

SÄHKÖMOOTTORIT

käynninaikainen kunnonvalvonta

Tässä artikkelissa luodaan tilannekatsaus sähkömoottoreiden kunnonvalvontaan. Mittausmenetelmien osalta pääpaino on kunnonvalvonnan sähköisissä mittauksissa, koska värähtelymittauksia käsitellään usein muissa artikkeleissa. Vaihtovirtamoottorit kattavat noin 99 % kaikista teollisuudessa ja voimalaitoksilla käytössä olevista sähkömoottoreista, joten artikkelissa keskitytään niiden kunnonvalvontaan. Mittausmenetelmien osalta menetelmät ovat jo kehittyneitä ja tutkimuksen sekä tuotekehityksen pääpaino on diagnostiikan jatkokehittämisessä.

VOITTO KOKKO
johtava asiantuntija,
sähkökoneet, TKT
Fortum Power and
Heat Oy, Service
voitto.kokko@fortum.
com



Sähkömoottorin kuntotietoa käytetään seisokkien huoltosuunnitteluun sekä tuotannon käynnin varmistamiseen. Teollisuudessa ja voimalaitoksilla on runsaasti tuotannon kannalta kriittisiä sähkömoottoreita, joiden käyntijaksot ovat hyvin pitkiä, joten käynninaikainen kunnonvalvonta soveltuu niihin hyvin. Vaihtovirtamoottoreilla tämä mahdollistaa usein kuntoon perustuvan kunnossapidon, jolloin huoltovälejä voidaan pidentää ja saavutetaan kustannussäästöjä laitteiden irrottamis- ja asennuskustannuksissa, kuljetuskustannuksissa sekä huolto- ja varaosakustannuksissa.

Toisinaan on myös syytä aikaistaa huoltoa, jos ennenaikainen kunnan heikkeneminen sitä edellyttää. Tällöin vältetään äkillisen suunnittelemattoman vaurion aiheuttamat tuotantotappiot ja kunnan palauttamiseen liittyvät huoltokustannukset jäävät merkittävästi pienemmiksi kuin totaalisen vaurion korjauskustannukset.

Kunnonvalvonnan valinta ja aikataulutus

Käynninaikaisella kunnonvalvonnalla valvotaan moottoreiden kuntoa joko jatkuvana eli on-line valvontana tai säännöllisesti tois-

tuilla eli periodisilla mittauksilla. Molemmissa tapauksissa mittausmenetelmät ovat samoja. Valinta näiden kahden valvontatavan välillä perustuu laitteen kriittisyyteen ja mittauksella tunnistettavan vikaantumismekanismien kehittymisnopeuteen. Vikaantumisen kehittyessä nopeasti, alle parin kuukauden aikana, on jatkuva valvonta suositeltua. Mikäli kunnan heikkeneminen tai vikaantuminen vie aikaa useita kuukausia tai vuosia, riittää periodinen valvonta hyvin.

Sähkömoottoreilla kunnonvalvonta kohdistetaan pääkomponentteihin, joita ovat

laakerit, roottori ja staattorikäänitys. Lisäksi tahtimoottoreilla valvotaan magnetointilaitteen vikoja ja taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla tiettyjä taajuusmuuttajavikoja.

Moottorin laakereita valvotaan yleensä värähtelymittauksien avulla ja lämpötilamittaus toimii hyvänä varavalvontana. Vierintälaakerin vikaantuminen saattaa kehittyä nopeastikin, joten tuotannon kannalta kriittisten moottoreiden vierintälaakereiden värähtely- ja lämpötilavalvonta liitetään usein jatkuvaan valvontajärjestelmään.



KUVA 1. Staattorivirran mittaus toisiopiiristä virtapihdin avulla (Fortum kuva-arkisto).

Sähköisten komponenttien kuten sähkökoneiden suurjärjentelekämmitysten tai roottorikämmityksen kunnan heikkeneminen on hitaampi prosessi ja niille riittää yleensä hyvin periodinen valvonta.

Mittausmenetelmät

Sähkömoottoreiden käynnin-aikaiset kunnonmittausmenetelmät ovat pitkälle kehittyneitä johtuen aktiivisesta menetelmäkehityksestä parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Tehokas kunnossapito edellyttää mittausmenetelmiltä ja tulosten analysoinnilta korkeaa laatua, jotta kunnan heikkeneminen voidaan havaita jo varhaisessa vaiheessa. Seuraavassa on lyhyesti kuvattu yleisimmän käytössä olevia menetelmiä.

VÄRÄHTELYMITTAUS

Värähtelymittausten avulla valvotaan sähkömoottorin mekaanista kuntoa. Lisäksi värähtelymittauksilla voidaan tunnistaa pitkälle kehittynyt oikosulkumoottorin roottorikämmityksen vika ja suurten moottoreiden staattorikämmityksen tai staattorin levypaketin löystyminen.

Värähtelymittauksia varten tarvitaan värähtelyanturit, jotka ovat tyypillisesti kiihtyvyyssantureita ja/tai akselin siirtymäantureita. Jatkuvassa valvonnassa anturit ovat kiinteästi asennettuja ja johdotettu valvontajärjestelmään saakka.

Myös periodisessa valvonnassa anturit voivat olla kiinteästi asennettuja, ja mittaussignaali on viety pääteotelolle, josta mittaus tehdään. Tämä vaihtoehto sopii hyvin koneille, joiden läheisyyteen liittyy turvallisuusriski tai ne ovat huonosti lähellä päästäviä, esimerkiksi vaikeiden käyttöolosuhteiden vuoksi. Eniten käytetty mittaus tapa on siirrettävien antureiden käyttö. Tällöin anturi asetetaan kohteeseen mittauksen ajaksi esimerkiksi magneettikiinnityksellä.

