



Marko Ahonpää

ZIGBEE-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ ANALOGIA-ANTUREIDEN DATAN KERÄYKSEEN

ZIGBEE-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ ANALOGIA-ANTUREIDEN DATAN KERÄYKSEEN

Marko Ahonpää
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, langaton tietoliikenne

Tekijä: Marko Ahonpää

Opinnäytetyön nimi: ZigBee-järjestelmän käyttö analogia-antureiden datan keräykseen

Työn ohjaaja: Kari Jyrkkä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2013 Sivumäärä: 33+4 liitettä

Työn tarkoituksena oli tutkia ZigBee-tekniikan mahdollisuuksia paineanturilta tulevan mittausdatan siirtoon ja datan keräykseen. Työssä tehtiin mittausjärjestelmä, jossa paineanturin mittausdata ensin vahvistettiin ja suodatettiin ja syötettiin sen jälkeen Arduino Uno- ja Atmel Atmega256RFR2-Xpro -elektroniikkaalustoille, joista data siirrettiin langattomasti tietokoneelle. Tiedonsiirto toteutettiin Xbee-moduuleiden avulla.

Työssä saatiin paineanturin mittausdata käsiteltyä ja siirrettyä Arduino Uno-alustalla. Atmega256RFR2-Xpro-alustalla tavoitteisiin ei päästy, koska se oli juuri tullut markkinoille ja siinä oli huomattavasti monimutkaisempi ohjelmointirakenne.

Asiasanat: ZigBee, operaatiovahvistin, AD-muunnin, paineanturit, mittaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information Technology, Wireless Telecommunication

Author: Marko Ahonpää

Title of thesis: Transmitting analog sensor data using ZigBee-technology

Supervisor: Kari Jyrkkä

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2013 Pages:
33+4 appendices

The purpose of this thesis was to research possibilities to transmit pressure sensor data wirelessly using ZigBee-technology. Arduino Uno and Atmel Atmega256RFR2-Xpro evaluation kits were used. Wireless signal transmission was done with Xbee- modules. Thesis contains also amplifier- and filtering design.

Keywords: ZigBee, operational amplifier, AD-Converter, sensors, measuring

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLTÖ	5
LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO.....	7
2 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KARTOITUS	8
2.1 Emfit S-series -paineanturi	8
2.2 RC-piiri.....	8
2.3 Operaatiovahvistin	9
2.4 Ei-invertoiva vahvistin	10
2.5 Jännitteenmuunnin	11
2.6 AD-muunnin.....	12
3 EAGLE 6.4.0	13
4 ARDUINO.....	15
4.1 Arduino Uno.....	15
4.2 Arduino IDE	16
5 ZIGBEE	18
5.1 Xbee	18
5.2 X-CTU.....	19
6 ATMEL ATMEGA256RFR2-XPRO	21
7 TYÖN TOTEUTUS	23
7.1 Esivahvistin.....	23
7.2 Koekytkentä	23
7.3 Piirilevyn suunnittelu	25
7.4 Mittaustulokset.....	26
7.5 Kahden Arduino Unon välinen kommunikointi Xbee-moduuleiden avulla.....	27
7.6 Atmel Atmega256rfr2-Xpro	30
8 POHDINTA.....	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	

LYHENTEET JA TERMIT

AD	Analogia-digitaali muunnos
ADC	Analog-to-Digital Converter, AD-muunnin eli analogia-digitaalimuunnin
COM	Serial port, sarjaliikenneportti
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
ISM	Industrial, Scientific and Medical, maailmanlaajuinen radiotaajuuskaista
LR-WPAN	Low Rate Wireless Personal Area Network, matalanopeuksinen lyhyen kantaman langaton likiverkko
MAC	Media Access Control, OSI-mallin siirtoyhteyskerros
USART	Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter, lähetys- ja vastaanottopiiri, joka muuntaa rinnakkaisdatan sarjadataksi
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri laitteiden kytkentään
ZigBee	IEEE 802.15.4 -standardin mukainen lyhyen kantaman tietoliikenneverkko

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin BonWell Intelligence Oy:n tilauksesta. BonWell Intelligence Oy on 2013 tammikuussa perustettu oululainen start up -yritys. Yrityksen toimialana on hyvinvointiteknologia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on Emfit-paineanturin kytkennän kartoitus mikrokontrollereille ja anturidatan siirtäminen tietokoneelle langatonta yhteyttä käyttäen. Työssä tutkitaan paineanturilta saatavaa signaalia ja sen muokkausta, jotta se saadaan sopivaan muotoon syötettäväksi eri mikrokontrollerialustoille, kuten Arduino Uno ja Atmel AtMega256RFR2. Työ sisältää myös ohjelmiston suunnittelua, jotta anturilta saatava signaali voidaan lukea Arduino- tai Atmel-alustoilla ja tiedonsiirto voidaan suorittaa langattomasti paineanturin ja tietokoneen välillä. Tiedonsiirto toteutetaan käyttämällä 802.15.4-radiotekniikkaa ja ZigBee-protokollaa.

2 MITTAUSJÄRJESTELMÄN KARTOITUS

2.1 Emfit S-series -paineanturi

Emfit S-series -sensori on pienikokoinen paineanturi (kuva 1), joka koostuu paineen tunnistavasta elastisesta Emfit-kalvosta ja kahdesta polyesterikalvosta, joissa elektrodit ovat kiinni. Myös muut toteutusvaihtoehdot ovat mahdollisia eri käyttökohteissa. (1.)

S-series -sensorit valmistetaan kerroslaminoinnilla ja niitä on saatavilla tällä hetkellä kahta kokoa: 10 x 20 mm ja 20 x 100 mm. Sensoria voidaan käyttää värinän, paineen ja kiihtyvyyden mittaukseen. (1.)



KUVA 1. Emfit S-series -sensori (1)

Muutokset Emfit-kalvon paksuudessa tuottavat varauksen, joka näkyy elektrodien välillä jännitteenä. Sensori toimii kuten aktiivinen kondensaattori, joten mittalaitteen impedanssi täytyy ottaa huomioon. (1.)

2.2 RC-piiri

RC-piirillä tarkoitetaan vastuksen ja kondensaattorin muodostamaa kytkentää. RC-piirissä kondensaattoria varataan tai puretaan vastuksen avulla. Piiriä voidaan käyttää jännitteen suodatukseen, häiriön poistamiseen ja erilai-

siin aikavakiopiireihin. Vastuksen tehtävänä RC-piirissä on säätää kondensaattorin latautumis- ja purkautumisaikaa.

RC-piirin tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu aikavakio τ (= tau). Aikavakio kertoo kondensaattorin latautumiseen ja purkautumiseen kuluvan ajan. Aikavakio lasketaan kaavalla 1. (2.)

$$\tau = RC$$

KAAVA 1

τ = aikavakio (s)

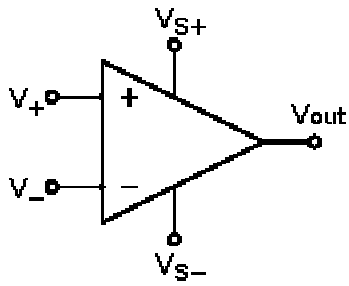
R = vastus (Ω)

C = kondensaattori (F)

2.3 Operaatiovahvistin

Operaatiovahvistin on yksi analogiaelektronikan peruskomponenteista ja sellainen löytyy lähes jokaisesta analogiaelektronikan kytkennästä. Operaatiovahvistin vahvistaa kahden sisääntulonsa välistä jännitettä tietyllä vahvistuskertoimella ja vahvistunut signaali saadaan ulostulosta. Vahvistimessa on viisi napaa, kaksi sisääntuloa, kaksi käyttöjännitenapaa ja ulostulo (kuva 2). Operaatiovahvistin käyttää tasajännitettä ja sitä voidaan käyttää signaalin käsittelyyn, suodatukseen tai matemaattisiin operaatioihin, kuten integrointiin ja derivointiin. (3.)

Operaatiovahvistin koostuu useista komponenteista, kuten transistoreista, kondensaattoreista ja vastuksista, jotka ovat koottuna samaan mikropiiriin. Valmistajat voivat laittaa useita operaatiovahvistimia samaan koteloon, jolloin saadaan esimerkiksi kahdeksanjalkainen piiri, joka sisältää kaksi operaatiovahvistinta. Tällaista vahvistinta kutsutaan kaksikoksi (kuva 3). Myös nelikkoja on saatavilla. Kaksikko- ja nelikko-operaatiovahvistimissa käyttöjännitenastat ovat yhteiset mutta tulo- ja lähtönastat omansa. (3.)



KUVA 2. Operaatiovahvistimen napajärjestys



KUVA 3. Kahdeksanjalkainen operaatiovahvistin eli kaksikko

2.4 Ei-invertoiva vahvistin

Ei-invertoiva vahvistinkytkentä (kuva 4) tarkoittaa sitä, että tulojännite lisätään suoraan ei-kääntävään positiiviseen tuloon, joten lähtöjännite on positiivinen toisin kuin invertoivassa vahvistinkytkennässä (4).

Takaisinkytkentää säädellään R1-R2-jännitejaolla, jolla syötetään pieni määrä lähtöjännitettä takaisin kääntävään tuloon, mikä synnyttää negatiivisen takaisinkytkennän. Näin syntyy stabiili ei-kääntävä vahvistinkytkentä, jota kutsutaan ei-invertoivaksi vahvistinkytkennäksi. Kytkennässä on erittäin suuri tuloimpedanssi, koska positiiviseen tuloon ei mene virtaa ja piirin lähtöimpedanssi on pieni. Lähtöimpedanssin koko määräytyy vahvistimen ulostulon impedanssista. Lähtöjännite saadaan laskettua kaavalla 2. (4.)

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)V_{in}$$

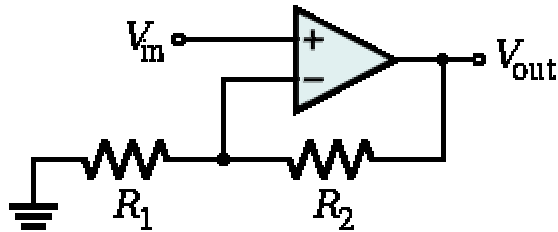
KAAVA 2

V_{out} = lähtöjännite (V)

V_{in} = tulojännite (V)

R_1 = vastus (Ω)

R_2 = vastus (Ω)



KUVA 4. Ei-invertoiva vahvistin (4)

2.5 Jännitteenmuunnin

Useimpien mikrokontrollereiden AD-muuntimet tarvitsevat yksisuuntaisen eli positiivisen jännitteen, koska negatiivinen jännite voi vahingoittaa muunninta. Analoginen piiri, joka syöttää jännitteen muuntimelle, voi olla kaksisuuntaisella käyttöjännitteellä, joten signaali voi sisältää negatiivisia ja positiivisia jännitevaihteluita. Jännitteenmuuntimella saadaan muutettua positiiviseksi jonkin analogisen piirin syöttämä jännite, joka vaihtelee negatiivisen ja positiivisen välillä. (5.)

Esimerkiksi alla olevassa kytkennässä (kuva 5) sensorilta saatava jännite vaihtelee $-2,5$ V:n ja $+2,5$ V:n välillä. Jännite halutaan syöttää Arduino Unon ADC-muuntimelle, jonka referenssijännite on $+5$ V, jolloin V_{out} saa olla maksimissaan $+5$ V. V_2 toimii offset-jännitteenä, johon syötetään koko ajan $+2,5$ V. V_1 on sisääntulo, johon sensorin $-2,5$ V– $+2,5$ V syötetään. Kun kaikki vastukset laitetaan 10 k Ω :iin, saadaan kytkennän vahvistukseksi yksi, koska vahvistus voidaan laskea kaavalla 3. Ulostulo lasketaan kaavalla 4. (5.)

