

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Tietotekniikka

Tietoliikennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**FLEXIHOPPER XC PLUG-IN -YKSIKKÖTESTERI:
TESTAUSPÖYDÄN JATKOKEHITYS**

**Työn tekijä: Kimi Niemi
Työn valvoja: Antti Koivumäki
Työn ohjaaja: Christian Rimaila**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Antti Koivumäki
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Nokia Siemens Networksin toimeksiannosta osana Helsingin ammattikorkeakoulu Stadian insinööritutkintoa.

Haluan kiittää työn ohjaajana toiminutta Christian Rimailaa hyvistä neuvoista ja ideoista, joiden avulla työ saatiin päätökseen. Lisäksi haluan kiittää Jarno Hämäläistä, joka suostui vastaamaan satoihin kysymyksiini liittyen Flexihopperin toimintaan. Suuret kiitokset myös Risto Mäntylälle avusta lopputyöpaikan hankkimisessa.

Tämä työ päättää insinöörikoulutukseni, joka ei olisi ollut mahdollinen ilman perheeni tukea. Kiitos teille.

Järvenpäässä 27.1.2008

Kimi Niemi

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Kimi Niemi	
Työn nimi: FlexiHopper XC Plug-In -yksikkötesteri: Testauspöydän jatkokehitys	
Päivämäärä: 27.01.2008	Sivumäärä: 54 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma: Tietotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka
Työn valvoja: yliopettaja Antti Koivumäki	
Työn ohjaaja: Christian Rimaila	
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Nokia Siemens Networksille. Työssä tehtiin jatkokehitystä FlexiHopper XC -mikroaaltoradion Plug-In Unit -testerille.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla FlexiHopper XC -mikroaaltoradioon, sen toimintaan ja sen sisäyksikön osien testaukseen. Tämän jälkeen mietittiin, kuinka testausta voisi parantaa. Sen pohjalta tehtiin lista kehitystä vaativista asioista.</p> <p>Työssä kerrotaan yleisesti mikroaaltoradioista ja niiden toiminnasta, jonka jälkeen siirrytään FlexiHopper XC -mikroaaltoradioon. Työssä kerrotaan FlexiHopper XC:n ulko- ja sisäyksikön rakenteesta ja siitä, kuinka ne toimivat yhdessä. Niiden toimintaa havainnollistetaan periaatteellisten esimerkkien avulla.</p> <p>Kun FlexiHopper XC:n toiminta ja rakenne on käsitelty, siirrytään sisäyksikön eli FlexiHub Noden Plug-In-yksiköiden testaukseen. Siinä kerrotaan testausjärjestelmästä, sen toiminnasta ja rakenteesta. Plug-In-yksiköiden testausosiossa kerrotaan joitain testattavista asioista. Kun testausjärjestelmä on käsitelty, käydään testausta läpi testaajan näkökulmasta, eli miten tuote laitetaan testeriin ja mitä tuotteeseen kytketään ennen testauksen aloittamista.</p> <p>Näiden asioiden saattamana siirrytään testausjärjestelmän jatkokehitysosioon. Jatkokehitysosiossa kerrotaan testaukseen liittyvistä asioista, jotka vaativat parannusta. Osiossa kerrotaan jokaisen Plug-In-yksikön testaukseen liittyvistä ongelmista ja niille tehdyistä parannuksista. Lisäksi kerrotaan kaikkia yksiköitä koskevista ongelmista ja niille kehitetyistä ratkaisuista.</p>	
Avainsanat: FlexiHopper XC, Nokia Siemens Networks, mikroaaltoradio, testaus, FlexiHub Node, PDH-radio, PIU, Plug-In-yksikkö	

ABSTRACT

Name: Kimi Niemi	
Title: FlexiHopper XC Plug-In Unit Tester: Further Development of the Fixture	
Date: 27 January 2008	Number of pages: 54 + 2
Department: Information Technology	Study Programme: Telecommunication
Instructor: Antti Koivumäki, Principal Lecturer	
Supervisor: Christian Rimaila	
<p>This final thesis was carried out for Nokia Siemens Networks. The purpose of this study was to develop further the Plug-In Unit tester of the FlexiHopper XC microwave radio.</p> <p>The work was started by studying the FlexiHopper XC microwave radio, the focus being on how it works and how the testing of the indoor unit has been implemented. After this, the required improvements were considered resulting in a list of the flaws discovered.</p> <p>This thesis provides a basic introduction to microwave radios as well as FlexiHopper XC microwave radio. The FlexiHopper XC indoor and outdoor units are first covered separately and later together through examples.</p> <p>The microwave radio section is followed by the testing of the Plug-in units, which are a part of the indoor unit. This study also describes some general issues about the tester and its modules. The Plug-in unit testing section deals with some of the items tested such as voltages and interconnections. Moreover, the testing process is covered from the test operator's point of view including issues such as how to connect the product to the tester, what wires to connect before testing etc.</p> <p>Based on the results of this study, the study offers practical solutions for improving the testing of Plug-In units, with all Plug-In units covered separately. In addition, it provides information on certain general improvements made to the tester.</p>	
Keywords: FlexiHopper XC, Nokia Siemens Networks, microwave radio, testing, FlexiHub Node, PDH radio, PIU, Plug-In unit	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITELUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	FLEXIHOPPER XC -MIKROAALTORADIO	2
2.1	Yleistä tietoa mikroaaltoradioista	2
2.2	FlexiHopper XC OU	5
2.2.1	<i>Kanavaväli</i>	6
2.2.2	<i>Modulaatiotavat</i>	8
2.2.3	<i>ALCQ ja ATPC</i>	10
2.2.4	<i>1+1 hot stand-by (HSB) -suojaus</i>	10
2.2.5	<i>Toiminta</i>	11
2.3	FlexiHopper XC IU eli FlexiHub Node	14
2.3.1	<i>Main unit PIU</i>	14
2.3.2	<i>8E1 PIU 75 ohm</i>	15
2.3.3	<i>8E1 PIU 120 ohm</i>	18
2.3.4	<i>40E1 PIU</i>	18
2.3.5	<i>Flexbus PIU</i>	20
2.3.6	<i>Esimerkki FlexiHubin toiminnasta</i>	20
2.4	FlexiHub Manager	22
2.5	NSN NetAct	24
3	PLUG-IN UNIT -TESTAUS	25
3.1	Testausjärjestelmä	25
3.2	Testattavat asiat	28
3.3	Testausvaiheet	32
3.3.1	<i>Yleistä</i>	32
3.3.2	<i>MAIN UNIT PIU</i>	32
3.3.3	<i>8E1 PIU 75 ohm</i>	33
3.3.4	<i>8E1 PIU 120 ohm</i>	33
3.3.5	<i>40E1 PIU</i>	34
3.3.6	<i>Flexbus PIU</i>	35
4	TESTERIN JATKOKEHITYS	36
4.1	Testerin yleinen jatkokehitys	36

4.2	Main PIUn jatkokehitys	38
4.3	40E1 PIUn jatkokehitys	42
4.4	8E1 120 ohm PIUn jatkokehitys	45
4.5	8E1 75 ohm PIUn jatkokehitys	46
4.6	FlexBus PIUn jatkokehitys	50
5	YHTEENVETO	53

KÄSITELUETTELO

ALCQ	Automatic Level Control with Quality measurement. Tekniikka, jolla säädetään lähetystehoja vastaamaan sääolosuhteita.
AMI	Alternate Mark Inversion, linjakoodaustekniikka.
ASIC	Application-specific integrated circuit. Integroitu piiri, joka on suunniteltu asiakkaan tiettyjen sovelluskohtaisten vaatimusten mukaisesti ja joka ei ole ulkopuolisten saatavilla.
ATPC	Automatic Transmit Power Control. Tekniikka jolla säädetään lähetystehoja vastaamaan sääolosuhteita
BER	Bit Error Ratio, Bittivirhesuhde. Bittivirheiden lukumäärän suhde lähetettyjen bittien kokonaismäärään tiettyinä ajanjaksona
BP	Back Plane, takapaneeliliitäntä.
DDF	Data Distribution Field, jakokenttä.
DMM	Digital Multimeter, mittalaite.
DUT	Device Under Test, testattava laite.
E1	Tiedonsiirtotekniikka, jonka tiedonsiirtonopeus on 2048 kbps.
FB	FlexBus. Sisä- ja ulkoyksikön välillä käytetty rajapinta vanhemmissa FlexiHopper radioissa (max. 34 Mbps).
Fixture	Testauspöytä. Osa testeriä, jolla testataan laitteen toimintaa. Yleisnimitys testilaitteen osalle, jolla aikaan saadaan mekaaninen ja/tai sähköinen kontakti testaavaan laitteeseen.
FPGA	Field Programmable Gate Array, ohjelmoitava logiikkapiiri.
HDB3	High Density Bipolar 3-zeroes. AMI-koodista kehitetty linjakoodi, jossa pitkät nollosarjat rikotaan rikepulsseilla niin,

että koodissa voi esiintyä korkeintaan kolme peräkkäistä nollaa.

IFU	Intermediate Frequency Unit, välitaajuusyksikkö.
IU	Indoor Unit. FlexiHopper XC:n sisäyksikkö eli FlexiHub Node.
LIU	Line Interface Unit. Piiri joka käsittelee E1-tason signaaleja PIUssa.
Loopback	Silmukointi. Lähetys suunnan signaalin kytkeminen vastaanottosuunnan signaaliksi.
MWU	Microwave Unit, mikroaaltoyksikkö.
OU	Outdoor Unit. FlexiHopper XC:n ulkoyksikkö eli radio.
PDH	Plesiochroninen digitaalinen hierarkia.
PIU	Plug-In Unit. FlexiHub Nodessa käytetty tietoliikennekortti, "pistoyksikkö".
PRBS	Pseudo-Random Binary Sequence, valesatunnaisbittijakso.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, 4-tilainen modulaatiotekniikka.
QPSK	Quadrature Phase Shift-Keying, 2-tilainen modulaatiotekniikka.
SNR	Signal-to-Noise Ratio, S/N, signaalikohinasuhde. Signaalin voimakkuuden suhde kohinan voimakkuuteen tiedonsiirrossa.
XFB	Extended FlexBus. Sisä- ja ulkoyksikön välillä käytetty rajapinta FlexiHopper XC radioissa (max. 160 Mbps).

1 JOHDANTO

Mikroaaltoradioita käytetään korvaamaan kupari- tai valokuitukaapeliyhteyksiä niin lanka- kuin mobiiliverkoissa. Mikroaaltoradiot toimivat yleensä 1 - 40 GHz:n taajuudella, ja niiden kantama on jopa useita kymmeniä kilometrejä. Mikroaaltoradion käyttö osoittautuu joskus ainoaksi vaihtoehdoksi, jos aiotaan saada aikaiseksi yhteys pisteen A ja B välille. Monesti pisteen A ja B väli voi olla maan kaivamiseen kelvotonta, tai maanomistaja ei anna siihen lupaa. Kaupunkialueella kaapeloinnin tekeminen voi olla aikaa vievää tai jopa mahdotonta.

Nokia Siemens Networksin FlexiHopper XC on radiosta ja sisäyksiköstä koostuva kokonaisuus, joka pystyy kuljettamaan jopa 40 x 2 M:n kapasiteetin. Tämä tarkoittaa käytännössä 1200 yhtäaikaista lankapuhelimella tehtyä puhelua tai 4800 kännykkäpuhelua. Sitä käytetäänkin yleisesti mobiiliverkoissa esim. kuljettamaan puheluita tukiasemilta tukiasemaohjaimille. FlexiHopper XC:tä saa 7, 15, 18, 23 ja 38 GHz:n taajuuksilla.

FlexiHopper XC -radio koostuu modeemista, välitaajuusyksiköstä, mikroaaltoyksiköstä ja duplex-suodattimesta. Se muuntaa sisäyksiköltä saadun digitaalisen datan radioaalloiksi, jonka se lähettää antenninsa kautta vastaanottopään radiolle. Sisäyksikkö eli FlexiHub Node koostuu kehikosta ja Plug-In-yksiköistä, joiden eri variaatioilla saadaan aikaan haluttu tiedonsiirtokapasiteetti. Sisäyksikkö vastaanottaa radiolta saadun datan ja siirtää sen eteenpäin verkon muille laitteille.

Ennen kuin FlexiHub Node Plug-In -yksikköineen voidaan toimittaa asiakkaille, pitää niiden toimivuus testata. Tässä työssä selitetään FlexiHopper XC -mikroaaltoradion toimintaa ja testausta, joiden johdattelemana kerrotaan testauslaitteiston tarvitsemista parannuksista.

Työn tavoitteena oli saada korjattua joitain Plug-In-yksikkötesterin puutteista. Työssä siis suunniteltiin ja toteutettiin testausta helpottavia, ja samalla testerin eri osien kestävyyttä lisääviä, moduleita. Suuri osa työssä toteutetuista parannuksista koskivat testerin kestävyyttä ja käytettävyyttä.

2 FLEXIHOPPER XC -MIKROAALTORADIO

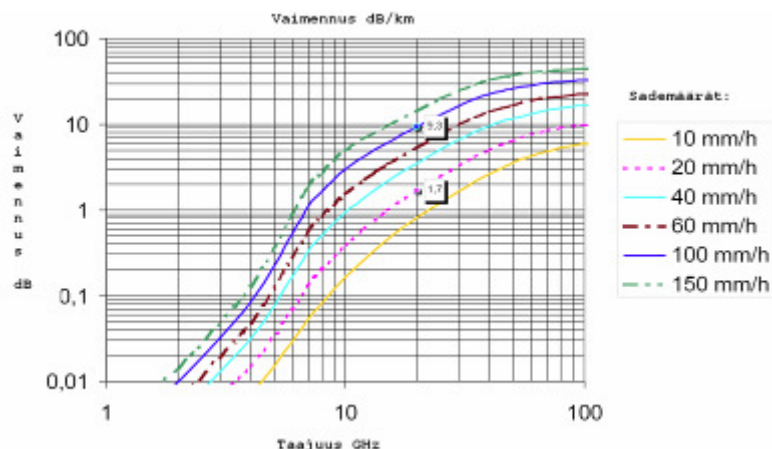
FlexiHopper XC, koko nimeltään Nokia Siemens Networks FlexiHopper Extended Capacity Microwave Radio, on mikroaaltoradio, jota käytetään lanka-, mobiili- tai yksityisverkoissa. FlexiHopper XC koostuu ulkoyksiköstä (FlexiHopper XC Outdoor Unit) ja sisäyksiköstä (Nokia Siemens Networks FlexiHub Node) sekä antennista. Sisä- ja ulkoyksikkö kommunikoivat keskenään yhden ainoan koaksiaalikaapelin (Extended Flexbus, XFB) välityksellä, joka kuljettaa niin radion tarvitseman käyttöjännitteen kuin kaksisuuntaisen datankin.

2.1 Yleistä tietoa mikroaaltoradioista

Mikroaaltoradiolinkin käyttö valokuidun tai kuparijohtimen korvaajana on hyvä vaihtoehto, sillä maan kaivaminen on kallista, aikaa vievää ja tiheässä kaupunkiasutuksessa jopa mahdotonta. Radiolinkin pystyttäminen on nopea ja kustannustehokas vaihtoehto. Mikroaaltoradiot toimivat n. 1 - 40 GHz:n taajuusalueella ja niiden kantamat ovat taajuudesta riippuen kymmenistä kilometreistä muutamaan kilometriin ja ne vaativat suoran näköyhteyden (LoS, Line of Sight). Mitä suurempi taajuus on kyseessä, sitä enemmän signaali vaimenee ja samalla myös kantama lyhenee [1, s. 182].

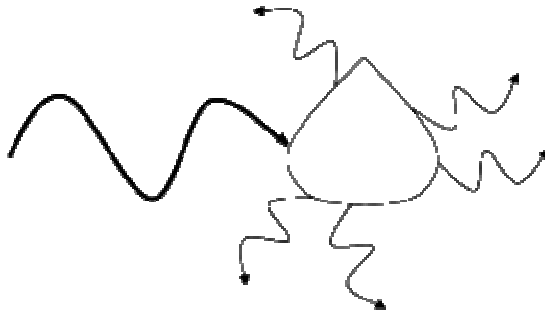
Signaalin vaimeneminen

Taajuus ei kuitenkaan ole ainoa rajoittava tekijä, vaan sade, happi, esteet, pöly ja monet muut tekijät aiheuttavat vaimennusta. Seuraavassa kuvassa on esitetty sateen vaikutusta signaalin vaimenemiseen (kuva 1).



Kuva 1. Sateen vaikutus signaalin vaimenemiseen [2, s. 17]

Syy, miksi sade vaimentaa signaalia, on sironta. Radioaalto polarisoi sadepisaran sisältämiä vesimolekyylejä, jolloin pisara toimii kuten antenni, sirottaen radioaallon ympäristöönsä (kuva 2). Käytettäessä yli 10 GHz:n taajuuksia, estää sade pitkien yhteyksien käytön. Myös lumisade ja sumu aiheuttavat vaimenemista. Tällöin vaimennuksen määrä riippuu lumen tai sumun sisältämästä veden määrästä - mitä enemmän vettä, sitä enemmän vaimennusta.



Kuva 2. Radioaalto säteilee ympäristöönsä osuessaan sadepisaraan

Esimerkiksi FlexiHopper tuoteperheen MetroHopper-mikroaaltoradiota, joka toimii 58 GHz:n taajuudella, käytetään korkean vaimenemisen takia usein kaupunkialueilla siten, että linkkijänne on vain kymmeniä tai satoja metrejä. MetroHopperin tapauksessa vaimeneminen johtuu hapestä, sillä hapen resonanssitaajuus on n. 60 GHz, joka on hyvin lähellä MetroHopperin käyttämää taajuutta [3, s. 190 - 191].

Taajuudet ja kapasiteetit

Flexihopper XC:tä valmistetaan tällä hetkellä 7 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz ja 38 GHz taajuuksilla. Käytettäessä QPSK-modulaatiota saavutetaan, kaistanleveydestä riippuen, 2 x 2 Mbit/s, 4 x 2 Mbit/s, 8 x 2 Mbit/s tai 16 x 2 Mbit/s siirtokapasiteetti. 16-QAM-modulaatiota käytettäessä kapasiteetit ovat 8 x 2 Mbit/s, 16 x 2 Mbit/s tai 40 x 2 Mbit/s. Seuraavassa taulukossa on esitelty kapasiteetit eri kaistanleveyksillä (taulukko 1) [4].

Taulukko 1. Radion kapasiteetit eri modulaatioilla ja kanavanleveyksillä

Modulaatio	Kapasiteetti Mbit/s	Kaistanleveys/kanava MHz
QPSK	2 x 2	3.5
	4 x 2	7.0
	8 x 2	14.0
	16 x 2	28.0
16-QAM	8 x 2	7.0
	16 x 2	14.0
	40 x 2	28.0

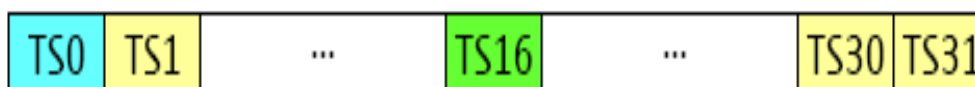
E1-signaalit

Koska radiotien yli kuljetetaan E1-tason signaaleja, on niistä hyvä tietää seuraavia asioita. E1 on ITU-T:n (International Telecommunications Union) spesifioima tiedonsiirtotekniikka, jonka tiedonsiirtonopeus on 2048 kbps (spesifikaatio ITU-T G.703). Se on osa Plesiochronista digitaalista hierarkiaa (PDH), jonka hierarkiatasot ja nopeudet ovat

- E0 64 kbps
- E1 2.048 Mbps
- E2 8.448 Mbps
- E3 34.368 Mbps
- E4 139.264 Mbps.

