

3.2. Mootorid

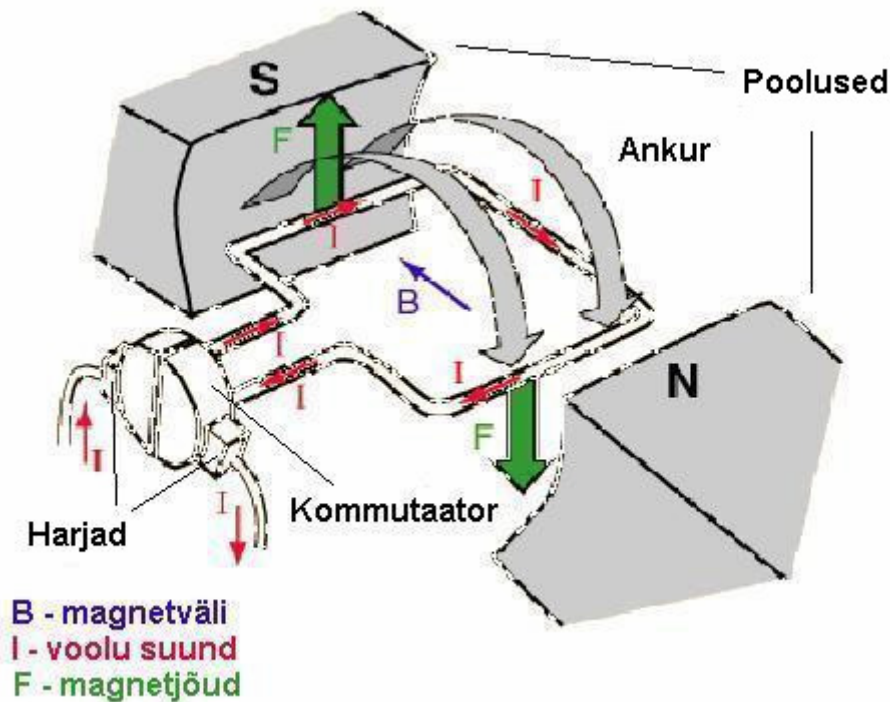
Järgnevalt on ülevaade viie mootori tüübi kohta. Täpsemalt on vaatluse all tööpõhimõte, juhtimine, plussid ja miinused ning kasutusala. See annab selgitava pildi, millist (milliseid) mootorit (mootoreid) peaks valima antud ülesande lahendamiseks.

3.2.1. Alalisvoolumootorid

Alalisvoolumootor on seade, mis muudab alalisvoolu energia mehaaniliseks pöörlevaks energiaks.

Tööpõhimõte

Alalisvoolumootori kui ka teist tüüpi mootorite juures on töötamise põhimõte järgmine: magnetväljas asuvale vooluga juhtmele mõjub jõud, mis paneb selle juhtme liikuma (vt ka joonist 2). Järgnev tööpõhimõtte kirjeldus on võetud Rain Lahtmetsa raamatust [6]. Alalisvoolumootori magnetväli tekitatakse poolustes elektrivooluga ergutusmähises või kasutatakse püsिमagnetites pooluseid. Seda masinaosa, kus luuakse magnetväli, nimetatakse induktoriks. Vooluga juhtmeks on mähis, mis paikneb elektrotehnilistest lehtterastest valmistatud rootori uures. Seda masinaosa nimetatakse ankruks ja mähist ankrumähiseks. Mähise pöörlemisel magnetväljas on juhtmekeerule mõjuva jõu suund sõltuv keeru asendist. Joonisel 6 on lihtsuse mõttes vaadeldud vaid ühte juhtmekeerdu. Et ankur pöörleks, tuleb iga poolpöörde järgi muuta voolu suunda poolis. Selleks on mootori võllil kommutaator, mis pöörleb koos ankrumähisega ja muudab voolu suunda. Kommutaator koosneb üksteisest isoleeritud lestadest ehk lamellidest. Ankrumähise pooliotsad on ühendatud lestadega. Vool juhatakse ankrumähisesse harjadega, mille vahel pöörlevad kommutaatorlestad. Harjad asuvad harjashoidlas, kus nad vedruga surutakse vastu kommutaatorilesti. Niiviisi muudetakse voolu suunda poolis.



