

Marco Pala

Sähköistys-testilaitteen itsetestaus ja järjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.10.2015

Tekijä(t)	Marco Pala
Otsikko	Sähköistys-testilaitteen itsetestaus ja järjestelmän suunnittelu
Sivumäärä	53 sivua
Aika	3.10.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio ja -tietotekniikka
Ohjaaja(t)	Component Manager, Production Quality, Jani Angervuo Lehtori, automaatiotekniikka, Timo Tuominen
<p>Työn aiheena on ollut hissisähköistystesterin itsetestaustoiminnon suunnittelu. Tavoitteena on ollut määrittää sellainen itsetestaustoiminnon ratkaisu, joka paikantaa mahdolliset viat testilaitteen kytkennöissä: sen tuloissa ja lähdöissä (I/O) sekä sisään- että ulkokaapeloinnin tasolla.</p> <p>Hissisähköistyksen ja tuotannon testausympäristön esittelyn jälkeen on kartoitettu testilaitteen I/O-tyypit, niiden toiminta sekä niiden keskinäiset riippuvuudet. Kartoittamisen perusteella on sitten valittu itsetestaustoiminnolle komponentit ja suunniteltu lisäkytkennät, jotka fyysisesti mahdollistavat testilaitteen itsetestauksen. Itsetestaus on ajateltu toteutettavaksi funktionaalisen testausmenetelmän avulla, jolloin todetaan I/O-kanavien toimivuus signaaleja syöttämällä (heräte) ja niitä mittaamalla (vaste) joko testilaitteen omalla PXI-yleismittarilla tai sen tietoväylillä.</p> <p>Saadut tulokset ovat piirikaavioiden kokoelma, itsetestaussekvenssi ja demo-ohjelma. Piirikaaviot kuvaavat yksityiskohtaisesti itsetestaustoiminnon kytkennät. Itsetestaussekvenssi erittelee testausrutiinien askeleet ja niiden toiminnan. Näistä kahdesta koostuu perusdokumentaatio Kone Oyj:n käyttöön. Labview'n demo-ohjelma osoittaa lopussa itsetestaustoiminnot ja niiden logiikan.</p> <p>Työn pohjalta on mahdollista rakentaa itsetestaus-moduuli ja toteuttaa sen komponenttien konfigurointi.</p>	
Avainsanat	Testaaminen, I/O, sekvenssi, DUT, hissi, Labview

Author(s)	Marco Pala
Title	An Electrification Tester Self-Test Sequence and Hardware Design
Number of Pages	53 pages
Date	3.10.2015
Degree	Bachelor of Engineering (AMK)
Degree Programme	Automation engineering
Specialisation option	Manufacturing automation and Information Technology
Instructor(s)	Jani Angervuo, Component Manager, Production Quality Timo Tuominen, Senior Lecturer, Automation
<p>This thesis studies the design of a self-test concept for an elevator electrification testing system. A more precise aim has been to define a self-test solution which checks potential failures in the electrification tester inputs/outputs (I/O) at cabling and overall communication level.</p> <p>After introducing the elevator electrification and the production testing environment, the tester I/O types have been classified specifying their functioning and interdependencies. Basing on such specification, the study proceeds to select the self-test module's components and to design the needed additional wiring. Such hardware is to execute a functional self-test case, where signals (stimulus) are fed to the I/O channels and are then measured (response) by the tester PXI multimeter or by its serial buses.</p> <p>The main results of the study are the self-test wiring diagrams, a self-test sequence and a demo-program. The wiring diagrams specify the hardware design. The self-test sequence defines the testing steps and their purpose. Both results serve as a general documentation for the thesis hosting company KONE Oyj. The Labview demo-program is finally meant to demonstrate the self-test main routines.</p> <p>This study allows to build the above presented self-test module and to configure its components.</p>	
Keywords	Testing, I/O, sequence, DUT, elevator, Labview

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön määrittely ja rajaus	2
3	Hissisähköistys ja –tuotanto	4
3.1	Sähköistyksen osat	4
3.2	Sähköistyksen toiminta	5
3.2.1	Moottorin ohjaus taajuusmuuttajalla	5
3.2.2	Hissin ohjausjärjestelmä ja sen sarjaliikenneväylät	7
3.3	Tuotannon vaiheet	8
3.4	Tuotannon testaus	9
3.5	Testaus ja laadunhallinta	10
4	Itsetestattavan testilaitteen kuvaus	13
4.1	Itsetestattava testilaitte normaalisissa tuotantokäytössä	13
4.2	Itsetestattavan testilaitteen rakenne	14
4.2.1	Kaapeloinnit	14
4.2.2	Moduulit	14
5	Testilaitteen itsetestauksen suunnittelu	17
5.1	Testimenetelmä ja lähestymistapa	17
5.2	Suunnittelun lähtökohdat ja periaatteet	18
5.2.1	Rele-kanavien testaus	18
5.2.1.1	Rele-kanavien mittausperiaate	19
5.2.2	Sarjaliikenneväylien testaus	20
5.2.2.1	RS-485:n bittijono	21
5.2.2.2	L-väylä ja sen protokolla	21
5.2.2.3	T-väylä ja sen protokolla	23
5.2.2.4	Enkooderin signaali	24
5.2.2.5	RS-485-väylän mittaushuomioita	24
5.2.3	Ethernet	25
5.2.3.1	TCP/IP	25
5.2.3.2	Testaaminen	26
6	Piirikaavion suunnittelu	27
6.1	Piirikaavioiden tarkoitus ja muoto	27
6.2	Komponenttien valinnat ja niiden käyttö	27

7	Itsetestauksen sekvenssi	33
7.1	Vaatimukset	33
7.2	Sekvenssin rakenne ja toiminnot	33
7.2.1	Rele-DMM-kanavien tarkistus	34
7.2.1.1	Jännitteensyöttö	34
7.2.1.1.1	Käyttöjännitteiden mittaus	35
7.2.1.1.2	Jännitteen eristyksen ja vaihejärjestyksen mittaus	36
7.2.1.2	Muut I/O:t ja niiden perussekvenssi	37
7.2.2	Tietoliikenneväylien tarkistus	37
7.2.2.1	L-väylän testaus	38
7.2.2.2	T-väylän testaus	38
7.2.2.3	Enkooderin kanavan tarkistus	39
7.2.2.4	Ethernetin verifointi	39
8	Demo-ohjelma	41
8.1	Demo-ohjelman tarkoitus	41
8.2	Labview'n ohjelmointi ja simulointi	41
8.3	Demo-ohjelman osiot	42
8.3.1	Switch-MUX-DMM	42
8.3.2	RS-485	44
8.3.3	Enkooderi	45
8.3.4	Ethernet	46
8.3.5	Ohjelman pääsekvenssi	48
9	Yhteenveto ja kehityskohteet	50
	Lähteet	51

Lyhenteet

DMM: Digital multimeter, yleismittari PXI- versiona tässä työssä

DUT: Device Under Test, testattava koneisto

FCT: Functional testing, toiminnallinen testaus

I/O: input/output, testilaitteen tai testattavan koneiston tulot ja lähdöt

IP: Internet protocol

Labview: NI graafinen ohjelmointikieli

MUX: Multiplekseri

NI: National Instruments, ohjelmiston ja instrumenttien tuottaja

OSI: Open Systems Interconnection, tietokoneverkon standardisoitu malli

PCI: Peripheral Component Interconnect, tietokoneen sisäinen väylätyyppi

PXI: PCI eXtensions for Instrumentation, PCI:een pojautuva teollisuuden tietokoneen väylä

TCP: Transmission Control Protocol, OSI:n kuljetuskerrosta toteutuva protokolla

VISA: Virtual Instrument Software Architecture, pc-instrumenttien väliseen kommunikointiin tarkoitettu ohjelmointirajapinta

1 Johdanto

Hissin sähköistyksen kokoonpanon testaamiselle on testilaitte, jonka käyttövarmuutta ja vian etsintää helpottamaan suunnitellaan itsetestaustoiminto.

Nykyisellä tuotannon testausmenetelmällä hissitestilaitte ja hissikoneisto kytketään suoraan yhteen, jonka jälkeen testilaitte suorittaa mittaukset automaattisesti. Mikäli tässä prosessissa ilmenee vika, täytyy päätellä, onko viallinen osa testilaitteessa, hissikoneistossa tai niiden välisessä kaapeloinnissa. Jotta nämä tarkistukset olisivat helpompia, on testilaitteelle suunniteltu itsetestaussyksikkö, jolla voidaan väliajoin tarkistaa laitteen toimivuus ulkokaapeloinnin rajapintaan asti.

Itsetestaustoiminto on siis erillinen moduuli, joka testaa hissitestilaitteen. Se tarkistaa ovatko testilaitteen signaalikomponentit toimivia kokonaisuudessaan ja tämän perusteella näyttää testilaitteen tilan testisekvenssin demo-käyttöliittymässä, joka on määrä toteuttaa NI Labview:lla.

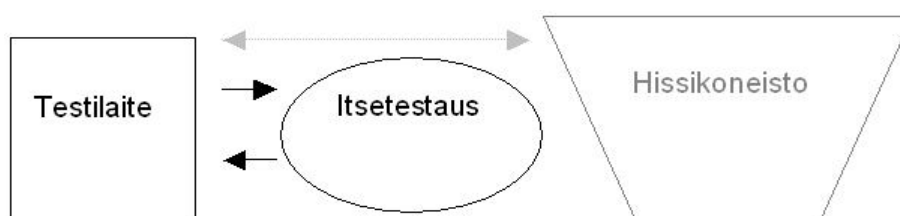
Itsetestaussyksikkö suorittaa testilaitteen toiminnallisen tarkistuksen (FCT - Functional Testing). Testilaitteen toimivuus todetaan siis syöttämällä tai aktivoimalla siihen signaaleja, joita mitataan. Keskeisessä osassa tässä työssä on lisäkytkentöjen suunnittelu testausta varten ja testaussekvenssin laatiminen.

2 Opinnäytetyön määrittely ja raja

Kuten johdannossa mainittiin, työn tarkoituksena on varmistaa hissitestilaitteen tulojen ja lähtöjen toimivuus ennen kuin niitä aletaan käyttää hissilaitteiston testauksessa. Tämä myös yksinkertaistaa testausprosessin, koska testilaitteessa voidaan poissulkea vikoja, mikäli testauksessa ilmenee ongelmia. Työn myötä kartoitetaan yksityiskohtaisesti tulojen ja lähtöjen tyyppi ja näin ollen luodaan pohja testerin nykyisen kytkennän arviointiin. Työssä käydään siten läpi testilaitteen I/O-blokit, tunnistetaan niiden toiminnot ja riippuvuudet testausprosessissa ja sen jälkeen testataan niitä yksi kerrallaan.

Edellytyksenä tämän työn toteuttamisessa on ollut vaatimusmäärittely, itsetestaussekvenssin konseptin laatiminen, ulkoisten kytkentöjen toteuttaminen konseptin mukaisesti ja lopussa sekvenssin ja demo-ohjelman suunnittelu.

Kokonaisvaatimuksena on havaita ja paikantaa testilaitteen mahdolliset kytkentäviat, jotka voivat vaikuttaa testaukseen. Tämä tehdään varmistamalla kaapeloinnit, testilaitteen I/O:t ja sen moduulit. Suunnittelun näkökulmasta itsetestaustoiminto sijoittuu loogisesti ja fyysisesti testilaitteen ulkokaapeloinnin rajapintaan (kuvio 1).



Kuvio 1. Itsetestauksen pääblokit

Testilaitteen käynnistyttyä suoritetaan itsetestaus. Jos itsetestaus läpäistään, testilaite voidaan kytkeä normaalisti hissilaitteistoon. Toisin sanoen testilaite ei voi olla itsetestauksen aikana yhteydessä testattavaan kohteeseen, vaan sen tila halutaan nimenomaan tarkistaa ensin. Kyseessä on funktionaalinen testausmenetelmä (FCT-testaus), joka tehdään itsetestaus-moduulin ja ulkoisten kytkentöjen avulla. Funktionaalisen menetelmän etuna on muun muassa testilaitteen testaaminen tämän ollessa normaalisti aktiivisena. Toisin sanoen päällä olevan testerin I/O:t kuormitetaan ja simuloidaan samalla tavalla kuin jos oltaisiin operoimassa normaalisti hissikoneiston kanssa ja tätä kautta todetaan sen toimivuus. Esimerkiksi tuloihin ja lähtöihin voidaan vaihtaa looginen tila (high-low) lähettämällä tietyn suuruisia jännitteitä. Toisaalta

funktionaalisella testauksella ei voida mikropiiritasolla tarkistaa kaikkia sisäisiä toimintoja, koska nämä ovat yleensä ja tässäkin testilaitteessa suodatettuja, muunneltuja ja keskenään riippuvaisia.

Itsetestaussekvenssin konsepti rakentuu testilaitteen tulojen ja lähtöjen tyyppin mukaan ja siinä hyödynnetään mahdollisimman paljon jo olemassa olevia kytkentöjä. Esimerkiksi silloin kun testattava I/O on jo suorasti tai epäsuorasti yhteydessä instrumentoinnin yleismittariin (DMM), käytetään DMM:ta kanavan mittaamiseen ja lisätään ainoastaan tarvittavat ulkokytkennot. Mikäli toisessa tapauksessa testattava I/O on normaalisti kytketty sarjaportin välityksellä, valitaan tällöin sarjaportti-logiikka myös sen testaamiseen ja niin edelleen. Tätä periaatetta sovelletaan kaikissa tapauksissa ja tarkennetaan kappaleessa 5.

Itsetestausekvenssiin tarvittavat ulkoiset kytkennät (kaapeloinnit, riviliittimet) sekä laitteet ja komponentit valitaan mahdollisimman modulaariseksi ja samaten yhteensopivaksi nykyisen systeemin kanssa (kappale 6).

Viimeisenä on suunniteltu itsetestaussekvenssi (kappale 7) ja demo-ohjelma NI Labview:ta käyttäen (kappale 8). Demo-ohjelman tarkoituksena on ollut kuvata itsetestauksen toimintaa yksityiskohtaisemmin ilman fyysistä laitetta, koska testilaitte ei ollut vielä saatavilla uusimmassa versiossaan tätä työtä tehtäessä.

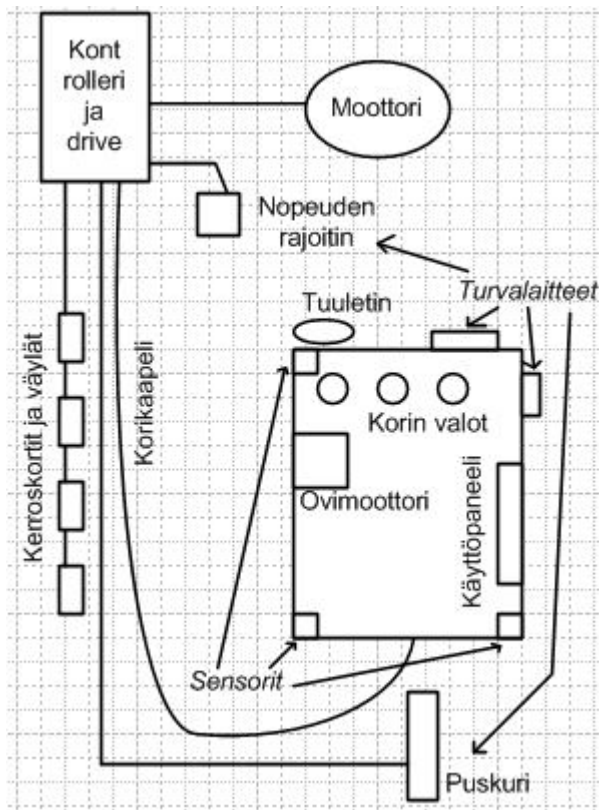
Jotta pystytään täysin ymmärtämään miten testilaitteen itsestaus sijoittuu hissien tuotantoympäristöön, on kuitenkin ensin tarpeen syventyä hississähköistykseen ja sen tuotantoon (kappale 3). Itsetestauksen toiminnan ymmärtämiseksi on myös tarpeellista kuvata yleisesti itsetestattavaa testilaitetta (kappale 4).

3 Hissisähköistys ja –tuotanto

Hissisähköistys voidaan jakaa muutamiin osa-alueisiin, riippuen niiden sijoittumisesta kokonaisuudessaan. Puhutaan mm. hissikuilun, hissikorin, konehuoneen ja kerrosten sähköistyksestä. Jotkut osat kuuluvat kahteen osa-alueeseen kuten esimerkiksi korikaapelit, jotka liikkuvat hissikoriin kiinnitettynä kuilussa.

3.1 Sähköistysten osat

Hissin sähköistysten osat (kuvio 2) muodostavat kokonaisuudessaan hissien ohjausjärjestelmän ja sen sähköiset toimilaitteet. Ohjausjärjestelmä koostuu seuraavista: hissikontrolleri (master- ja orjakortit), kuilun ja korin sensorit, hissisignalisaatio ja -valvonta sekä koko systeemin kaapeloinnit/väylät. Toimilaitteina ovat hissien moottori jarruineen ja sitä ohjaava drive (taajuusmuuttaja), ovien moottorit sekä turvamekanismit kuten nopeuden rajoitin. Myöskin systeemin pääsyöttö voidaan sisällyttää toimilaitteisiin, sillä sitä säädetään tarpeiden mukaan.



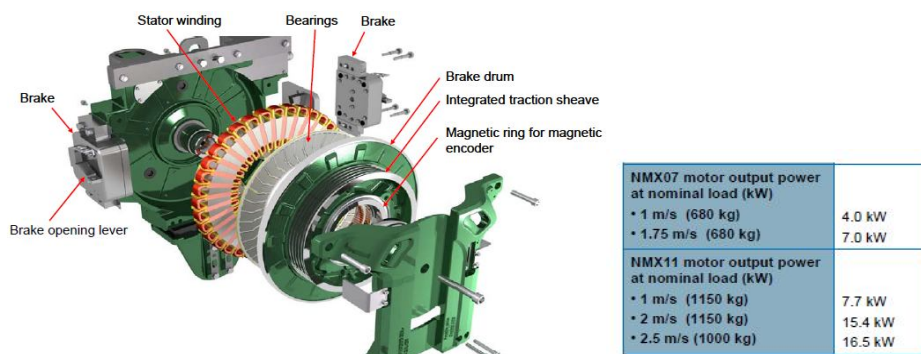
Kuvio 2. Hissisähköistysten osat, jossa ilmenevät ohjaukset, toimilaitteet ja signalisaatio. [1, s. 29, muokattu]

Äskettäisestä jaosta johtuen hissien sähköistyksestä on lukuisia variaatioita, jotka toimivat eri hissien malleissa (hissi-platformit). Jokaisella hissi-platformilla on omat

ominaisuudet ja käyttökohteensa. Esimerkiksi hissimalli KONE Minispace palvelee "mid-high rise" -kohteita (24-36 kerrosta), joissa muun muassa vaaditaan yli 1 m/s nopeutta ja kuorma on yli 630 Kg. Tämä puolestaan edellyttää soveltuvaa MX- tai NMX-moottoria ja taajuusmuuttajaa sekä niiden mukaista signalisaatiota (hissikäyttöliittymä). Sen sijaan toisessa hissimallissa kuten esimerkiksi KONE Monospacessa on tavallista toimia ilman konehuonetta tilan säästämiseksi, mikä edellyttää kompakteja ja silti suorittavia sähköistysratkaisuja. Varsinaisten hissiplatformien lisäksi on muitakin sähköistystuotteita, kuten esimerkiksi Resolve modernisaatio -ratkaisu, jolla uusitaan jo asennetun hissien sähköistystä.

3.2 Sähköistysten toiminta

Hissimoottori (kuvio 3) on useimmiten vaihteeton kestopagneettitahtimoottori, jonka teholuokat vaihtelevat laajalla alueella 4 - 300 kW mallista riippuen. Jarrutus on olennainen osa moottoria ja sitä ohjataan erillisen piirikortin avulla. Moottoriin kuuluu myös enkooderi nopeusreferenssin välittämiseen.

