

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Juha Henrik Saaristo

VAIHTOEHTOISET TESTAUSKONSEPTIT
VACON OYJ:SSÄ

Tekniikka ja liikenne
2009

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Juha Saaristo
Opinnäytetyön nimi	Vaihtoehtoiset testauskonseptit Vacon Oyj:ssä
Vuosi	2009
Kieli	suomi
Sivumäärä	29
Ohjaaja	Timo Gröndahl

Vacon Oyj:n liiketoiminnan kasvaminen globaaliksi asettaa uusia vaatimuksia testausjärjestelmille niin toiminnallisuuden kuin käytettävyyden ja käyttöönoton helppouden suhteen.

Tässä työssä tutkitaan sellaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja tuotannon testaukselle, jotka eivät sisällä moottoreita ja ovat luonteeltaan sopivampia hajautetumpaan testaamiseen

Työ tehtiin käytännössä kokonaan samaan aikaan kun kaksi näistä järjestelmistä alkoi konkretisoitua tehtaalla. Keskittyminen näistä toiseen eli BackToBack järjestelmään on luonnollista johtuen sen rakentamisesta, valmistumisesta ja käyttöönotosta opinnäytetyön teko aikana.

Työhön sisältyi tutkimus- ja kehitystyötä yhdessä tuotekehityksen kanssa sekä toteutuneiden järjestelmien suunnitteluun osallistumista ja käyttöönottoa. Osa näistä järjestelmistä on jo toteutettu ja tuotantokäytössä.

Tuloksena työstä saatiin kokemuksia uusista järjestelmistä sekä niiden soveltuvuudesta nykyisiin ja tulevaisuuden tarpeisiin. Käytännössä nämä tutkimukset mahdollistivat uuden testauskonseptin, joka yhdistelee useita erilaisia testausmetodeja saavuttaakseen tehokkaan ja luotettavan tuotantotestauksen.

Asiasanat testaus, testausjärjestelmät, taajuusmuuttaja, invertteri, suodin

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author Juha Saaristo
Title Alternative Testing Concepts at Vacon Plc
Year 2009
Language Finnish
Pages 29
Name of supervisor Timo Gröndahl

Growth of Vacon Plc:s business operations to global scale will set new requirements for testing systems in areas of functionality, ease of use and final system commissioning.

This thesis explores various systems that do not contain electric motors and are more suited for distributed testing environments. Using these systems, the purpose of the thesis was to investigate and evaluate three new concepts for testing the system and to focus on one of these, called BackToBack system, for more detailed look.

Work consisted of research and development phase done with R&D department and assisting in designing and implementation of realized systems. Some of these new systems have already been implemented and are being used for production.

As a result we gained lots of experience in these kinds of systems and their application to our current and future needs. On the practical level these results led to a new testing concept which uses many different methods to gain efficient and reliable production testing.

Keywords Testing, Testing systems, Frequency converter, Inverter, Filter

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

1. AFE – Active front end. Verkkoon regeneroiva matalaharmoninen DC-syöttöyksikkö.
2. FFE – Fundamental front end. Verkkoon regeneroiva DC-syöttöyksikkö.
3. Firmware – Laitteiston sisäinen ohjelmisto
4. HASS – Highly accelerated stress screening. Testausmetodi, jossa tuotetta vanhennetaan normaalia nopeammin.
5. Kolmiokytkentä – KytKentä, jossa komponentit on kytketty vaiheiden välille.
6. Minifactory – Konsepti, jossa tuotteen lopullinen variaatio muodostetaan valmiista tai ennakkoon tehdyistä osista tilausta vastaan.
7. NFE – Non regenerative front end. Verkkoon regeneroimaton DC-syöttöyksikkö.
8. Regenerointi – Energian ajaminen takaisin sähköverkon suuntaan.
9. Synkronointi – Tahdistuminen olemassa olevaan sähköverkkoon.
10. Tasasuuntaaja – Komponentti, joka tekee vaihtosähköstä tasasähköä.
11. Tähtikytkentä – KytKentä, jossa komponentit on kytketty vaiheiden ja yhteisen maan välille.
12. Vaihtosuuntaaja – Komponentti, joka tekee tasasähköstä vaihtosähköä.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT.....	4
1 JOHDANTO.....	7
2 YRITYS JA TUOTE.....	8
3 TUOTANTOTESTAUKSEN TARKOITUS	10
4 TULEVAISUUDEN TUOTANTOTESTAUS.....	11
4.1 Modulaarisuus ja standardointi	11
4.2 Testaustavat.....	12
5 TESTAUSKONSEPTIT.....	14
5.1 Perinteinen testaustapa.....	15
5.1.1 Yleistä	15
5.1.2 Testauslaitteisto	15
5.1.3 Testaaminen	17
5.2 AFE-konsepti	18
5.2.1 Yleistä	18
5.2.2 Testauslaitteisto	19
5.2.3 Testaaminen	20
5.3 BackToBack-konsepti	21
5.3.1 Yleistä	21
5.3.2 Testauslaitteisto	22
5.3.3 Testaaminen	23
6 CASE: BACKTOBACK-KONSEPTI VAP3.....	24
6.1 Yleistä.....	24
6.2 Järjestelmän käyttöönotto	24
6.2.1 Yleistä	24
6.2.2 Logiikat ja kenttäväylä.....	24
6.2.3 Ilmastointi	25
6.2.4 Nestejäähdytys.....	25
6.2.5 Kuormituslaitteet	26

6.2.6	Prosessitietokoneet	26
7	Testauskonseptien soveltuvuus.....	27
7.1	Yleistä.....	27
7.2	Konseptien heikkoudet ja vahvuudet.....	27
	KIRJALLISUUTTA	29

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on arvioida vaihtoehtoisten testausmenetelmien kelpoisuutta Vacon Oyj:n taajuusmuuttajien ja inverttereiden tuotantotestauksessa sekä vertailla niiden hyviä ja huonoja puolia olemassa oleviin järjestelmiin testauskannattavuuden kannalta.

Ehdotuksia uusista menetelmistä saatiin tuotekehityksestä useita. Tässä työssä keskitytään pääasiassa kolmeen perinteisestä testaustavasta poikkeavaan tapaan. Toisin kuin perinteisessä testaustavassa, yksikään näistä konsepteista ei sisällä moottoreita. Tämän lisäksi yhteisenä piirteenä on pieni virrankulutus, fyysisesti kevyemmät järjestelmät sekä alhaisempi hinta.

Näitä vaihtoehtoisia konsepteja varten rakennettiin testauslaitteistot tuotannon AFE-konseptiuniin, joka itsessään on yksi näistä konsepteista.