Joonis 1. Alalisvoolumootori tööpõhimõte [7]

Juhtimine

Alalisvoolumootorit juhitakse pinget reguleerimisega. Kui tõstame mootorile antavat pinget, siis suureneb vool ankrus juhtmekeerduks. Kuna mootori pöördemoment on proportsionaalselt seotud juhtmekeerduks oleva pinget suurusega, siis tõuseb ka mootori kiirus. Sama toimib ka pinget vähendamisega. Pöörlemis-suuna muutmiseks on vaja muuta voolu suund kas ankrumähises või ergutusmähises. Polaarsuse muutmiseks masina klemmidel saab pöörlemis-suunda muuta ainult püsomagnetiga või sõltumatu ergutusega mootoril. Teistel tuleb muuta voolu suund kas ankrus- või ergutusmähisel. Alalisvoolumootorit ei tohi käivitada otse lülitamisega täispingele, kuna tekkiv käivitusvool on nimivoolust kuni paarkümmend korda suurem. Otsekäivitamine on mõeldav ainult madala pinget ja väikese mootori korral.

Plussid/Miinused

Plussid: Alalismootori suureks eeliseks on väga hea kontroll mootori pöördemomendi üle. See tagab omakorda hea kiiruse kontrolli nii kiirendamisel kui ka aeglustamisel. Lisaks on alalismootoriga parem lahendada haaramisseadeldiste jõukontrolli kui vahelduvvoolumootoriga.

Miinused: Alalisvoolumootor ei hoia nii stabiilselt ühtlast kiirust kui vahelduvvoolumootor.

Kasutusala

Kuna alalisvoolumootorid on gabariitidelt väiksemad ja massilt kergemad kui vahelduvvoolumootorid, siis kasutatakse neid palju erilahenduste juures, kus vahelduvvooluvõrku pole ligidal. Sellest tulenevalt on seda tunduvalt lihtsam kasutada ka mobiilsete seadmete juures nagu näiteks golfikäru või kaevandamisvarustus.

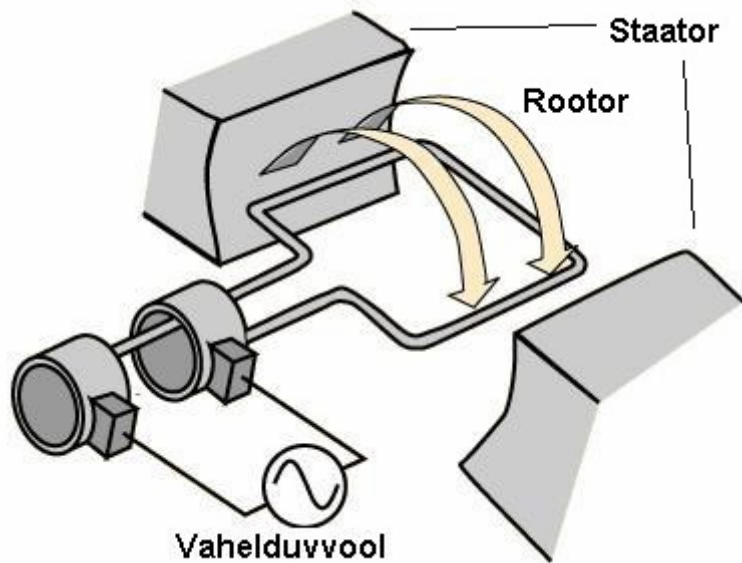
3.2.2. Vahelduvvoolumootorid

Vahelduvvoolumootor on seade, mis muudab vahelduvvoolu energia mehaaniliseks pöörlevaks energiaks. Tööpõhimõtte järgi jagatakse vahelduvvoolumootorid kaheks: sünkroon – ja asünkroonmootorid.

Tööpõhimõte

Sünkroonmootorid

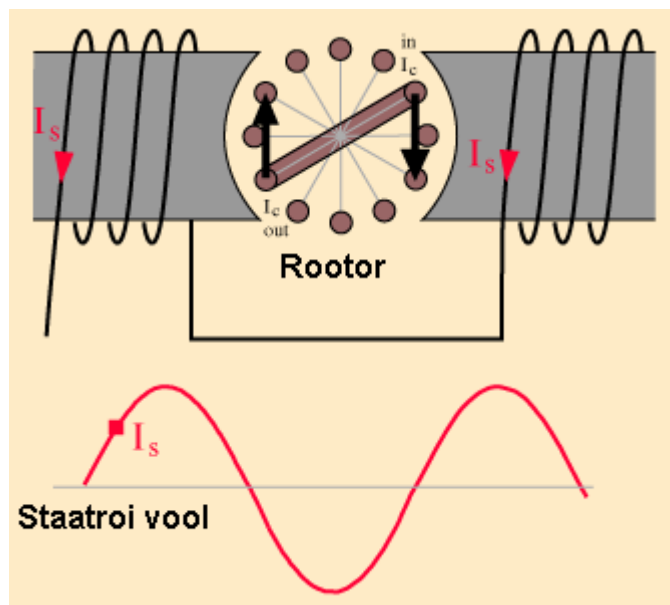
Tööpõhimõte on sarnane alalisvoolumootorile ainult, et rootoris tuleva alalisvoolu asemel on tegu vahelduvvooluga (joonis 3). Kuna vool on niigi vahelduv, siis siinsel juhul pole vaja eraldi voolu suundasid muuta rootoris asuvates juhtmekeerdues. Mootor liigub sujuvalt ainult voolu siinuselisel sagedusel.



