UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za elektrotehniko

Martin Sever

AVTOMATIZIRANO PRIDOBIVANJE KARAKTERISTIK ELEKTRIČNIH VEZIJ V OKOLJU LABVIEW

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Mentor: doc. dr. Boštjan Murovec Ljubljana, avgust 2011

Zahvala

Mentorju doc. dr. Boštjanu Murovcu se zahvaljujem za strokovno vodstvo, pregled dela in modre nasvete med nastajanjem diplomske naloge.

Zahvaljujem se svoji družini in dekletu za potrpežljivo uho, vzpodbudne besede in vero vame.

Povzetek

Čas, potreben za zajemanje vhodno-izhodnih karakteristik električnih vezij z večanjem števila parametrov in uporabljenih inštrumentov postaja vse daljši. Programsko okolje LabVIEW omogoča razvoj programov, ki tako zajemanje karakteristik močno poenostavijo. V našem primeru zajemamo dva različna sklopa karakteristik z dvema različnima merilnima inštrumentoma, zato je naloga razdeljena na izvedbo dveh ločenih programov, kjer pri prvem programu meritve zajemamo s frekvenčnim analizatorjem, pri drugem pa z osciloskopom.

Prvi program omogoča zajem frekvenčnega spektra in popačenja odziva električnega vezja, vzbujanega s sinusnim signalom, pri parametrizaciji amplitude in frekvence vzbujanja ter napajalne napetosti vezja. Zajem meritev opravljamo z inštrumentom Keithley 2016p.

Drugi program omogoča zajem amplitudne in fazne karakteristike vezja ter zajem poteka vhodnega in izhodnega signala pri parametrizaciji frekvence vzbujevalnega signala in napajalne napetosti. Zajem meritev opravljamo z osciloskopom LeCroy WaveSurfer 422, vzbujevalni signal pa generiramo s funkcijskim generatorjem Tektronix AFG 3102.

Pri obeh programih napajalno napetost nastavljamo z usmernikom TTI QL355TP. Vse zajete meritve se shranjujejo v tekstovne datoteke, kar omogoča direkten uvoz v računalniške programe za obdelavo podatkov.

V diplomskem delu so opisani uporabljeni inštrumenti, uporabljeno programsko okolje, sama sestava programov ter primeri zajetih meritev.

Ključne besede: LabVIEW, frekvenčni spekter, popačenje, amplitudna karakteristika, fazna karakteristika, bločni diagram, sprednja plošča, frekvenčna analiza, osciloskop

Abstract

Time needed to acquire input-output electric circuits' characteristics is increasing with the number of parameters and instruments included in the measurement. LabVIEW programming enviroment allows development of programs which make acquisition of characteristics much simpler. Because different characteristics are measured usign different instruments, the thesis consists of two programs. The measurements in the first program are made using frequency analyzer and in the second program made using an oscilloscope.

The first program captures frequency spectrum of an electric circuit, connected to a sinusoidal signal using amplitude and frequency of an input signal and supply voltage level as parameters. Acquisition is made using Keithley 2016p instrument.

The second program captures amplitude and phase characteristics of a circuit. It also captures input signal and response of an electrical circuit with frequency of an input signal and supply voltage level as parameters. Acquisition is made using LeCroy WaveSurfer 422 oscilloscope. Input signal is generated using Tektronix AFG 3102 function generator.

In both programs TTI QL355TP power supply is used to set the supply voltage. All measurements are saved in text files enabling further analisys using data processing programs.

The thesis describes used instruments, programming enviroment, structure of the programs and examples of measurements.

Keywords: LabVIEW, frequency spectrum, distortion, amplitude characteristics, phase characteristics, block diagram, front panel, frequency analisys, oscilloscope

Kazalo

1		Uvo	od		1
2		Ter	natik	ka	3
3		Upo	orab	ljena oprema	5
	3.′	1	Keit	hley 2016p	5
	3.2	2	TTI	QL355TP	6
	3.3	3	Tek	tronix AFG 3102	7
	3.4	4	LeC	Croy WaveSurfer 422	8
4		Lab	VIE	W	9
	4.′	1	Sloj	VISA1	2
5		Zaj	em f	rekvenčnega spektra in popačenja signala1	5
	5.´	1	Рор	ačenje1	6
	5.2	2	Spr	ednja plošča1	8
	5.3	3	Bloo	čni diagram2	2
	;	5.3	.1	Elementi pred neskončno zanko2	23
	:	5.3	.2	Neskončna zanka2	23
	:	5.3	.3	Začetne operacije2	24
	:	5.3	.4	Merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujanja2	24
		5.3	.5	Merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo napajalne napetosti2	26
	;	5.3	.6	Osveževanje grafov2	27
	5.4	4	Rez	zultati meritev2	28
		5.4	.1	Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo frekvence vzbujanja2	28
	;	5.4.2		Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo amplitude vzbujanja2	29
		5.4	.3	Zajem karakteristike popačenja	0
		5.4	.4	Odvisnost popačenja od napajalne napetosti	12
		5.4	.5	Shranjevanje podatkov	3

6	An	nplitu	udna in fazna karakteristika signala	35
	6.1	Sp	rednja plošča	36
	6.2	Blc	očni diagram	39
	6.2	2.1	Neskončna zanka	41
6.2.2 6.2.3 6.2.4		2.2	Začetne operacije	41
		2.3	Merjenje amplitudne in fazne karakteristike	42
		2.4	Shranjevanje podatkov	44
	6.2	2.5	Slike karakteristike napajalne napetosti	45
	6.2	2.6	Dodatni napotki za uporabo	45
	6.3	Re	zultati meritev	47
6.3.1		3.1	Zajem frekvenčne karakteristike amplitudne in fazne karakteristike	47
	6.3.2		Zajem slik frekvenčnega preleta	50
	6.3	3.3	Zajem slik karakteristike napajalne napetosti	53
	6.3	3.4	Shranjevanje podatkov	56
7	Za	ključ	Śek	57

Kazalo slik

Slika 3.1 : Keithley 2016p (preslikano iz [15])5
Slika 3.2 : TTI QL355TP (preslikano iz [16])6
Slika 3.3 : Tektronix AFG 3102 (preslikano iz [17])7
Slika 3.4 : Lecroy WaveSurfer 400 Series (preslikano iz [18])8
Slika 4.1 : LabVIEW logotip (preslikano iz [19])9
Slika 4.2 : Bločni diagram (zgoraj) in sprednja plošča (spodaj)11
Slika 4.3 : Osnovni bloki sloja VISA13
Slika 4.4 : Uporaba blokov sloja VISA za povezave RS-232 (zgoraj), USB (v sredini)
in TCP/IP (spodaj)14
Slika 5.1 : Poenostavljen diagram delovanja prvega programa
Slika 5.2 : Napetostni sledilnik17
Slika 5.3 : Sprednja plošča programa zajema frekvenčne karakteristike in
karakteristike napajalne napetosti18
Slika 5.4 : Bločni diagram programa zajema karakteristike amplitude in frekvence
vzbujanja ter karakteristike napajalne napetosti z označenimi glavnimi deli programa
Slika 5.5 : Bločni diagram bloka MEAS SPEC25
Slika 5.6 : Bločni diagram bloka MEAS DIST25
Slika 5.7 : Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujevalne frekvence29
Slika 5.8 : Diodna zaščita29
Slika 5.9 : Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujevalne amplitude30
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita31 Slika 5.11 : Obrnjeni napetostni omejilnik31
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita31 Slika 5.11 : Obrnjeni napetostni omejilnik31 Slika 5.12 : Karakteristika popačenja, obrnjeni napetostni omejilnik
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita
Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita

Slika 6.3 : Bločni diagram programa zajema amplitudne in fazne karakteristike ter
karakteristike napajalne napetosti vezja z označenimi glavnimi deli programa 40
Slika 6.4 : Zaporedna sekvenčna struktura 42
Slika 6.5 : Bločni diagram bloka FIT C243
Slika 6.6 : Bločni diagram bloka GET WAVEFORM 44
Slika 6.7 : RC (zgoraj) in CR (spodaj) člen47
Slika 6.8 : Amplitudna (zgoraj) in fazna (spodaj) frekvenčna karakteristika za RC člen
Slika 6.9 : Amplitudna (zgoraj) in fazna (spodaj) karakteristika za CR člen
Slika 6.10 : Vhod in izhod RC člena za sinusni signal 50
Slika 6.11 : Vhod in izhod RC člena za trikotni signal51
Slika 6.12 : Vhod in izhod RC člena za pravokotni signal
Slika 6.13 : Vhod in izhod CR člena za sinusni signal
Slika 6.14 : Vhod in izhod CR člena za trikotni signal 52
Slika 6.15 : Vhod in izhod CR člena za pravokotni signal
Slika 6.16 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 12 V 54
Slika 6.17 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 8 V
Slika 6.18 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 4 V
Slika 6.19 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 2 V
Slika 6.20 : Slika vhodnega in izhodnega signala RC člena zajeta s programom
(zgoraj) in reproducirana iz shranjenih podatkov (spodaj)

1 Uvod

V Laboratoriju za Elektroniko v avtomatiki [1], ki deluje pod okriljem Laboratorija za strojni vid na Fakulteti za Elektrotehniko Univerze v Ljubljani, se izvajata predmeta dodiplomskega študija Elektronika v avtomatiki in Elektronika z digitalno tehniko. Pogosta tematika obeh predmetov je zajemanje različnih vhodno-izhodnih karakteristik preučevanega električnega vezja ali elementa. Dosedanji način zajemanja karakteristik pomeni ročno nastavljanje vhodnih in nato odčitavanje izhodnih parametrov, kar je zamudno in ne prinese želene didaktične koristi študentom.

Veliko sodobnih merilnih inštrumentov ima možnost povezave z osebnim računalnikom, kar omogoča upravljanje z inštrumentom na daljavo (ang. remote). Preko vodila (RS-232, GPIB, USB ali Ethernet) inštrumentu pošiljamo ukaze in beremo njegove odgovore ter rezultate meritev.

Ideja diplomske naloge je avtomatiziranje pridobivanja karakteristik električnega vezja z računalniško integracijo, s čimer se zaradi avtomatskega nastavljanja parametrov meritev postopek pohitri, študentu ali demonstratorju pa ostane le didaktično pomembnejši del nastavljanja mej in drugih parametrov ter sama analiza rezultatov. Parametrizacija meritve že samo pri enem parametru je v primeru ročnega nastavljanja zamudno opravilo, ki pa se hitro daljša s številom parametrov, ki jih želimo preučiti. Zato ima v primeru večih parametrov avtomatizacija še toliko večji pomen.

Zamudnost ročnega zajemanja karakteristik je še večja, če v njem nastopa več različnih inštrumentov, saj večje število le-teh pomeni več parametrov, ki jih nastavljamo. Z avtomatizacijo nastavitve vseh parametrov zberemo na eno mesto in meritve opravljamo veliko enostavneje. Dodatna prednost je možnost shranjevanja podatkov za njihovo nadaljnjo obdelavo.

