

Terho Mikkonen

TAAJUUSVASTEEN MITTAUSJÄRJESTELMÄN  
SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2002



INSINÖÖRITYÖ  
TIIVISTELMÄ

Osasto Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Terho Mikkonen	
Työn nimi TAAJUUSVASTEEN MITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Mittaustekniikka	Ohjaaja(t) Pertti Karjalainen / Pentti Romppainen
Aika 12.4.2002	Sivumäärä 38
Tiivistelmä <p>Insinööriyön aiheena oli toteuttaa Kajaanin ammattikorkeakoulussa tietotekniikan koulutusohjelmassa laboratorio-opetuskäyttöön soveltuva piensignaali vahvistimen parametrien mittausjärjestelmä LabVIEW-ohjelmistoa käyttäen. Mittausjärjestelmä koostuu PC-tietokoneesta ja siihen asennetusta GPIB-väyläkortista, johon funktiogeneraattori ja digitaalinen oskilloskooppi on liitetty väyläkaapeleiden avulla. Järjestelmän avulla mitataan, tulostetaan ja tallennetaan oleellisia pientaajuusvahvistimen mittausarvoja. Mittausjärjestelmä parantaa joustavuutta, nopeutta ja luotettavuutta verrattuna manuaaliseen systeemiin.</p>	
Luottamuksellinen Kyllä Ei           X	
Hakusanat LabVIEW	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulu	

**ABSTRACT  
FINAL YEAR PROJECT**

Faculty <b>Faculty of Engineering</b>	Degree programme <b>Information Technology</b>
Author(s) <b>Terho Mikkonen</b>	
Title <b>Designing and Implementing a Frequency Response Measurement System</b>	
Optional professional studies <b>Measurement technology</b>	Instructor(s) / Supervisor(s) <b>Pertti Karjalainen / Pentti Romppainen</b>
Date <b>12.4.2002</b>	Total number of pages <b>38</b>
Abstract  The purpose of this final year project was to build a LabVIEW-based low signal amplifier measurement system suitable for use in information technology laboratory teaching at Kajaani Polytechnic. The system consists of a PC with a GPIB-card to which the function generator and the digital oscilloscope are connected using a bus cable. Using the system it is possible to measure, print and store the essential measurement results of a low signal amplifier. The measurement system improves the flexibility, speed and reliability compared to a manual system.	
Confidential Yes No <input checked="" type="checkbox"/>	
Keywords  <b>LabVIEW</b>	
Deposited at <b>Kajaani's Polytechnic, library</b>	

## ALKUSANAT

Tämä insinööryö on tehty Kajaanin AMK:lle. Haluan kiittää työn ohjaajina toimineita Pertti Karjalaista ja Pentti Romppaista. Kiitokset myös työn kielellisestä ohjauksesta Kaisu Korhoselle ja Eero Soiniselle. Lisäksi haluan esittää kiitokset Kajaanin AMK:n henkilökunnalle kannustuksesta työni eri vaiheissa. Nöyrät kiitokset perheelle ja läheisille ystäville siitä tuesta ja lämmöstä, jolla olette kantaneet tämän työn aikana.

Kajaanissa 12.4.2002

-----

Terho Mikkonen

## SISÄLLYSLUETTELO

<a href="#">1 JOHDANTO</a> .....	6
<a href="#">2 GPIB-VÄYLÄ</a> .....	7
<a href="#">2.1 GPIB:n historia</a> .....	7
<a href="#">2.2 IEEE 488.1</a> .....	7
<a href="#">2.3 IEEE 488.2</a> .....	8
<a href="#">2.4 SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)</a> .....	8
<a href="#">3 LABVIEW</a> .....	9
<a href="#">3.2 LabVIEW-ohjelmat</a> .....	9
<a href="#">3.2 GPIB-väylään liitettävien laitteiden ohjaus LabVIEW:lla</a> .....	10
<a href="#">3.3 VISA</a> .....	10
<a href="#">4 OHJELMISTOKUVAUS</a> .....	12
<a href="#">4.1 Mitattavat parametrit</a> .....	12
<a href="#">4.2 Pääsivu</a> .....	13
<a href="#">4.3 Tulosivu</a> .....	15
<a href="#">4.4 Amplitudivaste</a> .....	16
<a href="#">4.5 Vaihevaste</a> .....	20
<a href="#">4.6 Sakara-aallon toisto</a> .....	24
<a href="#">4.7 Nousuajan mitta</a> .....	27
<a href="#">4.8 Laskuajan mitta</a> .....	31
<a href="#">5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU</a> .....	32
<a href="#">6 YHTEENVETO</a> .....	37
<a href="#">LÄHDELUETTELO</a> .....	38

## 1 JOHDANTO

Tietokonepohjaisten mittaus- ja testausjärjestelmien käyttö on kasvanut voimakkaasti kymmenen viimeisen vuoden aikana. Syinä tähän ovat olleet mm. tietokoneiden nopeuden ja tiedon ja tiedonkäsittelykapasiteetin nopea kasvu, tiedonkeruukorttien ja väyläliitettävien mittalaitteiden valikoiman ja ominaisuuksien parantuminen, sovelluskehityksen nopeutuminen ohjelmistojen kehittymisen myötä ja alalla tapahtunut standardointi. Tietokonepohjaisia mittaus- ja testausjärjestelmiä sovelletaan laajalti paitsi elektroniikkateollisuudessa myös esim. prosessi-, auto- ja lääkeaineteollisuudessa. Soveltaminen alkaa tutkimuksesta ja tuotekehityksestä päättyen toimintoihin, kuten koulutukseen ja huoltoon.

Yksi mittaus- ja testausjärjestelmien laitteiden ja ohjelmistojen merkittävimmistä toimittajista on National Instruments. Laitepuolella yritys toimittaa esim. tiedonkeruukortteja, GPIB-kortteja, liikkeenohjauskortteja ja kuvankaappauskortteja sekä erilaisia mittalaitteita. Kajaanin ammattikorkeakoulussa tietotekniikan koulutusohjelmassa on konenäön ja mittaustekniikan sovellusten sekä testaus- ja mittausjärjestelmien suuntautumisvaihtoehdot. Suuntautumisvaihtoehtojen laboratorio-opetuksessa on sitouduttu voimakkaasti National Instrumentsin laitteistoihin ja ohjelmistoihin. Yksi merkittävimmistä ohjelmointiympäristöistä on LabVIEW, jonka avulla voidaan integroida koko National Instrumentsin tarjoama laitteistoympäristö yhdeksi kokonaisuudeksi.

Tässä työssä on toteutettu opetuskäyttöön soveltuva piensignaali vahvistimen parametrien mittausjärjestelmä LabVIEW-ohjelmistoa käyttäen. Mittausjärjestelmä koostuu PC-tietokoneesta ja siihen asennetusta GPIB-väyläkortista, johon funktiogeneraattori ja digitaalinen oskilloskooppi on liitetty väyläkaapeleiden avulla. Järjestelmän avulla on tarkoitus mitata, tulostaa ja tallentaa oleellisia pientaajuusvahvistimen mittausarvoja, sekä parantaa joustavuutta ja nopeutta verrattuna manuaaliseen systeemiin.

## 2 GPIB-VÄYLÄ

### 2.1 GPIB:n historia

Hewlett Packard kehitti GPIB:n (General Purpose Interface Bus) 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa. IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) standardoi GPIB:n vuonna 1975, ja GPIB tuli tunnetuksi IEEE 488 -standardina. Termit GBIP-, HP-IB-, IEC- ja IEEE 488 -väylä ovat synonyymejä.

GBIP on digitaalinen, 24-napainen rinnakkaisväylä. Se muodostuu kahdeksasta datalinjasta, viidestä väylän hallintalinjasta, kolmesta tiedonsiirron ohjauslinjasta ja kahdeksasta maalinjasta. Datan siirto tapahtuu 8 bitin asynkronisena rinnakkaisiirtona.

Tiedonsiirtonopeus voi olla maksimissaan 1 Mtavua/s. Kahden laitteen välisen kaapelin maksimipituus voi olla 4 m, mutta kaapeleiden yhteispituus ei saa ylittää 20 m:ä. Väylään voidaan kytkeä 15 laitetta, joista vähintään kaksi kolmesta on päälle kytkettynä. Joka laitteella täytyy olla oma GPIB-osoite (0 - 30). Osoite 0 on normaalisti varattu GPIB-liitäntäkortille. Väylään liitettävät laitteet voivat käyttää osoitteita 1 - 30. GPIB-väylällä on yksi kontrolloija (tietokone), joka tarkkailee väylää. Pystyäkseen siirtämään laitekäskeyä ja dataa väylällä, kontrolloija osoittaa yhden osoitteen lähettäjäksi ja yhden tai useamman vastaanottajaksi. Tämän jälkeen datamerkkijono lähetetään väylää pitkin lähettäjältä vastaanottajalle.

### 2.2 IEEE 488.1

Standardi IEEE 488.1 määrittelee mittauslaitteen ja tietokoneen välisen fyysisen väylän. Se sisältää sähköiset ja mekaaniset liitännät sekä siirtoprotokollat. Standardi määrittelee liitäntäpohjaiset toiminnot, mittauslaitteen osoituksen menetelmät sekä rajallisen määrän yleisesti käytettäviä toimintoja. [ 1, s. 13 ]

### 2.3 IEEE 488.2

Standardi IEEE 488.2 täydentää IEEE 488.1:stä, ja se käsittelee mittausjärjestelmien ylempien liityntätasojen ominaisuuksia. IEEE 488.2 määrittelee koodi-, formaatti-, protokolla- ja yleiskomentoja sekä laajennettuja liityntätoimintoja. Standardi määrittelee komentojen kirjoittamisen säännöt, mittaus- ja ohjauslaitteiden asemat järjestelmässä ja keskinäiset viestien vaihdot. Standardi määrittelee myös ajoittain käytettävien instrumenttien yleiset komennot. [1, s. 20]

### 2.4 SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)

SCPI on IEEE 488.2:een perustuva standardi ohjelmoitavien instrumenttien komennosta. Tämä selkeyttää valmistajista riippuvaa käskykantaa.

Standardi määrittelee yhdessä IEEE 488.2:n kanssa menettelyt, joilla IEEE 488.1:tä käyttäen ohjaustila-, komento- ja dataviesti siirtyvät. SCPI sisältää komentohierarkian, vastausformaatit ja ohjelmoinnin käskykannan. Ohjaimen ja mittauslaitteen välinen väylä voi olla myös muu kuin IEEE 488, kuten esimerkiksi sarja-, instrumentti- tai kenttäväylä. SCPI-komennot ovat selväkielisiä, ja ne koostuvat ASCII-merkeistä.

SCPI:n suurin hyöty on ohjelmointiajan lyheneminen ja helpommin ymmärrettävien ja ylläpidettävien testiohjelmien aikaansaaminen. Etuna on myös keskinäisen vaihdettavuuden suurempi todennäköisyys verrattuna aikaisempaan. [1, s. 23] Vaihdettavuudella tarkoitetaan mahdollisuutta vaihtaa mittalaitteita ilman, että tarvitsee tehdä muutoksia itse testiohjelmaan.



### 3 LabVIEW

#### 3.2 LabVIEW-ohjelmat

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) on graafinen ohjelmointikieli, joka tuli markkinoille vuonna 1986. Ohjelmointi perustuu lohko-kaavioesitykseen, josta LabVIEW kääntää konekielisen ajettavan tiedoston. Tällöin ohjelmien suoritusnopeus ei kärsi, vaan ne ovat lähes yhtä nopeita perinteisiin rivikoodeilla toteutettuihin ohjelmiin verrattuna. [1, s. 43]

LabVIEW tukee esim. tiedonkeruukortteja, RS-232/422-porttia, IEEE 488 (GPIB) -kortteja ja PXI- sekä VXI-väylää. LabVIEW:llä laaditut ohjelmat tunnistaa .vi-päätteestään, ja niitä voi tallentaa hakemistoihin tai VI-kirjastoihin (\*.llb). LabVIEW:n kannalta \*.llb on hakemisto, jossa on .vi-päätteisiä ohjelmatiedostoja. Ohjelman mukana tulevat valmiit VI-kirjastot käsittävät laajat toiminnot tiedon analysointia ja esitystä varten. Lisäksi voidaan tehdä tilastointia ja tiedostonhallintaoperaatioita. [2]

Käynnistettäessä LabVIEW-ohjelma avautuu kaksi ikkunaa. Toinen on nimeltään etupaneeli ja toinen diagrammi-ikkuna. Ohjelman teossa tarvitaan yleensä molempia ikkunoita. Etupaneeliin sijoitetaan kontrollit, joiden kautta tieto välittyy ohjelmaan ja indikaattorit, joihin tulostuu ohjelman tuottama tieto. Indikaattoreita ja kontrolleja on olemassa useaa eri tyyppiä: arvo-, teksti-, totuus-, kuvatyypinen, jne. Diagrammi-ikkuna koostuu solmuista (ikonit), terminaaleista ja langoista. Solmut vastaavat tekstipohjaisen ohjelman lausekkeita, funktioita ja aliohjelmaa. Terminaalit vastaavat parametrejä ja vakioita. [2] Terminaalien kautta tapahtuu etupaneelin ja diagrammi-ikkunan ja solmujen välinen datansiirto. Terminaaleja voi olla kahta tyyppiä: kontrolli- ja indikaattoriterminaalit sekä solmujen terminaalit. Kontrolli- ja indikaattoriterminaalit muodostuvat automaattisesti diagrammi-ikkunaan, kun kontrollit tai indikaattorit luodaan etupaneelissa. Solmujen terminaalit saadaan esille klikkaamalla hiiren oikealla näppäimellä niitä ja valitsemalla toiminto *Show Terminals*. Langat ovat konventionaalisten kielten muuttujia. Tieto kulkeutuu lankoja pitkin terminaalien välillä. Eri tietotyypeillä on erilaiset langat. [2]

