

Kari Lindström

# SÄHKÖKÄYTTÖJEN SUUNNITTELU

## Kolmiulotteinen vaijerikamera

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>	<p><b>Opinnäytetyön päivämäärä</b></p> <p>21.5.2012</p>	
<p><b>Tekijä(t)</b> Kari Lindström</p>	<p><b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikan koulutusohjelma</p>	
<p><b>Nimeke</b> Sähkökäyttöjen suunnittelu, kolmiulotteinen vaijerikamera</p>		
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko mahdollista toteuttaa Pukki Visuals Oy:lle kolmiulotteinen kamerajärjestelmä vinssitekniikkaa käyttäen.</p> <p>Kolmiulotteinen vaijerikamera olisi sellainen järjestelmä, jossa kameraa voitaisiin liikuttaa neljän vaijerivinssin avulla kuvattavan alueen yläpuolella. Vaijereiden liikuttelu tapahtuisi kuvattavan alueen yläpuolella vaaka- sekä pystysuunnassa X-, Y- ja Z-koordinaatistoa käyttäen.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko kameravinssien ohjaus toteuttaa mahdollisimman tarkasti hyödyntäen tämänhetkistä taajuusmuuttajatekniikkaa. Vertaillessani ja selvittäessäni eri valmistajien taajuusmuuttajatekniikoita kävin myös läpi, mitä takaisinkytkentöjä tarvitaan vaijerikameran ohjauksessa.</p> <p>Tulokseksi saatujen tietojen perusteella nykyinen taajuusmuuttajaohjattu sähkökäyttö soveltuu jopa tarkkaan servokäyttöön. Tämän tiedon perusteella lähdetään kehittämään vaijerikamerajärjestelmää ja sen ohjausohjelmaa eteenpäin.</p>		
<p><b>Asiasanat (avainsanat)</b></p> <p>Sähkökäyttö, monimoottorikäyttö, vinssijärjestelmät, anturit</p>		
<p><b>Sivumäärä</b> 31 + liitteet</p>	<p><b>Kieli</b> Suomi</p>	<p><b>URN</b></p>
<p><b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b></p>		
<p><b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Kohvakka</p>	<p><b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Pukki Visuals Oy</p>	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the master's thesis</b>  21.5.2012	
<b>Author(s)</b> Kari Lindström		<b>Degree programme and option</b> Electrical Engineering	
<b>Name of the master's thesis</b> Electric drives planning, three-dimensional cable camera			
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to clarify, if it is conceivable to make a three-dimensional cable camera system, using electric winches for Pukki Visuals Ltd.</p> <p>The tree-dimensional cable camera, allows moving the camera, with four winches, above designated area. Camera is capable of moving in horizontal and vertical directions, using X-, Y- and Z-coordinates.</p> <p>The aim of the work was to investigate, if it is possible to operate the cable winches very precisely, using current frequency converter techniques. I clarified also what feedback couplings are needed to steer the cable camera.</p> <p>I found out that, present the frequency converter controlled motors are suitable for precise servo usage. Based on the results, i am going to continue developing the three-dimensional cable camera system and the driving software.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Electric drive, multi-motor drive, winch system, sensor			
<b>Pages</b> 31 + apps.	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Arto Kohvakka		<b>Master's thesis assigned by</b> Mikkeli University of Applied Sciences	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	2
2	TEORIA .....	3
2.1	Sähkökäyttö .....	3
2.2	Monimoottorikäyttö .....	4
2.3	Moottorit .....	5
2.3.1	Tasasähkömoottori .....	6
2.3.2	Oikosulkumoottori .....	7
2.4	Moottorin kuorma .....	10
2.5	Moottorin nelikvadranttikäyttö .....	14
2.6	Moottorin säätö .....	16
2.6.1	Tasasähkömoottorin säätö .....	16
2.6.2	Vaihtosähkömoottorin säätö .....	17
3	TEKNINEN RAKENNE .....	20
4	SÄHKÖKÄYTÖN RAKENNE .....	21
4.1	MOOTTORIN VALINTA .....	22
4.2	TAAJUUSMUUTTAJA .....	27
4.3	TAKAISINKYTKENNÄT .....	29
5	TIEDONSIIRTO .....	30
6	TURVALLISUUS .....	31
7	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	32
	LÄHTEET	
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Työn toimeksiantaja, kuopiolainen Pukki Visuals Oy toimii ääni- kuva- ja mediatuotantoalalla. Oman toiminnan lisäksi Pukki Visuals toimii myös yhteistyökumppanina kansainvälisen Hego Groupin kanssa, joka on kansainvälinen TV-grafiikan- ja lisäarvojärjestelmien valmistaja ja palveluidentuottaja.

Projekti lähti liikkeelle Pukki Visuals Oy:n tarpeesta saada uutta kuvaustekniikkaa ja kuvakulmaa ylhäältäpäin tapahtuvaan kuvaukseen. Tällä hetkellä Suomessa vastaava kuvaustoiminto hoidetaan puominosturin tai muun puomitekniikan avulla.

Puominosturista otetut kuvakulmat ovat aika rajallisia, koska yleensä nosturin laajempaan liikutteluun ei ole mahdollisuutta. Tämä puomitekniikan rajoitettu liikutettavuus aiheuttaa lisäkustannuksia, kun halutaan ylhäältäpäin otettuja kuvia useammasta kuvakulmasta. Tällöin tarvitaan yleensä useampi puominosturi ja kamera kuvaajineen.

Projektin tarkoituksena on toteuttaa vaijereiden avulla liikuteltava kamerajärjestelmä, jossa kameraa voitaisiin liikutella neljän vaijerivinssin avulla kuvattavan alueen yläpuolella. Kameran liikuttelu tapahtuisi kameratelineeseen yhdistettyjen vaijereiden pituutta muuttamalla, jolloin kamera liikkuisi paikasta a paikkaan b halutulla nopeudella. Kameran liikuttelu tapahtuisi kuvattavan alueen yläpuolella vaaka- sekä pystysuunnassa X-, Y- ja Z- koordinaatistoa käyttäen. Kuvattavan alueen kulmiin pystytettäisiin esimerkiksi mastot, joiden avulla kamera saadaan tarpeeksi korkealle.

Tässä opinnäytetyössä käsittelen vinssijärjestelmän sähkökäytönsuunnittelua sekä mahdollisia ongelmakohtia, jotka pitää ottaa huomioon ohjauslogiikkaa tehtäessä.

Järjestelmän ohjauslogiikan suunnittelee ja toteuttaa Pukki Visuals Oy:n koodaaja Seppo Sormunen.

Työn ensisijaisena tarkoituksena oli selvittää, onko mahdollista toteuttaa sähkötekni-  
sesti sellainen kamerajärjestelmä, jota voitaisiin liikuttaa kolmiulotteisesti kuvausalu-  
een yläpuolella mahdollisimman jouhevasti. Kamerajärjestelmän muunneltavuus pi-  
täisi myös olla mahdollisimman helppoa erilaisten kuvausalueiden mukaan, sekä to-  
teutustekniikan pitäisi olla mahdollisimman edullista ja varmatoimista.

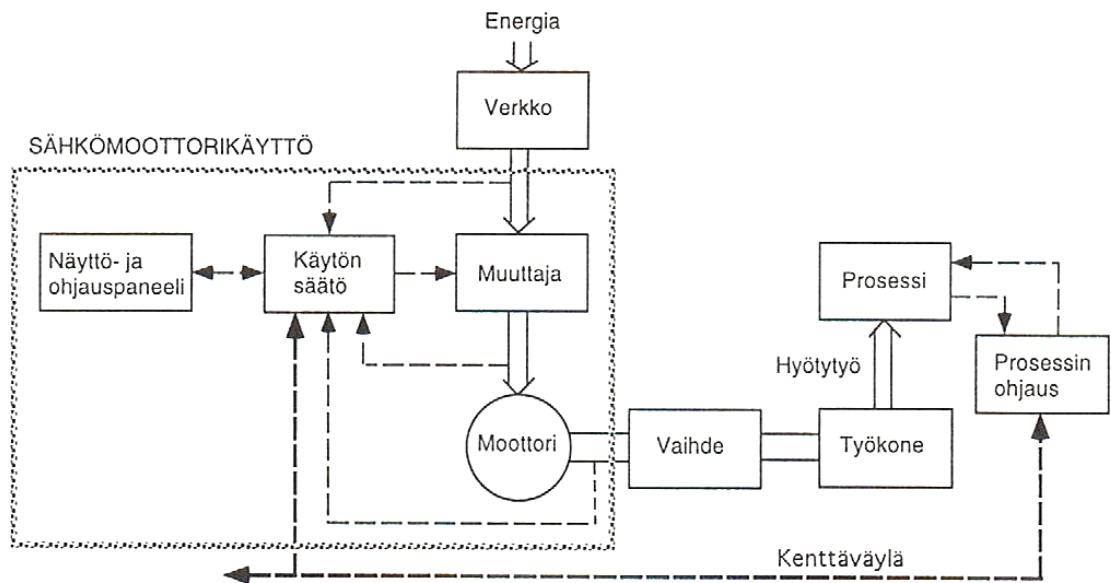
## **2 TEORIA**

Tässä kappaleessa käsitellään yleisesti sähkökäyttöihin, moottoreihin ja niiden säätöi-  
hin liittyvää teoriaa.

### **2.1 Sähkökäyttö**

Sähkökäyttö on energianmuunnin missä sähköenergia muutetaan moottorin avulla  
työksi prosessissa. Sähkökäytön tarkoitus on säätää sähkömoottorin akselin pyörimis-  
nopeutta ja vääntömomenttia. Työkoneen tehtävänä taas on muuttaa sähkömoottorin  
akselin pyörimisliike esimerkiksi materiaalin siirtoon sopivaksi liikkeeksi. /1./

Muuttajassa tehoelektroniikan tavoitteena on muokata jännitettä ja taajuutta säätöarvo-  
jen mukaisiksi. Nykyään muuttajana käytetään yleisesti vaihtojänniteverkosta syötet-  
tyä taajuusmuuttajaa. Kuva 1 esittää prosessiohjattua sähkömoottorikäytön rakenne-  
kuvaa.



**KUVA 1. Sähkömoottorikäytön periaatekuva /1/**

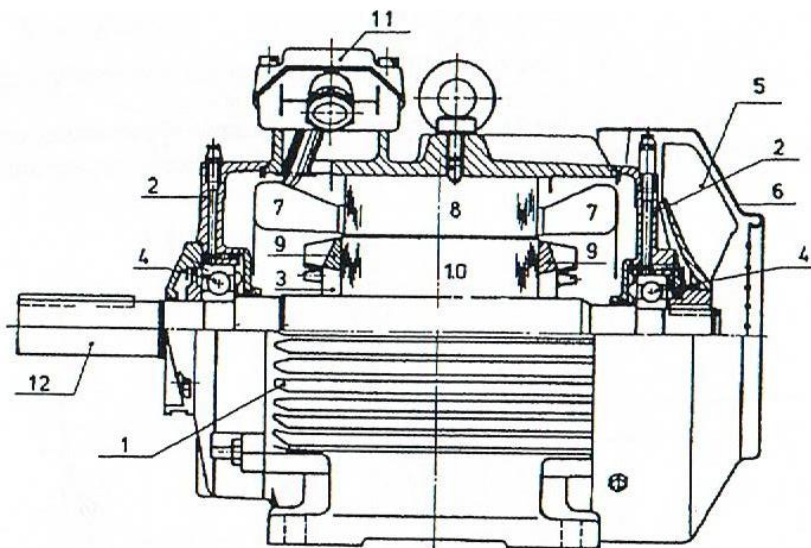
## 2.2 Monimoottorikäyttö

Monimoottorikäytöllä tarkoitetaan laitteistoja, joissa samaa kuormaa liikutellaan useammalla moottorilla samanaikaisesti. Monimoottorikäyttöjä käytetään esimerkiksi paperikoneissa, suurten massojen siirroissa ja sähköajoneuvoissa. Kun käytetään useampaa moottoria, voidaan vääntömomentti jakaa useampaan pisteeseen ja tällöin voidaan säätää kuorman käyttäytymistä paremmin. Liikuteltava kuorma määrittää, miten tarkasti pitää nopeudensäädön toimia. Joustavassa kuormassa nopeudet voivat hieman poiketa toisistaan, mutta kiinteässä kuormassa kaikkien käyttöjen on pyörittävä samalla nopeudella.

