

# 11 SÄHKÖMOOTTORIKÄYTÖT

*Heikki Tuusa*

Suomessa kulutetaan vuosittain noin 70 TWh sähköenergiaa. Teollisuuden käyttämä osuus tästä on yli puolet, josta taas yli 70% muunnetaan erilaisilla sähkömoottorikäyttöillä edelleen mekaaniseksi energiaksi.

Teollisuuden yleisin sähkömoottorityyppi on oikosulkumoottori, joka vielä nykyään on useimmiten kytketty suoraan syöttävään sähköverkkoon ja pyörii näin likipitään vakionopeudella. Moottorin ja prosessin pyörimisnopeudet voidaan sovittaa tarvittaessa toisiinsa käyttäen vakio välityssuhteen omaavaa kiinteää vaihdetta. Tyypillisesti tällaisia käyttäjiä ovat pumppu- ja puhallinkäytöt sekä erilaiset kuljettimet. Mikäli tarvitaan kahta melko kiinteää pyörimisnopeutta, voidaan oikosulkukone varustaa esimerkiksi kaksilla eri napapariluvun omaavilla staattorikäymyksillä.

Liukurengaskonetta käytetään kohteissa, joissa tarvitaan suurta käynnistysmomenttia tai joissa koneen kippijättämän on oltava suuri. Edellisestä esimerkkinä voidaan mainita nosturikäytöt ja jälkimmäisestä murskaimet, joissa hetkellinen tehon tarve ylittää moninkertaisesti käytön keskimääräisen tehon. Liukurengaskoneen uusimpia käyttökohteita ovat tuulivoimageneraattorikäytöt, joissa säädetyllä roottorivastuksella varustettu kone sallii suoraan verkkoon kytkettynäkin kohtuulliset pyörimisnopeuden muutokset ja mahdollistaa näin puuskittaisen tuulienergian paremman hyödyntämisen.

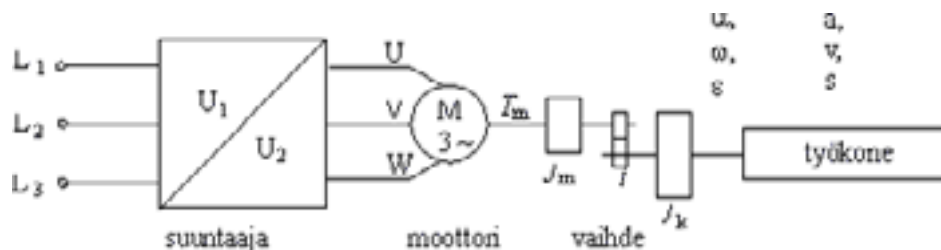
Tahtikone on tyypillisesti isojen, megawattiluokan käyttöjen sähkökone. Erillisen magnetoinnin ansiosta sen hyötysuhde on hiukan oikosulkumoottoria parempi ja toisaalla joissakin tapauksissa sitä voidaan mekaanisen tehon tuottamisen ohella käyttää myös laitoksen loistehon kompensointiin.

Useimmiten, kun sähkökone pyörii vakionopeudella, joudutaan prosessin mahdollinen säätäminen tekemään keinoilla, jotka eivät ole energiataloudellisia. Tyypillinen esimerkki on pumppukäyttö, jossa virtausmäärää pienennettäessä koneen pyörimisnopeuden säädön sijasta virtausta kuristetaan säätöventtiilillä. Toisaalta monessa prosessissa moottorikäyttöjen tarkka pyörimisnopeuden säätö kasvattaa merkittävästi prosessin tuottavuutta. Esimerkkinä voidaan mainita uudet paperikoneet, joiden ratanopeudet lähestyvät arvoa 2 km/min. Säädön tuomien etujen vuoksi säädettyjen moottorikäyttöjen osuus uusista käytöistä kasvaakin lähes 10%:n vuosivauhdilla. Merkittävänä tekijänä voidaan pitää myös tehoelektronikan viimeaikaista nopeaa kehitystä ja sen mahdollistamaa säädettyjen käyttöjen hintojen suhteellista halpenemista ja käyttöjen luotettavuuden parantumista.

## 11.1 Säädettävien moottorikäyttöjen rakenne

Säädetty moottorikäyttö rakentuu tavallisesti kuvan 11.1 mukaisesti varsinaisen moottorin lisäksi tehoelektronikalla toteutetusta, kolmivaiheverkkoon liitetystä, moottoria syöttävästä suuntaajalaitteesta, mahdollisesta moottorin ja työkoneen välisestä vaihteesta sekä itse työkoneesta ja siihen liittyvästä prosessista. Tyypillisiä säädettäviä

suureita prosessissa ovat koneen kehittämä momentti  $T_m$ , kiihtyvyydet  $a$  tai  $\alpha$ , lineaarisen liikkeen nopeus  $v$  tai pyörimisnopeus  $\omega$  sekä paikka  $s$  tai akselin asentokulma  $\varepsilon$ . Moottorin ja prosessin hitausmassat vaikuttavat myös oleellisesti säädön toteutukseen. Hyvä esimerkki vaativasta säädetyistä moottorikäytöstä on suurnopeushissikäyttö, joka on tarkoitettu henkilökuljetukseen ja jonka nousunopeudet saattavat ylittää 10 m/s ja joka on paikannettava miellyttävästi, mutta samalla mahdollisimman nopeasti ja tarkasti, halutulle kerrosta-asteelle.