Värähtelymittausten analyysillä on mahdollista tunnistaa sähkömoottorista epäkeskisyys, epätasapaino ja erilaiset laakerivauriot sekä vaihteistoviat. Lisäksi värähtelymittauksilla voidaan tunnistaa pitkälle kehittynyt oikosulkumoottorin roottorikämmityksen vika ja suurten moottoreiden staattorikämmityksen tai staattorin levypaketin löystyminen.

Värähtelymittausten analyysi perustuu sekä taajuusanalyysiin että aikatasoanalyysiin. Standardissa PSK 5705 on esitetty värähtelyvalvonnan suunnittelun periaatteet, standardissa PSK 5706 on määritelty värähtelyvalvonnan tärkeimmät analysointitavat ja standardissa PSK 5707 on esitelty tyypillisimmät värähtelyvalvonnalla havaittavat vikaantumismekanismit ja niiden oireet.

MOOTTORIN STAATTORIVIRRRAN SIGNAALIANALYYSI

Moottorin staattorivirtasignaalin analyysissä toimii moottorin oma staattorikämmitys anturina, johon roottorin käämivika, akselin epätasapaino, akselin linjausvirhe tai laakerin vikaantuminen indusoi moottorin ilmavälin kautta muutossignaalin. Tästä syystä virtamittauksesta käytetään joissakin artikkeleissa nimitystä ”sensorless” eli anturiton mittaus.

Staattorivirran mittauksessa mitataan virta joko suoraan moottorin syöttökaapelista tai moottorin virtamuuntajien toisiopiiristä. Mittaus signaali mitataan yleensä avattavan virtapihdin avulla, josta se siirretään mittauslaitteelle. KUVASSA 1 esitetään staattorivirran mittaus toisiopiiristä virtapihdin avulla.

Mittaus on suhteellisen helppo tehdä suoraan moottorisuuttimen lähdestä, ja sen vuoksi kiinnostus tätä menetelmää kohtaan on ollut tutkimusmaailmassa viime vuosina suurta.



POHTOssa syksyllä 2008

Kunnossapidon osajalle

- Prosessiteollisuuden pumppujen kunnossapito	8. - 9.9.	Oulu
- Laakerien asennus ja huolto	17. - 18.9.	Oulu
- Hydrauliiikka 2	7. - 8.10.	Lappeenranta
- Hydrauliiikka 2	9. - 10.10.	Oulu
- Voiteluhuolto	14. - 15.10.	Lappeenranta
- Tehonsiirtolaitteiden kunnossapito	21. - 22.10.	Karkkila
- Ennakoivan kunnossapidon tekniikka	28. - 29.10.	Oulu
- Sähkökunnossapidon perusteet mekaniikka-, automaatio ja sähköhenkilöstölle	28. - 30.10.	Lappeenranta
- Lämpökuvauus	4. - 5.11.	Oulu
- Teollisuusputkistojen esivalmistelu, asennus ja kunnossapito	12. - 14.11.	Oulu
- Prosessiteollisuuden pumppujen kunnossapito	18. - 19.11.	Tampere
- Automaation peruskurssi	18. - 20.11.	Lappeenranta
- Hydrauliiikka 2	25. - 26.11.	Tampere
- Koneiden asennus ja asennusvalvonta	25. - 26.11.	Oulu

Automaatio- ja sähköalan ammattilaiselle

- Hydrauliiikan automaatio ja ohjaus	18. - 19.11.	Oulu
- Sähkömiesten operointi kytkinlaitosten vikatilanteissa	18. - 19.9.	Oulu
- Taajuusmuuttaja Vacon NX tekniikka ja huolto	7. - 8.10.	Oulu
- Jännitetyöt alle 1 kV:n laitteistoissa	8.10.	Oulu
- Valmennus sähköturvallisuustutkintoihin 1,2,3	9. - 10.10.	Oulu
- Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002	16.10.	Oulu
- Kytkinlaitosten suojaukset	19. - 21.11.	Oulu
- Sähköturvallisuustutkinto 1, 2 ja 3	20.11.	Oulu

Suojelu ja turvatekniikan ammattilaiselle

- Nostoapuvälineiden tarkistukset	18. - 19.9.	Oulu
- Työsuojelupäivät 2008 Oulu	25. - 26.9.	Oulu
- Työturvallisuuskorttikouluttajakoulutus	2. - 3.10.	Oulu
- Työturvallisuuskorttikouluttajien täydennys	7.10.	Oulu
- Painelaitteet	8. - 10.10.	Oulu
- Radioaktiivisten säteilylähteiden peruskurssi	14.10.	Tampere
- Kemikaalien teollinen käsittely ja varastointi	15. - 16.10.	Oulu
- Radioaktiivisten säteilylähteiden peruskurssi	16.10.	Tampere
- Automaattisten sammutuslaitosten huolto ja kunnossapito	3. - 4.11.	Oulu
- Radioaktiivisten säteilyläht. turvallinen käyttö	11. - 13.11.	Tampere
- Painelaitteet käyttöhenkilöstölle	9.12.	Lappeenranta
- Nostot ja siirrot	18. - 19.12.	Oulu

Ilmoittautumiset tilaisuuksiin

kaksi viikkoa ennen tilaisuuden alkua www.pohto.fi tai puh. 08 - 5509 722 sekä sähköpostitse asiakaspalvelu@pohto.fi

Pidätämme oikeuden muutoksiin.



Sähköturvallisuussäännösten mukaan virtamittauksen voi tehdä vain sähköalan koulutuksen saanut henkilö.

Standardissa PSK 7707 on selostettu mittauksen perusteet sekä ohjeistettu mittauksen tekeminen ja lisäksi kuvattu joitakin analysointimenetelmiä.