Tuotantotestaus itsessään on erittäin kriittinen askel tuotteiden laadun varmistuksessa, joten on tärkeää saavuttaa vähintään perinteistä tapaa vastaava kattavuus tuotantovirheiden ja alihankinnassa tapahtuvien laatuvirheiden havaitsemisessa.

2 YRITYS JA TUOTE

Vaconin historia juontaa vuoteen 1993, kun joukko ABB Industry Oy:n Vaasan tehtailla toimineita avainhenkilöitä perusti Vaasa Control Oy:n. Kaikki jäsenet olivat olleet ennen päätöstään perustaa oma yhtiö ABB Industry Oy:n ja Oy Strömberg Ab:n palveluksessa, pääasiassa mukana kehittämässä mainittujen yhtiöiden taajuusmuuttajaliiketoimintaa. Vaconin ensimmäinen taajuusmuuttajasukupolvi, Vacon CX, lanseerattiin markkinoille vuonna 1995. Uuden taajuusmuuttajasukupolven, Vacon NX:än, suunnittelu aloitettiin syksyllä 1998. Ensimmäiset pilottitoimitukset NX-taajuusmuuttajista tehtiin heinäkuussa 2000. Mahdollisimman laajan jakelukanavan saamiseksi Vacon on panostanut alusta alkaen oman kansainvälisen jakeluverkon luomiseen sekä OEM- ja brand label -asiakkaiden saamiseen. /2/

Vuonna 2008 alkoi uuden kolmannen sukupolven Vacon 100 ja Vacon 10 sarjan lanseeraus, joka osaltaan asettaa vaatimuksia tässä dokumentissa käsiteltyihin testauskonsepteihin.

Taajuusmuuttaja on laite jolla pääsääntöisesti ohjataan oikosulkumoottoreita, joskin muitakin käyttötarkoituksia on. Taajuusmuuttajat mahdollistavat moottoreiden tarkan säädön teollisuuden prosesseissa sekä automaatioissa. Tarkan säädön lisäksi taajuusmuuttajilla on mahdollista säästää merkittäviä määriä energiaa moottoreiden käynnistysten yhteydessä. Joissakin tapauksissa on myös mahdollista syöttää moottoreiden jarrutusenergia takaisin sähköverkkoon ja täten saavuttaa lisäsäästöjä. Taajuusmuuttajia on saatavilla suurella tehoalueella 0.25kW:sta aina 5MW:n suuritehoisiin laitteisiin asti.

Esimerkkejä sovelluksista:

- Erilaisissa hissi- ja kuljetinsovelluksissa taajuusmuuttaja mahdollistaa pehmeän liikkeen lähdön ja portaattoman nopeussäädön.
- Taajuusmuuttaja mahdollistaa pumppu- ja puhallinkäyttöjen sulavan käynnistämisen ja nopeuden säädön.

- Vaihtosuuntaaja tuulimyllyissä mahdollistaa saatavan sähköenergian muokkaamisen käytettävään muotoon.
- Taajuusmuuttajia käytetään laivojen ohjaus- ja työntövoimajärjestelmissä.

Taajuusmuuttaja rakentuu yleensä seuraavista pääkomponenteista:

- tasasuuntaajasta, joka tasasuuntaa verkosta otettavan vaihtojännitteen (AC) tasajännitteeksi (DC).
- välipiiristä, joka sisältää DC-kiskoston sekä välipiirin kondensaattorit, jotka toimivat laitteen energiavarastona.
- vaihtosuuntaajasta, joka muodostaa välipiirin DC-jännitteestä halutun taajuista ja jännitteistä vaihtojännitettä.

Taajuusmuuttajia valmistetaan lisäksi ilman tasasuuntaajaa. Näitä laitteita kutsutaan inverttereiksi. Invertterit ovat yleisesti käytössä common DC-busjärjestelmissä joissa useampi invertteriyksikkö ajaa omaa moottoriaan. Tämän järjestelmän yhteistä DC-kiskostoa syöttämässä käytetään yleensä AFE-teknologiaa käyttäviä taajuusmuuttajia. AFE-laite synkronoi itsensä käytettävään sähköverkkoon ja tuottaa DC-jännitteen invertteriyksiköille. Tarvittaessa AFE-laite voi myös ajaa energiaa takaisin verkkoon päin. Esimerkiksi Vaconin perinteinen testausjärjestelmä toimii näin.

3 TUOTANTOTESTAUKSEN TARKOITUS

Tuotannossa tapahtuvalla testauksella on useita eri tarkoituksia, kuten tuotantovirheiden havaitseminen, alihankinnan laadun varmistus sekä jatkuvan tuotekehityksen mukanaan tuoma tuotteen muutosten varmistus.

Laadunvarmennus tuotannossa sisältää työohjeet, visuaalisen tarkastuksen sekä lopuksi tuotantotestauksen. Käytäntö on osoittanut, että vaikka työohjeet ja visuaalinen tarkastus suoritetaan, löytyy merkittäviä määriä huolellisuusvirheitä vielä testauksessa.

Alihankinnan laadun varmistamisessa tuotantotestaus on tärkeä tekijä. Erilaisia viallisia komponentteja pyritään havaitsemaan mahdollisimman tehokkaasti. Kokonaisia viallisia komponenttieriä saadaan kiinni testauksen havaitessa toistuvaa vikaa samoissa osissa. Esimerkiksi, erilaisissa piirikorteissa havaitaan suhteellisen paljon vikoja vielä tuotantotestauksessakin vaikka nämä kyseiset komponentit on jo varmistettu toimiviksi piirikorttivalmistajien toimesta.

Kolmantena isona asiana testauksen tarkoituksenmukaisuudessa on jatkuvan tuotekehityksen haasteet. Olemassa olevia tuotteita kehitetään jatkuvasti niin raudan kuin ohjelmistonkin osalta. Laajat ja kattavat testausjärjestelmät mahdollistavat näiden muutoksien varmistuksen mahdollisimman laajalla skaalalla.

Testaussekvenssejä pyritään luonnollisesti kehittämään siihen suuntaan, että tiedetyt vikamoodit tulevat esiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Täten pyritään minimoimaan aika, joka kuluu viallisen tuotteen tunnistamisessa ja korjaukseen toimittamisessa.

4 TULEVAISUUDEN TUOTANTOTESTAUS

Tulevaisuus asettaa Vacon Oyj:n testausmetodeille ja laitteistolle paljon uudenlaisia vaatimuksia. Nopea kasvaminen ja laajeneminen globaaliin tuotantomalliin asettaa testauslaitteiden, raudan ja ohjelmistojen osalta, vaatimuksia aina nopeasta ja sujuvasta käyttöönotosta itse tuotannon ajon helppouteen ja kustannusten rajun laskemiseen.