Za avtomatizacijo pridobivanja karakteristik je potrebna neka osrednja platforma, ki skrbi za komunikacijo z inštrumenti, ustrezno obdelavo ter prikazovanje in shranjevanje podatkov. V našem primeru je to okolje LabVIEW [2], ki smo ga izbrali za jedro naše avtomatizacije.

2 Tematika

Diplomska naloga obsega izdelavo dveh programov, s katerima poenostavimo in pohitrimo zajemanje karakteristik električnega vezja. Razdelitev na dva programa izhaja iz dejstva, da različne karakteristike zajemamo z različnimi inštrumenti. Meritve v prvem programu se izvajajo s frekvenčnim analizatorjem Keithley 2016p (Poglavje 3.1), v drugem programu pa z osciloskopom LeCroy WaveSurfer 422 (Poglavje 3.4).

Prvi program je pripomoček za zajemanje frekvenčnega spektra in popačenja pri parametrizaciji amplitude in frekvence vzbujanja ter napajalne napetosti obravnavanega električnega vezja. Kot izvor napajalne napetosti uporabljamo še usmernik TTI QL355TP (Poglavje 3.2).

Z drugim programom zajemamo amplitudno in fazno karakteristiko električnega vezja ter časovni potek vhodnega in izhodnega signala pri parametrizaciji frekvence vzbujanja in napajalne napetosti. Vezje vzbujamo s funkcijskim generatorjem Tektronix AFG 3102 (Poglavje 3.3).

Oba programa sta napisana v programskem okolju LabVIEW, ki je opisan v poglavju 4.

3 Uporabljena oprema

V nadaljevanju so predstavljeni inštrumenti, s katerimi izvajamo avtomatizacijo meritev. Vsak inštrument je opisan z njegovimi glavnimi značilnostmi, poudarek pa je na lastnostih, ki so pomembne za našo nalogo.

3.1 Keithley 2016p

Keithley 2016p (Slika 3.1) [3,4,5] je merilni inštrument, ki uporablja digitalni signalni procesor za računanje hitre Fourierove transformacije zajetega napetostnega signala. Inštrument izmeri nivoje prisotnih harmonikov v signalu in izračuna vrednost THD (totalna harmonska distorzija, ang. total harmonic distortion), THD s šumom THD+N (ang. THD plus noise) ali SINAD (razmerje signal šum in distorzija, ang. signal to noise and distortion ratio). Ti pojmi so razloženi v poglavju 5.1.



Slika 3.1 : Keithley 2016p (preslikano iz [15])

Obravnavani model meri harmonično distorzijo v frekvenčnem območju od 20 Hz do 50 kHz. Inštrument ima na zadnji strani sinusni vir z nastavljivo amplitudo in frekvenco ter sekundarni izhod, ki oddaja invertiran (fazno zamaknjen za 180°) sinusni signal ali pravokotni signal.

Keithley 2016p je tudi zelo natančen multimeter, saj omogoča merjenje na 6 decimalnih mest. Merimo lahko tudi frekvenco med 3 Hz in 500 kHz.

Keithley 2016p lahko upravljamo z računalnikom preko vodila RS-232 ali GPIB. Z uporabo zunanjega krmiljenja inštrumenta (ang. remote commanding) lahko zajamemo posamezne amplitude frekvenčnega spektra merjenega signala (ročno so dostopne samo izvedene vrednosti THD, THD+N in SINAD). Najnižja možna merjena frekvenca v frekvenčnem spektru je 20 Hz, najvišja pa 50 kHz. V eni meritvi lahko zajamemo do 1023 različnih frekvenc. Z inštrumentom merimo neposredno amplitudo pri določeni frekvenci ali pa spremembo amplitude (med sosednjimi frekvencami).

3.2 TTI QL355TP

TTI QL355 (Slika 3.2) [6] je dvokanalni usmernik z resolucijo nastavljanja napetosti do 1 mV tudi pri polni napetosti na izhodu. Omogoča uporabo tipalnih (ang. sense) priključnih sponk, ki merijo napetost pri samem porabniku in s tem zmanjšajo napako zaradi padca napetosti na priključnih sponkah. Vse sprednje priklopne sponke so podvojene na zadnji strani, kar nam omogoča lažje priključevanje v fiksni konfiguraciji.



Slika 3.2 : TTI QL355TP (preslikano iz [16])

QL355 ima možnost priklopa na računalnik preko vodila RS-232 ali GPIB. Z računalnikom ga lahko povežemo tudi preko navadnega USB kabla, vendar je znotraj inštrumenta izvedena pretvorba z RS-232 vodila, kar pomeni, da je sam protokol povezave še vedno RS-232.

3.3 Tektronix AFG 3102

Tektronix AFG 3102 (Slika 3.3) [7,8,9] je funkcijski generator z možnostjo generiranja predefiniranih ali poljubnih oblik signala. Na voljo imamo dva izhodna kanala, kjer lahko generiramo sinusni, trikotni, pravokotni, pulzni, Gaussov, Lorentzov in druge, vse skupaj 12 predprogramiranih oblik signalov. Šumne oblike signalov lahko tudi superponiramo poljubnemu determinističnemu signalu. V kolikor nam privzete oblike signala ne zadostujejo, dobimo z inštrumentom program ArbExpress za generiranje poljubnih signalov, ki jih lahko preko USB povezave ali celo USB ključa naložimo na inštrument. Upravljanje z računalnikom je možno preko USB, LAN ali GPIB povezave.



Slika 3.3 : Tektronix AFG 3102 (preslikano iz [17])

Signalom lahko nastavljamo obliko, amplitudo, frekvenco, napetostni odmik od ničle (ang. offset) in druge parametre, ki so za določeno obliko signala relevantni (npr. delovni cikel pri pravokotnem signalu, ang. duty cycle).

S signalnim generatorjem lahko generiramo sinusne signale od frekvence 1 μ Hz do 50 MHz napetosti od –10 V do +10 V.

3.4 LeCroy WaveSurfer 422

WaveSurfer 422 (Slika 3.4) [10,11] je 200 MHz dvokanalni digitalni osciloskop proizvajalca LeCroy. Zasnovan je na osnovi osebnega računalnika z naloženim operacijskim sistemom Windows XP Embedded. Z njim upravljamo s tipkovnico in miško ali pa vklopimo zaslon na dotik (ang. touch screen). Zelo priročna lastnost tega osciloskopa je možnost zunanjega krmiljenja preko Ethernet povezave.



Slika 3.4 : Lecroy WaveSurfer 400 Series (preslikano iz [18])

Osciloskopu lahko nastavljamo horizontalno resolucijo med 1 ns/div in 1000 s/div ter vertikalno resolucijo med 1 mV/div in 10 V/div. Brez posebnih sond omogoča merjenje napetosti do 400 V.

Z osciloskopom lahko merimo vse standardne parametre signala, kot so medvršna (ang. peak to peak), RMS, maksimalna, minimalna in povprečna napetost, frekvenca, perioda, faza med dvema signaloma, zamik med dvema signaloma, dvižni čas, čas pada ter druge. Naenkrat lahko na zaslonu opazujemo do 6 različnih parametrov. Poleg teh parametrov osciloskop omogoča tudi izračun matematičnih operacij na enem ali med obema signaloma. Tu so na voljo operacije seštevanja, absolutne vrednosti, povprečenja, odvoda, integrala, kvadriranja, korenjenja in druge.

4 LabVIEW

Grafično programsko okolje LabVIEW (Slika 3.1) [2] je zasnovalo podjetje National Instruments pred več kot dvajsetimi leti in ga vse od tedaj razvija in posodablja. Enostavnost, praktičnost, številne možnosti, razširjenost in podprtost postavljajo LabVIEW na vodilno mesto pri uporabi programske integracije merilnih inštrumentov. Pomembna lastnost LabVIEW-a je delovanje na vseh treh glavnih platformah (Windows, Linux in Mac).



Slika 4.1 : LabVIEW logotip (preslikano iz [19])

LabVIEW je zasnovan drugače od večine programskih okolij, saj temelji na grafičnem programiranju s povezovanjem blokov, ki izvršujejo določene operacije. Kljub drugačnemu pristopu pa LabVIEW ohranja prvine, ki jih je definiralo tekstovno programiranje. Še vedno uporabljamo logične zanke, lokalne in globalne spremenljivke različnih standardnih tipov, dogodke, rekurzije in objektno orientirano programiranje. Programski jezik LabVIEW-a se imenuje jezik G.

Pomembna razlika med tekstovnim in grafičnim programiranjem je tudi zaporedje izvajanja delov programa. V tekstovnem programiranju, se ukazi izvršujejo po vrsticah, od vrha navzdol. Izjema so le skoki, zanke in funkcije. Pri grafičnem programiranju položaj blokov ni povezan z zaporedjem izvajanja programa. Tega narekuje razpoložljivost podatkov, ki jih nek blok uporablja. Blok se tako izvede, ko ima na vseh vhodih veljavne podatke.

Dobra plat grafičnega programiranja je, da za začetek ne potrebujemo nobenega predznanja sintakse, samo programiranje pa je zaradi grafične predstavitve bolj intuitivno od tekstovnega.

Razhroščevanje (ang. debugging) je v LabVIEW-u prav tako precej drugačno od standardnega. To poteka tako, da opazujemo potovanje podatkov po povezavah med bloki in vrednosti ob vhodih in izhodih blokov. Pomemben element takega razhroščevanja je tudi opazovanje vrstnega reda izvajanja blokov. Na voljo pa imamo tudi standardne opcije razhroščevanja kot so ustavitvena točka (ang. breakpoint), izvajanje programa po korakih (ang. single stepping) in sondo (ang. probe).

Ena izmed zelo uporabnih funkcij LabVIEW-a je t. i. vedno-prižgani prevajalnik (ang. always-on compiler). Medtem, ko gradimo naš program, ta konstantno preverja morebitne napake v shemi. V primeru teh se nam namesto ikone za zagon programa pokaže ikona za poizvedbo o napakah. Dokler jih ne popravimo, programa ne moremo zagnati.

Grafično programiranje omogoča enostavno implementacijo paralelno izvajajočih se delov programa. LabVIEW omogoča izvajanje t. i. implicitnega paralelizma. Vgrajeni prevajalnik že med gradnjo sheme ves čas išče morebitne paralelne dele programa in jih ob prevajanju avtomatično prevede v programe z večimi nitmi, kar omogoča izkoriščanje zmogljivosti večjedrnih in večprocesorskih sistemov.

Vsak program v LabVIEW-u je predstavljen z bločnim diagramom in sprednjo ploščo (Slika 4.2). V bločnem diagramu z bloki sestavimo celotno logiko programa, na sprednjo ploščo pa namestimo vhodne kontrole in izhodne indikatorje, ki nam omogočajo nadzor in pregled nad delovanjem programa.





Slika 4.2 : Bločni diagram (zgoraj) in sprednja plošča (spodaj)

LabVIEW omogoča, da iz napisanega programa ustvarimo izvršljivo datoteko (ang. executable, »*.exe«). To lahko poženemo na računalniku brez celotne inštalacije LabVIEW-a. Za zagon potrebujemo le inštalacijo paketa LabVIEW Runtime Engine.