## 2.3 Moottorit

Moottorin tehtävänä on muuttaa sähköenergia mekaaniseksi työksi. Moottorin tuottama pyörimisliike ja vääntömomentti siirretään välitystenkautta fyysiseksi pyörimisliikkeeksi tai muunnetaan erilaisten rattaidenkautta lineaariseksi liikkeeksi. Lineaari-moottorissa, jossa on tasomainen staattori- ja roottorirakenne, saadaan suoraan aikaiseksi lineaarinen liike.

Sähkömoottorit voidaan jakaa tasavirta- ja vaihtovirtamoottoreihin. Vaihtovirtamoottorit, etenkin oikosulkumoottorit, ovat tehoelektroniikan ja säätötekniikan kehittyessä nykyään eniten käytettyjä moottoreita teollisuudessa (kuva2).



- |                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Staattorin runko   | 7. Staattorin käämitys    |
| 2. Laakerikilvet      | 8. Staattorin levypaketti |
| 3. Roottori           | 9. Roottorin käämitys     |
| 4. Laakerit           | 10. Roottorin levypaketti |
| 5. Tuuletin           | 11. Liitäntäkotelo        |
| 6. Tuulettimen suojus | 12. Akseli                |

**KUVA 2. Oikosulkumoottorin kokoonpanopiirustus/2/**



### 2.3.1 Tasasähkömoottori

Tasavirtamoottori on ollut yleisesti käytetty moottorityyppi tarkkaa säätöä vaativissa käytöissä ennen tehoelektroniikan kehitystä. Tasavirtamoottorin hyviä puolia ovat hyvä säädettävyys sekä hyvä hetkellinen kuormitettavuus. Tasavirtamoottorin hetkellinen kuormitettavuus voi olla jopa kolminkertainen nimellisvääntömomenttiin verrattuna. Tasavirtamoottorin huonoja puolia ovat oikosulkumoottoria korkeampi hinta sekä hiiliharjoista johtuva huollontarve.

Tasavirtamoottori magnetoidaan joko kestopagneettien tai magnetointikäimitysten avulla. Magnetoimiskäimitysten mukaan tasavirtamoottorit voidaan luokitella sarja- ja sivuvirtamoottoreihin sekä vierasmagnetoiituihin. Tasavirtamoottori on itse asiassa vaihtosähkökone, koska tasavirta tuodaan roottoriakselilla olevaan kommutaattoriin joka mekaanisesti vaihtosuuntaa harjojen välityksellä kommutaattorin lamelleille syötetyn tasavirran. Kommutaattorin johdosta roottorin käämityksessä kulkevan virran taajuus vastaa aina pyörimisnopeutta, tasasähkökoneella kaikki nopeudet ovat kaavan (1) mukaisia, joten kone ei voi pudota pois tahdistista. /1./

$$n_s = \frac{fs}{p} \quad (1)$$

Yleisesti  $p$  napaparisien koneen tahtinopeudelle pätee kaava, jossa  $f$  on koneen syöttötaajuus ja  $p$  on napapariluku.

Tasavirtamoottorin tyhjäkäyntinopeus  $n_0$  toteutuu taas kaavan (2) mukaisesti

$$n_0 = \frac{U_a}{2\pi K\emptyset} \quad (2)$$

$U_a$  on ankkurijännite,  $\emptyset$  on magnetointikäimitykseen virran aikaansaama vuo ja  $K$  on konekohtainen napapariluvusta johtuva vakio. Kaavasta näkyy, että tasasähkömoottorin nopeutta voidaan lisätä joko nostamalla ankkurijännitettä tai pienentämällä vuota.

Tasavirtamoottorin vääntömomentti saadaan kaavasta

$$T = K \emptyset I_a \quad (3)$$

$I_a$  on harjoille menevä tasavirta eli ankkurivirta. /1./

### 2.3.2 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottorit ovat nykyään syrjäyttäneet pääosin tasavirtamoottorit edullisen hintansa, vähäisen huoltotarpeensa ja monipuolisen käytettävyytensä ansiosta. Tehoelektroniikan kehitys on lisännyt myös oikosulkumoottoreiden käyttöä säädetyissä moottorikäytöissä.

Oikosulkumoottori kuuluu epätahtikomeisiin, joissa staattorin käämitys on rakennettu niin, että kolmivaihesyötöllä saadaan muodostettua kiertävä magneettikenttä staattoriin. Yleensä käämitys staattorissa on asetettu 120 asteen kulmaeroon toisistaan kiertävän magneettikentän saavuttamiseksi.

Kun oikosulkumoottoria käytetään vakiojännitteellä ja – taajuudella, pyörimisnopeus riippuu moottorin napaparien  $p$  lukumäärästä. Yleisemmin on käytössä yksi- tai kaksi napaparisia moottoreita, joissa 50 Hz:n taajuudella pyörimisnopeudet ovat 3000 1/min ja 1500 1/min. Hidaskäytisissä erikoismoottoreissa voi napapareja olla useita kymmeniä.

Oikosulkumoottorin tahtinopeus voidaan laskea kaavalla(4).

$$n_s = \frac{f_s}{p} \quad (4)$$

Kuormitetun oikosulkumoottorin pyörimisnopeus poikkeaa tahtinopeudesta. Tätä nopeuseroa kutsutaan jättämäksi. Jättämä on tarpeen, koska vain näin saadaan roottorin oikosuljettuun häkkikäämitykseen indusoitua vääntömomenttia muodostava virta. /1./

Suhteellinen jättämä vakiotajuudella voidaan laskea kaavalla(5).

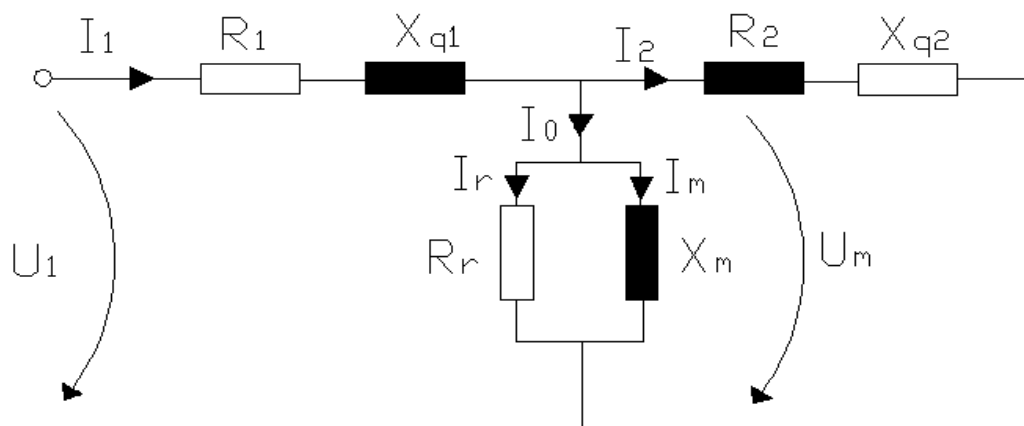
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{pn}{f_s} \quad (5)$$

Suhteellinen jättämä on nolla moottorin pyöriessä tahtinopeudella  $n_s$  ja yksi roottorin ollessa paikoillaan. Säädetyissä käytöissä syöttötaajuus ei ole vakio, jolloin ainoa selvätapa on ilmaista jättämä absoluuttisena jättämänopeutena  $\Delta n = n_s - n$  tai tätä vastaavaa roottoritaajuutta

$$f_r = f_s - pn \quad (6)$$

sillä roottorikäämityksessä kulkevan virran taajuus on kaavan (6) mukainen. /1./

Oikosulkumoottorista voidaan laatia yksivaiheinen sijaiskytkentä (kuva3), joka auttaa ymmärtämään moottorin sähköistä toimintaa ja laskea moottorin sähköisiä arvoja. Sijaiskytkennässä moottorin sähköiset arvot on redusoitu vastaamaan yksivaiheista syöttöä. Oikosulkumoottorin mitoituksessa ja matemaattisessa simuloinnissa käytetään yksivaihekytkennän parametrien arvoja (taulukko 1).



**KUVA 3. Oikosulkumoottorin sijaiskytkentä/2/**

**TAULUKKO1. Sijaiskytkennän parametrit**

$U_1$	Syöttöjännite
$I_1$	Staattorivirta
$R_1$	Staattoriresistanssi
$X_{q1}$	Staattorihajareaktanssi
$I_2$	Roottorivirta
$R_2$	Roottoriresistanssi
$X_{q2}$	Roottorihajareaktanssi
$U_m$	Magnetointijännite
$I_0$	Tyhjäkäyntivirta
$I_r$	Rautahäviövirta
$I_m$	Magnetointivirta
$R_r$	Rautahäviöresistanssi
$X_m$	Magnetointireaktanssi

Oikosulkumoottorin vääntömomentti saadaan kaavasta (7)

$$M = \frac{P_n}{2\pi n} \quad (7)$$

Mutta voidaan laskea myös sijaiskytkennänparametrien avulla kaavan (8) mukaan

$$M = \frac{pP_\delta}{\omega} = \frac{3p(I'_2)^2 * R'_2}{\omega} = \frac{3pU_m^2 * R'_2}{\omega[(R'_2)^2 + X'_{q2}{}^2]} \quad (8)$$

jossa  $p$  on napapariluku,  $P_\delta$  on ilmväliteho,  $I'_2$  on roottorin staattoriin redusoituvirta,  $R'_2$  on staattoriin redusoitu roottori-resistanssi,  $U_m$  on magnetointijännite ja  $X'_{q2}$  on staattoriin redusoitu roottorihajareaktanssi. /2./

Oikosulkumoottorin hyötysuhdetta  $\eta$  ei yleensä ilmoiteta moottorin arvokilvessä, mutta on laskettavissa kilpiarvojen avulla nimellistä kuormaa käyttäen. Oikosulkumoottorin hyötysuhde muuttuu kuormituksen muuttuessa. Hyötysuhde lasketaan nimellisarvoilla kaavan (9) mukaan. /2./

$$\eta = \frac{P_{anto}}{P_{otto}} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n I_n \cos \varphi_n} \quad (9)$$

Oikosulkumoottori ottama käynnistysvirta on noin 5-7-kertainen moottorin nimellisvirtaan nähden. Suurta käynnistysvirtapiikkiä voidaan pienentää tähtikolmiokäynnistyksellä, mutta nykyään kannattaa käynnistys tehdä taajuusmuuttajaa tai pehmokäynnistintä käyttäen, samalla käynnistuksen aiheuttamat mekaaniset rasitukset pienenevät.

Oikosulkumoottorin heikkoutena on sen pieni ylikuormitettavuus kenttäheikennyksessä sekä tehokertoimen jääminen alle yhden, yleensä 0,82 ja 0,97 välille. Tehokerrointa pienentää moottorin tarvitsema magnetointivirta, joka on loistehoa.

Oikosulkumoottorin huono ylikuormitettavuus johtaa jatkuvissa kuormitustilanteissa moottorin liialliseen lämpenemiseen lyhentäen käyttöikä, mikä pitää huomioida moottoria valitessa.

## 2.4 Moottorin kuorma

Sähkökäytöissä moottori toimii useimmiten syklisesti. Tyypillisesti sykliin kuuluu vähintään yksi kiihdytys-, vakionopeus- ja jarrutusvaihe tai muuttuvan kuorman tapauksessa tyhjäkäynti- ja kuormitusvaihe.

Kun sähkökäytön kuormituksen ominaisuudet tunnetaan, voidaan tarvittavat tehovaatimukset muuntaa moottorin vääntömomentin riippuvuudeksi pyörimisnopeudesta ja ajasta kaavan (10) mukaan

$$T = \frac{P}{\Omega} = \frac{P}{2\pi n} \quad (10)$$

jossa  $T$  on vääntömomentti,  $P$  on teho,  $\Omega$  on kulmanopeus ja  $n$  on moottorin akselin pyörimisnopeus.

