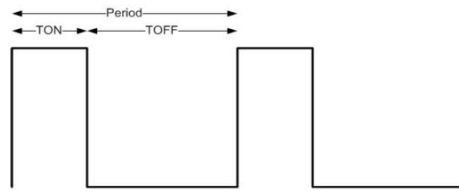
## Γενική αρχή λειτουργίας ελέγχου του R/C Servo (σήμα ελέγχου)



- Σήμα που στέλνουμε στο rc/servo για να το ελέγξουμε



## Η έννοια του PWM (Pulse Width Modulation)

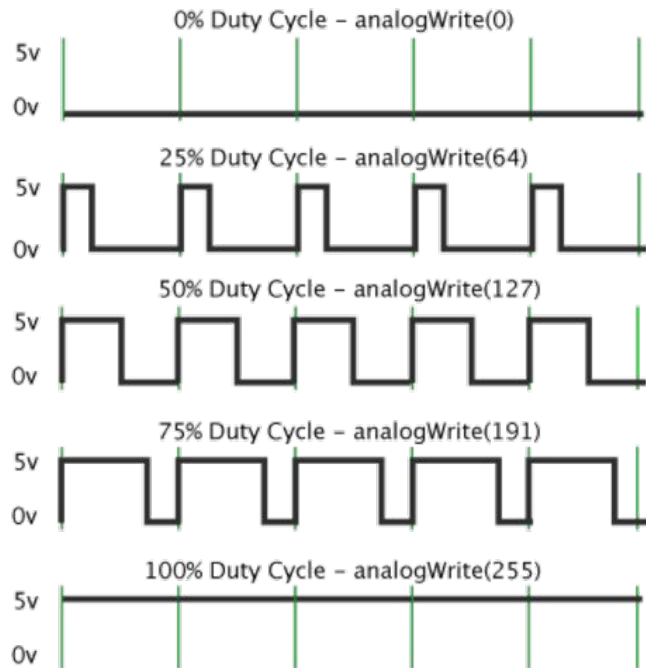


$$\text{Period} = \text{TON} + \text{TOFF}$$

$$\text{Frequency} = 1 / \text{Period}$$

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{TON}}{\text{TON} + \text{TOFF}} * 100$$

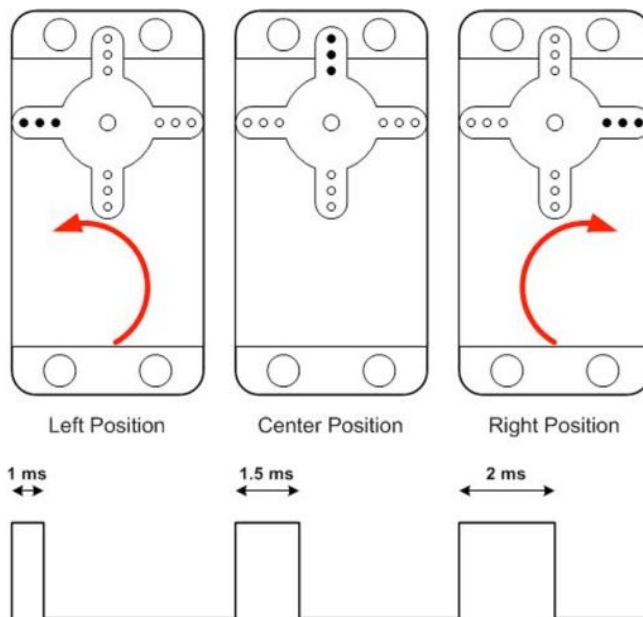
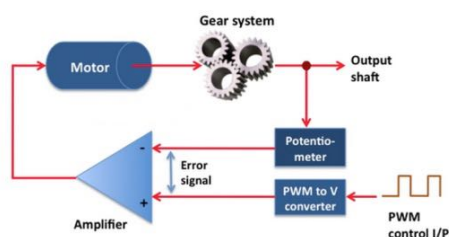
### Pulse Width Modulation



