

# Αρχή Λειτουργίας των Βηματικών Κινητήρων

## Τι είναι ο βηματικός κινητήρας;

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε ακριβείς, ελεγχόμενες κινήσεις. Αυτοί οι κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπου απαιτείται ακριβής τοποθέτηση, όπως σε τρισδιάστατους εκτυπωτές, μηχανές CNC, ρομποτική, μεταξύ άλλων.

## Πώς λειτουργεί ένας βηματικός κινητήρας;

Ένας βηματικός κινητήρας αποτελείται από έναν ρότορα με μόνιμους μαγνήτες και μια σειρά ηλεκτρομαγνητικών πηνίων γύρω του. Εφαρμόζοντας παλμούς ρεύματος στα πηνία, δημιουργούνται μαγνητικά πεδία που αλληλεπιδρούν με τους μαγνήτες του ρότορα, προκαλώντας την περιστροφή του ρότορα σε βήματα ή γωνιακές αυξήσεις.

## Προγραμματισμός βηματικού κινητήρα με Arduino

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα που σας επιτρέπει να ελέγχετε εύκολα ηλεκτρονικές συσκευές. Για να προγραμματίσετε έναν βηματικό κινητήρα με το Arduino, θα χρειαστεί να τον συνδέσετε σωστά στον μικροελεγκτή και να χρησιμοποιήσετε μια συγκεκριμένη βιβλιοθήκη για τον έλεγχό του.

## Συνδέστε το stepper motor στο Arduino

Για να συνδέσετε τον βηματικό κινητήρα στο Arduino, θα χρειαστεί να αναγνωρίσετε τα καλώδια που αντιστοιχούν στα πηνία του κινητήρα και να τα συνδέσετε στις ακίδες εξόδου του μικροελεγκτή. Γενικά, οι βηματικοί κινητήρες έχουν τέσσερα καλώδια, που αντιστοιχούν στα πηνία A, A', B και B'.

## Βιβλιοθήκες για τον έλεγχο του βηματικού κινητήρα με το Arduino

Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες βιβλιοθήκες για τον έλεγχο του βηματικού κινητήρα με το Arduino. Μερικά από τα πιο δημοφιλή είναι τα "Stepper" και "AccelStepper". Αυτές οι βιβλιοθήκες απλοποιούν τη διαδικασία ελέγχου κινητήρα, καθώς προσφέρουν προκαθορισμένες λειτουργίες για την εκτέλεση κινήσεων, τον καθορισμό ταχύτητας και κατεύθυνσης, μεταξύ άλλων.

## Παραδείγματα κώδικα για τον έλεγχο του βηματικού κινητήρα με το Arduino

Στη συνέχεια, θα σας δείξουμε ένα παράδειγμα κώδικα χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη "Stepper" για τον έλεγχο ενός βηματικού κινητήρα. Αυτός ο κωδικός θα εκτελέσει μια κίνηση μετ' επιστροφής του κινητήρα προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση:

```
const int stepsPerRevolution = 200; // Αριθμός βημάτων ανά περιστροφή του κινητήρα
```

```
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11); // Διαμόρφωση του
```

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που μετατρέπει τους ηλεκτρικούς παλμούς σε διακριτές κινήσεις ή βήματα. Σε αντίθεση με άλλους τύπους κινητήρων, οι βηματικοί κινητήρες είναι ικανοί να ελέγχουν με ακρίβεια τη γωνιακή θέση του άξονα εξόδου. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές που απαιτούν ακριβείς κινήσεις, όπως τρισδιάστατους εκτυπωτές, μηχανές CNC και ρομπότ.

## **Γιατί να χρησιμοποιήσετε το Arduino για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων;**

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης ανοιχτού κώδικα που έχει γίνει πολύ δημοφιλής στον κόσμο της ηλεκτρονικής και του προγραμματισμού. Η ευκολία χρήσης και η ευελιξία του το καθιστούν την τέλεια επιλογή για τον έλεγχο βηματικών κινητήρων. Με το Arduino, μπορείτε να προγραμματίσετε την κίνηση των βηματικών κινητήρων εύκολα και με ακρίβεια.

### **Απαιτούμενα στοιχεία**

- Arduino Uno (ή οποιαδήποτε άλλη συμβατή πλακέτα Arduino)
- Βηματικός κινητήρας
- Τροφοδοσία (ανάλογα με τις προδιαγραφές του κινητήρα)
- Καλώδια σύνδεσης

### **Βήμα 1: Σύνδεση του Stepper Motor στο Arduino**

1. Συνδέστε το κόκκινο καλώδιο του βηματικού κινητήρα στον πείρο 8 του Arduino.
2. Συνδέστε το μπλε καλώδιο του βηματικού κινητήρα στον πείρο 9 του Arduino.
3. Συνδέστε το πράσινο καλώδιο του βηματικού κινητήρα στον πείρο 10 του Arduino.
4. Συνδέστε το μαύρο καλώδιο του βηματικού κινητήρα στον πείρο GND του Arduino.