Kaava (10) pätee kaikissa oloissa, myös kiihdytyksissä ja jarrutuksissa, kun muistetaan laskea mukaan käytön mekaanisten massojen liike-energian muuttamiseen kuluva teho. /2./

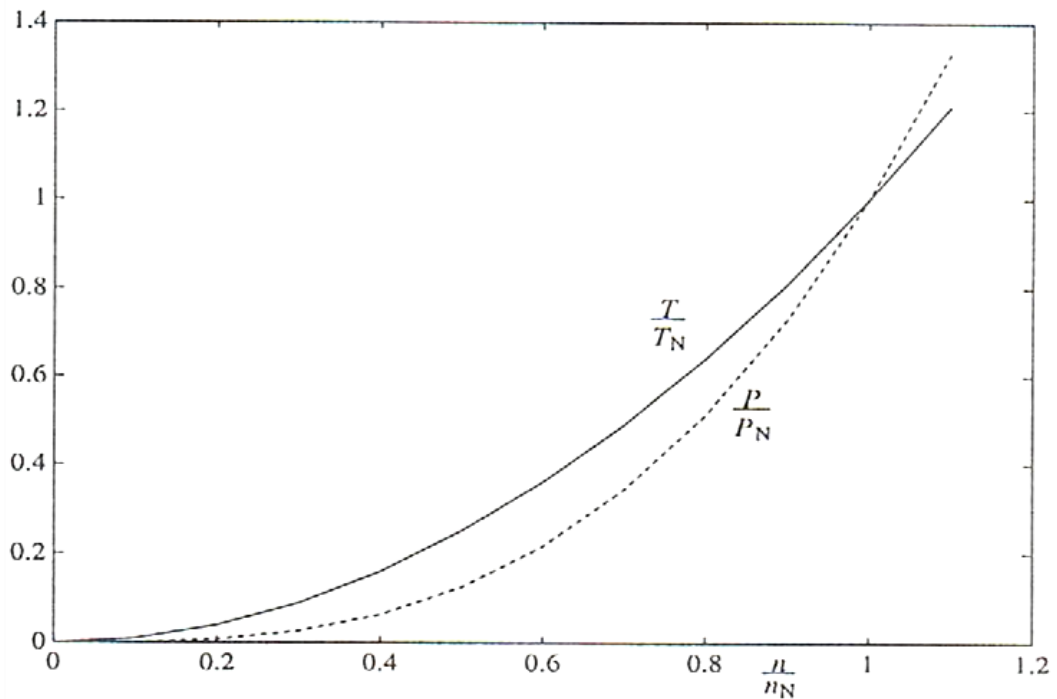
On kuitenkin mukavampi jakaa vääntömomenttiyhtälö pysyvän- ja muutostilan vääntömomentteihin, jolloin saadaan kaava (11)

$$T_{(t)} = \frac{P_{stat}}{\Omega} + J_{ekv} \frac{d\Omega}{dt} \quad (11)$$

jossa  $P_{stat}$  on teho vakiokulmanopeudella  $\Omega$ ,  $J_{ekv}$  on moottorin akselille redusoitu, vakioksi oletettu kuorman hitausmomentti, ja  $\frac{d\Omega}{dt}$  on kulmanopeuden derivaatta ajan suhteen. Huomattavaa on, että jos  $J$  ei ole vakio, on  $J\Omega$  derivoitava tulon derivaattasääntöjen mukaan.

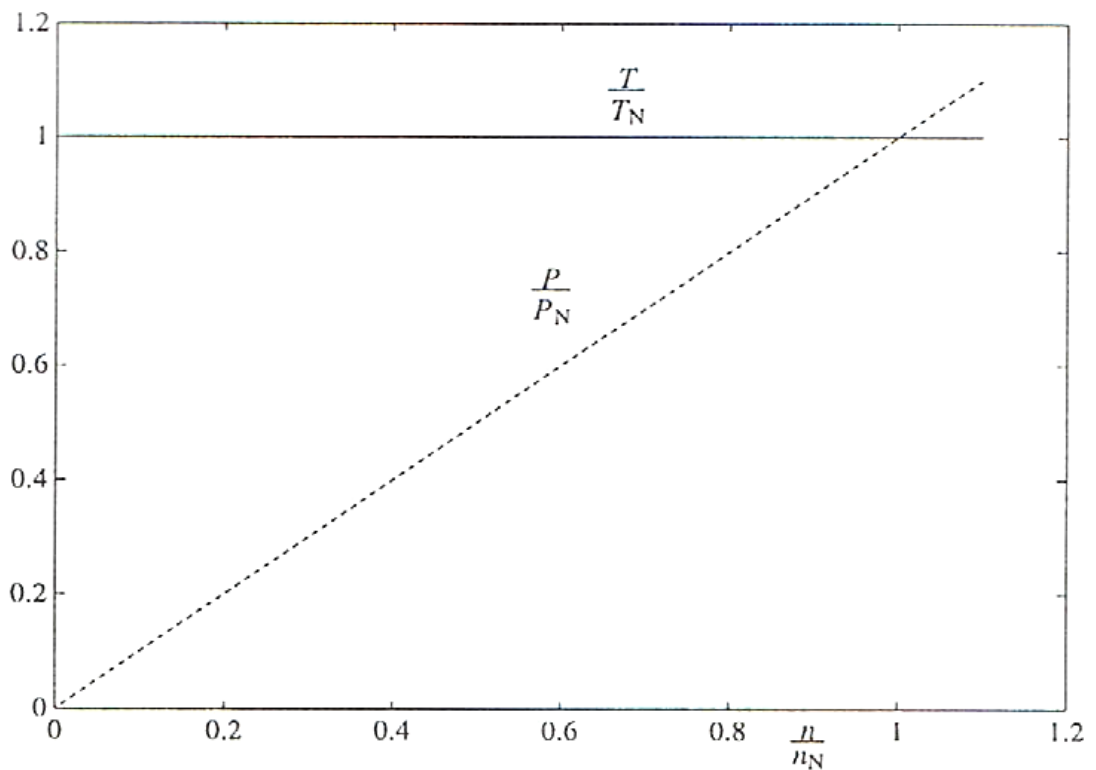
Useimmiten voidaan käyttää pysyvän tilan vääntömomenttia, kun kiihtyvyydet ovat niin alhaisia, että muutostilan termi  $J_{ekv} \frac{d\Omega}{dt}$  on alle 5...10 % moottorin nimellisvääntömomentistä. /2./

Useimmissa käytöissä moottorin vääntömomentti riippuu vain pyörimisnopeudesta, esimerkiksi puhaltimet ja pumput. Tätä riippuvuutta kutsutaan yleensä neliölliseksi vääntömomenttikäyräksi (kuva 4). Neliöllisen vääntömomenttikäyrän etuna on pieni vääntömomentintarve pienillä nopeuksilla, koska monella käytöllä on rajoituksia nol-lanopeudessa ja sen läheisyydessä. /2./



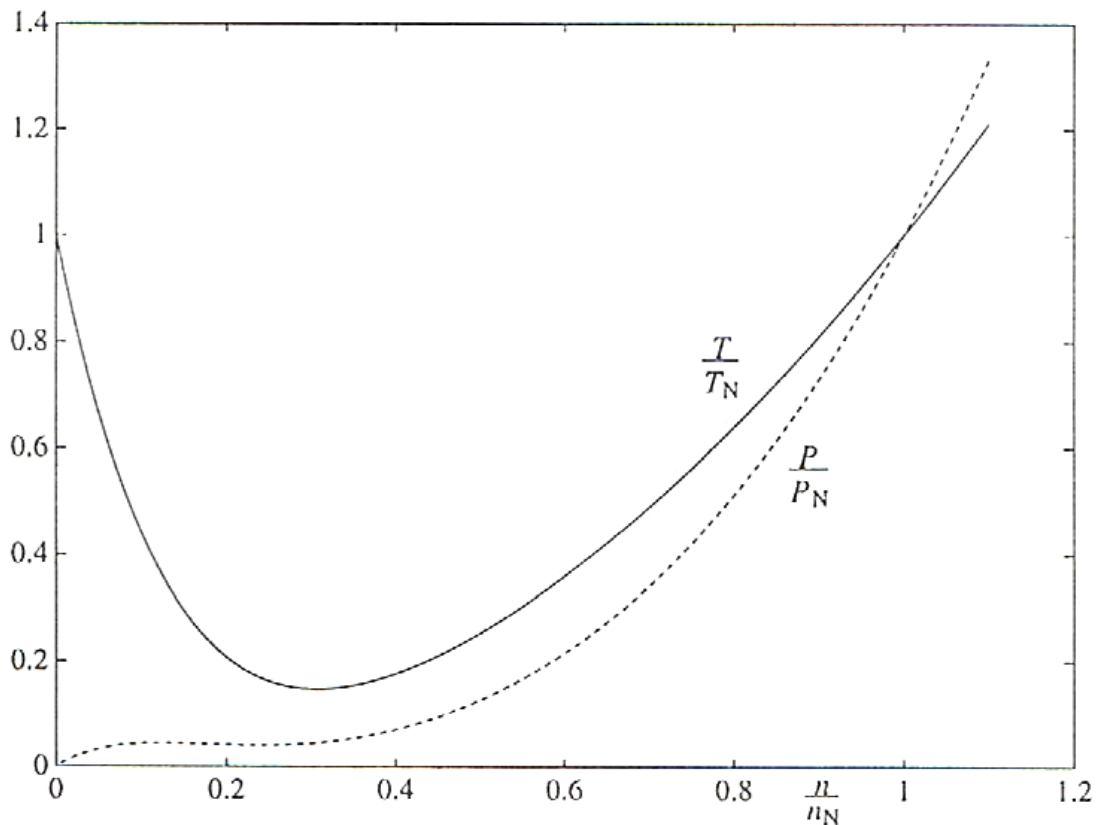
**KUVA 4.** Neliöinen vääntömomenttikäyrän omaavan käytön vääntömomentin  $T$  ja sisävastaavan tehon  $P$  suhde moottorin nimelliseen vääntömomenttiin ja tehoon /2/

Toiseksi tyypillinen on nopeudesta riippumaton vakiovääntömomentti (kuva 5). vakiovääntömomenttia esiintyy esimerkiksi kireyssäädetyillä käytöillä, nostureilla ja hihnakuljettimilla.



**KUVA 5.** Vakiovääntömomenttityyppisen käytön vääntömomentti ja sitä vastaava teho /2/

Kaikissa moottorikäytöissä esiintyy pienemmässä tai suuremmissa mitassa lepokitkaa. Tästä johtuen liikkeelle lähtö vaatii aina isomman niin sanotun irtiottovääntömomentin (kuva 6). Joissain käytöissä irtiottovääntömomentin tarve korostuu, esimerkiksi jähmettyvän aineen pumppauksessa.



**KUVA 6. Vääntömomentti- ja tehokäyrät erälle irtiottovääntömomenttia vaativalle käytölle /2/**

Lisäksi esiintyy käyttöjä, joissa teho on laajalla nopeusalueella vakio, jolloin kyseessä on vakiotehokäyttö. Kyseisiä käyttöjä ovat esimerkiksi rullain- ja kelainkäytöt.

Syklillisissä käytöissä, joissa on kiihdytyksiä ja jarrutuksia, tulee yhtälön (11) sisältämä mekaanisen kuorman massojen kiihdyttämiseen tarvittava vääntömomentti merkittäväksi.