LabVIEW-ohjelmista voidaan tehdä modulaarisia. Tehtyjä ohjelmia voidaan käyttää toisissa ohjelmissa aliohjelmina. Jokaisen aliohjelman voi myös testata itsenäisenä kokonaisuutena. Aliohjelmien käyttö on suositeltavaa, koska virheiden etsiminen, ohjelman toiminnan ymmärtäminen sekä ohjelman ylläpito helpottuvat. Aliohjelmat vastaavat konventionaalisten ohjelmointikielien funktioita ja aliohjelmia. [2]

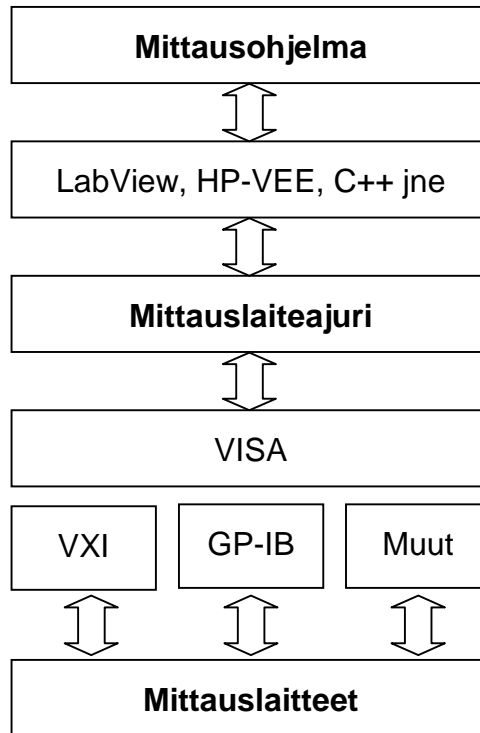
### 3.2 GPIB-väylään liitettävien laitteiden ohjaus LabVIEW:lla

LabVIEW:ssa voidaan käyttää instrumenttiajureita kommunikointiin mittalaitteiden kanssa. Instrumenttiajuri on kokoelma VI:tä, jotka kontrolloivat ohjelmoitavaa mittalaitetta. LabVIEW-instrumenttiajurit yksinkertaistavat laitteiden ohjausta ja lyhentävät testien kehittämisaikaa eliminoimalla tarpeen opetella jokaisen mittalaitteen matalan tason ohjauskäskyjä.

Käskykantaansa noudattaen laitteet ottavat vastaan ohjaus- ja tietopyyntöjä. Kun käytetään LabVIEW-laiteajureita, ajetaan intuitiivisia, korkean tason käsky-VI:ejä.

### 3.3 VISA

Useiden mittalaitteiden ohjauksessa tarvittavat instrumenttiajurit käyttävät VISA:aa (Virtual Instrumentation Software Architecture) korkean tason väylärajapintana. VISA:n avulla saadaan ylöspäin sovellusohjelmille yhdenmukainen standardoitu I/O-rajapinta, ja alaspäin se tukee eri mittauslaiteväyliä. VISA on suunniteltu ohjelmistosta riippumattomaksi. Kuvassa 1 on esitetty mittausjärjestelmän rajapinnat yleisellä tasolla. [3, s. 37]



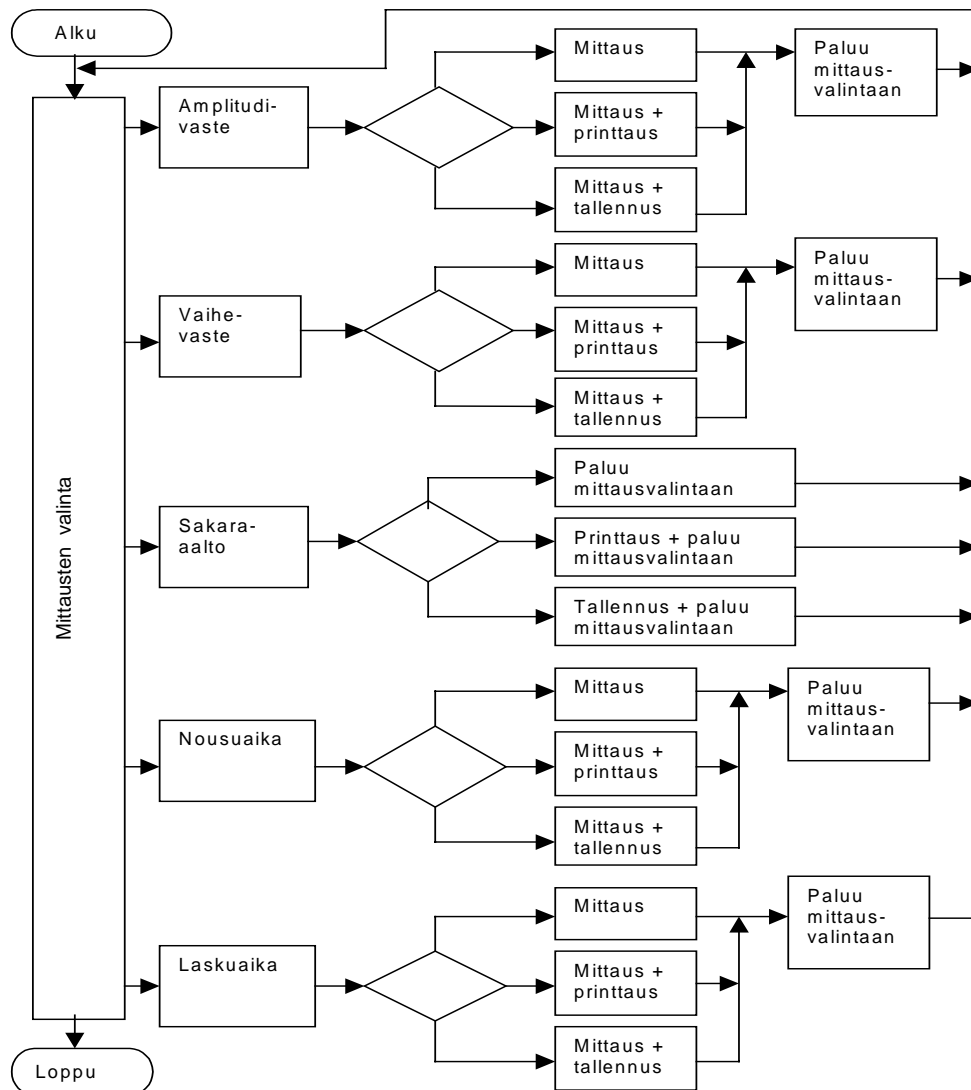
*Kuva 1. Mittausjärjestelmän rajapinnat*

VISA on kirjasto, jolla kontrolloidaan VXI-, GPIB-, RS-232- ja muun tyyppisiä instrumentteja kaikissa LabVIEW-ympäristöissä. Useimmat VISA-kirjaston toiminnoista käyttävät VISA session ja dup VISA session -parametriä. Jokaisella istunnolla on VISA session -tunnus. Se identifioi laitteen, jonka kanssa VI kommunikoi ja kaiken konfiguraatitiedon. Tunnus luodaan VISA open -funktion yhteydessä, ja sitä käytetään aina kun istuntoon viitataan.

## 4 OHJELMISTOKUVAUS

### 4.1 Mitattavat parametrit

Ohjelman haluttiin mittaavan amplitudivastetta, vaihevastetta, nousuaikaa ja laskuaikaa sekä sakara-aallosta haluttuja parametrejä. Mittaustulokset esitetään näytöllä. Voidaan myös valita mittaustulosten tulostaminen printterillä tai niiden tallennus. Tältä pohjalta laadittiin kuvan 2 mukainen mittausjärjestelmän vuokaavio.



Kuva 2. Mittausjärjestelmän vuokaavio

## 4.2 Pääsivu

Kuvassa 3 on etupaneeli pientaajuusvahvistimen mittausvalinnoista. Siitä voidaan valita:

- amplitudivasteen mittaus
- vaihevasteen mittaus
- sakara-aallon toiston tarkastelu
- nousuajan mittaus
- laskuajan mittaus
- ohjelman lopetus.

Ennen mittausvalintoja asetetaan funktiogeneraattorin ja oskilloskoopin osoitteet vastaamaan mittalaitteiden osoitteita.

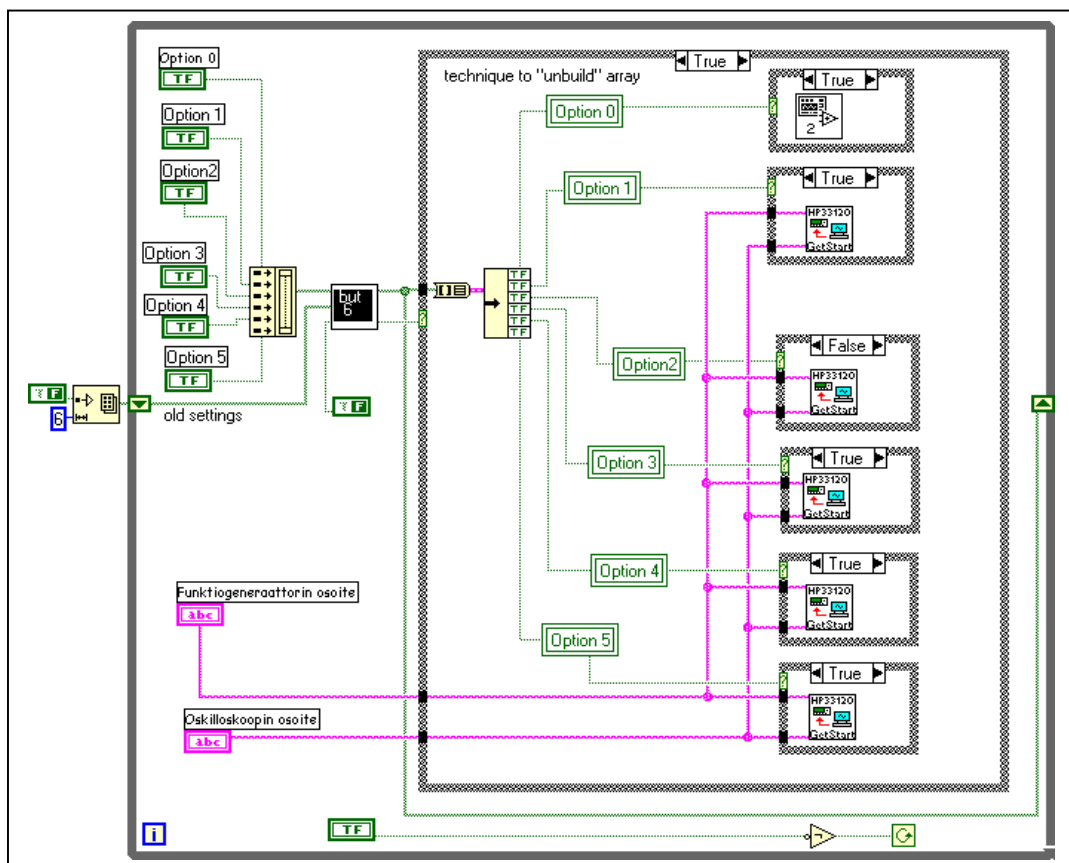


Kuva 3. Pääsivun etupaneeli

Kuvassa 4 on pientaajuusvahvistimen mittausvalintoihin liittyvä vuodiagrammi. Pääsivun ohjelmoinnissa on hyödynnetty LabVIEW:n esimerkeistä löytyvää Simulating Radio Buttons.vi -kytkentää, jolla ohjataan seuraavia aliohjelmaa:

- tulosivu
- amplitudivaste
- vaihevaste
- sakara-aalto
- nousuaika
- laskuaika.

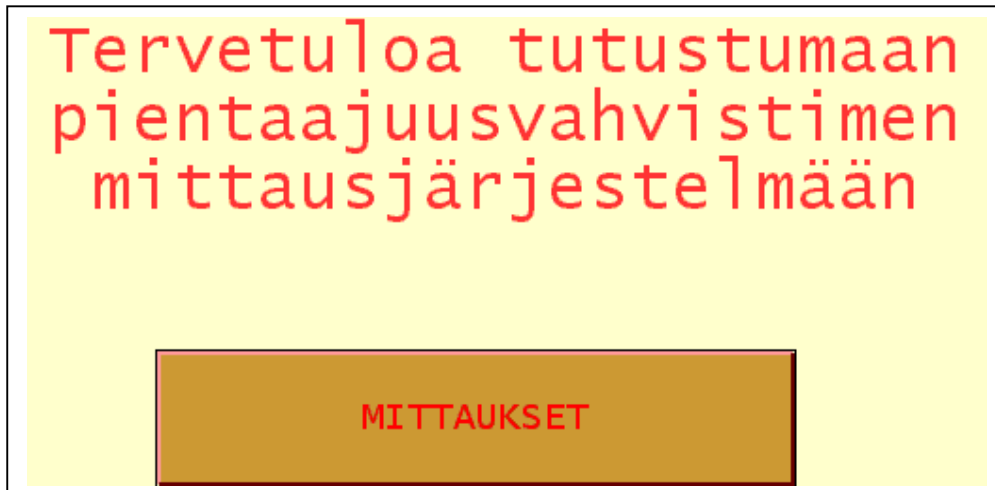
Ohjelman käynnistyessä avautuu aliohjelma tulosivu automaattisesti. Tulositivun valintapainike on piilotettu etupaneelistä. Uutta mittausvalintaa tehtäessä vanha valintanappi nousee ylös. While-silmukassa pyörivä ohjelma pysäytetään STOP-painikkeella.