4.1 Sloj VISA

Zelo uporabna lastnost LabVIEW-a je sloj VISA (ang. Virtual Instrument Software Architecture) [12,13]. To je standard za vzpostavitev različnih povezav med inštrumenti in računalnikom. Sem spadajo med drugim RS-232, RS-422, RS-485, GPIB, VXI, PXI, Ethernet in USB povezave. Uporablja se tako pri tekstovnih oblikah programiranja kot tudi pri programiranju v jeziku G.

Uporaba sloja VISA v LabVIEW-u je zelo enostavna. V knjižnici VISA se nahajajo že sprogramirani bloki, ki podpirajo vse standardne tipe komunikacij. Vse, kar potrebujemo za komunikacijo med inštrumentom in računalnikom, je nekaj blokov, katerim nastavimo zgolj nekaj lastnosti povezave. Taka zasnova omogoča tudi dobro zamenljivost povezave. Tako pri menjavi tipa povezave spremenimo le nastavitve blokov sloja VISA.

Na sliki Slika 4.3 je prikazano jedro komunikacije z VISA bloki. Rumeni bloki od leve proti desni imajo funkcijo odpri povezavo, piši, beri in zapri povezavo (ang. Open, Write, Read, Close). Edina neizogibna nastavitev je ime VISA vira (ang. VISA resource name), s katerim določimo tip in naslov povezave. V primeru serijskih povezav tu navedemo številko serijskih vrat, pri TCP/IP pa navedemo IP naslov. Podobno nastavimo ime vira za druge tipe povezav. Ostale nastavitve imajo že neko privzeto vrednost, ki pa ni vedno ustrezna. Poleg vira povezave sta na sliki prikazana še pisalni in bralni medpomnilnik (ang. write and read buffer). Pisalni medpomnilnik vsebuje ukaze, ki jih pošiljamo po povezavi, v bralni medpomnilnik pa se zapiše odgovor inštrumenta.



Slika 4.3 : Osnovni bloki sloja VISA

Zaporedje izvajanja operacij narekujejo povezave med bloki. Tako se najprej izvede blok odpri, saj ima na vhod že doveden naslov vira. Ko se ta izvrši, pošlje podatke o naslovu vira in o morebitni napaki do naslednjega bloka. Postopek se na podoben način nadaljuje.

V naših dveh programih uporabljamo tri tipe povezav z inštrumentom. Na sliki Slika 4.4 vidimo, da je jedro vseh treh povezav zelo podobno, razlike so le v nekaterih nastavitvah. Pri vseh treh povezavah opazimo pogojni stavek (pravokotnik, ki vsebuje blok beri), s katerim izberemo ali želimo čakati na odgovor inštrumenta.



Slika 4.4 : Uporaba blokov sloja VISA za povezave RS-232 (zgoraj), USB (v sredini) in TCP/IP (spodaj)

5 Zajem frekvenčnega spektra in popačenja signala

Diagram delovanja prvega programa je prikazan na sliki Slika 5.1. S programom želimo zajemati frekvenčni spekter in vrednost popačenja signala pri prehodu skozi izbrano vezje, pri spreminjanju amplitude in frekvence vzbujanja ter spreminjanju območja napajalne napetosti. Izberemo lahko poljuben nabor podatkov, ki jih želimo prikazati na grafih.



Slika 5.1 : Poenostavljen diagram delovanja prvega programa

Vse meritve se shranjujejo v tekstovne datoteke, kar omogoča direkten uvoz v računalniške programe za obdelavo podatkov (npr. preglednice, baze podatkov, paketi za statistično obdelavo).

Za izvedbo meritev uporabimo inštrument Keithley 2016p in napajalnik TTI QL355TP. Keithley 2016p je uporabljen kot generator vzbujevalnega sinusnega signala in kot inštrument za zajemanje izhodnega signala opazovanega električnega vezja. TTI QL355 je uporabljen kot vir napajalne napetosti vezja.

5.1 Popačenje

Preden se lotimo razlage delovanja programa, je prav, da si razjasnimo kaj popačenje sploh je [5, 20]. Že v poglavju 3.1 smo omenili, da Keithley 2016p omogoča merjenje treh različnih tipov popačenja.

Totalna harmonska distorzija ali THD (1) je definirana kot razmerje med vsoto moči vseh harmonskih komponent signala in močjo nosilnega (vzbujevalnega) sinusnega signala. Če je izhodni signal še vedno čisti sinus, ima THD vrednost nič, kar je možno zgolj teoretično. Če se oblika signala pri prehodu skozi vezje ne ohranja v celoti, dobi THD večjo vrednost. Pri predpostavki, da se vse moči trošijo na isti impedanci, smemo razmerje moči prevesti na razmerje napetosti. Tako obliko prikazuje enačba (1).

$$THD = \frac{\sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_i^2)}}{V_1}$$
(1)

Veličina V_1 predstavlja napetost nosilnega signala, veličine $V_{2_i} V_3 \dots V_i$ pa predstavljajo napetosti harmonskih komponent signala.

Totalna harmonska distorzija s šumom ali THD+N (2) je definirana podobno kot THD, le da poleg harmonskih komponent signala v razmerje vključimo še šum, ki je prisoten v opazovanem frekvenčnem območju izhodnega signala. Ker vsi inštrumenti nimajo možnosti merjenja popačenja brez šuma (to zahteva merjenje posameznih harmonskih komponent signala namesto njegove celotne moči ob analognem filtriranju osnovnega harmonika), je THD+N bolj razširjena meritev. Veličina *N* predstavlja napetost šumnega dela signala.

$$THD + N = \frac{\sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_i^2 + N^2)}}{V_1}$$
(2)

Razmerje signal, šum in distorzija ali SINAD (3) je definirano kot razmerje med močjo celotnega signala in močjo celotnega signala brez nosilnega signala. Enačba je tudi tu prevedena na napetostno obliko.

$$SINAD = \frac{\sqrt{(V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_i^2 + N^2)}}{\sqrt{(V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_i^2 + N^2)}}$$
(3)

Meritve popačenja so zelo uporabne, kadar opazujemo izhodni signal vezja pri spreminjanju napajalne napetosti. Napajalna napetost je neposredno povezana z maksimalno (in minimalno) napetostjo, ki jo lahko neko vezje generira. Denimo pri operacijskem ojačevalniku je napajalna napetost tipično za nekaj sto milivoltov večja od največje (manjša od najmanjše) napetosti, ki jo lahko le-ta generira. Za primer vzemimo napetostni sledilnik (Slika 5.2 : Napetostni sledilnik). Na levi sponki priklopimo vzbujevalni signal, na desnih sponkah pa zajamemo izhodni signal. Zgornja in spodnja sponka predstavljata napajalni sponki operacijskega ojačevalnika (npr. +12 V in -12 V).



Slika 5.2 : Napetostni sledilnik

Dokler je vzbujevalni signal krepko znotraj razpona napajalne napetosti, je izhodni signal približno enak vhodnemu in popačenje ima zelo majhno vrednost. Ko vzbujevalni signal preseže zgornjo ali spodnjo vrednost napajalne napetosti, izhodni signal nima več sinusne oblike, s čimer se vrednost popačenja močno poveča.

5.2 Sprednja plošča

Na sprednji plošči programa (Slika 5.3) nastavljamo parametre zajemanja podatkov in na grafih opazujemo rezultate meritev. V poglavju je opisan pomen posameznih objektov na sprednji plošči. Podane so tudi osnovne informacije za uporabo programa.

Benege sztojung Nataritye izhodi Autoritye izhodi <tr< th=""><th>Cas umiritve Pot za shranjevanje</th><th>Naprava</th><th></th></tr<>	Cas umiritve Pot za shranjevanje	Naprava	
Portezere Nastanive izhoda Audio analizater Portezere Portezere <th>Obmocje vzbujanja Nastavitve karakteristike napajanja</th> <th></th> <th></th>	Obmocje vzbujanja Nastavitve karakteristike napajanja		
Zerem SPEC Hittist prenosa Hittist prenosa podakov ibpil podakov iz bpil 1000 1000	Povezava Nastavitve izhoda Nastavitve zajemanja		Amplituda vzbujanja (V) – Frekvenca vzbujanja (Hz)
Aufor Umernik ICMAT Hittost prenosa postaktor (bios) Bios Spetter v odvisnosti od vzbujanja		Zajemi	
CMA7 Hirds typends potation: table potation: table table <	Audio analizator Usmernik	Napredek meritve	1.075 Frekvencpa/ 1250
Hitost prenos podatkov (bp3) roco spotency o obvisnosti od vzbujanja Popacenje v odvisnosti od vzbujanja Rezetrosni graf Povrinski graf Rezetrosni graf	COM7 V COM4 V	Karakteristika amplitude in	1.05 amplitudna 1000
httost princia podatkov (pod 500) Spetter v odvisnosti od vzbujanja Pogacenje v odvisnosti od vzbujanja Rezerrosni graf Površinski graf Rezerrosni graf		frekvence vzbujanja	0dvisnost
Image: Interesting anapping anapping interesting anapping anapping anapping anapping interesting anapping anapping interesting anapping interestin	Pitrost prenosa Hitrost prenosa podatkov [bps] podatkov 2 [bps]		1 500
Specter v odvisnosti od vzbujanja Popacenje v odvisnosti od vzbujanja Karakteristika napajalne napetosti	♦ 9600	۲	
Spekter v odvisnosti od vzbujanja Karakteristika napajalne napetosti	<u></u>	Karakteristika napajalne napetosti	
Spekter v odvisnosti od vzbujanja			
Spekter v odvisnosti od vzbujanja Popacenje v odvisnosti od vzbujanja Karakteristika napajalne napetosti Površinski graf Resetrosni graf	·		
30 20 Porršinski graf Razstrosni graf Image: Solid	Spekter v odvisposti od vzbujanja – Deposenje v odvisposti od vzbujanja		
10 20 Površinski graf Razetrosni graf 10.00 5.00 0.00 Plot Plot Nak K K K K K K	Popacenje v odvisnosti od vzbujanja	a Karakteristika napajaine napetosti	
Površinski graf	3D 2D		
	Dowinchi araf		
	Razstrosni graf		
			- 10,00
5.00 Plot			
			5,00
			Plot-
			Tax
<u>入</u>			10
Å			24
			A

Slika 5.3 : Sprednja plošča programa zajema frekvenčne karakteristike in karakteristike napajalne napetosti

Pod zavihkom *Povezava* nastavljamo parametre povezave z uporabljenima inštrumentoma. Oba inštrumenta uporabljata serijsko povezavo. Za vsak inštrument izberemo ustrezno številko serijskih vrat, na katero je ta priklopljen in ustrezno hitrost prenosa podatkov. Privzete nastavitve hitrosti prenosa podatkov v programu so enake privzetim nastavitvam samih inštrumentov. Ostale nastavitve povezav so fiksno zapisane v programu, saj se jih na inštrumentih ne da spreminjati, oziroma ob spreminjanju ne vplivajo na potek delovanja programa.

