

Valerijs Davidko

Roottorin aseman mittaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

12.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Valerijs Davidko Roottorin aseman mittaus
Sivumäärä Aika	39 sivua + 6 liitettä 12.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Kehityspäällikkö Jukka Putaansuu Lehtori Jukka Karppinen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin ABB Oy:n Helsingin konetehtaan Moottorit ja Generaattorit -yksikölle. Työssä tutkittiin uusia mittausteknikoita ja -välineitä roottorin aseman mittausmenetelmän parantamiseksi sekä tahti- että oikosulkupuolella. Työ oli tarpeellinen, koska nykyisissä sähkömoottoreissa ilmenee mittausergelmia, koska mittausernelmet ovat vanhentuneet.</p> <p>Tavoitteena oli löytää mittausernelmet, joka on mahdollisimman helppo, joka pystyy antamaan entistä tarkempia tuloksia ja jonka suorittaminen on entistä turvallisempaa. Työssä tutustuttiin ensin nykyiseen mittausernelmään, kartoitettiin sen ongelmat. Tämän pohjalta lähdettiin kehittämään ja etsimään uusia mittausteknikoita ja -välineitä. Tämän lisäksi uusia ideoita saatiin haastatteleamalla konetehtaan koestusinsinöörejä ja koestajia.</p> <p>Tarkempaan tarkasteluun joutui kolmiomittaukseen perustuva laseretäisyysmittari Acuity AR-200. Tarkasteltiin sen käyttömahdollisuutta ja tuomia etuja uutena mittausernelmekaluna.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kartoitettua uusia mittausteknikoita ja -välineitä roottorin aseman mittaamiseen. Muutamat niistä soveltuivat hyvin uudeksi mittausernelmeksi. Tämä insinööri työ toimii hyvänä pohjana esitettyjen menetelmien jatkokehittämiseksi.</p>	
Avainsanat	ET-mittaus, roottori, akseli, sähkömoottori

Author(s) Title	Valerijs Davidko Rotor Position Measurement
Number of Pages Date	38 pages + 6 appendices 12.5.2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Jukka Putaansuu, Development Engineer Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was done for ABB factory, Helsinki Motors and Generators department. New ways, methods and tools for improving the measurements of rotor's axial flow/disposition in synchronous and induction motors on the final line of assemblage are studied and researched in this thesis. The need and demand for such research was due to the fact that quality problems could appear occasionally in electrical motors, caused by the inaccurate measurements of rotor's position.</p> <p>The aim of this thesis was to find the way and method of measuring that is the easiest, the most secure and could give the most accurate measurement results. First the old method was studied in this thesis and all its problems were revealed. Based on that new ways of measurements were created. New ideas were found also through the interviews with various engineers and testers.</p> <p>For the closer research the laser diode distance measurement sensor Acuity AR-200 was chosen. Its advantages and chances to be the new tool for rotor position measuring were studied.</p> <p>As a result various new methods and tools for measuring the rotor's position were revealed. Some of these ways were confirmed most suitable for such measurements. This Bachelor's thesis functions as a great base for the further studies in this field.</p>	
Keywords	Axial flow, rotor, electrical motor

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	ABB	2
3	Sähkömoottori	3
3.1	Yleistä	3
3.2	Sähkömoottorin toimintaperiaate	3
3.3	Sähkömoottorin perusrakenne	4
3.4	Eri sähkömoottorityypit	7
3.4.1	Epätahtimoottori	8
3.4.2	Tahtimoottori	8
4	Liukulaakerit	10
4.1	Yleistä	10
4.2	Liukulaakerit tahtimoottoreissa	12
4.3	Liukulaakerit induktiomooottoreissa	13
5	Roottorin aseman mittaus	14
5.1	Yleistä	14
5.2	ET-mittaus	14
5.2.1	Käsitteet	14
5.2.2	Tausta	15
5.2.3	Teoria	16
5.3	ET-mittauksen suorittaminen	17
5.3.1	ET-mittaus oikosulkumoottoreissa	17
5.3.2	ET-mittaus tahtimoottoreissa	19
5.4	ET-mittauksen epätarkkuus	23
5.5	Työturvallisuus	23
6	Vaatimukset	24
7	Uudet työkalut ET-mittausta varten oikosulkupuolella	25
7.1	Yleistä	25
7.2	Säädettävä osoitin	25

7.3	Käännettävä vipu	26
7.4	ET-mitan leimaaminen moottorin runkoon	28
8	Uudet työkalut ET-mittausta varten tahtipuolella	29
8.1	Laseretäisyysmittarit	29
8.1.1	Yleistä	29
8.1.2	Acuity AR200-50	30
8.1.3	Muiden valmistajien vastaavat laseretäisyysmittarit	32
8.2	ET-mitan mittauspisteet	32
9	Yhteenveto ja lopputulos	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Mittauspöytäkirja	
	Liite 2. Acuity AR-200:n tekniset tiedot	
	Liite 3. Wenglor CP35MHT80:n tekniset tiedot	
	Liite 4. Wenglor PNBC006:n tekniset tiedot	
	Liite 5. ERMA UM 3022:n paneelimitari	
	Liite6. Wenglor ZNBZ001:n kiinnike	

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boweri.
AC	Alternating current, vaihtosähkö.
DC	Direct current, tasasähkö.
D-pää	Drive End, tavallisesti moottorin käyttöpää.
ET mittaus	Roottorin aseman mittaus.
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission Systems, joustavat AC-siirtojärjestelmät.
fn	Nimellistaajuus.
HVDC	High-voltage direct current, suurjännitetasavirta.
Ir	Roottorivirta.
mA	milliampeeri.
max	maksimi.
min	minimi.
mmv	Magnetomotorinen voima.
N-napa	Pohjoisnapa.
N-pää	Non-drive End; tavallisesti moottorin käyttöpään vastainen pää.
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitavat logiikkaohjaimet.
smv	Sähkömotorinen voima.
S-napa	Etelänapa.
Un	Nimellisjännite.
UPS	Uninterruptive power supply, keskeytymätön virtalähde.
V	Voltti.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on sähkömoottorin roottorin aseman mittaustavan kehittäminen. Tutkimuksessa keskitytään nykyisen mittaustavan parantamiseen ja laseretäisyysmittareiden testaamiseen uutena mittaustyökaluna. Roottorin aseman mittausta kutsutaan myös ET-mittaukseksi.

Tässä tutkimuksessa keskitytään vain liukulaakereilla varustetuilla sekä tahtimoottoreiden että induktio- moottoreiden ET-mittauksen suorittamiseen. ET-mittauksen tarkoituksena on mitata roottorin aseman muutos aksiaalisuunnassa moottorin seisoessa ja käydessä. Mittaustulokset ovat asteikoltaan millimetrejä, ja tämänhetkisellä mittaustavalla ja mittausvälineillä päästään epätarkkoihin mittaustuloksiin.

Ensin tarkastellaan nykyinen mittaustapa, sen heikkoudet ja tutkitaan parantamismahdollisuuksia, joiden avulla saataisiin tarkemmat mittaustulokset. Toisena isona tutkimuksen osana on laseretäisyysmittarin testaaminen, sen soveliaisuuden tarkasteleminen mittaustyökaluna ET-mittausta varten induktio- ja tahtimoottoreissa ja sen tuomat vahvuudet tai heikkoudet.

2 ABB

ABB Oy on maailman johtava sähkövoiman ja automaatioteknologian tuotteiden kehittäjä ja tuottaja, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zurichissä. Liiketoiminta on levittäytynyt tasaisesti ympäri maapalloa. ABB:n palveluksessa työskentelee yli 135 000 henkilöä noin 100 eri maassa.

Suomessa ABB:lla on toimipisteitä noin 20 paikkakunnalla, ja tehdaskeskittymät sijaitsevat Haminassa, Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. ABB kuuluu maan teollisuuden suurimpiin työnantajiin. Se työllistää noin 5200 työntekijää, ja liikevaihto vuonna 2015 oli noin 2,2 miljardia.

ABB:na tämä yhtiö tunnetaan vuodesta 1988, mutta sen todellinen historia ulottuu yli 120 vuoden päähän. Tammikuussa 1988 ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Bover sulautettiin yhteen ja siitä tulee lyhenne ABB.

Yhtiön menestys ja kasvu perustuvat jatkuvan, suhdanteista riippumatta, tutkimukseen ja tuotekehitykseen. ABB:lla on yhteensä seitsemän tutkimuskeskusta ympäri maata, jotka ovat kehittäneet monia tuotteita ja teknologioita, jotka muuttivat maailman.

ABB:n liiketoiminta jakautuu neljään eri divisioonaan alaosastoineen:

- Electrification products; keskjännitetuotteet, pienjännitetuotteet ja –järjestelmät.
- Discrete Automation and Motion; taajuusmuuttajat, moottorit ja generaattorit, tehonmuokkaimet ja vaihtosuuntaajat, tehoelektroniikka, sähköautojen latausinfrastrukturi, robotit, UPS-järjestelmät ja varmennettu sähkönsyöttö.
- Process automation; ohjaus- ja säätöjärjestelmät, mittauslaitteet, turboahtimet, PLC automaatio.
- Power grids; muuntajat, sähköverkon suojauksen ja ohjauksen erikoissovellukset, sähköasemat ja sähköistykset, puolijohteet, HVDC, suurjännitetuotteet, suurjännitekaapelit ja kaapelivarusteet, FACTS, yritysohjelmistot.

Nykyään ABB on suurin teollisuuden sähkömoottoreiden, taajuusmuuttajien ja tuuliturbiinigeneraattoreiden sekä sähköverkkojen toimittaja.

3 Sähkömoottori

3.1 Yleistä

Sähkökoneiden pääasiallisena tehtävänä on energian muuttaminen muodosta toiseen. Sähkömoottorit muuttavat sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi ja generaattorit muuttavat mekaanista energiaa sähköiseksi energiaksi. Monet sähkökoneet voivat toimia sekä moottorina että generaattorina. Sähkömoottorit voi jakaa kahteen eri tyyppiin toimintaperiaatteidensa mukaan vaihtovirtamoottoreihin ja tasavirtamoottoreihin. Vaihtovirtamoottorit toimivat vaihtosähköllä (AC) ja tasavirtamoottorit vastaavasti tasasähköllä (DC). [1.]

Teollisuudessa käytetyimpiä moottorityyppejä ovat vaihtovirralla toimivia epätahti- ja tahtimoottoreita. Moottorit muistuttavat toisiaan sekä perusrakenteeltaan että toimintaperiaatteeltaan. Molempien toiminta perustuu samaan asiaan eli sähkömagneetteihin, jotka kytketään päälle ja pois päältä.

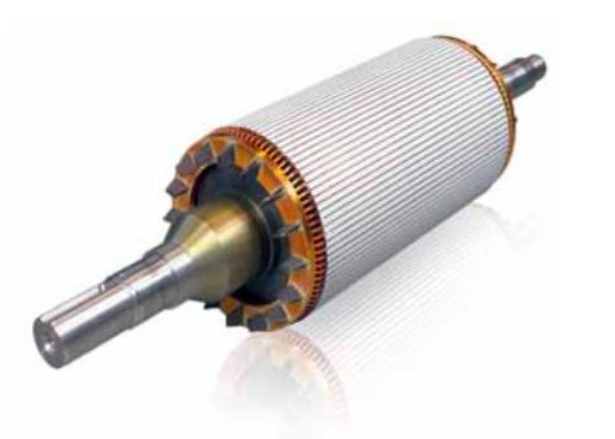
3.2 Sähkömoottorin toimintaperiaate

Tahti- ja epätahtimoottorit ovat kiertokenttäkoneita. Niiden toiminta perustuu moottorin sisällä (roottorin ja staattorin välissä) syntyvään kiertokenttään eli pyörivään magneettikenttään. Pyörivä magneettikenttä saadaan aikaiseksi sopivalla staattori- ja roottorikäämirakenteella ja sitä syöttävällä jännitteellä. Kiertokenttäkoneiden staattorikäämitys on kolmivaiheinen. Käämit on sijoitettu toisiinsa nähden 120 asteen kulmaan. Sekä tahti- että epätahtimoottorissa staattori magnetoidaan samalla tavalla, staattorikäämityksiin syötetään sinimuotoista virtaa niin, että syöttövirtojen välillä on 120 asteen vaihesiirto. Tämän seurauksena syntyy pyörivä magneettikenttä. Staattorikäämien keskelle sijoitettu roottori kohtaa pyörivän magneettikentän ja lähtee pyörimään kentän mukana. [2.]

3.3 Sähkömoottorin perusrakenne

Vaikka moottoreita on useita eri tyyppiä, ne rakennetaan erikokoisina, erimuotoisina, räätälöityinä asiakkaiden omiin tarpeisiin, eri käyttötarkoituksiin ja eri käyttöympäristöihin. Silti niistä kaikista voi erottaa tietyn perusrakenteen. Kaikista moottoreista löytyvät seuraavat perusosat:

- roottori akselineen, pyörivä osa. (kuva 1)
- staattori, seisoja eli kiinteä osa. (kuva 2)
- laakerikilvet tai laakeripukit ja laakerit. (kuva 3)
- tuuletin tai puhallin, jäähdytys. (seur. s. kuva 4, a)
- liitäntäkotelo, sähkönsyöttö. (seur. s. kuva 4, b)



Kuva 1. Roottori [3.]



Kuva 2. Staattori [4.]



Kuva 3 Laakerit [5.]

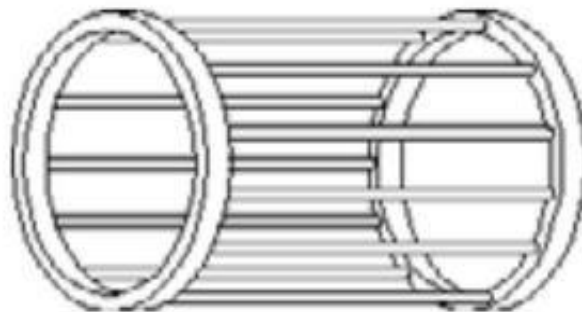


Kuva 4. a. Jäähdytysjärjestelmä, b. Liitäntäkotelo [6.]

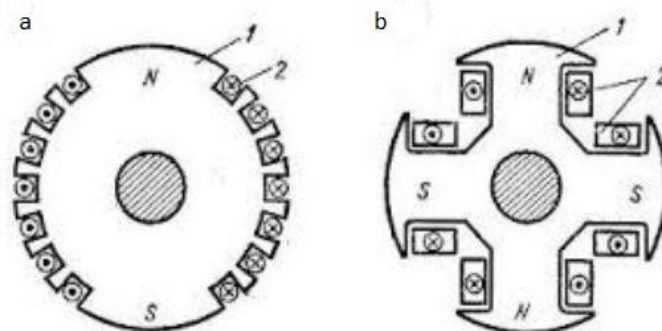
Kuten kuvista huomataan, staattori on rakenteeltaan lieriön muotoinen aivan kuten roottori. Roottori istutetaan laakereiden tuella staattoriaukkoon. Jotta se pyörisi vapaasti hankaamatta staattoria, niiden väliin jätetään pieni ilmaväli. Laakerit, jotka voivat olla rulla-, kuula- tai liukulaakereita, on kiinnitetty laakerikilpiin tai laakeripukkiin, jotka siis kannattavat roottoria. Kilpilaakerimoottoreissa laakerikilvet ovat yleensä kiinni staatto-

rissa, joka näin ollen muodostaa koneen rungon. Pukkilaakerimoottoreissa laakeripukki voi olla kiinni joko staattorissa tai lattiassa/alustassa, jolloin sitä kutsutaan irtopukiksi. Laakereiden määrä voi myös vaihdella, yleensä yhdestä kahteen. Kaksilaakerimoottoreissa laakerit sijoitetaan sekä D- että N-päähän ja yksilaakerimoottoreissa laakerit ovat yleensä vain N-päässä jolloin akselin D-pää makaa siihen liitetyn koneen laakereiden varassa. [7; 8.]

Sekä tahtimoottoreissa että oikosulkumoottoreissa seisoja eli staattori on rakenteeltaan melkein sama pieniä eroja lukuun ottamatta. Staattori on uritettu ja uriin on käämitty kolmivaiheinen vaihtovirtakäämitys (staattorikäämitys), jonka avulla saadaan aikaan pyörivä magneettikenttä. Moottorin pyörivä osa eli roottori on myös käämitty (roottorikäämitys), mutta sen muoto ja rakenne vaihtelee moottorityypin mukaan. Oikosulkumoottorin roottorissa on häkkikäämitys (kuva 5), itse roottori on uritettu ja uriin on sijoitettu kupari tai alumiinisauvoja, jotka ovat päistään oikosuljettuja. Tahtimoottoreissa roottorikäämitys on joko oikosulkumoottoreiden tapaan uritettu eli umpinapainen tai avonapainen (kuva 6), jolloin magneettinavojen ympärille on kierretty napakäämitys. Navat valmistetaan yleensä massiivisesta teräksestä. [9; 10; 11.]



