

Opinnäytetyö (AMK)
Elektronikka
Tietoliikennejärjestelmät
2013

Tiina Nieminen

VASTAANOTINPIIRIN VALITSEMISEN RIS-MODUULIN RF-MODEEMIRATKAISUUN



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Elektroniikka | Tietoliikennejärjestelmät

7.6.2013 | 35

Ohjaajat: FM Toni Rumpunen, TkL Juha Nikkanen

Tiina Nieminen

VASTAANOTINPIIRIN VALITSEMINEN RIS-MODUULIN RF-MODEEMIRATKAISUUN

Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin kolmeen eri lähetin vastaanotinpiiriin ja tutkittiin niiden soveltuvuutta Teleste Oyj:n kaapelitelevisioverkon vahvistimiin asennettavan RIS-moduulin (Remote Ingress Switching) RF-modeemin vastaanotinpiiriksi. Piirejä arvioitiin komponenttien valmistajilta saatujen testauslevyjen ja piirien ohjelmointiin liittyvien ohjelmien avulla. Teleste Oyj:llä ei ollut ennestään käytössä RIS-toimintoa, joten tarkkoja spesifikaatioita ei laitteelle ja näin ollen vastaanottimellekaan ollut. Piirin tuli kuitenkin toteuttaa yleinen HMS-spesifikaatio (ANSI/SCTE 25-1 2008 - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Physical (PHY) Layer Specification v1.), jota yhtiön tuotteet noudattavat.

Vastaanotinpiirien sijaan työssä arvioitiin lähetin vastaanotinpiirejä, koska niitä on markkinoilla huomattavasti pelkkiä vastaanottimia enemmän. Piireistä testattiin muun muassa vastaanottimen taajuusalueita tietyillä ulkoisilla passiivisilla komponenteilla sekä lämpötilan vaikutusta taajuusalueisiin ja vastaanotettuun signaalitasoon (-20 °C...+80 °C). Piirin soveltuvuutta kyseiseen käyttötarkoitukseen pyrittiin optimoimaan ulkoisten komponenttien oikeanlaisella valinnalla.

Testien ja tutkimusten perusteella yksi piiri valittiin Teleste Oyj:n käyttöön ja sitä suunniteltiin käytettäväksi kaapelitelevisioverkon vahvistimiin asennettavassa vuotohäiriötä paikantavassa ja poiskytkevässä RIS-moduulissa.

ASIASANAT:

lähetin vastaanotin, ingressi, modeemi, RF

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Communication Systems

7.6.2013 | 35

Instructors: Toni Rumpunen, M.Sc., Juha Nikkanen, Lic.Sc.(Tech), Principal Lecturer

Tiina Nieminen

CHOOSING A RECEIVER CHIP FOR RIS MODULE'S RF MODEM DESIGN

In this Bachelor's thesis the focus was to become familiar with three different transceiver chips and to explore their suitability for Teleste PLC's RIS module (Remote Ingress Switching) in an amplifier unit for cable television network. The chip was meant to be used as a receiver in the RIS module's RF modem. The chips were evaluated with evaluation boards and software provided by the chip manufacturers. The RIS function was new to Teleste PLC's amplifiers, so there were no precise specifications for the module and its receiver. None-the-less, the chip had to be in accordance with the general HMS specifications (ANSI/SCTE 25-1 2008 - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Physical (PHY) Layer Specification v1.), which company products follow.

Transceiver chips were evaluated instead of receiver chips because the supply of the transceivers in the market is much higher than plain receivers. The evaluated features in the transceiver chips were, for example, the frequency range of the receiver with different external components and temperature's effect on the frequency ranges and receiver signal strength (-20 °C...+80 °C). The chips' suitability for the modem application was optimized with the right external components.

According to the test results and other studies, one chip was chosen for Teleste PLC's designs and it was planned to be used in the RIS module in an amplifier unit for cable television network to locate and switch off ingress in the CATV system.

KEYWORDS:

transceiver, ingress, modem, RF

SISÄLTÖ

SYMBOLIT JA LYHENTEET	V
1 JOHDANTO	1
2 KAAPELITELEVISIOVERKKO	2
2.1 HFC-verkko	2
2.2 HFC-verkon rakenne	3
2.3 RIS-toiminto	4
3 HMS-SPESIFIKAATIO	6
3.1 SCTE-yhdistys	6
3.2 ANSI/SCTE 25-1 2008 -spesifikaatio	6
4 NYKYISET RATKAISUT	10
4.1 Headend	10
4.2 Transponderi	12
5 UUDET RATKAISUMAHDOSSUUDET	14
5.1 Melexis: TH7122.2	14
5.1.1 Testilevyn muutokset	17
5.1.2 Testausohjelmisto	19
5.1.3 RSSI	20
5.1.4 Taajuusalueet	21
5.2 Analog Devices: ADF7021-V	22
5.2.1 Testausohjelmisto	24
5.2.2 VCO:n ohitus	25
5.3 Analog Devices: ADF7020-1	26
5.3.1 Taajuusalueet	29
5.3.2 RSSI	29
6 UUDEN LÄHETINVASTAANOTINPIIRIN VALINTA	31
7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34

SYMBOLIT JA LYHENTEET

C	kapasitanssi
dB	desibeli
F	faradi (kapasitanssin yksikkö)
H	henry (induktanssin yksikkö)
Hz	hertsi (taajuuden yksikkö)
L	induktanssi
R	resistanssi
U	jännite
V	voltti
Ω	ohmi (resistanssin yksikkö)
AD	analogia-digitaali (Analog to Digital)
ADC	AD-muunnin (Analog to Digital Converter)
ALSC	automaattinen tason ja kaltevuuden kontrolliyksikkö (Automatic Level and Slope Control)
ANSI	standardeja valvova organisaatio (American National Standards Institute)
ASK	amplitudimuunnosavainnettu modulaatio (Amplitude Shift Keying)
DA	digitaali-analogia (Digital to Analog)
DR	datanopeus (Data Rate)
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FHSS	eri taajuuskanavien välillä hyppimistä käyttävä signaalin lähetystapa (Frequency-Hopping Spread Spectrum)
FM	taajuusmodulointi (Frequency Modulation)
FSK	taajuusmuunnosavainnettu modulaatio (Frequency Shift Keying)
FTTH	kuitu kotiin -ratkaisu (Fiber to the Home)
HFC	kuitu- ja koaksiaali- ja optisen yhdistävä laajakaistaverkko (Hybrid fibre-coaxial)

HMS	hybridiverkkojen hallintataso (Hybrid Management Sub-Layer)
IFA	välitaajuusvahvistin (Intermediate Frequency Amplifier)
IPTV	internetpohjainen televisio (Internet Protocol TV)
ITU	informaatio- ja viestintäteknologioista vastaava virasto (International Telecommunication Union)
KTV	kaapelitelevisio
LNA	pienikohinainen vahvistin (Low Noise Amplifier)
OOK	kantoaallon päälle-pois -kytkemiseen perustuva signaalin modulointitapa (On-Off Keying)
PLL	vaihelukittu silmukka (Phase Locked Loop)
RF	radiotaajuus (Radio Frequency)
RIS	vuotohäiriön etäkytkeminen (Remote Ingress Switching)
RSSI	vastaanotetun signaalin voimakkuuden ilmaisim (Received Signal Strength Indicator)
SCTE	kaapelivälitteistä televiestintäteknikkaa edistävä yhdistys (Society of Cable Telecommunications Engineers)
SMA	50-ohminen RF-liitin (SubMiniature version A)
UART	sarja/rinnan -muunnin (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
USB	sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen (Universal Serial Bus)
VCC	käyttöjännite (Voltage at the Common Collector)
VCO	jännitesäätöinen oskillaattori (Voltage Controlled Oscillator)

1 JOHDANTO

Teleste Oyj on kansainvälinen teknologiayhtiö, joka on erikoistunut laajakaistavideo- ja datakommunikaatiojärjestelmiin ja -palveluihin. Se on perustettu vuonna 1954 ja se lukeutuu nykyään maailman johtaviin video- ja laajakaistaratkaisujen ja verkkopalveluiden tarjoajiin. [1] Tämän työn tarkoituksena oli valita vastaanotinpiiri Teleste Oyj:n uuteen RF-modeemiratkaisuun.

Piiriä on tarkoitus käyttää vastaanottimena kaapelitelevisioverkon vahvistimiin asennettavan vuotohäiriötä paikantavan ja poiskytkävän RIS-moduulin RF-modeemissa. Vastaanottimen päätehtävät ovat lähetystien aiheuttaman vaimennuksen kompensoiminen vahvistimilla, halutun signaalin selektiivinen erottaminen kokonaisspektristä sekä signaalitaajuuden alentaminen ennen demodulointia.

Telestellä ei ole aikaisemmin ollut käytössä palakomponenttimuotoista vastaanotinpiiriä, vaan modeemien vastaanottimet on toteutettu diskreetein komponentein. Tämä vie paljon piirilevytilaa ja kustannukset ovat korkeat. Vastaanottimen sijoituessa yhdelle palakomponentille saadaan piirilevytilaa säästettyä selvästi, vaikka piirin toiminta vaatiikin erinäisten ulkoisten komponenttien käyttöä. Näin saadaan myös yksinkertaistettua vastaanottimen kytkentää, mikä lisää sen toimintavarmuutta.

Petri Kuosmanen on keväällä 2013 valmistuneessa diplomityössään tutkinut palakomponenttien käyttöä Telesten KTV-verkon transpondereiden RF-modeemissa. Tutkimuksissa käytettiin vastaanottimena yhtä tässäkin työssä testattua komponenttia, mutta kyseiseen käyttötarkoitukseen piiri ei ollut Kuosmanen mittausten mukaan sopiva. RIS-moduuli asettaa vastaanottimelle kuitenkin erilaiset vaatimukset.

Työn toisessa luvussa on esitelty KTV-verkkoa sen nykyisessä muodossa ja luvussa kolme käydään läpi Telesten noudattama HMS-spesifikaatio. Tämän jälkeen tutustutaan lyhyesti Telesten nykyisiin RF-modeemiratkaisuihin ennen itse piirien arviointia. Markkinoilla on monien eri valmistajien tarjoamia lähetinvastaanotinpiirejä, mutta testauksia varten valittiin ominaisuuksiin ja toimintoihin perustuen kolme eri piiriä kahdelta eri valmistajalta. Piireistä testattiin Telesteä kiinnostavia ominaisuuksia kuten lämpökäyttäytymistä, vastaanotettua tehoa ja käyttötaajuusalueita. Testaaminen tapahtui valmistajien omia evaluointilevyjä ja -ohjelmistoja käyttäen.

2 KAAPELITELEVISIOVERKKO

Kaapelitelevisioverkkojen rakentaminen aloitettiin Suomessa 1970-luvulla. Tätä ennen televisiolähetyksiä vastaanotettiin maanpäällisen lähetyksjärjestelmän kautta. Kaapelitelevisioverkon tarkoitus oli siirtää televisiosignaaleja sinne, missä antennivastaanotto oli mahdotonta. Kaapelitelevisioverkkojen peittoalue laajeni nopeasti 1980-luvulla ja nykyisin se kattaa jo kaikki suurimmat asutuskeskukset. Suomen yli 2,5 miljoonasta kotitaloudesta 48 % vastaanottaa televisiolähetykset kaapelitelevisioverkon tai satelliitin kautta [2, 3]. Aluksi riitti, että verkko oli yksisuuntainen ja informaatio kulki vain päävahvistimelta asiakkaan suuntaan. Uusien palveluiden, kuten internetin, käyttöönoton myötä vanhoja verkkoja on päivitetty kaksisuuntaisiksi. Ottamalla käyttöön paluusuunta saadaan verkkoon liitettyä myös muita interaktiivisia palveluita ja verkon hallintalaitteita. Nykyään kaapelitelevisioverkot ovat lähes poikkeuksetta HFC-verkkoja (Hybrid Fiber Coax), joissa informaation siirto tapahtuu sekä sähköisesti että optisesti. Optinen tiedonsiirto tarjoaa moninkertaisen siirtonopeuden ja kantaman sähköiseen tiedonsiirtoon nähden ja näin ollen HFC-verkot syrjäyttävät nopeasti perinteisiä koaksiaalikaapeliverkkoja. [4]

2.1 HFC-verkko

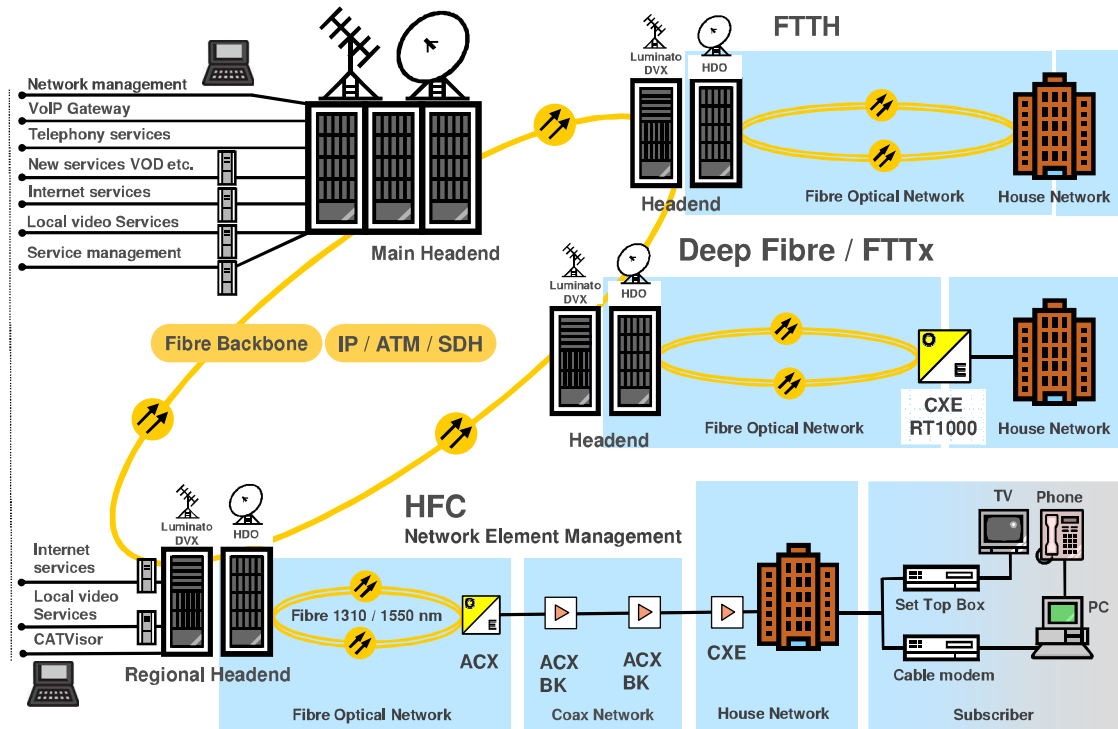
HFC-verkko on laajakaistainen hybridiverkko, jossa siirtotienä käytetään sekä valokuitua että koaksiaalikaapelia. Se tarjoaa ylivoimaisen dynamiikan ja kaistanleveyden muihin kaapelitelevisioverkkorakenteisiin verrattuna. Pitkillä välimatkoilla valokuitu on matalan vaimennuksensa vuoksi koaksiaalikaapelia huomattavasti tehokkaampi. Koaksiaalikaapelin vaimennus on pienimmilläänkin noin 20 dB/km 400 MHz:n taajuudella, kun taas valokuidun vaimennus 1550 nm:n aallonpituudella on vain noin 0,2 dB/km. Tämän vuoksi signaalia pitää koaksiaalikaapelijärjestelmässä vahvistaa riittävän signaalitason takaamiseksi huomattavan usein, jopa alle 1 km:n välein. Jokainen vahvistin lisää siirtojärjestelmään kohinaa ja säröjä, mikä johtaa signaalin laadun heikkenemiseen. Sen lisäksi suuri vahvistimien määrä lisää järjestelmän laite- ja asennuskustannuksia. Valokuidulla signaalia saadaan siirrettyä huomattavasti pidempiä matkoja ilman vahvistusta, parhaimmillaan jopa yli 100 km. Tyypillisesti valokuitu ulottuu kaukopäävahvistinasemalta asuinalueelle tai kortteliin ja siitä eteenpäin verkko haaroitetaan asiakkaille koaksiaalikaapeleita pitkin. [4]

