

MJERENJE PERIODA I FREKVENCije**12.1. UVOD**

Točno mjerenje vremena važno je u znanosti, tehnici, industriji, trgovini, telekomunikacijama, prometu i svakodnevnom životu. Kako je vrijeme jedna od temeljnih veličina iz koje se izvodi većina ostalih, neophodno je vrijeme mjeriti čim točnije. Digitalnim načinom mjerenje frekvencije, odnosno vremena, postižu se vrlo velike točnosti. Relativna mjerna nesigurnost je obično manja od 10^{-6} . Zahvaljujući digitalnim mjerilima frekvencije, mjerenje frekvencije se smatra najtočnijim mjerenjem. Frekvencija je definirana kao broj ponovljenih događaja u jedinici vremena. Ako promatramo električne signale, frekvencija (f) je broj ponavljanja periodičnog signala u jednoj sekundi. Period i frekvencija su povezani jednačinom:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Načelo digitalnog mjerenja frekvencije signala vrlo je jednostavno.

12.2. MJERNA NESIGURNOST

Pri mjerenju frekvencije digitalnim frekventometrom dva su osnovna uzroka mjernoj nesigurnosti:

- pogreška kvantizacije, ili pogreška ± 1 digit (često je jednaka razlučivost digitalnog prikaza), i
- pogreška oscilatora (vremenske baze).

Proizvođači često ne navode ukupnu graničnu pogrešku vremenske baze, nego posebno tri najutjecajnija faktora:

- starenje, odnosno factor stabilnosti frekvencije oscilatora kroz dulje vrijeme, u_{stab} (npr. 3×10^{-7} /mjesec),
- utjecaj temperature, u_{temp} (npr. $5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, za temperaturni raspon od 0° C do 50° C),

- utjecaj napona napajanja, u_{nap} (npr. 1×10^{-7} za variranje napona unutar granica $\pm 10\%$ nazivnog).

Relativna nesigurnost vremenske baze se u tom slučaju, uz pretpostavku da se mjerilo umjerava jednom godišnje, može realno procijeniti kao:

$$u(T_B)_r = \sqrt{(12 * u_{\text{stab}})^2 + u_{\text{temp}}^2 + u_{\text{nap}}^2}$$

Za navedeni primjer je:

$$u(T_B)_r = \sqrt{(12 * 3 * 10^{-7})^2 + (5 * 10^{-8})^2 + (1 * 10^{-7})^2} = 3,60 * 10^{-6}$$

U ovom primjeru mjernu nesigurnost vremenske baze određuje starenje oscilatora, dok se ostale dvije komponente mogu zanemariti.

Dakle, realna procjena relativne nesigurnosti mjerenja frekvencije digitalnim frekventometrom jeste:

$$u(f)_r = \sqrt{\left(\frac{1}{N * \sqrt{3}}\right)^2 + [u(T_B)_r]^2}$$

gdje je N broj iskazan na digitalnom pokazniku (ne uzimajući u obzir decimalni zarez ili točku) pri mjernoj frekvenciji.

Pri mjerenju trajanja periode, spomenutim nesigurnostima treba dodati i nesigurnost okidanja ulaznog signala uzrokovanu pogreškom razine okidanja, pogreškom širine histereze i šumom u ulaznom signal. Dakle ukupna je nesigurnost određena s tri komponente:

- pogreška kvantizacije, ili pogreška ± 1 digit,
- pogreška vremenske baze (oscilatora),
- pogreška okidanja.

Nesigurnost uzrokovana pogreškom okidanja se procijenjuje prema apsolutnoj graničnoj pogreški kvantizacije koja ovisi o odabranom vremenu T_B :

$$p_a = \pm \Delta f = \pm \frac{1}{T_B}$$

a procjenjuje se izrazom:

$$u_{trig} = \frac{1,4 * \sqrt{e_{sul}^2 - e_{sbr}^2}}{\Delta e / \Delta t}$$

gdje je e_{sul} efektivna vrijednost napona šuma ulaznog signala, e_{sbr} efektivna vrijednost napona šuma brojila i $\Delta e / \Delta t$ nagib ulaznog signala u točki okidanja. Da bi dobili relativnu nesigurnost okidanja, prethodni izraz treba podijeliti s mjerenjem trajanja periode. Za procjenu ove komponente nesigurnosti potrebna je detaljna analiza signala i korištenog brojila. Ukoliko je mjerni signal niz pravokutnih impulsa, ova se komponenta nesigurnosti može zanemariti s obzirom da $\Delta e / \Delta t$ postaje velik. U tom slučaju se za procjenu relativne mjerne nesigurnosti mjerenja trajanja periode koristi:

$$u(t_p)_r = \sqrt{\left(\frac{1}{N * \sqrt{3}}\right)^2 + [u(T_B)_r]^2}$$

Pri mjerenju srednje vrijednosti trajanja periode kroz više perioda, a to se radi tako da se mjeri interval vremena u trajanju cjelobrojnog višekratnika (k) periode ulaznog signala, relativna mjerna nesigurnost trajanja periode se procijenjuje izrazom:

$$u(t_p)_r = \sqrt{\left(\frac{1}{k * N * \sqrt{3}}\right)^2 + [u(T_B)]^2 + \left(\frac{u_{trig}}{k * T_x}\right)^2}$$

12.3. PITANJA ZA PRIPREMA

Na pitanja za pripremu potrebno je obvezno odgovoriti:

1. Zašto se regulira temperatura oscilatora u brojilu?
2. Zašto je u digitalnom brojilu potreban T bistabil?
3. Nacrtajte blok shemu i opišite načelo rada digitalnog mjerika frekvencije.