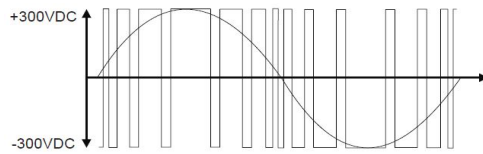


Kuvio 3. NMX moottori ja sen viitearvot. [2, s. 17, 19]

Drive eli taajuusmuuttaja on keskeisessä roolissa moottorisytön ja hissiliikkeen operaatiivisessa ohjauksessa. Drive-malleja on saatavilla eri säätöperiaatteilla (open loop - closed loop), käyttötaajuuksilla (2kHz - 10kHz) ja ampeerimäärillä (40A - 200A).

3.2.1 Moottorin ohjaus taajuusmuuttajalla

Tajuusmuuttaja säätää hissimoottoria PWM-tekniikalla (pulssinleveysmodulaatio), jossa taajuus määrää moottorin nopeuden ja virta määrää sen momentin. Taajuusmuuttajassa kaksi IGBT-transistorimoduulia (insulated-gate bipolar transistor) (+ ja -) tuottaa pulssimaisen jännitteen, joka vastaavasti ohjaa moottorin virtaa (kuvio 4).



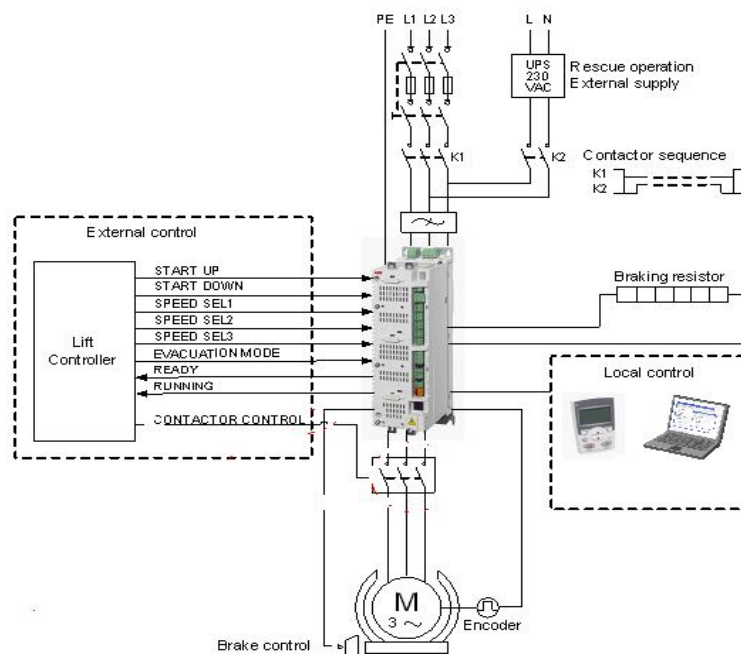
Kuvio 4. PWM:n tekniikalla eri leveyden jännitepulsit ohjaavat siniaaltoista virtaa.

Vielä tarkemmin ilmaistuna taajuusmuuttajan yksinkertaistettu jänniteohje moottorille on:

$$U_{out} = D \cdot U_{in} \quad [3, \text{s. 2, muokattu}]$$

missä D on pulssisuhdeprosentti (duty cycle), joka vastaa $D = [T_{on} / (T_{on} + T_{off})]$. T on aika, jolloin pulssi on päällä (T_{on}) tai pois päältä (T_{off}) ja $(T_{on} + T_{off})$ on kokonaisajanjakso, josta prosentti lasketaan. Pulssin (kanttiaalto) tapauksessa T_{on} on pulssien leveyden ja taajuuden tulo. Koska PWM:ssa pulssin taajuus on yleensä vakio, määrää säädetty pulssileveys käytännössä D :n ja tuotetun jännitteen.

Koko systeemin tasolla drive sijoittuu hissilogiikan ja konehuoneen toimilaitteiden rajapintaan. Tästä syystä se vastaanottaa monenlaisia signaaleja eri lähteistä kuten seuraavassa kuviossa 5 näkyy.



Kuvio 5. Hissin taajuusmuuttajan signaalit kontrollerin logiikasta, jännitesyötöstä, moottorista, jarrun vastuksesta (jos kyseessä on tavallinen ei-regeneraativinen jarrutus) ja paikallisesta ohjauksesta (esimerkiksi ohjelmointi- tai huoltoliitäntä). Kuvassa on ABB drive.

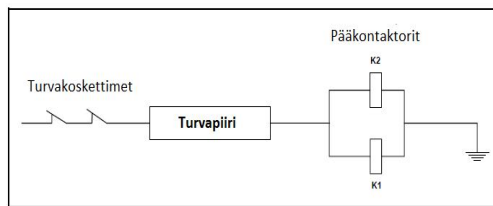
[4, s. 39, muokattu]

3.2.2 Hissin ohjausjärjestelmä ja sen sarjaliikenneväylät

Ohjausjärjestelmä hallinnoi koko hissi-installaatiota sen käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta. Ylemmällä tasolla se koostuu mikroprosessorilla (CPU) varustetuista piirikorteista ja niitä yhdistävistä tietoväylistä. Yksinkertaistettuna piirikortit ovat [5]:

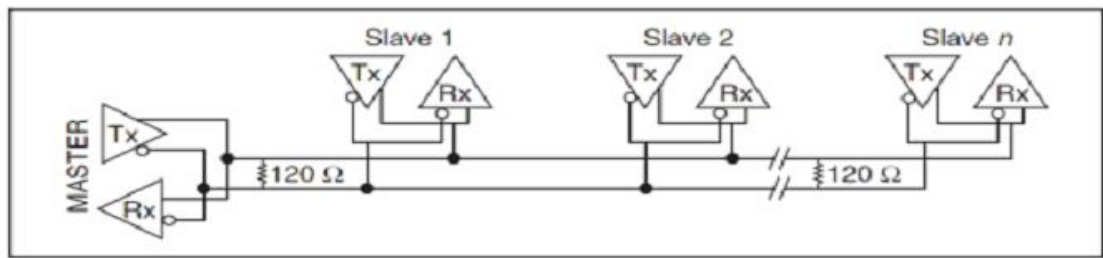
- Pää-CPU, koordinoi muiden osien toimintaa
- Turva-CPU, hallitsee turvaketjun
- Hissikori-CPU, yhdistää korin toiminnot
- Hissikuilu-CPU, paikantaa hissin liikkeit
- Paikalliset-CPUt, suorittavat yllämainittujen korttien käskyt

Piirikorttien toiminnassa turvaketju on läpileikkaava alue ja sitä varmistetaan eri tasoilla. Hissin nykyiset turvaketjuperiaatteet viittaavat PESSRAL-standardiin (Programmable Electronic System in Safety Related Applications for Lifts), jonka mukaan turvapiireissä voidaan käyttää kahdennettua ja varmistettua ohjelmoitavaa logiikkaa (kuvio 6).



Kuvio 6. Hissiturvaketjun periaate, jossa pääkontaktori antaa virtaa moottorille vain jos sähköinen ja looginen piiri toteutuu. [6, muokattu]

Hissin tietoväylät ovat useimmiten tyyppiä RS-485 (standardi TIA-485-A), joka on sähköisiltä ominaisuuksiltaan sellainen, että se mahdollistaa useimpien piirikorttien (solmujen) kommunikoinnin. Jokaisessa RS-485-solmussa on sekä lähettäjä että vastaanotin. Niiden välillä johdotus voi olla 4- tai 2-johdin-moodissa. 4-johdin-konfiguraatio toteuttaa suoraan full-duplex-kommunikoinnin, eli signaalien lähettämisen ja vastaanottamisen samaan aikaan. 2-johdin-konfiguraatio (kuvio 7) on sen sijaan periaatteeltaan half-duplex, jolloin signaalin lähettäminen ja vastaanottaminen tapahtuu vuorottain [7]. Hissiväylässä on yleensä valittu tämä jälkimmäinen half-duplex, koska se on yksikertaisempi ja toteuttaa kommunikaation riittävän hyvin. Tavallisessa multidrop (multipisteinen) -konfiguraatiossa RS-485 tarjoaa nopeuksia välillä 10 Mbit/s – 100kbit/s riippuen väylän pituudesta [7].



Kuvio 7. RS-485:n kahden johtimen ja useiden solmujen topologia. [8]

Hissisarjaväylien kommunikoinnin toiminnasta kerrotaan tarkemmin myös kappaleissa 5 - 7 varsinaisten toimintojen selittämisen yhteydessä.

Ne signaalit, jotka piirikortit vastaanottavat ja välittävät, tulevat monista antureista, jotka ovat tyypillisesti integroituja kussakin kohteessa. Nämä tunnistavat esimerkiksi ovien asennon, korin sijainnin kuilussa ja korin painon. Eri käyttökohteista johtuen niiden toimintaperiaate vaihtelee laajasti, jolloin käytetään esimerkiksi mekaanisia, induktiivisia, kapasitiivisia, magneettisia, hall-, RFID- tai optisia antureita.

Rakennuksen laitteistona hissi on hajoitettu systeemi, jota käyttäjät operoivat ulkoa tai sisältä eri käyttöliittymien välityksellä. Tämä *hissisignalisaatio* kuten esimerkiksi painonapit, merkinantolaitteet, kosketusnäytöt tai kohdekerrosohjausjärjestelmät (DCS eli Destination Control System) esikäsittelee komennot ja välittää ne eteenpäin hissilogiikkaan.

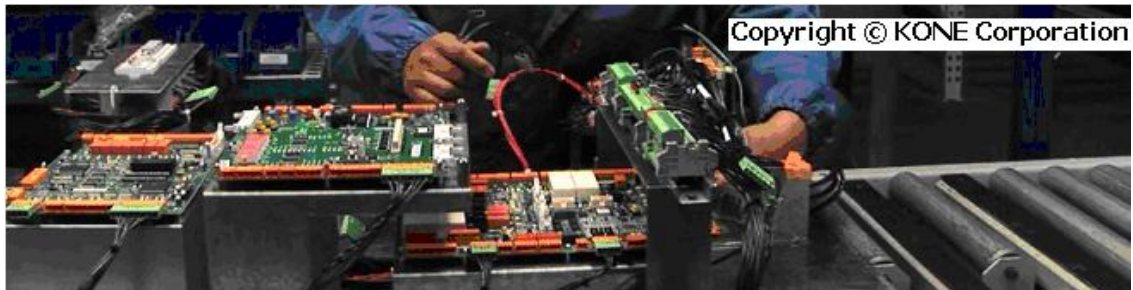
3.3 Tuotannon vaiheet

Tässä osiossa keskitytään KONE Hyvinkään sähköistystehtaan toimintamalliin, mutta monet määritelmät pätevät yrityksen yleiseen sähköistystuotantoon.

Sähköistyksen tuotantoketjuun kuuluvat lähinnä osien ja komponenttien kokoonpano (kuviot 8 ja 9), esimerkiksi moottorijarrun ohjausmoduulit tai eri piirikorttien asennus sekä tarvittavat kaapeloinnit ja rajapinnat. Tietyt keskeiset tuotteet ovat täysin "in house" valmistettuja, kuten esimerkiksi kontrolleri-moduuli. Toiset ovat sen sijaan kaupallisia komponentteja, kuten esimerkiksi tietyt invertterit, jotka asennetaan ja konfiguroidaan sopivaksi kokonaisuasennuksessa [1, s. 8].

Tuotantosolut ovat jakautuneet sekä funktionaalisesti että tuotteittain [9]. Ensin valmistetaan moduulit pienistä komponenteista lähtien. Moduulin esimerkkinä voi toimia signalisaation pääkäyttöpaneeli, johon kuuluvat painonapit tai kosketusnäyttö ja

niihin liittyvät piirikortit. Moduuli kootaan, testataan ja sitten sisällytetään omaan hissiplatformiin, jolle tehdään tarvittavat liitännät, parametroidaan ja testaukset.



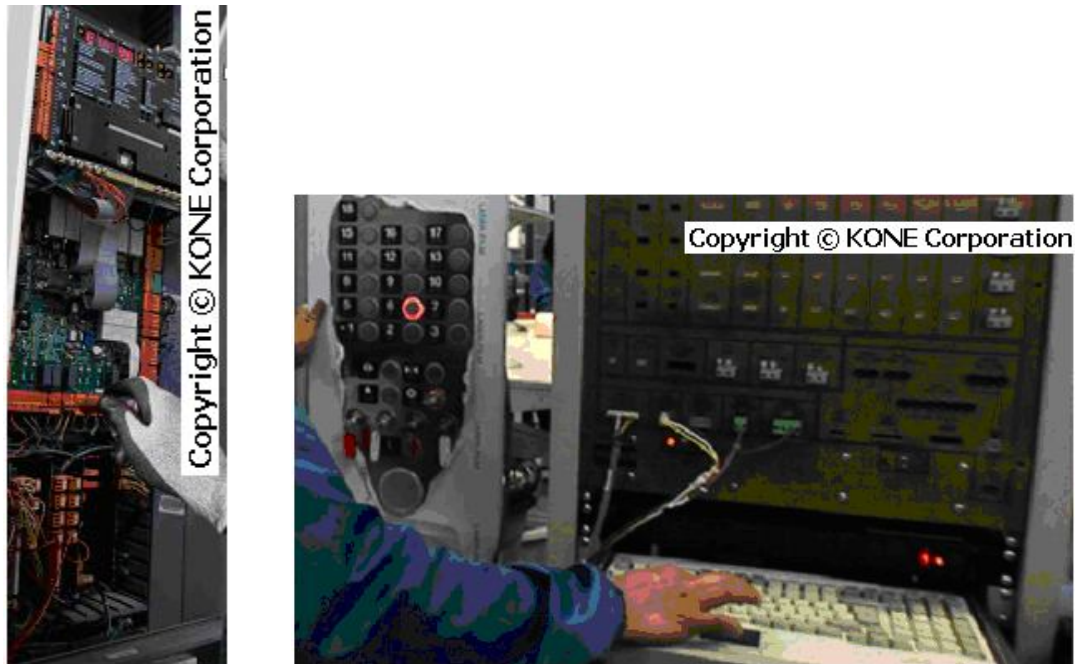
Kuvio 8, 9. Sähköistyksen kokoonpano (KONE Media Library – oma leikkaus)

Tuotantomuoto on modulaarisuuden takia vain osittain automatisoitu ja vaatii erikoistuneita operaattoreita. Tuote on usein kustomoitu ja prosessi on sen mukaan usein tyyppiä "C", poiketen tässä A- ja B-tyyppisistä prosesseista, jotka ovat kokonaan tai suuremmaksi osaksi standardiprosesseja.

3.4 Tuotannon testaus

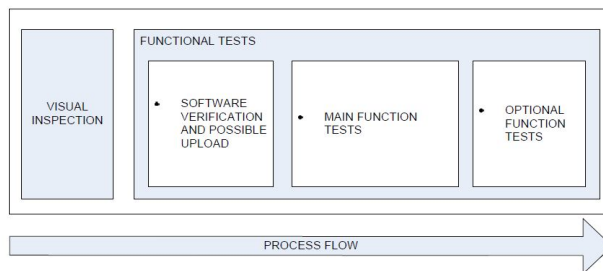
Tuotannon testauksessa testataan kokonaisia sähköistyksen moduuleita, kuten kontrolleria, drivea, hissimoottoria, ovien moottoria, sähkökytkentälaatikkoa, signalisaatiota ja turvaketjun komponentteja [1, s. 14]. Testauksen ensimmäinen askel on viivakoodin lukeminen, jotta testattava tuote yksilöidään ja valitaan siihen määrätty testausrutiini. Tämän jälkeen tuote tarkistetaan visuaalisesti (kuvio 10), jolloin varmistetaan kaikki kytkennät ja se johdotetaan omaan testiasemaan. Testiasemat (kuvio 11) ovat manuaalisia (joille käskyt annetaan manuaalisesti esimerkiksi painonapeilla) tai automatisoituja [9] (joista löytyy automaattisia testaussekvenssejä).

Tähän viimeiseen kategoriaan (ATE = Automated Test Equipment) kuuluu myös tämän työn testilaite.



Kuviot 10, 11. Kontrollerin visuaalinen tarkistus ja (oikealla) manuaalitestiasema. (KONE Media Library – oma leikkaus)

Testirutiinin alussa ladataan ohjelmistot, joilla ajetaan varsinaiset testit (kuvio 12). Nämä testit ovat sekä pakollisia (jotka suoritetaan aina kokonaisuasennuksessa) että valinnaisia (jotka kuuluvat vain tiettyyn tuotekategoriaan).

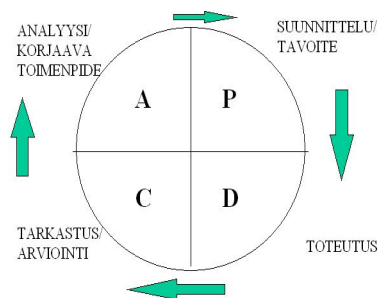


Kuvio 12. Tuotantotestaamisen prosessi. [10]

3.5 Testaus ja laadunhallinta

Operatiivinen tuotannon testaus, kuten yllä on kuvattu, on olennainen osa laadun verifiointia. Strategisemmalla tasolla hissisähköistyksen pysyvä ja vikoja ehkäisevä laatu on monien tekijöiden summa. Tuoteominaisuudet ja asiakkaiden vaatimukset lisääntyvät jatkuvasti ja tuotantosyklit ovat entistä nopeampia. Tällöin laadukas ja kilpailukykyinen tuote vaatii sen kokonaisprosessien laatua: sisäinen tuotesuunnittelu,

ulkoiset komponentit, tuotantomenetelmät. Kaikissa niissä pitää ensinnäkin soveltaa laatukehityksen perusajattelua: jatkuvaa parannusta, jossa suunnitellaan, toteutetaan, arvioidaan ja korjataan (kuvio 13).



Kuvio 13. Laadunhallinnan PDCA-malli: Plan, Do, Check, Act.

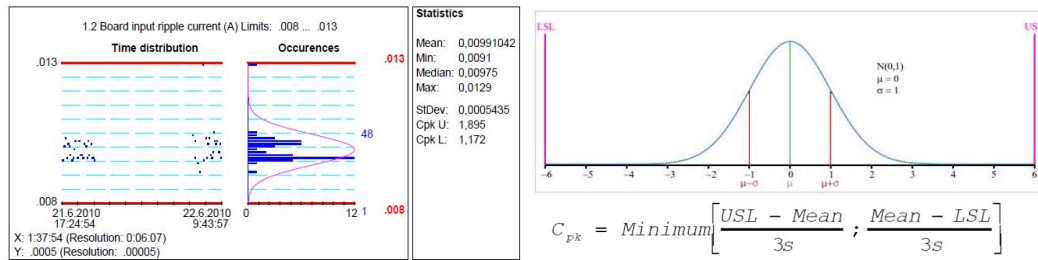
[11, s. 5]

PDCA-mallin jokaisessa vaiheessa on omat laatu työkalut ja menetelmät.

Tämän kappaleen ja työn puitteissa halutaan kuitenkin korostaa juuri hissisähköistyksen testaamista kokonaislaadun näkökulmasta. Näin ajatellen sähköistyksen testaus tavoittelee lopputuotteen vikojen havaitsemista mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja ennen asiakkaalle luovuttamista. Jotta testauksen kehitys tapahtuu pitkällä tähtäimellä, täytyy laadun yleisiä työkaluja ja mittareita soveltaa myös tuotannon testausprosessiin. Tämä laadun tarkistaminen tapahtuu eri vaiheiden kautta, mitkä esitellään seuraavaksi.