Ideana PDH:ssa on se, että neljä alemman tason signaalia voidaan yhdistää yhdeksi ylemmän tason signaaliksi E1-signaaleista lähtien. Tämä tapahtuu kanavointilaitteella (multiplekseri), jossa esim. neljä E1:stä kanavoidaan yhdeksi E2-tason signaaliksi. Mikroaaltoradioita jotka perustuvat PDH:aan kutsutaan yleisesti PDH-radioiksi.

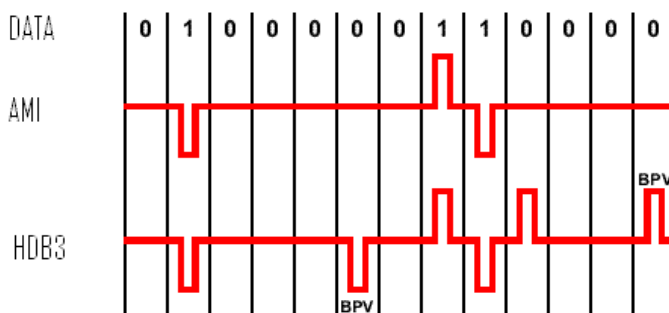
E1-tason signaali muodostuu 32:sta E0-tason signaalista, jotka on jaettu 32:een aikaväliin. Koska E1-signaaleja ei terminoida Flexihubissa, ei E0-signaaleista kerrota tämän enempää. Seuraavassa kuvassa on ITU-T G.704 -spesifikaation mukainen E1:n kehysrakenne (kuva 3).



Kuva 3. E1-signaalin kehysrakenne [5, s.14]

Kehys koostuu 32:sta kahdeksan bitin aikavälistä (TS, Time Slot), joita toistetaan 8000 kertaa sekunnissa. Tästä saadaan kertomalla tiedonsiirtonopeus $32 \times 8b \times 8000/s = 2048 \text{ kbps}$. Kehyksen ajalliseksi pituudeksi saadaan $1/8000 \text{ 1/s} = 125 \text{ mikrosekuntia}$ [6; 7].

E1 käyttää linjakoodina HDB3:a (High Density Bipolar 3-zeroes), joka perustuu AMI-koodiin (Alternate Mark Inversion). AMI-koodaus perustuu bipolaariseen tekniikkaan, jossa tuotetut jännitetasot ovat maatasen molemmin puolin, jolloin jännitetasoja on kolme (-V, 0, +V). Bitti nolla esitetään AMI:ssä jännitteettömänä eli nollassa ja bitti yksi siten, että joka toinen ykkönen on +V ja joka toinen -V. Tällä tavoin saadaan vaihtelua tuotettuun koodiin kun binääridatassa ilmenee suuri määrä peräkkäisiä ykkösiä. HDB3-koodaus on paranneltu versio AMI:stä, sillä siinä on huomioitu myös pitkien nollassa esiintymisen binääridatassa. Seuraavassa kuvassa on esimerkki AMI- ja HDB3-koodauksesta (kuva 4) [8, s. 401 - 402; 6, s. 23 - 26].



Kuva 4. Esimerkki AMI- ja HDB3-koodauksesta

Kuvasta huomataan, että HDB3-koodauksessa on huomioitu pitkät nollassa. Mikäli ilmenee neljä peräkkäistä nollassa, muutetaan jännitetasoa (suunta riippuu edellisen vaihdoksen polariteetista).

2.2 FlexiHopper XC OU

FlexiHopper XC OU eli ulkoyksikkö sijaitsee nimensä mukaisesti ulkona ja on yhteydessä sisäyksikköön Extended Flexbus -väylän kautta. Extended FlexBusia kutsutaan tästä eteenpäin FlexBusiksi. Kuvassa 23 GHz:n FlexiHopper XC radio (kuva 5).



Kuva 5. 23 GHz:n Flexihopper XC mikroaaltoradio

Radion päällä on aaltoputkiliitännät antennille ja aivan kuvan keskellä on N-tyypin koaksiaaliliitännät Flexbus-kaapelille.

Ulkoyksikkö tukee mm. seuraavia ominaisuuksia

- 3.5, 7, 14 ja 28 MHz kanavaväli
- QPSK ja 16-QAM modulointi Reed-Solomon koodauksella (FEC)
- vastaanotetun signaalin tasonmittaus
- monitie-etenemisen tasausmekanismi
- ALCQ (Automatic Level Control with Quality measurement) ja ATPC (Automatic Transmit Power Control), joilla säädetään lähetystehoja vastaamaan sääolosuhteita.
- 1+1 hot standby (HSB), jolloin kaksi OU:ta kytkettynä sisäyksikön kahdennettuihin PIUhin (Plug-In Unit).

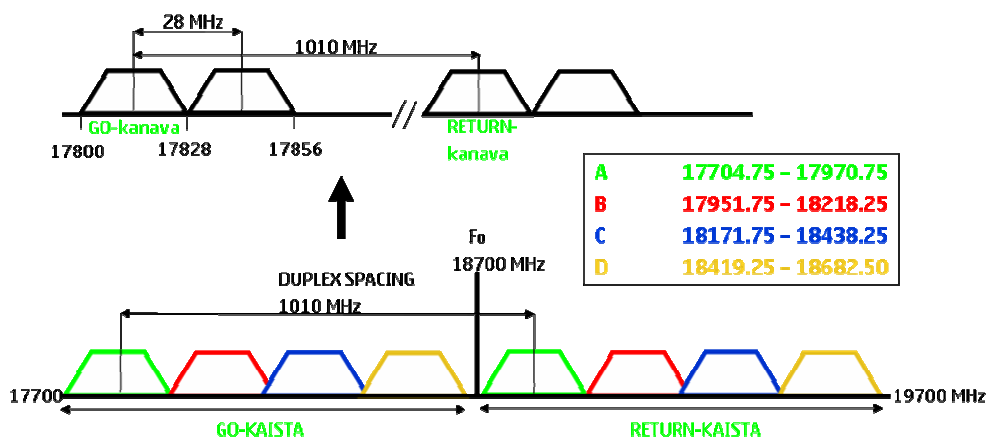
Seuraavissa kappaleissa on selostettu joitain ulkoyksikön ominaisuuksista.

2.2.1 Kanavaväli

Kanavavälillä tarkoitetaan peräkkäisten radiokanavien välistä taajuuseroa. Samalla se on myös kanavan kaistanleveys. Flexihopper XC:ssä tämä on valittavissa ohjelmallisesti joko 3.5, 7, 14 tai 28 MHz:ksi. Kanavaväli määrää

myös siirtokapasiteetin kuten kappaleessa 2.1 olevassa taulukossa kerrottiin (taulukko 1).

Esimerkiksi, kun halutaan 40 E1:n siirtokapasiteetti ja viranomaiset ovat määränneet käytettäväksi 18 GHz:n taajuusalueen, olisi kanavajako esim. seuraavanlainen (kuva 6).



Kuva 6. Esimerkki kanavajaosta 18 GHz:n taajuudella

18 GHz:n taajuusalue on välillä 17,7 - 19,7 GHz, ja se on jaettu alikaistoihin A, B, C ja D. Jokaisen alikaistan kaistanleveys on n. 270 MHz. Esimerkiksi alikaista A:n (kuvassa vihreällä) kaistanleveys on 17970,75 MHz - 17704,75 MHz = 266 MHz. Alikaistat jaetaan käyttötarkoituksen mukaan eri levyisiksi kanaviksi. Tässä tapauksessa kanavanleveys on 28 MHz, koska halutaan saavuttaa 40 E1:n siirtokapasiteetti. Koska FlexiHopper käyttää duplex-tekniikkaa, eli tekniikkaa, jossa dataa voidaan lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti, käytetään lähetykselle ja vastaanotolle eri kanavia. Lähetyksen ja vastaanotokanavan välistä taajuuseroa kutsutaan duplex-etäisyydeksi (duplex spacing), joka on 18 GHz:n taajuusalueella 1010 MHz.

Lähetyiskanava on merkattu kuvaan GO-kanavana ja vastaanotokanava RETURN-kanavana. Liitteessä 1 on lisätietoa taajuuksista.

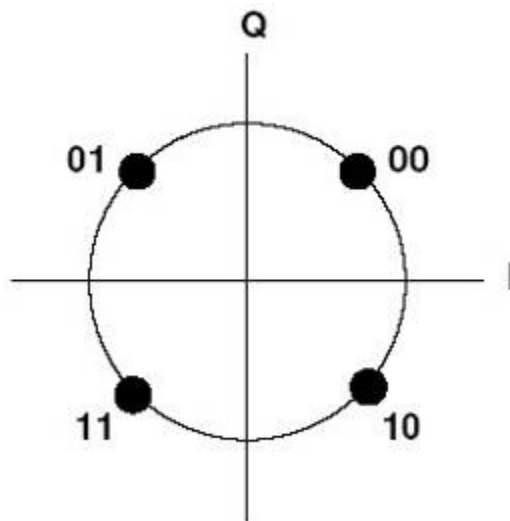
Taajuudet ovat ITU-R:n (International Telecommunications Union - Radio) spesifikaatioiden mukaiset. Edellisen esimerkin tapauksessa noudatettiin ITU-R F595-8 -spesifikaatiota (pois lukien kanavien taajuudet, jotka ovat keksittyjä) [4, s. 14].

2.2.2 Modulaatiotavat

FlexiHopper käyttää kahta eri modulaatiota, jotka ovat valittavissa ohjelmallisesti. Käytetyt modulaatiotavat ovat QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) ja 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ja ne ovat lineaarisia modulaatiotapoja.

QPSK

QPSK:ssa moduloiva signaali, eli lähetettävä viesti, muuttaa kanta-aallon vaihetta, jonka avulla voidaan päätellä viestin arvo. QPSK on kaksitilainen eli käytössä on neljä vaihetta, joten sen avulla voidaan ilmaista neljä eri kaksi bittistä numeroa 00, 01, 10 ja 11. Seuraavassa kuvassa on QPSK:n konstellaatiokuvio, joka selventää asiaa (kuva 7).



Kuva 7. QPSK:n konstellaatiokuvio

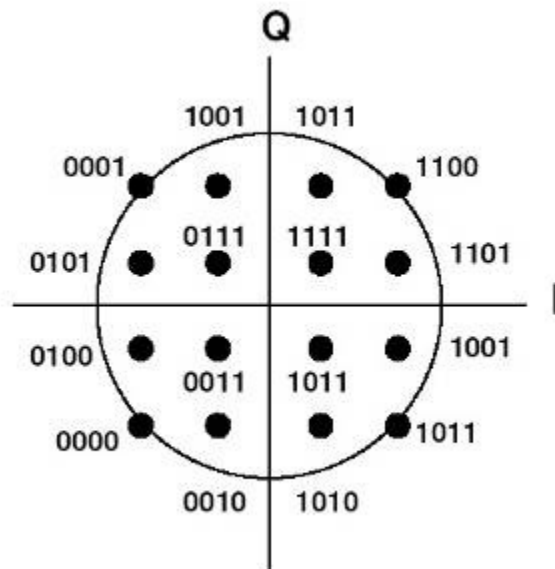
Konstellaatiokuvioista nähdään, että bittipareilla on 90 asteen vaihe-ero. Esim. vaihe +45 astetta kuvaa bittejä 00 ja vaihe +135 astetta bittejä 01. Bittipareja kutsutaan myös nimellä bittikuvio, joka muodostaa symbolin. Symbolit sijaitsevat toisiinsa nähden siten, että vierekkäisten symbolien bitit muuttuvat vain yhdellä bitillä. Sijoittelua kutsutaan Gray-koodaukseksi, tällöin esim. symbolit 00 ja 11 eivät sijaitse vierekkäin. Gray-koodausta käytetään hyväksi FlexiHopperinkin käyttämässä Reed-Solomon virheenkorjauskoodauksessa. Seuraavassa luettelossa on listattu joitain QPSK:n hyvistä puolista.

QPSK:n hyödyt

- säästää kaistaa
- yksinkertainen laitetason toteutus
- ei vääristä signaalia huomattavasti
- pieni BER.

16-QAM

16-QAMissa käytetään hyväksi vaihe- ja amplitudimodulaatiota. Siinä on kaksi samantaajuista, mutta eri vaiheista (90 asteen vaihe-ero) kantaaaltoa, joiden amplitudia muutetaan. Kuvassa on 16-QAMin konstellatiokuvio (kuva 8).



Kuva 8. 16-QAMin konstellatiokuvio

Konstellatiokuvioista huomataan, että 16-QAM on nelitilainen modulaatiomenetelmä, eli vaiheen ja amplitudin avulla voidaan kuvata 16 eri neljän bitin symbolia. Tässäkin tapauksessa symbolit on valittu Graykoodaukseen nojautuen. Seuraavassa luettelossa on listattu joitain 16-QAMin hyödyistä ja haitoista.

- käyttää puolet vähemmän kaistaa verrattuna QPSK:hon
- suhteellisen yksinkertainen laitetason toteutus
- altis SNR:n vaihteluille ja vääristymille → BER kasvaa
- tehonkulutus suurempi kuin QPSK:ssa.

Syy, miksi 16-QAM käyttää puolet vähemmän kaistaa verrattuna QPSK-modulaatioon, on kaksinkertainen bittien määrä symbolia kohden [9, s. 14, 16, 17].

2.2.3 ALCQ ja ATPC

ALCQ (Automatic Level Control with Quality measurement) ja ATPC (Automatic Transmit Power Control) ovat tekniikoita, joilla säädetään lähetystehoja vastaamaan sääolosuhteita. Näiden tekniikoiden avulla saadaan käytettyä taajuuksia tehokkaammin hyödyksi, sillä mitä pienempiä lähetystehoja käytetään, sitä nopeammin signaali vaimenee. Samalla vähennetään järjestelmien välisiä häiriöitä kuin siten, että pidettäisiin lähetysteho vakiona. Tämän takia radiolinkkejä saadaan pakattua pienemmälle alueelle. Tekniikka perustuu lähetystehotason säätelyyn kaukopään radiolta saadun vasteen perusteella.

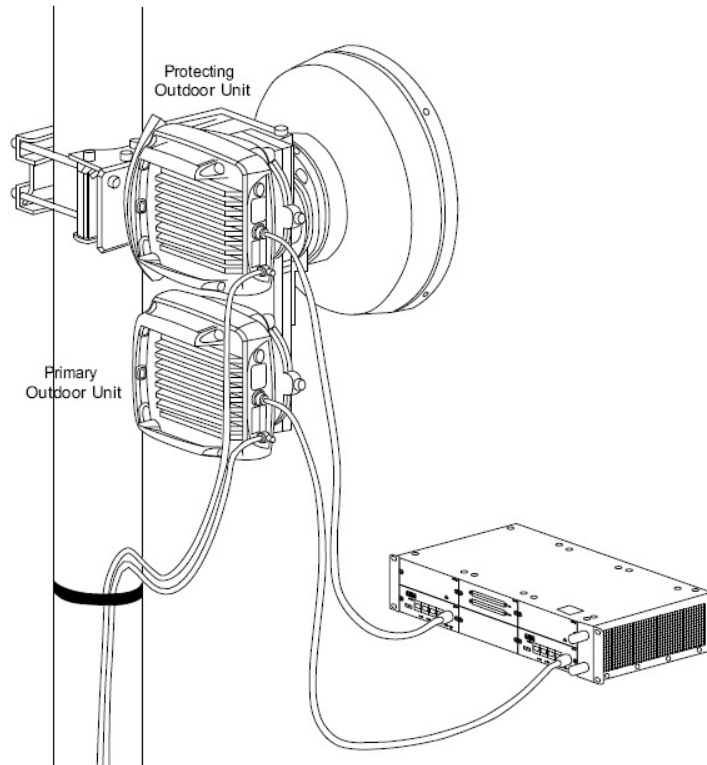
ALCQ säätää tehotasoa kaukopään radiolta vastaanottamansa tehotason lisäksi myös vastaanottimensa bittivirhetiedon avulla. Jos alueelle saapuu voimakas sadekuuro, jolloin signaali vaimenee matkalla ja BER kasvaa, käskee radio kaukopään radiota kasvattamaan lähetystehoa. Sään muuttuessa normaaliksi lasketaan tehotasot minimiin.

ATPC on muuten samanlainen kuin ALCQ, sillä poikkeuksella että se ei huomioi bittivirheitä. Voidaan siis sanoa, että ALCQ on hienostuneempi versio ATPC:stä.

Maksimilähetysteho on ohjelmallisesti säädettävissä, eivätkä ATPC tai ALCQ voi ylittää tätä rajaa missään tilanteessa. Päätös siitä, kumpaa tekniikkaa käytetään, on myös ohjelmallisesti valittavissa [4, s. 15 - 16].

2.2.4 1+1 hot stand-by (HSB) -suojaus

1+1 HSB on tekniikka, jolla suojataan radiolinkin säilyminen laitevian sattuessa. Kokoonpanossa on tällöin kaksi OUtta ja FlexiHub, jossa osa Plug-in Uniteista on kahdennettu. Plug-In Unitteja kutsutaan tästä eteenpäin lyhenteellä PIU. Kuvassa esimerkki käytettäessä 40E1 PIUja (kuva 9).

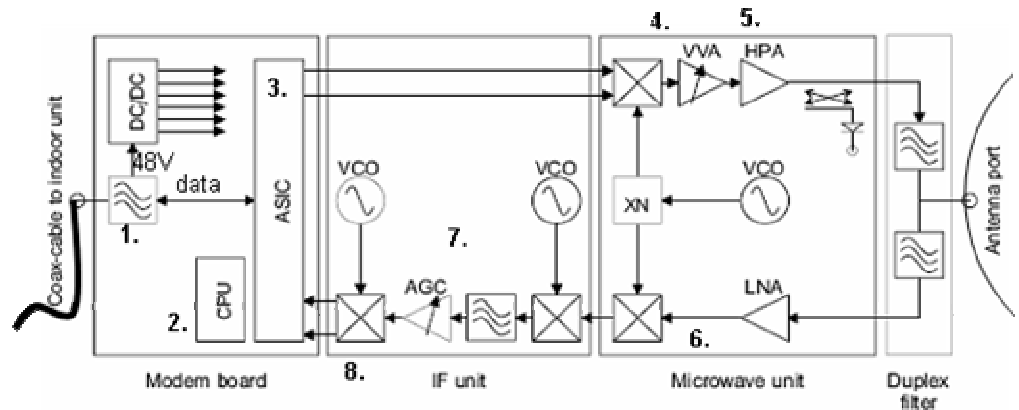


Kuva 9. Esimerkki 1+1 hsb -konfiguraatiosta [4, s. 24]

Kuvasta nähdään, että FlexiHubin Main PIUt (alakulmissa) ja aktiiviset 40E1 LIC PIUt (yläkulmissa) ovat kahdennetut toisin kuin passiivinen 40E1 IF PIU (keskellä ylhäällä). Myös OUt ovat kahdennetut, mutta antenni on vain yksi, sillä molemmat radiot on kytketty aaltoputken välityksellä samaan antenniin. Tällä kokoonpanolla, jonkin PIUn/radion pettäessä, taataan yhteyden katkeamattomuus. 1+1 HSB on mahdollista toteuttaa myös käyttämällä 8E1 PIUja, jolloin kokoonpano on hyvin paljon samanlainen. Mainittuihin aktiivisiin ja passiivisiin 40E1 PIUihin palataan kappaleessa 2.3.4 [4, s. 23 - 24].