Kuva 4. Pientaajuusvahvistimen mittausvalinnat -sivun vuodiagrammi

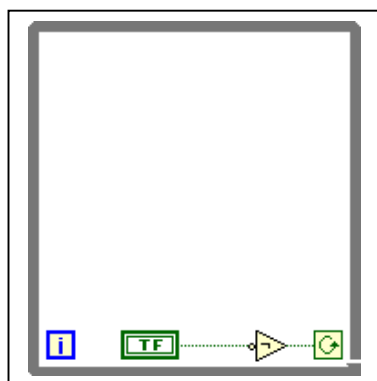
### 4.3 Tulosivu

Kuva 5 esittää Tulosivun etupaneelia, joka avautuu ensimmäisenä ohjelman käynnistyttyä ja josta päästään varsinaisiin mittauksiin.



*Kuva 5. Tulosivun etupaneeli*

Kuvassa 6 on tulosivun vuodiagrammi. Etupaneelin *MITTAUKSET*-painikkeen painaminen pysäyttää While-silmukan ja näytölle tulee pääsivun etupaneeli valmiina mittausvalintoihin.

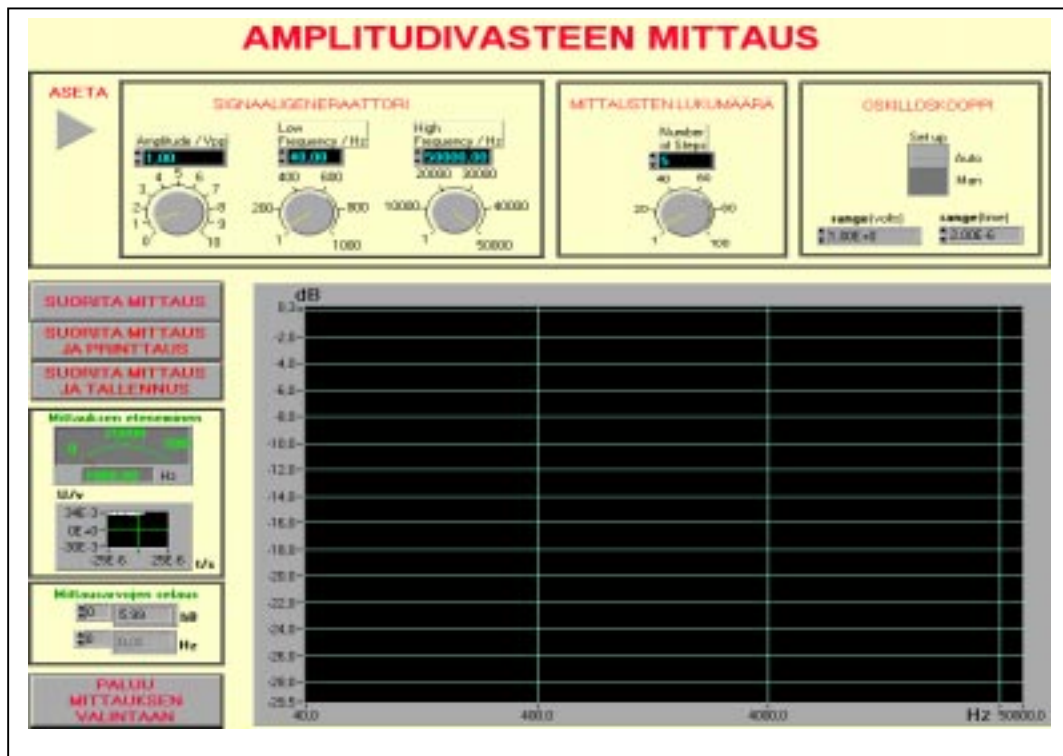


*Kuva 6. Tulosivun vuodiagrammi*

#### 4.4 Amplitudivaste

Kuvassa 7 on amplitudivastemittauksen etupaneeli, josta asetetaan signaaligeneraattorin amplitudi sekä haluttu taajuuskaista ja mittausten lukumäärä valitulta kaistalta. Käytännössä oskilloskooppi asetetaan auto-asentoon. Tällöin pienin mitattava taajuus on 40 Hz. Harkinnan mukaan voidaan käyttää myös manuaaliasentoa.

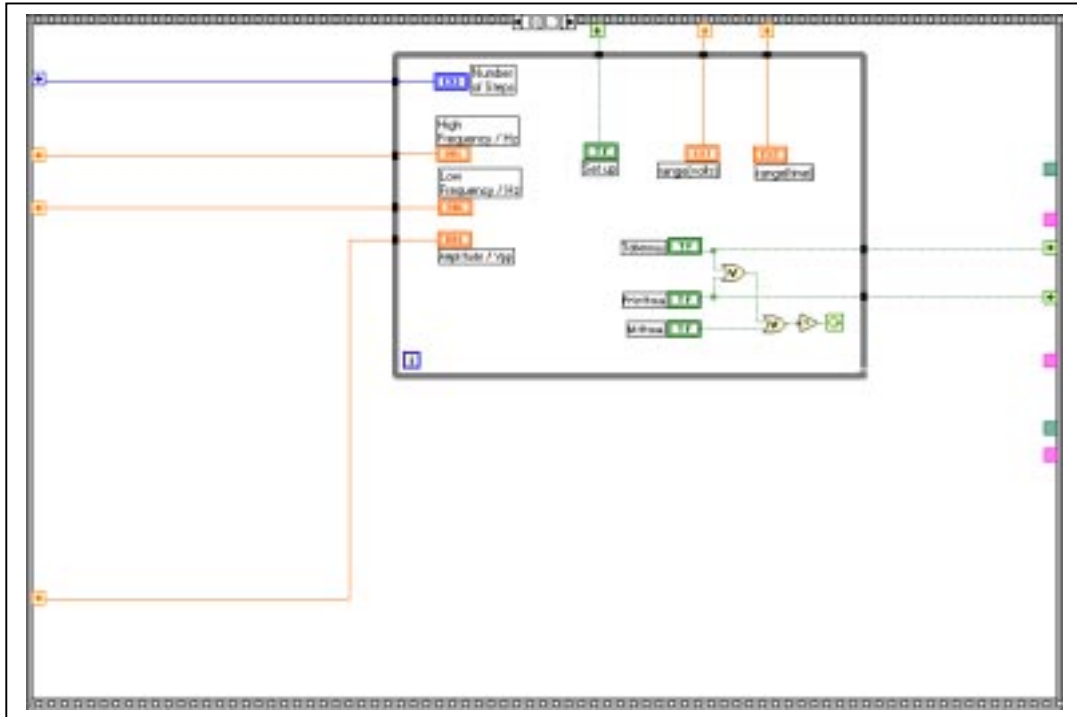
**SUORITA MITTAUS** -painikkeesta ohjelma aloittaa asetusten mukaisen mittauksen. Mittauksen etenemistä on mahdollista seurata *Mittauksen eteneminen* -indikaattorista. Mittauksen jälkeen mittaustuloksia voidaan selata indikaattorista *Mittausarvojen selaus*. **PALUU MITTAUKSEN VALINTAAN** -painikkeesta aliohjelma pysähtyy ja palataan mittausten valintaan. Painikkeella **SUORITA MITTAUS JA PRINTTAUS** saadaan mittaustulos graafina paperille. Painikkeella **SUORITA MITTAUS JA TALLENNUS** saadaan mittaustulos tallennettua Excel-tiedostoksi.



Kuva 7. Amplitudivastemittauksen etupaneeli



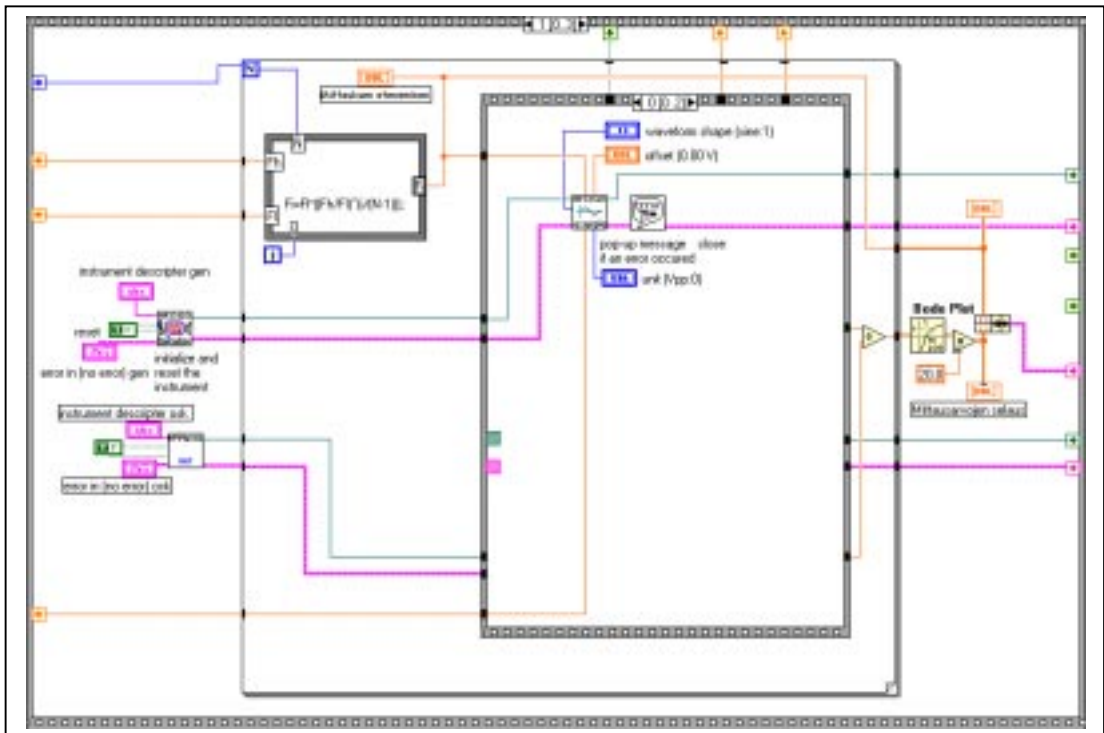
Kuvassa 8 on amplitudivastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi nolla, jonka sisällä pyörii While-silmukka niin kauan kunnes valitaan mittausta, printtaus tai tallennus.



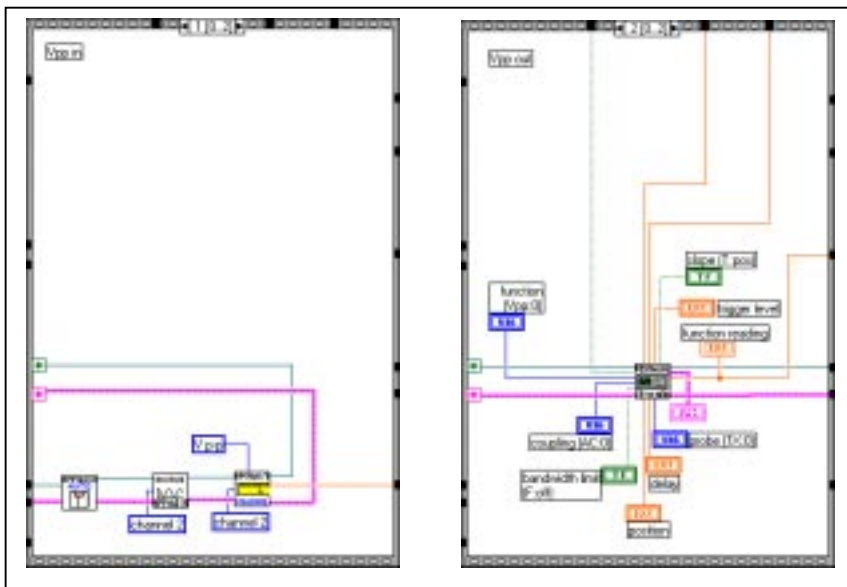
Kuva 8. Amplitudivastesivun vuodiagrammin sekvenssi nolla

Kuvassa 9 on amplitudivastesivun vuodiagrammin sekvenssi yksi, jossa ensin initialisoidaan ja nollataan funktiogeneraattori ja oskilloskooppi. Sekvenssin sisältämässä For-silmukassa on kaavaikkuna, jossa lasketaan mittauksessa käytettävät taajuudet mittauksen lukumäärän sekä pienimmän ja suurimman taajuuden perusteella. For-silmukka sisältää uuden sekvenssirakenteen, jonka sekvenssissä nolla funktiogeneraattori saa amplitudi- ja taajuusohjauksensa. Kuvassa 10 esitetystä sekvenssistä yksi ohjataan oskilloskooppi mittaamaan tutkittavaan piiriin kytkettyä jännitettä  $V_{p-p}$  kanavalla 2, ja sekvenssistä kaksi mitataan tutkittavan piirin lähtöjännitettä  $V_{p-p}$  kanavalla 1.

For-silmukasta saatu lähtö- ja tulojännitteiden suhde on jännitevahvistus, joka muutetaan desibeleiksi.