Ensin määritellään testausprosessin tärkeät spesifiset laatuparametrit (CTQ – Critical to Quality), joita halutaan mitata. Sen jälkeen päivittäisestä toiminnasta kerätään systeemaattisesti dataa ja siitä muodostetaan tietokantoja. Prosessista kerätyn datan täytyy olla valikoitua, oikeassa muodossa luokiteltua ja mahdollisimman automatisoitua, jotta sitä voidaan hyödyntää. Datat keräämisen automatiikka esimerkiksi MES:n tasolla (Manufacturing Execution System) on tärkeää, koska se mahdollistaa, että data on systeemaattista ja että siinä on vähemmän virheitä kuin manuaalisessa prosessissa.

Seuraava vaihe on analysoida kerätty data ja sen trendit. Tämä voidaan tehdä monilla tekniikoilla, jotka ovat joko tilastollisia (SPC – Statistical Process Control), kuten esimerkiksi keskeiset C_p - ja C_{pk} -indeksit (kuviot 14, 15, 16), tai laskettuun arviointiin perustuvia, kuten FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).



Kuvio 14, 15, 16. Vasemmalta sähköarvon mittausta, jonka laatuindeksit (oikealla) selitetään 6σ (6-sigma) normaalijakaumalla ja Cpk-kaavalla. Cpk kuvaa prosessikyvykkyyttä. [12, 13, 11]

Tämän data-analyysin pohjalta suunnitellaan testausprosessin parannuksia, jotka toteutetaan ja sitten mitataan uudelleen PDCA:n syklin mukaisesti.

Mittauksen havaintona voi esimerkiksi olla jokin Cpk-indeksi, joka on systemaattisesti matala. Tällaisessa systemaattisessa tapauksessa voi olla syytä esittää tavallista perusteellisempia kysymyksiä sekä mittauksen että kokonaisprosessin laadusta, kuten esimerkiksi: ovatko mittauksen toleranssit liian kapeita, ovatko käytetyt mittausinstrumentit hyvin kalibroituja, onko tuote ylipäättään suunniteltu riittävän hyvin ja standardoidusti niin, että se on esimerkiksi sekä helposti valmistettavissa (DfM = design for manufacturing) että helposti testattavissa (DfT = design for testing)?

Nämä laatukonseptit eivät päde vain testauksen fyysiselle toiminnalle vaan yhtä hyvin ohjelmistolle, joka on usein sähköistystestauksen ytimessä. Ohjelmistotuotannon päävaiheita (kuvio 17) voidaan hyvin soveltaa testauksen laadunhallinnassa, jossa saatetaan esimerkiksi luoda sovellusta datan automaattiseen keräykseen.



Kuvio 17. Ohjelmistotuotannon malli. [11]

Kappaleen yhteenvedona voidaan sanoa, että laatuajattelu tuo strategian ja vision operaatiiviseen testausympäristöön ja siksi sitä on haluttu korostaa.

4 Itsetestattavan testilaitteen kuvaus

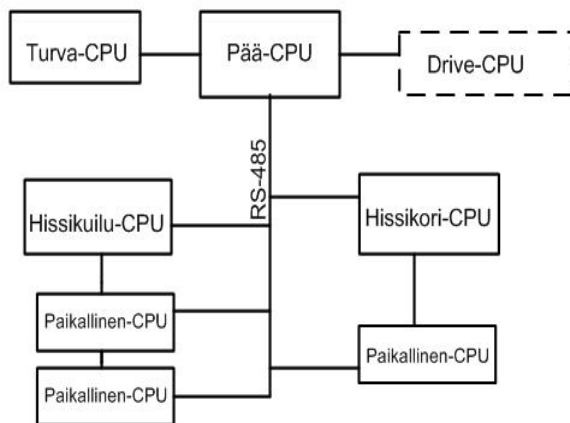
Itsetestattava testilaite eli sähköistystesteri on järjestelmä, joka normaalissa tuotantokäytössään testaa hissikontrolleria. Kontrolleri on silloin testattava tuote.

4.1 Itsetestattava testilaite normaalissa tuotantokäytössä

Tässä työssä puhutun testilaitteen spesifinen testattava tuote on siis hissikontrolleri. Kontrolleri on ohjausjärjestelmän ydin ja se koostuu pitkälti piirikorteista, jotka on esitetty kappaleessa 3.2.2 ja kuten kuviossa 18. Kontrollerin piirikorttien yhdistävä RS-485-väylä on myös testattavana.

Testattava kontrolleri on uusinta sukupolvea, joka on entistä modulaarisempi, helpommin ylläpidettävä ja edistyneempi. [5]

Testattavan kontrollerin tarkka kokoonpano voi käytännössä vaihdella testistä toiseen riippuen ohjattavasta kohteesta ja valinnaisista piirikorteista.



Kuvio 18. Kontrollerin komponenttien hahmotelma.

4.2 Itsetestattavan testilaitteen rakenne

Sähköistystesterin fyysinen rakenne sisältää kaapeloinnit ja moduulit.

4.2.1 Kaapeloinnit

Kaapelointi voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin:

- a) Ulkokaapeloinnit. Yhteensä 4 monijohdinkaapelia, jotka kuljettavat käyttöjännitteet ja ohjaussignaalit testerin ja testattavan tuotteen välillä silloin kun testeri on normaalissa tuotantokäytössä;
- b) Sisäkaapeloinnit ja I/O-riviliittimet, testerin sisäsignaalien välittämiseksi. Sisäkaapeloinnit yhdistävät testerin moduulit keskenään ja I/O:t ulkokaapelointiin,

Kaapelit sisältävät sekä suojattuja että suojaamattomia johtimia, joiden halkaisija vaihtelee alueella 0,5 - 2,5 mm² käyttötarkoituksesta riippuen. Eri konfiguraatioissa liittiminä on käytetty lähinnä Weidmuller-tyyppisiä ja Molexin Minifit-mallisia. Myös RS-485 kierrettyä kaapeliparia (2 x 0,22 mm²) on käytetty laajasti sarjakommunikaation välittämiseksi.

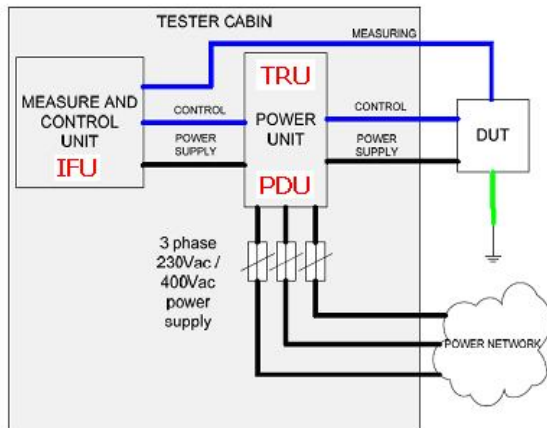
4.2.2 Moduulit

Sähköistystesterin moduulit (kuvio 19) voidaan ryhmitellä niiden käyttötarkoituksen mukaan eri osiin:

- a) Sähkösyöttö-yksikkö (PDU = Power Distribution Unit) syöttää tarvittavat 400VAC, 230VAC ja 24VDC ohjausten tarpeisiin;
- b) UPS-järjestelmä, jolla varmennetaan sähkönsyöttö mahdollisissa katkoissa;
- c) Jännitemuuntaja-yksikkö (TRU = Transformer Unit) muuntaa jännitesyötöt kolmen muuntajan avulla, suoristaa vaihtojännitteet tasajännitteeksi ja suorittaa ohjatut sähkömittaukset välittäen niitä IFU:lle;
- d) Ohjausyksikkö (IFU = Interface Unit). IFU koostuu:

d.1) KONEEn omista piirikorteista, jotka simuloivat sekä hissikuilun että hissikorin solmut kontrollerin rakenteen mukaisesti, ja niiden tietoväylistä. Yhteensä on kymmenkunta erikoistunutta piirikorttia esimerkiksi hissikorin ja ovien kontrolleihin sekä releohjauksiin.

d.2) Varsinaisista testilaitteen ohjauskorteista, jotka ovat kaupallisia National Instruments (NI) PXI-kortteja ja ohjaavat testauksen eri osioita kohdan d.1) piirikorttien kautta.



Kuvio 19. Itsetestattavan testilaitteen moduulien yksinkertaistettu lohkokkaavio. DUT (Device Under Test) tarkoittaa tässä kontrolleria. [10, muokattu]

Ohjauskortit ovat siis tyypiltään PXI (PCI eXtensions for Instrumentation), joka on teollisuuden tietokoneväylä ja se pohjautuu PCI-tietokoneväylään [14]. Jälkimmäinen on tyypillisesti 33MHz taajuinen ja 32 bittinen matriisimuotoinen väylä, johon voidaan yhdistää suoraan yhteensopivia komponentteja. Komponentit jakavat keskenään maksimin 132Mb/sekunti käytettävää kaistanleveyttä. PXI on parannettu PCI-systeemi, jossa CompactPCI:n tapaan on Eurocard-standardeja komponenttislottuja kehikon muodossa [15]. Tämän lisäksi on ekstraominaisuuksia kuten hardwaren synkronointi käyttäen 10MHz sisäänrakennettua kelloa, laskuriominaisuuksia ja oma ohjelmisto. Tämä koko hardwaren kommunikointi tapahtuu PXI-backplanen väylän kautta, joka yhdistää siihen kytketyt laitteet rinnakkaisesti. Systeemi voi sisältää myös sulautetun tietokoneen, joka tämän työn osalta on NI PXIe-8135 tyypiltään 2.3 GHz neljä-ytiminen kontrolleri. Se sijoittuu 9-slottisessa NI PXIe-1078-kehikossa (kuvio 20) kuten edellä mainitut PXI-ohjauskortit, jotka tarkennetaan seuraavasti:

- 1 kpl NI PXI-2568, 31-kanavainen relekortti. Sisältää 31 1-vaihtokosketin (SPST)-relettä, joiden maksimi yksittäinen kytkentäkyky on 150VAC/DC-jännite ja 2A virta (30V tasajännitteellä). Releet ovat skannattavissa ja ohjelmoitavissa blokkina tai yksitellen. [16]

- 2 kpl NI PXI-2586, 10-kanavainen korkeajänniterelekortti. Sisältää 10 1-vaihtokosketin (SPST)-relettä, joiden maksimi yksittäinen kytkentäkyky on 300VAC/DC-jännite ja 12A virta (12V tasajännitteellä). Releet ovat skannattavissa ja ohjelmoitavissa blokkina tai yksitellen. [17]
- 2 kpl NI PXI-2527, MUX eli multiplekseri. 32-kanavainen x 2 johdinta/kanava – konfiguraatio, joiden maksimi yksittäinen kytkentäkyky on 300VAC/DC-jännite ja 2A virta (30V tasajännitteellä). MUX:n maksimi kanavakohtainen skannausnopeus on 140 sykliä/s. MUX:n kanavat ovat ohjelmoitavissa blokkina tai yksitellen. [18]
- 1 kpl NI PXI-4065, DMM eli digitaalinen yleismittari PXI-instrumenttina. Mittausten erottelykyky on 6,5 desimaalia. Se mittaa jännitettä (maksimi 300V), virtaa (maksimi 3A), resistanssia ja dioditestia 2- tai 4-johdinta-asetuksella. Se on integroitavissa MUX:n lukemien kanssa (ajoitus) ja ohjelmoitavissa. [19]
- 1 kpl NI 8234, 2-porttinen Ethernet-kortti. Jokainen portti tukee 1Gb/s maksiminopeutta ja portteja voidaan käyttää samanaikaisesti 1Gb/s sisäisen väylän kaistanleveyden ansiosta. Kaapelin napaisuus on automaattisesti tunnistettavissa. [20]



Kuvio 20. NI PXIe-1078-kehikko tämän työn kokoonpanossa. Sloteissa on yllä mainitut komponentit, vasemmalta: kontrolleri, Ethernet-kortti, 2 x MUX, DMM, 1 x PXI-2586, PXI-2568, 1 x PXI-2586.

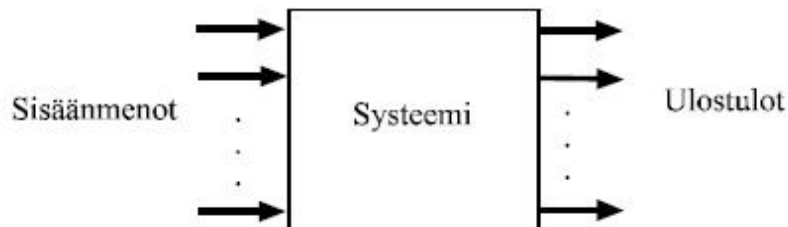
Sulautetun tietokoneen käyttöjärjestelmänä toimii Windows 7, jonka ympäristössä käytetään eri ohjelmistoja. Niistä merkittävimmät ovat NI-Labview ja NI-TestStand, joilla rakennetaan ja operoidaan testit.

5 Testilaitteen itsetestauksen suunnittelu

Tässä luvussa esitellään itsetestauksen menetelmä ja periaatteet.

5.1 Testimenetelmä ja lähestymistapa

Kuten kappaleessa kaksi mainittiin, testilaitteen itsetestauksen menetelmäksi on valittu funktionaalinen testaus (Functional testing eli toiminnallinen testaus). Tällä menetelmällä voidaan testata melko laajoja kokonaisuuksia ulkoapäin (kuvio 21) ja periaatteessa ilman että tiedetään tarkasti systeemin (piirikorttien, protokollien) yksityiskohtia [21, s. 18] [22, s. 16]. Tälle työlle asetettu konkreettinen tavoite on todeta testilaitteen I/O-kanavien toimivuus signaaleja syöttämällä (heräte) ja niitä mittaamalla (vaste) joko yleismittarilla tai tietoväylillä.



Kuvio 21. FCT-mittausmallin periaate.

Testilaitteelle on työn kuluessa suunniteltu ulkoisia kytkentöjä, jotka mahdollistavat testisignaalien tuottamisen ja kuljettamisen haluttuihin kanaviin. Näitä samoja kanavia käytetään tuotannossa silloin, kun testilaite on normaalisti yhdistetty testattavaan kontrolleriin. Silloin kontrollerista tulevat tarvittavat jänniteet, bittijonot, audiosignaalit ja niin edelleen. Itsetestauksen aikana testilaite ei voi kuitenkaan olla yhdistetty kontrolleriin, vaan se on irrallaan ja itse testattavana kohteena. Tätä tarkoitusta varten tarvitaan korvaavia "itsetestaus-rajapintoja", jotka syöttävät testisignaalit ulkoisiin neljään kaapeliin ja joita testilaite voi vastaavasti mitata omilla instrumenteilla.

Työn lähestymistapa on ollut varsin käytännöllinen. Piirikaavion ja itsetestauksen sekvenssin hahmottaminen on tullut esiin vasta vähitellen ja pohtimalla näitä kahta tiiviissä yhteydessä toiseen. Tämä johtuu siitä, että sekvenssi kuvaa itsetestauksen kulun, mutta se tarvitsee fyysisten kykentöjen ymmärtämisen ja hyödyntämistä: toisin sanoen täytyy ymmärtää, miten signaalien kulku on mahdollista toteuttaa. Toisaalta pelkkä kykentöjen suunnittelu ilman riittävän tarkkaa sekvenssiaskeloiden määrittelyä olisi varsin työläs tapa löytää ratkaisu.

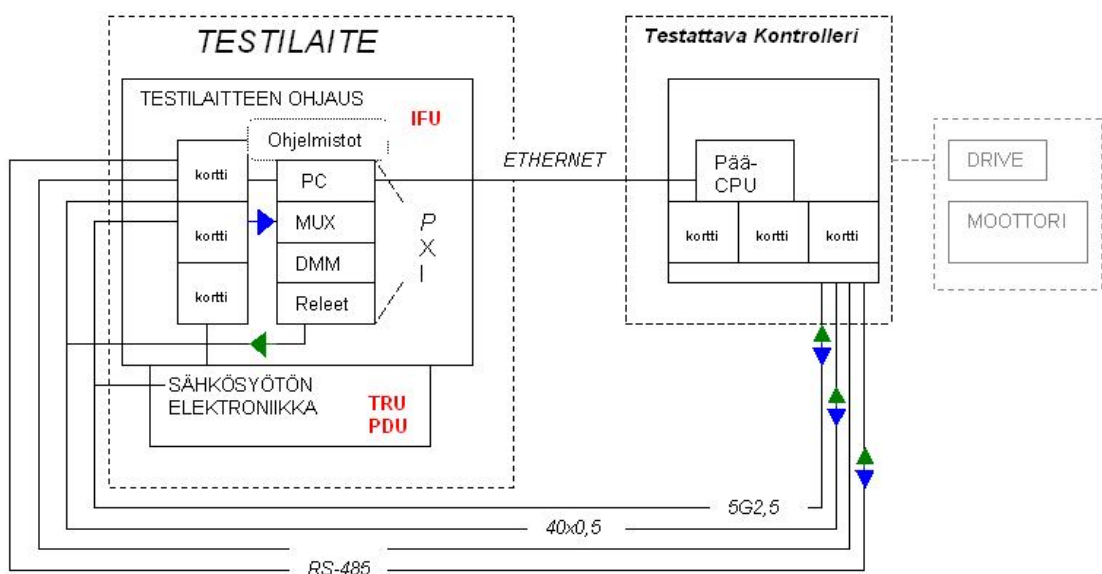
5.2 Suunnittelun lähtökohdat ja periaatteet

Yllämainittujen kriteerien valossa itsetestauksen piirikaaviot on rakennettu täydentämällä testilaitteen ulkojohdotuksia ja käyttämällä mahdollisimman paljon jo olemassa olevia mittauskanavia.

5.2.1 Rele-kanavien testaus

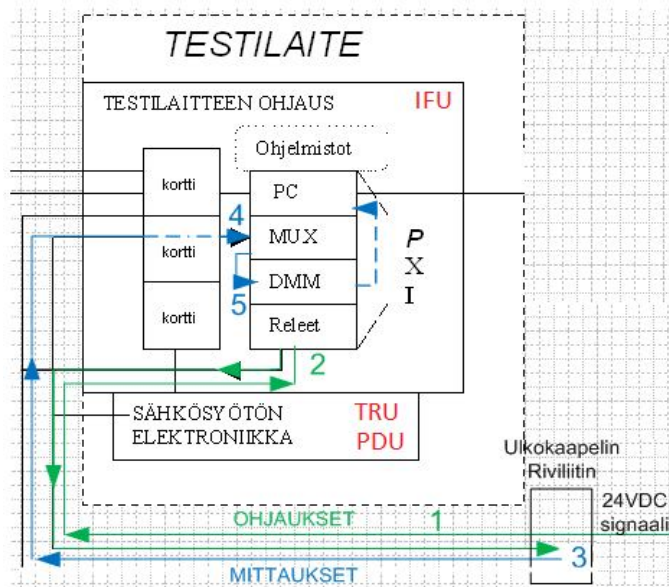
Testikanavien kartoittamisessa on aloitettu siitä, että testilaitteen PXI-4065 DMM-yleismittari lukee yksitellen kahden PXI-2527-multiplekserin kanavia. Nämä muodostavat yhteensä 35 differentiaalista jännitekanavaa. Differentiaalisella kanavalla tarkoitetaan sitä, että jokaisessa niissä on jännitesignaali plus ja miinus, mistä luetaan erotus jännitearvona. Näiden mittauskanavien tehtävä on kerätä testattavasta testilaitteesta lukemia kuten esimerkiksi hissiturvaketjun 24VDC, hissikorin rajakytkimien osoitin, valaistuksen lähtö tai kolmivaiheisen pääsyötön 230VAC. Koska jännitetasot ovat ainakin kahdessa eri suuruusluokassa (24V ja 230V), niin testilaitteen sisällä on johdotettu toiselle multiplekserille matalat jännitteet ja toiselle korkeat jännitteet.

Silloin kuin testilaite on normaalissa tuotantokäytössä (mikä ei päde itsetestauksen aikana), kontrollerin testaukset on suoritettu testilaitteesta käsin siten, että PXI-2568- ja PXI-2586-relemoduulit kytkevät vastaavat kanavat päälle ja MUX + DMM lukevat takaisin tulevat vastesignaalit. Tämä on näytetty seuraavassa kuviossa 22.