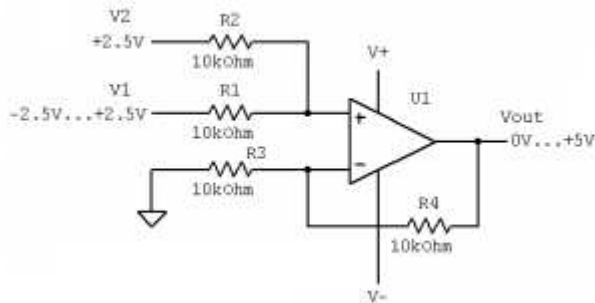
$$A_u = \frac{R_4}{R_3}$$

KAAVA 3

A_u = vahvistuskerroin

$$V_{out} = \left(V1 \cdot \frac{R2}{R1 + R2} + V2 \cdot \frac{R1}{R1 + R2} \right) \cdot \left(1 + \frac{R4}{R3} \right)$$

KAAVA 4



KUVA 5. Jännitteenmuunnin (5)

2.6 AD-muunnin

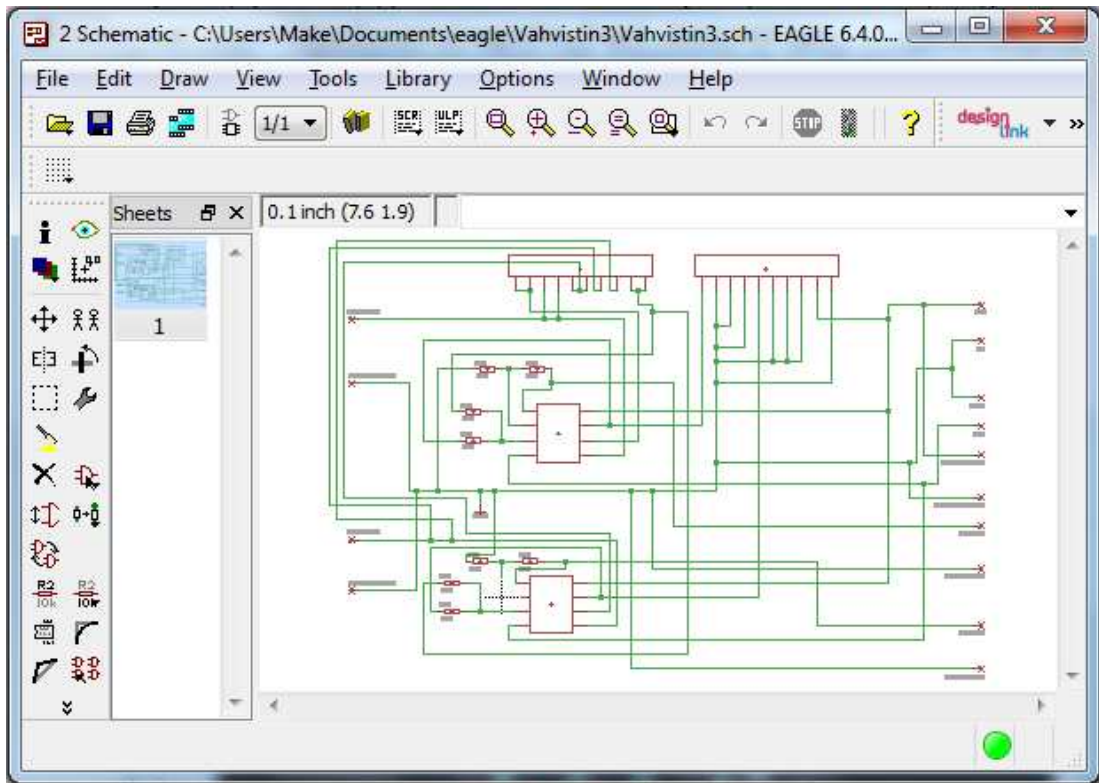
AD-muunnin eli analogia-digitaalimuunnin on laite, joka muuntaa analogisen signaalin esimerkiksi jännitteen digitaaliseen muotoon. Nykyään valtaosa signaalinkäsittelystä tapahtuu digitaalisesti, joten AD-muunninta tarvitaan liitäntärajapintoihin.

AD-muuntimen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat resoluutio, muunnosnopeus, referenssijännite ja kvantisointi. Resoluutio kertoo muuntimen erottelukyvyn eli kuinka monella bitillä muunnin muuntaa analogisen signaalin digitaaliseksi. Esimerkiksi 10-bittisen muuntimen resoluutio on 1024, koska $2^{10} = 1024$ eli mahdollisia eri arvoja lähdössä on 1024. Muunnosnopeus kertoo, kuinka monta näytettä sekunnissa signaalista otetaan. Nyquistin teoreeman mukaan näytteitä tulee ottaa signaalista taajuudella, joka on kaksi kertaa suurempi kuin alkuperäisessä signaalissa esiintyvä suurin taajuus, jotta näytteiden perusteella voidaan rakentaa alkuperäistä vastaava signaali. Referenssijännitteellä määritetään analogisen signaalin minimi- ja maksimijännitteet, joita AD-muuntimelle voidaan syöttää. Muunnin muuttaa analogisen signaalin binäärimuotoiseksi dataksi aina suhteessa referenssijännitteeseen. Kvantisointia voi olla lineaarista tai logaritmista. Linearisessa kvantisoinnissa muunnos on tasajakoinen eli bittiväli on sama. Logaritmisessa kvantisoinnissa muutosväli muuttuu tulojännitteen mukaisesti. (6 ; 7.)

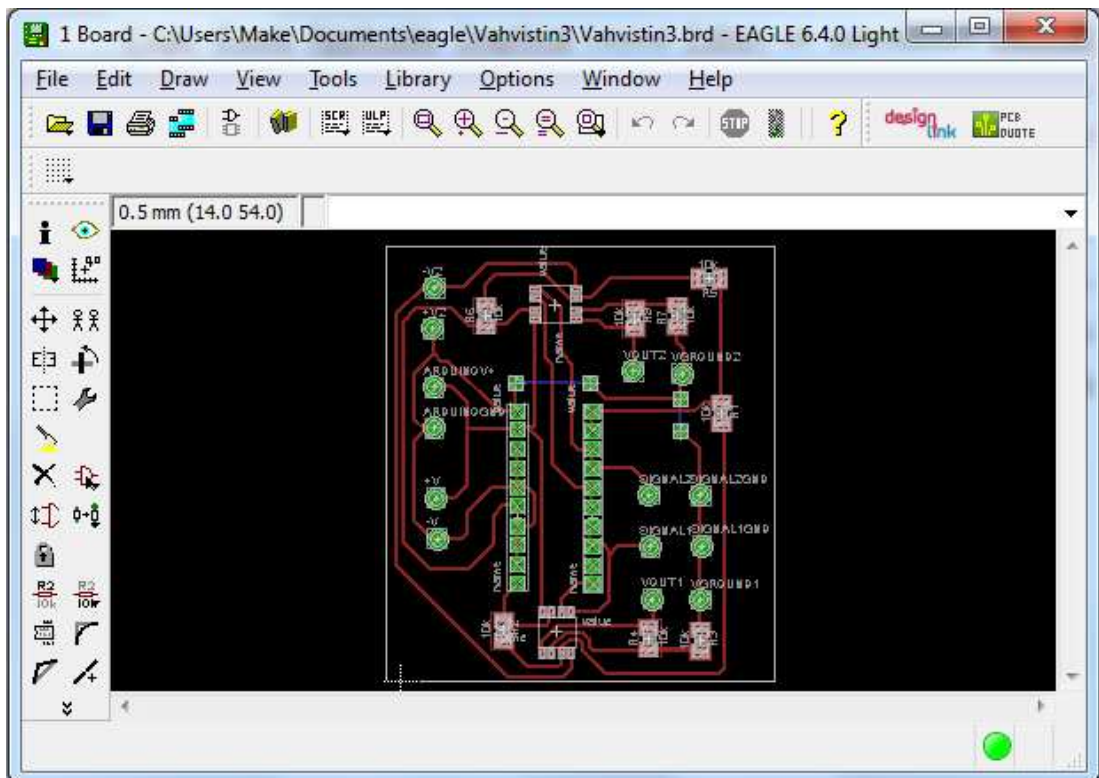
3 EAGLE 6.4.0

Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor) on saksalaisen CadSoft Computer GmbH:n kehittämä helppokäyttöinen ohjelmisto kytkentäkaavioiden ja piirilevyjen suunnitteluun. Eagle on suosittu piirilevyjen suunnitteluohjelma, koska se on ilmaiseksi ladattavissa ja siihen on paljon ladattavia komponenttikirjastoja. Ohjelma sisältää laajan komponenttikirjaston, josta löytyy useiden eri valmistajien yleisimmin käytettyjä komponentteja. Ohjelmassa voi myös itse suunnitella ja tehdä komponentteja, jos tarvittavia ei löydy ohjelman kirjastoista. Internetistä löytyy paljon tutoriaaleja ja esimerkiksi videoita, joista on helppo opetella, kuinka ohjelmaa käytetään.

Piirilevy suunnitellaan siten, että ensiksi luodaan kytkentäkaavio (schematic) (kuva 6). Kytkentäkaaviossa valitaan komponentit kirjastoista ja päätetään, käytetäänkö jalallisia vai pintaliitoskomponentteja, sekä johdotetaan ne suunnitelman mukaisesti. Kytkennän toimivuutta ohjelmalla ei voi testata. Kun kytkentäkaavio on valmis, se käännetään Board-puolelle (kuva 7), jossa suunnitellaan, millainen piirilevystä tulee, asettelemalla komponentit halutuille paikoille ja halutun kokoiselle alueelle. Board-puolella määritetään myös, kuinka paksut vedot komponenttien välille tulee. Piirilevyt voidaan suunnitella yksi- tai kaksipuolisiksi sekä myös monikerroksisiksi. Board-tiedostosta valmistetaan sitten itse piirilevy joko jyrsimällä tai syövyttämällä.



KUVA 6. Kytentäkaavio



KUVA 7. Board

4 ARDUINO

Arduino on avoimen lähdekoodin elektroniikka-alusta. Se perustuu helppokäyttöiseen ohjelmistoon ja piirikorttiin. Se on tarkoitettu suunnittelijoille, harrastelijoille ja kaikille, jotka ovat kiinnostuneita luomaan interaktiivisia ohjelmia ja ympäristöjä. (8.)

Arduino-kontrolleriin voidaan syöttää informaatiota monenlaisista sensoreista ja lähteistä. Sillä voidaan ohjata monenlaisia moottoreita ja valoja. Arduinon mikrokontrolleria ohjelmoidaan Arduinon omassa ohjelmointiympäristössä Arduino-ohjelmointikielellä, joka pohjautuu C++:aan. Arduino-projektit voivat olla itsenäisiä tai ne voivat kommunikoida tietokoneella olevan ohjelman kanssa. Arduino-alustat voidaan kasata itse tai tilata esiasennettuna, ohjelmistot ovat internetistä ladattavissa ilmaiseksi.

4.1 Arduino Uno

Arduino Uno (kuva 8) on mikrokontrollerialusta, joka pohjautuu Atmega328-mikrokontrolleriin. Arduino Uno sisältää 14 digitaalista input/output-pinniä, joista kuutta voidaan käyttää PWM-lähtönä, sekä kuusi analogista sisääntuloa, 16 MHz:n keraamisen resonaattorin, USB-liittimen, virtaliittimen ja reset-painikkeen. Mikrokontrolleri sisältää 32 kilobittiä flash-muistia. Käyttöjännite Arduino Uno -alustalle voidaan syöttää USB-kaapelilla, AC-DC-muuntajalla tai paristoilla. Käyttöjännitteen raja-arvot ovat 6–20 VDC. (9.)



KUVA 8. Arduino Uno (9)

4.2 Arduino IDE

Avoimen lähdekoodin Arduino-kehitysympäristö (kuva 9) on helppokäyttöinen koodin kirjoitukseen ja alustalle lataamiseen. Se toimii Windows-, MacOS X- ja Linux-käyttöjärjestelmissä. Ohjelmointiympäristö on kirjoitettu Javalla ja perustuu avoimen lähdekoodin ohjelmiin, kuten Processing tai avr-gcc.



KUVA 9. Arduino IDE

5 ZIGBEE

ZigBee on standardin IEEE 802.15.4 mukainen lyhyen kantaman langaton tietoliikenneverkko. IEEE 802.15.4 -standardi määrittelee fyysisen radion ja siirtoyhteyden protokollat vähävirtaiselle henkilökohtaiselle verkolle eli LR-WPAN:lle (Low Rate Wireless Personal Area Networkille). Standardi rakentuu siten, että siirtoyhteyserros (MAC, Media Access Control) on rakennettu fyysisen radiokerroksen päälle. Radiokerros määrittää, kuinka siirtoyhteyttä käytetään ja siirtoyhteyserros kuinka käytettävään yhteyteen kytkeydytään. (10, s. 7.)