HFC-verkko on suunniteltu signaalin kannalta täysin läpinäkyväksi, eli siinä voidaan siirtää mitä tahansa digitaalista tai analogista signaalia, jonka taajuus on HFC-verkolle määritetyllä taajuusalueella. Tyypillisimpiä HFC-verkon palveluja ovat kaapeli-TV, IPTV (Internet Protocol TV) ja internet [4]. Tulevaisuudessa tarvetta solukokojen pienentämiseksi lisäävät laajakaistatilaajamäärän kasvu, nopeiden datanopeuksien yleistyminen sekä internetliikenteen muuttuminen yhä vaativammaksi. Nykyisin tyypillinen solukoko on 100–1 000 asiakasta, mutta nykymuotoisilla järjestelmillä esimerkiksi 100 Mb:n/s paluusuunnan datanopeudet olisivat saavutettavissa pienentämällä KTV-verkon solukoot noin 15–30 talouteen. [5] Tulevaisuudessa valokuitu siirtyy myös useammin lähemmäs tilaajaa FTTH-ratkaisuilla (Fiber to the Home).

2.2 HFC-verkon rakenne

Kaapelitelevisioverkon rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan: päävahvistimeen, jakeluverkkoon ja tilaajalaitteeseen, yleensä televisioon. Jakeluverkko voidaan edelleen jakaa kolmeen osaan: runko-, haara- ja jakoverkkoon. Runkoverkko yhdistää päävahvistimen haara- tai jakoverkkoon. Haaraverkko vastaa maantieteelliseltä laajuudeltaan muutaman korttelin kokoista aluetta. Jakoverkko taas on yhden tai useamman taloyhtiön laajuinen ja sen avulla signaali jaetaan tilaajille. HFC-verkossa operaattorit lähettävät informaation kaukopäävahvistinaseman (Main Headend) kautta kuiturunkoverkkoon. Kuiturunkoverkko on muodoltaan rengasmaisen ja sen varrella on päävahvistinasemia (Headend). Kaukopäävahvistinasema ja päävahvistimet voivat kommunikoida kuituyhteyden lisäksi myös satelliittiyhteyksien avulla. Päävahvistinasemat lähettävät informaation eteenpäin haaraverkkoa pitkin kuitusolmupisteille. Solmupisteessä siirrettävä signaali joko jatkaa kulkuaan optisesti kuitujakoverkkoon tai se muutetaan optisesta sähköiseksi ja siirretään jakoverkkoon koaksiaalikaapelia pitkin. Kuvassa 2.1 on esitetty eräänlainen HFC-verkon rakenne. [4]

HFC-verkko on nykyisin yleensä kaksisuuntainen. Sähköisessä siirrossa meno- ja paluusuunta kulkevat samaa koaksiaalikaapelia pitkin eri taajuusalueilla. Käytettävät taajuusalueet vaihtelevat maittain ja alueittain, mutta paluusuunnan taajuudet ovat yleensä menosuunnan taajuuksien alapuolella. Paluusuunnan informaatio voi kulkea esimerkiksi taajuusalueella 5–65 MHz ja menosuunnan vastaavasti 85–862 MHz:n alueella. Optisessa tiedonsiirrossa meno- ja paluusuunta taas kulkevat usein omissa kuiduissaan samalla valon aallonpituudella, yleensä joko 1 310 nm tai 1 550 nm



Kuva 2.1 HFC-verkon rakenne [6, muokattu]

kuidusta ja käytetystä laitteistosta riippuen. Jos siirtoon käytetään vain yhtä kuitua, erotetaan signaalit toisistaan käyttämällä eri aallonpituuksia. [4]

2.3 RIS-toiminto

Kaapelitelevisioverkko ei ole ainoa sähkömagneettisia signaaleja kuljettava verkko, joten muiden signaalien aiheuttamien häiriöiden esiintyminen on otettava huomioon verkkoa suunniteltaessa. Ingressi on ulkopuolisten signaalikenttien tunkeutumista kaapelin kuoren läpi ja se aiheuttaa häiriötä kaapelissa kulkevassa signaalissa. RIS (Remote Ingress Switching) tarkoittaa tämän vuotohäiriön poistamista etäkytkemällä. Teleste Oyj ei ole aiemmin tarjonnut RIS-toimintoa verkkolaitteisiinsa, mutta kysynnän vuoksi palveluun on alettu suunnitella uutta moduulia. Moduuli on tarkoitettu sijoittamaan KTV-verkon vahvistimiin, ja sen ohjaus tapahtuu headend-laitteeseen sijoitetun RF-modeemin kautta. Moduuli koostuu lähetinvastaanotin- ja prosessoriympäristöstä sekä liitännöistä vahvistimen emolevyyn. Siihen on liitetty mahdollisuus myös paikalliseen ingressiohjaukseen painonappien ja merkkiledien avulla. Kun KTV:n signaalissa huomataan häiriötä, mahdollistaa RIS-toiminto ingressin vuotokohdan paikallistamisen ja sen pois kytkemisen. Tämä tapahtuu kytkemällä verkkopisteitä poikki yksi kerrallaan,

kunnes kuvan laadun todetaan paranevan. Näin vika on paikannettu. Häiriö saadaan myös kytkettyä pois tilanteen korjaamisen ajaksi. Moduulin tulee olla kooltaan mahdollisimman pieni ja sen hinnan on oltava erittäin kilpailukykyinen. Tämän vuoksi moduulia varten rakennetaan uudenlainen RF-modeemi, jossa tarkoituksena on käyttää tässä työssä valittua lähetinvastaanotinpiiriä.

3 HMS-SPEKIFIKAATIO

Teleste Oyj:n kaapeliverkkolaitteet noudattavat SCTE:n (Society of Cable Telecommunications Engineers) laatimaa HMS-spesifikaatiota (Hybrid Management Sub-Layer) ANSI/SCTE 25-1 2008: "Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Physical (PHY) Layer Specification v1."

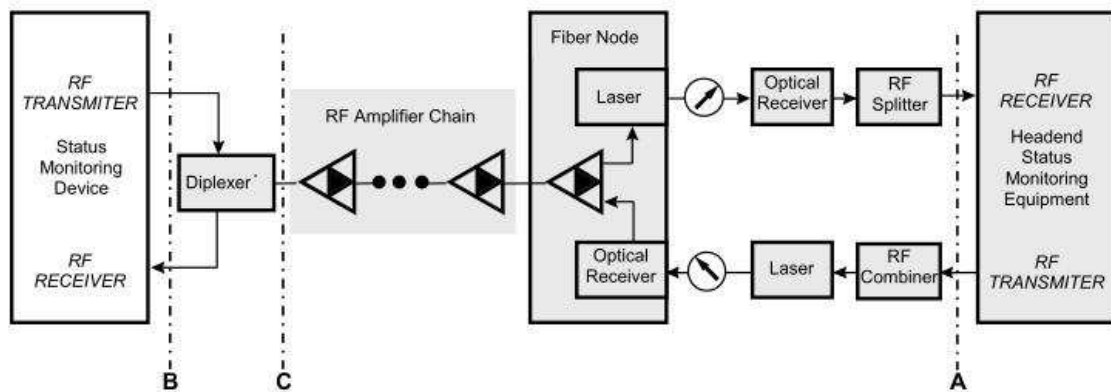
3.1 SCTE-yhdistys

SCTE on yleishyödyllinen ammatillinen yhdistys, jonka tarkoitus on edistää kaapelitietoliikenteeseen liittyvää teknologiaa. Se on perustettu vuonna 1969 ja tällä hetkellä sen jäsenmäärä on yli 12 000 henkilöä. [7] Sen tarkoituksena on tuottaa jäsenilleen hyötyä ammattimaisen kehityksen, standardien, sertifikaattien ja tiedonannon kautta. SCTE:n mukaan sen laatimien standardien on tarkoitus palvella yhteiskuntaa tuottamalla spesifikaatioita, testaustapoja ja menetelmiä, jotka edistävät laajakaistayhteyslaitteiden yhdenmukaisuutta ja pitkäaikaista luotettavuutta [8]. Yhdistyksen toiminnan akkreditoi ANSI (American National Standards Institute) sekä tunnustaa ITU (International Telecommunication Union). SCTE toimii myös yhteistyössä ETSI:n kanssa (European Telecommunications Standards Institute). [7]

3.2 ANSI/SCTE 25-1 2008 -spesifikaatio

ANSI/SCTE 25-1 2008 on SCTE:n vuonna 2008 laatima HFC-verkkojen tilamonitoroinnin fyysisen tason spesifikaatio. Siinä määritellään spesifikaatiot meno- ja paluusuunnan arkkitehtuureille sekä kanavilla tapahtuvalle tiedonsiirrolle, muun muassa lähettimen ja vastaanottimen tehotasolle/herkkyydelle, taajuuksille, spektrin muodoille, impedansseille ja heijastusvaimennuksille sekä kantoaallon modulaatiotekniikalle ja bittinopeudelle. Spesifikaatiossa määritetään myös laitteissa käytettävä RF-liitin, mikä parantaa laitteiden yhdenmukaisuutta. [9] Kuvassa 3.1 on ANSI/SCTE 25-1 2008:ssa esitetty spesifikaatio meno- ja paluusuunnan arkkitehtuurille.

Kuvassa 3.1 menosuunta kulkee alakautta oikealta vasemmalle, kun taas paluusuunta kulkee vastaavasti yläkautta vasemmalta oikealle. Menosuunnalla kulkevat signaalit siirtyvät päävahvistinaseman RF-lähettimestä summaimen kautta laserin tuloon, jolloin signaali muutetaan optiseksi. Optisen siirtokuidun toisessa päässä on vastaanotin,



* The diplexer filter may be included as part of the network element to which the transponder interfaces, or it may be added separately by the network operator.

Kuva 3.1 Spesifikaatio HFC-verkkojen meno- ja paluusuunnan arkkitehtuurille [9]

jossa signaali muutetaan taas sähköiseen muotoon ja lähetetään koaksiaaliverkkoa pitkin vastaanottaville laitteille. Paluusuunta kulkee vastaavalla tavalla toiseen suuntaan ensin koaksiaaliverkkoa ja sen jälkeen optista verkkoa pitkin. Kaikki menosuunnan lähetykseen ja paluusuunnan vastaanottoon liittyvät suuret mitataan pisteessä A. Kaikki paluusuunnan lähetykseen ja menosuunnan vastaanottoon liittyvät suuret taas mitataan joko pisteessä B tai C riippuen siitä, onko kyseessä yksi- vai kaksiporttinen laite.

Taulukossa 3.1 on nähtävissä kaikki ANSI/SCTE 25-1 2008:ssa esitetyt spesifikaatiot HMS PHY -kanavalle ja siinä kulkeville signaaleille.

Taulukko 3.1 Yleinen HMS-spesifikaatio HMS PHY kanavalle ja signaalille [9]

Item	HE	Transponder
Transmit Power Level	+40 dBmV to +51 dBmV	+25 dBmV to +45 dBmV
Transmit Power Accuracy	± 2 dB	± 3 dB
Transmit Power Step Size	2 dB	2 dB
Transmitter Frequencies (ref. North American)	48 MHz to 162 MHz, in 6 MHz bands: 1) 48-54 MHz 2) 54-60 MHz (Channel 2) 3) 60-66 MHz (Channel 3) 4) 66-72 MHz (Channel 4) 5) 72-78 MHz 6) 78-84 MHz (~ Channel 5) 7) 84-90 MHz (~ Channel 6) 8) 90-96 MHz (A-5) 9) 96-102 MHz (A-4)	5 MHz to 21 MHz, in 4 MHz bands: 1) 5-9 MHz 2) 9-13 MHz 3) 13-17 MHz 4) 17-21 MHz

