



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Harri Hämäläinen

Momenttikäyrän mittausjärjestelmän uusiminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

13.05.2020

Tekijä Otsikko	Harri Hämäläinen Momenttikäyrän mittausjärjestelmän uusiminen
Sivumäärä Aika	44 sivua + 2 liitettä 13.05.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Eero Kupila diplomi-insinööri Jukka Putaansuu
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli luoda edellytykset uudelle käyttäjäystävälliselle epätahtikoneiden momenttikäyrien mittausjärjestelmälle ABB Motors & Generators yksikön koekentällä Helsingin Pitäjänmäellä. Tavoitteena oli tutkia järjestelmän uudistamiseen liittyviä haasteita, kokeilla uuden järjestelmän komponentit, kokeilla digitaalisia signaalinkäsittely menetelmiä mittauksessa ja tulosten käsittelyssä ja tarpeen tullen tehdä muutosehdotuksia tulevaan järjestelmään. Työ painottui vahvasti nopeuden ja momentin signaalinkäsittelyyn. Uudessa järjestelmässä luovutaan kaikista ylimääräisistä mittausteknisistä komponenteista, joita on aiemmin käytetty.</p> <p>Työn aikana tutkittiin nykyistä järjestelmää ja sen toimintaa, minkä perusteella lähdettiin miettimään uudistettua järjestelmää. Työn aikana paikannettiin kaikki olennaiset mittaustekniset ja tulosten käsittelyyn liittyvät haasteet uudessa järjestelmässä, mitkä korjattiin. Suurimmat haasteet liittyivät nopeuden ja momentin signaalinkäsittelyyn.</p> <p>Työtä suoritettiin tekemällä mittauksia useammalle erityyppiselle epätahtikoneelle, jotta saatavilla olisi erilaisia mittauksituloksia. Mittauksituloksista huomattujen asioiden perusteella uuteen järjestelmään tehtiin muutoksia ja lisäyksiä.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin hyvä pohja uudistetulle järjestelmälle, jossa on enemmän erilaisia suodatusvaihtoehtoja käytettävissä verrattuna nykyiseen järjestelmään, mikä mahdollistaa mittauksitulosten laajemman ja tarkemman tarkastelun. Suodatusten säädettävyydellä mahdollistetaan hyvän ja mahdollisimman oikean kippimomentti tuloksen saanti. Järjestelmän kehittäminen tulee vielä jatkumaan käyttöönottoaiheessa käyttäjä palautteen perusteella.</p>	
Avainsanat	epätahtikone, momenttikäyrä, momenttikäyrän mittaus

Author Title	Harri Hämäläinen Modernization of Torque Curve Measurement System
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 13 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Eero Kupila, Senior Lecturer Jukka Putaansuu, Measurement equipment specialist
<p>The purpose of this study was to create a ground for new user-friendly measurement system of asynchronous machines. Study was made for testfield of ABB Motors & Generators unit in Helsinki Pitäjänmäki. Aims of the study were to find all the challenges and needs, testing of modern-day digital signal processing methods and making proposals about the changes to be made into the new system. Study was heavily focused on signal processing of speed and torque. The new system will cut out all the old extra measurement equipment.</p> <p>Current system and its operation were examined during the study on which the basis of the new system was based on. All the essential needs and challenges regarding the digital signal processing were solved. Biggest challenges were related to signal processing of speed and torque.</p> <p>Practical part of the study was conducted on many different asynchronous machines to get as diverse measuring results as possible. Changes to the new system were made based on the findings from the results.</p> <p>The results of the study gave a good ground for the new system which now has more different signal processing methods compared to the current system. It enables to evaluate the measurement results in a more versatile manner. The adjustability of the filters makes it possible to get good results for breakdown torques. Development of the system will continue in the commissioning phase based in user reviews.</p>	
Keywords	Asynchronous machine, torque curve, measurement

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	4
2	Epätahtimoottori	5
2.1	Rakenne	5
2.2	Epätahtikoneen sijaiskytkentä	10
2.3	Epätahtimoottorin tuottama vääntömomentti	11
3	Momenttikäyrät ja niiden mittaaminen	13
3.1	Momenttikäyrän mittaaminen kuormageneraattorin avulla	16
3.2	Momenttikäyrän mittaaminen kiihdyttämällä	16
3.3	Momenttikäyrän mittaaminen häviöiden avulla	17
3.4	Momenttikäyrän suora mittaus	18
4	Signaalin käsittely	18
4.1	Suodatintyypit	18
4.1.1	Alipäästö- ja ylipäästösuodattimet	19
4.1.2	Kaistanpäästö- ja kaistanesto suodattimet	19
4.2	Digitaaliset suodattimet	20
4.2.1	IIR-suodatin	20
4.2.2	FIR-suodatin	21
4.2.3	Liukuva keskiarvoistus suodattimena	22
5	Momenttikäyrien mittaus Pitäjänmäen tehtaalla	22
6	Nykyinen momenttikäyrän mittausjärjestelmä	24
6.1	Nykyinen mittauslaitteisto	26
6.2	Mittausohjelmisto	30
7	Uudistettu mittausjärjestelmä	32
7.1	Oskilloskooppi	33
7.2	Oskilloskoopin kanavat ja asettelut	35

	2
7.3 Mittausohjelmisto	35
7.4 Mittausdatan ja tulosten käsittely	36
8 Mittausjärjestelmien vertailua	40
9 Yhteenveto	42
Lähteet	43
Liitteet	
Liite 1. Mittaustulokset	
Liite 2. Yokogawa DL850:n ominaisuudet	

Lyhenteet ja käsitteet

.ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> . Tiedostopäätte.
DC	<i>Direct current</i> . Tasavirta.
DSP	<i>Digital signal processing</i> . Digitaalinen signaalinkäsittely.
f	Sähköverkon taajuus.
fr	Roottorin sähköinen taajuus.
FAT	<i>Factory acceptance test</i> . Loppukoestus.
.MAT	Tiedostopäätte (Binäärinen MATLAB tiedosto).
mmv	Magnetomotorinen voima.
n	Roottorin todellinen pyörimisnopeus.
n_s	Tahtinopeus.
p.u.	<i>Per Unit</i> . Yksikköarvo.
RMS	<i>Root Mean Square</i> . Tehollisarvo.
s	Jättämä.
T	Vääntömomentti.

1 Johdanto

Insinööriytyö tehdään ABB Oy:lle Motors & Generators yksikölle Helsingissä. ABB on maailmanlaajuisesti toimiva teknologiateollisuuden yritys. Yhtiöllä on neljä divisioonaa (Electrification Products, Industrial Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation), Motors & Generators yksikkö on osa Motion-Divisioonaa. Vuonna 2020 ABB:llä työskenteli maailmanlaajuisesti 147000 työntekijää. [15]

Työssä perehdytään epätahtikoneiden ominaisuuksiin, epätahtikoneista mitattavaan momenttikäyrään, momenttikäyrän mittausrjestelyihin ja mittaukseen liittyvään teoriaan. Työn teoria keskittyy Pitäjänmäen konetehtaan tuote portfolioon kannalta olennaisiin asioihin.

Insinööriytyön tarkoituksena on mahdollistaa momenttikäyrän mittauslaitteiston uusiminen nykyaikaisemmaksi. Lisäksi työn aikana tutkitaan laitteiston vaihtamisesta aiheutuvia ongelmia ja haasteita, joista tehdään parannus ehdotuksia. Työssä keskitytään hitausmomentin avulla mitattaviin momenttikäyriin. Työtä tehdään epätahtikoneiden koekentällä, jossa tehdään loppukoestukset (FAT) tuotantolinjalta tuleville moottoreille. Insinööriytyön yhteydessä on tarkoitus kehittää myös uutta mittalaitteelle tarkoitettua LabVIEW-ohjelmaa ja uutta mittauksen tulosten käsittelyä varten tehtyä MATLAB-koodia. Työssä tutkitaan erityisesti MATLAB:issa signaalille käytettävää suodatusta. Tarkoituksena on luoda mahdollisimman selvä järjestelmä käyttäjää varten.

Tällä hetkellä osa laitteistosta on ikääntynyttä, jolloin varaosien hankinta alkaa olla hankalampaa ja osasta laitteista tuotetuki on päättymässä. Lisäksi uudistamalla laitteistoa vähennetään myös kalibroittavien laitteiden määrää, sillä nykyaikaisemmat laitteet sisältävät useampia toimintoja.

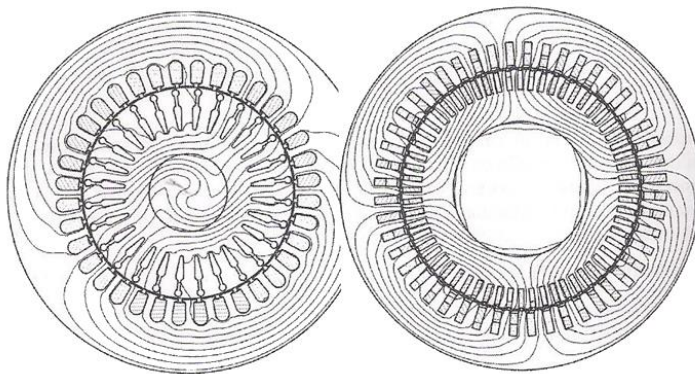
2 Epätahtimoottori

Epätahtimoottorilla tarkoitetaan vaihtosähkökonetta, joka muuttaa sähköisen energian mekaaniseksi energiaksi. Epätahtimoottoreita kutsutaan myös oikosulkumoottoreiksi tai induktimoottoreiksi. Nimitys ”epätahti” tulee siitä, kun staattorin synnyttämä magneettikenttä pyörii epätahtikoneen ilmavälissä tahtinopeudella ja roottori pyörii hiukan pienemällä nopeudella magneettikenttään nähden, eli epätahdissa. [1, s.59–60.]

2.1 Rakenne

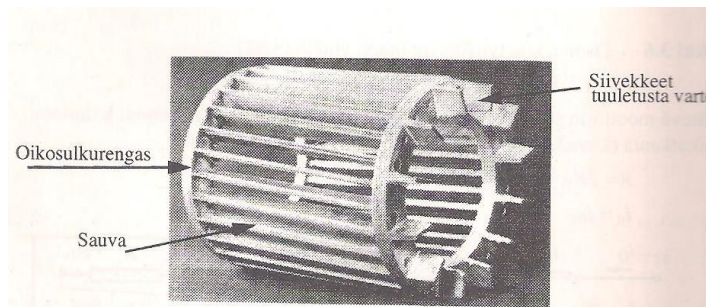
Kolmivaiheinen epätahtimoottori koostuu staattorista ja roottorista, eli seisojasta ja pyörijästä. Epätahtimoottoreita löytyy tyypeiltään erilaisia vaihtoehtoja: kolmivaiheisia oikosulkumoottoreita, yksivaiheisia oikosulkumoottoreita ja liukurengasmoottoreita. Yleisin teollisuudessa käytetty epätahtimoottori tyyppi on oikosulkumoottori, jonka rakenne on hyvin yksinkertainen, mikä tekee niistä hyvin edullisia valmistaa ja ne ovatkin teollisuuden yleisin moottorityyppi. [1, s.59; 2 s.120.]

Käytännössä kaikkien kolmivaiheisten epätahtimoottoreiden staattoreiden rakenteet ovat keskenään samanlaisia, eli ne ovat symmetrisesti kolmivaiheisesti käämittyjä. Vaihekäämit jaetaan useampaan uraan. Kuvassa 1 on esitelty staattorin ja roottorin urarakennetta poikkileikkaus kuvana.



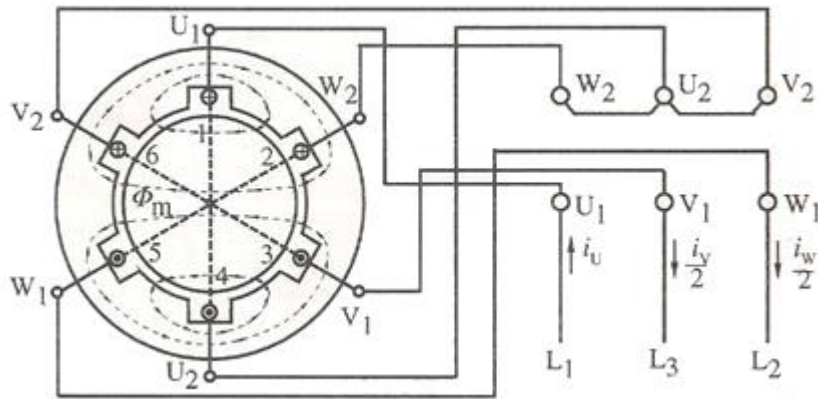
Kuva 1. Oikosulkumoottorin poikkileikkaus, jossa näkyy staattorin ja roottorin urarakennetta ja magneettiset navat. Lisäksi kuvassa on esitelty ilmavälissä syntyvän magneettikentän vuoviivat. Oikean puolimmainen osa esittää nelinapaista konetta ja vasemman puolimmainen kaksi napaista [1, s.60.]

Kolmivaiheisilla epätahtimoottoreilla on kahdenlaista roottorirakennetta. Oikosulkuroottori eli häkkikämmetty roottori on tehty eristämättömistä alumiini tai kupari sauvoista, jotka ovat päädyistään oikosuljettu oikosulkurenkailla. Liukurengasroottori, jossa on eristetty roottorikämmitys, joista on liukurenkaiston kautta yhteys roottorin ulkopuolella olevaan vastuspiiriin. Oikosulkuroottori on näistä kahdesta tyypistä yleisemmin käytetty ja on myös paljon yksinkertaisempi rakenteeltaan ja edullisempi rakentaa. Kuvassa 2 on esitetty oikosulkuroottorin perusrakenne. [2, s.165–167.]



Kuva 2. Oikosulkuroottorin rakenne, josta nähdään roottorisauvat, oikosulkurenkaat ja siivekkeet tuuletusta varten. [2, s.166.]

Epätahtimoottorin ollessa kytkettynä sähköverkkoon, syntyy epätahtimoottorin staattoriin pyörivä magneettikenttä, johtuen epätahtimoottorin kolmivaiheisesta virransyötöstä. Pyörivä magneettikenttä on jokaisen vaiheen aiheuttaman magneettikentän vektorisumma, joka on voimakkuudeltaan vakio ja pyörii vakionopeudella (tahtinopeus). Kuvassa 3 on esitelty kolmivaiheisesti syötetty epätahtikone, jossa magneettivuo on ilmaistu katkoviivoilla. [2, s.120–122.]



Kuva 3. Resultoivan magneettivuon Φ_m suunta, kun U-vaiheessa vaiheessa virta on huippuvossaan. [2, s.121.]

Pyörivä magneettikenttä indusoi roottorisauvojen päiden väliin jännitteen Faradayn lain mukaan (kaava 1). Indusoitunut jännite synnyttää roottorin sauvoihin virran, minkä seurauksena roottori magnetoituu ja sauvoihin alkaa vaikuttaa Lorentzin voima, joka on kohtisuorassa magneettivuohon ja sauvassa kulkevaan virtaan nähden (kaava 2). Voima vaikuttaa aina magneettikentän pyörimissuuntaan. Työssä olevat kaavat esitetään skalarimuodossa vektorisuureiden sijasta, sillä epätahtikoneiden tilanteessa kohtisuoruusehdot toteutuvat aina. [3, s.165–166.]

$$E = Blv \quad (1)$$

E on indusoitunut jännite
 B on magneettivuon tiheys
 l on johtimen pituus
 v on johtimen ja pyörivän kentän välinen nopeus.

$$F = BI \quad (2)$$

F on johtimeen vaikuttava voima
 B on magneettivuon tiheys
 l on johtimen pituus
 I on johtimessa kulkeva virta.

Lorentzin voima aiheuttaa roottorin sauvoihin vääntömomentin, jonka seurauksena roottori lähtee pyörimään samaan suuntaan kuin pyörivä magneettikenttä staattorissa. Virta roottorin sauvoissa on aina suurimmillaan käynnistyshetkellä, sillä sauvojen ja

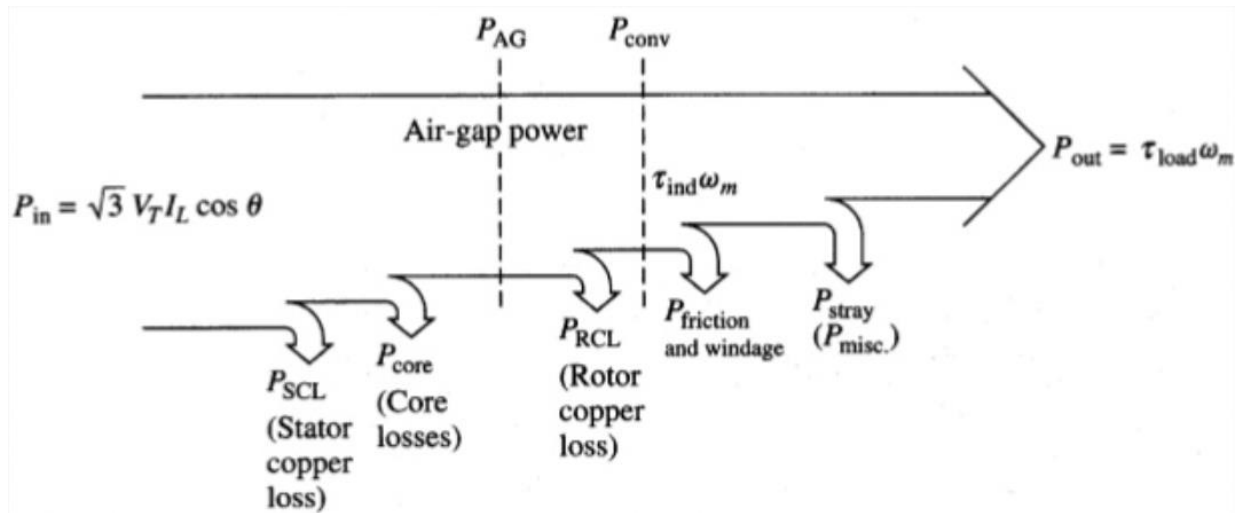
magneettikentän välinen leikkausnopeus on tällöin suurimmillaan. Leikkausnopeus on suurimmillaan myös tilanteessa, jossa roottori pyörii vastakkaiseen suuntaan pyörivän kenttään nähden.

Roottorin kiihtyessä roottorin sauvojen ja pyörivän magneettikentän välinen leikkausnopeus pienenee. Tästä seuraa roottorissa kulkevan virran pienentyminen, mikä taas vaikuttaa sauvaan vaikuttavan voiman suuruuteen. Kun vaikuttavan voiman suuruus pienenee, alenee myös syntyvä momentti, mistä seuraa että roottori jää jälkeen magneettikentästä. Tätä ilmiötä kutsutaan jättämäksi, joka kuvastaa pyörivän magneettikentän ja roottorin välistä nopeuseroa. [3, s.274.]

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (3)$$

s on suhteellinen jättämä
 n_s on tahtinopeus
 n on roottorin nopeus.