Kuvio 22. Testilaitteen – testattavan kontrollerin välinen kytkentä silloin, kun testilaite on normaalissa tuotantokäytössä (ei itsetestauksessa). PXI-releet lähettävät testisignaalit kontrollerille ja PXI-MUX vastaanottaa vastesignaalit kontrollerilta.

Koska testilaitte toimii edellä mainitulla tavalla normaalissa tuotannossa, halutaan itsetestauksessa tarkistaa sen signaalin kulku ulkokaapelien kautta jokaiselle kanavalle. Tämä tapahtuu seuraavassa järjestyksessä: ulkokaapelin liitin (1) – rele (2) – ulkokaapelin liitin (3) – MUX (4) – DMM (5). Tässä rutiinissa hyödynnetään johdotuksen tuplakanavaiset kulkureitit, joilla saadaan signaalit kohdistetuksi kuvion 23 mukaisesti.



Kuvio 23. Rele-kanavien itsetestaus ohjataan ja mitataan kuvion osoittamassa järjestyksessä 1-5.

Testisignaali, jota luetaan DMM:llä, on 24VDC-jännite, joka on tuotu ulkokaapelien päähän testilaitteen käyttämästä lähteestä. Näin ollen ei ole tarvetta hankkia ja yhdistää erillistä jännitelähdettä itsetestausta varten. Syy miksi juuri 24V-tasajännite on valittu koesignaaliksi on paitsi sen saatavuus suoraan systeemistä, etenkin sen laaja käyttö turvaketjun signaalitasona ja muutenkin koko systeemin läpi. Myös muita tasoja 12-30V alueella olisi voitu katsoa sopivaksi testisignaaliksi, sillä niitäkin pidetään riittävän käyttövarmoina testilaitteen kytkentöjen puitteissa. 24VDC-testijännite yhdistetään vain haluttuun kanavaan apureleitä ja digitaalista outputia käyttäen, mistä esitetään tarkemmat perustelut kappaleissa 6.2 ja 7.2.1.2.

5.2.1.1 Rele-kanavien mittausperiaate

Tässä osiossa korostetaan vielä lyhyesti rele-MUX-DMM-dynamiikkaa ja erityisesti mittausperiaatetta. Sekä MUX että DMM käsittelevät yksittäistä signaalia differentiaalisesti plus- ja miinus- johdon erotuksena kuten on sanottu edellisessä 5.2.1 kappaleessa. Syy tähän on saada mahdollisimman ”puhdas” signaali, toisin sanoen signaali, jossa kohina tai virhearvo pysyy pienenä. Tämä yhteinen signaali (COM) on maadoituksistaan kelluva (ei suoraan yhdistetty systeemin potentiaaliin) ja

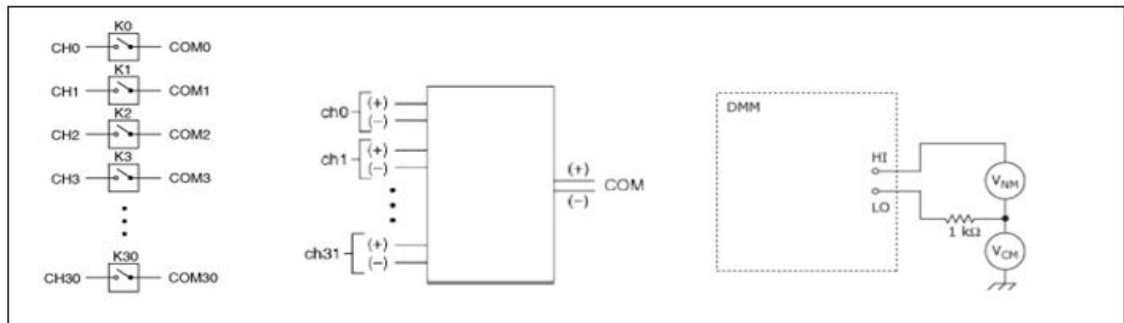
rakenteeltaan stabiili, koska mahdollinen häiriö kohdistuu tasapuolisesti sekä plus- ja miinus-johtoon ja sen nettoarvo on tästä syystä kumottu.

Oman integroidun piirin ansiosta myös DMM:lla on kyky ehkäistä mahdollisen yhteisen mittausvirheen syntymistä. Tätä kykyä määritellään termillä CMRR (Common Mode Rejection Ratio) ja se vastaa:

$$\text{CMRR} = 20 \log_{10} (A_D / A_C) \text{ dB} \quad [23]$$

jossa A_D on differentiaalinen vahvistus ja A_C on yhteismuodon vahvistus.

Havainne tästä annetaan seuraavassa kuviossa 24.



Kuvio 24. Vasemmalta Relé-MUX-DMM lohkokaaaviot. Differentiaalista MUX-kanavaa (COM) mitataan DMM:lla. DMM käsittelee signaalia kumoamalla mahdollisia häiriöitä.

5.2.2 Sarjaliikenneväylien testaus

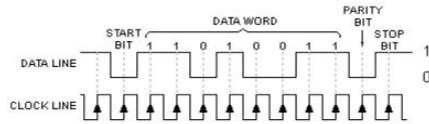
Edellisen kappaleen rele-signaalireitit kattavat noin puolet testilaitteen kaikista kanavista. Toinen puoli on sen sijaan joukko kanavia, jotka ovat hissiipiirikorttien I/O:ta ja niiden välinen RS-485-väylä. Tästä syystä on loogisinta testata niitä saman väylän kautta.

Normaalissa tuotantotestauksessa testilaitteen ja testattavan tuotteen välistä RS-485 on kahta eri tyyppiä kahden eri kommunikaatiotason välittämiseksi. Ensimmäinen yhdistää hissikorin ja kerrostasojen orjasolmut hissikontrolleriin (master). Tämä on rakennuksen "fyysisen topologian" väylä ja toimii Lonworksiiin pohjautuvalla protokollalla, jota kutsutaan jatkossa L:ksi. Toinen RS-485 muodostaa erillisen kahdennetun väylän, joka on tiiviisti integroitu hissiturvapiirien ja ajastusten kanssa. Sen protokolla on KONEen omistama [5] ja sitä kutsutaan jatkossa T:ksi ja sen versiot T1:ksi ja T2:ksi.

Testilaitteen itsetestauksessa kahta RS-485:ta testataan toisistaan hieman eri tavalla johtuen niiden eri logiikasta ja johdotuksesta (kappaleet 5.2.2.2 ja 5.2.2.3).

5.2.2.1 RS-485:n bittijono

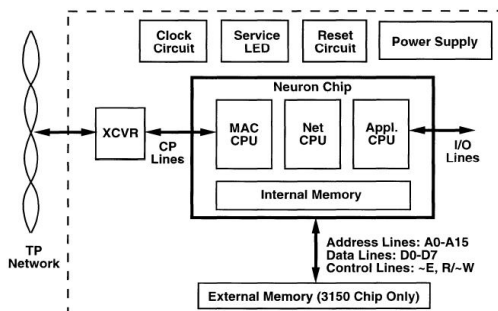
Molemmissa RS-485-väylissä data välitetään kuten yleisesti sarjakommunikaatiossa eli bitti kerrallaan peräkkäin ja pakettina (kuvio 25). Datapaketit kulkevat 8 bittisenä jonona, jossa on myös parillinen tarkistussumma ja yksi stop-bitti (8E1-formaatti).



Kuvio 25. 8E1 paketin rakenne

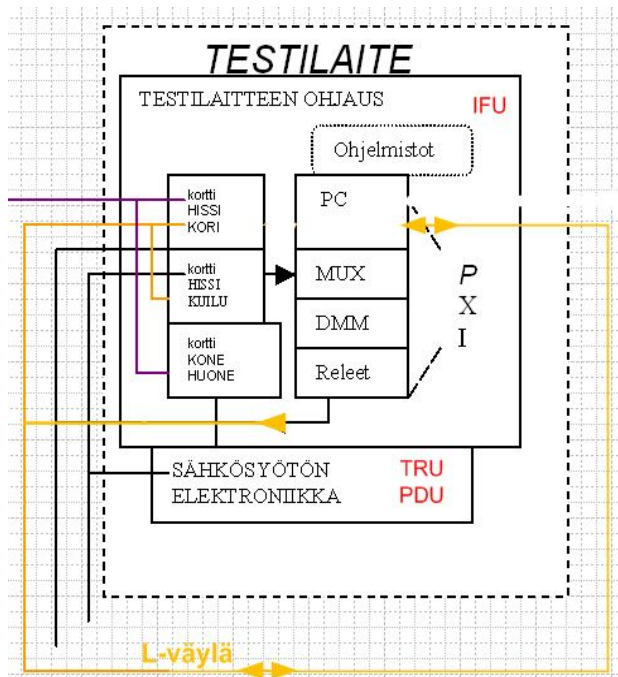
5.2.2.2 L-väylä ja sen protokolla

Normaalissa hissien topologiassa L-väylällä on yhdistetty hissikorin (1-haara) ja rakennuksen kerrosten kortit (2-haara), joiden kanssa hissilogiikka kommunikoi hissikuilussa sijaitsevien traveling-kaapelien kautta. Haarojen kortit ovat periaatteeltaan Lonworksin Neuron-prosessorilla (kuvio 26) varustettuja orjasolmuja.



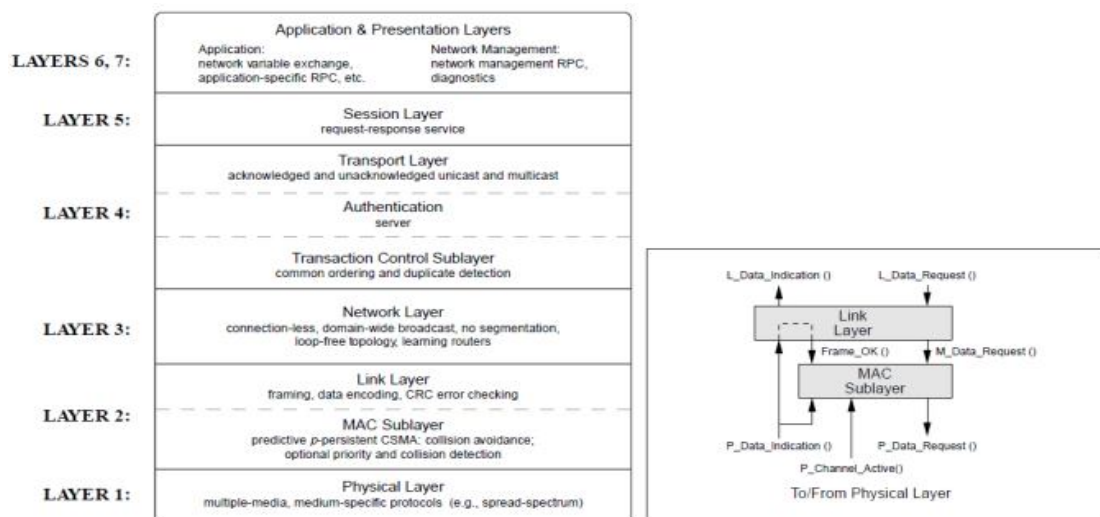
Kuvio 26. Kierrettykaapelisolmu jossa Lonworksin Neuron-prosessori ja lähetin/vastaanotin (XCVR). [24, s. 8]

Testilaitteen itsetestauksessa L-väylä voidaan tarkistaa suoraan PXI-kontrollerista (kuvio 27) testilaitteen adapterin välityksellä (joka muuntaa tietokoneesta tulevan RS-232 portin signaalin RS-485-signaaliksi) ja vain lisäämällä tarvittavat ulkojohdotukset. Nämä ulkojohdotukset tarvitaan koska L-väylän kaksi haaraa jäävät toisistaan erilleen silloin, kun testattava tuote ei ole yhdistetty testilaitteeseen kuten normaalissa tuotantotestauksessa (katso myös kappale 6.2 kuvio 36).



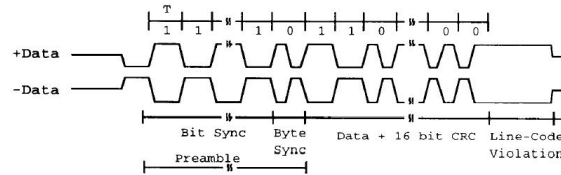
Kuvio 27. L-väylän itsetestaus tehdään suoraan PC:sta.

Yleisesti ottaen L-väylä on kaupallisen Lonworks-väylän kaltainen, joten jälkimmäisen protokollaa voidaan käyttää esimerkkinä L-väylän kommunikaation havainnollistamiseksi. Lonworksin protokollana toimii LonTalk, jonka kommunikaatiotasot ja perustoiminto on näytetty seuraavassa kuvioissa 28 ja 29.



Kuvio 28, 29. LonTalk:n protokollan eri tasot muistuttavat OSI-mallia. Oikealla pyyntö ja vastaus LonTalk:n alimmalla tasolla. [25, s. 10, 17]

Aivan alimmalla tasolla protokolla hyödyntää signaalin kodifiointiin ns. Manchesterin differentiaalikoodausta [25, s. 31]. Tämän perusteella bittijono käytännössä muodostuu edellisten bittien vaihtelun (datan ja kellonreunojen) mukaan, riippumatta signaalin oikeasta plus-miinus-napaisuudesta (kuvio 30).

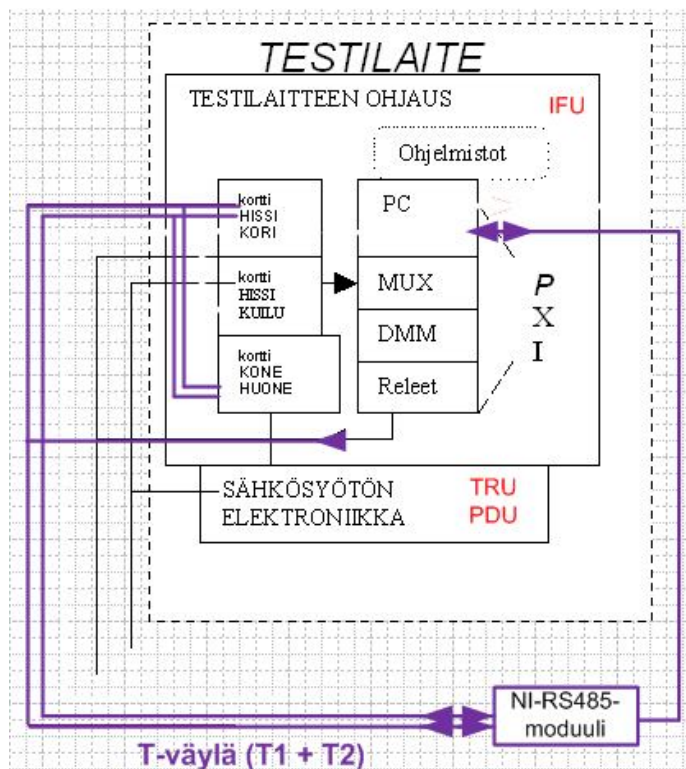


Kuvio 30. Manchester differentiaalikoodaus. [24, s. 30]

5.2.2.3 T-väylä ja sen protokolla

T-väylä on topologiaaltaan kahdennettu tuplakanavainen (T1-T2) turvakontaktien valvoma väylä, joka toimii normaalissa tuotantokäytössään hissikontrollerin pää-CPU:n ohjauksella.

Samasta syystä että hissikontrollerin pää-CPU ei ole kytketty testilaitteeseen itsetestauksen aikana, tarvitaan silloin erillistä RS-485-moduulia (kappale 6.2 kohdassa h ja kuvio 45) väylän operoimiseen ja lukemiseen ulkoa päin. Tämä itsetestauskonfiguraatio näytetään seuraavassa kuviossa 31.

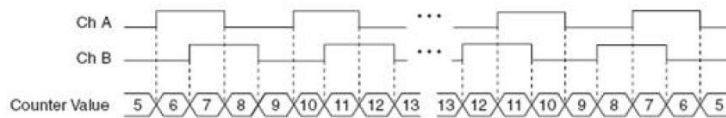


Kuvio 31. T-väylän itsetestaamiseen tarvitaan myös erillistä RS-485-moduulia.

T-väylän käyttämä protokolla on KONEen oma, jossa syklit ja toiminnot on kustomoitu käyttötarkoitukseen [5]. Tämä pätee signaalin koodauksesta asti.

5.2.2.4 *Enkooderin signaali*

Hieman hybridityyppinen tarkistus on inkrementtienkooderin kanavan varmistaminen. Se tarkistetaan samaten RS-485 väylästä, sillä se on siihen jo yhdistetty hissikuilun simulointikortin kautta. Tämän lisäksi on kuitenkin tarpeellista saada itse enkooderin signaali (kuvio 32) moottorista, joka on drive-yksikköineen yhdistetty testilaitteeseen tässä itsetestauksen vaiheessa.



Kuvio 32. Enkooderin tuplakanavainen signaali. A- ja B-kanavien järjestyksestä tiedetään moottorin pyörimissuunta ja laskurista (counter value) voidaan laskea sen asento ja nopeus.

Käytännössä enkooderin signaalista voidaan laskea moottorin kierrosnopeus seuraavalla kaavalla:

$$(^{\circ}) = [\text{reunojen_määrä} / xN] * 360^{\circ} \quad [26, \text{s. } 2]$$

missä xN on enkooderin pulssit per moottorikierros.

Vastaavasti voimme laskea korin liikettä esimerkiksi senttimetreinä:

$$\text{cm} = [\text{reunojen_määrä} / xN] * (1/\text{PPcm}) \quad [26, \text{s. } 3]$$

missä (1/PPcm) on pulssit per cm-parametri enkooderin spesifikaatiossa.

Testilaitteen enkooderikanavan tarkistus on vaihtoehtoisesti mahdollista toteuttaa ilman moottorikytkentää. Tällaisessa tapauksessa pitää kuitenkin käyttää ulkoista digitaalista outputia enkooderipulssin tuottamiseksi (kappale 6.2 kohta g).

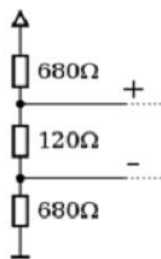
5.2.2.5 *RS-485-väylän mittaushuomioita*

Mittausteknisesti molemmissa RS-485-tapauksissa hyödynnetään väylien omia sisäänrakennettuja päätevastuksia signaalihäiriöiden estämiseksi. Tämä on tärkeä piirre, koska se tekee väylästä balansoidun. Päätevastusten arvon tulisi olla sama kuin kaapelin impedanssi, mikä on tyypillisesti kierretylle kaapelille 120 ohmia [27]. Väylän impedanssi määrää miten hyvin signaalit kulkevat väylässä ja se määritellään:

$$Z_0 = \sqrt{[(R + j\omega L) / (G + j\omega C)]} \quad [28]$$

missä Z_0 on ominainen impedanssi, R on resistanssi per pituus, j on imaginaariyksikkö, ω on taajuus (radiaaneja/s), L on induktanssi per pituus, G on konduktanssi per pituus ja C on kapasitaansi per pituus.

Silloin kun solmujen ja kuormien keskinäinen impedanssi väylässä on tasapainossa, saadaan resistanssi- ja konduktanssihäviöt nollatuksi keskenään ja silloin signalisointi on mahdollisimman häiriötöntä [29]. Väylän haarottamispisteet (kuvio 33) on yleensä yhdistetty päätevastusten kanssa, jotta tämä sähköinen balanssi säilytetään ja kohina saadaan pidettyä vähäisenä myös silloin kun väylä ei välitä signaaleja [30].



Kuvio 33. RS-485:n haarottamispiste, jossa 120 Ω päätevastus [30].