Mittaustulosten analysointi perustuu pääasiassa taajuus- eli spektrianalyysiin. Menetelmää on käytetty menestyksellisesti jo vuosia oikosulkumoottorin roottorisauvavikojen tunnistamiseen. Vian tunnistamiseen käytetään tällöin virran perustaaajuuden ympärille moduloituneita sivunauhoja. Menetelmällä saadaan selville riittävän suurella vakiokuormituksella pyörivän moottorin roottorin kunto. Menetelmä ei ole luotettava pienillä vakiokuormituksilla toimivilla moottoreilla, mutta tämä ei ole ongelmallista, koska niillä roottorivika on hyvin harvinainen.

Analysoinnin yhteydessä on kuitenkin huomioitava, että on olemassa myös muita tilanteita, jotka aiheuttavat samojen sivunauhakomponenttien moduloitumisen staattorin virtasignaaliin. Moottorin pulssimainen kuormitus aiheuttaa staattorivirtaan sivunauhataajuuden, joka voi johtaa samanlaiseen spektriin kuin roottoriviasa, vaikka kyseessä on normaali käyttötilanne. Suurilla moottoreilla roottorin rakenne saattaa tuottaa magneettisen epäsymmetrian, jonka vaikutus on samanlainen kuin roottoriviasa. Vaihteistoilla varustetuilla moottoreilla saattaa myös toisioakselin pyörimistaajuuden komponentti moduloitua staattorivirran spektriin.

Mikäli toisioakselin pyörimistaajuus on lähellä roottorisauvavian aiheuttamaa taajuutta, voi sekin aiheuttaa virhetulkinnan. Tämän vuoksi on tärkeää määrittää moottorin akselien pyörimisnopeudet mittauksen yhteydessä, jotta voidaan tunnistaa täsmällisesti eri syistä johtuvien virtakomponenttien taajuudet. Onkin suositeltavaa, että virtasignaalin analyysin osoittaessa roottorisauvavikaa, tulos varmistetaan esimerkiksi värähtelymittauksella.

Suurin puute on se, miten saadaan mitattua vaihtuvalla kuormituksella pyörivien moottoreiden roottorin kunto. Joissakin käyttösovelluksissa tasaista pyörimisnopeutta ei saavuteta riittävän pitkäksi aikaa luotettavaa virtasignaalin analyysiä varten. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi moottoriohjatut venttiilit sekä mekaanisen puunkäsittelyn hakkujen ja jauhinkoneiden moottorit.

Perinteiseen FFT-muunnokseen (Fast Fourier Transform) perustuva signaalin käsittely ei tällöin enää yksinään sovellu, koska tarkan spektrin muodostamiseen tarvittavaa käyttöjaksoa ei saada järjestettyä. Roottorin kunnan mittaamiseen transienttitilanteissa on kehitetty aivan viime aikoina menetelmiä. Transienttitilanteessa virta muodostuu muuttuvasta perustaaajuudesta sekä roottorisauvoihin liittyvistä muuttuvista taajuuksista. Roottorisauvojen taajuudet muuttuvat koneen jättämän mukaan kuten muuttuu myös perustaaajuuden vaihe ja amplitudi.

Kehitetyissä menetelmissä (esim. P. Pillay, 2005) käytetään yleensä mittaukseen moottorin käynnistysvirtaa. Syöttövirran voimakas perustaaajuinen virtakomponentti peittää alleen roottorin kuntoa kuvaavan, heikomman virtakomponentin. Aktiivisen suodatimen avulla poistetaan muuttuva perustaaajuus muuttuvasta käynnistysvirrasta, jotta roottorin kuntoon verrannolliselle virralle saadaan tehtyä jatkokäsittely. Tämä jäljelle jäänyt transienttivirta tutkitaan menetelmässä käyttäen ns. wavelet-menetelmää.

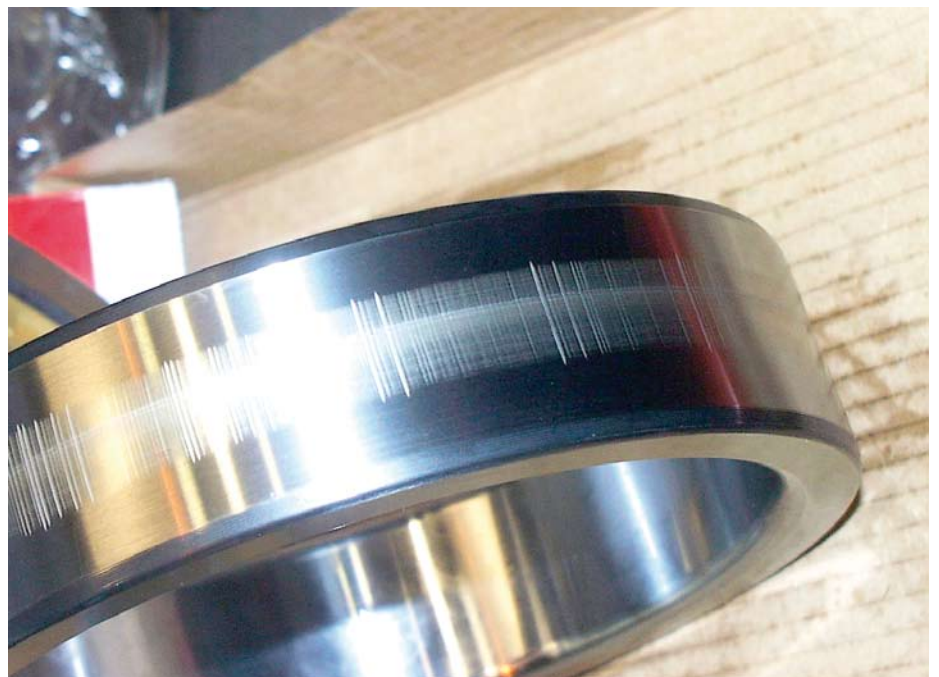
Analyysin onnistuminen edellyttää riittävän pitkää käynnistysaikaa, joten moottori on käynnistettävä kuormitettuna. Joissakin esitetyissä menetelmissä käytetään muuttuvalla kuormituksella signaalin näytteenotossa STFT (Short Time Fourier Transform)

menetelmää ja analyysissä ns. wavelet-ridge-tekniikkaa (esim. Z. Zhang, 2003).

