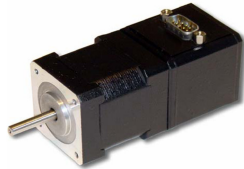


## Samm-mootoriga ajamid

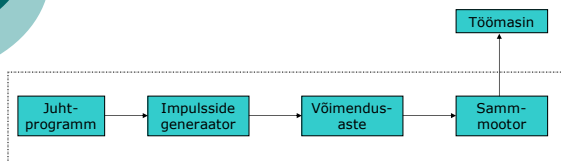
- Definiitsioon
- Omadused
- Rakendusala
- Ehitus
- Ühendusviisid
- Juhtimine
- Olulised näitajad
- Arvutusnäited



## Mis on samm-ajam?

- Samm-mootori rootor pöörab ennast vastavalt juhtseadmest saadud pingepulssidele.
- Otsene sõltuvus diskreetsete juhtsignaalide ja pöörlemise vahel.
- Igale juhtimpulsile vastab kindel pöörlemisnurk.
- Summaarne pöörlemine sõltub mootorile antud impulsside arvust.
- Puudub tagasiside vajadus.
- Kasutusel alates 1950ndatest aastatest, laialdasem kasutuselevõtt tänu DSP-de levikule.

## Samm-mootoriga ajami struktuur



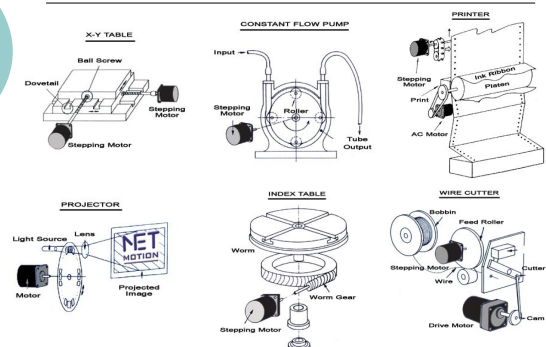
## Samm-mootorite omadused

- Andurivaba asendijuhtimine sammu täpsusega (avatud juhtimisahel).
- Digitaalne kiiruse ja asendi impulssjuhtimine.
- Kiirus võrdeline juhtimpulsside sagedusega.
- Sammuviiga ( $\pm 5\%$ ) pole kumulatiivne.
- Suur moment ka väikestel kiirustel.
- Lihtne ja soodsa hinnaga juhtelektroonika.
- Mootor arendab ise hoidemomenti – puudub mehaanilise piduri vajadus.
- Hea dünaamika.
- Blokeerumine ei kahjusta mähiseid.
- Pikk eluiga.

## Samm-ajamite kasutusala

- Maatriksprinterid.
- Plotterid.
- Kettaseadmed.
- Väikesed robotid (kuni 10 kg).
- Kvartskellad.
- CD mängijad.
- Sularahaautomaadid.
- ...
  - Võimsusteni kuni  $\sim 1$  kW.

## Samm-mootorite kasutusala [2]



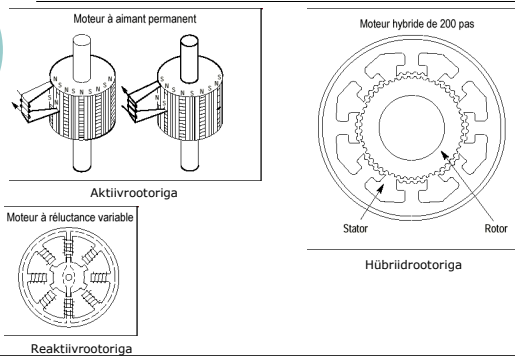
## Samm-ajami ülesanded

- Positioneerimine
  - 100 impulsiga pöörduv  $1,8^\circ$  sammunurgaga mootor täpselt  $180^\circ$ .
- Kiiruse reguleerimine
  - 1000 impulssi sekundis (1 kHz) annavad  $1,8^\circ$  mootorile kiiruseks täpselt 300 p/min.
    - $1000/360^\circ/1,8^\circ * 60 \text{ s} = 300 \text{ p/min}$

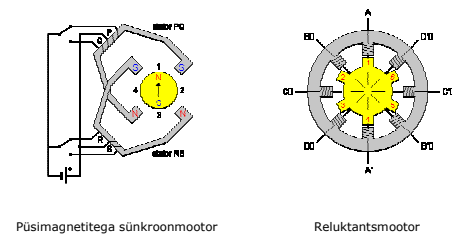
## Samm-mootori konstruktsioon

- Reluktantsmootorid (reaktiivrootoriga)
  - Rotor koosneb monoliitselt hammastega elektrotehnilisest terasest südamikust.
  - Rotor hakkab peale mootori mähiste pingestamist liikuma väiksema magnetilise takistuse suunas, st väikseima õhupiluni järgmise hamba ja mähise vahel.
- Püsimagnetmootorid (aktiivrootoriga)
  - Staator koosneb elektrotehnilisest terasest.
  - Rotoril vahelduvate poolustega püsimagnetid.
  - Rotor pannakse pöörlema staatoris tekitatava magnetvälja abil.
- Kombineeritud ehk hübriidmootorid.

