

# Robotiehitamise juhend

## **Sammootor**

Autorid: Alar Ainla  
Alvo Aabloo

© Tartu Ülikool

**Juhendi koostamist on toetanud EITSA**

Tartu 2003



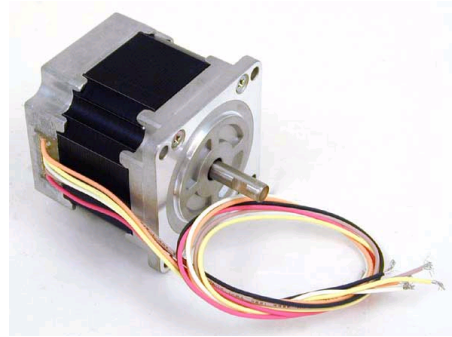
## SISUKORD

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SISUKORD</b>   | <b>2</b>  |
| <b>SAMMMOOTORI PÕHIMÕTE</b>                                   | <b>3</b>  |
| <b>KUIDAS SAMMMOOTOR TÖÖTAB?</b>                              | <b>3</b>  |
| MILLEST KOOSNEB SAMMMOOTOR?                                   | 3         |
| KUIDAS TÖÖTAB?  | 4         |
| <b>SAMMMOOTORI JUHTIMISALGORITMID</b>                         | <b>4</b>  |
| WAVE-FORMAT (LAINE MEETOD)                                    | 5         |
| TWO-PHASE (KAHE MÄHISEGA)                                     | 5         |
| MICRO-STEPPING (MIKRO SAMMUD)                                 | 5         |
| <b>BIPOLAAR JA UNIPOLAAR SAMMMOOTOR, MIS ON VAHE?</b>         | <b>5</b>  |
| <b>KUIDAS SAMMMOOTOR ÜHENDADA KONTROLLERI KÜLGE?</b>          | <b>7</b>  |
| LIHTNE UNIPOLAARSE SAMMMOOTORI JUHTIMINE TRANSISTOR VÕTMETEGA | 7         |
| UCN5804 DRIVER UNIPOLAARSE SAMMMOOTORI JUHTIMISEKS            | 7         |
| H-BRIDGE'GA BIPOLAARSE SAMMMOOTORI JUHTIMINE                  | 8         |
| <b>KEERUKAMAD MEETODID KIIRUSE JA TÄPSUSE TÕSTMISEKS</b>      | <b>8</b>  |
| KIIRUSE TÕSTMINE  | 8         |
| TÄPSUSE TÕSTMINE  | 9         |
| <b>SAMMMOOTORID +/-</b>                                       | <b>10</b> |
| <b>NÄITED SAMMMOOTORITEST</b>                                 | <b>10</b> |