Kun epätahtimoottori on sähköverkossa kiinni ja pyörii, syntyy epätahtimoottorissa häviöitä johtuen eri komponenteista. Häviöt voidaan jakaa kupari- ja rautahäviöihin, joista kuparihäviöt ovat virtalämpö häviöitä ja rautahäviöt ovat hystereesi ja pyörrevirtahäviöitä. Tehoa, joka siirtyy ilmavälin yli ja muuttuu mekaaniseksi tehoksi, kutsutaan ilmaväli tehoksi. Ilmaväliteho ei ole sama kuin koneen ottama teho, sillä siitä on vähennetty staattorissa syntyvät tehohäviöt. Kuvassa 4 on esitelty epätahtikoneessa syntyvät häviöt diagrammi muodossa. [6, s.321–322.]



Kuva 4. Tehon kulku diagrammi, jossa näkyy eri tehohäviöt epätahtimoottorissa. Kuvassa P_{ag} kuvastaa ilmapälin yli siirtyvää ilmapälitehoa ja T_{ind} kuvastaa epätahtimoottorin tuottama ilmapälivääntömomenttiä. [6, s.322.]

Roottoriin sähköinen taajuus riippuu jättämästä ja sen suuruudesta. Roottorin sähköinen taajuus eroaa staattorin vastaavasta koska taajuuden määrää pyörivän kentän ja roottorin välinen nopeus. Staattorin ja roottorin välisen sähköisen taajuuden riippuvuus on suoraan verrannollinen jättämään. [2, s.150; 6, s.314.]

$$f_r = s f \quad (4)$$

f_r on roottorin sähköinen taajuus
 s on jättämä
 f on sähköverkon taajuus.

Roottorin sähköinen taajuus vaikuttaa roottorissa syntyvän hajavuon aiheuttamaan hajareaktanssin arvoon. Lukitun roottorin tilanteessa eli esimerkiksi käynnistystilanteessa reaktanssi lasketaan syöttävän sähköverkon taajuudella. Roottorin reaktanssi voidaan laskea seuraavalla tavalla (kaava 5) muokkaamalla induktanssin aiheuttaman reaktanssin kaava sopivaan muotoon. [2, s.150; 6, s.314.]

$$X_r = 2\pi s f L_r = s X_{R0} \quad (5)$$

X_r on roottorin taajuudesta riippuva riippuva hajareaktanssi
 s on jättämä
 f on sähköverkon taajuus
 L_r on roottorin induktanssi
 X_{R0} on lukitun roottorin reaktanssi.

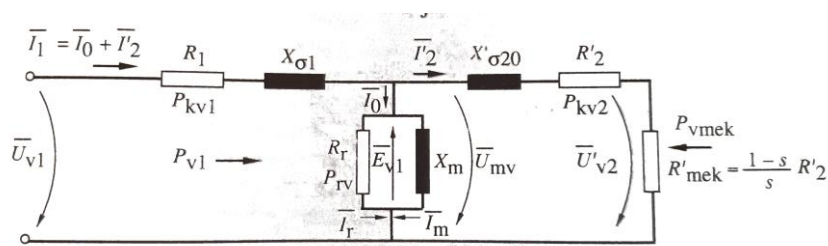
2.2 Epätahtikoneen sijaiskytkentä

On olennaista myös, että tiedetään jättämän ja mekaanisen tehon yhteys epätahtikoneen sijaiskytkentä virtapiiriin. Sijaiskytkennästä saadaan laskettua lois- ja pätötehoviöt epätahtikoneesta, jolloin saadaan määritettyä virtalämpö- ja rautahäviöt. Sijaiskytkentä piirretään siten, että roottorin ja staattorin komponentit piirretään samassa jännite portaassa. Sijaiskytkentä voidaan nähdä kuvassa 5. [2, s152-153.]

Tiedetään sähkötekniisesti, että vain resistanssi voi kuluttaa pätötehoa, joten mekaaninen teho kuvataan resistanssina sijaiskytkennässä. Kaavasta 6 huomataan, että kyseinen resistanssi riippuu jättämästä ja roottorin resistanssista.

$$R_{mek} = \frac{1-s}{s} R_r \quad (6)$$

s on jättämä
 R_{mek} on mekaanista tehoa kuvaava vastusarvo
 R_r on roottorin resistanssi.



Kuva 5. Epätahtikoneen yksivaiheinen sijaiskytkentä. [2, s.153.]

2.3 Epätahtimoottorin tuottama vääntömomentti

Vääntömomentti syntyy voimavaikutuksesta, jonka sähkömagneettinen induktio on synnyttänyt roottorisauvoihin. Vääntömomentin suuruuteen vaikuttavat roottorisauvojen etäisyys akseliin, jonka ympäri roottori pyörii ja lisäksi voiman suuruus, joka vaikuttaa roottorin sauvoihin.

$$M = Fr \quad (7)$$

F on johtimeen vaikuttava voima
M on momentti
r on roottorin säde.

Toisaalta,

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (8)$$

T on mekaaninen vääntömomentti
P on mekaaninen teho
 ω on kulmanopeus.

On hyvin tärkeää mitoittaa moottori siten, että roottorin tuottama momentti kykenee kumoamaan kuorman ja muiden vastustavien tekijöiden aiheuttamat vastamomentit (esim. kitka). Tästä syystä moottorit on mitoitettava moottoristandardien mukaan, siten että $T_{\max} \geq 1,6 \cdot T_n$. Tällä mitoituksella varmistetaan, että pienessäkin ylikuormatilanteessa moottori ei pysähdy. [1, s. 82.]

Moottorin ja kuorman kitkahäviöt voidaan ajatella yhtenä pyörivänä järjestelmänä, jotta laskennallisesti niitä voidaan käsitellä yhtenä. Järjestelmässä roottori kiihdyttää tai jarruttaa niin kauan, kunnes saavutetaan tilanne, jossa roottorin tuottama momentti on yhtä suuri kuin kuorman ja vastustavien tekijöiden momentit. Tällöin koko järjestelmä on liikeyhtälön (kaava 9) mukaisessa staattisessa tilanteessa.

Kiihdytys tilanteessa koko järjestelmän hitausmomentin suuruus ja kiihdyttävän momentin määrä (moottorin tuottaman momentin ja kuorman momentin välinen erotus) vaikuttavat siihen, että kuinka nopeasti saadaan roottoria kiihdytettyä. [1, s.82; 3, s.57–59.]

$$T - T_{mek} - B\omega = J\alpha \quad (9)$$

T on mekaaninen vääntömomentti
 T_{mek} on kuorman momentti
 ω on kulmanopeus
 J on järjestelmän hitausmomentti
 α on kulmakiihtyvyys
 B ovat järjestelmän kitkahäviöt.

Mekaanisen vääntömomentin lisäksi on tärkeätä tuntee ilmvälivääntömomentti eli ts. sähköinen vääntömomentti. Nimensä mukaisesti kyseinen momentti kehittyy epätahtimoottorin ilmvälissä. Ilmvälimomentti voidaan laskea samasta kaavasta kuin mekaaninenkin momentti, mutta tällöin pitää muuttaa arvot vastaamaan ilmvälissä olevaa tilannetta. Kaava voidaan saada muotoon, jossa esiintyvät vain sähköiset arvot ja jättämä.

$$T = U_1^2 \frac{pR'_{mek}}{\omega \left[\left(\frac{R'_{mek}}{s} \right)^2 + X_r'^2 \right]^{1/2}} \quad (10)$$

U_1 on pääjännite
 p on napapariluku
 ω on magneettikentän kulmanopeus
 R'_{mek} on redusoitu resistanssi
 X_r' on redusoitu reaktanssi
 s on jättämä.

Kaavasta 10 saadaan laskettua epätahtimoottorin tuottama vääntömomentti eri jättämän arvoilla. Lisäksi derivoimalla kaava jättämän suhteen ja asettamalla derivaatta nolaksi saadaan koneen tuottama maksimivääntömomentti eli kippimomentti.

Tiedetään, että epätahtikoneen tuottama vääntömomentti muuttuu jännitteen neliön mukaan. Tätä tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi tilanteessa, jossa joudutaan mittaamaan epätahtikoneesta momenttikäyrä, käynnistysmomentti tai kippimomentti matalammalla jännitteellä tai esimerkiksi käyttötilanteessa käyttää nopeuden säätämisessä rajatusti. [1, s.81–82; 6, s.370.]

Kun roottorin teho on suurimmillaan, on myös roottorin tuottama momentti tällä hetkellä suurimmillaan. Huomataan kaavasta 6: mitä suurempi roottorivastus on, sitä pienemällä nopeudella koneen kippimomentti on. Tätä ominaisuutta käytetään hyödyksi esimerkiksi liukurengasmootoreissa, joita käytetään hyvin raskaiden kuormien kanssa.

Näin voidaan säätää esimerkiksi käynnistystilanteeseen hyvin suuri momentti. [3, S.335;6, S.338–339.]

3 Momenttikäyrät ja niiden mittaaminen

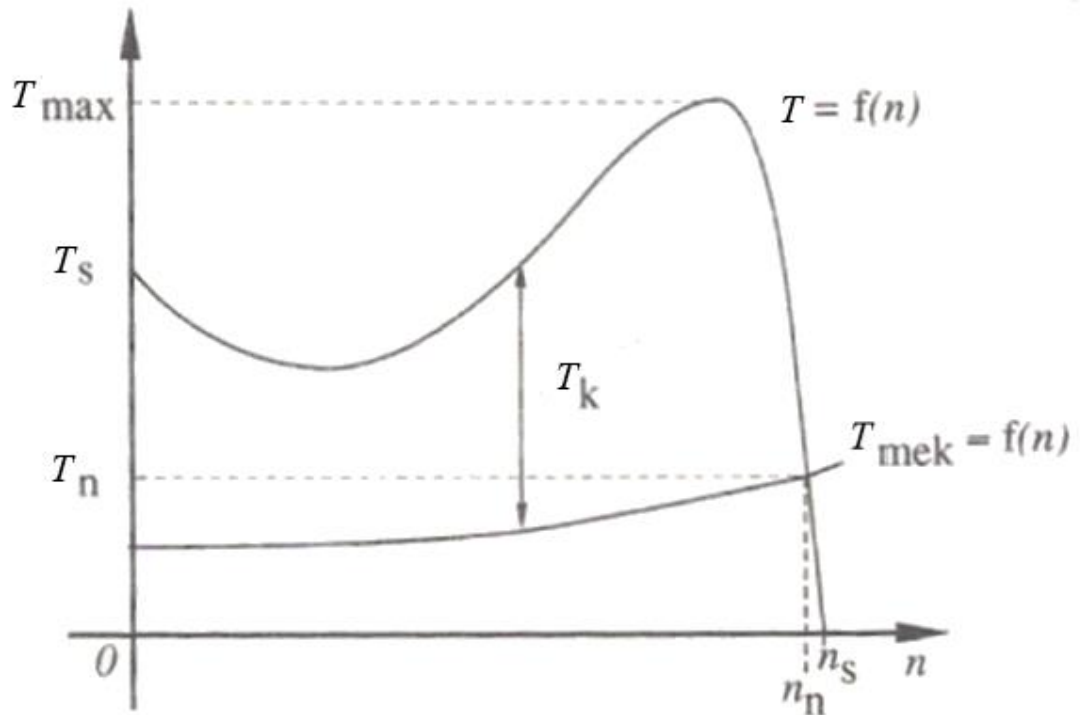
Epätahtikoneen momentti ominaisuuksia kuvaillaan momenttikäyrillä (T-n käyrät), joista nähdään vääntömomentti eri pyörimisnopeuksilla. Käyrät esitetään aina nimellisjännitteisinä, lisäksi momenttikäyrien yhteydessä esiintyvät myös virta-nopeuskäyrät ja vastamomenttikäyrä. Momenttikäyristä nähdään tärkeitä toimintapisteitä epätahtikoneesta kuten kippimomentti, käynnistysmomentti nimellinen momentti ja kiihdyttävä momentti.

Kuvassa 6 on esitelty vääntömomentit T_s (käynnistysmomentti), T_{max} (kippermomentti), T_n (nimellinen momentti), T_k (kiihdyttävä momentti), T (epätahtikoneen tuottama momentti) ja T_{mek} (kuorman vastamomentti).

Käynnistyshetkellä epätahtikone tuottaa momentin T_s , joka saattaa olla joissain tilanteissa suurempi kuin nimellinen momentti. Kyseisessä tilanteessa käynnistysvirta saattaa olla 4 – 8-kertainen nimellisvirtaan verrattuna. Kun mitataan erillisellä mittauksella epätahtikoneen käynnistysmomenttia, akseli lukitaan mekaanisesti paikalleen vastamaan käynnistyshetken seisovan roottorin tilannetta.

Kiihdyttävän momentin T_k :n avulla kone kiihdyttää, kunnes saavutetaan piste, jossa kuorman momentti T_{mek} on yhtä suuri koneen tuottaman momentin T kanssa. Ideaalisesti tämä piste on koneen nimellinen toimintapiste, jossa epätahtikone pyörii nimellisellä nopeudella ja kuluttaa nimellisen tehonsa ja tuottaa nimellismomenttinsa T_n .

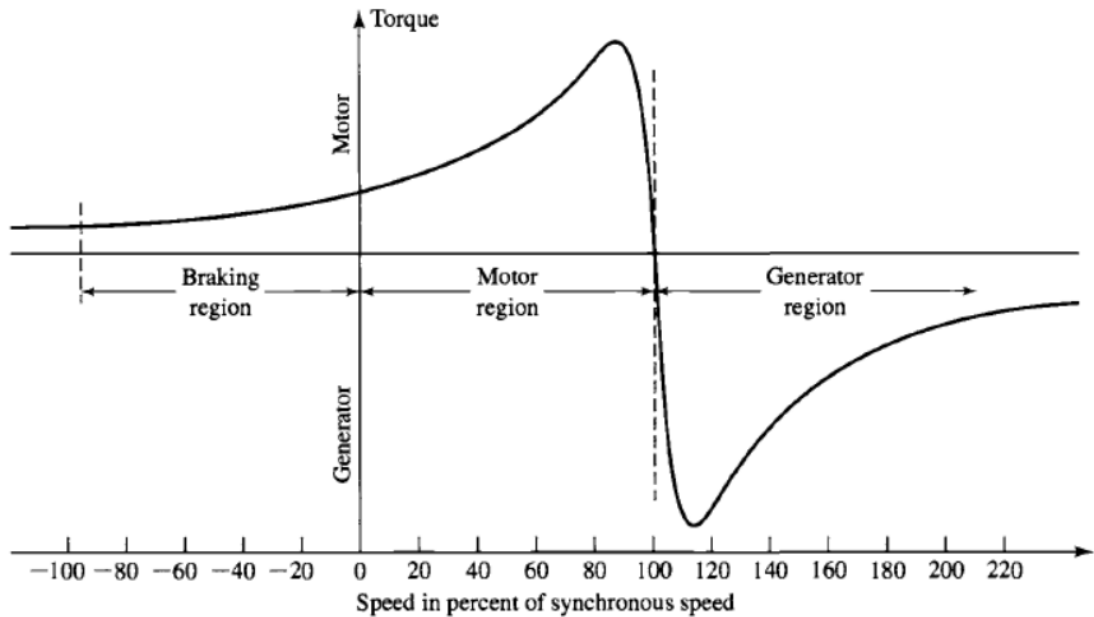
Epätahtikone saavuttaa ennen nimellistä toimintapistettään kippimomentin T_{max} , jolloin kone tuottaa suurimman momentin. Kippimomentti saavutetaan silloin kun kiihtyvyyden on suurimmillaan, minkä jälkeen epätahtikoneen tuottama momentti vähenee johtuen epätahtikoneen ominaisuuksista, sillä epätahtikone alkaa saavuttamaan nimellisnopeutta. Epätahtikoneen dynaamisten ominaisuuksien kuten kulmakihtyvyyden tai kiihdytysajan laskeminen vaatii kuorman aiheuttaman vastamomenttikäyrän tuntemista. [2, s.188–191; 1, s.82.]



Kuva 6. Kuvassa olevasta momenttikäyrästä näkyy moottorin tuottama momentti T nopeuden funktiona ja T_{mek} kuorman momentti nopeuden funktiona. [2, s.190.]

Epätahtikoneen tuottaman momentin tulee aina olla suurempi kuin kuorman aiheuttaman vastamomentin, jotta epätahtikone kykenee pyörimään. Standardeilla on määrätty erikseen kippimomentin vähimmäismäärä nimellismomenttiin verrattuna. Mitatun kippimomentin vähimmäissuuruus nimelliseen verrattuna tulisi olla 1,6-kertainen, josta on annettu vielä 10 %:n toleranssi, jolloin mitatun kippimomentin suuruus nimelliseen voi olla alimmillaan 1,44-kertainen nimelliseen verrattuna. Konetyyppeihin liittyen saattaa olla omia poikkeuksia. [6, s.336–337.]

Kuvissa 6 ja 7 nähdään esimerkiksi, kun roottori pyörii suuremmalla nopeudella kuin n_s niin epätahtikone muuttuu generaattoriksi. Tässä tilanteessa epätahtikoneeseen vaikuttaa ulkoinen momentti (esim. tuulivoimageneraattori). Kun roottori pyörii tasan nopeudella n_s , tuotettu momentti on 0, sillä jättämä on 0.



Kuva 7. Momenttikäyrä, josta näkyy epätahtikoneen eri toiminta-alueet. [3, s.322.]

Momenttikäyrien mittaamiseen on tehty standardeja, esim. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. Standardi sisältää 4 neljä erilaista tapaa mitata momenttikäyrä epätahtikoneesta, sillä koestusolosuhteet, koestuslaitos ja koneiden kokoluokat saattavat aiheuttaa erilaisia haasteita käyrien mittaamiseen.

Mitatessa tulisi ottaa tarpeeksi monta mittapistettä, jotta tuloksista tulisi mahdollisimman luotettavia. Lisäksi on tärkeätä, että osassa tavoista tulisi syöttävän verkon esim. koestusgeneraattorin taajuus olla vakio. Mittauksia tehdessä alennetulla jännitteellä tulee ottaa huomioon hajavuosta johtuva saturaatio (magneettinen kyllästyminen), kun tuloksia redusoidaan nimellisjännitteelle, sillä se saattaa vaikuttaa tuloksia redusoidessa hieman toista neliötä enemmän.

Menetelmissä, jotka esitellään luvuissa 3.1 ja 3.4, edellytetään jokaisen mitatun lukeman kohdalla vakionopeutta. Tästä seuraa se, että kahta kyseistä menetelmää ei voida käyttää tilanteissa, jossa kuormittava vastamomentin nousunopeus on pienempi kuin koestettavan koneen tuottaman momentti. [5, s.78, s.81.]

3.1 Momenttikäyrän mittaaminen kuormageneraattorin avulla

Momenttikäyrä tässä metodissa mitataan siten, että koestettavan epätahtikoneeseen liitetään akselin päähän DC-generaattori, jonka häviöt tunnetaan. Koestettava kone kytetään nimellistaajuiseen verkkoon vähintään 50 %:n nimellisarvon mukaisella jännitteellä. Koestettavan koneen pyörimisnopeutta säädetään DC-generaattorin kuormaa säätämällä. [5, s.78.]

Tarpeeksi monta pistettä mitataan 1/3 tahtinopeuden ja suurimman mahdollisen mitattavan nopeuden väliltä. Jokaisessa pisteessä mitataan koestettavan koneen virta, jännite ja nopeus sekä DC-generaattorin ankkurijännite, ankkurivirta ja magnetointijännite. Mittaukset tehdään vasta, kun muutosilmiöt (kiihdytys ja jarrutus) ovat loppuneet ja mittareiden lukemat tasaantuneet. Momentti lasketaan kaavasta 11 tässä koestustavassa: [5, s.78.]

$$T = \frac{k_2(P_{DCG} + P_{DCGL})}{n} \quad (11)$$

T on momentti
 k_2 on 9,549 kerroin momenttia varten
 P_{DCG} on DC-generaattorin tuottaman teho
 P_{DCGL} on DC-generaattorin häviöt (hankaus yms.)
 n on pyörimisnopeus.