Joonis 2. Sünkroonmootori tööpõhimõte [8]

Asünkroonmootorid

Tööpõhimõtte näitlikustamiseks on joonis 4. Tegu on induktsioonmootoriga, kus rootoris olevasse juhtmekeerdu indutseeritakse elektrivool. Selleks peab rootor pöörlema aeglasemini kui magnetväli. Viimane tekitatakse staatorimähisest läbiva vahelduvvoolu abil. Kui rootor pöörleks sama kiiresti kui staatori magnetväli, siis voolu rootoris ei indutseerita ning liikumapanevat jõudu ei teki. Staatorimähises loodava magnetvälja pöörlemiskiiruse ja rootori pöörlemiskiiruse erinevust iseloomustab libistus. Libistust võib vaadelda kui rootori suhtelist mahajäämust sünkroonkiirusega pöörlevast staatori magnetväljast. Rotor pöörleb mittesünkroonselt ehk asünkroonselt, millest ka mootori nimetus.



Joonis 3. Asünkroonmootori tööpõhimõte [9]

Plussid/Miinused

Plussid: Vahelduvvoolu mootoriga saab väga hästi hoida konstantset mootori kiirust. Lihtne mootori ehitus, madal hind ning suur varieeruvus erinevate ülesannet täitmiseks teeb asünkroonmootori enim levinud elektrienergiast mehaanilise energia saamise masina.

Miinused: Suur mootori ehitus ja küllaltki suur sõltuvus vahelduvvooluvõrgust muudavad vahelduvvoolumootori suhteliselt paikseks. Samuti on vahelduvvoolumootorit halb kiirendada või aeglustada. Sünkroonmootori üheks nõrgaks kohaks on ka pöörleva rootori kontakte läbiv suur vool. See kuumendab oluliselt rootori osi, mistõttu toimub suur soojakadu. Kõik see kokku mõjub negatiivselt mootori elueale. Omaette probleem on ka asünkroonse mootori käivitamisel algse pöörlemomendi saavutamine.

Juhtimine

Vahelduvvoolumootori juhtimine konstantsel kiirusel on lihtne, kuid probleeme tekib kiiruse muutmisega, kuna mootori kiirus on sõltuvuses toitevoolu siinuselise sagedusega. Sellest probleemist ülesaamiseks kasutatakse sagedusmuundurit. Mootori pöörlemissuuna muutmiseks tuleb klemmidel vahetada toitepingejuhtmed.

Kasutusala

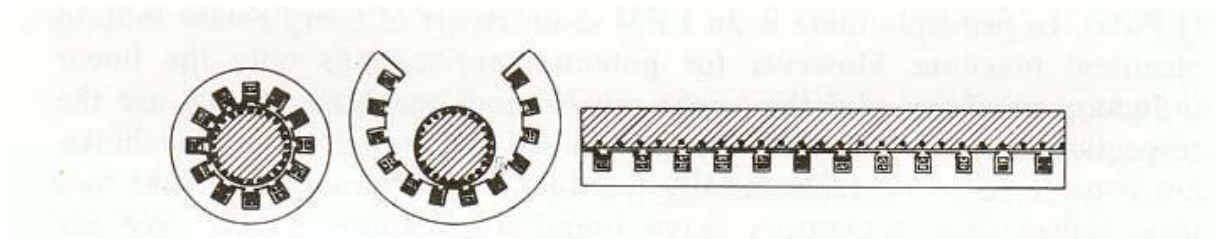
Sünkroonmootoreid kasutatakse suurte ventilaatorite, tsentrifugaalpumpade, kompressorite mootoritena. Asünkroonse mootori lihtne ehitus, madal hind ning suur varieeruvus erinevate ülesannet täitmiseks teeb vahelduvvoolumootorist ideaalse vahendi tööstuslike rakenduste realiseerimiseks.

3.2.3. Linearmootorid

Linearmootor on seade, mis muudab elektrienergia mehaaliseks piki sirgjoonelist trajektoori lükkavaks jõuks kogu oma pikkuse ulatuses. Linearmootori kirjeldus lähtub Brian Rhoney Chad Zimmer, Derek Murr materjalist [10].