Taulukko 3.1 jatkuu

Item	HE	Transponder
	10) 102-108 MHz (A-3) 11) 108-114 MHz (A-2) 12) 114-120 MHz (A-1) 13) 120-126 MHz (Channel 14) 14) 126-132 MHz (Channel 15) 15) 132-138 MHz (Channel 16) 16) 138-144 MHz (Channel 17) 17) 144-150 MHz (Channel 18) 18) 150-156 MHz (Channel 19) 19) 156-162 MHz (Channel 20)	
Transmitter Tuning Range	Fully agile within each of the specified 6 MHz frequency operating ranges	Fully agile within each of the specified 4 MHz frequency operating ranges
Transmitter Frequency Step Size	100 kHz	100 kHz
Transmitter Frequency Accuracy	± 10 kHz	± 10 kHz
Transmitter Cutoff	Not Applicable	1 s
Transmitter Spurious emissions outside operating channel bandwidth during ON state	-65 dBc over the Forward Spectrum (Referenced to the unmodulated forward carrier)	-55 dBc over the Full Spectrum
Transmitter Conducted Spurious emissions outside operating channel bandwidth during OFF state	Not Applicable	Single Port Devices: -35 dBmV 5-1000 MHz Dual Port Devices, Transmit Port: -35 dBmV from 5-200 MHz -15 dBmV from 200-1000 MHz Dual Port Devices, Receive Port: -15 dBmV from 5-50 MHz -35 dBmV from 50-1000 MHz
Spectral Shape	< 400 kHz @100 dBc/Hz, 48 to 162 MHz	< 800 kHz @95dBc/Hz, 5 to 13 MHz < 400 kHz @95dBc/Hz, 13 to 21 MHz
Transmitter Out-of-Band Noise Suppression	C/N of better than -60 dBc with a 4 MHz measurement bandwidth, across the Forward Spectrum.	
Transmit Nominal Impedance	75 Ω	75 Ω
Transmit Return Loss	8 dB or better across Forward Spectrum	12 dB or better
Max. Ramp-Up Time	Not Applicable	100 μ s from 10% to 90% of Peak Power
Max. Ramp-Down Time	Not Applicable	100 μ s from 90% to 10% of Peak Power
Transmitter Front Porch Time	Not Applicable	600 μ s to 1.2 ms
Receiver Dynamic Range	-20 dBmV to +20 dBmV	-20 dBmV to +20 dBmV
Receiver Tuning Range	Fully agile within each of the specified 4 MHz return frequency operating ranges	Fully agile within each of the specified 6 MHz forward frequency operating ranges
Receiver Frequency Step Size	100 kHz	100 kHz
Receiver C/(N+I) (for BER better than 10 ⁻⁶)	20 dB	20 dB

Taulukko 3.1 jatkuu

Item	HE	Transponder
Receiver Selectivity	CW Carrier @ band edge +10 dB higher than received in-band signal power	CW Carrier at +/-250 kHz from the receiver center frequency +10 dB higher than received in-band signal power
Receiver Nominal Impedance	75 Ω	75 Ω
Receive Return Loss	12 dB, or better, across Return Spectrum	12 dB or better
Transmitter Maximum Slew Rate	8 μ s	15 μ s
Transmitter On / Off Ratio	Not Applicable	60 dB
Modulation Technique	FSK, $\Delta f = 67 \text{ kHz} \pm 10 \text{ kHz}$	FSK, $\Delta f = 67 \text{ kHz} \pm 10 \text{ kHz}$
Modulation Map	Mark = $f_c + \Delta f$, Space = $f_c - \Delta f$	Mark = $f_c + \Delta f$, Space = $f_c - \Delta f$
Bit Rate	38.4 kbps	38.4 kbps
Bit Rate Accuracy	± 100 ppm	± 100 ppm
Transmitter Power Delta between Mark and Space	1 dB	2 dB
Transmission Duplexing		Half
Transmission Mode	Continuous packet transmission. Rests on 'mark' between packets.	Burst packet transmission. Off between packets.
RF Connector	Female "F", Outdoor Ref. ANSI/SCTE IPS SP 400 or Female "F", Indoor Ref. ANSI/SCTE IPS SP 406	Female "F", Outdoor Ref. ANSI/SCTE IPS SP 400
Operating Temperature Range		-40° Celsius to +85° Celsius

RIS- moduulin RF-modeemin vastaanotinta valittaessa tärkeimmät yleisen HMS-spesifikaation kohdat koskevat verkossa kulkevan signaalin modulaatiota.

4 NYKYISET RATKAISUT

Teleste Oyj ei ole aiemmissa RF-modeemeissaan käyttänyt valmiita palakomponenttimuodossa olevia vastaanotin- tai lähetinvastaanotinpiirejä. Käytössä olevissa ratkaisuissa vastaanotin on rakennettu muun muassa erillistä syntetisaattoriä, sekoitinpiiriä, radiopiiriä ja useita operaatiovahvistimia sekä passiivisia komponentteja käyttäen. Esimerkkeinä uusimmista RF-modeemiratkaisuista voidaan pitää headend-puolen HDM100:ssa ja AC6991-transponderissa käytettyjä RF-modeemeja.

4.1 Headend

Headend-puolella Teleste Oyj:n viimeisin ja tällä hetkellä käytetyin hallintamodeemi on HDM100. Se kommunikoi HFC-verkon transpondereiden kanssa RF-modeeminsa avulla, säilyttää tiedot transpondereiden tiloista, hallinnoi datalinkkiä ja tarjoaa yhteyden laitteiden ja verkon hallinnointisysteemin ja transpondereiden välille. HDM100 on valmistettu Telesten HDO-mekaniikkaan, ja kootun laitteen ulkonäkö on esitetty kuvassa 4.1. [10]



Kuva 4.1 Headend-hallintamodeemi HDM100 [10]

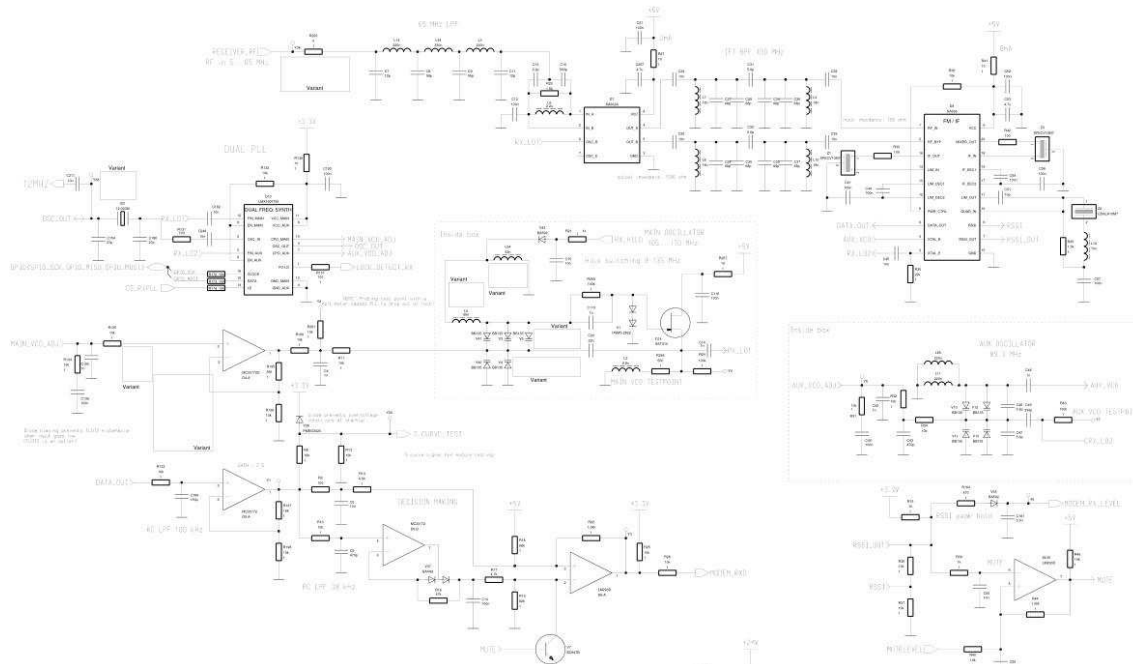
HDM100 rakentuu lähettimen ja vastaanottimen lisäksi prosessoriympäristöstä, muistista, virransyötöstä ja eri rajapintojen liittimistä. Sen RF-modeemille on annettu taulukon 4.1 mukaiset spesifikaatiot.

Taulukko 4.1 Headend-hallintamodeemi HDM100 RF-modeemin spesifikaatiot [10]

HDM100	
Data rate	38400 bps
Modulation method	FSK, $\Delta f = 67$ kHz
Channel bandwidth	400 kHz
Downstream frequency range	80...200 MHz
Upstream frequency range	5...65 MHz
Frequency raster	100 kHz
Frequency inaccuracy	< 10 kHz
Downstream output level range	80...105 dB μ V
Upstream input level range	45...80 dB μ V
Return loss, transmitter port	> 8 dB
Return loss, receiver port	> 12 dB
Transmit power delta ("0" vs. "1")	< 1 dB
Transmitter spurious	< -65 dBc

HDM100:n RF-modeemi noudattaa muutoin täsmällisesti ANSI/SCTE 25-1 2008:n asettamia spesifikaatioita, mutta taajuusalueet eroavat sen asettamista Pohjois-Amerikassa käytössä olevista taajuusalueista ja myös lähetys- ja vastaanottotehojen alueet poikkeavat yleisestä HMS-spesifikaatiosta jonkin verran, menosuunnalla (downstream) selvästi enemmän kuin paluusuunnalla (upstream). Tämä johtuu asiakastarpeesta, jonka vuoksi laitteella saavutetaan suuremmat lähetystehot kuin yleinen HMS-spesifikaatio vaatii.

HDM100:n RF-modeemin vastaanotin muodostuu kolmesta IC-piiristä, viidestä operaatiovahvistimesta, muutamasta transistorista ja keraamisesta suodattimesta sekä lukuisista diodeista, vastuksista, keloista ja kondensaattoreista. Tämä vie huomattavasti piirilevytilaa ja tekee kytkennästä monimutkaisen. Vastaanottimen koostuessa lukuisista osatekijöistä vikaantumisen mahdollisuus moninkertaistuu verrattuna ratkaisuun, jossa suurin osa toiminnallisuudesta on sijoitettu yhdelle IC-piirille. HDM100:n modeemilevyllä H0810-00 rakennetun vastaanottimen piirikaavio on esitetty kuvassa 4.2. Kuvasta käy selvästi ilmi kytkennän laajuus ja kompleksisuus.



Kuva 4.2 HDM100:n RF-modeemin vastaanotinkytkentä

4.2 Transponderi

Teleste Oyj:n HFC-verkoissa tällä hetkellä usein RF-modeemi transponderi-puolella löytyy AC6991:stä. AC6991 sisältää modeemin lisäksi tehotason mittausyksikön. Kyseistä transponderia voidaan käyttää yhteensopivien AC-laitteiden kaukomonitorointiin ja ohjaamiseen. Sen avulla mm. AC-vahvistimiin voidaan lisätä ALSC-toiminto, (Automatic Level and Slope Control) käyttäjäohjelmoitavine pilottisignaaleineen, automaattinen meno- ja paluusuunnan kohdistaminen, menosuunnan spektrianalysointi sekä paluusuunnan ingressianalysointi ja pilottigeneraattori. AC6991-transponderin ulkonäkö on esitetty kuvassa 4.2. [11]

AC6991 sisältää lähettimen ja vastaanottimen lisäksi muistin, virransyöttöön tarvittavat komponentit sekä liittimet eri rajapintoihin. AC6991:ssä ei ole lainkaan omaa prosessoria, mutta laite sisältää ALSC-toiminnon mahdollistavan moduulin. AC6991:n vastaanotin on pitkälti HDM100:n vastaanottimen kaltainen, mutta sen lähetinpuoli on headend-laitteen lähettimen verrattuna varsin yksinkertainen. AC6991:n RF-modeemille on annettu taulukon 4.2 mukaiset spesifikaatiot.



Kuva 4.3 Teleste Oyj:n transponderi AC6991 [11]

Taulukko 4.2 AC6991-transponderin RF-modeemin spesifikaatiot [11]

AC6991	
Data rate	38400 bps
Modulation method	FSK, $\Delta f = 67$ kHz
Channel bandwidth	400 kHz
Downstream frequency range	80...155 MHz
Upstream frequency range	5...45 MHz
Frequency raster	0.1 MHz
Frequency inaccuracy	< 10 kHz
Downstream input level range	50...90 dB μ V
Equivalent forward path output level	69...109 dB μ V
Upstream output level range	75...104 dB μ V
Equivalent full gain return path input levels:	
AC3000	48...77 dB μ V
AC3200	48...77 dB μ V
AC8700	38...67 dB μ V
AC8800	43...72 dB μ V
AC9000	38...67 dB μ V
Transmit power delta ("0" vs. "1")	< 1 dB
Transmitter spurious (Tx on)	< -55 dBc
Transmitter spurious (Tx off)	< 25 dB μ V
Off state attenuation	> 60 dB

AC6991:n lähetystaajuusalue on Pohjois-Amerikan 5–21 MHz:n sijaan 5–45 MHz. Transponderin vastaanotin on 10 dB herkempi kuin yleinen HMS-spesifikaatio vaatii, mutta se myös saturoituu 10 dB pienemmällä vastaanotetulla teholla. Lähettimen maksimiteho ylittää spesifikaation 1 dB:llä ja harhalähetteet ovat 10 dB yleisen spesifikaation alapuolella.

Myös AC6991:n RF-modeemissa käytetty vastaanotinkytkentä muodostuu siis laajasta ja monimutkaisesta erilliskomponenttien kytkennästä, joka vie paljon piirilevytilaa. Se lisää myös kustannuksia ja vikaantumisen riskiä.

5 UUDET RATKAISUMAHDOLLISUUDET

Piirilevytilan ja kustannusten säästämiseksi voidaan modeemissa käyttää yhtä palakomponenttia, joka sisältää kaikki vastaanottimen toimintaan liittyvät lohkot. Koska markkinoilta löytyy suhteellisen vähän vastaanotinpiirejä, valittiin vastaanottimen paikalle lähetinvastaanotinpiiri. Tällainen piiri sisältää lähettimen ja vastaanottimen toimintaan oleellisesti kuuluvat toiminnalliset lohkot, kuten vahvistimet, sekoittimet, suodattimet, modulaattorin, demodulaattorin ja PLL:n (Phase Locked Loop). Tällaisilla palakomponenteilla voi olla muitakin ominaisuuksia, kuten RSSI:n (Received Signal Strength Indicator) ja lämpötilan mittausta.

Tässä opinnäytetyössä testattiin ja vertailtiin kolmea erilaista lähetinvastaanotinkomponenttia ja näiden soveltuvuutta Telesten RIS-moduulin RF-modeemin vastaanotinpiiriksi. Kaksi näistä oli saman valmistajan komponentteja, joista toisessa oli integroitu paikallisoskillaattorina toimiva jänniteohjautuva oskillaattori VCO (Voltage Controlled Oscillator), kun taas toisessa ulkoinen VCO antoi enemmän joustavuutta taajuuskäyttäytymiseen.

