Mr Milovan Unković,
dipl. inž.
VP 2342-20, Radovići

AUTOMATIZOVANO ODREĐIVANJE GREŠKE LINEARNOSTI TESTERASTOG NAPONA I NAPONA RAMPE

UDC: 621.373.13.08

Režime:

Linearnost testerastog napona i napona rampe važne su karakteristike generatora funkcija i generatora sa prebrisavanjem frekvencije. Pri testiranju ovih instrumenata utvrđuje se greška linearnosti za testerasti signal i signal rampe. Za utvrđivanje greške linearnosti, metodom merenja korak po korak, potrebno je mnogo vremena. Međutim, ako se koristi automatizovani metod merenja sa sistemskim voltmetrom HP 3437A, kompletni rezultati dobijaju se za 2 do 3 minuta.

Ključne reči: generator funkcija, generator sa prebrisavanjem frekvencije, testerasti napon, napon rampe, greška linearnosti.

AUTOMATIC DETERMINATION OF THE TRIANGLE AND RAMP VOLTAGE LINEARITY ERROR

Summary:

Triangle and ramp voltage linearity are important characteristics of function and sweep generators. In performance test for these instruments linearity error for triangle and ramp signals is established. When using the step-by-step measuring method the process of the establishing linearity error can be very time consuming. However, system voltmeter HP 3437A, as obtain the complete measuring results in 2—3 minutes.

Key words: function generator, sweep generator, triangle voltage, ramp voltage, linearity error.

Uvod

Generatori funkcija, pored sinusoidnog i četvrtastog, generišu i trougaozne (testeraste) signale. Neki generatori funkcija generišu i signal pozitivne i negativne rampe. Generatori sa prebrisavanjem frekvencije (svip generatori) takođe generišu signal rampe. Jedna od karakteristika generatora funkcija koja se pri etaloniranju obavezno testira jeste linearnost testerastog napona. Pri etaloniranju svip generatora obavezno se ispituje linearnost signala rampe. Utvrđivanje greške linearnosti testerastog napona i napona rampe može se izvoditi manuelno, korak po korak, ali zahvaljujući HP-IB priključ-

cima mernih instrumenata proces merenja i obrade rezultata može se potpuno automatizovati. Bez obzira na to o kojoj metodi se radi, ključni merni instrument koji se koristi jeste sistemski voltmetar HP 3437A.

U ovom radu prezentirana je automatizovana metoda utvrđivanja greške linearnosti testerastog napona i napona rampe.

Merenje napona u pojedinim tačkama testere ili rampe

Sistemski voltmetar HP 3437A posebno je koristan kada se koristi sa osciloskopom. Kada se koristi zakasnela

vremenska baza osciloskopa sa voltmetrom HP 3437A, dolazi do poboljšavanja tačnosti osciloskopa. Na slici 1 pokazano je na koji način se koristi osciloskop sa voltmetrom HP 3437A pri merenju napona u pojedinim tačkama sinusoidnog, četvrtastog ili testerastog signala generatora funkcija.

pe ili testere. Okidanje se vrši negativnom ivicom okidnog signala. Digitalna logika kašnjenja voltmetra HP 3437A ima mogućnost da zakasni spoljni okidni signal od 0 do 1 sekunde (u koracima od 100 ns) i može interno generisati 9999 okidnih signala (za svaki primljeni eksterno generisani okidni

Sl. 1 — Proširenje mernih mogućnosti osciloskopa korišćenjem sistemskog voltmetra HP 3437A

Sistemska voltmetar HP 3437A koristi se za merenje testerastog napona i napona rampe. Na slici 2 pokazan je način merenja u pojedinim tačkama testerastog napona generatora funkcija HP 3325A.

signal) sa frekvencijom od 1 Hz do 5700 Hz. Interno generisani okidački signali iniciraju merenje do 9999 tačaka, pri čemu je maksimalna frekvencija merenja 5700 tačaka (uzoraka) u sekundi.

Sl. 2 — Merenje u pojedinim tačkama testerastog napona voltmetrom HP 3437A

Pri merenju se koristi spoljni okidački signal (trigger) koji na ulaz EXT.TRIG voltmetra 3437A (nalazi se na zadnjoj ploči) dolazi sa izvora ram-

Slike 3 i 4 pojašnjavaju način merenja sa HP 3437A.