3.2 Momenttikäyrän mittaaminen kiihdyttämällä

Tämä metodi perustuu tilanteeseen, jossa epätahtikoneessa ei ole mekaanista kuormaa akselissa kiinni. Liikkeyhtälön (kaava 9) perusteella koneen tuottama momentti vastaa kiihdyttävää momenttia ($T = J\alpha$). Moottorin kulmakiikkyvyys on tässä menetelmässä suoraan verrannollinen vääntömomenttiin hitausmomentin ollessa vakio. Mittauksessa on tärkeätä, että nopeuden mittaaminen on tarkka.

Kiihdytysrampin ja mittauksen pituuden määräävät käytössä olevat laitteet. Mittauslaitteet tulisi valita siten, että epätahtikoneesta ja mittalaitteesta itsestään johtuvat sähköiset transientit eivät häiritse mittaustuloksia (esim. häiriöt nopeuden mittauksessa), edellä mainitut asiat tulee myös huomioida kiihdytysajan valinnan kanssa. Kiihdytysaikaa

voidaan pidentää tekemällä mittaus alennetulla jännitteellä tai lisäämällä epätahtikoneen akselin päähän hitausmassaa.

Tässä mittauksessa kippimomentin suuruus saattaa joissain tilanteissa riippua kiihtyvyydestä kippimomentin alueella. Tämä nähdään kaavasta 12, että mitä suurempi derivaatta $\frac{dn}{dt}$ on, sitä suurempi momenttikin on. Kippimomentin määrittämistä voidaan parantaa käyttämällä mittauksen aikana matalampaa koestusjännitettä tai lisäämällä hitausmassaa akselin päähän.

Kun epätahtikonetta kiihdytetään, siitä mitataan pääjännite, vaihevirta, pyörimisnopeus ja aika. Kun nopeus lähestyy aluetta, jossa kiihtyvyys on suurimmillaan, tulee tästä kohdasta ottaa vähintään viisi mittauspistettä. Jos epätahtikone käynnistetään levosta ja käynnistyskitka on suuri tai halutaan tarkkoja momentin arvoja nolla nopeudesta, voidaan mittaus suorittaa siten, että käynnistetään epätahtikone vastakkaiseen suuntaan momentin mittaussuuntaan nähden ja tehdään suunnanvaihto. Ajoittain on tilanteita, jolloin joudutaan käyriä mittaamaan usealla eri jännitteellä tällaisia tilanteita saattaa tulla, jos mitatuissa käyrissä on huomattavia piikkejä. Tulokset lasketaan kaavan 12 avulla. [5, s.79.]

$$T = \frac{J}{k^2} * \frac{dn}{dt} \quad (12)$$

T on momentti
 k_2 on 9,549 kerroin momenttia varten
 $\frac{dn}{dt}$ on pyörimisnopeuden muutos
 J on hitausmomentti.

3.3 Momenttikäyrän mittaaminen häviöiden avulla

Tässä metodissa momenttikäyrä määritetään vähentämällä ottotehosta epätahtikoneessa syntyvät häviöt. Menetelmä on käyttökelpoinen esimerkiksi silloin kun ei pystytä määrittämään kiihdyttämällä. Tämä mittausmetodi on epäsuora mittausmenetelmä, sillä oikeita häviöitä normaalista käyttötilanteesta on hyvin haastava määrittää. Lisäksi tästä metodista saattaa aiheutua virhettä mittaustuloksiin erikoiskoneiden kohdalla, joissa esiintyy suuria harmonisia momentteja. [5, s.80.]

Mittaus tehdään samalla tavalla, kuin kiihdytys metodissa mutta koneessa saa olla aksiaalista kuormaa. Tässä metodissa mitataan vaihejännite, vaihevirta, teho ja nopeus ajan funktioina. Lisäksi tulisi ottaa tämän mittauksen mittausjännitteelle redusoidut tulokset lukitun roottorin mittauksesta. [5, s.80.]

$$T = \left\{ \left[\frac{k_2}{n_s} \right] * \left[P_o - P_{IR} - P_h - P_l * \sqrt{\frac{n_t}{n_s}} \right] \right\} - T_B \quad (13)$$

n_s on tahtinopeus
 k_2 on 9,549 kerroin momenttia varten
 n_t on koestusnopeus
 P_o on ottoteho
 P_{IR} on kuparihäviöt
 P_h on rautahäviöt
 P_l on lisähäviöt (hajavuosta aiheutuvat häviöt)
 T_B on kitkan aiheuttama vastamomentti.

3.4 Momenttikäyrän suora mittaus

Suora mittaus toteutetaan siten, että koestettavaa konetta kuormitetaan mekaanisesti jarrulla tai dynamometrillä. Jokaisella nopeudella mitataan jännite, virta, momentti ja nopeus. Momenttia mitataan suoraan akselista jarrun tai dynamometrin avulla. [5, s.80.]

4 Signaalin käsittely

Insinööriyön kannalta on olennaista tuntea erilaiset suodatintyypit, sillä työssä käytetään ja esitellään alipäästösuodattimia ja digitaalisia suodattimia.

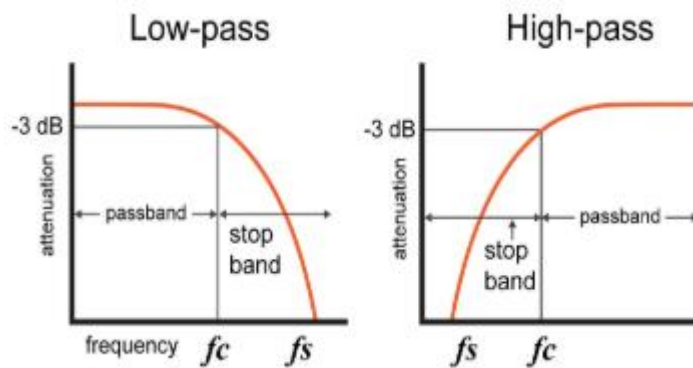
4.1 Suodatintyypit

Suodattimilla voidaan suodattaa signaalista pois ei haluttuja komponentteja (taajuuksia) kuten kohinaa tulosten käsittelyyn vaikuttavaa kohinaa tms. Suodattimet voidaan jakaa neljään eri tyyppiin alipäästö-, ylipäästö-, kaistanpäästö- ja kaistanestosuodattimiin. Lisäksi suodattimet jaetaan aktiivi ja passiivi mallisiin suodattimiin, joista jälkimmäinen

sopii paremmin 100 Hz:n ja 300 MHz:n väliin sen sisältäessä vain passiivisia komponentteja kuten keloja, vastuksia ja kondensaattoreita. [12.]

4.1.1 Alipäästö- ja ylipäästösuodattimet

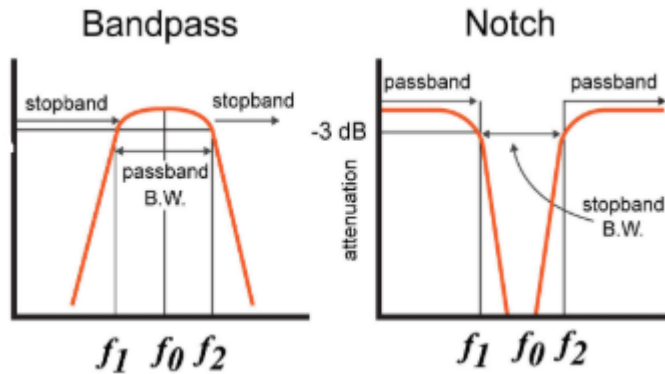
Nimensä mukaisesti molemmat suodattimet päästävät halutun taajuuskaistan läpi. Alipäästösuodattimella päästökaista on estotaajuutta alemmat taajuudet ja ylipäästösuodattimella päästökaista on estotaajuutta suuremmat taajuudet. Kuvassa 8 on havainnollistettu suodattimien vastekäyriä, jossa f_s on estotaajuus ja f_c on rajataajuus, jossa siirrytään päästöalueelta estoalueelle. [12.]



Kuva 8. Vasemmalla puolella alipäästösuodattimen vastekäyrä ja oikealla ylipäästösuodattimen vastaava. [12.]

4.1.2 Kaistanpäästö- ja kaistanesto suodattimet

Nimensä mukaisesti kaistanpäästösuodatin päästää halutun taajuuskaistan läpi ja kaistanestosuodatin estää ei halutun taajuuskaistan. Kuvassa 9 on havainnollistettu molempien suodattimien vastekäyriä, joissa f_1 ja f_2 ovat rajataajuuksia ja f_0 on keskitaajuus.



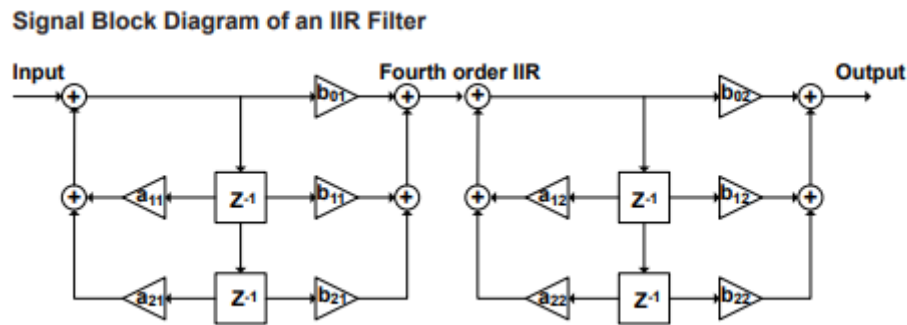
Kuva 9. Vasemmalla puolella kaistanpäästösudattimen vastekäyrä ja oikealla puolella kaistanestosudattimen vastekäyrä. [12.]

4.2 Digitaaliset suodattimet

Digitaalisia suodattimia käytetään, kun dataa käsitellään digitaalisessa muodossa prosessorien avulla. Digitaaliset suodattimet jaetaan kahteen luokkaan IIR (infinite impulse response) ja FIR (finite impulse response). Termi "impulse response" tulee molempien suodattimien sisääntulo signaalin vasteesta aikatasossa. Molempia suodatin tyyppiä pystytään rakentamaan eri astelukuisina, suodattimen asteluku kuvastaa menneiden termien lukumäärää, jotka on laskennassa otettu huomioon. Suodattimet koostuvat kolmesta termistä suodatettava signaali $x(n)$, suodatettu signaali $y(n)$ sekä itse suodatinta kuvastavat $a(k)$ ja $b(j)$. [13.]

4.2.1 IIR-suodatin

IIR-suodattimen toiminta perustuu siihen, että laskennallisesti herätteen lisäksi funktiossa otetaan huomioon myös mennyt vaste ja mennyt heräte, mikä tekee IIR-suodattimen funktiosta rekursiivisen eli "itseään toistavan", mikä näkyy kaavan 14 " $y(n-j)$ " termistä. Kuvassa 10 on esitetty suodattimen periaatteellinen toiminta lohkoaviona. Takaisinkytkennän takia kyseinen suodatin tyyppi saattaa sisäin tulevan impulssin loputtua toimia "lopptomasti". IIR-suodattimen etuna on sen nopeus koska sillä voidaan saavuttaa haluttu suodatus pienemmällä näytemäärällä tai matalamman asteen suodattimella toisin sanottuna IIR-suodatin ei tarvitse niin paljon laskentatehoa kuin FIR-suodatin. [13.]



Kuva 10. IIR suodattimen lohkokkaavio, jossa näkyy vasteen ja herätteen takaisinkytkennät. [10.]

$$y(n) = \sum_{k=0}^N a(k)x(n-k) + \sum_{j=0}^P b(j)y(n-j) \quad (14)$$

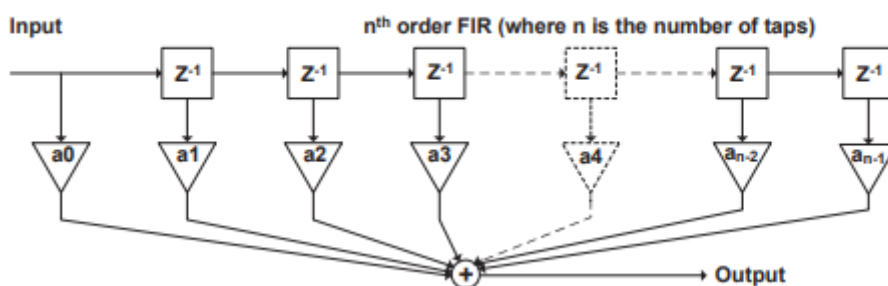
N on suodattimen asteluku
 $y(n)$ on vaste
 $x(n)$ on heräte.

4.2.2 FIR-suodatin

FIR-suodatin toimii muuten samalla tavalla kuin IIR-suodatin, mutta siinä ei oteta huomioon mennyttä vastetta. Toisin sanottuna FIR-suodatin ei IIR-suodattimen tavoin jatka toimintaansa ”loputtomasti”, kun sisään tuleva impulssi loppuu. Kuvassa 11 on esitetty suodattimen periaatteellinen toiminta lohkokkaaviona. FIR-suodattimen etuna IIR-suodattimeen nähden on sen stabiilisuus ja vakio aikaviive. Nostamalla suodattimen astelukua saadaan suodattimesta paljon terävämpi, mutta tämä taas vaatii enemmän laskentatehoa. Kaavassa 15 on esitetty FIR suodattimen funktio. [13.]

$$y(n) = \sum_{k=0}^N a(k)x(n-k) \quad (15)$$

Signal Block Diagram of an FIR Filter

Kuva 11. FIR-suodattimen lohkokaavio, jossa on n kertaluvun FIR-suodatin. [10.]

4.2.3 Liukuva keskiarvoistus suodattimena

Liukuva keskiarvoistus, suodatin käytössä on FIR-suodattimen erikoistapaus sillä sisään tulevan impulssin loputtua suodatin ei jatka toimintaansa ja FIR-suodattimen tavoin siinäkin summataan menneet näytteet yhteen. Kertoimia $a(k)$ ei käytetä, vaan kerrotaan koko summa suodattimen "pituuden" käänteisluvulla, mikä näkyy kaavassa 16. Käytännössä suodatin toimii siis siten että viimeisen datapisteen, jonka suodatin ottaa huomioon on suodattimen pituuden verran jäljessä: [14.]

$$\text{liukuva keskiarvoistus } y(n) = \frac{x(n)+x(n-1)+\dots+x(n-N)}{N+1} \quad (16)$$

N on suodattimen pituus
 $y(n)$ on vaste
 $x(n)$ on heräte.

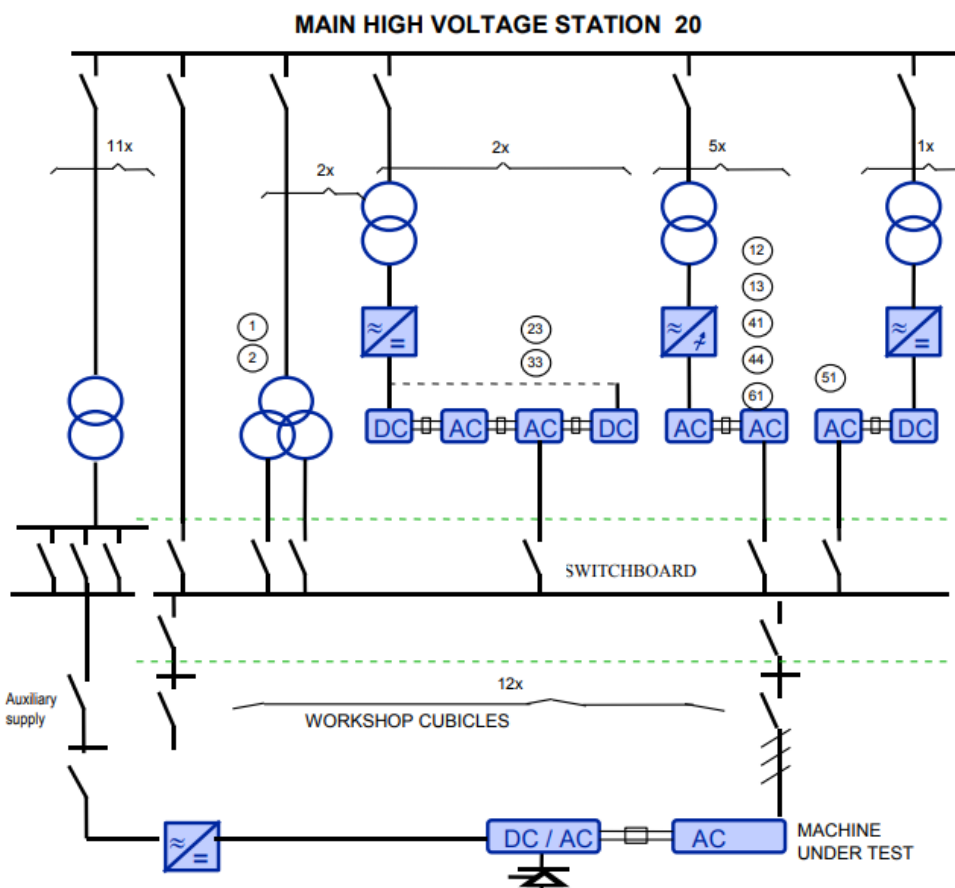
5 Momenttikäyrien mittaus Pitäjänmäen tehtaalla

Pitäjänmäen konetehtaalla, momenttikäyriä mitataan epätahtikoneista pääsääntöisesti kiihdyttämällä, eli luvussa 3.2 kuvatulla menetelmällä. Koneita saatetaan mitata myös jarruttamalla luvun 3.4 kuvatun menetelmän mukaisesti. Tässä työssä keskitytään luvussa 3.2 kuvatun menetelmän mittausjärjestelmän uusimiseen. Kiihdytysmenetelmä soveltuu hyvin erikokoisille koneille, koska koestettavien koneiden koot saattavat vaihdella hyvinkin paljon. Tällöin on järkevää käyttää tapaa, joka käy useampaan konetyyppiin. Momenttikäyrien mittauksessa kippimomentin määrittäminen muuttuu hankalaksi

sillä eri menetelmät, jotka esiteltiin luvussa 3 saattavat antaa toisistaan poikkeavia tuloksia mutta tämä saattaa myös johtua mittalaitteiston erilaisuudesta.

Konetehtaan koekentällä on olemassa oma keskijännite jakeluverkko, johon pystytään liittämään erilaisia koestuksen syöttögeneraattoreita riippuen jännitteen, tehon ja virran tarpeesta lisäksi koekentältä löytyy useita erilaisia kuormakoneita eri tilanteisiin esim. tasavirtamoottoreita, jarruja ja taajuusmuuttajakäyttöisiä epätahtikoneita. Koekentän sähköverkkoon pystytään rakentamaan useampia erilaisia linjoja, jotka syöttävät tiettyä koestuspaikkaa tarpeen mukaan.

