

Mika Hurskainen

GEOPIETSOILMIÖIDEN MITTALAITE

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2006



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

**OPINNÄYTETYÖ
TIIVISTELMÄ**

Koulutusala Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Mika Hurskainen	
Työn nimi Geopietsoilmiöiden mittalaite	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Langaton tiedonsiirto	Ohjaaja(t) Jukka Heino
	Toimeksiantaja Jukka Heino
Aika Kevät 2006	Sivumäärä ja liitteet 35 + 3
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli suunnitella ja toteuttaa mittalaite, jolla pystyttäisiin mittaamaan maassa olevia pietsosähköisiä ilmiöitä. Antennina toimi kaksi maahan upotettua pystytappia, joiden toiset päät sijoitettiin maahan vähintään 30 metrin etäisyydelle toisistaan.</p> <p>Vahvistinosa koostui neljästä eri osa-alueesta. Ensimmäiseksi suunniteltiin esivahvistin, jolla vahvistettiin tulevat signaalit. Seuraavaksi suunniteltiin RC-alipäästösuodatin, jolla saatiin rajattua ylin käyttämä taajuus. Alipäästösuodatin mitoitettiin suodattamaan yli 50 Hz:n taajuudet. Tämän jälkeen suunniteltiin notch-suodatin, jolla saatiin 50 Hz:n verkkohäiriö suodatettua mahdollisimman pieneksi. Viimeisenä osana vahvistimeen suunniteltiin päätevahvistimet, joilla saatiin vahvistimen lopullinen vahvistus halutun suuruiseksi. Lisäksi vahvistimeen rakennettiin virtalähde.</p> <p>Vahvistinyksikköä testattiin osio kerrallaan signaaligeneraattorin ja oskilloskoopin avulla. Vahvistimen havaittiin vahvistavan jännitevahvistuksena 55 dB ja suodattavan 50 Hz:n taajuudella toimivaa verkkotaajuutta. Toiminnallista testausta ei voitu suorittaa, koska maa oli vielä roudassa ja täten se jätettiin myöhempään ajankohtaan.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Maanjäristys, pietsosähköinen ilmiö
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Mika Hurskainen	
Title A Sensor for Geopiezo Effect	
Optional Professional Studies Wireless Communication	Instructor(s) Jukka Heino, Lecturer
	Commissioned by Jukka Heino
Date Spring 2006	Total Number of Pages and Appendices 35 + 3
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design and build a sensor which measures piezoelectric effect inside the earth. Two vertical dowels were used as the antenna. The other ends of the dowels were placed into the ground at least 30 metres apart.</p> <p>The amplifier unit consists of four different kinds of parts. The first part consists of a pre-amplifier which gains signals. After building the preamplifier, an RC low pass filter was built. It was designed to filter frequencies higher than 50 Hz. A notch filter was designed next. It was designed to filter 50 Hz frequency as small as possible. The last parts built were power amplifiers that got final gain in the amplifier. Additionally, a power supply was designed into the amplifier.</p> <p>The amplifier unit was tested with a signal generator and an oscilloscope. It was noticed that the amplifier gains 55 dB and filter power distribution of 50 Hz frequency. The device could not be tested in practice because the ground was frozen.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Earthquake, piezoelectric effect
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinööri työ on tehty Kajaani ammattikorkealle ja työn tilaajana on toiminut Jukka Heino. Haluan kiittää kaikkia työn onnistumiseen vaikuttaneita henkilöitä. Eritoten haluan kiittää työni valvojaa, lehtori Jukka Heinoa, jolta sain arvokkaita neuvoja kytkennän suunnittelussa. Haluan myös kiittää teknikko Harri Honkasta, joka neuvoi Micro-Cap- ja PADS-ohjelmistojen käytössä. Kiitän myös lehtori Eero Soinista ja yliopettaja Kaisu Korhosta työn kielellisestä ohjauksesta

Mika Hurskainen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 MAAN RAKENNE	7
2.1 KUORI	7
2.2 VAIPPA	8
2.3 YDIN	9
2.4 MAANJÄRISTYKSET	10
3 MINERAALIT JA KIVILAJIT	15
3.1 MINERAALIT	15
3.2 KIVILAJIT	16
4 PIETSOSÄHKÖINEN ILMIÖ	18
5 VAHVISTINYKSIKÖN SUUNNITTELU	19
5.1 ESIVAHVISTIN	19
5.2 RC-ALIPÄÄSTÖSUODATIN JA NOTCH-SUODATIN	21
5.3 PÄÄTEVAHVISTIMET	24
5.4 VIRTALÄHDE	25
6 LAITTEEN KOKOAMINEN JA TESTAUS	27
7 MITTAUKSET	29
8 PARANNUSEHDOTUKSET	32
9 YHTEENVETO	33
LÄHDELUETTELO	34
LIITTEET	

1 JOHDANTO

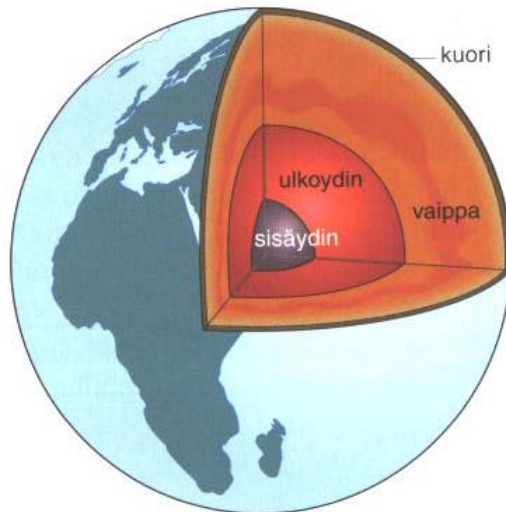
Tämä insinööriyö on tehty Kajaanin ammattikorkeakoululle. Tarkoituksena oli tehdä mittalaite, jolla pystyttäisiin mittaamaan maassa olevia pietsosähköisiä ilmiöitä. Mittalaitteen antennina toimii kaksi maahan upotettua pystytappia, joilla mitataan maasta tulevat jännitteet.

Tämä insinööriyö tehtiin, koska tällaisten pietsosähköisten ilmiöiden mittaamista ei ole Suomessa aikaisemmin tehty. Suomi sijaitsee Euraasian laatan keskellä, eikä täällä ilmene tämän vuoksi suurempia järistyksiä. Suunnitellulla laitteella tullaan jatkossa tutkimaan Suomessa tapahtuvia pietsosähköisiä ilmiöitä. Mittaustuloksia tullaan vertaamaan muissa maissa saatuihin tuloksiin.

Vielä ei ole pystytty todistamaan, että pietsosähköinen ilmiö ennakoii maanjäristyksiä. Tutkimustulokset kuitenkin viittaavat mahdollisuuteen havaita tuleva maanjäristys pietsosähköisistä ilmiöistä.

2 MAAN RAKENNE

Maapallon sisärakennetta on selvitetty Maan läpi kulkevien pitkittäisten P- eli primaariaaltojen ja poikittaisten S- eli sekundaariaaltojen avulla. Aaltojen nopeus riippuu väliaineen tiheydestä ja olomuodosta. Mitä tiheämpää aine on, sitä nopeammin aallot kulkevat. Näin on saatu maapallo jaettua kolmeen toisistaan erilaiseen kehään. Uloimpana kehänä on kiinteä kuori, sen alapuolella on sulasta kiviaineksesta koostuva vaippa ja sisimpänä rauta-nikkeli ydin. Kuvassa 1 on esitetty Maan sisärakenne.



Kuva 1. Maan sisärakenne [1, s. 83.]

2.1 Kuori

Alkuvaiheessa maapallon pintaan osui jatkuva meteoriittipommitus. Sen vaikutuksesta maapallon pintaosat pysyivät osittain sulina. Maa ei kuitenkaan ole voinut olla kokonaan sulana, koska vety ja muut kevyet alkuaineet eivät ole täysin karanneet takaisin avaruuteen. Meteoriittipommitus loppui vähitellen satojen miljoonien vuosien kuluessa ja pintaosat jäähmettyivät kokonaan. Kevyimmät kivilajit muodostivat uloimman kiinteän kerroksen, kuoren. [1, s. 84.]

Kuoren paksuus vaihtelee alueittain. Mantereilla se on yleensä 35-40 km ja meren pohjassa 5-10 km. Mannerkuori, jonka tiheys on $2\,700\text{ kg/m}^3$, koostuu runsaasti piistä ja alumiinia sisältävistä kevyistä kivilajeista. Merenpohjassa kuori on muodostunut pelkästään mantereista kuorta painavammasta basalttisesta laajakivestä, jossa on piin ohella runsaasti magnesiumia. Merenpohjan kuori on koostumukseltaan hyvin tasalaatuista. Sitä vastoin mannerkuoren koostumus vaihtelee alueittain ja eri syvyyksillä. Syvemmälle mentäessä sen tiheys kasvaa ja myös ainekoostumus alkaa muistuttaa enemmän mereisen kuoren rakennetta. [1, s. 85.]

2.2 Vaippa

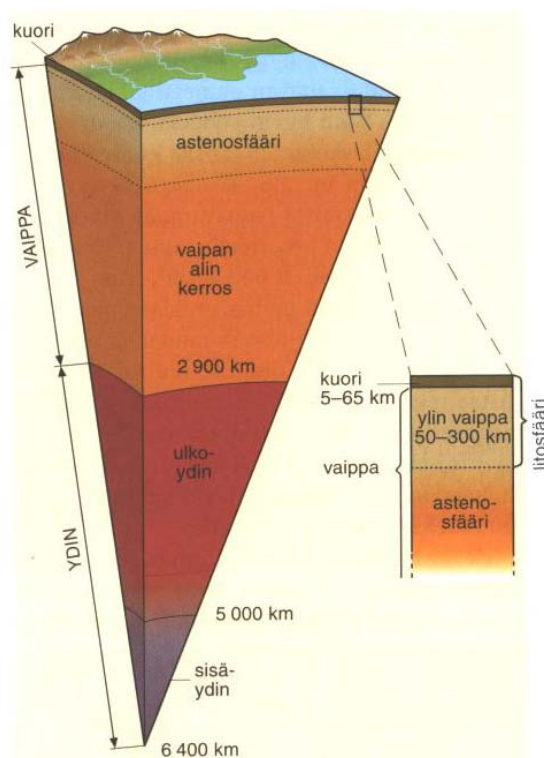
Vaippa alkaa heti kuoren alta ja yltää 2 900 km:n syvyydelle eli lähes Maan säteen puoliväliin saakka. Vaippa sisältää runsaasti magnesiumia ja rautaa. Sen uloin kerros on kovaa kiveä ja muodostaa yhdessä kuoren kanssa kivikehän eli litosfäärin. Sen paksuus on 50-100 km. Litosfäärin alla oleva vaipan kerros on astenosfääri. Se yltää noin 700 km:n syvyyteen. Maajärityksen S-aaltojen nopeudesta on päätelty astenosfäärin olevan osittain sulaa. Sen aines on pääasiassa silti kiinteää mutta joustavaa. [1, s. 85.]