Esitetyt menetelmät eivät sovellu taajuusmuuttajakäyttöisille moottoreille, koska niillä myös syöttötaajuus muuttuu käynnistysen yhteydessä. Taajuusmuuttajakäyttöisen moottorin käynnistysmomentti on kuitenkin huomattavasti parempi kuin suorakäyttöisen moottorin, joten roottorivika on niillä huomattavasti epätodennäköisempää.

Staattorivirran signaalianalyysin avulla voidaan myös valvoa ilmavälin epäkeskisyyden kehittymistä (W.T. Thomson 1998). Analysointia varten määritetään epäkeskisyyttä ilmaisevat taajuuskomponentit ja sen jälkeen trendimittauksella valvotaan niiden kehittymistä.

Mittaustulosten arviointiin vaikuttaa roottorin rakenne. Suorauraisella roottorilla virtasignaaliin epäkeskisyyden muutos on merkittävästi suurempi kuin vinouraisella roottorirakenteella, koska vinourainen roottorirakenne pienentää vuon uraharmonisten komponenttien voimakkuutta. Suurilla roottorisauvoilla varustetuilla moottoreilla (suuret moottorit ja osa pienistä moottoreista) staattista epäkeskisyyttä kuvaavan virtakomponentin kasvu voi olla merkittävää ja lisäksi lähes lineaarista. Staattorivirran signaalianalyysi soveltuikin parhaiten suurten moottoreiden epäkeskisyyden valvontaan (W.T. Thomson 1998).



KUVA 2. Laakerivirran aiheuttama "pyykkilautakuvio" (Fortum kuva-arkisto).



KUVA 3. Liitinjänniteantureiden asennus moottorin liitäntäkoteloon (Fortum kuva-arkisto)

Useissa artikkeleissa on esitetty myös staattorivirta-analyysin käyttöä laakerivikojen tunnistamiseen (esim. J.R. Stack 2004). Laakerivikatilanteessa mekaaninen vikataajuus siirtyy ensin laakerin värähtelyyn, josta se on mahdollista tunnistaa värähtelymittausten avulla. Tämän jälkeen vikataajuus moduloituu ilmavälin kautta myös staattorin virtaan.

Tiedetään kuitenkin sekä tutkimustulosten perusteella että kokemuksesta, että koneen värähtelyt eivät aina näy staattorin virrassa. Erityisen suuri vaikutus on laakerin tyypillä (T Lindth, 2003). Näin ollen ensisijainen menetelmä laakereiden kunnonvalvonnassa on värähtelymittaus. Kuitenkin on olemassa kohteita, joissa värähtelymittausta ei voida kohtuullisella vaivalla toteuttaa. Tällaisissa tapauksissa staattorin virtasignaalin analyysiä kannattaa soveltaa myös laakerin kunnonvalvontaan.

AKSELIJÄNNITEMITTAUS

Suorakäyttöisillä oikosulkumoottoreilla haitallisen suuruiset akselijännitteet ovat hyvin harvinaisia ja niitä esiintyy lähinnä joissakin vanhoissa suurikokoisissa moottoreissa magneettisen epäsymmetrian aiheuttamana. Nykyaikaisissa moottoreissa valmistustoleranssit ovat niin korkealaatuiset, että tällaiset tilanteet ovat erittäin harvinaisia.

Tahtimoottoreilla käytetään akselijännitemittausta lähinnä roottorin napakäämityksen vikojen ja magnetointilaitteiston vikojen tunnistamiseen (J.S Hsu, 1994). Mittaus

tehdään suoraan akselin pinnasta tai mahdollisen mittaushiilen kautta. Mittaustulosten analyysi perustuu sekä pientaajuusalueen taajuusanalyysiin että aikatasoanalyysiin.

Taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla mitataan taajuusmuuttajan syöttämän jännitteen indusoimia akselijännitteitä, jotka voivat aiheuttaa laakerivirtaa. Akselijännitteitä on esiintynyt pääasiassa taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla, joissa on käytetty nopeita kytkentätransistoreita. Mittaustulosten analyysi perustuu sekä pientaajuusalueen että suurtaajuusalueen aikatasoanalyysiin. Mikäli mittauksessa havaitaan poikkeavan korkea akselijännite, on suositeltavaa varmentaa haitallisuus laakerivirtamittauksen avulla.

Akselijännitemittauksen tekeminen ja analysointi on ohjeistettu standardissa PSK 7708. Mittauksissa on noudatettava suurta varovaisuutta, koska työskennellään pyörivän akselin välittömässä läheisyydessä.

LAAKERIVIRRRAN MITTAUS

Taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla saattaa taajuusmuuttajan indusoima akselijännite aiheuttaa laakerin läpi kulkevaa virtaa eli laakerivirtaa. Laakerivirta aiheuttaa laakerikilven ja vierintäosan pinnalle ns. pyykkilautakuvion. KUVASSA 2 nähdään laakerivirran aiheuttama ”pyykkilautakuvio” laakerin pinnalla.