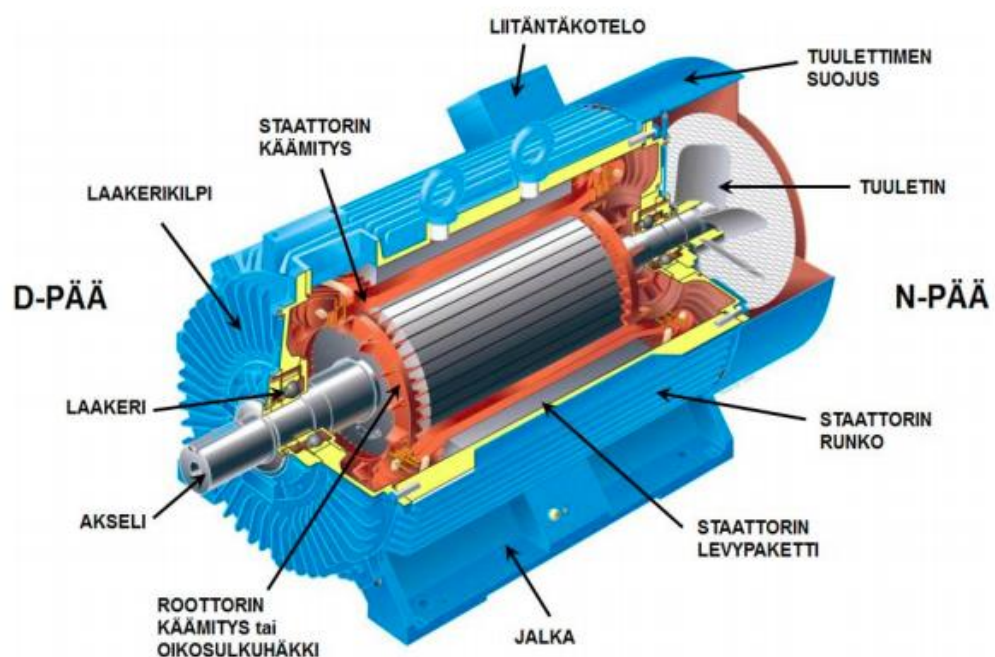
Kuva 5. Oikosulkumoottorin häkkikäämitys [12.]



Kuva 6. a. umpinapainen ja b. avonapainen, 1- napa ja 2- käämi [13.]

Moottorin käydessä sen käämeissä ja rautaosissa syntyy lämpöhäviöitä, jotka lämmitävät moottoria. Moottorin luotettavan ja keskeytyksettömän toiminnan kannalta on tärkeää, ettei moottorin lämpötila nouse yli sallitun rajan. Luonnollisen jäähtymisen lisäksi moottoria jäähdytetään tuulettimen tai puhaltimen avulla. Tuuletin yleensä sijoitetaan akselille, jolloin moottorin pyöriessä tuuletin kierrättää ilmaa. Jäähdytys voidaan toteuttaa myös erillisellä puhaltimella, jota pyörittää apumoottori. [7.]

Kuvassa 7 on esitetty normaalirakenteinen oikosulkumoottori. Moottorin jäähdytys on toteutettu akselille kiinnitettyllä tuulettimella ja rungon päälle on asennettu liitäntäkotelot sähkönsyöttöä varten.



Kuva 7. Normaalirakenteisen oikosulkumoottorin rakenne [14.]

3.4 Eri sähkömoottorityypit

Tässä tutkimuksessa keskitytään vain tahti- ja epätahtimoottoreihin, nimittäin oikosulkumoottoreihin ja tahtimoottoreihin. Muita moottoreita ei tarkastella.

3.4.1 Epätahtimoottori

Epätahtimoottorit ovat maailmalla käytetympiä moottorityyppejä. Yksinkertaisen rakenteensa vuoksi epätahtimoottorit ovat helppokäyttöisiä. Niiden huollon tarve on vähäinen, ja valmistuskulut ovat suhteellisen alhaiset. Epätahtimoottorin roottorin pyörimisnopeus poikkeaa moottorin sisällä staattorikämmityksen kehittämän pyörivän magneettikentän pyörimisnopeudesta; siitä tuleekin epätahtinimitys.

Epätahtimoottoreista yleisin moottorityyppi on oikosulkumoottori, josta käytetään myös nimitystä induktiokone. Nimensä mukaan roottorin navat ovat oikosuljettuja keskenään. Oikosulkumoottoreissa staattorin käämeissä syntyneet magneettikentän kenttäviivat leikaavat roottorikämmien sauvoja, jolloin niihin indusoituu smv (sähkömotorinen voima), joka luo roottorivirran I_r . Virran I_r ja pyörivän magneettikentän välinen voimavaikutus, staattorin ollessaan fyysisesti kiinni rungossa, saa roottorin pyörimään. Moottorin tarvitsema sähköteho syötetään siis vain staattorikämmityksiin, joista se siirtyy roottoriin ja muuttuu mekaaniseksi tehoksi.[15.]

Oikosulkumoottori on teollisuudessa eniten käytetty moottorityyppi. Taajuusmuuttajien ansiosta oikosulkumoottoreista on tullut entistä suosituimpia. Taajuusmuuttajat mahdollistavat pyörimisnopeuksien helppoa säätämistä. Näin ollen moottoreita voi käyttää entistä monipuolisimpiin käyttötarkoituksiin pumpuista, tuulettimista ja kompressoreista puhaltimiin, murskaimiin ja jopa alusten ohjauspotkureihin.

3.4.2 Tahtimoottori

Suuritehoiset, yli 1MW, vaihtosähkömoottorit rakennetaan yleensä tahtimoottoreina, sillä ne ovat usein taloudellisin vaihtoehto. Tahtimoottoreiden hyötysuhde on muutama astetta parempi kuin esim. oikosulkumoottoreiden. Prosentinkin parempi hyötysuhde näin tehokkaissa moottoreissa merkitsee jo todella paljon sekä rahassa että koneen suorituskyvyn kannalta, sillä häviöt muuttuvat lämpöhäviöiksi ja ylikuumentavat moottoreita. Tahtinimitys tulee siitä, että moottorin roottori pyörii koneen sisäisen magneettikentän ja siten myös syöttävän verkon kanssa täsmälleen samalla pyörimisnopeudella, toisin sanoen tahtinopeudella. [16.]

Toisin kuin oikosulkumoottoreissa ja ylipäätänsä kaikissa epätahtikoneissa, tahtimoottoreissa sähköteho syötetään sekä staattoriin että roottoriin. Staattorin osalta magne-

tointi tapahtuu samalla tavalla kuin oikosulkumoottoreissa. Roottoria magnetoidaan johdattamalla sen magnetointikäymyksiin tasavirta. Tämä tasavirta synnyttää magneettinapoihin pysyvän magneettivuon. Ideana on, että staattorin ja roottorin välille luodaan magneettinen kytkentä jolloin roottorin N-navat seuraavat staattorin S-napoja ja päinvastoin, ja seurauksena saadaan pyörivä roottori. [17.]

Tahtimoottoreita käytetään yleisimmin raskaassa teollisuudessa esim. kemianteollisuudessa, meriteollisuudessa, kaivosteollisuudessa sekä muilla teollisuuden aloilla, joissa tarvitaan suurta tehoa ja vääntömomenttia. Kuten aikaisemmin on jo mainittu, monia sähkömoottoreita voi käyttää generaattoreina, tahtimoottorit eivät ole poikkeus. Energiantuotannossa käytetään paljon tahtigeneraattoreita. Tahtimoottori eivät eroa rakenteeltaan tahtigeneraattoreista kuin ulkoisen kytkennän osalta. [16.]

4 Liukulaakerit

4.1 Yleistä

Laakerit ovat moottorin tärkeimpiä kone-elimiä, sillä laakeroinnista, laakerityypistä, sen asennuksesta ja voitelusta riippuu aika pitkälti moottorin häiriötön ja taloudellinen käynti. Kuten aiemmin on mainittu, ET-mittaus suoritetaan vain liukulaakereilla varustetuille moottoreille, koska nimenomaan liukulaakerirakenne mahdollistaa roottorin aksiaalisen liikkeen mekaanisten päätyrajojen välissä.

Liukulaakeri on akselia ohjaava, tukeva ja sen liikkeen mahdollistava yleensä rengasmainen laakeri. Liukulaakeri soveltuu suurille kuormituksille ja pyörimisnopeuksille. Rakenteensa ja voiteluainekalvonsa ansiosta se kestää iskujen aiheuttamaa räsitusta, vaimentaa värinää ja on miltei äänetön. [18.]

Liukulaakerien huomattavin haitta on kitka, joten liukulaakerit tarvitsevat jatkuva voitelua. Liukulaakerit ovat pääsääntöisesti joko rasvavoideltuja tai öljyvoideltuja. Muitakin voiteluaineita on olemassa, mutta niiden käyttö on suhteellisen vähäinen. Esimerkiksi molykote on eräs molybdeenidisulfidista valmistettu kiinteä erikoisvoiteluaine. Sitä käytetään yleensä johonkin voiteluaineeseen sekoitettuna. Näin se saadaan paremmin tarttumaan metallipintoihin. Voiteluaineen johtaminen liukupintojen välille tavallisesti tapahtuu voitelu-urien kautta, jotka sijaitsevat laakeripinnalla. [19.]

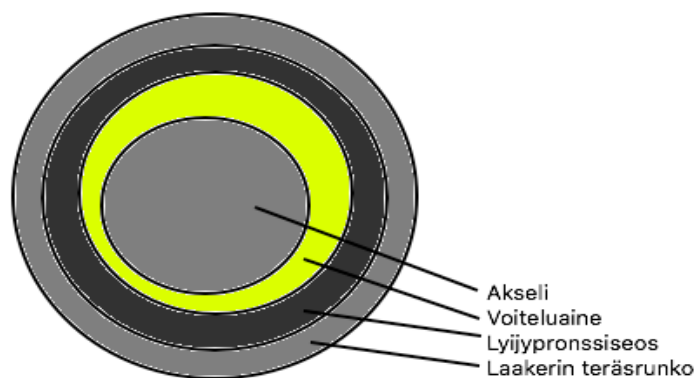
Kuvassa 6 on esitetty erilaisia, eri aineista valmistettuja liukulaakereita. Liukulaakerit voivat olla rakenteeltaan hyvinkin yksinkertaisia kuten esim. ao. kuvassa näkyvä teräksinen laakeriholkki tai vähän monimutkaisempia kuten rullatusta pronssista valmistettu laakeri, jonka pinta on rei'itetty ja reiät toimivat voiteluainereserveinä. Jotkut laakerit ovat valmistettu kahdesta eri aineesta esim. kuparista ja lyijystä. On myös olemassa monikerroksisia laakereita, joissa yhdistyy kaksi eri materiaalia: teräs (runko) ja lyijypronssiseos (sisempi osa). Teräsrunko tuo rakenteelle jäykkyyttä ja lyijypronssiseos pehmeänä ja pienikitkaisena huolehtii helposta luistosta (kuva 7). [20.]



Kuva 6. Erilaisista materiaaleista valmistetut ja erirakenteiset liukulaakerit.

Sähkömoottoreissa liukulaakeroinnissa liikuteltava osa eli akseli liikuu paikallaan pysyvän laakerin liukupinnalla. Liukulaakereiden hyvinä puolina pidetään pieni säteittäinen tilantarve, hinta ja huollettavuus. Liukulaakerin voi vaihtaa ilman vetävän koneen irrottamista, kun se voi asentaa sinne halkaistuna ns. laakeriliuskoina. Tietysti on myös huonoja puolia. Sähkömoottoreissa liukulaakerit vaativat jatkuvan voitelun pyöriessään ja voiteluaineen kulutus voi olla suuri, ne vievät suuren aksiaalisen tilan ja niiden kitka pyörimisen alussa on suuri. Tämän lisäksi on olemassa kiinnileikkautumisen vaara. [18.]

Sähkömoottoreissa liukulaakerit ovat kuluva osaa, laakeri on valmistettu akselia pehmeämmästä aineesta, jotta akselin kulumisen sijaan kuluu laakeri. Laakeroitavien pintojen väliin tulee kulumisesta sekä voiteluaineen likaisuuden myötä myös paljon epäpuhtauksia. Tästä syystä laakerimateriaalin on oltava niin pehmeää, että epäpuhtaudet uppoisivat sen sisään. Näin ne eivät naarmuta eivätkä kuluta akselia sen pyöriessä. [20.]



Kuva 7. Monikerroksinen liukulaakeri, poikkileikkaus.

4.2 Liukulaakerit tahtimoottoreissa

Tahtimoottoreissa käytössä olevia liukulaakereita ovat yleensä öljyvoideltuja ja muodostuvat laakeripesän rungosta, kannesta ja laakerikuoresta. Asennustavan perusteella ne voi jakaa kahteen eri tyyppiin: kilpilaakereihin ja pukkilaakereihin. Kilpilaakereita kiinnitetään suoraan moottorin runkoon, pukkilaakereita ei. Pukkilaakerit eivät ole fyysisesti kiinni moottorin rungossa, ne asennetaan moottorin rungon ulkopuolelle ja kiinnitetään esim. lattiaan (ks. kuva 8). Kilpilaakereita käytetään moottoreissa, jotka pyörivät suurilla nopeuksilla (4- ja 6- napaiset moottorit) ja pukkilaakereita käytetään rakenteellisesti isommissa moottoreissa. Pukkilaakereilla varustetut moottorit ovat helpompia asennuksissa ja huolloissa. [21.]



Kuva 8. Vasemmalla pukkilaakeri ja oikealla kilpilaakeri

Kilpilaakereita on kahta eri tyyppiä. Rakenteidensa puolesta ne jaetaan keskilaipallisiin (laippa keskellä) ja sivulaipallisiin (laippa laakerin päässä) liukulaakereihin. Sivulaipallisten liukulaakereiden etuja ovat mm. helppo huollettavuus ja tehokas itsejäähdytys. Keskilaipallisten liukulaakereiden etuja ovat erinomaiset dynaaminen käyttäytyminen ja staattinen kantokyky joten niitä käytetään moottoreissa, jotka pyörivät suurilla nopeuksilla ja joilta odotetaan nopeaa dynamiikkaa. Voitelun perusteella liukulaakerit jaetaan hydrodynaamisiin laakereihin ja hydrostaattisiin laakereihin. [22; 23.]

Hydrodynaamisissa laakereissa kuorman kantava voitelukalvo syntyy ainoastaan, kun pyörimisliike on riittävän nopeaa. Tämä tarkoittaa sitä, että moottorin käynnistyessä ja pysähtyessä voitelu toimii vain osittain, jolloin tapahtuu metallinen kosketus. Hydrody-

naaminen laakeri voi olla joko itsevoiteleva tai kiertovoideltu. Itsevoitelevassa laakerissa voitelukalvo saadaan aikaan akselin päällä makaavan irtonaisen öljyrenkaan avulla, joka pyörii öljyssä ja tuo mukanaan akselin yläpinnalle öljyä ja levittää sitä voitelu-uran kautta laakerin koko leveydelle. Kiertovoidellussa laakerissa voitelukalvo syntyy kun voiteluöljyä kierrätetään laakerin sisällä ulkoisen paineen avulla, jolloin se toimii myös jäähdytysnesteinä. Kiertovoideltu laakeri tarvitsee erillistä öljysäiliötä ja -putkia. [22; 23; 24.]

Hydrostaattisissa laakereissa kantava voitelukalvo saadaan ulkoisen paineen avulla. Voiteluaine, yleensä öljy, pumpataan liukupintojen väliseen voitelutaskuun, jolloin voiteluaineen hydrostaattinen paine erottaa laakerin liukupinnan ja akselin toisistaan. Hyvinä puolina on, että metallista kosketusta ei esiinny missään vaiheessa ja huonoina puolina ylimääräiset kustannukset, hydrostaattinen voitelu tarvitsee erillisen öljysäiliön ja painelaitteiston. [22.]