## Έλεγχος της Θέσης του R/C Servo με κατάλληλο σήμα ελέγχου PWM



### Σχήμα ελέγχου



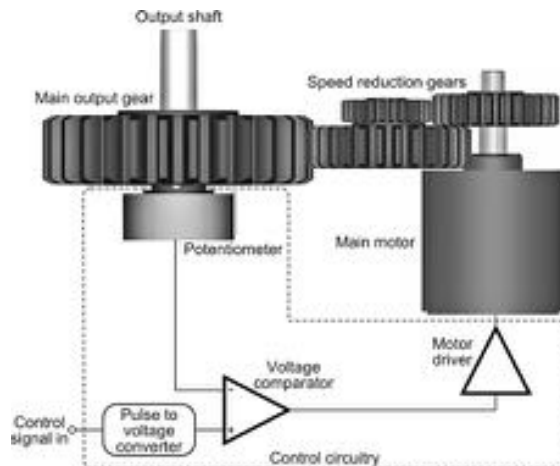
Περίοδος περίπου 20msec ή 50Hz

<http://www.youtube.com/watch?v=zuFVekXDGLk&NR=1>

## Βασικό σχήμα ελέγχου του rc-servo



**Figure 23-1** A standard-size servo motor for radio-controlled model airplanes and cars. The flanges allow easy mounting, and the output of the servo can be readily attached to wheels, linkages, and other mechanisms. (Photo courtesy Hitec RCD.)



**Figure 23-2** How an RC servo works. A control signal causes the motor to turn in one direction or the other, depending on the current position of the output shaft.

## Έλεγχος rc/servo με τον μικροελεγκτή Arduino

```

servo | Arduino 1.0
File Edit Sketch Tools Help

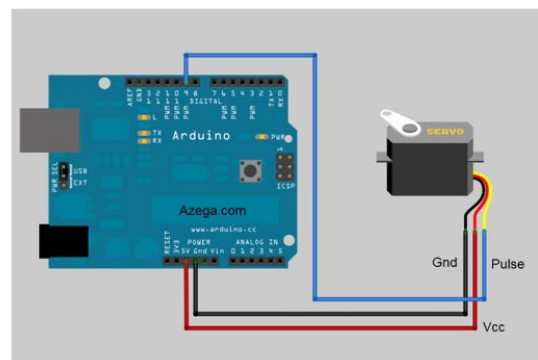
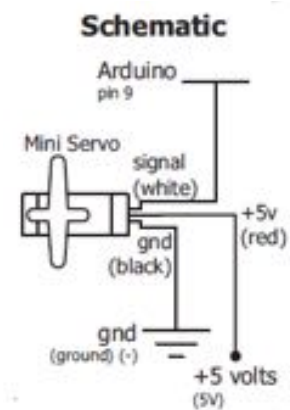
servo

#include <Servo.h>
Servo myservo;
int pos = 0;

void setup() {
  myservo.attach(9);
}

void loop() {
  for(pos = 0; pos < 180; pos += 1)
  {
    myservo.write(pos);
    delay(15);
  }
  for(pos = 180; pos>=1; pos-=1)
  {
    myservo.write(pos);
    delay(15);
  }
}

Done compiling
Binary sketch size: 2614 bytes (of a 32254 byte maximum)
Arduino Uno on COM1
    
```

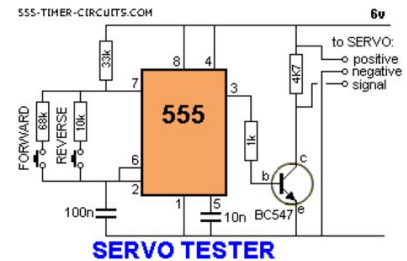


## Διάφοροι τρόποι ελέγχου του rc-servo;

- Με την βοήθεια κάποιου προγραμματιζόμενου μικροελεγκτή (Arduino μ-controller)
- Με την βοήθεια μικροελεγκτή ειδικού σκοπού (SSC-32 servocontroller)
- Με την βοήθεια κατάλληλου κυκλώματος ειδικού σκοπού (IC 555)



**IC 555**  
Απαιτείτε να υλοποιήσουμε το κύκλωμα



SSC-32

Απαιτείται να ορίσουμε με κωδικοποιημένο τρόπο την γωνία του servo

## Έλεγχος rc/servo με μικροελεγκτή ειδικού σκοπού (SSC-32 servocontroller)

- Μορφή εντολής ελέγχου που στέλνουμε με σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας στον SSC-32