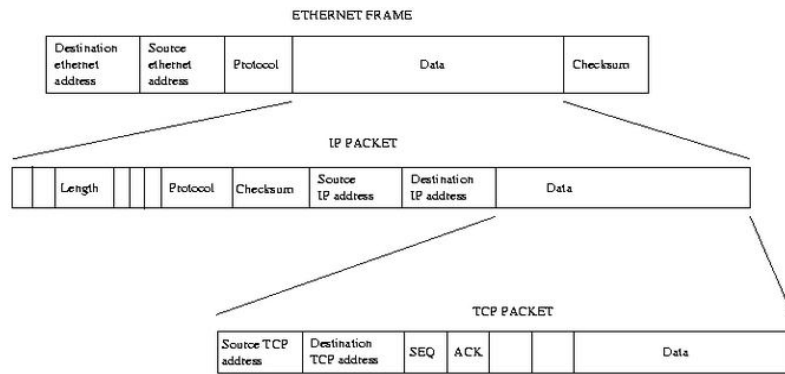
Haaroja tai toistimia voi olla useita ja tämä mahdollistaa pitkienkin etäisyyksien yhdistämisen.

5.2.3 Ethernet

Ethernet on tyypiltään erikois-standardi-sarjakommunikaatiota ja se käsitellään siksi omana kappaleenaan. Se mahdollistaa laajempia sisäisiä verkkoja (LAN = Local Area Network) verrattuna esimerkiksi edellisissä luvuissa käsiteltyihin RS-485-väyliin. Se mahdollistaa myös suuria datasiirtonopeuksia 10:sta Mbps (megabittiä per sekunti) 10:een Gbps (Gigabittiä per sekunti).

5.2.3.1 TCP/IP

Kommunikoinnin muodon määrää pohjimmiltaan juuri Ethernetin protokolla, joka kodifioi ja välittää signaalit fyysiseltä tasolta ylempiin TCP/IP-kuljetustasoihin (kuvio 34) OSI-mallin mukaisesti.

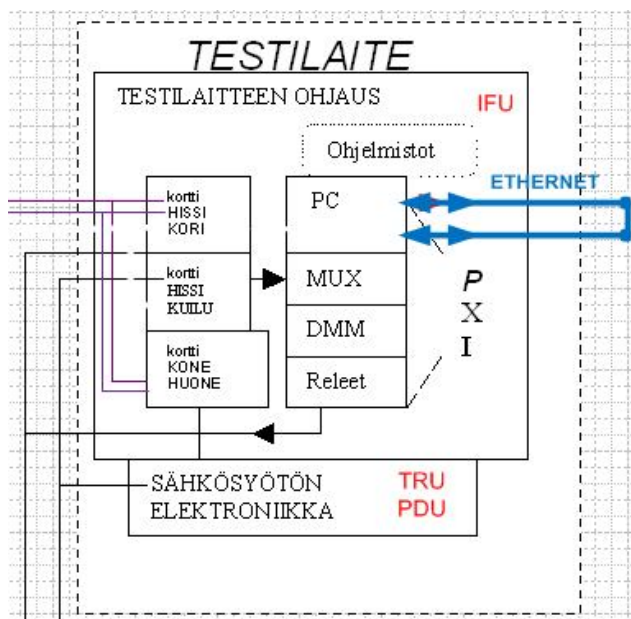


Kuvio 34. TCP/IP paketti Ethernetin kehyksessä. TCP:ssa SEQ ja ACK viittaavat protokollan kolmivaiheiseen kättelyyn. [31]

Ethernetin koodausmenetelmänä toimii Manchester-koodaus (eri kuin differentiaalinen Manchester-koodaus), jossa mm. signaalin tahdistus on osana bittijonoa ja ilman erillistä kellopulsia.

5.2.3.2 Testaaminen

Testilaitteen itsetestauksessa Ethernetin toimivuus on helpointa tarkistaa suoraan ohjelmallisoin keinoin. Sen lisäksi fyysisen kytkennän tasolla lisätään ristikytkentäkaapeli, joka korvaa pää-CPU-rajapinnan. Itsetestauskonfiguraatiossa (kuvio 35) PXI-kontrolleri komentaa NI 8234 Ethernet-korttia lähettämään ja vastaanottamaan datapaketteja kahden eri portin kautta. Tällöin kultakin portilta tarkistetaan täsmääkö datapakettien määrä.



Kuvio 35. Ethernetiä testataan takaisinkytkennällä kahden eri portin kautta.

Ethernetin sekvenssin askeleista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 7.2.2.4.

6 Piirikaavion suunnittelu

Tässä kappaleessa esitellään itsetestaustoiminnon toteuttavat kytkennät ja komponentit.

6.1 Piirikaavioiden tarkoitus ja muoto

Piirikaavioiden tehtävä on ollut kuvata täsmällisesti itsetestauksen sähkökytkennät niin, että niitä voisi seuraavassa vaihessa mahdollisesti toteuttaa nykyisen testilaitteen piirustusten pohjalta. Tämän yhteensopivuuden takia piirikaaviot on piirretty tässä työssä samanmuotoiseksi kuin jo olemassa oleva dokumentaatio. Tällainen tarkempi dokumentaatio jää KONE Oyj:n käyttöön ja sitä ei voi kokonaisuudessaan esittää tämän julkaisun yhteydessä.

6.2 Komponenttien valinnat ja niiden käyttö

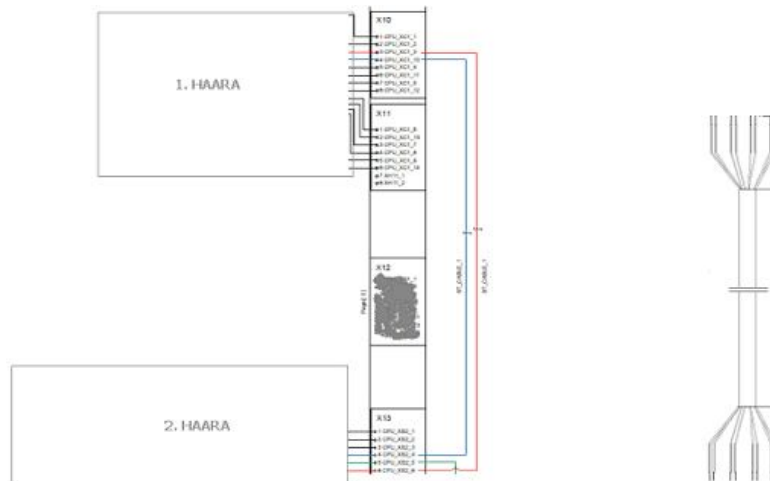
Seuraavissa a-h-kohdissa esitellään testilaitteen itsetestaukseen käytetyt komponentit ja niiden sijoitus piirikaavioissa.

a) Jännitelähde

Rele-MUX-DMM itsetestauksen osiossa tarvittu 24VDC-testisignaali on otettu eräästä soveltuvasta PDU-lähdöstä ja tuotu itsetestattavan testilaitteen neljän ulkokaapelin rajapinnassa sijoitettuihin riviliittimiin.

b) Kaapeloinnit

Itsetestauksessa on käytetty samoja kaapeleita, jotka ovat nykyisen testerin käytössä (katso kappale 4.2.1). Itsetestaustoiminto kytkeytyy siis testilaitteen neljään ulkoiseen kaapeliin ja siitä kautta testilaitteen sisäisiin kaapelointeihin. Vain tietyissä kytkennöissä on ollut tarvetta yhdistää keskenään kaapelipäitä, jotka ovat testilaitteen normaalissa tuotantokäytössä yhdistetty testattavaan kohteeseen, mutta jotka jäävät ilman sitä avoimiksi. Tähän tapaukseen kuuluvat esimerkiksi L-väylän hissikori- ja hissikuiluhaarat (kuvio 36), joiden keskellä olisi normaalisti pää-CPUun ydistävä kytkentä.



Kuviot 36, 37. Vasemmalla muokattu näkymä itsetestauksen piirikaaviosta (sarjaportti-osio), jossa yhdistetään L-väylän kaksi haaraa. Oikealla siihen käytetyn monijohteisen kierretyn kaapelin kuva.

c) Riviliittimet

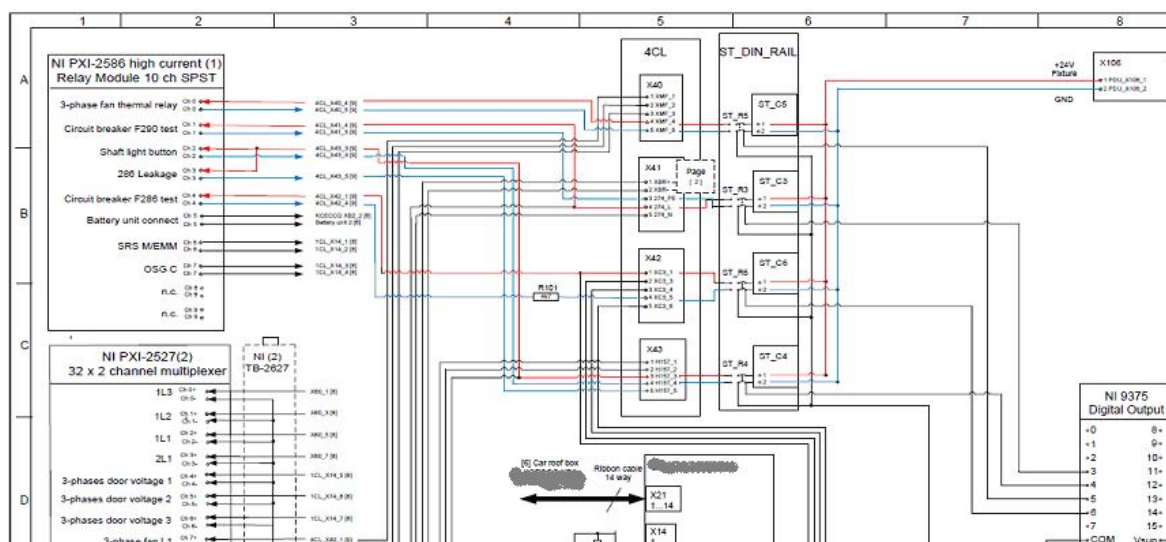
Itsetestauksen riviliittimiä on yhteensä 16 kappaletta ja ne on ajateltu samantyyppisiksi kuin jo systeemiin asennetut liittimet, esimerkiksi Weidmuller ja Phoenix Contact-tyyppiset. Riviliittimet on sijoitettu yhteiseen DIN-kiskoon (kuvio 38), mihin on samalla asennettu tarvittavat apureleet.



Kuvio 38. Mahdollinen riviliittimen kokoonpano, jossa DIN-kiskoon on asennettu kompakteja Phoenix Contact-releitä [32]

d) Apureleet

Apureleitä on yhteensä 16, yksi jokaista liittintä kohti, ja niiden tarkoitus on kytkeä vuorollaan 24VDC-signaali vain halutulle kanavalle. Tämä toiminta käy paremmin ilmi seuraavassa kuviossa 39.



Kuvio 39. Näkymä itsetestauksen piirikaaviosta (rele-DMM-osio) jossa 24VDC jännitelähde (oikeassa yläkulmassa) ja DO-moduuli yhdistetään DIN-kiskossa oleviin apureleihin (keskellä). Nämä testaavat sitten PXL-releiden- ja MUX:n kanavat (keski-vasemmalla).

Valitut apureleet (välireleet), joita käytetään tasajännitteen testisignaalin kytkemiseen, ovat tavanomaisia sähkömekaanisia releitä, jotka täyttävät käyttökohteen kriteerit. Nämä kriteerit ovat pääosin:

- 24V-signaalin hyvin hallitsevat koskettimien arvot;
- 2 vaihtokosketinta (DPDT), mikä sopii suunniteltuun tuplakanavaiseen kytkentään;
- soveltuvat kela-arvot niiden DO-moduulilla ohjaamiseen;
- pieniä mittoja ja irrotettavia kantoja helppoon asentamiseen.

Vaatimukset täyttäviä releitä (kuviot 40, 41) käytetään nykyisissäkin testilaitteissa. Ne ovat joko Omron G2R-2-SND-24VDC pistokanta -rele, jossa on myös led-osoitin ja diodi, tai Phoenix Contact kompakti -rele PLC-RSC- 24DC/21-21AU, joka on integroitu omaan riviliittimeen.

■ Koskettimien arvot

Vaihtokosketinmäärä	2 vaihtokosketintia	
Kuorma	Resisttiivinen kuorma (cosφ = 1)	Induktiivinen kuorma (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)
Nimelliskuorma	5 A, 250 VAC; 5 A, 30 VDC	2 A, 250 VAC; 3 A, 30 VDC
Jatkuva nimellisvirta	5 A	
Maks. kytkentäjännite	380 VAC, 125 VDC	
Maks. kytkentävirta	5 A	
Maks. kytkentäteho	1250 VA, 150 W	500 VA, 90 W
Minimikuorma (vertailuarvo)	10 mA, 5 VDC	

■ Kela-arvot

Nimellijännite	Nimellisvirta*	
	50 Hz	60 Hz
AC		
24 V	43.5 mA	37.4 mA
110 V	9.5 mA	8.2 mA
120 V	8.6 mA	7.5 mA
230 V	4.4 mA	3.8 mA
240 V	3.7 mA	3.2 mA

Nimellijännite	Nimellisvirta*	
	50 Hz	60 Hz
DC		
6 V	87.0 mA	
12 V	43.2 mA	
24 V	21.6 mA	
48 V	11.4 mA	

Coil side

Nominal input voltage U_N	24 V DC
Typical input current at U_N	18 mA
Typical response time	8 ms
Typical release time	10 ms

Contact side

Contact type	2 PDT
Contact material	AgNi, hard gold-plated
Maximum switching voltage	30 V AC
	36 V DC
Minimum switching voltage	100 mV (at 10 mA)

Kuviot 40, 41. Itsetestauksen apureleet ja niiden tärkeimmät arvot. Ylhäällä Omron G2R-2-SND-24VDC ja alhaalla PLC-RSC-24DC/21-21AU, jonka rele näkyy valkoisena kappaleena. [33] [34]

e) NI cDAQ-9174, kompakti 4-slottinen USB-kehikko

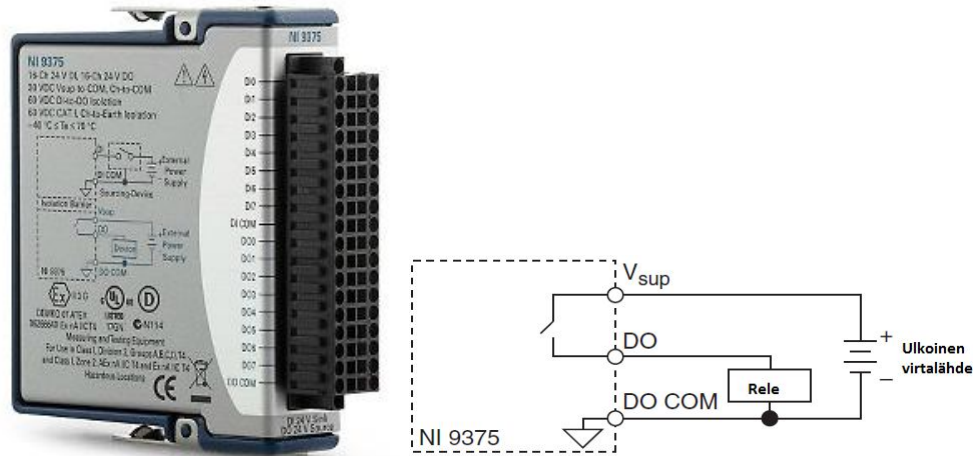
Tämä komponentti (kuvio 42) tarvitaan f)-, g)- ja h)-moduulien kytkentää varten PXI-kontrollerin kylkeen. Koska tavalliset PXI-slotit nykyisessä systeemissä ovat jo varattuja, tarvitaan silloin muutamaa ylimääräistä kytkentäpaikkaa. USB-kytkentä tukee tarvittaessa itsetestaustoiminnon siirrettävyyttä ja sen lyhyet signaalisirron etäisyydet eivät aiheuta testikäytössä ongelmia. Minikehikko myös sisältää lisäominaisuuksia kuten integroidun laskurin/ajastimen, jota voi hyödyntää esimerkiksi g)-moduulin käytössä.



Kuvio 42. NI cDAQ-9174. [35]

f) NI 9375, 24V 16-kanavainen digitaalinen IO-moduuli

Tällä moduulilla ohjataan kohdan d) apureleet. Sitä käytetään digitaalisen outputin toimintona ja myöskin välittämään releille niiden tarvitsemaa toimintajännitettä. Se toimii jännitealueella 6V-30V ja tuottaa 125mA-500mA jokaista kanavaa kohti. Se kytketään releeseen kuten kuvassa 43.



Kuvio 43. NI 9375 ja sen kytkentäkaavio. [36]

g) NI 9401, 5 V/TTL kahdensuuntainen 8-kanavainen digitaalinen I/O-moduuli

Kyseessä on alemmalla jännitteellä toimiva laite edelliseen DO:oon verrattuna, mutta jolla on lisätoimintoja kuten laskurin-/ajastimenkäyttö. Tätä ominaisuutta hyödynnetään esimerkiksi enkooderin kytkennässä, jolloin voidaan tarvittaessa simuloida enkooderin pulssia ilman moottoria (jännitelähteen ja NI 9375:n avulla). Tällöin moduuli (kuvio 44) tuottaa esimerkiksi 5-20MHz taajuuksia 1mA kuormalla ja jossa Low-High-tila on 0-5V.



Kuvio 44. NI 9401 ja sen outputin merkintä. [37]

h) NI 9871, 4-porttinen, RS-485/RS422 sarjaportti-moduuli

T-väylän RS-485 linjojen testaamiseen on käytetty tätä moduulia (kuvio 45), jossa on neljä lähetin-vastaanotin-paria ja joka mahdollistaa differentiaalisten kanavien ja solmujen tarkistamisen ulkoapäin. Asetuksissa voi laajasti määrittää esimerkiksi

sarjaporttien Baud-nopeutta, sanomien rakennetta ja muita parametreja 4- tai 2-johdinten topologian mukaan.

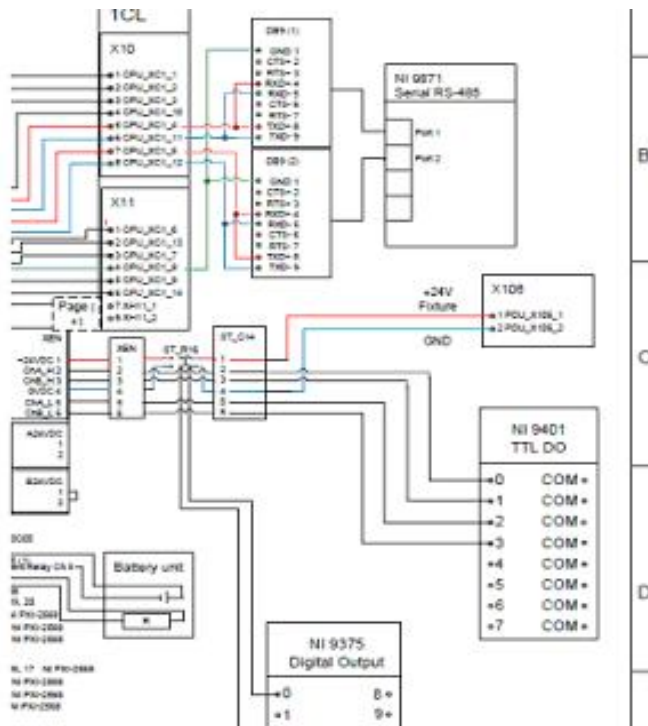


DB-9 UROS-LIITIN		
Connector	Pin	Signal
	1	GND
	2	CTS+
	3	RTS+
	4	RXD+
	5	RXD-
	6	CTS-
	7	RTS-
	8	TXD+
	9	TXD-

Kuvio 45. NI 9871 ja sen DB-9-liittimen pinnit.

[38]

Kohtien g) ja h)-kytkentä on näytetty seuraavassa kuviossa 46.



Kuvio 46. Piirikaavion läpileikkaus T-väylän ja enkooderin itsetestauksen kytkennästä.

7 Itsetestauksen sekvenssi

Kappaleessa 5.1 viitattiin piirikaavioiden ja sekvenssin yhteensopivuuteen itsetestauksen suunnittelussa: fyysiset liitännät mahdollistavat testisekvenssin suorittamisen ja vastaavasti sekvenssi määrää kytkentöjen järjestyksen ja luonteen. Tässä kappaleessa kerrotaan sekvenssin kulusta.