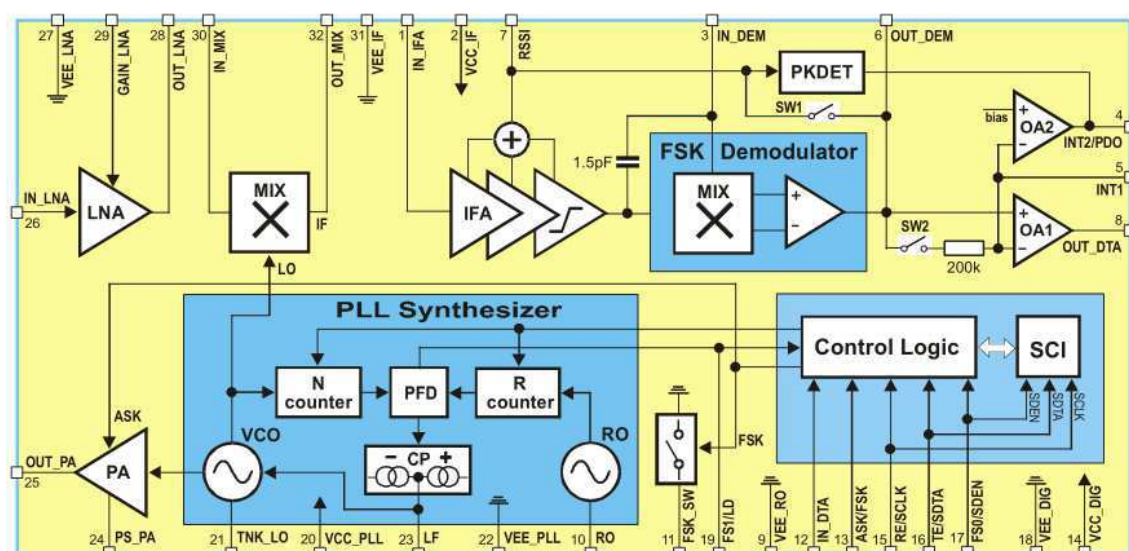
Piireistä testattiin muun muassa vastaanottimen taajuusalueita tietyillä ulkoisilla passiivisilla komponenteilla sekä lämpötilan (-20 °C...+80 °C) vaikutusta taajuusalueisiin ja vastaanotetun signaalin tehoon.

5.1 Melexis: TH7122.2

Melexiksen TH7122 on datalehtensä mukaan 27 MHz:stä 930 MHz:iin toimiva FSK-, FM- ja ASK-modulaatioille sopiva lähetinvastaanotinpiiri. Stand-alone-tilassa se toimii yhdellä kiinteällä taajuudella, mutta sitä on mahdollista soveltaa myös monikanavakäyttöön ohjelmoinnin avulla. Piiri toimii pienellä virralla, ja sitä voidaan ohjata sarjaväylää pitkin. Piiri toimii vuoro-suuntaisena, eli lähetintä ja vastaanotinta ei voida käyttää samaan aikaan. [12]

Piiri itsessään sisältää useita toiminnallisia lohkoja, kuten vastaanotetun signaalin vahvistavan LNA:n (Low Noise Amplifier), välitaajuuden tuottavan ja FSK-demodulaattorin osana toimivan sekoittimen MIX (Mixer), välitaajuusvahvistimen IFA (Intermediate Frequency Amplifier), signaalin digitalisointiin liittyvän jännitteen huippuarvon havaitsevan lohkon PKDET (Peak Detect), lähetinpuolen signaalin vahvistavan PA:n (Power Amplifier) ja vaihelukitun silmukan toteuttavan PLL-

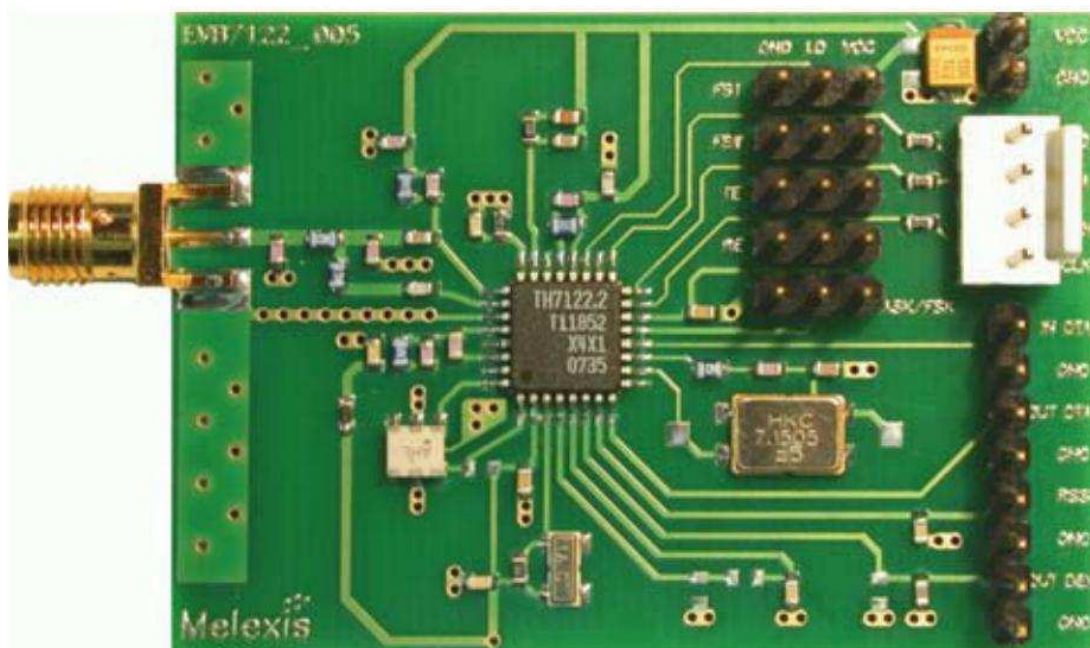
syntetisaattorin. PLL:n tarkoitus on tuottaa referenssioskillaattorin taajuuteen ja vaiheeseen nojautuvan paikallisoskillaattorin LO:n (Local Oscillator) taajuus ja se sisältää referenssioskillaattorin RO (Reference Oscillator), tulosignaaliensa vaihetta vertailevan PFD:n (Phase Frequency Detector) ja VCO:n jännitteen suuruutta säätelevän virtapumpun CP (Current Pump). PFD:n tulosignaaleina toimivat R-vakiolla jaettu referenssioskillaattorin tuottama signaali ja N-vakiolla jaettu paikallisoskillaattorin tuottama signaali. Näin ollen RO ohjaa VCO:n vaihetta ja taajuus määräytyy N:n ja R:n arvoista. N ja R voivat saada vain tiettyjä arvoja ja mahdolliset arvot käyvät ilmi piirin datalehddestä ja ohjelmointisoftasta. Piiri sisältää myös hallintalogiikan ja sarjaliikenteen mahdollistavan lohkon SCI:n (Serial Communications Interface). TH7122:n lohkokaavio on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1 TH7122 lähetin vastaanotinpiirin lohkokaavio [12]

Piirin lohkokaavioon on merkitty myös piirin jokaisen jalan (vedon) funktio. Tämän mukaan piirin jalat voidaan kytkeä oikein suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi vastaanottimeen tuleva signaali tulee tuoda piirin jalkaan nro 26, kun taas lähettimen tuottama signaali saadaan ulos jalasta nro 25. Kuvasta 5.1 näkyy myös, että piirin vastaanottaman signaalin taso voidaan mitata jalasta 7.

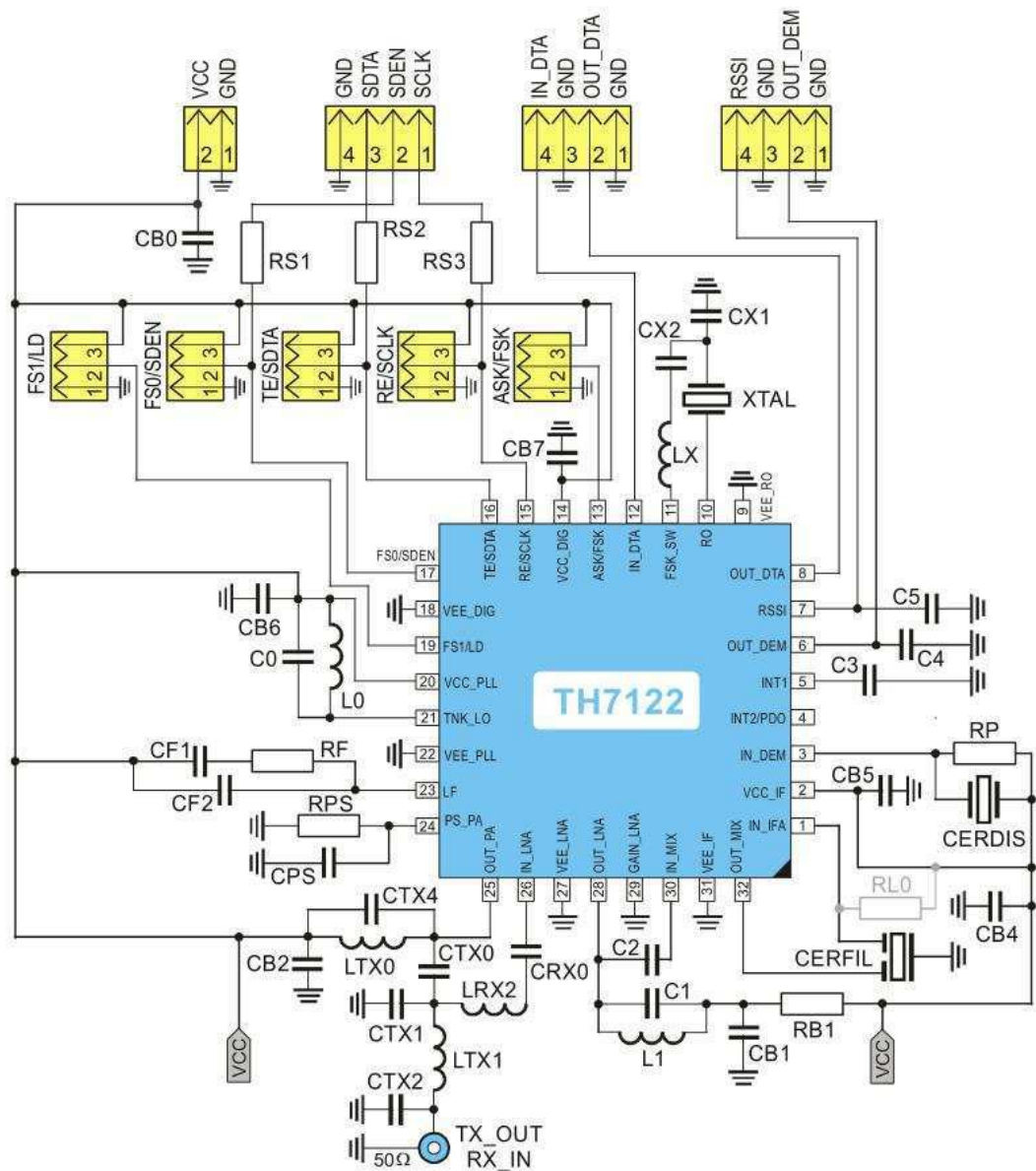
Piirin testaamiseen tarkoitetulla piirilevyllä testattavissa olevat signaalit ja erilaisia syöttösignaaleja ja -jännitteitä vaativat jalat on vedetty piikkirimoihin testaamisen ja kytkemisen helpottamiseksi. Muun muassa RSSI on mitattavissa kuvassa 5.2 esitetyn testipiirilevyn oikeaan alakulmaan sijoitetun piikkiriman neljänneksi alimmasta piikistä.



Kuva 5.2 TH7122 lähetinvastaanotinpiirin testaamiseen tarkoitettu piirilevy [13]

Testipiirilevylle on sijoitettu valmiiksi muun muassa vastaanotinta edeltävä ja lähetintä seuraava suodatin, referenssioskillaattorin toimintaan vaikuttava kide ja kytkentä, IF-suodatin sekä PLL:n ja VCO:n toimintaan vaikuttava kytkentä. Muun muassa lähetystai vastaanottotaajuutta muunneltaessa kytkentöjen komponenttien arvot pitää muuttaa sopiviksi. Vastaanotettava ja lähetettävä signaali kulkevat vasemmalla olevan SMA-liittimen kautta.

Testipiirilevyn piirikaavio on esitetty kuvassa 5.3. Signaali kulkee kuvan alaosassa olevan liittimen ja suodattimen kautta joko piirin IN_LNA-jalkaan tai ulos OUT_PA-jalasta. Piirin vasemmalla puolella on esitetty paikallisoskillaattoriin liittyvä kytkentä ja piirin yläpuolella taas referenssioskillaattoriin liittyvä kide XTAL ja kytkentä. Piirin oikealle puolelle on piirretty välitaajuuden suodattava kide (CERFIL) ja demodulaattorille menevän signaalin käsittelyyn liittyvä kytkentä. Toimiakseen TH7122.2 tarvitsee ympärilleen 3 kiteen ja noin 3 passiivisen peruskomponentin kytkennän.



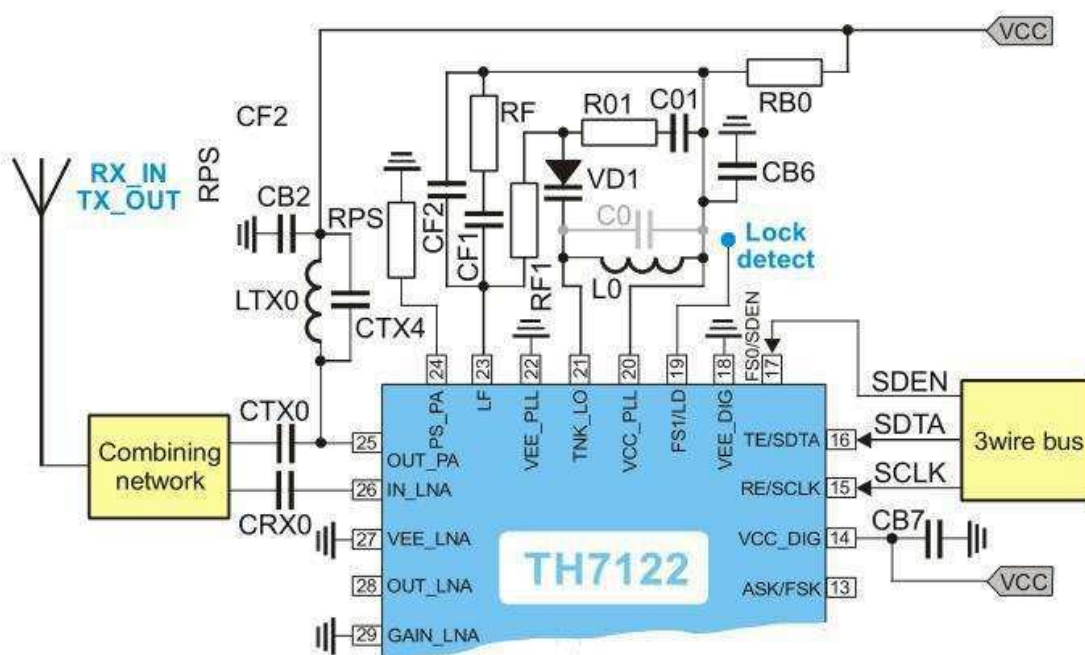
Kuva 5.3 TH7122 lähetin vastaanotinpiirin testaamiseen tarkoitetun piirilevyn piirikaavio

[13]

5.1.1 Testilevyn muutokset

RSSI-mittaukset tehtiin 80 MHz:n keskitaajuudella, ja HMS-spesifikaation mukaisesti signaalimuotona oli 2FSK, jonka datanopeus oli 38,4 kb/s ja deviaatio ± 67 kHz. Tätä varten jouduin muuntamaan testipiirilevyn kytkentöjä. Näin matalan taajuuden saavuttamiseksi kuvassa 5.3 olevaa kytkentää tuli muuttaa kuvan 5.4 esittämällä tavalla. Piirin jalkojen 21 ja 23 väliin lisättiin varaktori VD1 sekä vastus RF1 ja näiden

komponenttien välistä vedettiin vastuksen R01 kautta veto piirin jalkaan 20 yhteydessä olevalle padille pystyyn nostetun kondensaattorin C0 toiseen päähän. Piirin jalka 20 yhdistettiin myös vastuksen RB0 kautta käyttöjännitteeseen VCC. Näin piiriin integroidun varaktorin rinnalle kytkettiin toinen varaktori, mikä lisäsi systeemin kapasitanssin säätöaluetta ja näin myös koko VCO-tankin säätöaluetta. Testipiirilevyn kytkentää tuli hieman muuttaa myös halutun datanopeuden saavuttamiseksi. Tähän riitti muutos, jossa kuvassa 5.3 näkyvä kondensaattori C4 poistettiin, vastus RL1 = 100 k Ω lisättiin jalan 6 ja VCC:n välille ja vastus RL2 = 100 k Ω jalan 6 ja maan välille.