2.2.5 Toiminta

Ulkoyksikkö koostuu neljästä yksiköstä, jotka ovat modeemi, välitaajuusyksikkö (IFU), mikroaaltoyksikkö (MWU) sekä duplex-suodatin. Kuvassa on esitetty periaatteellinen lohkokaavio ulkoyksiköstä (kuva 10).



Kuva 10. Radion lohkokaavio [4, s. 13]

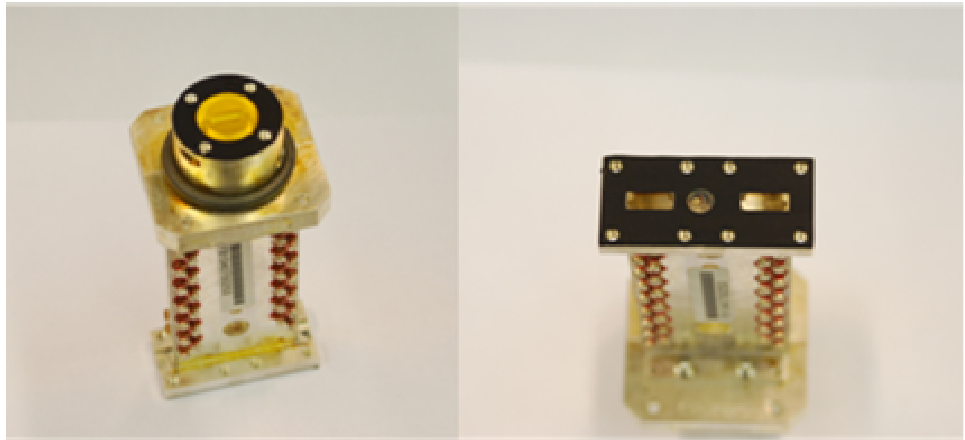
Ulkoyksikkö on kytketty sisäyksikköön koaksiaalikaapelin välityksellä, joka kuljettaa duplex-muotoista dataa ja käyttöjännitteen. Kuvan kohdassa 1 data- ja jännitesignaalit erotellaan toisistaan, jonka jälkeen käyttöjännite muunnetaan eri jännitetasoihin. Jännitteet jaetaan OUn eri yksiköille tarpeen mukaan. Laitteen aivot on merkattu kuvan kohtaan 2, kyseessä on siis CPU (Central Processing Unit, keskusyksikkö), joka ohjaa kaikkia laitteen yksiköitä ja kommunikoi sisäyksikön sekä kaukopään radion kanssa.

Lähetys, Tx

Esimerkki, kun lähetetään dataa, eli kun dataa siirretään sisäyksiköltä ulkoyksikölle.

Kun käyttöjännite ja data on eroteltu toisistaan, siirtyy data kuvan kohtaan 3, eli ASICille (Application-Specific Integrated Circuit), jossa kehysrakenne puretaan. Se demoduloi ja muotoilee sisäyksiköltä saadun datan siten että se voidaan lähettää laitteen radio-osille. ASIC hoitaa myös Reed-Solomon koodauksen, eli virheenkorjauskoodauksen. ASICilla generoidut I- ja Q-signaalit (TxI ja TxQ) kuljetetaan DA-muuntimen kautta mikroaltoyksikölle (kohta 4), jossa niistä muodostetaan moduloitu signaali sekoittimen, vaiheensiirtimen ja kanta-aaltotaajuudella olevan paikallisoskillaattorin avulla. Tämän jälkeen signaalia vahvistetaan ja vaimennetaan (kohta 5) siten, että saavutetaan haluttu tehotaso signaalille. Signaali kulkee antennille suodattimen kautta, joka estää suuritehoisen signaalin, sen kohinan ja häiritsevien taajuuksien

pääsyn vastaanottimeen. Kuvassa on 23 GHz:n taajuudelle tarkoitettu duplex-suodatin ylä- ja alapuolelta kuvattuna (kuva 11).



Kuva 11. Radiossa käytetty duplex-suodatin kummastakin suunnasta kuvattuna

Kuvassa vasemmalla puolella oleva pää kiinnitetään antenniin ja oikeanpuoleinen pää kiinnitetään radion mikroaaltoyksikköön (MWU).

FlexiHopper XC:ssä käytetty lähetinarkkitehtuuri on suoramuunnoslähetin, jossa I- ja Q-signaalit sekoitetaan suoraan lopputaajuudelle. Muita lähetinarkkitehtuureja ovat heterodyne-lähetin ja VCO:n modulointiin perustuva suoramuunnoslähetin [10, s. 9 - 10].

Vastaanotto, Rx

Esimerkki, kun vastaanotetaan dataa, eli kun dataa siirretään radiolta sisäyksikölle.

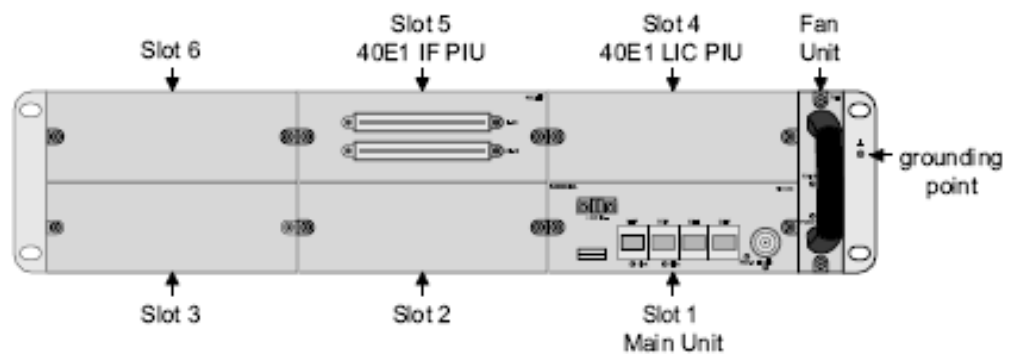
Radiotieltä vastaanotettu signaali viedään LNAlle (Low Noise Amplifier), joka vahvistaa radiolinkin vastaanottaman signaalitason pitäen kohinan määrän alhaisena (kohta 6). Tämän jälkeen signaali muunnetaan välitaajuudelle. AGC:n avulla signaalille saadaan aikaiseksi jatkuva tehotaso IQ-demodulaattorille (kohta 7). IQ-demodulaattorissa signaali muunnetaan I- ja Q-signaaleiksi (RxI ja RxQ), jotka viedään AD-muuntimen kautta edelleen ASICille. ASIC muotoilee demoduloidun datan siihen muotoon, että se voidaan kehystää ja siirtää koaksiaalikaapelia pitkin Flexihubille.

FlexiHopper XC:ssä käytetty vastaanotinarkkitehtuuri on heterodyne-vastaanotin, jossa vastaanotettu signaali sekoitetaan välitaajuuden kautta kantataajuudelle. Toinen mahdollisuus olisi käyttää

suoramuunnosvastaanotinta [10, s. 9 - 10; 11, s. 258; 9, s. 9 - 10; 4, s. 13 - 15].

2.3 FlexiHopper XC IU eli FlexiHub Node

FlexiHopper XC IU eli FlexiHub Node eli sisäyksikkö sijaitsee yleensä sisätiloissa sijoitettuna 19" räkkiin tai 600 x 300 mm ETSI-räkkiin. FlexiHub koostuu mekaanisesta kehyksestä, jossa on kuusi paikkaa Plug-in uniteille (PIU) ja yksi paikka tuuletinkortille (kuva 12).



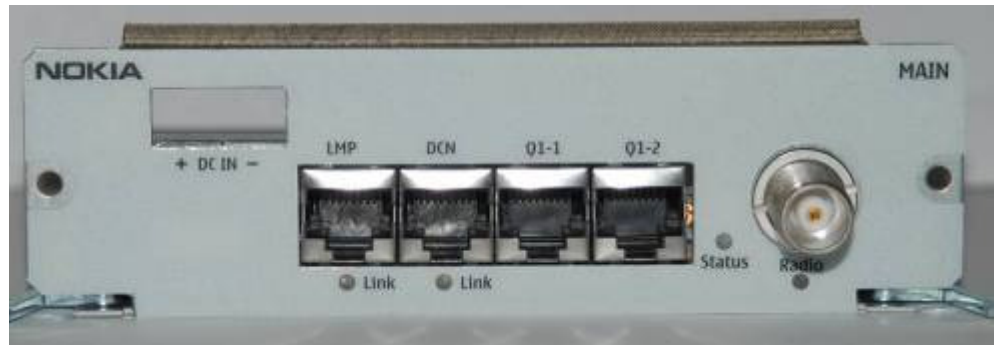
Kuva 12. FlexiHub Node korttipaikkoineen

Kuvassa oikealla on tuuletinkortti (Fan Unit), joka on asennettava kaikissa konfiguraatioissa, ja oikealla alhaalla on Main Unit, joka voidaan asentaa paikkoihin yksi ja kolme (Slot 1, Slot 3). Seuraavissa kappaleissa kerrotaan lisää eri PIUista ja konfiguraatiovaihtoehdoista.

2.3.1 Main unit PIU

FlexiHub Main unit sijaitsee paikassa yksi. Kun 1+1 hot stand-by on käytössä, asennetaan toinen Main Unit paikkaan 3.

Main Unit on yhteydessä ulkoyksikköön Flexbusin välityksellä, joka syöttää OUIlle sen tarvitseman käyttöjännitteen ja kuljettaa kaksisuuntaista dataa. Muihin PIUhin Main unit on yhteydessä takapaneeliliitännän eli BP:n (Back Plane) välityksellä. Muista Flexihopper tuoteperheen laitteista poiketen Flexbus-kaapelissa kulkee dataa 160 Mbps:n vauhdilla. Kuvassa näkyy Main Unitin etupaneeli liitännöineen (kuva 13).



Kuva 13. Main unitin etupaneelissa on viisi liitäntää

Oikealla kuvassa on liitin Flexbusille ja keskellä neljä liitintä eri hallintakanaville (LMP, DCN, Q1-1 ja Q1-2), joista kerrotaan lisää kappaleissa 2.4 ja 2.5.

Tehtävä

Main unit terminoi radiatorajapinnan, johon kuuluu hyötydatan kehystäminen/kehyspurku, hyötydatan siirtäminen backplaneen/backplanesta, hallintadatan käsittely ja 1+1 hot stand-by -toimet. Se ohjaa muita PIUja käskemällä niiden prosessoreita.

2.3.2 8E1 PIU 75 ohm

FlexiHub 8E1 75ohm PIU voidaan sijoittaa vapaasti Flexihubin paikkoihin 2-6.

75 ohmin 8E1 PIU käsittelee kahdeksaa E1-tason signaalia, jotka tuodaan sen etupaneelin SMB-liittimiin esim. DDF:stä (Data Distribution Frame, jakokenttä). PIUssa käytetty 75 ohmin rajapinta on asymmetrinen eli ei-balansoitu. Siinä käytetään signaalin siirtämiseen yhtä johdinta ja yhtä jännitetasoa. Kuvassa 14 näkyy 8E1 PIUn etupaneeli liitännöineen.



Kuva 14. 8E1 75 ohmin PIUssa on käytetty kullattuja liittimiä

Kuten kuvasta näkyy, PIUn liitännät koostuvat kahdeksasta SMB-liitinparista, jossa jokaiselle E1-linjalle on omat liittimensä sisään- ja ulostulolle.

Tehtävä

8E1 75ohm PIUn, ja samalla muidenkin E1 PIUjen, pääasialliset tehtävät ja ominaisuudet ovat

- E1-signaalien vastaanotto
- impedanssisovitus
- OVP (Over-Voltage Protection, ylijännitesuojaus)
- LOS (Loss Of Signal)
- AIS (Alarm Indication Signal)
- E1-ristikytkennät
- linjakoodaus (unipolar->bipolar)
- linjadekoodaus (bipolar->unipolar)
- PRBS.

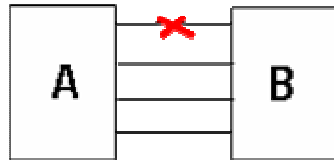
Seuraavaksi esitellään joitain PIUn ominaisuuksia.

OVP eli ylijännitesuojaus

E1-signaalin jännitteelle on määritelty G.703-spesifikaatiossa tietty maksimiarvo, jota se ei saa ylittää. Mikäli näin kuitenkin tapahtuu, estetään ylijännitesuojauksella signaalin kulku laitteen herkkiin osiin, jotta ne eivät vaurioituisi.

LOS ja AIS

LOS eli Loss Of Signal on vikatila, jossa huomataan, että jokin yhteyksistä on poikki. Tämä voi ilmaantua kun esim. kaapeli menee poikki tai jokin laite rikkoutuu. Vastaanotossa tapahtuu LOS detection, eli vika huomataan ja lähetyksessä LOS generation, eli luominen. Kun LOS huomataan, generoidaan AIS-sanoma, jolla kerrotaan muille laitteille, että laitteistossa on vika. AIS-sanoma koostuu ykkösbiteistä. Seuraavassa kuvassa esimerkki LOSista ja AISista (kuva 15).



Kuva 15. Katkennut yhteys aiheuttaa LOSin

Kuvan esimerkissä laite A lähettää laite B:lle tietoa. A:n operaattori kävelee kytkentätaulun ohi ja kiskaisee vahingossa kaapelia siten, että se on enää vain puoliksi kiinni. B huomaa, että A:lta tuleva signaalin taso laskee yli 35 dB alle normaalitason. B generoi LOSin. B alkaa lähettää AIS-signaalia, jonka B:n valpas operaattori huomaa verkohallintaohjelmistossa. B:n operaattori tarkistaa linjan, jolta vikailmoitus on saatu, ja huomaa, että se on kunnossa. B:n operaattori soittaa A:n operaattorille ja käskee tätä tarkastamaan liitännän. B:n operaattori huomaa löysän liitännän ja korjaa sen. Signaalin taso nousee normaalirajoihin, jolloin AIS ja LOS loppuvat.

AIS huomataan vastaanottopäässä siten, että kahdessa peräkkäisessä vastaanotetussa tuplakehyksessä (2 x 256 bittiä) on nollabittejä kaksi tai vähemmän. AIS poistuu, kun nollabittejä on kolme tai enemmän [12, s. 3].

LOS huomataan, kun vastaanotetussa signaalissa ei tapahdu muutoksia, eli kun signaalin taso on yli 35 dB:ä alle normaalitason 10 - 255 peräkkäisen pulssin ajan. Pulssin aika on tässä tapauksessa 125 mikrosekuntia, joka on E1-kehyksen pituus. LOS poistuu, kun signaalin taso nousee yli 9 dB alle normaalirajan ja pysyy siinä 10 - 255 peräkkäisen pulssin ajan [12, s. 2].

Linjakoodaus eli johtokoodaus

Kuten jo aiemmin kerrottiin, E1:ssä käytetään HDB3-linjakoodausta. PIUn vastaanottopäässä tämä bipolaarinen linjakoodi puretaan ja muutetaan unipolaariseen muotoon. Unipolaarisessa koodissa on vain kaksi jännitetasoa, nollataso ja positiivinen taso (0 ja +V). Lähetettäessä dataa unipolaarinen data muunnetaan taas bipolaariseksi HDB3-linjakoodiksi. Linjakoodaus ja -dekoodaus tapahtuvat LIUssa (Line Interface Unit).

E1-ristikytkenät

PIU hoitaa myös osan E1-tason ristikytkenästä, jolloin Flexihubissa ei tarvita erillistä ristikytkenäkenttää. Tämä säästää tilaa ja poistaa erillisten

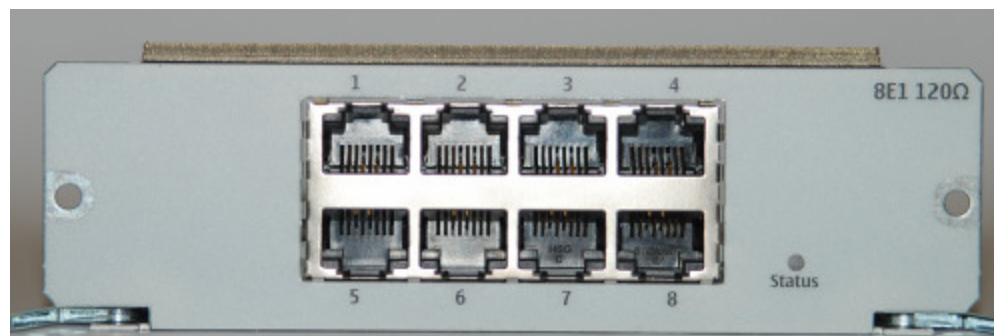
johdotusten tekemisen. Samalla piiritason ristikytkenät lisäävät toimintavarmuutta verrattuna perinteiseen ristikytkentään, sillä inhimillisiä erehdyksiä ei satu. Ristikytkenät tehdään Main unitin käskystä E1 PIUn Line Interface Unitissa. Ristikytkenöjä ohjataan Flexihub Manager -ohjelmistolla, josta lisää kappaleessa 2.4.

PRBS

PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) eli valesatunnaisbittijakso on LIU-piirin kehittämä bittijakso, jolla testataan liitäntöjen välistä toimivuutta. Esim. 8E1 PIUn ja Main unitin välinen takaväylän toimivuus voitaisiin testata seuraavalla tavalla. Main unit lähettää valesatunnaisbittijakson 8E1 PIUlle, jonka jälkeen se käy lukemassa PIUn rekistereihin tallentuneen tiedon. Mikäli virheitä ei sattunut voidaan todeta että yhteys toimii.

2.3.3 8E1 PIU 120 ohm

120 ohmin FlexiHub 8E1 PIU on muuten samanlainen kuin 75 ohmin PIU, mutta siinä on 120 ohmin symmetrinen rajapinta. Symmetrisyys tarkoittaa tässä tapauksessa balansoitua linjaa jossa käytetään differentiaalista signalointia. Siinä käytetään signaalin siirtämiseen kahta johdinta ja kahta jännitetasoa (+V ja -V) joiden välisellä erolla saadaan kuvattua bitit nolla ja yksi. Lisäksi siinä on käytetty SMB-liittimien sijaan RJ45-liittimiä. Seuraavassa kuvassa on 8E1 PIUn etupaneeli liitäntöineen (kuva 16).