## Konstruktsioonitüübid

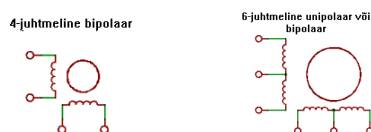


## Samm-mootori töö animatsioon



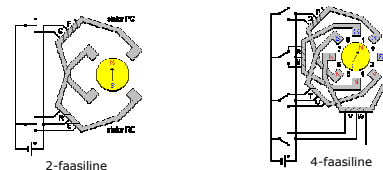
## Samm-mootorite ühendusviisid

- Bipolaarsel mootoril kaks mähist kokku 4 ühendusklemmiga.
- Unipolaarse mootori ehitus analoogne
  - Erinevus: mähiste keskel paiknevad lisaväljavõtted.



## Samm-mootorite ühendusviisid [2]

- Mootori pöörlemapanekuks tuleb mähised pingestada.
- Pingestades kumbastki mähisest ühe otsa, liigub rootor vaevumärgatava sammu võrra.
  - Sammu pikkus sõltub mootorist, enamasti on sammunurgaks  $1,8^\circ$ .
  - Sellise sammunurga puhul on täispöörde ( $360^\circ$ ) sooritamiseks vaja läbida 200 sammu.

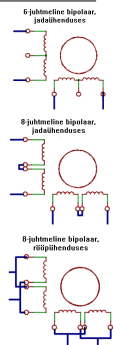


## Samm-mootorite ühendusviisid [3]

- Peale sammu sooritamist tuleb pinge anda järgmisele klemmikombinatsioonile.
  - Kombinatsioon on kokku 4, mille puhul ühendatakse 2-le klemmide positiivne potentsiaal ja 2-le ülejäänule 0 V.
  - 4-bitine juhtimine.
- Iga ümberpingestamisega pöörab rootor ennast ühe sammu võrra.
- Jättes mähised ümber lülitamata, säilitab pingestatud samm-mootor hoidemomendi, mis väldib rootori iseeneslikku liikumahakkamist väliste jõudude toimetel.

## Mähiste ühendamine

- Üks 1/2-mähis
  - Kasutatakse ainult 1/2 mähistest, mistõttu on ka hoidemoment väiksem kui muudel lülitustel.
  - Eelised ainult suurtel kiirustel.
- Jadaühendus
  - Väikese vooluga suur moment.
  - Kasutatav väikestel kiirustel.
- Rööpühendus
  - Suurim võimsus.
  - Püsiv moment ka suurtel kiirustel.
  - Suurem tarbitav vool.



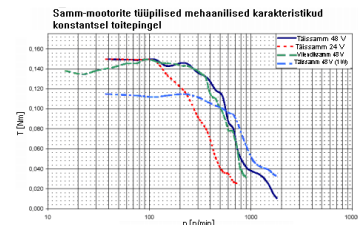
## Mähiste jada- ja rööpühendused

- Dokumentatsioonis antud andmed kehtivad 1/2- mähise kohta.
- Nimi-hoidemoment saavutatakse nimivoolul.
- Moment proportsionaalne vooluga.

Suurus	1/2 mähis	Jadaühendus	Rööpühendus
Takistus	R	2*R	R/2
Induktiivsus	L	4*L	L
Faasivool	I	I/√2	I*√2
Hoidemoment	T	T*√2	T*√2
Kiiruste diapason	Suured kiirused	Väikesed kiirused	Suured kiirused

## Mehaanilised karakteristikud

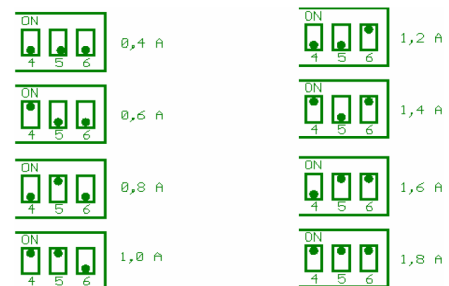
- Mähiste induktiivsus tekitab ümberlülitustel vastupinge  $L \cdot di/dt$ .
  - Tüüripulsside sageduse → kiiruse kasvades vool väheneb → moment ↓.