4.1 Modulaarisuus ja standardointi

Uusien testauslaitteistojen suunnittelussa on pyritty mahdollisimman suureen modulaarisuuteen ja osien standardointiin, jotta mahdollistettaisiin helppo käyttöönotto ja eri laitteistonosien huolto. Tällaiset testauslaitteistot säästävät myös kustannuksia merkittävästi kun laitteistojen määrää lisätään jatkossa ympäri maailmaa. Kustannussäästöjä syntyy jo pelkästään suunnittelukustannuksien eliminoiduessa laitteistojen määrää lisättäessä.

Nykyiset järjestelmät ovat enemmän tai vähemmän kaikki suunniteltu erikseen ja ovat keskenään hyvinkin erilaisia. Tällainen kaikkien laitteistojen ainutkertaisuus lisää merkittävästi erilaisten varaosien tarvetta ja lisää täten myös kustannuksia. Näiden lisäksi jatkuva usean erilaisen ympäristön huolto- ja kalibrointityö vaatii henkilökunnalta suurta ammattitaitoa, jota ei voi helposti järjestää Vaasan tehtaan ulkopuolelle.

Testausuunit on uusissa modulaarisissa laitteistoissa pyritty erottamaan itse kuormitusyksiköistä, jolloin ne voidaan vikatilanteessa helposti vaihtaa. Pienempiä kokonaisuuksia on myös helpompi käyttöönottaa maailmalla, koska nämä pienemmät kokonaisuudet voidaan valmistella ja käyttöönottaa Vaasassa. Maailmalle voidaan siten lähettää valmiiksi testattu ja lähes toimintakykyinen testauslaitteisto. Valmiin laitteiston sijoituspaikalla tarvitsee ihannetilanteessa tehdä vain minimaaliset kytkentätyöt.

Uudet tuotantolinjat tulevat olemaan "lean"-tyyppisiä eli näiden uusien laitteistojen täytyy olla tyypiltään sellaisia, että niitä voidaan käyttää "one piece flow"-tyyppisissä linjaratkaisuissa.

"One piece flow"-tyyppisissä linjoissa yksi työvaihe käsittelee aina kerrallaan vain yhtä tuotetta. Tämän tuotantotavan hyväksi puoliksi voidaan laskea mm. minimaalinen keskeneräisen työn määrä, laadunvalvonnan helpottuminen ja selkeä kuva tuotannon vaiheista. Kantavana ideana on kuitenkin eri solujen tahtiaikojen yhdenmukaisuus, mikä koskee myös testauslaitteistoa. Tällöin testauksen tahtiaika tulee saada hyvin lähelle samaa mikä on linjan muissa työpisteissä. Tämä asettaa uusia vaatimuksia raudan ja jopa testausideologian tasolla. Koska laitteistot sijaitsevat tuotantolinjoilla täytyy niiden suunnittelussa ottaa huomioon myös melu ja turvallisuus aivan uudella tavalla. /1/

4.2 Testaustavat

Testauksen muuttuessa linja ratkaisun suuntaan, alkavat myös nykyiset testaustavat ja sekvenssit olla käyttökelpoisuutensa päässä. Tämän vuoksi on otettu aivan uusi lähtökohta sekvenssien suunnitteluun, joka pyrkii eliminoimaan turhat ja mitään lisäarvoa antamattomat testiaskleet sekä mahdollistamaan testaus tulevilla linjaratkaisuissa. Nämä uudet testaussekvenssit tulevat olemaan huomattavasti nopeampia ja yksinkertaisempia kuin nykyiset sekvenssit.

Linjatestauslaitteistojen yksinkertaistetun testauksen lisäksi halutaan kuitenkin säilyttää mahdollisuus perusteellisempaan testaukseen. Tätä testausta tullaan toteuttamaan normaalin testauksen rinnalla, omalla tähän tarkoitukseen rakennetulla laitteistolla. Testausajat tässä niin sanotussa HASS-testauksessa ovat huomattavasti normaalia testausta pidemmät, jopa yli vuorokauden testaus on mahdollista. HASS-testauksen tarkoituksena on keinotekoisesti vanhentaa laitetta lyhyessä ajassa haluttu määrä. Esimerkiksi puolen vuoden käyttöä vastaava vanheneminen pyritään saavuttamaan vuorokaudessa. Tällaisen testauksen mahdollistaminen vaatii, että laitetta ajetaan speksinsä ylärajalla ja ylikin. HASS pyrkii mahdollis-

tamaan pitkän aikavälin ongelmien löytämisen ja ratkaisemisen ennen kuin niihin oikeasti törmätään.

5 TESTAUSKONSEPTIT

Tässä kappaleessa käydään läpi erilaisia testauskonsepteja sekä pohditaan hieman niiden heikkouksia ja vahvuuksia. Ensimmäisenä esiteltävä perinteinen testaustapa on tämänhetkinen käytössä oleva testaustapa. Tämän tavan lisäksi tuotannossa on tällä hetkellä testausta manuaalisesti sekä BackToBack-tyyppisellä uunilla. BackToBack on osoittautunut suurille tehoilla käyttökelpoiseksi järjestelmäksi ja on tällä hetkellä ainoa järjestelmä joka pystyy testaamaan suurimmat nestejäähdytteiset laitteet täydellä teholla, joka on noin 2MW.

Alla esiteltyjen testauslaitteistojen lisäksi kaikkiin järjestelmiin kuuluu myös sähköturvallisuuslaitteistot. Nämä testauslaitteistot voivat olla joko erillisiä testauspisteitä tai isotehoisissa järjestelmissä myös esitestaus erillisellä pienteho järjestelmällä on mahdollinen.

Kokonaisten testattavien tuotteiden lisäksi sovelletaan myös moduulivalmistus ja minifactory-konsepteja, joissa tuote pilkotaan pienemmiksi kokonaisuuksiksi ja testataan olennaisilta osiltaan. Esimerkiksi tuotteen tehoyksikkö voidaan tehdä varastoon ja testata valmiiksi odottamaan lopullista kokoonpanoa. Tilauksen saapuessa tehoyksikkö yhdistetään minifactoryssa muihin tilaukseen kuuluviin komponentteihin ja toimitetaan kokonaisuutena.

Tuotantotestaus kattaa yleisesti tuotteiden kokoonpanoon liittyvät asiat sekä yksittäisten komponenttien laadun varmentamisen. Itse testauksen lisäksi samat järjestelmät voivat hoitaa myös ohjelmistojen lataamisen tuotteeseen, mutta tämä prosessi pyritään yleensä suorittamaan etukäteen erillisessä työpisteessä.

Tuotantotestaus ei kata yksittäisten, valmistajilla testattujen komponenttien varmistusta muilta osin kuin itse testauksen kannalta on välttämätöntä. Tällaisia kokonaisuuksia ovat esimerkiksi piirikorttien IO-liittimet, jotka on todettu toimiviksi jo alihankkijoilla.

