

SOVELTAVAN ELEKTRONIIKAN OPETUSSISÄLLÖN KEHITTÄMINEN

Muutostarpeet työelämän näkökulmasta

Jouko Heikkinen

Kehittämishanke
Toukokuu 2014
Ammatillinen opettajakorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ammatillinen opettajakorkeakoulu

JOUKO HEIKKINEN:

Soveltavan elektroniikan opetussisällön kehittäminen
Muutostarpeet työelämän näkökulmasta

Kehittämishanke 71 sivua, joista liitteitä 29 sivua
Toukokuu 2014

Elektroniikkateollisuus on yksi nopeimmin muuttuvista teollisuudenaloista. Erityisesti komponentteihin ja valmistukseen liittyvien teknologioiden huiman kehityksen myötä yhä enemmän toiminnallisuutta saadaan mahtumaan yhä pienempään tilaan. Samalla laitesuunnittelun luonne on muuttunut – monet aikaisemmin pitkälti analogiaelektroniikkaan perustuneet laitteet suunnitellaan nykyisin digitaalelektroniikkaa hyödyntäen aina kun se vain on mahdollista. Lähes kaikista laitteista löytyy vähintään pieni mikrokontrolleri. Lisäksi laitteiden tuotekehityssykli on kiihtynyt, koska muuttuviin tarpeisiin on vastattava aikaisempaa nopeammin. Toiminnaltaan yhä monimutkaisempien laitteiden suunnittelu tuotantovalmiuteen yhä lyhyemmässä ajassa vaatii enemmän sekä suunnittelijoilta että suunnittelussa käytetyiltä työkaluilta. Nämä muutokset täytyy huomioida myös koulutuksessa.

Tämän kehittämishankkeen tavoitteena oli selvittää Tampereen teknillisellä yliopistolla Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitoksen järjestämien soveltavan elektroniikan alaan kuuluvien opintojaksojen työelämävastaavuutta ja laatia saatujen tulosten pohjalta toimenpidelistä opintojaksojen kehittämiseksi. Tarkastelun kohteeksi valittujen opintojaksojen aihepiirit liittyivät analogiaelektroniikkaan, tietokoneavusteiseen elektroniikkasuunnitteluun ja sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen. Työelämävastaavuutta selvitettiin kysely- ja haastattelututkimuksen menetelmiä käyttäen. Kysely suunnattiin tarkasteltuja opintojaksoja noin kuuden vuoden sisällä suorittaneille ja työuransa alkutai-paleella oleville suunnittelijoille. Haastattelu puolestaan suunnattiin työurallaan jo pidemmälle edenneille ammattilaisille. Molemmista tiedusteltiin kuinka hyvin tarkasteltavien opintojaksojen asiasisältö ja osaamistavoitteet vastaavat elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvissä työtehtävissä tarvittavia tietoja ja taitoja ja kuinka hyvin opintojaksojen suoritustapa ja -vaatimukset tukevat tarvittavien valmiuksien saamista.

Kyselyn vastauksissa ja haastatteluissa kaikki opintojaksot koettiin yhä tarpeellisiksi ja niissä käsiteltävät asiat käytännön suunnittelutehtävien kannalta hyödyllisiksi. Yhteisen näkemyksen mukaan analogiaelektroniikkaan liittyvän syvällisen tiedon tarve käytännön suunnittelussa tulee pääsääntöisesti edelleen vähenemään, mutta perusteiden tietämys on jatkossakin välttämätöntä. Esille tulleet suurimmat muutostarpeet kohdistuivat opetussisällön painotuksiin ja opetuksen käytännönläheisyyden lisäämiseen. Nämä asiat huomioitiin toimenpidelistassa, joka toimii tulevina lukuvuosina opintojaksojen kehittämisen pohjana.

Asiasanat: soveltava elektroniikka, laitesuunnittelu, opetussisältö, työelämä

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	OPETUS TYÖELÄMÄN NÄKÖKULMASTA	6
2.1	Yliopisto-opetuksen suhde työelämään.....	9
2.2	Tulevaisuuden osaamistarpeet	10
3	MUUTOSTARPEIDEN KARTOITUS	12
3.1	Elektroniikan opetus – TTY/ELT	12
3.1.1	Sähkötekniikan aine- ja syventävien opintojen opintokokonaisuudet	12
3.1.2	Tarkasteltavat opintojaksot	14
3.2	Kysely.....	16
3.3	Haastattelut	16
4	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	18
4.1	Kyselyn ja haastattelujen anti sekä esille nousseet muutostarpeet	19
4.1.1	ELT-21050 Transistorivahvistimet.....	19
4.1.2	ELT-21150 CAE elektroniikassa.....	22
4.1.3	ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkenät.....	27
4.1.4	ELT-22110 EMC-suunnittelu.....	31
4.2	Yhteenveto.....	35
4.3	Jatkotoimenpiteet	36
5	POHDINTA	39
	LÄHTEET	41
	LIITTEET.....	43
	Liite 1. Pyyntö osallistua kyselyyn (sähköpostiviesti)	43
	Liite 2. Kyselymateriaali	44
	Liite 3. Kyselyn vastauslomake	64
	Liite 4. Haastattelupyyntö (sähköpostiviesti)	69
	Liite 5. Haastattelupyyntöjen materiaali	70

1 JOHDANTO

Elektroniikkateollisuuden kehityksen myötä mm. elektroniikkaan liittyvien suunnittelu-tehtävien taso, sisältö, laajuus on muuttunut ja muutosten odotetaan jatkuvan tulevai-suudessakin. Suunniteltavat kokonaisuudet pohjautuvat enenevässä määrin pitkälle in-tegroiduilla digitaalipiireillä toteutettuihin toimintoihin ja diskreettikomponenttien mää-rä laitteissa on vähenemään päin. Tämä ei suinkaan poista elektroniikkaosaamisen tar-vetta, mutta siirtää osaamistarpeiden painopistettä enemmän sulautettujen järjestelmien suunnitteluosaamisen suuntaan. Tämä voimakkaimmin massatuotantoteollisuudessa tapahtunut muutos on ollut havaittavissa myös Tampereen teknillisellä yliopistolla (TTY) elektroniikkaa lukevien opiskelijoiden määrän pienenemisenä. Elektroniikan aineita aikaisemmin lukeneena ja nykyisin niiden opetustehtävissä toimivana olen alka-nut miettimään myös opetussisältöjen mahdollisia muutostarpeita. Ovatko opintojak-soilla käsiteltävät asiat, käytetyt työkalut ja opeteltavat taidot niitä mitä työelämään siir-tyvä opiskelija tarvitsee vai tapahtuuko tässä ainoastaan siirtyminen koulun penkiltä toiselle – omaksutaanko varsinaiset, työssä tarvittavat tiedot ja taidot vasta työpaikalla? Pedagogisten opintojen myötä näitäkin asioita on tullut mietittyä enemmän ja kehittä-mishanke tarjoaa mielestäni luonnollisen väylän opetussisältöjen mahdollisten muutos-tarpeiden selvittämiseksi ja toimenpiteiden määrittämiseksi.

Tässä kehittämishankkeessa selvitettiin, kuinka hyvin nykyinen elektroniikan laitesuun-nitteluun liittyvien opintojaksojen opetussisältö vastaa niitä tietoja ja taitoja joita työ-elämään siirtyvällä elektroniikkaa lukeneella diplomi-insinöörillä tai elektroniikan opis-kelijalla odotetaan tällä hetkellä olevan tai nähdään tulevaisuudessa tarpeelliseksi. Tässä yhteydessä työelämästä puhuttaessa rajoitetaan tarkastelemaan lähinnä teollisuuteen sijoittuvia työtehtäviä. Hankkeessa tarkasteltiin neljää elektroniikan aine- tai syventä-viin opintoihin kuuluvaa opintojaksoa, joiden aihepiirit liittyivät analogiaelektroniik-kaan, tietokoneavusteiseen elektroniikkasuunnitteluun ja sähkömagneettiseen yhteenso-pivuuteen. Näihin kohdistuvia muutos- ja kehitystarpeita kartoitettiin kyselyn ja haastat-telujen avulla. Kysely suunnattiin tarkasteltavia opintojaksoja opiskeluaikanaan suorit-taneille ja työelämään siirtyneille elektroniikkasuunnittelijoille (tai siihen liittyvien teh-tävien parissa työskenteleville) ja haastattelut hieman kokeneemmalle suunnittelijakaar-tille joka on osin jo siirtynyt hallinnollisiin tai esimiestehtäviin. Pohjalla oleva vankka suunnitteluosaaminen ja kokemuksen tuoma näkemys tehtäviin tarvittavista tiedoista ja

taidoista ovat arvokkaita resursseja tämän tyyppiselle hankkeelle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Hankeraportti koostuu seuraavista osista. Luvussa 2 tarkastellaan opetuksen työelämä-
lähtöisyydestä ja työelämävastaavuudesta tehtyjä selvityksiä, yliopisto-opetuksen suh-
detta työelämään ja tulevaisuuden osaamistarpeita. Luvussa 3 esitellään kehittämis-
hankkeen kohteena olevat opintojaksot, kuvataan niiden sijoittuminen TTY:n Tieto- ja
sähkötekniikan tiedekunnan (TST) tutkinto-ohjelmiin sekä Elektroniikan ja tietoliiken-
netekniikan laitoksen (ELT) opintokokonaisuuksiin ja esitellään hankkeen toteuttavaa
osiota varten koottu kysely- ja haastatteluaineisto. Luvussa 4 esitellään kyselystä ja
haastatteluista saatu palaute ja näiden pohjalta laadittu toimenpidesuunnitelma. Pohdinta
hankkeesta ja sen tuloksista kokonaisuutena löytyy Luvusta 5.

2 OPETUS TYÖELÄMÄN NÄKÖKULMASTA

”Opetus on *tietoiseen ja täydelliseen oppimiseen tähtäävää opiskelun suunnitelmallista ohjaamista*. Sen tehtävänä on virittää, suunnata, johtaa ja ohjata opiskelua.” (Engeström 1982, 11)

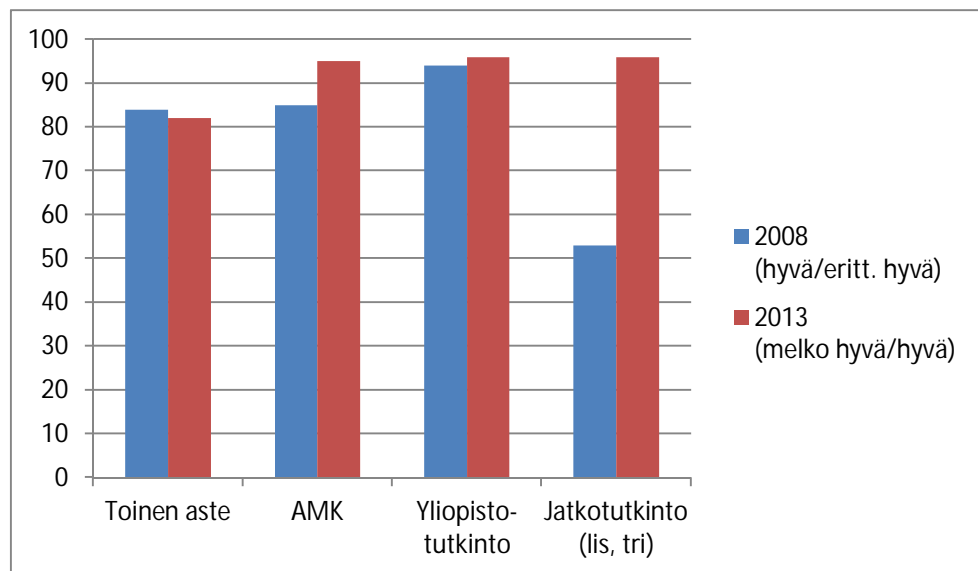
Eri koulutusasteilla annettavan opetuksen keskeisenä tavoitteena on antaa opiskelijalle tarvittavat valmiudet vastata yhteiskunnan ja työelämän asettamiin vaatimuksiin. Kunkin koulutussektorin lainsäädännössä määritettyjen tavoitteiden taso ja laajuus muuttuu koulutusasteelta toiselle siirryttäessä (Opetushallitus 2014). Tässä hankkeessa tarkastelu rajoittuu lähinnä ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa annettavaan korkea-asteen koulutukseen.

Koulutusasteiden, tutkintojen, opintokokonaisuuksien ja opintojaksojen työelämälähtöisyydestä ja työelämävastaavuudesta on tehty viime vuosina lukuisia virallisia selvityksiä ja opinnäytetöitä. Valtiontalouden tarkastusvirasto on selvittänyt vuonna 2009 julkaisemassaan tuloksellisuustarkastuskertomuksessa *ammattikorkeakoulujärjestelmän perustana olevan työelämälähtöisyyden* toteutumista. Rakennustekniikan ja hoitotyön koulutusohjelmiin kohdistetussa tarkastuksessa havaittiin suuria eroja eri ammattikorkeakoulujen ja myös saman ammattikorkeakoulun eri yksiköiden opetussuunnitelmien sisällössä ja tätä kautta myös opetuksen ja käytännön harjoittelun välisessä yhteydessä. Monin paikoin opettajan oman aktiivisuuden varassa lepäävän työelämätuntemuksen kehittämiseksi raportissa kuulutetaan säännöllisten työelämäjaksojen perään. (Valtiontalouden tarkastusviraston tuloksellisuustarkastuskertomus 188/2009, 7-8) Jyväskylän Yliopistossa vuonna 2009 tarkastetussa väitöskirjassaan Maija-Liisa Neuvonen-Rauhala (2009) puolestaan tarkastelee *ylempiä ammattikorkeakoulututkintoja edeltänyttä, vuosina 2002-2005 toteutettua jatkotutkintokokeilua* työelämälähtöisyyden näkökulmasta. Neuvonen-Rauhalan mukaan työelämälähtöisyyttä toisaalta käytettiin koulutuspoliittisessa keskustelussa uudistusta puoltavana argumenttina ja toisaalta se kytkettiin koulutusohjelmissa osaksi käytännön opetusta erityisesti opinnäytetöissä – työelämän edustajat otettiin osaksi opiskeluprosessia mm. ohjaajina ja oppimistulosten arvioijina (Neuvonen-Rauhala 2009, 125). Matti Väänänen (2012) puolestaan tarkastelee kirjassaan työelämälähtöisen koulutuksen kehittämistä oppilaitos-elinkeinoelämäyhteistyön kautta. Kirjassa viitataan ammattikorkeakoululain (351/2003) asettamiin vaatimuksiin – koulu-

tuksen lisäksi ammattikorkeakouluilta edellytetään aluetta palvelevaa soveltavaa tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa. Väänäsen mukaan yrityslähtöisen TKI (tutkimus, kehitys ja innovaatio) -toiminnan ja opetuksen integrointi edellyttää projektioppimisen kautta toteutettua opetusta, mikä puolestaan edellyttää muutoksia myös opettajilta vaadittaviin valmiuksiin ja asenteisiin. Teknologiateollisuus ry on tutkinut *eri koulutusasteiden teknillisten tutkintojen* ja työelämatarpeiden vastaavuutta jäsenyrityksilleen suuntaamiensa kyselyjen avulla (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009; Henkilöstöselvitys 2016). Tynjälän, Slotten, Niemisen, Lonkan ja Olkinuoran (2004, 91-107) tekemässä tutkimuksessa yliopistokoulutuksen antamat työelämävalmiudet koettiin pääosin erittäin hyviksi tai melko hyviksi (kasvatustiede, tietojenkäsittelytieteet, farmasia) tai kohtalaiseksi (opettajan koulutus). Yliopistokoulutuksen koettiin antaneen parhaat valmiudet alakohtaisen ja teoreettisen tiedon osalta kun taas työtehtävien näkökulmasta katsoen suurimmaksi puutteeksi koettiin tiettyjen kurssien tarpeettomuus tai puuttuminen. Ylivoimaisesti suurin osa vastanneista koki oppineensa tärkeimmät työelämätaidot itse työssä. Jyväskylän Yliopiston Koulutuksen tutkimuslaitoksessa tehdyssä tutkimuksessa tarkastellaan, miten *korkeakoulusta kaupan ja tekniikan alalta* valmistuneet ovat löytäneet koulutusta vastaavia töitä kolme vuotta valmistumisen jälkeen ja millaiset valmiudet tutkinnon suorittaneet ovat kokeneet saaneensa suhteessa työelämän vaatimuksiin (Vuorinen & Valkonen 2007). Lukuisissa ammattikorkeakoulujen opinnäytetöissä on tarkasteltu työelämävastaavuutta eri alojen tehtävissä – esimerkkinä *tekniikan alan ammatillinen opettaja* (Jalonen 2011). Opintojaksojen tasolla työelämävastaavuutta on tarkasteltu mm. *autotekniikan koulutuksessa* (Saunamäki 2011). Koulutuksen ja työelämän tarpeiden välinen vastaavuus on kolmessa viimeisessä selvityksessä koettu pääosin hyväksi vaikkakin jonkin verran ala- tai koulutusastekohtaisia eroja on havaittavissa. Kehittämiskohteita on löydetty koko koulutuksen osalta mm. viestintä- ja esimies-/johtamistaitojen sekä pedagogisen osaamisen vahvistamisesta ja opintojaksojen osalta lähinnä opetettavien asioiden painotuksesta. Seuraavassa tarkastellaan hieman tarkemmin kahden edellä mainitun selvityksen antia.

Teknologiateollisuus ry:n vuosina 2008 ja 2013 tekemissä kyselytutkimuksissa yrityksiltä tiedusteltiin, kuinka hyvin eri koulutusasteiden nykyiset mm. teknilliset tutkinnot vastaavat yritysten tarpeita. Kuvassa 1 esitetyt, vuonna 2008 tehdyn kyselyn tulokset ilmaisevat kuinka monta prosenttia kyselyyn vastanneista elektroniikka- ja sähköteollisuuden yrityksistä pitää teknillisten tutkintojen vastaavuutta yritysten tarpeisiin joko hyvänä tai erittäin hyvänä (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009, 21-22).

Osuus on korkeimmillaan yliopistotutkintojen kohdalla. Hyvin suuri osa vastaajista pitää vastaavuutta vähintään hyvänä myös toisen asteen ja AMK-tutkintojen osalta, kun taas yliopistojen jatkotutkintojen osalta vain reilut puolet. Samassa kuvassa esitetyt, vuonna 2013 tehdyn kyselyn tulokset ilmaisevat kuinka monta prosenttia kyselyyn vastanneista elektroniikka- ja sähköteollisuuden yrityksistä pitää teknillisten tutkintojen vastaavuutta yritysten tarpeisiin joko melko hyvänä tai hyvänä (yritys on palkannut kyseisen tutkinnon suorittaneita) (Henkilöstöselvitys 2016, 14-18). Tulokset ovat hyvin samansuuntaisia kaikkien muiden paitsi yliopistojen jatkotutkintojen osalta. Toisaalta vuoden 2013 kyselyssä vastaavuutta huonona tai melko huonona pitäneiden osuus oli korkeimmillaan 18 % toisen asteen tutkintojen kohdalla, tason ollessa muiden tutkintojen osalta noin 4-5 %. Vastaavaa tietoa ei vuoden 2008 kyselytutkimuksen raportista löydy.



KUVA 1. Elektroniikka- ja sähköteollisuuden yritysten arvio eri koulutusasteilla suoritettujen teknillisten tutkintojen työelämävastaavuudesta. Siniset pylväät: vuonna 2008 tehdystä kyselystä (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009) työelämävastaavuutta *hyvänä tai erittäin hyvänä* pitäneiden yritysten prosenttiosuus. Punaiset pylväät: vuonna 2013 tehdystä kyselystä (Henkilöstöselvitys 2016) työelämävastaavuutta *melko hyvänä tai hyvänä* pitäneiden (kyseisen tutkinnon suorittaneita palkanneiden) yritysten prosenttiosuus.

Vuoden 2008 kyselyn tulosraportissa todetaan että tuloksia voidaan pitää vain suuntaantavina – toisaalta vain osa kyselyyn osallistuneista yrityksistä vastasi työelämävastaavuutta koskevaan kysymykseen, ja toisaalta tutkinnon vastaavuutta arvioivat myös sellaiset yritykset joilla ei ole kyseisen tutkinnon suorittaneita palveluksessaan (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009, 22). Lisäksi kahden kyselyn tulokset eivät ole keskenään suoraan vertailukelpoisia erilaisista arviointiasteikoista ja prosenttiosuuksien

erilaisesta laskentatavasta johtuen. Oman näkemykseni mukaan vuoden 2008 kyselyssä yliopistojen jatkotutkintojen alhaiseksi arvioidun työelämävastaavuuden voidaan ajatella aiheutuvan osin siitä että siinä missä alempien koulutusasteiden tutkinnot sisältävät laaja-alaisempia, tietyn tehtäväkentän hallinnan saavuttamiseksi tarvittavia opintoja, jatkotutkintojen ydin muodostuu usein hyvin kapea-alaisesta ja syvälle menevästä tutkimuksesta. Ne tehtävät, joihin jatkotutkinnon suorittaneet lopulta päätyvät, voivat kuitenkin edellyttää laajempaa omaan tai toiseen (esim. kaupalliseen) koulutusalaan liittyvää osaamista. Tämä korostuu varsinkin globaalissa toimintaympäristössä toimivissa teknologiayrityksissä. Vuoden 2013 kyselyn tuloksista kertovan raportin mukaan rekrytoidun henkilön tutkinnon työelämävastaavuutta huonona pitävän yrityksen arvio voi johtua liian suurista odotuksista, koulutussisällön ja yrityksen tarpeiden kohtaamattomuudesta tai tutkinnon suorittaneiden laadun vaihteluista (Henkilöstöselvitys 2016, 19).