## Sammootori põhimõte

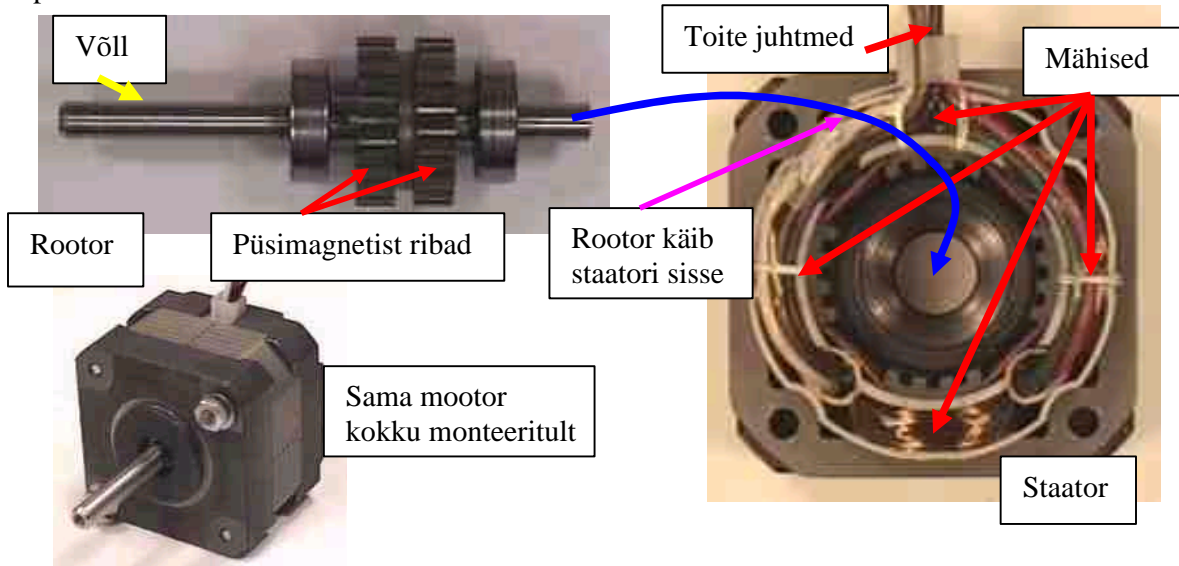
Sammootoreid, nagu nimigi ütleb, saab juhtida sammude kaupa, see võimaldab neid kasutada seal, kus on oluline täpne positsioon. Näiteks: kasutavad printerid sammootoreid tindi pea liigutamiseks (seal on oluline täpne positsioon, kuhu tindi pritsida). Sammootori asukohta arvestatakse enamasti elektriliste sammu signaalide järgi, ehk **asünkroonselt** (antakse sammu signaal ja oletatakse, et mootor liigub vastavalt – tegelikult pole see aga teada, kas liikumine ikka toimus). Sammootor harilikult ei sisalda tagasisidet st. kui mootor miskil põhjusel sammu teostada ei suutnud või viiakse ta jõuga oma õigest asendist välja, siis selle kohta informatsioon puudub (erinevalt servomootorist). Sammootor, nagu ka alalisvoolu mootor, võib lõputult pöörelda, tal ei ole reeglina mingeid piirajaid, erinevalt servomootorist (servo võib pöörduda 180deg ja tagasi).



## Kuidas sammootor töötab?

### Millest koosneb sammootor?

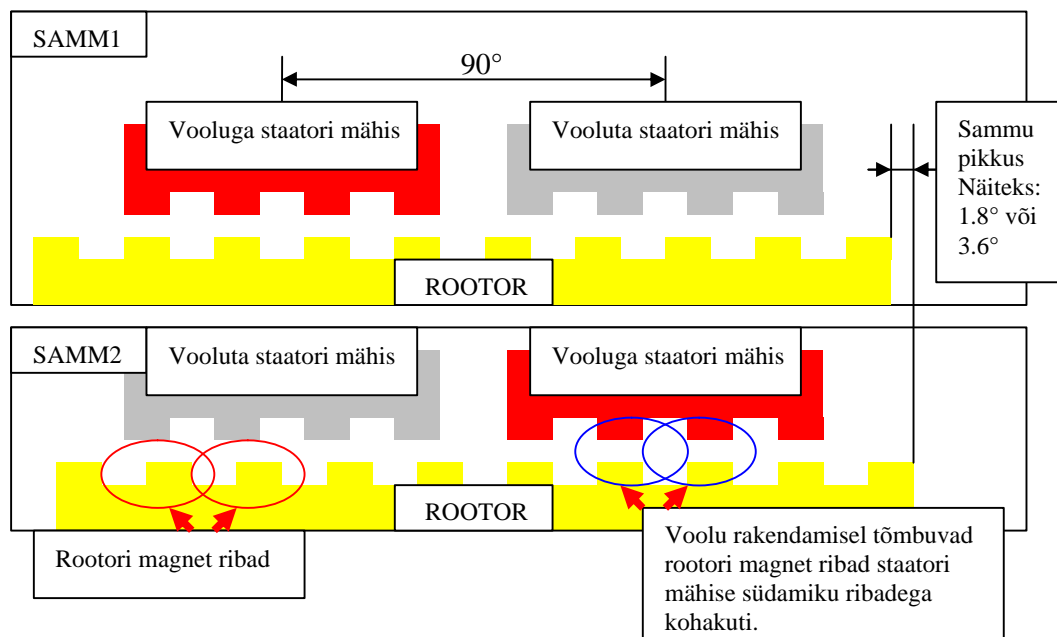
Peamised koostis osad on **rootor**, mis on mootori ainuke liikuv komponent. Rootori külge on kinnitatud püsिमagnetid ja otsad ulatuvad välja. Viimaste külge ühendatakse veo mehhanismid. Rootor asetseb omakorda **staatori** sees. Staator ise seisab paigal ja koosneb mähisest (harilikult 4 tükki), millest **voolu** läbi juhtimisel tekitatakse magnetväli, mis tõmbab rootori küljes olevaid püsिमagnetiteid, põhjustades nii rootori pöörlemist.