### **Βήμα 2: Προγραμματισμός Arduino**

Θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα προγραμματισμού Arduino για να στείλουμε τους απαραίτητους παλμούς στον βηματικό κινητήρα. Ακολουθεί ένα παράδειγμα κώδικα για να περιστρέψετε τον κινητήρα προς μία κατεύθυνση και μετά προς την αντίθετη κατεύθυνση:

```
«C++
```

```
άκυρη ρύθμιση () {
```

```
pinMode (8, OUTPUT);
```

```
pinMode (9, OUTPUT);
```

```
pinMode (10, OUTPUT);
```

```
}
```

```

κενός βρόχος () {
// Περιστροφή προς μία κατεύθυνση
digitalWrite (8, HIGH);
digitalWrite (9, LOW);
digitalWrite (10, LOW);
καθυστέρηση (1000);

// Στρίψτε προς την αντίθετη κατεύθυνση
digitalWrite (8, LOW);
digitalWrite (9, LOW);
digitalWrite (10, HIGH);
καθυστέρηση (1000);
}
««

```

Αυτός ο κωδικός διαμορφώνει τις ακίδες 8, 9 και 10 του Arduino ως εξόδους και στη συνέχεια στέλνει τους απαραίτητους παλμούς για να περιστρέψουν τον κινητήρα προς μία κατεύθυνση και μετά προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Σήμερα, οι βηματικοί κινητήρες έχουν γίνει ένα θεμελιώδες εργαλείο για τον έλεγχο της κίνησης σε έργα ρομποτικής και αυτοματισμού.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός βηματικού κινητήρα βρίσκεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα στο ρότορα και το στάτη καθώς διαφέρει από τους υπόλοιπους κινητήρες.



0.9 ΜΟΙΡΕΣ



1.8 ΜΟΙΡΕΣ



Ο ρότορας, συνήθως είναι κατασκευασμένος με αυλακώσεις – “δοντάκια”. Τα “δοντάκια” αυτά συνήθως έχουν απόσταση μεταξύ τους 1.8 μοίρες ή 0.9 μοίρες συνεπώς όσο μικρότερο το κενό μεταξύ των δοντιών σε τόσα περισσότερα βήματα μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας.

Ο στάτης διαθέτει τυλίγματα – πηνία τα οποία μόλις τροφοτηθούν από ρεύμα δημιουργούν μαγνητικά πεδία τα οποία προκαλούν την περιστροφή του ρότορα.

Για την λειτουργία του stepper motor απαιτείται η χρήση οδηγού (stepper motor driver). Ο Stepper Motor Driver για να προσφέρει κίνηση τροφοδοτεί με σωστή σειρά τα τυλίγματα του στάτη καθώς κάθε παλμός – βήμα περιστρέφει το ρότορα. Ανάλογα με το μέγεθος του παλμού διακρίνονται σε full- step, half step και το μέγεθος μικραίνει αυξάνοντας των αριθμό των βημάτων.

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την ακριβή θέση χωρίς την ανάγκη για αισθητήρες ανατροφοδότησης.