Kuva 11.1 Sähkömoottorikäytön periaatteellinen rakenne ja siihen yleensä liittyvät säädettävät suureet.

Säädetyissä sähkömoottorikäytöissä prosessiin vaikutetaan säätämällä ensisijaisesti koneen kehittämää vääntömomenttia. Koneen kehittämä momentti on taas konetyypistä riippumatta verrannollinen koneen teholliseen vuohon ja pätövirran suuruuteen, joita voidaan säätää konetta syöttävällä suuntaajalla. Esimerkiksi tasavirtakoneen kehittämä momentti on suoraan verrannollinen magnetointipiirin virran synnyttävän vuon ja ankkurivirran tuloon. Koneen akselin kulmakiiktyvyys taas riippuu yhtälön 11.1 mukaisesti koneen kehittämän momentin  $T_m$  ja kuormamomentin  $T_k$  erosta ja käytön kokonaishitautsmomentista  $J$ . Koneen kulmanopeus riippuu kulmakiiktyvyydestä yhtälön 11.2 mukaisesti ja akselin asentokulma edelleen kulmanopeudesta yhtälön 11.3 mukaisesti.

$$(11.1) \quad \alpha = \frac{(T_m - T_k)}{J}$$

$$(11.2) \quad \omega = \omega_0 + \int_{t_0}^t \alpha dt$$

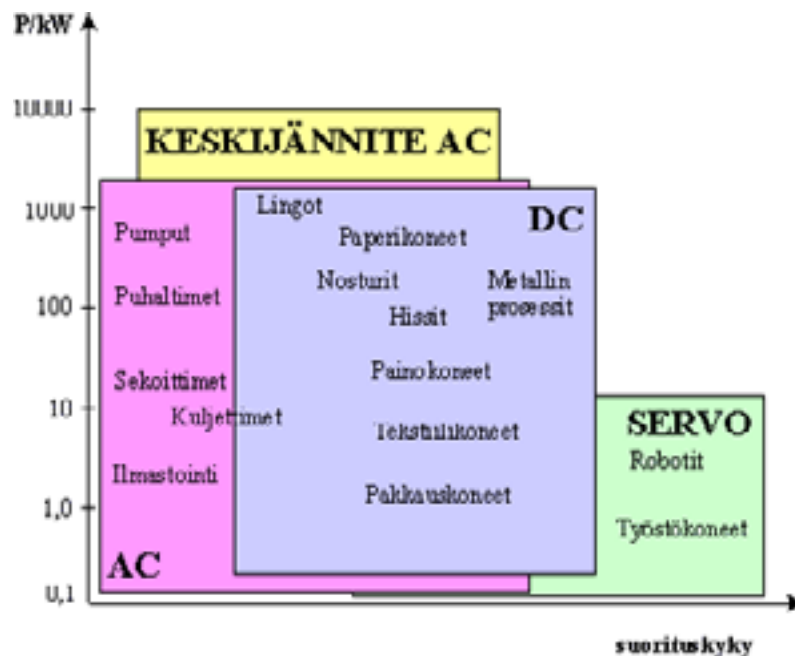
$$(11.3) \quad \varepsilon = \varepsilon_0 + \int_{t_0}^t \omega dt$$

Toisin sanoen suuntaajan syöttämällä virroilla voidaan vaikuttaa sähkökoneen kehittämään momenttiin, momentilla kulmakiiktyvyyteen, kulmakiiktyvyydellä moottorin ja edelleen prosessin nopeuteen ja nopeudella viimein halutun paikan säätöön. Säädön onnistumisella onkin sitä paremmat mahdollisuudet, mitä tarkemmin koneen momentin ohjaus voidaan toteuttaa.

Aikaisemmin tarkkaa nopeudensäätöä vaativat moottorikäytöt toteutettiin pääsääntöisesti käyttäen tasavirtamoottoria ja sitä syöttävää, säädettävää tyristoritasasuuntaajaa. Käytön

suosio on perustunut juuri helposti toteutettavaan tarkkaan momentin säätöön. Tasavirtakoneen rakenne ei kuitenkaan sovellu parhaalla mahdollisella tavalla teollisuusolosuhteisiin; sen kommutaattoria on säännöllisesti puhdistettava, jäähtytystapansa ansiosta kone on rakenteeltaan avoin eikä sitä sellaisenaan ole turvallista käyttää esimerkiksi räjähdysvaarallisissa tiloissa.

