

Avtomatsko testiranje frekvence periodičnih signalov z diskretno metodo hitre Fourierjeve transformacije

Blaž Jakopin

Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: jakopinorama@gmail.com

Automatic testing of periodic signals with the discrete FFT method

During firmware development process of any signal generator or data acquisition device it is important to test and verify the changes or new functionalities implemented by developers on each day. The goal is functional and regression testing, so that the developer can safely say that his changes did not affect the previous, stable version of the firmware. For this purpose, different methods are implemented to check the amplitude and the frequency of the generated signal automatically, as soon as the change was introduced (committed) to the firmware code. The focus of this paper is the automatic frequency testing of a signal generator, with the help of the discrete FFT (Fast Fourier Transform) method.

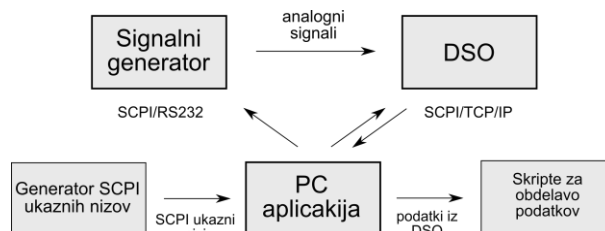
1 Uvod

Med razvojem strojne opreme vgradnih sistemov za zajemanje in generiranje signalov je ob vsaki spremembi kode potrebna verifikacija. S tem namenom se uvajajo avtomatski testni sistemi, ki skušajo s simuliranjem vhodnih ali izhodnih vrednosti ugotoviti morebitne napake, ki jih je sprememba kode vnesla v prejšnjo stabilno verzijo strojne opreme. Namen takih sistemov je torej funkcionalno in regresijsko testiranje znotraj procesa razvoja strojne opreme.

Fokus tega članka bo avtomatično preverjanje točnosti frekvence signalnega generatorja, ki naj bo znotraj zastavljenih toleranc. Potrebno bo tudi upoštevati kompromis med merilno resolucijo in časom, ki ga tak sistem potrebuje za doseganje rezultatov, saj je pri funkcionalnem testiranju dovolj, da čim prej verificiramo funkcionalnosti na čim večjem območju, ne pa toliko točnost meritve – ta je stvar nadaljnjih testiranj in kalibracije.

Naš testni sistem je sestavljen iz več enot, kot prikazuje slika 1. PC aplikacija sekvenčno pošilja SCPI ukaze (Standard Commands for Programmable Instruments [3]) na obe napravi, ki se ustrezno konfigurirata. Ukaze pripravimo s pomočjo generatorja, ki nam glede na naše zahteve (frekvenčno in amplitudno območje, ki ga želimo s testiranjem pokriti) pripravi SCPI ukaze za konfiguracijo signalnega generatorja in digitalnega osciloskopa. Za vsako meritev se torej na

novo konfigurirata obe napravi, da zadostimo zahtevam testiranja. Po poslani konfiguraciji sledi meritev in posredovanje podatkov do skript za obdelovanje podatkov, kjer s pomočjo hitre Fourierjeve transformacije (FFT [2]) ugotovimo prisotnost dominantne frekvence v zajeti sliki.



Slika 1: Avtomatski testni sistem

2 FFT

FFT ali Fast Fourier Transform je zelo popularna metoda v digitalni obdelavi signalov. Fourierjeva analiza nam v splošnem preslika signale iz časovne domene v frekvenčno, kjer se lahko poslužujemo različnih tehnik za manipulacijo signalov in za pridobivanje informacij iz signalov.

Fourierjev teorem pravi, da lahko diskretni signal v časovni domeni x_n predstavimo kot vsoto kosinusnih in sinusnih krivulj različnih frekvenc, pri tem pa uporabimo različne kombinacije amplitudnih koeficientov [1]. Torej lahko zapišemo,

$$x_n = a_0 + \sum_{k=1}^{N-1} a_k \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + \sum_{k=1}^{N-1} b_k \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (1)$$

kjer $k = 1, 2, \dots, N-1$ določa frekvenco vsake kosinusne in sinusne krivulje kot $f_k = \frac{k}{N\Delta t}$, kjer je Δt časovni

inkrement med dvema zaporednima vzorcema. S pomočjo Eulerjeve formule $e^{j\varphi} = \cos \varphi + j \sin \varphi$ lahko zapišemo enačbo (1) kot,

$$x_n = \sum_{k=1}^{N-1} c_k e^{j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (2)$$

in naprej kot,

$$c_k = \sum_{n=1}^{N-1} x_n e^{-j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (3)$$

kjer c_k predstavlja kompleksno vrednost v povezavi z koeficienti $c_0 = a_0$ in $c_k = a_k - jb_k$ za $k = 1, 2, 3, \dots, N-1$. Koeficienti c_k za vsak k predstavljajo relativni prispevek določene frekvence pri kompoziciji signala x_n . Ker je c_k kompleksen, uporabljamo za grafično predstavitev absolutno vrednost spektra $A_k = |c_k| = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$.