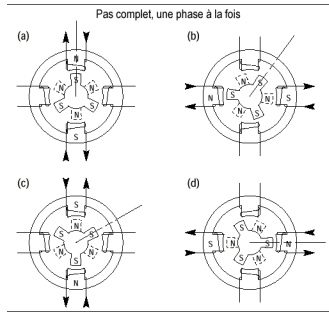
## Reguleerimine vooluga

- Tavaline viga: liiga palju tähelepanu nimipingele.
- Praktikas on oluline ettenähtud voolutugevuse hoidmine, millega tagatakse ettenähtud moment.
- Toide püsivooluallikatest, mis tagavad nõutud momendi suuremas kiiruste piirkonnas.
- $U_n = 12$  V mootori pinge võib voolu hoidmisel tõusta 30...40 voldini.

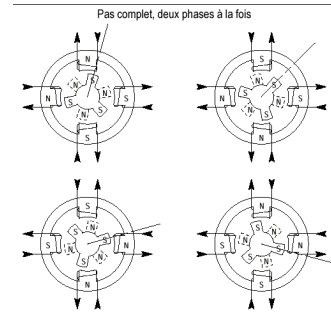
## Voolutugevuse valik mikrolülititega



## Täissamm: 1 faas korruga

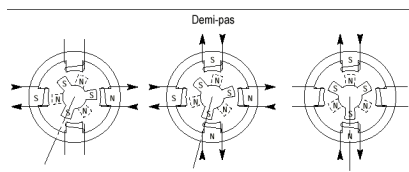


## Täissamm: 2 faasi korruga



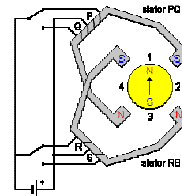
## Poolsamm

- Pingestatakse vaheldumisi 1 ja 2 mähist.
- Sammude arv suureneb 2x.



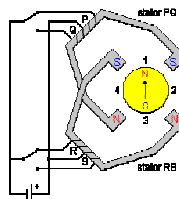
## Täissamm-talitlus

- Mähiste üheaegne pingestamine.
- Suurim moment.
- NB! Resonantsisagedused.



## Poolsamm-talitlus

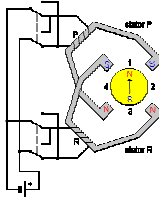
- Pingestamised: 2 mähist (faasi) – 1 mähis (faas) – 2 mähist (faasi).
- Faasivoolude geomeetrilisest summast (vektorite liitmine) → moment = 70,7% täissammutiltuse momendist.
  - Voolu automaatne kompenseerimine.



## Samm-ajami kontrollid

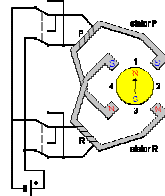
- 4 mähiseotsa pingestamiseks peab mikrokontroller väljastama 4-kohalise bitijada.
- Iga uue bitijadaga pöördub rootor ühe sammu võrra
- Pidev pöörlemine realiseeritakse tarkvaraliselt programmitsükliga, kus antakse ette sammude arv.

## Täissamm-talitluse arvjuhtimine



	Klemm P1	Klemm P2	Klemm R1	Klemm R2	#10
Samm 1	0	1	0	1	5
Samm 2	0	1	1	0	6
Samm 3	1	0	1	0	10
Samm 4	1	0	0	1	9

## Pool samm-talitluse arvjuhtimine



	Klemm P1	Klemm P2	Klemm R1	Klemm R2	#10
Samm 1	0	1	0	1	5
Samm 2	0	1	0	0	4
Samm 3	0	1	1	0	6
Samm 4	0	0	1	0	2
Samm 5	1	0	1	0	10
Samm 6	1	0	0	0	8
Samm 7	1	0	0	1	9
Samm 8	0	0	0	1	1

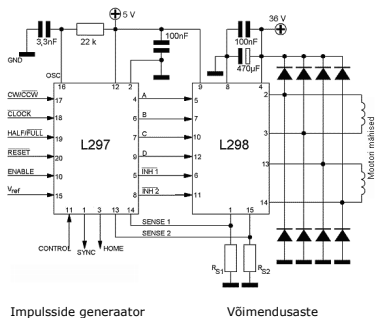
## Mikrosamm-talitlus

- Mähiseid juhitakse muutuva signaaliga.
- Arendatav pöördemoment võrreldes täissammu momendiga:
  - 1/4-samm: 55%.
  - 1/8-samm: 45%.
- Voolu automaatne suurendamine.
- Momendikarakteristikutel toodud tunnusjooned täis-, pool- ja viiendiksammutilitusel.
- Siinussignaaliga saavutatakse sujuvalt pöörlev staatori magnetväli → ühtlaselt pöörlev rootor.