4.3 Liukulaakerit induktiomootoreissa

Induktiomootoreiden ja tahtimootoreiden liukulaakerit eivät poikkea toisistaan paljon. Kyseessä on samat laakerit, toiset on vain hieman isompia kuin toiset. Hyvin harvoin, kun induktiomootoreita varustetaan pukkilaakereilla, kooltaan ne ovat tahtimootoreita pienempiä, joten laakereihin kohdistuu vähemmän painoa joten induktiomootoreita miltei aina varustetaan kilpilaakereilla. Samaan tapaan kuin tahtimootoreissakin, kilpilaakerit ovat joko sivu- tai keskilaipallisia. Valinta niiden välillä perustuu käyttöolosuhteisiin ja haluttuun pyörimisnopeuteen, sekä mahdollisiin aksiaalisiin voimiin. Pienimmillä nopeuksilla pyörivissä ja vaatimattomissa käyttöolosuhteissa, joissa esim. ylikuumentamisen vaara on alhainen eli laakeri ei tarvitse ulkopuolista jäähdytystä, toimivissa moottoreissa käytetään sivulaipallisia liukulaakereita. Keskilaipallisia laakereita pääsääntöisesti käytetään suuremmilla nopeuksilla toimivissa moottoreissa, joilta odotetaan parempaa dynaamista käyttäytymistä. Tämän lisäksi keskilaipalliset liukulaakerit kestävät paremmin niihin kohdistuva aksiaalista voimaa. Sekä keskilaipalliset että sivulaipalliset liukulaakerit voidellaan joko hydrodynaamisesti tai hydrostaattisesti. [25.]

5 Roottorin aseman mittaus

5.1 Yleistä

ABB suunnittelee ja valmistaa asiakkaiden omiin tarpeisiin räätälöityjä sähkömoottoreita. Moottoreille suoritetaan lukuisia eri testauksia ja mittauksia ennen kuin moottori luovutetaan asiakkaalle. Testauksilla ja mittauksilla pyritään varmistamaan, että moottori on toimintakelpoinen ja se täyttää kaikki asiakkaan asettamat vaatimukset. Yksi näistä mittauksista on roottorin aseman mittaus, jota kutsutaan myös ET-mittaukseksi.

5.2 ET-mittaus

ET-mittauksessa etsitään magneettinen keskipiste, merkitään se ja varmistetaan, että se sijaitsee kokonaispelivaran (ks. seur. alaotsikko) sisällä. Näin varmistetaan, ettei loppukokoonpanon jälkeen moottorin roottori aiheuta liiallista räsitusta laakereille, akselilytkimelle sekä työkoneelle. Sekä induktiomoottoreille että tahtimoottoreille ABB:llä on omat sisäiset P- ohjeet ET-mittauksen suorittamista varten.

5.2.1 Käsitteet

ET-mittauksen ymmärtämisen helpottamiseksi selkeytetään seuraavat käsitteet:

Mekaaninen ET-mitta:

Etäisyys, joka mitataan loppukokoonpanossa, akselinlaipasta tai akselinpäästä staattorirungon päätylevyyn molemmilta puolilta.

Magneettinen ET-mitta:

Etäisyys, joka on mitattu ET-mittauksen yhteydessä, moottorin käydessä, akselinlaipasta tai akselinpäästä staattorirungon päätylevyyn molemmilta puolilta.

Kokonaispelivara:

Maksimi- ja minimiurien välissä oleva alue. Tyypillisimmin kokonaispelivara on kooltaan ± 8 mm mutta ei aina. Se vaihtelee koneen koon, tyypin ja rakenteen mukaan. Pienimmillään se voi olla $\pm 2,5$ mm.

Magneettinen/sähköinen keskipiste:

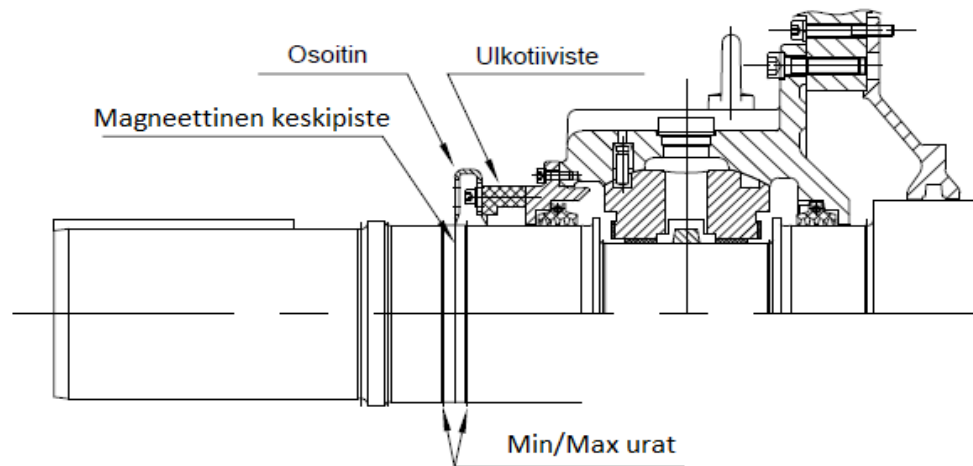
Roottorin todellinen asema moottorin käydessä melkein aina poikkeaa mekaanisesta keskipisteestä.

5.2.2 Tausta

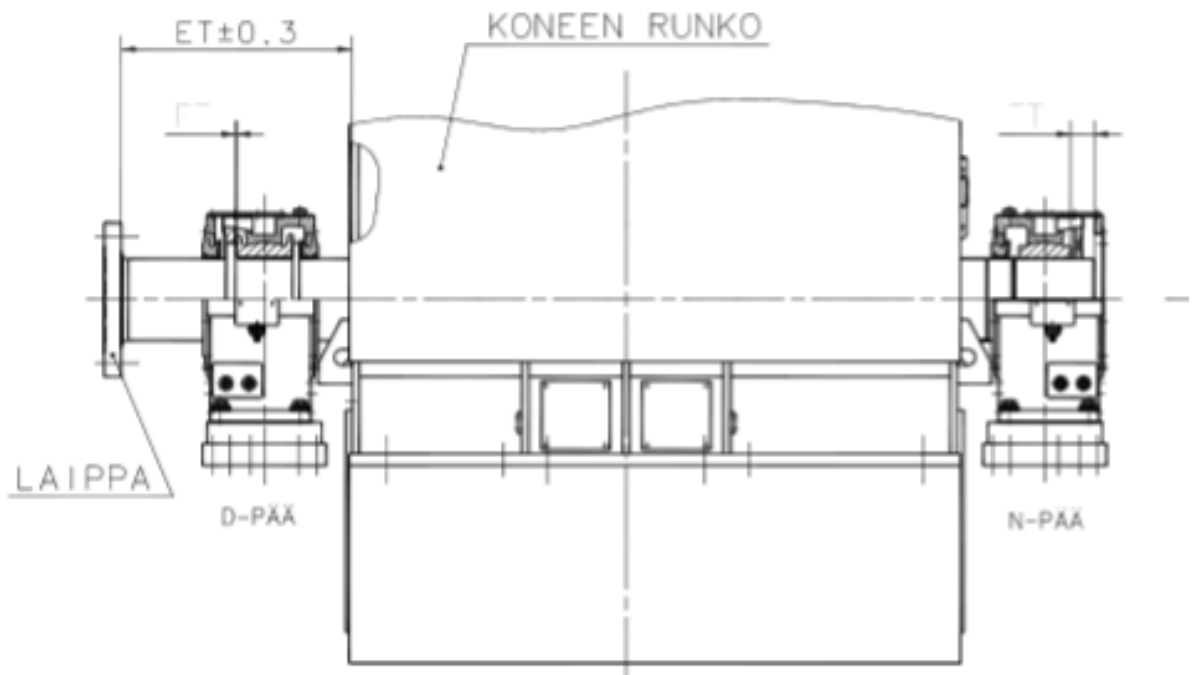
Useimmiten tahtimoottorit, ison koon ja painon takia, kuljetetaan sijoituspaikoille puretuina osiin, staattori ja roottori erillään. Sijoituspaikalla moottori kootaan yhteen jolloin roottori sijoitetaan staattoriaukkoon. Jotta roottori osattaisiin asentaa oikein omalle paikalle aksiaalisuunnassa, akselille merkitään käyttökeskiö, jota kutsutaan myös magneettiseksi keskipisteeksi, ja moottorin runko varustetaan osoittimella. Roottori on sijoitettu oikein, jos osoittimen kärki on linjassa akselin magneettisen keskipisteen uran kanssa (ks. kuva 10). Joissakin tapauksissa magneettista keskipistettä ei merkitä, silloin tehtaalla mitataan magneettinen ET-mitta, etäisyys tietystä rungon osasta tiettyyn akselin osaan, ja noudattaen tätä etäisyyttä kootaan moottori (ks. kuva 11).

Toisin kuin tahtimoottoreita, oikosulkumoottoreita kuljetetaan sijoituspaikoille lopullisessa kokoonpanossa, roottori asennettuna. Paikan päällä joudutaan kuitenkin suorittamaan muutamia hienosäätöjä. Tahtimoottoreiden tavoin erityistä huomiota on kiinnitettävä roottorin asemaan, sitä joutuu vähän kohdistamaan. Pidetään huoli siitä, että moottorin rungossa olevan osoittimen kärki on linjassa akselin magneettisen keskipisteen uran kanssa (ks. kuva 10).

Jotta em. roottorin kohdistaminen onnistuisi, kaikille liukulaakerimoottoreille on suoritettava ET-mittaus, mittauksen aikana etsitään magneettinen/sähköinen keskipiste ja merkitään se akselille.



Kuva 10. Akselin merkinnät ja magneettisen keskipisteen osoitin



Kuva 11. ET-mitta, etäisyys akselin laipasta staattorirungon päätylevyyn, tahtimoottori [8.]

5.2.3 Teoria

Koestukseen moottori tulee jo lopullisessa kokoonpanossa. Loppukokoonpanossa staattori ja roottori asennetaan aksiaalisuunnassa, mekaanisesti kohdakkain. Moottorin käydessä, roottorin ja staattorin välissä, syntyy aksiaalinen suuntaisia magneettivoimia sekä tuulettimesta aiheutuvia voimia, jotka pyrkivät siirtämään roottoria staattoriin näh-

den. Toisin sanoen roottori hakee magneettista keskipistettä ja yrittää asettua siihen. Liukulaakerimoottoreissa tällaisesta siirtymisestä saattaa aiheutua vahinkoa koneen laakereille, akselikytkimelle ja työkoneelle. Siksi koneen staattori ja roottori on asennettava magneettisesti kohdakkain eikä mekaanisesti.

5.3 ET-mittauksen suorittaminen

ET-mittaus suoritetaan kaikille liukulaakerimoottoreille, joissa on aksiaalista liikevaraa yli 2 mm tai moottoreille, joissa on irtolaakerit. Oikosulkupuolella ja tahtipuolella mittaustekniikat poikkeavat toisistaan. Siitä tarkemmin seuraavissa luvuissa.

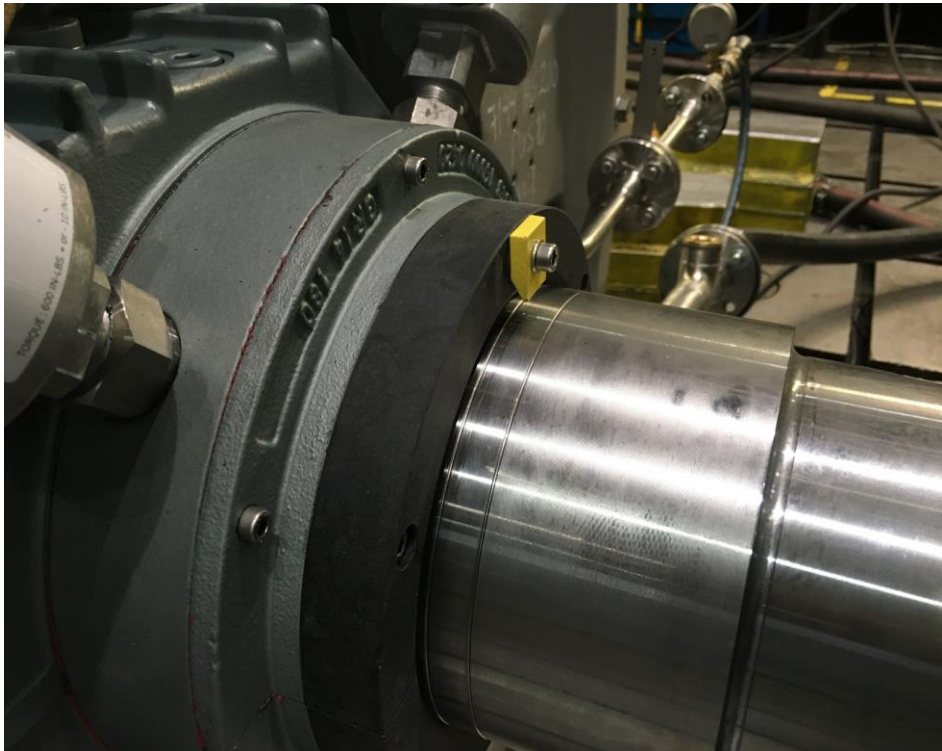
5.3.1 ET-mittaus oikosulkumoottoreissa

Kutein aiemmin jo kerrottu koestettavan moottorin pitää olla lopullisessa kokoonpanossa ja toimintakelpoinen. Moottorin roottori ja staattori on asennettu mekaanisesti kohdakkain. ET-mittauksia varten tarvitaan seuraavat mittaus ja työkalut: lyijykynä, piirto-
puikko ja mittakello.

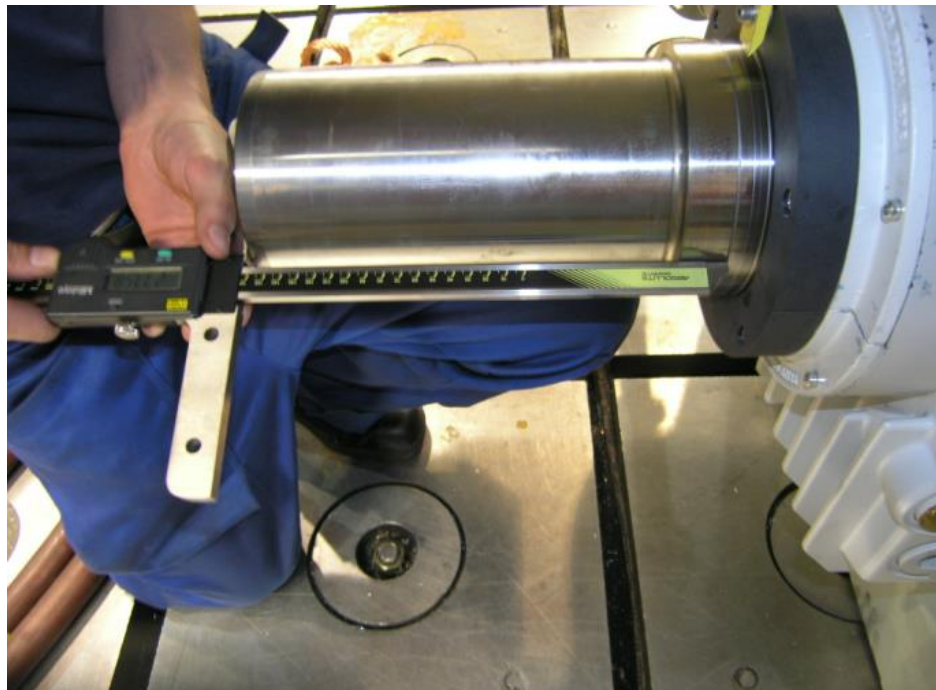
Moottori kytketään verkkoon ja laitetaan pyörimään nimellisjännitteellä ja -taajuudella ilman kuormaa. Roottorin asettua magneettiseen keskipisteeseen, merkitään akseliin lyijykynällä osoittimen kohdalle merkki (ks. seur. s. kuva 12). Tämän jälkeen moottori laitetaan pyörimään hitaammin, ja roottori aletaan työntää akselin päistä ensin toiseen suuntaan ja sitten toiseen suuntaan. Tätä kutsutaan pelivara-ajoksi. Pelivara-ajon tarkoituksena on tarkastaa, että kokonaispelivaran minimi- ja maksimiurat ovat kohdallaan osoittimeen nähden, eli osoittimen seilaaminen pysyy kokonaispelivaran sisällä. Sen jälkeen akseliin piirretään piirtopuikolla ura magneettiseen keskipisteeseen. Maksimin, minimin ja magneettisen pisteiden etäisyydet mitataan mittakellolla ja tulokset kirjataan ylös (ks. s. 20 kuva 13).