ZigBeen kehitys aloitettiin 2000-luvulla ja kehityksestä vastaa tällä hetkellä ZigBee-allianssi, johon kuuluu monia suuryrityksiä kuten Philips, Hewlett Packard ja Intel. Ensimmäinen ZigBee-standardi allianssilta tuli vuonna 2004.

ZigBeetä käytetään sovelluksissa, jotka tarvitsevat matalaa lähetysnopeutta, pitkää akkujen kestoja ja turvallista tietoliikenneverkkoa. ZigBeelle on olemassa kolme eri taajuusalueita, joilla kaikilla on omat tiedonsiirtonopeutensa. Maailmanlaajuisesti vapaassa käytössä on ISM-taajuusalue (Industrial, Scientific, Medical) 2,4–2,5 GHz, jossa tiedonsiirtonopeus on 250 kilobittia sekunnissa. Euroopassa ja Japanissa on käytössä 868 MHz:n taajuus ja sen nopeus on 20 kbit/s. Pohjois-Amerikassa on käytössä 915 MHz:n taajuus, jonka siirtonopeus on 40 kbit/s. (10, s. 8.)

5.1 Xbee

Xbee on Digi Internationalin kehittämä tuoteperhe, joka koostuu useista erityyppisistä 802.14.5-standardiin perustuvista radiomoduuleista. Xbee kehitettiin tarjoamaan vähävirtaista, luotettavaa tiedonsiirtoa edullisesti. Joissakin moduuleissa myös AD-muunnos voidaan tehdä sisäisesti ilman mikrokontrolleria. Xbee-radioita (kuva 10) voidaan käyttää vähintään neljällä liitännällä, jotka ovat käyttöjännite (3,3V), GND, data in ja data out.



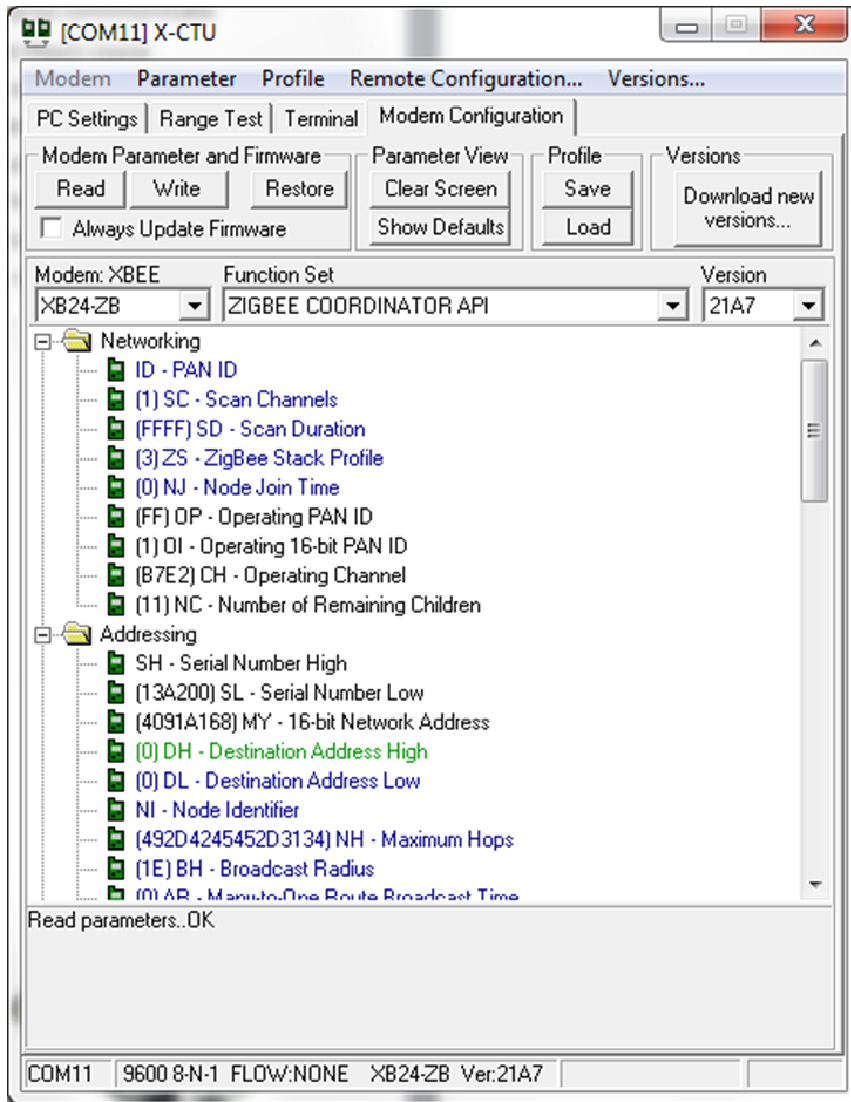
KUVA 10 . Xbee Pro -moduuli

5.2 X-CTU

X-CTU on Digi Internationalin kehittämä ohjelma Xbee-moduuleiden päivitykseen, ohjelmoimiseen, asetusten muokkaamiseen ja yhteyden helppoon testaamiseen. Ohjelma on ladattavissa ilmaiseksi valmistajan sivuilta. Ohjelmalla on helppo seurata Xbee-moduuleiden lähettämää dataa.

Ohjelmassa Modem Configuration -välilehdessä (kuva 11) luetaan kytketyn moduulin tyyppi ja tiedot, minkä jälkeen asetuksia pääsee muuttamaan halutuiksi. Asetuksista pystyy muuttamaan esimerkiksi tiedonsiirtonopeutta, kanavaa ja PAN ID:tä, jolla pystytään määrittämään verkko salaiseksi.

Terminal-välilehdessä voidaan seurata Xbee-moduuleiden välistä kommunikointia sekä lähettää käskyjä moduuleille.



KUVA 11. X-CTU Modem Configuration -välilehti

6 ATMEL ATMEGA256RFR2-XPRO

Atmel on yhdysvaltalainen puolijohdevalmistaja, jonka tuotteita ovat muun muassa mikrokontrollerit. ATmega256RFR2-XPRO (kuva 12) on Atmelin uusimpia evaluointialustoja ja kuuluu AVR-tuoteperheeseen.

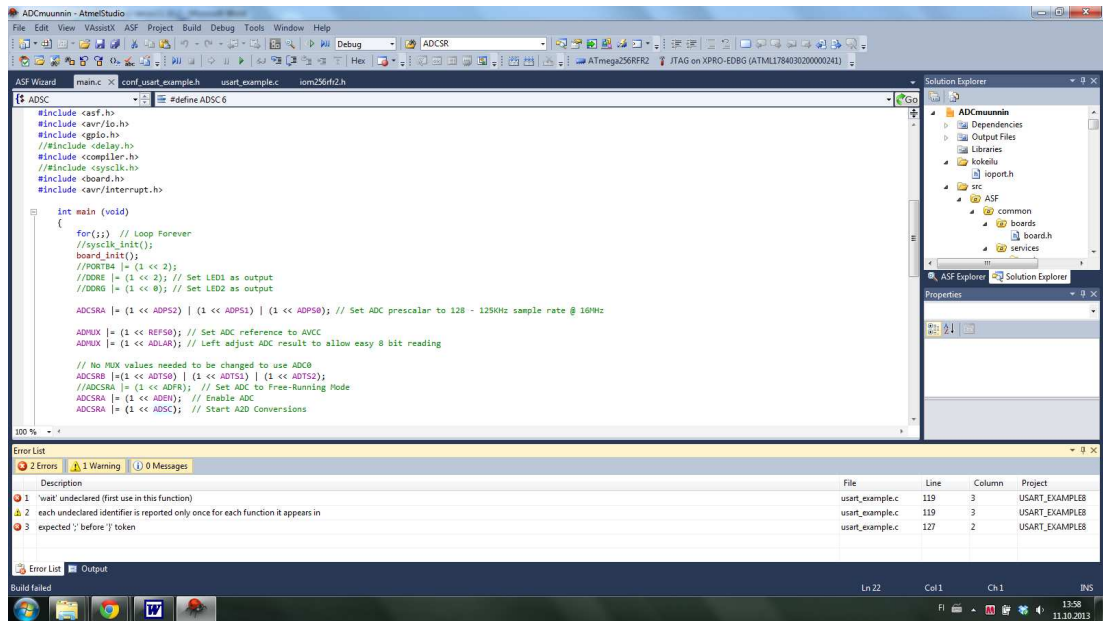
Alusta pohjautuu 8-bittiseen ATmega256RFR2-mikrokontrolleriin, joka sisältää pienitehoisen 2,4 GHz:n lähetin vastaanottimen ZigBee- ja IEEE 802.15.4 -standardeille. Mikrokontrolleri sisältää 256 kB flash-muistia, 35 input/output-liitäntää, 2 USART-liitäntää ja 10 bittisen AD-muuntimen.



KUVA 12. ATmega256RFR2-XPRO (11)

Atmel Studio 6.1 (Kuva 13) on integroitu kehitysympäristö Atmel ARM- ja Atmel AVR -mikrokontrolleripohjaisten sovellusten kehittämiseen. Ohjelmointikielenä toimii C/C++ tai Assembly. (12.)

Atmel Studio 6.1 on ilmainen ohjelmisto ja siihen on integroitu Atmel Software Framework (ASF). ASF on vapaan lähdekoodin kirjasto, josta löytyy yli 1600 ARM- ja AVR-alustoille tarkoitettua esimerkkisovellusta. Sovelluksia voi yhdistellä omiin projekteihin, jolloin saa valmiina kaikki matalan tason rajapinnat ja voi keskittyä oman sovelluksen koodin kirjoittamiseen. (12; 13, s. 12–13.)



KUVA 13. Atmel Studio 6.1 -ohjelmointiympäristö

7 TYÖN TOTEUTUS

Työ lähdettiin toteuttamaan Oulun seudun ammattikorkeakoulun tietotekniikan laboratoriotiloissa. Tässä työssä tutkittiin Emfit-paineantureilta saatavaa signaalia. Signaali oli tarkoitus saada lähetettyä ZigBeen avulla tietokoneelle analysoitavaksi. Signaali todettiin alkumittauksissa liian heikoksi ja se sisälsi paljon häiriötä, joka olisi hyvä saada suodatettua vähemmäksi. Signaali täytyi muokata, vahvistaa ja suodattaa, ennen kuin se siirrettiin langattomasti ZigBeellä tai sarjaväylää käyttäen Arduino Uno- tai ATmega256RFR2-Xpro -evaluointialustalle.

7.1 Esivahvistin

KytKentä tarvitsi siis esivahvistimen. Emfit-paineantureiden valmistajan sivuilta löydettiin muutamia esimerkkejä esivahvistinkytkennöistä sekä suosituksista operaatiovahvistimille. Näiden suositusten perusteella etsittiin sopiva vahvistin, joka olisi nopeasti saatavilla.

Esivahvistimeksi valittiin Texas Instrumentsin TLC2272-operaatiovahvistin. Vahvistin on kaksikko eli samassa kotelossa on kaksi vahvistinpiiriä. TLC2272 on rail to rail -tyyppinen operaatiovahvistin, joka tarjoaa 2 MHz:n taajuuskaistan, 3 V/ μ s:n muunnosnopeuden ja erittäin alhaisen kohinajännitteen, joka on 9 nV/ $\sqrt{\text{MHz}}$. (14.)