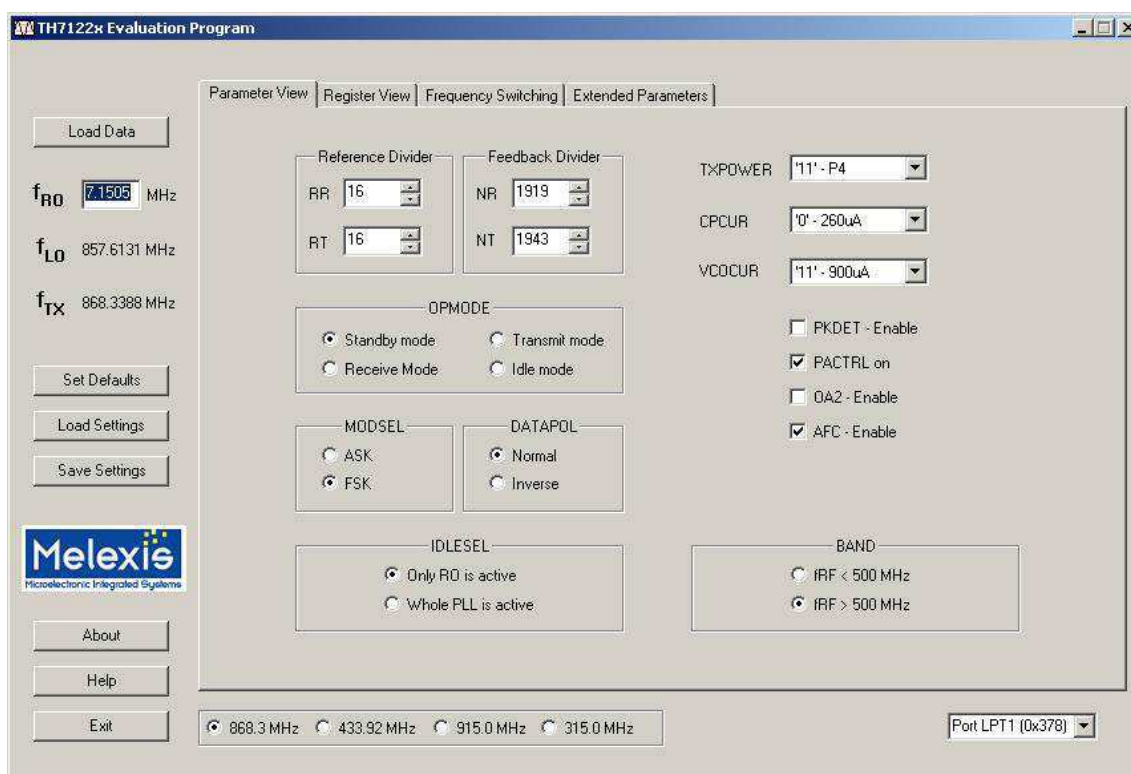


Kuva 5.3 TH7122 lähetinvastaanotinpiiriin testaamiseen tarkoitetun piirilevyn kytkentämuutokset alle 300 MHz:n taajuuksia käytettäessä [12]

Käytettäessä 80 MHz:n lähetys- tai vastaanottotaajuutta piti edellä mainittujen kytkentämuutosten lisäksi piirilevyn suodattimien vakiona levyssä kiinni olevat komponentit vaihtaa 144 MHz:lle tarkoitettuihin komponentteihin. 144 MHz oli matalin taajuus, jolle komponenttien arvot olivat valmistajan tarjoamassa dokumentaatioissa taulukoitu, joten niitä sovellettiin 80 MHz:n taajuuden käytössä.

5.1.2 Testausohjelmisto

TH7122:n testauksessa apuna toimi Melexiksen tarjoama graafisen käyttöliittymän omaava ohjelmisto, jonka avulla voitiin ohjelmoida piirin rekistereitä sarjaväylää pitkin. Ohjelma tarjosi kaksi kokonaislukumuuttujaa N- ja R-jakajien muodostamiseen, toiset lähetys- (NT ja RT) ja toiset vastaanottotilanteeseen (NR ja RR). Ohjelman avulla valittiin myös muun muassa piirin tila (valmius, vastaanotto, lähetys tai pois käytöstä), signaalin modulointitapa ja lähetysteho. Ohjelman ulkoasu on esitetty kuvassa 5.4.



Kuva 5.4 Melexiksen lähetinvastaanotinpiirin TH7122.2 testausohjelman käyttöliittymän ulkoasu

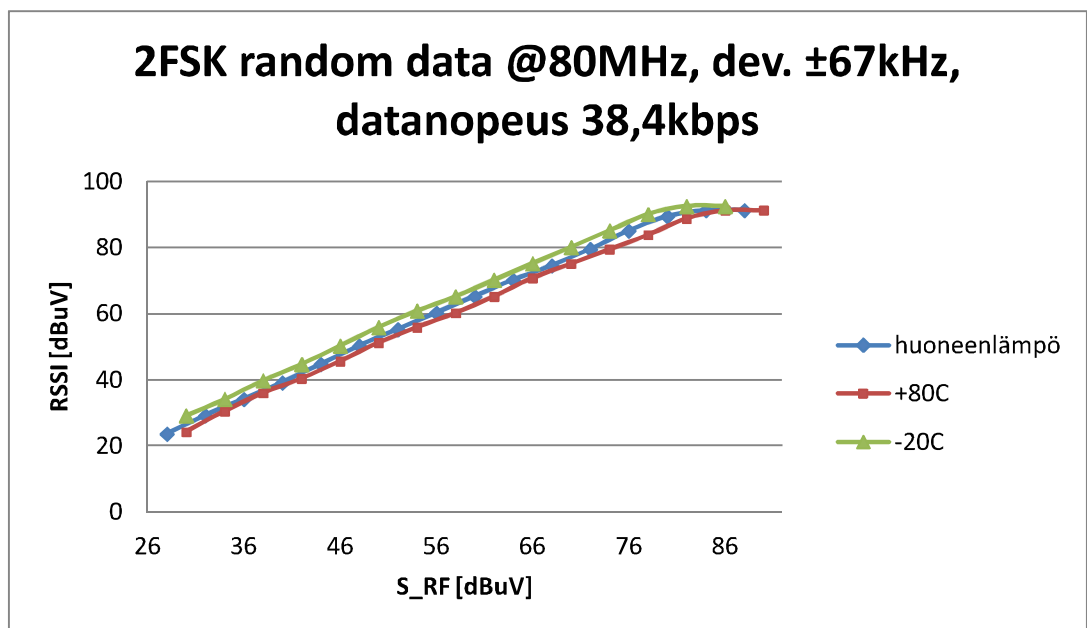
Ohjelma mahdollisti hyvinkin tarkan säädön piirin eri lohkoille, mutta tätä työtä varten tehtiin suhteellisen suppeisiin mittauksiin riitti jakajien, piirin tilan, modulaatiotavan ja kaistan määrittäminen.

5.1.3 RSSI

Ensimmäinen kiinnostava asia piirissä oli piirin vastaanottaman signaalin taso RF-generaattorin lähettämän signaalitason funktiona ja lähinnä tämän kuvaajan lämpökäyttäytyminen. Teleste Oyj:n laitteet on suunniteltu toimimaan $-20\text{ °C} \dots +80\text{ °C}$:n välillä, joten nämä otettiin lämpökäyttäytymisen rajalämmöiksi. RSSI mitattiin piirin jalkaan nro 7 testipiirilevyllä kytketystä piikkiriman piikistä yleismittarin avulla. Datalehdessä saatiin kahden lukuparin avulla RSSI:n lineaariselle osuudelle yhtälö, jonka avulla mitattu jännite voitiin muuttaa vastaanotetun signaalin tasoksi. Yhtälö oli muotoa

$$U_{RSSI} [dB\mu V] = 62,217 \cdot U_{RSSI_mittapiste} [V] - 6,9565.$$

Mittaukset tehtiin 80 MHz:n signaalitaajuudella, ja RF-generaattorin lähettämä signaali moduloitiin aaltofunktiogeneraattorin avulla HMS-spesifikaation mukaiseksi 2FSK-signaaliksi. Samat mittaukset tehtiin huoneenlämmössä, -20 °C :ssa ja $+80\text{ °C}$:ssa. Kuvassa 5.4 on esitetty tuloksena saadut RSSI-lämpökäyrät.



Kuva 5.5 TH7122 lähetinvastaanotinpiirin vastaanotetun signaalin taso (RSSI) signaaligeneraattorin lähettämän signaalitason funktiona eri lämpötiloissa

Kuten kuvasta 5.4 näkyy, ei lämpötilan vaihtelulla ollut kovinkaan suurta merkitystä vastaanotetun signaalin tasoon. Tämä on tietysti toivottavaa, koska se helpottaa laitteen toiminnan ennustamista eri ympäristöolosuhteissa.

5.1.4 Taajuusalueet

Toinen kiinnostava asia TH7122.2:ssa oli ulkoisten komponenttien ja lämpötilan vaikutus vastaanottotaajuuksiin. Selvitettävänä oli myös se, millaisilla kytkennöillä vastaanottimen taajuusalue oli saatavissa mahdollisimman laajaksi ja joustavaksi. LO:n taajuus eli piirin lähetystaajuus tai vastaanotinpuolen $f_{RX} - f_{IF}$ määräytyy RO:n taajuudesta (kide XTAL), N:n ja R:n arvosta sekä ulkoisen kelan L0 arvosta. N:n ja R:n arvoilla voidaan suorittaa hienosäätö halutulle taajuudelle.

RIS-moduulin vastaanottimen tuli toimia menosuunnan taajuuksilla, joten kiinnostava taajuusalue oli 80 MHz:stä ylöspäin. Mittauksia varten testilevyyn juotettiin 144 MHz:n vastaanottotaajuudelle datalehdessä määritellyt komponentit ja vastaanottimen taajuusaluetta säädettiin kelan L0 arvoa muuttamalla. Kokeilemalla erilaisia kelan arvoja löydettiin kolme limittäistä taajuusaluetta, jotka kattoivat taajuudet 80 MHz:stä 233 MHz:iin. Näitä taajuusalueita vastaavien kelojen L0 arvot on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Kolme toivottua taajuusaluetta TH7122.2:lla kattavat kelan L0 induktanssiarvot

taajuusalue	L0:n induktanssi
80–115 MHz	270 nH
110–164 MHz	142 nH
154–233 MHz	68 nH

Arvot 270 nH ja 68 nH pystyttiin toteuttamaan Telesteltä löytyvien yksittäisten kelojen avulla ja 142 nH:n arvo saatiin yhdistämällä 120 nH:n ja 22 nH:n kelat sarjaan. Kytkemällä nämä kolme kelan arvoa logiikkaohjatun valintakytkimen taakse oli siis mahdollista käyttää koko taajuusaluetta 80...233 MHz:iin.

Lämpötilan vaikutus vastaanottimen taajuusalueisiin mitattiin 80 MHz:n vastaanottotaajuuteen tarkoitetuilla komponenteilla. Mittaukset tehtiin -20 °C:ssa ja +80 °C:ssa. Vastaanottimen virheettömästi vastaanottama taajuusalue oli huoneenlämmössä 66...84 MHz, ja lämpötilan todettiin kyseisillä rajalämmöillä

vaikuttavan taajuusalueen rajoihin noin ± 1 MHz. Tällä ei siis ollut taajuusalueisiin kovinkaan suurta vaikutusta.