3 Avtomatsko testiranje

Naš signalni generator želimo testirati na frekvenčnem območju 1 Hz – 10 kHz pri enotni amplitudi. Za kriterij si postavimo, da mora biti resolucija meritve enaka ali boljša kot 0.2% referenčne frekvence, saj moramo zaznati napake v frekvenci, ki odstopajo za 0.2% od referenčne vrednosti.

Za primer vzemimo nastavljeno frekvenco 10 Hz. Če želimo doseči 0.2% referenčne frekvence pomeni, da potrebujemo resolucijo najmanj 0.02 Hz. Glede na ta podatek se izračuna ustrezna konfiguracija osciloskopa, ki vrne množico diskretnih točk v časovni domeni (sliko). Tukaj moramo upoštevati enačbo za frekvenčno resolucijo:

$$\Delta f = \frac{1}{T} \quad (4)$$

kjer nam T predstavlja časovno okno, znotraj katerega vzorčimo. Vidimo, da pri $\Delta f = 0.02 \text{ Hz}$ dobimo

časovno okno $T = \frac{1}{\Delta f} = 50 \text{ s}$. Časovno okno lahko na

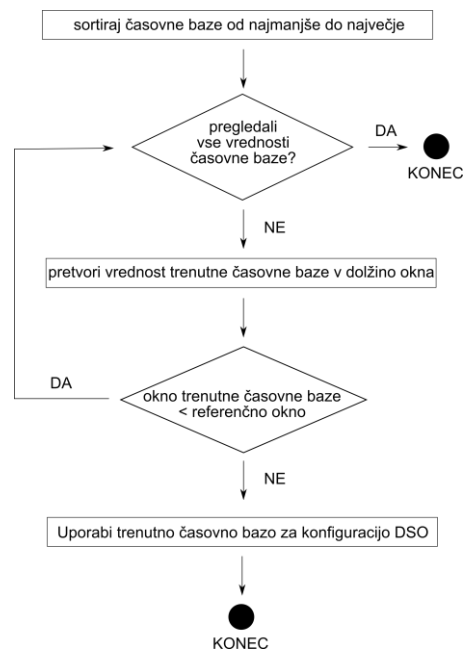
osciloskopu nastavimo na način, da nastavimo časovno bazo. Običajni osciloskopi imajo okno sestavljeno iz desetih vrednosti časovne baze, zato nastavimo na

osciloskopu časovno bazo kot $TB = \frac{T}{10} = 5 \text{ s}$. Za

vsako vrednost frekvence pa ne moremo nastaviti poljubne časovne baze, saj imajo osciloskopi vnaprej določene vrednosti časovnih baz.

V ta namen zapišemo algoritem (slika 2), ki iz nabora časovnih baz za vsako generirano frekvenco poišče časovno bazo, ki ustreza zgoraj omenjeni resoluciji 0.2%. Ta časovna baza se uporabi za konfiguracijo osciloskopa. Ko je konfiguracija narejena, je potrebno narediti meritve. Tukaj je pomemben čas meritve, ki naj bo čim krajši, vendar je na tem primeru jasno, da moramo pri meritvi periodičnega signala frekvence 10 Hz z resolucijo spektra 0.02 Hz meritve izvajati minimalno 50 s, da zajamemo poln signal. Z višanjem merjenih frekvenc se tudi meritve ustrezno

krajša. Dolžina meritve se torej dinamično izračuna glede na merjeno frekvenco.



Slika 2: Pridobivanje ustrezne konfiguracije časovne baze

Ko podatke zajamemo z nastavljenimi konfiguracijami, jih obdelamo s FFT metodo. Izračunamo še absolutno vrednost Fourierjevega transformata in poiščemo vrh. Vrh se nahaja pri dominantni frekvenci, ki jo vzamemo kot izmerjeno vrednost.

4 Zaključek

Za potrditev delovanja metode smo z referenčnim signalnim generatorjem generirali napačne signale z minimalnim odstopanjem 0.2% od reference in preverili, ali metoda javi napako. V tabeli 1 so zbrani rezultati meritev pri frekvenci 10 Hz. Metoda preverjeno deluje za sinusne, pravokotne in trikotne signale.

Tabela 1. Verifikacija metode pri frekvenci 10 Hz

Nastavljena [Hz]	Izmerjena s FFT [Hz]	Rezultat metode
10,00	10,00	OK
10,02	10,02	NOK
9,98	9,98	NOK

Literatura

- [1] Webster, J. G., 2004. Electrical measurements, signal processing, and displays. CRC Press, Boca Raton, London
- [2] FFT Fundamentals, National Instruments, november 2008, URL: <http://zone.ni.com>
- [3] Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI), IVI Foundation, maj 1999, URL: <http://www.ivifoundation.org/docs/scpi-99.pdf>