7.2 KoekytKentä

Aluksi tehtiin koekytKentälevylle koekytKentä, jossa käytettiin jalallisia komponentteja ja TLC2272-operaatiovahvistinta. KoekytKentä (kuva 14) tehtiin Emfitin sivuilla olevaan vahvistinkytkentään perustuen. KytKentään lisättiin takaisinkytkentään vastukset R2 ja R3, joilla voidaan säätää kytkennän antamaa vahvistusta. Vahvistus voidaan laskea kaavalla 5. KytKennän tarkoi-

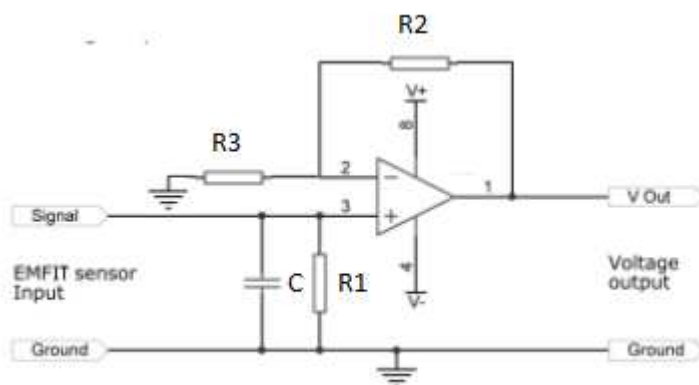
tuksena oli vahvistaa Emfi-kalvolta tulevaa signaalia, jonka jälkeen vahvistunut signaali voitaisiin syöttää Arduino Uno -mikrokontrollerialustalle. (15.)

$$A_u = \frac{R_2}{R_3}$$

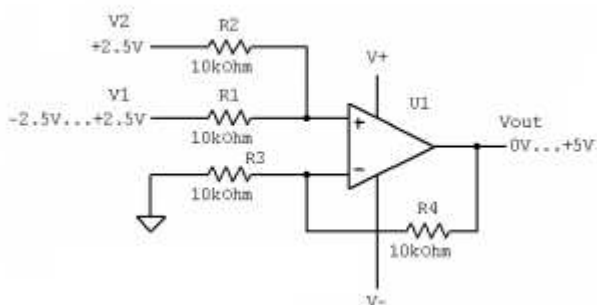
KAAVA 5

A_u = vahvistuskerroin

Vahvistuksen lisäksi paineanturin signaalia oli muunnettava siten, että paineanturilta tulevan jännitteen negatiivinen puoli käännetään positiiviseksi, koska Arduino Unon AD-muuntimeen voidaan syöttää ainoastaan 0–5 V:n jännitettä. TLC2272-operaatiovahvistimen toinen vahvistinpiiri oli käyttämättä ja se voitiin ottaa käyttöön toiseen kytkentään. Vahvistinkytkennän perään liitettiin jännitteenmuunninkytkentä (kuva 15).



KUVA 14. Esivahvistinkytkentä (15)



KUVA 15. Jännitteenmuunnin (5)

Koekytkentään syötettiin +4,5 V:n ja -4,5 V:n käyttöjännitteet. Käyttöjännitteestä otettiin myös jännitteenjaolla offset-jännite jännitteenmuuntimelle. Offset-jännite lasketaan kaavalla 6.

$$V_{off} = \frac{R1}{R1 + R2} \cdot V$$

KAAVA 6

7.3 Piirilevyn suunnittelu

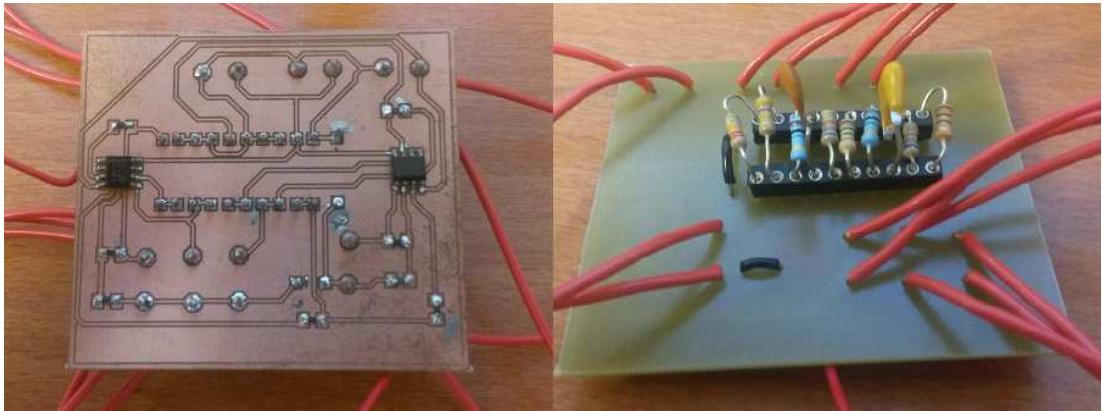
Kun koekytkentä oli valmis ja testattu toimivaksi, aloitettiin piirilevyn suunnittelu Cadsoft Eagle 6.4.0 -ohjelmalla. Ohjelman pystyi lataamaan ilmaiseksi Cadsoftin sivustolta. Piirilevy suunniteltiin kahdelle paineanturille, joten levyyn tarvittiin kaksi TLC2272-operaatiovahvistinta.

Valittua TLC2272-operaatiovahvistinta ei löytynyt suoraan Eaglen kirjastoista eikä myöskään ladattavista kirjastoista, joten komponentti päätettiin tehdä itse. Eaglen perusominaisuuksiin kuuluu, että puuttuvat komponentit voi tehdä itse ja lisätä kirjastoon. Vahvistimen datalehden avulla piirrettiin ensiksi kotelo, jossa komponentti piirretään fyysisesti oikean kokoiseksi ja pinnijärjestys oikeanlaiseksi ja oikeille paikoille. Kun kotelo on valmis, piirretään vahvistimesta symboli, jota käytetään kytkentäkaaviopuolella piirilevyä suunniteltaessa. Symboli voi näyttää aivan erilaiselta kuin itse kotelo, mutta pinnien tulee vastata toisiaan. Kun komponentti on valmis, se tallennetaan kirjastoon ja on käytettävissä sieltä aina tarvittaessa.

Piirilevyn suunniteltiin komponenttirimat, joihin pystytään vaihtamaan jalallisia komponentteja, kuten vastuksia ja kondensaattoreita. Tämä siksi, että RC-piiriä, vahvistusta ja offset-jännitettä pystytään muuttamaan. Ainoastaan jännitteenmuuntimen neljä 10 kΩ:n vastusta tehtiin pintaliitoskomponenteilla pysyviksi, koska niitä ei tarvitsisi enää muuttaa.

Kun kytkentäkaavio oli valmis ja johdotettu oikein, käännettiin suunnitelma Board-puolelle, jossa piirilevyn ja johdotusten koko päätettiin. Piirilevystä päätettiin tehdä yksipuoleisen, koska piirilevystä tuli tarpeeksi yksinkertainen

ja se on helpompi jyrsiä. Piirilevy jysrittiin tekniikan yksikön laboratoriotiloissa. Vahvistin piirilevyn kytkentäkaavio löytyy liitteestä 1.

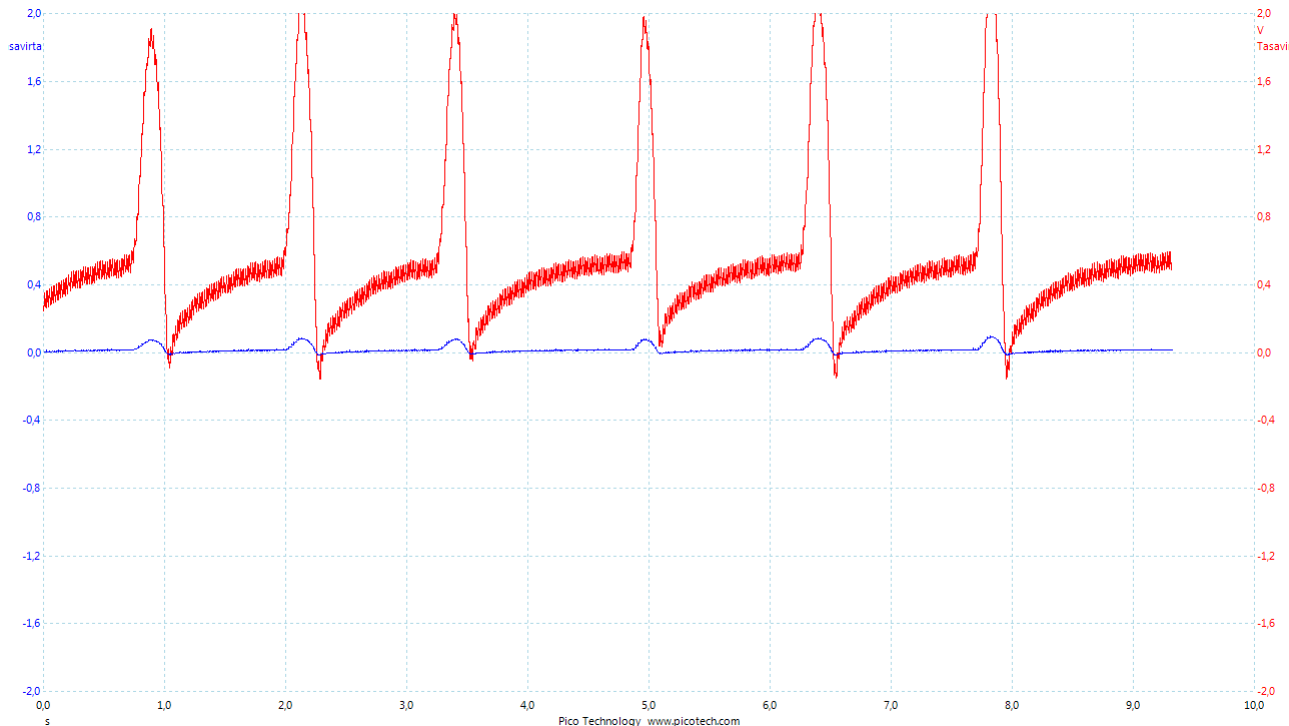


KUVA 16. Piirilevy kalustettuna

7.4 Mittaustulokset

Vahvistinmittauksia tehtiin koko suunnitteluprosessin ajan, koekytkennästä lähtien. Mittaukset suoritettiin oskilloskoopilla. Lopulliset mittaukset tehtiin, kun piirilevy oli valmis ja saatu kalustettua. Vahvistuksessa parhaat tulokset saatiin $1\text{ M}\Omega$:n ja $68\text{ k}\Omega$:n vastuksilla. Näillä arvoilla teoreettiseksi vahvistukseksi saatiin $A_u = \frac{1\text{ M}\Omega}{68\text{ k}\Omega} \approx 15$. Oskilloskoopilla suoritetuissa mittauksissa todettiin vahvistus hieman suuremmaksi (kuva 17).

RC-kytkennän mittauksissa kartoitettiin, millä vastuskondensaattorikytkennällä saadaan paras herkkyys ja häiriönsuodatus. 50Hz häiriöstä ei päästy kokonaan eroon, mutta sitä saatiin hieman suodatettua. Paras herkkyys ja suodatus saatiin $1\text{ M}\Omega$:n ja 47 nF :n kytkennällä. RC-kytkennän mittaukset ja tulokset ovat liitteessä 4.



KUVA 17. Vahvistus. Sinisellä paineanturin navoista mitattu signaali. Punaisella vahvistimen lähtönavoista mitattu signaali.

7.5 Kahden Arduino Unon välinen kommunikointi Xbee-moduuleiden avulla

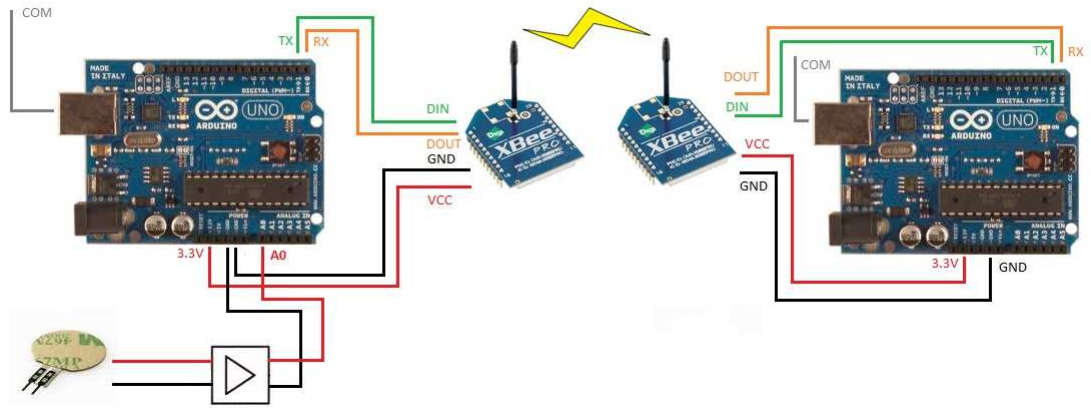
Arduinon Unon ja Xbee-moduuleiden liittämiseen on saatavilla Arduino Xbee Shield (kuva 19), joka tulee Arduino Uno -levyn päälle, johon voi liittää minkä tahansa Xbee-moduulin. Näin kytkettynä olisi helpompaa päästä muokkaamaan Xbeen asetuksia ja kokeilemaan yhteyttä. Arduino Shieldejä ei ollut käytössä, joten jouduttiin tekemään vaihtoehtoiset kytkennät, että saatiin Arduino ja Xbee-moduuli kytkettyä toisiinsa ja päästiin muuttamaan Xbeen asetuksia ja kokeilemaan yhteyttä.