4. Koliko iznosi pogreška kvantizacije digitalnog brojila?

12.4. RAD NA VJEŽBI

U laboratorijskoj vježbi potrebno je naučiti koristiti univerzalno digitalno brojilo za mjerenje frekvencije i periode signala, te procijeniti relativnu i apsolutnu mjernu nesigurnost mjerenja frekvencije pravokutnog napona za cijeli frekvencijski opseg za obje vrste mjerenja (frekvencije i trajanja periode).

12.5. MJERNA OPREMA

- Digitalno brojilo
- Funkcijski generator
- Spojni vodiči

12.6. POSTUPAK MJERENJA MJERNIM INSTRUMENTIMA

14.4.1. Mjerenje perioda i frekvencije

- Pogledati da li je na stolu sva oprema potrebna za mjerenje
- Uključiti digitalno brojilo i funkcijski generator da se zagriju na radnu temperaturu
- Proučiti upute u knjižici za digitalno brojilo
- Podesiti na izlazu funkcijskog generatora pravokutni oblik izmjeničnog napona amplitude od 100 mV
- Pozvati demonstratora ili nastavnika zbog provjere i početka mjerenja
- Pomoću univerzalnog digitalnog brojila potrebno je izmjeriti frekvenciju signala funkcijskog generatora od 0,1 Hz do maksimalne frekvencije koju može dati u 10 pravilno raspodjeljenih frekvencijskih točaka.
- Pomoću univerzalnog digitalnog brojila potrebno je mjeriti period signala funkcijskog generatora od 0,1 Hz do maksimalne frekvencije koju može dati u 10 pravilno raspodjeljenih frekvencijskih točaka.
- Svako mjerenje ponoviti 5 puta svakih 10 sekundi
- Instrument ne isključivati zbog stabilnosti rada oscilatora
- Izračunati mjernu nesigurnost svih deset mjernih rezultata

Vrsta (tip) i proizvođač digitalnog brojila: _____

Granična apsolutna pogreška: _____

Tablica mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za:

Mjerno područje: _____ ; Mjerni domet: _____

Redni broj mjerenja	Izmjerena vrijednost frekvencija Hz	Izmjerena vrijednost perioda s
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
\bar{f}	Mjerna nesigurnost frekvencije signala:	
\bar{T}	Mjerna nesigurnost periode signala:	

Postupak izračuna odrađenih primjera:

Tablica mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za:

Mjerno područje: _____ ; Mjerni domet: _____

Redni broj mjerenja	Izmjerena vrijednost frekvencija Hz	Izmjerena vrijednost perioda s
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
\bar{f}	Mjerna nesigurnost frekvencije signala:	
\bar{T}	Mjerna nesigurnost periode signala:	

Postupak izračuna odrađenih primjera:

Tablica mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za:

Mjerno područje: _____ ; Mjerni domet: _____

Redni broj mjerenja	Izmjerena vrijednost frekvencija Hz	Izmjerena vrijednost perioda s
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
\bar{f}	Mjerna nesigurnost frekvencije signala:	
\bar{T}	Mjerna nesigurnost periode signala:	

Postupak izračuna odrađenih primjera:

Tablica mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za:

Mjerno područje: _____ ; Mjerni domet: _____

Redni broj mjerenja	Izmjerena vrijednost frekvencija Hz	Izmjerena vrijednost perioda s
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
\bar{f}	Mjerna nesigurnost frekvencije signala:	
\bar{T}	Mjerna nesigurnost periode signala:	

Postupak izračuna odrađenih primjera:

Tablica mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za:

Mjerno područje: _____ ; Mjerni domet: _____

Redni broj mjerenja	Izmjerena vrijednost frekvencija Hz	Izmjerena vrijednost perioda s
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
\bar{f}	Mjerna nesigurnost frekvencije signala:	
\bar{T}	Mjerna nesigurnost periode signala:	

Postupak izračuna odrađenih primjera:

12.7. ZADACI ZA IZVJEŠTAJ

1. Nacrtati blok shemu modernog univerzalnog brojila.
2. Odredite frekvenciju signala sinusnog valnog oblika čija je kružna frekvencija 314 rad/s .
3. Univerzalno brojilo sa 6 znamenki mjeri frekvenciju od $78,32 \text{ kHz}$. Koliko će biti pokazivanje na digitalnom pokazniku ako je logički „I“ sklop otvoren 10 ms , 100 ms , 1 s i 10 s .

4. Kako pogreška okidanja utječe na točnost mjerenja frekvencije?

5. Koje zahtjeve postavljamo pred oscilator ugrađen u univerzalno brojilo?

12.8. KOMENTARI I PRIJEDLOZI ZA POBOLJŠANJE VJEŽBE