2.1 Yliopisto-opetuksen suhde työelämään

Yliopistolain (558/2009) mukaan yliopistojen yhtenä tehtävänä on antaa tutkimukseen perustuvaa ylintä opetusta. Yliopistoissa vallitsee mm. tutkimuksen ja opetuksen vapaus, annettuja säännöksiä ja ohjeita toki noudattaen. Yliopistoissa suoritettavista tutkinnoista, tutkintojen tavoitteista ja opintojen rakenteesta säädetään tarkemmin valtioneuvoston asetuksella (794/2004) ja siihen tehdyillä muutoksilla ja lisäyksillä. Koulutusvastuu täsmennetään opetusministeriön asetuksella (Opetusministeriön asetus 568/2005) ja siihen liittyvillä muutoksilla ja lisäyksillä. Yliopisto-opetus on siis tutkimuslähtöistä, jolloin muutokset voimakkaasti rahoituksesta riippuvaisessa tutkimuksessa vaikuttavat varsinkin syventävien opintojen opetussisältöön. Muutokset ovat usein tarpeen tutkimuksen tai opetuksen vastuuhenkilöiden vaihtumisen yhteydessä. Tästä yhtenä esimerkkinä mainittakoon Karjalaisen kehittämishanke ja sen lähtökohdat (Karjalainen 2007, 20-23).

TTY:ssä opiskelijan oman tekniikan alan asiantuntijuus rakentuu matemaattis-luonnontieteelliselle perustalle. Kaikki opiskelijat oppivat ymmärtämään teknologian merkityksen kestäväen kehityksen haasteiden ratkaisemisessa ja saavat valmiudet yrittäjyyteen. Opetushenkilökunnalta edellytetään opetettavan aiheen syvällistä asiantuntijuutta ja pedagogisia taitoja. Yliopisto tarjoaa useita väyliä elinikäiseen oppimiseen ja pitää huolta tarjottavan koulutuksen työelämärelevanssista. TTY on edelläkävijä uusien oppimisympäristöjen kehittämisessä ja hyödyntämisessä. (TTY:n strategia 2013-2016, 1)

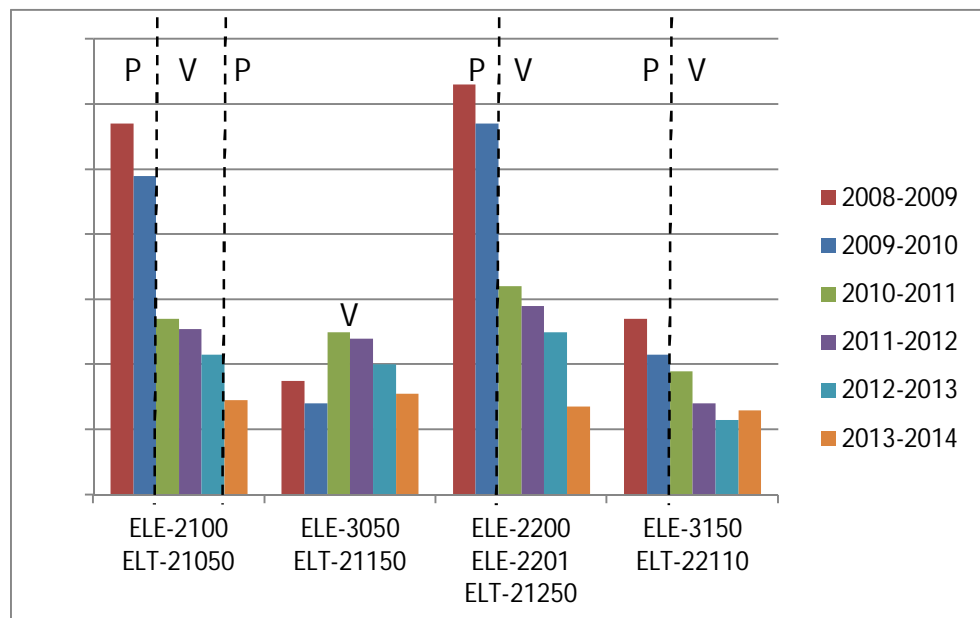
Yllä oleva lainaus TTY:n strategiasta vuosille 2013-2016 kertoo omalta osaltaan tavoitteesta antaa yliopistolaissa määrättyä ylintä opetusta. Strategian toteuttamiseksi vuosille 2009-2015 laaditussa koulutuksen kehittämissuunnitelmassa (2009, 12) linjataan yhdeksi tavoitteeksi opettajien ammatillisen kehittymisen edistäminen, johon liittyvinä toimenpite-esimerkkeinä mainitaan mm. opettajien pedagoginen koulutus ja opettajavaihto. TTY on perustamisestaan asti profiloitunut yliopistoksi jolla on erityisen vahva side teollisuuteen. Yhteistyötä tehdään erillisten tutkimusprojektien lisäksi mm. Demolassa (Demola Network 2014) joka yhdistää opiskelijat, yritykset ja julkiset organisaatiot kehittämään aitoihin ongelmiin uusia ratkaisuja. TTY tarjoaa organisaatioille myös täydennyskoulutuspalveluja sekä avoimen koulutustarjonnan että räätälöityjen koulutusten muodossa (TTY:n täydennyskoulutus 2014). TTY:n strategiasta löytyy myös maininta työelämävastaavuudesta, mutta miten se toteutuu opintojaksojen tasolla? Tämän kehittämishankkeen tarkoitus on osaltaan vastata tähän kysymykseen.

2.2 Tulevaisuuden osaamistarpeet

Teknologioteollisuuden palveluksessa olevan henkilöstön koulutustaso on noussut viime vuosina ja nousun odotetaan edelleen jatkuvan. Elektroniikka- ja sähköteollisuuden yritykset arvioivat että toisen asteen tutkinnon suorittaneiden määrä tulee supistumaan ja korkea-asteen tutkinnon suorittaneiden määrä tulee lisääntymään vuoteen 2020 mennessä. Tämä on linjassa henkilöstön tehtävärakenteen kehityksen kanssa – tulevaisuudessa suunnittelu-, tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä sekä myyntitehtävissä ja asiakasrajapinnan hallinnassa toimivan henkilöstön määrän odotetaan kasvavan. (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009, 23)

Kulutuselektroniikan jopa räjähdysmäinen kehitys ja erityisesti mobiililaitemarkkinoiden nopea kasvu vaikuttavat väistämättä tulevaisuuden osaamistarpeisiin. Yhä pienempikokoisiin laitteisiin toteutettava suurempi määrä monimuotoisempia ominaisuuksia vaatii muutoksia niin toteutustapaan, suunnittelumenetelmiin, käytettäviin komponentteihin ja materiaaleihin, valmistusteknologiaan kuin testaukseen. Eniten merkitystään kasvattavien tekniikan alan osaamiskomponenttien listasta löytyykin tuotteen modulointi ja variointi, tuotantoprosessit (prosessi-integraatio ja modulaarisuus) sekä valmistusmenetelmät ja -teknologiat. Tuotekehityksessä itse teknisen osaamisen lisäksi korostuu myös innovaatioprosessin ja tuotekehitystoiminnan hallinta globaalissa ympäristössä. (Meristö, Leppimäki, Laitinen & Tuohimaa 2009, 18-19)

Tässä kehittämishankkeessa tarkasteltavien opintojaksojen opiskelijamäärissä on tapahtunut vuosien varrella merkittävä muutos, kuten kuvasta 2 käy ilmi (ROCK 2014). Analogiaelektronikan opintojaksoille ELE-2100/ELT-21050 ja ELE-2200/ELE-2201/ELT-21250 ilmoittautuneiden määrä on viidessä vuodessa pudonnut noin neljäsosaan. Lukuvoonna 2010-2011 tapahtunut suurin pudotus on selitettävissä kyseisten opintojaksojen pakollisuudessa tapahtuneella muutoksella (pakollisesta valinnaiseksi), mutta kokonaan se ei muutosta selitä. Kuvasta 2 havaittava laskeva trendi em. opintojaksojen osalta on seurausta mm. elektroniikkateollisuudessa tapahtuneesta muutoksesta (digitaalitekniikan ja erityisesti mikrokontrollereiden kehitys) sekä alan vetovoimaisuuden pienenemisestä, joka epäilemättä osaltaan aiheutuu paljon esillä olleesta Nokian romahduksesta matkapuhelinmarkkinoilla. Elektroniikan lukijoiden kokonaismäärän pudotus heijastuu myös laitesuunnittelun kannalta oleellisen tärkeää sähkömagneettista yhteensopivuutta käsittelevän opintojakson (ELE-3150/ELT-22110) opiskelijamääriin, joskin suhteellisesti vähäisempänä. Sen sijaan tietokoneavusteisen suunnittelun opintojaksolla (ELE-3050/ELT-21150) ei pidemmällä aikavälillä selkeästi pienenevää tai kasvavaa trendiä ole havaittavissa. Myös näiden muutoslukujen valossa mainitut opintojaksot ovat mielenkiintoinen kohde kun tarkastellaan mm. opetussisältöjen tarpeellisuutta työelämän näkökulmasta.



KUVA 2. Kehityshankkeessa tarkasteltaville opintojaksoille ilmoittautuneiden opiskelijoiden lukumäärät viiden lukuvuoden ajalta. Kuvaan on merkitty myös, onko opintojakso pakollinen (P) vai valinnainen (V) elektroniikan aine- tai syventävissä opinnoissa. Katkoviivat kuvaavat opintojakson pakollisuudessa tapahtuneiden muutosten ajankohdtaa.

3 MUUTOSTARPEIDEN KARTOITUS

TTY:n Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitoksen järjestämien laitesuunnitteluun liittyvien opintojaksojen työelämävastaavuutta ja muutostarpeita kartoitettiin kyselyn ja haastattelujen avulla. Kyselytutkimus on tehokas keino kattavan aineiston saamiseksi, mikäli se saadaan kohdennettua tarpeeksi suurelle joukolle ja vastausprosentti on riittävän suuri. Koska kehittämishankkeen toteutusaikataulu muodostui lopulta suhteellisen kireäksi ja lisäksi odotettavissa oli että kyselyn kohdentaminen onnistuisi suhteellisen pienelle joukolle, otettiin mukaan myös haastattelututkimuksen keinot. Seuraavassa annetaan lyhyt kuvaus elektroniikan opintokokonaisuuksista ja tarkasteltavien opintojaksojen sijoittumisesta niihin. Opintojaksojen esittelyn jälkeen selostetaan kyselyn ja haastattelujen toteutustapa. Toteutusta varten kyselyyn ja haastatteluun valikoituneille lähetetty materiaali löytyy kokonaisuudessaan liitteistä 1-5.

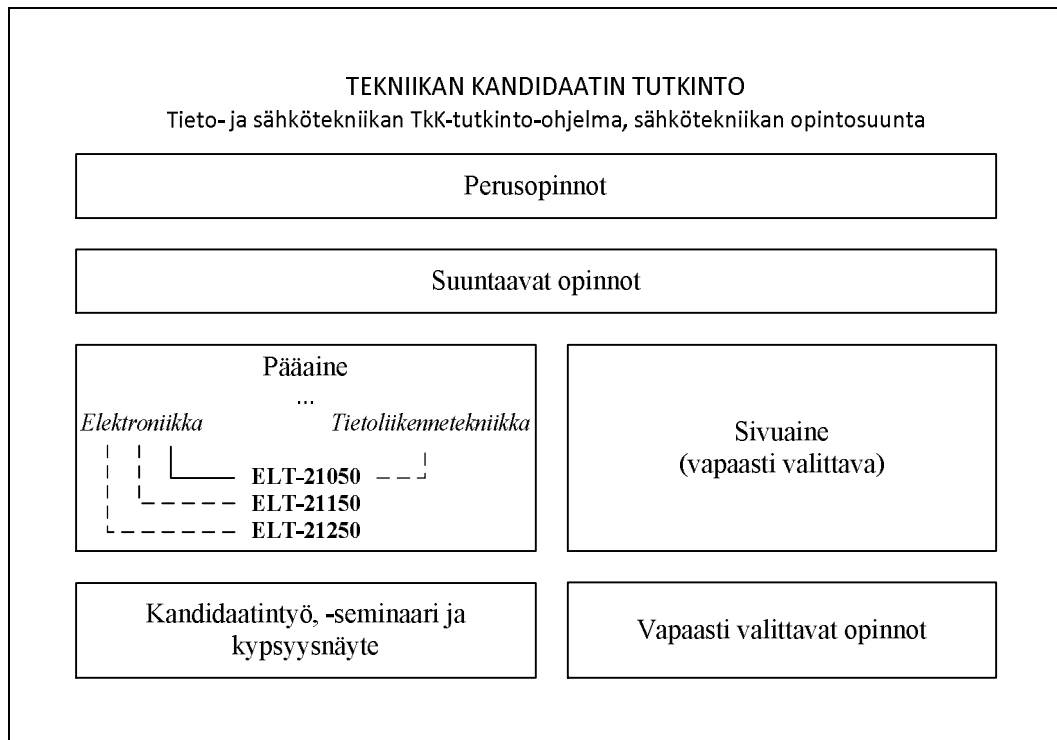
3.1 Elektroniikan opetus – TTY/ELT

Laitoksella on kolme elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvää, joko aine- tai syventävää opintokokonaisuutta: *Elektroniikan perusteet*, *Elektroniikka* ja *Sulautetut järjestelmät*. Näistä elektroniikan perusteiden aineopinnot on tarkoitettu muille kuin sähkötekniikan opiskelijoille ja se voidaan suorittaa vain tekniikan kandidaatin tutkinnon sivuaineena. Tekniikan kandidaatin tutkintoon sisällytettäviä elektroniikan aineopintoja voi jatkaa diplomi-insinöörin tutkintoon sisällytettävillä elektroniikan tai sulautettujen järjestelmien syventävillä opinnoilla. Näiden lisäksi *Tietoliikennetekniikan* aineopintokokonaisuuteen on mahdollista sisällyttää yksi tässä hankkeessa tarkasteltavista opintojaksoista. (TTY Opinto-opas 1 2013-2014, 60-65, 85-87)

3.1.1 Sähkötekniikan aine- ja syventävien opintojen opintokokonaisuudet

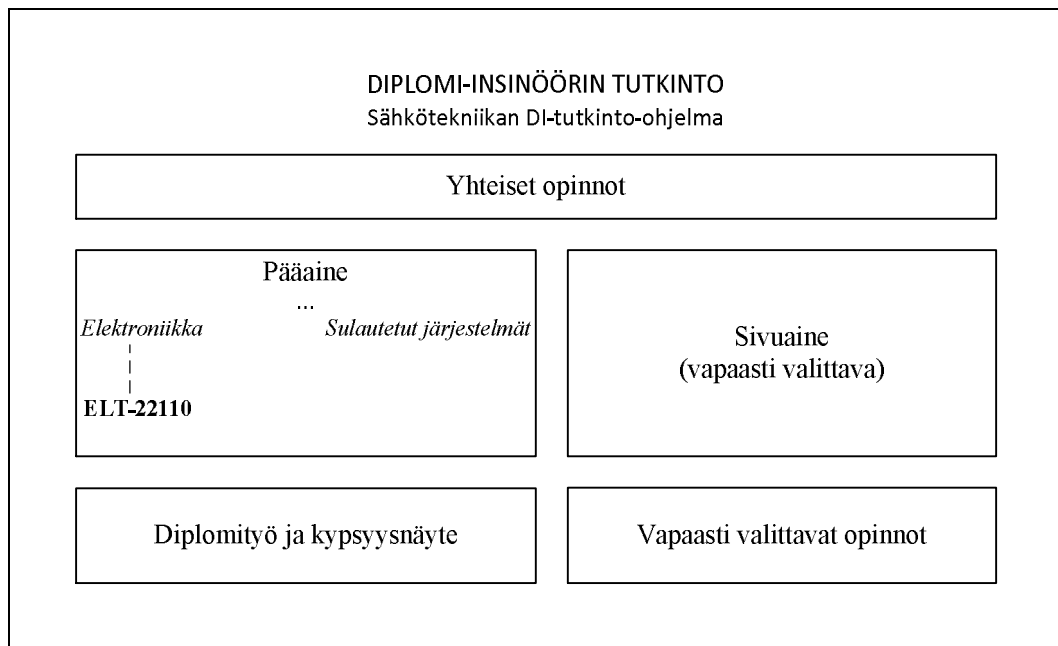
Kuvassa 3 on esitetty tekniikan kandidaatin tutkinnon rakenne, johon on merkitty kehittämishankkeeseen liittyvien aineopintojen sekä tarkasteltavien opintojaksojen sijoittuminen. Elektroniikan aineopintojen opintokokonaisuus antaa valmiudet elektroniikan syventäviin opintoihin – opiskelija hallitsee elektroniikan peruskäsitteistön, osaa määrittellä elektroniikkajärjestelmän eri osat ja analysoida niiden toimintaa, tietää peruskom-

ponenttien keskeisimmät ominaisuudet, osaa käyttää peruskomponentteja ja niistä koostuvia peruskytkentöjä piirien suunnittelussa, sekä osaa toimia laboratoriossa ja käyttää elektroniikan perusohjelmistoja ja -mittalaitteita. (TTY Opinto-opas 1 2013-2014, 62, 121)



KUVA 3. Tarkasteltavien opintojaksojen sijoittuminen tieto- ja sähkötekniikan tekniikan kandidaatin tutkinnossa pääaineopintoihin. Yhtenäisellä viivalla kuvataan opintojakson pakollisuutta ja katkoviivalla valinnaisuutta. Sekä elektroniikan että tietoliikemetekniikan aineopintokokonaisuuden voi valita myös sivuaineeksi.

Kuvassa 4 on esitetty diplomi-insinöörin tutkinnon rakenne, johon on merkitty kehittämishankkeeseen liittyvien elektroniikan ja sulautettujen järjestelmien syventävien opintojen opintokokonaisuuden sekä yhden tarkasteltavan opintojakson sijoittuminen. Sulautettujen järjestelmien syventävien opintojen opintokokonaisuus liittyy tarkasteltaviin opintojaksoihin ainoastaan suositeltavana esitietona olevan elektroniikan aineopintojen kautta. Elektroniikan syventävien opintojen opintokokonaisuutta voidaan painottaa laitesuunnitteluun, elektroniikan uusiin materiaaleihin ja valmistustekniikoihin tai suurtaajuustekniikkaan. ”Laitesuunnitteluun suuntautuessaan opiskelija osaa opintokokonaisuuden suoritettuaan suunnitella elektronisia piirejä ja laitteita, ja selittää niiden toiminnan. Opiskelija osaa toimia asiantuntijana elektroniikan laitekehitysprojekteissa.” (TTY Opinto-opas 1 2013-2014, 87, 163)



KUVA 4. Tarkasteltavien opintojaksosten sijoittuminen sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinnossa pääaineopintoihin. Katkoviivalla kuvataan opintojakson valinnaisuutta. Elektroniikan syventävän tai aineopintokokonaisuuden voi valita myös sivuaineeksi.

3.1.2 Tarkasteltavat opintojaksot

Tarkastelukohteiksi valikoitui neljä opintojaksoa joiden vastuullisena opettajana olen toiminut useita vuosia. Näistä kolme kuulu tekniikan kandidaatin tutkintoon ja yksi diplomi-insinöörin tutkintoon kuvien 3 ja 4 mukaisesti. Opintojaksosten aihepiirit – transistorivahvistimet ja operaatiovahvistinkytkennät, simulointi ja piirilevysuunnittelu (piirisimulaattorit ja suunnitteluohjelmistot) sekä sähkömagneettinen yhteensopivuus – liittyvät keskeisesti elektroniikan laitesuunnitteluun.

ELT-21050 Transistorivahvistimet – 3. vuoden opiskelijoille suunnatulla opintojaksolla perehdytään bipolaari- ja kanavatransistoreista muodostettujen piirirakenteiden toimintaan, suunnitteluun ja analysointiin. Opintojakso kuuluu TTY:n Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa pakollisena elektroniikan aineopintoihin ja valinnaisena tietoliikennetekniikan aineopintoihin sekä Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Olen toiminut opintojakson vastuhenkilönä (luennot ja ajoittain harjoitukset) 10 vuotta, jonka aikana opintojakson runko on pysynyt samana – pois lukien pari asiakokonaisuutta jotka on siirretty muihin

opintojaksoihin. Lisäksi harjoituksia on viety jonkin verran käytännönläheisempään suuntaan, eli osassa tehtävistä analysoitava kytkentä myös toteutetaan ja mitataan.

ELT-21150 CAE Elektronikassa – 2. vuoden opiskelijoille suunnatulla opintojaksolla perehdytään tietokoneavusteisen elektroniikkasuunnittelun (CAE, Computer Aided Engineering) välineisiin. Opintojakso kuuluu TTY:n Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan aineopintoihin ja Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Olen toiminut opintojakson vastuuhenkilönä (luennot ja suurin osa harjoituksista) 14 vuotta, jonka aikana opintojakson runko on pysynyt lähes samana. Yksi asiakokonaisuus on poistettu, koska siihen liittyvä tutkimus loppui laitokselta. Lisäksi harjoituksia on lisätty vuosien mittaan ja tentti poistettu suoritusvaatimuksista. Harjoituksissa käytetyt ohjelmistot päivitetään lähes vuosittain.

ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkennät – 3. vuoden opiskelijoille suunnatulla opintojaksolla perehdytään operaatiovahvistimiin ja analogiaelektroniikan muihin keskeisiin integroituihin piireihin, kuten kytkin-, oskillaattori- ja ajastinpiireihin. Opintojakso kuuluu TTY:n Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan aineopintoihin sekä Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Olen toiminut opintojakson vastuuhenkilönä (luennot ja ajoittain harjoitukset) 5 vuotta, jonka aikana opintojakson runko on pysynyt samana – pois lukien yksi asiakokonaisuus joka on siirretty toiseen opintojaksoon. Lisäksi harjoituksia on viety jonkin verran käytännönläheisempään suuntaan, eli osassa tehtävistä analysoitava kytkentä toteutetaan ja mitataan.

ELT-22110 EMC-suunnittelu – 4. vuosikurssin opiskelijoille suunnatulla opintojaksolla perehdytään laitesuunnittelun kannalta oleellisiin EMC-ongelmiin (EMC, Electromagnetic Compatibility) ja eri keinoihin niiden minimoimiseksi. Lisäksi käydään pääpiirteissään läpi vaatimuksia, mitä laitteen tulee määräysten mukaan täyttää. Opintojakso kuuluu TTY:n Sähkötekniikan DI-tutkinto-ohjelmassa valinnaisena elektroniikan syventäviin opintoihin ja sen suorittaminen on suositeltavaa elektroniikan laitesuunnitteluun tai suurtaajuustekniikkaan suuntauduttaessa. Olen toiminut opintojakson vastuuhenkilönä (luennot) 5 vuotta, jonka aikana opintojakson runko ja sisältö on pysynyt samana.

3.2 Kysely

Kyselyn kohdentamisen lähtökohtana oli vuosien varrella kertynyt tieto opintojaksoja suorittaneista opiskelijoista. Suoritusten ja mahdollisen tutkinnon valmistumisen jälkeisestä työurasta ei muutamaa opiskelijaa lukuun ottamatta ollut mitään tietoa, joten yhteystiedot täytyi selvittää muuta kautta. Avuksi otettiin sosiaalinen media – tarkemmin sanottuna LinkedIn – ja sen henkilöhakutoiminto (LinkedIn). Hakutulosten kautta löytyneiden, julkisissa profiileissa olleiden koulutustaustaa, työpaikkaa ja työtehtäviä koskevien tietojen perusteella yhteydenottoa varten valikoitui kaikkiaan 32 henkilöä. Työpaikkatiedon perusteella kyselyn lähettäminen onnistui sähköpostilla kaiken kaikkiaan 28 henkilölle, jotka työskentelivät 18 eri yrityksessä.

Tarkasteltavia opintojaksoja osana tutkintoaan suorittaneita opiskelijoita pyydettiin vastaamaan kyselyyn liitteestä 1 löytyvän sähköpostiviestin välityksellä. Liitetiedostona lähetetty kyselymateriaali (saatekirje, tarkasteltavien opintojaksojen kuvaus, osaamistavoitteet ja opetussisältö sekä vastauslomake) löytyy liitteestä 2. Kyselyn tavoitteena oli selvittää kuinka hyödyllisiksi suoritettujen opintojaksot oli koettu – kuinka hyvin opintojaksojen opetussisältö, osaamistavoitteet ja opetusmenetelmät ovat vastanneet työelämässä vastaan tulleita tarpeita. Koska opintojakson suorittamisesta on kulunut mahdollisesti useitakin vuosia, muistin virkistämiseksi kyselymateriaalin mukana toimitettiin mm. kuvaus opintojaksojen opetussisällöstä. Vastausten tulkintaa ja analysointia varten kyselyssä pyydettiin tietoja myös vastaajan koulutustaustasta, nykyisistä työtehtävistä sekä elektroniikkasuunnitteluun liittyvästä työhistoriasta. Vastaamista varten laadittu lomake (Liite 3) toimitettiin kolmena eri tiedostomuotona – Rich Text Format (.rtf), Word Document (.docx) ja OpenDocument Text (.odt). Tämän tarkoituksena oli varmistaa että jokainen löytäisi käytettävissä oleviin työkaluihin parhaiten sopivan pohjan eikä vastaaminen estyisi ainakaan tästä syystä.

3.3 Haastattelut

Haastateltaviksi etsittiin elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien tehtävien parissa jo pitemmän työkokemuksen hankkineita henkilöitä. Etsinnän lähtökohtana oli vuosien varrella opiskeluaikana ja valmistumisen jälkeen eri työtehtävissä kertyneet yrityskon-

taktit. Haastattelumahdollisuutta tiedusteltiin kaikkiaan 16 henkilöltä. Haastattelupyynnö ja siihen liittyvä materiaali lähetettiin lopulta yhdeksälle henkilölle joista kuuden kanssa sovittiin haastattelu-aika. Lisäksi kaksi kiireiden vuoksi estynyttä haastattelutilannetta korvattiin haastattelupyynnössä esitettyihin kysymyksiin annetulla kirjallisella vastuksella.

Sähköpostilla lähetetty haastattelupyynnö löytyy liitteestä 4 ja sen liitetiedostona ollut saatekirje liitteestä 5 (saatekirjeen mukana lähetetyt tarkasteltavien opintojaksojen kuvaus, osaamistavoitteet ja opetussisältö löytyvät liitteestä 2). Kyselyn tavoitteena oli selvittää kuinka hyvin elektroniikkateollisuudessa kokemuksensa hankkineet suunnittelijat näkevät opintojaksojen opetussisällön, osaamistavoitteiden ja opetusmenetelmien vastaavan työelämässä vaadittavia tietoja ja taitoja. Vastausten tulkintaa ja analysointia varten pyydettiin tietoja myös haastateltavan koulutustaustasta, nykyisistä työtehtävistä sekä elektroniikkasuunnitteluun liittyvästä työhistoriasta. Haastattelussa esitetyt kysymykset olivat pitkälti samansisältöisiä kuin kyselylomakkeessa, joten haastattelupyynnön yhteydessä toimitettiin sama opintojaksoja kuvaava materiaali. Lisäksi tiedusteltiin mielipidettä opintojakson pakollisuuteen/valinnaisuuteen – onko opintojakson nykyinen pakollisuus perusteltua vai tulisiko opintojakson olla valinnainen ja päinvastaisessa tilanteessa toisin päin. Haastattelutilanteissa annettiin lisäksi mahdollisuus tutustua opetusmateriaaliin (mm. luentokalvot, harjoitustehtävät ja harjoitustyömateriaali) tarkemmin.

4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kyselyyn tuli loppujen lopuksi yksitoista vastausta joissa arvioitiin vähintään kahden opintojakson työelämävastaavuutta ja yksi vastaus jossa kerrottiin kyselylomakkeen jääneen ajanpuutteen vuoksi täyttämättä mutta sen lisäksi arvioitiin joidenkin tarkasteltavilla opintojaksoilla käsiteltävien asioiden merkityksen korostuvan tulevaisuudessa. Näiden lisäksi neljässä tapauksessa vastaamisen todettiin jäävän väliin toisaalta kiireiden takia ja toisaalta koska omat tehtävät ovat melko kaukana elektroniikkasuunnittelijan tehtävistä eikä kyselyyn ollut oikein mitään annettavaa. Kyselyyn vastanneet olivat koulutukseltaan diplomi-insinöörejä tai tekniikan kandidaatteja ja työskentelivät elektroniikan suunnittelu- ja testaustehtävissä – osa radiotaajuisten (RF) piirien ja laitteiden parissa – joissa hankittu työkokemus vaihteli 2 viikosta 5 vuoteen (keskimäärin noin 2,5 vuotta). Nykyisissä ja aikaisemmissa elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvissä työtehtävissä työkokemusta oli kertynyt kaikkiaan 2-10 vuotta (keskimäärin 4,5 vuotta). (Kyselyn vastaukset 2014)

Haastattelut suoritettiin 14.04.-25.04.2014 välisenä aikana joko haastatettavan työpaikalla tai TTY:llä. Haastateltavan suostumuksella keskustelu tallennettiin äänitiedostoksi. Tallenteita kertyi kaikkiaan lähes 7 tuntia, minkä lisäksi yhdestä noin tunnin mittaisesta haastattelusta tehtiin tallennusvälineen puuttuessa pelkät muistiinpanot. Haastattelut olivat koulutukseltaan insinöörejä tai diplomi-insinöörejä. Heistä seitsemällä oli vankka kokemus elektroniikan tuotekehitystehtävistä (mm. järjestelmä-, ohjelmisto-, piiri- ja piirilevy-suunnittelu) – tosin osalla nykyiset tehtävät liittyivät pääosin muuhun kuin itse laitesuunnitteluun – ja yhdellä radioteknologioiden tutkimus- ja standardointitehtävistä. Tämän lisäksi kahdella haastateltavista oli myös ennen teollisuuteen siirtymistä hankittua opetuskokemusta. Edellä mainittuihin tehtäviin liittyville työurille oli kertynyt pituutta 4-34 vuotta, keskimäärin noin 14 vuotta. (Haastattelut 2014)

4.1 Kyselyn ja haastattelujen anti sekä esille nousseet muutostarpeet

4.1.1 ELT-21050 Transistorivahvistimet

Yleisesti ottaen tänä päivänä tehtävässä piensignaalelektronikan suunnittelutyössä on hyvin vähän tarvetta suunnitella transistorikytkentöjä – yleensä signaalit muunnetaan digitaaliseen muotoon hyvin aikaisessa vaiheessa ja signaalien muokkaus tehdään ohjelmallisesti. Laitesuunnittelussa pyritään käyttämään mahdollisimman pitkälle valmiita komponentteja, joten mm. ASIC-suunnittelijoita (ASIC, Application Specific Integrated Circuit) ja analogiakomponenttien suunnittelijoita lukuun ottamatta analogiaosaamisen tarve on vähenemään päin. Opintojaksoon liittyviin kyselyn kysymyksiin vastanneiden (11 kpl) mielestä perusasioiden hallitseminen on tärkeää, vaikka ei toimisikaan itse analogiaelektronikan suunnittelutehtävissä – esimerkiksi komponenttien toimintaperiaatteen ymmärtäminen on oleellista myös testauksen parissa työskenneltäessä. Myös haastatteluissa kaikki opintojaksoa kommentoineet (5 kpl) näkivät vähintään aihepiirin perustietämyksen tarpeelliseksi. – ymmärrys piiritason asioista auttaa varmasti monenlaisissa tehtävissä, jotka edellyttävät kommunikointia piirisuunnittelijoiden kanssa. Analogiaelektronikan suunnittelun parissa työskentelevät pitivät aihepiirin hallintaa puolestaan välttämättömänä. Haastateltujen analogiasuunnittelijoiden tehtävät liittyivät laitteistoihin joilta vaaditaan luotettavuutta ja robustisuutta, joten niiden suunnittelussa tarvittavan aihepiirin hallinnan ei nähty muuttuvan oleellisesti tulevaisuudessakaan. Muiden haastateltujen näkemyksen mukaan transistoriasteita tarvitaankin lähinnä RF-tekniikassa ja teholähdesuunnittelussa, joista jälkimmäisessä MOSFET- (Metal.Oxide-Semiconductor Field-effect Transistor) ja IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) -kytkennät ovat keskeisessä asemassa. Muissa kuin piiri- ja piirilevysuunnittelutehtävissä toimivat kokivat piensignaalmallien merkityksen vähemmän tärkeäksi. Myös osa kyseisissä tehtävissä toimivista totesi, ettei piensignaalmallin opettelusta ole käytännön työssä ollut hyötyä. Tässä yhteydessä mainittiin että käytännön suunnittelutyö tehdään käsin laskemisen sijaan lähes poikkeuksetta piirisimulaattorilla. Omasta mielestäni tämä tieto on erityisen hyödyllinen opetuksen suunnittelun kannalta. Se ei suinkaan poista piensignaalmallin tarpeellisuutta opetussisällön yhtenä osa-alueena – simulointimallit kun perustuvat piensignaalmalleihin – mutta tarjoaa perustellun syyn hieman muuttaa näkökulmaa josta katsoen asiaa opintojaksolla käsitellään. Transistorin toimiminen kytkenä nostettiin esiin yhtenä nykysuunnittelun kannalta tärkeimmistä aiheista sekä

yhdessä kyselyn vastauksessa että haastatteluissa. Erityisesti suurivirtaisissa ja nopeita kytkentätapahtumia sisältävissä sovelluksissa tämä on tarpeellista tietoa mm. kytkentä- ja staattisten häviöiden minimoimiseksi.

Myös osaamistavoitteita ja niiden mahdollisia muutostarpeita arvioitaessa sekä kyselyn vastauksissa että haastatteluissa esiin nousi simulointien ja simulointimallien merkityksen lisääntyminen. Käytännön suunnittelussa käsin tarvitsee laskea ainoastaan toimintapiste, jos sitäkään. Yhden haastatellun mielestä piensignaalin painotusta voisi pienentää ja tarkastella enemmän simulointimallien tarkkuuden vaikutusta – millainen ero simulointitulosten ja reaalimaailman välillä on? Toisen haastatellun näkemyksen mukaan virtojen kulkureittien ja jännitteiden suuruusluokkien hahmotus on oleellisen tärkeää ja siihen harjaantuu parhaiten kytkentöjä itse tekemällä. Tähän liittyen erityisesti osaamistavoite ”Opintojakson suoritettuaan opiskelija osaa piirtää opintojaksolla käsiteltyjen vahvistinkytkentöjen piensignaalin mallin, muodostaa tarvittavat virta- ja jänniteyhdytöt ja ratkaista niiden avulla virta-, jännite- ja tehovahvistuksen sekä sisäänmeno- ja ulostuloresistanssin lausekkeet” oli jäänyt onnistuneena esimerkkinä mieleen. Opintojakson suorittaneet toivoivat esimerkkejä transistorikytkentöjen sovelluksista keventämään teorian kahlauksesta ajoittain aiheutuvaa puutumusta ja motivoimaan teoreettisten asioiden tunnolliseen opetteluun. Opintojakson todettiin sisältävän paljon asiakokonaisuuksia ja niihin liittyviä osaamistavoitteita, vaikka toisaalta aihealuetta voisi käsitellä laajemminkin. Esimerkkinä useasti vastaan tulevista tehtävistä (muidenkin kuin RF-piirien suunnittelussa) mainittiin kuorman ja lähteen sovittaminen (jännite-, virta- ja tehosovitus). Yhdessä kyselyn vastauksessa osaamistavoitteisiin ehdotettiin sellaista muutosta että piensignaalin ja sen käyttökohteiden sijaan opiskelijan tulisi osata kertoa mikä on transistori ja mihin sitä voidaan käyttää. Tässä yhteydessä on kuitenkin hyvä muistaa että transistorin perusteet kuuluvat opintojakson esitietovaatimukseen. Yhden haastatellun näkemyksen mukaan suunnittelijan työssä pitäisi osata myös arvioida, miten komponentti/kytkentä/laite mahdollisesti käyttäytyy normaalin toiminta-alueen ulkopuolella, jotta ei-toivotun toiminnan syihin pääsisi käsiksi. Tällöin suunnittelijalla tulisi olla yksityiskohtaisempaa tietoa komponenttien käyttäytymisestä – pitäisi ymmärtää mitä esim. transistorin syvä saturaatio tarkoittaa ja että kyseisestä tilasta palaaminen ei tapahdu noin vain. Mainittu esimerkki ei kuitenkaan kuulune peruselektronikka-suunnittelijalta vaadittaviin tietoihin – työ opettaa. Edellä mainittuja painotusmuutoksia lukuun ottamatta osaamistavoitteiden nähtiin olevan kunnossa.

Sekä kyselyn että haastattelujen perusteella suoritustapa ja suoritusvaatimukset tukevat osaamistavoitteiden saavuttamista. Porkkanapistejärjestelmä koettiin motivoivaksi ja itseopiskeluun kannustavaksi tekijäksi. Yhdessä haastattelussa kuitenkin varoitettiin arvosanan korottamismahdollisuuden ylikorostamista – työnantajat ovat äärimmäisen harvoin kiinnostuneita opintojaksojen arvosanoista (tai tutkinnon kokonaisarvosanasta), sillä aikaisempi työkokemus merkitsee enemmän. Haastateltavan mielestä jo elektronikan opintojaksojen aiheet ovat aikanaan olleet riittävän mielenkiintoisia jotta motivaatio työn tekemiseen on löytynyt vaikeuksista. Suoritustavan kehitysehdotuksina kyselyn vastauksissa mainittiin vapaaehtoisen rakennus- ja mittausprojektin (harjoitustyö) lisääminen suoritustapaa täydentäväksi osaksi ja simulointiohjelmien käytön lisääminen. Harjoitusten osaksi jo otettu kytkentöjen rakentelu ja toiminnan tutkiminen mittaamalla todettiin erinomaiseksi kehitykseksi. Yliopistotason opetuksessa tulee kuitenkin pitää mielessä myös teoreettinen lähestymistapa. Opintojakson suorittaneet kokivat tentin riittävän vaativaksi, jolloin sen läpäisy osoittaa aihealueen riittävää hallintaa. Kahdessa haastattelussa kiinnitettiin huomiota kunkin luentokerran lopussa olevaan palautejaksoon, joka nähtiin erittäin hyödylliseksi.

Kyselyn vastausten perusteella opintojaksolla läpi käydyistä asioista hyödyllisimmiksi koettiin kytkentöjen tehohäviöt, komponenttien epäideaalisuudet, toleranssit, vahvistimien käytännön esimerkit, mitoitus ja simulointi, peruskytkennät ja niiden tunnistaminen, vahvistimien lohkotason esitys, takaisinkytkentä, taajuuskäyttäytyminen ja stabiiliisuus. Haastatteluissa mainittiin lisäksi transistori kytkimenä, differentiaalivahvistin ja piensignaalmalli (komponenttien simulointimallien osalta on edelleen oleellista ymmärtää piensignaalmallin perusidea ja merkitys). Differentiaalisten kytkentöjen ja virtamuotoisten signaalien merkitys tuotiin korostuneesti esiin häiriöllisessä ympäristössä toimivien analogisten laitteiden suunnittelussa. Kyselyn vastauksissa toivottiin lisää käytännön sovelluksia, samoin kuin esimerkkejä tietyn kytkennän valintaperusteista eri sovelluskohteisiin ja yleisesti ottaen opettujien asioiden käytöstä tosielämässä.

Ylivoimaisesti vähiten hyötyä vastaajat näkivät olevan piensignaalmalleista ja nimenomaan niiden analysoinnista kynä-paperi -menetelmällä. Myös virtapeilikytkennät ja Bode-diagrammi (stabiilisuus) mainittiin yksittäisissä kyselyn vastauksissa ja kahdessa haastattelussa (Bode-diagrammi muodostetaan yleensä simuloimalla tai mittaamalla, käsin väännettävän piirianalyysin kautta sitä ei kukaan enää tee). Näitä asioita ei kuitenkaan koettu tarpeettomiksi – ainoastaan painotusta voisi pienentää.

Opintojakson sisältöön lisättäväksi toivottuina asioina kyselyn vastauksissa mainittiin pienet itsenäisesti tehtävät laboratoriomittaustehtävät tai harjoitustyö sekä komponenttivalintojen merkitys massatuotantolaitteiden suunnittelussa. Toisaalta tunnistettiin rajalliset aika- ja henkilöresurssit ja liiallisen sisällön ahmimisen sijaan toivottiin riittävän ajan varaamista yksittäisten asioiden läpikäymiseen. Haastatteluissa mainittuja asioita olivat transistorin kytkimenä toimiminen (myös itse kytkentätapahtuman ymmärtäminen), simulointien painoarvon kasvattaminen (ilmaisen LTSpice-ohjelmiston hyödyntäminen), ja lyhyen ”Miten elektroniikka on saanut alkunsa?” -asiakokonaisuuden lisääminen (miten asiat tehtiin esim. ennen transistoria ja kuinka vaikeaa se on silloin ollut?).

Haastateltujen näkemys opintojakson pakollisuudesta voidaan kiteyttää seuraavaan kommenttiin: ”Elektroniikan lukijoille ehdottomasti pakollinen, jo laitoksen maineenkin kannalta.”

4.1.2 ELT-21150 CAE elektroniikassa

Tämän opintojakson osalta kyselyn kysymyksiin tuli 8 vastausta. Vastaaajista 7 oli suorittanut opintojakson. Haastatelluista 5 esitti nimenomaan tähän opintojaksoon liittyviä kommentteja. Sekä kyselyn vastauksissa että haastatteluissa opintojakson aihepiirin hallinta nähtiin poikkeuksetta erittäin tarpeellisena koska suunnitteluohjelmistot ovat nykypäivänä erittäin suuressa roolissa – myös muissa kuin päätoimisissa suunnittelutehtävissä CAE-ohjelmistojen käyttötaito, simulointien ja piirilevysuunnittelun perusteet, sekä kyky ohjelmistoista saatavien dokumenttien lukemiseen ja tiedostojen hyödyntämiseen on usein välttämätöntä. Tämä tuli osittain esille jo edellä tarkastellusta opintojaksosta saadussa palautteessa. Yhdessä haastattelussa mainittiin myös komponenttikirjastojen tärkeä asema. Eräs sulautettujen järjestelmien ohjelmistosuunnittelun parissa työskentelevä haastateltu totesi haluavansa tehdä myös piirilevysuunnittelua ainakin prototyypivaiheeseen saakka (tyypillisesti muutaman levyn sarjoja), jotta kokonaisuuden toimivuus saadaan todennettua. Verolevyille kasattava proto kun ei monestikaan ole toimiva ratkaisu. Suomessa tällainen käytäntö voi vielä hyvinkin onnistua, mutta suuressa maailmassa on usein turha esittää että ohjelmiston/arkkitehtuurin suunnittelija suunnittelisi myös laitteen prototyypin piirilevyn – sitä varten on oma osasto. Piirilevyn

suunnittelutaito on haastateltavan mielestä erittäin hyödyllinen eikä se kontrollerikyt-kentöjen osalta ole edes vaikeaa – taajuudet eivät ole hirveän korkeita ja esim. nykyisin ei tarvita enää kovin leveitä väyliäkään (toisin kuin vielä 90-luvun lopussa) koska tiedonsiirto hoidetaan sarjamuotoisesti. Ainakaan pienemmissä yrityksissä ei siis voida aina tehdä jakoa ohjelmistosuunnittelijoihin ja piirilevysuunnittelijoihin.