Yleisesti syöttö rakennetaan siten, että koestusgeneraattorin ”vetokoneena” toimii taajuusmuuttaja ohjattu moottori, joka ottaa tehonsa valtakunnan sähköverkosta. Lisäksi voidaan tehdä sellainen käyttökytkentä, jossa valtakunnan sähköverkosta otetaan vain koestettavan koneen häviöt. Jakeluverkkoa ja koestusgeneraattoreita hyödynnetään erilaisissa mittauksissa kuten momenttikäyrän mittaamisessa tai kuormituslämpenemässä eli mittauksia, jossa on tarve koestaa konetta moottorina. Kuvassa 12 on esitelty koekentän sähkönjakelun periaatekuva. [7.]



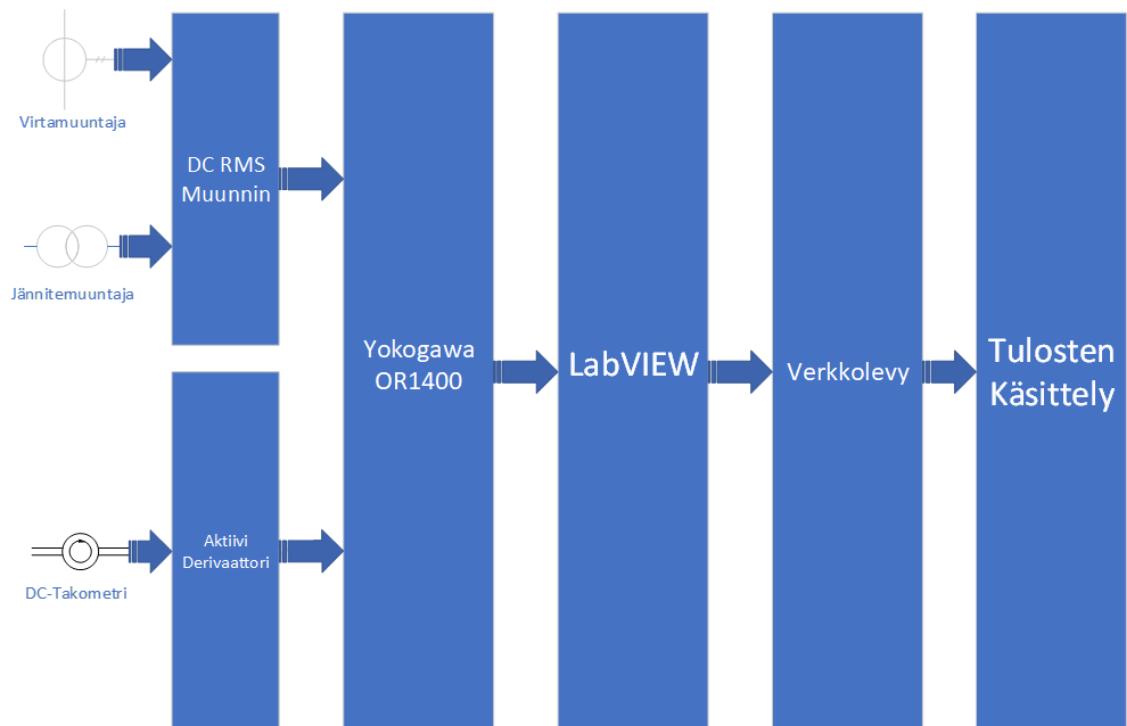
Kuva 12. Koekentän sähkönjakelun periaatekuva. [7.]

6 Nykyinen momenttikäyrän mittausjärjestelmä

Momenttikäyrän mittaus tapahtuu siten, että koestettavasta koneesta mitataan piirturilla nopeus, nopeuden derivaatta, jännitteen RMS-arvo ja virran RMS-arvo piirturin avulla. Koestettavaa epätahtikonetta varten valitaan sopiva syöttö (koestusgeneraattori) siten, että tehonlähteen jännite ja syöttötaajuus eivät muutu käynnistyksen aikana, eli pyritään pitämään verkko mahdollisimman ”jäykkänä”. Käynnistysaika, eli aika ja ramppi, jolla epätahtikone kiihdytetään, pyritään saamaan 20–40 sekunnin välille, tämä tehdään säätämällä epätahtikoneen syöttöjännitettä. Kiihdytyksiä toistetaan tarvittaessa, jotta käynnistysaika saadaan tuohon 20–40 sekunnin välille. Jännite, jolla koestus tehdään. On käytännössä aina tilanne kohtainen sillä koneet saattavat poiketa toisistaan hyvinkin paljon. [7.]

Momenttikäyrän mittauslaitteistoon kuuluu useampia komponentteja ja ohjelmistoja. Mittaus etenee kuvan 13 mukaisesti, jossa raakadataa mitataan piirturille. Derivaattaa varten on kaksi kiinteää taajuuksista alipäästösuodatinta (10 Hz ja 1,5 Hz), sillä piirturin mittausmoduuleissa ei ole muita matalataajuisia vaihtoehtoja. Järjestelmässä käytetään kahta suodatinta, joista suurempi taajuuksista käytetään kippimomentin osuudella ja matalamman taajuuden suodatinta käytetään lineaarisen momentin osuudella. Suodattimia joudutaan käyttämään kahta kappaletta sen takia, että lineaarisella osuudella saadaan matalamman taajuuden suodattimella suurimmat häiriöt signaalista pois. Kippimomentilla käytetään suuremman taajuuden suodatinta, jotta signaalista ei suodatettaisi kippimomenttia liikaa. Piirturilta data siirtyy GBIP-väylää pitkin LabVIEW-ohjelmistoon ja sieltä se tallennetaan koekentän verkkolevylle. [7.]

Ennen mittauksen aloittamista piirturiin ladataan oikeat asetelut mittausta varten ja tarkistetaan nopeuden ja sen derivaatan polaarisuudet. Käynnistys tapahtuu aluksi vastakkaiseen pyörimissuuntaan, jolloin tehdään niin sanottu ”koekäyrä” ja tarkistetaan kiihdytysaika ja suureiden mittaus. Tarkistuksien jälkeen moottorin syöttö katkaistaan ja annetaan nopeuden laskea 0,3–0,4-kertaiseksi nimellisuudesta, minkä jälkeen käynnistetään kone myötäsuuntaan, jolloin kone kiihdyttää vastasuunnasta myötäsuuntaan ylittäen 0 nopeuden tämän kiihdytyksen aikana aloitetaan varsinainen mittaus. Epätahtikoneen kiihdytettyä nimelliseen nopeuteensa, koneen syöttö katkaistaan. Syötön katkaisemisesta 5–10 sekunnin kuluttua tallennetaan hankaushäviöiden momenttia 10–15 sekunnin ajan. Hankaushäviöiden mittaus tapahtuu, siten että kone jarruttaa sen sähkönsyötön ollessa katkaistu, sillä ainoastaan koneen hankaushäviöt jarruttavat kyseisellä hetkellä. [7.]



Kuva 13. Nykyisen mittausjärjestelmän periaatekuva.

Mittauksesta saadut tulokset tallennetaan verkkolevyille, josta ne ovat saatavilla tulosten käsittelyä varten. Tuloksista saadaan käyrän lisäksi myös määritettyä käynnistys- ja kippimomentit, joista kippimomentille on standardeissa minivaatimukset riippuen koneen teho kokoluokasta ja napaluvusta. Nykyisen järjestelmän toimintaperiaate on esitelty kuvassa 13. [7.]

6.1 Nykyinen mittauslaitteisto

Nykyinen mittauslaitteisto koostuu seuraavista komponenteista:

- DC-RMS-muuntimet epätahtikoneen virtaa ja jännitettä varten
- aktiivi derivaattori pyörimisnopeuden derivoimista varten
- hihnakäyttöinen DC-takometri nopeuden mittausta varten

- Yokogawa OR1400-Piirturi.

Kennon virta- ja jännitemuuntajat

Kennoissa olevien virta- ja jännitemuuntajien toisiot ovat tuotu koekentän valvomon mitauspulpetteihin. Muuntosuhdetta voidaan kennossa muuttaa halutun suuruiseksi riippuen koestettavan koneen nimellisarvoista, jolloin muuntajien ensiö arvoja muutetaan. Kennon muuntajien toisio arvojen ollessa vakioita 100 VAC ja 5 AAC. [7.]

DC-RMS-muunnin

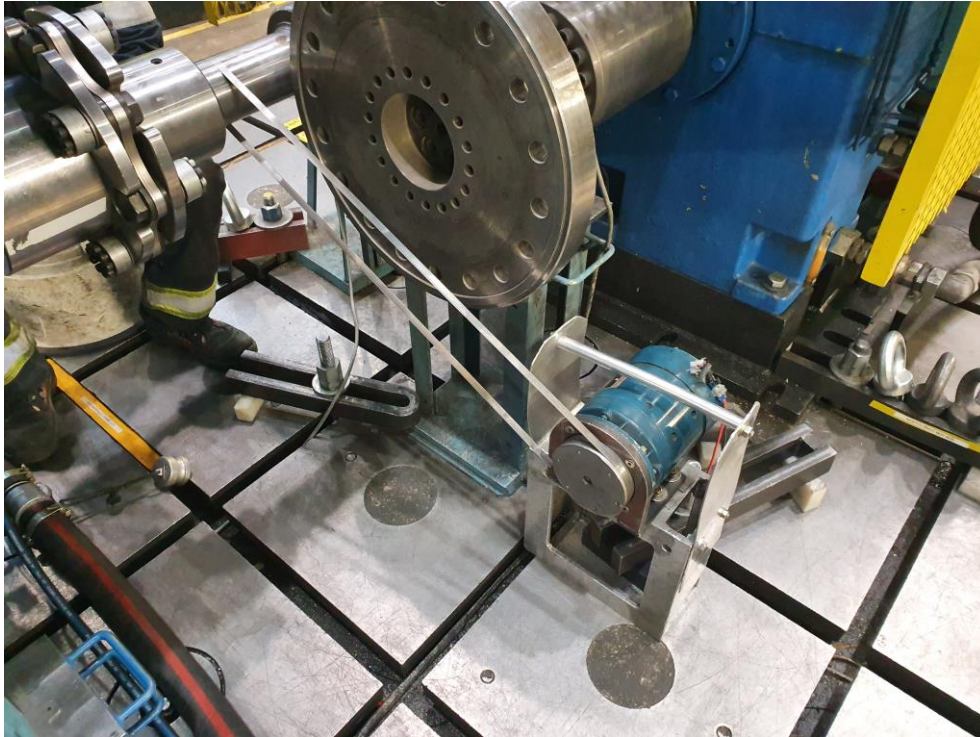
Kennon toisiot kytketään mittauspulpetista DC-RMS-muuntimeen, jonka muuntosuhteet ovat 100VAC/10VDC-RMS ja 5AAC/5VDC-RMS. Muuntimella saadaan mitattua epätahtikoneen virta ja jännite RMS-arvoina. [7.]

DC-takometri

Nopeuden mittauksessa käytetään kestmagneetti DC-takogeneraattori. Takon valmistaja on Brook Crompton ja malli on BD2510B. Takogeneraattorin nimellisarvot on esitetty taulukossa 1. Takometri asennettuna epätahtikoneen akselille on esiteltyä kuvassa 14.

Taulukko 1. DC-takogeneraattorin kilpiarvot.

Malli	Brook Crompton BD2510B
"Muuntosuhde"	0,1V/rpm
Max rpm	4000
Max virta	0,1A



Kuva 14. Takometri asennettuna koestettavan koneen akselille.

Aktiivi derivaattori

Nopeuden ja sen derivaatan mittausta varten on rakennettu oma mittaus virtapiirinsä, jossa on samalla myös säädettävä alipäästösuodatin häiriösuodatusta varten, häiriösuodatusta tarvitaan, jotta nopeussignaalista saadaan pois ei halutut komponentit, jotka aiheutuvat hihnasta. Oletusarvoisesti suodatin on aseteltu 20 Hz:iin. [7.]

Takometri kytketään välitysten avulla siten, että se tuottaa koestettavan koneen nimellinopeudella oman toiminta-alueelle sopivan jännitteen muuntosuhteella 0,1 V/rpm (maksimi nopeus on 4000 rpm, jolloin jännite on 400 VDC). [7.]

Yokogawa OR1400

Yokogawa OR1400 on vanhemman mallinen oskilloskooppi, joka on ollut piirturi ja oskilloskoopin välimallina sillä siinä on ollut sekä piirustus mahdollisuus että mahdollisuus myös tallentaa tietoa digitaalisesti. Hyviä ominaisuuksia OR1400 on ollut 100 kHz:in näytteenottotaajuus ja kyky mitata signaaleja 10 kHz:iin asti. Kuvassa 15 on esitelty OR1400-piirturi. [8.]

Piirturiin on saatavilla viisi erilaista sisääntuloyksikköä, joista koekentillä on käytetty ”Universal Inputs Units” yksikköä ja ”Voltage Inputs Units” yksikköä. Moduuleissa on ollut mahdollista käyttää alipäästösuodattimia mittauksen aikana. Suodattimet ovat olleet kiinteillä taajuuksilla. [8.]

- Universal Inputs Units
 - 1,5 Hz, 40 Hz, 400 Hz ja 4 kHz

- Voltage Input Units
 - 10 Hz, 100 Hz ja 1 kHz

Piirturin kanssa on voitu käyttää GB-IB (GPIB IEEE-488)-väylää tai RS-232C-sarjaliikenneväylää, joiden avulla ollaan voitu kommunikoida tietokoneen ja piirturin välillä. [8.]



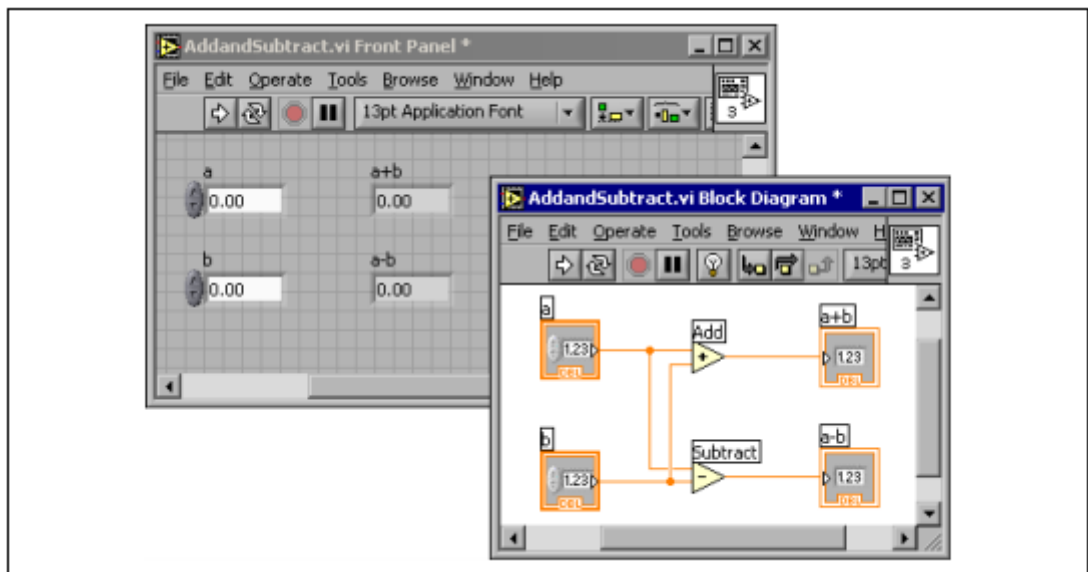
Kuva 15. Yokogawa OR1400 piirturi.

6.2 Mittausohjelmisto

Koekentällä käytetään LabVIEW:n graafisella ohjelmointikielellä ohjelmoitua mittausohjelmistoa. LabVIEW-ohjelmointikielellä voidaan tehdä testaus, mittaus ja useihin muihin tarkoituksiin käytettäviä ohjelmia. LabVIEW-ohjelmia kutsutaan VI:iksi (Virtual Instruments), sillä niiden toiminta kuvastaa jotain oikeata mittalaitetta esim. oskilloskooppia. Kuvassa 16 on esitelty LabVIEW:n lohkokaaavio ja etupaneli. [9.]

VI koostuu kolmesta eri osasta:

- ”Front panel” eli etupaneli toimii käyttöliittymänä.
- ”Block diagram” eli lohkokaavio sisältää VI:n graafisen lähdekoodin.
- ”Icon and connector pane” eli ikoni ja liitännätaruutu identifioi VI:n, mikä mahdollistaa VI:n sisään toisen VI:n, eli ali-VI:n



Kuva 16. Kuvassa näkyy ”Block Diagram” ja sitä vastaava ”Front Panel”, kuten kuvassa näkyy niin lohkokaaviossa tapahtuu itse ohjelmoitu funktio ja etupaneeli toimii käyttöliittymänä. [9.]

Koekentällä LabVIEW-ohjelmia käytetään mittaustulosten näyttämiseen reaaliajassa, datan keräämiseen mittalaitteilta, datan tallentamiseen mittalaitteelta ja mittalaitteiden ohjaukseen. Mittauksen tullessa valmiiksi mitattu data voidaan tallentaa halutussa muodossa verkkolevyille Kuvassa 17 on esitelty koekentällä käytettävää mittausohjelmaa.

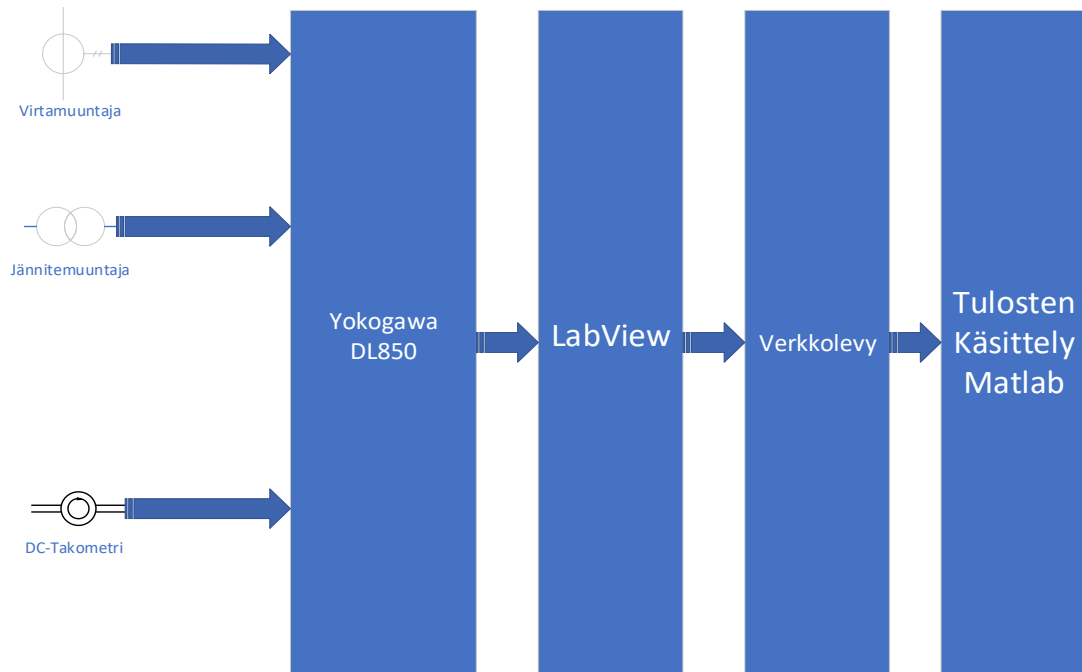
TESTS WITH TORQUE TRANSDUCER	ABB OY ELECTRICAL MACHINES AUTOMAATTINEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ AUTOMATED TEST SYSTEM	NO-LOAD CURVES	
LOCKED ROTOR CURRENT AND TORQUE		LOCKED ROTOR CURRENT	
TEMPERATURE RISE		LOADING POINTS	
LOADING POINTS		OVER LOAD/SPEED/VOLTAGE	
ROUTINE TESTS		TEMPERATURE RISE	
NO-LOAD POINT SHORT CIRCUIT POINT OPEN CIRCUIT POINT		COLD RESISTANCE	
OSC. RECORDER		ONE STATOR	
OR - 1400		STATOR AND ROTOR	
SOUND LEVEL		TWO STATORS	
ONOSOKKI LA-5110			
NORSONIC 118			
		Asiakas - Customer <input type="text"/>	
		Työnumero - Work number <input type="text"/>	
		Valmistusnumero - Serial number <input type="text"/>	
		Konetyyppi - Machine type <input type="text"/>	
	Koestaja - Measured by <input type="text"/>		
	Standardi - Standard <input type="text" value="IEC"/>		
	Sarja - Serie <input type="text" value="A"/>		
	Nimellisjännite Nominal voltage <input type="text" value="0"/> V		
		Coolcurve meters FLUKE	
		Mittauksessa käytetyt mittarit	
		Hae alkutiedot Get the initial values	
		LOPETA MITTAUKSET	

Kuva 17. ABB:n mittausohjelman päävalikko "Front Panel" [7.]