**#(ch) P(pw) T(time) <cr>**



Σειριακή επικοινωνία



Παράμετρος	Περιγραφή
ch	Αριθμός καναλιού 0 – 31
pw	Εύρος παλμού σε msec (500 – 2500)
time	Χρόνος σε msec ολόκληρης της κίνησης
cr	Χρειάζεται για να σηματοδοτήσει το τέλος της εντολής

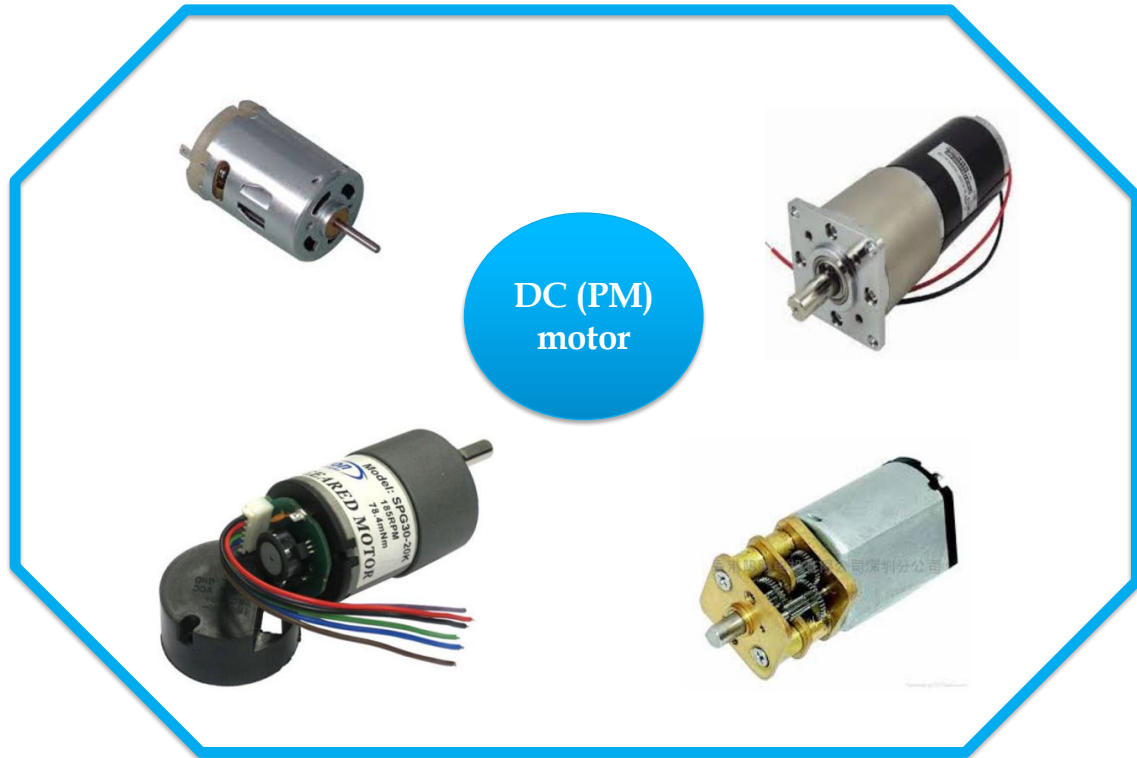
**Κίνηση μόνο ενός servo:**

**#0 P1500 T2000 <cr>**

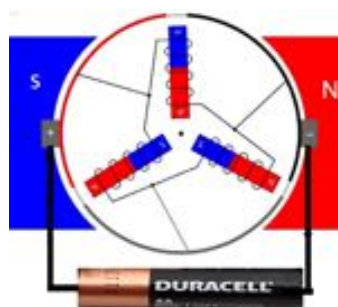
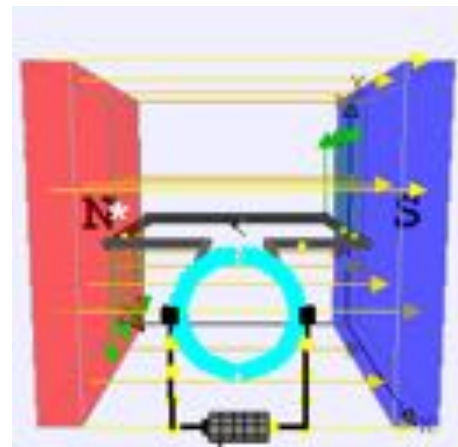
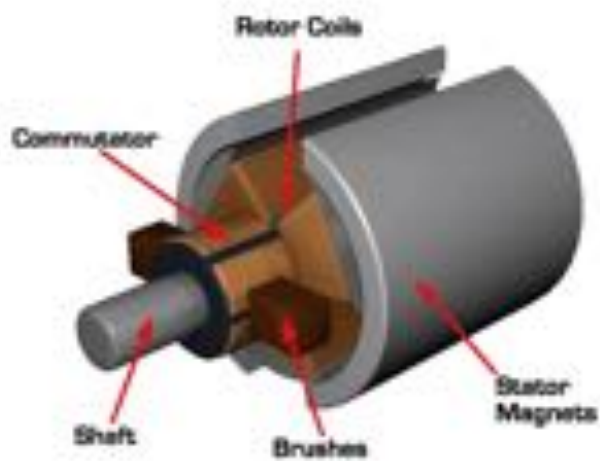