Kyselyyn vastanneet totesivat osaamistavoitteiden olevan kohdallaan. Harjoituksissa käsiteltävät esimerkkikyt-kennät tulee erään vastauksen mukaan pitää tarpeeksi yksinkertaisina jotta päähuomio voidaan kohdistaa ohjelmistojen ominaisuuksiin tutustumiseen. Tässä yhteydessä muistutettiin elektroniikkasuunnittelun ja mekaniikkasuunnittelun välisestä riippuvuussuhteesta ja toivottiin osaamistavoitteisiin lisättäväksi yksinkertaisen layout-suunnittelun muuntaminen 3D-malliksi käyttäen valmiiksi luotuja komponenttien 3D-malleja. Dokumentoinnin hallinnan merkitystä – erityisesti suurissa yrityksissä – korostettiin kahdessa vastauksessa. Suuremmissa yrityksissä työskentelevät lisäksi painottivat opintojaksolla käytössä olevien, oman alansa EDA (Electronic Design Automation) -ohjelmistomarkkinoita hallitsevien ohjelmistojen, kuten ADS ja PADS käyttötaidon tärkeyttä. Tähän kysymykseen saaduissa vastauksissa näkyivät vahvasti omien käyttökokemusten kautta muodostuneet mielipiteet ja niiden erot – yksi vanhoi PADS:in, toinen taas Altium Designer:in nimeen. Tähän liittyen oman opettajaurani alkutaipaleelta muistuu mieleen erään opiskelijan kommentti, jonka mukaan hän ei ”suostu koskemaan PADS:iin pitkällä tikullakaan.” Elektroniikkasuunnittelun Spice-pohjaisista simulaattoreista opintojaksolla tutustutaan OrCAD PSpice-ohjelmistoon, koska sitä käytetään myös muilla ELT-laitoksen opintojaksoilla. Tämä on kyselyyn vastanneiden mielestä perusteltua, joskin muista vastaavista ohjelmistoista yhdessä vastauksessa esille tuotiin LTSpice.

Vaikka aihepiirin hallinta nähtiin myös haastatteluissa erittäin tarpeellisena, yhdessä haastattelussa kyseenalaistettiin itse tarkasteltavan opintojakson hyödyllisyys osin siinä käytettyjen työkalujen takia. Simulointiohjelmisto OrCAD PSpice nähtiin työelämässä harvinaisuutena – sen sijaan kyselyn vastauksissa jo mainittu LTSpice on hyvin yleinen muidenkin haastateltujen mukaan. Piirilevysuunnittelussa PADS ja Altium todettiin myös työelämässä käytetyiksi ohjelmistoiksi. Näiden lisäksi toisessa haastattelussa mainittiin ilmaisiohjelmisto EAGLE, joka kehittymisensä myötä soveltuu jo kohtalaisen hyvin käytännön suunnitteluun. Myös RF-suunnitteluohjelmisto ADS koettiin ensin mainitussa haastattelussa vähemmän tunnetuksi tuttavuudeksi – sen sijaan mainittiin

Anslys. Samaisessa haastattelussa kritiikkiä esitettiin myös osaamistavoitteiden suhteen – simulointi- ja piirilevysuunnitteluohjelmistojen monipuolisen käytön osaaminen ei voi toteutua opintojakson puitteissa. Oleellisempaan tavoitteena nähtiin ohjelmistojen keskeisten ominaisuuksien hahmottaminen. Yhden haastatellun mielestä yleiskäyttöisten ja suunnittelukäytäntöjen mukaisten footprint-mallien sekä komponenttien luominen ovat tärkeitä asioita osata, samoin kuin komponenttien oikeaoppinen sijoittelu jolloin reititys saadaan optimoitua (tämän oppii loppujen lopuksi vasta käytännön työssä, mutta asia kannattaa opintojaksolla ottaa puheeksi). Riippuen suunniteltavasta laitteesta, reititys on nykypäivänä ehkä hieman helpompaa kuin joitakin vuosia sitten – integroinnin seurauksena tarvitaan pienempi määrä komponentteja ja komponenttien välinen signaalimäärä on myös pienentynyt (siirtyminen rinnakkaisväylystä sarjaväyliin). Tältä osin opintojakson ja sen harjoituksissa käsiteltävien yksinkertaisten kytkentöjen nähtiin vastaavan nykypäivän piirilevysuunnittelua. Eräs haastatelluista korosti vielä, että suunnitteluohjelmistoihin määritettävät suunnittelusäännöt (esim. eristevälit, johdinleveydet, yms.) ovat käytännön suunnittelussa erittäin tärkeitä, joten sääntöjen asettaminen ja niiden rikkomisesta aiheutuvien ohjelmiston ilmoittamien suunnitteluvirheiden tulkinta ja korjaaminen ovat hyödyllisiä tietoja ja taitoja joita voisi käsitellä laajemminkin.

Suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset tukivat sekä kyselyyn vastanneiden että haastateltujen mielestä osaamistavoitteiden saavuttamista. Elektroniikan suunnitteluprojektin oleellisten osa-alueiden läpikäynti harjoitustyön muodossa antaa erään kyselyyn vastanneen mielestä tarpeeksi kokonaisvaltaisen näkemyksen aiheesta – myös muita osa-alueita sisältävän laitesuunnitteluprojektin yhteistyökuviot tulevat tutuiksi viimeistään työelämässä. Toisen vastaajan mielestä simulointiharjoittelua voisi olla nykyistä enemmänkin ja tämän lisäksi harjoitusta valmistustiedostojen tulostamista. Opiskelijoilla tulisi olla myös matalan kynnyksen mahdollisuus vaikuttaa harjoitusten työohjeiden kehitykseen ja parantamiseen. Yhden haastatellun mielestä tuntimäärät vaikuttivat hyvin pieniltä, varsinkin harjoitusten osalta.

Kyselyn vastausten perusteella opintojakson opetussisällön hyödyllisimmiksi asioiksi koettiin erityisesti elektroniikkaprojektin kulku sekä piirikaavio- ja piirilevysuunnitteluohjelmistojen (erityisesti PADS) käyttö – opintojakso on madaltanut kynnystä myös muiden vastaavanlaisten suunnitteluohjelmistojen käytön opetteluun. Jälkimmäisen aihepiirin osalta enemmän painotusta toivottiin layout-suunnitteluun, joka on piirilevyn toimivuuden ja mahdollisten ongelmien kannalta ratkaisevassa asemassa. Yhdessä vas-

tauksessa todettiin että nykyisin läpikäytävien suunnittelun perussääntöjen lisäksi voisi hahmottaa mm. eri maadoitusratkaisujen vaikutusta signaaleihin ja kohinaan. Aihepiiriin toivottiin myös lisättäväksi case-harjoitusta, jossa käytäisiin läpi monimutkaisempaan layout-suunnitelmaan sisällytettyjä virheitä ja ongelmakohtia sekä niiden korjausratkaisuja. Omasta mielestäni nämä ovat erityisen hyviä ehdotuksia, joiden toteutuksessa täytyy kuitenkin huomioida opintojakson laajuus ja kohderyhmä. Opetussisällön laajentaminen joltain osin ilman opintopistemäärän kasvattamista edellyttää sisällön supistamista joltain toiselta osin. Lisäksi opintojakso on suunnattu toisen vuosikurssin opiskelijoille, joten kovin syvälle menevä layout-suunnittelun opetus ei ole vielä tässä vaiheessa perusteltua – läheskään kaikki kun eivät suuntaudu laitesuunnitteluun. Yhdessä vastauksessa viitattiin Hyperlynx-ohjelmistoon ja toivottiin suurempaa painoarvoa myös nopeiden signaalien simulointiin, koska nopeiden väylien yleistyminen tuo mukanaan ongelmia. Haastatellut näkivät simuloinnin ja piirilevysuunnittelun hyödyllisimmiksi asioiksi. Yksi haastateltu mainitsi myös EMC-aihepiiriin. Hänen kokemusten mukaan PADS on kustannustensa vuoksi pienyritysten tavoittamattomissa – EAGLE sen sijaan on hyvin paljon käytetty. Tältä osin painotusta voisi siis hieman muuttaa. EAGLE:n suurimmaksi ongelmaksi nähtiin ”villit” komponenttikirjastot – julkisiin kirjastoihin komponenttimalleja tekevien kirjo on niin laaja (osaamistaso vaihtelee suuresti) että melkoinen osa komponenttimalleista on käyttökelvotonta. Tästä johtuen välillä turhan suuri työpanos on täytynyt kohdistaa nimenomaan kirjastojen luomiseen ja hallintaan. Toisen haastatellun tekemän tuoreen evaluoinnin perusteella PADS on jäänyt hieman jälkeen kehityksestä, mutta on edelleen kuitenkin hyvä pitää tarkasteltavalla opintojaksolla mukana. Ajantasaisten versioiden käyttöön tulee kiinnittää erityistä huomiota. Täytyy myös tiedostaa se mitä ohjelmistoja yleisesti teollisuudessa käytetään (tilanne elää koko ajan) eli mitä kannattaa opetella. Myös RF-suunnitteluohjelmiston kuuluminen opetussisältöön on perusteltua – analysointia voidaan tarvita myös ”ei-RF” laitteiden (piirilevy)suunnittelussa, sillä korkeita taajuuksia esiintyy nykyisin paljon myös digitaalilaitteissa. Erään haastateltavan työtehtävissä simuloinnit ovat tärkeä osa suunnittelua – ei ehkä niinkään kytkennän ”normaalin” toimivuuden selvittämisessä vaan nimenomaan sen mallintamisessa miten kytkentä selviää suurista häiriösignaaleista. Simulointimallien käyttökelpoisen toiminta-alueen yhteydessä opiskelijan tulisi saada ymmärrys myös siitä että malli ei kykene ennustamaan komponentin/kytkennän oikeaa toimintaa kyseisen alueen ulkopuolella.

Vähiten hyötyä koettiin kyselyn perusteella olleen RF-suunnitteluun liittyvistä asioista. Asiakokonaisuutta ei kuitenkaan koettu tarpeettomaksi – yhdessä vastauksessa ratkaisuksi ehdotettiin tämän sisällyttämistä RF-opintokokonaisuuteen. Yksi vastaajista totesi, että opintojaksolla ei ollut tapahtunut varsinaisesti mitään oppimista – erilaiset suunnitteluohjelmat kun olivat ennestään tuttuja. Kokemukseni perusteella opintojaksolle osallistuu myös yksittäisiä, ohjelmistojen käytön jo osaavia opiskelijoita, joille suurinta antia ovat opintopisteet. Haastatelluista yksi kyseenalaisti EMC-aihepiirin kuulumisen tarkasteltavaan opintojaksoon ja toinen totesi RF-suunnitteluun liittyvän asian omissa tehtävissään tarpeettomaksi. Muita vähemmän tärkeiksi koettuihin asioihin liittyviä kommentteja ei haastatteluissa tullut julki.

Opintojakson sisältöön lisättävinä asioina kyselyn vastauksissa mainittiin laitesuunnittelijan työssä tarvittava 3D-mallien muodostaminen ja yritysten dokumentointikäytäntöjen esittely. Yhdessä vastauksessa ehdotettiin tuotteen elinkaaren hallinnassa käytettyjen PLM-ohjelmistojen (Product Lifecycle Management) esittelyn lisäämistä dokumentointia käsittelevään aihepiiriin sisältöön. Ehdotusten listalla oli myös ADS-ohjelmiston korvaaminen AWR-ohjelmistolla (vastaajan näkemyksen mukaan jälkimmäisen käyttö on lisääntymässä kasvaneen monipuolisuuden ja edullisen hinnan takia). Käytännön harjoitustyön merkitystä oppimista edesauttavana tekijänä korostettiin jälleen – tässä tapauksessa jopa suunnitellun kytkennän toteutukseen ja mittauksiin saakka vietyinä.

Kahdessa haastattelussa sisältöön lisättäväksi kohteeksi esitettiin piirilevyn valmistusta varten tarvittavien valmistelujen ja dokumenttien tarkempi läpikäynti. Dokumentointi vie nykypäivänä enemmän ja enemmän aikaa. Tämä korostuu erityisesti tapauksessa jossa yhdellä ihmisellä on kokonaisvastuu jonkin osa-alueen suunnittelusta ja toteutuksesta. Yksi haastatelluista käytti ilmaisua ”Word-insinööri” kuvaamaan dokumentointiin tarvittavan työajan määrää ja myönsi että tämä tuli aikanaan uraansa aloittelevalle suunnittelijalle hieman yllätyksenä. Kaksi haastateltua totesi että valmistukseen liittyvästä dokumentoinnista saisi aikaiseksi oman kurssin – layoutin valmistelu piirilevyn valmistusta varten tarvittavien dokumenttien luomiseksi saattaa vaatia paljonkin työtä. Esimerkiksi panelointi ja testauksessa mahdollisesti tarvittavien testipisteiden tai paneeliin kiinni tulevien testausliittimien lisäys (näitä liittimiä ei valmistettavassa laitteessa enää ole, jolloin saadaan kustannussäästöjä) ovat tällaisia työvaiheita. Vaikka näitä ei ole millään kurssilla käsitelty, niiden lisäys tarkasteltavaan opintojaksoon paisuttaisi sitä liikaa. Yhdessä haastattelussa todettiin että pienen yrityksen näkökulmasta projektinhal-

lintaohjelmistot (mm. projektin suunnittelu, työnjako, prosessit) voisi olla hyödyllinen osa-alue. Myös laatujärjestelmän asettamat, mahdollisesti kovatkin vaatimukset esim. dokumentointiin olisi tässä yhteydessä hyvä huomioida. Osin samoja asioita listasi eräs toinen haastateltu, jonka mukaan opintojakson yleisiin asioihin tulisi lisätä alan IPC-standardit tiedonsiirtomuotojen ja piirilevydecalien osalta. Näiden asioiden standardointi on saatu julkaisutilaan muutaman viime vuoden aikana ja niiden tietämys on haastateltavan vankan kokemuksen perusteella erittäin oleellinen osa onnistunutta suunnittelua ja valmistusdokumentointia. Väärä standardi voi saada aikaan – esimerkiksi liian suuriksi sallittujen toleranssien takia – koko sarjan ”susia” laitteita. Nuoret layout-suunnittelijat eivät välttämättä vielä tiedä esimerkiksi piirilevyjen valmistusdokumentaatioon tulevan IPC-standardin merkitystä. Sen sijaan piirilevyvalmistajilla asia on hyvin hallussa. Dokumentaatio on tuotekehitysprojektin tärkein tuotos jolla tulee olla suuri painoarvo. Ehdotuksen mukaan asiakokonaisuudesta voisi olla vierailuluento jossa käydään läpi case-tyyppinen projekti ja sen esimerkkitoteutus dokumentaation osalta. Haastateltavan mukaan kolmessa hänen työpaikassaan dokumentointi tehty samalla tavalla. Lisättävänä asiana voisi olla myös tuotetiedon hallintajärjestelmä johon asiakas vie tuotteen dokumentaation. Muissa haastatteluissa esille tuotuja asioita olivat piirilevyn lämpösimulointi (Hyperlynx) ja suurivirtaisten johdinvetojen mitoitus, joka tosin on oleellinen asia ainoastaan tehoelektronikan suunnittelussa.

Osa haastatelluista näki opintojakson pakollisuuden tarpeelliseksi, koska on vaikea kuvitella miten suunnittelutehtävissä pärjäisi ilman kyseisen asiakokonaisuuden hallintaa. Toisen näkemyksen mukaan valinnaisuus on toisaalta järkevää, koska läheskään kaikki elektroniikan parissa toimivat tee itse suunnittelua. Opintojaksolta saadut perustiedot ovat kuitenkin erittäin hyödyllistä asiaa muillekin kuin varsinaisille suunnittelijoille (esim. käytettävät työkalut, kuinka kauan piirilevyn suunnittelussa tai valmistuksessa kuluu aikaa jne.). Näin ollen haastateltava ei pitäisi pakollisuutta mitenkään ihmeellisenä – tosin perusteita valinnaisuudelle löytyy enemmän kuin esim. opintojaksolle Transistorivahvistimet. Opintojakso sopii hyvin laitoksen henkeen.

4.1.3 ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkenät

Kaikki 11 kysymyksiin vastannutta oli suorittanut jonkun nykyistä opintojaksoa aikaisemmin vastanneen opintojakson ja 5 haastateltua esitti analogiatekniikan opiskeluun

liittyviä kommentteja. Yhtä pelkästään RF-suunnittelun parissa työskentelevää lukuun ottamatta kaikki kyselyyn vastanneet näkivät opintojakson aihepiirin hallinnan poikkeusta joko tarpeelliseksi tai erittäin tarpeelliseksi. Sama näkemys tuli ilmi myös haastattelujen kautta, vaikka ainoastaan kaksi haastateltua työskenteli pääasiassa analogia-suunnittelun parissa. Monimutkaisempia analogiapiirejä korvataan nykyisin digitaalipiireillä ja sitä kautta analogiosaamisen kokonaistarve vähenee, mutta opintojakson opetussisällöstä löytyvät peruseriaatteet kuuluvat edelleen elektroniikkasuunnittelijalta vaadittavaan tietämykseen. Signaalien käsittely tehdään nykyään siis melko pitkälti digitaalisessa muodossa, mutta signaaliketjun molemmista päistä tyypillisesti löytyy tarve myös analogiosaamiselle, erityisesti teollisuudessa (tarkoissa mittausjärjestelmissä tarvittava signaalien muuntaminen, skaalaus yms.). Aihepiirin hallinnan merkitys nähtiin erityisen suurena, mikäli työskentelee häiriöllisessä ympäristössä toimivien laitteiden, tehoelektronikan, virtalähteiden, integroitujen analogiapiirien tai testauksen ja testauslaitteistojen parissa. Nykyisin digitaalipiireihin mahdollisesti sisäänrakennettujen operaatiovahvistimien ja muiden analogiapiirien hyödyntäminen edellyttää edelleen mm. peruskytkeihin, epäideaalisuuksiin, kaskadikytkentöihin ja suodattimiin liittyvää osaamista. Mikrokontrollereista on löytynyt AD-muuntimia jo pitkään ja nykyisin kontrollereiden oheislaitelohkoihin on sisällytetty myös operaatiovahvistimia ja ohjelmoitavia takaisinkytkentävastuksia, eli analogiapiirin voi näin ollen toteuttaa ohjelmallisesti. Tärkeäksi nähtiin myös impedanssitasojen merkityksen ymmärrys – onko kyseessä virta- vai jännitemuotoinen signaali.

Sekä kyselyn vastauksissa että haastatteluissa osaamistavoitteiden nähtiin kuvaavan hyvin ja kattavasti erityisesti piirikaavio- ja piirilevysuunnittelun parissa työskentelevältä vaadittavia tietoja ja taitoja. Kyselyyn vastanneet kaipasivat lisätietoa komponenttien valinnasta sekä operaatiovahvistinkytkentöjen käyttötarkoituksesta ja sovelluskohteista esimerkkien muodossa (”miksi tällaista kytkentää kannattaa käyttää tähän?”). Toisaalta joku havaitsi myös pientä ”runsauden pulaa” – asetettujen tavoitteiden määrä on käytettävissä olevaan aikaan nähden huomattavan suuri. Tähän kiinnitti huomiota myös kaksi haastateltavaa, joista toisen mielestä kokonaisuutta voisi hieman tiivistää.

Suoritustavan ja suoritusvaatimusten osalta kyselyyn vastanneet ja haastatellut olivat yksimielisiä siitä että suoritustapa on linjassa osaamistavoitteiden kanssa – teorian lisäksi tarvitaan harjoitusten tarjoamaa suunnittelurutiinia. Erään haastatellun mielestä harjoitusten ongelmalähtöisyys on ”oleellista ydintä”, samoin kuin kytkentöjen käytän-

nön toteutus. Keskustelussa nousi esille mm. sen merkitys että esim. luennoilla opiskelijat huomaavat myös opettajan tiedostavan sen, mitkä ovat niitä vaikeita asioita ja että niihin käytetään hieman enemmän aikaa. Toisen haastatellun mielestä tentin tulee ehdottomasti kuulua suoritusvaatimuksiin ja käytännön harjoitukset mittauksineen ovat kivoja ja hyödyllisiä, varsinkin jos ne mahdollistavat operaatiovahvistimen väärinkäytön (esimerkiksi lineaarisen kytkennän lähtö saturoituu, kaistanleveys ei riitä tms.). Harjoitustehtäviin lisättyjä simuloiteja ja mittauksia pidettiin myös kyselyn vastauksissa hyödyllisinä ja hauskoina. Simulointien merkitystä asioiden havainnollistajana korostettiin. Lisäksi simulaattoreiden käyttäminen oikein on enemmän kuin tarpeellinen taito nykyisissä teollisuuden suunnittelutehtävissä. Erään haastatellun mukaan käytännössä esim. vahvistimen vahvistus voidaan laskea käsin, mutta esim. suodinaste tai mikä tahansa muu kytkentä suunnitellaan simuloimalla.