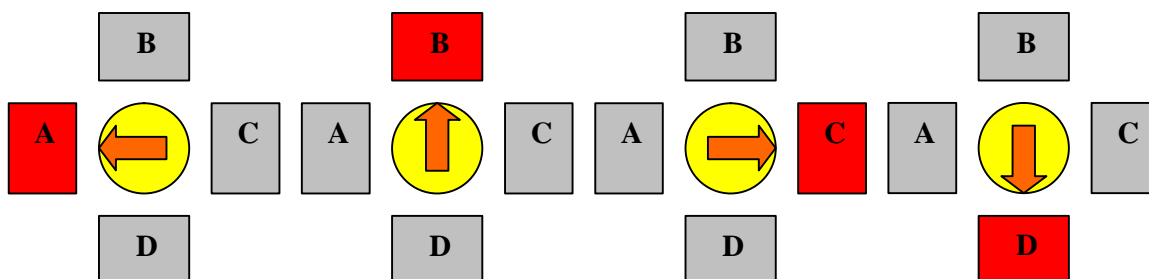


## Kuidas töötab?

Joonis sammootori töö põhimõtte seletamiseks. Joonise on tehtud lihtsuse huvides tasapinnaline, tegelikult on rootor ikkagi ümmargune ja staatori mähised paiknevad tema ümber 90° vahega.



Joonisel on toodud 2 järjestikust sammu illustreerimaks, kuidas toimub sammootoris rootori pööramine. Tegelikult koosneb sammootori töötsükkel neljast analoogilisest sammust, ehk igakord on vool lülitatud ühte mähisest. Mähiseid nii järjest sisse lülitades saadakse pööreline. Järgnev joonis illustreerib tervikliku sammootori töötsükli. Joonisel toodud nool ei tähenda mitte seda, et sammootori võll teeks ühe töötsükli st. 4 sammu juures 360°se täistiiru, vaid see on üldlevinud viis sammude tegemise printsiibi demonstreerimiseks (mudel)



## Sammootori juhtimisalgoritmid

**Sammootorit on võimalik keerata mõlemas suunas.** Vastassuunas keeramiseks tuleb samme teha vastupidises järjekorras.

Näide: Algoritm, mis keerab olekust A 3 sammu edasi ja siis 2 sammu tagasi

$A(0)-B(+1)-C(+2)-D(+3)-C(-1)-B(-2)$

Lisaks sellele on sammootorit juhtimiseks erinevaid meetodeid, millest mõned võimaldavad suuremat kiirust ja jõudud, teised aga väiksemat voolutarvet või täpsemat positsiooni. Väike ülevaade meetoditest.

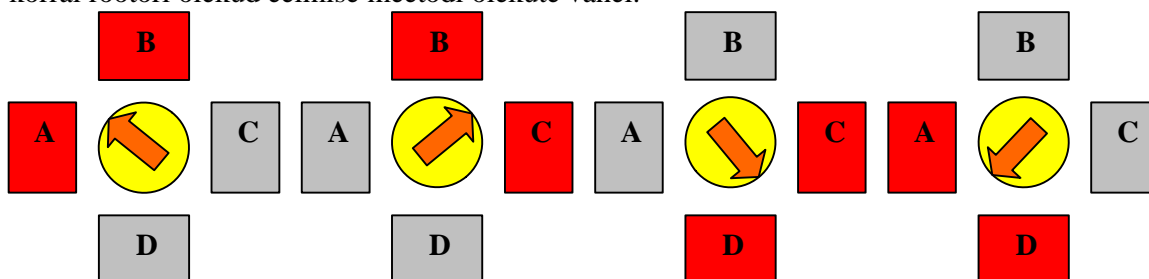


### Wave-format (laine meetod)

Seda meetodit illustreerib eelmisel lehel olev joonis. Mootori liigutamiseks rakendatakse vool järjest (...-A-B-C-D-...). Korraga on vool vaid **ühes mähises**, seega on see kõige väiksema voolutarbega meetod.