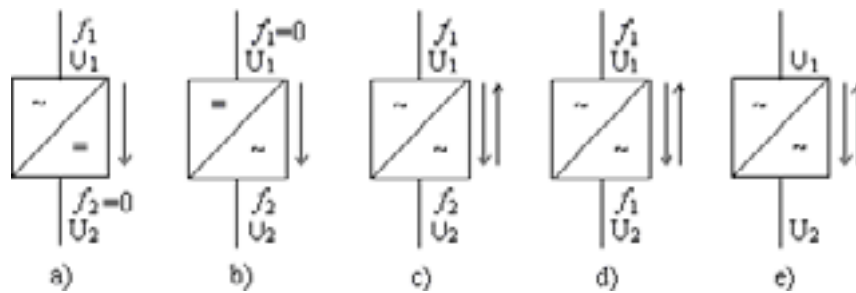
Koska oikosulkumoottori on rakenteeltaan suljettu, yksinkertainen ja luotettava, ovat säädetyt oikosulkumoottorikäytöt kehittyessään syrjäyttäneet tasavirtamoottorikäyttöjä yhä vaativimmissa sovelluskohteissa. Tällä hetkellä oikosulkumoottorikäytön säätöominaisuudet ovat lähes tasavirtamoottorikäyttöjen ominaisuuksia vastaavat ja siksi uusista säädetyistä moottorikäytöistä noin 70% on vaihtovirtamoottorikäyttöjä, vuosituhannen vaihteeseen mennessä luvun ennustetaan kasvavan 75%:iin. Kuvassa 11.2 on esitetty eri tehoisten tasavirta- ja vaihtovirtakäyttöjen (DC, AC) sovelluskohteita. Kuvassa suorituskvyyllä tarkoitetaan lähinnä käytön säädön vaativuutta.



Kuva 11.2 Sähkömoottorikäyttöjen sovelluskohteita.

## 11.2 Suuntaajat moottorikäytöissä

Moottoria syöttävän suuntaajan valinta riippuu lähinnä käytettävissä olevan sähkömoottorin ja syöttöverkon tyypistä, eli toisin sanoen tehonsyöttölaitteen tehtävä on muokata sähköenergiaa moottorille sopivaan muotoon. Tasasuuntauksessa sähköenergiaa siirretään vaihtovirtaverkosta tasasähköverkkoon, vaihtosuuntauksessa päinvastaiseen suuntaan. Tasa- ja vaihtosuuntaajien lisäksi on olemassa tasa- ja vaihtovirtamuuttajia. Tasavirtamuuttajalla voidaan muuttaa tasasähköverkon jännitteen tasoa, vaihtovirtamuuttajalla voidaan muuttaa sekä verkon taajuutta että jännitettä. Eri suuntaajalajeja on havainnollistettu kuvassa 11.3.



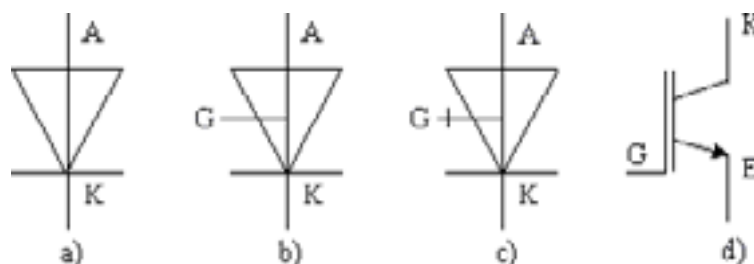
Kuva 11.3 Eri suuntaajatyypit, a) tasasuuntaaja, b) vaihtosuuntaaja, c) vaihtovirtamuuttaja, taajuudenmuuttaja, d) vaihtovirtamuuttaja, jännitteen säätölaite, e) tasavirtamuuttaja.

## 11.2.1 Suuntaajissa käytetyt tehopuolijohdekytkimet

Suuntaajalaitteiden päävirtapiirit toteutetaan tehopuolijohdekytkimillä. Nimensä mukaisesti niitä käytetään kytkemään kuorma toistuvassa sekvenssissä haluttuun jännitetasoon tai vaihejännitteeseen. Mekaanisiin kytkimiin verrattuna niiden kytkentänopeudet ja tarkkuudet ovat aivan omaa luokkaansa, parhaat kytkimet yltyvät usean kymmenen kHz:n kytkentätaajuuteen eli kymmeneen tuhansiin kytkentöihin sekunnissa.

Nykyisin yleisimmin moottorikäyttöjen syöttölaitteissa käytettyjä tehopuolijohdekomponentteja ovat diodi, tyristori, IGBT-transistori ( Insulated Gate Bipolar Transistor) ja GTO-tyristori ( Gate Turn-Off), joiden piirrosmerkit on esitetty kuvassa 11.4. Diodi on komponentti, jota käytetään yleisesti ohjaamattomissa tasasuuntauskytkennöissä. Se päästää virran kulkemaan virtapiirissä vain toiseen suuntaan, anodilta (A) katodille (K). Tyristoria, joka keksittiin jo vuonna 1957, voidaan pitää eräänlaisena diodin ohjattavana versiona. Jos virta pyrkii kulkemaan virtapiiriin sijoitetun tyristorin anodilta katodille, virtatie avautuu annettaessa komponentin hilan (G) kautta katodille positiivinen ohjausvirtapulssi. Komponentti menee jälleen johtamattomaan tilaan, kun virta komponentin läpi pyrkii kääntymään.