Kuva 16. 120 ohmin PIUssa on käytetty monelle kotoakin tuttuja RJ45-liittimiä

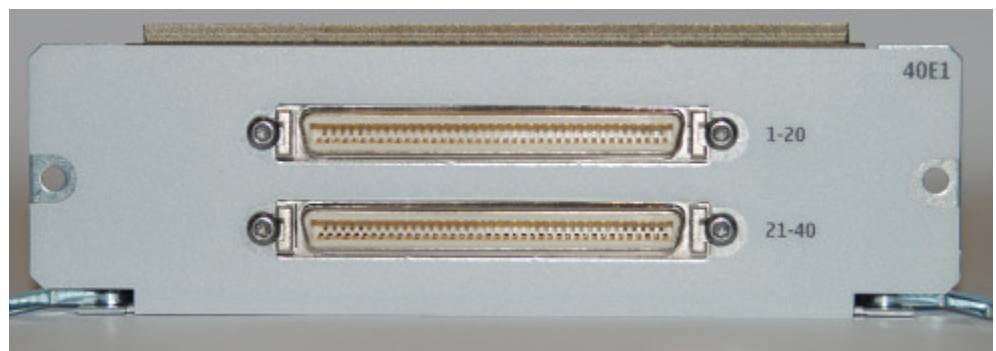
2.3.4 40E1 PIU

FlexiHub 40E1 PIU koostuu kahdesta erillisestä PIUsta, 40E1 LIC PIU ja 40E1 IF PIU. 40E1 LIC PIU asennetaan paikkaan 4 ja 40 E1 IF PIU

paikkaan 5. Mikäli 1+1 hot stand-by käytössä, niin 40E1 LIC PIU asennetaan paikkoihin 4 ja 6.

40E1 IF PIU

40E1 IF (Interface) PIU on passiivinen, eli siinä ei ole aktiivisia komponentteja kuten prosessoreita. Sen sijaan siinä on liitännät 40:lle E1-signaaliin jaettuna kahdelle MDR80-liittimelle, joista kumpikin kuljettaa 20 E1-signaalia. Signaalit kulkevat 40E1 LIC PIUlle BP:n kautta. Valinta symmetrisen ja asymmetrisen liitännän välillä on ohjelmallisesti valittavissa. Kuvassa 17 on 40E1 IF PIUn etupaneeli.



Kuva 17. IF PIUn liittimien kautta kulkee 40 E1-signaalia

IF sisältää liittimien lisäksi vain OVP-mekanismia ja muuntajia, minkä vuoksi sen toimintavarmuus on erittäin hyvä.

40E1 LIC PIU

40E1 LIC (Line Interface Card) PIU on kaksikon aktiivinen osa, eli se käsittelee 40E1 IF PIU:sta saatuja E1-tason signaaleja. Sillä ei ole muista PIU:ista poiketen lainkaan etupaneeliliitännöitä, sillä signaalit tuodaan sille BP:n kautta. 8E1 PIU:ista poiketen LICillä on kaksi LIU-piiriä, joiden avulla kaikki 40 E1-kanavaa saadaan otettua vastaan ja lähetettyä eteenpäin. Kuvassa 18 on 40E1 LIC PIUn etupaneeli.



Kuva 18. LIC PIUssa ei ole lainkaan etupaneeliliitäntöjä

Ainoa asia millä erottaa tyhjän korttipaikan ja LIC PIUn, on pieni statusvalo kortin alareunassa.

2.3.5 Flexbus PIU

Flexbus PIUn kautta ohjataan FlexiHopper-perheen edellisen sukupolven radioita. Siinä on kaksi koaksiaaliliitäntää, joihin voidaan kytkeä esim. kaksi FlexiHopper Plus -radiota. Kumpikin koaksiaaliliitäntä pystyy kuljettamaan dataa 34 Mbps vauhdilla, joka on huomattavasti vähemmän verrattuna Main Unitin 160 Mbps:n koaksiaaliliitäntään (kuva 19).

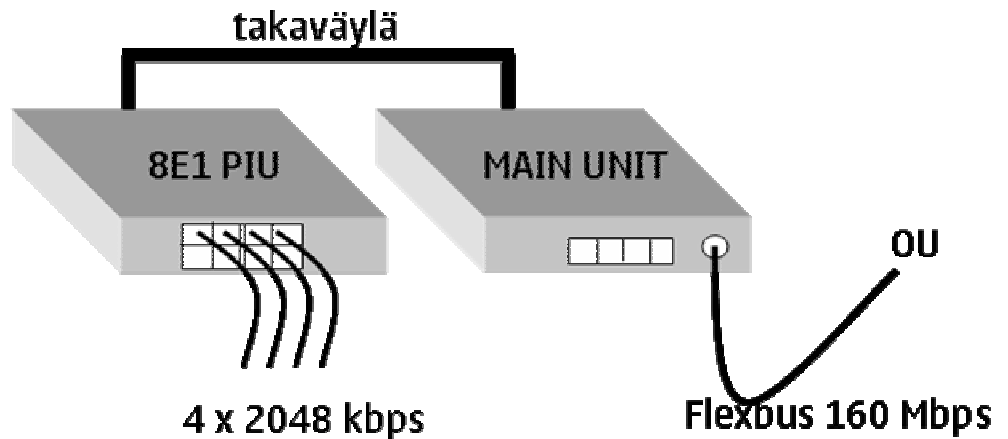


Kuva 19. Flexbus PIUn koaksiaaliliitännät voidaan yhdistää edellisen sukupolven FlexiHopper-radioihin

Flexbus PIUn etulevyssä on myös liitäntä käyttöjännitteelle. Siihen syötetty jännite vietään PIUssa olevalle teholähteelle, josta saadaan käyttöjännite koaksiaaliliitäntöihin liitettäville radioille.

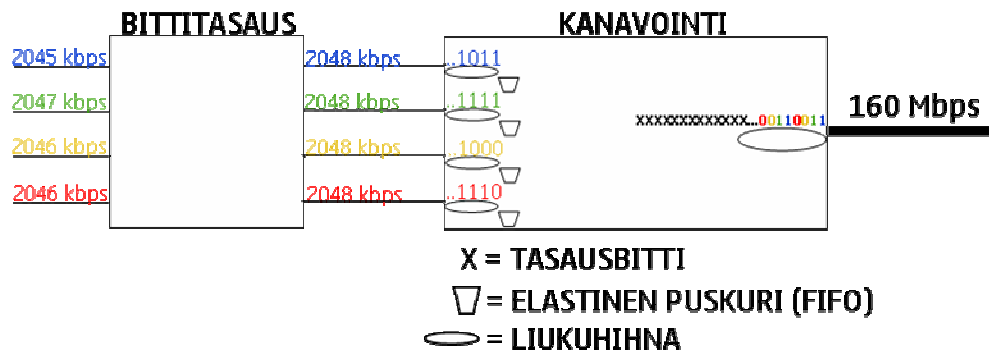
2.3.6 Esimerkki FlexiHubin toiminnasta

Seuraavassa esimerkissä esitetään kuinka signaalit kulkevat FlexiHubissa. Käytössä on neljä E1-linjaa ja FlexiHubiin on asennettu Main unitin lisäksi 120 ohmin 8E1 PIU (kuva 20).



Kuva 20. Esimerkkikonfiguraatio, jossa 8E1 PIU ja Main unit

Kun E1-signaalit tuodaan 8E1 PIUlle, niistä tehdään yksi kehys. Tämän jälkeen kehystetty data siirretään takaväylän kautta Main unitille, joka lisää kehukseen mm. tietoa prosessoreilta ja hallintadataa DCN- ja Q1-hallintakanavilta. Tämän jälkeen data lähetetään OUlle. Seuraavassa kuvassa on sama asia hieman tarkemmin kuvattuna (kuva 21).



Kuva 21. Esimerkki signaalien kanavoinnista

Kun signaalit ovat läpäisseet OVP-mekanismiin, menevät ne LIUlle (Line Interface Unit), jossa tehdään impedanssisovitus ja linjakoodista erotetaan data, sekä kello-signaali. Tämä tehdään siis joka E1-kanavalle erikseen. Signaalit saattavat olla eri nopeuksisia kun ne saapuvat PIUlle, joten niille tehdään LIUssa myös bittitasaus. Bittitasauksessa esim. 2047 kbps:n signaalin nopeus muutetaan 2048 kbps:iin. Tämän jälkeen saman

nopeuksiset signaalit voidaan viedä kanavointilaitteeseen, joka on toteutettu FPGA:lla

(Field Programmable Gate Array). Signaalit viedään, bitti kerrallaan, liukuhihnaa pitkin elastisiin puskureihin. Sieltä bitit kerätään vuorotellen liukuhihnalle, ja puskureiden tyhjennyttyä liukuhihnalle lisätään tasausbittejä. Lopputuloksena on 160 Mbps kehys, joka siirretään BP:n kautta Main unitille. Kuva 22 kuvaa esimerkkiä kehysrakenteesta, kun Main unit on lisännyt siihen oman osuutensa.



Kuva 22. Periaatteellinen kuva OUIlle lähetettävästä kehysrakenteesta

Data lähetetään Flexbus kaapelia pitkin OUIlle, missä kehysrakenne puretaan ja prosessoritiedot välitetään OUn prosessorille. Näin prosessorit ovat keskenään jatkuvassa yhteydessä.

Flexihubissa ja Flexihopper XC -radiossa tehdyt kehystykset ovat Nokia Siemens Networks:n omia kehysrakenteita (NSN proprietary) [4, s. 16 - 20].

2.4 FlexiHub Manager

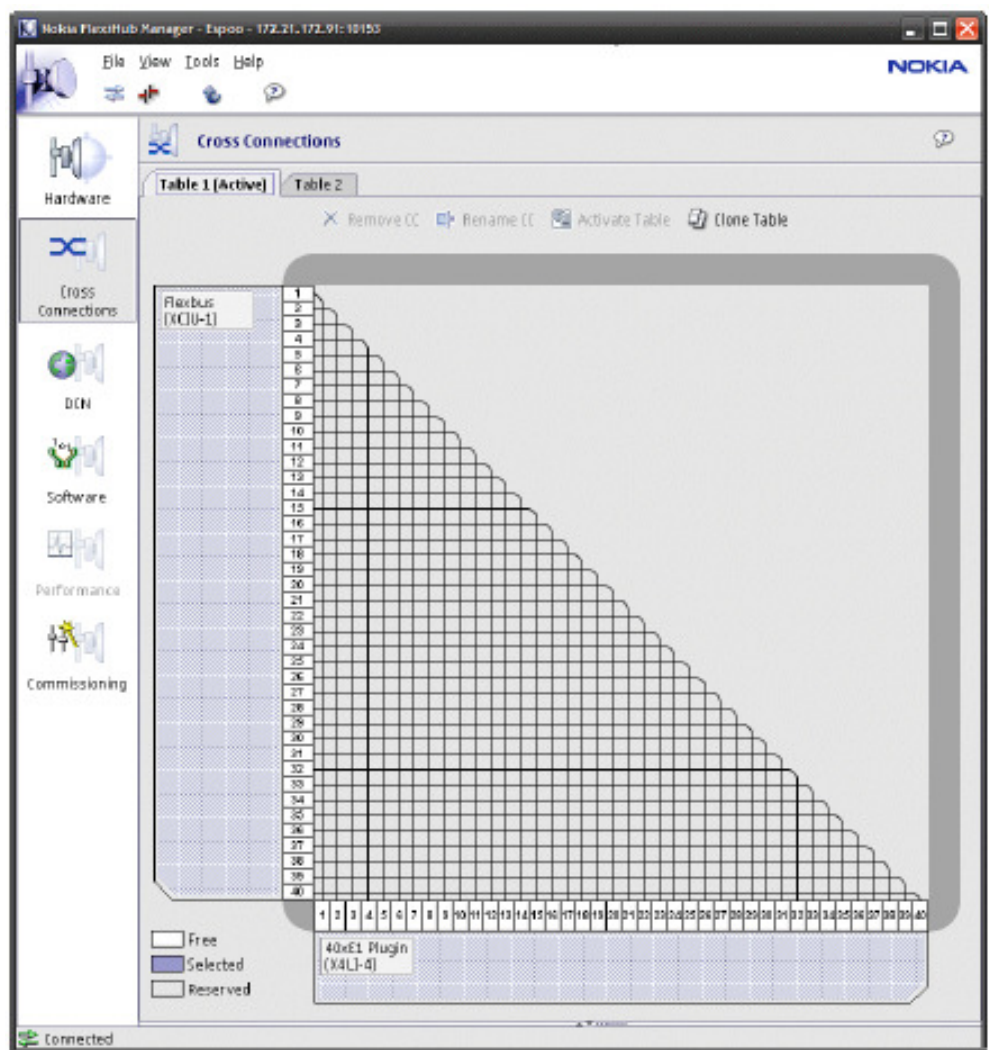
FlexiHub Manager on Windows-pohjainen sovellus, jolla ohjataan FlexiHub Nodea ja Flexihopper XC -radioita.

Seuraavassa on lueteltu FlexiHub Managerin ominaisuuksia

- uuden FlexiHub Node -konfiguraation luonti
- vanhan konfiguraation muokkaaminen
- ohjelmiston lataus
- tilaseuranta (esim. hälytykset)
- helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä
- E1-ristikytkentöjen tekeminen
- FTP-palvelin, jolta voidaan päivittää laitteistojen ohjelmistot.

FlexiHub Manager on yhteydessä FlexiHubiin joko Main unitissa sijaitsevan LMP- tai DCN-portin kautta. Käytettäessä LMP:tä (Local Management Port) luodaan paikallinen yhteys PC:n ja Flexihubin välille. Käytettäessä DCN:ia (Data Communication Network) voidaan Flexihub kytkeä IP-verkkoon, jolloin etäyhteys FlexiHubiin on mahdollinen. On myös mahdollista reitittää hallintaliikenne radiolinkin ylitse, jolloin voidaan hallita kaukopään Flexihubia ilman että sitä on liitetty IP-verkkoon.

E1-ristikytöntöjen tekeminen on helppoa verrattuna perinteiseen ristikytöntään (kuva 23).



Kuva 23. Kuvaruutukaappaus FlexiHub Managerista

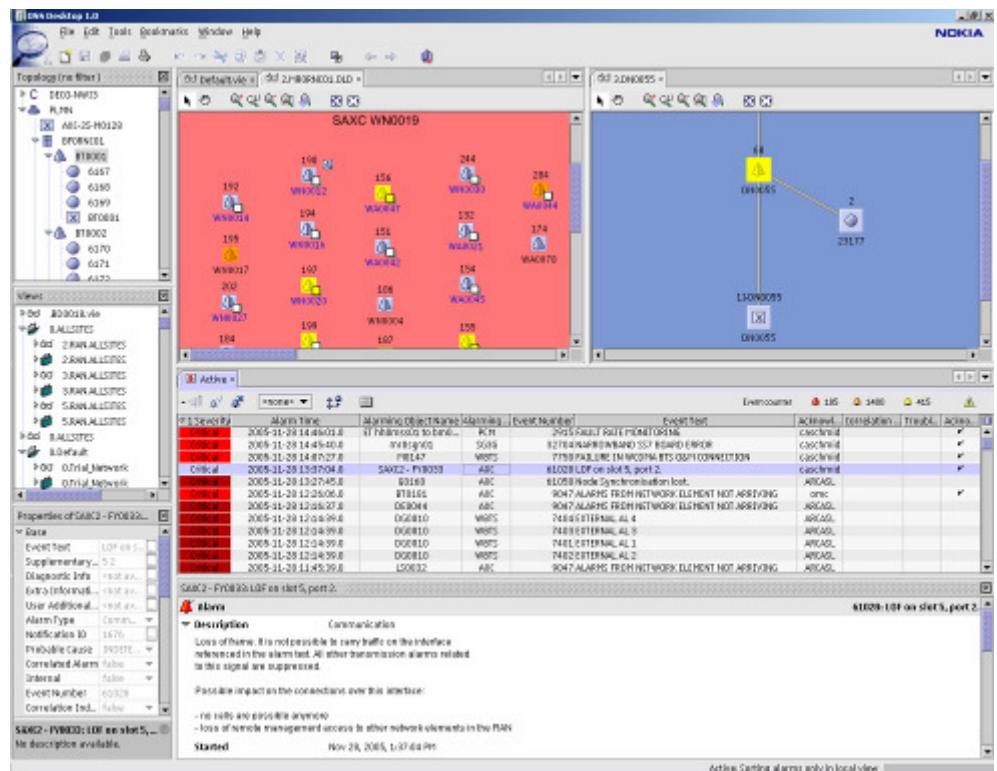
Kuvan esimerkissä käytössä on 40 kappaletta E1-yhteyttä. Riveillä näkyvät radiotieltä tulevat yhteydet ja sarakkeilla näkyvät 40E1 PIUille menevät kytkennät. Tässä tapauksessa ristikytönnät on tehty 1-1, eli radiotieltä

tuleva kanava numero yksi reititetään 40E1 PIUn kanavaan yksi ja päinvastoin. Kanavan tila on merkitty värikoodin avulla. Tässä esimerkissä kaikkien

kanavien tila on valkoinen, mikä merkitsee sitä että kanava on vapaa [4, s. 21 - 22, 33].

2.5 NSN NetAct

NSN NetAct on laajamittainen verkonhallintaohjelmisto, joka koostuu useista plugineista eli lisäosista. Sen avulla voidaan hallita lähestulkoon kaikkia NSN:n laitteita, mukaan lukien Flexihopper XC -radiota ja Flexihubia. Sen avulla voidaan seurata Flexihubin ja radion hälytyksiä, kuten LOS ja AIS, sekä kerätä niiden suoritusarvoja. Yhteys radion ja NetActin välille luodaan Q1- tai SNMP-protokollan avulla. Seuraavassa kuva NetActin käyttöliittymästä (kuva 24).



Kuva 24. Kuvaruutukaappaus NetActista

Kuvan oikeassa yläkulmassa näkyy koko verkon topologia ja kuvan keskellä näkyvät verkon laitteiden kehittämät hälytykset, jotka aukeavat klikatessa ruudun alaosaan [4, s. 34].

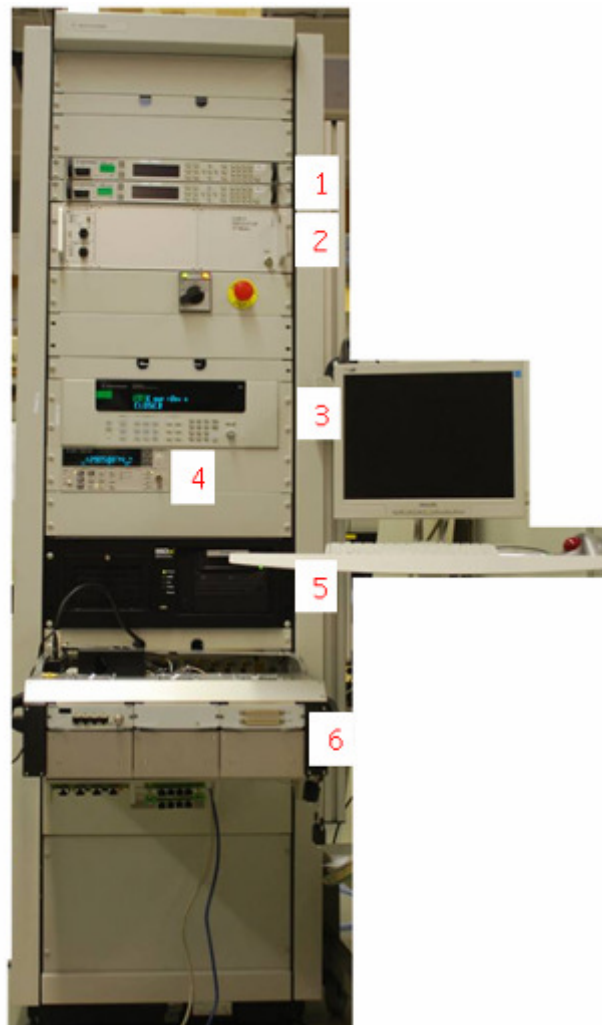
3 PLUG-IN UNIT -TESTAUS

Jotta tuotteen toimivuus voidaan verifioida, on se testattava. Testaus tapahtuu testausjärjestelmässä, joka koostuu apuyksiköistä ja mittalaitteista.