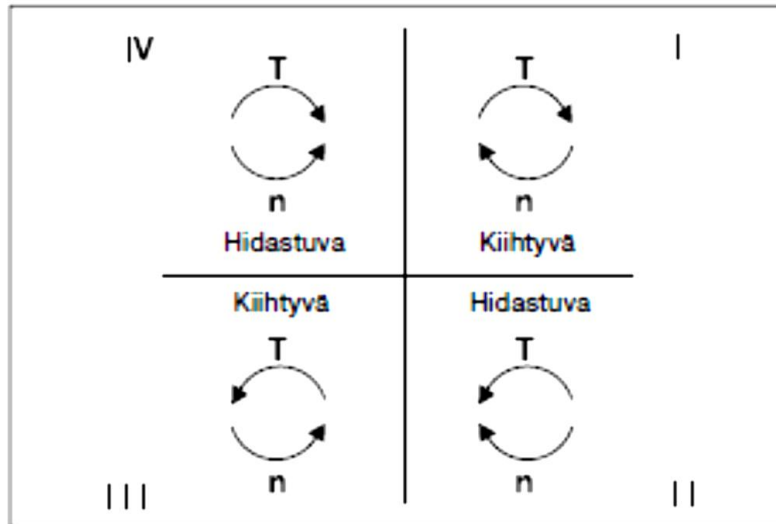
Käytön vääntömomenttia ei voida yksikäsitteisesti kuvata pyörimisnopeuden funktiona, koska kiihdytys ja jarrutus voi tapahtua millä nopeusalueella tahansa, vaan tarvitaan tieto myös nopeuden ja vääntömomentin käyttäytymisestä ajallisesti. Tietoa ajallisesta käyttäytymisestä tarvitaan esimerkiksi käytöissä, joissa kuormitus muuttuu pyörimisnopeudesta riippumatta. Tällaisia käyttöjä ovat työstökoneet, joissa vääntömomenttia tarvitaan, kun työstettävät kappaleet ovat koneessa.

Käytöissä, joissa kuormitus muuttuu pyörimisnopeudesta riippumatta, on käytön vääntömomentin oltava riittävä korjaamaan kuormituksesta johtuva nopeusvirhe. Käytön vääntömomentin on tästä johtuen oltava riittävän iso kyetäkseen korjaamaan nopeusvirheen.

## **2.5 Moottorin nelikvadranttikäyttö**

On monia käyttöjä, jotka pyörivät aina samaan suuntaan, eikä koskaan ole tarvetta jarruttaa kuormaa. Tällaisia yhteen suuntaan pyöriviä käyttöjä ovat esimerkiksi puhallin- ja pumppukäytöt. Näissä käytöissä vääntömomentti ja nopeus ovat yleensä positiivisia.

Käytöissä, joissa tapahtuu jarrutusta ja pyörimissuunnan vaihtumista, muuttuu myös vääntömomentin ja nopeuden etumerkki. Käytön toimintapiste voi liikkua kaikissa nopeus- vääntömomentintason neljänneksissä (kuva 7), näitä käyttöjä kutsutaan nelikvadraattikäytöiksi. Tällaisia käyttöjä ovat esimerkiksi nosturit, vinssit, hissit ja eri prosessit, joissa vaaditaan toistuvia momentin ja nopeuden muutoksia. /2./



**KUVA 7. Nelikvadranttikäyttö /3/**

*I* neljännes: Ensimmäisessä neljänneksessä moottori pyörii myötäpäivää. Koska momentti pyörii samaan suuntaan kuin kierrosluku, käytön nopeus kiihtyy.

*II* neljännes: Toisessa neljänneksessä moottori pyörii yhä myötäpäivään, kun taas momentti pyörii vastakkaiseen suuntaan, joten käytön nopeus hidastuu.

*III* ja *IV* neljännes: Kolmannessa ja neljännessä neljänneksessä moottori pyörii vastapäivään ja käytön nopeus kiihtyy tai hidastuu momentin suunasta riippuen.

Nelikvadraattikäytön toisessa ja neljännessä neljänneksessä moottori toimii generaattorina, koska vääntömomentin ja nopeuden etumerkit ovat vastakkaiset.

## 2.6 Moottorin säätö

Moottorin säädöllä on tarkoitus ohjata kuormaa tai prosessia haluttuun suuntaan pyörimisnopeutta tai vääntömomenttia muuttamalla. On kuitenkin paljon moottoreita, joita ohjaa vain verkko ja joiden säätöön ei pyritäkään vaikuttamaan mitenkään. Monet puhaltimet ja pumput ovat tällaisia käyttöjä.

On käyttöjä, joissa kuitenkin halutaan ohjata moottoria, joten tällaisia käyttöjä varten on kehitetty tekniikoita moottorien säätämiseen. Sääätötekniikoissa on suorituskyvyn osalta eri tekniikoissa vaihtelua paljon, mutta tekniikan kehittyessä tarkkuudet paranevat. Kun tarvitaan tarkkuutta nopeudensäätöön tai säädön parantamiseen, käytetään takaisinkytkentää säädettävästä suuresta. Tällaisia säädettäviä suureita ovat esimerkiksi vääntömomentti, nopeus, paikka ja kireys.

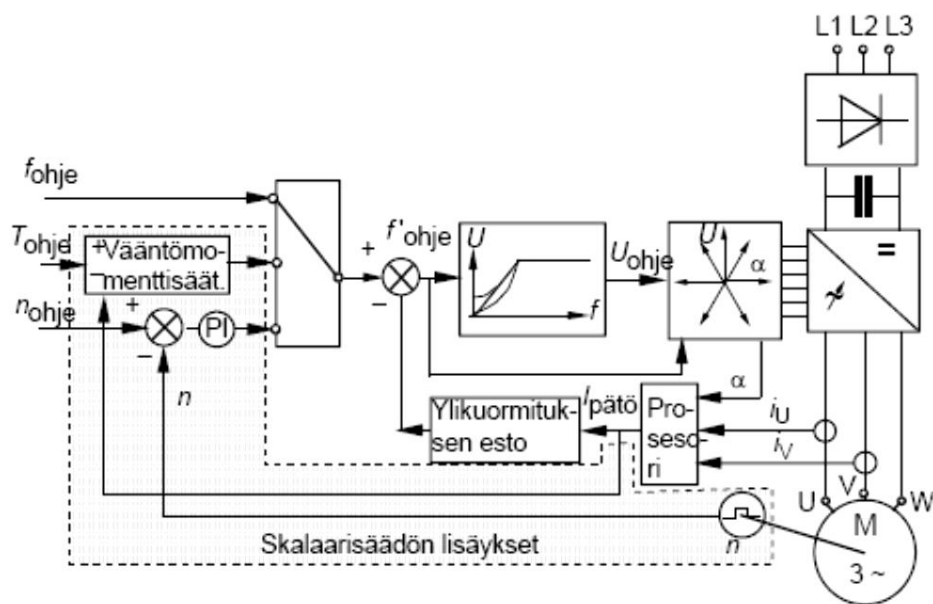
### 2.6.1 Tasasähkömoottorin säätö

Tasasähkömoottori on ollut säädön helppouden ja tarkkuuden takia ylivoimainen aina 1990-luvulle asti verrattuna epätahtikoneiden säätötekniikkaan. Tasasähkömoottorin pyörimisnopeutta säädetään etupäässä ankkurijännitettä muuttamalla ja vääntömomentti on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan. Pyörimisnopeutta voitaisiin ohjata myös magnetointijännitteellä, mutta magnetointi-induktanssin suuruuden vuoksi kyseinen säätötapa ei olisi nopea ja samalla se vaikuttaisi moottorin vääntömomenttiin negatiivisesti. Kuormituksen muutokset vaikuttavat eritavalla erityyppisiin tasavirtamoottoreihin. Erillismagnetoidun moottorin ja sivuvirtamoottorin tapauksessa kuormituksen muutokset eivät aiheuta suuria muutoksia pyörimisnopeuteen; kuormituksen kasvaessa pyörimisnopeus pienenee vai vähän. Sarjamoottorissa kuormituksen kasvu pienentää pyörimisnopeutta erittäin paljon ja pienellä kuormalla taas pyörimisnopeus nousee rajusti. Nykyään säätökäytöissä käytetään vain erillismagnetoituja tasasähkömoottoreita. /2./

## 2.6.2 Vaihtosähkömoottorin säätö

### Skalaariohjaus ja skalaarisäätö

Skalaariohjaus on yksinkertaisin tapa ohjata oikosulkumoottoria, koska jännitteen ja taajuuden suhde pidetään vakiona. Skalaariohjauksessa mitataan moottorin vaihevirrät ja lasketaan pätövirtakomponentit, pätövirtakomponentti on verrannollinen moottorin vääntömomenttiin. Skalaariohjaus voidaan varustaa nopeuden takaisinkytkennällä, jolloin kyseessä on skalaarisäätö (kuva 8). Nopeuden takaisinkytkennän takia skalaarisäädössä pystytään ohjaamaan myös moottorin vääntömomenttia. Taajuutta kasvattamalla voidaan lisätä pyörimisnopeutta, joka asettuu hieman jättämän takia syöttötaajuutta vastaavaa tahtinopeutta alhaisemmaksi. Jättämä asettuu sellaiseen arvoon, jossa moottori saa tarvitsemansa tehonsa. Säätötapa on yksinkertainen ja käyttökelpoinen, jos tarkkuudelle ei aseteta suuria vaatimuksia. /2./



**KUVA 8. Skalaarisäätö lohkokaaviotasolla /2/**



## DTC-säätö

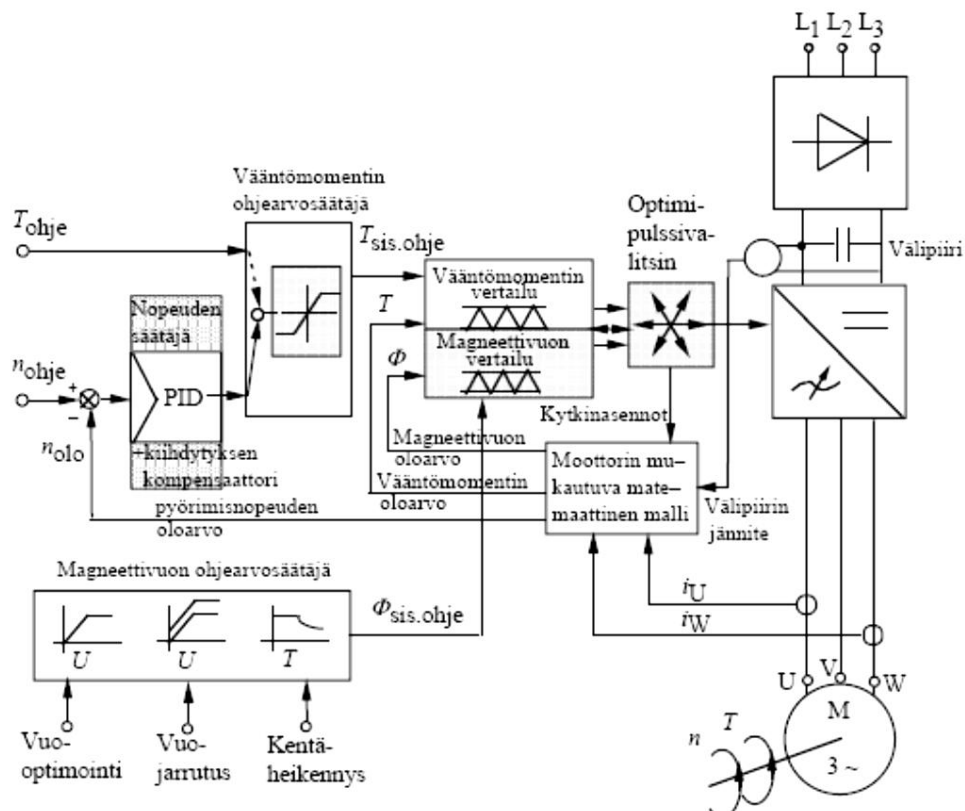
DTC-säädössä eli suorassa vääntömomenttisäädössä ohjataan suoraan moottorin perussuureita vääntömomenttia ja pyörimisnopeutta käämikäämivuon avulla. Suorassa vääntömomenttisäädössä moottorille annetaan tehtäväksi saavuttaa haluttu pyörimisnopeus ja vääntömomentti mahdollisimman nopeasti.