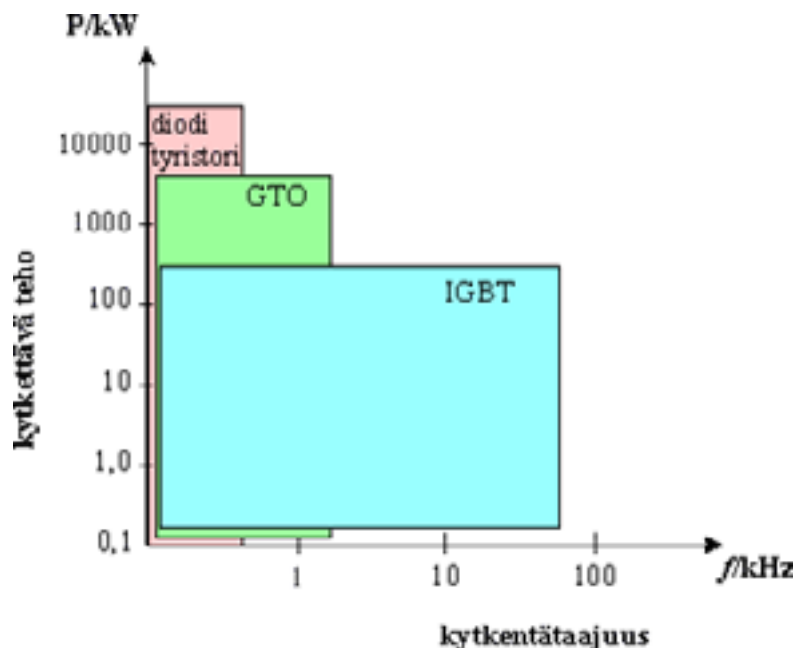
Joitakin erittäin suuritehoisia sovellutuksia lukuunottamatta diodeja ja tyristoreja käytetään nykyisin yleisesti vain suoraan syöttöverkkoon liitetyissä tasasuuntauskytkennöissä ns. verkkokommutoiduissa tasasuuntaussilloissa. Parhaimmillaan näillä komponenteilla voidaan kytkeä tuhansien ampeerien virtoja piireissä, joiden jännitteet niin ikään yltyvät useisiin tuhansiin voltteihin. Kytkettävät tehot voivat siten olla MW:ien luokkaa.



Kuva 11.4 Yleisimmin moottorikäyttöissä käytettyjen tehopuolijohteiden piirrosmerkit. a) diodi, b) tyristori, c) GTO-tyristori, d) IGBT-transistori.

IGBT-komponentti on kehitetty yhdistämällä bipolaaritransistorin ja MOS-fetin parhaat ominaisuudet. Näin on saatu ohjattava komponentti, jonka tarvitsema ohjausteho on pieni, kytkentänopeus suuri (n. 20 kHz) ja joka soveltuu satojen kilowattien tehoisiin, tehoelektronikalla toteutettuihin suuntaajalaitteisiin. Komponentti eroaa tyristorista siinä, että sen virran kulku kollektorilta (C) emitterille (E) voidaan katkaista halutulla hetkellä muuttamalla ohjausjännite hilan (G) ja emitterin välillä nollassi tai negatiiviseksi. Lisäksi IGBT on tyristoria huomattavasti nopeampi komponentti, mutta häviää tälle kuitenkin tarkasteltaessa kytkettäviä maksimitehoja. IGBT:t ovatkin 90-luvulla syrjäyttäneet keskitehoisissa vaihtosuuntaajissa lähes muut puolijohdekomponentit.

GTO-tyristori on IGBT:n tapaan hilan kautta täysin ohjattu komponentti. Sen vaatima ohjausteho on kuitenkin huomattavasti suurempi ja kytkentänopeus paljon pienempi (n. 1 kHz) kuin IGBT:llä. GTO:lla kytkettävät tehot voivat sen sijaan nousta useisiin MW:hin. Sitä käytetäänkin tätä nykyään yleisesti erittäin suuritehoisissa vaihtosuuntaajissa. Kuvassa 11.5 on vielä esitetty eri tehopuolijohdekomponenteilla saavutettavat kytkentänopeudet ja tehoalueet.



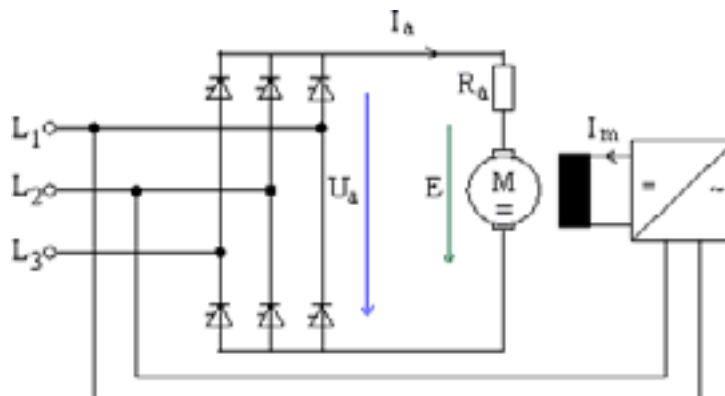
Kuva 11.5 Tehokomponenttien ominaisuuksia.