7 Uudistettu mittausjärjestelmä

Uudistetussa mittausjärjestelmässä luovutaan nykyisestä mittauslaitteistosta ja hyödynnetään nykyaikaisempia digitaalisia signaalien käsittelymenetelmiä (DSP) jolloin käyttäjä itse pystyy suodattamaan signaalia. Uudistamisen yhteydessä katsottiin hyväksi luoda mahdollisuus hyödyntää tulosten käsittelyyn MATLAB-ohjelmisto, jota jo käytetään usean muun mittauksen tulosten käsittelyä varten. Uutena mittalaitteena tullaan käyttämään Yokogawa DL850:n mallista oskilloskooppia, jolla pystytään korvaamaan ulkoinen

derivointi ja suodatus, DC-RMS-muuntimet ja OR1400-piirturi. Uutta oskilloskooppia tul-
laan ohjaamaan USB-väylän avulla. Uudistetun mittausjärjestelmän toimintaperiaate on
esitelty kuvassa 18.



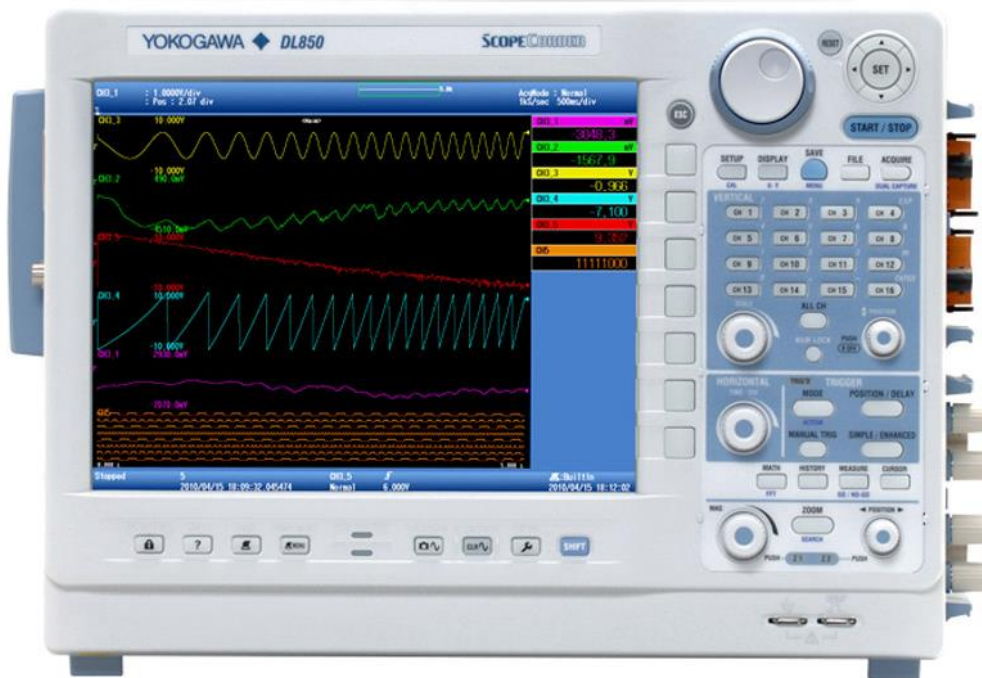
Kuva 18. Uudistetun mittausjärjestelmän periaatekuva.

7.1 Oskilloskooppi

Yokogawa DL850 on modulaarinen oskilloskooppi ja tallennin. Mittalaitteella pystytään mittaamaan hyvin paljon erilaisia ja eripituisia signaaleja esim. jännite, virta ja nopeus. Mittalaitteen modulaarisuuden ansiosta on mittalaitteeseen saatavilla 15 erilaista plug-in-moduulia eri mittaus tarkoituksiin. Mittalaitteessa on olemassa Yokogawan oma GI-GAZoom Engine® 2, joka on tehokas datan käsittely-yksikkö. Lisäksi laite tarjoaa Yokogawan ISOPRO-tekniikalla varustetut eristetyt sisääntulot, joiden datansiirrossa on käytetty valokuitu tekniikkaa.

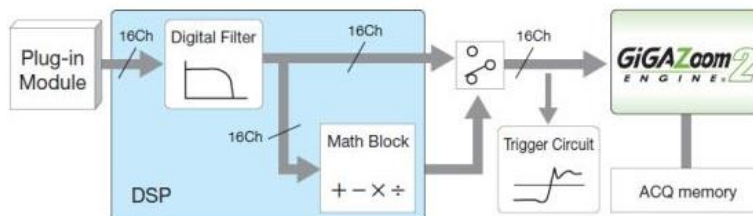
Tärkeimpiä ominaisuuksia laitteessa on suuri näytteenottotaajuus (jopa 100 miljoonaa näytettä sekunnissa ja mahdollisuus tallentaa pitkiä näytteitä (250 miljoonaa pistettä, jota

voidaan laajentaa edelleen). Lisää DL850-mallin teknisiä ominaisuuksia esitely liitteessä 2. Oskilloskooppi on esitely kuvassa 19.



Kuva 19. Yokogawa DL850-oskilloskooppi.

Mitatuille signaaleille pystytään tekemään matemaattisia operaatioita tai suodattamaan niitä digitaalisesti. Vakiomallisessa DL850-mallissa voidaan käyttää samaan aikaan kahdeksan eri "Math" kanavaa, joihin voi määrittää eri matemaattisia operaatioita. Lisäksi matemaattisia toimintoja voidaan laajentaa G3 optiolla "Real-Time Math", joka tuo oman digitaalisen signaaliprosessorin laskentaa varten. Option toiminta on esitely kuvassa 20.



Kuva 20. G3-option ominaisuudet sinisen alueen sisällä.

G3-optio tuo mahdollisuuden käyttää jokaisessa sisään tulevassa kanavassa omaa digitaalista suodatinta, jonka kanssa voi samaan aikaan käyttää muuta matemaattista operaatiota signaalille esim. derivointi. Real-Time Math-kanava toimii normaalin kanavan ”päällä” ja sen signaalin lähteenä voidaan käyttää normaalia kanavaa tai toista Real-Time Math kanavaa. Kaikki käytettävissä olevat matemaattiset funktiot on listattu liitteessä 2.

7.2 Oskilloskoopin kanavat ja asetellut

Oskilloskoopin kanavat ja asetellutiedosto tehdään siten, että dataa mitataan raakadatan ja varsinaisen tulosten käsittely tehdään MATLAB-ohjelmistolla. Nopeuden derivointi jätetään tässä pois, mikä tullaan tekemään MATLAB-ohjelmassa. Nopeudelle asetetaan säädettävä alipäästösuodatin tarpeen tullessa, mutta pääsääntöisesti suodatus tapahtuu MATLAB-ohjelmassa. Näytteen pituudeksi asetetaan oletuksena 100 s, näytteenotto taajuudeksi 1 kHz ja liipaisu asetetaan nopeuden kanavalle siten että se tapahtuu -20 V:n kohdalla eli kun kiihdytetään vastasuunnasta. Mittauksessa käytetään moduulia 701260, jolla kytetään mittaamaan takometrin tuottama korkea ulostulo jännite ja mittaamaan virran ja jännitteen RMS-arvot. Oskilloskoopin kanavakohtaiset asetellut ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Mitattavat suureet ja kanavien asetukset.

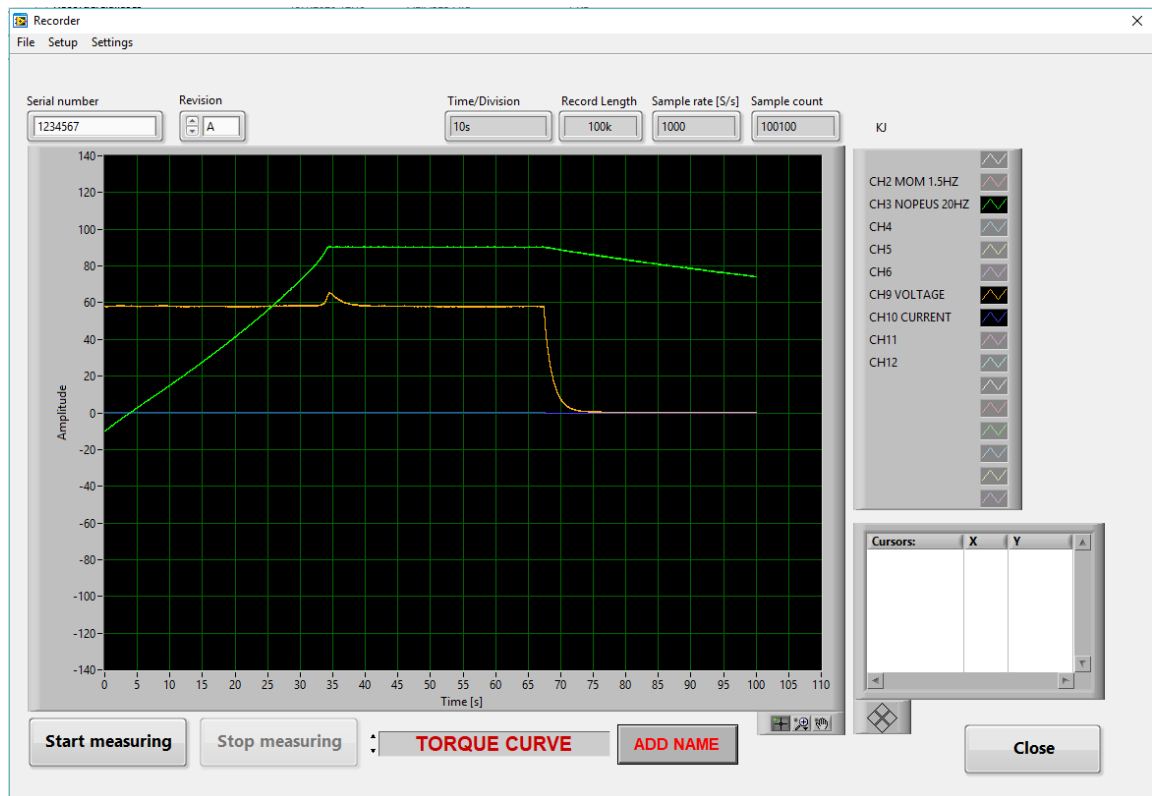
Kanava	Coupling	Sisääntulon suodatus
Nopeus	DC	Säädettävä FIR-alipäästösuodatin
Virta	DC-RMS	N/A
Jännite	DC-RMS	N/A

Varalle luodaan varmuuden vuoksi kuitenkin toinen asetellutiedosto nykyistä tulostenkäsittelyä tapaa varten, jossa on käytetty Real-Time Math-toiminnon derivointia.

7.3 Mittausohjelmisto

Yokogawa DL850-oskilloskooppia varten luotiin oma LabVIEW-ohjelma, jolla pystytään ohjaamaan oskilloskooppia tietokoneen kautta. Ohjelma ei ole vielä täysin valmis, sillä

tämä mittausjärjestelmän uudistamishanke toimii samalla myös kokeiluna uudelle ohjelmalle. LabVIEW-ohjelmalla oskilloskoopilta luettu data voidaan tallentaa .ASCII- tai .MAT-tiedosto muodossa. Raakadatan tallennuksen yhteydessä tallennetaan myös mittauksen muuntosuhteet ja muut tarvittavat tiedot.



Kuva 21. Momenttikäyrän mittaus 1kHz:in näytteenottotaajuudella.

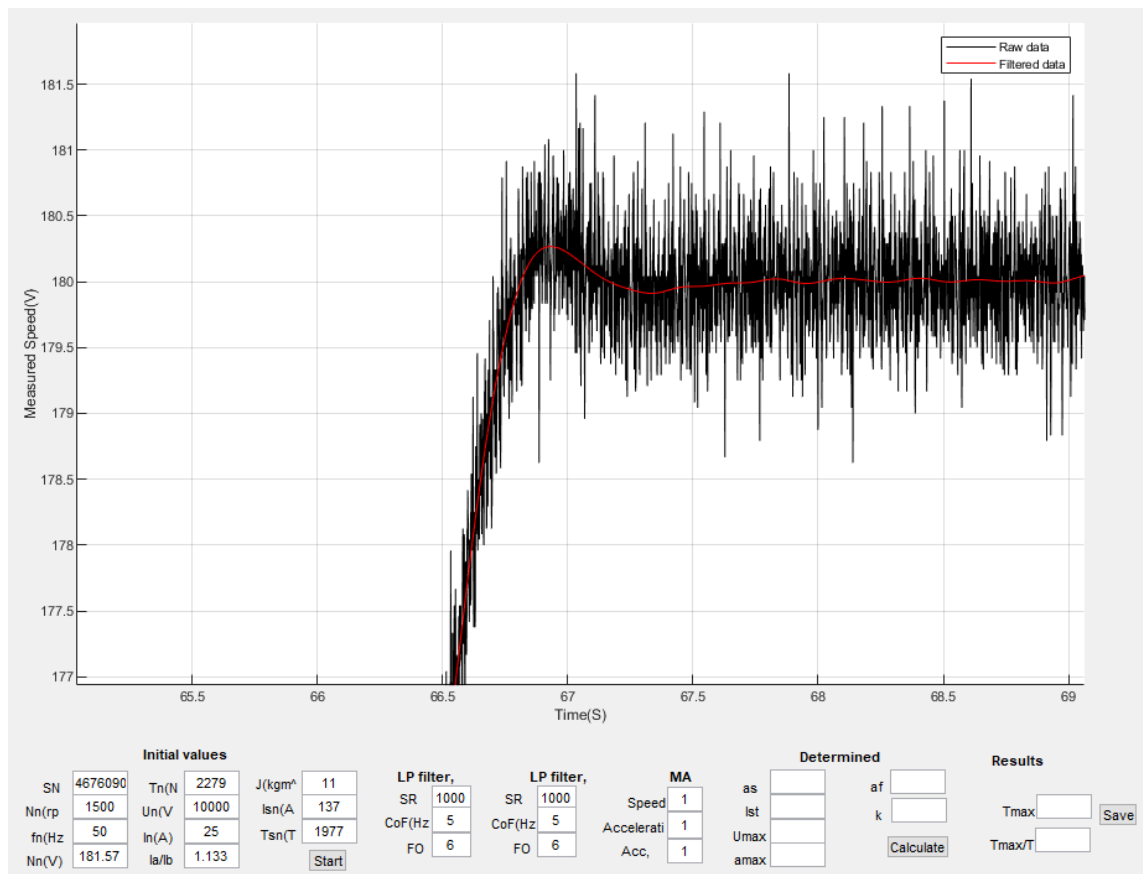
Kuvassa 21 näkyy mitatut nopeus, jännite ja virta 1 kHz:n näytteenottotaajuudella. Kuvassa näkyy sinisenä signaalina virta, joka on mitattu shunttivastuksella (5 A/250 mV). Ohjelman keskeneräisyyden vuoksi siinä ei esimerkiksi pystytä vielä säätämään kanavakohtaisesti amplitudeja, mikä olisi tärkeätä tällaisissa tilanteissa.

7.4 Mittausdatan ja tulosten käsittely

Mitattu raakadata käsitellään MATLAB-ohjelmalla, jossa on jo olemassa oleva käyttöliittymä koekenttää varten. Momenttikäyrän mittauksista varten on luotu oma ”palikka” käyttöliittymään, jolla olisi tulevaisuudessa tarkoitus käsitellä mittauksen tuloksia. Palikassa

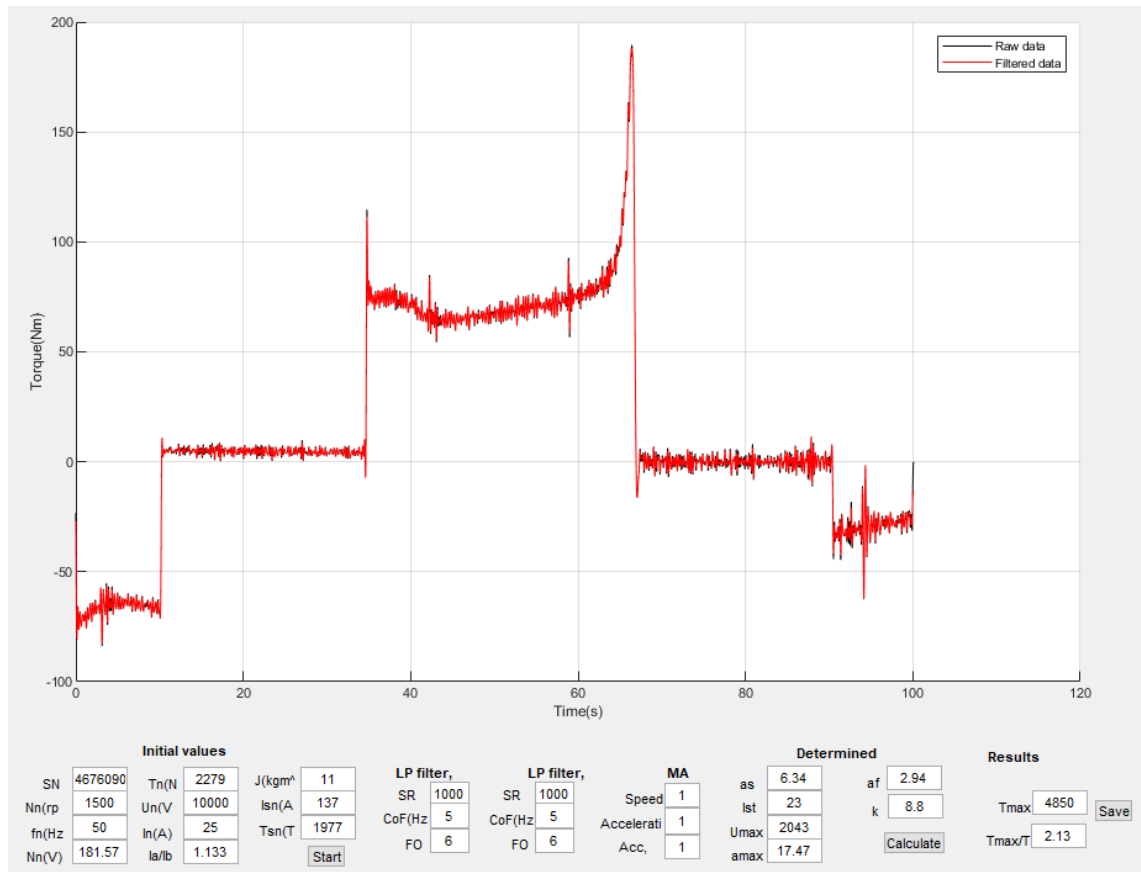
suodatuksena on käytetty alipäästösuodattimia tai liukuvan keskiarvoistuksen suodattimia. Nopeutta voidaan suodattaa keskiarvoistamalla, alipäästösuodattamalla tai käyttämällä molempia samaan aikaan. Momentin suodatuksessa voidaan koko signaali suodattaa käyttämällä keskiarvoistusta, alipäästösuodatusta tai molempia. Toisena suodattimena lineaarisella osuudella käytetään kuitenkin pelkkää keskiarvoistamista.