Tööpõhimõte

Nagu joonis 5 näitab on linearmootor tegelikult laiali laotud pöörlev mootor. Staatorist on saanud jõu andja. Rotor on asendatud mähisega või magnetrööpaga. Linearmootor mitte ei tooda pöördemomenti silindris, vaid tekitab lineaarset jõudu pannes seadeldise mööda sirgjoonelist trajektoori liikuma. Tegelikult tekitatakse kaks vastastikku risti olevat jõudu. Üks on suunatud liikumissuunas ja teine on liikumissuunaga risti (liikumissuuna normaal). Viimane on kas tõmbe- või tõukejõuks staatori ja metallplaadi vahel olenevalt mootori lahendusest. Kaks enim levinumat mootori tüüpi on lineaarne sünkroonmootor ja lineaarne induktsioonmootor.



Joonis 4. Linearmootori saamine pöörlevast mootorist

Plussid/miinused

Plussid: Linearmootor on töökindel, kuna tal on vähe liikuvaid mehaanilisi osasid. Lisaks on tal ka kiire reageerimine, hea kiirendus ja pidurdus ning väga hea täpsus, kiirus ei sõltu hõõrdumisest.

Miinused: Linearmootorid teeb hinna poolest suhteliselt kalliks enamasti mootori ehituses kasutatav magnet. Samuti ei ole otstarbekas linearmootorit kasutada rakendustes, kus on vaja suurt veojõudu. Sageli on probleemiks ka kõrge temperatuur, mille reguleerimiseks on vaja paigaldada eraldi õhk- või vesijahuti.

Juhtimine

Igale võimalikule pöörlevale mootori tüübile on enamasti olemas sama tüüpi lineaarmootor. Seetõttu sõltub iga konkreetse linearmootori juhtimine tema tüübist.

Kasutusala

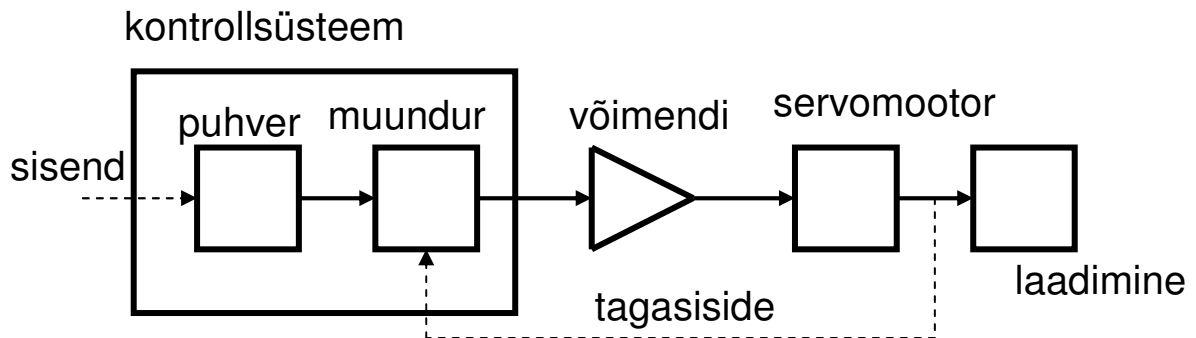
Linearmootorid on populaarsed lahendused tänapäeva automaatikaülesannetele. Neid kasutatakse seal, kus on vaja rakendada kindla trajektooriga lineaarset liikumist, näiteks liuguste, lõbustuspargi atraktsioonide või laboris katseseadmete liigutamiseks.

3.2.4. Servo

Servo on lühend tähistamaks servosüsteemi, kus lisaks servomootorile on ka tagasiside mootorilt, võimendi ja kontrollsüsteem.

Tööpõhimõte

Joonis 6 illustreerib servosüsteemi. Kui kontrollsüsteem tagab mootori juhtimiseks vajalikud juhtsignaalid, siis võimendi ja mootori abil toimub tegelik jõu rakendamine. Kontrollsüsteemi puhvrissse tuleb sisendsignaal. Puhver edastab muundurile seadesuuruse, mis määrab servomootori kiiruse. Samal ajal on muunduril mootorilt tagasiside, tänu millele saab teada mootori kiiruse. Muundur võrdleb seadesuurst hetkel tegeliku mootori kiirusega ja teeb rakendatavas juhtsignaalis korrekture, nii et seadesuurus ja tagasisidelt tulnud väärtus oleksid võrdsed. Võimendi on selleks et võimendada juhtsignaale, kuna viimased on liiga nõrgad, et mootorit otse juhtida. Servomootorid ise on tavalised alalisvoolu- või vahelduvvoolumootorid.



Joonis 5. Servosüsteemi kontseptsioon

Plussid/Miinused

Plussid: Positiivseks küljeks on kindlasti servosüsteemi mõõtmete ja võimsuse hea suhe, kusjuures suur võimsus ei takista servol olemast ülimalt täpne. Samuti on lihtne kiirust reguleerida, kusjuures servomootor ise töötab tunduvalt kiiremini kui samm-mootor.