## 11.2.2 Tasavirtamoottorikäyttöjen tyristoritasasuuntaajat

Kun tasavirtamoottoria käytetään teollisuuden moottorikäyttöissä, sitä syötetään tavallisesti kolmivaiheverkkoon kytketyllä tyristoritasasuuntaussillalla (kuva 11.6). Sillasta saadaan suurin tasajännitteen keskiarvo silloin, kun sillan ylemmän puolet

tyristorit kytkevät vuorotellen aina suurimman vaihejännitteistä sillan positiiviseen kiskoon ja sillan alimmat tyristorit aina pienimmän vaihejännitteistä sillan negatiiviseen kiskoon. Tällöin moottoria syötetään aina siitä positiivisesta pääjännitteestä, jonka itseisarvo on suurin. Johtovuorossa seuraavana olevan tyristorin syttymistä voidaan viivästyttää siitä hetkestä, jolloin vaihejännitteet leikkaavat toisensa, viivästyttämällä tyristoreille annettavia sytytyspulsseja sytytyskulman  $\alpha$  verran. Näin sillasta saatavaa tasajännitteen keskiarvoa voidaan säätää yhtälön 11.4 mukaisesti.

$$(11.4) \quad U_a = 1,35 U_{12} \cos \alpha$$



Kuva 11.6 Tyristoritasasuuntaussillalla syötetty tasavirtamoottorikäyttö

Yhtälöstä nähdään, että kun sytytyskulma  $\alpha$  on  $0^\circ$  ja syöttävän verkon pääjännite  $U_{12}$  on 400 V, tulee tasajännitteen keskiarvoksi n. 540 V. Kun  $\alpha$  on kasvanut  $90^\circ$ :een, on tasajännitteen keskiarvo pienentynyt nolliin ja tätä suuremmilla sytytyskulman arvoilla sillasta saadaan negatiivista tasajännitettä. Koska tyristorikomponenteista johtuen virta sillan läpi voi kulkea vain yhteen suuntaan, merkitsee tasajännitteen napaisuuden muuttuminen myös tehon virtaus suunnan muuttumista. Tyristoritasasuuntaussilta mahdollistaakin siten moottorikäytön sähköisen jarrutuksen eli jarrutustilanteessa käytön jarrutusenergian palauttamisen takaisin syöttävään verkkoon, mikäli kuorma pystyy tässä tilanteessa pitämään yllä halutun suuruista tasavirtaa.

Tarkasteltaessa tasavirtakoneen toimintaa stationäärisessä toimintapisteessä huomataan koneen ankkurivirran riippuvan tyristorisillan antamasta tasajännitteestä yhtälöiden 11.5 ja 11.6 mukaisesti.

$$(11.5) \quad I_a = \frac{U_a - E}{R_a}$$

$$(11.6) \quad E = k l_m \omega$$

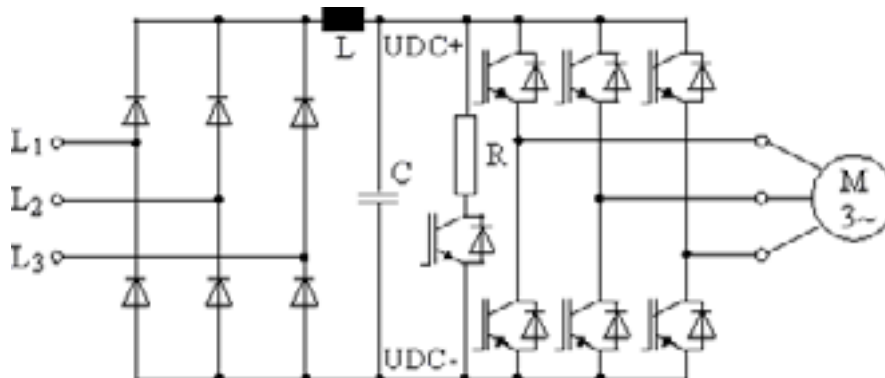
Koska vakiomagnetoidun tasavirtamoottorin kehittämä vääntömomentti on suoraan verrannollinen moottorin ankkurivirtaan

$$(11.7) \quad T_m = k l_m I_a$$

ja tyristoritasasuuntausillan läpi virta voi kulkea vain yhteen suuntaan, ei yhtä siltaa käytettäessä voida vaihtaa moottorin kehittämän momentin suuntaa. Jotta koneen ankkurivirran ja momentin suunta voidaan vaihtaa, täytyy kuvan 11.5 sillan rinnalle kytkeä toinen, vastakkaiseen suuntaan johtava tyristorisilta. Näistä silloista käytetään vuorotellen sitä, jonka virran johtosuunta vastaa haluttua momentin suuntaa. Tällöin puhutaan nelikvadranttisesta tasavirtamoottorikäytöstä. Se mahdollistaa moottorin täydellisen pyörimisnopeuden säädön koneen molemmissa pyörimissuunnissa.

### 11.2.3 Vaihtovirtamoottorikäyttöjen jännitevälipiirilliset taajuudenmuuttajat

Teollisuuden säädetyistä moottorikäytöistä yleisin on jännitevälipiirillisellä taajuudenmuuttajalla syötetty oikosulkumoottorikäyttö (kuva 11.7). Se muodostuu kolmivaiheisesta dioditasasuuntaussillasta, jonka välipiiriin syöttämän tasajännitteen keskiarvo on vakio, välipiiriin suodinkondensaattorista sekä pieni- ja keskitehoisissa laitteissa tavallisesti IGBT-komponenteilla toteutetusta kolmivaiheisesta vaihtosuuntaussillasta. Vaihtosuuntaussillan diodit mahdollistavat induktiivisen kuormavirran kulun kaikissa kytkentätilanteissa. Välipiiriin tai verkon puolelle sijoitetuilla kuristimilla pyritään parantamaan verkkovirran käyrämuotoa. Välipiiriin sijoitetussa ylimääräisessä vastushaarassa kulutetaan moottorin sähköisen jarrutuksen yhteydessä välipiiriin palaava jarrutusenergia.