Astenosfäärissä aines kiertää lämpöenergian kuljettamana konvektiovirtauksena hitaasti syvemmistä osista pintaan ja taas takaisin syvemmälle. Astenosfäärin aines muuttuu syvemmälle mentäessä paineen vuoksi, korkeammasta lämpötilasta huolimatta, aina jäykemmäksi. Astenosfäärin alla, syvemmällä vaipassa, aines on jo kymmeniä kertoja astenosfääriä jäykempää. Silti senkin on laskelmien avulla päätelty jonkin verran liikkuvan suurina pyörteinä. Kovakin aine voi nimittäin antaa periksi. Pyörteisissä virtauksissa aines myös lajittuu niin, että ylimpään osaan nousee vain sen kaikkein kevein osa. Vaipan eri kerrosten rajakohdissa mineraalikoostumukset muuttuvat aina niin, että alla oleva koostuu painavammista aineista. [1, s. 85.]

2.3 Ydin

Noin puolet Maan säteestä kuuluu ytimeen, jossa S-aallot eivät enää kulje. Koska tiedetään, että poikittainen aaltoliike ei etene nesteessä, uloimman osan, ulkoytimen, täytyy olla sulaa. Sisäytimessä lämpötila on noin 5 000 °C mutta valtavan paineen takia ydin ei ole silti sulaa vaan hyvin jäykkää. Maan keskitiheydeksi on laskettu 5 500 kg/m³. Koska kuoren kivilajien keskitiheys on 2 800 kg/m³, sisuksen täytyy olla paljon keskimääräistä painavampaa ainetta. P-aaltojen nopeuden perusteella ytimen tiheydeksi on laskettu 11 000 kg/m³. Tiheyden ja Maan magneettisten ominaisuuksien perusteella ytimen on päätelty olevan raudan ja nikkelin seosta, josta suurin osa on rautaa. Näin se vastaa metallimeteoriittien koostumusta. Maan magneettisuus johtuu ytimessä kiertävistä sähkövirroista. Ilmeisesti jopa sisimmässä ytimessä, joka on Maan kaikkein jäykintä osaa, tapahtuu aineksen hidasta virtausta. [1, s. 85-86.]

Kuvassa 2 on esitetty maapallon kerrokset.



Kuva 2. Maapallon kerrokset [1, s.85.]

2.4 Maanjäritykset

Useimmat maanjäritykset saavat tuhovoimansa maan kivikehän laattojen liikkeistä. Kun laatat vaikuttavat toisiinsa pitkin reunuksiaan, syntyy jännityksiä, kunnes osa mukana olevista kivilajeista ei enää kestä. Ne murtuvat silloin äkillisesti ja maa tärähtää. Pistettä, jossa energia vapautuu, nimitetään fokukseksi eli hyposentrumiksi. Paikka maanpinnalla suoraan fokuksen yläpuolella on episentrumi. Maanjäritys lähettää värähtelyjä eli aaltoja, jotka voivat aiheuttaa huomattavia vaurioita episentrumin läheisyydessä. Useimmat maapallon maanjäritysten episentumeista ovat siksi pitkällä kaistoilla, jotka myötäilevät laattojen rajoja, kuten valtameren keskiselänteitä, poikittaissiirroksia ja subduktiovyöhykkeitä. Toisaalta suuriakin maanjärityksiä sattuu laattojen sisäosissa kaukana reunuksista. Geologeilla on toistaiseksi vain äärimmäisen hämäriä ideoita siitä, miksi ja kuinka tällaiset järitykset keskellä laattaa tapahtuvat. Epäillään, että ne johtuvat syvällä sijaitsevista siirroksista, jotka olisivat peräisin aikaisemmasta laattatektonisesta vaiheesta eivätkä olisi vielä kokonaan rauhoittuneet. [2, s. 62.]

Järityksiä sattuu myös eri syvyyksillä maan kuoressa ja niinpä niiden vaikutuksetkin tuntuvat eri tavoin maan pinnalla. Lähellä pintaa laukeava järitys saa aikaan pahaa jälkeä, jos se sattuu osumaan asutusten lähelle. Syvempää tulevan järitykset ehtivät kalliomassat vaimentaa ja tuhot ovat vähäisemmät. [2, s. 62.]

Järitykset luokitellaan mataliksi, jos niiden fokukset eli hyposentrumit ovat pystysuunnassa 0-70 kilometrin syvyydessä, keskisyviksi syvyydsvälillä 70-300 kilometriä ja syviksi jos ne esiintyvät syvemmillä kuin 300 kilometriä. Syvimät koskaan rekisteröidyt järitykset tapahtuivat 720 kilometrin syvyydessä Floresinmeren alla Indonesiassa vuonna 1934. [2, s. 62.]

Maanjärityksiä ei satu kaikilla syvyyksillä 700 kilometriin saakka, eivätkä ne jakaudu tasaisesti. Japanin alla niitä tapahtuu 300 ja 400 kilometrin välillä paljon runsaammin kuin millään muulla syvyydellä. San Andreasin siirrosvyöhykkeessä Kaliforniassa sitä vastoin lähes kaikki seisminen toiminta tapahtuu ylimmä-

sä 20 kilometrissä ja Etelä-Amerikan alla ei tapahdu oikeastaan mitään järjestyksiä 300 ja 550 kilometrin välillä. Koko maailmassa esiintyy keskisyviä järjestyksiä kolme kertaa ja matalia noin kymmenen kertaa enemmän kuin syviä. [2, s. 62-64.]

Maanjäristysten episentrumit eivät jakaudu tasaisesti myöskään laattojen raja-alueilla. Lähes kaikki syvät, 90 % keskisyvistä ja 75 % matalista maanjäristyksistä tapahtuu Tyynenmeren rannikoilla. Pääosa jäljelle jäävistä suurista järjestyksistä sijoittuu Alppien-Himalajan vyöhykkeeseen, ja niitä katkoviin poikkittais-sirroksiin puolestaan liittyy pienempiä ja matalampia järjestyksiä. [2, s. 64.]

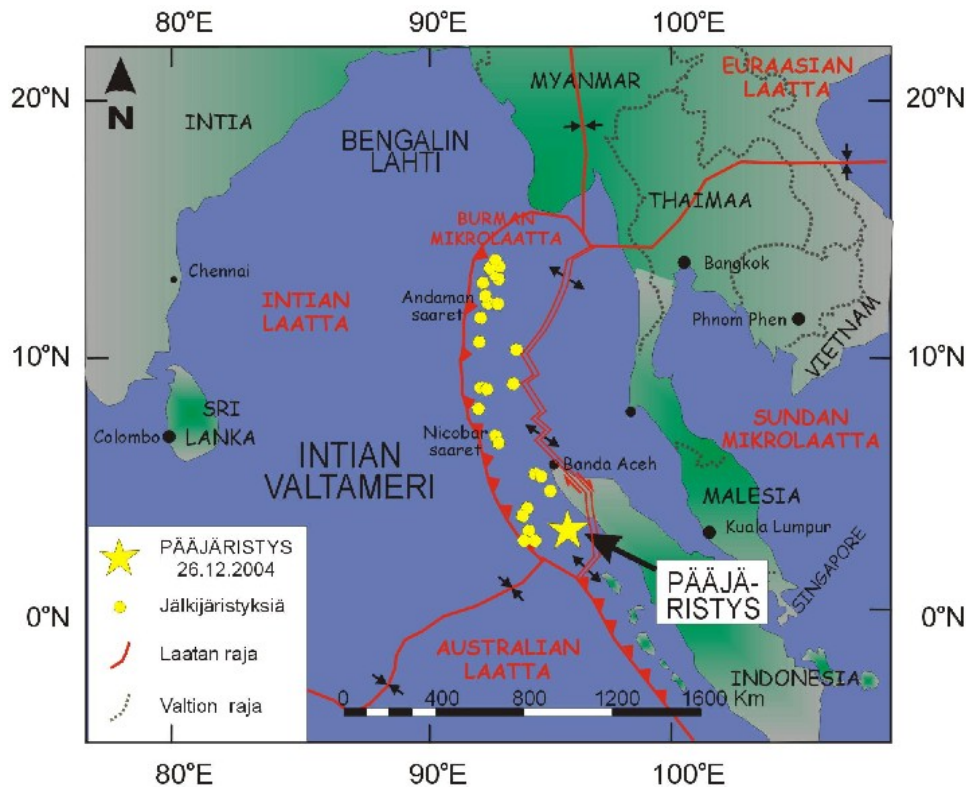
Maanjäristyksiä tilastoimalla on havaittu riippuvuus järjestyksen suuruuden ja sitä edeltävän hiljaisuuden välillä. Mitä kauemmin ja mitä suurempaan kivimassaan jännitys on kasautunut, sitä suuremmalla rytinällä se purkautuu. Noin viidessä vuodessa varastoituu energiaa, jonka vapautuminen aiheuttaa Richterin asteikon viiden asteen järjestyksen. Vastaavasti seitsemän asteen järjitystä edeltää noin 70 vuotta voimien kasvua. Luvut ovat kuitenkin karkeita yleistyksiä. Jokainen järjitys on yksilö, joka voi poiketa kaavasta suuntaan tai toiseen. [2, s. 64.]

Indonesian luonnonkatastrofi

Vuonna 2004 joulukuun 26 päivänä kello 07:58:49 paikallista aikaa tapahtui Intian valtamerellä Sumatran länsipuolella valtava maanjäristys, joka oli Richterin asteikolla luokkaa 9,0. Tämä laukaisi sarjan hyökyaaltoja eli tsunameja. Järjityksen fokus maankuoressa oli arviolta noin 10-30 kilometrin syvyydellä meren pinnasta laskettuna. Maa täräsi laajalla alueella erityisesti Banda Acehissä ja Medenissa, mutta myös Intiassa, Malesiassa, Singaporessa, Thaimaassa ja Malediivien saarilla. Maanjäristys rekisteröitiin myös ympäri maapalloa olevilla seismisillä asemilla mm. Tokiossa, Moskovassa, Honoluluussa, New Yorkissa ja muuallakin. Sumatran järjitys kuului merenalaiseen maanjäristysvyöhykkeeseen, joka alkoi Indoneasian eteläisiltä saarilta, seurasi Sundan vajoamaa ja

jatkuu luoteeseen Burman laatalle Nikobar-saarille ja kääntyy siellä pohjoiseen Andamanien saarille. [3.]