Zavihek *Nastavitve izhoda* nam daje možnost nastavljanja parametrov izhoda inštrumenta Keithley 2016p. Izhod inštrumenta je uporabljen kot vzbujevalni signal za izbrano električno vezje. Izbiramo lahko vrednost impedance izhoda in obliko drugega izhodnega signala, v primeru, da bi želeli uporabiti inverzni sinusni izhod kot vzbujanje.

Inštrument Keithley 2016p omogoča merjenje amplitude pri do 1023 frekvenčnih odsekih naenkrat. Tem odsekom pravimo koši (ang, bins). Pod zavihkom *Nastavitve zajemanja* izbiramo število košev ter začetno frekvenco in frekvenčni korak meritve (začetna frekvenca in frekvenčni korak sta skupaj en parameter). Začetna frekvenca in frekvenčni korak sta skupaj en parameter). Začetna frekvenca in frekvenčni korak pomnožen s številom košev je maksimalna frekvenca, ki jo bomo pri danem zajemanju dosegli in se na samem zavihku tudi sproti izračunava. S tem zavihkom torej nastavljamo območje in resolucijo frekvenc, ki jih bomo merili in prikazovali na grafu frekvenčnega spektra. Manjša resolucija pomeni nižjo maksimalno frekvenco, do katere zajemamo našo meritev. Tu nastavljamo tudi tip okna za merjenje popačenja (dodatne informacije o tipih oknenja lahko najdete v [21]) in tip želenega popačenja (Oglavje 5.1). Nastavimo še želeno število harmonskih komponent signala (od 2 do 64), ki jih želimo upoštevati v meritvi.

Pod zavihkom *Območje vzbujanja* nastavljamo območje in resolucijo podatkov vzbujevalnega signala. Za vsako kombinacijo amplitude in frekvence vzbujanja se zajame ena meritev frekvenčnega spektra. Izbiramo najmanjšo in največjo vrednost amplitude ter frekvence vzbujanja in vmesni korak oz. resolucijo. Merjenje se vedno začne na spodnji vrednosti in se po korakih veča proti maksimalni vrednosti. Zadnja vrednost je največja vsota začetnega koraka in večkratnika resolucije, ki še ne presega maksimalne vrednosti.

Nastavitve karakteristike napajanja nam omogočajo nastavitev območja in resolucije napajalne napetosti, kjer želimo meriti frekvenčni spekter. Pri meritvah frekvenčnega spektra s parametrizacijo napajalne napetosti sta amplituda in frekvenca vzbujanja konstantni, zato imamo tu na voljo tudi nastavitev teh dveh vrednosti. V primeru, da parametrizacije po napajalni napetosti ne želimo zajeti, program ne zahteva priklopa inštrumenta TTI QL355TP.

Pod zavihkom Čas umiritve je možna nastavitev časa med vzpostavitvijo vhodnega signala in meritvijo izhodnega signala, zaradi zagotovitve iznihanja prehodnega pojava ob spremembi vzbujanja in stabilizacije ojačevalnika po spremembi napajalne napetosti.

Zavihek *Pot za shranjevanje* vsebuje pot do mape, v katero naj program shranjuje rezultate meritev. Privzeta vrednost zapisovanja je »C:\KeithleyData«.

Pod napisom *Naprava* se izpiše odgovor inštrumenta Keithley 2016p, v kolikor je ta priklopljen ob zagonu programa. Če ta ni priklopljen, ali pa so nastavitve povezave napačne, program vrne napako, izpiše pa se tudi besedilo: »Preveri povezavo«.

Gumb *Zajemi* zažene zajemanje meritev. Uporabijo se vsi predhodno nastavljeni parametri. Gumb *Stop* ustavi izvajanje programa, vendar šele po koncu zajemanja zagnanih meritev. Za prisilno ustavitev programa med samim merjenjem je na voljo LabVIEW-ova tipka za zaustavitev izvajanja (ang. *Abort Execution*).

Na sprednji plošči se nahajata dva indikatorja napredka (ang. progress bar) in indikator izvajanja zank. Indikatorja napredka prikazujeta napredek zajemanja meritev. Prvi indikator napredka kaže kako napreduje meritev frekvenčnega spektra s parametrizacijo po amplitudi in frekvenci vzbujanja, drugi pa kaže kako napreduje meritev frekvenčnega spektra s parametrizacijo po napajalni napetosti. Če zajemamo obe karakteristiki, se najprej izvrši merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujevalnega signala, nato pa merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo po napajalni napetosti. Indikator izvajanja zank je lučka, ki gori, dokler se program nahaja v zankah, kjer se izvajajo meritve. Ko je program v zunanji (ang. while) zanki, je indikator izvajanja ugasnjen.

Prikaz samega frekvenčnega spektra vsebuje dve spremenljivki, parametrizacija še po spremenljivkah amplitude in frekvence vzbujanja pa skupaj tvori meritev s štirimi spremenljivkami. Na desni strani sprednje plošče je zato preklopnik, s katerim izberemo tretjo spremenljivko, ki jo prikazujemo na tridimenzionalnem grafu. Glede na izbrano spremenljivko, se nam omogoči ustrezni drsnik za izbiro fiksnega četrtega parametra, pri katerem želimo prikazovati graf. Izbiramo še med prikazom

frekvenčnih spektrov v decibelih (dB) ali pa v obliki normirani na nosilni signal (dBc, ang. decibel below carrier).

Spodnji del sprednje plošče je namenjen prikazovanju rezultatov meritev. Prikaz je razdeljen na tri zavihke.

Zavihek *Spekter v odvisnosti od vzbujanja* vsebuje tridimenzionalni graf, kjer eno izmed spremenljivk izbiramo s prej omenjenim gumbom na zgornji desni strani sprednje plošče. Tako je v primeru izbrane frekvenčne odvisnosti prikazan graf frekvenčnega spektra v odvisnosti od frekvence vzbujanja, pri čemer z drsnikom izberemo fiksno vrednost vzbujevalne amplitude, pri kateri graf prikazujemo. V primeru izbrane amplitudne karakteristike graf prikazuje frekvenčni spekter v odvisnosti od amplitude, kjer z drsnikom izberemo fiksno frekvenco vzbujanja. Za morebitno lažjo predstavitev je tu poleg tridimenzionalnega grafa tipa površina (ang. surface) dodan še tridimenzionalni graf tipa raztros (ang. scatter).

Pod zavihkom z dvodimenzionalnimi prikazi se nahajata dva grafa. Če je naša izbira nastavljena na amplitudno odvisnost, prvi graf prikazuje frekvenčni spekter signala pri izbrani amplitudi vzbujanja, drugi pa prikazuje jakosti komponent signala za različne amplitude vzbujanja pri izbrani frekvenci merjenja. Pri izbrani frekvenčni odvisnosti nam prvi graf prikazuje frekvenčni spekter signala pri izbrani vzbujevalni frekvenci, drugi graf pa nam prikazuje odvisnost jakosti komponent signala za različne vzbujevalne frekvence pri izbrani frekvenci merjenja.

Popačenje v odvisnosti od vzbujanja vsebuje tridimenzionalni prikaz popačenja signala v odvisnosti od amplitude in frekvence vzbujanja. Zavihek vsebuje tudi dva dvodimenzionalna grafa, kjer nam prvi prikazuje frekvenčno karakteristiko pri izbrani amplitudi vzbujanja, drugi pa amplitudno karakteristiko pri izbrani frekvenci vzbujanja.

Zavihek *Karakteristika napajalne napetosti* ima dva podzavihka. Zavihek *Spekter* s tridimenzionalnim grafom prikazuje odvisnost frekvenčnega spektra od napajalne napetosti, z dvodimenzionalnim grafom pa je prikazan frekvenčni spekter pri izbrani napajalni napetosti. Zavihek *Popačenje* nam prikazuje odvisnost popačenja signala od napajalne napetosti.

5.3 Bločni diagram



Slika Slika 5.4 prikazuje bločni diagram prvega programa z nekaterimi glavnimi deli.

Slika 5.4 : Bločni diagram programa zajema karakteristike amplitude in frekvence vzbujanja ter karakteristike napajalne napetosti z označenimi glavnimi deli programa

V nadaljevanju je v opisana logika programa, ki je izvedena na bločnem diagramu. Pri izgradnji bločnega diagrama, smo si delno pomagali s [14].

5.3.1 Elementi pred neskončno zanko

Prikaz zajetih meritev v obliki številskih zbirk nam ne podaja nobene boljše predstave o rezultatih meritve, kot nam jih podajajo grafi, zato takoj na začetku onemogočimo njihovo prikazovanje. Prav tako onemogočimo premikanje dveh glavnih drsnikov, ker zajeti podatki še ne obstajajo. Na začetno vrednost ponastavimo tudi oba indikatorja napredka. Operacije pred neskončno zanko so na sliki Slika 5.4 prikazane na spodnjem delu.

5.3.2 Neskončna zanka

Jedro programa se izvaja v neskončni zanki (na sliki Slika 5.4 jo predstavlja pravokotnik, ki tvori večino sheme). V prvem ciklu se izvrši blok, ki preveri povezavo z inštrumentom Keithley 2016p. Posebnost tega bloka je, da ima nastavljen krajši čas čakanja odziva inštrumenta od ostalih blokov, kar omogoča hitro odkrivanje in javljanje napake, v primeru da inštrument ni priklopljen. Izvedba tega bloka bi bila nekoliko bolj logična pred samo neskončno zanko, vendar tam še ne poznamo parametrov povezave, ki jih potrebujemo za pošiljanje poizvedbe inštrumentu.

Uporabnost neskončne zanke v programu se kaže po izvedbi meritve, ko se grafi dinamično spreminjajo glede na izbiro parametrov, enot in vrednosti drsnikov. Poleg tega je možno spreminjanje parametrov merjenja ob izvajanju programa brez potrebe za celotno nastavitev parametrov pred zagonom programa. Z neskončno zanko si pomagamo tudi pri določanju števila kosov in frekvenčnega koraka, saj se nam aktivno izračunava maksimalna frekvenca, ki jo bomo s trenutno nastavitvijo dosegli. Maksimalna frekvenca meritve mora biti manjša od 50 kHz. V ta namen je dodano preprosto preverjanje frekvence. V primeru, da nastavimo preveliko število košev oziroma preveliko resolucijo frekvence, se nam število košev avtomatično zmanjšuje, dokler ni maksimalna frekvenca manjša od 50 kHz.

5.3.3 Začetne operacije

Ob zagonu merjenja s tipko *Zajemi* se najprej izvršijo operacije začetne inicializacije merjenja. Začetne operacije so na sliki Slika 5.4 del bloka *Merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujanja*.

Inštrumentu Keithley 2016p pošljemo ukaz »*rst«, ki ponastavi nastavitve na privzete vrednosti. S tem ukazom si zagotovimo, da je inštrument vedno enako nastavljen in da delovanje programa ni pogojeno s predhodnimi nastavitvami na samem inštrumentu. Ponastavitev ne vpliva na parametre povezave (drugače bi na tem mestu lahko izgubili povezavo z inštrumentom). Izklopimo tudi opozarjanje s piskom.