Taajuusmuuttajan aiheuttama laakerivirta on yleensä suurtaajuista ja sen vuoksi se mitataan suurtaajuusvirtamuuntajan eli ns.

Rogowskin mittauskelan avulla. Mittauksessa akselin kautta kulkeva virta ohjataan mittauskelan läpi. Mittaustulosten analyysi perustuu aikatasoanalyysiin.

Laakerivirtamittauksen tekeminen ja analysointi on ohjeistettu standardissa PSK 7708. Mittauksissa on noudatettava suurta varovaisuutta, koska työskennellään pyörivän akselin välittömässä läheisyydessä.

MOOTTORIN LIITINJÄNNITEMITTAUS

Taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla saattaa esiintyä suurtaajuudesta syöttöjännitteestä johtuvia korkeataajuisia ylijännitteitä moottorin liittimissä. Mikäli tätä ei ole huomioitu moottorin suunnittelussa, ne voivat olla haitallisia moottorin staattorikäämitykselle.

Liitinjännitteen mittaus on tehtävä moottorin liittimistä. Esimerkiksi syöttöpäästä tai turvakytkimen luota tehty mittaus ei anna luotettavaa tulosta. Jännite voidaan mitata turvallisesti moottorin syöttökaapelin liittin-koteloon asennettavan mitta-anturin avulla. Anturin asennuksen saa tehdä vain sähköalan ammattihenkilö. Anturilta tuodaan mittasignaali moottorin ulkopuolelle (koaksiaalikaapelilla), joten itse mittaus on tehtävissä turvallisesti milloin tahansa moottorin käytön aikana. KUVASSA 3 esitetään liitinjänniteantureiden asennus moottorin liitinkoteloon.

Liitinjännitteen mittaamista suoraan moottorin liittimistä johdinpistikkeiden avulla moottorin käytön aikana on syytä välttää, koska se on lähes mahdotonta rikkomatta sähköturvallisuusmääräyksiä.

Liitinjännitemittauksen tekeminen ja analysointi on ohjeistettu standardissa PSK 7711.

Mittaustulosten analyysi perustuu eri taajuusalueiden voimakkuuden analyysiin.

MOOTTORISYÖTÖN JÄNNITE- JA VIRTAEPÄSYMMETRIAN MITTAUS

Sähkömoottorin virtaepäsymmetria aiheuttaa kolmivaiheisen syötön epäsymmetrian, moottorikäämityksen epäsymmetrian tai molemmat yhtä aikaa. Yleensä vaihevirtojen epäsymmetria johtuu syöttöjännitteen epäsymmetriasta. Muita syitä ovat esimerkiksi moottorisytön kontaktoreiden, johdonsuojakytkimien tai katkaisijoiden löystyneet koskettimet. Pahimmassa tapauksessa voi yhden vaihejohtimen virtapiiri katketa, jolloin komivaihemoottoria syötetään vain kahdella vaiheella.

Sähkömoottori on hyvin herkkä jännite-epäsymmetrialle. Se aiheuttaa moottorin hyötysuhteen alenemista, joka puolestaan nostaa energian kulutusta. Pienikin jännite-epäsymmetria voi aiheuttaa suuren virtaepäsymmetrian, joka synnyttää moottorissa lisähäviöitä aiheuttaen ylimääräistä lämpenemistä ja muuttaen moottorin lämpötilajakaumaa. Varsinkin roottorin lämpötila kasvaa aiheuttaen moottorin lämpötilatason kasvamista. Jännite-epäsymmetria aiheuttaa muutoksia myös moottorin käynnistysmomenttiin, joka voi pienentyä tai kasvaa tilanteesta riippuen (P. Pillay, 2004). Käynnistysmomentin laskeessa moottorin käynnistysaika pidentyy ja se puolestaan kasvattaa moottorin lämpötilaa.

Moottorin jännite-epäsymmetria mitataan jännitteiden tehollisarvosta. Mittaus suositellaan tehtäväksi moottorin liitännänavoista, jotta havaitaan kaikki mahdolliset löystyneet liitokset moottorisytön virtapiirissä. Tämä ei aina ole kuitenkaan mahdollista, jolloin mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi turvakykimeltä tai syötön lähdöstä. Syötön lähdöstä mitattaessa tulee mittaus tehdä sulakkeiden ja kontaktorin jälkeen, jotta niiden mahdolliset löystyneet liitokset voidaan havaita.

Moottorin staattorivirran epäsymmetria mitataan vaihevirtojen tehollisarvoista. Mikäli syötöllä ei ole vaihevirtojen mittausta, voidaan mittaukseen käyttää virtapihtiä. Mikäli moottoreiden kuormitusvirran arvot on viety tehdas- tai laitosautomaatioon, on niiden tarkistaminen sieltä helppoa. Tällöin tulee varmistua, että mittamuuntimien tarkkuus on riittävä.

Mittaukset voidaan tehdä tarkkoilla yleismittareilla, mutta jännite- ja virtaepäsymmetrian mittausta varten on olemassa myös kaupallisia mittalaitteita, joiden avulla mittaus voidaan

tehdä luotettavasti ja turvallisesti. Lisäksi laitetoimitukseen voi sisältyä mittaustulosten käsittelyä varten valmiita mittaushelmiä. Ne antavat tuloksena tärkeimmät mittaustulokset sekä muuntavat mittaustuloksen graafiseen muotoon. Mittaustulokset voidaan myös tallettaa sähköisessä muodossa myöhemmä tarkastelua varten.