Suora vääntömomenttisäätö toimii kohtalaisen hyvin ilman, että moottorin parametreja tarvitsee tietää tarkasti, mutta säätötarkkuuden parantamiseksi moottorimallia käytetään myös. Ainoa tarvittava parametri on staattori-resistanssi, joka on periaatteessa helposti määritettävissä syöttämällä tasavirtaa staattoriin ja mittaamalla jännitehäviö.

DTC-säätöä havainnollistaa kuva 10.

ABB:n taajuusmuuttajissa on mahdollisuus suorittaa moottorille identifiointiajo, jonka aikana taajuusmuuttaja tunnistaa moottorin parametreja magneetomalla roottoria ja pyörittämällä sitä ilman kuormaa.

Suora vääntömomenttisäätöä käytetään käytöissä, joilta vaaditaan tarkkaa nopeuden-säätöä ja nopeaa momentinsäätöä. /1./



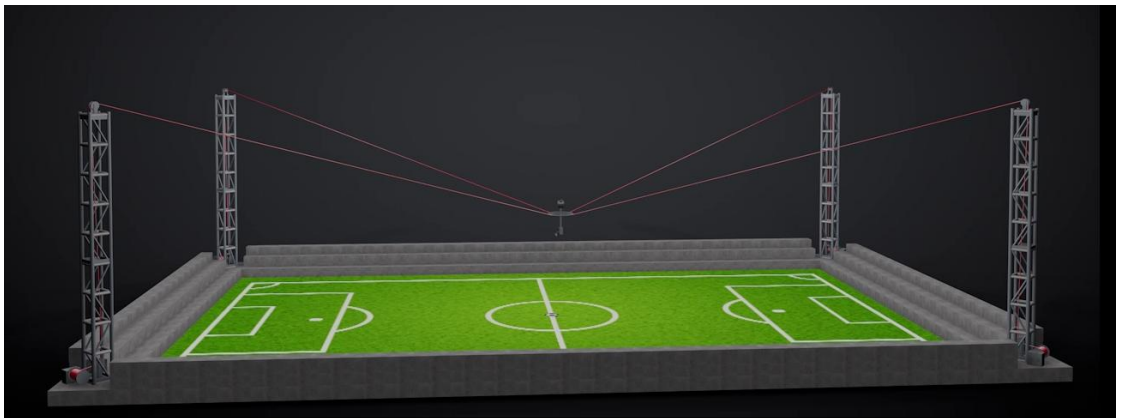
KUVA 10. DTC-säätö lohkokaa viotasolla /2/

### 3 TEKNINEN RAKENNE

Vaijerikamerajärjestelmä koostuu neljästä vinssiyksiköstä ja mastosta, kuva 11. Vinsien vaijerit on johdettu mastojen vaijeripyörästä ylös mastojen huipulle. Mastojen huipulta kaikki neljä vaijeria on yhdistetty kameratelineeseen kentän yläpuolella (kuva 12). Kameran ajonopeuden pitäisi olla säädettävissä portaattomasti maksimi nopeuden ollessa 40 km/h. Vinssien vaijereidenpituus tulisi olemaan noin 300 metriä. Kameran ja telineen yhteispaino olisi maksimissaan 20 kg.



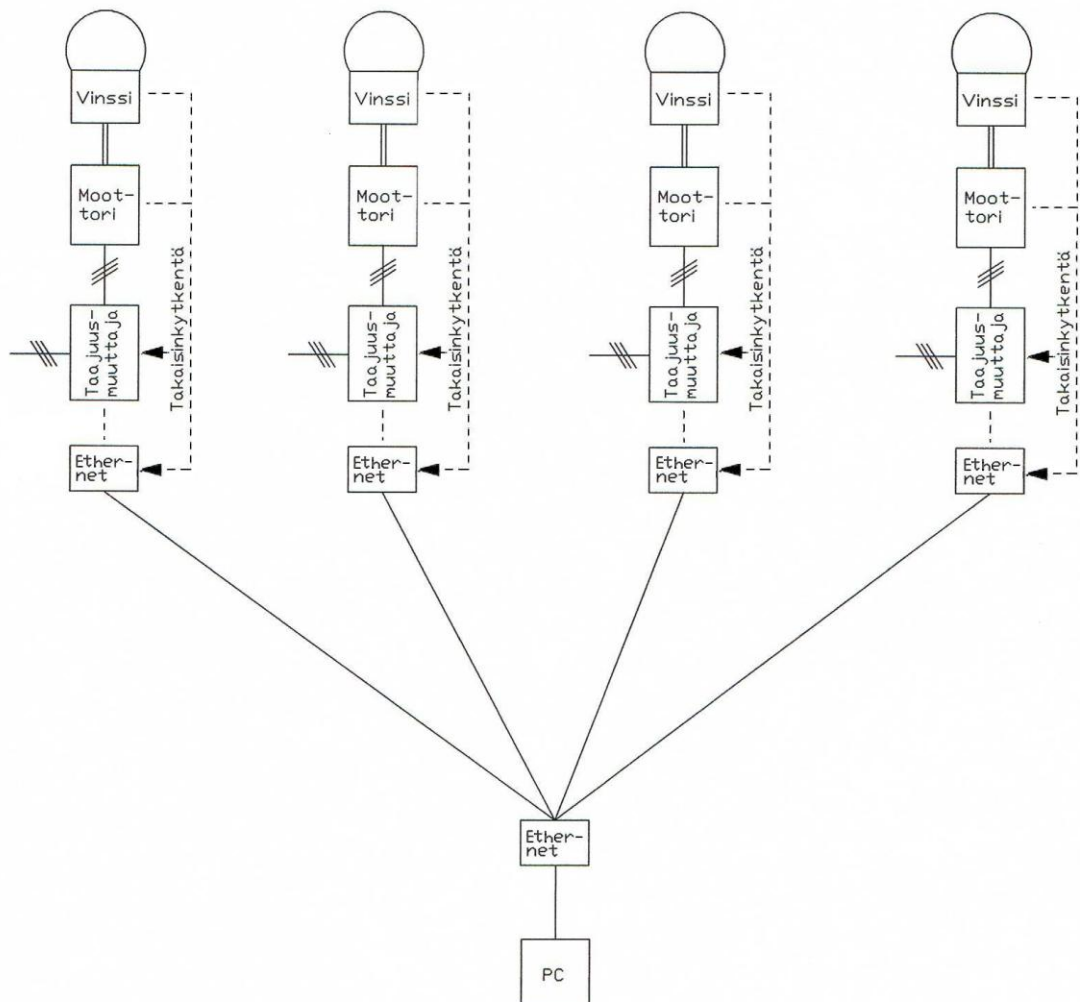
**KUVA 11. Vinssiyksiköt ja mastot**



**KUVA 12. Vaijereitten yhdistyminen kameratelineeseen**

## 4 SÄHKÖKÄYTÖN RAKENNE

Vaijerikamerajärjestelmän monimoottorikäyttö koostuisi neljästä erillisestä identtisestä sähkökäytöstä, joita ohjataan samanaikaisesti ethernet-verkon välityksellä (kuva 13). Jokaisessa neljässä sähkökäytössä on vinssiä vaihteiston välityksellä käyttävä moottori ja tätä ohjaava taajuusmuuttaja sekä tarvittavat takaisinkytkennät. Taajuusmuuttajat on kytketty verkkokorttien välityksellä ethernet-verkon kautta ohjaustietokoneeseen.



**KUVA 13. Sähkökäytön rakennekuva**



## 4.1 MOOTTORIN VALINTA

Moottori valitaan pääsääntöisesti käyttöprosessin mukaan. Moottorin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat kierrosalue, momenttikäyrät, moottorin kuormitettavuus ja jäähdytysmenetelmät. Moottorin valinnassa on myös otettava huomioon moottorin soveltuminen taajuusmuuttajakäyttöön, sillä taajuusmuuttajan syöttämät jännitepulssit voivat vanhentaa ja jopa tuhota moottorin eristystä ennenaikaisesti, jos moottoria ei ole suunniteltu taajuusmuuttajakäyttöön.

Moottorin on pystyttävä muodostamaan tarvittava momentti ja kestettävä jonkin verran ylikuormitusta. Moottorin maksimimomentille tulisi jättää noin 30 % marginaali, kun määritetään mitoitusvaiheessa maksimimomenttia. Moottorin termistä ylikuormitettavuutta ei saisi myöskään ylittää. /7./

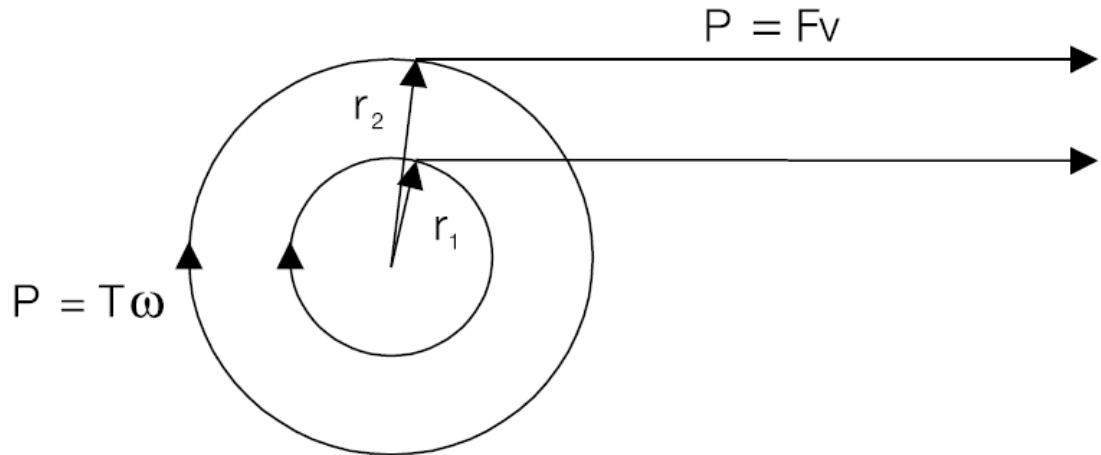
Koska tässä vaiheessa ei ole vielä saatavilla tarkkatietoa tarvittavasta vinssityypistä ja sen välityssuhteista sekä siihen liitettävästä vaijerityypistä, on tyydyttävä suuntaa antavaan laskentaesimerkkiin moottoritehon määrittämiseksi, Laskentaesimerkissä vetonopeus on ainut oikea-arvo, muut arvot ovat vain suuntaa antavia arvioita.

Vakiotehosovellituksen laskentamallia moottoritehon määrittämiseen käytetään silloin, kun halutaan erilaisissa kelainkäytöissä pitää pintanopeus ja vetokireys vakiona rummun halkaisijan muuttuessa (kuva 14).

### **Vakiotehosovellituksen esimerkki**

Vaijerin maksimivetonopeus on 12 m/s ja vetokireys 600 N. Vinssirummun halkaisija on 600 mm tyhjänä ja 800 mm täytenä. Vinssin vaihteen välityssuhde on  $n_2:n_1 = 1:5$  ja hyötysuhde 0,98.

Vinssin tarkoituksena on pitää vaijerin nopeus ja vetokireys vakiona halkaisijan muuttuessa.