Miinused: Tagasidestatusel tulenev lisa kontroll teeb servo kalliks võrreldes samm-mootoriga. Kui aga kasutada puhtalt servomootorit ilma tagasisideta, muutub mootori töö vägagi ebatäpseks.

Juhtimine

Servo juhtimine on lihtne, kuna vajab ainult nõrka juhtsignaali, et teostada kasutaja jaoks vajalikke operatsioone. Seetõttu on seda hea kasutada lahendustes, kus juhtsignaalid on digitaalsed. Arvestama peab asjaoluga, et genereeritavate impulsside kestvused on enamjaolt suurusjärgus 1-2 ms.

Kasutusala

Väga tihti kasutatakse servosid seal, kus on vaja teostada mehaanilist liikumist kaugjuhtimise teel, näiteks antennide ja radarite suuna muutmiseks. Kuna servo on oma võimsuse kohta ka täpne, siis kasutatakse seda tihti ka roolimisel, näiteks mudellennukite ja muude kaugjuhitavate masinate tüürimiseks.

3.2.5. Samm-mootorid

Samm-mootor on mootor, mis muudab elektrilised impulsid täpseteks mehaanilisteks liikumisteks.

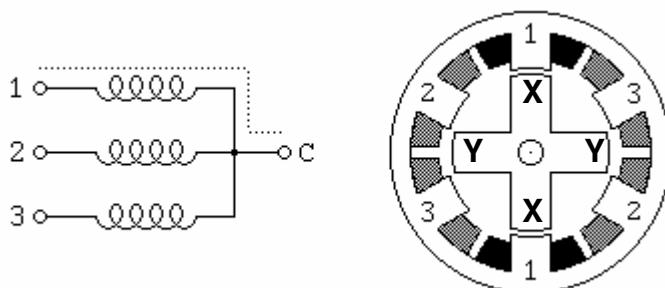
Tööpõhimõte ja juhtimine

Iga mootorisse tulev impulss sunnib mootorit pöörlema kindla sammu pikkuse võrra. See tagab ülima täpsuse. Samuti pole vaja kasutada mootori peatamiseks pidureid või midagi muud sarnast, kuna pöörlemine toimub samm haaval ja just nii kaua kuni on peale antavat voolu. Järgneva samm-mootorite põgusa ülevaate ja juhtimise selgitamiseks on aluseks võetud Iowa Ülikooli professori Douglas W. Jonesi materjal [11]. Samuti pärinevad viimasest ka viitamata illustreeritud joonised.

Samm-mootorid jagunevad laias laastus kaheks: muutuva magnetvälja tugevusega mootorid (variable reluctance motor) ja püsिमagnetiga mootorid (permanent magnet motor).

Muutuva magnetvälja tugevusega mootor

Rooror on mittemagnetiline ja hammastega ning staatori iga vastaspooluse (näiteks joonisel 7 number ühega tähistatud) ümber on keeratud üks mähis. Kui viimast alalisvooluga pingestada, siis tekivad magnetväljad pooluste ümber. Mootori mähised on ühendatud nagu näidatud joonisel 7.



Joonis 6. Muutuva magnetvälja tugevusega mootori illustreeritud üldskeem

Ühine juhe ühendatakse vooluringi positiivse poole peale ja kolme mähist pingestatakse soovitud sagedusega, nii et mootor hakkaks sobivalt tööle. Joonisel 7 on toodud mootori ristlambilõige, kus roooril on 4 hammast ja staatoril 6 poolust, mis tähendab, et ühe sammuga toimub 30-kraadine pööre. Kui pingestada number ühega tähistatud staatori poolustel asuvat

mähist, siis poolustes tekkinud magnetväli tõmbab enda poole rootori hambaid X. Kui nüüd 1. mähiselt võtta vool ära ja pingestada 2. mähis, siis toimub 30 kraadine rootori pööre kellaosuti liikumissuunas, kuna poolused 2 tõmbavad enda poole rootori hambad Y. Et mootor käiks pidevalt, on vaja sobivas järjestuses mähiseid kõige pealt vooluringi ning pärast sealt lahti ühendada. Järgnevalt on toodud illustreeriv näide, kuidas voolu peale andes („1“) ja ära võttes („0“) saab mootorit juhtida.

Mähis 1 1001001001001001001001001001

Mähis 2 0100100100100100100100100100

Mähis 3 0010010010010010010010010010

aeg --->

Joonisel 7 toodud mootor on ainult 30 kraadise sammuga. Kui suurendada rootori hammaste arvu ja staatori pooluste arvu, saab mootori pöörlema panna väiksemate sammudega.

