

# A?

Aalto-yliopisto  
Sähkötekniikan  
korkeakoulu

# Moottorit ja moottoriohjaimet

*ELEC-A4010 Sähköpaja,*

*01.11.2021*

*Olli Auranen*

# Sisällysluettelo

- Mitä ovat sähkömoottorit?
- Mihin niitä käytetään?
- Moottorityypit ja niiden ohjaimet
  - DC-moottori
  - Servomoottori
  - Askelmoottori
  - Harjaton DC-moottori
- Moottorin valinta ja mitoitus

# Mitä ovat sähkömoottorit?

Miten asiat liikkuvat sähköllä?

- Sähköautot, junat, potkulaudat?

Miten sähköenergiaa tuotetaan?

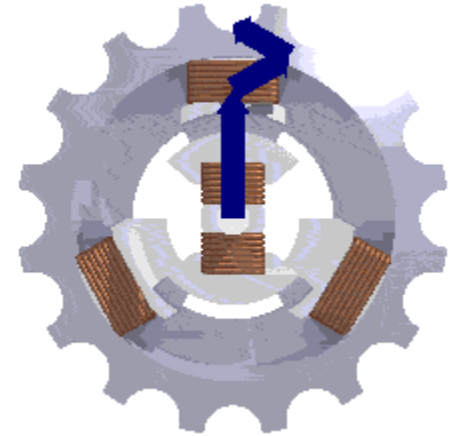
- Tuulivoima, vesivoima, ydinvoima?

Kuinka robotit liikkuvat?

- Paikkatieto, tarkkuus?

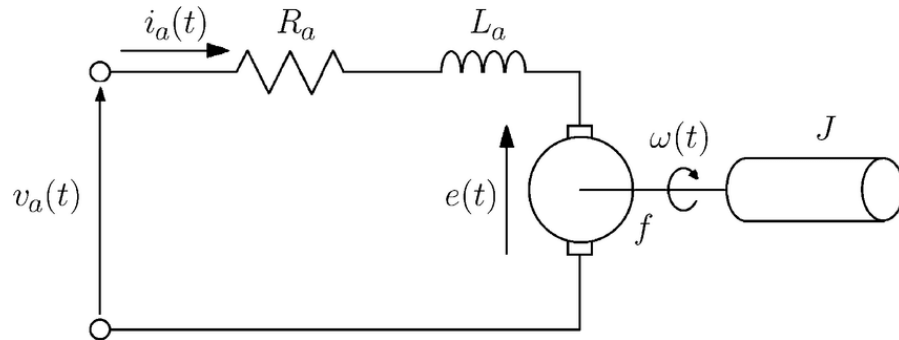
# Mitä ovat sähkömoottorit?

- Sähkömoottori on sähkömekaaninen laite, jolla muutetaan sähköenergiaa mekaaniseksi liike-energiaksi
  - ❑ Sähkömoottori toimii generaattorina, kun sitä pyöritetään liike-energialla
- Moottorin toiminta perustuu käämeille johdettavan virran muodostamaan magneettikenttään, joka saa akselin kääntymään
  - ❑ Käämien napaisuutta voidaan sähköisesti muuttaa, jolloin syntyy pyörivä magneettikenttä

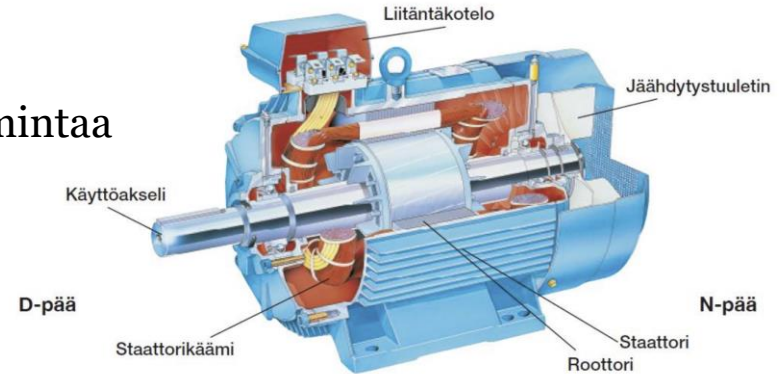


# Mitä ovat sähkömoottorit?

- Moottorit käytännössä kaikki koostuvat staattorista, roottorista, akselista ja käämityksistä
- Sijaiskytkennällä voidaan mallintaa moottorin toimintaa