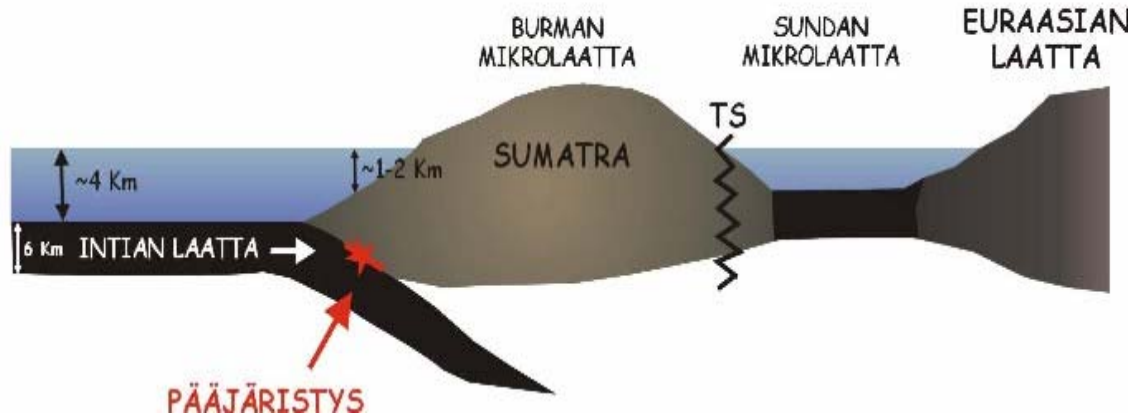
Kuvassa 3 on esitetty Intian valtameren maanjäristys joulukuussa 2004.



Kuva 3. Intian valtameren maanjäristys [3.]

Kuvassa 3 on Intian valtameren ja Indonesian alueen laattojen rajat sekä Sumatran maanjäristyksen tapahtumapaikka, joka on merkitty karttaan tähdellä. Kuvaan on myös merkitty ympyrällä vyöhykkeet, jota pitkin järistys eteni nopeasti ja laattojen rajat sekä tyypit. Toisistaan erkanevat nuolet kuvaavat laatan repeytymistä ja toisensa kohtaavat nuolet puristumista. [3.]

Pääsyy Sumatran maanjäristykselle oli Intian ja Euraasian mannerlaattojen keskinäinen hankaus Intian laatan työntyessä Euraasian laatan alle. Intian laatan alas työntyminen oli ajan mittaan kasvattanut laattojen sisäistä jännitystilaa, mikä purkautui äkillisesti järistyksenä. Kuvassa 4 on esitetty poikkileikkaus Intian, Burman, Sundan ja Euraasian laattojen suhteista. [3.]



Kuva 4. Poikkileikkaus Intian, Burman, Sundan ja Euraasian laattojen suhteista [3.]

Pääjäristys tapahtui Burman mikrolaamalla noin 255 km Sumatran saaren pohjoiskärjestä etelään. Merellisen kuoren repeämätapahtuma alkoi n. 10–30 km:n syvyydellä olevassa ja loivasti itään kallistuvassa siirrostasossa, jota pitkin Intian laatta painuu Burman laatan alle. Tässä tapahtumassa Burman laatta äkillisesti liikahti Intian laatan päällä useita kymmeniä metrejä aiheuttaen rajun maanjäristyksen. Burman laatan lonksahdus viistoon ylöspäin oli todennäköisesti tapahtunut pitkin laattojen välistä siirrostasoa. Vertikaalisuunnassa katsottuna Burman laatta kohosi Intian laattaan nähden jopa 4 metriä. Järistyksiä oli useita ja ne etenivät 2-3 km/s vauhdilla pohjoiseen kohti Andamanien saaria. Pohjois-etelä suunnassa järistysvyöhykkeen pituus oli noin 1200 km ja leveys noin 100 km. Intian valtameren rannikoilla tapahtuneet suurtuhot aiheutuivat enimmäkseen kuitenkin tsunamideista eikä näistä maanjäristyksistä, vaikka tsunamit saivatkin niistä alkunsa. [3.]

Järistystä seuranneen kolmen vuorokauden aikana tapahtui noin 140 jälkijäristystä, joista suurin tapahtui kolme ja puoli tuntia ison järistysten jälkeen Nicobarin saaristossa. Tämä oli voimakkuudeltaan 7,3 Richteriä. Jälkijäristysvyöhyke, joka samalla osoittaa järistysalueen laajuuden, ulottui Sumatran pohjoisosasta Andamanien saaristoon. [3.]

Indonesian luonnonkatastrofi kosketti eri maissa kansalaisia voimakkaasti ja se sai poikkeuksellisen suurta julkisuutta. Kaiken kaikkiaan noin 300 000 ihmistä kuoli tai katosi. Tapahtumahetkellä Thaimaassa oli noin 3 000 suomalaista ja Sri Lankassa yli 600. Heistä kuoli tai katosi katastrofissa 179 ja loukkaantui noin 250. Pohjoismaista tanskalaisia uhreja oli 47, norjalaisia 84 ja ruotsalaisia 544.
[4.]

3 MINERAALIT JA KIVILAJIT

Kaikki kivilajit muodostuvat erilaisista mineraaleista, jotka ovat kiinteitä, kemialliselta koostumukseltaan vaihtelevia aineita. Mineraalit koostuvat atomeista, niin kuin kaikki aineet. Kvartsi, joka on eräs yleisimmistä mineraaleista, koostuu vain hapestä ja piistä ja sen kemiallinen merkki on SiO_2 puhtaana. [5.]

Kivilajeissa mineraaleja on yksi tai useampi. Kalkkikivi muodostuu vain yhdestä mineraalista, kalsiitista, kun taas graniitti koostuu pääasiassa kvartsista, plagioklaasista ja kalimaasälvästä. [5.]

3.1 Mineraalit

Mineraalit ovat kivilajien rakenneosia. Mineraaleilla on määrätty kemiallinen koostumus ja tietty kidemuoto. Atomit ovat mineraaleissa säännönmukaisessa järjestyksessä. Mineraalit ovat olomuodoltaan kiteisiä tai amorfisia eli ei-kiteisiä. Mineraaleja tunnetaan tuhansia mutta vain kuusi mineraalia vastaa 90 %:sta maankuoren rakenteesta. Yleisimmät mineraalit ovat kvartsi, kalimaasälpä, plagioklaasi ja kiille. Vaalea kiille on muskoviittia ja tumma kiille biotiittia. Muita yleisiä mineraaleja ovat pyrokseenit, amfibolit, oliiviini ja karbonaatit. Mineraalit koostuvat yhdestä tai useammasta alkuaineesta. Kemiallisesti mineraalit ovat silikaatteja, oksideja, karbonaatteja, sulfideja, halogenideja, sulfaatteja tai fosfaatteja. [5.]

Mineraalit kiteytyvät tiettyihin kidemuotoihin, jotka on ryhmitelty seitsemäksi kidejärjestelmäksi. Kiteiden rakenne johtuu atomien välisestä ryhmittymisestä. Mineraalin asulla tarkoitetaan sen ulottuvuuksien keskinäistä suhdetta. Mineraali voi olla asultaan mm. rakeinen, pitkänomainen, puikkomainen, kuituinen tai suomuinen. Mineraalien tunnistamisessa käytetään usein Mohsin kovuusasteikkoa, joka perustuu mineraalien erilaisiin raaputuskovuuksiin. Mohsin kovuusasteikko määritellään asteikolla 1-10. Pienimmän kovuuden omaavalla mineraalilla on kovuusaste 1 ja suurimman kovuuden omaavalla 10. Talkki on kovuusasteeltaan 1 ja timantti kovuusasteeltaan 10. Eurooppalaisten EN-standardien mu-

kaan luonnonkiven kovuus määritetään ns. Knoopin kovuutena. Mineraalien ulkonäköominaisuudet ja fysikaaliset ominaisuudet vaihtelevat. [5.]

3.2 Kivilajit

Kivilajit jaetaan syntytapansa mukaan kolmeen pääluokkaan:

- Magmaattiset kivet, jotka ovat kiteytyneet magmasta eli sulasta kiviaineksesta.
- Sedimenttikivet, jotka ovat muodostuneet veteen tai kuivalle maalle kerrostumalla tai kovettumalla.
- Metamorfiset kivet, jotka ovat syntyneet uudelleenkiteytymällä tai osittain sulamalla.

Magmakivet ovat syntyneet magman eli kivisulan jäähtyessä ja kiteytyessä. Magmaattiset kivilajit jaetaan syntyvytyensä ja rakenteensa perusteella kolmeen ryhmään: syväkiviin, juonikiviin ja vulkaanisiin kiviin eli pintakiviin. [5.]

Syväkivet ovat kiteytyneet magmasta usean kilometrin syvyydellä maankuoresa. Kiteytyminen on tapahtunut miljoonien vuosien kuluessa. Tyypillisiä syväkiviä ovat esimerkiksi graniitti ja gabro. Juonikivet ovat syntyneet kun magmaa on tunkeutunut lähemmäksi maanpintaa muodostuneisiin rakoihin ja halkeamiin. Magman kiteytyminen on kestänyt vain joitakin satoja tai tuhansia vuosia. Vulkaaniset kivet eli tulivuorikivet ovat syntyneet tulivuorista maanpinnalle tai merenpohjalle purkautuneesta magmasta. Jäähtyminen ja kiteytyminen ovat tapahtuneet nopeasti. [5.]

Sedimenttejä muodostuu magmakivien, metamorfisten kivien ja sedimenttikivien rapautumistuotteista kerrostumisen tai liuoksista kemiallisen saostumisen tuloksena. Sedimenteistä syntyy sedimenttikiviä niiden kovettuessa ja kivettyessä. Esimerkiksi hiekkakivi on laajimmalle levinnyt sedimenttikivi ja esiintyy yleensä selvästi kerroksellisena. Se on syntynyt hiekkajyvästen iskostuessa toisiinsa saven, kalkin tai piihapon avulla. Kvartsin osuus on hiekkakivissä vallitseva. [5.]