Opintojakson sisältö kokonaisuudessaan koettiin hyödylliseksi. Kyselyn vastausten perusteella perusmuotoinen analogiaelektronikan tietämys ja kyky lukea piirikaavioita nähdään itse suunnittelutehtävien lisäksi mm. olemassa olevan laitteen toiminnan ymmärtämisen, laitteessa ilmenevien vikojen etsinnän sekä myös työyhteisössä tapahtuvan kommunikoinnin kannalta erittäin tarpeellisena. Kyselyn vastauksissa hyödyllisimmiksi asioiksi koettiin perusmuotoiset vahvistinkytkennät, suotimet, komparaattorit ja stabiilisuustarkastelu. Näiden lisäksi haastatteluissa tuotiin esiin epäideaalisuudet, takaisinkytkentä, datalehtien lukeminen ja operaatiovahvistinten valinta, tarkkuustasasuuntaus, huippuarvoilmaisimet, analogiakytkimet ja ajastinpiirit. Eräs haastatelluista otti kurssikirjan puheen aiheeksi – kirja on hyvä, joskin ikivanhaa perua. Toisaalta hänen mukaansa paras aiheesta löytämänsä lähde on joku 80-luvulta peräisin oleva kopion kopio kirjasta jonka alkuperäistä versiota ei ole enää löytynyt. Lisäksi ainakin kahdella komponenttivalmistajalla (Linear Technologies ja Analog Device) on hyviä sovellusoppaita (Application Note) ja niiden kokoelmia jota voi ja kannattaa käyttää lisäaineistona.

Suurin osa kyselyyn vastanneista ja haastatteluun osallistuneista ei osannut nimetä mitään vähiten hyödyllistä osa-aluetta. Tältä osin vastauksista löytyneet muutamat maininnat koskivat korkeamman asteluvun suotimiin ja oskillaattoreihin liittyvää yksityiskohtaista teoriaa, komparaattoreita, vakiovirtalähteitä ja ”LED-palkkimittareita”. Näitä aiheita ei kuitenkaan koettu tarpeettomiksi, vaan niiden nähtiin tukevan teoreettista pohjaa melko hyvin. Yhdessä vastauksessa peruskytkentöjen ulkoa opettelu koettiin tarpeettomaksi, koska ”Insinöörin työssä voi AINA kaivaa lähdemateriaalit esille ja sieltä ha-

kea apua.” Asia on varmastikin näin, eikä kytkentöjen ulkoa opettelu ole mielestäni mikään itsetarkoitus – ideana on kyetä muodostamaan yksinkertaisia kytkentöjä komponenttien perusominaisuuksiin liittyvän tietämyksen pohjalta. Eräs haastateltu kertoi jo edellä mainittujen korkeamman asteluvun suotimien kuuluvan vähemmän oleelliseen perustietämykseen ja perusteli sen mielestäni hyvin sillä, että tämä tietämys hankitaan tarvittaessa jolloin se vaatii myös tarkempaa perehtymistä aiheeseen.

Opintojaksoon lisättävinä asioina kyselyn vastauksissa mainittiin mm. käytännönläheisemmän opetuksen lisäämistä, josta esimerkkinä annettiin (EEVblog #600). Yhdessä vastauksessa todettiin, että kustannusnäkökulma vaihtoehtoihin toteutustapoihin olisi hyvä tuoda säännöllisesti esiin – millaisiin toteutusratkaisuihin käytännön sovelluksissa usein päädytään ja miksi. Tämän toivottiin ajavan eteenpäin teknisesti parempien ratkaisujen kehitystä myös kustannusten osalta. Myös kytkennässä käytettävän operaatiovahvistimen valintaa toivottiin käsiteltävän enemmän. Laboratoriotyön tai harjoitustyön lisääminen mainittiin kahdessa vastauksessa, joista toisen mukaan aiheena voisi olla pienen virrankulutuksen omaava paristokäyttöinen laite. Yksi haastatelluista näki asiassällön lisäämisen sijaan enemmänkin painetta sisällön supistamiseen. Toisen haastattelun mielestä taas demonstraatio tai harjoitus, jossa toteutetaan häiriöllisen signaalin mitaus ja suodatus, voisi olla paikallaan. Lisäksi datalehtien lukemistaitoa tulisi harjoituttaa enemmän – mm. datalehdillä käytetyt merkintätavat ja annettujen parametrien päte- misalueet saattavat olla valmistajasta ja komponentista riippuen hyvin erilaisia. Komponenttien keskinäiseen vertailuun harjaannuttava tehtävä nykyisistä harjoituksista jo löytyykin, mutta toisenlaisena tehtävänä haastattelun mielestä voisi olla annettua komponenttia vastaavan komponentin (ns. second source) etsintä – tehtävä johon käytännön suunnittelija törmää jatkuvasti. Kolmannen haastattelun perusteella komponenttien epäideaalisuuksista pitäisi ottaa mukaan myös lämpötilakäyttäytyminen. Suurin osa Suomessa suunniteltavista laitteista on muuta kuin kulutuselektroniikkaa, eli ne suunnitellaan teollisuuteen jossa laitteen tulee toimia laajalla lämpötila-alueella. Myös komponenttien Spice-mallit, niiden tarkkuus ja simulointitulosten kriittinen analysointi olisi hyvä ottaa mukaan. Normaalisti operaatiovahvistimesta ei saada ampeerin suuruista virtaa ulos vaikka kuinka simulaattori niin väittää. Haastattelun mukaan on monta kertaa todettu että suunniteltu ja simulaattorin mukaan toimiva kytkentä on käytännössä esim. jonkun epäideaalisuuden seurauksena toimimaton.

Haastateltujen näkemys opintojakson tämänhetkisestä paikasta elektroniikan aineopin-
toja täydentävänä opintojaksona oli kaksijakoinen: yksi piti valinnaisuutta perusteltuna
ja neljän mielestä opintojakson olisi hyvä olla pakollinen. Pakollisuutta perusteltiin mm.
sillä että opintojakso sisältää digitaalisuunnittelupuolellakin hyödyllistä tietoa. Yksi
haastatelluista pohti hieman myös mm. tämän opintojakson laskeneita osallistujamääriä.
Hänen mukaansa analogiaelektronikkaa on vaikea ”myydä” opiskelijoille koska esi-
merkiksi operaatiovahvistimet ovat hävinneet monimutkaisempien piirien sisään. Opin-
tojakson nykyinen nimi ei kerro asiaa harrastamattomalle opiskelijalle kovin paljoa sen
aiheesta/sisällöstä. Digitaalitekniikka on enemmän ”tapetilla” – mikrokontrollerit ovat
lyöneet läpi kulutuselektronikan laitteissa ja harrastajille löytyy erilaisia kehitysalustoja
minkä takia opiskelijan on helpompi valita digitaalelektronikka opiskelukohteeksi.
Tarkasteltavan opintojakson pakollisuus voisi siis tältä osin olla perusteltua. Analo-
giatekniikan tarve on vähentynyt oleellisesti – aikaisemmin useimmiten analogisena
toteutettu toiminnallisuus voidaan nykyisin toteuttaa digitaalisessa muodossa ilman että
suunnittelijan tarvitsee tietää analogiaelektronikasta yhtään mitään – mikä on haastatel-
tavan mielestä kovin surullista.

4.1.4 ELT-22110 EMC-suunnittelu

Kyselyn kysymyksiin tuli 9 vastausta, joiden antajista kahdeksan oli suorittanut tarkas-
teltavan opintojakson ja yksi oli suorittanut sen aikaisemman edeltäjän nimeltään Luo-
tettava elektroniikka. Vastaavasti 6 haastateltua kertoi näkemyksensä tästä opintojaksos-
ta. Aihepiirin hallinnan tarpeellisuus koettiin tarkasteltavista opintojaksoista suurim-
maksi ja osaamistarpeen nähtiin tulevaisuudessa laitteiden lisääntyvän toiminnallisuus-
den myötä kasvavan. Nopeasti tilaansa vaihtavat signaalit ja langattomien teknologioiden
lisääntyminen edellyttävät mm. laadukasta piirilevysuunnittelua, jotta kiristyvät
EMC-vaatimukset saadaan täytettyä. Toisin sanoen laitteesta tulee ulos enemmän hyö-
tysignaaleja mutta edelleen ei-toivotut pitäisi pitää sisällä/ulkona. Haastatteluissa tuli
selväksi että käytännön suunnittelutyössä EMC-ongelmiin törmätään jatkuvasti. Yksi
haastatelluista kertoi aikanaan kokeneensa tarkasteltavan opintojakson em. edeltäjän
suorittamisen erittäin hyödylliseksi – tuolloin hänelle valkeni lopullisesti mitä epäidea-
lisuuksia komponentit ja johdinvedot/johdot sisältävät.

Kyselyn vastauksissa osaamistavoitteiden nähtiin kuvaavan hyvin niitä asioita joiden hallintaa nykypäivän onnistunut laitesuunnittelu edellyttää, eli ”Kurssin sisältö pitää tajuta jossain vaiheessa uraa, muuten ei tule suunnittelusta mitään.” Opetussisällön nähtiin kattavan aihepiirin hyvin, joskin sen syvällisempi käsittely olisi suotavaa, mikäli se käytettävissä olevan ajan puitteissa olisi mahdollista. Layout-suunnittelun merkitystä luotettavan, pienihäiriöisen ja häiriönsiedoltaan hyvän analogia-digitaalilaitteen aikaansaamiseksi voisi painottaa vielä enemmän. Haastatteluissa osaamistavoitteiden todettiin sisältävän paljon erityisesti käytännön työssä tarvittavia asioita ja toivottiin suurempaa painotusta myös komponenttien epäideaalisuuksille ja taidolle erottaa testattavasta laitteesta ja ympäristöstä peräisin olevat häiriöt toisistaan. Enemmän tulisi kiinnittää huomiota myös yleisimpiin digitaalisignaalien aiheuttamiin ongelmiin – puhtaat analogialaitteet kun ovat nykyisin harvassa. Melkein kaikissa laitteissa on nykyisin sekä hakuriteholähteitä että digitaalitekniikkaa (vähintään pieni mikrokontrolleri) jotka yhdessä muodostavat ylivoimaisesti eniten EMC-ongelmia.

Suoritustavasta ja suoritusvaatimuksista kyselyn vastauksissa todettiin mm. seuraavaa: tentti vastasi hyvin opintojaksolla käsiteltyjä asioita ja harjoitustyö oli opettavainen – se havainnollisti useiden EMC-ominaisuuksiin vaikuttavien tekijöiden merkitystä. Yhden vastauksen mukaan tosin harjoitustyöhön saatavan avun suhteen olisi paljonkin kehittämisen varaa ja toisen vastauksen mukaan ”dokumentoinnin työkuormaa voisi tällä kurssilla pyrkiä minimoimaan, joskaan ei asiasisällöstä tinkimällä.” Vielä laajemman kokonaiskäsityksen ja todelliseen työelämään liittyvien käytännön esimerkkien saamiseksi toivottiin alan ammattilaisten vierailuluentoja. Lisäksi, koska EMC-ongelmien aiheuttajien selvittäminen on usein työlästä puuhaa, järjestelmällisen lähestymistavan merkitystä tulisi korostaa. Häiriöiden kytkeytymistapoja ja -mekanismeja läpi käytäessä tulisi lisäksi pyrkiä havainnollistamaan niiden merkitystä eri taajuusalueilla mahdollisesti simuloimalla tai mittaamalla saatavien suuruusluokkien avulla – onko esim. kapasitiivinen kytkeytyminen oleellista vai ei. Haastatellut olivat samoilla linjoilla. Suoritus-tapa on hyvä – tentillä pystyy mittaamaan suunnittelussa tarvittavaa tietämystä ja erityisesti harjoitustyö (Boost-hakkuri aiheuttaa varmasti tarpeeksi häiriöitä ihmeteltäväksi) ja käytännön mittaaminen on tärkeää. Harjoitustyön voisi teettää jopa yksilötyönä ettei fiksumpi kaveri tee työtä ja toinen ole perässähiittäjä. Lisäksi sen rinnalla tulisi tarkastella myös digitaalisignaalien aiheuttamia häiriöitä. Harjoitus jossa digitaalisignaalin laatua piirilevyllä tutkittaisiin simuloimalla (terminoinnin merkitys) voisi olla paikal-

laan. Luentomuotoinen opetus koettiin perusteltuna – muunlaisella toteutuksella homma kasvaisi liian isoksi.

Kyselyyn vastanneiden mielestä opintojakson asioista hyödyllisimpiä ovat käsitteistö, häiriölähteiden tunnistaminen, häiriöiden kytkeytyminen, komponenttien valinta, häiriömittaukset, mittaustekniikka yleensä, maadoitus, kaapelointi sekä kotelointi. Haastatteluissa tuotiin esille samoja asioita ja niiden lisäksi myös kuorman kytkeminen, suodatus, transientit, ESD sekä laitteille asetettujen vaatimusten läpikäynti pääpiirteittäin. Testaukseen ja hyväksyntäprosessiin liittyen on oltava selvillä kulloinkin voimassa olevista direktiiveistä ja standardeista – muutoksia näihin tulee ikävän usein. Suunnittelijalla pitäisi olla käsitys siitä mikä on sateenvarjo EMC-standardeille ja mitä eri standardeja eri laitteille on olemassa – nämä asiat ovat kuitenkin usein uusilla suunnittelijoilla hukassa. Edellä mainituista listoista löytyykin jo suurin osa opintojakson aihepiireistä, mikä vastaa hyvin useassa vastauksessa ja haastatteluissa esitettyä näkemystä kaikilta osin hyödyllisestä opintojaksosta. Monessa tapauksessa em. asioihin liittyvät ongelmat ja tietämys niiden välttämiseksi opitaan kantapään kautta. Eräs haastateltu kertoikin esimerkin yksinkertaisesta, kahdesta piirilevystä koostuneesta mutta vain satunnaisesti toimineesta laitteesta. Vikaa pitkään ja hartaasti etsittäessä syyksi paljastui signaalilinjoihin puuttunut terminointi – piirilevyt yhdistänyt lattakaapeli oli juuri sen mittainen että heijastukset aiheuttivat signaaleihin ylimääräisiä reunoja joita AD-muuntimet tulkittivat kellosignaalin mukaisiksi tilanvaihtoiksi, mikä puolestaan johti laitteen kaotiseen toimintaan. Toinen haastateltu suositteli kurssikirjan päivittämistä tuoreempaan versioon ja ehdotti paria muuta käytännönläheistä opusta lähdemateriaaliksi. Hänen mukaansa digitaalisignaalien suodatus tulisi käsitellä suuremmalla painoarvolla – kuinka teet suodatuksen niin että et suodata hyötysignaalia pois? Piirilevykerrosten ja kerosrakenteiden osalta tulisi käsitellä sovitusta vaativat signaalit: ethernet, USB ja muistiväylät (esim. DDR3). Kyselyn vastausten perusteella layout-vaiheen EMC-suunnittelun painotusta voisi lisätä, samoin kuin case-tyyppisiä esimerkkejä EMC-ongelmista ja niiden yleisimmistä ratkaisukeinoista sekä hyvän ja huonon suunnittelun eroista. Yhdessä vastauksessa elektroniikan opintoihin toivottiin lisättävän myös puhtaasti EMC-mittaustekninen opintojakso mittalaitteiden käytön hallinnan parantamiseksi.

Vähemmän hyödylliseksi koettuja asioita eivät kyselyyn vastanneet pystyneet nimeämään – pois lukien yhdessä vastauksessa mainittu, puutteellisen avun saannin takia epä-

onnistuneeksi koettu harjoitustyö. EMC-standardeihin liittyvästä asiakokonaisuudesta todettiin että tarvittavien standardien selvittämisessä käytetään yleensä palveluja, koska tarkempi perehtyminen asiaan vaatisi yksittäiseltä suunnittelijalta liian suuren työpanoksen. Vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen liittyvän materiaalin valtava määrä todetaan myös opintojakson nykyisestä toteutuksesta löytyvillä aiheeseen liittyvillä luennoilla ja tältä osin tavoitteena onkin lähinnä antaa opiskelijoille kokonaiskuva asian laajuudesta sekä tyypillisimmistä elektroniikkalaitteiden vaatimustenmukaisuuteen liittyvistä standardeista. Edellähän tämä jo mainittiinkin, tosin haastatteluissa suuremman painoarvon vaativana hyödyllisenä asiana. Monikerroslevyjen osalta eräässä haastattelussa todettiin että suurivirtaisissa laitteissa joudutaan monesti ottamaan usea kerros virrankuljetustehtävään, jolloin niistä ei ole enää apua häiriösuojauksessa. Tämäkin asia olisi hyvä ottaa esille, vaikka se pääsääntöisesti kuuluu käytännön työn kautta opittaviin asioihin. Toinen haastateltu totesi että tehon syöttö, kotelointi ja ESD evät ole tulleet omissa työtehtävissä vastaan, mutta ovat kokonaisuuden kannalta erittäin hyödyllisiä asioita. Kolmannessa haastattelussa todettiin että periaatteessa osa opintojakson opetus sisällöstä käsittelee luotettavan elektroniikan suunnittelua (mm. transienttisuojaus ja ESD). Mikäli joku muukin opintojakso nykyisin sisältää tätä aihetta, sen voisi tällä tarkasteltavalla opintojaksolla korvata esim. kasvavasta hyötysignaalien määrästä ja näihin signaalilinjoihin kytkeytyvistä häiriöistä aiheutuvien ongelmien tarkemmalla käsittelyllä. Tietääkseni mainittuja asioita ei muilla opintojaksoilla käsitellä, joten niiden poistamiselle ei tältä osin löydy perusteita.

Opintojakson sisältöön lisättävinä asioina kyselyyn vastanneet mainitsivat teoriaopetuksen ja harjoitustyön välimaastoon sijoittuvan yksinkertaisen simulointiharjoituksen sekä case-tyyppisen esimerkin laitteen vaatimustenmukaisuuden todentamisesta (luento + laboriodemo tai -työ joissa käydään läpi tarvittavat standardit ja niissä määritetyt vaatimukset mm signaaliliityntöjen transienttikestolle, tehdään itse testaus ja mietitään esim. tarvittavien suojausten toteutusta). Lisäksi mainittiin sähköturvallisuuteen liittyvät standardit ja vaatimukset. Itse tekeminen koettiin siis jälleen kerran parhaiten omaa oppimista edistäväksi opetusmuodoksi. Erään haastatellun mielestä opintojaksolla voisi myös tarkastella, miten eri radioteknologioiden integroiminen yhteen laitteeseen vaikuttaa laitteen EMC-ominaisuuksiin tai miten häiriöllinen ympäristö vaikuttaa yhden piirin (chipin) lähetin-vastaanottimien toimintaan (laitteen muiden radiopiirien ja muun elektroniikan vaikutus). Toisessa haastattelussa otettiin esille jännitteiden kytkentä oikea-aikaisesti esim. FPGA (Field-programmable Gate Array) -piirien tapauksessa. Tätä käsi-

tellään jonkin verran nykyisen toteutuksen tehonsyöttöä käsittelevässä osiossa – tosin hieman erityyppisten käyttökohteiden kannalta katsottuna. Näiden lisäksi haastatteluissa todettiin ohjattujen harjoitusten olevan parhaita, mutta vaativan eniten resursseja. Esimerkkinä mainittiin demo, jossa havainnollistetaan häiriöiden vaikutusta jonkin laitteen toimintaan (”hakkuri tms. kytkentä jonka saa helposti sekoamaan”) ja nimenomaan huonon layoutin vaikutusta häiriöiden sietokykyyn. Erilaisten (lähinnä layoutiin liittyvien) asioiden vaikutusta laitteen toimintakykyyn häiriöllisessä ympäristössä voi olla muuten hieman hankala hahmottaa. Toiseksi demoksi ehdotettiin mittausketjua jossa sisään tuodaan suuren yhteismuotoisen häiriön sisältävä signaali ja jonka lähdöstä pitäisi saada pelkästään hyötysignaali näkyviin. Samalla esitettiin kysymys, voisiko tällä hetkellä erääseen työkurssiin sisältyvän EMC-testaustyön siirtää tähän opintojaksoon. Mielestäni tämä on erittäin hyvä ehdotus, jonka toteutusmahdollisuuksia kannattaa miettiä.

Kysyttäessä mielipidettä tarkasteltavan opintojakson tämänhetkisestä paikasta elektroniikan syventävien opintoja täydentävänä opintojaksona, haastatellut olivat pakollisuuden kannalla – laitesuunnittelun parissa työskentelevälle tämä on ehdottoman tärkeää asiaa. Kokonaisuudessaan valinnaisuus nähtiin kuitenkin perusteltuna ratkaisuna ottaen huomioon sen, että yhtenä elektroniikan syventävien opintojen suuntautumisvaihtoehtona ovat elektroniikan uudet materiaalit ja valmistustekniikat (Luku 3.1.1). Tarkasteltava opintojakso sisältyy kahden muun suuntautumisvaihtoehdon (laitesuunnittelu ja suurtaajuustekniikka) suositeltuihin opintoihin ja suurin osa näihin suuntautuneista opintojakson valitseekin.