DC-moottorimalli



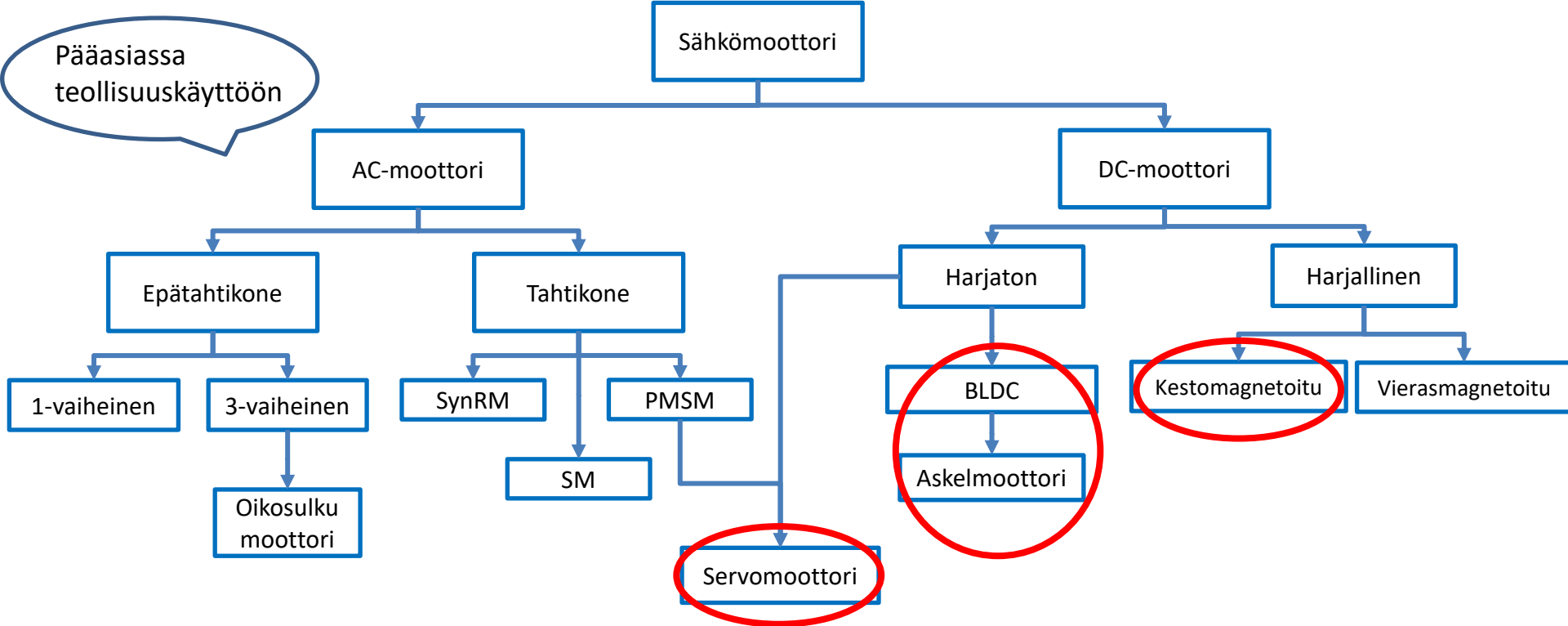
Oikosulkumoottori

# Mitä ovat sähkömoottorit?

- Moottorit voidaan luokitella ominaisuuksien mukaan monella eri tavalla
- Tyypillisimpiä luokitteluja ovat syöttöjännitteen tyyppi, magnetointi, vaiheiden määrä...
- Ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi moottorin valintaan käyttökohteeseen

# Mihin niitä käytetään?

Pääasiassa  
teollisuuskäyttöön

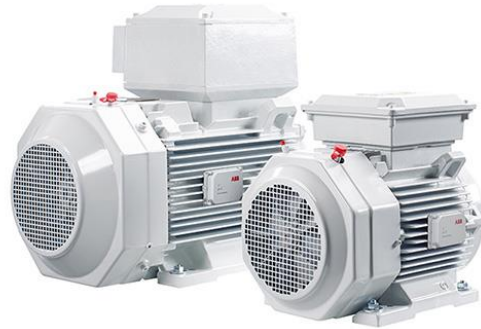


# Mihin niitä käytetään? Kotikäyttö





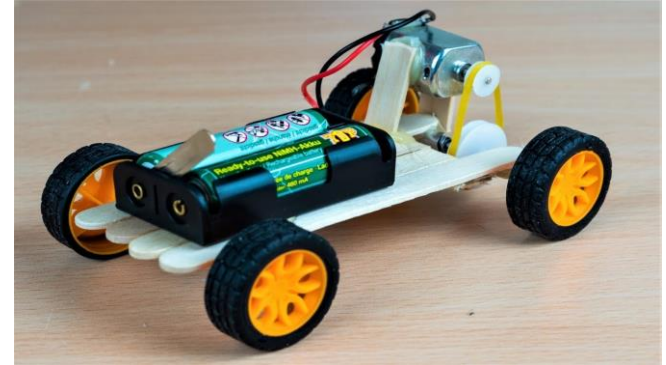
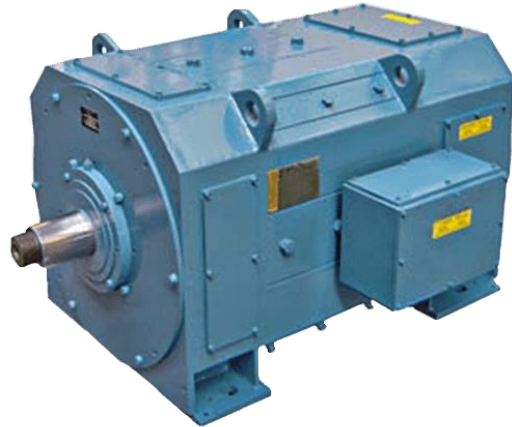
# Mihin niitä käytetään? Teollisuuskäyttö