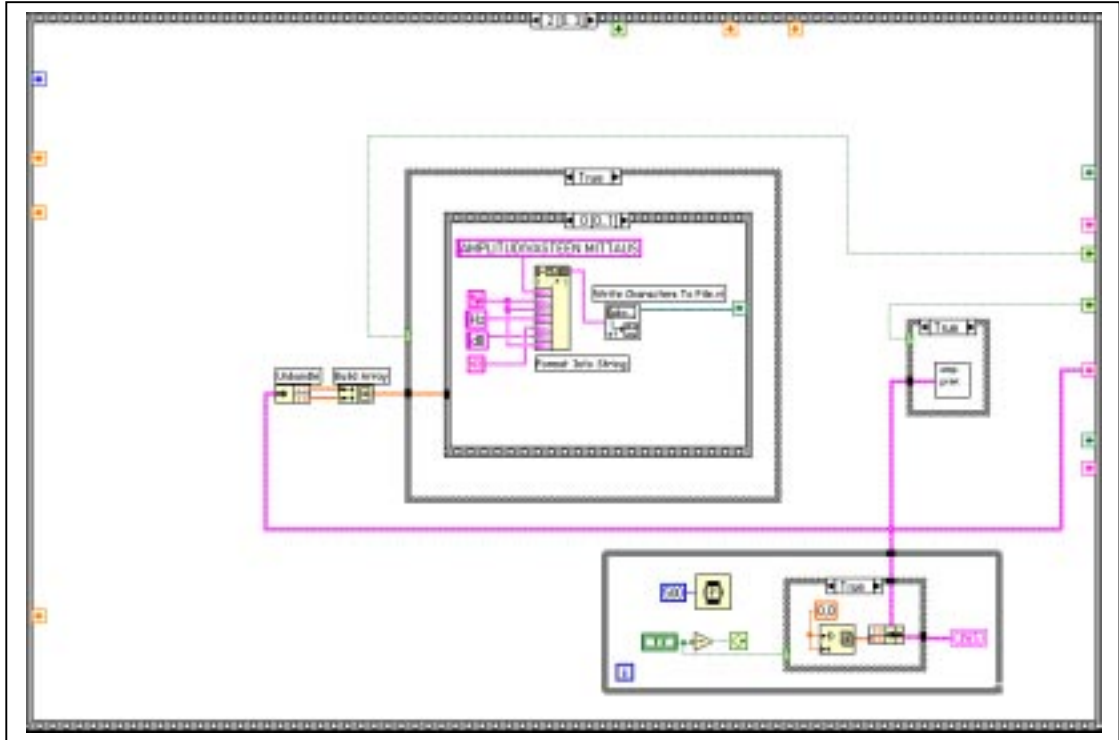
Kuva 9. Amplitudivastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi yksi



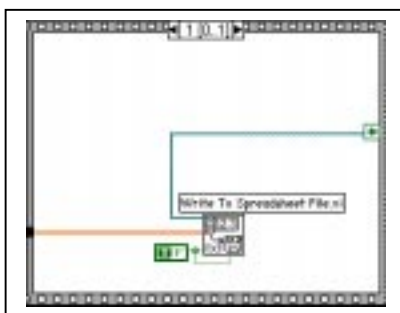
Kuva 10. Tulo- ja lähtöjännitteen mittaussekvenssit

Kuvan 11 sekvenssissä oleva While-silmukka pysähtyy painikkeella **PALUU MITTAUKSEN VALINTAAN**. Samalla näytön amplitudivastegraaffi nollautuu.

Case-rakenteen sisällä olevan sekvenssirakenteen ruudussa 0 kirjoitetaan tallennettavan taulukon otsikot. Kuvan 12 mukaisesti sekvenssissä yksi tallennetaan mittaustulokset tiedostoon.



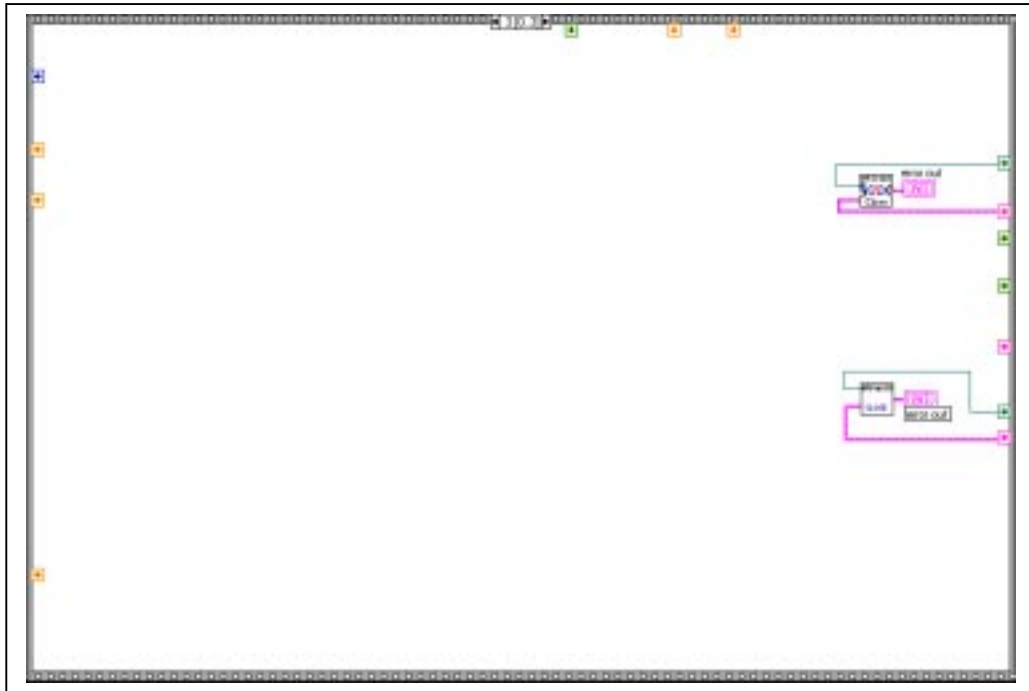
Kuva 11. Amplitudivastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi kaksi



Kuva 12. Vuodiagrammi taulukkoon tallentamisesta

Kuvan 11 sekvenssi sisältää aliohjelman amp. print., jonka avulla voidaan mitaustulokset ja graafi tulostaa kirjoittimella.

Kuvan 13 sekvenssi kolme sulkee generaattorin ja oskilloskoopin I/O-liitännät.

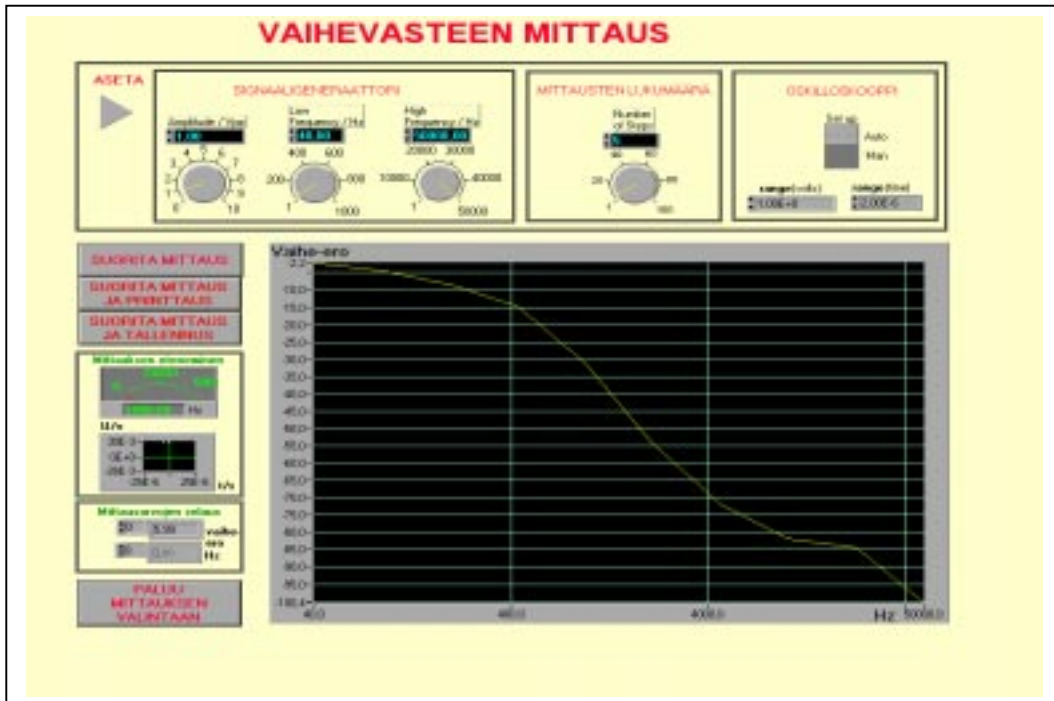


Kuva 13. Amplitudivastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi kolme

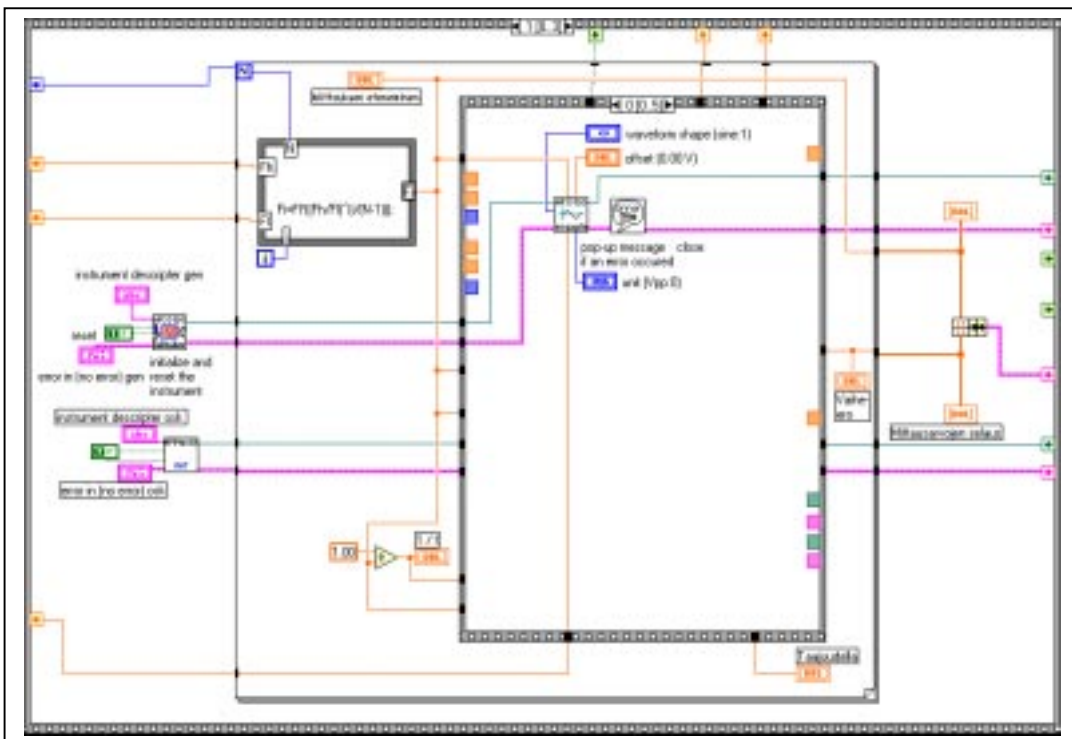
#### 4.5 Vaihevaste

Kuvassa 14 on vaihevastemittauksen etupaneeli, jonka asetukset ja mittaukset tehdään samalla periaatteella kuten amplitudivasteen mittauksessa.

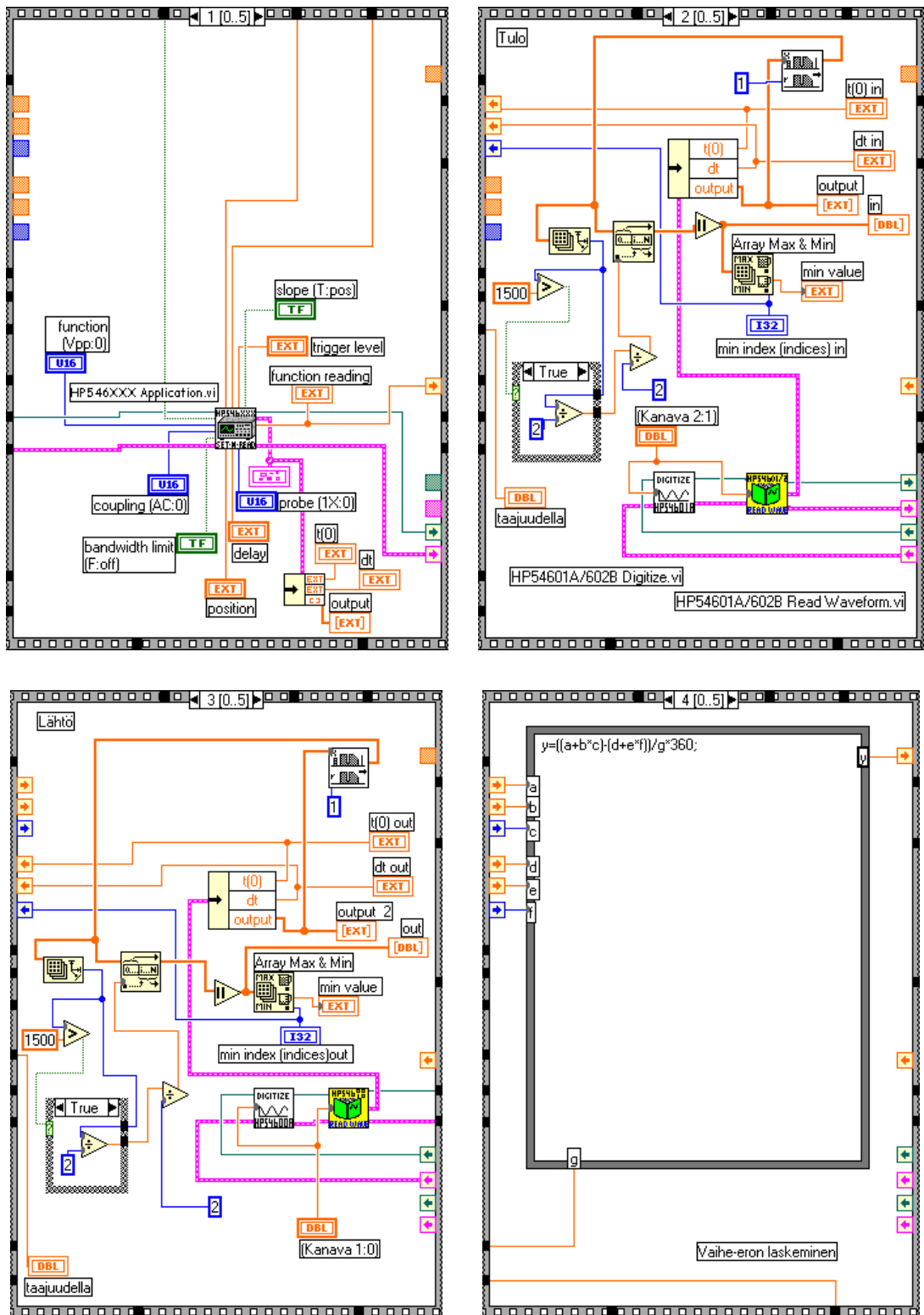
Vaihevastemittauksen vuodiagrammi on jaettu neljään sekvenssiin kuten amplitudivasteen mittauksessa. Sekvensseissä nolla, kaksi ja kolme on sama rakenne kuin vastaavissa amplitudivastemittauksen vuodiagrammin sekvensseissä. Kuvassa 15 vaihevastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi yksi, jossa ensin initialisoidaan ja nollataan funktiogeneraattori ja oskilloskooppi. Sekvenssin sisältämässä For-silmukassa on kaavaikkuna, jossa lasketaan mittauksessa käytettävät taajuudet mittausten lukumäärän sekä pienimmän ja suurimman taajuuden perusteella. Sekvenssin yksi sisällä on uusi sekvenssirakenne, jonka ruudussa nolla funktiogeneraattori saa amplitudi- ja taajuus-ohjauksensa.