4.2 Yhteenveto

Tarkasteltavat opintojaksot koettiin yleisesti ottaen tarpeellisiksi ja hyödyllisiksi – elektroniikan tuotekehityksen parissa työskentelevän tulee hallita niiden opetussisältö oleellisilta osiltaan. Lisäksi muissa kuin fyysisesti laitesuunnitteluun liittyvissä tehtävissä tarvitaan näiden asioiden tietämystä ja ymmärrystä mm. niiden mukanaan tuomista rajoitteista. Varsinkin korkeamman tason ns. platform-suunnittelu on pitkälti eri alojen asiantuntijoiden kanssa työskentelyä, jossa ”yhteisen kielen” löytyminen on lopputuloksen kannalta oleellisen tärkeää (Haastattelut 2014). Yhtään opintojaksoa ei nähty nyky-

päivän elektroniikkasuunnittelun kannalta turhaksi, vaikka suunnittelun luonne onkin muuttunut ja edelleen muuttumassa mm. seuraavilta osin.

- Analogiaelektroniiikan osaamisen tarve vähenee koska laitteiden toiminnallisuus toteutetaan yhä enemmän digitaalisena.
- Käytännön piirisuunnittelussa komponenttien mitoitus tehdään lähes aina simuloimalla, joten käsin laskemista ei tällöin tarvita.
- Dokumentoinnin ja dokumentaation hallinnan merkitys kasvaa.

Nykyisin jo melkoisena vähemmistönä olevat analogiasuunnittelijat näkivät opintojaksojen sopivan itselleen kuin nenä päähän. Mikäli koulun penkki kutsuisi nyt, tässä tarkasteltavien opintojaksojen valinta olisi erään haastattelun mielestä itsestänselvyys. Tämän lisäksi myös laitesuunnittelun muilla osa-alueilla työskentelevät pitivät opetussisältöjä tarpeellisina. Kaiken kaikkiaan tarkasteltavat opintojaksot ovat olleet hyvin merkittävässä asemassa ja antaneet eräälle toiselle haastattelulle eniten työelämässä hyödyksi olleita oppeja – näistä on muodostunut se pohja jolle työuraa on voinut lähteä rakentamaan. Tietotekniikan (digitaalitekniikan ja ohjelmistosuunnittelun) opintojen lisäksi suoritettujen elektroniikan opinnot ovat tuoneet valtavan lisän niihin valmiuksiin joihin nojautuen on voinut keskustella ja työskennellä yhdessä muiden elektroniikan tuotekehityksen parissa työskentelevien ihmisten kanssa. Ilman elektroniikan opintoja laitesuunnittelussa tarvittavaan tietämykseen olisi jäänyt merkittäviä aukkoja. (Haastattelut 2014) Osa kyselyyn ja haastatteluun osallistuneista otti esiin myös opiskelijoilta vaadittavan osaamistason. Opiskelijoilta tulee vaatia paljon, koska ”Kenellekään ei ole hyötyä siitä että koulusta valmistuu kalliilla verorahoilla kustannettuna työelämään ihmisiä, jotka ovat kuin lumiukkoja - aivan pihalla ja sulavat viimeistään kevään tullen pois. ☺” (Kyselyn vastaukset 2014) Tämä täytyy todellakin pitää mielessä siitäkin huolimatta että opetukseen saatava rahoitus on sidottu valmistuneiden määrään, ei laatuun.

4.3 Jatkotoimenpiteet

Kyselyn vastauksissa ja haastatteluissa mainitut suurimmat muutostarpeet liittyivät opetussisältöjen painotuksiin, käytännön työtehtävissä keskeisellä sijalla olevien simulointien painoarvon kasvattamiseen ja ylipäänsä käytännönläheisen, ns. hands-on -harjoitusten lisäämiseen. Tässä yhteydessä täytyy kuitenkin muistaa, että koska tarkas-

teltavat opintojaksot sisältyvät yliopistotasoiisiin tutkintoihin, teoriaopetusta ei voida suinkaan väheksyä. Opetuksen kehittämisen lähtökohdaksi tuleekin ottaa käytännön suunnittelussa käytettyjen välineiden hyödyntäminen teorian omaksumisen edistämiseksi.

Saadun palautteen perusteella opintojaksojen opetusta kehitetään ensisijaisesti seuraavan toimenpidesuunnitelman mukaisesti. Toimenpiteet toteutetaan tulevana lukuvuosina käytettävissä olevien aika- ja henkilöresurssien puitteissa. Myös muita kyselyn vastauksissa ja haastatteluissa esiin tuotuja kehittämiskohteita huomioidaan mahdollisuuksien mukaan.

ELT-21050 TRANSISTORIVAHVISTIMET

- Käytännönläheisiä harjoituksia lisätään edelleen – enemmän harjoitustehtäviä joissa tarkasteltava kytkentä simuloidaan, rakennetaan ja mitataan. Samalla käsitellään Spice-mallien ja reaali maailman välisiä eroja sekä simulointitulosten tulkintaa.
- Transistorin toimintaa kytkimenä käsitellään laajemmin.
- Lisätään esimerkkejä opintojaksolla läpi käytyjen kytkentöjen hyödyntämisestä käytännön suunnittelussa.

ELT-21150 CAE ELEKTRONIIKASSA

- Järjestetään elektroniikkalaitteen suunnitteluprojektin dokumentointiin liittyvä vierailuluento jolla käsitellään mm. tyypillisiä dokumentointikäytäntöjä, piirilevyn valmistusta varten tarvittavaa dokumentaatiota sekä aiheeseen liittyviä standardeja.
- Simulointia käsitteleville luennoille ja harjoituksiin lisätään LTSpice. Samalla painotetaan enemmän komponenttikirjastojen merkitystä (myös piirilevysuunnitteluohjelmistojen osalta).
- Piirilevyjen layout-suunnittelun painotusta kasvatetaan käymällä läpi mm. tyypillisiä ongelmakohtia. Mahdollisuuksien mukaan tarkastellaan myös layoutin vaikutusta nopeiden signaalien aiheuttamiin ongelmiin RF-suunnitteluohjelmistoa hyödyntäen.

ELT-21250 OPERAATIOVAHVISTINKYTKENNÄT

- Käytännönläheisiä harjoituksia lisätään edelleen – enemmän harjoitustehtäviä joissa tarkasteltava kytkentä simuloidaan, rakennetaan ja mitataan. Yhtenä tämäntyyppisenä tehtävänä voisi olla esimerkiksi häiriöllisen signaalin mittaus ja suodatus.
- Luentoihin lisätään esimerkkejä kytkennöissä käytettävien operaatiovahvistimien valinnasta ja harjoituksiin lisätään tehtävä jossa täytyy etsiä esimerkkiytkennässä käytettävää komponenttia vastaavia komponentteja (second source). Samalla näissä esimerkeissä ja tehtävissä harjoitellaan nykyistä enemmän myös datalehtien lukemista.
- Operaatiovahvistimien epäideaalisuuksiin liittyvillä luennoilla ja harjoituksissa huomioidaan nykyistä enemmän myös lämpötilakäyttäytyminen. Samalla käsitellään Spice-mallien ja reaali maailman välisiä eroja sekä simulointitulosten tulkintaa.

ELT-22110 EMC-SUUNNITTELU

- Selvitetään mahdollisuutta siirtää nykyisin Elektroniikan tuotesuunnittelun työkurssin yhtenä valinnaisena työnä oleva EMC-testaustyö osaksi tätä opintojaksoa. Käytännössä tarkasteltavan opintojakson opintopistemäärää tulisi tällöin kasvattaa, ellei muutosta kompensoida muuta sisältöä vähentämällä. Voisiko sama työ kuulua kahden opintojakson opetussisältöön niin että mikäli työn suorittaa osana opintojaksoa EMC-suunnittelu, sitä ei voi valita työkurssilla suoritettavaksi työksi? Päinvastaisten tapausten varalta saattaa tällöin olla tarpeellista muuttaa opintojakso vaihtuvalaajuseksi (esim. 5-6 opintopistettä).
- Digitaalisignaalien laatua ja niiden aiheuttamia häiriöitä esimerkiksi signaalilinjien terminoinnin kautta tarkastelevan simulointi- tai/ja mittausdemonstraation tai harjoituksen lisääminen opetussisältöön. Toisena tarkastelukohteenä voisi olla yhteismuotoisen häiriön poistaminen hyötysignaalista. Harjoitusten tapauksessa niiden vaikutus opintopistemäärään tulee myös selvittää.
- Luennoilla läpi käytävissä asioissa painotetaan enemmän erityyppisten häiriöiden suuruusluokkien hahmottamista, digitaalisignaalien suodatusta ja järjestelmällisen lähestymistavan merkitystä EMC-ongelmien ratkaisemisessa.

5 POHDINTA

Tässä kehittämishankkeessa selvitettiin soveltavan elektroniikan opetussisällön työelämävastaavuutta. Neljän elektroniikan laitesuunnitteluun keskeisesti liittyvän opintojakson sisältöä, osaamistavoitteita, sekä suoritustapaa ja -vaatimuksia arvioitiin sekä kyseisiä opintojaksoja suorittaneiden ja työuransa alkuvaiheessa olevien suunnittelijoiden toimesta että elektroniikan laitesuunnittelun parissa jo pidempään työskennelleiden kollektiivien suunnittelijoiden toimesta. Selvityksessä käytetyiksi menetelmiksi valittiin kyselytutkimus ja haastattelu. Tämä yhdistelmä osoittautui lopputuloksen kannalta onnistuneeksi, joskin toteutuksen kannalta työlääksi ratkaisuksi. Kyselyn osalta yksi eniten aikaa vaatinut vaihe oli kyselyn kohteeksi soveltuvien henkilöiden löytäminen. Haastattelujen osalta eniten aikaa meni tallennetun materiaalin purkamiseen ja oleellisten asioiden tiivistämiseen. Kokonaisuudessaan kyselystä saatujen vastausten kattavuus oli hyvä – kyselyn vastausprosentti oli noin 39. Vastaava osallistumisprosentti haastattelujen osalta oli 50, kun vertailukohdaksi otetaan kaikki joilta haastattelumahdollisuutta tiedusteltiin. Kaiken kaikkiaan kyselyn vastaukset ja haastatteluista saadut näkemykset täydensivät hyvin toisiaan. Kaikkien selvitykseen tavalla tai toisella osallistuneiden työtausta ja työkokemuksen määrä huomioiden saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Vastaus- ja osallistumisprosenttien sekä saadun kirjallisen ja sanallisen palautteen perusteella selvitystä pidettiin erittäin tarpeellisena. Selvitykseen osallistuneille ei tietääkseni vastaavaa ole aikaisemmin vastaan tullut. Tulosten osalta yhteistä kaikkien näkemykselle oli se että tarkasteltavat opintojaksot ovat tarpeellisia ja niissä käsiteltävät asiat käytännön suunnittelutehtävien kannalta hyödyllisiä. Analogiaelektroniikkaan liittyvän syvällisen tietämyksen tarve käytännön suunnittelussa vähenee koko ajan mutta perustietämyksen tarve ei häviä mihinkään. Suunnittelussa käytettäviin työkaluihin ja sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen liittyvien tietojen ja taitojen merkitys korostuu jatkossa entisestään. Esille tulleet muutostarpeet kohdistuivat pääsääntöisesti opetussisällön painotuksiin ja käytännönläheisyyden lisäämiseen. Painotusten muutoksella opetussisältö saadaan vastaamaan paremmin tämän päivän laitesuunnittelussa tarvittavia tietoja ja taitoja tai käytössä olevia työkaluja. Käytännönläheisyyden lisäämisen perimmäinen tarkoitus on teoriapainotteisen asiasisällön omaksumisen helpottaminen itse tekemällä sekä teorian ja reaali maailman välisen kuilun kaventaminen esimerkkien kautta – miten opiskeltava asia liittyy käytännön suunnitteluun ja mitä eroja teoreettisen

mallin ja käytännön toteutuksen välillä on odotettavissa. Samat teemat tulevat esille myös aikaisemmin, eri tarkastelutasoilla tehdyissä selvityksissä – yliopisto- ja korkeakoulututkintojen työelämävastaavuus koetaan yleisesti ottaen hyvänä, kehittämiskohteen liittyessä asioiden painotuksiin ja käytännön työtehtävävalmiuksien kehittämiseen käytännönläheisiä ongelmia ratkomalla.

Edellä mainittujen kehittämiskohteen parissa työskentelyä on jo aloitettu parin viime vuoden aikana ja sitä jatketaan edelleen tulosten pohjalta laaditun toimenpidesuunnitelman mukaisesti. Kehittämishanke oli myös tältä osin erittäin hyödyllinen – se vahvisti valitun suunnan oikeaksi ja antoi lisää eväitä toteutuksen jatkamiseksi.

LÄHTEET

Ammattikorkeakoululaki 09.05.2003/351.

Demola Network. Luettu 04.05.2014. <http://www.demola.fi>.

EEVblog #600 - OpAmps Tutorial - What is an Operational Amplifier?
<http://www.youtube.com/watch?v=7FYHt5XviKc>

Engeström, Y. 1982. Perustietoa Opetuksesta. Helsinki: Valtiovarainministeriö. Luettu 09.04.2014. <https://helda.helsinki.fi/handle/10224/3665>.

Haastattelut. Suoritettu 14.04. - 25.04.2014.

Henkilöstöselvitys 2016. Teknoliateollisuuden henkilöstötarpeet vuoteen 2016. Teknoliateollisuus ry. Luettu 09.04.2014.
<http://www.teknoliateollisuus.fi/file/17324/Henkilstselvitys2016lopullinen270214.pdf.html>.

Jalonen, T. 2011. Mitä ammatillisen opettajan tulee osata? Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Karjalainen, P. 2007. Diplomi-insinööriopintojen Elektroniikka-alan kurssin harjoitustyön uudistaminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Ammatillinen opettajakorkeakoulu. Opettajankoulutuksen kehittämishanke.

Koulutuksen kehittämisohjelma vuosille 2009-2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Yliopistopalvelut. Raportti 4.

Kyselyn vastaukset. Vastaanotettu sähköpostilla 07.04. - 16.04.2014.

LinkedIn. Luettu 04.04.2014. <http://www.linkedin.com/>.

Meristö, T., Leppimäki, S., Laitinen, J. & Tuohimaa, H. 2008. Tulevaisuuden osaamistarpeet teknoliateollisuudessa: Yhteenvetoraportti toimialakohtaisista yrityskyselyistä. Helsinki: Teknoliateollisuus ry. Luettu 09.04.2014.
<http://www.teknoliateollisuus.fi/file/3867/Tulevaisuudenosaamistarp2020yhtveto.pdf.html>.

Neuvonen-Rauhala, M.-L. 2009. Työelämälähtöisyyden määrittäminen ja käyttäminen ammattikorkeakoulun jatkotutkintokokeilussa. Jyväskylän yliopisto. Yhteiskuntatieteiden ja filosofian laitos. Väitöskirja.

Opetushallitus. 2014. Koulutus ja tutkinnot. Luettu 27.04.2014.
http://www.oph.fi/koulutus_ja_tutkinnot.

Opetusministeriön asetus yliopistojen koulutusvastuun täsmentämisestä, yliopistojen koulutusohjelmista ja erikoistumiskoulutuksista 14.07.2005/568.

ROCK - Opettajan ja opetushenkilöstön käyttöliittymä. TTY. Luettu 02.05.2014.
<https://www.tut.fi/rock>.

Saunamäki, A. 2011. Autotekniikan moduulin opintojaksojen uudistaminen. Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäyetyö.

TTY Opinto-opas 1 2013-2014. Tutkinto-ohjelmat.

TTY:n strategia 2013-2016. Luettu 28.04.2014. <http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/strategia/index.htm>.

TTY:n täydennyskoulutus. Luettu 05.04.2014.
<http://www.tut.fi/fi/yrityksille/taydennyskoulutus/>

Tynjälä, P., Slotte, V. Nieminen, J., Lonka, K. & Olkinuora, E. 2004. Yliopistosta valmistuneet työelämässä. Teoksessa Tynjälä, P., Välimaa, J. & Murtonen, M. (toim.) Korkeakoulutus, oppiminen ja työelämä. Pedagogisia ja yhteiskuntatieteellisiä näkökulmia. Jyväskylä: PS-kustannus, 91-107.

Valtioneuvoston asetus yliopistojen tutkinnoista 19.08.2004/794.

Valtiontalouden tarkastusviraston tuloksellisuustarkastuskertomus 188/2009. Ammattikorkeakoulutuksen työelämälähtöisyyden kehittäminen. Luettu 24.04.2014.
https://www.vtv.fi/files/1783/1882009_AMKkoulutuksen_tyoelamalahtoisyyden_kehittaminen_NETTI.pdf.

Vuorinen, P. & Valkonen, S. 2007. Korkeakoulutuksesta työelämään. Työhön sijoittuminen ja työelämävalmiudet kaupan ja tekniikan alalla. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto/Koulutuksen tutkimuslaitos.

Väänänen, M. 2012. Työelämälähtöisen koulutuksen kehittämistä ammattikorkeakoulussa – Pientä säätöä vai täydellinen remontti? HAMKin julkaisuja 8/2012. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

Yliopistolaki 24.07.2009/558.

LIITTEET

Liite 1. Pyyntö osallistua kyselyyn (sähköpostiviesti)

Hei,

Suuritan pedagogisiin opintoihini liittyvää kehittämishanketta, jossa selvitän elektronii-
kan laitesuunnitteluun liittyvien TTY:n opintojaksojen opetussisällön ja osaamistavoit-
teiden kehitys- ja muutostarpeita. Pyytäisinkin nyt sinua osallistumaan hankkeeseen
vastaamalla liitteenä olevaan kyselyyn 16.04.2014 mennessä.

Pyytäisin sinua myös välittämään tämän kyselypyynnön kaikille niille, joiden tiedät
työskentelevän elektroniikkasuunnittelun parissa ja jotka ovat suorittaneet vähintään
yhden liitteissä mainituista TTY:n opintojaksoista.

Kyselyn tulokset julkaistaan kehittämishankkeesta laadittavassa raportissa. Vastaukset
käsitellään täysin luottamuksellisesti ja ne esitetään raportissa niin että vastausten anta-
jia ei voi niiden perusteella yksilöidä. Kyselyyn vastanneiden henkilötietoja ei julkaista
missään vaiheessa.

Terveisin,

-Jouko Heikkinen-
Yliopisto-opettaja, TkT
Tampereen Teknillinen Yliopisto
Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos
PL 692
33101 Tampere
Email: jouko.heikkinen@tut.fi
Tel: +358-40-8490 606
Fax: +358-3-3115 3394

Hyvä vastaanottaja,

Toimin Tampereen Teknisessä Yliopistossa (TTY) Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitoksella (ELT) yliopisto-opettajana. Vastuullani on useita elektroniikan aineopintoihin kuuluvia opintojaksoja, joiden aihepiirit – transistorivahvistimet ja operaatiovahvistinkytkennät, simulointi ja piirilevysuunnittelu (piirisimulaattorit ja suunnitteluohjelmistot) sekä sähkömagneettinen yhteensopivuus – liittyvät keskeisesti elektroniikan laitesuunnitteluun.

Suoritan tällä hetkellä myös pedagogisiin opintoihin liittyvää kehittämishanketta Tampereen ammatillisessa opettajakorkeakoulussa (TAOKK). Hankkeen aiheena on ”Sovelletavan elektroniikan opetussisällön kehittäminen – Muutostarpeet työelämän näkökulmasta”. Hankkeessa on tarkoituksena elektroniikan tuotekehityksen parissa työskentelevien kokemuksia ja näkemyksiä kartoittamalla selvittää elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien opintojaksojen opetussisällön ja osaamistavoitteiden kehitys- ja muutostarpeita ja saadun aineiston avulla parantaa tulevaisuudessa opiskelijoiden valmiuksia astua työelämään.

Liitteenä on eräiden elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien opintojaksojen kuvaus, sisältö, osaamistavoitteet ja suoritusvaatimukset. Pyytäisin vastaamaan alla esitettyihin taustaasi, nykyisiin työtehtäviisi ja mainittuihin opintojaksoihin liittyviin kysymyksiin yksityiskohtaisesti ja perustellusti. Vastaa opintojaksoihin liittyviin kysymyksiin niiden opintojaksojen osalta jonka/jota vastaavan olet TTY:llä suorittanut (huomaa että opintojaksojen tunnus ja mahdollisesti myös nimi on muuttunut, joten suorittamasi opintojakso löytyy kohdasta ”VASTAAVA AIKAISEMPI OPINTOJAKSO”). Kustakin vastauksesta tulee käydä ilmi, mitä opintojaksoa se koskee. Vastaamisen voit suorittaa täyttämällä oheisen lomakkeen (lomake löytyy .rtf, .odt ja .docx -muodossa – valitse itsellesi parhaiten sopiva) ja palauttamalla se osoitteeseen jouko.heikkinen@tut.fi. Vastaathan 16.04.2014 mennessä.