5.1 Perinteinen testaustapa

5.1.1 Yleistä

Perinteisellä testaustavalla tarkoitetaan tässä Vacon Oyj:n nykyistä oikosulkumoottoreihin perustuvaa testausmenetelmää. Tämä on erittäin luonteva tapa testata taajuusmuuttajia ja inverttereitä, koska näin testattavat laitteet toimivat normaalisessa toimintaympäristössään eli moottoreilla. Tällä menetelmällä voidaan saavuttaa erittäin hyvä testauskattavuus.

Johtuen tuotannon laajasta moottorivalikoimasta, joka ylettyy 1.1kW:n moottoreista aina 1000kW:n moottoreihin, nämä järjestelmät toimivat myös osaltaan tuotekehityksen suunnittelun ja taajuusmuuttajien uusien firmware versioiden testauksessa.

Huonona puolena perinteiset järjestelmät ovat, varsinkin tehokkaammassa päässä, hyvin raskaita kokonaisuuksia sisältäen suuret syöttömuuntajat, raskaat kaapeloinnit koko virtaketjussa, suuret kuormalaitteet, moottorikentät ja sähkötilat, tilojen jäähdytyslaitteistot, sähkökeskukset sekä tarvittavan testausuunin.

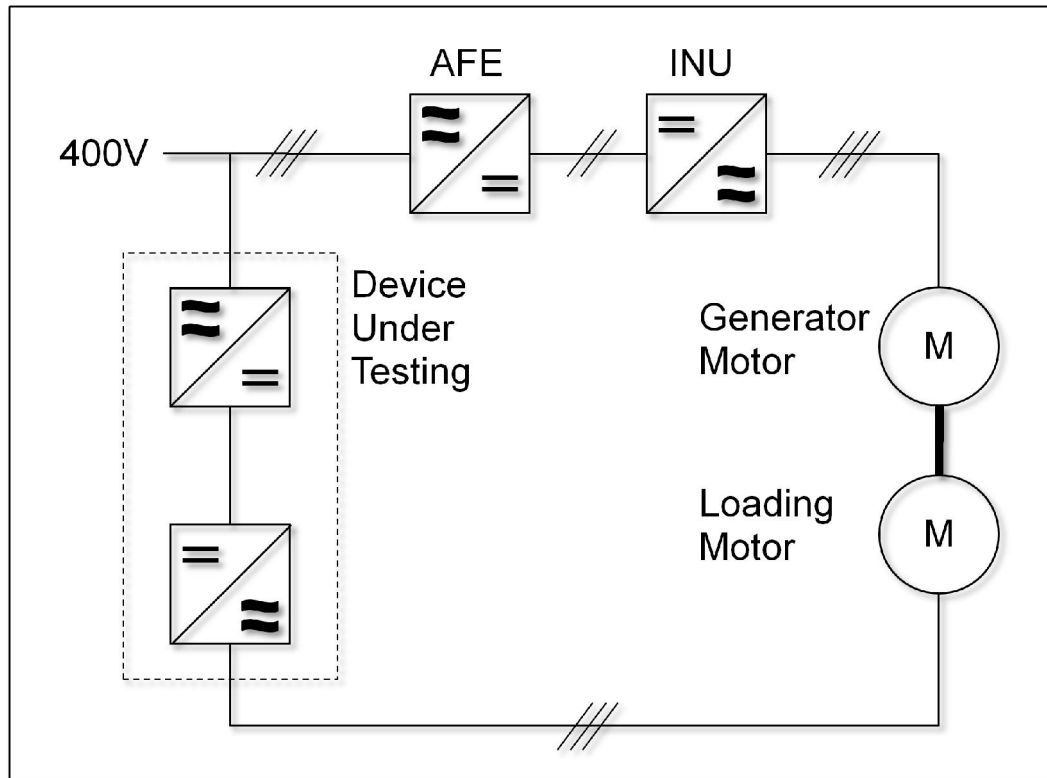
Moottorikentät ja sähkötilat on yleensä rakennettava erikseen, mikä on kallista ja kestää kauan. Näihin tiloihin on lisäksi rakennettava tehokas ilmastointilaitteisto käsittelemään suuri lämpökuorma. Suuritehoiset sähkömoottorit on kalliita ja niiden toimitus voi kestää todella kauan. Nämä asiat vaikeuttavat perinteisten järjestelmien globaalia rakentamista merkittävästi ja tällaisten järjestelmien rakentamista halutaankin tulevaisuudessa välttää.

5.1.2 Testauslaitteisto

Laitteisto koostuu normaalisti yhdestä tai useammasta oikosulkumoottoriparista, joka sisältää kuormituspuolen moottorin ja generaattoripuolen moottorin. Näiden moottorien akselit on kytketty toisiinsa akselilytkimen avulla.

Generaattoripuolen moottorit on kytketty Vaconin Common DC-bus-järjestelmään. Tämä järjestelmä sisältää moottorien määrästä riippuen yhden tai useamman moottoripuolen invertterilaitteen ja sähköverkkoon kytketyn regeneratiivisen AFE-laitteen (kuva 1). Kokonaisuutena laitteisto mahdollistaa energian syöttämisen takaisin sähköverkkoon. Kuormituspuolen moottorit on taas puolestaan kytketty tähti/kolmio valitsimien kautta testattavan laitteen moottorilähtöön.

Moottoreiden ja niiden tarvitsemien komponenttien lisäksi järjestelmä sisältää tarvittavat monijännitemuuntajat, jarruvastukset sekä testattavan laitteen syötön jännitevalintakomponentit. Testattavan laitteen syötöksi on tyypillisesti mahdollista valita 230V:n, 400V:n, 500V:n tai 690V:n kolmivaiheinen syöttö. Näiden lisäksi joissakin pienitehoisissa järjestelmissä on mahdollista valita 230V:n yksivaiheinen syöttö. Generaattoripuolen syöttö on puolestaan vakioitu ennalta valittuun jännitteeseen, joka on tyypillisesti 400V:a. Tämä laitteisto mahdollistaa testattavan laitteen kuormittamisen ja funktionaalisen testaamisen suhteellisen pienellä virrankulutuksella, koska kuormitusvirta saadaan, häviöitä lukuun ottamatta, kierätettyä generaattorin kautta takaisin sähköverkkoon. Poikkeuksen tähän tilanteeseen muodostaa generaattoripuolen moottoreiden mahdolliset ylösajot sekä jarruttaminen. Jarrutustilanteessa kaikki energia ajetaan jarruvastuksiin ja muutetaan lämmöksi, joten energiaa ei voida ajaa takaisin verkkoon. Näissä tilanteissa tarvitaan riittävän tehokas syöttö, mistä johtuukin osaltaan raskaat syöttökomponentit.