Pelivara on oikea, jos koneen vapaasti pyöriessä (U_n ja f_n) magneettinen keskipiste asettuu kokonaispelivaran "sisään" niin, että molempiin suuntiin on vapaata asiakkaan vaatima pelivara. Roottori ei saa koskaan "maata" kummassakaan äärilaidassa. Jos määräyksessä tai mittapiirustuksessa ilmoitetaan asiakkaan vaatimukseksi magneettisen keskipisteen osoitin ja pelivaraksi esim. ± 5 mm, pelivaran oltava molempiin suun-

tiin magneettisesta keskipisteestä vähintään 5 mm. Korjaus tehdään tarvittaessa siirtämällä laakereita tai staattoria.



Kuva 12. Esimerkki staattorin osoittimesta sekä roottoriin kaiverretut min ja max urat ja kynällä piirretty magneettinen keskipiste.



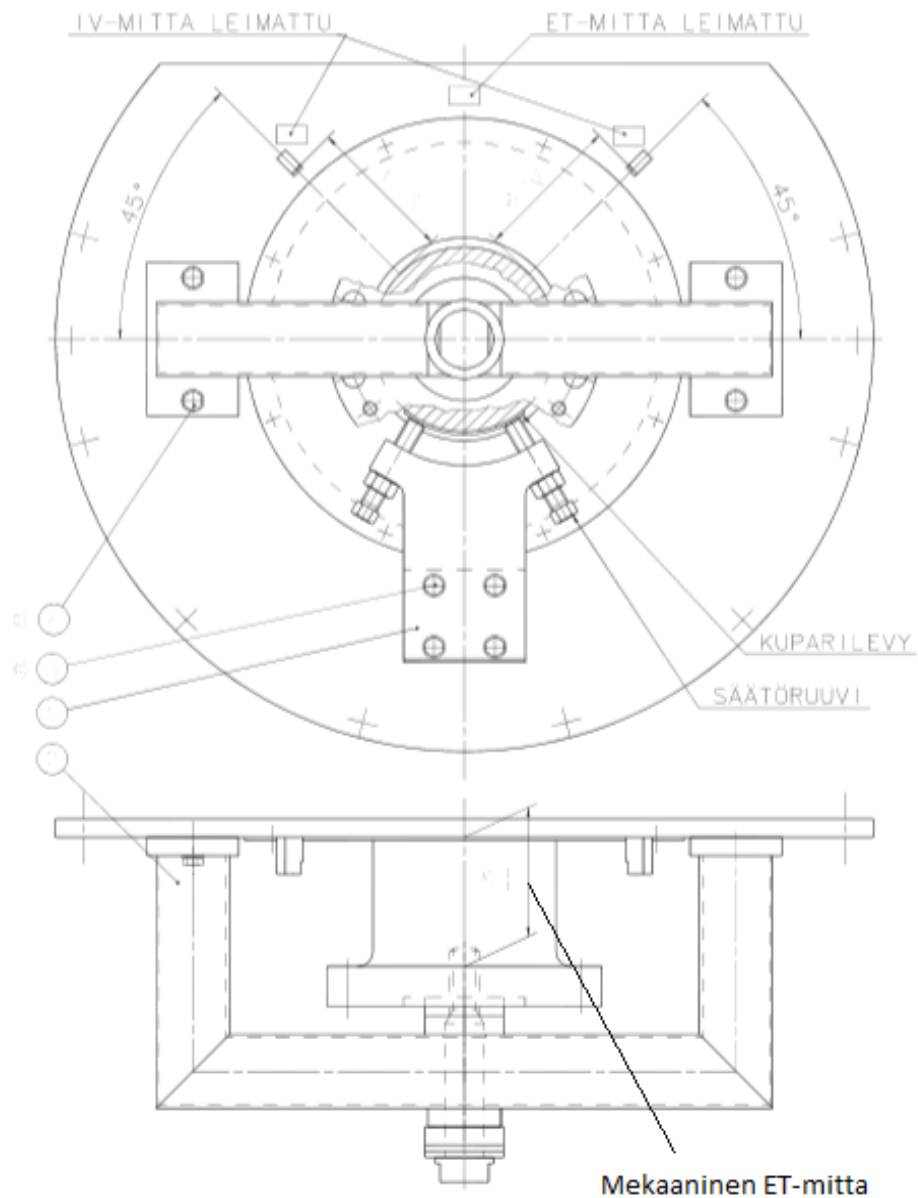
Kuva 13. Maksimin, minimin ja magneettisen pisteiden etäisyyksien mittaaminen

5.3.2 ET-mittaus tahtimoottoreissa

Ennen mittauksen suorittamista on huolehdittava muutamista seikoista. Ensinnäkin koestettavan tahtimoottorin pitää olla lopullisessa kokoonpanossa. Toiseksi laakeripukkien on oltava tukevasti kiinni alustassa, jottei roottori pääsisi hankaamaan staattoria. Kolmanneksi on tarkistettava roottorin asema: laakeripukkien asennuksen jälkeen, roottorin on oltava aksiaalisuunnassa tarkalleen staattorin levypaketin keskellä, eli staattorin ja roottorin on oltava mekaanisesti kohdakkain.

Tahtimoottoreiden ET-mittausta varten tarvitaan joko mittakello tai mittanauha riippuen koestettavasta moottorista. Välillä moottorin rakenteesta johtuen mittakellon kiinnittäminen sopivaan paikkaan ei onnistu, jolloin mittausta joudutaan suorittamaan tavallisella mittanauhalla. Roottorin asema varmistetaan kahdella eri tavalla: käyttökeskiön osoittimella ja mitatun mekaanisen ET-mitan avulla. Moottoreissa, joissa on osoitin, roottorin oikean aseman varmistaminen on varsin helppoa. Koestajan pitää vain tarkistaa, että osoittimen kärki on linjassa akseliin koneistettuun käyttökeskiön kanssa. Niissä moottoreissa, joissa osoitinta ei ole, selvitetään ensin, mistä mihin mekaaninen ET-mitta on mitattu (ks. kuva 14), mitataan se uudestaan ja vertaillaan tuloksia, koestuksessa mitattu mekaaninen ET-mitta saa heittää maksimissaan +5mm loppukokoonpanossa mitatusta ET-mitasta.

Kun yllä mainitut asiat on tarkistettu, voi aloittaa mittauksen suorittamisen. Moottori laitetaan pyörimään apukoneen avulla nimellisjännitteellä ja -taajuudella ilman kuormaa. Moottorin pyöriessä ja roottorin aseman vakiintuessa aloitetaan varsinainen ET-mittaus. Moottoreissa, jotka on varustettu osoittimilla, ET-mittauksen suorittaminen on helppoa: mitataan etäisyys osoittimen ja käyttökeskiön välillä. Toisin sanoen mitataan roottorin aseman muutos, joka ei varsinaisesti kerro magneettista/sähköistä ET-mittaa. Magneettinen/sähköinen ET-mitta saadaan, kun lasketaan yhteen saatu mittaustulos ja mekaaninen ET-mitta. Moottoreissa, joissa ei ole osoitinta, ET-mittaus on hieman työläämpää, magneettinen/sähköinen ET-mitta mitataan samoista pisteistä mistä on mitattu mekaaninen ET-mitta, hankaluus liittyy usein siihen, että mitattava etäisyys on varsin pitkä, jopa 1 m ja etteivät mittauspisteet ole samalla korkeudella, jolloin luotettavan mittaustuloksen saaminen vaikeutuu. Koestajien kokemus kuitenkin osoittaa, että aina ei ole mahdollista mitata ET samoista pisteistä (esim. liian ahdas paikkaa), tällöin koestajan on löydettävä muut vertailupisteet akselin ja moottorin rungon väliltä, joiden etäisyys mitataan moottorin seisoessa ja sitten moottorin pyöriessä. Mittauksen päätteeksi mittaustulos kirjataan mittauspöytäkirjaan(ks. liite 1).

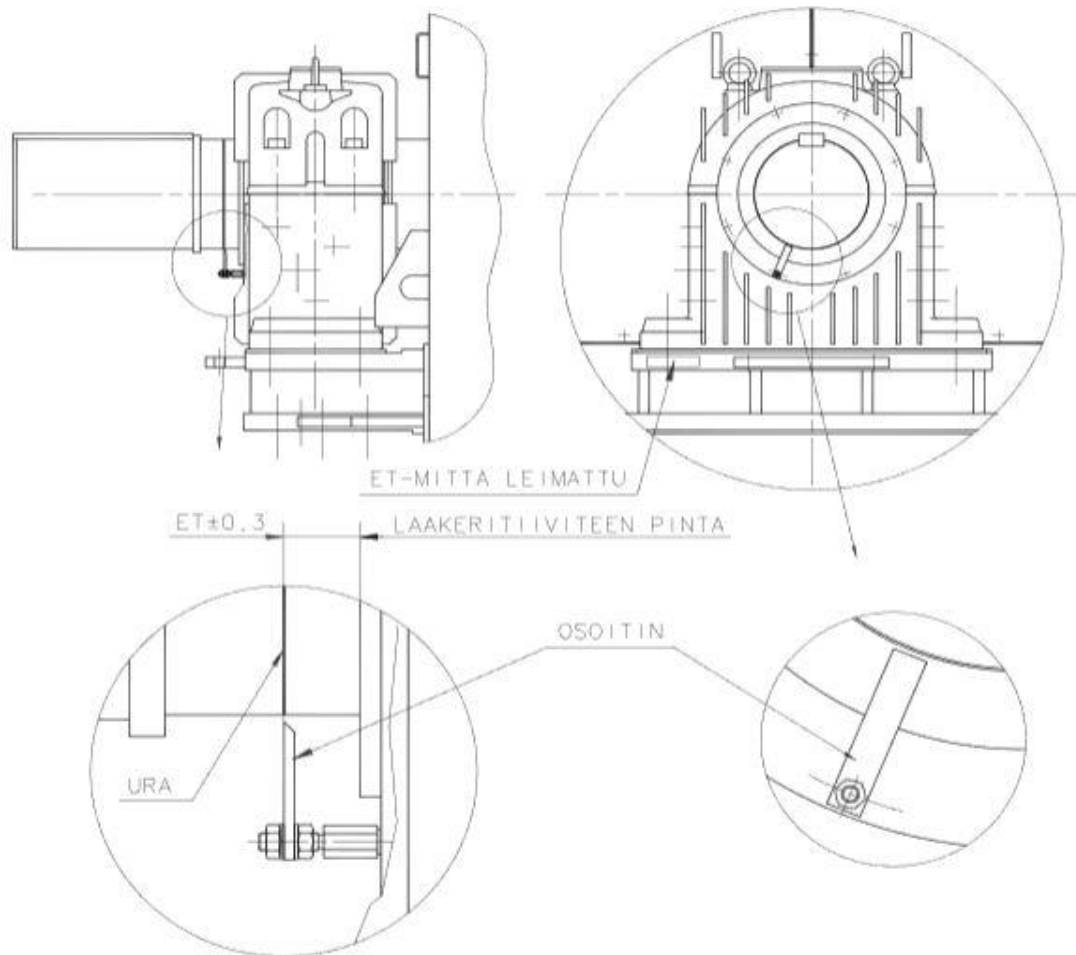


Kuva 14. Mekaaninen ET-mitta, mitattu roottorin akselin laipan sisäpinnasta laakerikilpeen. [8.]

Pelivara-ajoa tahtimoottoreille ei suoriteta. Ison koon ja painon takia roottorin käsivoimalla työntäminen edestakaisin ei yksinkertaisesti onnistu. Tästä syystä tahtimoottorin roottorille ei kaiverreta minimi, maksimi tai magneettisen keskipisteen uria. Kokonaispelivaran oikeellisuus tarkistetaan mittaustuloksien perusteella.

Loppukoonpano leimaa mitatun magneettisen/sähköisen ET-mittan ja ET-mittauspisteet moottorin kilpeen ja tarvittaessa myös säätää osoittimen niissä moottoreissa, joissa

sellainen on. Osoittimen on oltava samassa linjassa käyttökeskiön kanssa, joten se on säädettävä magneettisen ET:n ja mekaanisen ET:n mittojen erotuksen verran. Näin käyttökeskiö muuttuu magneettisen keskipisteen uraksi (ks. s. 23 - 24, kuvat 15 ja 16). Osoittimen positio säädetään millimetrin paksuisten aluslevyjen avulla.



Kuva 15. Pukkilaakerikone, kaksi laakeria. [8.]



Kuva 16. Säädettävä osoitin.

5.4 ET-mittauksen epätarkkuus

ET-mittauksen suorittamiseen sekä tahti- että induktiopuolella vaikuttaa monta eri asiaa; mm. mittausväline, lyijykynän paksuus/terävyys, piirtopuikon paksuus/terävyys, kaivertamiseen käytetty voima, käden vakaus jne. Suurimpana epätarkkuudellinen tekijänä kuitenkin pidetään ET-mittauksen suorittajaa. Mitä kokeneempi hän on, sitä tarkempi tulos tai parempi jälki tulee. Magneettisen keskilinjan piirtäessä on oltava hyvin tarkka. Se on piirrettävä juuri siihen, mihin osoitin osoittaa. Myös linjan on oltava suora. Myös magneettisen keskipisteen uran kaivertaminen tuo omia haasteita. Uran on oltava suora eikä sinimuotoinen ja sen on oltava oikeassa paikassa ja se on saatava ensimmäisellä yrityksellä. Pelivara-ajon aikana ei saa käyttää liikaa voimaa muuten pahimmassa tapauksessa voi vahingoittaa staattoria tai laakereita. Tapauksissa, joissa mittakellon käyttäminen on mahdotonta, on turvaututtava mittanauhaan, jolloin mittaustarkkuus heikkenee oleellisesti. Mittanauhalla mitattaessa on oltava huolellinen, mittanauha on pidettävä aksiaalisuuntaisesti sekä on oltava oikea katselukulma mittaustulosta otettaessa. Väärä katselukulma voi vääristää tuloksen muutamilla millimetreillä.

5.5 Työturvallisuus

ET-mittauksen suorittaessa koestajan on oltava hyvin varovainen. Kaikki toimenpiteet suoritetaan pyörivän roottorin välittömässä läheisyydessä, joten on syytä olla koko ajan varoilla. Oikosulkupuolella erityistä varovaisuutta tulee noudattaa sekä lyijykynällä keskilinjan piirtäessä että magneettisen keskipisteen uran kaivertamalla, piirtopuikon tai kynän terävät kärjet voivat aiheuttaa rumaa jälkeä ET-mittauksen suorittajalle, joten ne on pidettävä tiukasti kädessä. Tahtipuolella ET-mittaa otettaessa on syytä olla varoilla, mahdollisimman tarkkaan mittaustuloksen saavuttamiseksi mittanauha on tuotava mahdollisimman lähelle pyörivää roottoria, mutta se ei kuitenkaan turvallisuussyistä saa koskea siihen.

6 Vaatimukset

Yksinkertaisuudessaan uuden mittaustekniikan vaatimuksiksi on asetettu seuraavat asiat: työturvallisuuden parantaminen ja entistä tarkempien ja luotettavampien mittaustuloksien saaminen. Kuten tiedetään, suurin epätarkkuuden tekijä on itse mittauksen suorittaja, mittaustulos ja esim. magneettisen keskipisteen uran siisteys ja suoruus useimmiten riippuvat koestajan kokemuksesta. Uuden mittaustekniikan on poistettava mahdollisimman monta epätarkkuuden tekijää ja mittaustuloksien vääristymät. Mittaustulos ei saa riippua mittauksen suorittajasta ja hänen kokemuksestaan tai muista ulkopuolisista tekijöistä vaan sen on oltava mahdollisimman riippumaton mistään ulkopuolisista tekijöistä. Tämän lisäksi uuden mittaustekniikan tai uusien suositusten on parannettava työturvallisuutta. Lähinnä halutaan vähentää pyörivien ja liikkuvien osien, moottorin käydessä, välittömässä läheisyydessä työskentelyä. Mittaustuloksien tarkkuudeksi on asetettu yhden millimetrin tarkkuus.