Na slici 3 je prikazano merenje u tački koja kasni za okidačkim signa-

lom 200 ms (DELAY=200 ms). Pošto je NRDGS=1 (broj čitanja) to se generiše samo jedan interno generisani okidački signal koji kasni 200 ms iza spoljašnjeg okidačkog signala.

Na slici 4 prikazano je uzorkovanje ulaznog napona u 1000 tačaka sa kašnjenjem 1 ms između dveju susednih tačaka. Naime, komande NRDGS=

1000 puta u intervalima od 1 ms. U vremenu između uzimanja uzoraka poslednja vrednost izmerenog napona se digitalizuje i šalje na HP-IB izlaz voltmetra. Voltmetar HP 3437A radi u tri opsega: 0,1; 1,0 i 10 V sa mogućnošću merenja do $\pm 19,98$ V (prekoračenje od 100% na svakom opsegu).

Obzirom da u praktičnim primenama napon testere ili rampe ne pre-

Sl. 3 — Merenje u tački koja kasni za okidačkim signalom za vreme t

Sl. 4 — Uzorkovanje ulaznog napona 1000 tačaka sa kašnjenjem od 1 ms

=1000 i DELAY=1 ms označavaju da se generiše 1000 internih okidačkih signala tako da se ulazni signal uzorkuje

koračuje navedenu maksimalnu vrednost, to se posebno mora voditi računa o amplitudi spoljašnjeg okidačkog sig-

nala. Predviđeno je da se HP 3437A okida TTL signalom (negativnom-padajućom ivicom). Ukoliko se TTL nivo logičke jedinice (5 V) prekorači, moguće je da dođe do uništenja EXT.TRG ulaza. U tom slučaju moraju se koristiti oslabljivači. Oslabljiivači se nekada koriste i za slabljenje ulaznog napona testere (rampe). U nekim slučajevima nivo okidačkog signala koji reprezentuje TTL logičku jedinicu je nedovoljan, pa se moraju koristiti pojačavači za pojačavanje okidačkog signala. Primer je generator funkcija HP 3312 kod koga se merenje testerastog napona izvodi prema šemi povezivanja mernih instrumenata prikazanoj na slici 5.

mer za generator funkcije HP 3325 ova greška je $\pm 0,05\%$), mora se voditi računa o izboru kablova za povezivanje generatora funkcije i sistemskog voltmetra, a nekada se testerasti signal pre uvođenja u sistemski voltmetar filtrira kroz filter propusnik niskih frekvencija.

Proračun »idealnog napona testere ili rampe«

Neka je u xOy ravni dato n tačaka sa koordinatama (x_i, y_i) . Potrebno je definisati kriterijum po kome će pravac:

Sl. 5 — Merenje testerastog napona pri nedovoljnom nivou okidačkog signala

Ovde se koristi pojačavač od 20 dB da bi se dobio zadovoljavajući nivo okidačkog signala. Pri merenju napona u pojedinim tačkama testere sistemskim voltmetrom 3437A vrlo važno je da se nađe odnos testerastog napona i okidačkog signala. Razlikuju se tri slučaja:

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa negativnim vrhom (minimumom) testere,

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa pozitivnim vrhom (maksimumom) testere,

— negativna ivica okidačkog impulsa se poklapa sa 0 V testere.

Ovi uslovi se mogu uzeti u obzir pri programiranju izbora mernih tačaka na testerastom naponu.

Ukoliko je greška linearnosti testerastog napona izrazito mala (na pri-

$$y = ax + b \quad (1)$$

prolaziti najbliže navedenim tačkama.

Greška (po ordinati) između stvarne i idealne koordinate je:

$$V_i = y_i - y = y_i - ax_i - b \quad (2)$$

Za određivanje koeficijenta a i b u jednačini (1) koristi se Gaussova metoda najmanjih kvadrata (3) po kojoj je suma kvadrata grešaka minimalna, tj:

$$V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 = \min \quad (3)$$

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i = 0 \quad (4)$$

Iz jednačine (2) sledi:

$$\sum_{i=1}^n V_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 = F(a, b) \quad (5)$$

Po metodi najmanjih kvadrata funkcija $F(a,b)$ mora biti minimalna, pa je:

$$\frac{\partial F(a,b)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)X_i = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial F(a,b)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0$$

Iz sistema jednačina (6) dobija se sledeći sistem jednačina po a i b :

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i - a \sum_{i=1}^n X_i^2 - b \sum_{i=1}^n X_i = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i - a \sum_{i=1}^n X_i - b \sum_{i=1}^n 1 = 0$$

Linearne jednačine iz sistema (7) po a i b se zovu normalne jednačine. Rešavajući sistem jednačina (7) po a i b dobija se:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - a \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (9)$$

Primer:

Date su tačke: (1; 4,2); (2; 1,67); (3; 2,01); (4; 2,92); (5; 3,47) (6; 3,61).