7.1 Vaatimukset

Itsetestauksen suoritukselle on ajateltu lyhyt joukko vaatimuksia siitä, miten se tulisi toteuttaa sekä askeleiden listana (sekvenssi) että tarkempaan algoritminä (ohjelma, josta demo-ohjelma, kappale 8).

Sekvenssistä halutaan modulaarinen ja selkeä rakenne, jossa on tärkeimmät laitekutsut ja mittausten viitearvot. Se koostuu itsenäisistä osioista (kappaleet 7.2.1-7.2.2), mitkä voidaan tarvittaessa suorittaa yksitellen. Askeleiden periaate ja sisältö (esimerkiksi sulje rele – lue DMM:llä – lue sarjaportilta) ovat keskenään samankaltaisia ja niitä toistetaan peräkkäin eri I/O:lle.

Tietyt I/O-kategoriat on testattava aina (käyttöjännitteet, turvaketju, ja niin edelleen), toiset toiminnot voivat sen sijaan olla valinnaisia. Sekvenssin eteneminen täytyy olla graafisesti näkyvissä ja ohjattavissa yksinkertaisena käyttöliittymänä (kappale 8).

7.2 Sekvenssin rakenne ja toiminnot

Sekvenssi on tässä työssä MS Excelillä laadittu ja yli 200 rivinen testiaskelten kokoelma eri osioihin ryhmiteltynä. Sen tarkoitus on, kuten tämän työn muut dokumentit, toimia viitedokumentaationa KONE Oyj:n käyttöön ja siksi se on kirjoitettu englanniksi eikä sitä esitetä kokonaisuudessaan.

Aivan sekvenssin alussa on tehty pieni taulukko (kuvio 47), joka sisältää komponenttien ja laitteiden kutsunimet sekvenssissä, niiden täydelliset nimet ja fyysinen sijainti joko PXI-kehikon sloteissa tai muualla kokoonpanossa.

Instrument / component NAME IN EFT PXI ST SEQUENCE	Instrument / component COMPLETE NAME AND TYPE	PXI Slot No.
1	NI PXIe-1078, 9-Slot 3U PXI Express Chassis	
PXI_CONTROLLER	NI PXIe-6135, 2.3 GHz Quad-Core PXI Express Controller	1
PXI_LAN	NI 8234 Dual Gigabit Ethernet Controller	2
RELAY_MOD_1	NI PXI-2586, Relay Module 31 ch SPST	7
HC_RELAY_MOD_1	NI PXI-2586 (1), High Current Relay Module 10 ch SPST	6
HC_RELAY_MOD_2	NI PXI-2586 (2), High Current Relay Module 10 ch SPST	8
MUX_1	NI PXI-2527 (1), 32 X 2 ch Multiplexer 300V CAT1	3
MUX_2	NI PXI-2527 (2), 32 X 2 ch Multiplexer 300V CAT1	4
DMM	NI PXI-4065 8 1/2-Digit DMM (300V, 3A)	5
ST_Fixture_24VDC	24VDC Power Supply from EFT_PDU	
ST_Rox (r = relay number)	Omron G2R-2-SND-24VDC, DPDT General-purpose Relay with LED indicator and diode OR Phoenix Contact Relay PLC-RSC- 24DC/21-21AU	DI/N rail
ST_Cox (c = connector number)	Weidmuller, Phoenix Contact, Molex connectors	DI/N rail
1	NI cDAQ-9174, NI CompactDAQ 4-Slot USB Chassis. For ST_DO and ST_EDO	USB port
ST_DO	NI 9375, 24 V, 16 Ch Digital Input, 16 Ch Digital Output Module	USB external slot
ST_EDO	NI 9461, 5 V TTL, Bidirectional Digital I/O, 8 Ch Module	USB external slot
ST_SERIAL	NI 9871, 4-Port, RS485/RS422 Serial Module	USB external slot
ST_CABLE_1	testing cable	none
ST_CABLE_2	Ethernet crossover patch cable	none

Kuvio 47. Itsetestauksen komponenttien taulukko sekvenssissä.

Luonnollisesti sekvenssin jako on ylemmällä tasolla sama kuin sähkökytkentöjen suunnittelussa, joten se sisältää kaksi pääosiota: releisiin-DMM:een pohjautuva ja tietoliikenneväylien tarkistus. Jokaisessa niissä on aliryhmiä, joita esitellään seuraavaksi.

7.2.1 Rele-DMM-kanavien tarkistus

Sekvenssin valmistavien alkurivien jälkeen rele-DMM-osuudella spesifioidaan komennot jokaiselle I/O-ryhmälle. Testattavien I/O-ryhmien jako ja järjestys on: jännitteensyötön I/O:t, korkeajännite-I/O:t (ei jännitteensyöttöä), matala-jännitteiset, muut signaalit.

7.2.1.1 Jännitteensyöttö

Jännitteensyöttö määrää olennaisesti kaikki muut I/O:t siten, että sen hyvä toiminta on edellytyksenä koko itsetestauksen toimivuudelle. Tässä osiossa mittaukset tapahtuvat TRU-blokissa (Transformer Unit) ilman itsetestauksen ulkoisia kytkentöjä. Sekvenssin tasolla (kuvio 48) annetaan kuitenkin järjestys esimerkiksi siitä, mitkä PXI-relemoduulien kanavat kytketään päälle ja vastaavasti mistä MUXen kanavista luetaan jännitearvot DMM:lle.

SELF-TEST SECTION	STEP NUMBER	STEP TYPE	STEP	ADDITIONAL STEP DESCRIPTION	TEST LIMIT	SHOW ADVANCE IN SOFTWARE	EFT / EFT_PX1_ST DRAWING NO.	SOFTWARE: RELATED LABVIEW
TRU-power supply test	10	ACT	Put MUX_1 Ch 13 on	MUX_1 Ch 13 connects to IFU connector X80 pin 2 and GND pin 1			See drawings EFT_TRU nr. 50078840D02_1 and EFT_IFU nr. 50078839D02_1	EFT_PX1_SELF_TEST_DEMO 1) SWITCH-DMM (SubVI).vi
TRU-power supply test	11	CHECK/ MEAS	DMM measures MUX_1 Ch 13 voltage	Measures power supply ignition key OFF = 0V ON = 24V	24VDC	yes	See drawings EFT_TRU nr. 50078840D02_1 and EFT_IFU nr. 50078839D02_1	EFT_PX1_SELF_TEST_DEMO 1) SWITCH-DMM (SubVI).vi
TRU-power supply test	20	ACT	Put MUX_1 Ch 14 on	MUX_1 Ch 14 connects to IFU connector X80 pin 3 and GND pin 1			See drawings EFT_TRU nr. 50078840D02_1 and EFT_IFU nr. 50078839D02_1	EFT_PX1_SELF_TEST_DEMO 1) SWITCH-DMM (SubVI).vi
TRU-power supply test	21	CHECK/ MEAS	DMM measures MUX_1 Ch 14 voltage	Measures supply lines insulation monitoring, OK = 24V FAIL = 0V	24VDC	yes	See drawings EFT_TRU nr. 50078840D02_1 and EFT_IFU nr. 50078839D02_1	EFT_PX1_SELF_TEST_DEMO 1) SWITCH-DMM (SubVI).vi
				Further check tester power supply to/from DUT				
PDU-power supply test and enable	30	ACT	Close RELAY_MOD_1 Ch 28	Enables 24V safety feature to PDU connector X109 pin 1 and GND pin 2, which in turn enables FIXTURE_24VDC on PDU connector X106 pin 1 and GND pin 2 throughout IFU EFT_TESTER and also for self test purposes. This output must stay ON during the whole self test sequence.			See drawings NONE_PDU nr. 50030203D02_1, EFT_TRU nr. 50078840D02_1 and EFT_IFU nr. 50078839D02_1	EFT_PX1_SELF_TEST_DEMO 1) SWITCH-DMM (SubVI).vi

Kuvio 48. Näkymä jännitesyöttö-osiosta jossa on sekvenssin sarakkeiden otsikot ja niiden vastaava sisältö.

TRU:n sisällä olevat anturit ja releet antavat käytännössä IFU:lle (Interface Unit, eli testerin ohjausyksikölle) 0V- tai 24V-signaalin riippuen esimerkiksi siitä, onko jännitteenkytkin tai jännitteensyötön vaiheiden eristys ON-tilassa tai ei. Nämä poispäällä-signaalit perustuvat vuorollaan TRU:n sähkömittauksiin, joista kerrotaan seuraavassa kahdessa luvussa.

7.2.1.1.1 Käyttäjännitteiden mittausta

TRU:stä voidaan valita sen kolmen jännitemuuntajan ansiosta syötetäänkö systeemiin esimerkiksi 230V tai 400V jännitettä. Jälkimmäinen lukema tarvitaan 3-vaiheisen moottorin toimintaan silloin, kun testilaite on yhdistetty testattavaan kohteeseen. Testilaitteen itsetestauksessa kytketään tämä korkeampi jännite päälle, kun halutaan tarkistaa vastaako L1-L2-L3-vaiheiden välinen arvo (*pääjännite*) 400V. Koska MUX:n ja DMM:n ylin jännitekesto on 300V (katso kappale 4.2.2 kohta d.2), haluttua pääjännitteen mittausta ei voida suoraan suorittaa. Loogisin ratkaisu on tässä tapauksessa mitata sen sijaan jokaisen vaiheen L1-L2-L3 suhdetta nolla-johtoon (N) eli mitataan *vaihejännitettä*. Tällöin mitatun vaihejännitteen tulisi olla 230VAC kymmenen prosentin toleransilla, jotta pääjännite on 400VAC kymmenen prosentin toleransilla. Perusteellisempi selitys tälle arvolle on, että tavanomaisessa sinimuotoisessa kolmivaihejärjestelmässä vaiheiden jännitteen ja virran komponenttien itseisarvot sekä niiden väliset kulmat ovat yhtä suuria ja symmetrisiä. Vaiheiden suunta- ja suuruusvektorit muuttuvat siis symmetrisesti sähköverkon taajuudella (Euroopassa 50Hz). Tällöin vaiheilla on 120 (360/3) asteinen kulmaero eli keskinäinen vaihesiirto [39, s. 5]. Tällöin vaiheille pätee yhteys:

$$[\sqrt{3} * U_v] = U_p = [L1=L2=L3] \approx 400VAC \text{ jos } U_v \approx 230VAC \quad [40, \text{ s. 261-263, muokattu}]$$

jossa U_v = vaihejännite ja U_p = pääjännite

Samalla periaatteella silloin, kun halutaan suorittaa samaa tarkistusta 230VAC pääjännitteelle, niin vaihejännitteen lukeman tulee olla 133VAC $\pm 10\%$ ($230\text{VAC} / \sqrt{3}$).

7.2.1.1.2 Jännitteen eristyksen ja vaihejärjestyksen mittaus

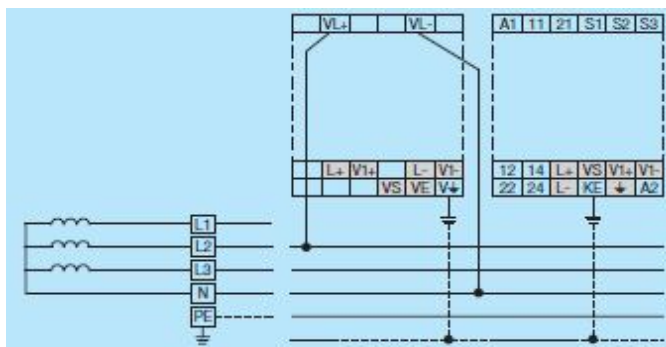
Jännitteensyöttöosiossa sekvenssi lähinnä käyttää hyväksi TRU:ssa olevat mittaukset paitsi syötön arvoista myös sen laadusta. TRU:n jänniteladun mittaukset ovat ainakin kahta eri tyyppiä, nimittäin eristystason valvonta (maasulku) ja vaiheiden järjestys.

Maasulku määritellään eristysviaksi yhden tai useamman vaihejännitteen ja maatason välillä. Tällöin vaihejännitesyötössä syntyy epäsymmetria, laitteiden kuumeneminen ja mahdollisia muita vaaratilanteita. Nämä vaikutukset johtuvat maasulun virranvuodosta, jota ilmaistaan kaavalla:

$$I = U_v / (Z_i + Z_f) \quad [41, \text{S.5}]$$

missä U_v on vaiheen ja maan välinen jännite-ero, Z_i on sisäinen syöttöverkkoimpedanssi ja Z_f on impedanssi vikakohdassa.

TRU:ssa maasulun tarkistuksen suorittaa ABB CM-IWN.1 – CM-IVN-maasulun valvontarelepari (kuvio 49). Tämä mittaa syöttövaiheiden - maatason välistä eristysresistanssia laskemalla syötetyn viitepulssisignaalin arvoa. Jos tämä lukema alittaa asetetun minimiarvon, se merkitsee virran vuotoa ja silloin ulostulorelee laukaisee OFF-tilan. [42, s. 3] [43, s. 2]

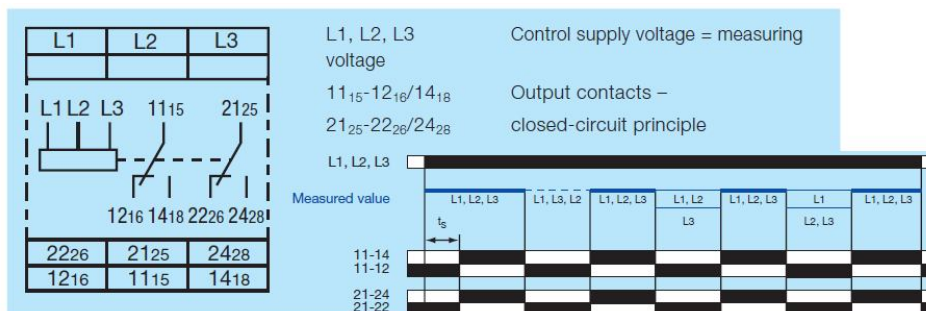


Kuvio 49. ABB CM-IWN.1 – CM-IVN-maasulun valvontareleparin kytkentä. [43, s. 3]

Tässä on huomioitava, että äsken esitetty mittaustapa pätee hyvin TRU:n kaltaisessa kelluvassa maadoituksessa. Mikäli sen sijaan mitauskohteena olisi normaalisti maadoitettu systeemi (suoraan yhdistetty maapotentiaaliin), tulisi maasulkua mitata eri menetelmin esimerkiksi vikavirtamittarilla.

Toinen tärkeä jännitemittaus TRU:ssa on syöttövaiheiden järjestyksen tarkistus. Tätä on valvottava, koska kolmivaihejärjestelmässä se määrää pohjimiltaan moottorin pyörimissuunnan, jolloin sen oikea toiminta osoittautuu hyvin kriittiseksi.

ABB CM-PFS-valvontarele suorittaa TRU:ssa tämän tarkistuksen. Sen kosketinten asennot on synkronoitu oikean vaihejärjestys L1-L2-L3 mukaisesti (kuvio 50) ja näin ollen se ilmaisee, jos jokin vaihe on ajoituksessaan esimerkiksi väärin jäljessä tai edellä. [44, s. 3]



Kuvio 50. ABB CM-PFS valvontareleen kytkentä ja sekvenssikaavio. [44, s. 3-4]

7.2.1.2 Muut I/O:t ja niiden perussekvenssi

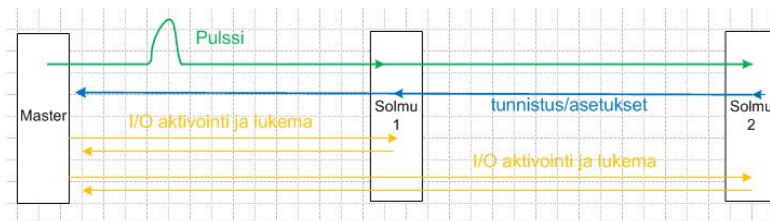
TRU:n testauksen viimeisten askelten jälkeen, jossa muun muassa mitataan moottorijarrun syöttö kytkemällä tasasuuntajasta (diodisilta) tulevaa 190VDC:tä, sekvenssin rele-MUX-DMM osio etenee muihin olennaisiin I/Oiin. Tällöin tulevat testatuksi PXI-4065 DMM:n mittauksella kaikki PXI-2568/2586 relemoduulien lähdöt, niihin liittyvät johdin-liitin reitit ja kaikki PXI-2527 MUXien kanavat. Joukossa on I/Oita kuten 24VDC signaalitason tarkistus kuilupiirille, korihälytyksiä, korinkutsuja, eri rajakytkinten asento ja niin edelleen. Niiden luonteesta riippumatta sekvenssin perusstepit on useimmiten ilmaistu subsekvenssilla: sulje apurele (DO moduulin kautta) – sulje PXI-rele – kytke 24VDC testisignaali – aktivoi vastaava MUX:n kanava – mittaa DMM:llä. Nämä askeleet toistuvat yleensä ilman suurempia variaatioita. Vain mikäli tarpeellista ja mahdollista, on paikoin samasta testausliittimestä hyödynnetty kombinaatiota kuten esimerkiksi kahden apureleen sulkeminen tietyssä järjestyksessä tai yhdessä, jotta steppien tai kytkentöjen määrä voidaan minimoida.

7.2.2 Tietoliikenneväylien tarkistus

Sekvenssin tietoliikenneväylä-osiossa kaksi erillistä osa-aluetta on tarkistettu niiden fyysisen kanavan mukaisesti. Ensimmäinen on RS-485 väylällä sijaitsevien I/Oien testaaminen. Toinen on muutaman stepin pituinen Ethernet-verifiointi. RS-485-lohko jaetaan vielä kolmeen ala-osaan: L-väylä, T-väylät, enkooderin signaalin lukeminen.

7.2.2.1 L-väylän testaus

L-väylän itsetestaussekvenssin alussa PXI-kontrolleri lähettää väylän verkkokortilla varustetuille solmuille statuspyynnön sarjakommunikaationa. Statuspyyntö tarkoittaa "pollausta" (polling) LonTalk:n kaltaisen protokollan kautta (katso kappale 5.2.2.2). Statuspyynnön yhteydessä voi olla myöskin tarpeellista suorittaa roll-callia (kerrosohjaustoimintoa), jos kuilukorteilta ei saada vastausta: tällöin tietyltä PXI-releeltä lähetetään L-väylään "herätyspulssi" (kuvio 51), jolle saadaan vastaukseksi solmukorttien jumpperiasetukset.



Kuvio 51. Roll-call-rutiini. [5, muokattu]

Silloin kun kaikki L-väylän solmut on todettu aktiivisiksi, aktivoidaan sen jälkeen vuorotellen väylään kytketyt PXI-releet, jotka luetaan High-tila-I/O:na (looginen 1) protokollan datapakettien kautta.

Tällä tavalla todetaan I/O:n ja väylän toimivuus.

7.2.2.2 T-väylän testaus

T-väylän sekvenssi on stepeiltään samankaltainen kuin L-väylä, mutta samalla sen lähtökohta poikkeaa hieman siitä.

Sekvenssissä PXI-kontrolleri komentaa ensin RS-485-moduulia alustamaan ja lukemaan väylän solmujen tilan. Tämä ja seuraavat stepit suoritetaan RS-485-moduulin aiemmin esitetyllä kytkennällä (katso kappale 6.2 kuvio 46) ja molemmille T-väylille (T1 ja T2). Toisena steppinä aktivoidaan vuorotellen solmuihin yhdistetyt PXI-releiden outputit (kuvio 52), jotka nähdään luettujen bittijonojen sisällöstä High-tila-I/O:na (looginen 1).

Koska itsetestaussekvenssin tavoite on tässäkin osiossa vain todeta fyysisten kanavien toimivuus, katsotaan silloin riittäväksi, että kortit ja I/O:t voidaan havaita silloin kun niitä aktivoidaan (tilanmuutoksena kullekin I/O:lle). Kanavien toimivuus todetaan siis viestien tarkasta sisällöstä (protokollan yksityiskohdista) riippumatta.