**KUVA14. Vinssin toiminta /7/**

Suoraviivaisessa liikkeessä teho on:  $P = Fv$  (12)

Pyörimisliikkeessä teho on:  $P = T\omega$  (13)

Pintanopeuden ja Kulmanopeuden suhde on:

$$v[m/s] = \omega * r = \frac{2\pi * n[rpm] * r}{60} \leftrightarrow n[rpm] = \frac{60 * v}{2\pi * r} \quad (14)$$

Momentti on voima kertaa säde:  $T = Fr$  (15)

Käytön moottori voidaan valita yllä olevien kaavojen avulla:

$$P = 600 \text{ N} * 12 \text{ m/s} = 7,2 \text{ kW}$$

$$T_1 = 600 \text{ N} * \frac{0,6}{2} = 180 \text{ Nm}$$

$$n_1 = \frac{12 * 60}{\pi * 0,6} \text{ rpm} = 382 \text{ rpm}$$

$$T_2 = 600 \text{ N} * \frac{0,8}{2} = 240 \text{ Nm}$$

$$n_2 = \frac{12*60}{\pi*0,8} \text{ rpm} = 287 \text{ rpm}$$

Koska käytössä on vaihde, on sen vaikutus otettava huomioon. Joten kierrosluku, momentti ja teho on redusoitava moottorin akselille.

$$P = \frac{12}{0,98} \text{ kW} = 12,3 \text{ kW}$$

$$T_1 = \frac{180}{0,98} * \frac{1}{5} \text{ Nm} = 36,7 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 382 * 5 \text{ rpm} = 1910 \text{ rpm}$$

$$T_2 = \frac{240}{0,98} * \frac{1}{5} \text{ Nm} = 48,9 \text{ Nm}$$

$$n_2 = 287 * 5 \text{ rpm} = 1435 \text{ rpm}$$

Redusoinnin jälkeen voidaan verrata onko kaksi- vai neljänapainen moottori parempi kyseiselle käytölle.

**Jos valitaan kaksinapainen moottori**, jonka kuormitettavuus kierrosluvulla 1435 rpm on noin 90 % ja kierrosluvulla 1910 rpm noin 96 % (kuormitettavuuden prosenttiluvut saadaan kuvan 15.sta taulukosta), moottorin miniminimellistehoksi saadaan:

$$P_n \geq \frac{48,9*3000}{0,9*9550} \text{ kW} = 17 \text{ kW}$$

Valitaan 18,5 kW (400 V, 31.5 A, 50 Hz, 2932 rpm, 0.92  $\phi$ ) moottori, jolloin moottorin nimellismomentti on:

$$T_n = \frac{18,5*9550}{2932} \text{ Nm} = 60,3 \text{ Nm}$$

Mitoitusvirta lasketaan momentin 48,9 Nm mukaan, jolloin moottorivirta on:

$$I_m = \frac{T_{\text{kuorma}}}{T_n} * I_n = \frac{48,9}{60,3} * 31,5 \text{ A} = 25,6 \text{ A}$$

**Jos taas valitaan nelinapainen moottori**, jonka kuormitettavuus kierrosluvulla 1435 rpm on noin 99 % ja kierrosluvulla 1910 rpm noin 79 % (kuormitettavuuden prosenttiluvut saadaan kuvan 15.sta taulukosta), moottorin miniminimellistehoksi saadaan:

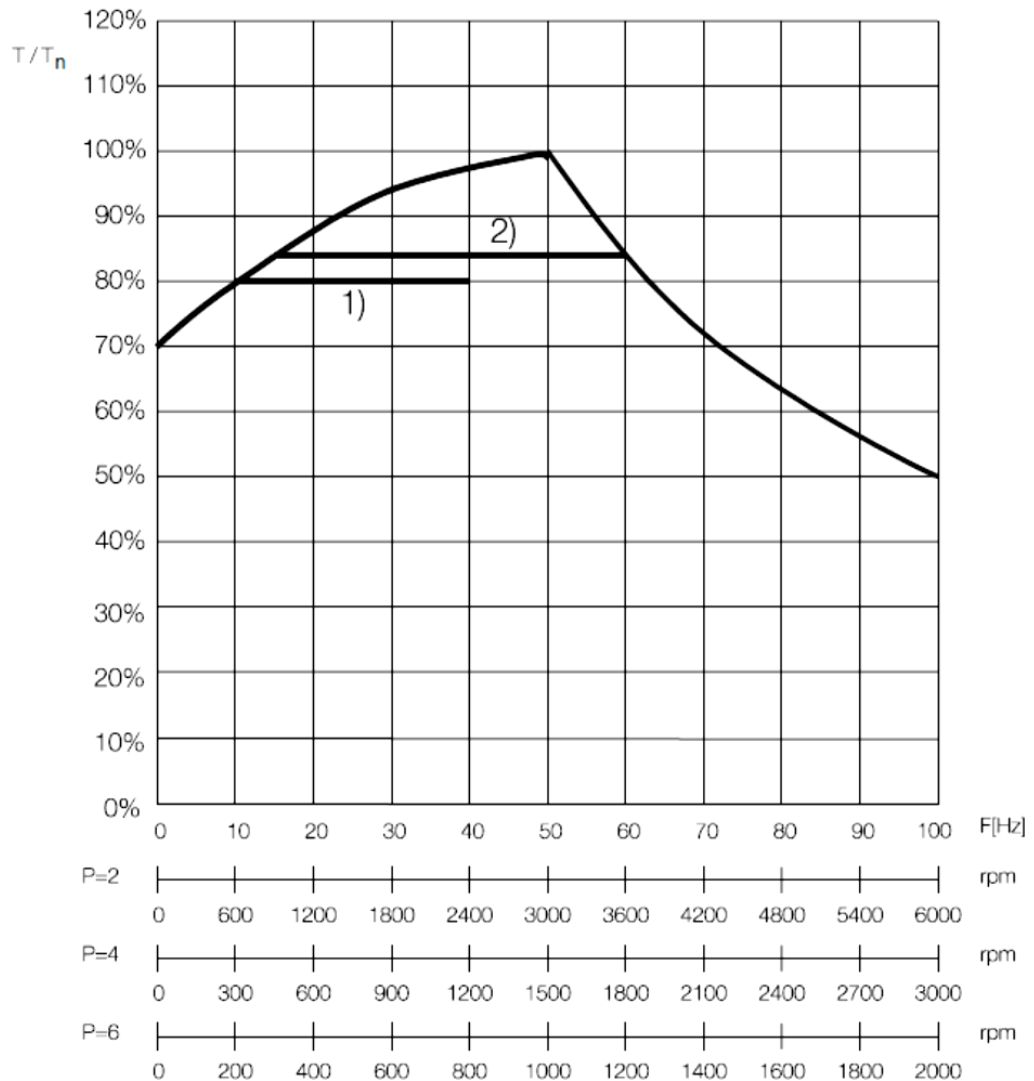
$$P_n \geq \frac{48,9 * 1500}{0,99 * 9550} \text{ kW} = 7,8 \text{ kW}$$

Valitaan 11 kW (400 V, 20,9 A, 50 Hz, 1466 rpm, 0.84  $\phi$ ) moottori, jolloin moottorin nimellismomentti on:

$$T_n = \frac{11 * 9550}{1466} \text{ Nm} = 71,7 \text{ Nm}$$

Mitoitusvirta lasketaan momentin 48,9 Nm mukaan, jolloin moottorivirta on:

$$I_m = \frac{T_{\text{kuorma}}}{T_n} * I_n = \frac{48,9}{71,7} * 20,9 \text{ A} = 14,3 \text{ A}$$



**KUVA 15. Moottorin kuormitettavuuskäyrä vakiomomenttisovelluksessa, 2-napaiset, 4-napaiset(1) ja 6-napaiset moottorit(2) /4/**

Edellisistä laskelmista selviää, että neljänapainen moottori sopii paremmin vinssikäyttöön, koska kaksinapaisen moottorin kenttäheikennysaluetta ei hyödynnetty. Kenttäheikennysalueen hyödyntämättä jättäminen johtaa moottorin tarpeettomaan ylimitoitukseen.

Moottorin tehontarpeeseen vaikuttavat vaijerin vetokireys ja vinssirummun vipuvarsi-vaikutus, eli mitä enemmän vipuvartta tai pienempi vetokireys, sitä vähemmän tarvitaan tehoa.

## 4.2 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttavat verkkojännite, moottorivirta ja käyttöolosuhteet. Moottorin teknisistä tiedoista saadaan taajuusmuuttajan valintaan tarvittava nimellisvirta, nimellisteho ja nimellismomentti. Käynnistysmomentti on otettava huomioon, koska moottorin käynnistys tapahtuu aina kuormituksessa. Vinssikäytössä kuormitustyyppi on vakiovääntömomenttityyppinen.

Taajuusmuuttajan valinnassa pitää ottaa huomioon myös käyttöympäristöolosuhteet. Käyttöympäristön kosteus, pöly ja lämpötila määrittelevät taajuusmuuttajan koteloinnin suojausluokituksen.

Suunniteltuun vinssijärjestelmää soveltuu parhaiten ABB:n ACSM1-sarjan taajuusmuuttaja (kuva 16), joka on suunniteltu vaativien käyttöjen nopeuden ja momentin säätöön sekä liikkeenhallintaan. Taajuusmuuttajaa on saatavilla tehoalueella 0,75 kW–160 kW / 380–480 V viittä eri runkokokoa (liite 2). Kyseisestä taajuusmuuttajasta löytyy myös sisäänrakennettu jarrukatkoja vakiona, lisäksi sen ohjausta voidaan laajentaa kolmella lisäkortilla (liite 1). /6./

ABB:n ACSM1-sarjan taajuusmuuttajissa käytetään ABB:n kehittämää DTC-tekniikkaa, jossa ei tarvita välttämättä modulaattoria eikä moottorin akselista nopeuden tai asennon takaisinkytkentää tarkan säätötuloksen saavuttamiseksi.

DTC-tekniikan momenttivasteaika on 1-2 ms alle 40 Hz:n taajuuksilla, kun taas tasavirtakäyttöjen vasteaika on tyypillisesti 10–20 ms. Myös momenttisäätö on tarkkaa alhaisilla taajuuksilla sekä momentin toistettavuus tapahtuu 1-2 % tarkkuudella nimellismomentista koko nopeusalueella.

DTC-tekniikalla saavutettu staattinen nopeustarkkuus on 10 % moottorin jättämästä eli 11 kW:n moottorilla 0,3 % ja 110 kW:n moottorilla 0,1 % staattisesta nopeustarkkuudesta ilman takaisinkytkentää, saman tarkkuuden saavuttamiseksi tasavirtakäytössä tarvitaan takaisinkytkentä. Kun DTC-käyttö varustetaan takaisinkytkennällä, jonka anturin näytteenottotaajuus on 1024 pulssia/kierros, saavutetaan jopa 0,01 % tarkkuus.

DTC-tekniikalla saavutettu dynaaminen nopeustarkkuus on 0,3-0,4 %s takaisinkytkemättömänä. Muissa takaisinkytkemättömissä vaihtovirtakäytöissä dynaaminen tarkkuus on noin 3 %s. Kun DTC-käyttö varustetaan takaisinkytkennällä, saavutetaan dynaamisessa nopeustarkkuudessa servokäytöntaso eli 0,1 %s tarkkuus. /6./



**KUVA 16. ABB ACSM1-sarjan taajuusmuuttaja /5/**

Koska vinssijärjestelmässä ajetaan kameraa eri suuntiin, joutuvat myös vinssien moottoritkin vaihtamaan pyörimissuuntaansa mahdollisimman nopeasti. Pyörimissuunnan vaihdoksista johtuen moottori toimii välillä generaattorina ja tuottaa energiaa verkkoon päin, jolloin taajuusmuuttajan välipiirin jännite nousee mahdollisesti liian korkeaksi. Jotta taajuusmuuttajan välipiirin jännite ei nousisi liian paljon, on se purettava jarrukatkon kautta jarruvastukseen ja sitä kautta lämmöksi tai ohjattava IGBT-sillan kautta verkkoon.

Jarruvastus mitoitetaan käytön jarrutustehon ja käyttösykliin mukaan. Taajuusmuuttajan manuaalista kerrotaan rajat, joiden väliin jarruvastuksen ohmiarvon pitää sattu. Alimitoitettu jarruvastus aikaansaa liian suuren virran, mikä vaurioittaa jarrukatkojaa. Ylimitoitettu jarruvastus taas ei käytä hyväkseen koko jarrutuskapasiteettia.

Jos halutaan toteuttaa ACSM1-sarjan taajuusmuuttajalla verkkoon jarrutus ja samalla pienentää moottoriin kohdistuvaa virtarastitusta, voidaan se toteuttaa taajuusmuuttajaan liitettävällä IGBT-moduulilla (liite 3).