### **Είδη βηματικών κινητήρων**

Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης

Υβριδικός βηματικός κινητήρας

### **Τι διαφορά έχει ένας Unipolar από έναν Bipolar βηματικό κινητήρα;**

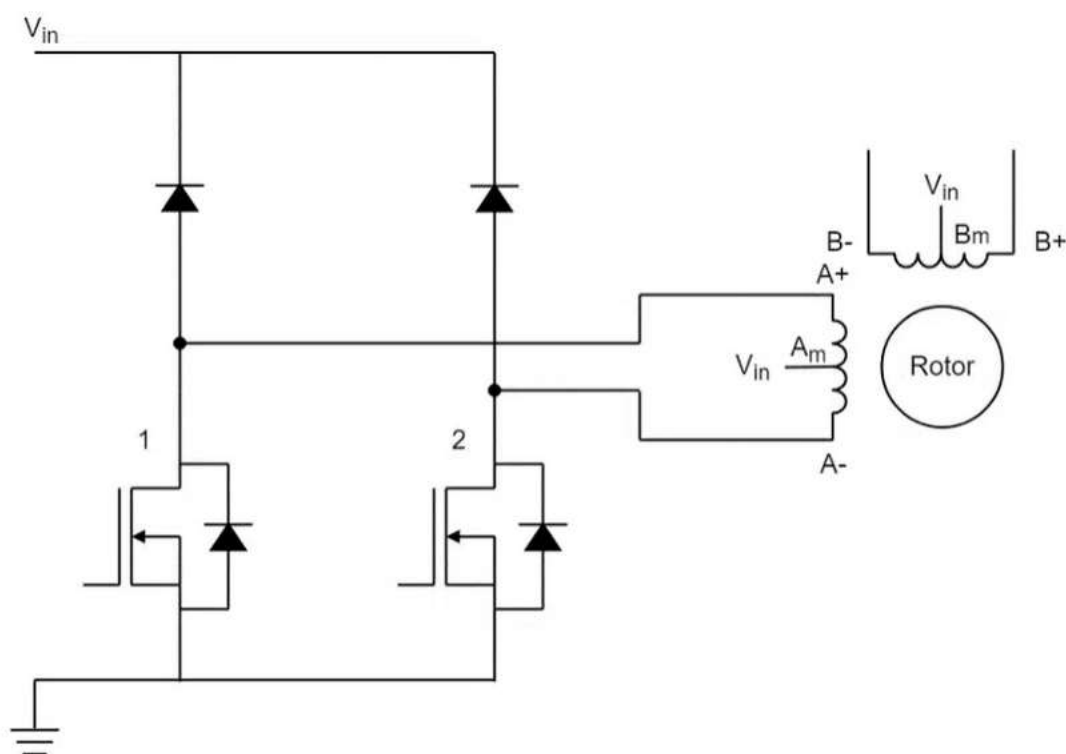
Ένα άλλο χαρακτηριστικό του κινητήρα που επηρεάζει επίσης τον έλεγχο είναι η διάταξη των πηνίων του στάτη που καθορίζουν την αλλαγή της κατεύθυνσης του ρεύματος. Για να επιτευχθεί η κίνηση του ρότορα, είναι απαραίτητο όχι μόνο να ενεργοποιηθούν τα πηνία, αλλά και να ελέγχεται η κατεύθυνση του ρεύματος, η οποία καθορίζει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από το ίδιο το πηνίο. Στους βηματικούς κινητήρες, το ζήτημα του ελέγχου της κατεύθυνσης ρεύματος επιλύεται με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

#### **Unipolar**

Στους μονοπολικούς βηματικούς κινητήρες, ένα από τα καλώδια συνδέεται στο κεντρικό σημείο του πηνίου. Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο της κατεύθυνσης του ρεύματος χρησιμοποιώντας σχετικά απλό ηλεκτρονικό κύκλωμα. Το κεντρικό καλώδιο συνδέεται με την τάση εισόδου. Εάν το MOSFET 1 είναι ενεργό, το ρεύμα ρέει από το AM στο A+. Εάν το MOSFET 2 είναι ενεργό, το ρεύμα ρέει από το AM στο A-, δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο προς την αντίθετη κατεύθυνση. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτή η προσέγγιση επιτρέπει ένα απλούστερο κύκλωμα οδήγησης (απαιτούνται μόνο δύο ημιαγωγοί), αλλά το μειονέκτημα είναι ότι μόνο ο μισός χαλκός που χρησιμοποιείται στον κινητήρα χρησιμοποιείται κάθε φορά, αυτό σημαίνει ότι για το ίδιο ρεύμα που ρέει στο πηνίο, το μαγνητικό πεδίο έχει τη μισή ένταση από ότι αν χρησιμοποιούταν όλο το τύλιγμα. Επιπλέον, αυτοί οι κινητήρες είναι πιο δύσκολο να κατασκευαστούν δεδομένου ότι πρέπει να διατίθενται περισσότερα καλώδια ως εισοδοί κινητήρα.