**Κίνηση δύο servo ταυτόχρονα:**

**#0 P500 #1 P2500 T2000 <cr>**

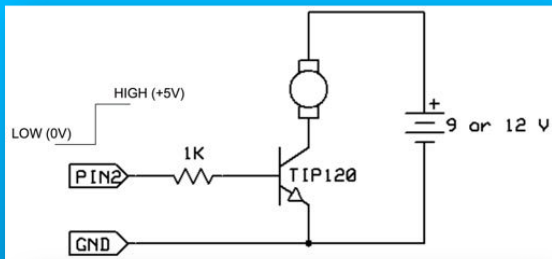
## Κινητήρας DC (PM) μόνιμου μαγνήτη



## Αρχή λειτουργίας Κινητήρα DC (PM) μόνιμου μαγνήτη

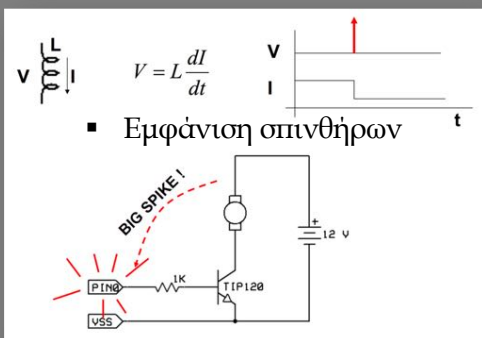
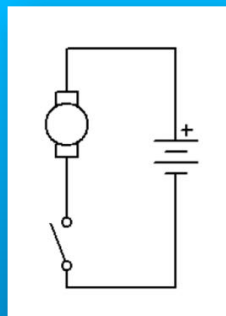


## Βασικό κύκλωμα οδήγησης DC κινητήρα με τρανζίστορ και προστασία από υπερτάσεις



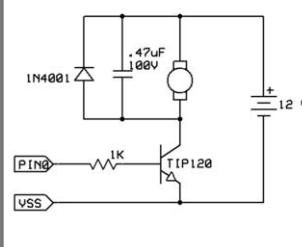
Type	I <sub>max</sub> (mA)	V <sub>ce</sub> (V)
2N3904	100	0.2
TIP120	1500	1.5