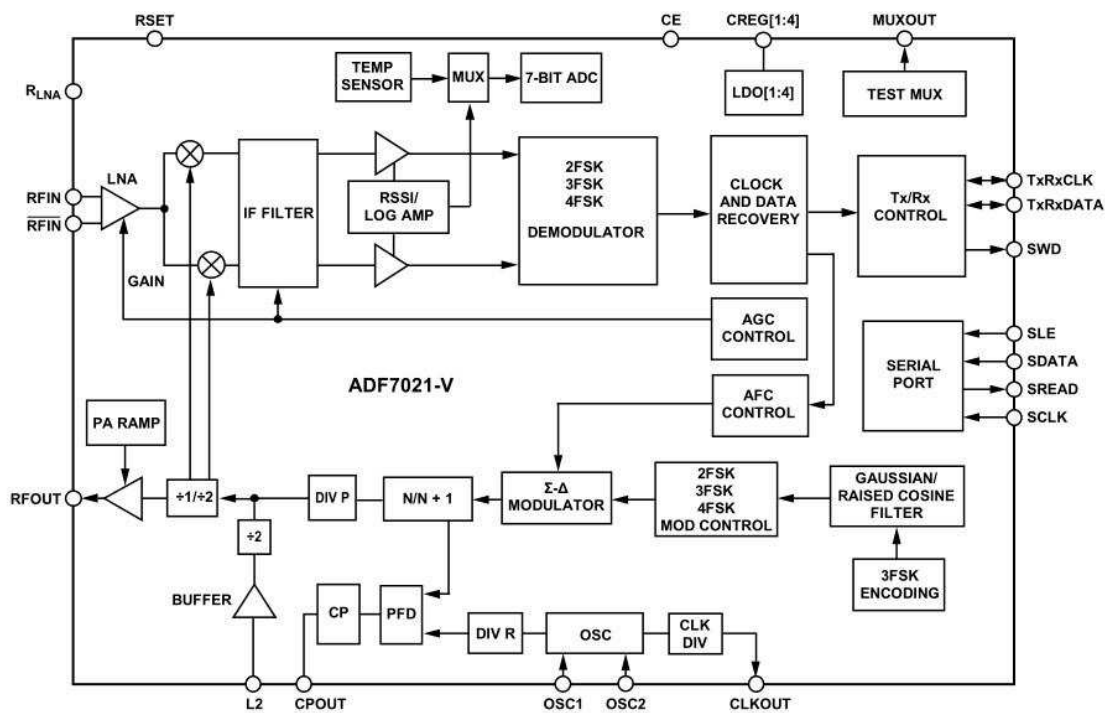
5.2 Analog Devices: ADF7021-V

Analog Devicesin ADF7021-V on datalehtensä mukaan 80 MHz:stä 960 MHz:iin toimiva FSK-modulaatiolle sopiva lähetinvastaanotinpiiri. Se käyttää lähetys- ja vastaanottotaajuuden määrittämiseen ulkoista VCO:ta, mikä vähentää vaihekohinaa ja tekee taajuuksien valinnasta joustavan. Piiri käyttää matalaa 100 kHz:n IF-taajuutta, mikä minimoi tehonkäytön ja ulkoisten komponenttien määrän. Lähetinvastaanotin toimii vuorosuuntaisena, ja sitä ohjataan sarjaväylää pitkin. Datalehden mukaan ADF7021-V ei pysty yleisen HMS-spesifikaation vaatimaan datanopeuteen, mutta piiri päätettiin kuitenkin sisällyttää testeihin, koska vastaanottotaajuuden valinnan joustavuus koettiin suureksi eduksi. [14]

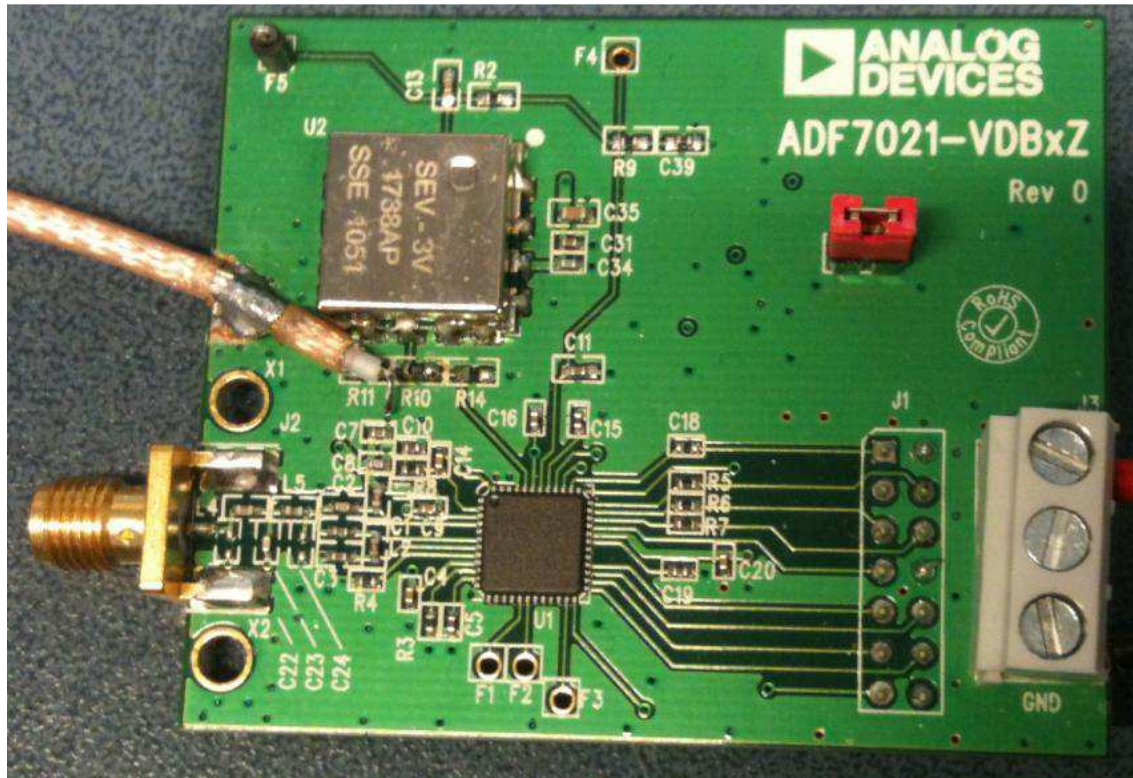
ADF7021-V sisältää paljon Melexiksen TH7122:sta tuttuja toiminnallisia lohkoja. Näiden lisäksi piirillä on myös muun muassa integroitu IF-suodatin sekä automaattinen vahvistuksen säätö AGC (Automatic Gain Control) vastaanottimessa ja taajuuden säätö AFC (Automatic Frequency Control) lähetinpuolella. AFC auttaa kompensoimaan vastaanotetun signaalin taajuusvirheitä. Vastaanotin on IQ-vastaanotin, eli se erottelee LNA:n jälkeen I- ja Q-komponentit sekä taajuusmuuntaa, suodattaa ja demoduloi ne erikseen ennen signaalin kokoamista takaisin yhdeksi kokonaisuudeksi. Piiri sisältää myös lämpötilasensorin ja digitaalisen RSSI:n, joiden arvot voidaan lukea testausohjelman avulla. ADF7021-V:n lohkokaavio on esitetty kuvassa 5.6.

Piirin testaamiseen käytettiin valmistajan omaa testilevyä ADF7021-VDBxZ ja piirin rekistereiden ohjelmoimisen mahdollistavaa emolevyä EVAL-ADF70XXMBZ2. Levyt on esitetty kuvissa 5.7 ja 5.8.

ADF7021-V:n testilevyllä on valmiina etupään suodatin ja sovitin, PLL-suodatin, referenssikide sekä piirin ulkoinen VCO. VCO on peitetty pellillä, jottei se aiheuta häiriötä lähetinvastaanotinpiiriin ja päinvastoin. Levyltä löytyy myös liitäntä emolevyyn (J1) sekä liitin käyttöjännitteitä varten (J3). Koska testilevyllä valmiina olevalla VCO-kytkennällä ei voida saavuttaa haluttua datanopeutta, on koko VCO-kytkentä ohitettu ja VCO-signaalin suora syöttämistä varten on levyyn juotettu koaksiaalikaapeli. Vastaanotettava signaali kulkee piiriin vasemmalla olevan SMA-liittimen kautta.

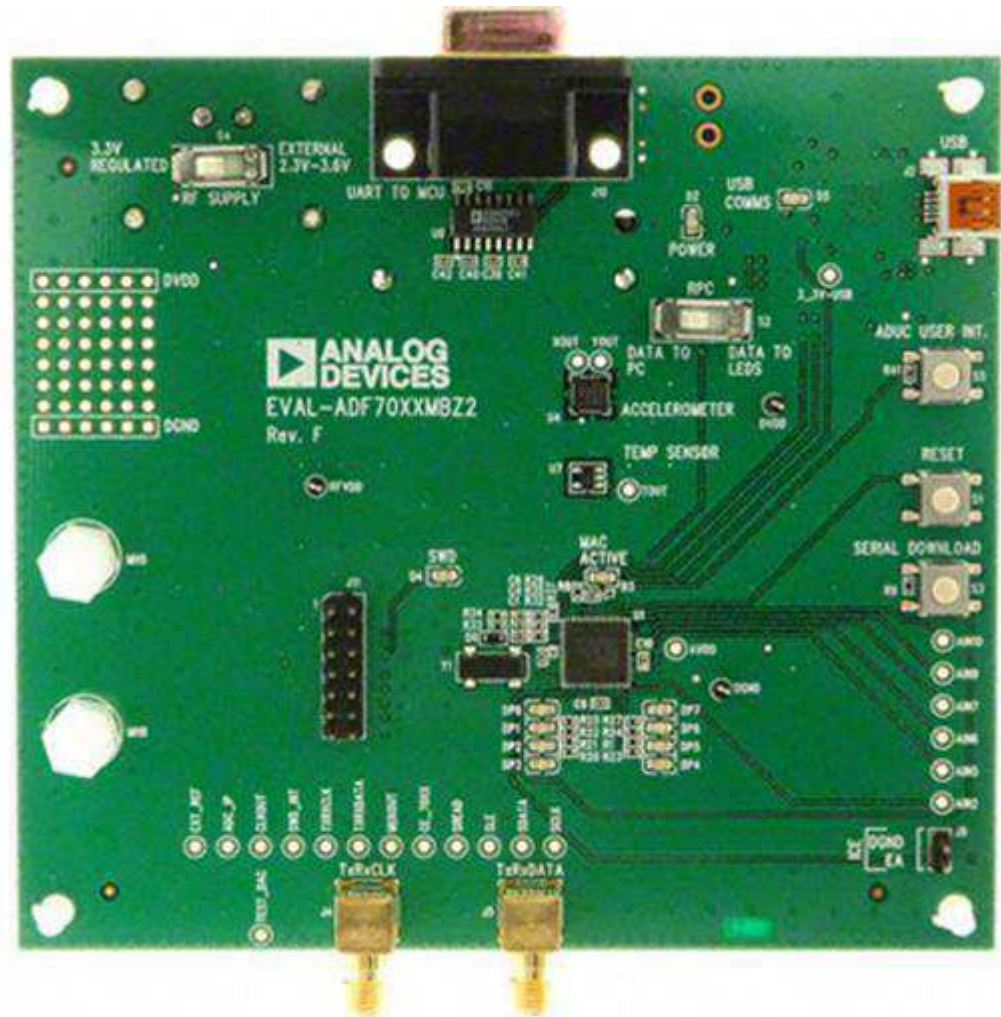


Kuva 5.6 ADF7021-V lähetinvastaanotinpiirin lohkokaavio [14]



Kuva 5.7 Lähetinvastaanotinpiiri ADF7021-V:n testilevy

Emolevyltä taas löytyvät mikrokontrolleri, SMA-liittimet digitaaliselle lähetys- ja vastaanottotalle ja -kellolle, testipisteitä usean eri tilan ja signaalin mittaamiseen, kytkimiä, painonappeja, merkkivaloja sekä USB- ja UART-liittimet piirin ohjelmoimista varten. Testausohjelmaa käytettäessä ohjelmoinnin väylänä toimii USB.

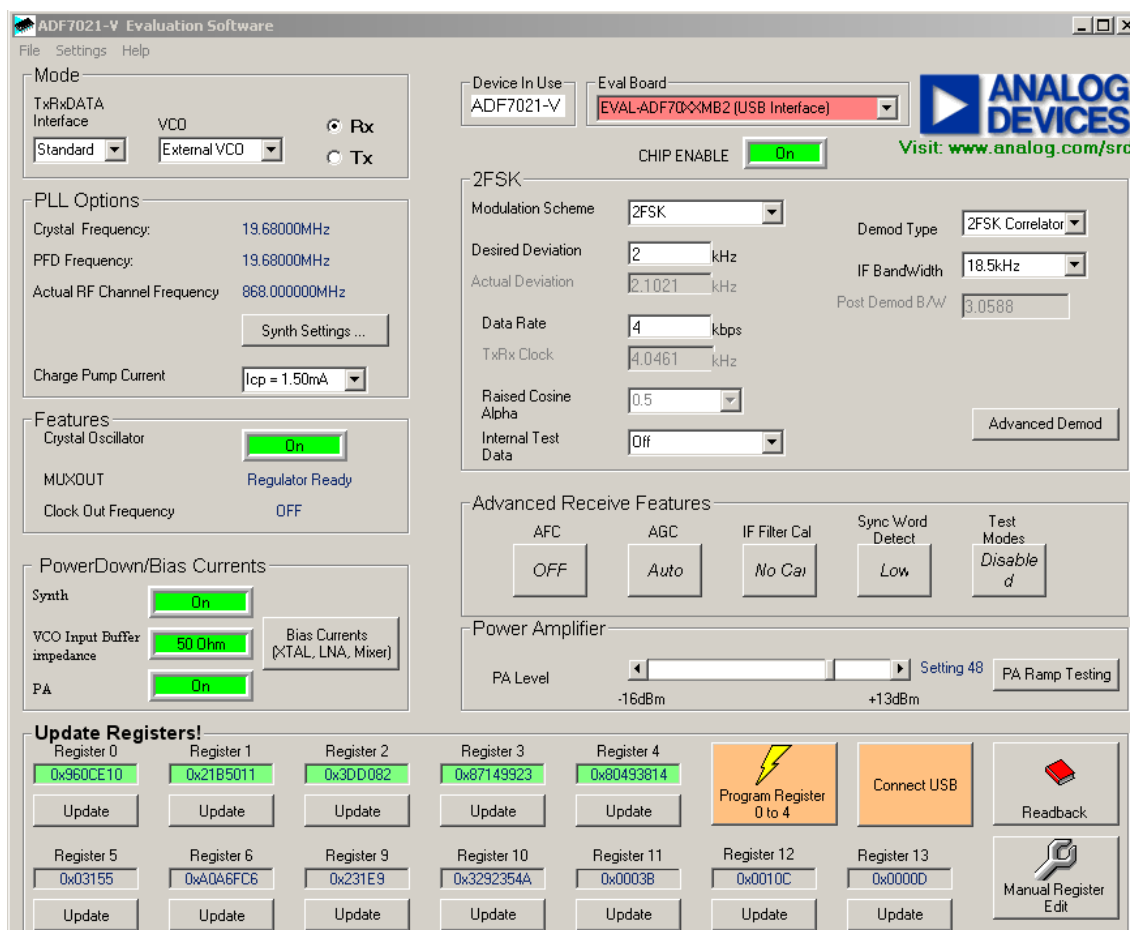


Kuva 5.8 Analog Devicesin ADF70xx-piirien ohjelmoimiseen käytettävä emolevy [15]

5.2.1 Testausohjelmisto

ADF7021-V:n testaamiseen käytettiin Analog Devicesin omaa piirin rekisterien ohjelmointiin tarkoitettua ohjelmistoa. Tätä oli helppo käyttää kuvassa 5.9 esitetyn graafisen käyttöliittymän avulla. Käyttöliittymän avulla voitiin valita muun muassa lähetys- tai vastaanottotila, RF-kanavan taajuus, modulaatitapa, deviaatio sekä haluttu datanopeus. Myös moniin muihin piirin ominaisuuksiin pystyttiin vaikuttamaan

käyttöliittymän avulla. Ohjelma mahdollisti myös piirin rekisterien manuaalisen muokkaamisen datalehteä apuna käyttäen.