Ensiksi tehtiin kytkentä kahdella Arduino Unolla ja kahdella Xbee-moduulilla. Arduinot kytkettiin USB-kaapelilla tietokoneen COM-portteihin. Toiseen Arduinoon syötettiin ohjelma, joka lähettää hello world -tekstiä, toiseen Arduinoon ohjelma, joka lukee serial-väylää pitkin tulevan datan ja kirjoittaa sen.

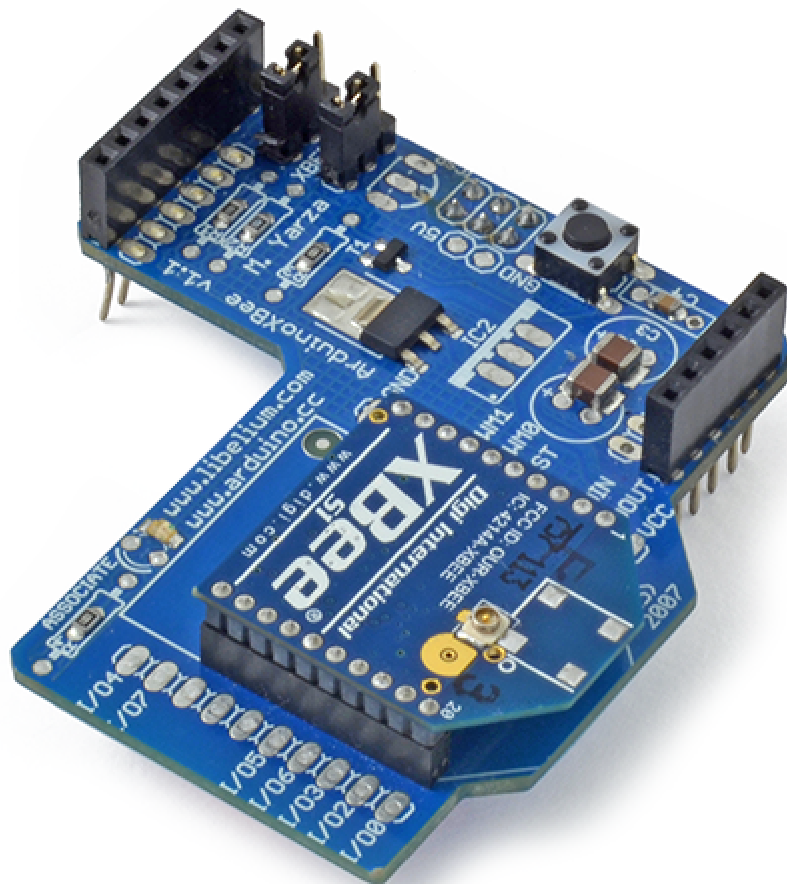
Ensiksi syötettiin ohjelmat Arduinoihin, jonka jälkeen laitettiin hyppylangat Arduinon reset- ja GND-pinnien välille. Tällä kytkennällä ohitetaan Arduinon Atmel -mikropiiri, jossa ohjelma pyörii. Tämän jälkeen liitettiin Xbeen GND ja 3.3 V-käyttöjännite sekä TX ja RX (lähetys ja vastaanotin) Arduinon vastaviin pinneihin. Näin päästiin alustamaan Xbee-moduulit X-CTU-ohjelmalla. Molemmille moduuleille avattiin omat ohjelmat, jotta voitiin helposti seurata tiedonsiirtoa ja muuttaa asetuksia. Asetuksiin Modem Configuration -välilehdessä välttämättömiä muutoksia oli laittaa DL (Destination Address Low) ja MY(16-bit Source Address). Nämä tuli asettaa siten, että toiseen Xbee-moduuliin tuli samat osoitteet päinvastaisesti asetettuna. Tämän jälkeen WRITE-painikkeella hyväksyttiin ja ajettiin tiedot moduuleihin. Tämän jälkeen yhteys moduuleiden välillä voitiin testata Terminal-välilehdessä. Kun toisen Xbeen terminaaliin kirjoittaa, se tulostuu toisen terminaalissa ja tällöin yhteys on kunnossa.

Kun yhteys oli testattu toimivaksi, vaihdettiin Xbee-moduuleilta tulevat RX ja TX -johdot toisin päin molemmilla Arduino Uno -levyillä ja poistettiin GND:n ja Resetin välinen hyppylanka, jolloin mikrokontrollereille sisäänajettu ohjelma alkaa ja tulokset voitiin katsoa vastaanottopään Arduino IDEn Serial Monitorista.

Kun tämä kytkentä oli todettu toimivaksi, liitettiin sensori ja vahvistinpiirilevy mukaan kytkentään (kuva 18). Sensorin vahvistimelta tuleva signaali syötettiin lähetyspäässä olevan Arduinon A0 -pinniin (Analog In 0). Ohjelmat muokattiin siten, että toinen Arduino lukee vahvistimelta tulevan signaalin A0-pinnistä ja lähettää sen. Toiseen Arduinoon syötettiin ohjelma, joka lukee datan ja tulostaa sen. Arduinoihin syötettyjen ohjelmien koodit löytyvät liitteistä 2 ja 3.



KUVA 18. Lopullinen Arduino-kytkentä sensorin ja vahvistimen kanssa.



KUVA 19. Arduino XBee Shield (16)

7.6 Atmel Atmega256rfr2-Xpro

Seuraavaksi tutkittiin, miten sensorilta tuleva signaali saadaan syötettyä Atmega256RFR2-Xpro -alustalle ja lähetettyä siitä eteenpäin. Törmättiin heti ongelmaan, että valmistajan sivuilta ei löytynyt ohjeistusta, kuinka AD-muunnin saadaan toimimaan mikrokontrollerilla. Atmel Studio sisältää paljon example-ohjelmia, joiden avulla tai muokkaamalla niitä voisi saada helposti AD-muunnoksen tehtyä. Pitkän etsiskelyn jälkeen oli todettava, että sopivia example-ohjelmia kyseiselle mikrokontrollerille ei löydy. Atmega256RFR2-XPRO -evaluointialusta tuli markkinoille huhtikuussa 2013, joten siihen ei löytynyt vielä mitään example-ohjelmia. Kokeiltiin kuitenkin muokata vanhemmille alustoille ja mikrokontrollereille suunniteltuja example-ohjelmia, mutta aina törmäsin samaan ongelmaan. Ohjelmista puuttui aina joitakin tiedostoja.

Yritettiin kokeilla myös ATMegaRFR2-alustan tiedonsiirtoa. Atmelin sivuilta löytyi AVR RZUsbstick (kuva 20), joka on tarkoitettu langattomien verkkojen, kuten ZigBeen toiminnan testaamiseen. Tietokoneelle asennettiin AVR Wireless Services -ohjelma, joka on tarkoitettu RZUsbstickin ohjaamiseen. Ohjelmalla voidaan tarkastella signaaleja ja ohjata kommunikointia. Tässäkin ongelmaksi muodostui se, että ATMegaRFR2-alustalle ei ollut vielä example-ohjelmia eikä ohjeistusta, jolla olisin voinut tiedonsiirtoa testata. Yhteyttä evaluointialustan ja tietokoneen välillä ei saatu toimimaan.



KUVA 20. AVR RZUSBstick (17)

8 POHDINTA

Työn ensimmäisenä tavoitteena oli kartoittaa, minkälaisen kytkennän Emfit-paineanturi tarvitsee ja tarvitseeko anturidataa vahvistaa ja suodattaa, ennen kuin se on valmis syötettäväksi mikrokontrollerille. Tässä tavoitteessa onnistuttiin hyvin muokkaamaan signaalia siten, että anturidata oli siirrettävissä Arduino Uno -alustalle. Atmel ATmega256RFR2 -alustalle anturidatan siirtäminen ei kuitenkaan onnistunut. Siinä ongelmaksi muodostui ATmega256RFR2:n paljon monimutkaisempi ohjelmointirakenne. Alusta oli juuri tullut markkinoille, eikä siihen ollut vielä juuri mitään esimerkkiohjelmia eikä ohjeita, kuinka alusta saataisiin halutulla tavalla toimimaan.

Toisena tavoitteena oli ohjelmiston suunnittelua Arduino- ja ATmega-alustoille, jotta anturidata saataisiin siirrettyä langatonta ZigBee-yhteyttä käyttäen tietokoneelle. Tässä tavoitteessa onnistuttiin hyvin Arduino-alustalla, jossa Arduinon koodin helppous tuli hyvin esille. Arduino IDE:stä löytyi valmiita esimerkkikoodeja, joita muokkaamalla sai helposti toimivan tiedonsiirto-ohjelman tehtyä. Atmelin ATmega256RFR2-alustan kohdalla ongelmaksi muodostui taas se, että ohjeita ja esimerkkejä ei löytynyt.

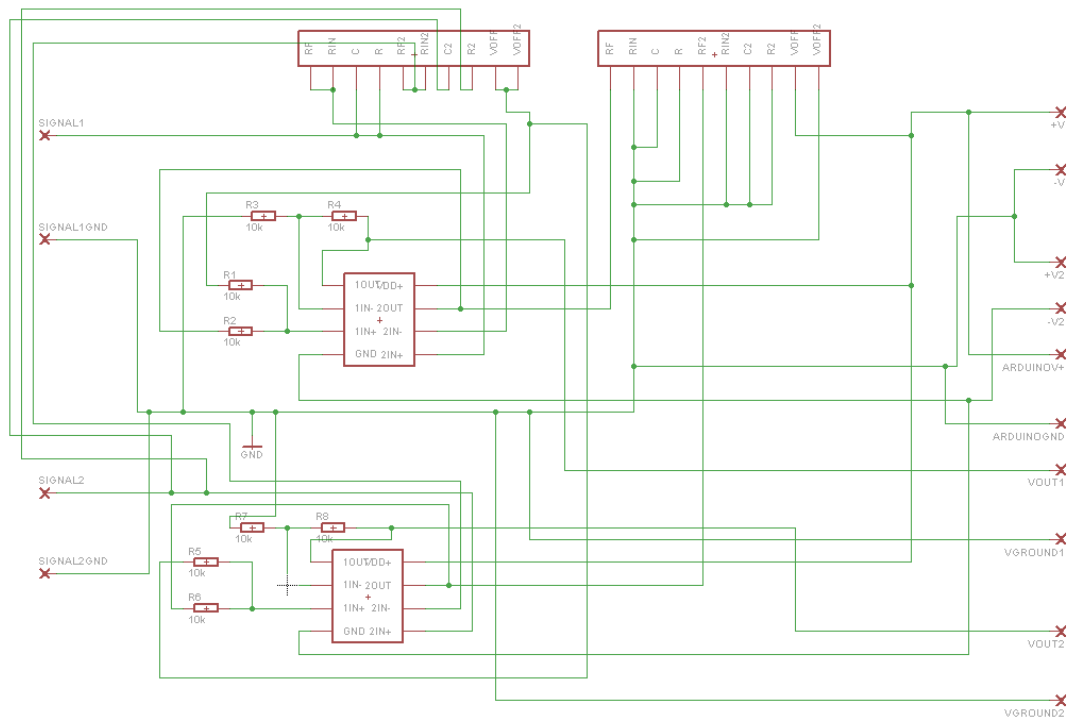
Työssä opin ohjelmointia suunnitellessani Atmelin ja Arduinon tiedonsiirto-ohjelmia. Analogiaelektroniikkaa opin suunnitellessani vahvistinta, jolla paineanturin signaalin vahvistus ja suodatus tehtiin. Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja sopivan haastava.