### **4.3 TAKAISINKYTKENNÄT**

Vinssijärjestelmän sähkökäyttö ja kameran asemanmittaus pitää varustaa tarvittavilla antureilla, jotta käytön säädöt pystytään toteuttamaan mahdollisimman tarkasti. Antureita tarvitaan keräämään takaisinkytkentätietoja moottorin pyörimisnopeudesta sekä vaijerinpituudesta, ajonopeudesta ja vetovoimasta. Vaijerin pituustietojen avulla määritellään ja lasketaan kameran sijainti ja liikeradat.

Sähkökäytön moottori on varustettava optisella pulssianturilla, jotta ABB: ACSM1-sarjan taajuusmuuttajan säätötarkkuus saadaan hyödynnettyä kokonaisuudessaan. Optisella pulssianturilla saavutetaan parempi mittaustulos ja suurempi pulssijonon taajuus kuin magneettisella pulssianturilla.

Vaijerinvetovoiman mittaukseen voisi toteuttaa vaihteiston pääakselille sijoitetun venymäliuska-anturin avulla. Muutamilta vinssien valmistajilta löytyy sähköinen ylikuormasuoja, joka toimii tällä tekniikalla. Kuormituksen muutokset aiheuttavat venymäliuska-anturin sisällä olevaan metalilankaan pituusmuutosta, jolloin langan resistanssi muuttuu suoraan verrannollisesti venymään.

Voimamittaus joudutaan kalibroimaan vedättämällä vinssin vaijeria tunnetulla voimalla ja mittaamalla sen arvo vaijeriin kiinnitellyllä dynamometrillä.



Vaijerinpituuden ja ajonopeuden mittaus olisi järkevintä suorittaa suoraan vaijerinpin-  
nalta mittapyörällä varustetun absoluuttianturinavulla, joka on sijoitettuna esimerkiksi  
vinssin puolaimeen. Absoluuttianturin koodikiekossahan on jokaista asentokulmaa  
varten oma koodinsa, minkä takia anturin asentokulma voidaan lukea minä hetkenä  
hyvänsä.

Absoluuttianturin tarkan asentokulmatiedon takia pystytään määrittämään tarkasti  
vaijerin pituustieto myös suunnanvaihdoksissa ja pysäytysten jälkeen. Absoluuttiantu-  
rien erottelukyky on tavallisesti 6-20 bitin välillä, mutta antureita löytyy myös 30 bit-  
tiin saakka. Toistotarkkuudessa päästään jopa  $0,001^{\circ}$ - $0,005^{\circ}$ , mittausaskeleen tarkkuus  
yhdellä pituusaskeleella on noin  $\pm 0,002^{\circ}$  paikkeilla. Anturien virhemarginaali on noin  
 $\pm 0,03^{\circ}$ . Anturimallista riippuen paikkatiedon vasteaika on noin 1-80 ms.

## 5 TIEDONSIIRTO

Kameravinssijärjestelmän tiedonsiirto on tarkoitus toteuttaa ethernet-yhteydellä käyt-  
täen TCP/IP-protokollaa, ja jokaisella taajuusmuuttajalla on oma IP-osoitteensa.  
TCP/IP-protokollan käyttö mahdollistaa tiedonsiirron ja reaaliaikaisen säätötoiminnan  
samanaikaisesti, myös tiedonsiirtoon käytettävä tekniikka on edullista ja hyvin saata-  
vissa.

Väylärakenteena on tarkoitus käyttää parikaapeloitua tähtitopologiaa, jolloin pystytään  
lähettämään säätökäskyt taajuusmuuttajille mahdollisimman pienellä viiveellä. Pari-  
kaapeloinnilla keskitetään tiedonkeruu ja säätötoiminta omiin IP-osoitteisiin viiveen  
pienentämiseksi, mutta samalla on käytössä varaverkko mahdollisten katkosten varal-  
ta. Kaapelointina väylärakenteessa on tarkoitus käyttää GAT6-parikaapelia, mutta  
tarvittaessa voidaan käyttää joko valokuitua tai langatonta verkkoyhteyttä.

## 6 TURVALLISUUS

Laitesuunnittelussa pitää jo suunnittelun alkuvaiheessa ottaa selville, mitä vaatimuksia laitteistolle asettavat eri turvallisuusmääräykset. Näin vältetään turhilta kustannuksilta, joita voi olla esimerkiksi rakenne- tai ohjelmistomuutokset.

Tässä projektissa huomioitavia turvallisuus määräyksiä ovat sähkölaitteiden ja – järjestelmien turvallisuutta koskeva Sähköturvallisuuslaki 410/1996. Siihen liittyvä Sähköturvallisuusasetus 498/1996 ja sen muutokset 323/2004 ja 402/2008 sekä sähkölaitteiden turvallisuuden osalta Kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset KTMP 1694/1993 sekä sen muutokset 922/1994, 1216/1995, 216/1996, 650/1996 ja 29/2003. Sekä Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. /7./

Tärkein määräys, joka koskee vinssejä, on, että vinsseissä on oltava mekaaniset jarrut, jotka pystyvät pitämään kuorman paikallaan sähkökatkon tai häiriön sattuessa.

## 7 LOPPUPÄÄTELMÄT

Kolmiulotteinen vaijerikamera idea sai alkunsa kahvipöytäideasta ja pohdiskelusta, onko mahdollista toteuttaa kolmiulotteinen kamerajärjestelmä mahdollisimman edullisesti, joten lähdin opinnäytetyönä selvittämään, mitä tarvitaan, jotta pystyttäisiin toteuttamaan kyseinen järjestelmä.

Moottorin tehoa vakiotehosovellituksen esimerkillä laskiessa tuli selväksi, kuinka tärkeää on löytää oikeanlainen vinssi ja välitykset, jotta päästään mahdollisimman pieneen moottoritehoon.

Työntuloksena saatujen tietojen perusteella nykyinen taajuusmuuttajaohjattu sähkökäyttö soveltuu jopa tarkkaan servokäyttöön. Tämän tiedon perusteella lähdetään kehittämään vaijerikamerajärjestelmää ja sen ohjausohjelmaa eteenpäin.

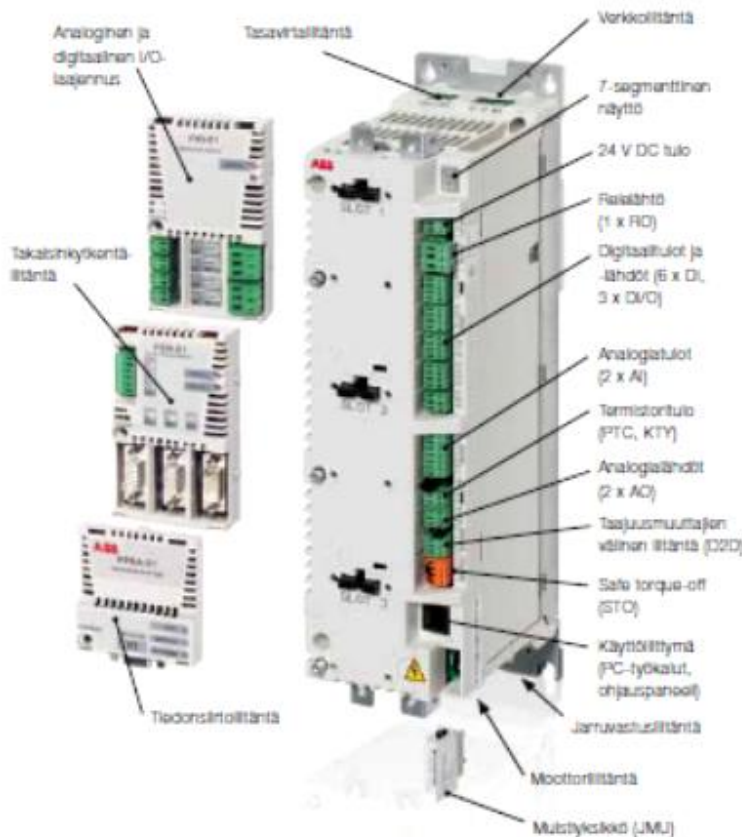
Jatkossa yhtenä ratkaistavana ongelmana tulee olemaan vaijereiden mahdollisesta venymästä aiheutuva mittavirhe, joka voi olla huomattavakin. Venymää aiheutuu kuormituksesta, lämpötilan muutoksista ja rakennevenymästä. On selvitettävä, pystytäänkö mittavirhe eliminoidaan laskennallisesti tai jollain muulla tekniikalla.

Työ oli erittäin mielenkiintoista asioiden pohdiskelua, vertailua ja selvittelyä ja opetti nykyisten taajuusmuuttajien toiminnasta ja säätötarkkuudesta paljon.

**LÄHTEET**

- /1/ Jouko Niiranen. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: OTATIETO. 1999.
- /2/ Aura, Lauri – Tonteri, Antti, Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY. 1996.
- /3/ ABB, Tekninen opas nro 8: Sähköinen jarrutus, 2001. Päivitetty 29.3.2001. Luettu 7.3.2012.  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/\\$File/Tekninen\\_opasnro8.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/2e30f9c0e2d07b9ac1256d28004152df/$File/Tekninen_opasnro8.pdf)
- /4/ ABB, Tekninen opas nro 7 Sähkökäytön mitoitus, 2001. Päivitetty 21.3.2001. Luettu 7.3.2012.  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/\\$File/Tekninen\\_opasnro7.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/$File/Tekninen_opasnro7.pdf)
- /5/ ABB, ACSM1-sarjan taajuusmuuttajan 0,75–160 kW Tuoteluettelo Päivitetty 1.4.2010. Luettu 18.4.2012.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/6f55f54ae9b66610c12576f8002757fe/\\$file/ACSM1catalogREVE\\_FI.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/6f55f54ae9b66610c12576f8002757fe/$file/ACSM1catalogREVE_FI.pdf)
- /6/ ABB, Tekninen opas nro 1, Suora momentinsäätö, 2001. Päivitetty 1.2.2001. Luettu 7.3.2012.  
[http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/\\$File/Tekninenopasnro1.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/$File/Tekninenopasnro1.pdf)
- /7/ FINLEX ®-valtion säädöstietopankki, 2010, suomen lainsäädökset alkuperäisinä. Päivitetty 12.5.2012. Luettu 9.4.2012.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/>

## Lisävarusteet Sisäiset lisävarusteet



### Ohjauksyksikön (JCU) liitäntöjen kuvaus

		X1	
Ulkinen syöttö 24 V DC, 1,6 A	+24V1	1	
	GN2	2	
Relaisliitäntä 250 V AC / 30 V DC 2 A	NO	3	
	COM	4	
	NC	5	
+24 V DC	+24VD	6	
	Digitaalmaa, IO	7	
	Digitaalulo 1	DI1	8
	Digitaalulo 2	DI2	9
	+24 V DC	+24VD	10
	Digitaalmaa, IO	DGND	11
	Digitaalulo 3	DI3	12
	Digitaalulo 4	DI4	13
	+24 V DC	+24VD	14
	Digitaalmaa, IO	DGND	15
	Digitaalulo 5	DI5	16
	Digitaalulo 6	DI6	17
+24 V DC	+24VD	18	
Digitaalmaa, IO	DGND	19	
Digitaalulo 7	DI7	20	
Ohjainliitäntä (-) Ohjainliitäntä (+) Maa	+VREF	1	
	-VREF	2	
	ACND	3	
	AI1-	4	
	AI1+	5	
	AI2-	6	
	AI2+	7	
Analogitulot 1 (virta tai jännite, välinen siirtoliitäntä J1) Analogitulot 2 (virta tai jännite, välinen siirtoliitäntä J2) AI1 värijohtoisen väliliitäntä AI2 värijohtoisen väliliitäntä	TH	8	
	ACND	9	
	AO1 (I)	10	
	AO2 (I)	11	
Termistoritulo Maa	TH	8	
	ACND	9	
	AO1 (I)	10	
Analogilähtö 1 (virta) Analogilähtö 2 (jännite) Maa	AO2 (I)	11	
	AO2 (I)	12	
Taajuusmuuttajan välinen liitäntä painovoimaa J3 Taajuusmuuttajan välinen liitäntä	B	1	
	A	2	
Safe torque-off. Molempien pienen on oltava suljettuna, jotta taajuusmuuttaja käynnistyy. Maa	DCND	3	
	OUT1	4	
	OUT2	5	
	IN1	6	
PC-työkalut, ohjaispanoili liitäntä (RS 232) Muistiyksikön liitäntä	IN2	7	
	IN2	8	