Kuva 5.9 Analog Devicesin ADF7021-V:n rekisterien ohjelmointiin käytettävän testiohjelman käyttöliittymän ulkoasu

5.2.2 VCO:n ohitus

ADF7021-V ei datalehtensä mukaan mahdollista 38,4 kb:n/s datanopeutta, vaan vastaanottimen maksimidatanopeus on 24 kb/s. Ongelmaa yritettiin korjata ohittamalla PLL kokonaan ja syöttämällä sopivaa sinisignaalia piirin lohkokaaavion kytkentäpisteeseen L2. Signaalia syötettiin suoraan piirin jalkaan 10 nF:n kondensaattorin kautta, mikä esti tasavirran pääsyn lähetinvastaanottimeen. Siniaallon ollessa sopivalla taajuudella ja sen amplitudin ollessa kytkentäpisteen tehonkeston rajoissa piirin olisi voinut olettaa toimivan normaalisti ja tällaisella kytkennällä piirin

datanopeutta olisi voitu säätää vapaammin. Piiriä ei kuitenkaan saatu toimimaan VCO:n ohituksella ja siksi muiden testien tekeminen oli turhaa.

5.3 Analog Devices: ADF7020-1

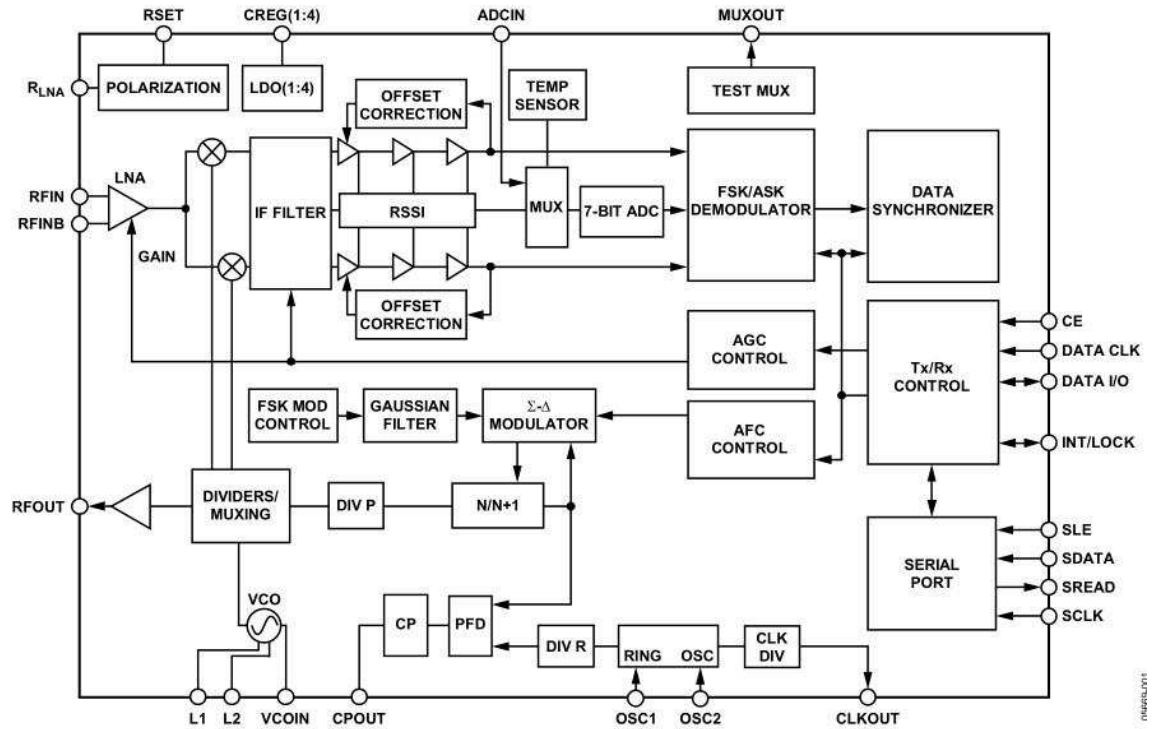
Testattavien piirien joukkoon päätyi Analog Devicesilta myös toinen lähetyvastaanotinpiiri, ADF7020-1. Tämä piiri on ADF7021-V:tä vanhempi tuote ja se sisältää integroidun VCO:n. Piiri on datalehtensä mukaan 80 MHz:stä 650 MHz:iin toimiva FSK-, ASK- ja OOK-moduloiduille signaaleille tarkoitettu lähetyvastaanotinpiiri. Myös ADF7020-1 käyttää matalaa välitaajuutta, mikä minimoi tehon käytön ja ulkoisten komponenttien määrän. Kyseistä lähetyvastaanotinta voidaan käyttää myös FHSS-järjestelmissä (Frequency-Hopping Spread Spectrum). Tämäkin piiri toimii vuorosuuntaisena ja sitä ohjataan sarjaväylän kautta. Myös RSSI ja piirin lämpötila ovat luettavissa piiriin integroidun ADC:n (Analog to Digital Converter) ansiosta. [16]

ADF7020-1 vastaa lohkokaavioltaan pitkälti edellä testattua ADF7021-V:tä. Suurimpana erona on 7020-1:een integroitu VCO. Tämä aiheuttaa RF-kanavan taajuuden valinnassa pientä kankeutta 7021-V:n verrattuna, mutta toisin kuin 7021-V, pystyy 7020-1 yleisen HMS-spesifikaation vaatimaan datanopeuteen. ADF7020-1:n lohkokaavio on esitetty kuvassa 5.10.

ADF7020-1:stä testattiin valmistajan testilevyä ADF702x apuna käyttäen. Emolevy oli molempia Analog Devicesin lähetyvastaanottimia testattaessa sama. ADF702x on esitetty kuvassa 5.11.

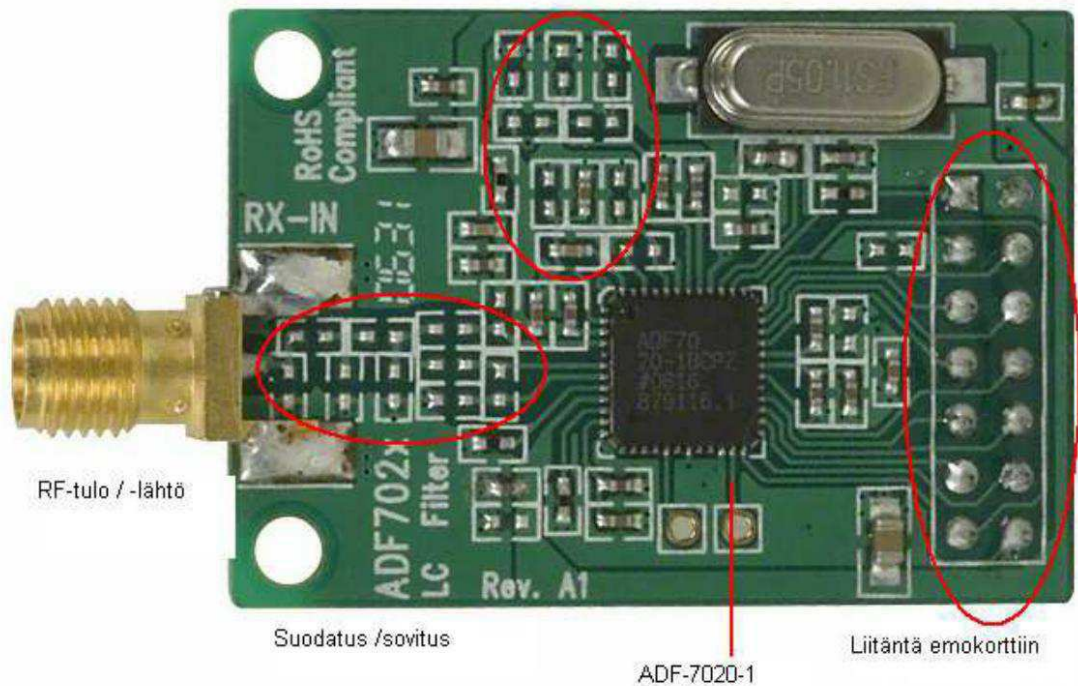
ADF7020-1:n testilevyiltä löytyvät valmiit komponenttipaikat etupään suodatusta ja sovitusta, PLL:n silmukkasuodatinta ja RF-kanavan taajuuteen vaikuttavaa kuvan 5.10 lohkokaaavion kytkentäpisteiden L1 ja L2 väliin kytkettävää kelaa varten. Lisäksi levyiltä löytyvät RO:na toimiva kide ja sen kytkentä sekä liitäntä emolevyyn. RF-signaali kulkee kuvassa 5.11 vasemmalla olevan SMA-liittimen kautta. ADF7020-1 tarvitsee siis ympärilleen yhden kiteen ja noin viidenkymmenen passiivisen peruskomponentin kytkennän. Testilevyn piirikaavio on esitetty kuvassa 5.12. Kuvaan on eritelty lohkot

1. harmonisten taajuuksien suodatus
2. sovitus
3. silmukkasuodatin
4. RO-kytkentä.

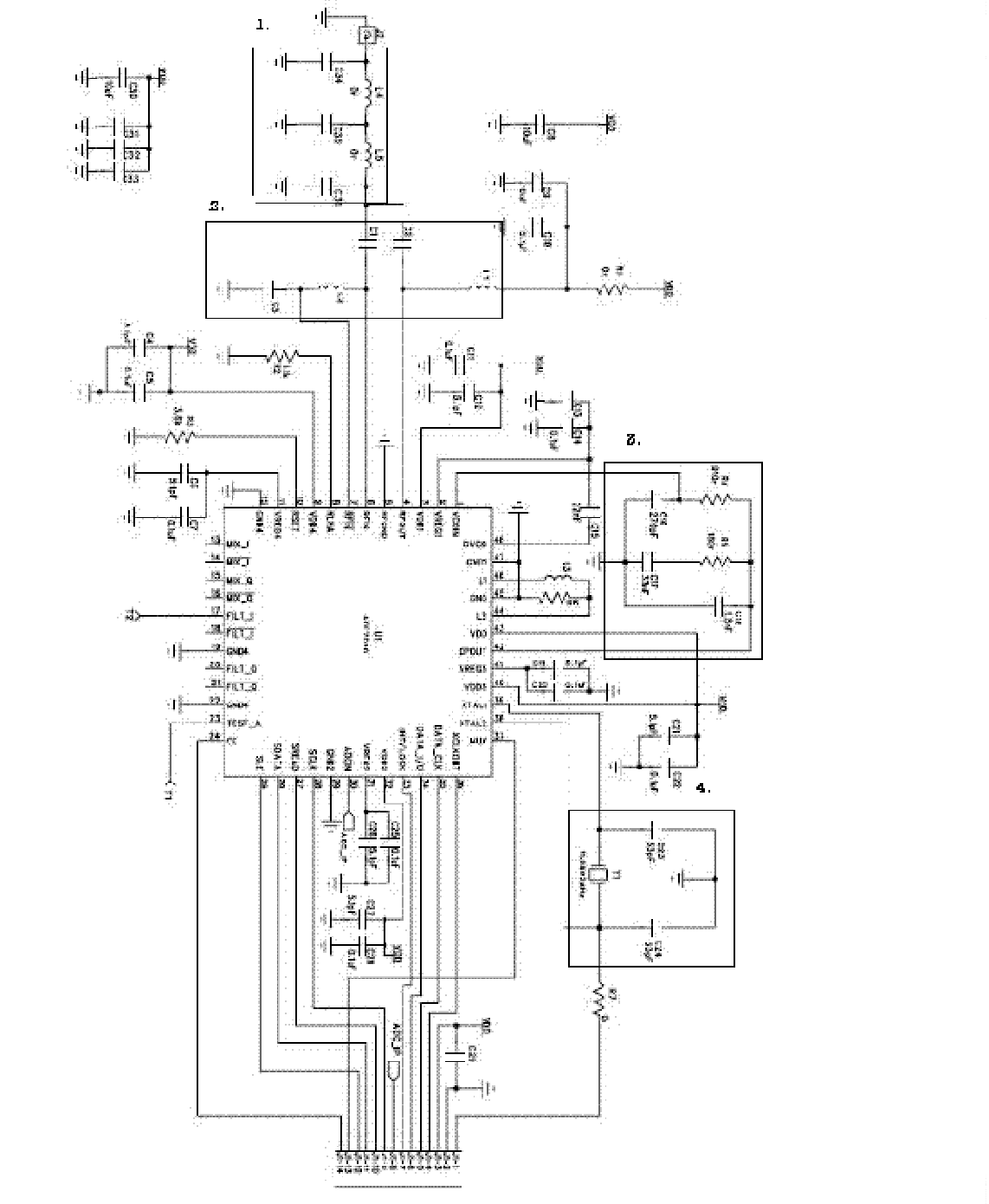


Kuva 5.10 ADF7020-1 lähetin vastaanotinpiirin lohko-kaavio [16]

Silmukkasuodatin



Kuva 5.11 Analog Devicesin ADF702x- lähetin vastaanotinpiirien testilevy [17]



Kuva 5.12 ADF7020-1 lähetinvastaanotinpiirin testaamiseen tarkoitettujen piirilevyjen piirikaavio [16]

ADF7020-1:n testaamiseen käytettävä ohjelmisto oli myös Analog Devicesin oma, ja se vastasi suurelta osin ADF7021-V:n testaamiseen käytettyä ohjelmistoa.

5.3.1 Taajuusalueet

Oleellisin asia ADF7020-1:ssä oli vastaanottimen taajuusalueiden joustavuus. Taajuusalueeseen voitiin vaikuttaa kuvan 5.10 lohkokaaavion kytkentäpisteiden L1 ja L2 väliin kytkettävän kelan induktanssin arvolla. Tätä varten ei tarvinnut suorittaa lainkaan mittauksia, koska Petri Kuosmanen on tutkinut kyseistä asiaa huhtikuussa 2013 valmistuneessa diplomityössään. Kuosmasen suorittamien mittausten tulokset on esitetty taulukossa 5.2.