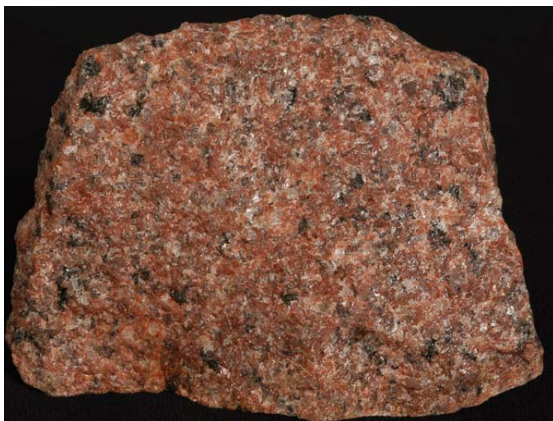
Metamorfiset eli muuttuneet kivet ovat syntyneet metamorfoosin eli muodonmuutoksen kautta kovassa paineessa ja korkeassa lämpötilassa. Metamorfoosiin voi joutua mikä tahansa kivi, sedimenttikivien lisäksi magmakivet ja vanhat metamorfiset kivetkin. [5.]

Kuvassa 5 on arkoosihiekkakivi, joka on runsaasti kalimaasälpää sisältävä hiekkakivi.



Kuva 5. Arkoosihiekkakivi [6.]

Kuvassa 6 on punainen graniitti. Graniitti on syväkivi, jonka päämineraalit ovat kalimaasälpä, plagioklaasi, kvartsi ja biotiitti.



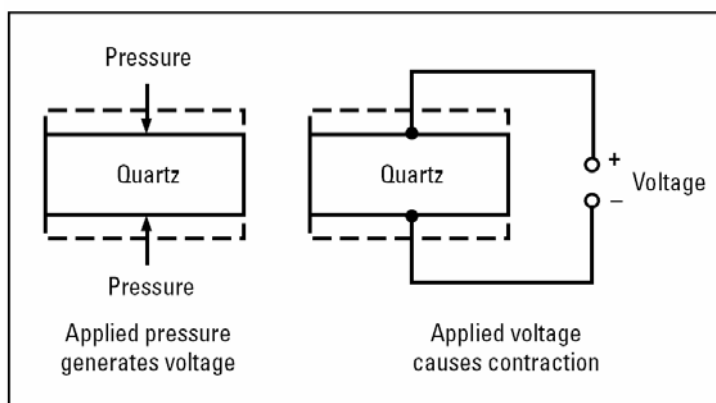
Kuva 6. Punainen graniitti [6.]

4 PIETSOSÄHKÖINEN ILMIO

Niin aikaisin kuin 1880-luvulla tiettyjen kiteiden mineraalien tiedettiin tuottavan sähköistä latausta kuumennettaessa. Veljekset Pierre ja Jacques Curie keksivät varsinaisen pietsosähkön, jota käytetään nykyäänkin. Vuonna 1880 veljekset ennustivat ja näyttivät toteen ilmiön käyttämällä tinapaperia, liimaa, johtoa, magneetteja ja timanttisahaa. He osoittivat, että turmaliinikiteet, kvartsi, topaasi, ruokosokeri ja Rochelle suola tuottavat sähköistä polarisaatiota mekaanisesta paineesta. Tämä ilmiö nimettiin pietsosähköksi kreikankielisen sanan piezein mukaan, mikä tarkoittaa puristaa tai painaa. [7.]

Käänteisen pietsosähköisen ilmiön matemaattisesti päätteli alkeellisesta termodynamiikan periaatteista Lippmann vuonna 1881. Välittömästi tämän jälkeen Curiesin veljekset vahvistivat käänteisen ilmiön. [7.]

Tämä sähköinen polarisaatio voidaan tuottaa jännittämällä kuten taivuttamalla, vääntämällä ja tuottamalla painetta kvartsikappaleeseen. Tämä sähköinen polarisaatio toimii jännitteen lähteenä. Lisäksi, käänteinen vaikutus pystytään luomaan esimerkiksi johtamalla kiteeseen jännite, mikä tuottaa mekaanista liikettä. Kuvassa 7 on esitetty pietsosähköisen ilmiön periaate. [8, s. 4.]



Kuva 7. Pietsosähköisen ilmiön periaate [8, s. 4.]

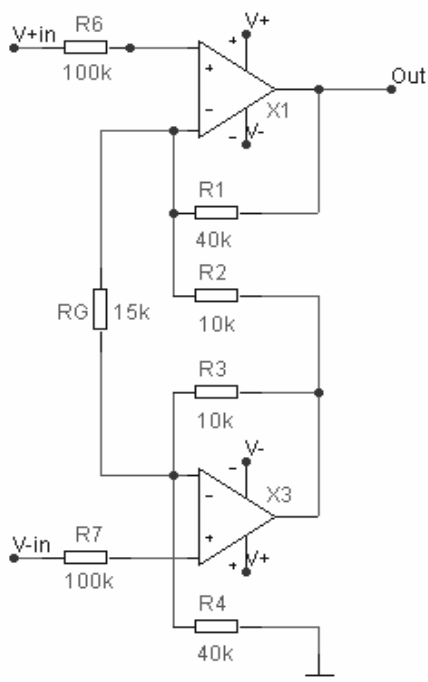
Oletetaan että, tällaista ilmiötä voidaan mitata esisähköisillä sondeilla, jotka ovat sijoitettu maahan vähintään 30 metrin päähän toisistaan.

5 VAHVISTINYKSIKÖN SUUNNITTELU

Vahvistimen suunnittelu aloitettiin miettimällä oikeanlainen rakenne. Suunnittelussa tuli ottaa huomioon signaalien matalat taajuudet ja vahvistimen tuli suodattaa 50 Hz:n taajuudella oleva verkkohäiriö mahdollisimman pieneksi. Vahvistimen tuli käyttää positiivista ja negatiivista jännitettä. Jännite tuotaisiin vahvistimelle erillisellä muuntajalla, josta saadaan vain yhtä jännitettä. Piirilevyllä tuli suunnitella täten erillinen hakkurivirtalähde, jolla saataisiin yhdestä jännitteestä positiivinen että negatiivinen käyttöjännite vahvistimelle.

5.1 Esivahvistin

Koska vahvistimen tuli vahvistaa maasta tulevien kahden eri amplitudin omaavaa signaalia, tähän tarkoitukseen kävi hyvin instrumentointivahvistin. Se vahvistaa kahden signaalin erotussignaalin. Instrumentointivahvistimella saavutetaan erittäin hyvä CMRR eli yhteismuodon vaimennuskerroin. Kuvassa 8 on esitetty suunniteltu kytkentä.



Kuva 8. Esivahvistin

Instrumentointivahvistin suunniteltiin kahden operaationvahvistimen avulla. Signaali tuodaan maasta V+ ja V- nastoihin kahden 100 kΩ vastuksen läpi, minkä jälkeen signaalien erotus vahvistetaan. Instrumentointivahvistimen vahvistusta on helppo muuttaa. Vahvistuksen määräävät kytkennässä olevat vastusarvot. Kun esivahvistimessa olevat samansuuruiset vastukset R_1 ja R_4 ovat yhtä kuin R_2 , ja samansuuruiset vastukset R_2 ja R_3 ovat yhtä kuin R_1 , saadaan vahvistus laskettua kaavasta

$$A_U = \frac{R_2 \times (2R_1 + R_G)}{R_1 * R_G} + 1, \quad (1)$$

missä A_U on vahvistus ja R_1 , R_2 ja R_G ovat resistanssin arvoja [9, s.143]. Kun halutaan mitoittaa vastus R_G , saadaan kaavasta 1 johdettua R_G :lle lauseke

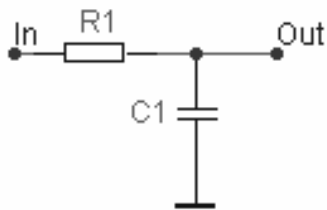
$$R_G = \frac{2R_2}{A_U - 1 - (R_2 / R_1)}. \quad (2)$$

Kaavasta 2 huomataan, että mitä isompi vastus R_G on, sitä pienempi esivahvistimen vahvistus tulee olemaan.

Tässä työssä esivahvistimena käytettiin INA126-piiriä, joka on sisäiseltä kytkennältään kuvan 8 mukainen R_G vastusta lukuun ottamatta. Vastuksen R_G arvoksi mitoitettiin 15 kΩ kaavan 2 avulla. Tällä vastuksen arvolla saatiin vahvistukseksi 10 kaavaa 1 käyttäen. Tämä vastaa jännitevahvistuksena 20 dB:tä.

5.2 RC-alipäästösuodatin ja notch-suodatin

Instrumentointivahvistimen jälkeen suunniteltiin RC-alipäästösuodatin. Se on toteutettu kahdella komponentilla eli vastuksella R ja kondensaattorilla C. RC-alipäästösuodattimen tarkoitus on suodattaa tietyntaajuiset signaalit pois. Kuvassa 9 on esitetty yksinkertainen alipäästösuodin.