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu hieman testeristä ja tuotteiden testauksesta.

3.1 Testausjärjestelmä

Testausjärjestelmä koostuu mittalaitteista, virtalähteistä, kaapelisimulaattorista, keskusyksiköstä ja testauspöydästä eli fixturesta. Kuvassa 25 on testausjärjestelmä, jonka eri osat on numeroitu.

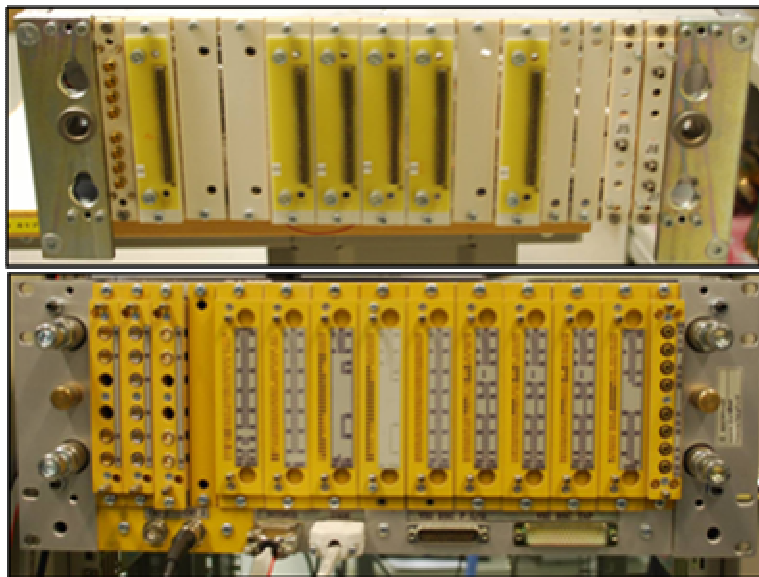


Kuva 25. Testausjärjestelmä

Kuvan 25 kohdassa yksi sijaitsevat virtalähteet, jotka syöttävät testauspöydälle sen tarvitseman virran. Kohdassa kaksi on kaapelisimulaattori, jonka avulla saadaan simuloitua eri kaapelin pituuksia eri impedansseilla. Kohdassa kolme on DMM/Switch (Digital Multimeter) eli mittalaite, johon voidaan liittää eri moduleita tarpeen mukaan. Se toimii samalla tietokoneohjattuna kytkimenä. Kohdassa neljä on FC (Frequency Counter) eli taajuuslaskin jolla voidaan mitata taajuuksia hyvin tarkkaan. Kohdassa viisi on keskusyksikkö, johon on asennettu testausohjelmisto, joka ohjaa kaikkia tolpan laitteita. Kuvan kohdassa kuusi on testauspöytä eli fixture, johon testattavat tuotteet kytketään. Fixturen avulla saadaan mekaaninen ja sähköinen kosketus testattavaan tuotteeseen.

Fixture

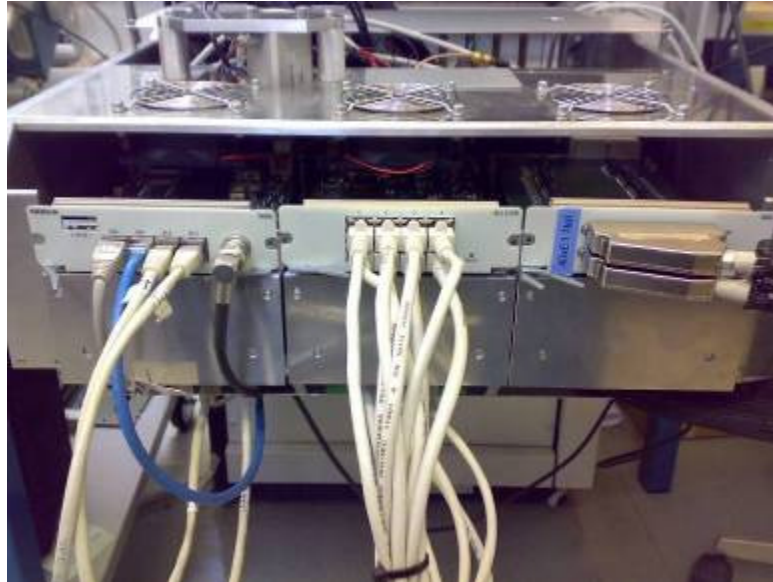
Fixture eli testauspöytä on kytketty testausjärjestelmään kuvan mukaisen liitinkentän kautta (kuva 26).



Kuva 26. Kuva testausjärjestelmän ja testauspöydän liitinkentistä

Kuvan ylemmässä lokerossa on kuva fixturen takaosasta eli backplanesta ja alemmassa lokerossa testausjärjestelmän liitinkenttä. Liitinkentässä on satoja liitäntöjä mittalaitteille ja virtalähteille sekä läpivientejä mm. kaapelisimulaattorille. Tarkoitus on, että kaikki fixturessa olevat kaapelit kulkevat yllä olevien liitäntöjen kautta testausjärjestelmälle, jolloin yhtään kaapelia ei tarvitse kytkeä käsin.

Fixturessa on kolme paikkaa PIUille. Vasemmanpuoleisin paikka on varattu Main unitille ja oikeanpuoleisin paikka on varattu 40E1 IF PIUlle. Kaikki muut PIUt testataan keskimmaisessä paikassa. Seuraavassa kuvassa on testauspöytä edestä kuvattuna (kuva 27).

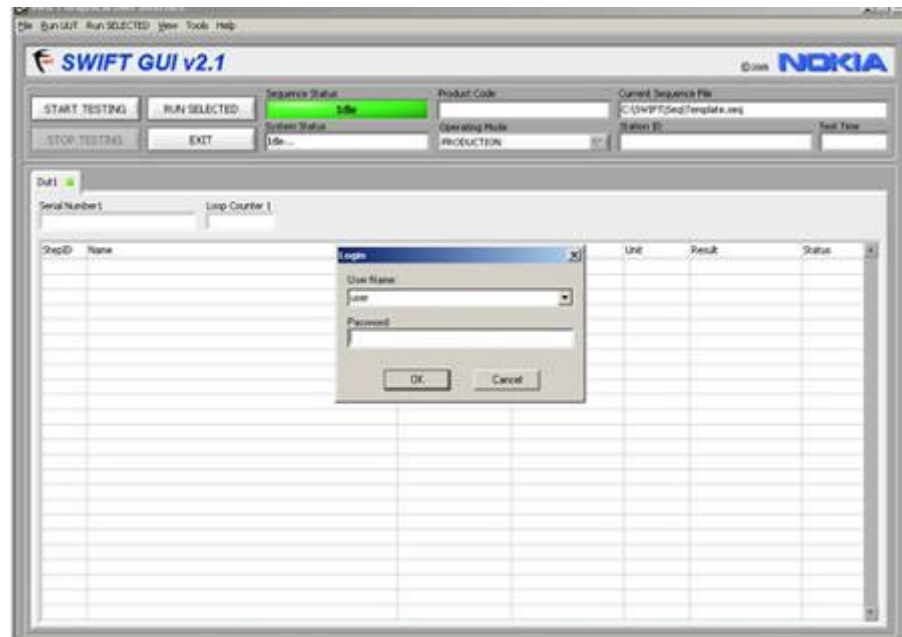


Kuva 27. Testattavat PIUt kytketään testauspöytään eli fixtureen

Kuvan tapauksessa testausvuorossa on 120 ohmin 8E1 PIU, joka siis sijaitsee keskimmaisessä paikassa. Testauksessa käytetään hyväksi tuotteiden etupaneeliliitännöitä.

Testausohjelmisto

Windows-pohjainen Swift-testausohjelmisto on toteutettu National Instrumentsin Teststandillä ja käyttöliittymä LabView:lla. Kuvassa 28 on kuvaruutukaappaus testausohjelmistosta.



Kuva 28. Kuvaruutukaappaus Swift-testausohjelmistosta

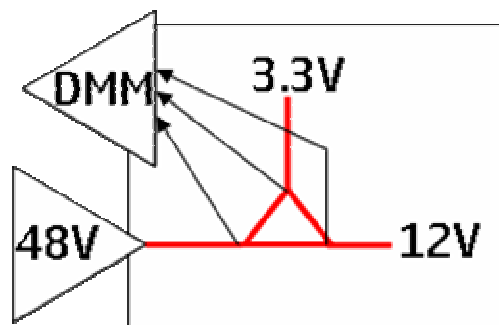
Ohjelmistoon luetaan tuotekoodi, joka määrää ajettavan testijonon. Testijonossa saattaa olla satoja vaiheita, jotka voidaan ajaa sarjassa tai rinnakkain.

3.2 Testattavat asiat

Kortteja testattaessa käydään läpi satoja asioita liittyen niiden omaan toimintaan ja toimintaan toisten korttien kanssa. Seuraavassa on kerrottu joitain testattavia asioita.

Käyttöjännite

Testeissä mitataan PIUlle syötetty jännite, jonka lisäksi mitataan jännitteet jotka PIU kehittää sille syötetystä jännitteestä. Kuvassa 29 on periaatteellinen esimerkki jännitemittauksesta.



Kuva 29. Käyttöjännitteen mittauksen periaatteellinen lohkokaavio

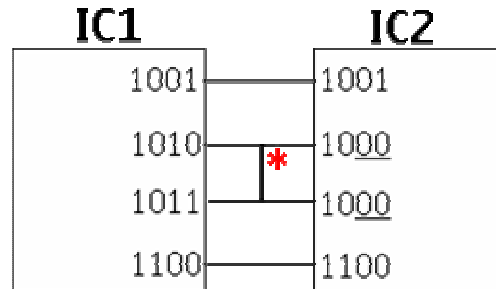
Esimerkissä kortille syötetään takapaneeliliitännän kautta 48 V:n käyttöjännite, jonka se jakaa 3,3 V:n ja 12 V:n jännitteiksi. Näissä kohdissa on myös mittauspisteet, jotka viedään fixturen takapaneelin kautta mittalaitteistolle (DMM). Mittalaitteisto on taas kiinni keskusyksikössä LAN-väylän (Local Area Network) kautta ja ohjelmisto lukee näin tiedot mittalaitteistolta. Mikäli mittaustulos on annettujen rajojen sisällä (esim. 3,20 - 3,42 V), tulkitsee testausohjelmisto testin onnistuneeksi ja jatkaa seuraavaan testiin.

Virrankulutus

Virrankulutustestissä mitataan kuinka paljon virtaa kortti kuluttaa kussakin mittapisteessä. Edellisen esimerkin tapauksessa mitattaisiin 3,3 voltin virrankulutus ja 12 voltin virrankulutus.

BSCAN-testit

BSCAN eli Boundary Scan -testeissä testataan piirien välisiä kytkentöjä. Seuraava esimerkki antaa käsityksen siitä, kuinka BSCAN toimii (kuva 30).



*** Oikosulku**

Kuva 30. Kanavien kaksi ja kolme välillä on oikosulku

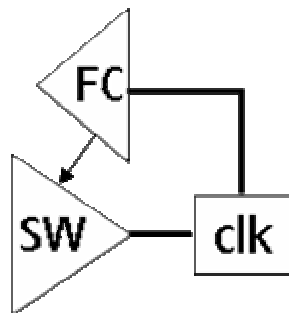
Tutkittaessa piirien IC1 ja IC2 välisiä juotoksia syötetään piirille IC1 kuvassa olevat bittijonot. Bittijonot syötetään edelleen piirille IC2, minkä jälkeen jonot käydään lukemassa IC2-piirin lähdoista eli outputeista. Huomataan, että linjat kaksi ja kolme ovat oikosulussa keskenään, sillä bittijonot eivät ole identtiset syötettyjen bittijonojen kanssa. BSCAN-testeissä tarvitaan erillistä BSCAN-ohjainta ja sen käyttöön tarvittavaa ohjelmistoa. Tämän lisäksi testattavien piirien on oltava "BSCAN-yhteensopivia", eli niissä tulee olla tarvittavat liitännät (TDO, TDI, TCK ja TMS).

Ohjelmistolataukset

PIUissa käytetään useita prosessoreita, joista kukin käyttää omia ohjelmistojaan. Tämän takia on oltava mahdollista ladata kortille kunkin sen prosessorin käyttämä ohjelmisto. Ohjelmisto ladataan PIUn flash-muistille keskusyksiköltä. Joillekin korteille ohjelmiston lataus on toteutettu BSCANin avulla, jolloin prosessorille ladataan käynnistysohjelmisto, joka lataa varsinaisen ohjelmiston käyttäen nopeampaa väylää.

Kellojen taajuusmittaus ja kalibrointi

Koska kellotahti on tärkeä asia digitaalisessa tiedonsiirrossa, on kellojen oltava tarkkoja. Seuraava esimerkki kuvaa kellon kalibrointitoimintoa (kuva 31).

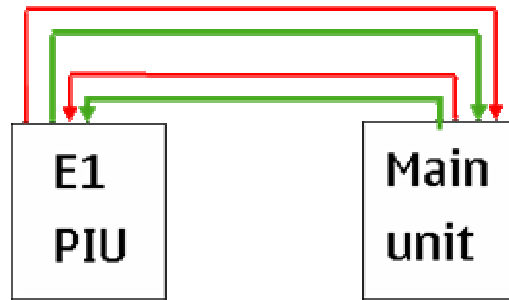


Kuva 31. Kalibroinnin lohkokaavio

Esimerkissä kellolta (clk) viedään yhteys taajuuslaskimelle (FC), joka mittaa kellon värähtelytaajuutta. FC välittää tiedon testausohjelmistolle (SW). Mikäli kello ei ole halutulla taajuudella, kasvattaa tai pienentää ohjelmisto kelloa ohjaavaa jännitettä kunnes FC:ltä saatu taajuus on haluttu. Kun taajuus on säädetty, merkataan taajuus ja sitä ohjaava jännite PIUn muistiin.

Rajapintojen toimivuus

Myös rajapintojen toimivuutta testataan. Esimerkiksi Main unitin ja E1 PIUjen välisen takaväylän toimivuus voitaisiin varmistaa PRBS:n avulla (kuva 32).

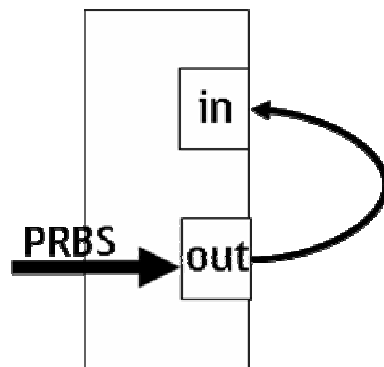


Kuva 32. Takaväylän toimivuus voidaan varmentaa PRBS:n avulla

Main unit lähettää PRBS:n takaväylän kautta E1 PIUlle, jonka jälkeen se kääntää sen takaväylän kautta E1 PIUn rekistereistä itse. Vaihtoehtoisesti Main unit voi käydä lukemassa tiedot E1 PIUn rekistereistä itse. Sama testi voitaisiin tehdä myös toisin päin, eli E1 PIU lähettää Main unitille takaväylän kautta PRBS:n, jonka jälkeen Main unit pyytää tiedot PIUn lähettämästä PRBS:stä.

Loopback eli silmukointi

Kun testataan liitännöiden toimivuutta, tehdään se usein silmukointitestillä. Siinä lähetys suunnan signaali kytketään vastaanotto suunnan signaaliksi (kuva 33).



Kuva 33. Loopback-testin periaatteellinen lohkokaavio

Kuvassa in ja out on kytketty yhteen kaapelilla. Testissä kehitetään PRBS, joka ohjataan lähetys suunnan (out), jonka jälkeen signaali kulkee vastaanottoon (in). Siellä lähetettyä bittijaksoa verrataan vastaanotettuun bittijaksoon. Mikäli bittijaksot ovat identtiset, voidaan todeta, että matkalla ei ole vikoja. Usein loopback-testeissä käytetään apuna loopback-adapttereita joihin kaapelit kytketään. Adapttereista on myös usein tehty signaalia

vaimentavia, minkä avulla simuloidaan heikkoja liitäntöjä tai pitkiä kaapelointiosuuksia.

3.3 Testausvaiheet

Seuraavissa kappaleissa on kerrottu mitä testausvaiheita eri PIUilla on. Samalla kappaleessa näkyy myös testaukseen liittyviä asioita, jotka vaativat kehitystä.

3.3.1 Yleistä

Testattavan PIUn (DUT, Device Under Test) testaamiseen hyödynnetään muita PIUja. Tämä tarkoittaa sitä, että muut PIUt toimivat apuyksikköinä. Apuyksiköt ovat aina ennalta testattuja yksiköitä, joiden on todettu toimivan täydellisesti (Golden Unit).

3.3.2 MAIN UNIT PIU

Main unittia testatessa testajaan on kytkettävä kortti fixturen vasemmanpuoleiseen paikkaan. Lisäksi testajaan pitää kytkeä LMP-, DCN-, Q1-1- ja Q1-2 -kaapelit sekä ruuvata koaksiaalikaapeli paikoilleen. Kaikki kaapelit on merkattu, jotta testaja ei kytke kaapeleita väärin. Kuvassa 34 on Main unit PIU kytkettynä fixtureen.



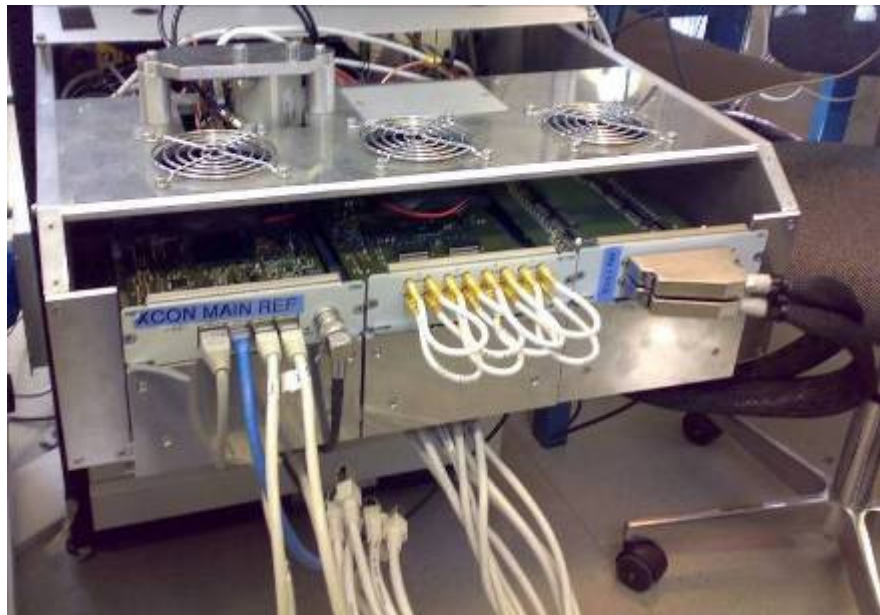
Kuva 34. Osa Main unitista lähtevistä kaapeleista viedään adapterille ja osa kaapelisimulaattorille

Koaksiaalikaapeli viedään Main unitista suoraan kaapelisimulaattoriin, josta se viedään radion modeemille. Edellä mainitut hallintakaapelit viedään

fixturen alla sijaitsevaan adapteriin, mistä ne viedään edelleen fixturen takapaneeliin. Takapaneelista kanavat ohjataan keskusyksikölle. Adapteria käytetään, koska kaapelit saattavat rikkoutua ja silloin joudutaan vaihtamaan vain Main unitin ja adapterin väliset kaapelit. Tämä helpottaa testerin ylläpitoa huomattavasti. 40E1 LIC PIUn ja ulkoyksikön modeemin on oltava kytkettynä Main unittia testatessa.