### Two-Phase (kahe mähisega)

Selle meetodi korral on vool korraga kahes **kõrvuti olevas mähises**. Mootori liigutamiseks rakendatakse vool järjest (...-AB-BC-CD-DA-...). See meetod on eelmisega võrreldes 2x suurema voolutarbega, kuid annab ka suuremat jõudu ja maksimaalset kiirust (kuigi mitte 2x). Nagu jooniselt võib näha, asuvad selle meetodi korral rootori olekud eelmise meetodi olekute vahel.



### Half-step (pool samm)

Selles meetodis on tegelikult ühendatud kaks eelmist, tehes vaheldumisi kummagi sammu. Nagu näha võib nii saada kahe sammu vahelise nurga poole väiksemaks, ehk **poole suuremat täpsust** mootori keeramises. Mootori liigutamiseks rakendatakse järjest (...-A-AB-B-BC-C-CD-D-DA-...) – kokku 8 sammu, ehk 2x rohkem.

### Micro-stepping (mikro sammud)

See on *half-step*iga sarnane meetod, kuid võimaldab tekitada veelgi rohkem sammu ja seega ka suuremat täpsust, kuid samas on ka keerulisem ja vajab eelmistest erinevat riistvara. Vt. Eri juhtimis meetodid

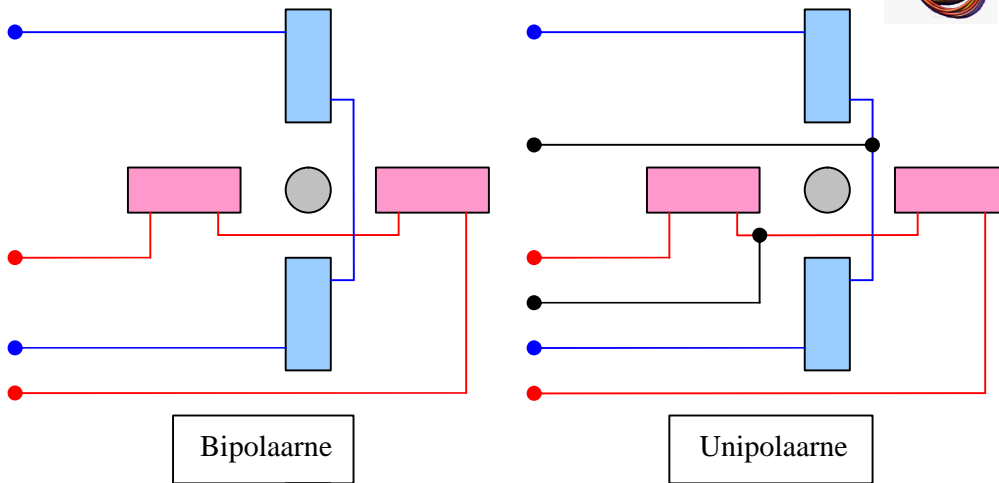
### Bipolaar ja unipolaar sammootor, mis on vahe?

Oma sisemiselt ehituselt on bipolaar ja unipolaar sammootor samasugused, erinevus on vaid mähiste üheduses ja selles kuidas neid juhitakse.

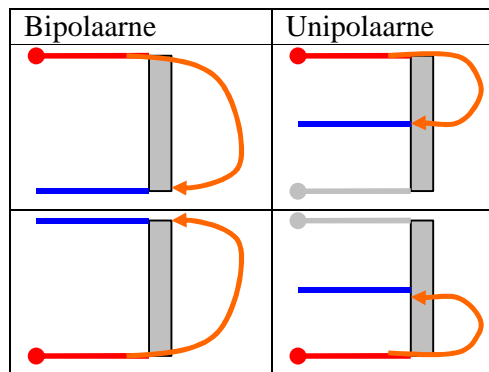
|                  | Bipolaarne    | Unipolaarne  |
|------------------|---------------|--------------|
| Toite pinge      | Kahe polaarne | Ühe polaarne |
| Ühendus juhtmeid | 4             | 6            |

Vaatame erinevust elektriskeemis

## Sammmotor



Samaväärsed ...



Nagu näha jooniselt on vaja bipolaarse sammootori korral vahetada polaarsust, mis on keerulisem, kui lihtsalt voolu välja lülitamine. Unipolaarse korral piisab aga ainult võimalusest voolu välja lülitada.