# Moottorityypit ja ohjaimet

- DC-moottori
- Servomoottori
- Askelmoottori
- Harjaton DC-moottori

# Harjallinen tasavirta- eli DC-moottori



# Tasavirta eli DC-moottori

- Nimensä mukaan tasasähköllä toimiva yksinkertainen moottorityyppi
- Harjallinen DC-moottori voi olla käämitetty tai kestopagneetillinen

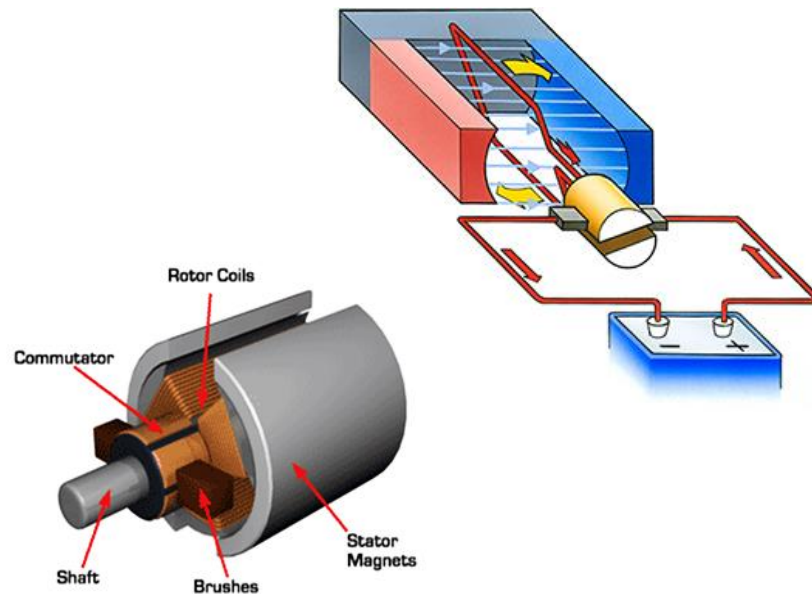
DC-moottorin ominaisuudet:

## Hyvät puolet

- Yksinkertainen ohjata
- Suhteellisen nopea tarvittaessa
- Korkea lähtömomentti

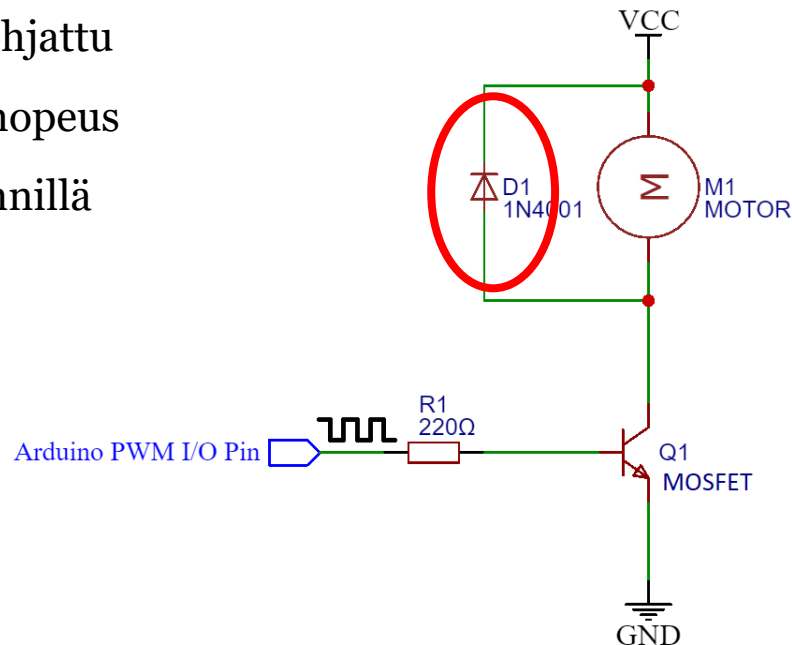
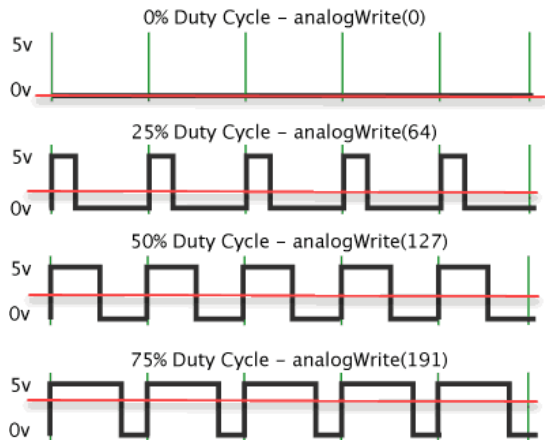
## Huonot puolet