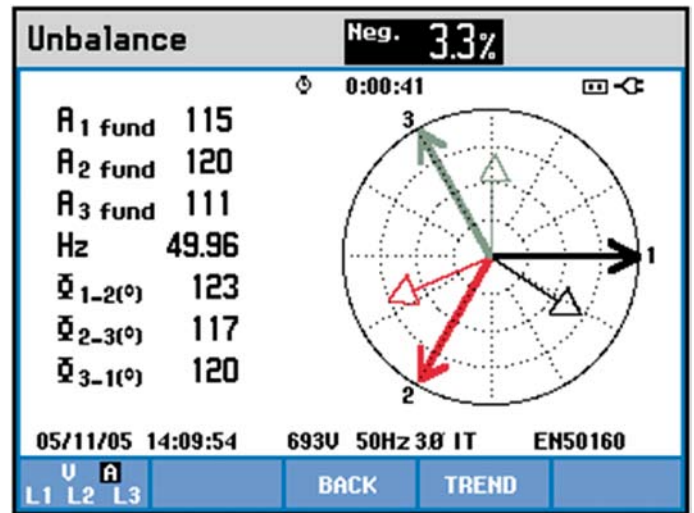
KUVASSA 4 esitetään moottorille tehty virtaepäsymmetriamittauksen tulos, joka on 3,3 %. Tavallisesti alle 10 % virtaepäsymmetrian arvo ei aiheuta välitömiä korjaustoimenpiteitä.

Moottorisytön virtaepäsymmetrian mittaus ja analysointi on selostettu standardissa PSK 7707.

STAATTORIN AKSIAALISEN MAGNEETTIVUON MITTAUS
Staattorin aksiaalinen magneettivuomittaus mitataan yleensä moottorin N-päästä mittausanalysointiriin liitetyn mittauskelan avulla. Lisäksi on epätahtikoneilla mitattava tarkasti koneen kierrosnopeus.

Epätahtimoottorin roottorisauvavika aiheuttaa kasvua staattorivirtaan tietyllä taajuudelle, joka on verrannollinen jättämään. Tämä virta puolestaan aiheuttaa aksiaalisen magneettivuon, joka voidaan mitata erikoisvalmisteisella vuokelalla. Roottorisauvan katkeaminen on näin todettavissa käytön aikaisen aksiaalisen vuon spektrin mittaamisella ja analysoinnilla (V Kokko, 2003). Mittaus tehdään esimerkiksi KUVAN 5 mukaisella erikoisvalmisteisella vuokelalla. Kuvassa oleva mittalaite laskee automaattisesti haluttujen taajuuksien eli spektri- viivojen amplitudit.

Päätyrenkaan katkeaminen aiheuttaa aksiaaliseen magneettivuohon jättämätasajuuden amplitudin. Näin ollen katkennut oikosulkurengas voidaan tunnistaa kyseisestä taajuudesta (V Kokko, 2003).



KUVA 4. Esimerkki virtaepäsymmetriamittauksen tuloksesta (Fortum kuva-arkisto).



KUVA 5. Staattorin aksiaalisen magneettivuon mittaus moottorin N-päästä (Fortum kuva-arkisto).

Aksiaalisella magneettivuon mittauksella voidaan tunnistaa myös oikosulkumoottorin staattorikämmityksen kierrossulku. Kierrossulun syntyessä kasvaa aksiaalisen hajavuon voimakkuus tietyillä taajuuskomponentilla (V Kokko, 2003).

Kaikilla taajuusmuuttajilla ei niiden oma vikadiagnostiikka tunnista tasasuuntauspiirin puolijohdesillan vikaantumista. Tällainen vika aiheuttaa usein moottorin liitinjännitteisiin epäsymmetriaa, moottorin syöttöjännitteeseen jännitepiikkejä sekä häiriöjännitteitä moottoria syöttävään jänniteverkkoon. Mikäli käytettävissä

on aksiaalisen vuomittauksen tulos terveeltä koneelta, on mahdollista sen avulla havaita tällainen tilanne.

Aksiaalisen magneettivuon mittaus on ohjeistettu standardissa PSK 7710.

OSITTAISPURKAUSMITTAUKSET
Suurjännitemoottoreiden staattorikämmityksen eristyksen käynnin aikaiseen kunnonmittaamiseen käytetään osittaispurkausmittauksia. Kämmityksen eristyksen kunnon heiketessä sen sisäiset osittaispurkaukset tai käänin pinnalla tapahtuvat osittaispurkaukset rupeavat kasvamaan ja näin mittausta voidaan käyttää



KUVA 6 Suurjännitemoottorin kiinteä PD-anturointi moottorin kytkentäkotelossa (Fortum kuva-arkisto).

kunnonseurantaan ja vanhene-
misen arviointiin.

Osittaispurkausmittauksil-
la voidaan tunnistaa seuraavat
vanhenemis- ja vikaantumisme-
kanismit: käämieristeen termi-
nen vanheneminen, voimakkaiden
kuormitusvaihteluiden aihe-
uttama käämieristeen sidosten
heikkeneminen, käämieristeen
kyllästysprosessin epäonnistumi-
nen (ontelot ja säröt eristeessä),
käämityksen löystyminen, säh-
köiset urapurkaukset ja käämin
johtavan/puolijohtavan pinnan
heikkeneminen ura-alueella, kää-
minpääalueen sähköinen vikaan-
tuminen (lika ja vuodot), kää-
miuran ulostuloalueella kentän-
heikkennyspinnan heikkeneminen
(puolijohtavan pinnan eroosio)
sekä riittämätön väli vaiheiden
välillä (vaiheiden välisten tuki-
palojen irtoaminen).

Osittaispurkausmittausten
trendiseurannalla voidaan mah-
dollinen vikaantuminen ennakoit-
a hyvissä ajoin ja suunnitella
huoltotoimenpiteet ajoissa.