Datan käsittely etenee siten, että ohjelmaan syötetään koneen nimellisarvot, jonka jälkeen mitattu raakadata avataan MATLAB:issa. Tulosten käsittelijä pystyy tarkentamaan ja loitontamaan näytöllä näkyvää raakadataa haluamallaan tavalla, jotta nähdään että suodatuksen taso on sopiva ja suodatettu signaali asettuu hyvin suhteessa raakadataan. Kuvassa 22 on esitelty mitattu ja käsitelty nopeusdata.



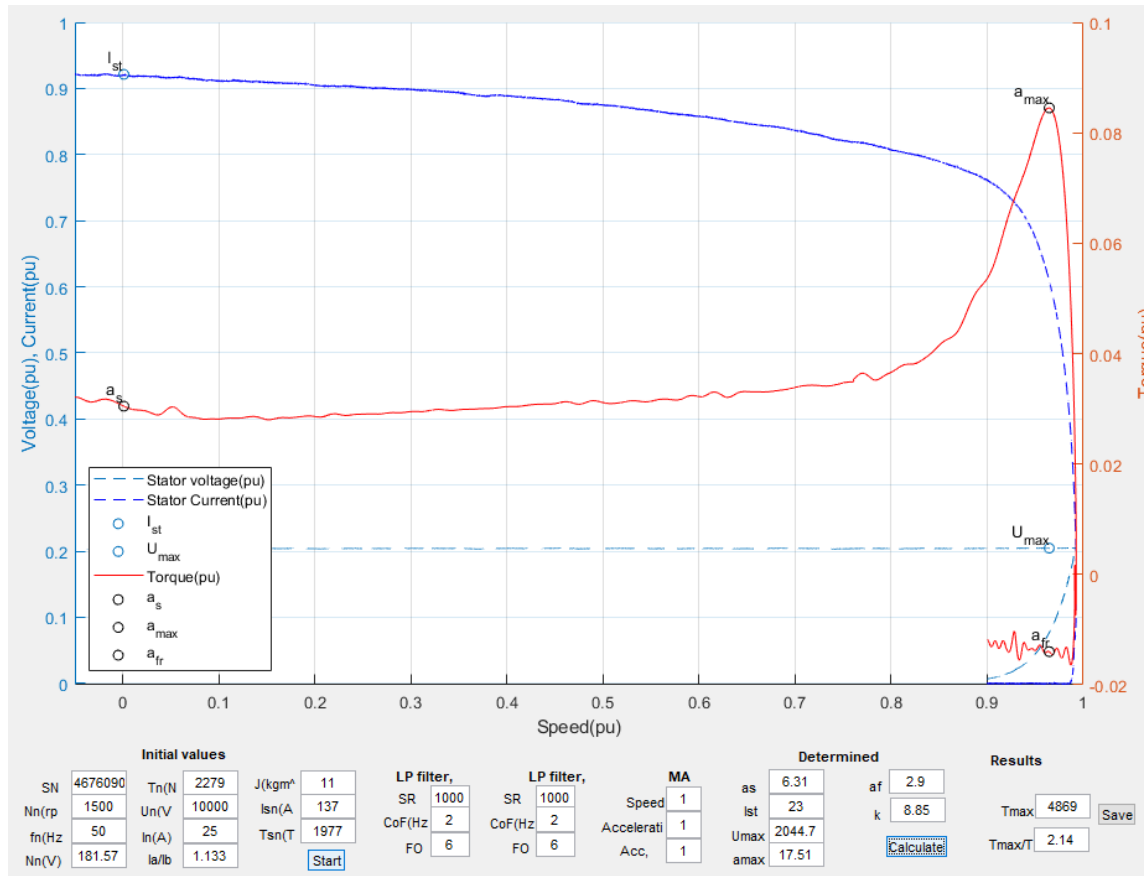
Kuva 22. Suodattamaton nopeusdata (musta kuvaaja) ja suodatettu nopeusdata (oranssi kuvaaja), jossa on käytetty pelkästään alipäästösuodatinta. Kuva on tarkennettu nopeuden huippuun.

Suodatettu nopeusdata derivoidaan, minkä jälkeen kiihtyvyydata tuodaan laskenta näkymään (kuva 23), jossa se suodatetaan käyttäjän haluamalla tavalla eli käyttämällä keskiarvoistusta tai alipäästösuodatusta. Data on piirretty laskettuna siten, että se näkyy jo "momenttina" ($T = J\alpha$). Tässä näkymässä käyttäjä määrittää lineaariselle osuudelle oman suodatuksen kursoreiden avulla valitsemalla sopivan välin. Lineaarinen osuus tulisi valita siten, että suodatus ei näkyisi kippimomentissa tai huonontaisi sen tulosta.



Kuva 23. Derivoitu nopeusdata, jossa musta on suodattamaton ja oranssi on suodatettu data.

Tämän jälkeen momentti, jännite ja virta tuodaan samaan näkymään (kuva 24) yksikköarvoina (p.u), josta käyttäjä määrittää käynnistysarvot ja kippiarvot. Kippimomentti redusoidaan nimellisjännitteelle mikä näkyy T_{max} -arvona, lisäksi nähdään kippimomentin suhde nimelliseen momenttiin lokerossa T_{max}/T . Kuvassa 24 nähdään samassa näkymässä kaikki koestusraportissa esitettävät käyrät.



Kuva 24. Näkymä, jossa näkyy lasketut tulokset.

8 Mittausjärjestelmien vertailua

Momenttikäyrän vertailumittaus esitetty työssä yhdelle epätahtikoneelle, jonka nykyisen korvattavan mittauksen tulokset on esitelty liitteessä 1. Mittauksen aikana kokeiltiin LabVIEW-ohjelmaa ja oskilloskoopin ohjaamista sillä. Ilmenneet puutteet ja parannusehdotukset kirjattiin ylös, joiden perusteella tullaan järjestelmää muuttamaan.

Puutteita:

- Kun mittaus tehdään ns. suorana mittauksena mitattu raakadata piirtyy kuvan 21 mukaan LabVIEW:iin, kanavakohtaisia Y-akseleita ei pysty ohjelmassa muuttamaan, jotta mittauksen suorittaja voisi esimerkiksi katsoa virran dataa (mV).
- Mittausta varten tehtyjen asettelujen ja niiden lataamiseen/tallentamiseen kanssa ilmeni ongelmia, sillä ohjelmasta puuttui joitain moduulikohtaisia asetteluja esim. DC-RMS Coupling.
- Matemaattisten kanavien asetteluja ei pystynyt tekemään LabVIEW:in kautta olenkaan.

Tulosten käsittelyn aikana nähtiin selvästi uudessa mittausjärjestelmässä, että suodatuksen merkitys on suuri tuloksien kannalta. Nykyisessä mittauksessa käytetään kahta suodatusta (1,5 Hz:n ja 10 Hz:n alipäästösuodattimet). Suodatuksia on kaksi, jotta loivalle nousunopeudelle voidaan käyttää kovempaa suodatusta ja kipin muutoshetkelle pienempää suodatusta. Työn aikana mitatuille signaaleille kokeiltiin useampaa erilaista suodatus yhdistelmää MATLAB:issa, joista viimeisin versio on osoittautunut erinomaiseksi. Työn aikana todettiin, että data on suodatettava kahdessa osassa kahdella eri suodatuksella myös MATLAB:issakin käytettäessä hihnakäyttöistä DC-takometriä, sillä käytettäessä yhtä suodatusta koko datalla ongelmaksi muodostuu sekä hyvän kipipituloksen että koko momenttikäyrän saanti.

Suodatusta kokeiltiin aluksi yhdellä suodattimella koko dataan tällöin tulokset kippimomentissa jäivät heikoimmiksi, tämä näkyi derivoidessa kun suodatettu derivaatta jäi ”vajaksi” verrattuna suodattamattomaan signaaliin. Etenkin kipille sopivan suodatuksen

säätö on tapauskohtaista. Uuden järjestelmän selvä etu nykyiseen järjestelmään verrattuna on juurikin suodatusten säädettävyyden MATLAB:issa.

Liitteessä 1 on esitelty nykyisen mittauksen ja uuden mittauksen tuloksia kaikki data on mitattu 1kHz:in näytteenottotaajuudella. Laskennassa kokeiltiin kolmea erilaista nopeusdataa: lyhyt kiihdytysramppi, pitkä kiihdytysramppi ja pitkä kiihdytysramppi, johon oli käytetty 20 Hz:in FIR-alipäästösuodatinta oskilloskoopista. Derivoitulle nopeusdatalle jokaisessa näytteessä, johon on käytetty suodatusta keskiarvoistusta käytettiin 500 pisteen keskiarvoistusta. Derivoitulle nopeusdatalle, jossa käytettiin suodatusta alipäästösuodattimia ei käytetty toista suodatinta.

Tuloksia laskettiin käyttämällä alipäästösuodattimia nopeudella ja momentilla, jolloin laskentaa kokeiltiin pitkällä ja lyhyellä kiihdytysrampilla. Pelkästään alipäästösuodattimia käytettäessä, saatiin erittäin hyviä tuloksia. Laskenta suoritettiin myös käyttämällä pelkästään keskiarvoistusta nopeudelle ja momentille.

Työssä koestetussa epätahtikoneessa uudella järjestelmällä lasketut tulokset ovat kaikki hyvin lähellä nykyisellä järjestelmällä mitattua tulosta. Jatkossa pystytään suodatusta säätämällä tilannekohtaisesti saamaan nykyistä tarkempia kippituloksia. Osa kippituloksista uudella mittausjärjestelmällä kyseisestä epätahtikoneesta olivat hieman suurempia poissulkien lyhyellä rampilla kiihdytetyt mittaukset. Pidempää kiihdytysrampia käytettäessä, tuloksissa ei ollut suuria eroja käytettäessä keskiarvoistusta tai alipäästösuodatusta. Lyhyen kiihdytysrampin tulokset on mitattu 15 sekunnin kiihdytyksellä, joka on alempi kuin ABB:n ohjeissa suositeltu 20–40 sekunnin väli. Tulosten ero käytettäessä pelkkää alipäästösuodatusta tai keskiarvoistusta lyhyellä kiihdytysrampilla näyttäisi johtuvan siitä, että lyhyellä kiihdytys ajalla muutosilmiöt ovat nopeampia. Tämä alkaa näkyämään, kun dataa keskiarvoistetaan, jolloin osa kivistä suodatuu pois. Käyttöönottovaiheessa tulisi mitata mahdollisimman paljon erilaista dataa toimivuuden varmistamiseksi.

Mittausten ja tulosten käsittelyn aikana huomattiin, että takometrin kulumisesta johtuvat häiriöt tuottivat suuria ongelmia laskennassa, jolloin dataa jouduttiin suodattamaan useasti. Häiriöt näkyvät suurena huipusta huippuun arvojen muutoksena kuvassa 23. Mitattavan datan laatua voisi parantaa siirtymällä käyttämään pulssitakometriä nopeuden

mittauksessa. Tällöin saataisiin mahdollisesti vähennettyä huomattavasti häiriöitä nopeuden mittauksesta.

9 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tutustua momenttikäyrien teoriaan ja mittausjärjestelmään Pitäjämäen konetehtaalla ja kartoittaa nykyinen tilanne, minkä jälkeen oli tarkoitus luoda puitteet mahdollisimman käyttäjä ystävälliselle järjestelmälle koekentän henkilökuntaa varten.

Uuden mittausjärjestelmän kannalta parhain vaihtoehto oli, että mittaus tehtäisiin mittaamalla suoraa raakadataa takometritä ja muuntajilta. Näin säästyttäisiin matemaattisten funktioiden käytöltä oskilloskoopissa ja siltä riskiltä, että dataan tulisi vääriä kertoimia tai muita laskennallisia hankaluuksia.

Tulostenkäsittelyssä löydettiin muutamia ongelmia signaalinkäsittelyyn liittyen, ongelmat liittyvät etenkin hyvän kippimomenttituloksen saamiseen ja sen yhteyteen liittyvään suodatukseen. Ongelmia aiheutui myös itse mittalaitteistosta ja niiden ominaisuuksista. Työn aikana MATLAB-ohjelmaan tehtiin useita muutoksia, joilla parannettiin mittausdatan käsittelyä, muutokset liittyivät juurikin signaalin suodatukseen.

Insinööriyön aihe oli mielenkiintoinen ja tarpeeksi haastava työssä tuli käytyä paljon sähkökone teoriaa, signaalin käsittelyä ja mittausteknisiä ohjelmistoja. Työssä onnistuttiin paikantamaan hyvin ongelma kohtia liittyen tulevaan järjestelmään ja tehtyä niistä parannus- ja muutosehdotuksia. Järjestelmä vaatii vielä testausta ja kokeiluja etenkin nopeuden mittaamiseen liittyen.

Lähteet

- 1 Hietalahti Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka.
- 2 Aura Lauri, Tonteri Antti J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet Porvoo: WSOY.
- 3 Wildi Theodore. 2006. Electrical Machines, Drives, and Power Systems. 6., uudistettu painos. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- 4 Gross A.Gross .2007. Electric Machines, Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- 5 IEEE. 2017.IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.
- 6 Stephen J.Chapman.2012. Electric Machinery Fundamentals 5. uudistettu painos,New York: McGraw-Hill.
- 7 ABB Oy Motors & Generators Helsinki, P-ohjeisto (Sisäiset ohjeistukset).
- 8 Yokogawa OR1400 Oscillogrpahic Recorder Manual 4th Edition. 1997.Käyttö-ohje.
- 9 LabVIEW User Manual April 2003 Edition. 2003. Käyttöohje.
- 10 DL850/DL850V ScopeCorder Real Time Math (/G3 option) User's Manual. 2012. Käyttöohje.
- 11 DL850/DL850V ScopeCorder ScopeCorder User's Manual. 2018. Käyttöohje.
- 12 Davis, Nick. 2017. An Introduction to Filters. Verkkojulkaisu . All About Circuits <<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-filters/>> Luettu 26.12.2019.
- 13 Introduction to filters : FIR versus IIR. Verkkojulkaisu. 2019. Siemens Community <<https://community.sw.siemens.com/s/article/introduction-to-filters-fir-versus-iir>> Luettu 30.12.2019.
- 14 How Is a Moving Average Filter Different from an FIR Filter?. 2019. Verkkojulkaisu.MathWorks <<https://se.mathworks.com/help/dsp/ug/how-is-moving-average-filter-different-from-an-fir-filter.html>> Luettu 28.02.2020.

- 15 ABB Lyhyesti 2020. Verkkojulkaisu ABB. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>>
Luettu 03.05.2020.

Mittaustulokset

Erään koestetun koneen mitattu momenttikäyrä nykyisellä laitteistolla.



TEST REPORT

Customer	Machine	Page 6
Order ref.	Work no. Serial no.	Revision A
Project	Approved	Report rev A

8) Torque curve

Ratings **Measuring conditions**

Un = 10000 V Tn = 2279 Nm
In = 25 A
n = 1487 rpm

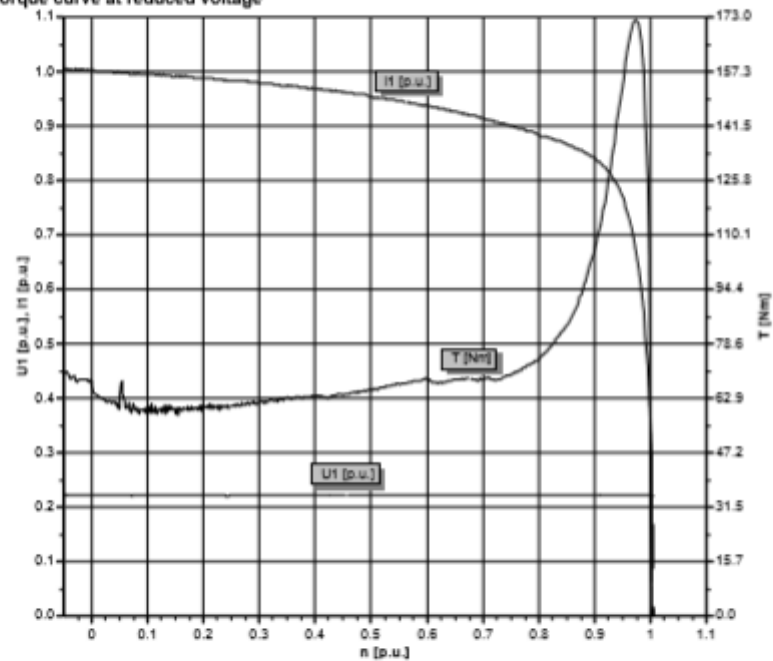
f = 50 Hz

Determination of starting (locked rotor) and maximum (breakdown) torques at nominal voltage