7 Uudet työkalut ET-mittausta varten oikosulkupuolella

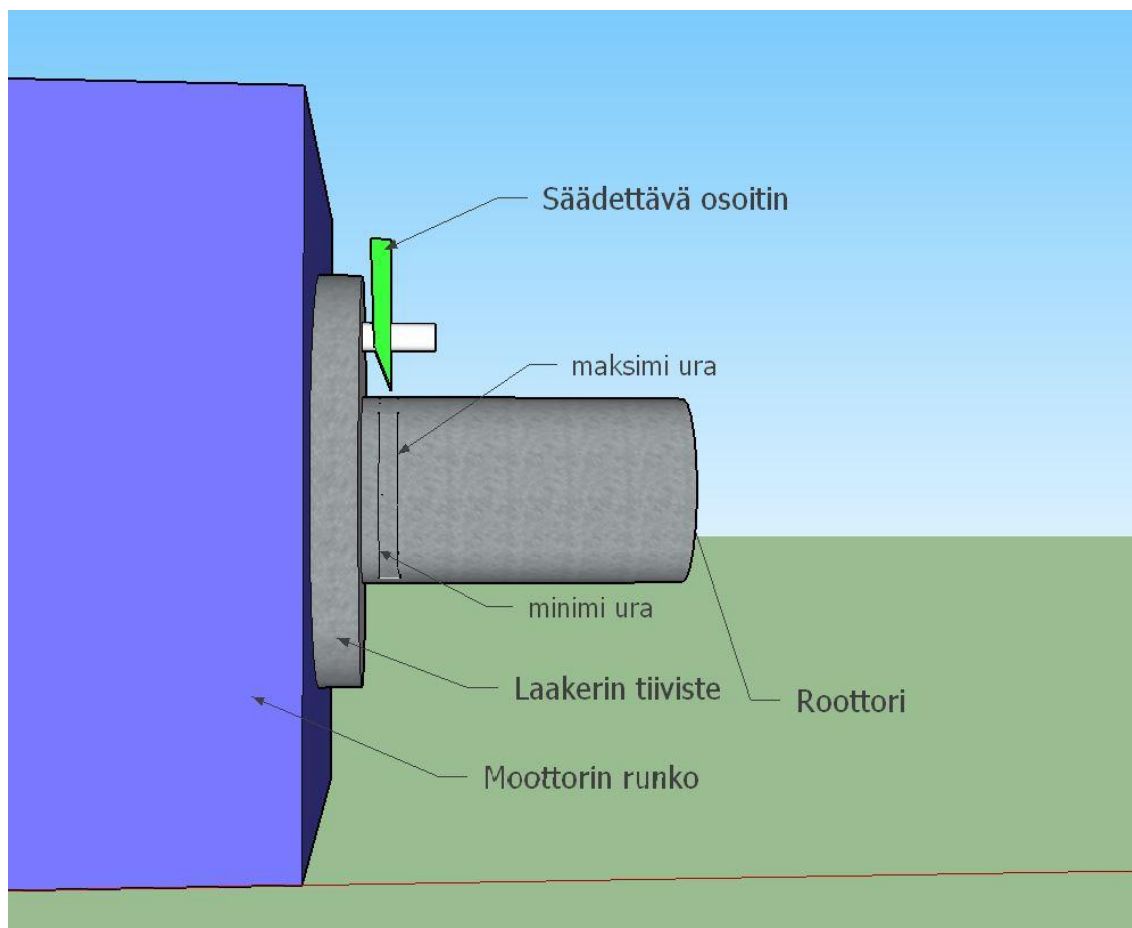
7.1 Yleistä

Oikosulkupuolella ET-mittauksen suorittamisen hankaluudet ja työturvallisuusriskit liittyvät magneettisen uran kaivertamiseen. Ensin akselille on piirrettävä lyijykynällä suora viiva ja myöhemmin piirtopuikolla kaiverrettava ura, ja kaikki tämä tehdään akselin pyöriessä. Itse akselin laipasta uriin etäisyyksien mittaaminen suoritetaan koneen seisoes- sa jolloin mittauksen suorittajalle ei aiheudu minkäänlaista vaaraa, ja mittaustulos on tarpeeksi luotettava käytettävän mittausvälineen mittaustarkkuuden takia.

7.2 Säädetty osoitin

Yhtenä vaihtoehtona pidetään magneettisen uran kaivertamisen luopumisesta sen si- jaan että sitä kaiverrettaisiin - säädettyä osoitin. Säädettyä osoittimella luovuttai- siin yhdestä, työturvallisuuden kannalta, vaarallisimmista mittauksen vaiheesta, ja sa- malla olisi yksi epätarkkuudellinen tekijä vähemmän.

Kyseessä ei ole uusi mittaustapa vaan vanhan mittaustavan uudistaminen. Uudistus ei vaatisi paljon muutoksia eikä uusia mittausvälineitä. Mittaustapa itsessään olisi täsmäl- leen sama, edelleenkin käytettäisiin mittakelloa etäisyyksien mittaamiseen ja lyijykynäl- lä piirretäisiin magneettisen keskipisteen kohdalle viivan. Erona on tosiaan se, ettei enää lähdetä piirtopuikolla kaivertamaan magneettisen keskipisteen uraa vaan sen sijaan, mittaustuloksien perusteella, säädettyä osoitin (ks. kuva 17). Se säädettyä osoitin magneettisen keskipisteen ja maksimiurien erotuksen verran, jolloin se osoittaisi mak- simiuraa. Helpon se saadaan säädettyä millin paksuisten aluslevyjen avulla laitta- malla ne osoittimen ja laakeritiivisteiden väliin. Näin, loppusijoitus paikalla, roottori sijoit- tettaisiin staattoriin niin, että osoitin olisi maksimiuran samalla linjalla, jolloin roottori olisi staattorin nähden magneettisesti kohdakkain.



Kuva 17. Säädettävä osoitin

Tämä vaihtoehto otettiin hyvin vastaan, mutta sen käyttöönotto on hyvin epätodennäköinen. Ympäri maailmaa moottoreita asennettaessa ja koottaessa on totuttu nykyiseen vakiintuneeseen tapaan, jolloin asentajat olettaa, että roottorista löytyy minimi- ja maksimiurien lisäksi myös magneettisen keskipisteen ura roottorin kohdistamista varten. Globaalisesti tämä muutos vaatisi monien ohjeiden ja toimintatapojen päivittämistä.

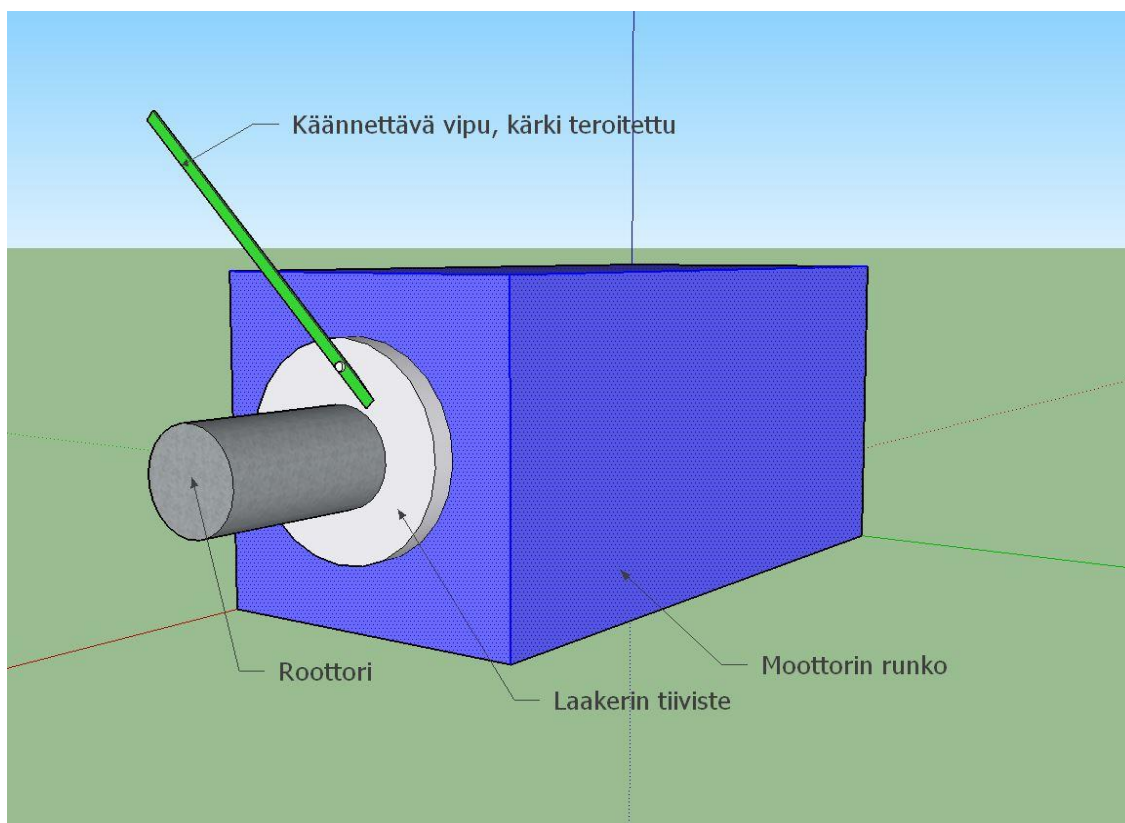
7.3 Käännettävä vipu

Jotta magneettisen keskipisteen ura olisi mahdollisimman siisti, suora ja ennen kaikkea oikeassa paikassa piirtopuikon sijasta voitaisiin käyttää, osoittimen paikalle asennettava, teräväkärkinen käännettävä vipu (ks. kuva 18). Kuten tiedetään, suurin epätarkkuuden tekijä on mittauksen suorittaja. Ensin hän piirtää lyijykynällä viivan magneettisen keskipisteen kohdalle ja myöhemmin kaivertaa siihen uran piirtopuikolla.

Tässäkään tapauksessa ei ole kyse uudesta mittaustavasta vaan vanhan tavan päivittämisestä, uudistus koske nimenomaan mittauksessa käytettäviä työvälineitä. Ideana on, että osoittimen paikalle mittauksen ajaksi asennetaan yhtä paksu (paksuus on säädettävissä), pitkä, teräväkärkinen vipu, jolla saadaan magneettisen keskipisteen kohdalle kaiverrettua uran. Vipu olisi kiinnitetty laakerintiivisteeseen yhdellä ruuvilla, joka näin ollen tekisi siitä helposti käännettävän kumpaankin suuntaan. Vivun paksuus on tosi tärkeä seikka, sen on oltava yhtä paksu kuin osoitin, samalla paksuudella saadaan aikaan sen, että vivun terävä kärki osoittaa täsmälleen samaan kohtaan kuin jos siellä olisi osoitin (ks. kuva 18). Vivun pituudella ja muodolla on omat merkityksensä. Kuvan 18 esittämä vipu on yksinkertaisin mahdollinen, suuntaan antava. Todellisuudessa se voisi olla joko pidempi tai esim. kaarevan muotoinen, jotta uraa kaivertaessa koestaja olisi mahdollisimman kaukana pyörivästä roottorista.

Pelivara-ajon jälkeen voidaan todeta, että roottorin mahdollinen seilaaminen pysyy kokonaispelivaran sisällä. Annetaan koneen pyöriä vapaasti nimellispopeudella. Hetken kuluttua roottorin asetettua magneettisesti kohdakkain staattoriin nähden, mittauksen suorittaja käy kääntämässä vivun roottorin pyörimissuuntaan, jolloin roottoriin kaivertuu siisti ja suora magneettisen keskipisteen uraa. Vipu on käännettävä nimenomaan moottorin roottorin pyörimissuuntaan. Vivun kääntösuunnalla on oma roolinsa. Kääntämällä se samaan suuntaan, vältytään moottorin mahdolliselta vaurioitumiselta ja pienennetään henkilövahinko-onnettomuusriskiä. Vivun paksuus, eli etäisyys laakerintiivisteestä vivun terävään kärkeen olisi säädettävissä aluslevyjen avulla laittamalla ne vivun ja laakerintiivisteiden väliin.

Tämäkään uudistus ei vaatisi kuin teräväkärkisen vivun hankkimista, jos sellainen löytyy jostakin tai sellainen pitäisi kehittää. Tämän uudistuksen myötä päästäisiin eroon yhdestä mittauksen vaiheesta, nimittäin lyijykynällä piirtämisestä. Vivun vaakan/tukevan asennon ansiosta helpotetaan magneettisen keskipisteen uran kaivertaminen. Tällä tavoin työn jälki olisi aina sama riippumatta mittauksen suorittajan kokemuksesta.



Kuva 18. Teräväkärkinen käännettävä vipu

7.4 ET-mitan leimaaminen moottorin runkoon

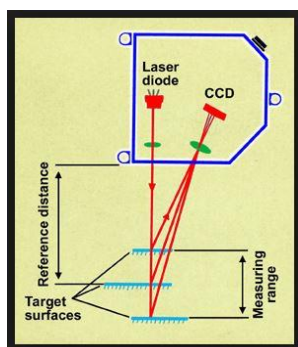
Loppusijoituspaikoilla, moottoreita kootessa, magneettisen keskipisteiden urat välillä aiheuttavat hämmennystä ja sekavuutta niiden epäsuoruuden ja huonon näkevyyden takia. Sekavuus tilanteiden välttämiseksi ET-mittoja, magneettisen keskipisteen uran kaivertamisen lisäksi, voi leimata moottorin runkoon samaan tapaan, kuin ne leimataan tahtipuolellakin. Leima pitäisi sisällään etäisyydet akselin laipasta minimi, maksimi ja magneettisen keskipisteen uriin. Näin epäselvissä tilanteissa asentajat voivat turvautua ET-leimoihin, ja roottorin kohdistus sujuu paljon sulavammin. ET-mittojen mittauspisteitä ei välttämättä tarvitse leimata erikseen moottorin runkoon. Oikosulkumoottoreissa ne mitataan aina akselin laipan sisäpuolelta kaiverrettuihin uriin.

8 Uudet työkalut ET-mittausta varten tahtipuolella

8.1 Laseretäisyysmittarit

8.1.1 Yleistä

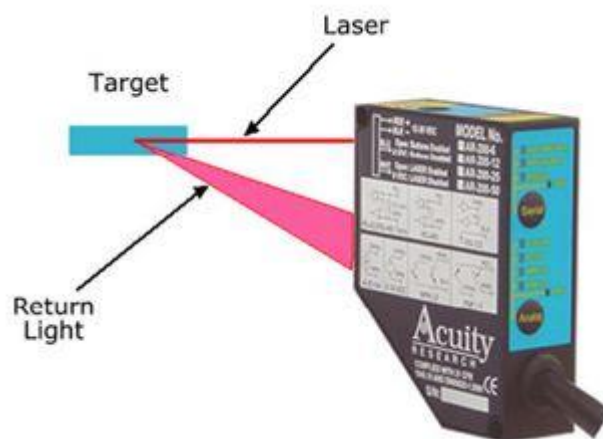
Yksinkertaistettuna tahtimoottoreiden ET-mittauksessa kyse on etäisyyden mittauksesta. Ensin mitataan tietty etäisyys tiettyjen pisteiden välissä moottorin seisoessa ja myöhemmin. Moottorin pyöriessä nimellinopeudella ilman kuormaa mitataan etäisyys samojen pisteiden välissä ja verrataan tulokset. Tällä tavalla saadaan selville, kuinka paljon ja mihin suuntaan roottori on siirtynyt eli missä on sen magneettinen keskipiste staattoriin nähden. Tällä hetkellä mittauksessa käytetään tavallisinta mittanauhaa, jonka mittaustarkkuus on noin millimetrin luokka. Nykypäivänä mittanauhoja yhä useammin korvataan laseriin perustuvilla sähköisillä mittausmenetelmillä. Yksi näistä laseretäisyysmittareista on kolmiomittaukseen perustuva mittari. Mittarin toimintaa perustuu lähetettävään pulssiin, joka heijastuu kohteen pinnasta takaisin, ja anturin vastaanotin nappaa sen. Pulssin lähetin ja heijastuksen vastaanotin ovat hieman eri paikoissa, ja niiden välimatka tunnetaan tarkasti (ks. kuva 19). Kun pulssi heijastetaan suoraan eteenpäin lähettimestä, vastaanottimen näkökulmasta se on hieman ylempänä. Etäisyys lasketaan geometrisesti. Mittaustarkkuus on hyvä isoilla kulmilla, mutta tällöin mitta-alue on pieni. Pienellä kulmalla tarkkuus on huono, mutta mitta-alue on suuri. Kolmiomittaukseen perustuvia laseretäisyysmittareita käytetään pääsääntöisesti lyhyiden etäisyyksien mittaamiseen (aseman muutos, -siirto, paksuus), joissa vaaditaan korkea tarkkuus. Mittaus on hyvin tarkka, eikä kappaleen pinta, muoto tai väri vaikuta mittaukseen.