LÄHTEET

1. Emfit S-series. 2003. Saatavissa:
http://www.emfit.com/uploads/pdf/Emfit_S-series_specifications.pdf. Hakupäivä 10.6.2013.
2. RC-piiri. Saatavissa:
http://www.hutasu.net/index.php?sivu_id=39&parent=1. Hakupäivä 12.11.2013.
3. Operaatiovahvistin. 2013. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Operaatiovahvistin>. Hakupäivä 12.11.2013
4. Operaatiovahvistinkytkenät. 2013. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Operaatiovahvistimen_kytken%C3%A4t. Hakupäivä 12.11.2013.
5. Measure a bipolar signal with an Arduino Board. Saatavissa:
<http://masteringelectronicsdesign.com/measure-a-bipolar-signal-with-an-arduino-board/>. Hakupäivä 11.9.2013.
6. AD-muunnin. Saatavissa:
http://www.hutasu.net/index.php?sivu_id=43&parent=10. Hakupäivä 10.9.2013.
7. Honkanen, H. AD-muuntimet. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu.
Saatavissa:
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ADDA_ADconv.pdf.
Hakupäivä 10.9.2013.
8. Arduino. Saatavissa:<http://www.arduino.cc/>. Hakupäivä 11.6.2013.

9. Arduino Uno. Saatavissa: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Hakupäivä 11.6.2013.
10. Ruuska, Jukka 2009. ZigBee-langaton tiedonsiirtoympäristö. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/3593/ZigBee-.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 13.9.2013.
11. Atmel Atmega256RFR2-XPRO. Saatavissa: http://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/showImage/166188/ATMEGA256RFR2-XPRO_1.PNG. Hakupäivä 20.11.2013.
12. Atmel Studio 6. Saatavissa: http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/. Hakupäivä 11.6.2013.
13. Kaivola, Tommi 2013. Bootloader AVR- arkkitehtuurin mikrokontrollerille. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59247/Kaivola_Tommi.pdf?sequence=1. Hakupäivä 11.6.2013.
14. TLC2272 operaatiovahvistin. Saatavissa: <http://www.ti.com/product/tlc2272>. Hakupäivä 12.11.2013.
15. Esivahvistinkytkentä. Saatavissa: http://www.emfit.com/uploads/pdf/Emfit_preamplifiers_for_emfit_sensors.pdf. Hakupäivä 20.11.2013.
16. Arduino XBee Shield. Saatavissa: <http://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/arduino-xtbee-shield>. Hakupäivä 20.11.2013.
17. AVR RZUsbstick. Saatavissa: <http://www.atmel.com/tools/RZUSBSTICK.aspx>. Hakupäivä 20.11.2013.

Liite 1. Vahvistimen kytkentäkaavio



Liite 2. Arduino lähetinkoodi

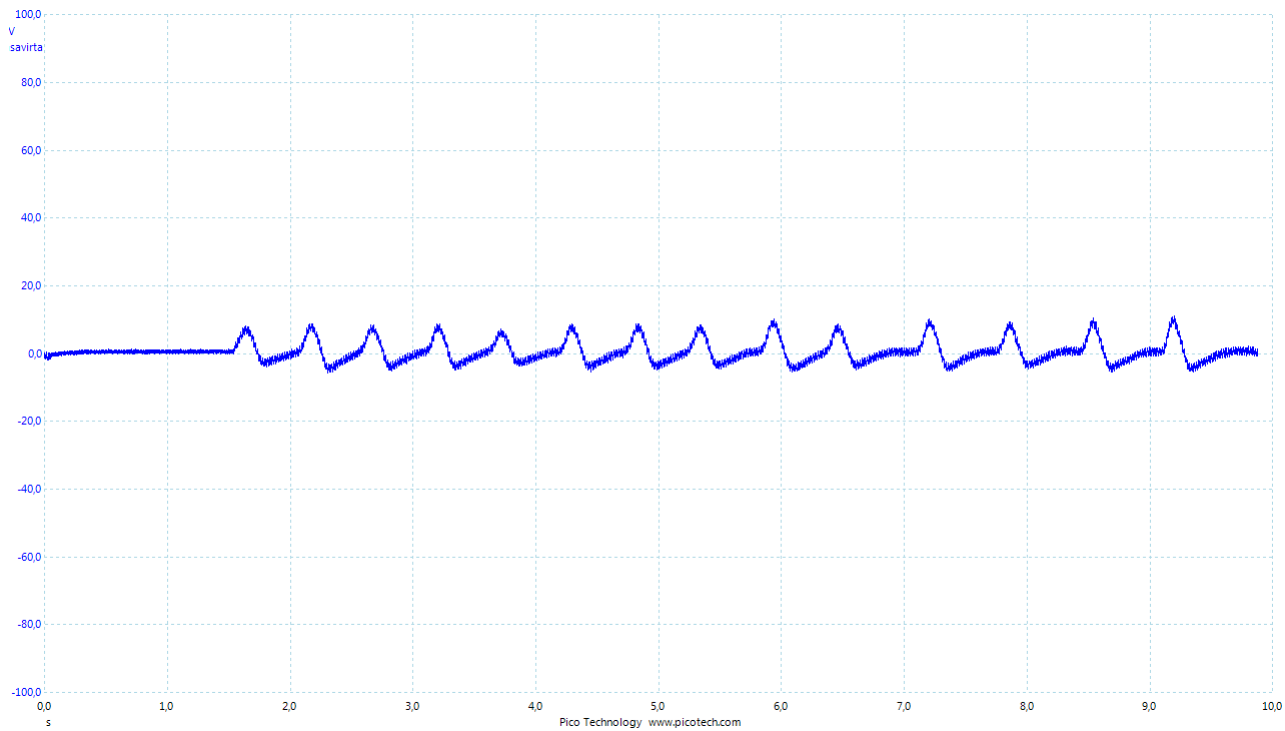
```
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);  
  
}  
  
void loop(){  
  
    int sensorValue = analogRead(A0);  
  
    // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 -  
    5V):  
  
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);  
  
    // print out the value you read:  
  
    Serial.println(voltage);  
  
}
```

Liite 3. Arduino vastaanotinkoodi

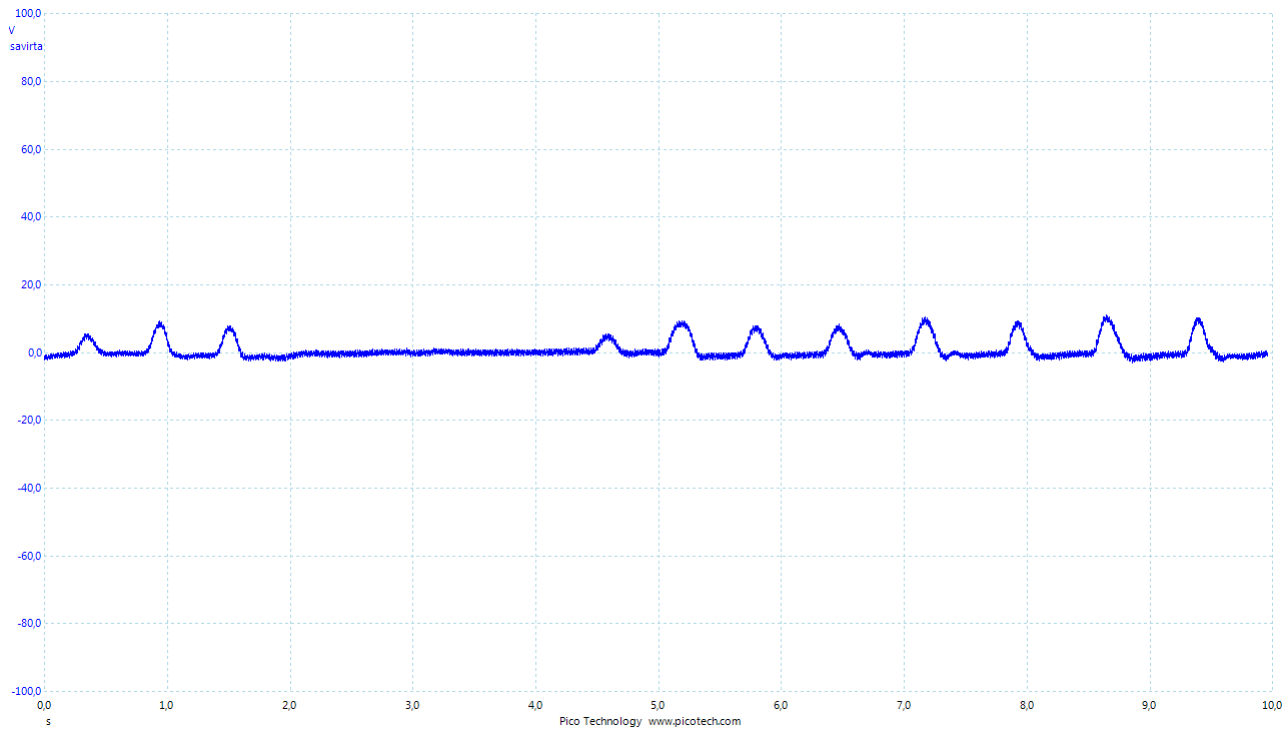
```
void setup() {  
  
    Serial.begin(9600);  
  
}  
  
void loop() {  
  
    if (Serial.available() > 0) {  
  
        Serial.write(Serial.read());  
  
    }  
  
}
```