Treba naći pravu koja prolazi najbliže ovim tačkama. Koristeći metod najmanjih kvadrata dobija se sistem jednačina:

$$\begin{aligned} 61,48 - 91a - 21b &= 0 \\ 15,10 - 21a - 6b &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Rešenja ovog sistema su:

$$a = 0,493 \text{ i } b = 0,79 \quad (11)$$

a jednačina prave je:

$$y = 0,493x + 0,79 \quad (12)$$

Odnos ove idealne prave i zadanih tačaka prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1

X_i	Y_i	$Y_{\text{na pravo}}$	V_i
1	1,42	1,28	0,14
2	1,67	1,78	-0,11
3	2,01	2,27	-0,26
4	2,92	2,76	0,16
5	3,47	3,26	0,21
6	3,61	3,37	-0,14
			$\sum V_i = 0$

Navedeni primer na ilustrativan način prikazuje način određivanja idealne prave iz zadatih tačaka i računanje greške u pojedinim tačkama (greške su date u apsolutnom iznosu).

U skladu sa tačkom 1.188 Standarda JUS. G7.102 [4] greška linearnosti Δf je greška zavisnoprmenljive u odnosu na idealnu pravu liniju (slika 6).

Greška linearnosti testerastog napona rampe uvek se izražava u procentima. Greška linearnosti računa se u intervalu 10%, 90% maksimalne vrednosti napona.

Prema tome, bilo da se greška linearnosti testerastog napona ili rampe određuje ručno ili automatski, postupak je sledeći:

— meri se napon u pojedinim tačkama testere (rampe) pri čemu se tačke nalaze u dijapazonu (10,90)% vršne vrednosti napona. Prvo se odredi po-

četna tačka, a zatim se sledeće tačke uzimaju za fiksno vremensko kašnjenje. Ne bi trebalo uzimati manje od 9 tačaka;

serijskom broju instrumenta koji se testira, frekvenciji ulaznog signala, datumu testiranja i broju test-tačaka. Maksimalni broj test-tačaka je 250.

Sl. 6 — Greška linearnosti del f

— iz izmerenih vrednosti napona računa se idealni napon po formulama (8) i (9);

— proračunava se greška linearnosti kao razlika izmerenog napona i »idealnog napona«.

Povezivanje mernih instrumenata za automatsko određivanje greške linearnosti prikazano je na slici 7.

Opis programa za određivanje greške linearnosti

Početni deo programa omogućava upis osnovnih podataka o amplitudi ulaznog napona, slabljenju, modelu i

Program je pisan modularno, a sastoji se od četiri potprograma. Potprogramom *Ucit* očitava se vrednost napona, potprogramom *Kasn* postavlja se kašnjenje, potprogramom *Vcit* čita se ulazni napon da bi se postavio opseg, a potprogramom *Ops* postavlja se opseg merenja.

Ukoliko se radi o testeru, merenja se posebno vrše za rastući, a posebno za padajući deo testere. Kašnjenje se posebno postavlja za tri navedena slučaja odnosa testerastog napona i okidačkog signala.

Da bi se smanjila slučajna greška obračunava se srednja vrednost iz pet očitavanja. Nakon izvršenog merenja, program pristupa računanju »idealnog

Sl. 7 — Povezivanje mernih instrumenata za automatsko određivanje greške linearnosti

napona«, a zatim se proračunava greška linearnosti u procentima, koja se upoređuje sa dozvoljenom greškom.

Ukoliko se merenje obavlja u deset tačaka, čitav proces merenja, obrade rezultata merenja i štampanje rezultata traje 2 do 3 minuta.

Prikazivanje rezultata merenja

Nakon izvršenog merenja i obrade rezultata rezultati se štampaju na štampaču.

Posebno za pozitivan nagib i posebno za negativan nagib, daju se sledeći podaci: redni broj merne tačke, kašnjenje od okidačkog impulsa (u sekundama), izmereni napon, »idealni napon« i greška u procentima. Ukoliko su greške veće od dozvoljenih, uz vrednost greške upisuje se zvezdica (*).