Kuva 14. Vaihevastemittauksen etupaneeli



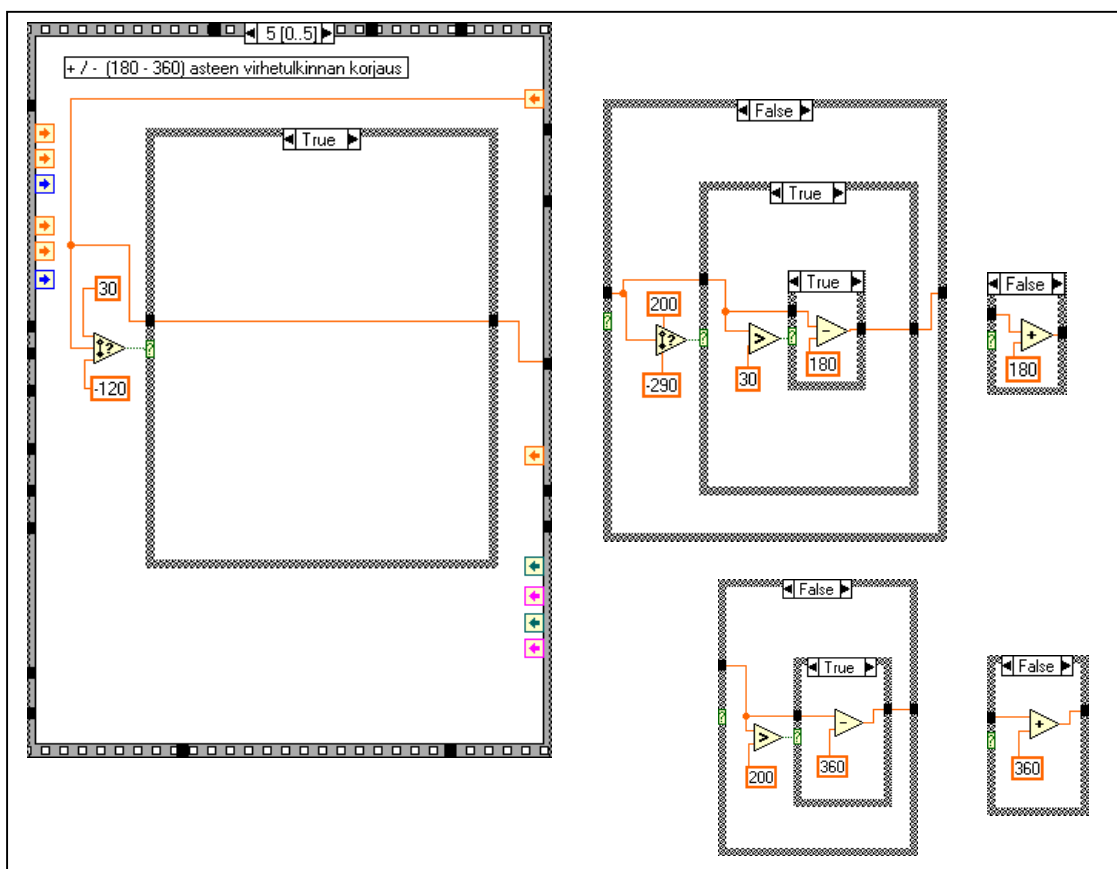
Kuva 15. Vaihevastemittauksen vuodiagrammin sekvenssi yksi



Kuva 16. Vaihevastemittauksen vuodiagrammin sekvenssin 1 sisäsekvenssiraikenteen ruudut 1 - 4

Kuvan 16 sekvenssiä 1 on hyödynnetty vaihevasteen mittauksen testauksessa. Indikaattorit on piilotettu etupaneelista. Sekvenssissä 2 mitataan piirin tulosignaalia  $t(0)$ ,  $dt$  ja minimin indeksi. Sekvenssissä 3 mitataan piirin lähtösignaalia  $t(0)$ ,  $dt$  ja minimin indeksi. Sekvenssin 4 kaavaikkunassa lasketaan vaiheero seuraavasta kaavasta

$$y = [(t(0)_{in} + dt_{in} * \text{min index}_{in}) - (t(0)_{out} + dt_{out} * \text{min index}_{out})] / T * 360. \quad (1)$$

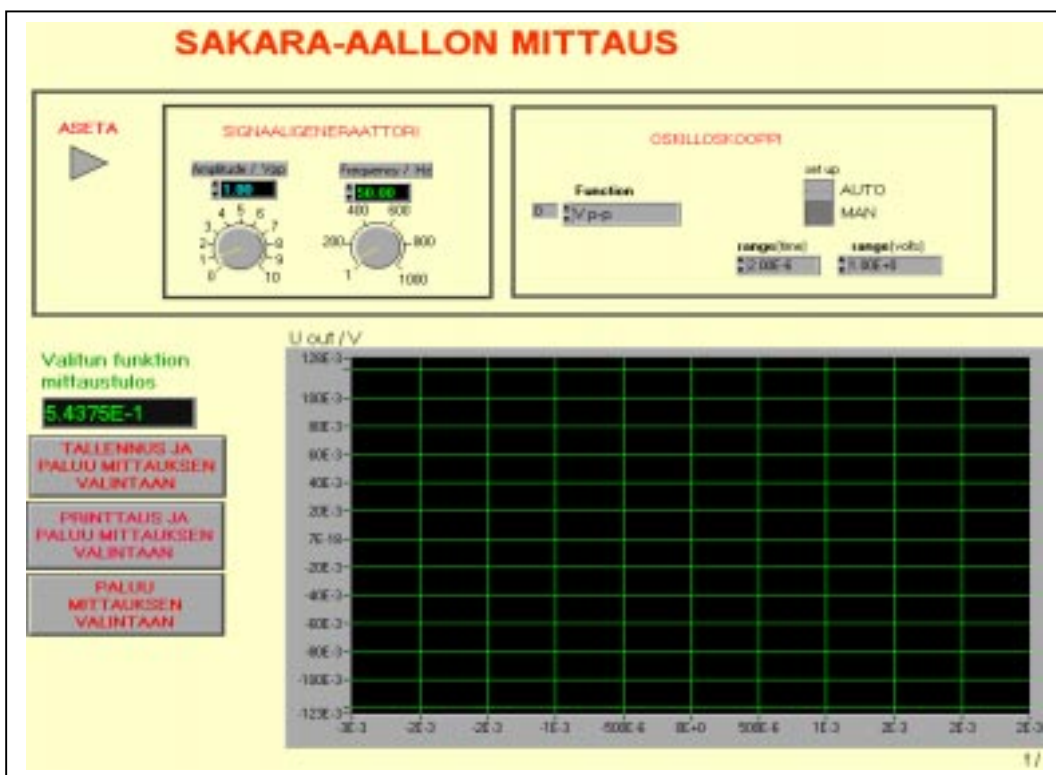


Kuva 17. Sisäsekvenssin ruutu 5

Minimi-indeksin määrittely löytää näytejonosta lähinnä nollassa olevan kohdan, joka ei aina ole vaiheeltaan oikea. Tämän vuoksi on tehty kuvan 17 mukainen korjaussekvenssi 5, joka on toteutettu Case-rakenteilla. Rakenne varmistaa oikean vaihe-eron löytymisen.

#### 4.6 Sakara-aallon toisto

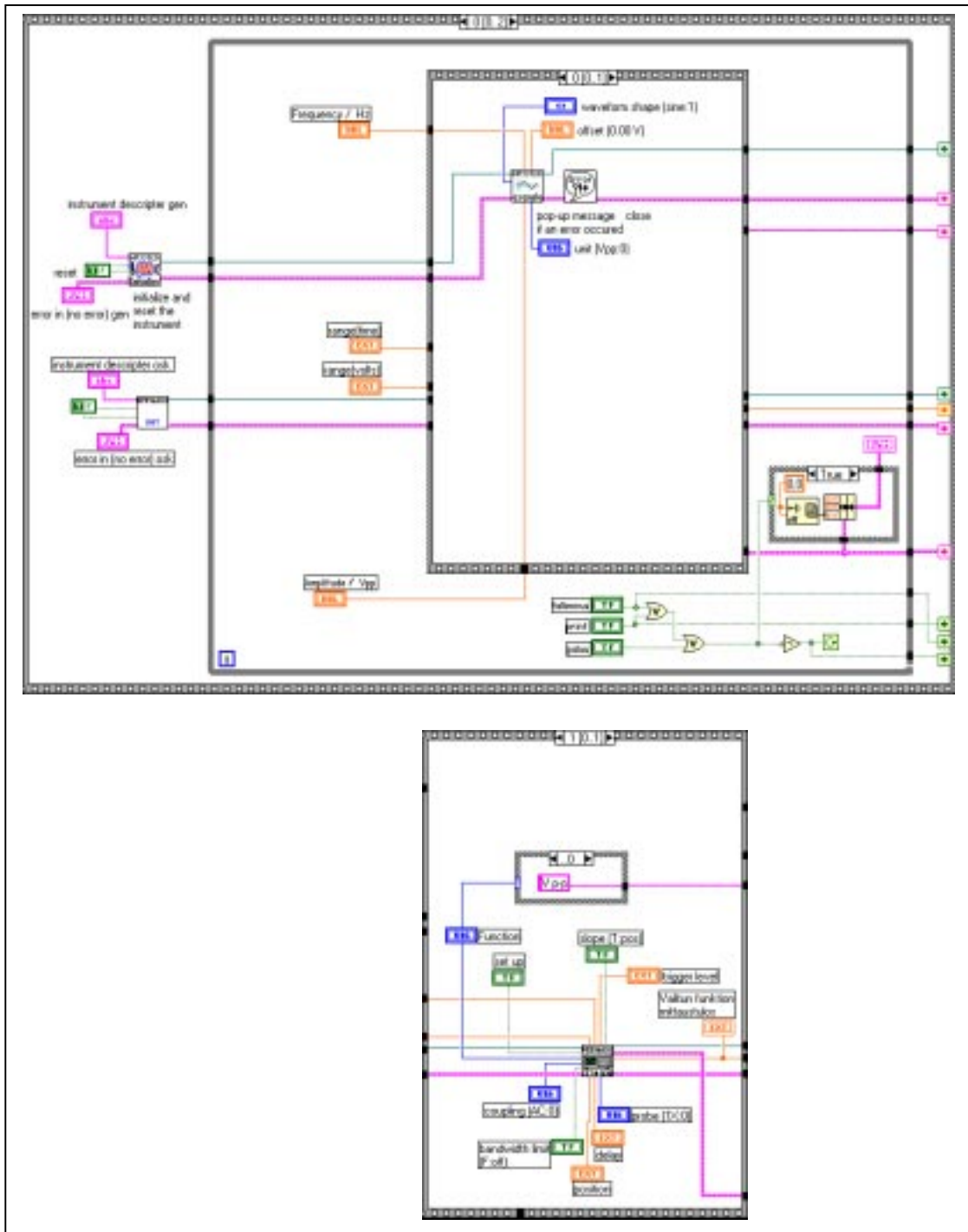
Kuvassa 18 on sakara-aallon toistomittauksen etupaneeli, josta asetetaan signaaligeneraattorin amplitudi ja sakara-aallon taajuus. Oskilloskoopin Set up asetetaan auto-asentoon. Harkinnan mukaan voidaan valita myös manuaali-asento. Valitaan mitattava funktio: *Huipusta huippuun jännite ( $V_{p-p}$ )*, *jännitteen keskiarvo ( $V_{average}$ )*, *jännitteen tehollisarvo ( $V_{rms}$ )*, *jännitteen maksimiarvo ( $V_{max}$ )*, *jännitteen minimiarvo ( $V_{min}$ )*, *perussignaalin huippuarvo ( $V_{top}$ )*, *tasajännitetaso ( $V_{base}$ )*, *taajuus (frequency)*, *jakso (period)*, *pulssisuhde (duty cycle)*, *positiivisen pulssinosan leveys (positive width)*, *negatiivisen pulssinosan leveys (negative width)*, *nousuaika (rise time)* ja *laskuaika (fall time)*. Aliohjelma **SAKARA-AALLON MITTAUS** käynnistyy, kun mittauksen valinnasta on valittu tämä aliohjelma. Asetuksia voidaan muuttaa ohjelman pyöriessä. Etupaneelissa on painikkeet, joilla ohjelma pysäytetään ja palataan mittauksen valintaan joko suoraan tai valitsemalla tulosten tallennus Excel-tiedostoksi tai tulosten printtaus.