Liite 4. Anturin RC-kytkennän mittaustulokset

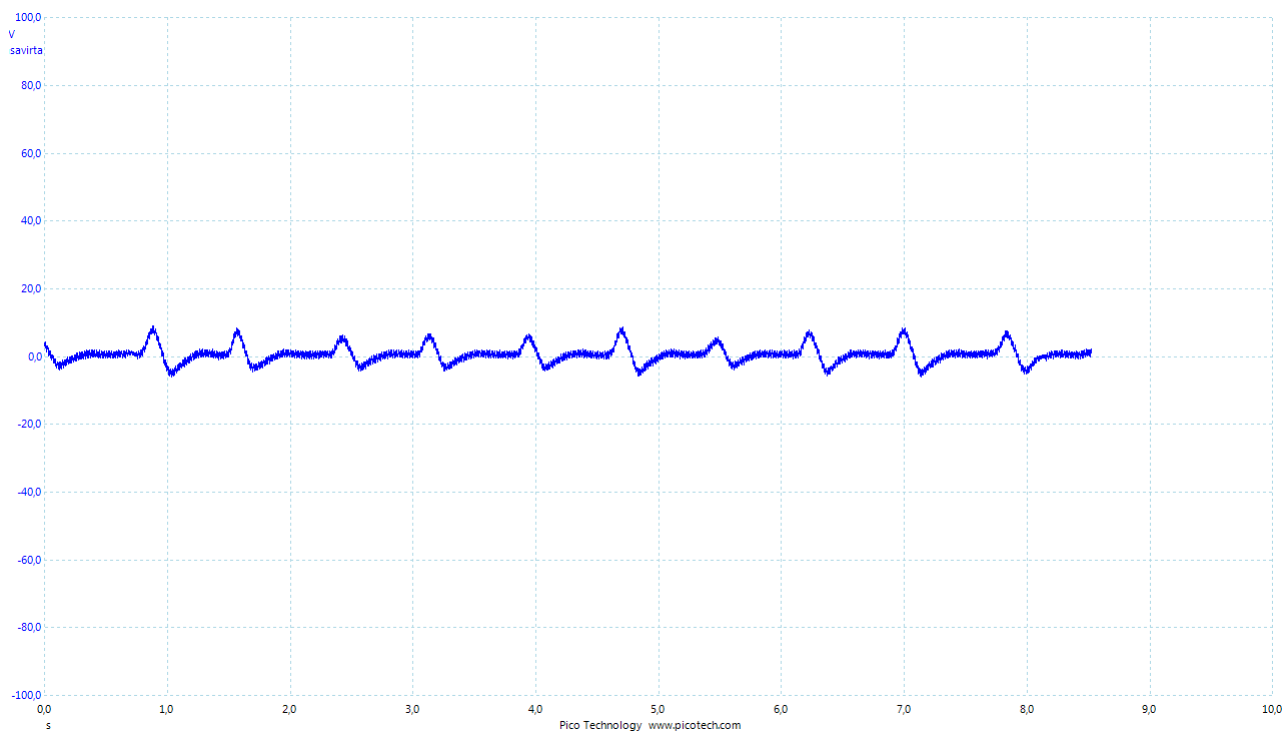
1 M Ω , 100 nF, 15 mV_{p-p}



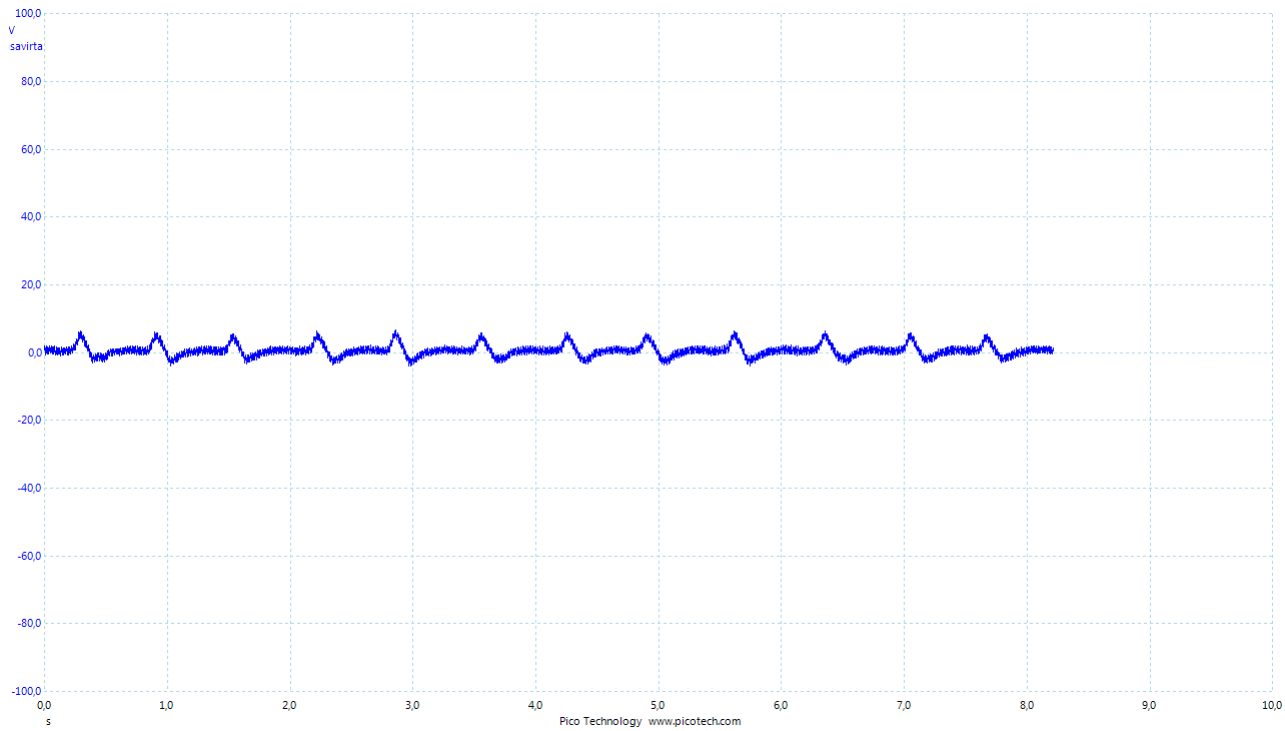
22 M Ω , 100 nF, 10 mV_{p-p}



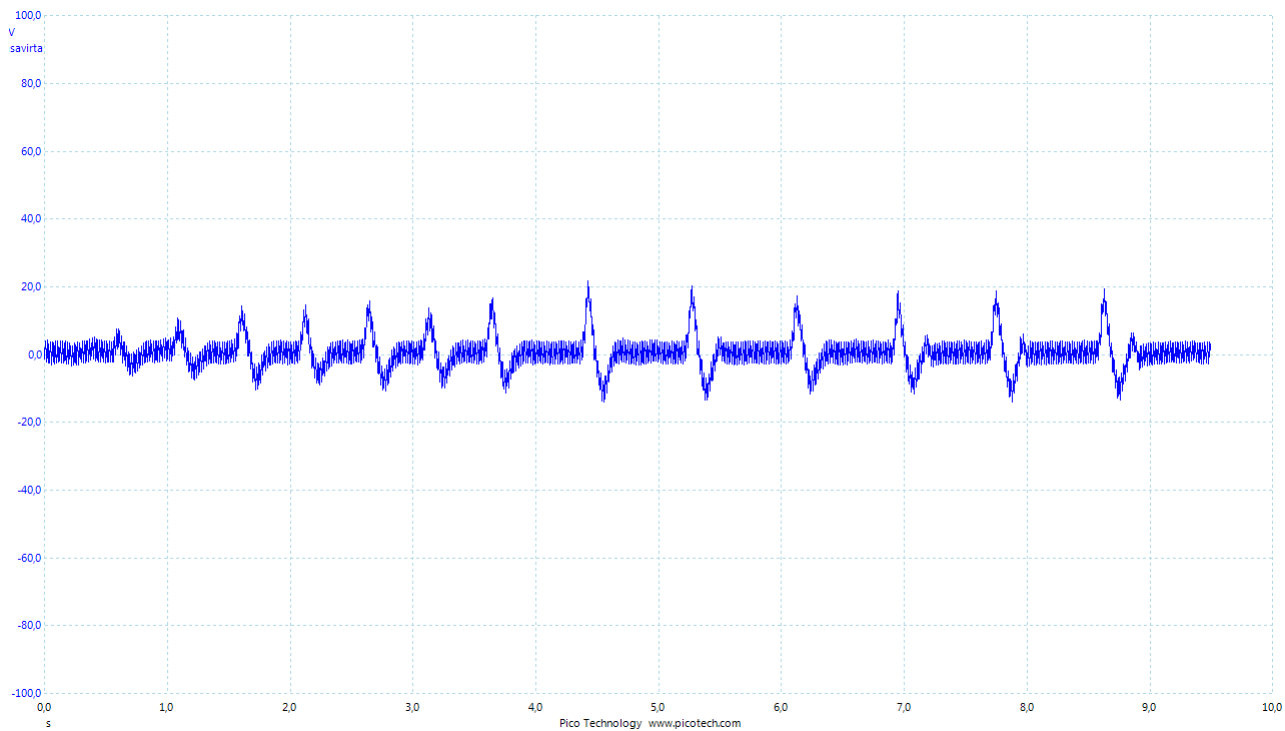
0.47 M Ω , 100 nF, 10 mV_{p-p}



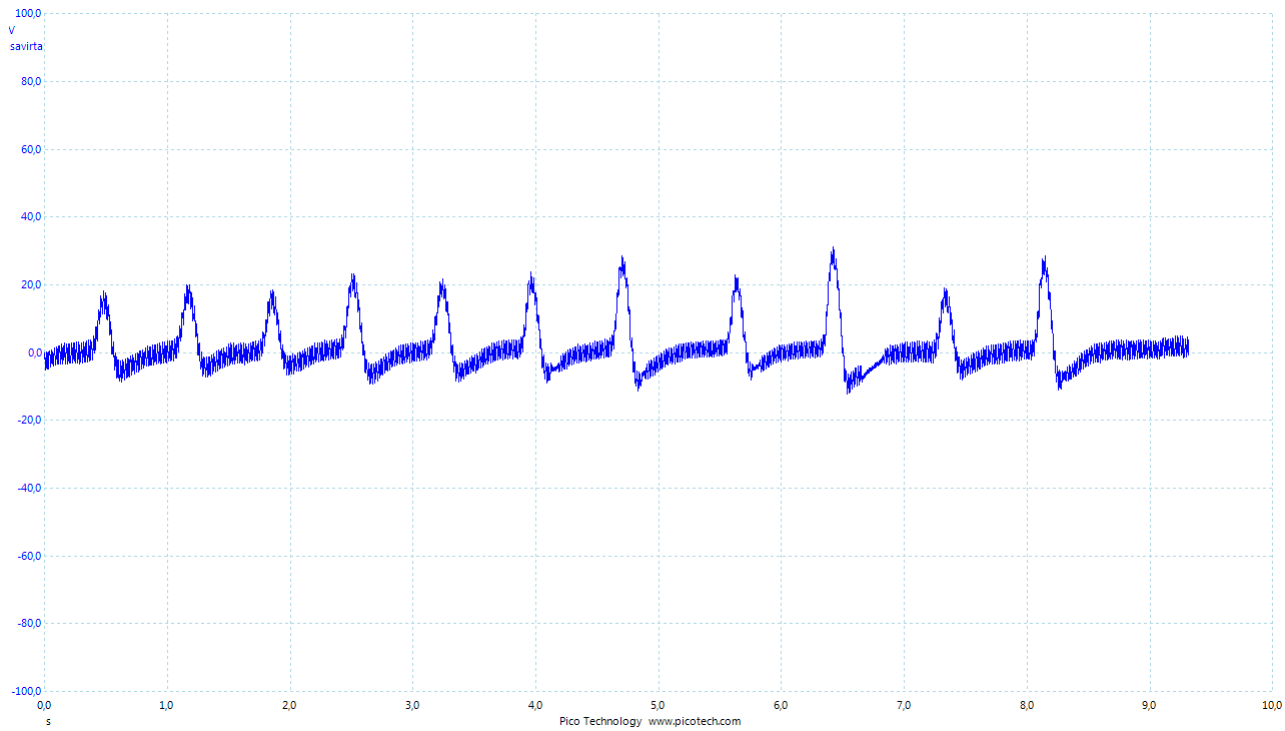
0.22 M Ω , 100 nF, 7 mV_{p-p}



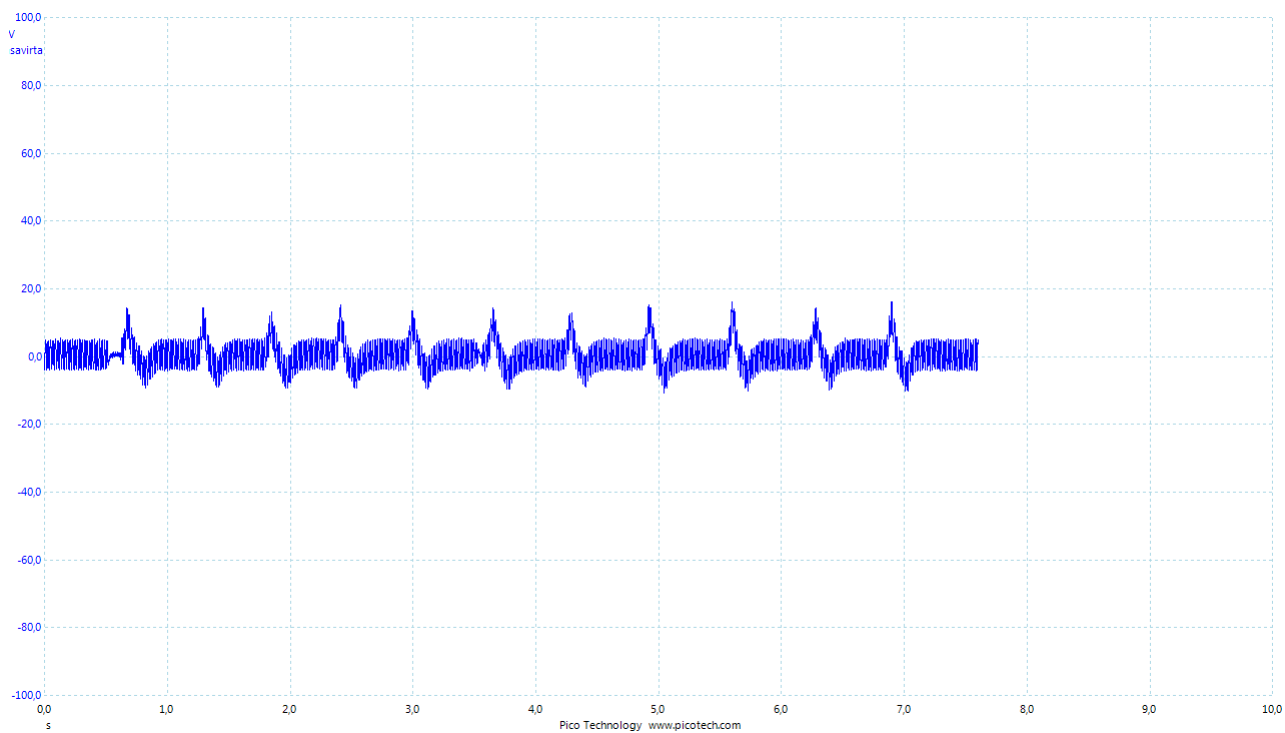
1 M Ω , 18 nF, 35 mV_{p-p}