### Ohjauksen ja tiedonsiirron lisävarusteet

Lisävarusteet	Tiedot	Korttipaikka 1	Korttipaikka 2	Korttipaikka 3
<b>Analoginen ja digitaalinen laajennus</b>				
RO-01	4 x DVO, 2 x RO	○	○	-
RO-11	3 x AI, 1 x AO, 2 x DVO	○	○	-
<b>Takaisinkytkentäliitäntä</b>				
FEN-01	2 tuloa (TTL-inkromontaalianturi), 1 lähtö	○	○	-
FEN-11	2 tuloa (SinCos-absoluuttianturi, TTL-inkromontaalianturi), 1 lähtö	○	○	-
FEN-21	2 tuloa (resolvi, TTL-inkromontaalianturi), 1 lähtö	○	○	-
FEN-31	1 tulo (HTL-inkromontaalianturi), 1 lähtö	○	○	-
<b>Tiedonsiirto</b>				
FPBA-01	PROFIBUS DP	-	-	○
FCAN-01	CANopen	-	-	○
FDNA-01	DeviceNet	-	-	○
FENA-01/..11*	EtherNet/IP, Modbus/TCP, PROFINET IO	-	-	○
FSCA-01	Modbus RTU	-	-	○
FECA-01*	EtherCAT	-	-	○
FSEA-01*	SERCOS II	-	-	○

○ - lisävarusto  
- - ei saatavilla  
\* - valmistusalla

## Tyypit, nimellisarvot, mitat ja painot

ACSM1 - 04XX - XXXX - 4 + XXXX

Ominaisuus/runkokokoo	A	B	C	D	E
<b>Virta ja teho</b>					
Nimellisvirta	2,5–7,0 A	9,5–16 A	24–46 A	60–90 A	110–210 A
Maksimivirta	5,3–14,7 A	16,6–28 A	42–81 A	105–150 A	165–351 A
Tyypillinen moottoriteho	0,75–3 kW	4–7,5 kW	11–22 kW	30–45 kW	55–110 kW / 160 kW <sup>1)</sup>
Jarrukaikot	●	●	●	●	●
Jarruvastus	□	□	□	□	□
Verkkokuristin	□	□	□	□	●
Verkkosuodin (EMC)	□	□	□	□	●
<b>Asennus ja jäähdytys</b>					
Irottavat toholiittimet	●	●	-	-	-
Irottavat ohjaukoliittimet	●	●	●	●	●
Ilmapuhdyttimen malli	■	■	■	■	■
- Takalöyryasennus	-	●	-	-	-
- DIN-kiskoasennus	-	●	-	-	-
- Vaaka-asennus	-	●	-	-	-
Push-through-malli	-	-	■	■	□
Kytimäkovymalli	-	-	■	■	-
Nestopuhdyttimen malli	-	-	-	-	■

<sup>1)</sup> Tehoaika 160 kW asti nestopuhdyttimessä mallissa.

● = vakiovaruste □ = ulkoinen lisävaruste  
■ = muunneltu tuote - = ei saatavilla

### Nimellisarvot<sup>2)</sup> (U<sub>n</sub> = 400 V AC)

Tyypillinen moottoriteho		f <sub>sw</sub> = 4 kHz		Tyypikkoodi	Runko-koko	f <sub>sw</sub> = 8 kHz		f <sub>sw</sub> = 16 kHz	
P <sub>n</sub> <sup>3)</sup> kW	P <sub>n</sub> <sup>3)</sup> hp	I <sub>n</sub> <sup>4)</sup> A	I <sub>max</sub> <sup>4)</sup> A			I <sub>n</sub> A	I <sub>max</sub> A	I <sub>n</sub> A	I <sub>max</sub> A
0,75	1	3	5,3	02A5-4	A	2,5	5,3	2	5,3
1,1	1,5	3,6	6,3	03A0-4	A	3	6,3	2,2	6,8
1,5	2	4,8	8,4	04A0-4	A	4	8,4	2,4	8,8
2,2	3	6	10,5	05A0-4	A	5	10,5	2,5	10,8
3	4	8	14,7	07A0-4	A	6,5	14,7	3	14,7
4	5	10,5	16,6	09A5-4	B	9,5	16,6	5	16,6
5,5	7,5	14	21	012A-4	B	12	21	6	15,2
7,5	10	18	28	016A-4	B	13	28	7,5	15,2
11	15	27	42	024A-4	C	24	42	18	29
15	20	35	54	031A-4	C	31	54	20	29
18,5	25	44	70	040A-4	C	35	70	22	42
22	30	50	81	046A-4	C	38	81	24	42
30	40	65	105	060A-4	D	55	105	28	57
37	50	80	130	073A-4	D	60	130	31	78
45	60	93	150	090A-4	D	65	150	34	78
55	75	110	165	110A-4	E	75	165	-	-
75	100	135	202	135A-4	E	90	202	-	-
90	125	175	282	175A-4	E	115	282	-	-
110	150	210	325	210A-4	E	135	325	-	-
160 <sup>5)</sup>	200 <sup>5)</sup>	250	351	260A-4	E	165	351	-	-

<sup>1)</sup> P<sub>n</sub>: Tyypillinen moottoriteho 400 V AC [kW] ja 480 V AC [hp]. Runkokoot A ja B verkkokuristimen kanssa tai ilman, runkokoot C ja D verkkokuristimen kanssa.

<sup>2)</sup> I<sub>n</sub>: Jatkuvaa lähtövirtaa annottuna kytkentätaajuuksilla f<sub>sw</sub> = 4,8/16 kHz

<sup>3)</sup> I<sub>max</sub>: Lyhytaikainen maksimilähtövirta annottuna kytkentätaajuuksilla f<sub>sw</sub> = 4,8/16 kHz

<sup>4)</sup> Jäähdytys (A – ilmapuhdytys, C – kylmäky, L – nestopuhdytys, P – push-through)

<sup>5)</sup> Ohjaus (S – nopeuden ja momentin säätö, M – ilkeäohjainta)

<sup>6)</sup> Moottoriteho määritetty f<sub>sw</sub> = 3 kHz (I<sub>n</sub> = 304 A).

<sup>7)</sup> Lähtövirta-arvot määritetään kartoitella 0,85, kun 480 V AC.

### Mitat

Runko-koko	Korkaus <sup>1)</sup> mm	Leveys <sup>2)</sup> mm	Syvyys <sup>3)</sup> mm	Paino kg
A	364	90	146	3
B	380	100	223	5
C	467	165	225/161 <sup>4)</sup>	10/6 <sup>5)</sup>
D	467	220	225/161 <sup>4)</sup>	17/14 <sup>6)</sup>
E	700	314	398	67

### Huomautukset

Käikki mitat ja painot ovat ilman lisävarusteita.

<sup>1)</sup> Korkaus on maksimikorkaus ilman kiinnityskovyytä.

<sup>2)</sup> Syvyys kasvaa 23 mm lisävarustaiden kanssa. Lisäksi 50 mm tulisi varata takakiinnityskäsitäkepoistimien, jos käytetään FEN-xx-lisävarusteita.

<sup>3)</sup> Syvyys tai paino on kylmäkyjäjäähdytyksellä varustetuille ACSM1-taajuusmuuttajalle.

## Verkkoon syöttävät syöttömoduulit

ACSM1

- 204XR

- XXXX

- 4

+ XXXX

**ACSM1-taajuusmuuttajien verkkosyöttö**

ACSM1-taajuusmuuttajan verkkosyöttöä voidaan käyttää sekä yhden että useamman taajuusmuuttajan kokoonpanoissa. Syöttöpuolen verkkoon syöttävä suodinmoduuli pitää verkkopuolen yliaallot erittäin alhaisella tasolla. Suodinmoduulissa on EMC-suodin kategorian C2 häiriöpäästövaatimusten täyttämiseksi.

**Tehokas syöttö erilaisiin järjestelmiin**

Verkkoon syöttäviä syöttömoduuleja voidaan käyttää laajalla tehoalueella 5–60 kW ja neljässä eri runkokoossa. Verkkosyöttöön tarvitaan vain kaksi moduulia, verkkoon syöttävä suodinmoduuli ja verkkoon syöttävä syöttömoduuli. Moduulit huolehtivat kaikista syöttöpuolen toiminnoista.

**Tärkeimmät ominaisuudet**

- Täysi jarrutusteho (100 % nimellisteho)
- Verkkopuolen tehokerron asetettu arvoon 1
- Puhdas teho, jossa on erittäin vähän yliaaltosisältöä (THD < 5 %) ja integroitu EMC-suodin (kategoria C2)
- Häiriönsieto syöttöjännitteen vaihteluille ohjatun tasajännitteen ansiosta
- Kytke ja käytä. Automaattinen käynnistys, kun syöttö on kytketty.
- Ei tarvetta suurille jarruvastuksille ja jatkuvalle jarrutukselle



Verkkoon syöttävä suodinmoduuli WFU-22 ja verkkoon syöttävä syöttömoduuli ACSM1-204 (runko D).



Verkkoon syöttävä suodinmoduuli WFU-21 ja verkkoon syöttävä syöttömoduuli ACSM1-204 (runko D).

Verkkoon syöttävän syöttömoduulin tyyppi	ACSM1-204XR-	07A0-4	016A-4	031A-4 <sup>1)</sup>	046A-4	090A-4
Verkkoon syöttävä syöttömoduuli, runko		A	B	C	C	D
Verkkoon syöttävä suodinmoduuli		WFU-01	WFU-02	WFU-11 <sup>1)</sup>	WFU-21	WFU-22
<b>Tuloliitäntä (AC)</b>						
Syöttöjännite	$U_i$ (V AC)	3-vaiheinen 380–480 V AC $\pm 10\%$ –15 %				
Nimellinen syöttöjännite 400 V AC	$S_N$ (kVA)	5,5	12,5	24	34	64
Nimellinen syöttövirta 400 V AC	$I_N$ (A)	8	18	35	50	93
Nimellinen syöttövirta 480 V AC	$I_N$ (A)	6,7	15	29	41	77
Taajuus	$f_s$ (Hz)	50–60 Hz $\pm 5\%$				
<b>Lahtoliitäntä (DC)</b>						
Tasajännite	$U_{DC}$ (V DC)	548–692 V DC $\pm 10\%$ ( $U_{DC} \geq 1,442 \times U_i$ )				
Nimellisteho (DC)	$P_{DC}$ (kW)	5,3	12	23	33	61
Nimellisteho (DC)	$P_{DC}$ (hp)	7	16	30	44	81
Nimellinen tasavirta ( $U_i = 400$ V AC, $U_{DC} = 577$ V DC)	$I_{DC}$ (A)	0	21	40	58	107
Nimellinen tasavirta ( $U_i = 480$ V AC, $U_{DC} = 692$ V DC)	$I_{DC}$ (A)	7,6	17	34	47	88
<b>Jarruvastusliitäntä</b>						
Jarrukatkoja		Vakiona kaikissa tyypeissä				
Jarruvastus		Ulkoisin vastus liitetty syöttömoduulin				
<b>Mitat ja painot</b>						
Verkkoon syöttävä syöttömoduuli	K x L x S (mm)	364 x 90 x 146	380 x 100 x 223	467 x 165 x 225		467 x 220 x 225
	Paino (kg)	3	5	10		17
Verkkoon syöttävä suodinmoduuli	K x L x S (mm)	315 x 213 x 218		386 x 288 x 272		406 x 318 x 209
	Paino (kg)	11		14		51

Tehoarvot pätevät 400–480 V AC verkkojännitteillä.

Verkkoon syöttävän syöttömoduulin mitat ovat ilman lisävarusteita.

<sup>1)</sup> Valmiilla