1. Mitä tekniikan alan tutkintoja olet suorittanut?
2. Kuvaile nykyisiä työtehtäviäsi.
3. Kuinka kauan olet toiminut nykyisessä työpaikassasi / tehtävässäsi?
4. Oletko ennen nykyisiä tehtäviäsi toiminut elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien työtehtävien parissa? Jos olet niin missä, millaisissa tehtävissä ja kuinka pitkään?

5. Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikka-suunnittelun kannalta tarpeellista?
6. Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laite-suunnittelun parissa työskentelevän mielestäsi tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestäsi tarpeellista tehdä ja miksi?
7. Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/ suoritusvaatimukseen liittyviä muutoksia tulisi mielestäsi tehdä?
8. Mitkä opintojaksolla läpi käydyt asiat ovat mielestäsi olleet hyödyllisimpiä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietystä näkökulmasta katsoen?
9. Mistä opintojaksolla läpi käydyistä asioista on mielestäsi ollut vähiten hyötyä tai ei ole ollut lainkaan hyötyä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?
10. Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestäsi lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

Kiitos avustasi!

Jouko Heikkinen

Yliopisto-opettaja

Tampereen Teknillinen Yliopisto / Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos

jouko.heikkinen@tut.fi

040-849 0606

LIITTEET: OPINTOJAKSOJEN KUVAUS, SISÄLTÖ, OSAAMISTAVOITTEET JA SUORITUSVAATIMUKSET

LIITE 1	ELT-21050 Transistorivahvistimet
LIITE 2	ELT-21150 CAE Elektroniikassa
LIITE 3	ELT-22110 EMC-suunnittelu
LIITE 4	ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkennät

OPINTOJAKSO

ELT-21050 Transistorivahvistimet

VASTAAVA AIKAISEMPI OPINTOJAKSO

ELE-2100 Puolijohdekomponenttien sovellukset

OPINTOJAKSON KUVAUS

Kyseessä on kaksi periodia (2 x 7 viikkoa) eli koko syksyn kestävä opintojakso jolla perehdytään bipolaari- ja kanavatransistoreista muodostettujen piirirakenteiden toimintaan, suunnitteluun ja analysointiin. Opintojakso kuuluu TTY:n *Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa* pakollisena elektroniikan aineopintoihin ja valinnaisena tietoliikennetekniikan aineopintoihin sekä *Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Opintojakso on suunnattu 3. vuosikurssin opiskelijoille. Opintojakson alussa tehdään esitietokysely, jolla kartoitetaan opiskelijoiden lähtötasoa.

Oppikirja:

Hambley, Allan R. – Electronics, 2nd Edition (Prentice-Hall).

Opetusmuodot:

Luennot 28 h (2 h / vko). Kunkin luennon lopussa on noin 5 minuutin palautejakso jolloin opiskelijat voivat kirjata ylös tärkeimpiä luennolla oppimukseen kokemia asioita sekä asioita jotka vaativat selvennystä. Palautteet käydään läpi seuraavan luennon alussa.

Harjoitukset 24 h (2 h / vko). Harjoituksista on mahdollisuus saada maksimissaan 3 lisäpistettä tenttiin suorittamalla harjoitusten tehtäväpapereissa olevia porkkanatehtäviä (1 kpl/harjoitus). Palautetut ratkaisut pisteytetään ja tenttiin saatavat lisäpisteet määräytyvät kerätyn porkkanapistepotin mukaan. Osa harjoitustehtäviä sisältää tarkasteltavan kytkennän rakentamista protokortille ja kytkennän toiminnan tarkastelua mittaamalla. Tähän tarkoitukseen opiskelijat voivat käyttää joko NI ELVIS II+ mittausalustaa [1] tai DreamCatcher ME3000 kytkentälaataa [2]. Itse harjoituksissa opettaja selittää harjoitustehtävien malliratkaisut taululle kirjoittaen. Viimeisenä oleva porkkanatehtävä käydään läpi esim. piirtoheitinkalvojen tai PowerPoint-esityksen avulla.

SISÄLTÖ

Vahvistin lohkokatasolla

Signaalit, vahvistin (ohjatun lähteen malli), taajuusvaste, Millerin teoreema, (särö ja kohina).

BJT:n piensignaalin malli

Käytetyt merkinnät, piensignaalin mallin taustaa, malliparametrit, piensignaalin mallin piirtäminen ja analysointi (yhteisemitteri-, yhteiskollektori- ja yhteiskantakytkentä), emitterivastuksen vaikutus CE-kytkennässä.

FET:in piensignaalin malli

Käytetyt merkinnät, toiminta-alueiden ja virta-/jänniteyhtälöiden kertaus (JFET- ja MOSFET), piensignaalin mallin taustaa, malliparametrit, piensignaalin mallin piirtäminen ja analysointi (yhteislähde-, yhteisnielu- ja yhteishilakytkentä), lähdevastuksen vaikutus CS-kytkennässä, FET jänniteohjattuna resistanssina.

Taajuuskäyttäytyminen

AC-kytketty vahvistin matalilla taajuuksilla (kytkentä-kondensaattoreiden mitoitus), BJT suurilla taajuuksilla (hybridi- π -malli, Millerin teoreema, CE-, CC- ja CB-vahvistin, Cascode-kytkentä), FET suurilla taajuuksilla (CS-vahvistin, vahvistuksen ja kaistanleveyden tulo).

Virtapeili

IC-piirin sisäinen biasointi, BJT-virtapeili (Wilkinsonin ja Widlarin virtalähde), FET virtalähteenä, FET-virtapeili (Wilsonin virtalähde).

Differentiaalivahvistin

Differentiaalivahvistimen perusperiaate, emitterikytketty differentiaalipari (yhteis- ja eromuotoinen sisäänmeno, suursignaaliominaisuudet, piensignaalin malli), CMRR, differentiaalivahvistimen suunnitteluperusteita, lähdekytketty differentiaalipari (yhteis- ja eromuotoinen sisäänmeno, piensignaalin malli).

Takaisinkytkentä

Takaisinkytketty vahvistin, positiivinen ja negatiivinen takaisinkytkentä (hyödyt ja haitat), negatiivisen takaisinkytkennän vaikutus kaistanleveyteen ja kohinaominaisuuksiin, takaisinkytkentätyypin tunnistaminen, takaisinkytkentätyypit (virta/jännite/sarja/rinnan) ja niiden ominaisuudet.

Vahvistimen stabiilisuustarkastelu ja Bode-diagrammi

Siirtofunktio (navat ja nollat), stabiilisuus, Bode-diagrammi (piirtäminen, vahvistus- ja vaihevara), stabiilisuusanalyysi, siirtofunktion napojen vaikutus transientivasteeseen, hallitseva napa, kompensointi (hallitsevan navan lisääminen, navan siirtäminen, napa-nolla-parin lisääminen).

OSAAMISTAVOITTEET

Opintojakson suoritettuaan opiskelija

- tunnistaa yksinkertaiset yhteisemitteri-, yhteiskollektori-, yhteiskanta-, yhteislähde-, yhteisnielu-, ja yhteishilavahvistinkytkennät, pystyy selittämään niiden toimintaa ja nimeämään niiden sovelluskohteita
- osaa kertoa, mikä on komponentin/kytkennän piensignaalinmalli ja mihin sitä voidaan käyttää
- osaa piirtää opintojaksolla käsiteltyjen vahvistinkytkentöjen piensignaalinmallin, muodostaa tarvittavat virta- ja jänniteyhtälöt ja ratkaista niiden avulla virta-, jännite- ja tehovahvistuksen sekä sisäänmeno- ja ulostuloresistanssin lausekkeet
- osaa analysoida piensignaalinmallin avulla yksinkertaisen reaktiivisia komponentteja sisältävän transistori-kytkennän toimintaa ja ratkaista kytkennän ulostuloimpedanssin
- osaa hahmottaa analysoitavissa kytkennöissä esiintyvien virtojen ja jännitteiden ja sitä kautta impedanssien ja tehohäviöiden suuruusluokat
- osaa kertoa, miten toimintataajuuden kasvaminen vaikuttaa vahvistinkytkentöjen toimintaan ja osaa eritellä kytkennän taajuuskäyttäytymiseen vaikuttavia tekijöitä
- osaa arvioida komponenttien simulointimallien käyttökelpoisuutta toiminta-alueelta, sekä hahmottaa epäideaalisuuksien ja toleranssien vaikutusta piirien toimintaan
- osaa selostaa suunnittelun kannalta keskeisimmät erot diskreettikomponenttipiirien ja vastaavien integroitujen piirien välillä
- osaa kuvailla virtapeilikytkennän toimintaperiaatteen, nimetä kytkennän käyttökohteita ja rakentaa piirikaaviotasolla yksinkertaisen virtalähde-/ virtanielukytkennän virtapeilirakenteita käyttäen sekä mitoittaa kytkennän komponentit
- osaa analysoida yhteisemitteri- ja yhteislähdekytkentöjen differentiaaliparin toimintaa piensignaalinmallin avulla
- osaa selittää takaisinkytkennän toimintaperiaatteen elektroniikkapiirien kannalta, nimetä takaisinkytkentätyypit ja kertoa niiden eduista ja haitoista eri käyttökohteissa
- osaa piirtää silmukkahvistuslausekkeen avulla Bode-diagrammin ja arvioida kytkennän stabiilisuutta sen avulla
- osaa nimetä eri keinoja kytkennän stabiloimiseksi ja tarkastella niiden vaikutusta Bode-diagrammin avulla

SUORITUSVAATIMUKSET

Hyväksytysti suoritettu tentti luennoilla ja harjoituksissa käsitellyistä aihepiireistä. Harjoituksista kerätyillä porkkanapisteillä on mahdollista korottaa tenttiarvosanaa yhdellä numerolla.

LÄHTEET

[1] <http://www.ni.com/ni-elvis/>

[2] <http://www.dreamcatcher.asia/cw/cwdetail.php?id=ME3000>

OPINTOJAKSO

ELT-21150 CAE elektroniikassa

VASTAAVA AIKAISEMPI OPINTOJAKSO

ELE-3050 CAE elektroniikassa

OPINTOJAKSON KUVAUS

Kyseessä on yhden periodin (7 viikkoa) kestävä syksyn opintojakso jolla perehdytään tietokoneavusteisen elektroniikkasuunnittelun (CAE, Computer Aided Engineering) välineisiin. Opintojakso kuuluu TTY:n *Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan aineopintoihin ja *Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Opintojakso on suunnattu lähinnä 2. vuosikurssin opiskelijoille. Opintojakson alussa tehtävällä kyselyllä kartoitetaan opiskelijoiden lähtötasoa.

Oppikirja:

Varsinaista oppikirjaa ei ole – materiaali on koottu useasta eri lähteestä. Piirilevysuunnitteluun liittyvä asia pohjautuu osin kirjaan

Tikkanen Hannu – PADS Piirilevysuunnitteluopas II (Gummerus).

Opetusmuodot:

Luennot 12 h (2 h / vko).

Tietokoneharjoitukset (lähiopetusta 13 h) muodostuvat viidestä aiheesta. Kustakin harjoitusaiheesta on kirjoitettu yksityiskohtainen ohje, jonka avulla harjoitus on mahdollista suorittaa myös itsenäisesti.

OrCAD Pspice (2 h) – piirikaavion piirto ja simulointi (harjoitustyö)

PADS-harjoitus 1 (3 h) – komponenttien luominen ja layout-suunnittelu

PADS-harjoitus 2 (3 h) – piirikaavion piirto ja layout-suunnittelu (harjoitustyö)

Altium Designer (3 h) – piirikaavion piirto ja layout-suunnittelu (harjoitustyö)

Agilent ADS (2 h) – RF-vahvistimen (LNA) piirikaavion piirto ja simulointi

Harjoitustyö – DC-teholähteen säätökomponenttien mitoitus, kytkennän simulointi, piirikaavion piirto, layout-suunnittelu ja harjoitustyön dokumentointi. Harjoitustyö etenee harjoitusten myötä, sillä osassa harjoituksia käsitellään harjoitustyön aiheena olevaa kytkentää.

SISÄLTÖ

CAE elektroniikkaprojektissa

Termejä, elektroniikan tiedonsiirtomuotoja, CAE-järjestelmän tehtäviä, vaatimuksia, valintaan vaikuttavia tekijöitä ja käytännön ongelmia, suunnittelun eri vaiheita.

Dokumentointi

Dokumentit elektroniikkaprojektin eri vaiheissa (lohkokaavio, simulointi, kytkentäkaavio, piirilevy, asennus ja testaus), dokumentoinnissa huomioitavia asioita, projektidokumentin rakenne.

Simulointi

Elektroniikan simulointiprosessi, simulointiohjelmistoja, simulointipiirikaavion piirtäminen, komponenttien SPICE-mallit, simulointien dokumentointi, tulosten arviointi, mahdollisia ongelmia, esimerkkiohjelmistona OrCAD Pspice (rakenne, SPICE-analyysit).

Piirikaavio/layout

Piirikaavion ja piirilevyn suunnittelusääntöjä (kerrokset, komponenttien sijoittelu, reititys, viimeistely), dokumentit (kytkentäkaaviot, osaluettelot, ohje piirilevysuunnitteluun, layout-kuvat, poraustiedostot, osasijoittelu, kokoamisohje), suunnitteluohjelmistoja, esimerkkiohjelmistoina PADS Logic / PADS Layout ja Altium Designer.

EMC-suunnittelu

Suurtaajuusilmiöt, SI-analyysi, siirtolinjat, terminointi, esimerkkiohjelmistona Hyperlynx (LineSim).

RF-piirisuunnittelu

Termejä, peruslohkoja ja komponentteja, suunnittelun perussääntöjä ja työkaluja (komponenttien sijaiskytkentä- ja S-parametrimallit, Smithin kartta), suunnitteluohjelmistoja, esimerkkiohjelmistoina ADS - Advanced Design System (rakenne, piiri- ja layout-simulointi, simulointityypit).

OSAAMISTAVOITTEET

Opintojakson suoritettuaan opiskelija

- osaa dokumentoida yksinkertaisen elektroniikkalaitteen suunnittelunprosessin piirilevytasolla alkaen kytkennän mitoituksesta ja päättyen valmistusvaiheen kynnykselle
- osaa vertailla elektroniikkasuunnittelussa ja erityisesti ELT-laitoksen opintojaksoilla käytettäviä ohjelmistoja (OrCAD PSPICE, PADS, Altium Designer, ADS) ja valita käyttötarkoitukseen soveltuvat työkalut
- osaa toistaa simulointiprosessin keskeisimmät vaiheet, arvioida komponenttien simulointimallien käyttökelpoista toiminta-aluetta ja käytettyjen mallien sekä simulointiasetusten vaikutusta tulosten luotettavuuteen
- osaa käyttää monipuolisesti simulointiohjelmistoja (mm. komponenttien ja niiden mallien luominen, tulosten siirto/vertailu), hahmottaa yleisimmät simuloinneissa ilmenevät ongelmat (mm. puuttuvat simulointimallit, kelluvat solmupisteet, konvergoituminen), paikallistaa niiden lähteet ja tehdä tarvittavat muutokset simulointikytkentään ja -asetuksiin
- osaa käyttää monipuolisesti piiri- ja piirilevysuunnitteluohjelmistoja, hahmottaa niiden keskeisimmät ominaisuudet sekä ongelmakohdat ja niiden ratkaisut

SUORITUSVAATIMUKSET

Hyväksytysti suoritettut tietokoneharjoitukset (5 kpl – tehtävien suoritus ohjeiden mukaisesti joko harjoitusryhmissä tai itsenäisesti). Hyväksytysti suoritettu harjoitustyö (arviointi tehdään työstä palautetun dokumentoinnin perusteella). Molempien osasuoritusten (kuten myös koko opintojakson) arvostelu tehdään asteikolla hyväksytty/hylätty.

OPINTOJAKSO

ELT-22110 EMC-suunnittelu

VASTAAVA AIKAISEMPI OPINTOJAKSO

ELE-3150 EMC-suunnittelu

OPINTOJAKSON KUVAUS

Kyseessä on kaksi periodia (2 x 7 viikkoa) eli koko syksyn kestävä opintojakso jolla perehdytään laitesuunnittelun kannalta oleellisiin EMC-ongelmiin ja eri keinoihin niiden minimoimiseksi. Lisäksi käydään pääpiirteissään läpi vaatimuksia, mitä laitteen tulee määräysten mukaan täyttää. Opintojakso kuuluu TTY:n *Sähkötekniikan DI-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan syventäviin opintoihin. Opintojakso on suunnattu 4. vuosikurssin opiskelijoille.

Oppikirja:

Ott, Henry W. – Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, Second Edition (Wiley).

Muuta kirjallisuutta:

Mardiguian, Michel – EMI Troubleshooting Techniques

O'Hara, Martin – EMC at Component and PCB Level

Morrison, Ralph – Grounding and Shielding Techniques. 5. Ed.

Reitmaa, Ilpo & Gustafsson, Jouni – Varma Digitaalielektroniikka

Opetusmuodot:

Luennot 26 h (2 h / vko).

Harjoitustyö – Kahden hengen ryhmissä suoritettava suodatus- ja suojausrakenteiden suunnittelu Boost-hakkuriteholähteeseen. Laitteen simulointi, piirilevysuunnittelu, toteutus, mittaukset ja työn dokumentointi.

SISÄLTÖ

Häiriöiden kytkeytyminen

Häiriöketju (lähde-välittäjä-vastaanottaja), häiriöiden kytkeytyminen (johtumalla, sähkö-/magneettikentän välityksellä, yhteisen impedanssin kautta), häiriöiden torjunnan periaatteet.

Häiriöiden suodatus

Passiivikomponenttien HF-toiminta, suodatuskomponentteja (vastukset, läpivientikondensaattorit, kuristimet, ferriitit, muuntajat, yhdistelmäsuotimet, verkkosuotimet), analogiatulojen suodatus, hakkuriteholähteen suodatus.

Maadoitus

Maadoitustyyppit (yksipiste, monipiste, hybridi) ja niiden toiminta, analogialaitteiden maadoitus, digitaalilaitteiden maadoitus, analogia-digitaalilaitteiden maadoitus.

Kuorman kytkeminen

Reaktiivisten kuormien kytkeminen (induktiivinen kuorma, kytkinvärähtely, koronapurkaus, valokaari, kytkimen suojaaminen), suuret käynnistysvirrat (kapasitiiviset kuormat, moottorit, muuntajat, käynnistysvirran rajoittaminen), ylivirtasuojaus (sarjavesustus, NTC, PTC, sulakkeet, vikavirtasuojat, virtarajakytkennät).

Transienttisuojaus

Komponenttien ja laitteiden vikaantuminen (sisäinen/ulkoinen, luotettavuuden analysointi), transienttiylijännitteiden aiheuttajia (mm. ESD, salama, reaktiivisten kuormien kytkeminen), ylijännitesuojauskomponentit (diodi, Zener, TVS, varistori, kipinäväli, triak ja tyristori), suojauskomponenttien käyttäminen (komponenttien valinta, suojauskytkentöjä mm. verkkojänniteliiyntyä, signaalilinjoille ja sisäänmenoille).

Tehon syöttö

Sähköverkon ominaisuuksia ja määräyksiä (verkon harmoniset ja tehokerroin, vilkunta, jännitevaihtelut ja katkokset verkkojännitteessä, pehmeä käynnistys, käyttöjännitesuojaus), käyttöjännitesuodatus (regulointi, induktanssi käyttöjännitelinjoiissa, ohi-tuskondensaattorit, analogia- ja digitaaliosan erotus).

Kotelointi ja ESD

Lähi- ja kaukokenttä, aalto- ja ominaisimpedanssi, absorptio ja heijastuminen, magneettijohtava materiaali, kotelon tiiveys ja tiivistäminen, suojakotelon hajakapasitanssit, maadoituspisteen valinta, ESD – varauksen syntyminen ja purkautuminen, ESD:n mallintaminen ja vaikutukset, ESD-suojaus kotelolla.

Digitaalilaitteen ongelmia

Siirtolinjat (heijastukset, päättäminen), nousunopeus, ylikuuluminen (maadoitus, joh-timien sijoittelu), käyttöjännitehäiriöt, latch-up, kellosignaali, softa ja häiriöt.

Suunnitteluesimerkkejä

Piirilevyt (ominaisuuksia, piirilevyn valinta, kerrosten lukumäärä, piirilevysuunnittelu), laitteistomaadoitus (erotus), radio-ohjattava servotoimilaite (liityntä sähköverkkoon, moottori, kontrolleri, RF-lähetin/-vastaanotin, maadoitus).

Laitteiden vaatimuksenmukaisuus (Vierailuluento – Eero Sorri / SESKO ry)

Standardointijärjestelmä – EMC-standardointi (EMC-direktiivi, yleisstandardit, tuote-standardit, perusstandardit, häiriöpäästöjen mittaaminen, häiriönsietotestaus).

EMC-testaus

Mittaisjärjestelyt (esimerkkinä TTY:n radiokaiuton huone), mittauslaitteisto (spektrianalysaattori / EMI-vastaanotin, etuvahvistin, antenni, keinoverkko), säteilevien häiriöiden mittaaminen, johtuvien häiriöiden mittaaminen, ESD-testaus, mittaukset tuotekehitysvaiheessa (virtaprobe, silmukka-antenni, kapasitiivinen lähikenttämittaus), yleisiä ohjeita EMC-mittauksiin.