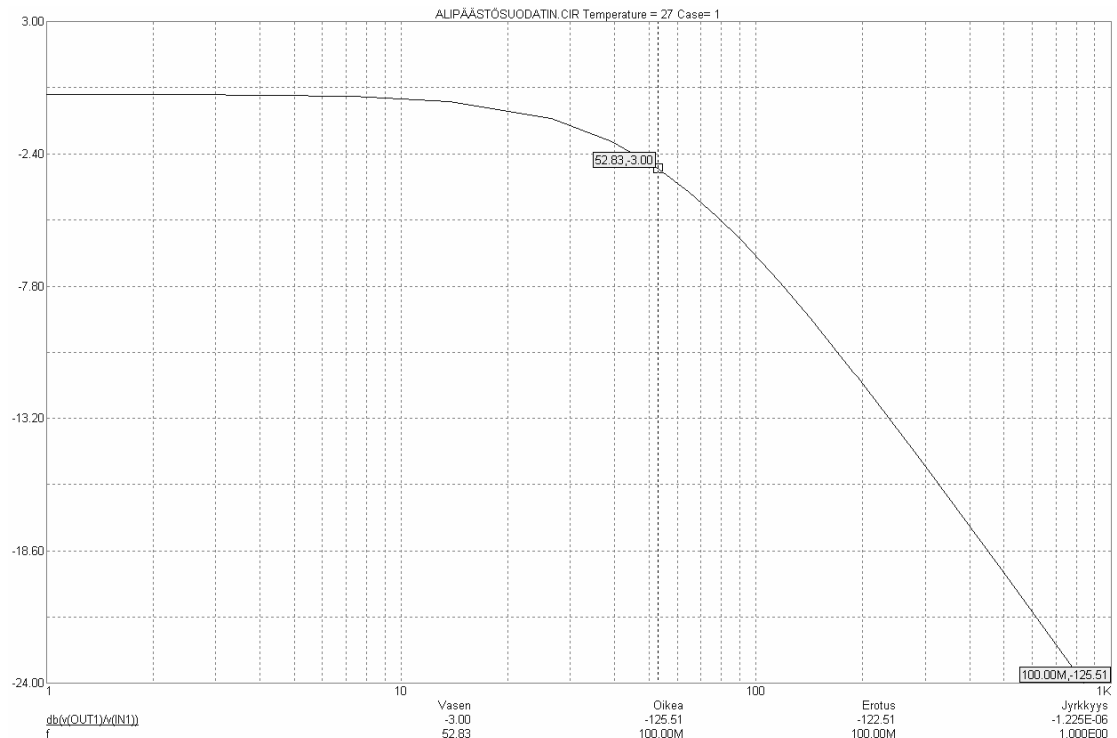


Kuva 9. RC-alipäästösuodatin

Alipäästösuodattimen ylärajataajuus saadaan laskettua kaavasta

$$f = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (3)$$

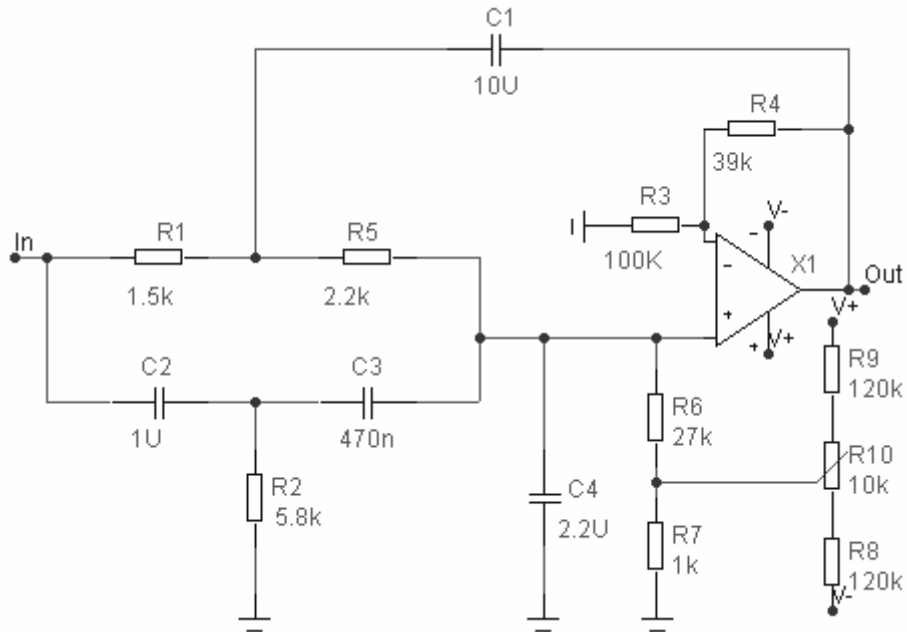
missä f on ylärajataajuus, R on resistanssin arvo ja C on kapasitanssin arvo [10, s.14]. Alipäästösuodattimen ylärajataajuudeksi mitoitettiin 50 Hz. Resistanssin R arvoksi valittiin 2,0 k Ω ja kapasitanssin C arvoksi 1,5 μ F. Näillä komponenttiarvoilla alipäästösuodattimen ylärajataajuus menee hieman yli 50 Hz:n. Kuvassa 10 on esitetty Micro-Cap-ohjelmalla testattu RC-alipäästösuodattimen taajuusvaste.



Kuva 10. RC-alipäästösuodattimen taajuusvaste

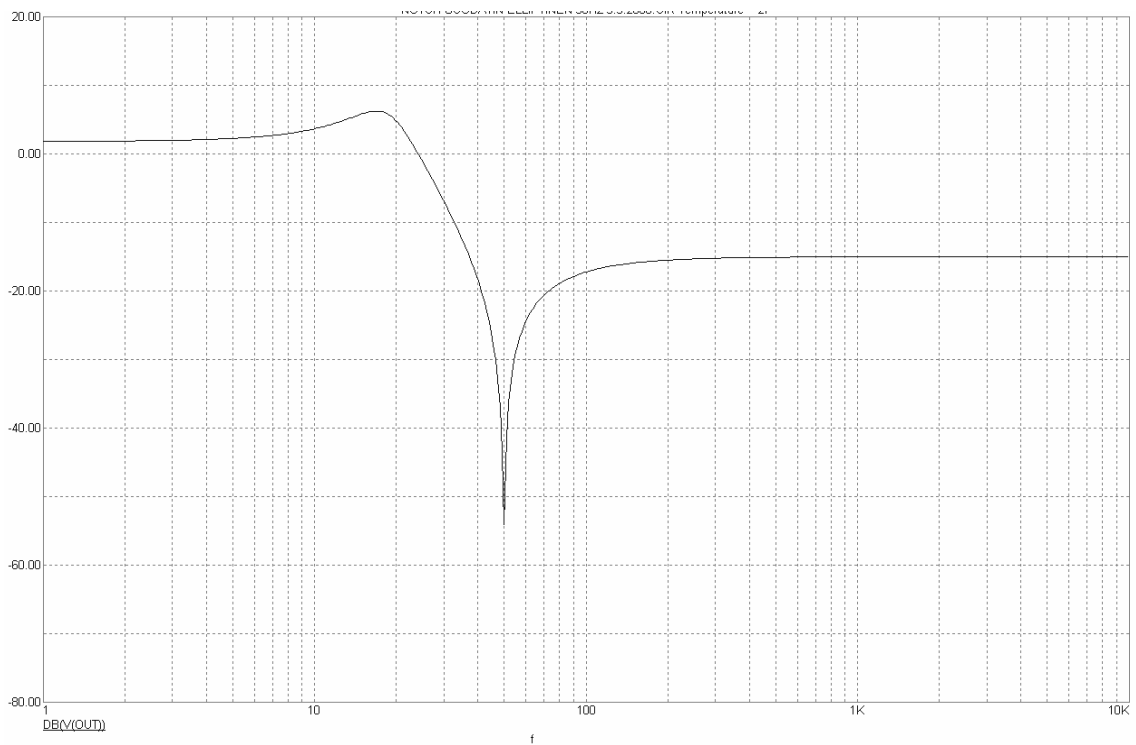
Kuvasta 10 voidaan huomata, että suodatin rupeaa suodattamaan signaalia -3 dB:n kohdalla taajuuden ollessa 52,8 Hz.

Alipäästösuodattimen jälkeen suunniteltiin imu- eli notch-suodatin. Notch-suodattimen suunnittelussa käytettiin apuna Micro-Cap-ohjelmaa, joka suunnitteli melkein alusta loppuun suotimen. Ainoa mitä Micro-Cap-ohjelma ei osannut ottaa huomioon, oli se, että se suunnitteli kytkennän liian pienillä komponentin arvoilla. Tästä syystä kytkentä lähti värähtelemään. Tämä korjattiin kertomalla jokainen vastusarvo sadalla ja jakamalla jokainen kondensaattoriarvo sadalla. Näin kytkennän ominaisuudet pysyivät muuttumattomana. Operaatiovahvistimenä käytettiin TL074CN-piiriä. Piiri sisältää 4 operaatiovahvistinta, joista notch-suodattimeen tarvitaan yksi kappale. Muut operaatiovahvistimet tullaan tarvitsemaan päätevahvistimen rakentamisessa. Kuvassa 11 on esitetty suunniteltu notch-suodatin.



Kuva 11. Notch-suodatin

Notch-suodattimen tarkoitus on suodattaa 50 Hz:n taajuudella toimiva verkko-häiriö mahdollisimman pieneksi. Vastuksilla R8, R9 ja R10 saadaan säädettyä operaatiovahvistimen offset nolaksi. Kuvassa 12 on esitetty Micro-Cap-ohjelmalla testattu notch-suodattimen taajuusvaste.



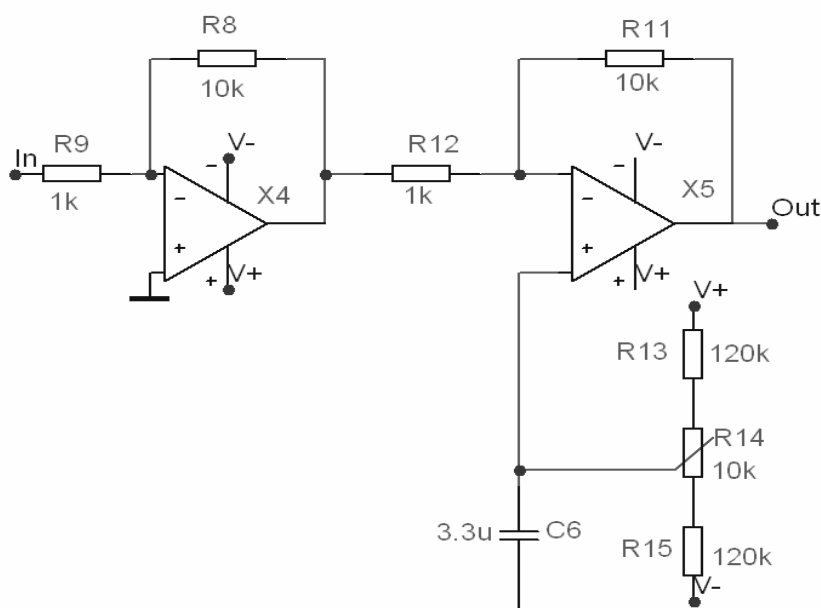
Kuva 12. Notch-suodattimen taajuusvaste

Kuten kuvasta 12 huomataan, notch-suodattimen taajuusvaste on minimissään 50 Hz:n kohdalla ja se on vaimentunut noin 55 dB. Tämä on riittävän hyvä vaimennus tähän tarkoitukseen. Taajuus alkaa pudota noin 25 Hz:n kohdalla ja saavuttaa miniminsä 50 Hz:n kohdalla. Koska notch-suodattimen eteen rakennettiin RC-alipäästösuodatin, eivät yli 50 Hz:n taajuudet pääse vahvistimesta läpi. Näin ollen yli 50 Hz:n yläpuolella taajuus on minimissään.