Starting (locked rotor) torque
Tsn = 1977 Nm Tsn/Tn = 0.87
Isn = 137 A

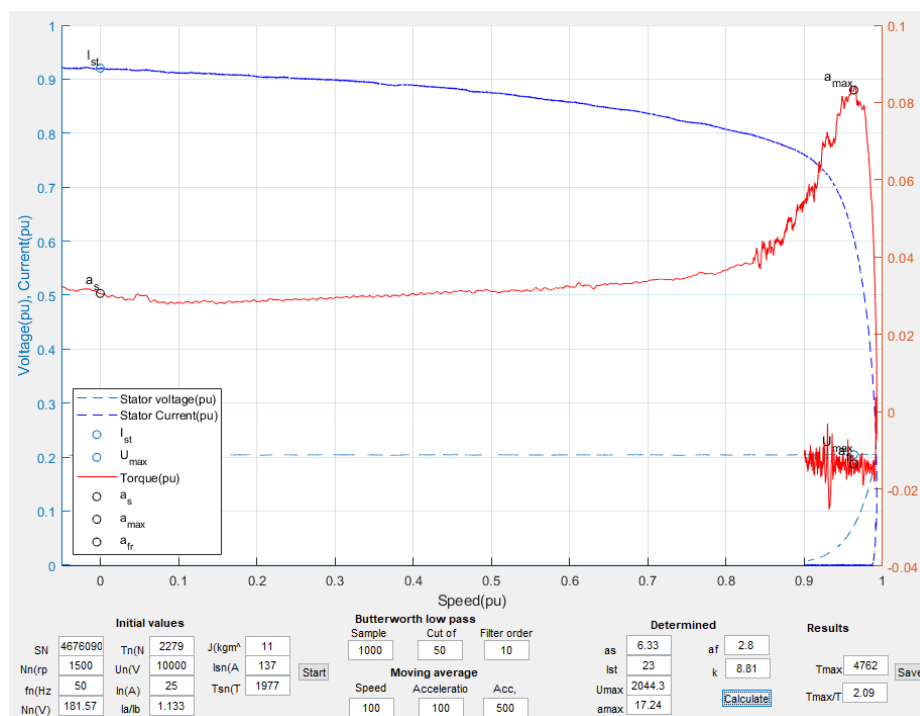
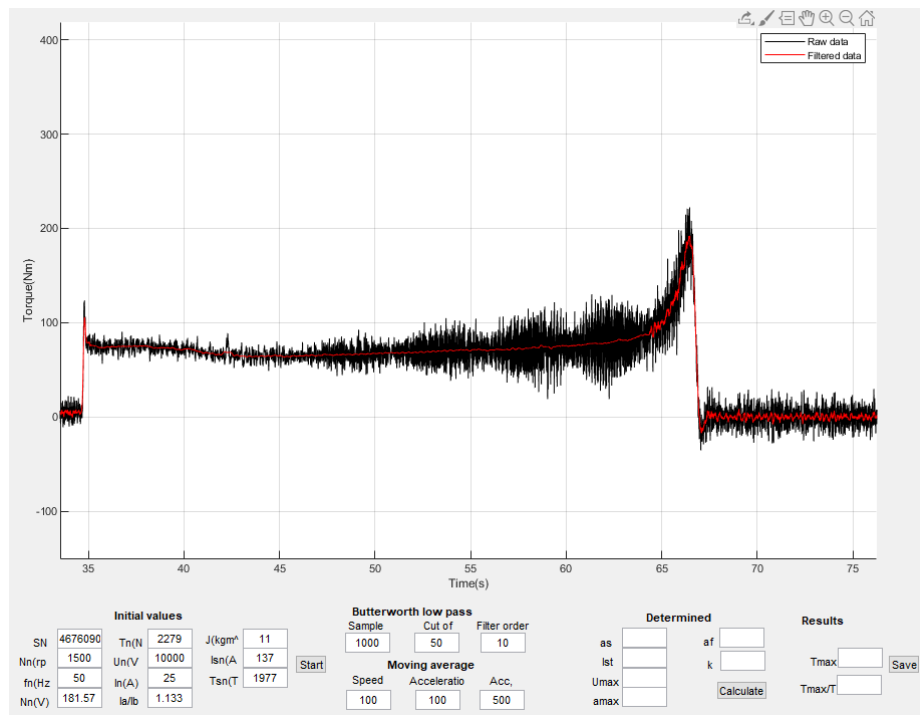
Maximum (breakdown) torque
Tmax = 4617 Nm Tmax/Tn = 2.03

Torque curve at reduced voltage



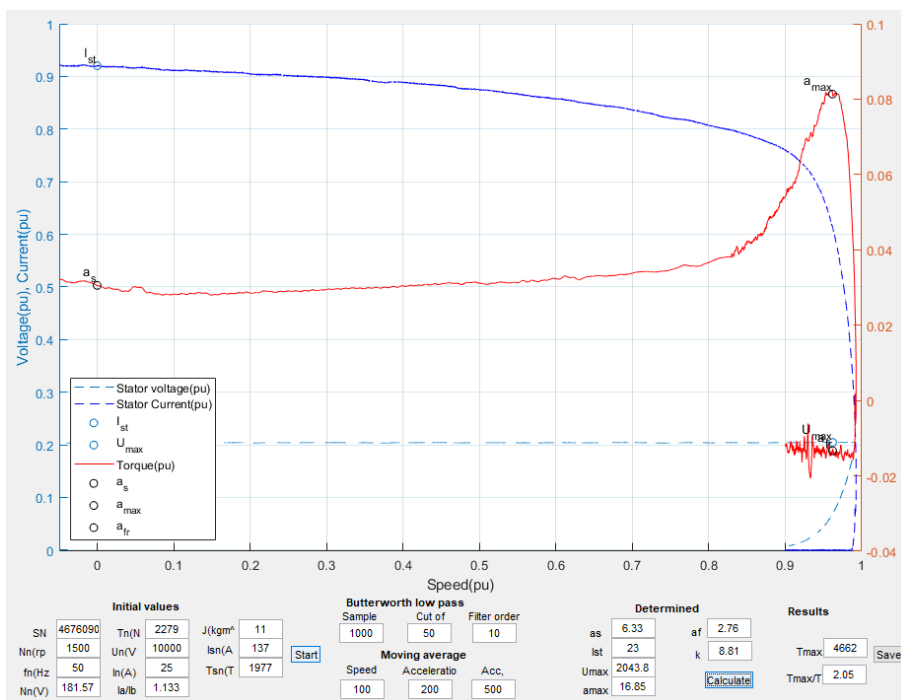
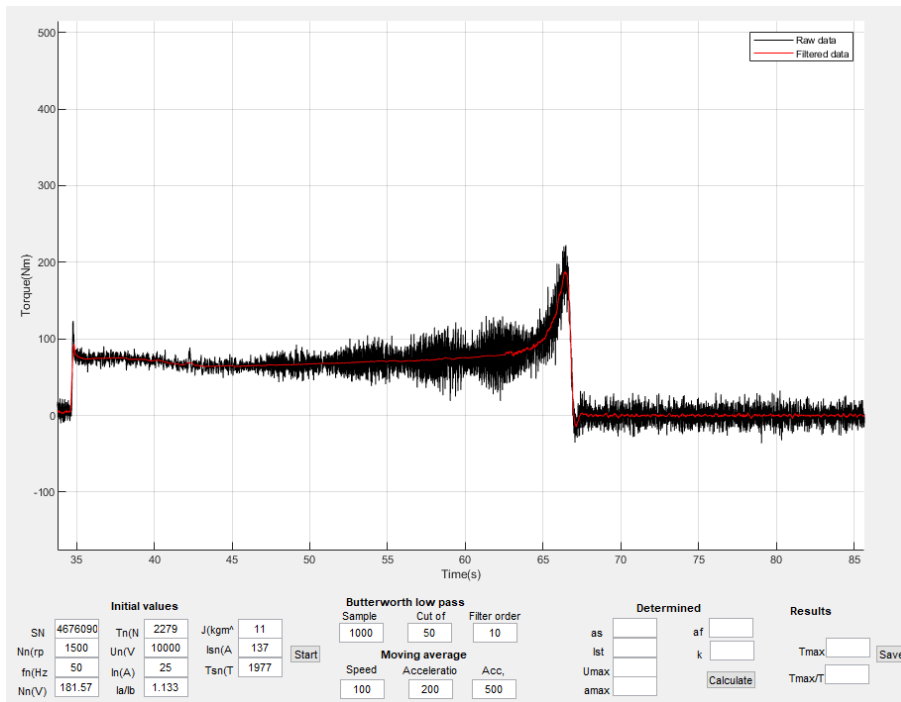
Mittaustulokset

100 Pisteen keskiarvoistus kippimomentille, pitkä kiihdytysramppi 30s.



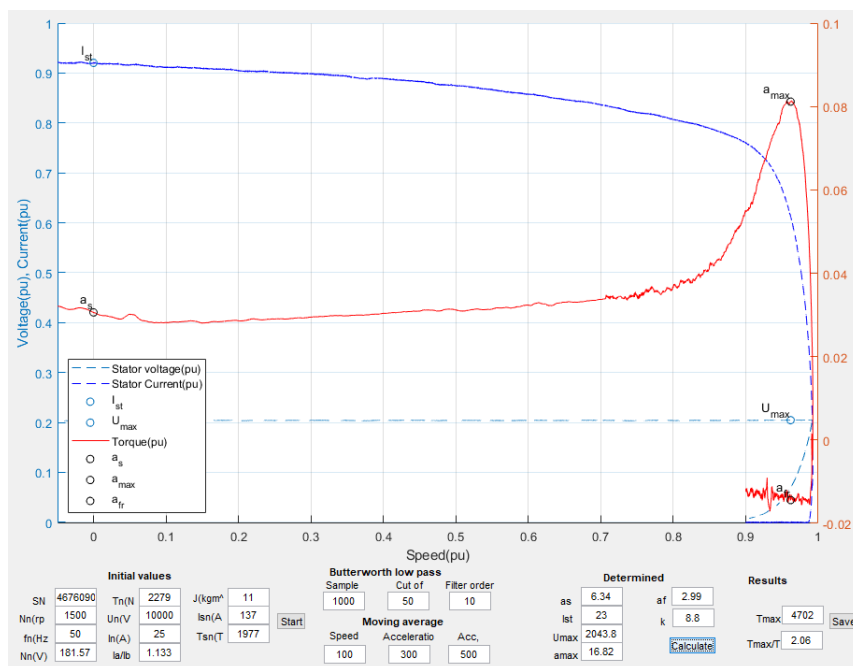
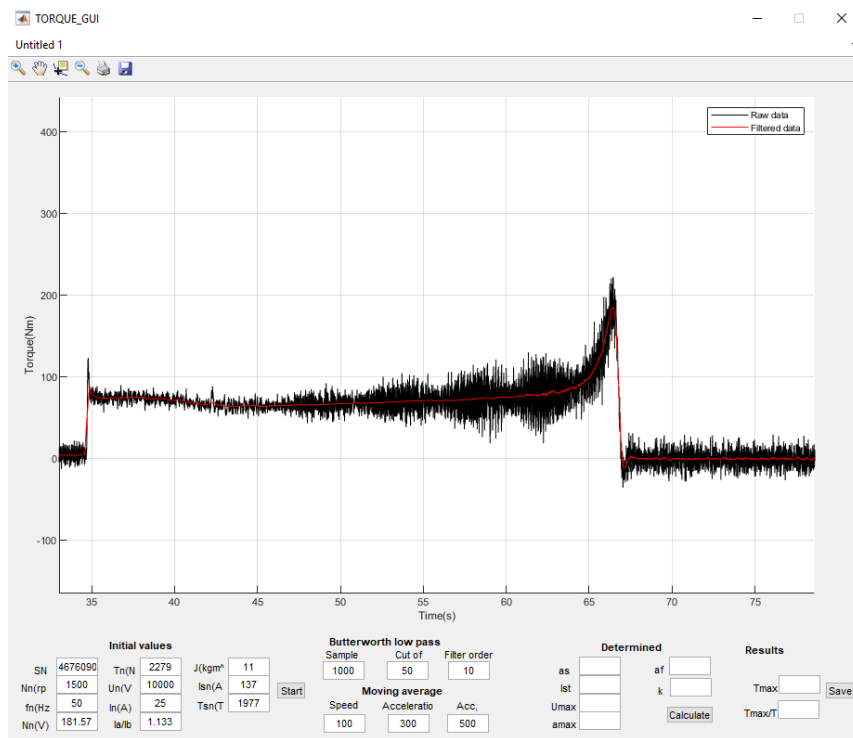
Mittau tulokset

200 Pistein keskiarvoistus kippimomentille, pitkä kiihdytysramppi 30s.



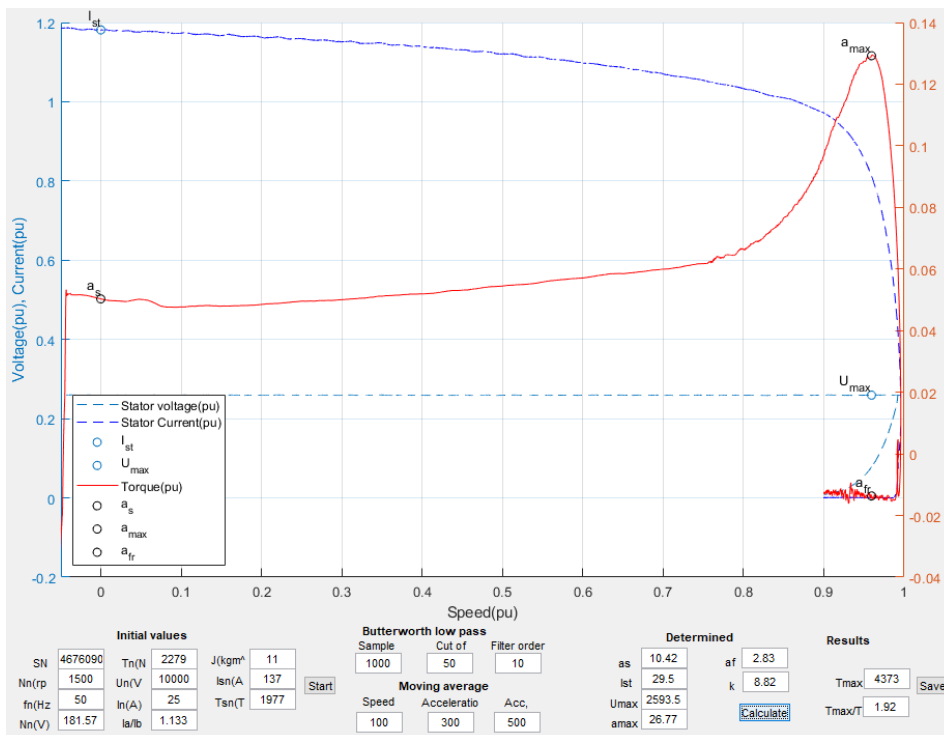
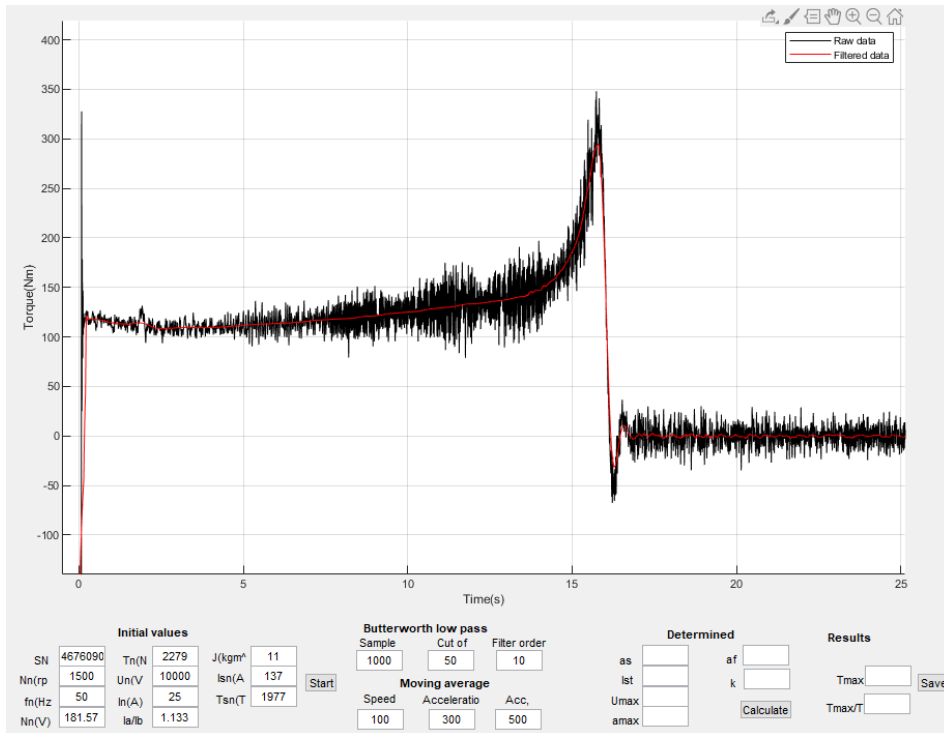
Mittaustulokset

300 Pistein keskiarvoistus kippimomentille, pitkä kiihdytysramppi 30s.



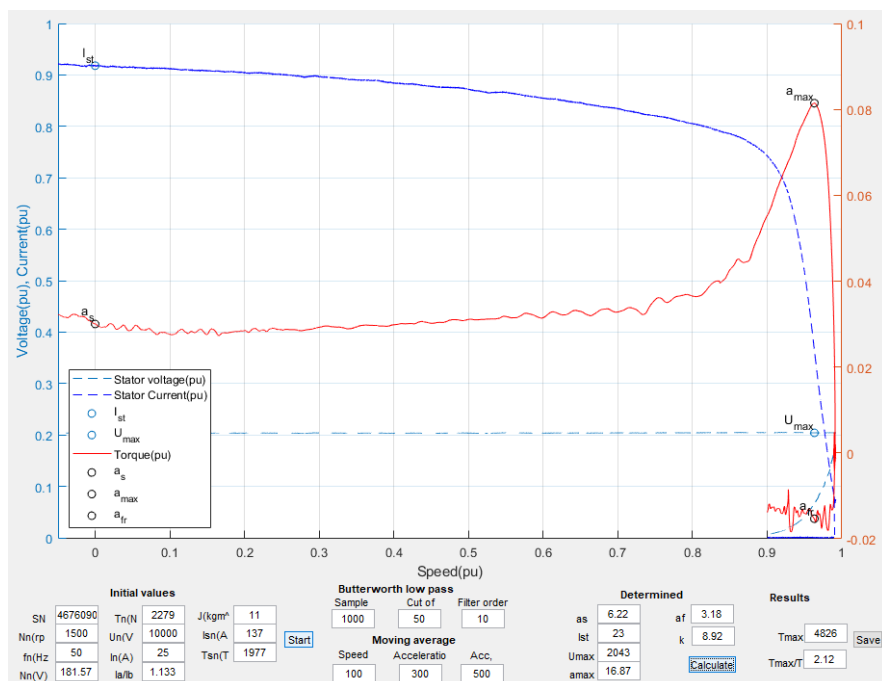
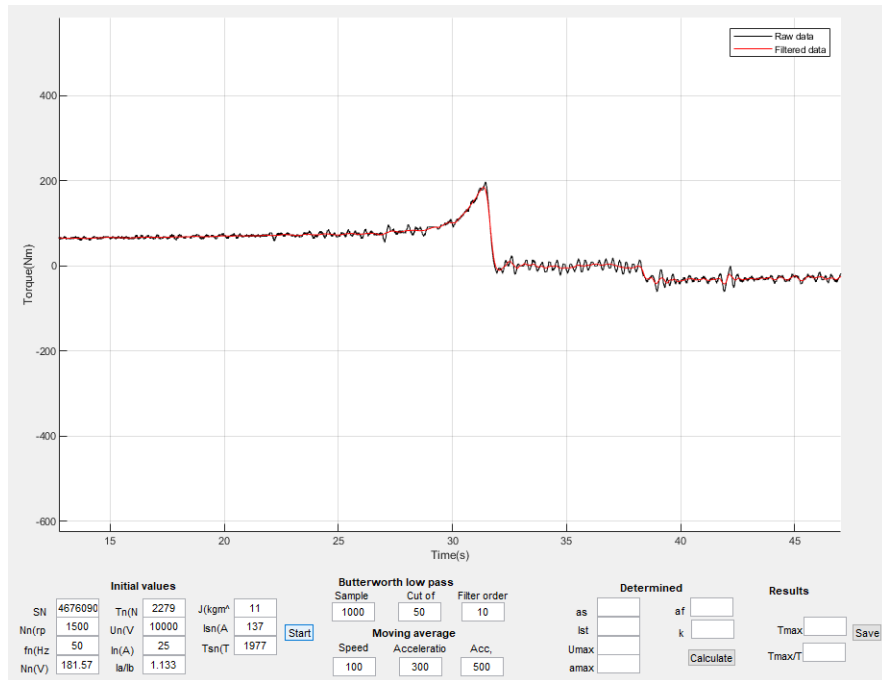
Mittaustulokset