- Lyhyt elinikä
- Pieni momentti korkealla nopeudella
- Epätarkka



# DC-moottorin ohjaus

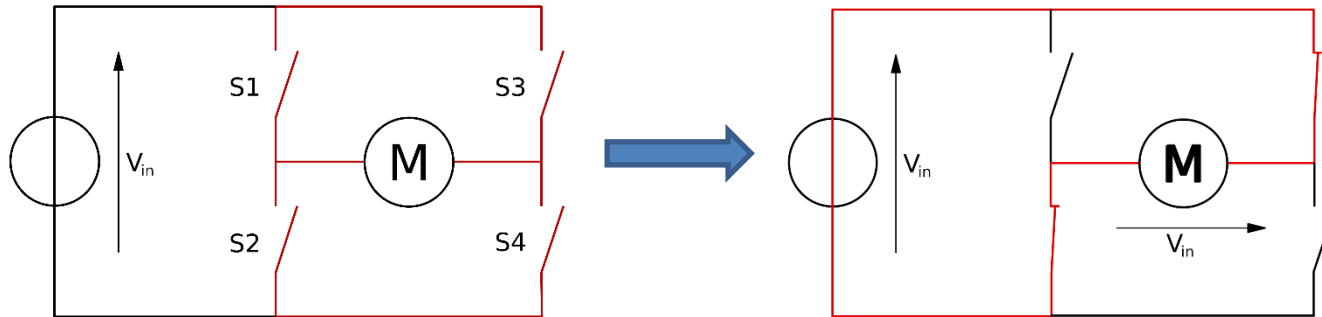
- Yksinkertaistettuna DC-moottori on jänniteohjattu
  - Korkeampi jännite, suurempi pyörimisnopeus
- Nopeutta voidaan ohjata Arduinin PWM-pinnillä



Huom! DC-moottori aiheuttaa suuren virtapiikin lähdössä!

# DC-moottorin ohjaus

- H-silta-ohjain tarvitaan kun halutaan pyörittää moottoria molempiin suuntiin
  - Monimutkaisempi ohjaus
- Voidaan käyttää valmista moottoriohjainta kuten L298N



# Servomoottori



# Servomoottori

- Kulmaohjattu moottorityyppi, jonka nopeutta ja akselin kulmaa voidaan ohjata
- Moottori voi olla DC tai AC, mutta pienitehoisena yleensä DC
- Moottori on yleensä varustettu rattaistolla

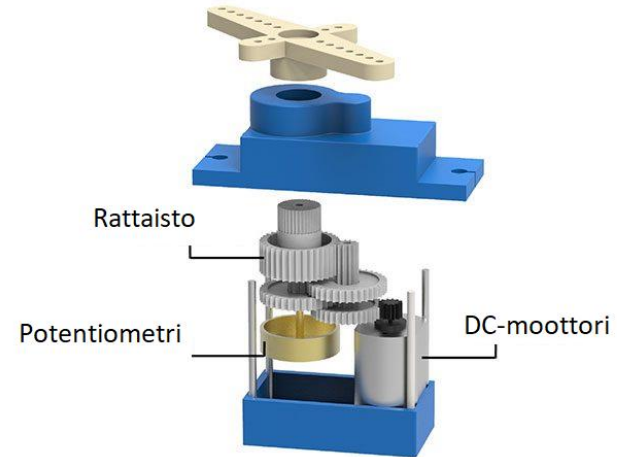
Servomoottorin ominaisuudet:

## Hyvät puolet

- Tarkkuus
- Hyvä hyötysuhde
- Akselin paikkatieto

## Huonot puolet

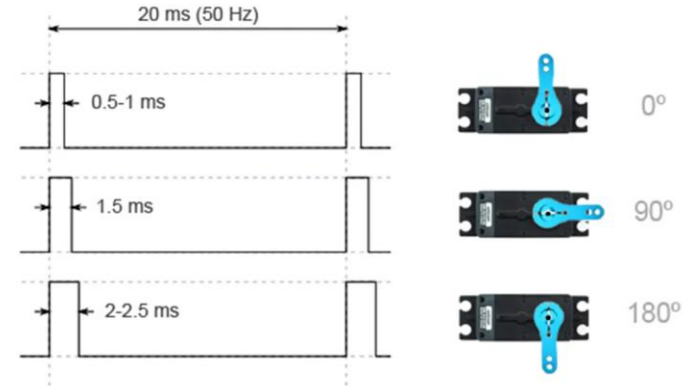
- Suhteellisen kallis hinta
- Kompleksinen järjestelmä