3.3.3 8E1 PIU 75 ohm

Kun testataan 8E1 75 ohm PIUta, testaajan on kytkettävä kaikki Main unitin kaapelit, sekä tehtävä kuvan 35 mukainen kytkentä 8E1 PIUlle (keskimäinen korttipaikka).

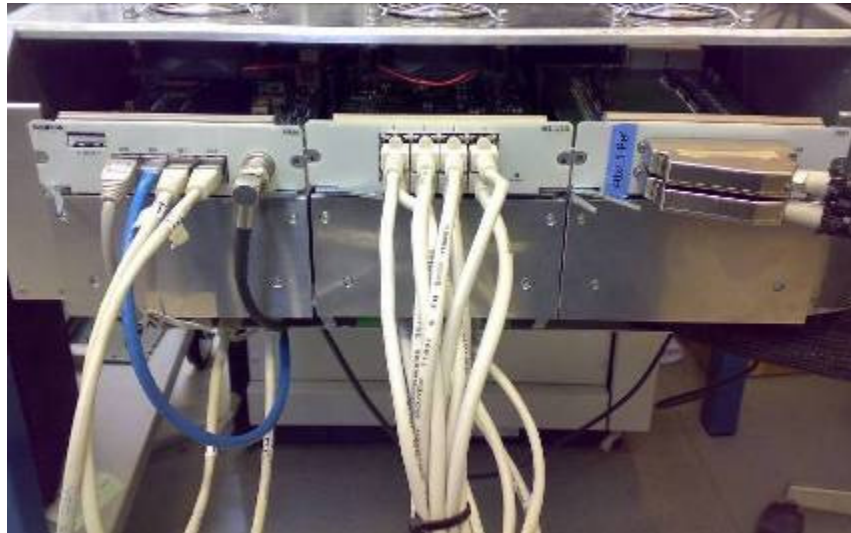


Kuva 35. Kuvassa Main unit, 8E1 PIU 75 ohm ja 40 E1 IF PIU, jota ei tarvitse kytkeä

PIUn jokaisen (kahdeksan kappaletta) kanavan sisään- ja ulostuloliitännät kytketään yhteen SMB-kaapeleilla. Kuvan alaosassa näkyvät myös 8E1 120 ohm PIUn testaukseen käytettävät RJ45-kaapelit, jotka roikkuvat langan varassa.

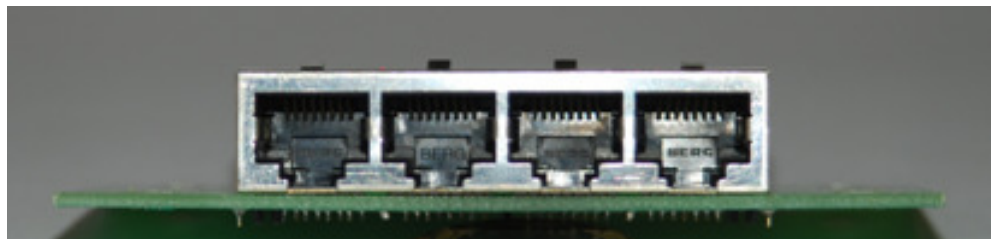
3.3.4 8E1 PIU 120 ohm

120 ohmisen 8E1 PIUn testauksessa testaajan on kytkettävä kahdeksan RJ45-kaapelia PIUn etupaneeliin (kuva 36). Tässä tapauksessa kaapeleiden järjestyksellä ei ole väliä.



Kuva 36. Testauksessa 8E1 PIUhun kytketään kahdeksan RJ45-kaapelia

Korttiin kytketyt kaapelit viedään fixturen alla sijaitsevaan adapteriin, jossa ne "luupataan". Adapteri on siis Loopback-adapteri joka vaimentaa siihen syötetyn signaalin ja syöttää sen takaisin PIUlle. Kuvassa 37 on 120 ohmiselle PIUlle toteutettu Loopback-adapteri.



Kuva 37. Loopback adapterissa on vain neljä RJ45-liitintä, joten adaptoreita tarvitaan kaksi jotta kaikki kanavat saadaan luupattua

Adapteri koostuu piirilevystä, jossa on RJ45-liittimiä ja vastuksia, jotka on kytketty tietyn logiikan mukaan sisään- ja ulostuloliitäntöjen väliin.

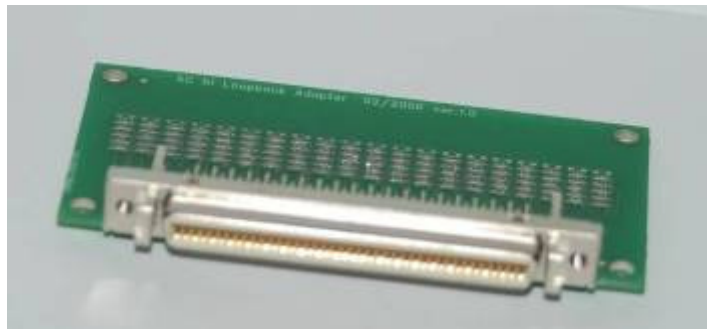
3.3.5 40E1 PIU

40E1 PIUn testauksessa 40E1 LIC PIU kytketään keskimmäiseen paikkaan. Main unit ja 40E1 IF PIU ovat myös kytkettyinä. Koska LIC PIUssa ei ole etupaneelikytkentöjä on testaus vaivattomampaa. Sen sijaan IF PIUn etupaneeliin kytketään kaksi MDR80-kaapelia, jotka viedään fixturen alla oleviin Loopback-adaptereihin (kuva 38).



Kuva 38. Kuvassa 40E1 IF PIUhun on kytketty MDR80-kaapelit. PIUssa oleva sininen tarra kertoo, että kortti on ns. Golden Unit

Testaajan on varottava PIUn liittimien rikkoutumista, sillä kolme metriä pitkät MDR80-kaapelit ovat hyvin raskaita.



Kuva 39. 40E1 PIUn Loopback-adapteri

Yllä olevassa kuvassa näkyvät pienet komponentit ovat vastuksia, joilla signaalit saadaan vaimennettua haluttuun tasoon (kuva 39).

3.3.6 Flexbus PIU

Flexbus PIUn testauksessa PIUn etupaneeliin ruuvataan kaksi koaksiaalikaapelia ja kiinnitetään yksi virtaliitin. Koaksiaalikaapelit viedään PIU:ta suoraan kaapelisimulaattorille, jossa ne luopataan tai terminoidaan päätevastuksella. Virtaliittimelle tuodaan virtaa suoraan fixturen takapaneelistä.

4 TESTERIN JATKOKEHITYS

Koska testeri oli vasta prototyyppiasteella, vaati moni asia hienosäätöä ennen kuin testeri olisi valmis tuotantokäyttöön. Suurin osa asioista, jotka vaativat parantelua, koskivat testerin käytettävyyttä ja kestävyyttä.

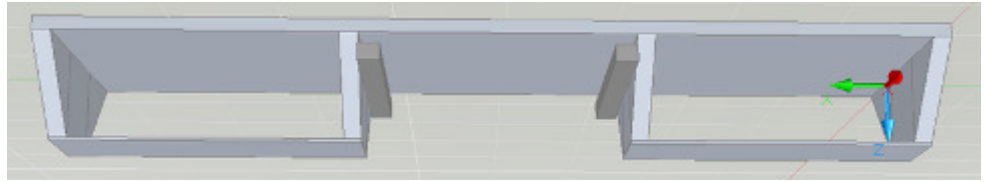
4.1 Testerin yleinen jatkokehitys

Aiemmin testauspöydän johdot roikkuivat adaptereistaan lattialla tai lankojen varassa, eikä kaikille adaptereille ollut paikkaa testauspöydän alapuolella. Piti kehittää jokin ratkaisu jolla johdot saataisiin kiinnitettyä järkevästi testauspöytään. Ratkaisuksi keksittiin vaihdettavat johtosarjat, jolloin testattavan tuotteen vaihtuessa testaja vaihtaa johtosarjan, eivätkä muiden tuotteiden johdot jää roikkumaan lattialle. Ratkaisussa voitiin käyttää hyväksi testauspöydän olemassa olevaa mekaniikkaa. Alla olevassa kuvassa näkyy testauspöydän pohjaan ruuvattava adapteriteline, jonka pohjalta vaihdettavaa johtosarjaa alettiin kehittämään (kuva 40).



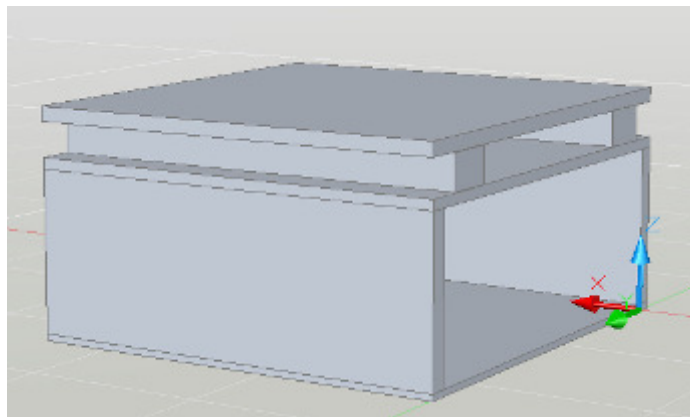
Kuva 40. Adapteritelineessä on vain kolme paikkaa, joista laitimaiset on varattu Main unitille ja 40E1 PIUlle

Telineen reunimmaisat paikat ovat varatut Main unitin ja 40E1 PIUn adaptereille, joten keskimmäinen paikka oli ainoa, jota voitiin hyödyntää. Päätettiin kehittää jokaiselle keskimmäisessä paikassa testattavalle PIUlle kelkka johon adapterit kiinnitettäisiin. Adapteritelineeseen asennettaisiin raiteet johon kelkka saataisiin lukittua. Näiden suunnitelmien perusteella saatiin tehtyä 3D-mallinnukset kelkasta ja raiteesta, jolle se laitetaan (kuva 41).



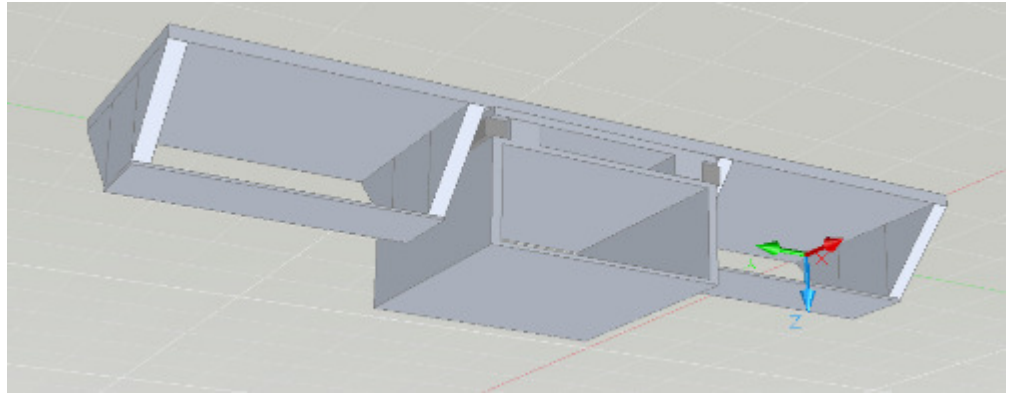
Kuva 41. Adapteritelineen keskimmäiseen paikkaan suunniteltiin raiteet, johon kelkka liu'utetaan

Edellisessä kuvassa adapteriteline on kuvattuna siten kuin se sijaitsee testuspöydän alla (kuva 41). Kelkkaa suunniteltaessa täytyi muistaa adaptereiden tilavaatimukset ja samalla oli mietittävä mahdollisia uusia tuotteita joille tultaisiin tarvitsemaan adaptereita. Eniten tilaa veivät 120 ohmin 8E1 PIUn adapterit, joten kelkan koko valittiin sen adaptereiden koon mukaan, jonka jälkeen mittoja suurennettiin vielä hieman. Seuraavassa kuvassa on kelkan 3D-mallinnus etuviistosta kuvattuna (kuva 42).



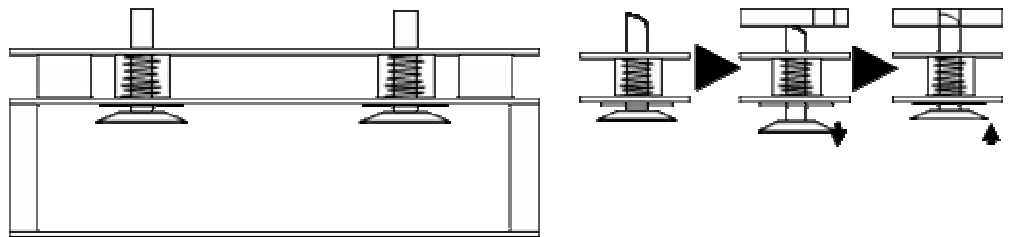
Kuva 42. Kelkan suunnittelussa mietittiin myös tulevien tuotteiden Loopback-adaptoreita ja niiden tilavaatimuksia lisäämällä muutama sentti kelkan korkeuteen.

Seuraavassa kuvassa on kuvattuna tilanne, jossa kelkka on asetettu raiteilleen (kuva 43).



Kuva 43. Kelkka raiteillaan adapteritelineessä

Kun kelkka ja sen raiteet oli suunniteltu, piti keksiä, kuinka kelkka saataisiin lukittua paikoilleen. Lukituksen piti olla helppokäyttöinen, toimintavarma ja kelkan piti lukittua aina samaan paikkaan. Lukitusratkaisuksi päädyttiin valitsemaan jousitapit, joita sijoitettiin kelkkaan kaksi rinnakkain. Tämä takasi sen, että kelkka ei liikkuisi lukkiuduttuaan lainkaan ja se lukittuisi aina samaan kohtaan. Kuvassa 44 näkyy kelkka edestä kuvattuna.



Kuva 44. Lukitus tehtiin jousitapeilla. Oikealla näkyy tappien toimintaperiaate

Syy, miksi kelkan piti lukittua aina samaan kohtaan, johtui Flexbus PIUn johtojen viennistä testauspöydän backplaneen. Asiasta kerrotaan lisää kappaleessa FlexBus PIUn jatkokehitys.

4.2 Main PIUn jatkokehitys

Ongelma

Jotta testaajan työ olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa, on kaikki testauksessa tarvittavat piuhat saatava kiinni testattavaan tuotteeseen yhdellä kerralla. Tämän vuoksi oli kehitettävä kaapelipidike johon saa kiinnitettyä kaikki johdot. Main unitissa on neljä kappaletta RJ45-naarasliitintä sekä yksi Flexbus kaapelin TNC-naarasliitin, joten tarvittiin pidike näiden vastaliittimille.



Kuva 45. Main unitin etupaneelikytkennät

Yllä olevassa kuvassa näkyy Main unit PIUn etulevy, johon kaapelit kytetään testauksessa (kuva 45).

Johtopidikkeen lisäksi oli mietittävä kuinka Flexbus-kaapeli saadaan vietyä PIU:ta kaapelisimulaattorille. Aiemmin kaapeli kulki PIU:ta suoraan kaapelisimulaattorille, mutta ratkaisu ei ollut tyydyttävä. Kaapelin pitää kulkea testauspöydän takapaneeliliitännöiden kautta testeritolpalle, mistä se viedään edelleen kaapelisimulaattorille.

Ratkaisu

Käytössä oli siis kahta liittintyyppiä, RJ45 ja TNC. Koska TNC-liitin on ruuvattavaa mallia, sitä ei voitu käyttää kaapelipidikkeessä vaan oli keksittävä jokin muu keino. Ratkaisuna oli pikaliitin, jossa ei ole lainkaan kierteitä. Kuvassa on Main unitissa käytetyt liittintyyppit (kuva 46).



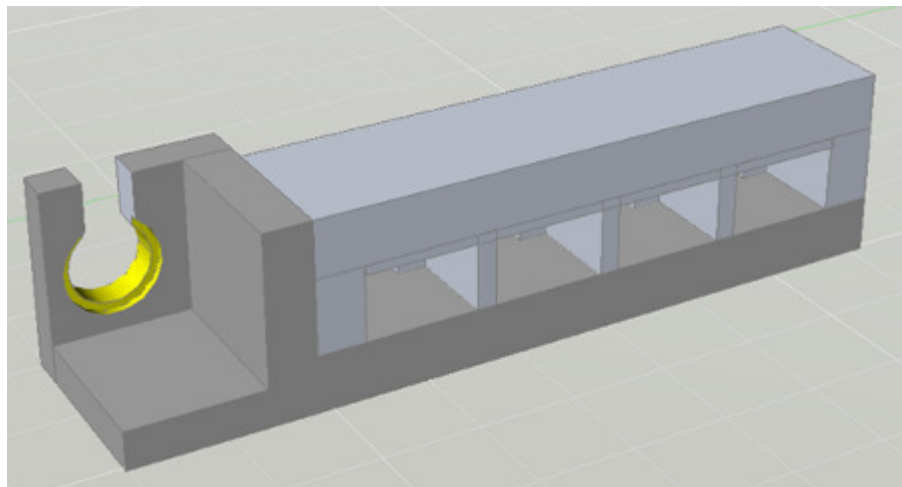
Kuva 46. Main unitissa käytetään RJ45- ja TNC-liittimiä

Vasemmanpuoleinen liitin on RJ45-liitin ja oikeanpuoleinen TNC-liitin. Lopullisessa ratkaisussa käytettiin TNC-liittimen sisäosaa, jolloin saatiin kierteetön liitin (kuva 47).



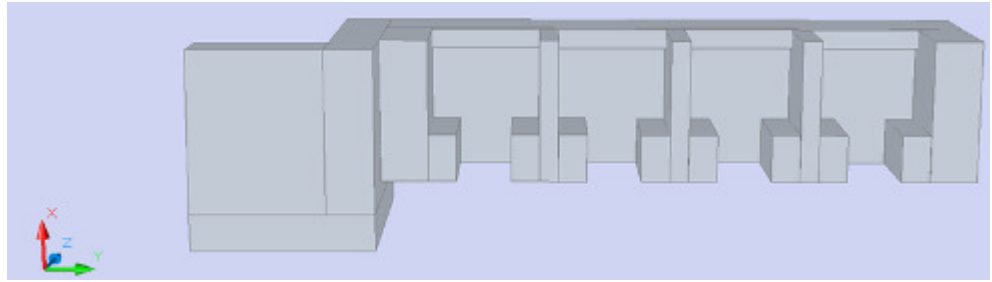
Kuva 47. Lopulliseen ratkaisuun valittiin kierteetön koaksiaaliliitin

Kaapelipidikkeen suunnittelu aloitettiin mittaamalla liittimien ulottuvuudet digitaalisella työntömitalla, jonka mittaustarkkuus on 0,01 mm. Tämän lisäksi mitattiin liittimien etäisyydet toisistaan. Tuloksena syntyi 3D-mallinnus johtopidikkeestä (kuva 48).