Ispod navedenih rezultata upisana je dozvoljena maksimalna greška u procentima od vršnog napona. Ispod ovog podatka dozvoljena greška je da-

Tabela 2

Linearnost testerastog napona					Model: HP 3321A			
Serijski broj: 502G02206					Datum: 26.09.1996.			
Frekvencija: 5000,00 Hz; Vršni napon: 10,0 V; Slabljenje: 1,00X								
Pozitivni nagib:					Negativni nagib:			
Merna tačka	Kašnjenje od trig(s)	Izme- reni napon (V)	Idealni napon (V)	Greška (%)	Kašnjenje od trig(s)	Izme- reni napon (V)	Idealni napon (V)	Greška (%)
1.	0,0000100	−7,540	−7,575	0,355	0,0001100	8,004	8,081	−0,767
2.	0,0000153	−6,580	−6,573	−0,066	0,0001153	7,058	7,086	−0,277
3.	0,0000207	−5,580	−5,571	−0,087	0,0001207	6,074	6,091	−0,168
4.	0,0000260	−4,592	−4,569	−0,228	0,0001260	5,104	5,096	0,081
5.	0,0000313	−3,598	−3,567	−0,310	0,0001313	4,128	4,101	0,271
6.	0,0000363	−2,576	−2,565	−0,111	0,0001367	3,134	3,106	0,280
7.	0,0000420	−1,567	−1,563	−0,044	0,0001420	2,158	2,111	0,469
8.	0,0000473	−0,560	−0,561	0,003	0,0001473	1,180	1,116	0,637
9.	0,0000527	0,464	0,441	0,222	0,0001527	0,207	0,121	0,858
10.	0,0000580	1,469	1,444	0,259	0,0001580	−0,804	−0,874	−0,697
11.	0,0000633	2,464	2,446	0,184	0,0001633	−1,934	−1,869	−0,653
12.	0,0000687	3,472	3,448	0,243	0,0001687	−2,940	−2,864	−0,764
13.	0,0000740	4,454	4,450	0,042	0,0001740	−3,910	−3,859	−0,515
14.	0,0000793	5,434	5,452	−0,179	0,0001793	−4,886	−4,853	−0,326
15.	0,0000847	6,414	6,454	−0,400	0,0001847	−5,866	−5,848	−0,176
16.	0,0000900	7,468	7,456	0,118	0,0001900	−6,808	−6,843	0,353
Dozvoljena greška 1,000% od vršnog napona.								
Idealni NAPON ± 0,1000 V								
Max. neg. greška: −0,400%					Max. neg. greška: −0,767%			
Max. poz. greška: 0,355%					Max. poz. greška: 0,858%			

ta u apsolutnom iznosu u obliku *Idealni NAPON* $\pm G_{\text{apsol}}$, gde je G_{apsol} maksimalna apsolutna dozvoljena greška. Takođe, daje se maksimalna pozitivna i maksimalna negativna greška. U tabeli 2 prikazani su rezultati jednog merenja linearnosti testerastog napona.

Program za određivanje linearnosti rampe jeste modifikacija programa za određivanje greške linearnosti testere. Naime, ukoliko se radi o pozitivnoj rampi, merenja se vrše samo na pozitivnom nagibu, a pri štampanju rezultata ispod naslova *negativni nagib* navode se samo nule. Slično je za negativnu rampu.

Zaključak

Linearnost testerastog napona i napona rampe važne su karakteristike generatora funkcija i svip generatora i obavezno se proveravaju pri etaloni-ranju ovih izvora signala. Ukoliko se merenja i proračun greške linearnosti testerastog napona i napona rampe vrše bez primene računara, ovaj proces može trajati i do dva sata. Međutim, ukoliko se koristi automatizovana metoda merenja, opisana u ovom radu, čitav postupak traje 2 do 3 minuta. Ne samo da se na ovaj način dobija u vremenu, već se postiže i veća tačnost merenja. Naime, svako merenje se ponavlja po pet puta, pa se time smanjuje uticaj slučajnih grešaka na rezultate merenja.

Literatura:

- [1] System Voltmeter HP 3437A, Operating and Service Manual, Loveland, Co., USA, 1976.
- [2] Synthesiser / function generator HP 3325A, Operating and Service Manual, Loveland, Co., USA, 1978.
- [3] Vranić, V.: Vjerojatnost i statistika, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
- [4] JUS.G7.102: Signal generatori — Termini i definicije, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1988.