RC-alipäästösuodattimen ja notch-suodattimen yhteinen vaimennus mitattiin olevan vajaa 5 dB:tä.

5.3 Päätevahvistimet

Alipäästösuodattimen ja notch-suodattimen jälkeen signaali piti vahvistaa vielä oikean suuruiseksi. Tähän tarkoitukseen tehtiin TL074CN-piirin avulla vahvistin. TL074CN-piiri valittiin tähän tarkoitukseen sen takia, koska se on vähäkohinainen ja hyvin yleisesti käytetty piiri. Päätevahvistimeen käytettiin kaksi operaatiovahvistinta. Tämä sen takia, ettei yhdestä vahvistimesta tarvinnut ottaa niin paljon vahvistusta. Vahvistimet ovat kääntäviä eli invertoivia vahvistimia. Kuvassa 13 on esitetty suunnitellut päätevahvistimet.

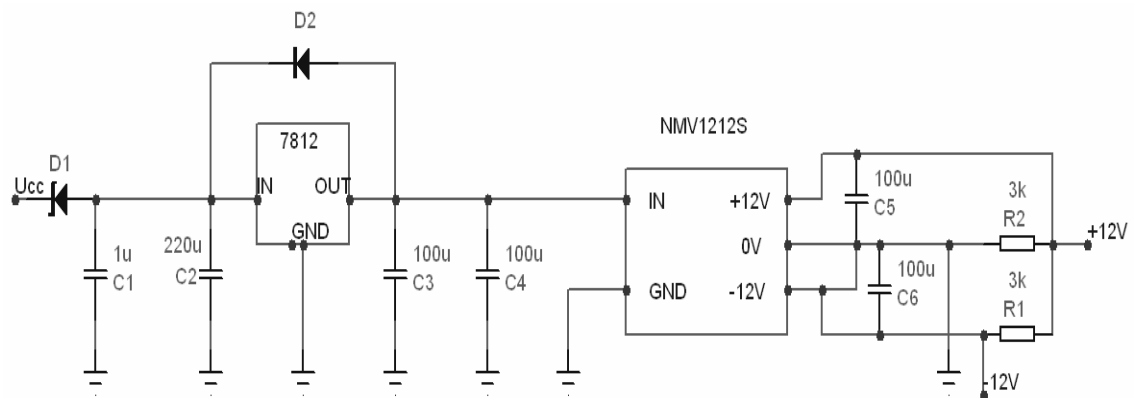


Kuva 13. Päätevahvistimet

Ensimmäinen vahvistin on suunniteltu perus invertoivaksi vahvistimeksi, jonka vahvistus on 10. Jälkimmäinen vahvistin on melkein samanlainen, mutta piiriin on lisätty offset-säätö. 10 k Ω trimmerillä säädetään offset oikeaan kohtaa. Kuvasta 13 päätellään, että vahvistimen vahvistus riippuu vastuksien arvosta. Koko vahvistimen vahvistukseksi tuli 55 dB, joka on riittävän suuri vahvistamaan maasta tulevia jännitteitä.

5.4 Virtalähde

Kun vahvistinosa oli saatu valmiiksi, tuli vielä rakentaa vahvistimelle virtalähde. Jännite tuotaisiin vahvistimelle erillisellä muuntajalla, joka antaa vain yhtä jännitettä. Virtalähdettä lähdettiin suunnittelemaan hakkurivirtalähteiden periaatteilla. Koska vahvistin tarvitsi positiivisen ja negatiivisen jännitteen, tähän tarkoitukseen kävi hyvin NMV1212S-piiri. Se tuottaa yhdestä jännitteestä positiivisen ja negatiivisen jännitteen. NMV1212S-piiri valittiin myös sen takia, koska se ei tarvinnut toimiakseen kuin muutaman ulkoisen komponentin. Kuvassa 14 on esitetty suunniteltu virtalähdekytkentä.



Kuva 14. Virtalähde

Jännite tuodaan erillisellä muuntajalla U_{cc} pisteeseen, josta jännite pudotetaan 15 V zener-diodilla pienemmäksi. Tämän jälkeen jännite vietään jännite regulaattorille, josta ulostulevaksi jännitteeksi saadaan 12 V. Kondensaattorit C2 ja C3 ovat regulaattoripiirin suojana. Regulaattoripiiriä käytettiin, koska NMV1212S-piiri tarvitsee stabiilin sisäänmenojännitteen. Tämän jälkeen jännite

tuodaan NMV1212S-piirille, jossa piiri hakkaa positiivista että negatiivista 12 V jännitettä. Toimiakseen NMV1212S-piiri tarvitsi kaksi vastusta piirin lähtöön. Kondensaattori C4, joka on piirin lähdössä, suodattaa se piirille menevää jännitettä. Piirinlähdössä olevat kondensaattorit C5 ja C6 suodattavat piiriltä lähtevää jännitettä.

6 LAITTEEN KOKOAMINEN JA TESTAUS

Laitteesta tehtiin ensin prototyyppi reikälevylle. Laitetta testattiin jo rakenteluvaiheessa. Kun yksi kokonaisuus saatiin rakennettua valmiiksi reikälevylle, testattiin jokainen kokonaisuus yksitellen. Kuvassa 15 on esitetty testauksen lohkokaavio.



Kuva 15. Testauksen lohkokaavio

Esivahvistin testattiin syöttämällä V+in nasaan 10 Hz:n taajuista ja 1 mV:n omaavaa signaalia. Nasta V-in kytkettiin suoraan maahan. Tämän jälkeen mitattiin esivahvistimen ulostuleva jännite. Vahvistimen vahvistukseksi saatiin 10, joka vastaa jännitevahvistuksena 20 dB.

RC-alipäästösuodatin ja notch-suodatin testattiin syöttämällä RC-alipäästösuodattimen lähtöön 10 Hz:n taajuista ja 1 mV:n omaavaa signaalia. Mitattiin suodattimien ulostuleva jännite. Suodattimien huomattiin suodattavan vajaa 5 dB.

Päätevahvistimet testattiin syöttämällä vahvistimen sisään menoon 10 Hz:n taajuista ja 1 mV:n omaavaa signaalia. Mitattiin päätevahvistimien ulostuleva jännite. Päätevahvistimien vahvistukseksi saatiin 20, joka vastaa jännitevahvistuksena 40 dB.

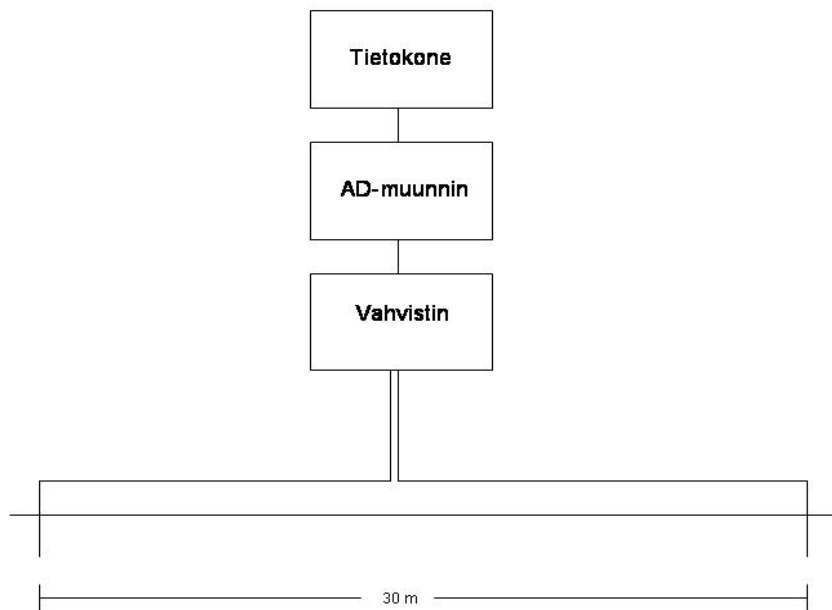
Lopulliselle vahvistimelle rakennettiin piirilevy PADS-piirilevyohjelmistolla. Vahvistimelle tehtiin kaksipuoleinen piirilevy, josta toista puolta käytettiin maatasona. Virtalähteen ja vahvistimen maat tehtiin erilliseksi häiriöiden vähentämiseksi. Piirilevy suunniteltiin E1 mitat omaavalle piirilevyille, jonka mitat ovat

160 mm x 100 mm. Tämä tosin oli turhan iso vahvistimelle, joten piirilevyä hie-
man pienennettiin. Piirilevyn piirros on esitetty liitteessä B.

Valmis piirilevy testattiin yllä olevan protolaitteen testauksen mukaisesti. Val-
miista piirilevystä testattiin myös koko vahvistimen vahvistus. Syötettiin esivah-
vistimeen V+in nastaan 3 Hz:n taajuista ja 1 mV:n omaavaa signaalia. Mitattiin
päätevahvistimen ulostuleva jännite. Huomattiin vahvistimen vahvistavan 55 dB,
joka on riittävän hyvä vahvistamaan maasta tulevia jännitteitä. Testattiin myös
notch-suodattimen toimivuus edellisten ohjeiden mukaisesti. Suodatin toimi
moitteettomasti.

7 MITTAUKSET

Toiminnallista testausta ei voitu suorittaa, koska opinnäytetyötä tehdessä maa oli vielä roudassa ja täten se jätettiin myöhemmäksi ajankohdaksi. Seuraavaksi on esitetty kuinka mittaukset tullaan tekemään myöhemmässä vaiheessa. Kuvassa 16 on havainnollistettu laitteistojen sijoitukset mittauksissa.