Kuva 19. Kolmiomittaukseen perustuvan laseretäisyysmittarin toimintaperiaate. Laser diode-pulssin lähetin, CCD -vastaanotin, Targetsurface-kohteen pinta, Measuring range-mitta-alue, Reference distance-etäisyys mittarista mitta-alueen keskelle. [26]

8.1.2 Acuity AR200-50

Muista projekteista jäänyt käyttämättä kolmiomittaukseen perustuva laseretäisyysmittari otettiin kokeiltavaksi tähän tutkimukseen. AR200 on amerikkalaisen Acuity-nimisen yrityksen valmistama laseretäisyysmittari, jota on suunniteltu sovellettavaksi seuraavissa tehtävissä: tarkkuuspositiointi, paksuuden/korkeuden ja etäisyyden mittaaminen, staattisten ja dynaamisten erojen mittaaminen, koon valvonta, värinän mittaaminen, muodon profilointi. [27]



Kuva 20. Acuity AR200 [28]

Tekniset tiedot:

Työalue	16,6 – 67,4mm
Mittausalue	50,8mm
Mittaustarkkuus	15,2µm

Työalueella tarkoitetaan, ettei kohde saa olla kauempana kuin 67,4 mm tai lähempänä kuin 16,6 mm laseretäisyysanturista. Mittausalueella tarkoitetaan aluetta minkä sisällä anturi pystyy luotettavasti havaitsemaan etäisyyden muutosta. Mittaustarkkuus on pienin etäisyyden muutos, minkä anturi voi havaita. [26]

Laserin teknisten tietojen perusteella (ks. liite 2) näyttää siltä, että sitä voi sovelleta ET-mittauksen suorittamisessa tahtipuolella, sillä voi mitata roottorin aseman muutosta aksiaalisuunnassa. Roottorin aseman muutos selviää vertailemalla mekaaninen ET-mitta ja sähköinen ET-mitta. Niiden erotus kertoo, kuinka paljon ja mihin suuntaan

roottori on liikkunut. Sen sijaan että mitattaisiin perinteiseen tapaan sähköinen ET-mitta, voidaan mitata roottorin aseman muutos moottorin seisoessa ja käydessä, ja sitä kautta saada selville sähköinen ET-mitta.

Moottorin ollessa lopullisessa kokoonpanossa asetetaan laseretäisyysmittari sopivalle etäisyydelle akselin laipasta joko D tai N päässä. Kirjataan ylös kaksi mittaustulosta: ensin moottorin seisoessa ja sitten moottorin pyöriessä nimellinopeudella ja akselin asetettua magneettiseen keskipisteeseen. Mittaustuloksien erotus onkin roottorin aseman muutos, jonka avulla saadaan selvitettyä magneettisen keskipisteen/magneettisen ET-mitan laskemalla sen yhteen mekaanisen ET-mitan kanssa.

Mittaustuloksia saadaan etänä, jolloin koestajan ei tarvitse mennä pyörivän roottorin läheisyydelle. Mittaustulokset on mahdollista saada joko digitaalisen ulostulon kautta tietokoneen ruudulle tai analogisen ulostulon kautta esim. yleismittarille.

Käyttämällä yleismittaria mittaustulos saadaan joko voltteina tai milliampeereina. Saatu mittaustulos on suoraan verrannollinen mitattuun etäisyyteen, joten se vaatii muuntamista millimetreihin.

Mitatessa milliampeereina, mittaustulos on 4 mA:n ja 20 mA:n välillä. Etäisyyden, anturista kohteen pintaan, ollessaan 16,6 mm mittaustulokseksi saadaan 4 mA:n vastaavan virran ja etäisyyden ollessaan 67,4mm saadaan 20 mA:n vastaavan virran. Saatu mittaustulos milliampeereina on helppo muuntaa millimetreihin seuraavan kaavan avulla:

$$y=3.175*x+3.9, \text{ jossa } x \text{ on mittaustulos [mA] ja } y \text{ on etäisyys [mm]}$$

Vastaavasti käyttämällä mittayksikköinä voltteja, mittaustuloksen ollessaan 0 V etäisyys on 16,6 mm ja vastaavasti mittaustuloksen ollessaan 10 V etäisyys on 67,4 mm. Voltit muunnetaan millimetreiksi seuraavan kaavan avulla:

$$y=5.08*x+16.6, \text{ jossa } x \text{ on mittaustulos [V] ja } y \text{ on etäisyys [mm]}$$

Saadakseen luotettavan mittaustuloksen laserin etäisyys kohteesta, sen oikea asento eli lasersäteen on osoitettava kohtisuoraan kohteen pintaan nähden, on tarkistettava/varmistettava, joten mittausten suorittamista varten laseretäisyysmittari tarvitsee

jalustan kiinnityksineen. Jalustan on oltava helppokäyttöinen, tukeva, vakaa ja varustettava esim. vesivaa'alla. Tämän lisäksi jalustan kiinnityksen on oltava mahdollisimman monipuolinen ja säädettävä. Kiinnityspaikat voivat vaihdella moottorityypin, konfiguraation ja rakenteen mukaan. Amerikkalainen Acuity ei tarjoa vastaavanlaisia oheistuotteita.

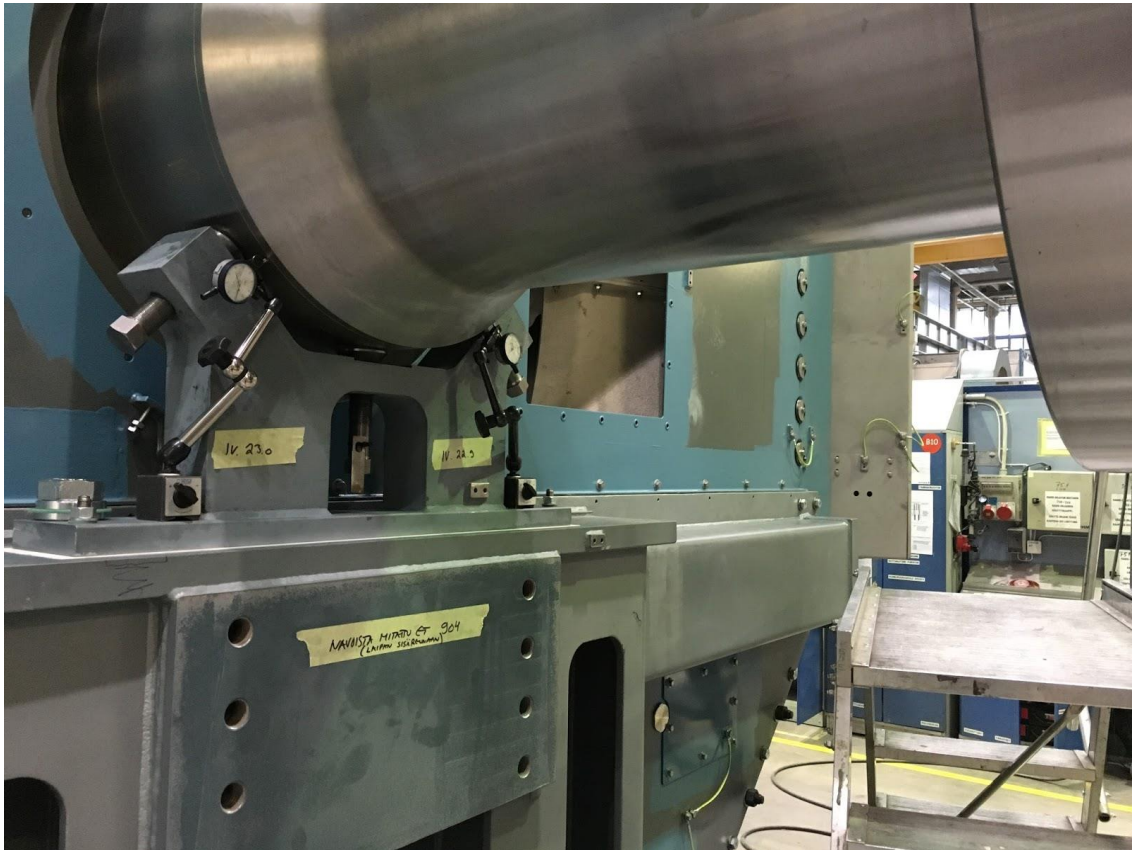
8.1.3 Muiden valmistajien vastaavat laseretäisyysmittarit

Markkinoilta on saatavilla paljon muitakin vastaavanlaisia laseretäisyysmittareita eri valmistajilta. Laseretäisyysmittareita on saatavilla eri tarkoituksiin ja eri spekseillä (ks. liite 3 ja 4), joissakin malleissa on sisäänrakennettu näyttö, joten mittaustulokset ovat heti luettavissa eikä vaadi muuntelua. Jotkut valmistajat ovat edellä toisia kun pystyvät tarjoamaan kokonaisempia ratkaisuja, jolloin laseretäisyysmittarille on valmiiksi suunniteltu erilaisia oheistuotteita kuten kiinnitystä tai mittaustuloksien etäluentaa varten (ks. liite 5 ja 6). Kaikille on kuitenkin yhteistä se, että ne toimivat samalla periaatteella eli kolmiomittausmenetelmällä.

8.2 ET-mitan mittauspisteet

Kuten aiemmin on jo todettu ennen kuin voidaan suorittaa koestuksia, moottorin on oltava lopullisessa kokoonpanossa. Loppukokoonpanossa, moottorin kootessa on varmistettava, että moottorin roottori ja staattori ovat mekaanisesti kohdakkain, eli niiden keskipisteet ovat samalla linjalla. Oikean roottorin asema voi tarkistaa mekaanisen ET-mitan avulla mutta, kuten on todettu, mekaanista ET-mitta ei aina merkitä piirustuksiin. Näissä tapauksissa loppukokoonpanon työntekijöiden on ensin varmistettava, että roottori on oikeassa paikassa ja sen jälkeen mitattava mekaaninen ET-mitta. Roottorin oikean aseman varmistamiseksi mitataan etäisyydet roottorin navoista staattorin reunoihin sekä D- että N-päässä ja sen jälkeen vertaillaan tuloksia keskenään. Epäkeskisyyden korjataan siirtämällä itse staattori ja tarvittaessa laakeripukit. Tarkistettua, että roottori ja staattori ovat mekaanisesti kohdakkain, mekaaninen ET-mitta mitataan ja koneen runkoon laitetaan teippipätkä, johon kirjataan mittaustulos [mm] ja säädetään osoitin niissä moottoreissa, joissa sellainen on. Mittauspisteet vaihtelevat moottorin koon ja rakenteen mukaan. Yleensä ET-mitta mitataan akselin laipan sisäpuolelta moottorin rungon uloimpaan pintaan. Kuvan 21 (ks. seur. s.) alemmassa teippipätkässä lukee "Navoista mitattu ET 904 (laipan sisäreunaan)". Tekstistä voi ymmärtää, että ET-

mitta on mitattu moottorin navoista laipan sisäreunaan. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkansa. Todellisuudessa se on mitattu moottorin rungon kiinteästä uloimmasta osasta akselin laipan sisäreunaan. Mitattua mekaanista ET-mitta eikä mittauspisteitä merkitä pöytäkirjaan vaan oletetaan kaikkien tietävän, koska tämä käytäntö on niin vakiinnuttanut vuosien varrella. Välillä ET-mitta mitataan rungon kiinteästä uloimmasta osasta akselin laipan ulkoreunaan. Välillä se mitataan akselin laipasta laakerin tiivisteeseen.



Kuva 21. Mekaaninen ET-mitta tahtimoottorissa

Loppukokoonpanosta moottori nostetaan ja kuljetetaan koestuskentälle nosturin avulla. Kuljetuksen aikana roottori saattaa liikkua jonkun verran. Sitä ei lukita eikä tueta erikseen kuljetusta varten. Koestuskentällä, mahdollisten vaurioiden varalta roottorin asema on tarkistettava uudestaan. Suurin sallittu siirtyminen mekaanisesta keskipisteestä on 5 mm, jolloin se ei aiheuta toimenpiteitä. Siirtymän ollessaan suurempi kuin 5 mm roottori on kohdistettava uudestaan. Moottoreissa, joissa on magneettisen keskipisteen osoitin, roottorin aseman tarkistaminen on varsin helppoa. Koestaja katsoo silmämääräisesti, että osoittimen kärki on samalla linjalla akselille koneistetun uran kanssa. Moottoreissa, joissa sitä ei ole, se on vähän työläämpää. Käytännössä koestaja mittaa mekaanisen ET-mitan uudestaan ja vertaa sen loppukokoonpanossa mitattuun ET-

mittaan. Jotta koestajat pystyisivät luotettavasti tarkistamaan roottorin aseman, heidän pitää tietää tarkkaat mittauspisteet. Sekavuus tilanteiden välttämiseksi loppukokoonpanon työntekijät voisivat merkitä esim. teippipätkillä tai tussilla mittauspisteet. Näin koestaja tietäisi arvaamatta, minkä kahden pisteiden etäisyys on kyseessä ja voi verrata siihen oman mittaustuloksen. Vaihtoehtoisesti, jos ei haluta mitään merkintöjä moottorin runkoon ja akselille, mittauspisteet voi merkitä piirustukseen ja samalla kirjoittaa ylös mitatun etäisyyden.

9 Yhteenveto ja lopputulos

Tässä työssä keskityttiin uusien mittaustekniikoiden ja –välineiden löytämiseen ET-mittausmenetelmän parantamiseksi sekä tahti- että oikosulkupuolella. Vaatimuksina oli parannettu työturvallisuus sekä tarkempien ja luotettavampien mittaustuloksien saaminen. Ensin tarkasteltiin nykyinen menetelmä, tutkittiin sen heikkoudet ja sitten yritettiin löytää uusia ratkaisuvaihtoehtoja ET-mittauksen kehittämiseksi.

Teoriaosiossa käydään läpi sähkömoottorin perusrakennetta, sen perustoimintaperiaatetta sekä eri liukulaakerityyppejä, niiden perusominaisuudet ja toimintaperiaatteet. Näiden lisäksi perehdytään nykyiseen ET-mittausmenetelmään, sen tarkoitukseen ja tärkeyteen. Oikosulkupuolen ja tahtipuolen ET-mittauksien menetelmät käsitellään erikseen, omissa kappaleissa niiden teknisten eroavaisuuksien johdosta

Seuraavissa osioissa esitetään erikseen tahtipuolen ja oikosulkupuolen vaihtoehtoisia mittaustekniikoita ja välineitä ET-mittausmenetelmän parantamiseksi, ja selitetään niiden toimintaperiaatteet.

Induktiopuolella ET-mittauksen hankaluudet liittyvät vain magneettisen keskipisteen uran kaivertamiseen. Uran kaivertaminen on työntekijän kannalta vaarallinen. Ura kaiveretaan piirtopuikolla moottorin pyöriessä, jolloin mahdollisen onnettomuuden riski nousee ja työn jälki eli uran suoruus/siisteys ja näkyvyys riippuvat liiankin paljon mittauksen suorittajasta. Työssä tutkittiin vaihtoehtoisia tapoja uran kaivertamiseen, jotka olisivat mahdollisimman helppoja ja turvallisia mittauksen suorittajalle. Yhtenä vaihtoehtona oli magneettisen keskipisteen uran kaivertamisesta luopuminen, jolloin käytettäisiin säädettävä osoitinta. Tästä ehdotuksesta kiinnostuttiin Laatu-yksikössä ja otettiin tarkempaan tarkasteluun.