Kuva 18. Sakara-aallon toistomittauksen etupaneeli

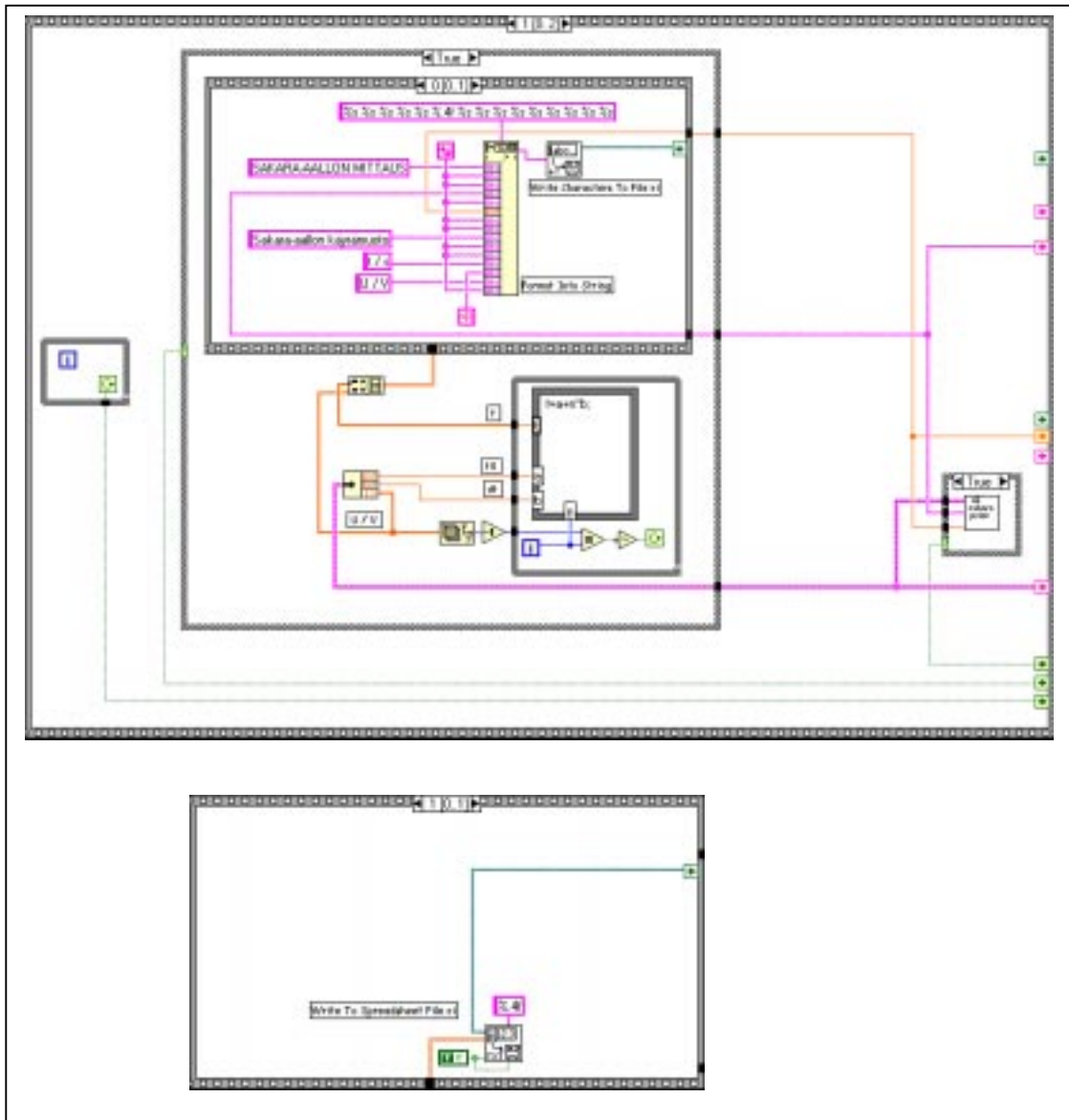


Kuvan 19 sakara-aallon toistomittauksen vuodiagrammin nollassa ruudussa initialisoidaan ja nollataan funktiogeneraattori ja oskilloskooppi. While-silmukan sisältämässä sekvenssirakenteen nollassa ruudussa ohjataan funktiogeneraattoria ja ruudussa yksi oskilloskooppia.



Kuva 19. Sakara-aallon toistomittauksen vuodiagrammin sekvenssi nolla sekä sisäinen sekvenssirakenne

Kuvan 20 vuodiagrammin ruudussa yksi tallennetaan valitun funktion mittaustulokset Excel-tiedostoksi. Ruutu sisältää myös aliohjelman *ali sakara print.*, jonka avulla voidaan mittaustulokset ja graafi tulostaa kirjoittimella.

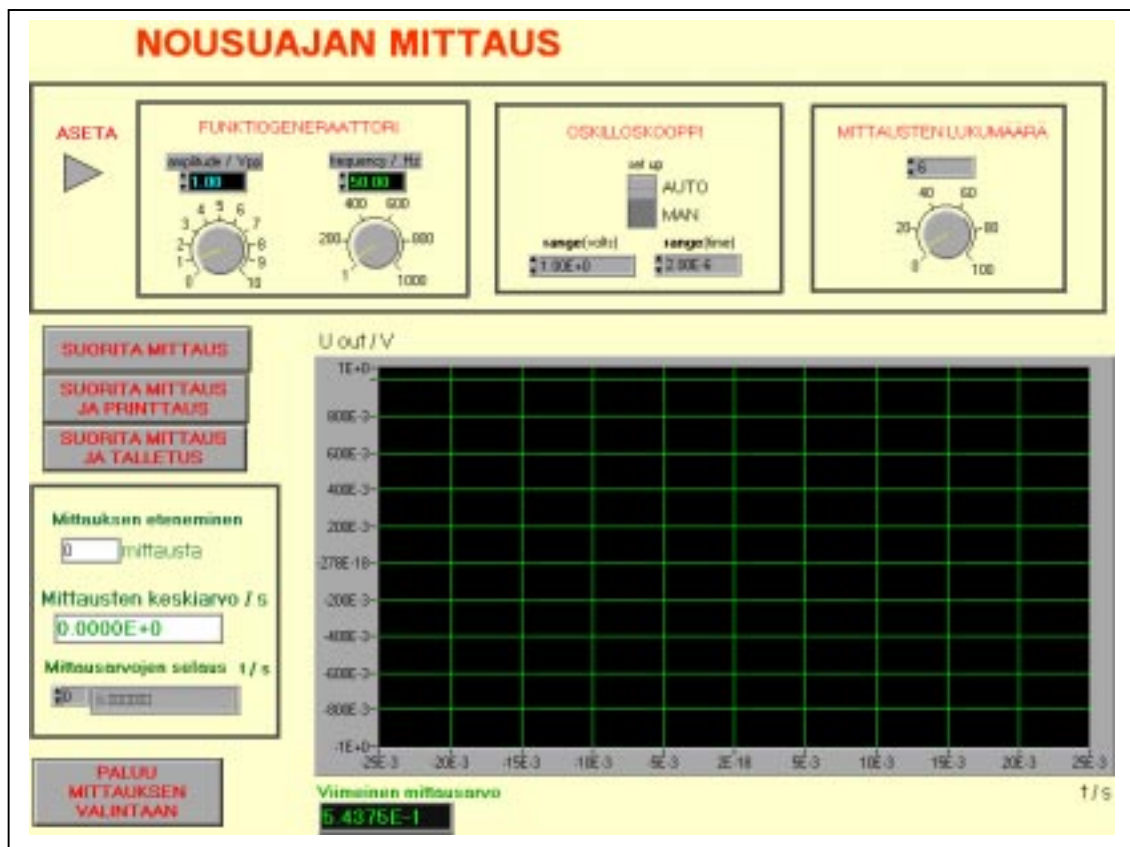


Kuva 20. Sakara-aallon toistomittauksen vuodiagrammin sekvenssi yksi sekä sisäinen sekvenssirakenne

Sakara-aallon toistomittauksen vuodiagrammin sekvenssi kaksi sulkee generaattorin ja oskilloskoopin I/O-liitännät.

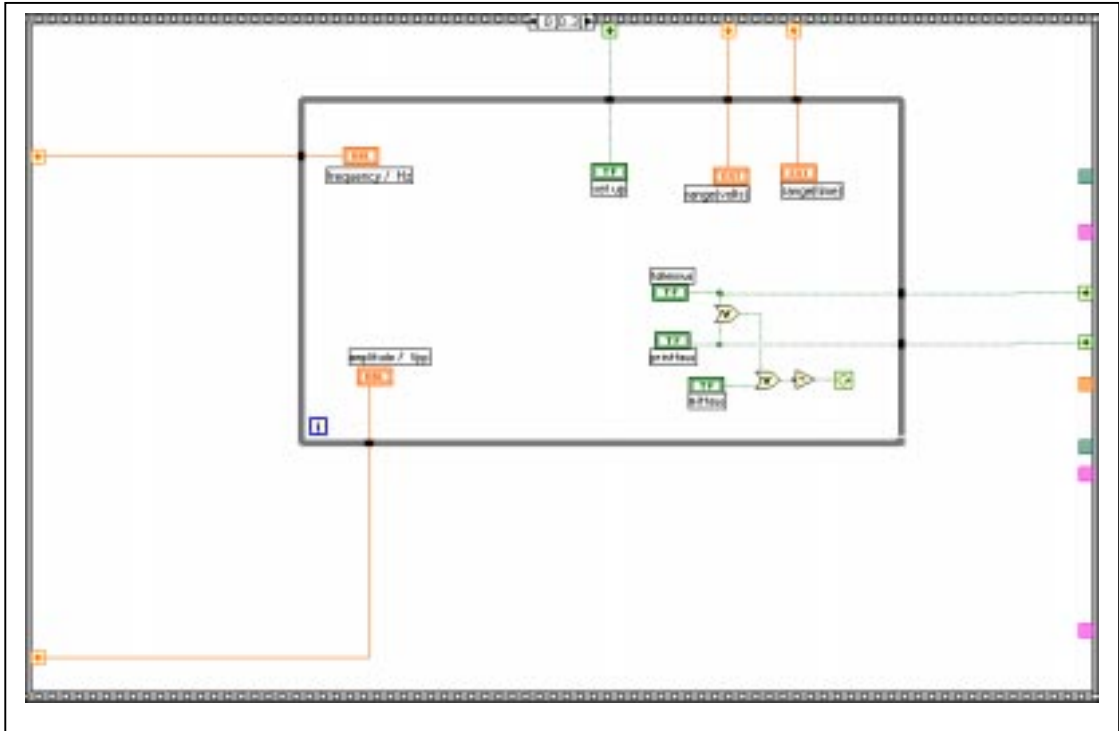
#### 4.7 Nousuajan mittaus

Kuvassa 21 on *NOUSUAJAN MITTAUS* -etupaneeli, jonka asetukset ja mittauksen suorittaminen sekä tulosten printtaus ja tallentaminen tehdään samalla periaatteella kuin amplitudivastemittauksen etupaneelilla.



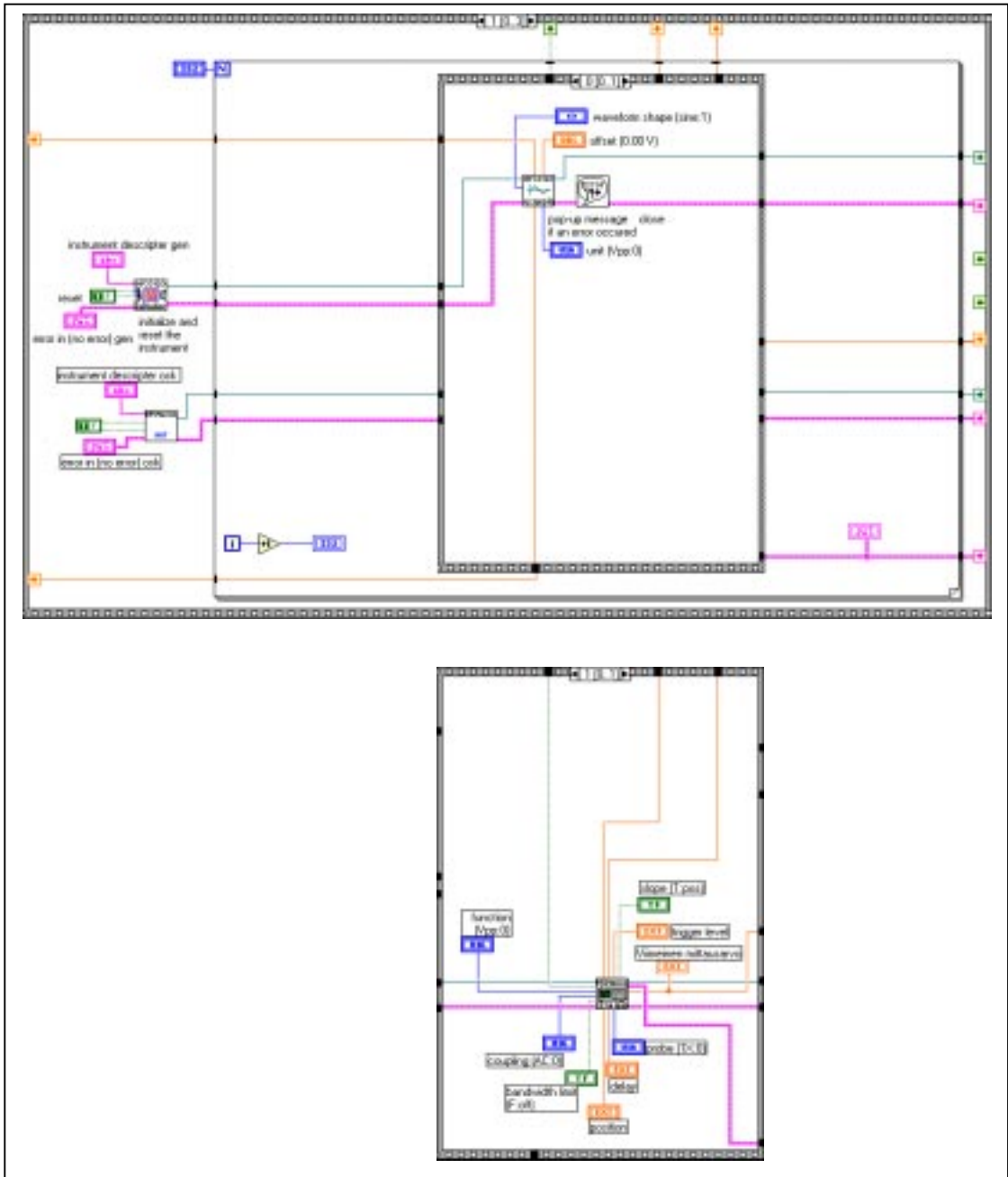
Kuva 21. Nousuaikamittauksen etupaneeli

Kuvassa 22 on nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssi nolla, jonka sisällä pyörii While-silmukka niin kauan, kunnes valitaan mittaus, tulostus tai tallennus.