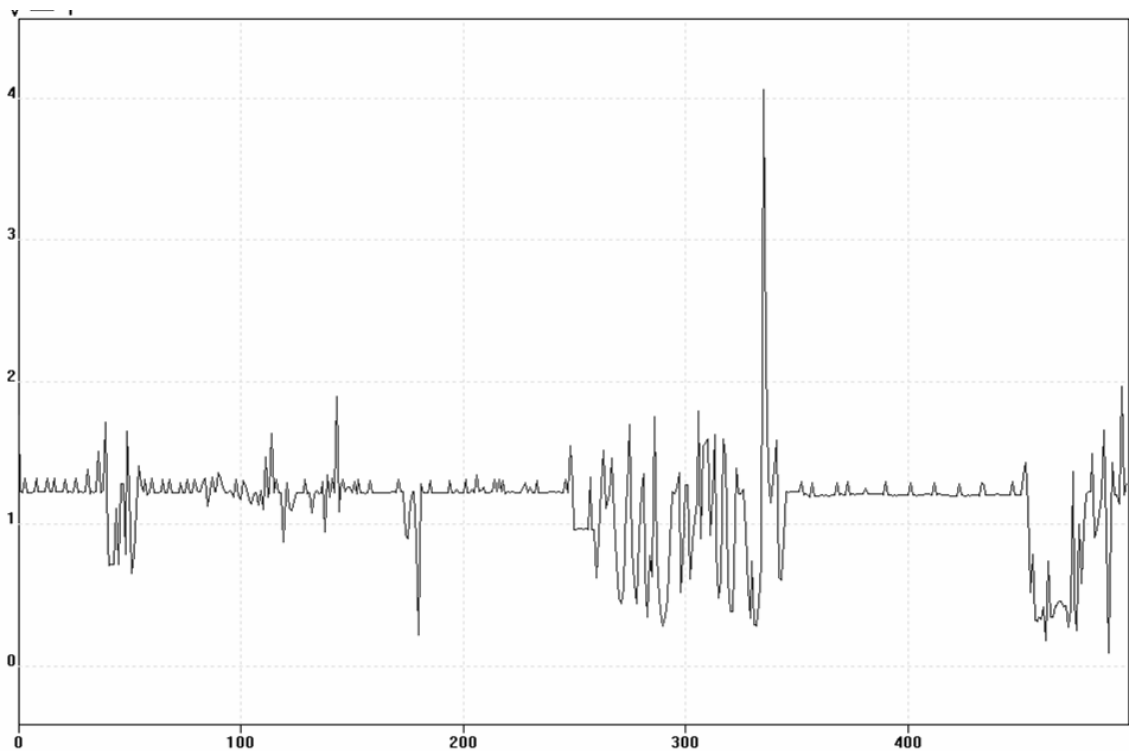


Kuva 16. Laitteistojen sijoitus mittauksissa

Antennina toimii kaksi maahan upotettua pystytappia, joiden toiset päät sijoitetaan maahan vähintään 30 metrin etäisyydelle toisistaan. Toiset päät sijoitetaan vahvistimeen. Pystytapit tulee sijoittaa pohjois-etelä suuntaisesti, koska silloin saadaan parhaat mittaustulokset eikä maan magneettikenttä sotke tällöin mittaustuloksia.

Maasta tuleva jännite vahvistetaan vahvistimessa, josta se tämän jälkeen vietään erilliselle AD-muuntimelle. Tämä AD-muunnin muuntaa analogisen informaation digitaaliseen muotoon. Muuntimen jälkeen informaatio vietään tietokoneelle, jolla mittaukset tehdään PicoLog-ohjelmalla.

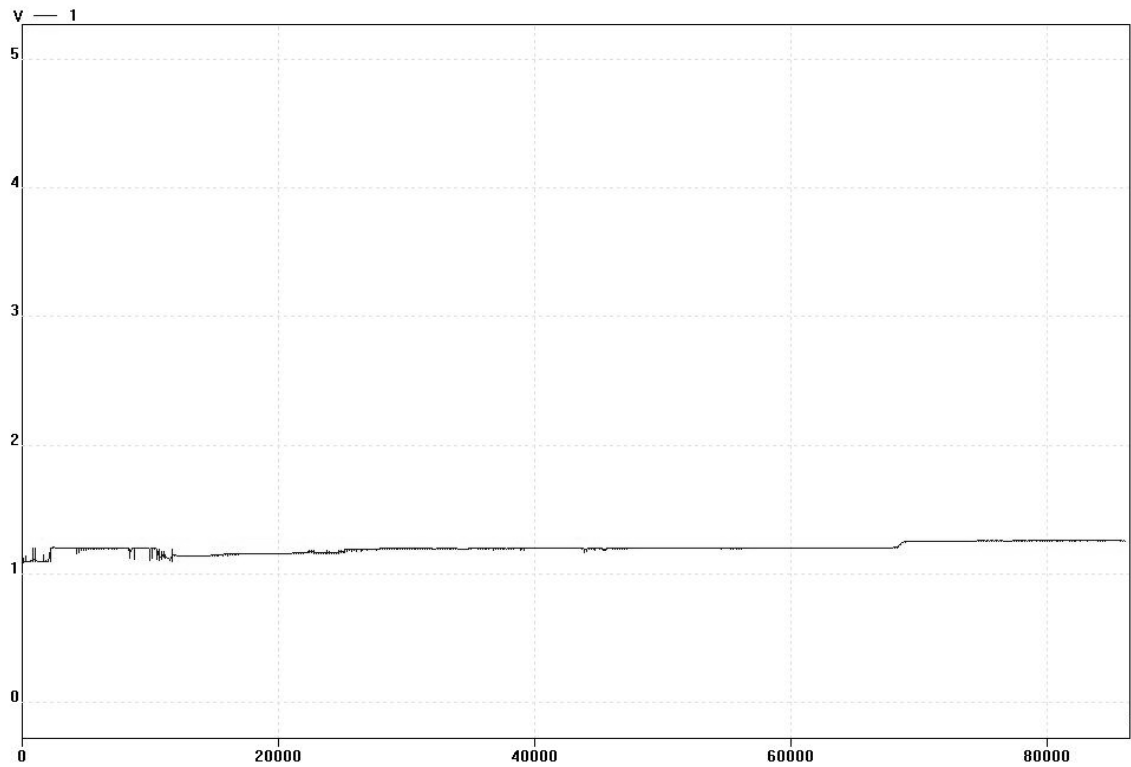
AD-muuntimen sekä PicoLog-ohjelman testaus tehtiin syöttämällä 1 Hz:n taajuisia ja 1 mV:n omaavaa signaalia vahvistimen V+in nastaan. V-in nasta kytkettiin suoraan maahan. Mitattiin PicoLog-ohjelmalla 500 sekunnin ajan signaalin käyttäytymistä. Testauskuva on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. PicoLog-ohjelmalla saatu mittaustulos

Kuvassa pysty-akselilla on jännitteen arvo ja vaaka-akselilla aika sekunneissa. Kuvan piikit ovat tulleet, koska signaalin amplitudia säädettiin 1 mV:sta ylöspäin aina 15 mV:in saakka. Tästä huomattiin se millainen vaikutus on jännitteen kasvulla mittauksissa. Huomattiin myös, että laitteisto toimi halutulla tavalla.

Toisessa mittauksessa tutkittiin lämpötilan vaikutusta mittaukseen. Kytkettiin V+in ja V-in nastat suoraan maahan ja mitattiin PicoLog-ohjelmalla 24 tunnin ajan signaalin käyttäytymistä. 24 tunnin mittaustulos on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. 24 tunnin mittaustulos

Kuvasta 18 voidaan huomata, että signaalin taso ryömii koko ajan ylöspäin ajan kuluessa. Mittauksen pitäisi olla suora viiva, jossa ei hyppelyitä tapahtuisi. Syytä tähän ylöspäin ryömimiseen ei tiedetä. Myöhemmin mittaus tehdään uudestaan ja katsotaan pitempiaikainen stabiilisuus.

8 PARANNUSEHDOTUKSET

Vahvistinta voisi yrittää hieman parannella joiltakin osin. Notch-suodattimen suunnittelussa voisi yrittää suodattaa hieman paremmin 50 Hz:n taajuudella toimivaa verkkotaajuutta. Tässä tulisi huomioida myös se, ettei haluttuja taajuuksia suodatettaisi pois.

Koska komponentit ovat epäideaalisia, jokainen komponentti tulisi testata ennen kytkentään laittamista. Pienikin heitto komponentin arvossa muuttavat laitteen ominaisuuksia merkittävästi. Esimerkiksi vastusten arvot heittelevät tietyn toleranssin sisällä. Näin ollen notch-suodattimen ja RC-alipäästösuodattimen suunnittelussa tulisi olla tarkkana komponenttien kanssa.

Myös piirilevyn koon saisi pienemmäksi oikeanlaisella suunnittelulla. Koska piirilevyn kytkentä suunniteltiin loogisesti, tämä kasvatti piirilevyn kokoa. Jos haluttaisiin pienempi piirilevy, komponentit tulisi sijoittaa piirilevylle sokin sokin. Tätä ei kumminkaan haluttu tehdä. Näin ollen piirilevyn kytkentää on helpompi seurata.

9 YHTEENVETO

Insinöörityönä suunniteltiin ja rakennettiin mittalaite, jolla pystytään mittaamaan maassa olevia pietsosähköisiä ilmiöitä. Ei tiedetä varmaksi esiintyykö pietsosähköisiä ilmiöitä Suomessa, koska emme sijaitse mannerlaattojen läheisyydessä, missä seisminen toiminta on aktiivista. Mittalaitteella tullaankin jatkossa tutkimaan Suomen maaperässä tapahtuvia pietsosähköisiä ilmiöitä.

Suunnitellun vahvistimen rakentamisessa ei ilmennyt ongelmia. Vahvistimen piirilevy tehtiin PADS-ohjelmistolla. Ohjelmiston käyttäminen oli aluksi hankalaa, koska kyseistä ohjelmaa ei ollut aikaisemmin käytetty. Ajan kuluessa ohjelmaa oppi käyttämään ja piirilevyn suunnittelu oli tämän jälkeen helppoa.

Mittalaitteen toiminnallista testausta ei voitu suorittaa opinnäytetyötä tehdessä, koska maa oli roudassa. Mittalaitteen toimivuus testattiin koulun laboratoriossa syöttämällä generaattorilla vahvistimen sisäänmenoon 1 mV:sta 15 mV:iin jännitettä. Näin saatiin havainnollistettua kuinka vahvistin toimii järjestysten sattuessa.

Vaikeinta tässä työssä oli varmaankin tarvittavien tietojen hankkiminen ja niiden soveltaminen käytäntöön. Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava. Työssä saavutettiin annetut tavoitteet, kuten 50 Hz:n verkkohäiriön pienentäminen mahdollisimman pieneksi. Myös vahvistimella saatiin vahvistettua erittäin pieniä jännitteitä vahvistuksen ollessa 55 dB.