## Sammupikkuse valik mikrolülititega



## Juhtimis skeemi näide



## Kuumenemine suurte kiirustel

- Mähiste aktiivtakistus → oomilised kaod.
- Übermagneetimis- ehk rauaskaod
  - $P_{Fe} \sim f^2$
- Lahendus: väiksem toitepinge
  - Oomiliste kadude osakaal ↓.
  - Ei saavutata täielikku momenti kogu kiirusdiapasoonis.
- Mootori eluiga sõltub temperatuurist.

## Seisva mootori voolu vähendamine

- Hoidemoment > pöördemoment.
  - Pöördemomendiga võrdne hoidemoment saavutatakse väiksema voolu juures.
- Kaovõimsus  $P_{Cu} = I^2R$ .
  - $I \downarrow 25\% \rightarrow P_{Cu} \downarrow 56\%$ .
  - Energiasääst.
  - Väiksem mootori ja juhtelektronika ületemperatuur.

## Resonantsid

- Rotoorile taandatud inertsimoment + magnetilised hoidejõud = võnkelüli.
  - Resonants, kui omavõnkesagedus = lülitussagedus.
  - Moment  $\downarrow$ .
  - Sammukadu.
  - Põõrlemissuuna iseeneslik muutus.
- Lahendused:
  - Mikrosamm-talitus.
  - Faasivoolu vähendamine.
  - Sammuageduse muutmine.
  - Tühijooksukoormuse suurendamine.

## Samm-mootorite põhinäitajad

- Hoidemoment
  - Hoidemoment on suurim moment, millega saab koormata **pingestatud** samm-mootori võlli, ilma et tema asend muutuks.
- Takistusmoment (staatiline hoidemoment)
  - Takistusmoment on suurim moment, millega saab koormata **pingestamata** samm-mootori võlli, ilma et tema asend muutuks.
- Piirmoment
  - Piirmoment on suurim moment, millega saab koormata samm-mootori võlli ilma sammukao tekkimise ohuta.

## Samm-mootorite põhinäitajad [2]

- Käivitus-peatumissagedus
  - Suurim sagedus, millega koormatud samm-mootorit võib käivitada ja peatada ilma sammukao tekkimise ohuta.
  - Sõltub peamiselt inertsimomendist ja ülekandemehhanismi omadustest.
- Suurim sammusagedus
  - Maksimaalne sagedus, millega juhtida samm-mootorit ilma sammukao tekkimise ohuta.
  - Reserv  $\sim 25\%$ .
  - Mida väiksem mootor, seda suurem võimalik sammusagedus.

## Samm-mootorite põhinäitajad [3]

- Kiirendus- ja pidurduskõverad
  - Sagedus kasvab või kahaneb tsükliliselt.
  - Optimaalne eksponetfuntsioon.
  - Praktikas lineaarsed või S-kõverad.
- Sammunurk
  - Juhtimpulsi andmisel läbitav pöördenurk.
  - 2-faasilistel mootoritel täissammu nurk reeglina  $1,8^\circ$ .

## Samm-mootorite põhinäitajad [4]

- Mikrosamm-talitus
  - Faaside voolu sujuv reguleerimine.
  - Väiksem resonants, täpsem positsioneerimine.
  - Sammuviiga  $\uparrow$ .
- Sammunurga täpsus ja sammuviga
  - Erinevus teoreetilise ja tegeliku rootori asendi vahel %-des.
  - Sammuviiga pole kumulatiivne.
- Sammukadu
  - Tekib piirkoormuse või maksimaalse sammusageduse ületamisel.

## Samm-mootorite põhinäitajad [5]

- Nimipinge
  - Pinge, mis tuleb anda seisvale samm-mootorile nimivoolu saavutamiseks.
  - Nimipinge ≠ pinge konstantse vooluga juhtimisel.
- Nimivool
  - $T \sim I$ ,  $P_{Cu} = I^2 R$ .
- Faasivool ehk mähise vool
  - Lubatav soojenemine konstantsel pingel ja peatunud mootori korral.
  - Nimetus sõltub mähiste ühendusviisist (jada- või rööpühendus).

## Arvutusnäide

- Pöördlaud  $m = 0,5 \text{ kg}$ ,  $d = 30 \text{ cm}$ ,  
 $\omega = 6,28 \text{ rad/s}$ 
  - $J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,15^2 = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$ .
  - Kiirendusaeg  $0,5 \text{ s}$  kiiruseni  $2\omega$ , pidurdus  $0,5 \text{ s}$  0-ni (kolmnurkprofiil).
  - Nurkkiirendus  $d\omega/dt = 25 \text{ rad/s}^2 \rightarrow T = J \cdot d\omega/dt = 0,14 \text{ Nm}$ .
  - Mootori võimsus  $P = T\omega = 0,14 \cdot 6,28 = 0,88 \text{ W}$ .