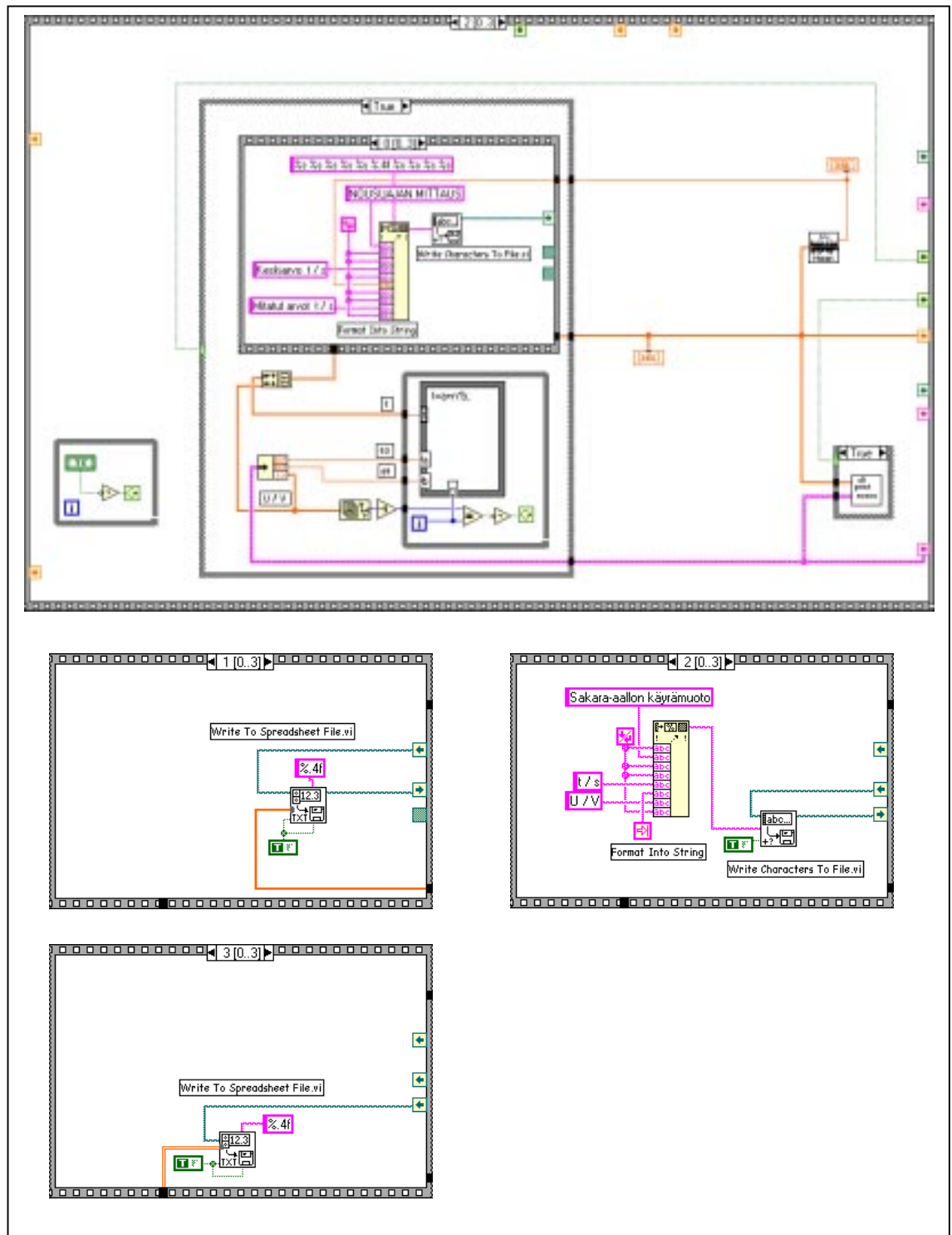
Kuva 22. Nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssi nolla

Kuvan 23 nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssissä yksi initialisoidaan ja nollataan funktiogeneraattori ja oskilloskoopi. For-silmukan sisältäessä sekvenssirakenteen nollannessa ruudussa ohjataan funktiogeneraattoria ja ruudussa yksi oskilloskooppia.



Kuva 23. Nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssi yksi sekä sisäinen sekvenssirakenne

Kuvan 24 vuodiagrammin sekvenssissä kaksi tallennetaan mitatut arvot ja niiden keskiarvo sekä sakara-aallon käyrämuototiedot ( $t/s$  ja  $U/V$ ) Excel-tiedostoksi. Ruutu sisältää myös aliohjelman *ali print nousu*, jonka avulla voidaan mittaustulokset ja graafi tulostaa kirjoittimella.

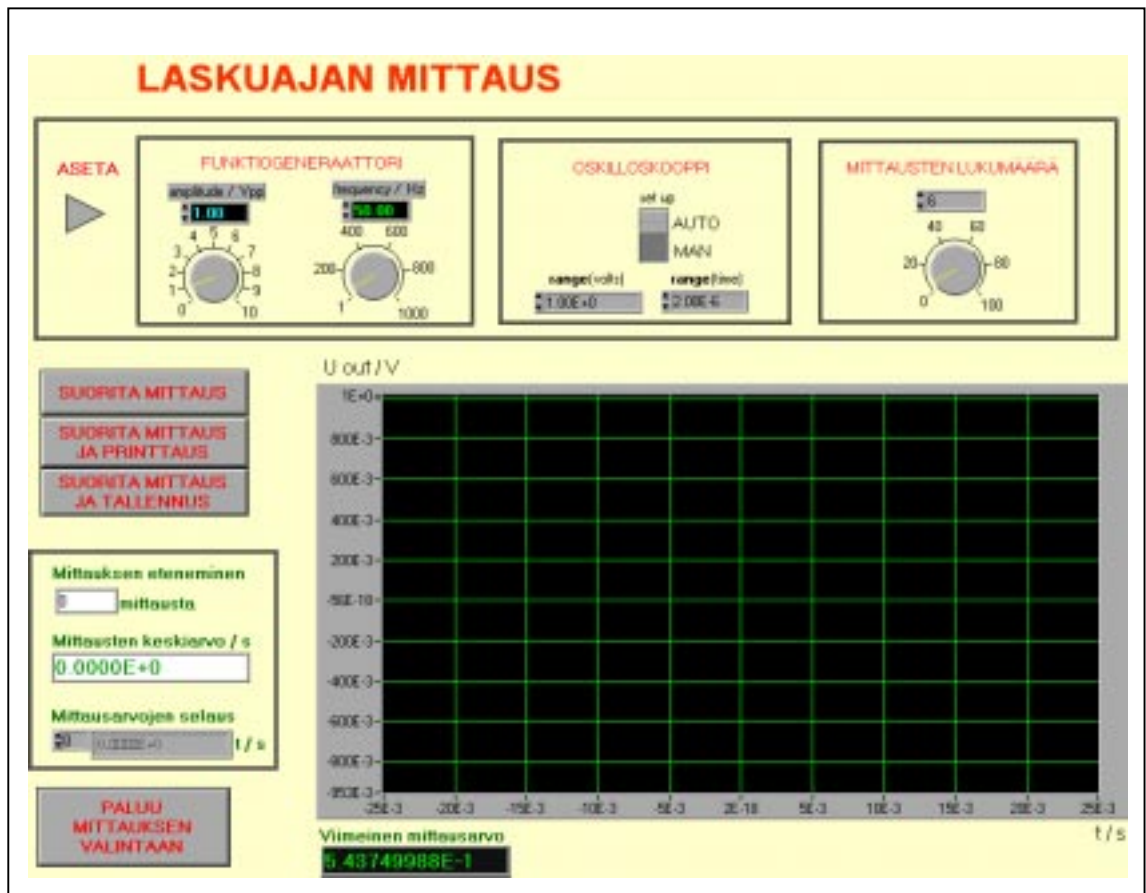


Kuva 24. Nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssi kaksi sekä sisäinen sekvenssirakenne

Nousuaikamittauksen vuodiagrammin sekvenssi kolme sulkee generaattorin ja oskilloskoopin I/O-liitännät.

#### 4.8 Laskuajan mittaus

Kuvassa 25 on *LASKUAJAN MITTAUS* -etupaneeli, jonka asetukset ja mittauksen suorittaminen sekä tulosten printtaus ja tallentaminen tehdään kuten amplitudivastemittauksen etupaneelissa.



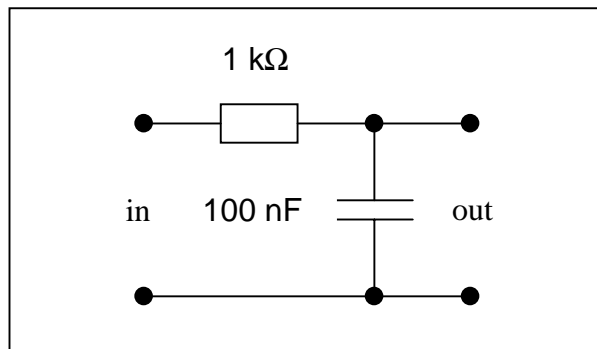
Kuva 25. Laskuaikamittauksen etupaneeli

Laskuaikamittauksen vuodiagrammit vastaavat rakenteeltaan nousuaikamittauksen vuodiagrammeja. Oskilloskooppi ohjataan kiinteästi mittaamaan laskuaikaa.

## 5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

### Ohjelman toimivuuden testaus

Mittausjärjestelmä koostui PC-tietokoneesta ja siihen asennetusta GPIB-väyläkortista, johon funktiogeneraattori ja digitaalinen oskilloskooppi oli liitetty väyläkaapeleiden avulla. Ohjelman toimivuuden testauksessa käytettiin kuvan 26 mukaista alipäästösuodatinta, joka muodostui 1 kΩ:n vastuksesta ja 100 nF kondensaattorista.



Kuva 26. Alipäästösuodatin

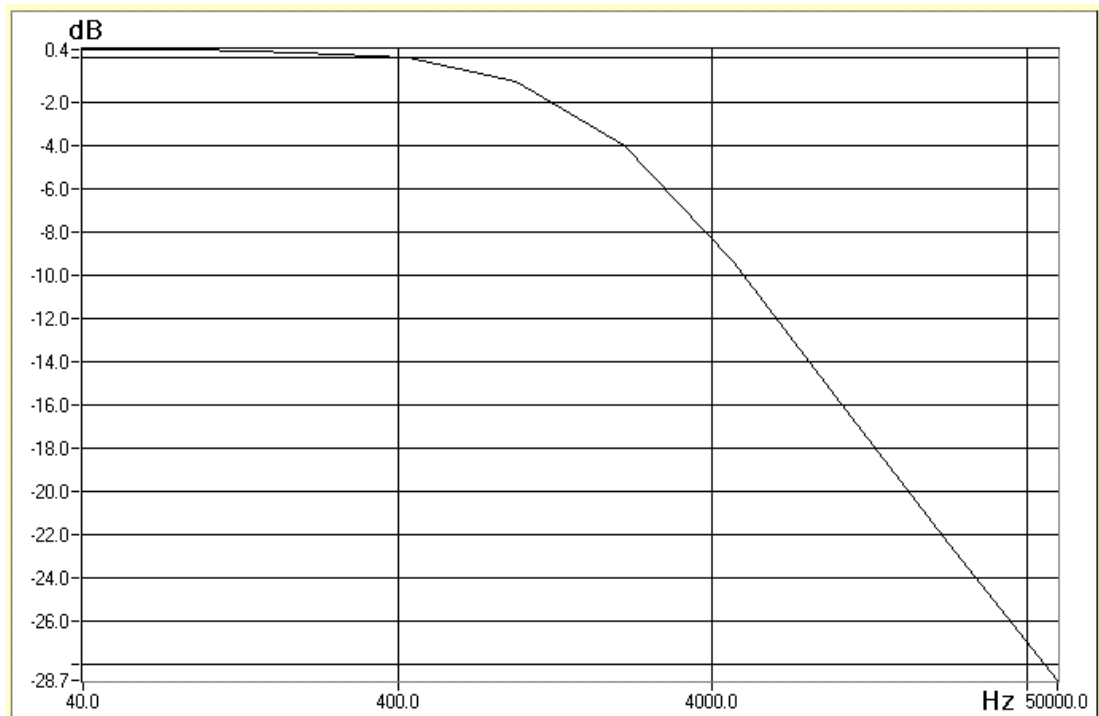
### Amplitudivaste

Yksinkertaisen teoreettisen tarkastelun pohjalta alipäästösuodattimen amplitudivasteelle on voimassa lauseke