LÄHDELUETTELO

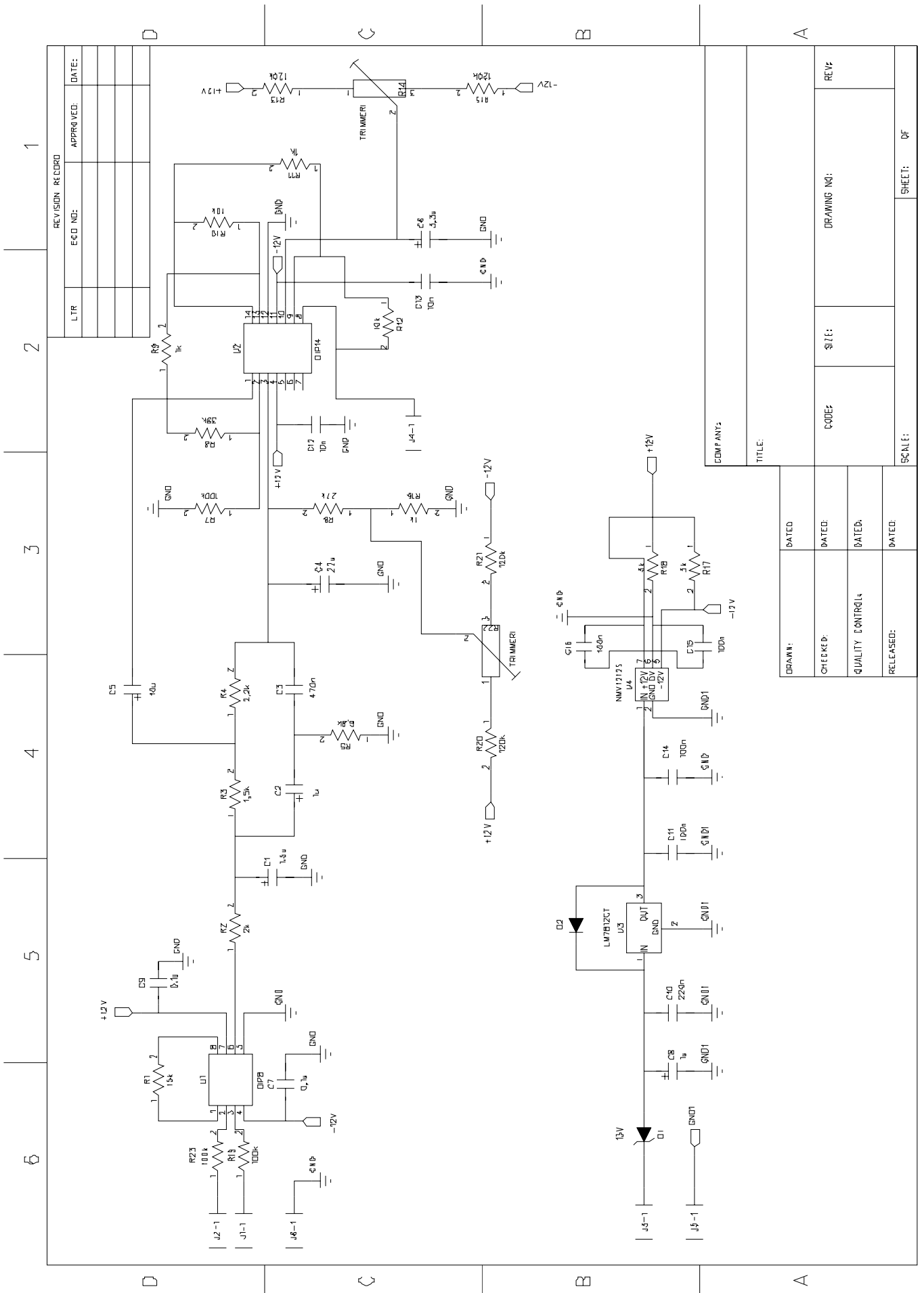
- 1 Kakko, I. Kenno, P. Tyrväinen, H. Koulun maantieto kurssit 1-2. Otava. ISBN 951-1-16793-6.
- 2 Taipale, K. Levoton maapallo. ISBN 951-26-4160-7.
- 3 Pesonen, L. Beckmann, A. Salminen, J. Rasmus, K. Geofysiikan osasto. Helsingin yliopisto. [WWW-dokumentti]
<<http://www.geophysics.helsinki.fi/tsunami/tsunami.php>>. (Luettu 19.3.2006.)
- 4 Tutkinta selostus. A2/2004Y. Aasian luonnonkatastrofi 26.12.2004. [WWW-dokumentti]
<http://www.onnettomuustutkinta.fi/uploads/h4d3gv5v_1.pdf>, (Luettu 12.4.2006.). ISBN 951-836-149-5.
- 5 Selonon, O. Tekninen tiedote nro 2: Suomalaiset luonnonkivimateriaalit. [WWW-dokumentti]
<www.finstone.com/liitto/materiaaliopas.pdf>. (Luettu 13.3.2006.)
- 6 Laine, E. Smeds, M. Opigeologia.fi. [WWW-dokumentti]
<<http://www.opigeologia.fi/kivilajit>>. (Luettu 11.4.2006.)
- 7 Piezoelectric history. [WWW-dokumentti]
<<http://www.piezoelectrics.net/piezoelectrichistory.htm>>. (Luettu 19.3.2006.)
- 8 Hewlett Packard. Fundamentals of Quartz Oscillators. Application Note 200-2.

- 9 Carr, J. Integrated electronics: Operational amplifiers and linear ICs with applications. ISBN 0-15-541360-0.
- 10 Salo, P. Analogista elektroniikkaa. Periaatteita ja sovelluksia. ISBN 951-1-11247-3.

LIITTEET

LIITE A	Kytkentäkaavio
LIITE B	Piirilevy
LIITE C	Komponenttiluettelo

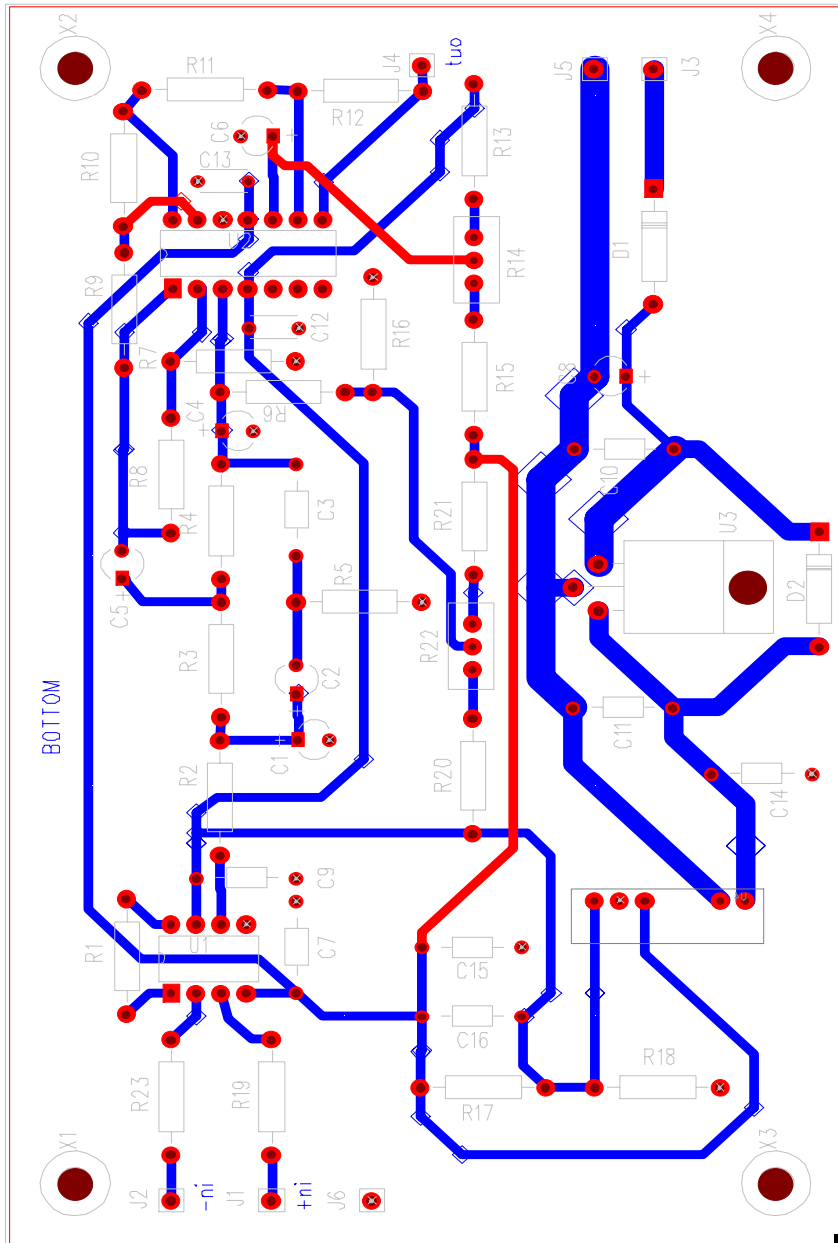
KYTKENTÄKAAVIO



REVISION RECORD	
LTR	APPROVED:
EC&D NO:	DATE:

COMPANY:		DRAWING NO:		REV:	
TITLE:		CODE:		SIZE:	
DRAWN:		CHECKED:		QUALITY CONTROL:	
DATED:		DATED:		DATED:	
RELEASED:		DATED:		SCALE:	
SCALE:		SHEET:		OF	

PIIRILEVY



KOMPONENTTILUETTELO

Instrumentointivahvistin	INA126P	1 kpl
Operaatiovahvistin	TL074	1 kpl
Jänniteregulaattori	LM340T12	1 kpl
DC-DC Muunnin	NMV1212S	1 kpl
Vastus	10 k Ω	9 kpl
Vastus	1,5 k Ω	1 kpl
Vastus	2,0 k Ω	1 kpl
Vastus	2,2 k Ω	1 kpl
Vastus	3,0 k Ω	2 kpl
Vastus	6,8 k Ω	1 kpl
Vastus	10 k Ω	2 kpl
Vastus	15 k Ω	1 kpl
Vastus	27 k Ω	1 kpl
Vastus	39 k Ω	1 kpl
Vastus	100 k Ω	3 kpl
Vastus	120 k Ω	4 kpl
Trimmeri	10 k Ω	2 kpl
Kondensaattori	10 nF	2 kpl
Kondensaattori	100 nF	6 kpl
Kondensaattori	220 nF	1 kpl
Kondensaattori	470 nF	1 kpl
Kondensaattori	1 μ F	2 kpl
Kondensaattori	1,5 μ F	1 kpl
Kondensaattori	3,3 μ F	1 kpl
Kondensaattori	10 μ F	1 kpl
Kondensaattori	22 μ F	1 kpl
Zener-diodi	15V	1 kpl
pii-diodi	IN4007	1 kpl