V naslednjem koraku vzpostavimo ustrezne nastavitve na inštrumentu. Nastavimo enote merjenja popačenja na procente, nastavimo izbran korak frekvence, število harmonikov, avtomatsko ugotavljanje območja popačenja, tip oknenja in tip merjenega popačenja.

Ob zagonu programa se ponastavijo indikatorji napredka in pobrišejo pridobljeni podatki iz prejšnje meritve. Če teh podatkov ne bi brisali, bi se novi le dopisovali za stare, grafi pa bi nam prikazovali stare oz. vse dosedanje meritve. Na minimalno novo vrednost postavimo tudi vrednosti drsnikov, da po končani meritvi kažejo na veljavno vrednost. Ker meritev frekvenčnega spektra v odvisnosti od napajalne napetosti ni obvezna, pobrišemo tudi ustrezni tridimenzionalni graf, da nam ne prikazuje starejših meritev.

5.3.4 Merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujanja

Po začetnih operacijah začnemo z zajemanjem frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujanja. To storimo z dvojno zanko (ang. double for loop). Z zunanjo zanko nastavljamo vrednost amplitude vzbujanja, z notranjo pa vrednost frekvence vzbujanja. V notranji zanki najprej nastavimo izhod inštrumenta na želeno frekvenco in amplitudo ter počakamo čas umiritve.
Naslednji korak je merjenje frekvenčnega spektra, ki ga izvedemo z blokom *MEAS SPEC* (Slika 5.5). Z inštrumenta prejmemo tekst, v katerem se nahajajo vse vrednosti amplitud harmonikov v decibelih. Podatke razčlenimo, pretvorimo v numerične vrednosti in zložimo v zbirko podatkov.



Slika 5.5 : Bločni diagram bloka MEAS SPEC

Po merjenju frekvenčne karakteristike z blokom *MEAS DIST* (Slika 5.6) izmerimo še popačenje signala.



Slika 5.6 : Bločni diagram bloka MEAS DIST

Ukaza za merjenje frekvenčne karakteristike in merjenje popačenja zelo slabo delujeta skupaj. Merjenje popačenja neposredno pred merjenjem frekvenčne karakteristike povzroči vračanje podatkov v normiranih decibelih (dBc), kar pomeni izgubo informacij o absolutni vrednosti. Po drugi strani merjenje popačenja deluje, le če smo prej izvedli merjenje frekvenčne karakteristike s številom košev med 50 in 60. Katerakoli druga nastavitev povzroči, da se inštrument ne odzove na povpraševanje o popačenju. V ta namen sta po obeh merjenjih dodana bloka ponovne nastavitve

parametrov inštrumenta, ki poskrbita, da inštrument pravilno izvaja obe želeni meritvi. Sproti izračunavamo vrednost frekvenčnega spektra v normirani obliki na nosilni signal, da kasneje poljubno preklapljamo med obema naboroma podatkov.

Znotraj obeh zank se izračunava napredek same meritve. Preverja se število opravljenih ciklov glede na končno število ciklov za obe zanki in izračunava delež, ki ga indikator napredka prikazuje.

V zunanji zanki je izvedeno shranjevanje podatkov, kar pomeni, da se podatki shranijo posebej za vsako nastavitev amplitude vzbujanja. V blok *SAVE DATA* peljemo podatke o frekvenčnem spektru v normirani in nenormirani obliki in frekvencah vzbujanja. Ime datoteke generiramo glede na izbrane nastavitve (okno, število harmonikov in tip merjenega ojačenja) in trenutno amplitudo vzbujanja. Imenu dodamo še predpono *Karakteristika v odvisnosti od vzbujanja* in ga opremimo z datumom in časom na minuto natančno. Na ta način se izognemo morebitnemu prepisovanju datotek. Datoteka se shrani s končnico ».txt« in omogoča direkten uvoz podatkov v računalniške programe za obdelavo podatkov.

5.3.5 Merjenje frekvenčnega spektra s parametrizacijo napajalne napetosti

Zajemanje frekvenčnega spektra v odvisnosti od napajalne napetosti (na sliki Slika 5.4 desno) poteka zelo podobno zajemanju frekvenčnega spektra v odvisnosti od signala vzbujanja, le da tu nastopa le en parameter in zato le ena zanka.

Najprej nastavimo izhod inštrumenta Keithley 2016p na izbrano konstantno frekvenco in amplitudo vzbujanja. Nato preverimo, če je inštrument TTI QI355TP priklopljen na računalnik. Če inštrument ni priklopljen, nam program vrne napako.

Naslednji korak je zanka. Na inštrumentu nastavimo napajalno napetost, počakamo čas umiritve in izmerimo frekvenčni spekter ter popačenje signala. Spet po vsaki meritvi ponovno nastavimo parametre na inštrumentu za pravilno izvajanje meritev. Na inštrumentu nastavljamo napetost obeh kanalov enako, da program lahko uporabimo za električna vezja s simetričnim napajanjem. Znotraj zanke se izvaja

26

izračun indikatorja napredka merjenja karakteristike napajalne napetosti in izračun normirane vrednosti spektra. Po izhodu iz zanke se podatki shranijo v datoteko imenom *Karakteristika napajalne napetosti* in kratkim opisom nastavitev glavnih parametrov.

5.3.6 Osveževanje grafov

Ker je osveževanje tridimenzionalnih grafov računsko potratno, je za odzivno delovanje programa to izvedeno le ob spremembah parametrov prikaza grafov in spremembah podatkov meritev. Blok osveževanja (na sliki Slika 5.4 zgoraj levo) se tako izvrši po končanih meritvah, ob preklopu enote prikaza frekvenčnega spektra (dB/dBc) in ob prestavljanju drsnikov, ki fiksirajo četrti parameter frekvenčnega spektra v odvisnosti od vzbujevalnega signala. Konstantno osveževanje vodi v zelo slabo odziven program, zato je taka optimizacija nujna.

V blok osveževanja pripeljemo dve zbirki podatkov. Prva zbirka vsebuje vse meritve frekvenčnega spektra v decibelih, druga zbirka pa vse podatke v normirani obliki (dBc). Ob vsaki izvršbi tega bloka se prebere nastavitev želene enote in izbrana zbirka podatkov. Ustrezni podatki se izrišejo na grafih.

Poleg izbire samega nabora podatkov poskrbimo tudi za ustrezno spremembo prikaza enot. Za to uporabimo blok na spodnjem levem delu sheme (Slika 5.4). Tu se prebere izbrana enota frekvenčnega spektra in se izpiše na ustrezno os grafa.

Podobno poskrbimo tudi za spremembe ob spreminjanju želenega parametra pri prikazu frekvenčnega spektra v odvisnosti od amplitude ali frekvence vzbujanja. V ta namen je na spodnjem delu sheme (Slika 5.4) blok, s katerim ob spremembah in ob končani meritvi preberemo izbrano tretjo spremenljivko in ustrezno prilagodimo tridimenzionalni graf. Poleg tega z blokom poskrbimo za spremembo imena zavihka enega izmed dvodimenzionalnih grafov in ustrezne oznake osi grafov. Ker se ob spremembi tretjega parametra in celotnega dvodimenzionalnega grafa spremeni tudi parameter, ki ga spreminjamo z drsnikom, se mora ta na novo naložiti, spremeniti ime, meje in korak. V ta namen imamo pod blokom merjenja frekvenčnega spektra v

27

odvisnosti od vzbujevalnega signala manjši blok (Slika 5.4), ki poskrbi za pravilno nastavitev drsnika.

5.4 Rezultati meritev

V nadaljevanju podajamo par primerov zajetih meritev.

5.4.1 Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo frekvence vzbujanja

Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo frekvence vzbujevalnega signala najlepše demonstriramo kar z direktnim merjenjem vzbujevalnega signala brez vmesnega električnega vezja. Rezultate meritve nam podaja slika Slika 5.7. Z (pokončna) os predstavlja spekter v normiranih decibelih na nosilni signal (dBc), X os predstavlja frekvenco vzbujanja [Hz], Y os pa frekvenco meritve [Hz]. S slike Slika 5.7 razberemo nekatere izbrane parametre meritve. Začetna frekvenca oziroma frekvenčni korak merjenja frekvenčnega spektra je enak 60 Hz. Glede na najvišjo frekvenco meritve frekvenčnega spektra, ki znaša 18 kHz izračunamo, da smo uporabili 300 košev. Za prikaz je izbrana enota dBc.

Na sliki je lepo vidno, kako se premika maksimum frekvenčnega spektra, ko spreminjamo frekvenco sinusa vzbujevalnega signala. Ostale frekvence ves čas ostajajo na približno enakem nivoju in so v primerjavi z nosilnim signalom za več kot 100 dB šibkejše.



Slika 5.7 : Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujevalne frekvence

5.4.2 Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo amplitude vzbujanja

Za demonstracijo zajema frekvenčnega spektra s parametrizacijo amplitude vzbujanja smo izbrali zelo preprosto vezje. Gre za direktno meritev vzbujevalnega signala, ki pa ima med pozitivno in negativno sponko vstavljeno diodo. Vezje je prikazano na sliki Slika 5.8.



Slika 5.8 : Diodna zaščita

Tako dobimo nek omejilnik, ki pa signal omejuje le za negativne vrednosti napetosti. Za majhne amplitude vzbujanja signal ohranja svojo obliko, ko pa se amplituda vzbujanja povečuje proti kolenski napetosti diode 0,6 V in naprej, začne dioda prevajati in signal se popači. Tako poleg osnovne sinusne frekvence dobivamo čedalje več drugih harmonskih komponent spektra. To se vidi na sliki Slika 5.9, kjer neoznačena Y os predstavlja frekvenco meritve [Hz].



Slika 5.9 : Zajem frekvenčnega spektra s parametrizacijo vzbujevalne amplitude

5.4.3 Zajem karakteristike popačenja

Za zajem karakteristike popačenja smo prav tako uporabili vezje prikazano na sliki Slika 5.8. Rezultate meritve vidimo na sliki Slika 5.10. Slabo vidna skala Y osi prikazuje frekvenco vzbujanja [Hz], ki pa za to karakteristiko ni bistvenega pomena. Graf prikazuje, kako signal ob majhni amplitudi vzbujanja ohranja svojo sinusno obliko, pri povečevanju vzbujanja proti kolenski napetosti 0,6 V in preko, pa začne izgubljati svojo obliko, kar poveča faktor popačenja.



Slika 5.10 : Karakteristika popačenja, diodna zaščita

Drugi primer je karakteristika popačenja signala pri prehodu skozi obrnjeni omejilnik napetosti, ki je prikazan na sliki Slika 5.11. Vzbujevalni signal priklopimo na levi dve sponki, merimo pa napetost na desnih sponkah.



Slika 5.11 : Obrnjeni napetostni omejilnik

Rezultat meritve prikazuje slika Slika 5.12. Tu je naraščanje popačenja obrnjeno. Pri majhni amplitudi vzbujanja je celoten padec napetosti na diodi, zato je izhodni signal zelo popačen. Pri večanju vzbujevalne amplitude preko kolenske napetosti vse več signala pride skozi diodo in popačenje se manjša.