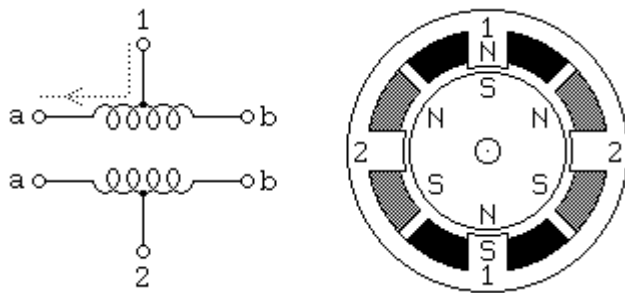
Püsimagnetiga mootor

Mootori rootor on püsimagnetist, millest ka nimetus. Sellele tüübile on iseloomulik suhteliselt madal kiirus kui ka pöördemoment, samas on sammud suured (45° või 90°). Lihtne konstruktsioon ja madal hind teevad sellest hea kaubaartikli tavaelus kasutatavate väikest võimsust vajavatele seadmetele.

Püsimagnetiga mootorid jagunevad omakorda kaheks:

a) Ühepooluseline mootor

Joonisel 8 vasakul on toodud ühepooluselise mootori mähiste ühendusskeem, mille omapära on see, et staatori pooluste ümber asuvatele mähistele tuuakse juurde eraldi ühendused (joonisel 8 punktid 1 ja 2). Neid ühendatakse vooluringi positiivsele poolele vaheldumisi. Mähiste otsad a ja b aga ühendatakse vooluringi negatiivsele poolele ning nende abil toimub mootori suuna muutmine.



Joonis 7. Ühepooluseline püsimagnetiga mootor illustreeritud üldskeem

Vooluringi puhul läbi punktide 1 ja a on staatori poolused laetud nagu näha joonisel 8. Kui nüüd pingestada mähise otsad nii, et tekiks vooluring läbi punktide 2 ja a, siis toimub mootori pööre kellaosuti suunas 30 kraadi. Mootori pidevaks käimiseks oleks vaja järgmist bitijada (kasutusel positiivne loogika):

```

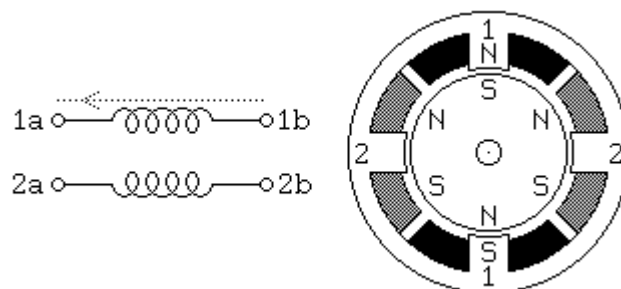
Mähis 1a 1000100010001000100010001
Mähis 1b 0010001000100010001000100
Mähis 2a 0100010001000100010001000
Mähis 2b 0001000100010001000100010
          aeg --->

```

Nagu võib tähele panna, ei ühendata ühe mähise mõlemat otsa a ja b kunagi korraga vooluringi.

b)Kahepooluseline mootor

Jooniselt 9 toodud kahepooluselise mootori ainuke erinevus ühepooluselisega on see, et mähistel ei ole lisäühendusi, mis teeb konstruktsiooni lihtsamaks. See-eest juhtimine on natuke keerulisem, kuna tuleb muuta staatori magnetilisi poolusi. Selleks tuleb iga mähis ühendada H-sillaga (H -bridge), mis lubab kontrollida mähise otstele antavaid polaarsusi



üksteisest sõltumatult.

Joonis 8. Kahepooluselise mootori illustreeritud üldskeem

Juhtimisjada on selle mootori jaoks identne ühepooluselise omaga, ainult et nüüd kasutab terminali otstele antava voolu polaarsusi plussi ja miinust:

Terminal 1a +---+---+---+---

Terminal 1b --+---+---+---+---

Terminal 2a -+---+---+---+---

Terminal 2b ---+---+---+---+

Üldjuhul on H-sillal üks sisend, mis juhib mootorile peale antavat pinget, ja teine, mis määrab ära voolu suuna. Kui nüüd kasutada mõlema mähise jaoks ühte H-silda, siis samm-mootori juhtimise bitijada oleks järgmine (kasutusel positiivne loogika ning x tähistab suvalist olekut):

Enable 1 1010101010101010

Direction 1 1x0x1x0x1x0x1x0x

Enable 2 0101010101010101

Direction 2 x1x0x1x0x1x0x1x0

Plussid/Miinused

Plussid: Samm-mootor säilitab hea liikumistäpsuse kui ka stabiilsuse, hoolimata avatud juhtimisest. See asjaolu teeb samm-mootoriga lahendatavad rakendused hinna poolest odavaks. Samuti on samm-mootorit hea kasutada lahendustes, kus juhtisignaalid on digitaalsed.