**Nagu lehekülje ülal olevalt jooniselt võib näha, saab unipolaarset sammootorit lihtsalt ühendada kui bipolaarset, vastupidi aga mitte !!!**



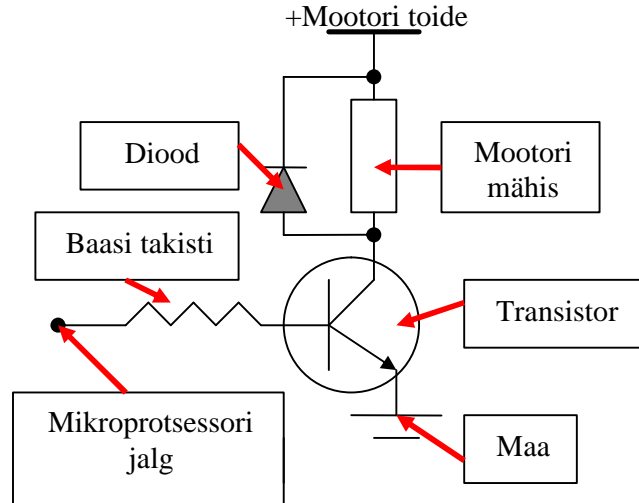
## Kuidas sammootor ühendada kontrolleri külge?

### Lihntne unipolaarse sammootori juhtimine transistor võtmetega

Unipolaarne mootor koosneb neljast mähisest, mida on vaja sisse ja välja lülitada. Kõige lihtsam ja odavam viis seda teha on kasutades transistore.

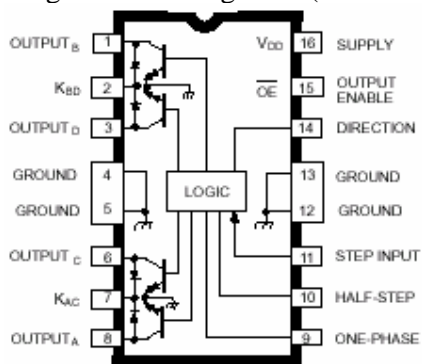
Iga mähise kohta tuleb teha selline ahel nagu näidatud joonisel. Olulised komponendid: **Baasi takisti** suurus **100-1000W** - sõltuvalt transistorist, mikroprotsessori pingest jne. **Diod** on tarvilik, kuna mähis omab suurt induktiivsust (induktiivsus takistab

voolu muutumist mähises, kui transistor muudab järsult voolu tugevust, siis see tekitab suure eneseinduktsioonpinge mähisel ja võib põhjustada transistori riknemist. Diod juhhib aga liig tugeva pinge impulsi ära, nii et see ei saaks kurja teha.). **Transistor (NPN)** toimib tüüritava lülitina, mille kaudu väike vool läbi **baasi** (mikrokontrollerist) põhjustab transistori avanemist ja suurt voolu läbi **kollektori**, mille küljes on mähis. Kõige parem oleks siin Darlington tüüpi transistor, millel on suur vooluvõimendus tegur  $\beta \sim 1000$ . Mikroprotsessori jala olekule 1 (+3V maa suhtes) vastab vool läbi mähise, olekule 0 (0V maa suhtes) aga voolu puudumine vastavas mähises. *Wave* tüüpi juhtimiseks oleks mikroprotsessorite jalgadele vaja anda 0001-0010-0100-1000-0001-...



### UCN5804 draiver unipolaarse sammootori juhtimiseks

UCN5804 on Allegro® poolt toodetav hästi lihtsalt kasutatav mikroskeem unipolaarse sammootori juhtimiseks. Sellele mikroskeemile ei anta ette mitte koodi, mis määrab ära millistes mähistes on vool, vaid sammu impulsid, suund kummale poole minna ning sammumisalgoritm (kas *wave*, *two-phase*, *half-step*)