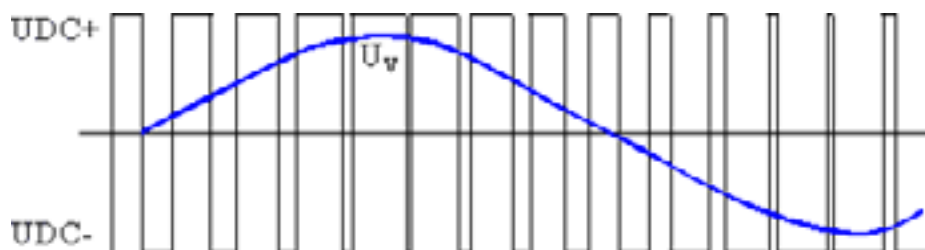
Kuva 11.7 Jännitevälipiirillisen taajuudenmuuttaja päävirtapiiri

Kun oikosulkumoottorin toimintaa tarkastellaan stationäärisessä toimintapisteessä, havaitaan sen kehittämän momentin olevan verrannollinen syöttöjännitteeseen (tai oikeammin sen neliöön), joka taas määrää koneen ilmavälivuon suuruuden, sekä koneen jättämään, joka riippuu koneen syöttötaajuutta vastaavan kulmanopeuden ja roottorin todellisen nopeuden erosta. Oikosulkumoottorin jättämään ja edelleen koneen kehittämään momenttiin voidaan siten vaikuttaa suoraan koneen syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla. Kun jättämä on positiivinen, kone toimii moottorina ja sähköteho siirtyy syöttöverkosta taajuudenmuuttajan kautta sähkökoneelle ja edelleen sen akselin välityksellä mekaaniseksi energiaksi prosessiin. Kun jättämä ohjataan negatiiviseksi eli moottorin jännitteiden syöttötaajuutta pienennetään alle roottorin pyörimisnopeutta vastaavan taajuuden, muuttuu koneen kehittämä momentti negatiiviseksi ja siirrytään sähköiseen jarrutukseen. Tällöin jarrutusenergia siirtyy koneen ja vaihtosuuntausillan

kautta välipiiriin. Koska diodisilta ei voida ohjata tyristorisillan tapaan, ei sen läpi voida myöskään palauttaa jarrutusenergiaa syöttöverkkoon, vaan se on kulutettava välipiirin jarruvastuksessa.

Jotta oikosulkumoottoria voidaan hyödyntää maksimaalisesti, pyritään sen ilmavälivuo pitämään koko ajan lähellä optimaalista maksimiarvoa. Koska ilmavälivuon derivaatta on likipitään verrannollinen koneen napajännitteeseen, täytyy sinimuotoisilla suureilla jännitteen ja syöttötaajuuden suhde pitää vakiona, kun vuon huippuarvon halutaan pysyvän muuttumattomana. Siksi taajuudenmuuttajan vaihtosuuntausosan on pystyttävä tuottamaan halutun taajuiset vaihejännitteet ja kyettävä samanaikaisesti vaikuttamaan myös jännitteiden tehollisarvoihin.

Taajuudenmuuttajan vaihtosuuntaussillassa halutun taajuisten ja suuruisten vaihejännitteiden muodostamiseen käytetään ns. pulssileveysmodulointitekniikkaa (PWM) kuvan 11.8 mukaisesti. Siinä kukin vaihejännitelähtö kytketään vaiheen tehopuolijohdekytkimien avulla suurella kytkentätaajuudella (1-20 kHz) vuorotellen tasajännitevälipiiriin positiiviseen ja negatiiviseen kiskoon. Moduloinnissa kytkimien keskinäisiä johtoaikoja muutetaan koko ajan siten, että tuloksena syntyy keskimääräisesti oikean suuruinen pienempi taajuinen vaihtojännite.