Miinused: Samm-mootorit on raske kasutada lahendustes, kus mootori rakendusjõud peavad suuresti varieeruma. Peale selle muudab mootori juhtimise keeruliseks impulsside vahelejäämise oht, mistõttu ei tea mootori täpset asendit. Probleem seisneb selles, et samm-mootori rootorit saab soovitud suunas edasi liigutada ainult ühe juhtkombinatsiooniga neljast võimalikust. Lisaks eelnevale on samm-mootor ka suhteliselt suure vibratsiooniga.

Kasutusala

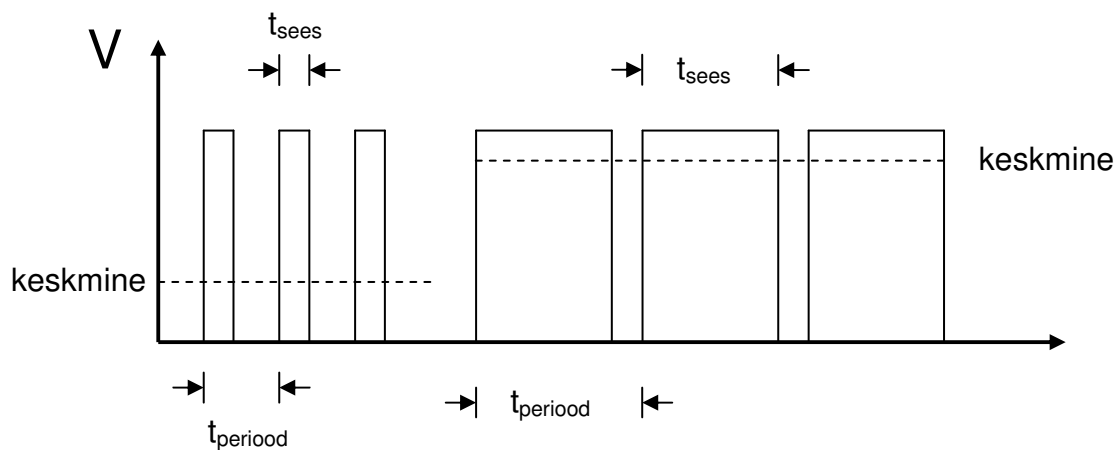
Tänu oma täpsusele kasutatakse samm-mootoreid rakendustes, kus pole vaja suurt jõudu, vaid täpset juhtimist, näiteks flopiketta juhtmootor.

3.3. Mootorite juhtimise liidesed

Antud peatükis antakse põgus ülevaade alalisvoolumootori ja samm-mootori juhtimise liidestest. Neid on väga palju erinevaid tüüpe, nii et eesmärgiks pole kõiki tutvustada, vaid anda lugejale mingi pilt neist. Mootori juhtimise liidese näol on tegu vahelüliliga, mille abil saab juhtsignaali abil mootori soovitud kujul tööle.

3.3.1. Alalisvoolumootori juhtimise liidesed

Alalisvoolumootorite juhtimiseks pole vaja tegelikult eraldi liidest, kuna mootori kiirus sõltub otseselt klemmidele antava pinge suuruselt. Kuid probleem tekib siis, kui on vajadus sujuvalt mootori kiiruse muutmiseks. Selle probleemi lahendamiseks pole vaja muud kui võimendit, mille abil saab juhtsignaali reguleerides määrata vajaliku pinge suuruse mootori klemmidel. Üks levinumaid meetodeid pinge suuruse reguleerimiseks on impulsi laius modulatsioon (Pulse width modulation - PWM). Idee seisneb selles (vt joonis 10), et konstantsete amplituutidega impulsside jada annab kindla pinge nivoo. Selle suurus sõltub täielikult impulsside esinemissagedusest ja kestvusest. Mida rohkem impulsse genereerida kindlas ajaühikus või mida pikemad on ajaliselt impulsside kestvused võrreldes mittekestvusega, seda suurem on keskmine pinge nivoo. Füüsilise realisatsiooni poolest annab alalismootorit juhtida ka H-silla abil, millest tuleb lähemalt juttu järgmises peatükis 3.3.2. Idee seisneb digitaalse signaali allika, näiteks PC, abil PWM tekitamises H-silla juhtimiseks, mis juba lähtuvalt signaalist juhib mootori klemmidele peale antavat voolu.