Slika 5.12 : Karakteristika popačenja, obrnjeni napetostni omejilnik

5.4.4 Odvisnost popačenja od napajalne napetosti

Karakteristiko napajalne napetosti izvedemo z napetostnim sledilnikom, ki je prikazan na sliki Slika 5.2 : Napetostni sledilnik. Sledilniku na vhod priklopimo konstantno sinusno vzbujanje frekvence 1 kHz in amplitude 10 V. Na sliki Slika 5.13 se vidi, kako za dovolj velike napajalne napetosti operacijskega ojačevalnika na izhodu prevladuje frekvenca 1 kHz, pri manjših napajalnih napetostih pa postanejo izrazitejše tudi druge komponente frekvenčnega spektra. Z os predstavlja spekter [dBc], Y os frekvenco meritve [Hz], X os pa napajalno napetost [V].



Slika 5.13 : Karakteristika napajalne napetosti

5.4.5 Shranjevanje podatkov

Tekstovno shranjevanje podatkov preko LabVIEW-a ne omogoča shranjevanja polj brez vrednosti. Vsa prazna polja dobijo vrednost 0. Za enostavno reproduciranje tridimenzionalnih površinskih grafov iz shranjenih datotek zato po uvozu v program za obdelavo podatkov nadomestimo zgornjo levo ničlo s prazno vrednostjo. Nato zelo enostavno narišemo površinski graf. Na sliki Slika 5.14 vidimo uspešno reprodukcijo grafa meritve.



Slika 5.14 : Slika frekvenčne karakteristike zajeta s programom (zgoraj) in reproducirana iz shranjenih podatkov (spodaj)

6 Amplitudna in fazna karakteristika signala

Diagram delovanja drugega programa je prikazan na sliki Slika 6.1. S programom izvajamo prelet čez izbrano območje frekvenc vzbujanja, merimo ojačenje in fazni zamik pri prehodu skozi vezje ter zajemamo sliko z osciloskopa za tri različne oblike signala; sinusno, pravokotno in trikotno. Sliko z osciloskopa zajemamo tudi za izbrano območje napajalnih napetosti. Izbran nabor podatkov prikažemo na grafih. Vsi zajeti podatki se shranijo v tekstovne datoteke v obliki, ki omogoča direkten uvoz v programe za obdelavo podatkov.



Slika 6.1 : Poenostavljen diagram delovanja drugega programa

Za izvedbo programa uporabimo osciloskop LeCroy WaveSurfer 422, funkcijski generator oziroma generator poljubnega signala Tektronix AFG 3102 in usmernik TTI QL355TP.

6.1 Sprednja plošča

Na sprednji plošči programa (Slika 6.2) nastavljamo parametre zajemanja podatkov in na grafih opazujemo rezultate meritev. V poglavju so razloženi elementi sprednje plošče in podane osnovne informacije za rokovanje s programom.

nplituda vzbujania	Zajemani signali	Cas umiritye		
astavitve novezave	Erekvence uzbuiania	Rot za chraniovanio		
istavitve povezave	Frekvence vzbujanja	Pot za smanjevanje	Zajemi	
			Napredek	
Osciloskop	Usmernik	·	Frekvenčna karakteristika	
VICP::192.168	.90.61 👻 COM4			
	Hitrost p	renosa podatkov	0	
Funkcijski gener	ator (za usme	mik) [bps]	Karakteristika nanaialne	
USB0:	▼ 19200	<u></u>	napetosti	
kvencna karakteristika	Casovni potek Karakteris	tika napaialne napetosti		
nplituda Faza				
10,64				
10.00-				Logaritmska
10,00				skala
9,50				O
9,00-				
8,50				
8,00-				
7,50-				
7,00-				
6,50-				
g 6,00-				
.e 5,50				
5,00				
2				
4,50				
4,50-				
4,50- 4,00- 3,50-				
4,50- 4,00- 3,50- 3,00-				
4,50- 4,00- 3,50- 3,00- 2,50-				
4,50- 4,00- 3,50- 3,00- 2,50- 2,00-				
4,50 - 4,00 - 3,50 - 3,00 - 2,50 - 2,00 -				
4,50 4,00 3,50 3,00 2,50 2,00 1,50				
4,50 4,00 3,50 2,50 2,00 1,50 1,00				
4,50 4,00 3,50 2,50 2,00 1,50 1,00 0,50				

Slika 6.2 : Sprednja plošča programa zajema amplitudne in fazne karakteristike ter karakteristike napajalne napetosti vezja

Pod zavihkom *Nastavitve povezave* se nahajajo parametri povezave z inštrumenti. Tu vpišemo poti do osciloskopa, funkcijskega generatorja in usmernika. Osciloskop je z računalnikom povezan preko Ethernet povezave, zato je pot do njega njegov lokalni IP naslov, opremljen s predpono »VICP::«. Funkcijski generator uporablja čisti USB protokol in povezavo, usmernik pa je z računalnikom povezan preko protokola RS-232 (, ki teče preko kabla tipa USB). Pri vzpostavitvi USB ali RS-232 povezave se ob osvežitvi okna avtomatično prikaže naslov najdenega inštrumenta, medtem ko moramo za Ethernet povezavo sami ugotoviti pravilni IP naslov inštrumenta. Zavihek *Frekvence vzbujanja* vsebuje podatke o frekvencah, ki jih želimo vključiti v prelet. Na voljo imamo dva načina preleta frekvenc. Prvi način je metoda s konstantnim korakom, drugi način pa je eksponentna metoda. Pri konstantnem koraku večamo frekvenco od najmanjše proti največji z enakim razmikom, pri eksponentni pa začnemo z najmanjšo frekvenco in jo v vsakem ciklu pomnožimo z eksponentnim faktorjem spremembe frekvence. Maksimalna frekvenca vzbujanja je 50 MHz, saj generator ne omogoča generiranja sinusnega signala višje frekvence. Maksimalna frekvenca generiranja trikotnega signala je 1 MHz, zato naš program trikotnih signalov nad to frekvenco ne obravnava.

Zavihek *Pot za shranjevanje* vsebuje pot do mape, v katero želimo shranjevati datoteke s podatki o zajetih meritvah.

Amplituda vzbujanja nam podaja amplitudo vzbujevalnega signala. Signalni generator omogoča generiranje napetosti od –10 V do +10 V. Največja medvršna napetost pri signalu brez odmične napetosti (ang. offset voltage) je torej 20 V. Če uporabljamo drugačno odmično napetost (npr. pri uporabi polariziranih kondenzatorjev v našem vezju), se maksimalna medvršna napetost ustrezno zmanjša.

Pod zavihkom *Zajemani signali* imamo možnost zajema pravokotnega in trikotnega signala poleg privzetega zajema sinusnega signala. Za ta dva tipa signala ne izračunavamo ojačenja ali faznega zamika temveč zajemamo le sliko vhodnega in izhodnega signala.

Čas umiritve je čas, ki ga počakamo med nastavljanjem vzbujevalnega signala ali nastavljanjem prikaza signala na osciloskopu in odčitavanjem meritev z osciloskopa. V vsakem ciklu je ta čas uporabljen večkrat, zato s to vrednostjo ne smemo pretiravati. Ker izbiramo med linearno in eksponentno razporeditvijo frekvenc je veliko bolj praktično, če se čas umiritve prilagaja s frekvenco in ni konstanten za vse frekvence vzbujevalnega signala. Čas umiritve je tako vezan na število period vzbujanja (posledično frekvenco) in se med zajemom meritve spreminja. Priporočljiva nastavitev časa umiritve je nad 10 period vzbujanja. Praktičnost prilagodljivosti opazimo šele pri frekvencah pod 10 Hz. Tu je potrebno kar nekaj časa, da se nam na

37

osciloskopu prikaže dovolj signala za izvedbo meritve. Na drugi strani pa pri visokih frekvencah potrebujemo zelo malo časa med nastavljanjem in merjenjem signala. Zato je nesmiselno, da čakamo nekaj deset sekund, saj bi nam to močno podaljšalo trajanje celotnega zajema karakteristike.

Zavihek *Karakteristika napajalne napetosti* vsebuje nastavljive parametre zajemanja karakteristike napajalne napetosti in samo možnost vklopa tega dela zajemanja. Ker je usmernik nekoliko manj odziven od drugih dveh inštrumentov, je smiselno vpeljati še en čas zakasnitve, ki pa je neodvisen od parametra napajalne napetosti in konstanten. *Zakasnitev* je čas, ki preteče med nastavitvijo napajalne napetosti in meritvijo. Pod zavihkom se nahaja tudi parameter frekvence vzbujevalnega signala, ki je pri zajemanju karakteristike napajalne napetosti konstantna. Amplituda vzbujevalnega signala je enaka tisti, ki smo jo izbrali pod zavihkom *Amplituda vzbujanja*. Nastavljamo še območje in inkrement napajalne napetosti.

Na desni strani zavihkov imamo gumb *Zajemi*, ki sproži zajemanje meritev. Gumb *Stop* ustavi izvajanje programa, a šele, ko se izvedejo vse meritve. Za prisilno zaustavitev spet uporabimo sistemski gumb za prekinitev izvajanja. Pod gumbi se nahajata indikatorja napredka merjenja in pa indikator izvajanja zanke. Prvi indikator napredka nam podaja informacijo o napredku zajemanja frekvenčne karakteristike, drugi indikator pa o napredku zajemanja karakteristike napajalne napetosti.

Na spodnjem delu sprednje plošče se pod tremi zavihki nahajajo grafi z rezultati meritev. Pod zavihkom *Frekvenčna karakteristika* je predstavljena amplitudna in fazna karakteristika. Na desni strani imamo možnost preklapljanja med linearno in logaritemsko frekvenčno skalo.

Pod zavihkom *Časovni potek* lahko za vsako frekvenco meritve opazujemo sliko z osciloskopa za vhodni in izhodni signal obravnavanega električnega vezja. Na desni strani imamo drsnik, s katerim izbiramo indeks slike. Posredno izbiramo prikazano zajeto sliko po frekvenci zajemanja. Ta frekvenca se nam aktivno izračunava pod drsnikom. Ker drsniki nimajo opcije variabilnega inkrementa (razmik ne more biti eksponenten, temveč je lahko le linearen), direkten izpis frekvenc na drsnik ni možen, saj bi z drsnikom pri eksponentnem načinu inkrementiranja frekvenc merjenja

38

lahko izbrali frekvence, za katere meritve ne obstajajo. Zato smo izbrali način izbiranja slik po indeksu, ki je nekoliko manj intuitiven, a pravilen. Nad drsnikom imamo še možnost izbire tipa signala, ki ga želimo opazovati. Tu so omogočeni le tipi signalov, za katere smo prej izbrali in nato zajeli slike. Kot smo že omenili, v primeru trikotnega signala zajemamo slike le do frekvence 1 MHz. Pri izbiri indeksa drsnika nad to frekvenco zato drsnik postavimo na vrednost, ki ustreza meritvi z najvišjo še zajeto frekvenco.