Kuva 48. Main unitin kaapelipidikkeen 3D-mallinnus

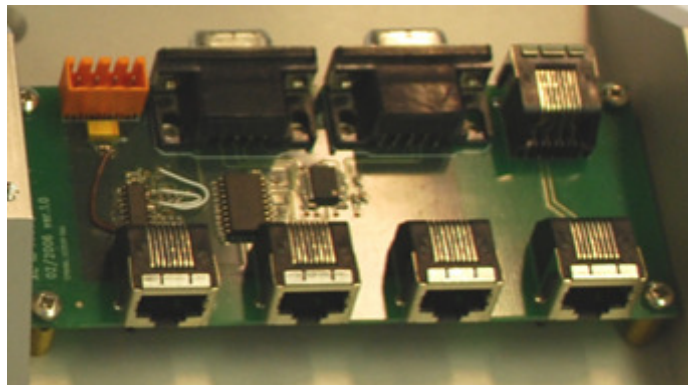
Pidikkeeseen tehtiin koaksiaalikaapelille ura josta se voidaan pujottaa paikoilleen. Kaapeli lukitaan paikoilleen ohuen U:n muotoisen metallilevyn avulla. RJ45-liittimellä varustetut kaapelit asetetaan paikoilleen ruuvaamalla pidikkeen pohja irti (kuva 49).



Kuva 49. Pidikkeen alapuoli ilman pohjaa

Liittimille jätettiin hieman liikkumisvaraa, jotta ne eivät rikkoisi testattavan tuotteen liitännöitä.

Koska Main PIU pysyy aina testauspöydän samalla paikalla, voi sen adapteri olla koko ajan samassa paikassa testauspöydän alla. Tällöin johtojen vieni adapterilta testauspöydän backplaneen helpottuu ja adapteriin ei kohdistu niin paljon mekaanista rasitusta. Kuvassa 50 on Main unitin adapteri.



Kuva 50. Main unitin adapteriin vietään neljä RJ45-kaapelia

Ainoaksi vienniksi jäi siis Flexbus-kaapeli, joka piti viellä testauspöydän backplanen kautta testeritopalle. Flexbus oli samalla ongelmallisin vieni, sillä kaapelin katkaiseminen väärästä kohdasta aiheutti pahoja takaisinheijastumisia. Oli siis mietittävä, millä kaapelin pituuksilla takaisinheijastuminen saatiin minimoitua. Asiaa mietittiin kaapelissa kulkevan signaalin aallonpituuden kannalta, joka saatiin kaavasta 1.

$$\frac{\text{valonnopeus} \cdot \text{nopeuskerroin}}{\text{taajuus}} = \lambda \quad (1)$$

Kaavassa nopeuskerroin (velocity factor) on kerroin, joka määrittää signaalin nopeuden käytetyssä kaapelissa. Kaavassa ilmenevä valon nopeus on

300'000'000 m/s ja taajuus on kaapelissa kulkevan signaalin taajuus. Flexbus-kaapeli on RG-214 -kaapelia, jonka nopeuskerroin on 0,66 ja signaalin taajuus on 22,125 MHz. Tästä saatiin laskettua signaalin aallonpituus.

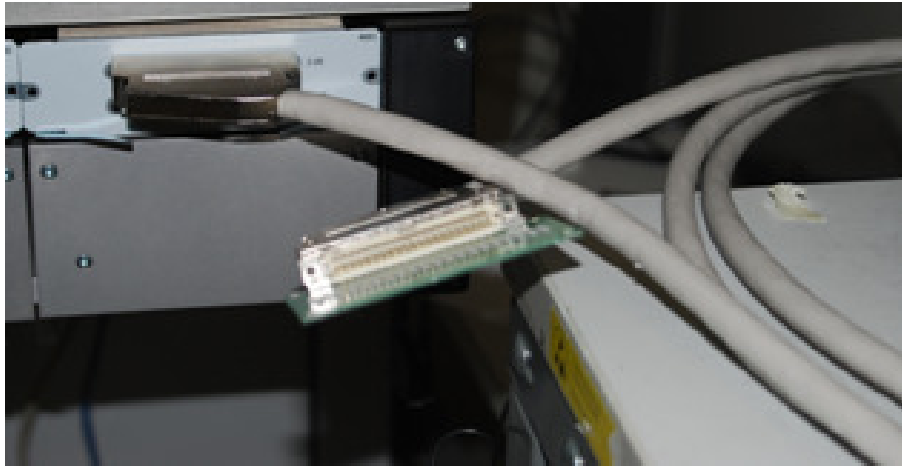
$$\frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cdot 0.66}{22.125 \cdot 10^6 Hz} = 8.949m$$

Tuotekehityksen kanssa käydyn palaverin jälkeen päädyttiin käyttämään 1/8 aallonpituuden kaapelointiosuuksia. Tällöin PIU:ta testauspöydän takaosaan menevän kaapelin pituudeksi saatiin 8,95 m / 8 m = 1,12 metriä ja testeritolpasta kaapelisimulaattorille menevän kaapelin pituudeksi 2,24 metriä. Kun kaapelin pituudet olivat selvillä, voitiin Flexbus viedä testerin backplaneen, josta se jatkaa matkaansa kaapelisimulaattoriin ja edelleen radion modeemille.

4.3 40E1 PIUn jatkokehitys

Ongelma

40E1 PIU:ssa on kaksi 80-pinnistä MDR-tyypin (Mini Delta Ribbon) naarasliitintä, joiden kautta kulkee yhteensä 40 kappaletta E1-tason signaalia. Liitintyyppi on hyvin harvinainen. Testauksessa PIU:hun kytketään MDR80-uroskaapelit, joiden päihin on kytketty loopback-adapterit. Adapterit sijaitsevat testauspöydän alapuolella.



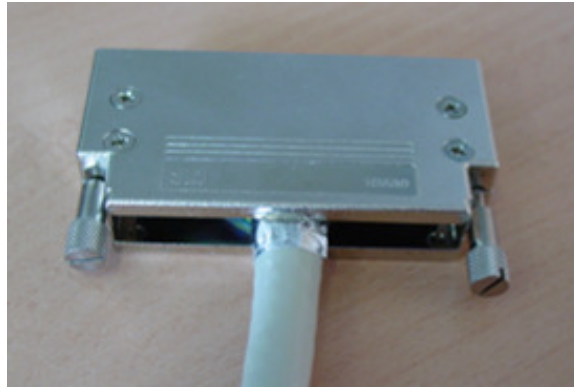
Kuva 51. Alkuperäinen ratkaisu oli ongelmallinen, sillä raskas kaapeli rikkoi liittimiä ja väänsi testattavaa PIUta

Alkuperäisessä ratkaisussa käytettiin markkinoilta löytyvää MDR80-liittimillä varustettua 12 mm:n paksuista kaapelia. Tämän kaapelin haittana oli sen pituus ja jäykkyys. Kaapelin minimipituus oli kolme metriä ja sen paksuus aiheutti usein vastaliittimien rikkoutumisen, sillä kaapeli ei taipunut juuri lainkaan. Lisäksi loopback-adapttereita ei voitu säilyttää niille tarkoitettussa paikassa testeripöydän alla, sillä kaapelin liittimet olivat 60 asteen kulmassa eikä niitä saatu liitettyä adapttereihin tilanpuutteen takia (kuva 51).

Ratkaisu

Piti kehittää ratkaisu, jolla varmistettaisiin loopback-adapttereiden ja PIUjen säilyminen ehjänä, testauksen helpottuminen, ja lisäksi oli minimoitava kaapeleiden pituus ja jäykkyys.

Ideota oli monia, mutta pitkien neuvotteluiden jälkeen 3M suostui teettämään 55 cm pitkän prototyypikaapelin, joka oli tarpeeksi löysä täyttämään vaatimukset. Ainoana haittapuolena ratkaisussa oli se, että jatkotilauksia ajatellen hinnat olivat kohtuuttomia ja toimitusajat jopa kuukausien mittaisia. Yhden ainoan kaapelin saaminen kesti kahdeksan viikkoa, sillä liittimet tilattiin USAsta 3M:n Saksan laboratorioon, missä varsinainen kaapeli koottiin. Viimeiset hienosäädöt kaapelille tehtiin vielä Suomen laboratorioissa.



Kuva 52. Kuvassa kaapeli ennen vaipan kuorimista

Kuvassa 52 on kaapeli ennen hienosäätöä, jossa kaapelin vaippa riisuttiin, jolloin esiin tuli 40 parikierrettyä johdinparia (kuva 53).



Kuva 53. Kaapeli vaipan poistamisen jälkeen

Johdinparit laitettiin lopuksi vielä muovisukalla yhteen, jonka avulla kaapelista saatiin riittävän löysä ja kestävä testerikäyttöön. Kaapeli olisi ollut ideaalinen, mikäli siinä olisi voitu käyttää lattakaapelia, mutta liian tiuhan jaon takia se ei ollut mahdollista.

Varasuunnitelmana oli piirilevyratkaisu, jossa PIUhun kytkettiin piirilevyt, joissa oli 80 folioraitaa. Piirilevyyn kytkettiin kaksi 40-napaista lattakaapelia, jotka taas vietiin toiseen samanlaiseen piirilevyyn, joka kytkettiin lopuksi loopback-adapteriin. Tässä ratkaisussa haittapuolena oli se, että piirilevyjä ei saanut lukittua PIUhun tai loopback-adapteriin. Toisessa varasuunnitelmassa suunniteltiin edellisentapainen ratkaisu sillä erolla että loopback-adapteri olisi integroitu raidoitettuun piirilevyyn. Tämä olisi mahdollistanut sen, että testauksessa ei olisi enää tarvittu lainkaan kaapeleita. Haittapuolena olisi kuitenkin ollut se, että adapterilevyt olisivat

olleet liian suuria ja ne olisivat luultavasti rikkoutuneet testaajan polvien osuessa niihin.

4.4 8E1 120 ohm PIUn jatkokehitys

Ongelma

8E1 PIUn testauksessa testaajan on kytkettävä kahdeksan RJ45-kaapelia PIUn etupaneeliliitäntöihin (kuva 54).

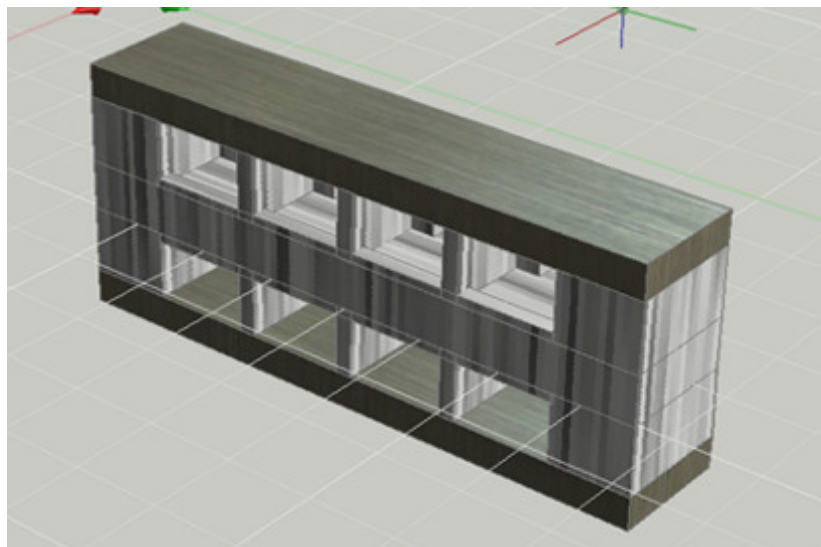


Kuva 54. 8E1 120 ohm PIUn etupaneeliliitännät

Oli kehitettävä kaapelipidike, johon saa kiinnitettyä kaikki kuvassa näkyvät kahdeksan kaapelia.

Ratkaisu

Koska Main unitissa oli käytössä samanlaisia RJ45-kaapeleita kuin 8E1 PIUssa, voitiin käyttää hyväksi aikaisempia 3D-mallinnuksia. Tuloksena saatiin 3D-mallinnus 8E1 johtopidikkeelle (kuva 55).



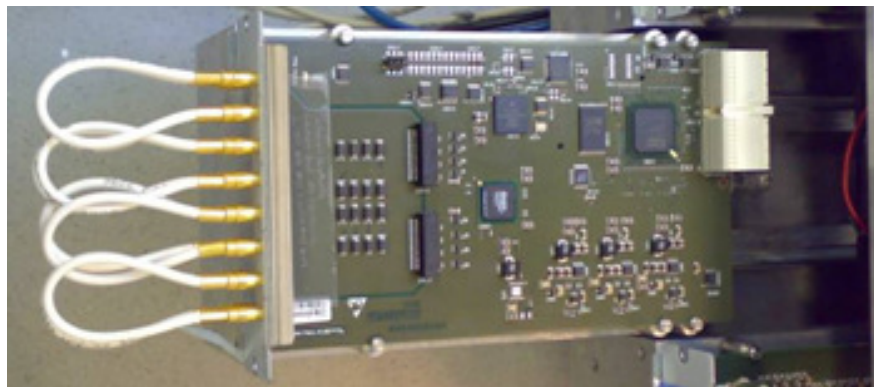
Kuva 55. 8E1 PIUn johtopidikkeen 3D-mallinnus

Kaapelipidike tehtiin siis Main unitin kaapelipidikkeen pohjalta. 8E1 PIUn kaapelipidikettä varten piti vain mitata päällekkäin olevien kaapeleiden välinen ero ja poistaa koaksiaalikaapelin pidike. Kuvassa 55 näkyvät tummat osat ovat kansi ja pohja, jotka on kiinnitetty muutamalla ruuvilla.

4.5 8E1 75 ohm PIUn jatkokehitys

Ongelma

Aikaisemmin testajaan oli kytkettävä kahdeksan SMB-kaapelia PIUhun siten, että kanavan sisään- ja ulostuloliitännät yhdistyvät (kuva 56).



Kuva 56. 8E1 75 ohm PIUn tulot ja lähdöt kytkettyinä koaksiaalikaapeleilla yhteen

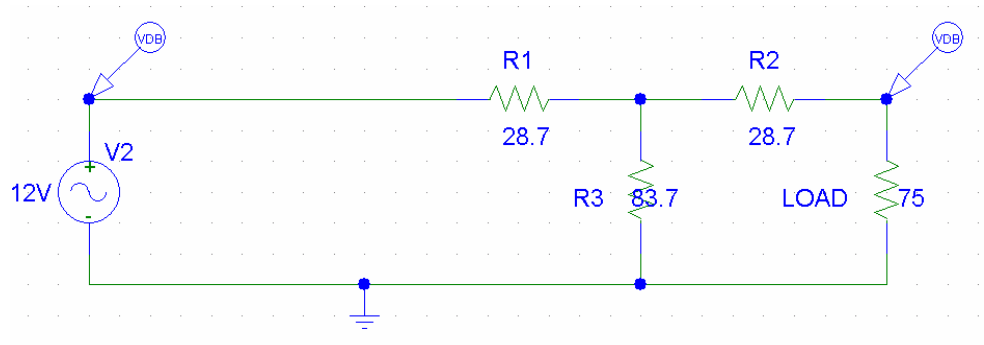
Tämä ei kuitenkaan ollut tyydyttävä ratkaisu, sillä ITU-T:n spesifikaatio G.703 määrittää että E1-signaalin on voitava vaimentua kuusi desibeliä ilman virheitä. Oli siis kehitettävä vaimentava Loopback-adapteri. Tämän lisäksi piti kehittää kaapelipidike, johon saa kiinnitettyä kuusitoista SMB-liittimellä varustettua kaapelia.

Ratkaisu

Ennen kuin Loopback-adapteria alettiin suunnittelemaan, oli selvitettävä kuinka paljon vaimennusta pitää olla. Lisäksi piti muistaa, että vaimennuspiirissä piti tehdä impedanssisovitus, jolloin takaisinheijastuminen saatiin minimoitua.

Testispesifikaatiosta saatiin vaimennuksen vähimmäisvaatimukseksi seitsemän desibeliä, minkä perusteella piiri suunniteltiin. Suunnittelussa käytettiin apuna PSpice-ohjelmistoa, jonka avulla voitiin simuloida ja

varmistaa piirin toiminta. Vaihtoehtoina vaimennuspiireille olivat T- ja Pi-tyyppin vaimentimet. Kuvassa 57 on kuvaruutukaappaus T-vaimentimen piirikytkennästä.



Kuva 57. T-vaimennin

Kuvassa 57 näkyvät vastukset R1, R2, ja R3 valittiin kaavojen 2,3 ja 4 mukaan jolloin vaimennukseksi saatiin noin seitsemän desibeliä [13].

$$R3 = \frac{2\sqrt{Z_{in} \cdot Z_{out} \cdot 10^{\frac{L}{10}}}}{10^{\frac{L}{10}} - 1} \quad (2)$$

$$R2 = \frac{10^{\frac{L}{10}} + 1}{10^{\frac{L}{10}} - 1} \cdot Z_{out} - R3 \quad (3)$$

$$R1 = \frac{10^{\frac{L}{10}} + 1}{10^{\frac{L}{10}} - 1} \cdot Z_{in} - R3 \quad (4)$$

Missä

L = haluttu vaimennus

Z_{in} = lähdön impedanssi

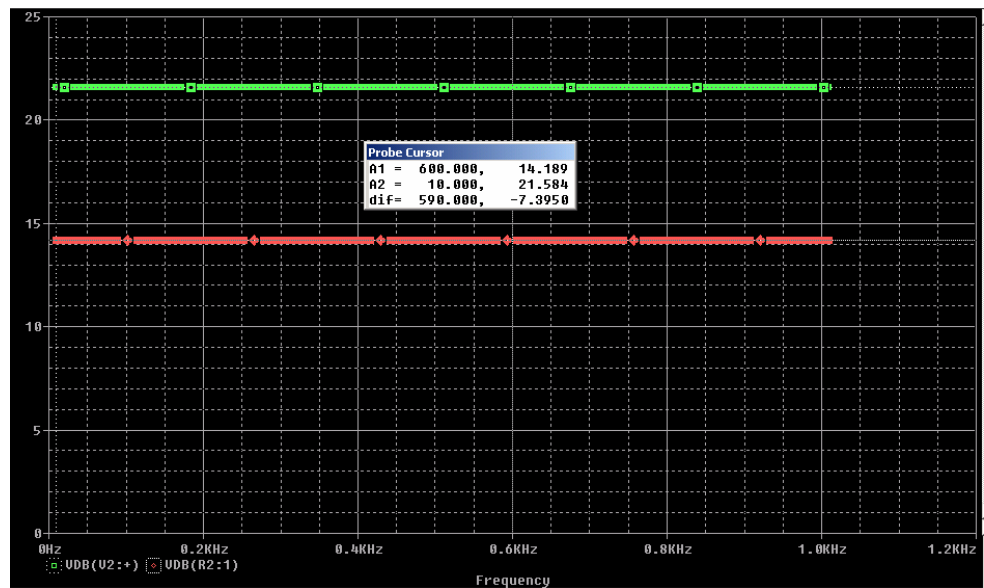
Z_{out} = tulon impedanssi

Koska lähdön impedanssi on sama kuin tulon impedanssi, eli 75 ohmia voitiin todeta, että $R2=R1$.

$$R3 = \frac{2\sqrt{75\Omega \cdot 75\Omega \cdot 10^{\frac{7}{10}}}}{10^{\frac{7}{10}} - 1} = 28.7\Omega$$

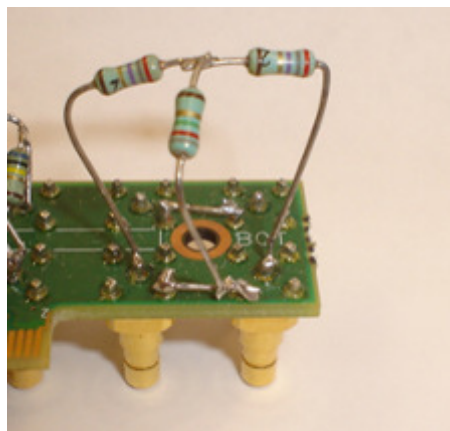
$$R2 = R1 = \frac{10^{\frac{7}{7}} + 1}{10^{\frac{7}{7}} - 1} \cdot 75\Omega - 28.7\Omega = 83.7\Omega$$

Kaavoista saatujen arvojen perusteella määriteltiin vastusten arvot ohjelmistoon. Piiriin syötettiin 12 V jännite, jolloin saatiin alla olevan kuvan mukainen simulointitulokset (kuva 58).