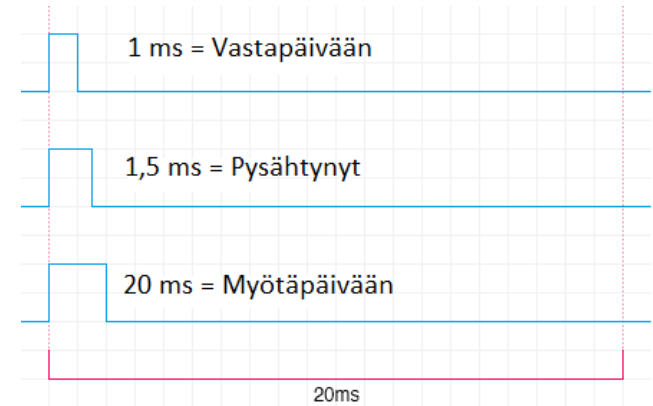
# Servomoottorin ohjaus

- Arduinolla ohjaaminen ei vaadi erillistä ohjainta
- Ohjaus riippuu moottorin tyylistä
  - Servo voi olla joko paikkaohjattu tai jatkuvasti pyörivä
- Paikkaohjatun servon akselia voidaan kääntää ainoastaan esim. 0-180 astetta
  - Voidaan käyttää Arduinon PWM-syöttöä kulman säätämiseen
  - Voidaan hyödyntää Arduinon Servo.h-kirjastoa

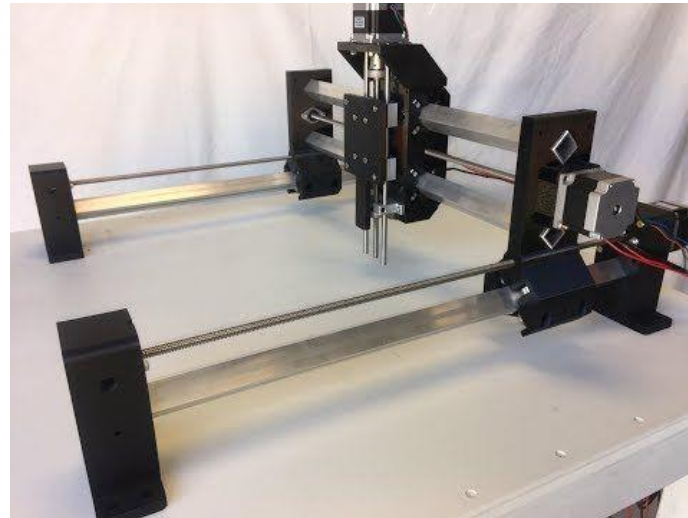


# Servomoottorin ohjaus

- Jatkuvasti pyörivän servon pyörimisnopeutta voidaan myös ohjata PWM-syötöllä
- Tällöin pyörimisnopeus riippuu pulssisuhteesta (Duty cycle)
- Voidaan käyttää erillistä Arduinon kirjastoa ohjaamiseen
  - Esimerkiksi ContinuousServo.h-kirjasto



# Askelmoottori eli stepper- moottori



# Askelmoottori

- Askeleittain pyörivä moottorityyppi, jonka yksi kierros voi olla esim. 200 askelta
- Askeleiden määrä saadaan moottorin ilmoitetusta asteluvusta:
  - Esim.  $360/1,8 = 200$
- Askeleet mahdollista jakaa pienemmiksi mikrosteppingillä

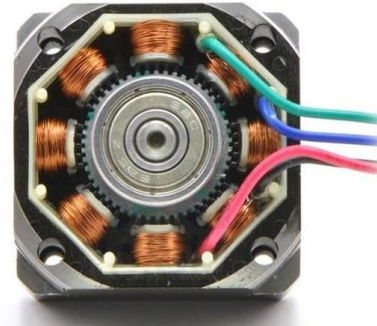
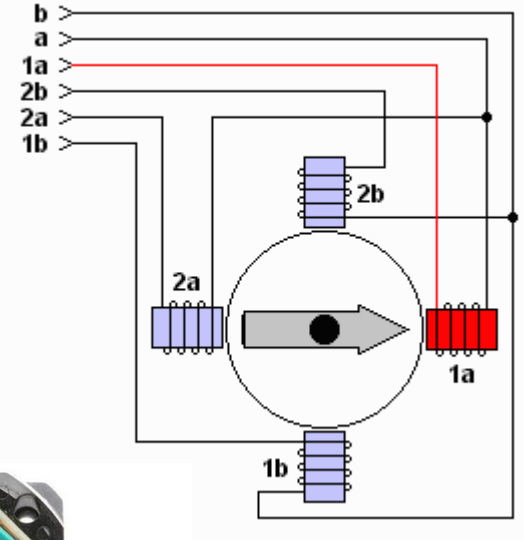
Askelmoottorin ominaisuudet:

## Hyvät puolet

- Tarkkuus
- Suuri vääntömomentti pienillä nopeuksilla
- Synkronoitu ohjaus

## Huonot puolet

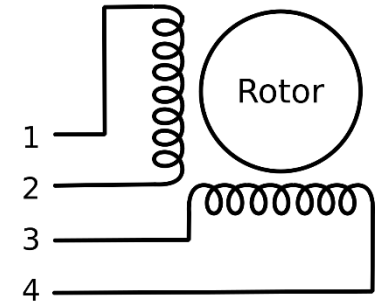
- Vaatii erillisen ohjausjärjestelmän
- Menettää paikkatiedon suurilla momenteilla