Pod zavihkom *Karakteristika napajalne napetosti* so podane slike z osciloskopa pri izbrani napajalni napetosti. V primeru, da meritve napajalne napetosti nismo izbrali, so grafi prazni.

6.2 Bločni diagram

Slika Slika 6.3 prikazuje bločni diagram drugega programa z nekaterimi glavnimi deli.



Slika 6.3 : Bločni diagram programa zajema amplitudne in fazne karakteristike ter karakteristike napajalne napetosti vezja z označenimi glavnimi deli programa

V nadaljevanju je v opisana logika programa, ki je izvedena na bločnem diagramu.

6.2.1 Neskončna zanka

Podobno kot v prejšnjem programu se tudi ta izvaja v neskončni zanki. Na sliki Slika 6.3 ta predstavlja pravokotnik, ki zajema skoraj celotno shemo. Znotraj zanke ves čas preverjamo vrednosti drsnikov in izrisujemo ustrezne grafe. Ker program ne vsebuje tridimenzionalnih grafov, smemo grafe osvežiti v vsakem ciklu brez večjega poslabšanja odzivnosti programa. Več čas tudi preverjamo in nastavljamo izbrane enote na grafih frekvenčne karakteristike.

6.2.2 Začetne operacije

Ob pritisku na gumb *Zajemi* se začne zajemanje meritev. Začetne operacije so del bloka *Merjenje amplitudne in fazne karakteristike ter slik z osciloskopa pri različnih frekvencah* (Slika 6.3). Prvi del je namenjen nastavljanju izhodnega signala na funkcijskem generatorju. Tu nastavimo obliko signala na sinusno in določimo njegovo začetno frekvenco in amplitudo.

V drugem delu nastavimo parametre osciloskopa. Najprej zaženemo avtokalibracijo osciloskopa. Ker avtokalibracija signalov, ki so nižji od 10 Hz, ne umesti najbolje na zaslon, je potrebna ročna nastavitev razdelkov. Velikost razdelka napetosti prvega kanala nastavimo ustrezno amplitudi izhoda generatorja, ki jo poznamo (na prvi kanal je priklopljen vzbujevalni signal). Prav tako poznamo frekvenco vzbujevalnega signala, zato lahko ustrezno nastavimo časovni razdelek. S poskušanjem smo ugotovili, da je odčitavanje merjenih parametrov signala najbolj zanesljivo, kadar zapolni signal šest vertikalnih razdelkov od osmih in kadar na zaslon prikažemo do pet period nihanja, zato nastavitve razdelkov skušamo čim bolj približati tem razmeram.

V teoriji bi zadostoval izris dveh period signala, vendar osciloskop nima zveznega območja časovnih razdelkov. Z nastavitvijo zato ciljamo na pet period signala, osciloskop pa izbere najbližjo možno vrednost časovnega razdelka. Premajhno izbrano število prikazanih period povzroči, da se na osciloskopu lahko prikaže tudi

41

manj signala, kot ga potrebujemo, zato vzamemo nekaj rezerve. Z večjim številom period je tudi merjenje amplitud zanesljivejše.

V drugem bloku nastavimo tudi spremenljivke, ki jih na osciloskopu želimo meriti. Merjene spremenljivke so medvršna napetost signala kanala ena in kanala dve ter merjenje faznega zamika med obema kanaloma. Na obeh kanalih postavimo na nič še odmično napetost in nastavimo AC sklopitev, saj nas enosmerne komponente signala ne zanimajo (s tem tudi omogočimo uporabo odmične napetosti na funkcijskem generatorju).

6.2.3 Merjenje amplitudne in fazne karakteristike

Po izvedbi začetnih operacij vstopimo v zanko. Zanko izvedemo za vsako frekvenco merjenja posebej. Ker pri meritvi nastopa veliko število operacij, ki se morajo izvajati v pravilnem vrstnem redu, smo uporabili zaporedno sekvenčno strukturo (ang. flat sequence structure, Slika 6.4). Ta z izgledom filmskega traku že na poglej sugestira na zaporedno izvajanje operacij in tako tudi deluje. Kot smo v poglavju 4. omenili, je zaporedje izvajanja operacij pri programiranju v jeziku G podrejeno toku podatkov. V tem primeru potrebujemo fiksno določen vrstni red, kar dosežemo z omenjeno strukturo.



Slika 6.4 : Zaporedna sekvenčna struktura

V prvem bloku nastavimo ustrezno frekvenco vzbujanja, obliko sinusnega signala in ustrezen časovni razdelek glede na frekvenco vzbujanja. Na osciloskopu v prvi iteraciji nastavimo ustrezen napetostni razdelek vzbujevalnega in izhodnega signala glede na amplitudo vzbujevalnega signala. V ostalih iteracijah nastavimo napetostni razdelek drugega kanala na optimalno vrednost za prejšnjo meritev, saj je ta najverjetneje bližja najustreznejši vrednosti za trenutni signal kot optimalna vrednost za vzbujevalni signal. Sledi blok časovnega zamika.

V naslednjem bloku pošljemo poizvedbo o vrednosti medvšrne napetosti drugega kanala in nastavimo napetostni razdelek na kanalu dve optimalno za pridobljeno meritev. Tako povečamo morebiten premajhen prikaz signala na zaslonu.

Spet počakamo, da pridobimo dovolj signala in pomerimo medvršno napetost na drugem kanalu osciloskopa. Sedaj odpravimo še morebiten premajhen napetostni razdelek (slika signala sega čez zaslon). To storimo z blokom *FIT C2* (Slika 6.5). V primeru, da nam meritev medvršne napetosti vrne napako (kar pomeni, da slika vsaj na enem robu sega čez zaslon), začnemo večati razdelek (manjšati sliko) za faktor 1,2 z vsako iteracijo. Po vsaki iteraciji počakamo nekaj časa, da na zaslon dobimo dovolj slike. Večanje razdelka ponavljamo, dokler nam meritev medvršne napetosti drugega kanala vrača napako. Tako po dovolj velikem številu iteracij dobimo celoten signal na zaslon, zaradi faktorja 1,2 pa slika sega čez približno šest razdelkov od osmih.



Slika 6.5 : Bločni diagram bloka FIT C2

Naslednji korak je poizvedba o vrednosti vseh merjenih parametrov. Rezultate meritev nam osciloskop vrne v tekstovni obliki z nekonstantno dolžino. Z razčlenjevanjem in iskanjem značilnih zaporedij simbolov iz teksta izluščimo vse merjene podatke in jih pretvorimo v numerično obliko za nadaljnjo uporabo.

V naslednjih dveh blokih zajamemo podatke o slikah na kanalu ena in dve. To storimo z blokom *GET WAVEFORM* (Slika 6.6). Ta pošlje osciloskopu poizvedbo o sliki na izbranem kanalu. Odgovor se od ostalih razlikuje v načinu zapisa informacij. Prvi del odgovora je v tekstovni obliki, drugi del, ki vsebuje informacije o sliki na

osciloskopu, pa je v binarni obliki, da prenos podatkov poteka hitreje. Celoten odgovor inštrumenta LabVIEW prepozna kot tekst, zato izluščimo binarni del ter ga spremenimo v resnično numerično vrednost. Pomembna je nastavitev na pretvorbo z 8 bitnim predznačenim integerjem, saj v primeru uporabe nepredznačenega integerja signal pri prehodih v negativno vrednost dobi napačno vrednost. Iz odgovora dobimo tudi podatek o časovnem razmiku med dvema točkama na sliki, ki lahko vsebuje decimalno predpono pred sekundo. To predpono izluščimo iz odgovora in jo peljemo skozi strukturo, ki obravnava vse možne predpone, da ugotovimo pravilen časovni razdelek.



Slika 6.6 : Bločni diagram bloka GET WAVEFORM

V zadnjih dveh blokih (Slika 6.4) nastavimo in zajamemo sliki še za trikotno in pravokotno obliko signala, v kolikor je to izbrano na sprednji plošči. Tu opravimo enake operacije kot za sinusni signal, z izjemo nastavljanja frekvence, časovnega razdelka in razdelka kanala ena, ter poizvedbe vrednosti parametrov.

Ves čas zajemanja podatkov izračunavamo vrednost za indikator napredka frekvenčne karakteristike.

6.2.4 Shranjevanje podatkov

Podatki, ki jih z meritvami pridobimo, sta amplitudna in fazna karakteristika električnega vezja ter slike z obeh kanalov osciloskopa za do tri oblike signalov. Vse shranjevanje podatkov opravimo takoj za opravljenimi meritvami. Za shranjevanje uporabljamo blok na desnem delu bločnega diagrama (Slika 6.3). Najprej preverimo, če mapa za shranjevanje obstaja, drugače pa jo ustvarimo. Podatke o amplitudni in

fazni karakteristiki shranimo z imenom *Amplituda in faza*, čemur dodamo datum in čas merjenja. Slike z osciloskopa shranimo za vsako frekvenco posebej. Te datoteke nosijo ime *Slika z osciloskopa*, čemur spet sledi datum, čas zajemanja slike, zajeti signali in frekvenca vzbujevalnega signala.

6.2.5 Slike karakteristike napajalne napetosti

Na desni strani bločnega diagrama se nahaja blok, ki služi zajemanju slik karakteristike napajalne napetosti (Slika 6.3). Ker je to merjenje neobvezno, se celoten postopek skupaj s shranjevanjem podatkov izvede v tem bloku. Tako za izbor zajemanja meritev karakteristike napajalne napetosti s tipko nadziramo le ta blok.

Najprej se izvedejo začetne nastavitve, s katerimi nastavimo sinusno obliko napetosti, frekvenco in amplitudo vzbujevalnega signala. Glede na te nastavitve nato nastavimo ustrezne časovne in napetostne razdelke.

Naslednji korak zajemanja slik karakteristike napajalne napetosti je zanka. Najprej nastavimo začetno napajalno napetost na obeh izhodnih kanalih usmernika. Počakamo čas zakasnitve karakteristike napajalne napetosti, nato pa izmerimo medvršno napetost drugega kanala. Novo vrednost napetostnega razdelka drugega kanala nastavimo optimalno glede na odčitano meritev. Nato spet preberemo vrednost medvršne napetosti in preverimo, če slika signala na drugem kanalu morda seže čez robove. Če ugotovimo, da je slika prevelika, jo zmanjšamo z blokom *FIT C2*. V zadnjih dveh blokih zajamemo sliko obeh kanalov, nato pa zajete podatke takoj shranimo v datoteko z imenom *Karakteristika napajalne napetosti*, kateremu sledijo datum, čas in podatki o frekvenci vzbujevalnega signala in napajalni napetosti.

6.2.6 Dodatni napotki za uporabo

Med preizkušanjem programa smo opazili še par zadev, ki jih težko vključimo v sam program, a so kljub temu pomembne za upravljanje s programom.

Na osciloskop priklopimo vzbujevalni signal na prvi kanal ter izhodni signal na drugi kanal. Slika potekov signala v programu je obarvana enako kot na osciloskopu in sicer rumeno za prvi kanal ter rožnato za drugi kanal.