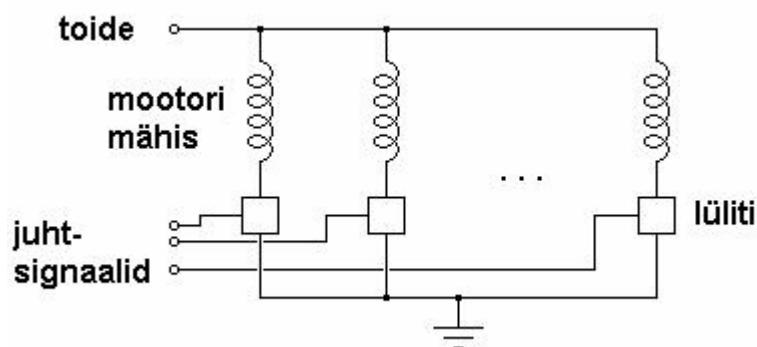


Joonis 9. Impulsi laius modulatsioon

3.3.2. Samm-mootori juhtimise liidesed

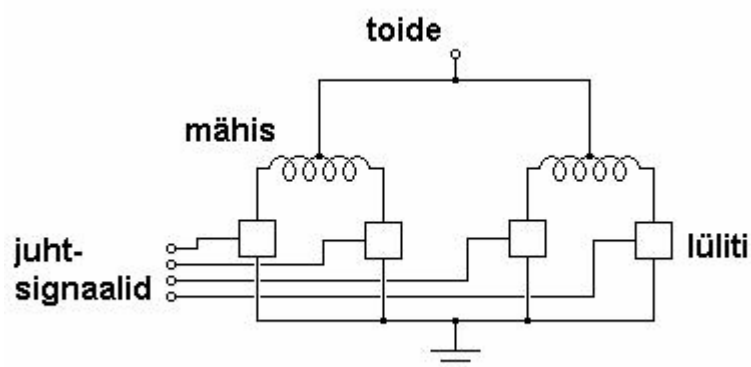
Samm-mootori juhtimine sõltub konkreetselt tema tüübist. Järgnevad mootori juhtimise liideste kirjeldused ja joonised lähtuvad eelpool mainitud Iowa Ülikooli professori Douglas W. Jonesi materjalist [12].

Muutuva magnetvälja tugevusega samm-mootori puhul on vaja lüliteid, mille abil sõltuvalt juhtsignaalidest saab vooluringi tekitada või katkestada mähises (vt ka joonis 11). Siinkohal jätan vajaduse puudumisel lüliti täpsema ehituse kirjeldamata, mida aga võib leida viidatud allikast. Antud juhul kasutatakse väga tihti juhtsignaalide genereerimiseks arvutit või programmeeritavat kontrolleri.



Joonis 10. Muutuva magnetvälja tugevusega samm-mootori juhtimise liides

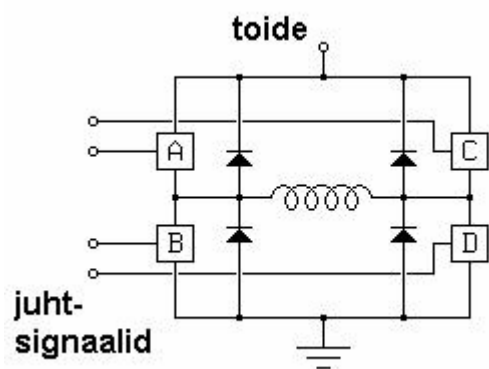
Ühepooluselise ja püsिमagnetiga samm-mootori puhul kasutatakse järgnevat liidest nagu joonisel 12. Nagu näha ei erine ta väga palju eelnevast, lihtsalt mähiste paigutus mootoritel tingib erineva füüsilise realisatsiooni.



Joonis 11. Ühepooluselise ja püsिमagnetilise samm-mootori juhtimise liides

Mõlema eelneva joonise puhul on tegu skeemiga, kus on induktiivseid elemente. See tähendab, et vool mähises ei kao kohe kui tema otste pingestamine on lõpetatud. See seab ohtu lülitid, ning seetõttu võib kasutada kondesaatoreid või diode mähiste sildamiseks.

Kui eelnevad olid suhteliselt lihtsad liidesed, siis kahepooluselise samm-mootori juhtimiseks on vaja midagi keerulisemat, kuna mähise otsi on vaja erinevalt pingestada. Selleks kasutatakse iga mähise jaoks H-silda, mille lihtsustatud skeem on joonisel 13. Dioidid on skeemis lülitite kaitseks lühikeste pingekõikumiste eest. Lülitite A ja D sulgemisel toimib vooluring läbi mähise ühte pidi, kui aga sulgeda ainult C ja B lülitid, siis teistpidi. Sellega ongi saavutatud mähise otste erinev pingestatus.



Joonis 12. H-silla illustreeritud skeem