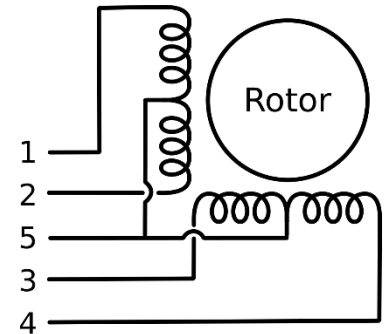
www.pololu.com

# Askelmoottorin ohjaus

- Arduinolla ohjaaminen vaatii aina erillisen moottoriohjaimen
- Ohjaus perustuu avoimen silmukan säätöön
- Askelmoottoreita on saatavilla kahdenlaisena
  - Bipolaarisena ja Unipolaarisena
- Bipolaarisessa askelmoottorissa on aina neljä johtoa
- Unipolaarisessa johtojen määrä voi olla 5 tai enemmän



**Bipolar**



**Unipolar**

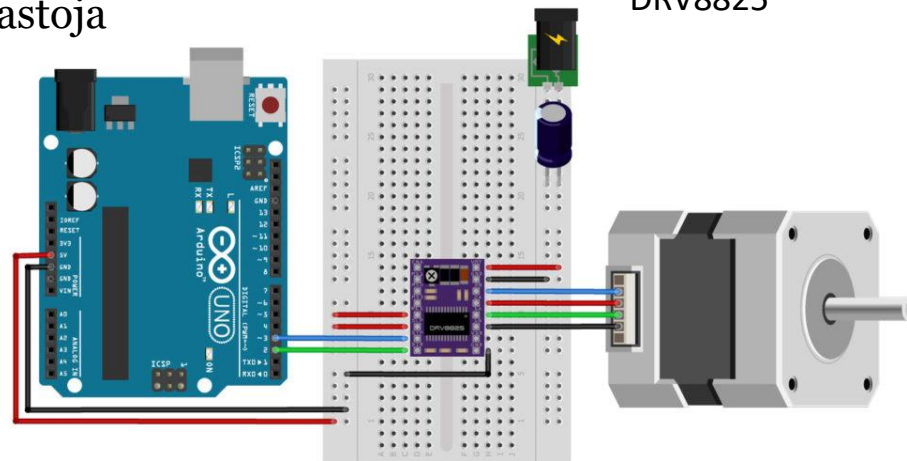
# Bipolaarinen ohjaus

<https://www.makerguides.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>

- Ohjainpiiri on monimutkainen, mutta onneksi valmiita on helposti saatavilla...
- Arduinoon saatavilla helppokäyttöisiä kirjastoja
- Toiminta perustuu kahteen H-siltaan
- Esim. DRV8825 mahdollistaa mikrosteppingin jopa 1/32 saakka



DRV8825



fritzing



# Harjaton DC-moottori (BLDC)





# BLDC-moottori

- BLDC-moottori toimii synkronisen AC-moottorin tapaan
- Kestomagnetoitu roottori voi olla joko käämityksen sisä- tai ulkopuolella

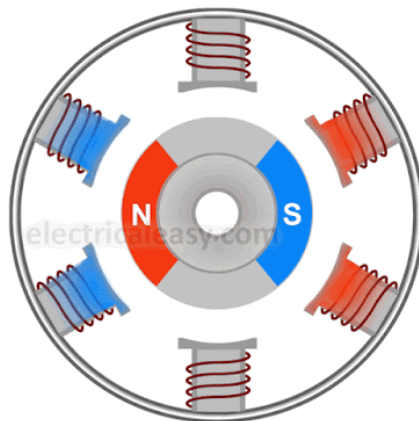
BLDC-moottorin ominaisuudet:

## Hyvät puolet

- Hyötysuhde
- Teho/paino-suhde
- Erittäin nopea

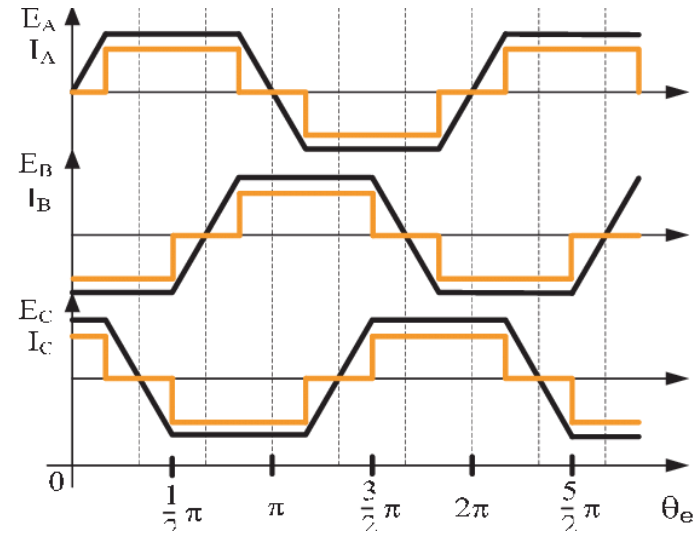
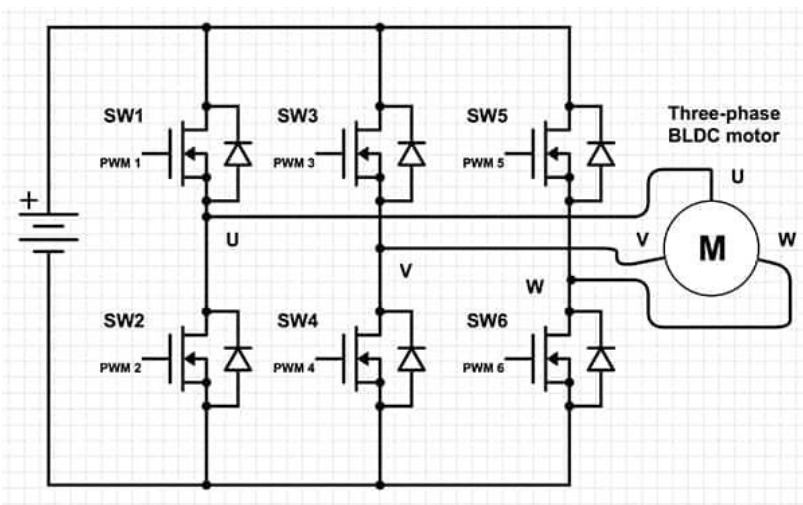
## Huonot puolet