Mittaus tehdään PD-analy-
saattorilla (Partial Discharges)
käyväällä koneella PD-antureiden
avulla. Asentamalla koneeseen
kiinteät anturit voidaan mittaus
suorittaa milloin tahansa koneen
käydessä normaalisti. Kuvassa 6
esitetään kiinteä PD-antureiden
asennus suurjännitemoottorille.
Mittaus voidaan tehdä myös

siirrettävillä antureilla, jos ha-
lutaan välttää investointi kiinteis-
iin antureihin. Tällöin moottori
pysäytetään ja asennetaan antu-
rit tilapäisesti moottorin syöttö-
kaapelin kytkentäkoteloon tai
syöttökaapelin kytkentätilaan.
Tämän jälkeen moottori käyn-
nistetään, ajetaan normaalia
kuormitustilannetta ja tehdään
mittaukset. Mittaus voidaan teh-
dä myös seisokin aikana tyhjä-
käyväällä koneella, jos sitä ei ole
mahdollista kuormittaa.

Mittauksesta saadaan analy-
sointia tehostavat raportit analy-
sointiohjelmistojen avulla. Ana-
lysointi onkin tärkein osa val-
vontaa. Yksinkertaisempi tapa
analysoida osittaispurkausakti-
viisuutta on pulssin korkeus-
analyysi. Tällöin ns. positiiviset
ja negatiiviset pulssit eritellään
huomioiden niiden suuruus ja
lukumäärä. Tällä menetelmäl-
lä saadaan yleiskuva purkausten
haitallisuudesta.

Purkausten haitallisuuden ar-
vioinnissa on kuitenkin tärke-
ää tunnistaa myös, missä pur-
kaukset sijaitsevat. Purkausten
voimakkuuden kasvaessa run-
koeristuksen sisällä tai käämi-
sauvan ja levypaketin välillä on
tilanne vakavampi kuin sellai-
sessa tapauksessa, jossa purka-
ukset kasvavat käämin pinnalla
ura-alueen ulkopuolella. Tämän
vuoksi tarvitaan kehittyneempi

analyysimenetelmä. Tällainen on
vaiheanalyysi, jolloin mitataan
osittaispurkauksien lukumäärä,
suuruus sekä pulssin sijainti suh-
teessa syöttötaajuuden vaihekul-
maan. Tämä menetelmä antaa
lisää mahdollisuuksia selvittää
staattorin käämityseristykseen to-
dellista heikkenemisprosessia ja
paikallistaa purkaukset.

Vaiheanalyysiä on kehitet-
ty viime vuosina useiden tutki-
musryhmien toimesta ja mene-
telmä onkin nykyään jo tehokas
(G. Stone, 2004).

Osittaispurkausmittauksen
tekeminen on ohjeistettu stan-
dardissa PSK 7709.

Mittausparametrien suunnittelu

Mittausdiagnostiikan kannal-
ta on tärkeää, että kunnonval-

vonnan käynnistämisen yhtey-
dessä valitaan huolellisesti moot-
torin kunnonvalvontaan parhai-
ten soveltuvat mittausparametrit.
Parametrien tulee olla selektiivi-
siä eli niiden avulla tulee kyetä
tunnistamaan eri osien kompo-
nenttien heikkeneminen jo var-
haisessa vaiheessa. Hyvin valit-
tujen mittausparametrien avulla
voidaan määrittää koneen osan
vikaantumismekanismi ja sen pe-
rusteella puolestaan tuotannon
kannalta tärkein tieto eli kauan-
ko kyseisellä laitteella voidaan
vielä jatkaa tuotantoa.

Mittaustulosten periodisessa
valvonnassa käytetään hyväksi
trendiseuranta. Mikäli trendis-
sä havaitaan muutoksia, tehdään
mittaustuloksille tarkempi ana-
lyysi, jossa selvitetään kunnon
heikkenemisen etenemisvaihe

Benstone Instruments Inc.
V-Pod tärinämittari
- tärinän nopeus 10 - 1000 Hz
- kiihtyvyyys
- laakerinkunto

Controlway Oy
Juha Seppä
040-5322160
juha.seppa@controlway.fi

sekä vian alkusyy. Vikaantumisen alkusyy selvittämisellä voidaan suunnitella parannustoimenpiteet, joiden avulla vastaava vikaantuminen voidaan jatkossa estää.

Sumean logiikan käyttö moottorin kunnonvalvonnassa

Sumean logiikan käyttöä sähkömoottoreiden kunnon diagnostiikan automatisoinnin välineenä on tutkittu viime vuosina usean tutkimusryhmän toimesta. Sähkömoottorin kunto muuttuu eliniän myötä alkuvaiheen virheettömästä kunnosta (hyvä kunto) ja siirtyy usean eri kuntovaiheen kautta vaiheeseen, jossa laite vaurioituu (heikko kunto). Näin ollen moottorin kunnon arvioinnissa ei riitä, että lopputulos on pelkästään ”hyvä” tai ”huono”. Sumeassa logiikassa kunnottotila voidaan määrittää useampaan vaiheeseen ja näin ollen se soveltuu kohtuullisen hyvin automatisoituun valvontaan.

Sähkömoottorin staattorivirta-analyysin ja sumean logiikan yhdistämistä oikosulkumoottorin kunnonvalvonnassa on tutkittu myös Suomessa (Pedro V.J. Rodriguez, 2007). Tässä tutkimuksessa staattorin virtasignaalin analyysillä erotellaan seuraavat vikatilanteet: katkennut roottorisauva, dynaaminen epäkeskisyys, staattinen epäkeskisyys, staattorikämin kierrossulkuvat. Kunto on määritetty valittujen päättelysääntöjen avulla kolmeen vaiheeseen, jotka ovat ”hyvä”, ”heikentynyt” ja ”vakavasti heikentynyt”.