Dwg. W-194

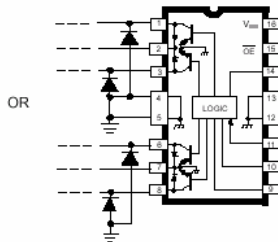
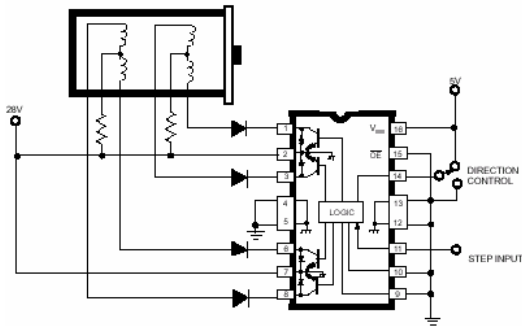
Tuleb silmas pidada, et sellel mikroskeemil võib olla kaks toitepinget üks on mootori oma (kuni 35V) rakendatud jalgadele **2, 7** ja teine loogika toitepinge (4.5-5.5V) rakendatud jalale **16**. Juhtimise sisendid on *output enable* (**OE**) (**15**), kui see jalg on kõrges olekus (1), siis on kõik transistorid suletud (voolu pole). *Direction* (**jalg 14**) määrab sammude tegemise suuna. *Step input* (**jalg 11**) - sammu tegemiseks tuleb sellele jalale anda impulss (0-1-0)

## Sammootor



Jalad 9, 10 määravad ära

L/R Stepper-Motor Drive



sammumisalgoritmi

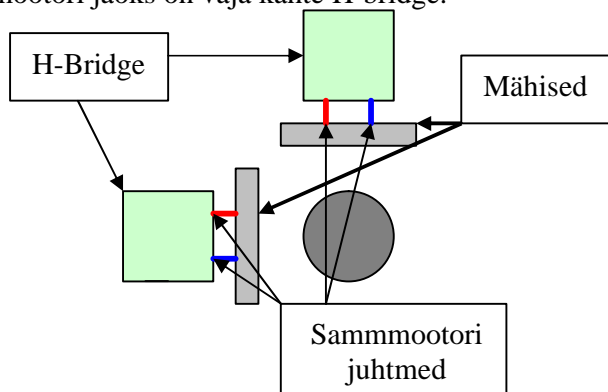
| 9 | 10 |                   |
|---|----|-------------------|
| 0 | 0  | <i>Two-phase</i>  |
| 1 | 0  | <i>Wave</i>       |
| 0 | 1  | <i>Half-step</i>  |
| 1 | 1  | Sammusid ei tehta |

Siin on antud paar sammootori ühendamis viisi. Väliseid diode tuleb ka siin kasutada.

UCN5804 sarnaseid sammootori juhtimismikroskeeme on veelgi.

### **H-Bridge'ga bipolaarse sammootori juhtimine**

H-Bridge on skeem, mis võimaldab vahetada polaarsust, see on hästi tüüpiline alalisvoolu (DC) mootorite juures – seal on polaarsuse muutmise vajalik mootori liikumise suuna muutmiseks. H-Bridge ehituse kohta on kirjutatud DC mootorite peatükis. Sammootori jaoks on vaja kahte H-bridge.



## Keerukamad meetodid kiiruse ja täpsuse tõstmiseks

### **Kiiruse tõstmine**

#### **Mis piirab sammootori kiirust?**

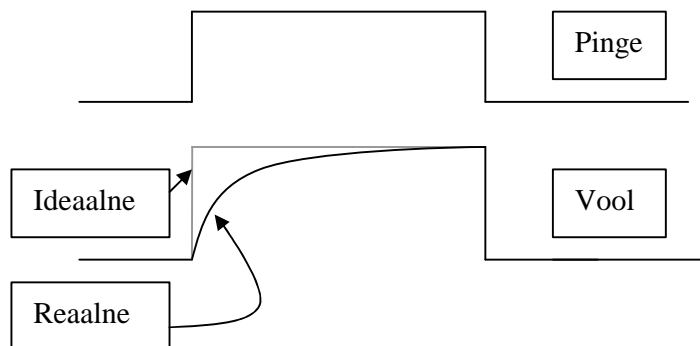
Kui kiirus kasvab aga jõumoment jääb samaks (kui jõumoment väheneks siis lõpuks ei jõuaks mootor enam pöörelda), siis lihtne mehhaanika valem ütleb, et ka võimsus kasvab.

Kuna kehtib energia jäävus peab ka elektriline võimsus kasvama, ehk pinge ja voolu korrutis. Voolu kasvu piirab mähise takistus ja mähise pöörlemisest indutseeritud





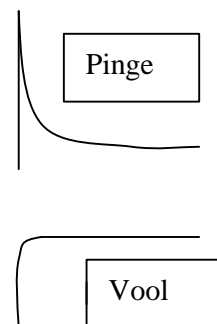
pinge, mis on vastupidine toite pingega, mida kiiremini mootor pöörleb seda suurem on see pinge, seega vool väheneb. **Pööramise jõu tekitab VOOL mitte pinge (Lorenzi jõud – juhis voolavaile laengukandjaile).** Seega ei jõua mootor enam ennast edasi keerata.