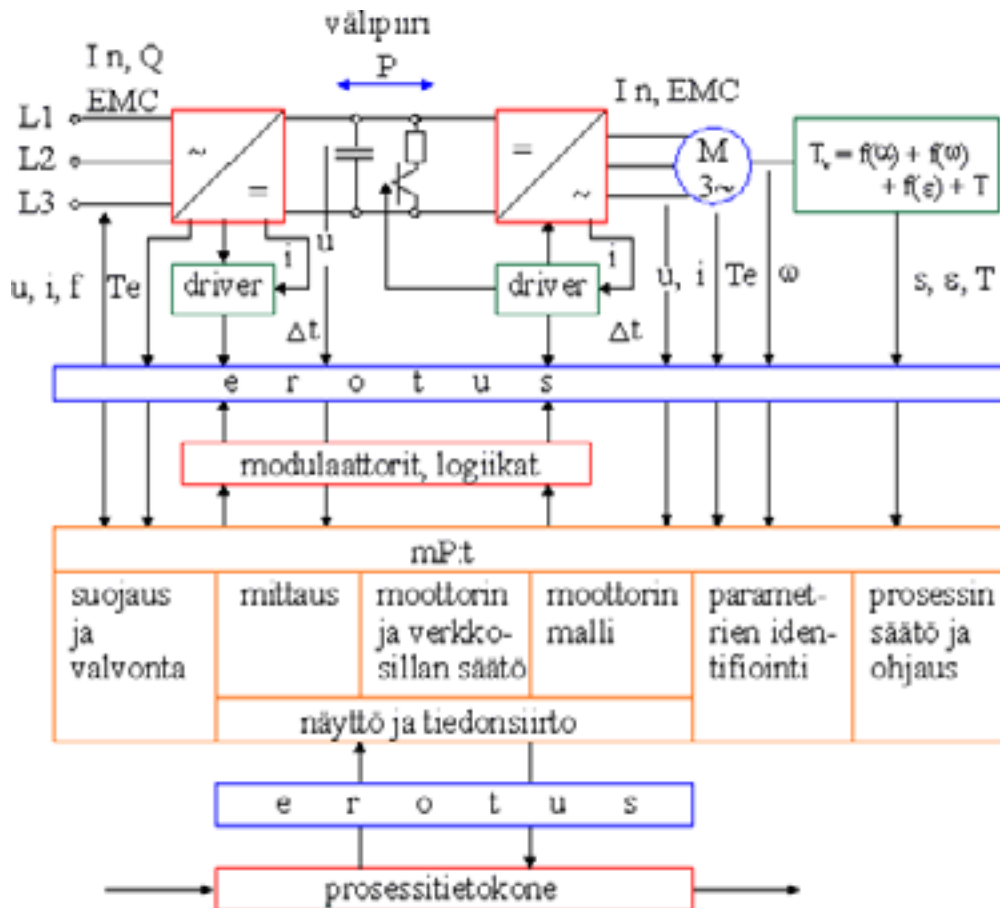


Kuva 11.8 Halutun vaihejännitteen tuottaminen PWM-tekniikka käyttäen.

## 11.3 Moottorikäyttöjen ohjaus- ja säätöjärjestelmät

Koska moottorikäyttöjen suuntaajien päävirtapiiriratkaisut ovat pääosin vakiintuneet ja niiden luotettavuus on tällä hetkellä jo suhteellisen hyvä, moottorikäyttöjen ominaisuudet riippuvat lähinnä niissä käytetyistä säätöjärjestelmistä. Nykyään ohjaus- ja säätöjärjestelmät toteutetaan pääsääntöisesti käyttäen mikroprosessori- ja mikrokontrolleritekniikkaa. Säädetyin moottorikäytön periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 11.9. Vaikka kuvassa on taajuudenmuuttaja, järjestelmä on samantapainen myös tasavirtakäytöissä.





Kuva 11.9 Säädetyin moottorikäytön rakenne.

Varsinaisen moottorikäytön säädön lisäksi säätöjärjestelmän prosessorin tai prosessorien on yleensä huolehdittava myös mahdollisesta ohjattavan verkkosillan tarvitsemasta säädöstä sekä osasta tai kaikista ohjattavan prosessin säädöistä. Säätöjen ja tarvittavien suojausten toteuttaminen vaatii monia reaaliaikaisia mittauksia prosessin, moottorin, suuntaajan ja syöttävän verkon puolelta. Mittaukset on yleensä optosähköisesti erotettu säätöjärjestelmästä. Näiden lisäksi nykyaikaisten moottorikäyttöjen säätöjärjestelmät sisältävät säädön tarvitsemien moottoriparametrien identifiointin, säätöjärjestelmän automaattisen viritysmahdollisuuden sekä moottorin reaaliaikaisen dynaamisen mallin, jonka avulla tarvittavien ulkoisten takaisinkytkentöjen määrää voidaan vähentää. Käytön säätöjärjestelmä on usein yhdistetty tiedonsiirtoväylällä laajempaan kokonaisuuteen.

Varsinaisten modulointipulssien muodostus toteutetaan usein erillisillä ASIC-piireillä, jotka voivat sisältää myös tehokomponenttien suojaukseen ja epäideaalisuuksien kompensointiin liittyviä toimintoja. Ohjauspulssit erotetaan optoelektroniikkaa käyttäen ennen driver-piirejä, jotka tuottavat varsinaiset tehokomponenttien tarvitsemat vahvistetut ohjausjännitteet ja -virrat.

Kuten huomataan sähkömoottorikäyttö ja sen säätöjärjestelmä on haastava kokonaisuus, jonka hallitseminen vaatii käyttöön ja moottoriin liittyvien tietojen lisäksi tehoelektroniikan, elektroniikan, säätötekniikan ja prosessoritekniikan tuntemusta.