Tulevaisuuden kehitysnäkymiä

Mittausmenetelmien osalta nykyiset menetelmät ovat jo pitkälle kehittyneitä ja kehitys tulee olemaan lähinnä nykyisten menetelmien parantamista. Menetelmäkehitys tulee keskit-

tymään pääasiassa mittausdiagnostiikkaan.

Moottorin kunnon määrittäminen vakio-tilanteessa hallitaan nykyään jo hyvin. Kunnon määrittäminen transienttitilanteissa eli käynnistyksen, pysäytyksen ja muiden muutostilanteiden aikana on tällä hetkellä useiden tutkimusryhmien tavoitteena.

Taajuusmuuttajakäyttöisillä moottoreilla ja tahtimoottoreilla on mahdollista yhdistää automaattinen diagnostiikka osaksi ohjauslaitteistoa. Tällöin moottorisytön virtasignaalin analyysi on houkutteleva menetelmä, koska mittaukset voidaan suorittaa suoraan ohjauslaitteen luota, eikä tarvita erillisiä johdotuksia moottorin ja ohjauslaitteen välille. Taajuusmuuttajakäyttöisten moottoreiden osalta on todennäköistä, että moottorin kunnon diagnostiikka yhdistetään ajan mittaan taajuusmuuttajan itsediagnostiikkaan.

Suorakäyttöisillä moottoreilla ei ole ohjauslaitteistoa, joten automaattinen valvonta täytyy liittää muihin laitteisiin. Yksi mahdollisuus on, että moottoreiden suoja-releisiin lisätään entistä enemmän moottorin kuntoa valvovia ominaisuuksia. Moottorin suoja-releet valvovat jo nykyään moottorisytön virtaa, joten kunnonvalvonnan lisääminen edellyttää lähinnä signaalinkäsittelyn jatkokehittämistä ja kuntoa kuvaavien parametrien ohjelmointia. Toinen mahdollisuus on, että kunnondiagnostiikkaa lisätään automaatiojärjestelmiin. ■

» REFERENSSEJÄ

PSK-käsikirja 2, ”Kunnonvalvonta, värähtelymittaus”, 1998, sisältää PSK 57 standardit

PSK-käsikirja 5, ”Kunnonvalvonnan sähköiset menetelmät”, 2002, sisältää PSK 77 standardit

Voitto Kokko, ”Condition monitoring of squirrel-cage motors by axial magnetic flux measurement”. Väitöskirja Oulun Yliopisto, 2003.

Tuomo Lindth, ”On the condition monitoring of induction machines”, Väitöskirja, Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu, 2003.

P. Pillay, ”Broken rotor bar detection in induction machines with transient operating speeds”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 20, no. 1, 2005.

Z. Zhang, ”A novel detection method of motor broken bars based on wavelet ridge”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 18, no. 3, 2003.

William T. Thomson, ”On-line current monitoring and applications of a finite element method to predict the level of static air gap eccentricity in three-phase induction motors”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, no. 4, 1998.

Jason R. Stack, ”Bearing fault detection via autoregressive stator current modeling”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 40, no. 3, 2004.

John S. Hsu, ”Shaft signals of salient-pole synchronous machines for eccentricity and shorted field-coil detections”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 9, no. 3, 1994.

Greg C. Stone ”Effect of manufacturer, winding age and insulation type on stator winding partial discharge levels”, IEEE Electrical Insulation magazine”, vol. 20, no. 5, 2004.

Pedro V.J. Rodriguez, ”Current-, force-, and vibration based techniques for induction motor condition monitoring”, Väitöskirja, Teknillinen Korkeakoulu, 2007.

■ LYHYET

SFS:n vuositapahtuma 22.10.2008: INNOVAATIOSTA STANDARDIKSI – IDEASTA MARKKINOILLE

»STANDARDISOIMISLIITTO järjestää yhteistyössä toimialayhteisöjensä kanssa 22. lokakuuta 2008 vuositapahtuman Forum 2008, otsikolla **Innovaatiosta standardiksi – ideasta markkinoille**. Tilaisuus pidetään Finlandia-talolla.

Tilaisuus alkaa kello 12.00 ja päättyy 19.00. Aluksi ohjelmassa on luentoja. Kello 16.30 alkaa kontaktitilaisuus, jonka ai-

kana on mahdollisuus tutustua eri aloilla tehtävään standardisointityöhön.

Kaikilla SFS:n toimialayhteisöillä on tilaisuudessa oma ständinsä. Ne ovat miehitettyjä koko tilaisuuden ajan.

Tilaisuuden avaa ylijohtaja **Petri Peltonen** työ- ja elinkeinoministeriöstä. Hän kertoo puheenvuorossaan Suomen innovaatiostратегияstä. Avauk-

sen jälkeen kansanedustaja **Jyrki Kasvi** luennoi otsikolla *Suomesta maailman paras innovaatioympäristö*.

Hänen jälkeensä pk-yrittäjien puheenvuoron pitää johtaja **Risto Suominen** Suomen Yrittäjät ry:stä. Standardisoinnin näkökulman innovaatioihin esittää tilaisuudessa teknillinen johtaja **Antti Karpinen** SFS:stä.

Luentojen jälkeen on kahvitauko. Tauon jälkeen kuullaan yritys-esimerkkejä standardien hyödyntämisestä.

Osiossa kuullaan Molok Oy:n, Neste Oil Oy:n ja Metso Paper Oy:n kokemuksista ja ratkaisuksista.

Tilaisuus on maksuton. Ilmoittautumislomake tilaisuuteen on tapahtuman [www-standardiforum.fi](http://www.standardiforum.fi)