Kuva 58. Simuloinnista saatiin tulokseksi noin seitsemän desibelin vaimennus

Kuvasta nähdään, että vaimennus tulo- (vihreä) ja lähtöjännitteen (punainen) välillä on hieman yli seitsemän desibeliä. Kun piirin toiminta oli simuloitu, voitiin sen toimintaa kokeilla myös itse PIUssa. Piirustusten perusteella tehtiin yhdelle kanavalle vaimennuspiiri (kuva 59).



Kuva 59. Vaimennuspiirin prototyyppi

Piirin toimintaa testattiin kytkemällä PIUn yhdestä kanavasta tulo- ja lähtösignaalit piiriin juotettuihin liittimiin. Tämän jälkeen kanavan lähtöön syötettiin testisignaali, eli satunnaisbittijakso (katso kappale 3.2, kuva 33).

Ohjelmisto varmensi, että bittijakso ei ollut muuttunut matkalla, joten voitiin todeta, että loopback-piiri toimii. Lopulliseen ratkaisuun valittiin T-vaimennin, liitteessä 2 on Pii-vaimentimen kytkentä ja simulointitulokset.

Kaapelipidikkeen suunnittelu aloitettiin SMB-liittimien kartoituksella, sillä kaapelipidikkeen mekaniikka täytyi suunnitella liittimien mittojen mukaan. Oli siis valittava sellainen liitin joka

- on kestävä
- jonka saatavuus on taattu vuosiksi eteenpäin
- on mekaanisesti lukittavissa kaapelipidikkeeseen
- jonka impedanssi on 50 ohmia.

Lukemattomien vaihtoehtojen seasta kaapelipidikkeeseen kytkettäväksi liittimeksi valittiin Rosenbergerin lukkiutumaton 49K106-102L5 -liitin (kuva 60).



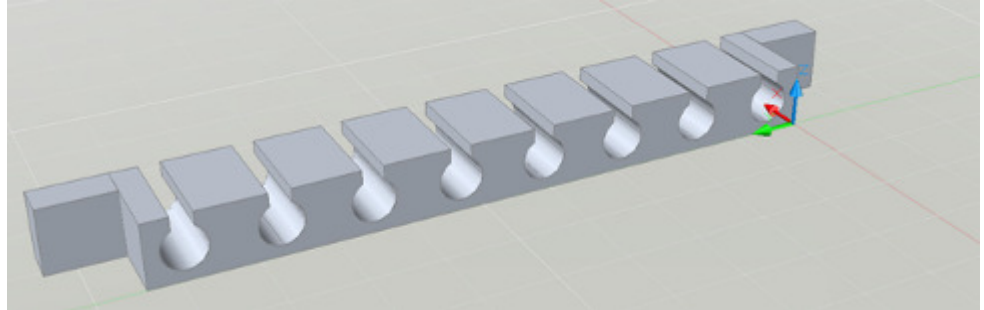
Kuva 60. Vasemmalla oleva SMB-liitin oli lopullinen valinta ja kaapelipidikkeen mekaniikka suunniteltiin sen pohjalta. Keskimmäinen liitin on lukkiutuvaa mallia ja se valittiin kaapelin toiseen päähän tulevaksi liittimeksi. Oikeanpuoleinen liitin valittiin adapterin liittimeksi

Kuvassa nuolella merkitty ura mahdollistaa liittimen mekaanisen lukituksen kaapelipidikkeeseen. Adapteriin valittiin piirilevyyn juotettava Rosenberger 59S101-400L5 -liitin, joka on kuvassa oikealla. Keskimmäistä liitintä käytettiin kaapelin toisessa päässä, sillä se on lukkiutuva. Liitinmalli oli Rosenberger 59K106-102L5. Liitinvalinnan jälkeen voitiin aloittaa itse suunnitteluprosessi. Testerin ylläpitotiimi asetti kaapelipidikkeelle muutamia vaatimuksia jotka olivat:

- Pidikkeen on oltava kahdessa osassa jotta liittimet eivät rikkoudu kytkettäessä.

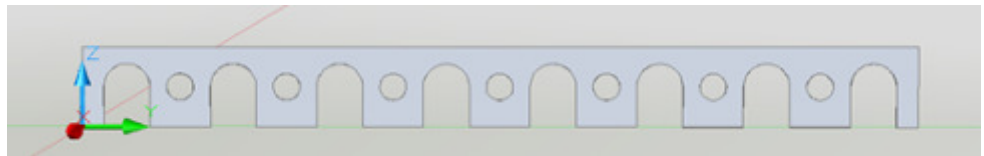
- Kaapeleiden on oltava helposti vaihdettavia.

Näiden ehtojen mukaan suunniteltiin kaksiosainen pidike, jossa on kummassakin paikat kahdeksalle kaapelille (kuva 61).



Kuva 61. Kaapelipidike tehtiin kaksiosaiseksi, jotta liittimet eivät rikkoutuisi kytkettäessä

Kuvassa 61 näkyy pidikkeen toinen osa, johon liittimet lukitaan kampamaisella metallilevyllä. Metallilevyjä suunniteltiin muutamia erilaisia, jotta liittimen (ja samalla sen mekaniikan) vaihtuessa ei tarvitsisi suunnitella ja teettää koko kaapelipidikkeen mekaniikkaa uusiksi. Kuvassa 62 on kaapeleiden lukituskampa.



Kuva 62. Kamman paksuudeksi valittiin 0.2 mm

4.6 FlexBus PIUn jatkokehitys

Ongelma

FlexBus PIUssa on kaksi koaksiaaliliitäntää ja yksi liitäntä käyttöjännitteelle. Testaajan on saatava kytkettyä kaikki liittimet samanaikaisesti. Piti siis kehittää kaapelipidike, johon saa kytkettyä kaikki kaapelit. Lisäksi piti miettiä ratkaisu PIUn virransyötölle ja kehittää koaksiaalikaapeleille läpivienti testausjärjestelmälle.

Ratkaisu

FlexBus PIUn kaapelipidike oli suhteellisen helppo toteuttaa, joten siitä pystyi tekemään käsin prototyypin, josta saatiin mitat lopulliseen ratkaisuun. Kuvassa 63 on prototyyppi kaapelipidikkeestä.



Kuva 63. Flexbus PIUn kaapelipidikkeen rujoalko prototyyppi

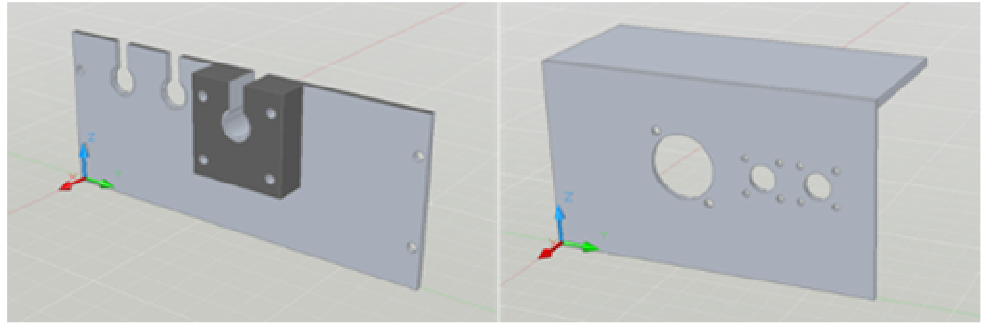
Metallirovusta rakennetusta prototyypistä otetuilla mitoilla saatiin tehtyä 3D-mallinnukset lopulliseen kaapelipidikkeeseen (kuva 64).



Kuva 64. Kuvat kaapelipidikkeen 3D-mallinuksesta ylhäältä, edestä ja takaa

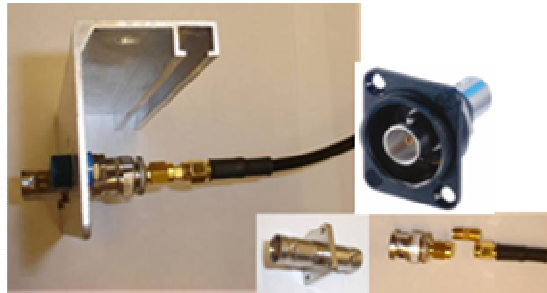
Kuvassa 64 näkyvä tumma osuus tehtiin muoviseoksesta, jotta pidikkeen paino saatiin mahdollisimman pieneksi. Koaksiaalikaapelit kiinnitetään pidikkeeseen U:n muotoisella metallilevyllä.

Käyttöjännite PIUlle saatiin haaroittamalla se Main unitin jännitelähteeltä, sillä kaikki fixturen takapaneeliliitännät oli varattu. Koaksiaalikaapeleiden vienti testeritolpalle ja virtaliittimien tuonti PIUlle tehtiin kelkan avulla siten, että kelkkaan suunniteltiin liitinkenttä ja testauspöydän alle vastaliitinkenttä. Kuvassa 65 näkyy liitin- ja vastaliitinkentän mallinnukset.



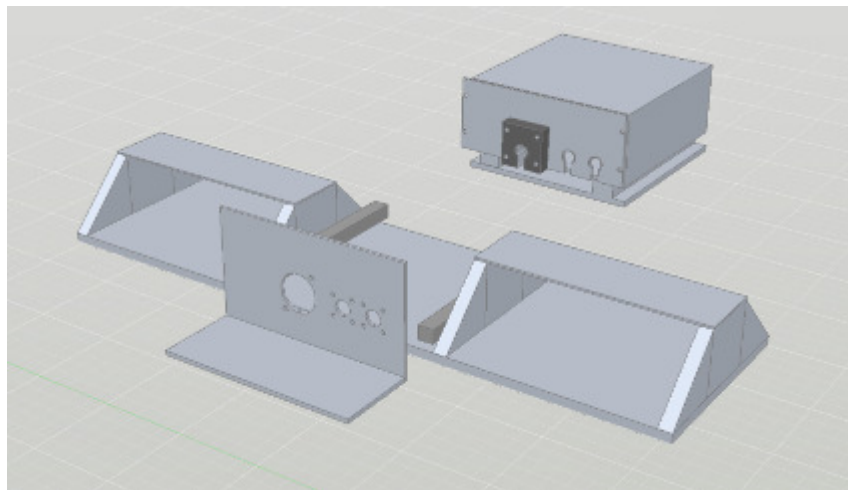
Kuva 65. Vasemmalla kelkkaan asennettava liittinentä ja oikealla testauspöytään asennettava vastaliitinentä

Liitinkentässä käytettiin kierteettömiä koaksiaalikaapeleita. Vastaliitinkentässä käytettiin BNC-BNC -adptereita. Kuvassa 66 näkyy vastaliitinkentän prototyyppi, johon on kiinnitetty edellä mainitut liittimet ja toinen testauspöydän backplaneen menevistä koaksiaalikaapeleista.



Kuva 66. Kuvassa on vastaliitinkentän prototyyppi ja siinä käytettyjä liittimiä ja kaapeleita

Koaksiaalikaapelit vietiin vastaliitinkentän BNC-liittimiltä BNC-SMA- ja SMA-SMA -adpterien avulla. Kuvassa 67 näkyy vielä koko adpteriteline jossa kelkka ja liitinkentät.



Kuva 67. Adpteritelineen mallinnus kokonaisuudessaan

Kun kaikkien kaapelidikkeiden mekaniikka oli suunniteltu, tilattiin mallinnuksien mukaiset osat hienomekaniikkapajalta. Tilaukset jouduttiin tekemään kahdessa osassa, sillä 8E1 75 ohm PIUn ja FlexBus PIUn liittimien valinta viivytti mallinnuksien tekemistä. Piirilevyt ja tarvittavat kaapelit teetettiin Dokos Oy:llä.

5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin FlexiHopper XC mikroaaltoradion toimintaa ja sen sisäyksikön testaukseen liittyviä asioita. Työn tavoitteena oli tehdä Plug-In-yksiköiden testaaminen mahdollisimman helpoksi testaajalle ja parantaa testerin käytettävyyttä ja kestävyyttä. Samalla piti huolehtia, että testaus tapahtuu testausspesifikaatioiden mukaisesti ja tehdä suunnitelmat siten, että testerit on ylläpidon kannalta helposti huollettavissa. Työ oli haastava, mielenkiintoinen ja opettava.

Eryteisesti tarvittavien liittinten hankkiminen osoittautui erityisen haastavaksi. MDR80-liittimen etsimiseen kului useita päiviä ja kun se lopulta löytyi, ilmeni että niitä ei saa Suomesta tai edes Euroopasta. Tämän lisäksi selvisi, että kaapelin tekemiseen tarvittiin sitä varten tehdyt erityislaitteet, joten kaapeleita ei voitu tehdä Nokia Siemens Networksin laboratoriossa. Lopulta tilattiin kaapeleiden mallikappaleet 3M:ltä, jotka täyttivät tehtävänsä tyydyttävästi. Toinen ongelmallinen liitin oli SMB-liitin. Koska 8E1 75 ohm PIUn impedanssi on 75 ohmia, ajateltiin automaattisesti että PIUssa käytetty liitinkin on impedanssiltaan 75 ohmia. Asia ei kuitenkaan ollut näin, vaan tuotteessa oli käytetty 50 ohmin liittimiä, joiden saatavuus ja tuotevalikoimat ovat parempia kuin 75 ohmin liittimissä. Koska liittinten tilaus myöhästyi edellisen ongelman takia, myöhästyi myös mekaniikan suunnittelu ja tilaus, sillä mekaniikka suunniteltiin liittimen mukaan.

Täysin uusi työn aikana opittu asia oli 3D-mallinnus CAD-ohjelmistolla. Sen käyttö tuotti aluksi suuria ongelmia, mutta ajan myötä ohjelmisto tuli tutuksi ja mallinnusten tekeminen nopeutui.

Työn tuloksena saatiin nopeutettua tuotteiden testausaikaa ja samalla saatiin pidentettyä loopback- ja läpivienti-adapterien, sekä kaapeleiden elinikää. Esimerkiksi 8E1 75 ohm PIUn testaamisesta saatiin poistettua 15

työvaihetta, koska testaajan ei tarvitse enää kytkeä jokaista kaapelia erikseen. Samalla vältetään inhimillisiltä erehdyksiltä, sillä vääriä kytkentöjä ei voi enää tapahtua. Myös testerin ylläpitotiimin työ helpottui muutosten myötä.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Tämän työn perusteella pystyy ymmärtämään, kuinka mikroaaltoradiot toimivat ja mihin niitä tarvitaan. Samalla työ saattaa tarjota ideoita henkilöille, jotka työskentelevät testaussuunnittelussa.

VIITELUETTELO

- [1] Anttalainen, Tarmo, Introduction to Telecommunications Network Engineering. Second Edition. 2003 Artech House, Inc.
- [2] Leikas, Aimo, Radiojännemitoitus [verkkodokumentti]. [viitattu 20.12.2007]. Saatavissa:
http://legacy.tkk.fi/Units/Radio/courses/S263301/Radiojannemitoitus_luento2.pdf.
- [3] Räsänen, Antti, Lehto, Arto, Radiotekniikan perusteet. 10. uudistettu painos. Otatieto 2001.
- [4] Nokia Siemens Networks, Product description for FH XC 2.1.
- [5] Lahti, Harri, Radiolinkin kantataajuusosat [verkkodokumentti], [viitattu 28.12.2007]. Saatavissa:
http://legacy.tkk.fi/Units/Radio/courses/S263301/Radiolinkin_kantataajuusosat_luento6.pdf.
- [6] ITU-T-spesifikaatio G.703 [verkkodokumentti]. [viitattu 3.1.2008]. Saatavissa:
www.itu.int.
- [7] ITU-T-spesifikaatio G.704 [verkkodokumentti]. [viitattu 3.1.2008]. Saatavissa:
www.itu.int.
- [8] Eklin, Tero, Inside PC - Laite-elektroniikka ja ohjelmointi. 1999 Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- [9] Hewlett Packard, Digital Modulation In Communication Systems - An Introduction, Application Note 1298. Saatavissa:
<http://www.stanford.edu/class/cs244e/papers/radios.pdf>.
- [10] Nyberg, Petri, Radiotaajuiset osat [verkkodokumentti]. [viitattu 8.1.2008]. Saatavissa:
http://legacy.tkk.fi/Units/Radio/courses/S263301/Radiotaajuiset_osat_luento_9.pdf.
- [11] Carlson, Crilly, Rutledge, Communication Systems. Fourth Edition. 2002 McGraw-Hill Higher Education.
- [12] ITU-T-spesifikaatio G.775 [verkkodokumentti]. [viitattu 3.1.2008]. Saatavissa:
www.itu.int.
- [13] RFIC.CO.UK, Attenuator design [verkkodokumentti]. [viitattu 7.2.2008]. Saatavissa:
www.odysseus.nildram.co.uk/RFMicrowave_Circuits_Files/Attenuator.pdf.

18 GHZ:N TAAJUUSALUE [4, S. 56].

Table 18. FlexiHopper XC 18, frequency tuning range

Sub-band freq.	3.5/5 MHz *) spacing		7.0/7.5 MHz *) spacing		13.75 MHz spacing		27.5 MHz spacing	
	Low freq.	High freq.	Low freq.	High freq.	Low freq.	High freq.	Low freq.	High freq.
1010 MHz duplex spacing, sub-bands A, B, C, D								
A LO	17704.75	17970.75	17706.00	17969.00	17709.50	17965.50	17716.50	17958.50
B LO	17951.75	18218.25	17953.50	18216.50	17957.00	18213.00	17964.00	18206.00
C LO	18171.75	18438.25	18173.50	18436.50	18177.00	18433.00	18184.00	18426.00
D LO	18419.25	18682.50	18421.00	18682.50	18424.50	18680.50	18431.50	18673.50
A HI	18714.75	18980.75	18716.00	18979.00	18719.50	18975.50	18726.50	18968.50
B HI	18961.75	19228.25	18963.50	19226.50	18967.00	19223.00	18974.00	19216.00
C HI	19181.75	19448.25	19183.50	19446.50	19187.00	19443.00	19194.00	19436.00
D HI	19429.25	19692.50	19431.00	19692.50	19434.50	19690.50	19441.50	19683.50
*) Same spectrum for both channelling alternatives.								

PII-VAIMENNUS JA SIMULOINTITULOKSET