SELF-TEST SECTION	STEP NUMBER	STEP TYPE	STEP	ADDITIONAL STEP DESCRIPTION	TEST LIMIT	SHOW ADVANCE IN SOFTWARE	EFT / EFT_PXL_ST DRAWING NO.	SOFTWARE: RELATED LABVIEW VI
F13-IO test by polling loop	25.5.0	ACT	Close RELAY_MOD_1Ch6	RELAY_MOD_1Ch6 is connected to 24VDC connector XS2 pins 1,4			Page 10 EFT_PXL_SELF_TEST_Version1	EFT_PXL_SELF_TEST_DEMO.vi 2/PS495 (SubVII).vi
F13-IO test by polling loop	25.5.1	CHECK/MEAS	Read RELAY_MOD_1Ch6 from ST_SERIAL	Software reads related IO state of pcb	High logic state	yes	Page 10 EFT_PXL_SELF_TEST_Version1	EFT_PXL_SELF_TEST_DEMO.vi 2/PS495 (SubVII).vi
F13-IO test by polling loop	25.6.0	ACT	Close RELAY_MOD_1Ch7	RELAY_MOD_1Ch7 is connected to 24VDC connector XS3 pins 1,3			Page 10 EFT_PXL_SELF_TEST_Version1	EFT_PXL_SELF_TEST_DEMO.vi 2/PS495 (SubVII).vi
F13-IO test by polling loop	25.6.1	CHECK/MEAS	Read RELAY_MOD_1Ch7 from ST_SERIAL	Software reads related IO state of pcb	High logic state	yes	Page 10 EFT_PXL_SELF_TEST_Version1	EFT_PXL_SELF_TEST_DEMO.vi 2/PS495 (SubVII).vi

Kuvio 52. Näkymä T-väylän stepeistä sekvenssissä

7.2.2.3 Enkooderin kanavan tarkistus

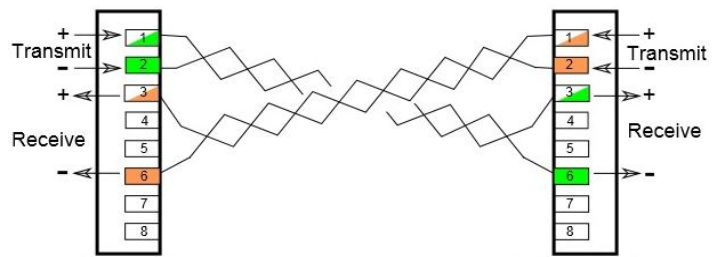
Enkooderin tulo on myös kaksikanavainen differentiaalinen signaali (katso kappale 5.2.2.4) ja se tarkistetaan samoin T-väylän sekvenssistä, sillä simulaatiokortti, johon sen signaali on yhdistetty, kommunikoi väylän kautta. Sekvenssissä käskytetään ensin drive-yksikköä ajamaan moottoria esimerkiksi testimoodissa. Tämän jälkeen moottorin positio voidaan lukea enkooderin signaalista. Enkooderin signaalin vastaanotto on riittävä kanavan toimivuuden varmistamiseen.

Vaihtoehtoinen menetelmä testilaitteen enkooderin tulon tarkistamisessa on enkooderin pulssisignaalin simulointi. Jos moottoria ja enkooderia ei haluta käyttää testilaitteen itsetestauksessa, voidaan sen pulssia simuloida NI 9401-DO-moduulilla (kuten esitetty laitevalintojen osiossa kappaleessa 6.2 kohta g) ja sen lisäksi yhdistetään tarvittava jännitelähde apureleella. Mittaustulokseksi tulisi saada sama signaalin pulssimäärä ja taajuus, mitä inputina on tuotettu.

7.2.2.4 Ethernetin verifiointi

Sekvenssin viimeiset stepit tarkistavat Ethernetiä. Testattavan kohteen ohjaamiseen on käytetty NI 8234 Ethernet-kortti, jolla on kaksi 1 Gigabit/s-porttia (1000BASE-T). Tässä sekvenssiosiossa halutaan varmistaa porttien toimivuus ja CAT-5-Ethernetin kaapelin eheys lähettämällä TCP/IP liikennettä (katso kappale 5.2.3).

Itsetestausta varten yhdistetään ensin ristikytkeytyllä Ethernet-kaapelilla testilaitteen ulkorajapintaan tulevat kaksi Ethernetin naarasliitintä. Seuraavaksi sekvenssin stepit käsittelevät vuorottaista porttien "pingaamista" (kuvio 53), eli annetaan ping-komento NI 8234 oman verkkokortin IP-osoitteelle. Vastauksesta voidaan todeta, onko datapaketteja vastaanotettu sama määrä kuin niitä on lähetetty sekä lähetysten vasteajat millisekuntteina.



Kuvio 53. Ristiinkytetyn Ethernet-kaapelin signalisointia. Pinninumerot ja signaalit ovat RJ45-liittimestä.

8 Demo-ohjelma

Seuraavaksi käsitellään itsetestauksen demo-ohjelma.

8.1 Demo-ohjelman tarkoitus

Työn tässä osiossa on pyritty mallintamaan itsetestaussekvenssin logiikkaa ja kiteyttämään sen perustoimintaa. Tuloksena on saatu NI Labview:lla tehty sekvenssin demo-versio. Demo ei ole itsetestattavan testilaitteen todellista ohjelmointia, koska laitetta ei ole vielä fyysisesti saatavilla uusimmassa PXI-versiossaan ja koska ohjelman tekeminen ei varsinaisesti kuulunut tämän työn sisältöön. Katsoin silti tärkeäksi osoittaa aiemmin esitetyt toiminnot ohjelmallisesti, vaikka ei missään määrin täydellisesti.

8.2 Labview'n ohjelmointi ja simulointi

Ohjelman tekemiseen olisi voitu käyttää myös muita työkaluja tai ohjelmointikieliä, mutta Labview on tullut valituksi eri syistä:

- kiinnostus uuteen ohjelmaan, josta olin aikaisemmin kuullut
- sen suhteellisen yksinkertaisuuden ja silti kattavan ohjelmointiympäristön vuoksi
- graafinen rakenne
- laajasti käytetty testiympäristössä

Labview mahdollistaa suoraan graafisen ohjelmoinnin niin sanottua G-kieltä käyttäen [45]. Lohkojen tulot, lähdöt ja niiden väliset funktiot yhdistetään graafisesti johtimilla, jolloin ne vaikuttavat ohjelmoinnin tasolla toisiinsa. Tästä ohjelmamuodosta johtuen Labview-ohjelman suoritus on virtauskaaviotyyppinen, eli se toteutuu kytkentöjen ja rakenteiden (sekvenssi, silmukka tai valinta) perusteella ”rinnakkaisesti”. Tässä asiassa suoritus poikkeaa perinteisestä tekstipohjaisesta ohjelmasta, jossa rivit suoritetaan ylhäältä alas. Labview'n ohjelmointilohkoja kutsutaan nimellä VI (Virtual Instrument) ja niihin on mahdollista sisällyttää toisia VI:ta (subVI:t). Jokaisessa VI:ssa on kaksi tasoa

ja näkymää: lohkokkaavio (Block Diagram) ja käyttöpaneeli (Front Panel). Block Diagram on varsinainen graafinen koodi ja Front Panel on sen käyttöliittymä. Molempia voidaan suorittaa erikseen, mutta kummassakin on omat spesifiset ominaisuudet.

Laitetestauksen kannalta Labview'n ympäristössä on tehokkaita simulointityökaluja, joilla pystytään esimerkiksi ottamaan käyttöön virtuaalisia NI- tai toisten tekemiä instrumentteja. Tämä tarkoittaa sitä, että fyysinen laite, esimerkiksi tässä työssä esitetty NI-2527 multiplekseri, on yksikohtaisesti konfiguroitava virtuaalisessa versiossaan ja sitä voidaan käyttää komponenttina Labview'n ohjelmointilohkoissa. Sovellus, jolla hallinnoidaan ja luodaan todellisia tai virtuaaleja instrumentteja, on NI MAX [46]. Työkalu mahdollistaa muun muassa laiteajurien hakemisen ja luonnin (IVI) sekä laajojen kirjastojen käytön (NI-DAQmx).

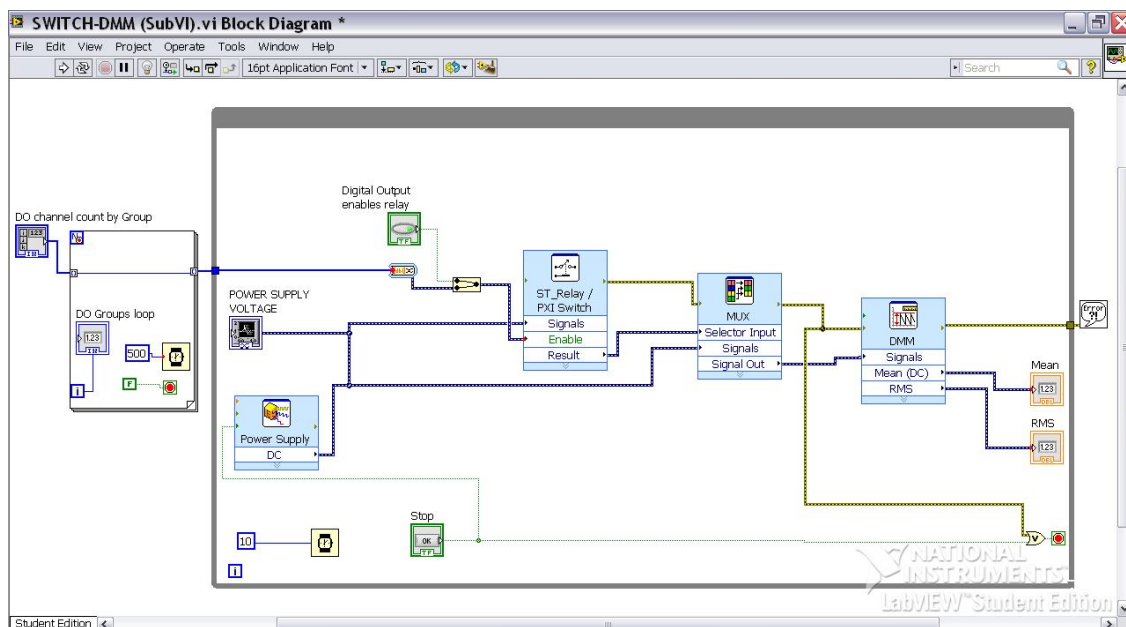
8.3 Demo-ohjelman osiot

Demo-ohjelma koostuu neljästä VI:stä jotka on sitten koottu yhteen Labview'n yksinkertaiseen käyttöliittymään. VI:t vastaavat itsetestaussekvenssin neljää osiota: Switch-MUX-DMM, RS-485, enkooderi, Ethernet.

8.3.1 Switch-MUX-DMM

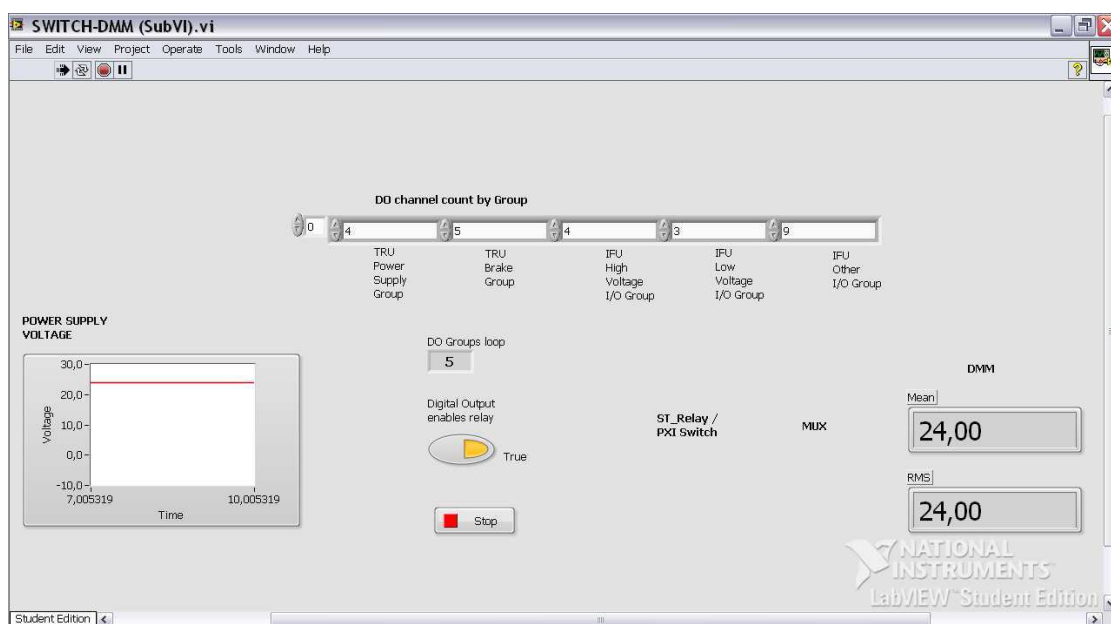
MUX:n ja DMM:n termeihin on jo viitattu aiemmissa kappaleissa. Switch-nimellä tarkoitetaan tässä ohjelmassa sekä apurelettä että PXI-relemoduulia. Demossa on päätetty yhdistää nämä kaksi laitetta yhdeksi simuloiduksi blokiksi ("ST_Relay / PXI Switch" kuviossa 54) yksinkertaisuuden takia ja koska yhdessä toimimassa ne muodostavat kanavan kytkennän jokaiselle I/O:lle, mikä on totta itsetestauksen logiikassa. On kuitenkin huomattavaa, että todellisen systeemin ohjelmoinnissa tulisi sen sijaan luoda ja konfiguroida jokainen instrumentti erikseen ja sitten synkronoida ne keskenään.

Ohjelman lähtökohtana on ollut blokkien rakentaminen: 24VDC-jännitelähde, Switch, MUX, DMM. Tarkoitukseen on käytetty valmiita Express-VI:ta, joita on sitten muokattu, konfiguroitu ja kytketty sopivaksi (kuvio 54)



Kuvio 54. Switch-DMM-lohkokaaviossa while-luoppi (harmaa ruudukko) ympäröi ja ajaa blokit 10ms kellonjaksolla.

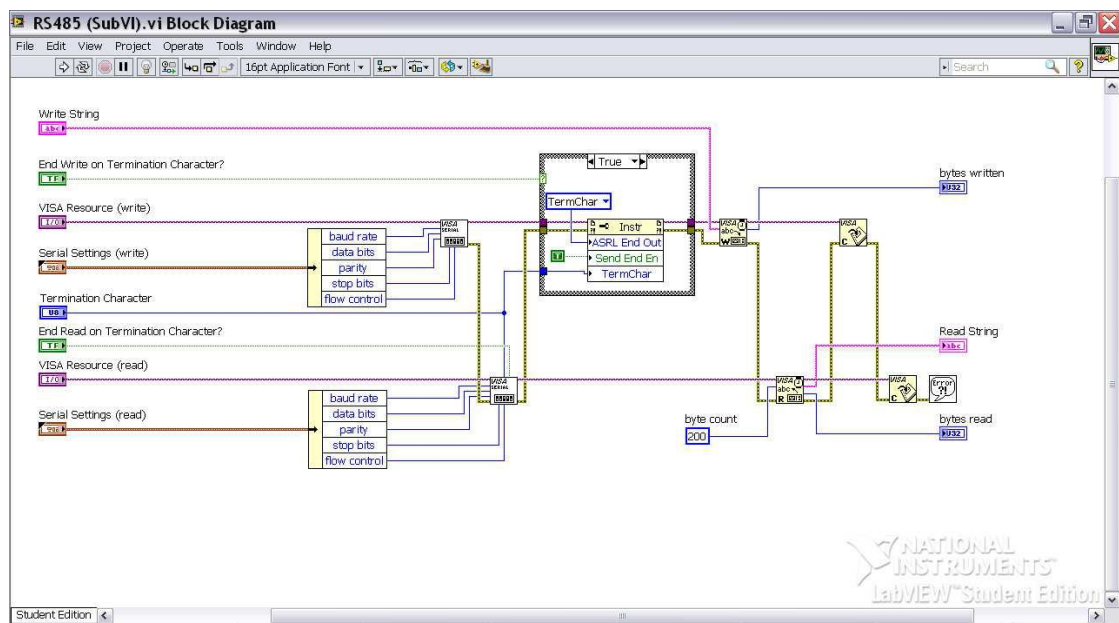
Kuvion 54 vasemmalla puolella huomataan DO-kanavia kutsuva FOR-luoppi, jonka lähtö muunnetaan soveltuvaksi tietotyyppiä (taulukkotietotyyppistä dynaamiseksi signaaliksi) ja kytketään Relay-Switch-moduuliin. Relay-Switch yhdistää DC-testisignaalin aktivoidulle DO-kanavalle. Testignaali kohdistetaan sen jälkeen MUXin kautta DMM:lle mitattavaksi. Samalla kuljetetaan mahdollisia virheilmoituksia (keltainen johto ja error-SubVI) lohkokaaavion läpi. Tätä samaa prosessin ajoa näytetään käyttöpaneelissa (kuvio 55).



Kuvio 55. Switch-DMM-käyttöpaneeli. Ohjelman sykli toistuu ainakin 5 kertaa (ainakin 1 kerta kullekin 5 DO-ryhmälle) ja DMM näyttää 24V-lukeman silloin kuin totuusarvotulo on päällä (Digital output enables relay = true).

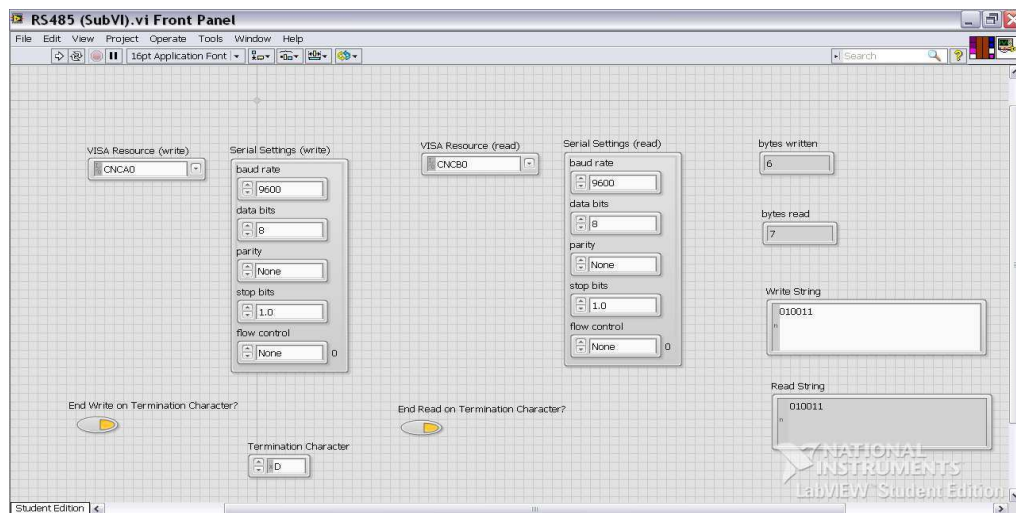
8.3.2 RS-485

Tässä VI:ssä (kuvio 56) on näytetty puhdas sarjaporttitoiminto, mikä Labview:ssa toimii VISA-sarjaporttiresurssilla. VISA:lla siis avataan sessio, kirjoitetaan resurssiin ja luetaan resurssista käyttämällä sarjaporttiasetuksia (baud-nopeutta, databitit, pariteetti, pysähdys-bitti ja vuonhallinta), joita ilmaistaan cluster-tietotyyppinä. Nämä staattiset asetukset on hallinnoitu VI:n keskellä olevalla property node -luokalla, jossa on metodeja, jotka ajetaan ympäröivällä case-rakenteella (harmaa ruudukko). Case-rakenne suorittaa loopin sen valikosta riippuen (tässä tapauksessa True-Fault). Suorituksen jälkeen sessio suljetaan.