Kuva 1 Perinteisen testausjärjestelmän mukainen yksinkertaistettu periaatekuva

5.1.3 Testaaminen

Kuormittaminen

Testattavan laitteen kuormittamisella tarkoitetaan virran ajamista halutulla lähtötaajuudella laitteen pääpiirin läpi. Tämä voidaan perinteisellä testausmetodilla saavuttaa usealla eri keinolla. Erilaisilla keinoilla on mahdollista varmentaa testattavasta laitteesta eri asioita. Yksinkertaisimmillaan testattavan laitteen virtaraja asetetaan haluttuun virta-arvoon ja generaattoripuolen moottorin taajuus asetetaan sopivasti testattavan laitteen taajuuden alle. Tämä saa testattavan laitteen ajamaan omaa virtarajaansa vasten. Matalilla taajuuksilla on lisäksi mahdollista kuormittaa laitetta ilman generaattoripuolta pelkästään ajamalla normaalia korkeammalla lähtöjännitteellä.

Laukaisut

Perinteinen testaustapa mahdollistaa helpolla tavalla toteutettavat suojalaukaisut kuten ylivirta- ja ylijännitelaukaisun. Ylivirta saavutetaan sammuttamalla testattavasta laitteesta ylivirtasäätimet ja nostamalla taajuus erittäin nopeasti. Tällöin laitteen lähtövirta ylittää ylivirtasuojan virtarajan ja aiheuttaa ylivirtavikalaukaisun. Ylijännitelaukaisu puolestaan saavutetaan sammuttamalla laitteesta ylijännitesäätimet ja ajamalla generaattoripuolelta energiaa takaisin laitteen suuntaan. Tämä aiheuttaa DC-välipiirin jännitteen nousun ja vikalaukaisun ylijännitteeseen.

5.2 AFE-konsepti

5.2.1 Yleistä

AFE-konsepti oli yksi ensimmäisistä vaihtoehtoisista järjestelmistä. Kyseisellä periaatteella on jo rakennettu yksi testausjärjestelmä, joka sisältää kaksi testauspaikkaa. Kyseisen järjestelmän tuotantokäyttö on tosin tähän päivään mennessä ollut hyvin vähäistä johtuen laitteiston kelpoisuudesta muuhunkin käyttöön. Tästä johtuen uunin päätarkoitus onkin ollut muiden vaihtoehtoisten testauskonseptien testauksessa ja tutkimustyössä.

Tällaisen järjestelmän rakentaminen on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin perinteisten järjestelmien. Järjestelmän vaatimat tilat ovat huomattavasti vastaavan tehoista perinteistä järjestelmää pienemmät koostuen vain itse testausuunista ja pienestä sähkötilasta. Laitteiston syöttö voidaan järjestää myös huomattavasti kevyemmällä muuntajalla ja kaapeloinnilla pienestä virrankulutuksesta johtuen. Pieni virrankulutus saavutetaan kierrättämällä olemassa olevaa energiaa takaisin laitteelle ja ottamalla verkosta vain häviöt. Tämä eroaa perinteisestä siten, että energiaa ei ajeta takaisin verkkoon vaan kierrätetään järjestelmässä sisäisesti. Kevyttä syöttöä voidaan myös perustella siten, että koska laitteisto ei pysty nykytilassaan jarruttamaan jarrukatkojalla, ei suurta virran tarvetta missään tilanteessa synny.

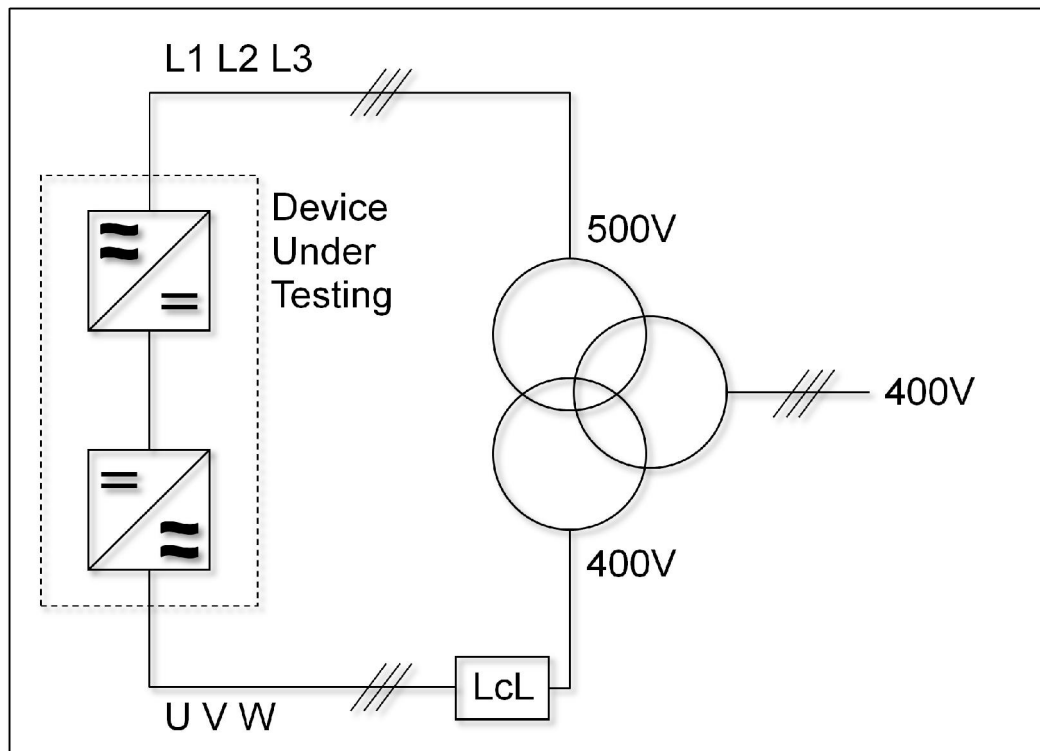
Tämä järjestelmä pystyy testaamaan ainoastaan taajuusmuuttajia jos ulkoista tasasuuntaajaa ei käytetä. Ulkoisen tasasuuntaajan kanssa myös invertterilaitteiden testaus on mahdollista.

5.2.2 Testauslaitteisto

AFE-konseptin laitteisto on suhteellisen yksinkertainen, koostuen vain sopivasta muuntajasta, LCL-suotimesta sekä kytkentöihin tarvittavista komponenteista.