**Kuidas seda voolu suurendada?**

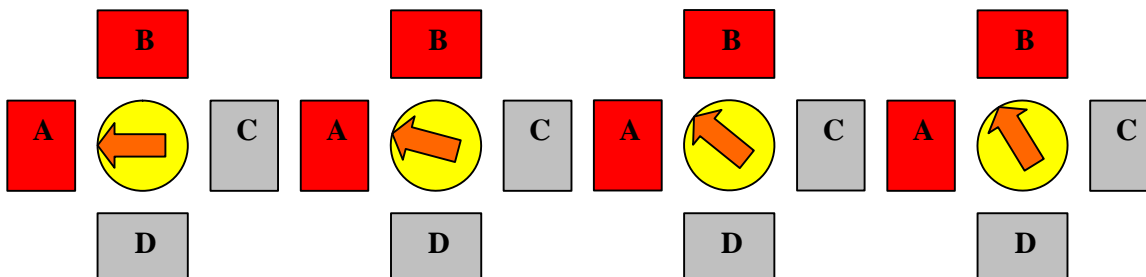
**Kas toitepinget võib tõsta?** Sellega peab olema väga ettevaatlik. Kuna kui teatud hetkel mootor ei pöörle – vastupinge kaob ära, siis kasvab vool ka suuremaks. Suurem vool põhjustab soojenemist ja mootori termilist läbipõlemist (**Mootori põletab läbi VOOL, mitte pinge**). Vool läbi mähise, kui takisti, tekitab selles soojust ( $P=I^2R$ )

**Spetsiaalsed driverid:** Osad paremad driverid ei anna mähistele mitte konstantset pinget, vaid konstantset voolu, pinge aga muutub pidevalt. Selle meetodi miinuseks on see, et voolu kiireks kasvaks on alguses vaja suurt pinget, mida on raske teha autonoomsete robotite korral. Sellist meetodit kasutatakse näiteks osades printerites, kus toitepinge on aga 40V.



**Täpsuse tõstmise**

Osad paremad driverid võimaldavad mitte ainult sisse ja välja lülitada voolu mähises, vaid ka valida erinevaid voolutugevusi mähises. Selliselt on võimalik tekitada rohkem samme, ja saada seega ka suuremat täpsust (Selliseid drivereid võib leida näiteks printeritest)



Joonisel on siis (I on vool)

1. A=I, B=0
2. A=I, B=I/2
3. A=I, B=I
4. A=I/2, B=I

Jne.

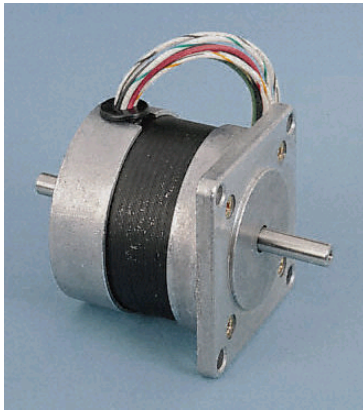
## Sammootor



Seega kui igas mähises oleks võimalik valida voolu tugevust kas I või I/2 siis saaksime tsüklilis 16 sammu. Mis on 4 korda rohkem, kui kõige lihtsamatel juhtudel ja 2x rohkem kui *Half-step*iga. Siit järeldub, et ka täpsus suureneb sama palju kordi.

## Sammootorid +/-

- + Võimaldavad täpselt valida distantsi ja kiirust, sobivad täppismasinatele
- Väike erivõimsus (oma suuruse ja kaalu kohta on nad nõrgad), ei sobi hästi roboti veomootoriks, servomootorist juhtida keerulisem, suur voolutarve.



## Näited sammootoritest

Toitepinge: **5V**  
Voolutarve: **0.5A**  
Mähise takistus: **10W**  
Mähise induktiivsus: **6mH**  
Keerav jõumoment: **5mNm**  
Hoidev jõumoment: **70mNm**  
Sammu (nurga) täpsus: **5%**  
Sammu nurk: **1.8°**  
Samme ühes täispöördes: **200**

*Fotod internetist*

<http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/kp4m4/>

jt.