300 Pistein keskiarvoistus kippimomentille, lyhyt kiihdytysramppi 15s.



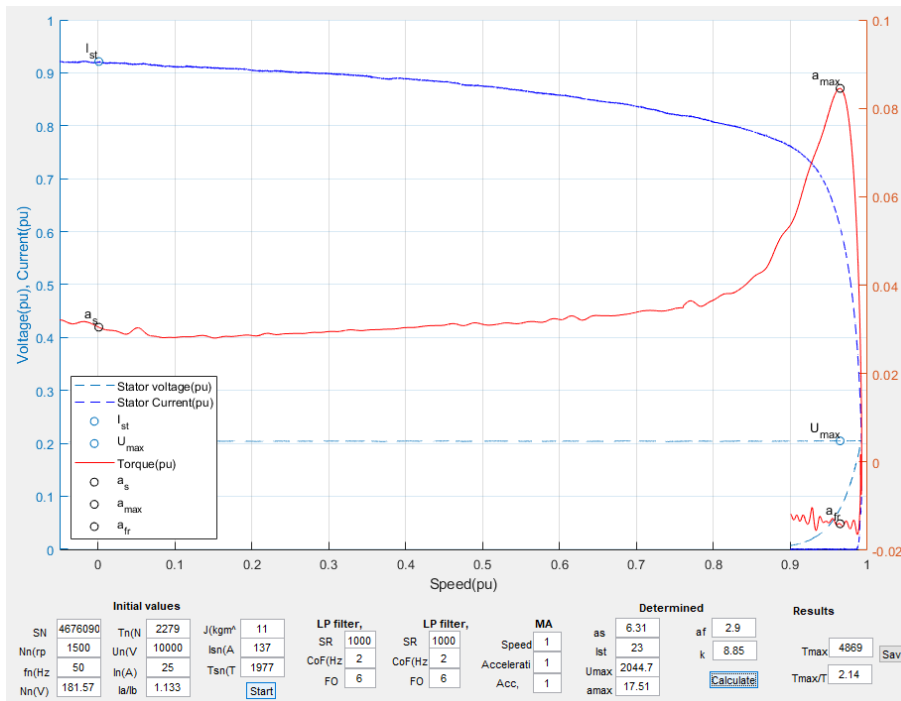
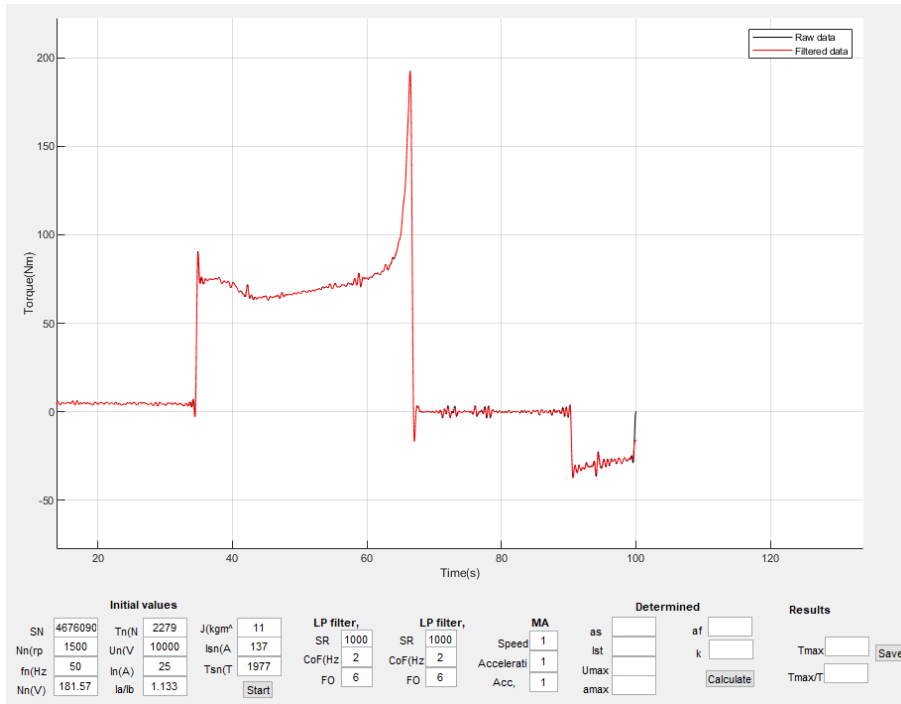
Mittaustulokset

300 Pisteen keskiarvoistus kippimomentille, pitkä kiihdytysramppi 30s+ esisuodatus oskilloskoopilla.



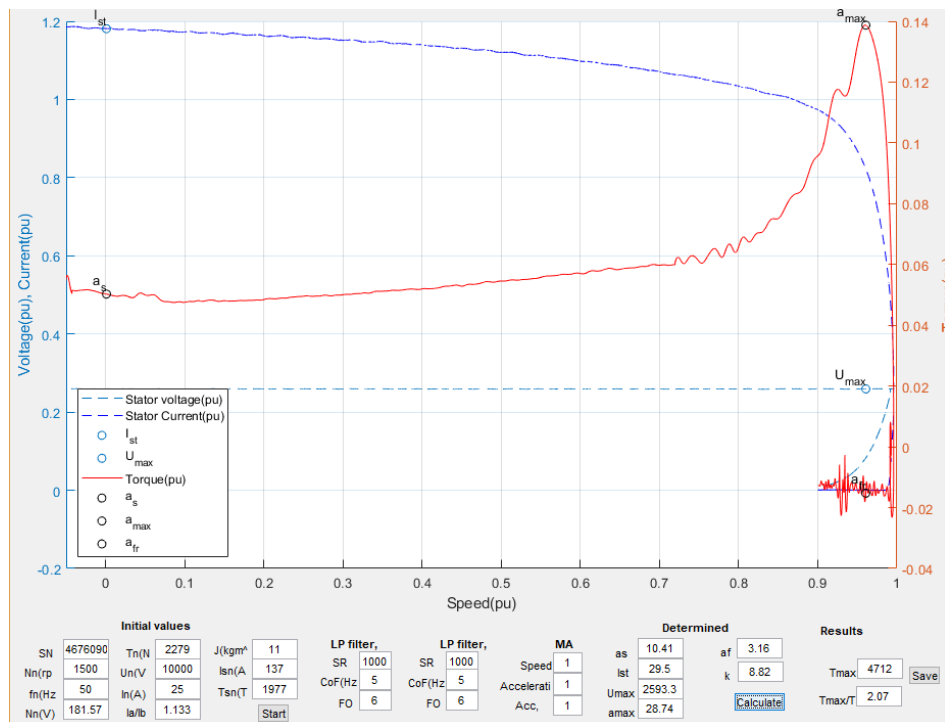
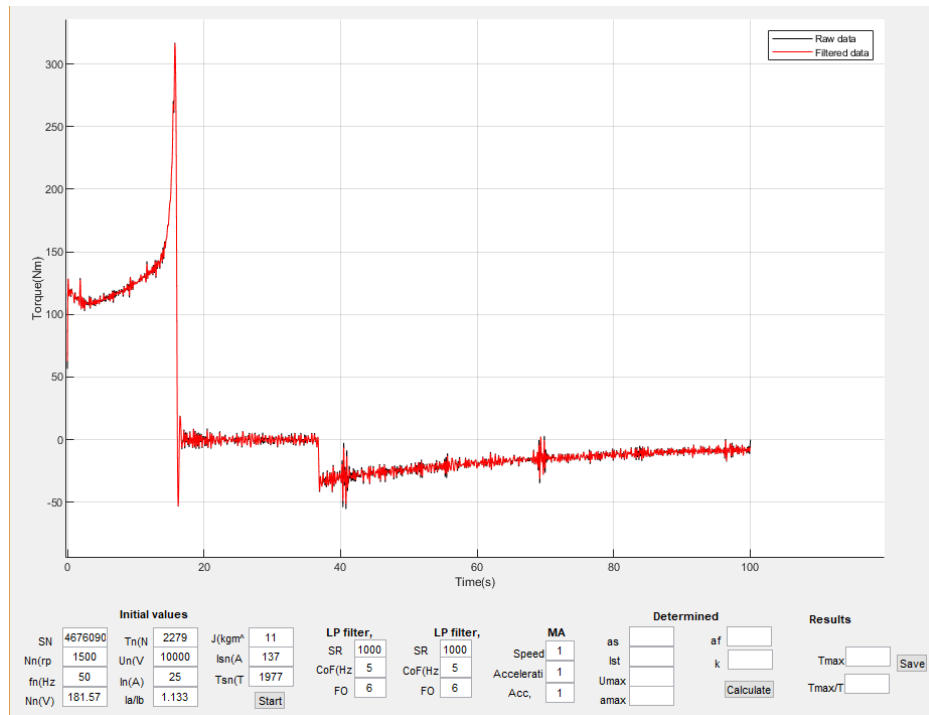
Mittaustulokset

2Hz alipäästönsuodatus nopeudelle ja derivaatalle, pitkä kiihdytysramppi 30s.



Mittaustulokset

5Hz alipäästönsuodatus nopeudelle ja derivaatalle, lyhyt kiihdytysramppi 15s.



Yokogawa DL850:n ominaisuudet

Käytetyn mittausmoduulin (Analog Voltage Input Module 701260) ominaisuudet.

Item	Specifications
Standard operating conditions	Temperature: 23° C±5° C Humidity: 55%±10% RH After a 30-minute warm-up and after calibration
Effective measurement range	Twice of setting range
Number of input channels	2
Input coupling	AC, DC, GND, AC-RMS, and DC-RMS
Maximum sample rate	100 kS/s
Input format	Isolated unbalanced
Frequency characteristics ¹ (-3 dB point when a sine wave of amplitude 60 % of range is input)	Waveform observation mode: DC to 40 kHz RMS observation mode: DC, 40 Hz to 10 kHz
Voltage-axis range setting	200 mV to 2 kV range (1-2-5 steps)
Maximum input voltage (at a frequency of 1 kHz or less)	Combined with the 700929(10:1) ² 1000 V (DC+ACpeak) Combined with the 701901+701954 (1:1) ⁵ 850 V (DC+ACpeak) Direct input or cable not complying with the safety standard ⁸ 850 V (DC+ACpeak)
Maximum allowable common mode voltage (at a frequency of 1 kHz or less)	Working voltage of safety standard Combined with the 700929 (across probe tip H and earth ³): 1000 Vrms (CAT II) (across probe tip L and earth ⁴): 400 Vrms (CAT II) Combined with the 701901+701954 (1:1) ⁵ (across tip H and earth ⁵): 700 Vrms (CAT II) (across tip L and earth ⁷): 400 Vrms (CAT II) Direct input or cable not complying with the safety standard ⁸ : 30 Vrms (42 VDC+ACpeak) (across the input terminal, H or L, and earth)
Vertical (voltage) axis accuracy DC accuracy ¹	Waveform observation mode DC accuracy ±(0.25% of 10 div) RMS observation mode DC accuracy ±(1.0% of 10 div) (when a sine wave is input) AC accuracy ±(1.5% of 10 div) At frequency of 40 Hz to 1 kHz AC accuracy ±(2.0% of 10 div) At frequency of 40 Hz to 1 kHz (when the crest factor is 2 or less) AC accuracy ±(3.0% of 10 div) At frequency of 40 Hz to 1 kHz (when the crest factor is 3 or less)
Input connector	BNC connector (isolated type)
Input impedance	1 MΩ ± 1%, approx. 35 pF
-3 dB point when AC coupled low frequency attenuation point	1 Hz or less (0.1 Hz or less when using the 700929)
Common mode rejection ratio	80 dB (50/60 Hz) or more (typical ¹⁵)
Residual noise level (Input section shorted)	±1 mV or ±0.2% of range whichever is greater (Typical ¹⁵)
Withstand voltage	3700 Vrms for 1 minute (across each terminal and earth) (60 Hz)
Allowable transient surge voltage (instantaneous)	±5200 Vpeak (across each input terminal and earth)
Insulation resistance	500 VDC, 10 MΩ or more (across each input terminal and earth)
A/D conversion resolution	16 bit (24000 LSB/range)
Temperature coefficient	Zero point: ±(0.02% of range)/° C(Typical ¹⁵) Gain: ±(0.02% of range)/° C(Typical ¹⁵)
Response time (only when observing RMS)	Rising (0 to 90% of range): 100 ms (typical ¹⁵) Falling (100 to 10% of range): 250 ms (typical ¹⁵)
Bandwidth limit	Select from OFF, 10 kHz, 1 kHz, and 100 Hz Cut-off characteristics: -12 dB/OCT (Typical ¹⁵)
Probe attenuation setting	Voltage probe: 1:1, 10:1, 100:1, 1000:1 Current probe: 10 A:1 V (for the 700937/701933), 100 A: 1 V (for the 701930/701931)

Yokogawa DL850:n ominaisuudet

Matemaattiset ominaisuudet, joita voi käyttää moduulin 701260 kanssa.

The modules and channels that you can select as real time math source waveforms (source) are shown below.

Operators and Functions		Input Module Model and RMath (Real Time Math Channel) (Yes: Can be selected, No: Cannot be selected)				
		701250, 701251, 701255, 701260, 701261, 701262, 701265, 701270, 701271, 701275, 720210, 720221 ¹	701280	720230	720240 ^{1,2} 720241 ^{1,2} (Only usable on the DL850V)	RMath ³
S1+S2, S1-S2, S1*S2, S1/S2		Yes	Yes	No	Yes	Yes
A(S1)+B(S2)+C, A(S1)-B(S2)+C, A(S1)*B(S2)+C, A(S1)/B(S2)+C		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Diff(S1), Integ1(S1), Integ2(S1)		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Rotary Angle		Yes ⁴	No	Yes ⁴	Yes	No
DA		No	No	Yes	No	No
Polynomial		Yes	Yes	No	Yes	Yes
RMS, Power	Math source	Yes	No	No	Yes	Yes
	Edge source	Yes	No	Yes	Yes ²	Yes
Power Integ		Yes	No	No	Yes	Yes
Log1, Log2		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Sqrt1, Sqrt2		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Cos, Sin		Yes ⁴	No	Yes ⁴	Yes	No
Atan		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Electrical Angle	Math source	No	No	Yes	No	No
	Target	Yes	No	No	Yes	Yes
Knock Filler (Only settable on the DL850V)		Yes	No	No	Yes	No
Poly-Add-Sub		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Frequency, Period		Yes	No	Yes	Yes	Yes
Edge Count		Yes	No	Yes	Yes ²	Yes
Resolver		Yes	Yes	No	Yes	Yes
IIR Filter		Yes	Yes	No	Yes	Yes
PWM		Yes	Yes	No	Yes	Yes
Reactive Power(Q)		Yes	No	No	Yes ²	Yes
CAN ID		Yes ⁵	No	No	No	Yes

For the names of the input modules, see the *Getting Started Guide*, IM DL850-03EN.

- 1 To set the input channels of a 720220 16-CH voltage input module, 720221 16-CH temperature/voltage input module, 720240 CAN bus monitor module, or 720241 CAN & LIN bus monitor module as the source waveforms of real time math, you have to turn on the waveform display (set Display to ON).
- 2 When the data type (Value Type) is set to Logic, you cannot select the input channels of a 720240 CAN bus monitor module or a 720241 CAN & LIN bus monitor module. Even if the data type is not set to Logic, you cannot use data that exceeds 16 bits in length. However, for the Edge Count function, you can select an input channel of a CAN bus monitor module or a CAN & LIN bus monitor module even if the data type is set to Logic.

Yokogawa DL850:n ominaisuudet

Yokogawa DL850 tuote-esite.

DL850/DL850V ScopeCorders

SCOPECORDER

The DL850/DL850V ScopeCorders are modular, signal waveform recording instruments that can synchronously measure various signals such as voltage, current, strain, and acceleration. They measure multiple physical signals for a long period at the sites of developing products in the mechatronics area where noise rejection is emphasized. The standard model DL850 and the Vehicle Edition DL850V, which is primarily intended for developing devices used in automobiles, are offered.

A total of 15 plug-in modules are available for measurement.

FEATURES

- **High speed isolated measurement (isoPRO technology)**
Adopting high speed optical fiber-based transmissions (isoPRM™ technology), DL850 is capable of 1 kV high voltage isolation measurement^{*1} while achieving high-speed data acquisition of 100 MS/s, A/D resolution of 12 bits, analog bandwidth of 20 MHz.
- **High speed waveform display (GigazoomEngine)**
Adopting the GigazoomEngine* 2 high-speed data processing system applying Yokogawa's original data processing algorithm, DL850 can quickly display up to 2 G points data in the memory and two zoomed waveforms.
- **Excellent noise rejection performance**
Excellent noise rejection performance (high CMRR of approx. 90 dB at 10 kHz for the 10 MS/s high-speed isolation module) is achieved through exhaustive low-noise design. Even floating voltage switching waveforms of inverter circuits can be precisely captured.
- **Multi-channel measurement**
With maximum 8 modules of the 16-CH voltage input module (scanner type), 128-CH voltages can be measured at 10 kS/s sample rate. One logic input module can measure 16 relay states or sequence states simultaneously, enabling measurement of 128 logic states with eight modules.
- **CAN bus monitoring (DL850V model only)**
By using the CAN bus monitoring module, DL850V can display the communication data of the CAN bus protocol in analog trend waveforms for monitoring. Database container (DBC) files^{*2} are also available.

New Products



SPECIFICATIONS

- Max. sampling rate: 100 MS/s^{*3}
- Frequency bandwidth: 20 MHz^{*3}
- Number of input channels: max. 128 (8 slots)^{*3}
- Logic inputs: max. 128 (720230 model)
- A/D resolution: 16 or 12 bits^{*3}
- Time axis setting range: 100 ns/div to 3 days/div^{*1}
- Max. recording length: standard 250 Mpts
/M1 option: 1 Gpts
/M2 option: 2 Gpts
- Number of waveforms for between-channel math.: Max. 8
- Number of waveforms for real time math.: Max. 16 (option)
- Built-in media drive: SD memory card slot (standard)
160 GB HDD (option)
External HDD 1/F (option)
- Communication interface: USB2.0 (standard)
1000Base-T Ethernet (standard)
GP-IB (option)
- Other options: IRIG interface
User defined calculation
Probe power output
- Display: 10.4-inch color TFT LCD display
- Dimensions: 355 mm (W) x 259 mm (H) x 180 mm (D)
- Weight: Approx. 6.5 to 9.0 kg
(depend on the kind and number of modules to be equipped)

*1: with high-speed isolated module and isolated probe

*2: data base files created with CANdb or CANdb++ of Vector Informatik for defining signals.

*3: depend on input modules

Contact us

To Yokogawa Meters & Instruments Corporation:
URL: <http://tmi.yokogawa.com>
E-mail: tmi@cs.jp.yokogawa.com
For worldwide locations, please see the back cover.

ScopeCorder, isoPRO, GigazoomEngine are trademarks or registered trademarks of Yokogawa Electric Corporation. Other company and product names in this article are trademarks or registered trademarks of their respective holders.