Muuntaja poikkeaa normaaleista kolmivaihemuuntajista siltä osin että se sisältää kolmioon (D) kytketyn ensiökäämin lisäksi kaksi kappaletta tähteen (Y) kytkettyjä toisiokäämejä. Nämä toisiokäämit on lisäksi säästökytketty kahden jännitealueen saavuttamiseksi. Ensiöjännitteen ollessa 400V:a tuottaa toinen toisiokäämi 500V:n ja 690V:n jännitteet, tämä on testattavan laitteen syöttöpuoli. Toinen toisiokäämi tuottaa samalla 400V:n ensiöjännitteellä 400V:n ja 590V:n jännitteet, tätä kutsutaan kuormituspuoleksi. Näistä jännite pareista on käytössä aina samanaikaisesti vain toinen, eli joko 500V:n ja 400V:n pari tai 690V:n ja 590V:n pari (kuva 2). Kaikki käämit on toisistaan galvaanisesti erotettuja. Toision tähtipisteitä ei ole maadoitettu joten järjestelmä on kelluva.

Kuormituspuolen 400V:n ja 590V:n syöttöihin on kytketty asianmukaiset LCL-suotimet. Näiden suotimien tarkoituksena on muokata testattavan laitteen lähtöjännitteen aaltomuoto mahdollisimman lähelle siniaaltoa. Tämä on tarpeellista, siksi että testattava laite saadaan synkronoitua sähköverkkoon.



Kuva 2 AFE-konseptin mukainen yksinkertaistettu periaatekuva.

5.2.3 Testaaminen

Kuormittaminen

AFE-konseptin mukainen järjestelmä on pääasiassa suunniteltu testattavan laitteen termiseen kuormittamiseen. Ennen kuin testattavaa laitetta voidaan testata, on laitteeseen, muista konsepteista poiketen, ladattava erikoissovellus, joka mahdollistaa laitteen toimimisen AFE-tilassa. AFE-sovellusta tarvitaan testattavan laitteen verkkoon synkronointia varten. Kuormitustilanteessa virta kiertää kuormituspuolen toisiokäämiin kautta syöttöpuolen toisiokäämiin. Ensiöpuolen tehtävänä on laitteen alkulatauksen jälkeen vain syöttää komponenteissa tapahtuvat tehohäviöt takaisin virtapiiriin. Testattavan laitteen läpiajettavaa virtaa voidaan helposti säätää käyttämällä testattavan laitteen virtarajaa.

Suojalaukaisut

Suojalaukaisujen suorittaminen AFE-konseptin mukaisessa järjestelmässä ei ole aivan mutkatonta. Koska taustalla ei ole mitään komponenttia, kuten pyörivää

moottoria, täytyy ylijännitelaukaisuun tarvittava ylimääräinen jännite tuoda jollain ulkoisella keinolla, kuten säädettävällä DC-jännitelähteellä. Tätä mahdollisuutta ei ole vielä kokeiltu. Ylivirta laukaisun kanssa on samankaltaisia ongelmia. Johtuen moottorin puutteesta, ylivirtaa ei voida saavuttaa helposti moottorilla ylikuormittaen. Ylivirtalaukaisu voidaan kuitenkin saavuttaa korkeilla nollataajuuden jännitteillä tai käynnistämällä testattava laite ilman synkronointia verkkoa vasten.

5.3 BackToBack-konsepti

5.3.1 Yleistä

BackToBack-konsepti on toinen vaihtoehtoisista konsepteista jolle on rakennettu tuotantoon omat testausjärjestelmät. Tämän järjestelmän alkuperäiset testit ja kehitys tehtiin AFE-konseptin uunissa käyttäen uuniin rakennettua testauslaitteistoa.

BackToBack-konseptilla on mahdollista saavuttaa hyvin suuria virtoja suhteellisen edullisilla komponenteilla ja pienellä virrankulutuksella. Esimerkiksi nyt rakennettu järjestelmä pystyy ajamaan jatkuvasti yli 2000A:n virralla ottaen verkosta vain noin 140A:a. Virrankulutuksen vähäisyys selittyy samalla tavalla kuin AFE-konseptissa eli verkosta otetaan vain komponenteissa syntyvät tehohäviöt ja olemassa olevaa tehoa kierrätetään.

Nykyisellään tämä järjestelmä kykenee testaamaan vain invertterilaitteita, johtuen tarvittavasta DC-välipiirien yhdistämisestä. Taajuusmuuttajien testaaminen onnistuu vain jos voidaan hyväksyä tulosillan testaamattomuus tai kehitetään erillinen testaus sitä varten.

Erityispiirteenä voidaan mainita virtapiirissä kulkeva suurehko 150Hz kiertovirta, joka on suuruusluokaltaan noin 35–40%:a ajettavasta virrasta. Ilmiö esiintyi huomattavasti voimakkaampana konseptin testausvaiheessa jolloin suuruusluokka oli yleensä lähempänä 100 %. Ilmiön pieneminen tuotantolaitteistolla voidaan selittää huomattavasti symmetrisemmällä järjestelmällä. Tätä virtaa on pyritty eliminoimaan erilaisilla kuristimilla ja commonmode-suotimilla, mutta varsinkin

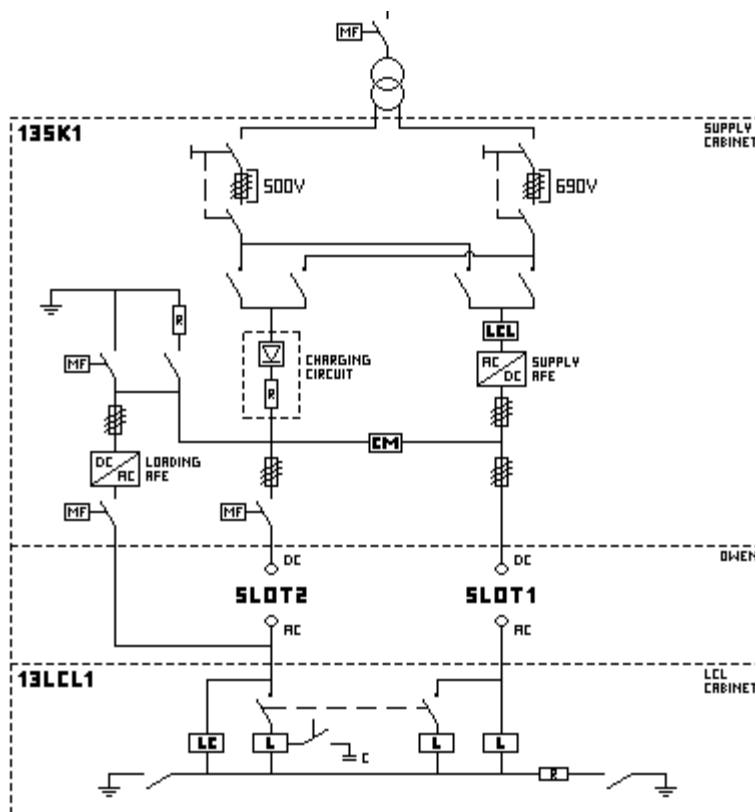
suurilla virroilla suotimien lämpötilat aiheuttavat ongelmia. Vaihtoehtoinen ratkaisu ongelmaan on ladata laitteeseen räätälöity firmware, joka ei sisällä ongelman aiheuttavaa toimintoa. Tällöin testattavassa laitteessa jouduttaisiin käyttämään firmwarea joka ei ole tuotantokäytössä. Tällaista tilannetta ei pidetä hyväksyttävänä. Tällä hetkellä asiasta on käsitys, että kiertovirta ei aiheuta mitään mairittavia ongelmia ja tällä perusteella kyseiset suotimet on poistettu käytöstä.