- Kallis hinta
- Vaatii monimutkaisen ohjaimen



# BLDC-moottori

- Moottoria pyöritetään kolmella vaiheella DC-jännitettä. Vaiheiden välissä 120 astetta eroa kuten AC-moottorilla
- Moottorin nopeus riippuu syöttöjännitteen taajuudesta



# BLDC-moottori

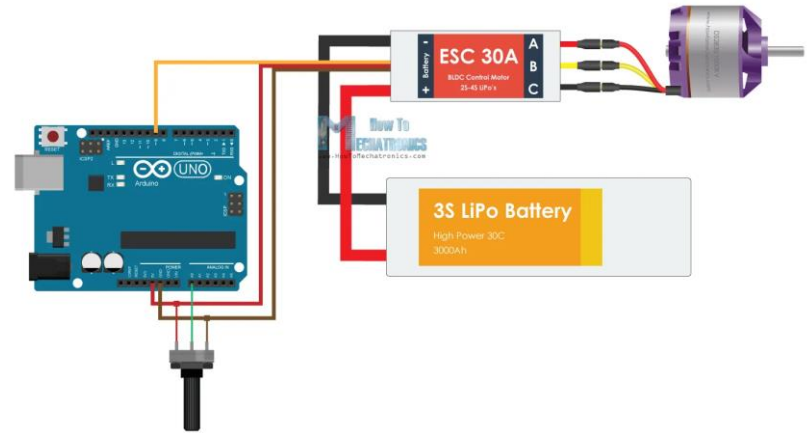
- Harjattomat DC-moottorit ovat tyypillisesti suuritehoisia
  - Harrasteprojekteissa käytetään usein Litiumpolymeeriakkuja (LiPo) tehonlähteenä
- Tästä syystä moottoreiden nimellinen jännite on annettu Litiumkennojen monikertoina
  - Yhden litiumkennon jännite S on 3,7V, joten 3S = 11.1V
- Moottorin suurin pyörimisnopeus saadaan laskettua jännitteen ja KV-luvun avulla
  - Esim. 1000KV \* 11.1V = 11100 RPM



# BLDC-moottorin ohjaus

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-brushless-motor-control-tutorial-esc-bldc/>

- Harjatonta DC-moottoria ohjataan aina erillisellä ohjainpiirillä
  - Ohjauspiiriä kutsutaan ESC:ksi (Electronic Speed Controller)
- Moottorille on valittava tarpeeksi tehokas ohjain
- Ohjaus perustuu avoimen tai suljetun silmukan säätöön



# BLDC-moottorin ohjaus

<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-brushless-motor-control-tutorial-esc-blcd/>

- ESC-ohjain kytketään Arduinoon kuten servomoottori

➤ Myös ohjaaminen voidaan toteuttaa

samankaltaisesti kuin servon ohjaaminen

- Arduinon valmis Servo.h-kirjasto tarjoaa kaiken

tarvittavan

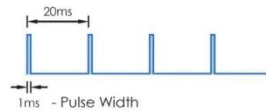
Huom. BLDC-moottori täytyy käynnistää aina 1 ms pulssilla.  
ESC antaa tällöin merkkiäänensä.