## 11.4 Moottorikäyttöjen tulevaisuuden näkymät

Sähkökoneita kehitettäessä on eräinä merkittävänä tavoitteina ollut toisaalta niiden painon pienentäminen ja toisaalta hyötysuhteen parantuminen. Moottorin materiaalin optimointi ja jäähtyksen tehostaminen ovat mahdollistaneet sen, että tietyn runkokoon koneesta voidaan ottaa yhä suurempia akselitehoja. Laakeriteknologian parantuessa koneen pyörimisnopeuksia on voitu edelleen nostaa merkittävästi ja samalla tietyn tehoisen koneen kokoa vastaavasti pienentää. Osa oikosulkumoottorin häviöistä johtuu siitä, että koneen tarvitsema magnetointivirta syötetään staattorikäimityksen kautta. Kestomagneettimateriaalien kehittyessä on tullut mahdolliseksi rakentaa kestomagneetoituja keskitehoisia tahtikoneita, jotka alkavat olla kokonaistaloudellisesti kilpailukykyisiä oikosulkumoottoreiden kanssa. Kestomagneettimoottoreiden suosion voidaankin olettaa kasvavan merkittävästi lähitulevaisuudessa.

Tarvittavan asennustilan sekä toisaalta moottorikäyttöjen aiheuttamien sähköisten häiriöiden pienentämiseksi on pyrkimyksenä ollut integroida käytön moottori ja sitä syöttävä suuntaaja samaan koteloon. Viime aikoina markkinoille on ilmestynytkin pienitehoisia, alle 10 kW:n oikosulkumoottoreita, joiden staattorin päähän, samoihin kuoriin on sijoitettu taajuudenmuuttaja. Kehitys tulee jatkumaan suuremmissa teholuokissa.

EMC-direktiivin tultua voimaan on moottorikäyttöjen aiheuttamiin, sekä säteileviin että johtuviin häiriöihin ollut pakko kiinnittää yhä enemmän huomiota. Toisaalta laitteiden on direktiivin mukaisesti siedettävä tietty ulkoapäin tuleva häiriötaso. Laitteiden ja kokonaisten järjestelmien koteloinnin ja toteutuksen uudelleen suunnittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi säteilevien häiriöiden tasoon ja toisaalta laitteiden häiriösietokykyyn. EMC-pohjainen laitesuunnittelu ja testaus työllistääkin lähitulevaisuudessa yhä useampia suunnittelijoita.

Perinteiset diodi- ja tyristoritasasuuntaussillat aiheuttavat syöttöverkkoon pienitaajuisia, häiritseviä yliaaltoja. Lisäksi esimerkiksi tyristorisillan syöttöverkosta ottama loisteho riippuu sillan sytytyskulman arvosta. Näiden häiriöiden eliminoimiseksi on moottorikäyttöihin kehitetty hilakommutoidun vaihtosuuntaussillan tapaisia moduloituja verkkosuuntaajia, joilla pystytään palauttamaan myös moottorin jarrutusenergia takaisin syöttöverkkoon. Joillakin taajuusmuuttajien valmistajilla näitä onkin jo tuotevalikoimissaan. Myös kokonaan uusilla suuntaajaratkaisulla on mahdollista pienentää kokonaishäiriötä. Kehitys jatkunee näillä molemmilla osa-alueilla

Tehokomponentteja kehitetään jatkuvasti siten, että niiden jännite- ja virtakestoisuudet sekä kytkentätaajuudet kasvavat samalla, kun niiden kytkentä- ja johtotilan häviöitä pyritään pienentämään. Saavuttamattomana päämääränä on ideaalinen kytkinkomponentti, joka on häviötön ja pystyy kytkemään äärettömän nopeasti lähes äärettömän tehon. Seuraavana askeleena kohti päämäärää pidetään MCT-komponentin (Mos Controlled Thyristor) kehittämistä käytännön sovellutuksiin. Komponentin pitäisi olla tehonkäsittelykyvyltään IGBT:ä parempi ja sen johtotilan häviöt olisivat huomattavasti pienemmät. Komponentin on kaavailtu korvaavan GTO-tyristorin suuritehoisissa moottorikäytöissä.

Enemmän kuin varsinaisen suuntaajien tehoelektroniikkaan liittyvää kehitystyötä tehdään tutkimus- ja tuotekehitystyötä moottorikäyttöjen säätöjärjestelmien parissa. Kun prosessorien toimintanopeudet kasvavat, voidaan yhä tarkempia, käytön dynaamiseen malliin perustuvia säätöjärjestelmiä toteuttaa reaaliajassa. Pyrkimyksenä on parantaa vaihtovirtakäyttöjen momentinsäätöä dynaamisissa muutosilmiöissä ja samalla kasvattaa koko ohjattavan prosessin nopeutta ja tuottavuutta.

Myös säädössä tarvittavien, suuntaajan ulkopuolelta tulevien mittausten määrää pyritään pienentämään. Tavoitteena on kaikilla nopeuksilla tarkasti toimiva moottorikäyttö, joka ei vaadi esimerkiksi nopeuden takaisinkytkentää moottorin akselilta. Se edellyttää säätöjärjestelmään sisällytettyä moottorin tarkkaa mallia ja tämä taas luotettavaa menetelmää, jolla moottorin parametrit voidaan käytön aikana jatkuvasti määrittää. Myös moottorikäytön helpompaan käyttöönottoon kiinnitetään tulevaisuudessa yhä enemmän huomiota. Tämä merkitsee käytön itseviritysominaisuuksien edelleen kehittämistä ja vaikkapa kaukoviritysmahdollisuutta ja vikadiagnostiikan toteuttamista esimerkiksi televerkon välityksellä

---

Seuraava luku...