5.3.2 Testauslaitteisto

BackToBack-tyyppinen testauslaitteisto koostuu nimellistehoon nähden pienestä syöttävästä AFE-laitteesta, joka syöttää itse testauslaitteistoon tehohäviöt sekä yhdestä kuormittavasta AFE-laitteesta, joka on vähintään yhtä suuri kuin suurin haluttu testattava laite. Järjestelmään kuuluva LCL-suodin poikkeaa tavallisesta LCL-suotimesta verkon puoleisen kelan osalta, joka on symmetrisessä versiossa korvattu samanlaisella kelalla kuin laitteenpuoleinen. LCL-suodin on mitoitettu suurimman mahdollisimman testattavan laitteen ehdoilla. Tämä ei välttämättä ole täysin optimaalinen pienemmille laitteille. On myös mahdollista käyttää suotimia rinnan kytkettyinä, jolloin optimaalista aluetta saadaan paremmaksi. Tällaisessa järjestelyssä suotimia kytketään testattavalle laitteelle sopiva määrä (kuva 3).

Kuormittava AFE käyttää lisäksi FFE eli Fundamental Front End laitteille tarkoitettua jännitteenmittausoptio korttia D7 sekä asiaan kuuluvaa muuntajaa, jolla verkkojännite lasketaan D7 kortille sopivammalle tasolle. Tämä lisäkortti mahdollistaa kuormituslaitteen synkronoinnin testattavaan laitteeseen huomattavasti pienemmällä virtapiikillä. Lisäksi tämä optiokortti mahdollistaa huomattavasti luotettavamman synkronoinnin tason testattavan laitteen kanssa kuin se, mikä saavutettaisiin pelkästään AFE-sovelluksella. Virtapiikkiä on lisäksi vielä mahdollista pienentää käyttämällä erikoisversiota firmwaresta, jossa on käytössä uuden sukupolven AFE-laitteille tarkoitettu pehmökäynnistys funktio. Tämä firmware on asennettu viimeisimpien päivitysten yhteydessä olemassa oleviin järjestelmiin ja se on tuntuvasti parantanut synkronoinnin onnistumista pienempivirtaisissa testattavissa laitteissa.

Konsepti mahdollistaa myös kahden samanlaisen testattavan laitteen ajamisen samanaikaisesti, jolloin toinen testattava laite korvaa kuormittavan laitteen. Tähän liittyy kuitenkin jonkin verran teknisiä ongelmia, kuten laitteiden synkronointi ja testauksen yleinen hallinta. Lisäksi tämä vaatii AFE-sovelluksen käyttämistä myös testattavissa laitteissa ja täten se estää normaalin sarjaliikenteen kautta tapahtuvan käynnistämisen. Tämä on korjattavissa sovelluksesta tehdyllä erikoisversiolla tai lisä I/O:n käyttämisellä.



Kuva 3 LCL BackToBack-konseptin yksinkertaistettu periaatekuva.

5.3.3 Testaaminen

Kuormittaminen

BackToBack-konseptin mukaisessa testaamisessa kuormitus AFE on kytketty DC-välipiiristään suoraan testattavan laitteen DC-välipiiriin ja AC-terminaaleistaan LCL-suotimien kautta testattavan laitteen moottorilähtöön. Kuormituksen aikana virta kiertää edellä mainitussa piirissä ja ottaa tarvittavan häviöistä johtuvan lisätehon pienen syöttö AFE:n kautta.

6 CASE: BACKTOBACK-KONSEPTI VAP3

6.1 Yleistä

VAP3 on alkutalvesta 2008 valmistunut BackToBack-konseptin mukainen testausjärjestelmä jossa on kaksi erillistä testausuunia. Järjestelmän DC-pääpiirin nimellinen mitoitus on tehty 2000A:n virralle ja noin 1000V:n jännitteelle. Järjestelmä sisältää tarvittavat komponentit sekä ilma- että nestejäähdytteisten laitteiden testaamiseen, painopisteen kuitenkin ollessa nestejäähdytteisissä. Järjestelmän piirikaavio on nähtävissä liitteessä 1.

Vaikka VAP3 edustaakin Vaconin uuden sukupolven testausjärjestelmiä, niin kokonaisuutena se ei ole niin yksikertainen tai kompakti kuin mahdollista. Tämä johtuu pääasiassa uunin ja sähkötilan jäähdytysjärjestelyistä sekä järeästä nestejäähdytysyksiköstä. Näistä huolimatta järjestelmä on antanut paljon kokemuksia siitä kuinka tämän tyyppinen järjestelmä toimii ja kuinka näitä tulisi tulevaisuudessa suunnitella ja rakentaa.

6.2 Järjestelmän käyttöönotto

6.2.1 Yleistä

Järjestelmän käyttöönotto suoritettiin kahdessa osassa. Tämän ansiosta ensimmäisellä uunilla voitiin aloittaa testauksen harjoittelu ja kokeet aikaisemmin. Käyttöönotto ei kokonaisuutena ollut erityisen ongelmaton vaan useita kohtuullisen isoja ongelmia jouduttiin ratkomaan tänä aikana. Näitä ongelmia oli monella eri alueella aina sähkökeskuksista ohjelmoitaviin logiikoihin.

6.2.2 Logiikat ja kenttäväylä

Järjestelmän sähkökytkennöistä, ilmastoinnista sekä nestejäähdytyksestä huolehtivat logiikat ovat osoittautuneet ongelmallisiksi osittain käyttöönoton ja osittain vikaherkkyuden vuoksi.

Laitteisto sisältää kaksi erillistä logiikkaa, joista ensimmäinen hoitaa nestejäähdytyksen, osittain sähkötilan ilmastoinnin sekä yhden ennestään olemassa olevan perinteisen järjestelmän ohjauksen. Toinen logiikka puolestaan ohjaa uusien VAP3-uunien ilmastointia sekä sähkökytkentöjä ja lisäksi vielä omalta osaltaan sähkötilan ilmastointia.