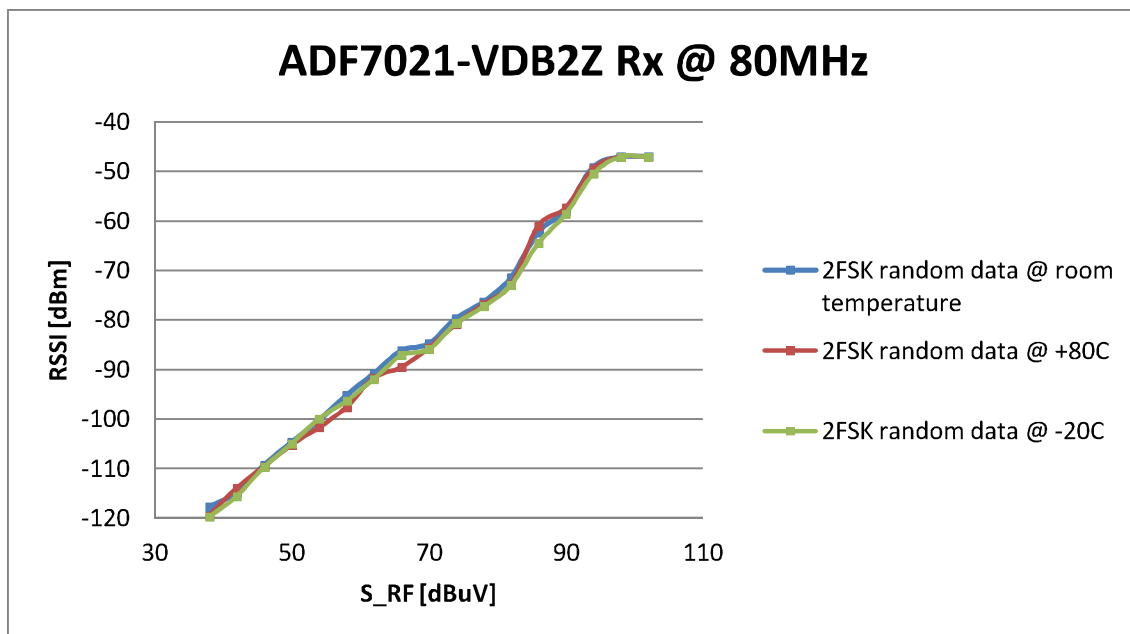
Taulukko 5.2 ADF7020-1:n vastaanottamat taajuusalueet kytkentäpisteiden L1 ja L2 väliin kytketyillä induktanssin arvoilla [17]

Induktanssin arvo	Taajuusalue
18 nH	138 ... 154 MHz
22 nH	125 ... 137 MHz
27 nH	115 ... 126 MHz
33 nH	107 ... 115 MHz
39 nH	96 ... 103 MHz
47 nH	87 ... 92 MHz
56 nH	... 83 MHz

Tämän lisäksi taajuusalueiden käyttäytyminen mitattiin eri lämpötiloissa (-20 °C, huoneenlämpö, +80 °C). Ääriämpötilojen vaikutus huoneenlämpöön verrattuna oli -4 MHz ja +2 MHz alueen alarajalla ja -3 MHz ja +1 MHz alueen ylärajalla. Korkeampi lämpötila siirsi taajuusaluetta alaspäin.

5.3.2 RSSI

Toisena kiinnostavana asiana pidettiin piirin vastaanottaman signaalin tason käyttäytymistä eri lämpötiloissa. Koska mittaukset oli jo tehty saman valmistajan toiselle piirille, arvioitiin tulokset ajan säästämiseksi ADF7021-V:lle tehdyistä mittauksista. Kuvassa 5.13 on esitetty ADF7021-V:n vastaanottaman signaalin taso siihen RF-generaattorista syötetyn signaalitason funktiona. Mittauksissa käytetty deviaatio oli 4 kHz ja datanopeus 4 kb/s piirin vajavuuksien vuoksi. Tämän ei kuitenkaan oletettu vaikuttavan tuloksiin. Kuvasta näkyy, ettei lämpötila juuri vaikuta vastaanotetun signaalin tasoon.



Kuva 5.13 ADF7021-V:n vastaanottaman signaalin taso (RSSI) signaaligeneraattorin lähettämän signaalitason funktiona eri lämpötiloissa

6 UUDEN LÄHETINVASTAANOTINPIIRIN VALINTA

Teleste Oyj:n uuden RIS-moduulin RF-modeemissa käytettävän vastaanottimen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kaapelitelevisioverkon menosuunnalla mahdollisimman joustavasti valittava vastaanottotaajuus sekä vastaanottimen vakaa toiminta Telesten takaamissa käyttölämpötiloissa. Valintaan vaikutti myös piirin käyttöönoton kustannukset sekä piirin ja sen ympärille vaadittavan kytkennän laajuus, kompleksisuus ja hinta.

Analog Devicesin ADF7021-V vaikutti sopivalta komponentilta, mutta ongelmaksi muodostui tarvittavan deviaation ja datanopeuden saavuttaminen, mitä ei voitu ohittaa syöttämällä piirille VCO-signaalin tilalla suoraa sinisignaalia. Näin ollen piiri oli hylättävä käyttötarkoituksesta heti alkuunsa.

Jäljellä olevat Melexiksen ja Analog Devicesin piirit olivat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Molemmilla saavutettiin yleisen HMS-spesifikaation määrittämä deviaatio ± 67 kHz sekä 38,4 kb:n/s datanopeus. Myös käyttäytyminen ääriämpötiloissa (-20 °C ja $+80$ °C) oli toivotunlaista, eli lämpötila ei juuri vaikuttanut vastaanotetun signaalin tasoon eikä vastaanottimen taajuusalueisiin. Melexiksen piirissä lämpöjen vaikutus taajuusalueisiin oli vielä Analog Devicesin piiriä pienempi, mikä kallisti vaakaa hieman Melexiksen suuntaan.

Melexiksen TH7122.2:lla taajuusalue 80 MHz:stä 233 MHz:iin oli toteutettavissa kolmella induktanssin arvolla. Analog Devicesin ADF7020-1 taas vaati seitsemän eri induktanssin arvoa kattamaan taajuusalueen 80 MHz:stä 154 MHz:iin ja alueelle jäi silti huoneenlämmössä mitattuna aukkoja. Tämä lisäsi TH7122.2:n johtoasemaa.

Lähetinvastaanottimia vertailtiin myös piirin toimintaan tarvittavan kytkennän monimutkaisuuden ja hinnan perusteella. ADF7020-1 tarvitsi ympärilleen yhden kiteen ja noin viidenkymmenen passiivisen peruskomponentin kytkennän, kun taas TH7122.2 vaati toimiakseen kolme kidettä ja noin kolmekymmentä passiivista peruskomponenttia. Komponenttina kide on selvästi tavallisia vastuksia, keloja ja kondensaattoreita hinnakkaampi, mutta TH7122.2:n kytkentä vie vähemmän piirilevytilaa. Tällöin piirilevyn materiaalikustannuksissa voitetaan tekemällä moduuli mahdollisimman pieneksi. Myös itse piirien hinnat pyörivät samassa luokassa. Digi-Key -sivuston mukaan ADF7020-1:n massaostohinnat olivat 2,24 €...2,52 € rullan koon mukaan [18], kun taas TH7122.2:n hinnat vaihtelivat välillä 2,28 €...2,63 € [19]. Toimittajien kanssa erikseen sovituista

toimitushinnoista ei voinut työtä varten saada käsitystä ja näin ollen kustannusten eron arviointi oli hieman vaikeaa. Kompaktimpi moduulikoko vei kuitenkin Melexiksen piirin edellistä selvempään johtoasemaan.

Viimeinen ja erittäin tärkeä asia oli Teleste Oyj:n suhde komponentin toimittajaan. Analog Devices toimittaa Telestelle jo valmiiksi useampaa komponenttia, joten yhtiöiden välillä on valmiina toimiva kauppasuhte. Analog Devices on todettu luotettavaksi toimittajaksi eikä uusia kontakteja ole tarve solmia ADF7020-1:tä käyttöönotettaessa. Lisäksi ADF7020-1:n tiedetään olevan varmoilla markkinoilla eli sen valmistuksen lopettamisesta ei ole minkäänlaista indikaatiota. Melexiksestä taas ei Teleste Oyj:llä ole kokemusta komponenttitoimittajana, joten kyseisen komponentin käyttöönotto vaatisi enemmän aikaa ja kustannuksia. Myöskään toimittajan luotettavuudesta ja komponentin tuotannon jatkuvuudesta ei Telestellä ole omakohtaista tietoa. Lopulta Melexiksen TH7122.2:n tarjoamat edut Analog Devicesin ADF7020-1:een nähden olivat sen verran pienet kyseisen sovelluksen kannalta, etteivät ne korvanneet piirin käyttöönoton tuomia kustannuksia. Näin ollen Analog Devicesin ADF7020-1 valittiin Teleste Oyj:n uuden RIS-moduulin vastaanotinpiiriksi.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli löytää vastaanotinpiiri Teleste Oyj:n kaapelitelevisioverkon vahvistimiin asennettavan RIS-moduulin RF-modeemiin. Tätä varten testattiin kolmea eri lähetinvastaanotinpiiriä kyseiseen käyttötarkoitukseen. Piireistä testattiin muun muassa vastaanotettua signaalitehoa, lämpökäyttäytymistä sekä taajuusalueita. Tärkeää oli myös taajuusalueiden mahdollisimman suuri joustavuus mahdollisimman yksinkertaisilla ulkoisilla kytkennöillä.

Melexiksen TH7122.2-piirillä pystyttiin toteuttamaan haluttu 38,4 kb:n/s datanopeus ja 67 kHz:n deviaatio. Sen lämpökäyttäytyminen oli myös halutunlaista, eli lämpötila ei vaikuttanut kovinkaan paljon vastaanotetun signaalin voimakkuuteen. Vastaanottimen taajuusalue saatiin myös suhteellisen helposti vastaamaan Telestellä käytössä olevien RF-modeemien koko menosuunnan taajuusaluetta. Piirin valintaa vastaan oli kuitenkin se, ettei toimittaja ollut Teleste Oyj:lle aiemmin tuttu, ja näin ollen tuotteen käyttöönotto olisi vaatinut paljon aikaa ja kustannuksia.

Analog Devicesin ADF7021-V oli ulkoisen VCO:nsa vuoksi taajuuksiltaan hyvin joustava ja lämpökäyttäytyminen oli toivotunlaista, mutta ongelmia tuotti halutun datanopeuden ja deviaation saavuttaminen 2FSK:lla. Koska ongelmaa ei onnistuttu ohittamaan, oli piiri hylättävä halutusta käyttötarkoituksesta.

Analog Devicesin ADF7020-1 toimi moitteettomasti halutulla datanopeudella ja deviaatiolla. Se saadaan toimimaan tämän hetkisten RF-modeemien menosuunnan taajuuksilla eikä lämpötilalla ollut kovinkaan suurta vaikutusta taajuusalueisiin. Piirin taajuusalue ei ole yhtä joustava kuin ADF7021-V:n tai TH7122.2:n, mutta tällä ei RIS-moduulissa ole kovin suurta merkitystä. Näin ollen ADF7020-1 voi toimia käyttökelpoisena vastaanottimena kyseisessä käyttötarkoituksessa. Piirin toimittaja on myös Telestelle jo aiemmin tuttu, joten ADF7020-1 todettiin TH7122.2:ta helpommaksi ja sopivammaksi vaihtoehdoksi, ja se valittiin vastaanottimeksi Teleste Oyj:n uuden vuotohäiriötä paikantavan ja poistavan RIS-moduulin RF-modeemiin.

Vastaanottimen valinnan jälkeen voidaan aloittaa RIS-moduulin kokonaisvaltainen suunnittelu. Tällä hetkellä hanke on hieman taka-alalla, mutta tarkoituksena on tulevaisuudessa tarjota RIS-toimintoa siitä hyötyville asiakkaille.

LÄHTEET

- [1] Teleste Oyj, About us, [www-sivu]. Saatavilla: <http://www.teleste.com/about-us>. (luettu 17.5.2013)
- [2] Finnpanel, "TV-mittaritutkimuksen tuloksia", [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.finnpanel.fi/tulokset/tv/vuosi/tvtaoudet/2011/kaikki.html>. (luettu: 3.10.2012)
- [3] Tilastokeskus, "Kotitalouksien määrä, keskipöytä, kotitalousväestön koko ja keskimääräiset kulutusyksiköt Suomessa vuosina 1990–2010", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.stat.fi/til/tjt/2010/tjt_2010_2012-05-23_tau_015_fi.html. (luettu: 12.10.2012)
- [4] Packalen, M., KTV-verkon paluusuunnan lähettimen laserien testaus ja optimointi, insinööriyö, Turun ammattikorkeakoulu, 2012, 42 s.
- [5] Liikenne- ja Viestintäministeriö, "Laajakaistatekniikoiden kehitys 2009–2015", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=339549&name=DLFE-9557.pdf&title=Julkaisu%2046-2009. (luettu: 12.10.2012)
- [6] Liikanen, J., Teleste presentation, PowerPoint, Turku, 2011.
- [7] Wikipedia: Society of Cable Telecommunications Engineers, [www-sivu]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Society_of_Cable_Telecommunications_Engineers. (luettu: 12.10.2012)
- [8] Society of Cable Telecommunications Engineers, About SCTE, [www-sivu]. Saatavilla: http://www.scte.org/about_us/default.aspx. (luettu: 12.10.2012)
- [9] Society of Cable Telecommunications Engineers, "Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Physical (PHY) Layer Specification v1.", [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.scte.org/documents/pdf/Standards/ANSI_SCTE%2025-1%202008.pdf. (luettu: 12.10.2012)
- [10] Halen, S., Teleste Oyj Product Specification HDM100, 29.11.2012, 2 s.

- [11] Halen, S., Teleste Oyj Product Specification AC6991, 29.11.2012, 3 s.
- [12] Melexis TH7122 Datasheet
- [13] Melexis TH7122 Evaluation Board Description
- [14] Analog Devices ADF7021-V Datasheet
- [15] Digi-Key Corporation, EVAL-ADF70XXMBZ2, [www-sivu]. Saatavilla:
<http://www.digikey.com/product-detail/en/EVAL-ADF70XXMBZ2/EVAL-ADF70XXMBZ2-ND/1304396>. (luettu 14.5.2013)
- [16] Analog Devices ADF7020-1 Datasheet
- [17] Kuosmanen, P., Kaapelitelevisioverkon transponderi, diplomityö, Turun yliopisto, 2013, 66 s.
- [18] Digi-Key Corporation, ADF7020-1, [www-sivu]. Saatavilla:
<http://www.digikey.fi/product-search/en/rf-if-and-rfid/rf-transceivers/3539948?k=adf7020-1>. (luettu 17.5.2013)
- [19] Digi-Key Corporation, TH7122, [www-sivu]. Saatavilla:
<http://www.digikey.fi/product-search/en/rf-if-and-rfid/rf-transceivers/3539948?k=TH7122>. (luettu 17.5.2013)