SERVO MOTOR CONTROL



BLDC MOTOR CONTROL



PWM SIGNAL - 50 HZ



# BLDC-moottorin ohjaus

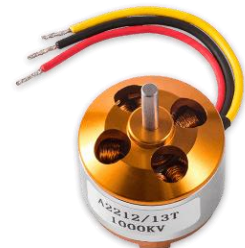
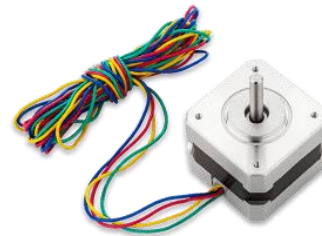
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-brushless-motor-control-tutorial-esc-bldc/>

- BLDC-moottorin ohjaaminen Servo.h-kirjastolla

```
~
6 #include <Servo.h>
7
8 Servo ESC; // Luodaan ESC-objekti
9
10 int pot; // Potentiometrin arvo
11 const int pin = 9; // Valitaan Arduinon PWM-lähtöpinni
12
13 void setup() {
14
15     ESC.attach(pin, 1000, 2000); // (pinni, minimi pulssinleveys, maksimi pulssinleveys mikrosekunneissa)
16 }
17 void loop() {
18     pot = analogRead(A0); // Luetaan potentiometriltä jännite väliltä 0 - 1024
19     pot = map(pot, 0, 1023, 0, 180); // Skaalataan jännitearvo välille 0 - 180
20     ESC.write(pot); // Lähetetään ohjaussignaali ESC:lle
21 }
```

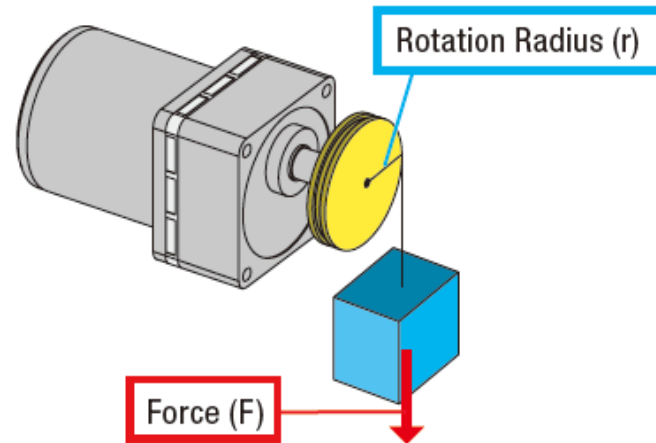
# Moottorin valinta käyttötarkoitukseen

- Moottori valitaan käyttökohteeseen esimerkiksi seuraavien parametrien perusteella:
  - ❑ Momentti, T
  - ❑ Nopeus, N tai  $\omega$
  - ❑ Teho/virta, P/I
  - ❑ Fyysinen koko
- Myös esim. moottorin ja ohjaimen hinnalla voi olla merkitystä valinnassa



# Moottorin perusyhtälöitä

- Moottorin momentti T saadaan:
  - $T = F * r$
- Akseliteho riippuu momentista ja nopeudesta
  - $P_{OUT} = T * \omega$ , jossa  $\omega = \frac{RPM * 2 * \pi}{60}$
- Huom. akseliteho on eri kuin syötettävä sähköteho!
  - Hyötysuhde  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$
- Sähkötehona voidaan käyttää  $P_{in} = U * I$



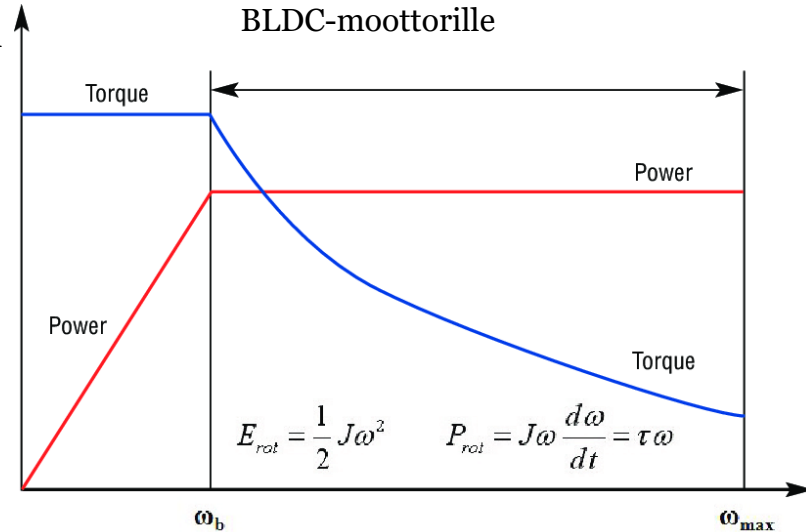


# Moottorin mitoitus

- Moottori voidaan mitoittaa käyttökohteeseen kun tiedetään esim. haluttu RPM tai momentti
- Laitevalmistajan datalehdiltä voidaan tarkastaa moottorin parametrit...



Moottorin ylimitoitus on kannattavaa,  
kun halutaan välttää laskemista



# Moottoriohjaimen mitoitus

- Tyypillisesti moottoriohjaimet on suunniteltu toimimaan ainoastaan valmistajan ilmoittamalla teholla tai virralla
- Ylikuormituessa ohjain saattaa ylikuumentua ja hajota
- Ylimitoitus toimii hyvin tässäkin

# Linkkejä

- **Ohjeita moottoreiden käyttöön Arduinolla**
  - <https://howtomechatronics.com/>
- **Moottoreiden valintaopas**
  - <https://www.circuito.io/blog/arduino-motor-guide/>
- **Google**
  - <https://www.google.fi/>

# A?

Aalto-yliopisto  
Sähkötekniikan  
korkeakoulu

# Kysymyksiä?