Logiikat on kytketty erilaisiin ohjattaviin laitteisiin kuten taajuusmuuttajiin ja hajautettuihin I/O-järjestelmiin profibus-kenttäväylällä sekä prosessitietokoneisiin ethernet-verkolla. Väylät kulkevat keskusten sisällä kuparisilla profibus-kaapeleilla ja keskusten välissä valokuituyhteyksin.

6.2.3 Ilmastointi

Sähkötilan jäähdytys oli alun perin täysin ensimmäisen logiikan varassa, mutta uusien järjestelmien lisäämä lämpökuormitus vaati lisjäähdytyksen rakentamista ja niiden ohjaus toteutettiin uuden logiikan ohjaamana.

Jäähdytys toimii tällä hetkellä puhtaasti ulkoilman tai sähkötilan ilman varassa. Järjestelmä sisältää myös suorahöyrystinpatterit, jotka mahdollistavat tehokkaamman jäähdytykseen, mutta näitä ei ole voitu vielä testata vaadittavan korkean ulkolämpötilan vuoksi.

6.2.4 Nestejäähdytys

Nestejäähdytystä tarvitaan sähkökeskuksissa olevien isojen nestejäähdytteisten inverttereiden sekä testattavien nestejäähdytteisen inverttereiden jäähdyttämiseen. Jäähdytys on hoidettu avoimeen kiertoon lämmönvaihtimen kautta kytketyllä Chiller-jäähdytysyksiköllä. Tämä laitteisto pyrkii jäähdyttämään nestekierron nesteen joko kompressoreilla, tai jos ulkolämpötila on riittävän alhainen, lauhduttamalla.

6.2.5 Kuormituslaitteet

Kuormituslaitteena järjestelmässä toimii 1900A:n 690V:n invertteri, jota ajetaan kuormitusilanteessa maksimisissaan nimellisellä 1900A:n kuormalla, eli noin 1.8MW:n teholla. Koska invertteri toimii AFE-moodissa ja piirissä kulkevan ylimääräisen kiertovirtakomponentin ansiosta, laite on jatkuvasti ylikuormituksessa. Laitteen elinikäodotus on varmasti normaalia pienempi, mutta nähtäväksi jää kuinka paljon. Tätä kirjoitettaessa ensimmäisen uunin kuormituslaite on ilman ongelmia ajanut noin 1400h ja käynyt läpi noin 2000 päälle/pois sykliä.

Kuormituslaitteiden järjestelmäohjelmistoina on jouduttu käyttämään tavallisesta poikkeavaa ohjelmistoa, joka mahdollistaa mahdollisimman pehmeän synkronoinnin testattavaan laitteeseen. Tämä versio ohjelmistosta jouduttiin kehittämään käyttöönoton yhteydessä jotta mahdollisimman suuri skaala laitteita voidaan testata VAP3 järjestelmässä.

6.2.6 Prosessitietokoneet

Testausjärjestelmään on liitetty ethernetin välityksellä kaksi tietokonetta. Näistä toinen toimii valvomona ja toinen testauskoneena eli testauksen käyttöliittymänä ja testausta ohjaavana sekvensserinä.

Valvomo ei ole välttämätön laitteiston toiminnan kannalta, mutta sitä voidaan käyttää vikatilanteiden ratkaisussa ja laitteiston parametrien hallinnassa. Valvomon ohjelmisto rakennettiin paikan päällä alihankkijan toimesta.

Testauskoneen ohjelmistona käytetään talon sisäistä testausohjelmistoa, joka räätälöitiin sopivaksi tälle laitteistolle. Ohjelmiston modulaarisen rakenteen ansiosta tämä ei tuottanut kovinkaan paljon vaikeuksia ja suurin osa tarvittavasta toiminnallisuudesta oli jo olemassa. Ohjelmisto kommunikoi muun järjestelmän kautta Siemensin OPC-serverin välityksellä. Tämä kommunikointitapa on ollut ennestään käytössä osassa vanhempia testereitä ja kommunikointitapa pyritään tekemään standardiksi tulevaisuuden testilaitteistoissa.

7 Testauskonseptien soveltuvuus

7.1 Yleistä

Jokainen tässä työssä esitellyistä konsepteista sisältää omat hyvät ja huonot puolensa. Ne ovat osaltaan rajoittuneita soveltuvuudeltaan erilaisiin tarkoituksiin.

Vaikka moottorijärjestelmät ovat ehdottomasti monipuolisimpia järjestelmiä erilaisten testien suorittamiseen, ne ovat myös kaikkein hintavimpia ja raskaimpia näistä vaihtoehdoista. Moottorittomien laitteistojen yhteiseksi suureksi eduksi voidaan lukea huomattavasti alhaisempi hinta ja suhteellisen yksinkertainen toteutus. Heikkouksina voidaan mainita soveltuminen lähinnä tietyille tehoalueille.

Yhteenvedona voidaan todeta, että vaikka perinteiset järjestelmät ovatkin monipuolisia, niiden hinnan ja raskauden vuoksi niiden käyttö tulisi uusissa järjestelmissä rajoittua täydentämään edullisten moottorittomien järjestelmien suorittamaa massatestausta. Tästä ylöspäin testaus tulisi suorittaa BackToBack-konseptin mukaisilla järjestelmillä aina noin 2000A:n luokkaan asti, tarvittaessa ehkä korkeammallekin.

7.2 Konseptien heikkoudet ja vahvuudet

Perinteinen moottorijärjestelmä on

- + monipuolinen ja testaamisen kannalta joustava järjestelmä
- + hyvin varmennettu konsepti
- + soveltuva taajuusmuuttajien ja inverttereiden testaamiseen.

- kallis järjestelmä
- raskas
- hidasta valmistaa ja toimittaa
- virrankulutukseltaan suuri joissain tilanteissa.

AFE-konseptin mukainen järjestelmä on

- + yksinkertainen
- + edullinen
- + kompakti
- + soveltuva taajuusmuuttajien ja inverttereiden testaamiseen.

- vaativa sovelluksen suhteen
- hankala käynnistää ilman erikoissovellusta
- huonosti soveltuva suurille tehoille
- vähän testattu teknologia.

BackToBack-konseptin mukainen järjestelmä on

- + soveltuva erittäin suurille virroille
- + edullinen
- + luonnostaan vakaa testausympäristö
- + käytössä olevaa teknologiaa, josta jo jonkin verran kokemusta
- + soveltuva suurelle skaalalle erilaisia laitteita.

- uutta teknologiaa
- ainoastaan inverttereille soveltuva.

KIRJALLISUUTTA

/1/ Strategos Inc 2009. One Piece Flow - Magic or Myth? [viitattu 30.3.2009].

Saatavilla www-muodossa:

<URL:<http://www.strategosinc.com/onepieceflow.htm>>

/2/ Vacon Oyj 2008. Vaconin historia. [viitattu 4.11.2008]. Saatavilla www-

muodossa: <URL: <http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461929>>