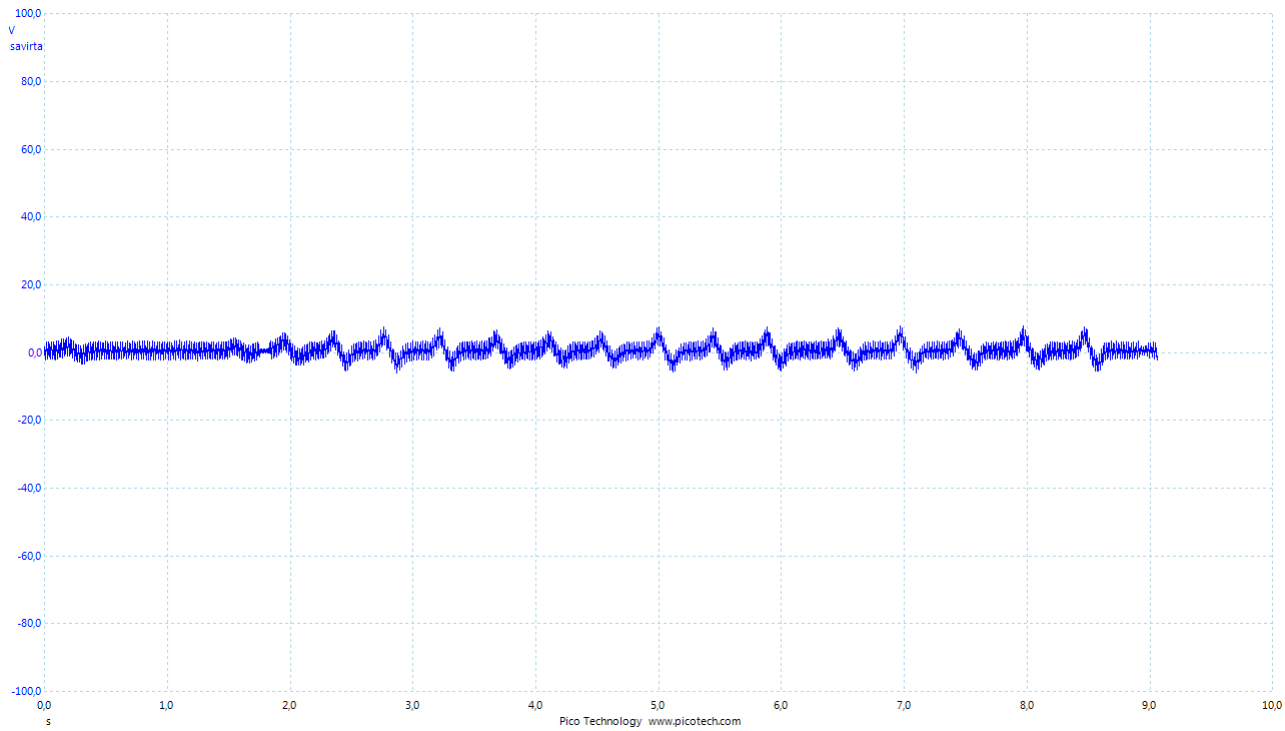
22 M Ω , 18 nF, 30 mV_{p-p}



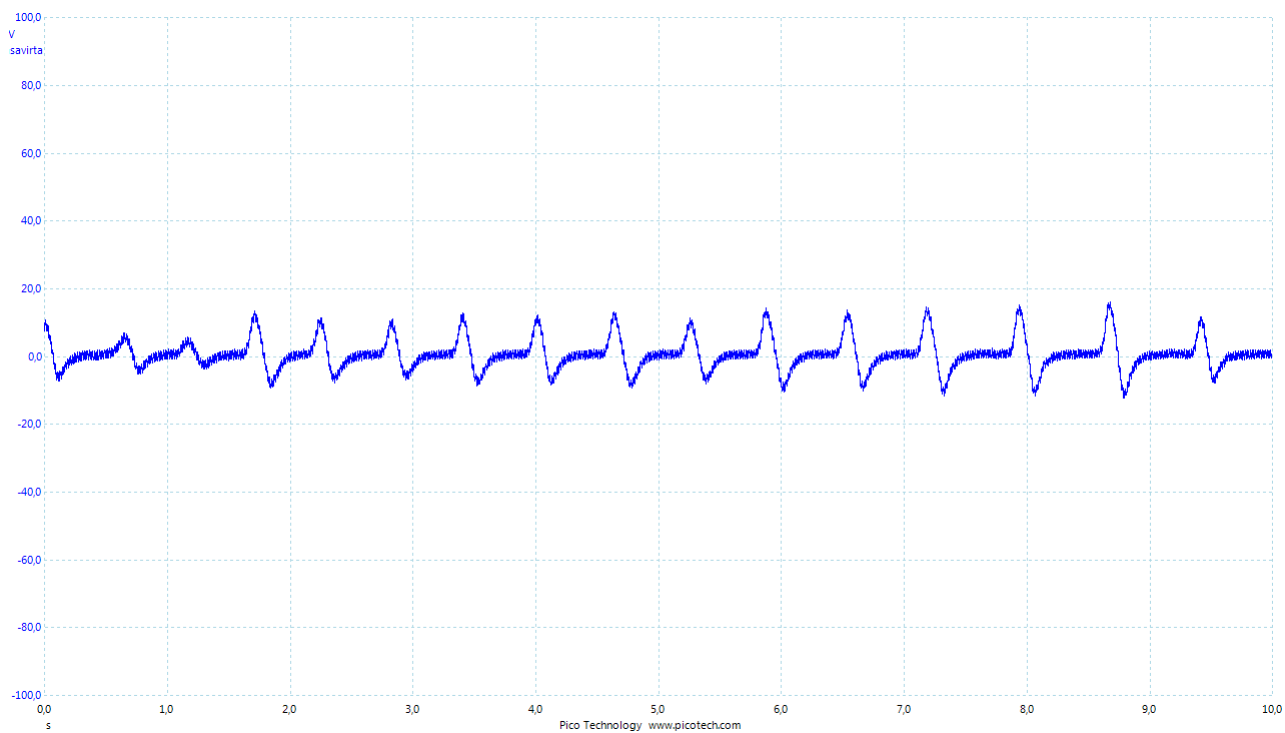
0.47 M Ω , 18 nF, 23 mV_{p-p}



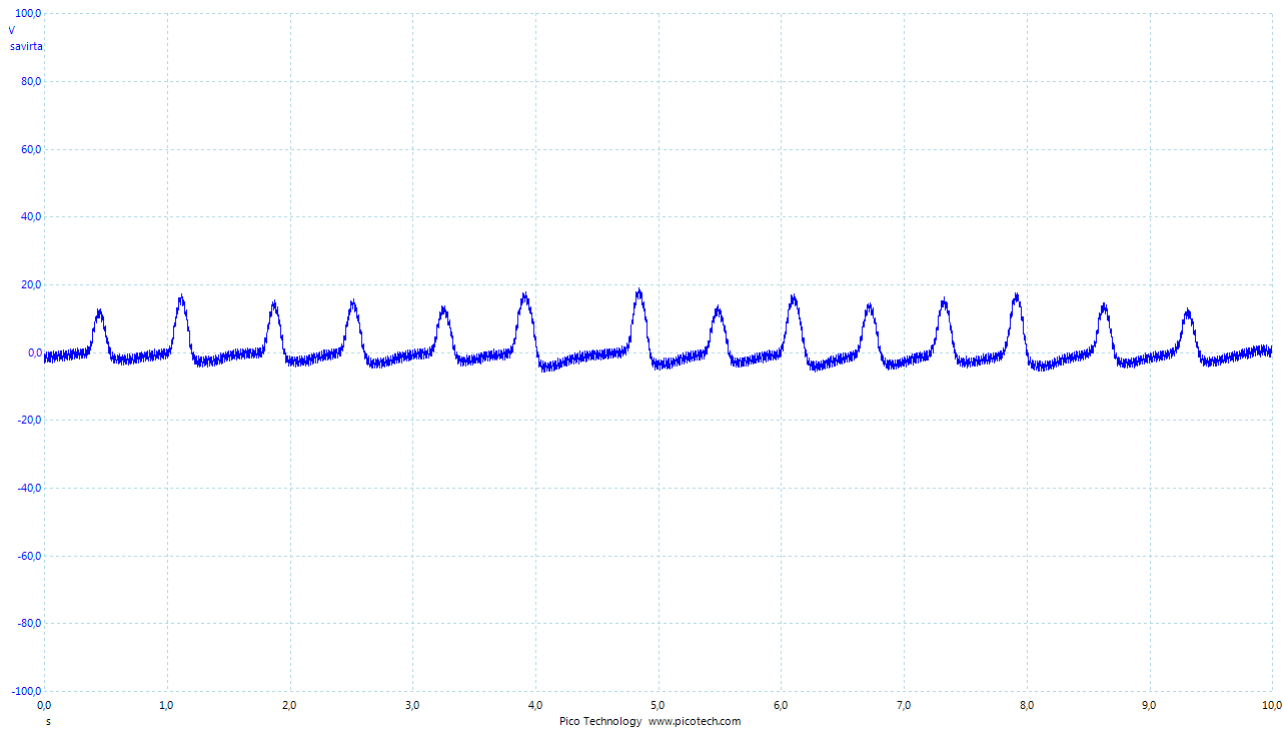
0.22 M Ω , 18 nF, 10 mV_{p-p}



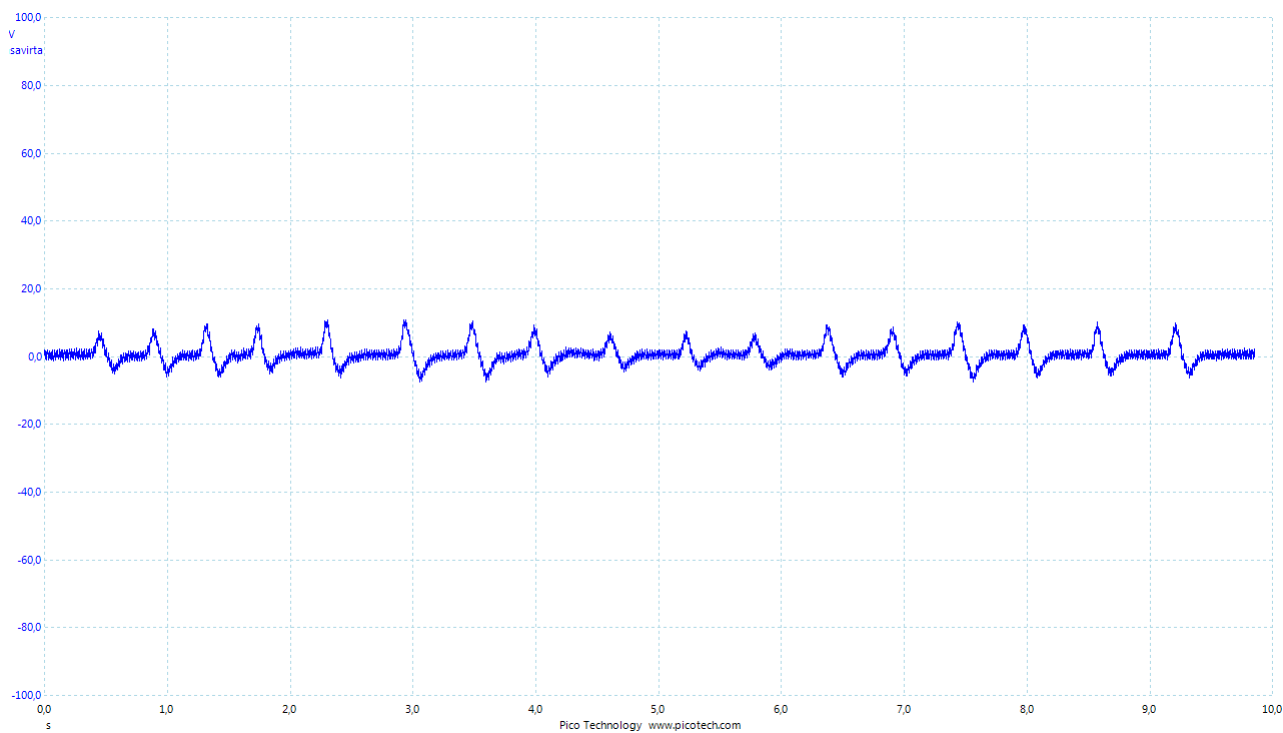
1 M Ω , 47 nF, 22 mV_{p-p}



22 M Ω , 47 nF, 20 mV_{p-p}



0.47 M Ω , 47 nF, 18 mV_{p-p}



0.22 M Ω , 47 nF, 6 mV_{p-p}