unipolar stepper motor diagram

**Κύκλωμα για παλμοδότηση μονοπολικού βηματικού κινητήρα.**



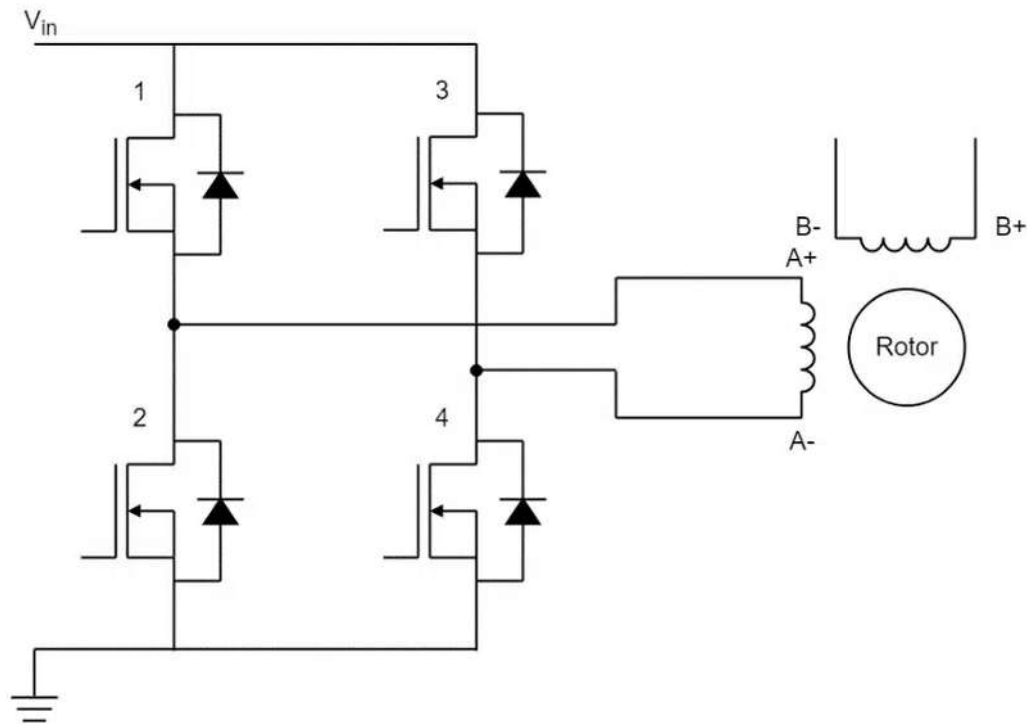
Κύκλωμα για παλμοδότηση μονοπολικού βηματικού κινητήρα:

Πηγή [Monolithicpower.com](http://Monolithicpower.com)

Πηγή [Monolithicpower.com](http://Monolithicpower.com)

Bipolar

Στους διπολικούς βηματικούς κινητήρες, κάθε πηνίο έχει μόνο δύο διαθέσιμα καλώδια και για να ελέγξετε την κατεύθυνση είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσετε μια γέφυρα τύπου H. Εάν τα MOSFET 1 και 4 είναι ενεργά, το ρεύμα ρέει από το  $A+$  στο  $A-$ , ενώ εάν τα MOSFET 2 και 3 είναι ενεργά, το ρεύμα ρέει από το  $A-$  στο  $A+$ , δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτή η λύση απαιτεί ένα πιο περίπλοκο κύκλωμα οδήγησης, αλλά επιτρέπει στον κινητήρα να επιτύχει τη μέγιστη ροπή.



Κύκλωμα για παλμοδότηση διπολικού βηματικού κινητήρα.

Πηγή [Monolithicpower.com](http://Monolithicpower.com)

Κύκλωμα για παλμοδότηση διπολικού βηματικού κινητήρα.

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα βηματικών κινητήρων

### Πλεονεκτήματα

Λόγω της εσωτερικής τους δομής, οι βηματικοί κινητήρες δεν απαιτούν αισθητήρα για την ανίχνευση της θέσης του κινητήρα. Εφόσον ο κινητήρας κινείται εκτελώντας «βήματα», απλά μετρώντας αυτά τα βήματα, μπορείτε να λάβετε τη θέση του κινητήρα σε μια δεδομένη στιγμή.

Επιπλέον, ο έλεγχος βηματικού κινητήρα είναι αρκετά απλός. Ο κινητήρας χρειάζεται οδηγό, αλλά δεν χρειάζεται πολύπλοκους υπολογισμούς ή ρύθμιση για να λειτουργήσει σωστά. Γενικά, η προσπάθεια ελέγχου είναι μικρότερη σε σύγκριση με άλλους κινητήρες.

Οι βηματικοί κινητήρες προσφέρουν καλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, είναι ιδανικοί για τη θέση συγκράτησης και τείνουν επίσης να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

### Μειονεκτήματα

Μπορούν να χάσουν ένα βήμα εάν η ροπή του φορτίου είναι πολύ υψηλή. Αυτό επηρεάζει αρνητικά τον έλεγχο, καθώς δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζουμε την πραγματική θέση του κινητήρα.

Αυτοί οι κινητήρες τραβούν πάντα το μέγιστο ρεύμα ακόμα και όταν είναι ακίνητοι, γεγονός που μειώνει την απόδοση και μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση.

Οι βηματικοί κινητήρες έχουν χαμηλή ροπή και γίνονται αρκετά θορυβώδεις στις υψηλές ταχύτητες.

## **Εφαρμογές**

Ρομπότ

CNC

3D Printers

Laser cutters

Όπουδήποτε χρειάζεται έλεγχος θέσης

Πηγή Monolithicpower.com

[https://tokalo.gr/Stepper\\_motors.html](https://tokalo.gr/Stepper_motors.html)

<https://polaridad.es/el/aprende-a-utilizar-el-motor-paso-a-paso-con-arduino-guia-completa-para-principiantes/>

<https://ppf.edu.gr/hackers/archives/761>