Tahtipuolella tarkasteltiin laseretäisyysmittarin soveltamista ET-mittauksen suorittamista varten. Koekappaleena ollut kolmiomittaukseen perustuva laseretäisyysmittari testattiin ja todettiin epäkäytännölliseksi juuri tähän käyttötarkoitukseen sen teknisten ominaisuuksien johdosta. Kyseisen laseretäisyysmittarin mittausalue on liian pieni, jolloin sitä ei välttämättä voi käyttää jokaisen ET-mittauksen yhteydessä. Tämän lisäksi mittaustuloksien lukeminen on todettu hankalaksi: se vaatii joko erillistä tietokoneohjelmaa tai ulkoista näyttöä. Analogista ulostuloa käytettäessä, mittaustulokset eivät heti ole käytettävissä sellaisinaan vaan vaativat muuntelua millimetreiksi. Kuitenkin todettiin,

että sopivilla spekseillä oleva laseretäisyysmittari voi hyödyntää ET-mittauksessa. Laseretäisyysmittarin avulla helpotettaisiin ja yksinkertaistettiin ET-mittojen ottaminen, tulokset olisivat tarkempia ja luotettavampia ja ne voisi lukea etänä. Tämän lisäksi laseretäisyysmittarin ansiosta sama mittaustapa voisi käyttää sekä magneettisen keskipisteen osoittimella varustetuille moottoreille että ilman. Näin saataisiin yksi yhteneväinen mittaustapa kaikille tahtimoottoreille. Laseretäisyysmittarin käytöstä kiinnostuttiin, ja se myös otettiin tarkempaan tarkasteluun.

Insinöörityön tekeminen ABB:lle oli mielenkiintoista ja tosi opettavaista. Induktio ja tahtimoottorit sekä eri liukulaakerityypit ovat tulleet varsin tutuksi tämän työn yhteydessä. Työn tekeminen oli hyvin monipuolista, olin tekemisessä erilaisten ihmisten kanssa eri osastoilta, joten tämän myötä minulle on muodostunut melko hyvä kuva eri osastoilla työskentelemisestä ja koko tehtaan toiminnasta. Oli hienoa päästä osaksi sähköinsinöörijoukkoa ja nähdä ja kokea millaista on olla sähköinsinööri tosi toimissa.

Lähteet

1. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf 10.1.1.
2. Hietalahti, Lauri. Muuntajat ja sähkökoneet, s.51-53.
3. ABB:n High voltage modular induction motors verkkoesite, sivu 6
https://library.e.abb.com/public/256ba78e112ee362c1257abe003e173e/High_voltage_modular_induction_brochure_EN_112012_FINAL_LR.pdf.
4. ABB:n High voltage modular induction motors verkkoesite, sivu 6
https://library.e.abb.com/public/256ba78e112ee362c1257abe003e173e/High_voltage_modular_induction_brochure_EN_112012_FINAL_LR.pdf.
5. ABB:n High voltage modular induction motors verkkoesitei, sivu 7
https://library.e.abb.com/public/256ba78e112ee362c1257abe003e173e/High_voltage_modular_induction_brochure_EN_112012_FINAL_LR.pdf.
6. ABB:n High voltage modular induction motors verkkoesite, sivu 4
https://library.e.abb.com/public/256ba78e112ee362c1257abe003e173e/High_voltage_modular_induction_brochure_EN_112012_FINAL_LR.pdf.
7. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf 10.1.1.
8. ABB:n sisäinen P-ohje P-10415, salattu.
9. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf 10.3.1.
10. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf 10.2, 10.2.1.
11. Tontteri, Antti. 1994. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. s. 333.
12. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf kuva 10.9.

13. Verkkodokumentti. <http://electrono.ru/elektricheskie-mashiny-peremennogo-toka/87-ustrojstvo-sinxronnoj-mashiny>.
14. Hälvä, Joonapekka. 2013. Sähkömoottorin ilmavälin mittaamisen kehittäminen. Insinööriyö, Ammattikorkeakoulu. Verkkodokumentti. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61833/Halva_Joonapekka.pdf?sequence=1 s. 4.
15. Korpinen, Leena. SÄHKÖVOIMATEKNIikkaOPUS, sähkökoneet. Verkkodokumentti. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf 10.2.2.
16. Hietalahti, Lauri. Muuntajat ja sähkökoneet, s.87.
17. Hietalahti, Lauri. Muuntajat ja sähkökoneet, s.88.
18. Pakkala, Aake 1978. Kone-elimet. s. 87.
19. Pakkala, Aake 1978. Kone-elimet. s. 87-88, 93.
20. Pakkala, Aake 1978. Kone-elimet. s. 93-95.
21. ABB. Synchronous motors brochure. s. 14.
22. ABB. Engine handbook. 3AAM100019. s. 1.
23. ABB. Engine handbook. 3AAM260269004. 5.2.
24. Pakkala, Aake 1978. Kone-elimet. s. 92.
25. ABB. Engine handbook. 3AAM100019. s. 1-3.
26. Kuva 19. <http://www.sensorland.com/HowPage056.html>.
27. Acuity AR 200 User's Manual. Verkkodokumentti. <http://www.acuitylaser.com/docs/product-downloads/Power-and-Data-interface-box-Manual.pdf>.
28. Acuity AR 200 User's Manual. Verkkodokumentti. s.6 <http://www.acuitylaser.com/docs/product-downloads/Power-and-Data-interface-box-Manual.pdf>.

Mittauspöytäkirja

ABB Oy, Motors and Generators TEST RECORD ver. 8.0.3

Customer: **ABB SCHWITZ AG INDUSTRIAL** Type: **AMZ 2500 GP30 LTC**
 Order nr: **4643080** Serial nr: **4643080**
 Work nr: **6333** Measured: **IT JW** Date: **5.4.2016**
 Approved: **H6101** Tiedot syötetty kantaan Desk number: **572** Page pages: **8/11**

AIR GAP MEASUREMENT [mm] Machine: **8.5** min. **10.6** max. BEARING CLEARANCE [mm] D-end: **0.72** Axial: **44.43** elec: **904** ET: **901**

RESISTANCE MEASUREMENTS Stator temperature: **35** °C

Armature windings	Exciter windings	Terminal blocks of the auxiliary equipments
Stator	Rotor	Numbers
1UV 2076548	1uv 2072267	1R1-1R2
1UW 2016613	1uw 2042283	2R1-2R2
1VW 2016649	1vw 2042273	3R1-3R2
2UV 2076548	2uv 2075465	4R1-4R2
2UW 2076548	2uw 2075465	5R1-5R2
2VW	2vw	6R1-6R2
Rotor	Stator	7R1-7R2
Rr 225493	Rm (uv) 19563	8R1-8R2
0.2223	Rm (uw)	9R1-9R2
	Rm (vw)	

INSULATION RESISTANCE MEASUREMENT

Winding / element	Before tests		After tests *)	
	[Mohm]	U[V]	[Mohm]	U[V]
Stator windings	3500	5000	1330	5000
Stator windings	6000	1000	3180	1000
Rotor winding	2680	1000	44200	1000
Field winding	75500	500	3270	500
Space heaters	25400	500	15000	500
PI-100 (stator)	25400	500	15000	500
PI-100 (exciter)	25400	500	15000	500
PI-100 (bearings)	23900	500	18700	500
PI-100 (cool. air)	41200	500	30000	500

HIGH VOLTAGE TEST f = 50 Hz, t = 1 min
 *) Polarization index (10/1 min) for stator windings, acc. to IEEE 43, NEMA
 * ILEAK = **2.43** A (st.1), A (st.2)

BEARING: **90.5** **709** Stator temperature: **35.1** °C

CHECKING OF BEARINGS Self-lubricated D-end N.D.-end

CHECKING OF PHASE SEQUENCE st.1 st.2
 U-V-W L1-L2-L3
 U-V-W L3-L2-L1
 exciter U-V-W

CHECKING OF AUXILIARY EQUIPMENT
 water leakage detectors
 oil flow indicators
 jack-up pressure switches
 polarity of voltage transformers
 polarity of current transformers

FAN MOTORS f = _____ Hz

Type:	Fans	Ratings	1	2	3	4	5	6	7	8
U [V]										
Iu [A]										
Iv [A]										
Iw [A]										
P [kW]										

OIL PUMPS f = **50** Hz **JACK-UPS** Type: **M3JP 90SLC6**

Type:	Pump	Ratings	1	2	3	4	5	6	7	8
U [V]						380	415			
Iu [A]						3.3	2.92			
Iv [A]							2.50			
Iw [A]							0.97			
P [kW]										

Revised 11.2012

Acuity AR200 Tekniset tiedot

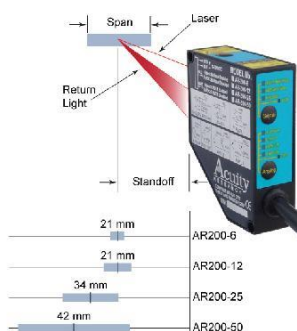


The AR200 family of triangulation laser measurement sensors has four models to satisfy your range requirements with excellent resolution and sensitivity. The most accurate model measures distances over 6 mm with a resolution of 2 μm . The AR200-50 sensor measures 50 mm to within 15 μm .

AR200 Laser Measurement Sensors

Principles of Operation

The AR200 sensors project a beam of visible laser light that creates a spot on a target surface. Reflected light from the surface is viewed from an angle by a CMOS line scan camera inside the AR200 sensor. The target's distance is computed from the image pixel data. The AR200 can not be overloaded and measures accurately to mirror-like surfaces where nearly the entire light beam reflects back to the detector.



Definitions

Target Standoff: Distance from the face of the sensor to the middle of the span.

Span: Working distance between measuring range endpoints over which the sensor will reliably measure displacement.

Resolution: Smallest change in distance that a sensor can detect. Stated as % of the full scale span.

Linearity: The largest deviation from a best-fit straight line over the measurement range, created by data from the sensor with reference taken from a true distance scale. Stated as +/- % of the full scale span.

Sample Rate: Rate that data samples are obtained from the sensor. The maximum attainable sample rate is determined by the selected operating mode and target reflectance.

Background Light Elimination (BLE): A user-selected operating mode that improves measurement in bright surroundings by capturing an image with the laser off and subtracts it from the image taken with the laser on. Sample rates are lowered as a result.

Sensitivity: A measure of the relative ability to detect small amounts of reflected light. The better the sensitivity, the higher the attainable sample rate on surfaces such as glass, black paint and shiny plastic.

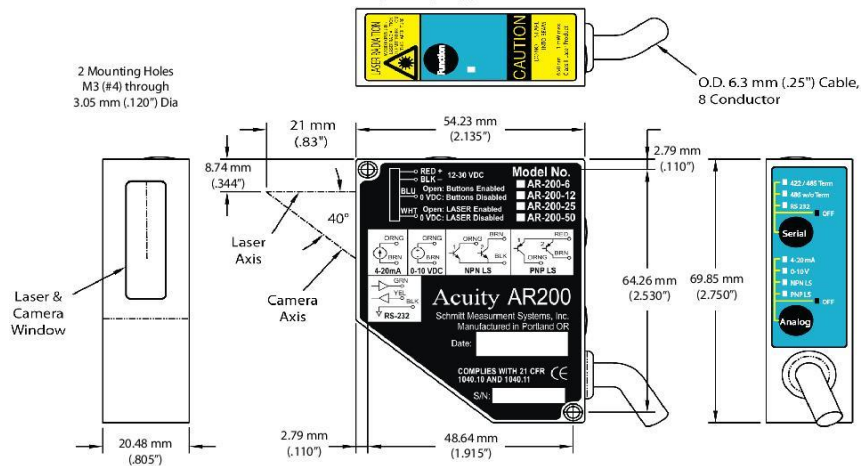


AR200 Model Specifications units in inches [metric]

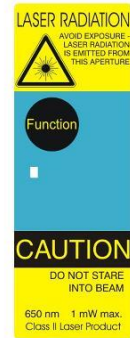
AR200 model	AR200-6	AR200-12	AR200-25	AR200-50	AR200-100
Span	0.250 [6.350 mm]	0.500 [12.70mm]	1.00 [25.40 mm]	2.00 [50.80]	4.00 [101.6]
Standoff to middle of span	0.83 [21 mm]	0.83 [21 mm]	1.35 [34 mm]	1.67 [42 mm]	3.10 [79 mm]
Linearity +/- 0.2% of span	0.0005 [12.7 μm]	0.001 [25.4 μm]	0.002 [50.8 μm]	0.004 [101.6 μm]	0.008 [203.2 μm]
Resolution 0.03% of span	0.00007 [1.9 μm]	0.00014 [3.8 μm]	0.0003 [7.6 μm]	0.0006 [15.2 μm]	0.0012 [30.5 μm]
Laser spot size at Standoff, at ends of span	35 μm , 100 μm	40 μm , 200 μm	45 μm , 130 μm	50 μm , 220 μm	55 μm , 250 μm
Laser type	650 nm, 1 mW max. visible RED, Class 2. Complies with 21 CFR 1040 with Laser Notice #50 and IEC/EN 60825-1:2001				
Sample Rates	0.2 - 1250 Hz, or sample on command (serial command or hardware trigger)				
Power	12 - 30 VDC, <150 mA				
Weight (less cable)	3 oz. [85 g]				
Operating Temperature	-17 - 140°F [0 - 60°C]				
Environmental	NEMA -4, IP65. Keep optical windows clean for best performance. Aluminum case. Class window. Compliant with RoHS directive regarding the reduction of the use of lead and other hazardous substances.				
Output interfaces	RS232 Full duplex serial, 300 - 115.2 Kbaud, ASCII or Binary formats				
4-20 mA or 0-10V	Analog outputs selectable through sensor push-buttons				
Limit switch signals	2 NPN limit Alarm switches, sink up to 150 mA 2 PNP limit Alarm switches, source up to 150 mA				
Cable ft. [m]	6 ft. [1.8 m] length, 8 conductor + shield, solder tail termination, PVC jacket				
	Red - Power +15 VDC (12-30 VDC)	White - Laser Disable (trigger)	Orange - Current Loop OUT, Voltage Output, NPN 1 sink, or PNP 1 source	Yellow - RxData	
	Black - Ground	Blue - Button disable	Brown - Current Loop return, Voltage signal return, NPN 2 sink, or PNP 2 source	Green - TxData	

AR200 Laser Measurement Sensors

Mechanical Dimensions units in mm [inches]. Approximat



Laser Safety Label



AR200 Sensor Options

Connectivity kit: Includes terminal blocks, serial cable with molded DB9 connector, Universal AC power supply 110VAC or 24VAC

Cables: Optional cable lengths. Optional polyurethane jacket. Contact us for custom cabling needs.

Software Library: Software developer's kit in C, C++, Visual Basic and Microsoft Excel® macros. Per-sensor-license

Touch Panel Display: Controller with alphanumeric display for Acuity laser sensors. Uses TFT touch display. Monitors up to two sensors for thickness measurements. Includes one RS485 output.

Contact Acuity

Schmitt Industries, Inc.
2765 NW Nicolai Street, Portland, Oregon, 97210, USA
Tel: 503-227-5178 Fax: 503-227-5040
www.acuitylaser.com



Rev 5/13
© 2013 Schmitt Industries, Inc.
Specifications subject to change without notice

High-Performance Distance Sensor

CP35MHT80 LASER

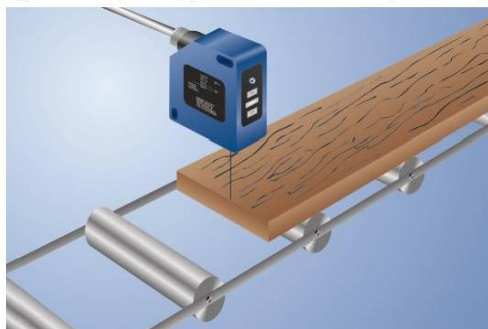
Part Number



- High resolution: 50 μm (resolution-mode)
- Linearity: 0,15 % (resolution-mode)
- Measured value independent of material, color and brightness
- Response time: < 1250 μs (speed-mode)
- Zoom function

These sensors work with a high-resolution CMOS line and DSP technology and determine distance using angular measurement. As a result, material, color and brightness related measurement differences are virtually eliminated.

Integrated analogue output can be configured for voltage 0...10 V (10...0 V) or current 4...20 mA (20...4 mA).