OSAAMISTAVOITTEET

Opintojakson suoritettuaan opiskelija

- osaa sähkömagneettiseen yhteensopivuuteen (EMC) liittyvän peruskäsitteistön ja osaa kuvata elektroniikkalaitteistoissa esiintyvien epäideaalisuuksien peruseräpäät ja seuraukset
- osaa nimetä sähkömagneettisia häiriöitä elektroniikkalaitteisiin aiheuttavia häiriölähteitä ja osaa selostaa niiden tärkeimmät kytkentymekanismit
- osaa luotettavan elektronisen analogia-/digitaalilaitteen tai järjestelmän suunnitteluperiaatteet (mm. koteloinnin, kaapeloinnin, maadoituksen, suodatuksen ja suojausten osalta) kytkentäkaavio- ja piirikorttitasolla
- osaa valita ja mitoittaa tärkeimmät suunnittelussa tarvittavat suojaus- ja suodatuskomponentit
- osaa hakea direktiiveihin ja standardeihin liittyvää tietoa ja osaa kertoa, mitä elektroniikkalaitteilta edellytetään vaatimustenmukaisuuden saavuttamiseksi
- osaa hahmottaa yleisimmät hakkuriteholähteen simuloinnissa ilmenevät ongelmat (mm. simulointimallien epätarkkuus), paikallistaa niiden lähteet, tehdä tarvittavat korjaukset ja arvioida saatujen tulosten luotettavuutta
- osaa tehdä häiriömittauksia, osaa erotella itse mittauskohteesta aiheutuvat häiriöt ja mittausympäristöstä aiheutuvat häiriöt toisistaan sekä analysoida saatuja tuloksia

SUORITUSVAATIMUKSET

Hyväksytysti suoritettu tentti ja harjoitustyö. Opintojakson kokonaisarvosana perustuu tentistä saatuun arvosanaan jota harjoitustyö voi joko laskea tai nostaa korkeintaan yhdellä numerolla.

OPINTOJAKSO

ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkennät

VASTAAVA AIKAISEMPI OPINTOJAKSO

ELE-2201 Analogiatekniikka

ELE-2200 Analogiatekniikka I

OPINTOJAKSON KUVAUS

Kyseessä on kaksi periodia (2 x 8 viikkoa) eli koko kevään kestävä opintojakso jolla perehdytään operaatiovahvistimiin ja analogiaelektroniiikan muihin keskeisiin IC-piireihin, kuten kytkin-, oskillaattori- ja ajastinpiireihin. Opintojakso kuuluu TTY:n *Tieto- ja sähkötekniikan TkK-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan aineopintoihin sekä *Teknis-taloudellisessa TkK-tutkinto-ohjelmassa* valinnaisena elektroniikan perusteiden aineopintoihin. Opintojakso on suunnattu 3. vuosikurssin opiskelijoille. Opintojakson alussa tehdään esitietokysely, jolla kartoitetaan opiskelijoiden lähtötasoa.

Oppikirja:

Franco, Sergio – Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits, 3. Ed. (McGraw-Hill).

Opetusmuodot:

Luennot 32 h (2 h / vko).

Harjoitukset 26 h (2 h / vko). Harjoituksista on mahdollisuus saada maksimissaan 4 lisäpistettä tenttiin suorittamalla harjoitusten tehtäväpapereissa olevia porkkanatehtäviä (2 kpl/harjoitus). Mikäli porkkanatehtäviä ei yritä ratkaista ollenkaan, lisätään tenttipisteisiin -3 pistettä. Harjoitusten aluksi luokassa kiertää lista johon kukin voi merkitä ne porkkanatehtävät joihin on saanut oman ratkaisunsa tehtyä. Opettaja selittää muiden kuin porkkanatehtävien malliratkaisut PowerPoint-esityksen avulla ja valitsee tämän jälkeen listasta porkkanatehtävien ratkaisujen esittäjät (ratkaisut taululle). Esitetyn ratkaisun hyväksyntä ei edellytä täydellistä ratkaisua – riittää että esittäjä osoittaa ymmärtäneensä tehtävän ja on tehnyt parhaansa. Osa harjoitustehtävistä sisältää tarkasteltavan kytkennän rakentamista protokortille ja kytkennän toiminnan tarkastelua mittaamalla. Tähän tarkoitukseen opiskelijat voivat käyttää joko NI ELVIS II+ mittausalustaa [1] tai DreamCatcher ME3000 kytkentälautaa [2].

SISÄLTÖ

Operaatiovahvistimen perusteita

Ideaalinen operaatiovahvistin, peruskytkenäjä (vahvistin, puskuri, invertoiva vahvistin, summaava vahvistin, erovahvistin, integraattori, derivaattori), takaisinkytketty järjestelmä (takaisinkytkennän vaikutus vahvistukseen, lineaarisuuteen, häiriöihin sekä tulo- ja lähtöimpedansseihin).

Käytännön operaatiovahvistin

Käytännön operaatiovahvistimen rakenne, bias- ja offset-virrat, offset-jännite (offsetin nollaus), CMRR, PSRR, nopeuden mittareita (avoimen silmukan vahvistus, slew-rate, nousuaika, asettumisaika, täyden tehon kaistanleveys, suursignaali-vaste, piensignaali-vaste), siirtofunktio ja taajuusvaste, taajuusvasteen Bode-esitys, reaali vahvistimen avoimen silmukan vahvistus, silmukkahvistuksen määrittäminen (kaistanleveys), kohina (kohinatyyppit, spektritiheys, kaistanleveys, SNR, kohinalähteiden yhdistäminen), operaatiovahvistimen kohina (vahvistinkytkennän kokonaiskohina), stabiilisuus ja kompensointi (tulo- ja lähtöimpedanssi ja takaisinkytkennän vaikutus, stabiilisuus ja sen selvittäminen Bode- ja ROC-menetelmällä, epästabiilisuuden syitä, sisäinen ja ulkoinen kompensointi).

Virtatakaisinkytketty (Current Feedback, CFB) operaatiovahvistin

CFB-rakenne, virta- ja jännitetakaisinkytkettyjen vahvistimien erot, CFB-vahvistimen analyysi ja käyttö (vahvistin, summa- ja erovahvistin, integraattori), kaupallisten vahvistimien luokittelu (tarkkuusoperaatiovahvistimet, yleiskäyttöiset operaatiovahvistimet, nopeat operaatiovahvistimet, instrumentointivahvistimet, isolointivahvistimet, teho- operaatiovahvistimet, puskurit, pienen käyttöjännitteen operaatiovahvistimet).

Vahvistimet ja muuntimet

Moniasteiset vahvistimet, kaskadivahvistimet (suora kaskadi, kiinteän vahvistuksen kaskadi, VFA/CFA-kaskadi, tarkan ja nopean asteen kaskadi), erovahvistin (CMRR), instrumentointivahvistimet (kahden ja kolmen vahvistimen IA), virtavahvistimet (kel-luva/maadoitettu kuorma), virta-jännite-muunnin (herkkä virta-jännite-muunnin, valodiodivahvistin), jännite-virta-muunnin (Howlandin virtapumppu, suurivirtainen Howland), vakiovirtalähde.

Epälineaariset kytkennät

Komparaattori (OC-komparaattori, kuorman kytkeminen, sovelluksina mm. ylijännite-varoitin, termostaatti, ikkunakomparaattori, LED-palkkimittari, PWM-modulaattori), hystereesillinen komparaattori (invertoiva ja ei-invertoiva Schmitt-trigger, kynnysjännitteen säätö), tarkkuustasasuuntaaja, huippuarvoilmaisimien, analogiakytkimet.

Oskillaattorit ja ajastimet

Siniaalto-oskillaattorit (Wienin siltaoskillaattori, RC vaihesiirto-oskillaattori, kvadratuurioskillaattori), kanttiaalto-oskillaattorit (astabiili multivibraattori, 555), kideoskillaattorit, kolmioaalto-oskillaattorit, signaaligeneraattoriipiirit.

Suodattimet

Suodintyyppit (alipäästö, ylipäästö, kaistanpäästö, kaistanesto, allpass), ensimmäisen asteen lohkojen toteutus (derivaattori, integraattori), toisen asteen ali- ja ylipäästösuotimet (siirtofunktio), toisen asteen lohkojen toteutus (Sallen-Key, yksikkövahvistava Sallen-Key, Multiple-feedback, Biquad, State-Variable, yleistetty impedanssikonvertteri GIC), korkeamman asteluvun suodinfunktiot (suotimen karakterisointi vasteen perusteella, Butterworth, Chebyshev, Bessel, Cauer, suodinlohkojen mitoitus taulukoitujen parametrien avulla).

OSAAMISTAVOITTEET

Opintojakson suoritettuaan opiskelija

- osaa kuvata ideaalisen operaationvahvistimen toimintaa sekä analysoida ja suunnitella peruskyskyntöjä, kuten invertoiva ja ei-invertoiva vahvistin, puskuri, summaava vahvistin, erovahvistin, instrumentointivahvistin, integraattori, derivaattori ja muunninpiirit
- osaa soveltaa takaisinkytkentää operaatiovahvistinkytkentöjen suunnittelussa
- osaa kuvata reaalisen operaatiovahvistimen rakenteen ja selostaa keskeisimmät epäideaalisuudet ja rajoitteet (mm. bias- ja offset-virrat, offset-jännite, äärellinen CMRR, PSRR, slew rate) ja niiden merkityksen
- osaa hakea datalehdiltä suunnittelussa tarvittavat parametrit ja vertailla operaatiovahvistimia niiden avulla
- osaa arvioida komponenttien simulointimallien käyttökelpoista toiminta-aluetta
- osaa hahmottaa, kuinka komponenttien epäideaalisuudet ja toleranssit tulee ottaa huomioon suunnitteluprosessissa ja kuinka ne vaikuttavat piirien toimintaan
- osaa laskea yksinkertaisen takaisinkytketyn operaatiovahvistinkytkennän silmukkahvistuksen ja analysoida kytkennän stabiilisuutta Bode-diagrammin ja ROC-menetelmän avulla
- osaa kuvata virtatakaisinkytketyn vahvistimen rakenteen ja ominaisuudet sekä analysoida sen toimintaa
- osaa suunnitella ja analysoida epälineaarisia operaatiovahvistinkytkentöjä, kuten komparaattorit, kytkinpiirit, tarkkuustasasuuntaajat ja huippuarvoilmaisimet sekä osaa nimetä niiden sovelluskohteita
- osaa suunnitella ja analysoida siniaalto-, kanttiaalto- ja kolmioaalto-oskillaattoripiirejä sekä ajastinpiirejä ja nimetä niiden sovelluskohteita
- osaa mitoittaa ja analysoida yksinkertaisia ensimmäisen ja toisen asteen aktiivisia alipäästö-, ylipäästö-, kaistanpäästö- ja kaistanestosuotimia
- osaa selostaa korkeamman asteluvun suotimien (Butterworth-, Chebyshev-, Bessel- ja Elliptinen suodin) erityispiirteet ja vertailla niitä keskenään

SUORITUSVAATIMUKSET

Hyväksytysti suoritettu tentti luennoilla ja harjoituksissa käsitellyistä aihepiireistä. Harjoituksista kerätyillä porkkanapisteillä on mahdollista korottaa tenttiarvosanaa yhdellä numerolla.

LÄHTEET

[1] <http://www.ni.com/ni-elvis/>

[2] <http://www.dreamcatcher.asia/cw/cwdetail.php?id=ME3000>

Liite 3. Kyselyn vastauslomake

1(5)

Taustaan ja työtehtäviin liittyvät kysymykset.

Mitä tekniikan alan tutkintoja olet suorittanut?

Kuvaile nykyisiä työtehtäviäsi.

Kuinka kauan olet toiminut nykyisessä työpaikassasi / tehtävässäsi?

Oletko ennen nykyisiä tehtäviäsi toiminut elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien työtehtävien parissa?
Jos olet niin missä, millaisissa tehtävissä ja kuinka pitkään?

Opintojaksoihin liittyvät kysymykset alkavat seuraavalta sivulta. Vastaa opintojaksoihin liittyviin kysymyksiin niiden opintojaksojen osalta jonka/jota vastaavan olet TTY:llä suorittanut.

ELT-21050 Transistorivahvistimet

Olen suorittanut yllä mainitun opintojakson

Olen suorittanut aikaisemman vastaavan opintojakson ELE-2100 Puolijohdekomponenttien sovellukset

Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikkasuunnittelun kannalta tarpeellista?

Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevän mielestäsi tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestäsi tarpeellista tehdä ja miksi?

Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/ suoritusvaatimuksiin liittyviä muutoksia tulisi mielestäsi tehdä?

Mitkä opintojaksolla läpi käydyt asiat ovat mielestäsi olleet hyödyllisimpiä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietyistä näkökulmasta katsoen?

Mistä opintojaksolla läpi käydyistä asioista on mielestäsi ollut vähiten hyötyä tai ei ole ollut lainkaan hyötyä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?

Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestäsi lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

ELT-21150 CAE elektroniikassa

- Olen suorittanut yllä mainitun opintojakson
- Olen suorittanut aikaisemman vastaavan opintojakson ELE-3050 CAE elektroniikassa

Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikkasuunnittelun kannalta tarpeellista?

Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevän mielestäsi tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestäsi tarpeellista tehdä ja miksi?

Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/ suoritusvaatimuksiin liittyviä muutoksia tulisi mielestäsi tehdä?

Mitkä opintojaksolla läpi käydyt asiat ovat mielestäsi olleet hyödyllisimpiä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietyistä näkökulmista katsoen?

Mistä opintojaksolla läpi käydyistä asioista on mielestäsi ollut vähiten hyötyä tai ei ole ollut lainkaan hyötyä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?

Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestäsi lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

ELT-22110 EMC-suunnittelu

- Olen suorittanut yllä mainitun opintojakson
- Olen suorittanut aikaisemman vastaavan opintojakson ELE-3150 EMC-suunnittelu

Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikkasuunnittelun kannalta tarpeellista?

Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevän mielestäsi tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestäsi tarpeellista tehdä ja miksi?

Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/ suoritusvaatimuksiin liittyviä muutoksia tulisi mielestäsi tehdä?

Mitkä opintojaksolla läpi käydyt asiat ovat mielestäsi olleet hyödyllisimpiä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietystä näkökulmasta katsoen?

Mistä opintojaksolla läpi käydyistä asioista on mielestäsi ollut vähiten hyötyä tai ei ole ollut lainkaan hyötyä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?

Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestäsi lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

5(5)

ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkennät

- Olen suorittanut yllä mainitun opintojakson
- Olen suorittanut aikaisemman vastaavan opintojakson ELE-2201 Analogiatekniikka
- Olen suorittanut aikaisemman vastaavan opintojakson ELE-2200 Analogiatekniikka I

Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikkasuunnittelun kannalta tarpeellista?

Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevän mielestäsi tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestäsi tarpeellista tehdä ja miksi?

Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/ suoritusvaatimukseen liittyviä muutoksia tulisi mielestäsi tehdä?

Mitkä opintojaksolla läpi käydyt asiat ovat mielestäsi olleet hyödyllisimpiä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietyistä näkökulmasta katsoen?

Mistä opintojaksolla läpi käydyistä asioista on mielestäsi ollut vähiten hyötyä tai ei ole ollut lainkaan hyötyä aikaisemmissa/nykyisissä työtehtävissäsi? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?

Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestäsi lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

Liite 4. Haastattelupyyntö (sähköpostiviesti)

Hei,

Suoritan pedagogisiin opintoihini liittyvää kehittämishanketta, jossa selvitän elektronian laitesuunnitteluun liittyvien TTY:n opintojaksojen opetussisältöjen ja osaamistavoitteiden kehitys- ja muutostarpeita. Pyytäisinkin nyt teitä tutustumaan liitteenä olevaan materiaaliin ja osallistumaan lyhyeen haastatteluun jossa voisitte kertoa oman näkemyksenne liitteessä kuvattujen opintojaksojen opetussisältöjen soveltuvuudesta työelämän nykyisiin vaatimuksiin. Opetusmateriaaliin voitte tarvittaessa tutustua tarkemmin haastattelun yhteydessä.

Kyselyn tulokset julkaistaan kehittämishankkeesta laadittavassa raportissa. Vastaukset käsitellään täysin luottamuksellisesti ja ne esitetään raportissa niin että vastausten antajia ei voi niiden perusteella yksilöidä. Kyselyyn vastanneiden henkilötietoja ei julkaista missään vaiheessa.

Pyytäisin vastaamaan tähän haastattelupyyntöön viimeistään 10.04.2014 jotta voimme sopia ajankohdasta tarkemmin. Itselleni sopivia päiviä olisivat

11.04.

14.04.

15.04.

16.04.

23.04.

25.04.

Pyytäisin vastausta myös mikäli ette ehdi osallistua haastatteluun.

Terveisin,

-Jouko Heikkinen-

Yliopisto-opettaja, TkT

Tampereen Teknillinen Yliopisto

Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos

PL 692

33101 Tampere

Email: jouko.heikkinen@tut.fi

Tel: +358-40-8490 606

Fax: +358-3-3115 3394

Hyvä vastaanottaja,

Toimin Tampereen Teknisessä Yliopistossa (TTY) Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitoksella (ELT) yliopisto-opettajana. Vastuullani on useita elektroniikan aineopintoihin kuuluvia opintojaksoja, joiden aihepiirit – transistorivahvistimet ja operatiovahvistinkytkenät, simulointi ja piirilevysuunnittelu (piirisimulaattorit ja suunnitteluohjelmistot) sekä sähkömagneettinen yhteensopivuus – liittyvät keskeisesti elektroniikan laitesuunnitteluun.

Suoritan tällä hetkellä myös pedagogisiin opintoihin liittyvää kehittämishanketta Tampereen ammatillisessa opettajakorkeakoulussa (TAOKK). Hankkeen aiheena on ”Sovelletun elektroniikan opetussisällön kehittäminen – Muutostarpeet työelämän näkökulmasta”. Hankkeessa on tarkoituksena elektroniikan tuotekehityksen parissa työskentelevien kokemuksia ja näkemyksiä kartoittamalla selvittää elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien opintojaksojen opetussisällön ja osaamistavoitteiden kehitys- ja muutostarpeita ja saadun aineiston avulla parantaa tulevaisuudessa opiskelijoiden valmiuksia astua työelämään.

Liitteenä on eräiden vastuullani olevien elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien opintojaksojen kuvaus, sisältö, osaamistavoitteet ja suoritusvaatimukset. Pyytäisin tutustumaan kyseiseen materiaaliin, valitsemaan sen pohjalta yhden tai useamman opintojakson ja osallistumaan opintojakson/opintojaksojen opetussisältöön liittyvään lyhyeen haastatteluun. Alla muutamia kysymyksiä jotka tulevat toimimaan haastattelun runkona. Haastattelun kautta toivon saavani mahdollisimman paljon opintojaksojen sisältöön, osaamistavoitteisiin ja opetusmuotoihin liittyvää rakentavaa palautetta ja sitä kautta riittävästi materiaalia kehittämishankkeeni eteenpäin viemiseen.

1. Mitä tekniikan alan tutkintoja olette suorittanut?
2. Kuvaillkaa nykyisiä työtehtäviänne.
3. Kuinka kauan olette toiminut nykyisessä työpaikassanne / tehtävässänne?
4. Oletteko ennen nykyisiä tehtäviänne toiminut elektroniikan laitesuunnitteluun liittyvien työtehtävien parissa? Jos olette niin missä, millaisissa tehtävissä ja kuinka pitkään?
5. Onko opintojakson aihepiirin hallinta nykypäivänä tehtävän elektroniikkasuunnittelun kannalta tarpeellista? Miten tilanne on näkemyksenne mukaan muuttunut viimeisen viiden vuoden aikana? Miten tilanne tulee näkemyksenne mukaan muuttumaan lähivuosien aikana?

6. Kuvaavatko opintojakson osaamistavoitteet niitä asioita jotka elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevän mielestänne tulee parhaiten hallita? Mitä muutoksia osaamistavoitteisiin olisi mielestänne tarpeellista tehdä ja miksi?
7. Tukeeko opintojakson suoritustapa ja asetetut suoritusvaatimukset opintojakson osaamistavoitteiden saavuttamista? Mitä suoritustapaan/suoritusvaatimuksiin liittyviä muutoksia tulisi mielestänne tehdä?
8. Mitkä opintojaksolla läpi käytävät asiat ovat mielestänne hyödyllisimpiä elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevälle? Tulisiko kyseisiä asioita painottaa enemmän tai käsitellä jostain tietystä näkökulmasta katsoen?
9. Mistä opintojaksolla läpi käytävistä asioista on mielestänne vähiten hyötyä tai ei lainkaan hyötyä elektroniikan laitesuunnittelun parissa työskentelevälle? Tulisiko kyseiset asiat poistaa opintojakson sisällöstä tai käsitellä jollain toisella tavalla?
10. Mitä asioita/asiakokonaisuuksia opintojakson sisältöön tulisi mielestänne lisätä? Mikä/mitkä opetusmuodot (luennot/harjoitukset/laboratoriotyö/harjoitustyö) tukisivat parhaiten näiden asioiden omaksumista?

Kiitos avustanne!

Jouko Heikkinen

Yliopisto-opettaja

Tampereen Teknillinen Yliopisto / Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos

jouko.heikkinen@tut.fi

040-849 0606

LIITTEET: OPINTOJAKSOJEN KUVAUS, SISÄLTÖ, OSAAMISTAVOITTEET JA SUORITUSVAATIMUKSET

LIITE 1	ELT-21050 Transistorivahvistimet
LIITE 2	ELT-21150 CAE Elektroniikassa
LIITE 3	ELT-22110 EMC-suunnittelu
LIITE 4	ELT-21250 Operaatiovahvistinkytkennät