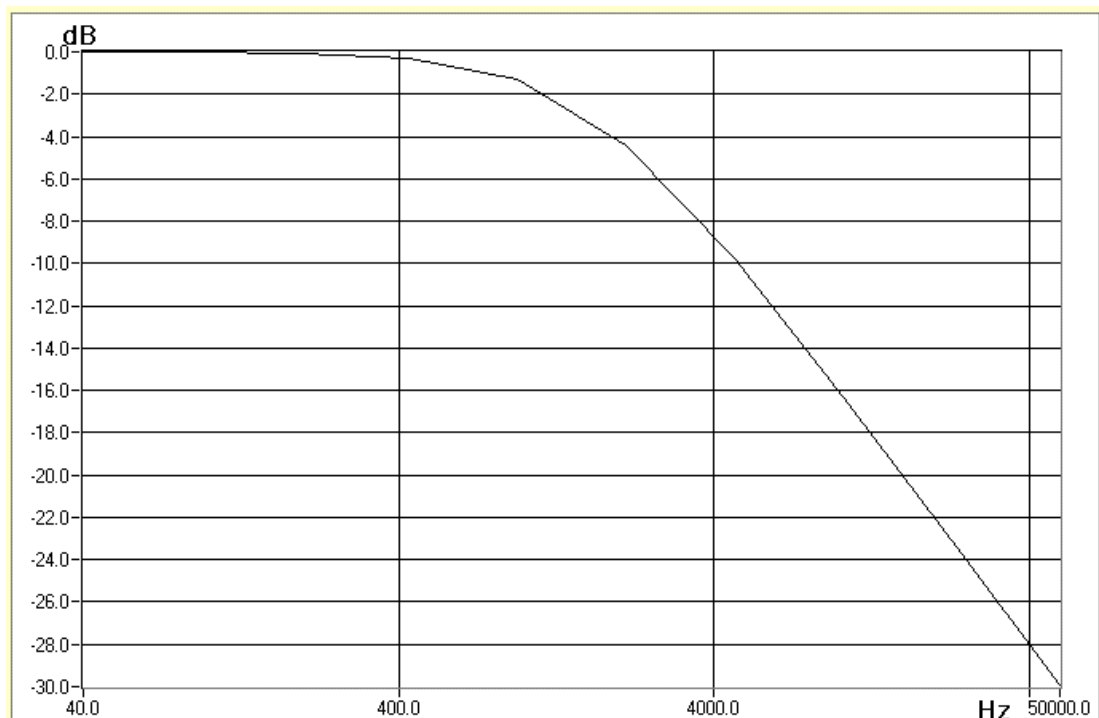
$$A_u = 1/\sqrt{1+(2\pi fRC)^2}. \quad (2)$$

Kuvista 27 ja 28 nähdään, että mitattu amplitudivastekäyrä on teorian mukainen.





*Kuva 27. Mitattu amplitudivaste*



*Kuva 28. Teorian mukainen amplitudivaste*

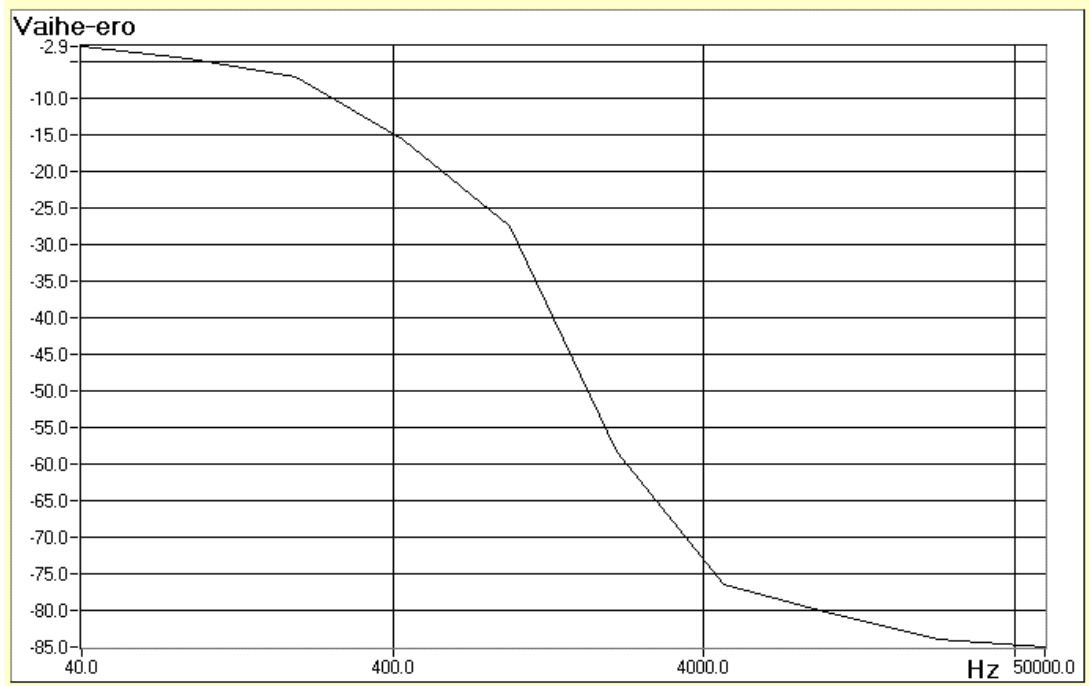
## Vaihevaste

Teoreettinen tarkastelu antaa vaihevasteelle lausekkeen

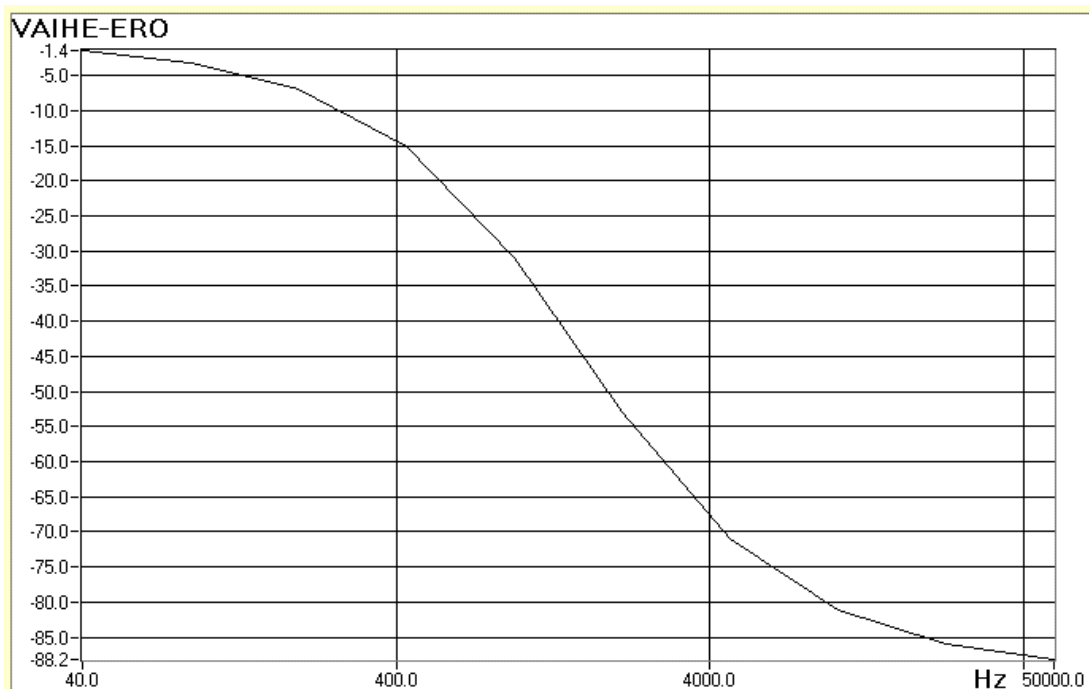
$$\varphi = -\arctan(f/f_H), \quad (3)$$

missä, alipäästösuodattimen ylärajataajuus  $f_H = 1/2\pi RC$ .

Kuvista 29 ja 30 nähdään, että mitattu vaihevastekäyrä noudattaa teorian mukaista käyrää. Kaavassa 1 esitetyn minimin indeksin määrittelyssä syntyvä epätarkkuus näkyy pieninä poikkeamina mitatussa vaihevastekäyrässä.

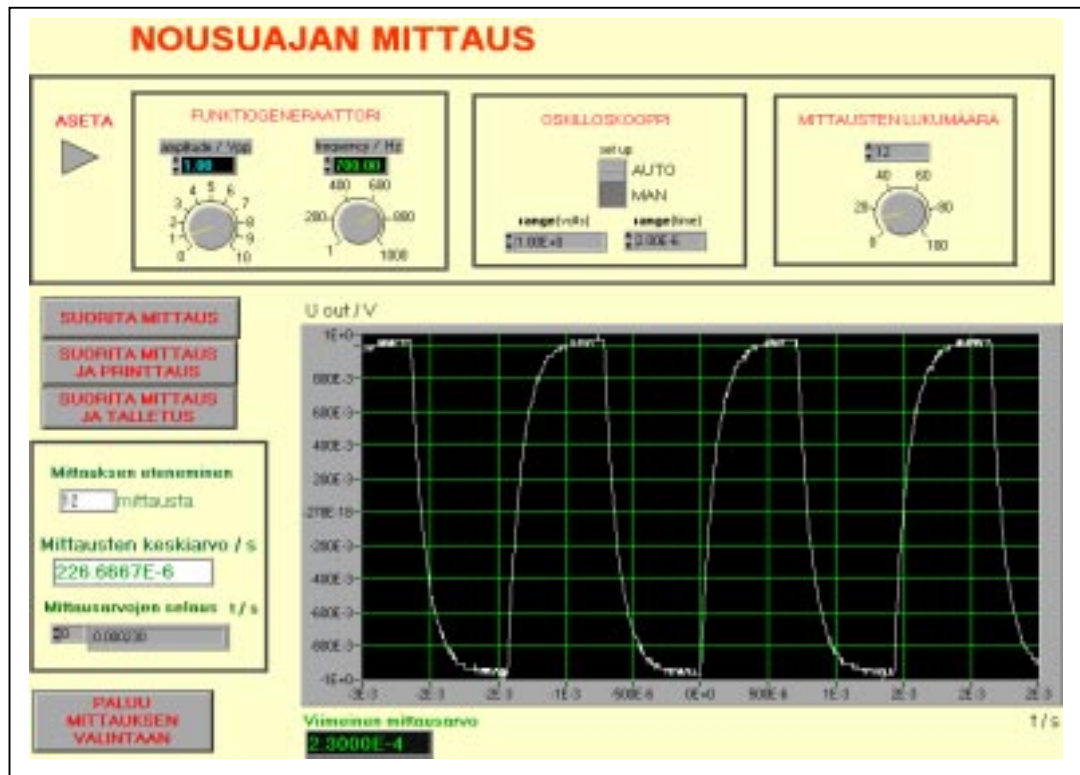


Kuva 29. Mitattu vaihevaste



Kuva 30. Teorian mukainen vaihevaste

## Nousuaika



Kuva 31. Mitattu nousuaika

Kuvasta 31 nähdään, että 12 mittauksen keskiarvona saadaan nousuajaksi 227  $\mu\text{s}$ . Teoreettinen nousuaika on laskettavissa lausekkeesta

$$t_r = 2,20 * RC. \quad (4)$$

Komponenttien arvojen avulla kaavasta (4) saadaan nousuajaksi 220  $\mu\text{s}$ . Komponenttien toleranssit ja näytteiden rajallinen määrä signaalista selittävät mittauksen ja laskennan välisen eron.

## 6 YHTEENVETO

Työssä toteutettiin piensignaali vahvistimen tärkeimpien parametrien mittaussysteemi. Rakenteessa päädyttiin käyttämään GBIP-pohjaista ratkaisua, joka koostuu PC-koneesta, GBIP-kortista, signaaligeneraattorista ja oskilloskoopista sekä kahdesta GBIP-kaapelista. Mittausjärjestelmä toteutettiin LabVIEW-ohjelmistoa käyttäen, koska Kajaanin AMK:ssa käytetään paljon National Instrumentsin laitteistoja ja ohjelmistoja. Toteutetun ohjelman avulla pystytään mittaamaan piensignaali vahvistimen amplitudivaste, vaihevaste, nousuaika (rise time) ja laskuaika (fall time) sekä huipusta huippuun jännite ( $V_{p-p}$ ), keskiarvojännite ( $V_{average}$ ), tehollisarvojännite ( $V_{rms}$ ), maksimiarvojännite ( $V_{max}$ ), minimiarvojännite ( $V_{min}$ ), perussignaalin huippuarvo ( $V_{top}$ ), tasajännitetaso ( $V_{base}$ ), taajuus (frequency), jakso (period), pulssisuhde (duty cycle), positiivisen pulssinosan leveys (positive width) ja negatiivisen pulssinosan leveys (negative width), nousuaika (rise time) ja laskuaika (fall time). Ohjelmiston toteutuksessa käytettiin valmiita mittalaitteajureita.

Ohjelmistoa testattiin RC-alipäästösuodattimella, jolle suoritettiin myös teoreettinen tarkastelu. Kokeellisissa mittauksissa ohjelma antaa teoreettisen käyttäytymismallin mukaiset tulokset.

## LÄHDELUETTELO

- 1            Ensio Sieppi ja Markku Kivikoski, Elektroniikkatuotannon (piensarja) PC-perustaiset mittaus-, tiedonkeruu- ja testausjärjestelmät, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan laitos, Raportti 5 - 97, ISBN 951-722-872-4, 1997
  
- 2            National Instruments, LabVIEW Basic 1: Hands-On Course. Course Software Version 5.1, February 1999 Edition, Part Number 320628F-01
  
- 3            Jarmo Ritola, Mittausjärjestelmien ohjelmistot: Yhtenäisyyttä laitteajureihin, Prosessori-lehti 1/1999