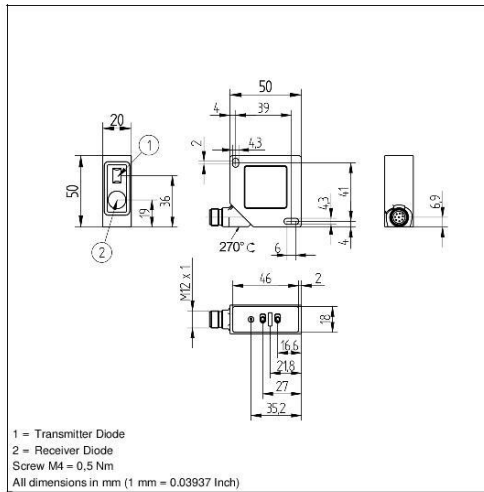


Technical Data

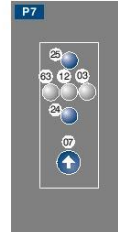
Optical Data	
Working Range	50...350 mm
Measuring Range	300 mm
Resolution	50 μm
Resolution (Speed-Mode)	80 μm
Linearity	0,15 %
Linearity (Speed-Mode)	0,2 %
Light Source	Laser (red)
Wave Length	660 nm
Service Life (T = +25 °C)	100000 h
Laser Class (EN 60825-1)	2
Max. Ambient Light	10000 Lux
Spot Diameter	see Table 1
Electrical Data	
Supply Voltage	18...30 V DC
Current Consumption (U _b = 24 V)	< 80 mA
Measurement Rate	800 /s
Measurement Rate (Resolution-Mode)	400 /s
Response Time	< 1250 μs
Response Time (Resolution Mode)	< 2500 μs
Temperature Drift	< 25 $\mu\text{m/K}$
Temperature Range	-25...50 °C
Analog Output	0...10 V/4...20 mA
Current Load Voltage Output	< 1 mA
Current Output Load Resistance	< 500 Ohm
Interface	RS-232
Baud Rate	38400 Bd
Protection Class	III
FDA Accession Number	0820590-000
Mechanical Data	
Adjustment	Teach-In
Housing Material	Plastic
Degree of Protection	IP67
Connection	M12 x 1; 8-pin
Error Output	●
Analog Output	●
RS-232 Interface	●
Connection Diagram No.	529
Control Panel No.	P7
Suitable Connection Technology No.	80
Suitable Mounting Technology No.	380

Complementary Products

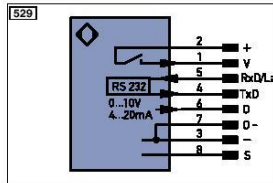
Analog Evaluation Unit AW02	
Feldbus Gateways ZAGxxN01	
Interface Cable S232W3	
Protection Housing Set ZSP-NN-02	
Protection Housing ZSV-0x-01	



Ctrl. Panel



- 03 = Error Indicator
- 07 = Selector Switch
- 12 = Analog Output Indicator
- 24 = Plus Button
- 25 = Minus Button
- 63 = Analog Output Current Indicator

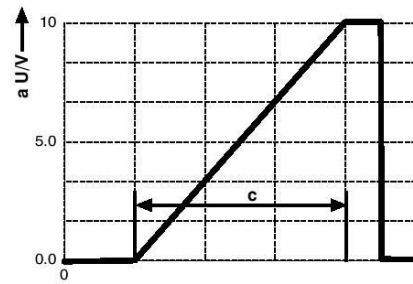


Legend			
+	Supply Voltage +	PT	Platinum measuring resistor
-	Supply Voltage 0 V	nc	not connected
~	Supply Voltage (AC Voltage)	U	Test Input
A	Switching Output (NO)	U̅	Test Input inverted
A̅	Switching Output (NC)	W	Trigger Input
V	Contamination/Error Output (NO)	O	Analog Output
V̅	Contamination/Error Output (NC)	O-	Ground for the Analog Output
E	Input (analog or digital)	SD	Block Discharge
E	Teach Input	SZ	Valve Output
Z	Time Delay (activation)	AV	Valve Control Output +
S	Shielding	b	Valve Control Output 0 V
RxD	Interface Receive Path	SY	Synchronization
TxD	Interface Send Path	E+	Receiver-Line
RDY	Ready	S+	Emitter-Line
GND	Ground	g	Grounding
CL	Clock	SR	Switching Distance Reduction
IEA	Output/Input programmable	Rx+/	Ethernet Receive Path
●	IO-Link	Tx+/	Ethernet Send Path
BoE	Power over Ethernet	Bx	Interfaces-Bus A(+)/B(-)
IN	Safety Input	La	Emitted Light disengageable
SSD	Safety Output	Mq	Magnet activation
Signal	Signal Output	RES	Input confirmation
M	Maintenance	EDM	Contactors Monitoring
		EnA	Encoder A
		EnB	Encoder B
		Ann	Digital output MIN
		Ann	Digital output MAX
		Ann	Digital output OK
		SY In	Synchronization In
		SY OUT	Synchronization OUT
		Br	Brightness output
			Wire Colors according to DIN IEC 757
		BK	Black
		BN	Brown
		RD	Red
		OG	Orange
		YE	Yellow
		GN	Green
		BU	Blue
		VT	Violet
		GY	Grey
		WH	White
		PK	Pink
		GNYE	Green Yellow

Table 1

Working Distance	50 mm	350 mm
Spot Size	0,6 x 1,5 mm	1,5 x 4 mm

Output Graph



c = Measuring Range
a = Analog Voltage Output



Specifications are subject to change without notice

High-Performance Distance Sensor

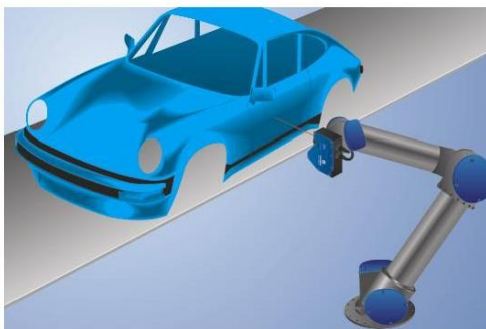
PNBC006 LASER

Part Number



- **Constant, surface-independent measured values**
- **Highly precise measurement with a maximum linearity error of 0.05%**
- **Industry 4.0 compatible thanks to Industrial Ethernet**
- **Thermally stable measured values without any warm-up phase**

Sensors from the PNBC range work with a high resolution CMOS line array and determine distance to the object by means of angular measurement. Top quality optics permit measured values with 16-bit resolution. Thanks to proven algorithms, stable measured values are obtained even for complex surfaces, for example sheet metal with speckle effect. They demonstrate outstanding accuracy with maximum linearity error of just 0.05%, and required only a short warm-up phase thanks to minimized temperature drift. Values are read out simultaneously via the analog output and the interface. Up to 4 switching outputs can be taught in externally. An incremental encoder input rounds the product out.

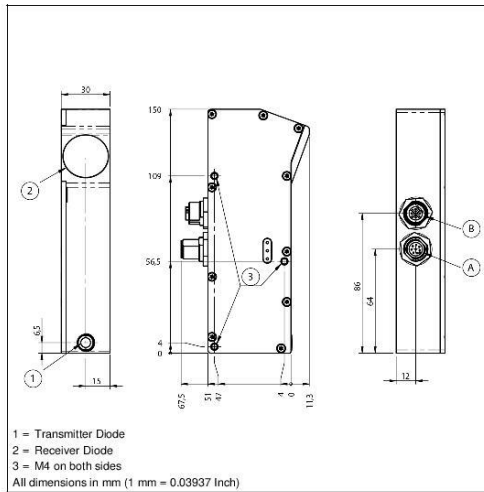


Technical Data

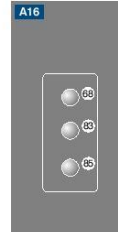
Optical Data	
Working Range	200...400 mm
Measuring Range	200 mm
Resolution	3.1 μ m
Linearity Deviation	100 μ m
Light Source	Laser (red)
Wave Length	658 nm
Service Life (T = +25 °C)	100000 h
Laser Class (EN 60825-1)	2
Max. Ambient Light	10000 Lux
Spot Diameter	< 0,9 mm
Electrical Data	
Supply Voltage	10...30 V DC
Current Consumption (U _b = 24 V)	280 mA
Switching Frequency	15 kHz
Response Time	< 33 μ s
Output rate	10...30000 /s
Temperature Drift	0,005 %/K
Temperature Range	-10...40 °C
Switching Outputs	4
Switching Output Voltage Drop	< 1,5 V
Switching Output/Switching Current	100 mA
Analog Output	0...10 V/4...20 mA
Short Circuit Protection	yes
Reverse Polarity Protection	yes
Overload Protection	yes
Teach Mode	VT, FT
Interface	Ethernet TCP/IP
Baud Rate	100 Mbit/s
Protection Class	III
Mechanical Data	
Adjustment	Teach-In
Housing Material	Aluminum
Degree of Protection	IP67
Connection	M12 x 1; 8-pin
Type of Connection Ethernet	M12 x 1; 4-pin
Optic Cover	Glass
Web server	yes
Scope of delivery	Calibration report
Configurable as PNP/NPN/Push-Pull	●
Switchable to NC/NO	●
Connection Diagram No.	134
Control Panel No.	A16
Suitable Connection Technology No.	51 89
Suitable Mounting Technology No.	341

Complementary Products

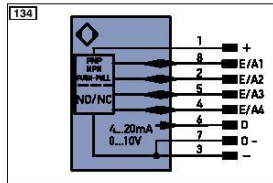
Switch ZAC51xN01



Ctrl. Panel



68 = Supply Voltage Indicator
83 = Signal
85 = Link/Act LED



Legend					
+	Supply Voltage +	PT	Platinum measuring resistor	ENa	Encoder A
-	Supply Voltage 0 V	nc	not connected	ENb	Encoder B
~	Supply Voltage (AC Voltage)	U	Test Input	ANn	Digital output MIN
A	Switching Output (NO)	U̅	Test Input inverted	ANm	Digital output MAX
A̅	Switching Output (NC)	W	Trigger Input	ANx	Digital output OK
V	Contamination/Error Output (NO)	O	Analog Output	SY In	Synchronization In
V̅	Contamination/Error Output (NC)	OS	Ground for the Analog Output	SY OUT	Synchronization OUT
E	Input (analog or digital)	QZ	Block Discharge	Q.t	Brightness output
ET	Teach Input	AV	Valve Output		
Z	Time Delay (activation)	a	Valve Control Output +	Wire Colors according to DIN IEC 757	
S	Shielding	b	Valve Control Output 0 V	BK	Black
RxD	Interface Receive Path	SY	Synchronization	BN	Brown
TxD	Interface Send Path	E+	Receiver-Line	RD	Red
RDY	Ready	S+	Emitter-Line	OG	Orange
GND	Ground	≡	Grounding	YE	Yellow
CL	Clock	SR	Switching Distance Reduction	GN	Green
IEA	Output/Input programmable	Rx+/-	Ethernet Receive Path	BU	Blue
●	ID-Link	Tx+/-	Ethernet Send Path	VT	Violet
BoE	Power over Ethernet	Bx	Interfaces-Bus A(+)/B(-)	GY	Grey
IN	Safety Input	La	Emitted Light disengageable	WH	White
SSSD	Safety Output	Mq	Magnet activation	PK	Pink
Signal	Signal Output	RES	Input confirmation	GNYE	Green Yellow
M	Maintenance	EDM	Contactors Monitoring		



■ Programmable Digital Panel Meter UM 3022

Highlights

- Signal Input 0 - 10 V and 0/4 - 20 mA
- DIN Housing 96 x 48 mm
- LED Display 14 mm
- Panel or Mosaic System Mounting
- Screw Terminal
- Alarm or Serial Output
- Analog Output 0/4...20 mA
- Linearization
- Sensor Supply (24 VDC/100 mA)
- Power Supply 95...240 VAC

UM 3022

- Voltage 0 - 10 V
- Current 0 - 20 mA resp. 4 - 20 mA
- Display range -999 ... 9999
- Resolution max. 64000 digits
- Accuracy 0,01% (current 0,02 %) ± 1 digit
- Analog Output 0/4 ... 20 mA
- Sensor Supply 24 VDC/100 mA

Software Functions

- Scaling-factor
- Userdefined linearization up to 9 points
- Adjustable digital filter
- Peak detection
- Decimal point
- Last digit in 1, 2, 5 or 10 steps
- Display test

Functions Of Push Buttons And Digital Input Channels

The instrument is provided with four push buttons at the front and three digital input channels at the rear. Following functions can be carried out:

- Programming
- Display test
- Reset of peak detection
- Display of limiting value

Optocouple Output Channel

The instrument is provided with a optocoupler output. This output can be programmed for two functions.

1. Serial Output

Continually measured value transmitting at ASCII-Code with following data format



- Sign or X, X, X, (dp), X, 0D_H, 0A_H
- 9600 Bd, 1 start bit, 8 data bits, 1 stop bit

2. Alarm Output

Following function can be programmed:

- Alarm point and hysteresis
- High or low alarm
- During normal measurement the limit value can be programmed by the push buttons "+" and "-".

Analog Output

- Programmable between 4...20 mA or 0... 20 mA

Sensor Supply

- A sensor power supply 24 VDC/100 mA is available

Power Supply

- 95 ... 250 VAC

Programming

By means of a programming menu the user is taken through the programming of the unit. The programming can be carried out by the push buttons at the front.

Options

Housing

- Switch board mounting DIN 43700
- Mosaic system mounting (Subkleb, Siemens 8RU)

Front Design

- Front foil ERMA-METER
- Front foil NEUTRAL
- Unit overprint
-

Technical data

Ranges
 Voltage : 0...10 VDC
 Input impedance : at voltage > 1 MΩ
 Current : 0...20 mA, 4...20 mA
 Input impedance : 10 Ω
 Resolution : 16 Bit

Display : 4 decades, 14 mm, red
 Conversion rate : approx. 2 per sec

Isolated analog output : 0/4...20 mA
 Max. load resistance : 500 Ω
 Resolution : 16 Bit

Digital inputs : 10 kΩ to +5 V
 : low level < 0,4 V
 : high level > 3,5, max. 30 V

Optocouple output
 Limit value : max. 10 mA, 70 V, max. 150 mW
 Serial data : 9600 baud, 1, 8, N, 1

Power supply : 95 ... 240 VAC
 Power consumption : 4,5 VA
 Housing : panel mounting DIN 43700
 Dimensions : 96 x 48 x 72 mm
 Depth : 65 mm

Protection : front IP 54

EMV : in conform with 89/336/EWG
 Operating temperature : 0 ... 50 °C

Ordering information

UM 3022 -	
	Housing
0	Switch board mount
1	Panel clip
Front Frame Color	
0	Black
Front Design	
0	Reserve
1	Front foil ERMA-METER
2	Front foil NEUTRAL
Display Color	
0	Red
Power Supply	
0	95 ... 240 VAC

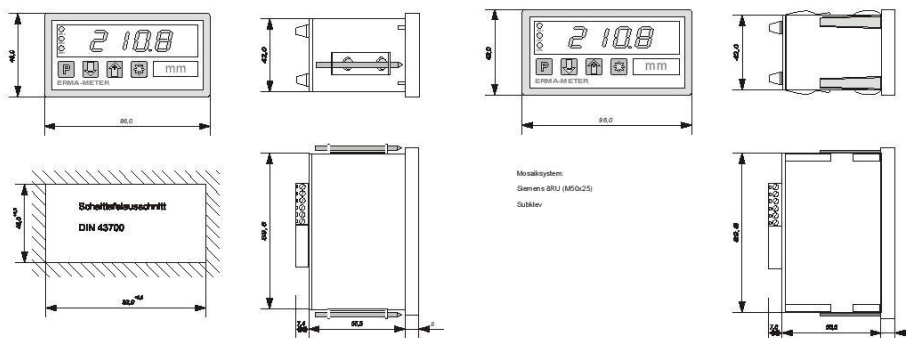
Unit overprint

Please specify in clear text at order !

Dimensions

Panel Mounting

Panel Clip



um3022_data_en_v06.06

Mounting System
for 43 × 52,5 mm hole pattern

ZNBZ001

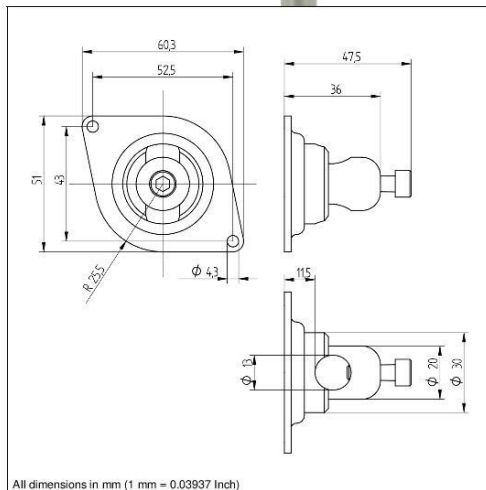
Part Number



Technical Data

Mechanical Data	
Material Mounting Head	Aluminum
Material Mounting Plate	Stainless Steel
for Round Profile Diameter	8...12,5 mm
Packaging unit	1 Piece
Mounting Number	341
Suitable Mounting Technology No.	550

- Aluminum
- Flexible alignment possibilities
- Simple installation



All dimensions in mm (1 mm = 0.03937 Inch)



Specifications are subject to change without notice