- Έλεγχος προς μία κατεύθυνση περιστροφής



- Εμφάνιση σπινθήρων

- Αναγκαία η χρήση Flyback diode

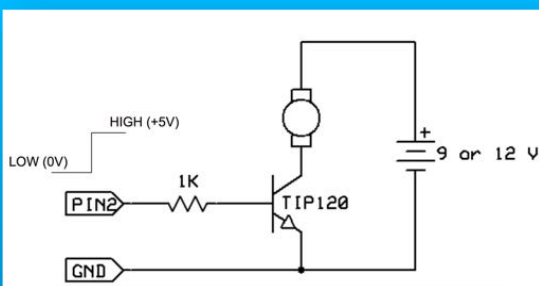


.47, 100V mylar

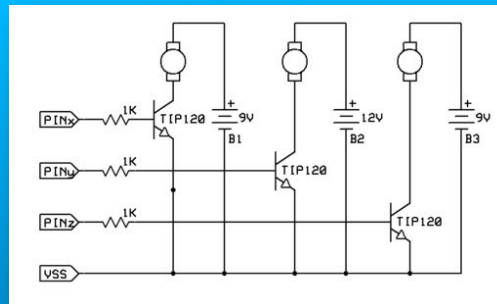
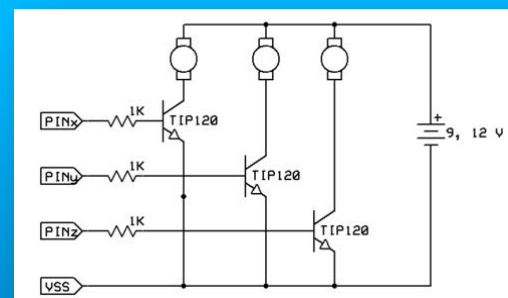
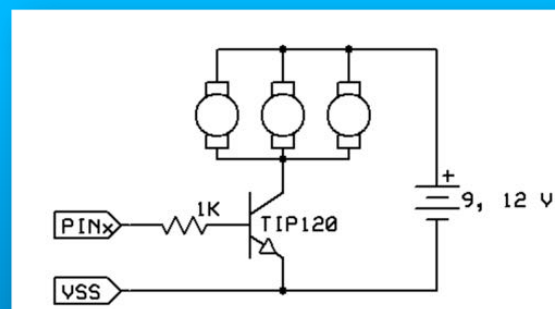


diode

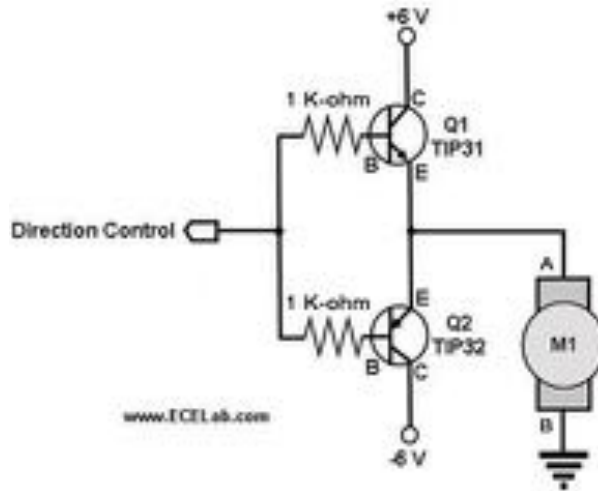
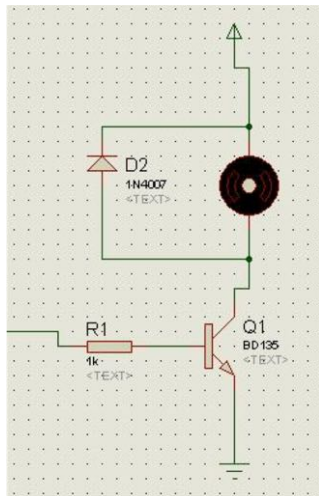
## Διάφορα σχήματα οδήγησης DC κινητήρων



Type	I <sub>max</sub> (mA)	V <sub>ce</sub> (V)
2N3904	100	0.2
TIP120	1500	1.5



## Οδήγηση DC κινητήρα με αλλαγή φοράς περιστροφής



## Οδήγηση DC κινητήρων με τρανζίστορ και ρελέ

- Relays great for high current motors
- Watch out for relay coil drain

TIP120 or 2N3904

▪ Περιστροφή προς μία μόνο κατεύθυνση

TIP120 or IRL520 or RELAY

▪ Με έλεγχο της κατεύθυνσης περιστροφής

## Με έλεγχο της κατεύθυνσης περιστροφής (αναλυτικό σχέδιο)