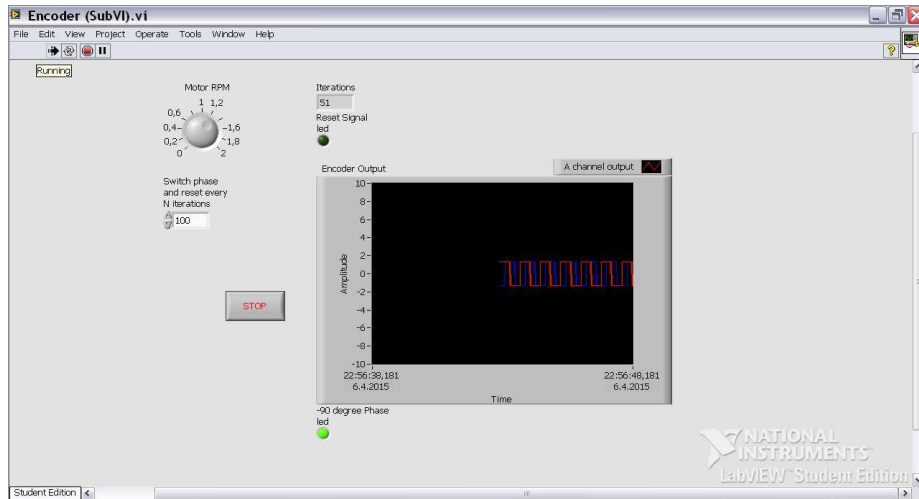


Kuvio 56. RS485-lohkokaavio. Sarjaportin tietorakenne.

Tässä tapauksessa tarvittava input, jossa esimerkiksi luetaan I/O:n bittijono, annetaan käyttöpaneelista (kuvio 57).



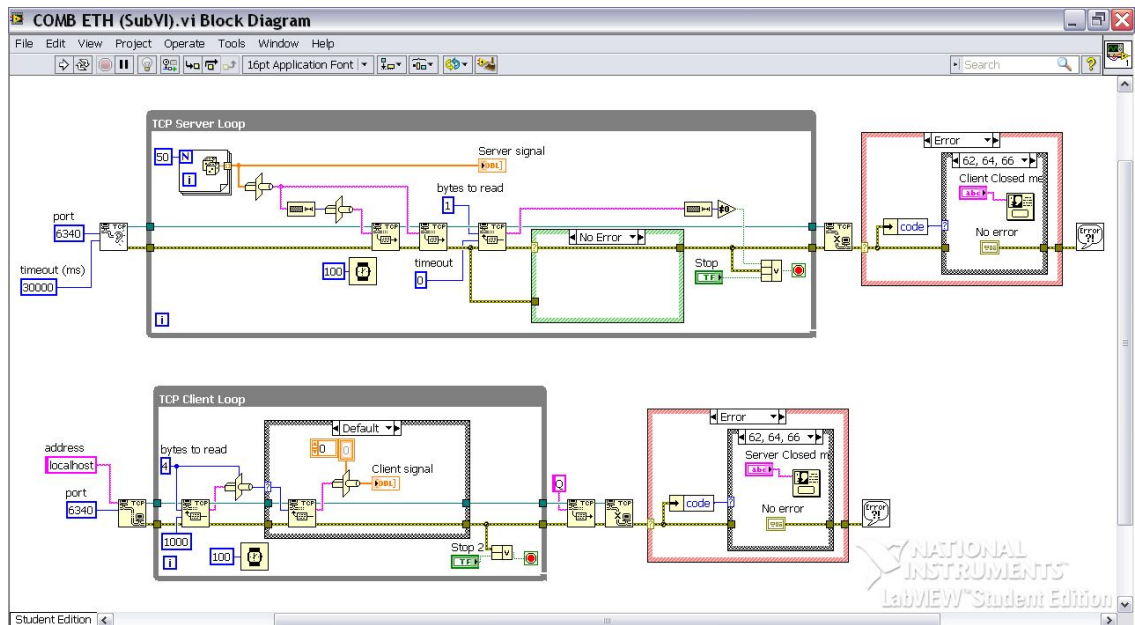
Kuvio 57. RS485-käyttöpaneeli. Annetuilla resurssilla ja asetuksilla kirjoitetaan ja luetaan samaa bittisanomaa.



Kuvio 60. Encoder-käyttöpaneeli. Enkooderin tuplakanavainen signaali ja sen säädöt.

8.3.4 Ethernet

Osuuden simulointiin on käytetty TCP:n palvelin-asiakas-rakennelmaa yhteen VI:iin koottuna (kuvio 61). Käytetty portti täytyy olla molemmille osapuolille sama. TCP:n kuljetuskerroksen mukaisesti asiakas muodostaa yhteyden, jonka palvelin havaitsee ja johon se vastaa generoimalla dataa. Seuraavaksi suljetaan yhteys.



Kuvio 61. Ethernet-lohkokaaviossa luopit toimivat samanaikaisesti. Data tuodaan TCP-funktioihin ja läpi kuljetetaan mahdollisia virheilmoituksia (keltaiset johdot, clusterin tietotyyppi).

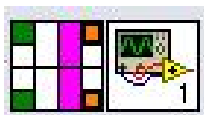
Nämä toiminnot nähdään käyttöpaneelissa vain liikenteenä (kuvio 62).



Kuvio 62. Ethernet-käyttöpaneeli. Signaalin arvo on 0-1 välillä. Stop-nappi keskeyttää liikenteen ja antaa virhekentän viestin.

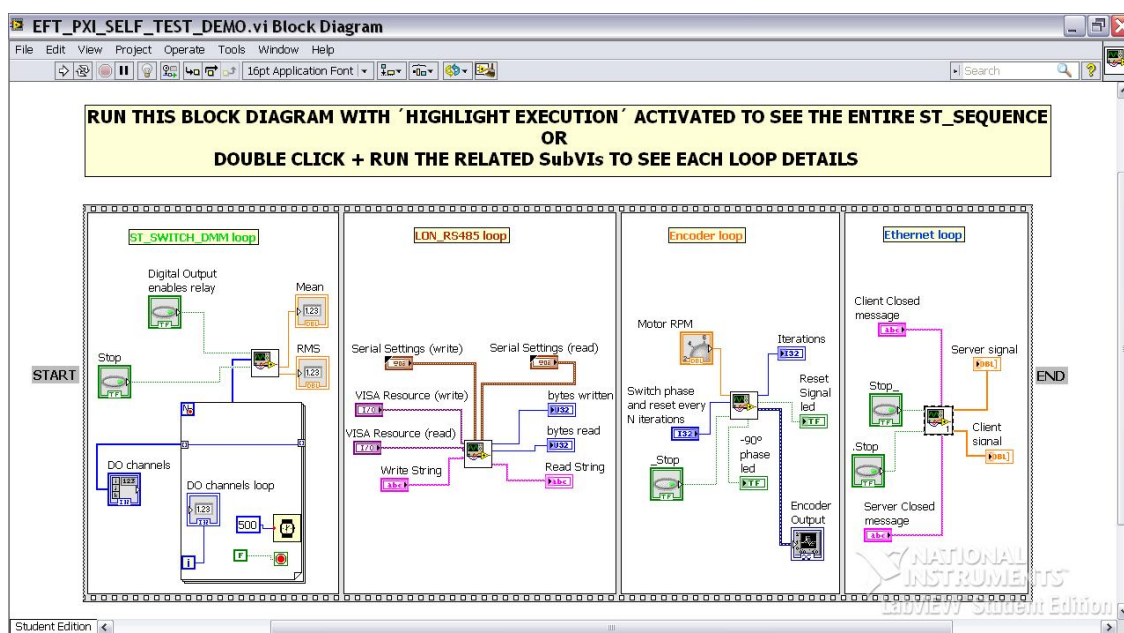
8.3.5 Ohjelman pääsekvenssi

Viimeisenä toimenpiteenä esitellyt neljä VI:tä on muunneltu SubVI:ksi, jotta ne on voitu sisällyttää pääsekvenssikäyttöliittymään, joka on myös VI. SubVI:n luomisessa on ollut tarpeellista editoida käyttöpaneelin ikonit, koska sen kautta määritellään graafisesti pieninä ruudukkoina tulot ja lähdöt (kuvio 63), joita tarvitaan SubVI:n käyttöön pääsekvenssin VI:ssa. Tätä tehdessä hyvä suunnittelusääntö on se, että inputit sijoitetaan vasemmalle puolelle ja vastaavasti outputit oikealle puolelle.



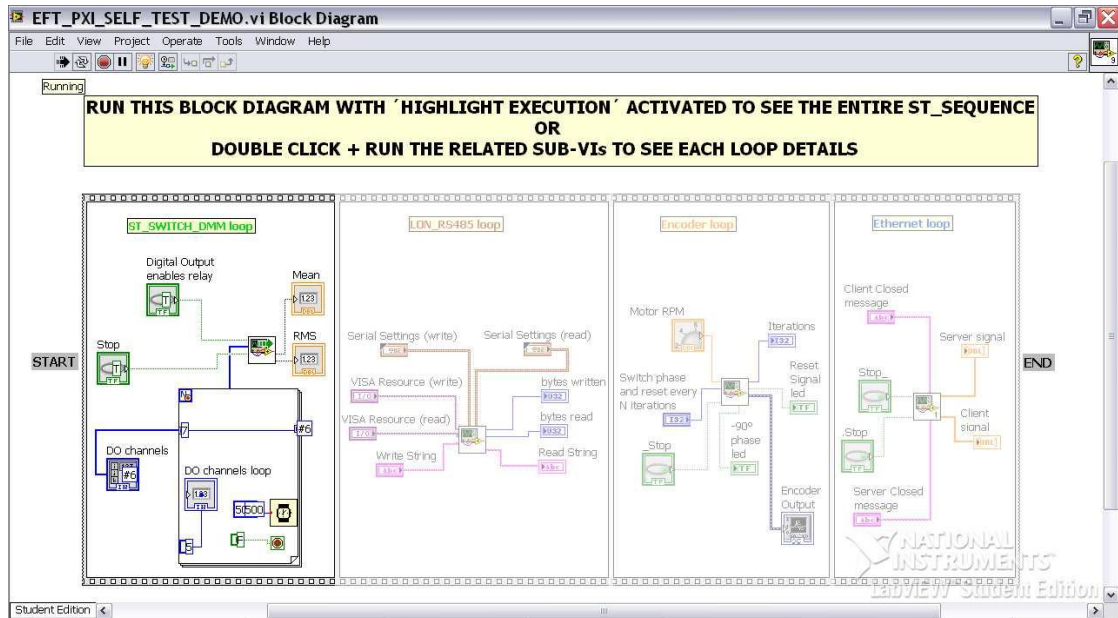
Kuvio 63. Esimerkki Ethernetin SubVI:n ikonista. Oranssit pienet ruudukot ovat tietoliikenteen kuvaajat (outputit).

Pääsekvenssinä toimii neljäsilmukainen flat sequence -rakenne, jossa jokainen silmukka sisältää oman SubVI:n (kuvio 64). Flat sequence pakottaa SubVI:t käynnistymään järjestyksessä ja sen oikean toiminnan edellytyksenä on, että kaikki SubVI:n tulot ja lähdöt ovat oikein kytkettyjä.



Kuvio 64. Itsetestauksen pääsekvenssi koostuu neljästä SubVI:stä

Ohjelman suorituksen aikana vain testattava silmukka näkyy aktiivisena (kuvio 65).



Kuvio 65. Pääsekvenssi suorittaa Switch-DMM-SubVI:ta

9 Yhteenveto ja kehityskohteet

Alussa on kuvattu testilaitteen itsetestausproblematiikka ja on esitetty perusajattelu mahdollisista keinoista sen ratkaisemiseen. Ennen varsinaisen itsetestaussysteemin kartoittamista on ollut tarpeellista esittää hissisähköistyksen osat, niihin liittyvät tekniikat ja sen tuotanto. Testaustoiminto on tuotannossa keskeinen alue ja siitä saadaan eväitä laadunhallintaan ja jatkuvaan prosessien kehitykseen. Kappaleissa 5-8 on käsitelty testilaitteen itsetestausprosessi. Tämä on tehty vaiheittain ensin esittelemällä ratkaisun periaatteet, sitten fyysiset kytkennät ja lopussa itsetestauksen toiminnot sekvenssissä ja demo-ohjelmassa. Tuloksena on saatu perusdokumentaatio yrityksen käyttöön.

Työn aihe on ollut mielenkiintoinen ja vaativa. Suunnittelun lähtökohta testilaitteen "itsetestauksesta" on edellyttänyt esimerkiksi laajahkoa perehtymistä I/O:n riippuvuuksiin ja myös hissilogiikkaan. Testausperiaatteiden soveltaminen todelliseen testilaitteeseen ei ollut mitenkään itsestäänselvää, vaan niitä on tarvinnut pohtia kokeilun avulla esimerkiksi rele-kytkentöjen yhteydessä. Myös käsitteet tulevasta PXI-ympäristöstä eivät olleet entuudestaan tuttuja ja varsinkin kokonaisuuden hahmottaminen ohjaus- ja mittausteknisesti on ajoittain osoittautunut hankalaksi. Varmasti tästäkin johtuen työn tekeminen on ollut todella opettavaista ja olen itse tyytyväinen lopputulokseen. Myöskin projektin hallinnasta on tullut opetuksia muun muassa siitä, kuinka helposti aikataulu voi pettää.

Työn kehityskohteet liittyvät lähinnä suunnitelmien toteuttamiseen. Silloin kun päivitetty tuotantotesteri on fyysisesti saatavilla, siihen voi soveltaa ja tarkentaa kytkentöjen yksityiskohdat ja sekvenssin stepit. Laitteen ohjelmoinnin voi silloin tehdä kentällä toimivaksi sekä päivitetyn ohjauksen (PXI) osalta että itse itsetestaustoiminnossa.

Lähteet

- 1 NHE_presentation.pptm. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti. Luettu 5.3.2015.
- 2 NMX Hoisting Machine, Core Learning Guide. 2013. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 3 Kennel, Ralph. Power Electronics, Exercise: Pulse Width Modulation Methods, 2013. Verkkodokumentti. Technische Universität München.
<https://www.eal.ei.tum.de/fileadmin/tueieal/www/courses/PE/tutorial/2013-2014-W/07_PWM.pdf>. Luettu 9.4.2015.
- 4 Jokinen, Markku. Taajuusmuuttaja servotyyppisissä sovelluksissa. Vierailuluento Aalto Yliopisto. 20.03.2012. Verkkodokumentti. ABB.
- 5 KCE Sähköistys, Koulutusopas. 2014. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 6 Safety circuit, Pessral release 14.1. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 7 Kugelstadt, Thomas. The RS-485 Design Guide. 2008. Verkkodokumentti. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf>> Luettu 14.4.2015.
- 8 Serial Quick Reference Guide. 2013. Verkkodokumentti. <National Instruments. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371253e.pdf>>. Luettu 14.4.2015.
- 9 Vierailu KONE Oyj:n Hyvinkään sähkötehtaalla. 02.04.2015.
- 10 Electrification. Production test Specification. 2010. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 11 Saari, Juha. Laadunohjaus TD00AA45-3001. 2013. Luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Testing report. 2010. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 13 Guide for measurement system analysis, 2010. KONE Oyj:n sisäinen dokumentti.
- 14 Verkkodokumentti. PXI Systems Alliance
<<http://www.pxisa.org/About/Architecture/Default.aspx>>. Luettu 12.4.2015.
- 15 Verkkodokumentti. What Is PXI? National Instruments.
<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/global/lang/fi/pg/1/sn/n24:PXI-FSLASH-CompactPCI/fmid/3/>. Luettu 15.5.2015
- 16 Verkkodokumentti. National Instruments
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/13637>>. Luettu 12.4.2015.
- 17 Verkkodokumentti. National Instruments
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/14544>>. Luettu 12.4.2015.
- 18 Verkkodokumentti. National Instruments
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/201985>>. Luettu 12.4.2015.

- 19 Verkkodokumentti. National Instruments
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/203718>>. Luettu 12.4.2015.
- 20 Verkkodokumentti. National Instruments
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/204722>>. Luettu 12.4.2015.
- 21 Hakamäki, Petri. Piirikorttien tuotantotestaus-Laitteiston määrittely ja kehitys. 2010. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- 22 Palokangas, Lasse. Tuotannon testauksen kehittäminen. 2012. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- 23 NI Digital Multimeters Help. 2012. Verkkodokumentti. National Instruments.<http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370384N-01/dmm/measurement_considerations/>. Luettu 13.4.2015.
- 24 Troubleshooting Lonworks Devices and Twisted Pair Networks. 1996. Echelon Corporation.
- 25 LonTalk Protocol Specification, Version 3.0. 1994. Echelon Corporation.
- 26 Encoder Measurements: How-To Guide. 2013. National Instruments.
- 27 Junno, Kristian. Automaation tiedonsiirtoverkot ja -väylät XX00AA11-2004. 2012. Luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 28 Verkkodokumentti.Wikipedia.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Characteristic_impedance>. Luettu 14.4.2015.
- 29 NI Switches Help. 2013. Verkkodokumentti. National Instruments
http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370388Y-01/switch/characteristic_impedance/. Luettu 13.4.2015.
- 30 Verkkodokumentti.Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/RS-485>. Luettu 14.4.2015.
- 31 Rusling David. The Linux Kernel, Chapter 10, Networks. 1999. Verkkodokumentti. The Linux Documentation Project <<http://www.tldp.org/LDP/tlk/net/net.html>>. Luettu 7.4.2015.
- 32 Verkkodokumentti. Phoenix Contact.
<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm%3apath%3afifi/web/main/products/subcategory_pages/Relays_P-16/a5457604-9ce8-41ec-afaa-4f5cf1742a5a>. Luettu 28.3.2015.
- 33 Verkkodokumentti. <<http://fi.farnell.com/omron-electronic-components/g2r-2-snd-dc24-s/relay-dpdt-24vdc/dp/1448162>>. Luettu 10.4.2015.
- 34 Verkkodokumentti. <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2967125&library=usen&tab=1>>. Luettu 10.4.2015.
- 35 Verkkodokumentti. National Instruments.
<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/207535>>. Luettu 22.3.2015.

- 36 Verkkodokumentti. National Instruments.<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/210842>>. Luettu 22.3.2015.
- 37 Verkkodokumentti. National Instruments.<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/208809>>. Luettu 22.3.2015.
- 38 Verkkodokumentti. National Instruments.<<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/204260>>. Luettu 22.3.2015.
- 39 Havunen, I., Kaartinen, S., Korpinen, L., Lehtelä, R., Silvennoinen, S. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus, WWW-versio. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Opetusmoniste.<<http://www.leenakorpinen.fi/node/158>>. Liite 1. Suora osoite: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/liite1.pdf>. Luettu 16/5/2015
- 40 Valtonen, Martti. S-55.1210 PIIRIANALYYSI 1. Luentomoniste. 2011. Aalto-yliopisto. Sähkötekniikan korkeakoulu.
- 41 Korpinen, Leena. 1997. Opetusmateriaali. Vikatilanteet. <www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>. Luettu 28/8/2015
- 42 Insulation monitoring relay CM-IWN.1. Data sheet. 2010. ABB.
- 43 Coupling unit CM-IVN. Data sheet. 2010. ABB.
- 44 Three-phase monitoring relay CM-PFS. Data sheet. 2014. ABB.
- 45 Introduction to G Programming. 2009. Verkkodokumentti. National Instruments. <<http://www.ni.com/white-paper/7668/en/>>. Luettu 17.2.2015.
- 46 Getting Started with NI-DAQmx: Measurement & Automation Explorer (MAX) Functionality. 2011. Verkkodokumentti. National Instruments. <http://www.ni.com/tutorial/5439/en/> Luettu 17.2.2015