Ker merjenje karakteristike napajalne napetosti ni obvezno, je frekvenčni del programa narejen neodvisno od priklopa usmernika. S programom v tem delu ne nadziramo napajalnika, zato prvi del programa zahteva ročno nastavitev napajalne napetosti in prižig izhoda, v primeru da vezje potrebuje napajanje.

Zajemanje faznih meritev postane zelo problematično, kadar je vsaj ena izmed amplitud majhna. Osciloskop nam včasih vrne povsem napačno ali pa celo prazno meritev. Prazne meritve imajo vrednost nič ali pa neskončno. Program je napisan tako, da teh meritev ne izrisuje, saj nam izrisovanje ničel lahko močno zmoti predstavo o poteku fazne karakteristike. Pri testiranju smo ugotovili, da je že ročno odčitavanje faznega zamika z osciloskopa pri majhnih amplitudah izhodnega signala zelo težko, zato je odveč pričakovati, da bomo s programom dobili boljše rezultate. Pred vsakim merjenjem karakteristik je zato priporočen hiter ročni prelet in opazovanje zanesljivosti odčitavanja faze pri konkretnem vezju. Napak branja faze ne smemo pripisovati programu, v kar se lahko prepričamo z direktnim priklopom vzbujevalnega signala na sponke merjenega signala. V primeru take meritve se fazni zamiki ves čas gibljejo v bližini ničle brez nenadnih skokov.

V program smo želeli dodati sprotno nastavljanje števila preletov signala (ang. sweep) na osciloskopu, ki skupaj tvorijo eno prikazano sliko. Ta funkcija nam še posebej pri višjih frekvencah pomaga izločevati šum, ki nam kvari meritve. Na žalost te opcije ni mogoče nastavljati preko računalnika in jo lahko nastavljamo le ročno na osciloskopu. Pri nastavljanju funkcije moramo upoštevati, da se čas, ki ga osciloskop potrebuje za zajem signala, daljša s številom preletov. Za dva preleta je tako priporočljiv čas umiritve vsaj 20 period vzbujevalnega signala. Pri izločevanju šuma nam prav tako pomaga filter šuma (ang. noise filter, enhanced resolution - ERES), ki izloči višje frekvence. Tega smemo vedno nastaviti na 1,5 bita, kar ustreza mejni frekvenci filtra 60,50 MHz. Ker je najvišja frekvenca sinusa, ki jo funkcijski generator zmore 50 MHz, nam tak filter vedno koristi. Glede na vrednost najvišjih frekvenc, ki jih merimo, pa mejno frekvenco filtra po potrebi še znižamo.

6.3 Rezultati meritev

V nadaljevanju podajamo par primerov zajetih meritev.

6.3.1 Zajem frekvenčne karakteristike amplitudne in fazne karakteristike

Primer zajem amplitudne in fazne karakteristike smo izvedli z RC in CR členom. Shemi sta prikazani na sliki Slika 6.7.



Slika 6.7 : RC (zgoraj) in CR (spodaj) člen

Na sliki Slika 6.8 vidimo karakteristiko RC člena z mejno frekvenco 340 kHz, na sliki Slika 6.9 pa karakteristiko CR člena z mejno frekvenco 160 Hz. Za dosego lepih slik fazne karakteristike smo meritve izvajali izven frekvenc z zelo majhno amplitudo, kjer je zanesljivost merjenja z osciloskopom slaba.



Slika 6.8 : Amplitudna (zgoraj) in fazna (spodaj) frekvenčna karakteristika za RC člen



Slika 6.9 : Amplitudna (zgoraj) in fazna (spodaj) karakteristika za CR člen

6.3.2 Zajem slik frekvenčnega preleta

Zajem slik smo opravili za RC in CR člen in za vse tri oblike signala (sinusni, trikotni in pravokotni). Na slikah Slika 6.10, Slika 6.11 in Slika 6.12 so prikazani primeri zajetih signalov za RC člen, na slikah Slika 6.13, Slika 6.14 in Slika 6.15 pa za CR člen. Izhodni signali so na grafu programa in spodnjih slikah sicer prikazani z enakim merilom kot vhodni, vendar pa dejanske meritve optimalno raztegnejo izhodni signal čez zaslon osciloskopa, da so meritve izvedemo s čim večjo natančnostjo.



Slika 6.10 : Vhod in izhod RC člena za sinusni signal



Slika 6.11 : Vhod in izhod RC člena za trikotni signal



Slika 6.12 : Vhod in izhod RC člena za pravokotni signal



Slika 6.13 : Vhod in izhod CR člena za sinusni signal



Slika 6.14 : Vhod in izhod CR člena za trikotni signal



Slika 6.15 : Vhod in izhod CR člena za pravokotni signal

6.3.3 Zajem slik karakteristike napajalne napetosti

Zajem slik karakteristike napajalne napetosti izvedemo z uporabo napetostnega sledilnika (Slika Slika 5.2). Na slikah Slika 6.16, Slika 6.17, Slika 6.18 in Slika 6.19 je prikazan potek vhodnega in izhodnega signala, pri amplitudi vhodnega signala 10 V in frekvenci 1 kHz. Na slikah se vidi, kako napetostni sledilnik ni zmožen sledenja signalu za vrednosti izven območja napajalne napetosti.



Slika 6.16 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 12 V



Slika 6.17 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 8 V



Slika 6.18 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 4 V



Slika 6.19 : Slika vhodnega in izhodnega signala pri napajalni napetosti 2 V

6.3.4 Shranjevanje podatkov

Kot primer shranjevanja podatkov si poglejmo vhodni in izhodni signal RC člena pri vzbujanju s pravokotnim signalom. Slika Slika 6.20 prikazuje zgoraj sliko zajeto s programom, spodaj pa reproducirano sliko iz shranjenih podatkov.



Slika 6.20 : Slika vhodnega in izhodnega signala RC člena zajeta s programom (zgoraj) in reproducirana iz shranjenih podatkov (spodaj)

7 Zaključek

Razvili smo dva programa za avtomatizirano zajemanje karakteristik električnih vezij. Oba skrajšata čas zajema karakteristik obravnavanega vezja v primerjavi z ročnim izvajanjem meritev. Pri obeh programih se vsi podatki meritev shranjujejo v tekstovne datoteke, tako da jih enostavno uvozimo v programe za nadaljnjo obdelavo. Oba programa imata podoben izgled sprednje plošče in operiranja z nastavitvami.

Prvi program omogoča zajemanje frekvenčnega spektra in popačenja izhodnega signala električnega vezja pri spreminjanju parametrov amplitude in frekvence vzbujevalnega signala ter napajalne napetosti. Program se je v fazi preizkušanja izkazal kot dokaj dober pripomoček za pridobivanje želenih karakteristik. S preudarno izbiro parametrov zajema dobimo zelo uporabne karakteristike vezij.

Drugi program omogoča zajemanje amplitudne in fazne karakteristike vezja ter zajem signala z osciloskopa pri spreminjanju frekvence vzbujanja in napetosti napajanja. Program se je izkazal kot srednje dober pripomoček za zajemanje karakteristik. Problem programa se kaže predvsem pri zajemanju fazne karakteristike, kjer včasih dobimo napačne vrednosti zaradi nezanesljivosti merjenja faze z izbranim osciloskopom. Problem bi se morebiti dalo rešiti z lastnim algoritmom za odčitavanje faznega zamika direktno iz zajetih slik vhodnega in izhodnega signala, vendar je za to potrebnega precej dodatnega dela, kar presega temo diplomske naloge. V dobri meri se da te probleme odpraviti s premišljeno nastavitvijo parametrov meritve (tako v programu, kot na samem osciloskopu).

Literatura

[1] Laboratorij za Elektroniko v avtomatiki: http://lie.fe.uni-lj.si/index_si.htm,

dostopnost preverjena junija 2011.

[2] The LabVIEW Enviroment: http://www.ni.com/labview/, dostopnost preverjena junija 2011.

[3] Model 2016 THD Multimeter Service Manual:

http://www.keithley.com/data?asset=847, dostopnost preverjena julija 2011.

[4] Model 2016-P 6 ¹/₂ Digit Audio Analyzing Multimeter Release Notes:

http://www.keithley.com/data?asset=15617, dostopnost preverjena julija 2011.

[5] Model 2014, 2015-P and 2016 THD Multimeters Quick Reference Guide Rev. A:

http://www.keithley.com/data?asset=9463, dostopnost preverjena julija 2011.

[6] QL355T & QL355TP Instruction Manual, Thurlby Thandar Instruments Ltd, na priloženem CD-ju.

[7] AFG Series Arbitrary/Function Generators:

http://www.latrobe.edu.au/ee/workshop/equipment%20manuals/Tektronix/AFG3022 %20Arbitrary%20Waveform%20Generator/AFG3000%20Series%20Programmer%20 Manual.pdf, dostopnost preverjena julija 2011.

[8] Tektronix AFG 3000 Series:

http://www.syntek.com/Tektronix_AFG_3000_Series.html, dostopnost preverjena julija 2011.

[9] Arbitrary/function Generators:

http://www2.tek.com/cmsreplive/psrep/13567/76W_18656_3_2010.06.15.16.02.40_1 3567_EN.pdf, dostopnost preverjena julija 2011.

[10] WaveSurfer Specifications:

http://www.testequipmentconnection.com/tecspecs/LECROY_WAVESURFER_422.P DF, dostopnost preverjena julija 2011.

[11] LeCroy Remote Control Manual, LeCroy Corporation, 2004, na priloženem CD-ju

[12] National Instruments VISA: http://www.ni.com/visa/, dostopnost preverjena julija 2011.

[13] VISA Implementation Specification for the G Language:

http://www.ivifoundation.org/docs/vpp433.pdf, dostopnost preverjena julija 2011.

[14] LabVIEW 7 Example to perform FFT:

http://www.keithley.com/base_download?dassetid=50029, dostopnost preverjena julija 2011.

[15] Keithley 2016p: http://www.keithley.com/rpCMSimg/1333, dostopnost preverjena julija 2011.

[16] TTI QL355TP: http://img-europe.electrocomponents.com/largeimages/R450098-01.jpg, dostopnost preverjena julija 2011.

[17] Tektronix AFG3102:

http://www.testequipmentdepot.com/tektronix/images/afg3102.jpg, dostopnost preverjena julija 2011.

[18] LeCroy Wavesurfer 400 Series:

http://www.lecroy.com/images/oscilloscope/series/oscilloscope_series_header_wave surfer.jpg, dostopnost preverjena julija 2011.

[19] VI Control Systems: http://www.vicontrols.com/, dostopnost preverjena junija 2011.

[20] Understand SINAD, ENOB, SNR, THD, THD + N and SFDR so You Don't Get Lost in the Noise Floor: http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-003.pdf, dostopnost preverjena avgusta 2011.

[21] Mihelič France, Signali, Založba FE in FRI, Ljubljana, 2006.
Izjava

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja doc. dr. Boštjana Murovca, univ. dipl. inž. el. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali.

Martin Sever