Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo
Tržaška 25
61000 Ljubljana

Senzorji in pretvorniki – laboratorijske vaje

Leon Kos, 4. letnik, Avtomatika – Robotika

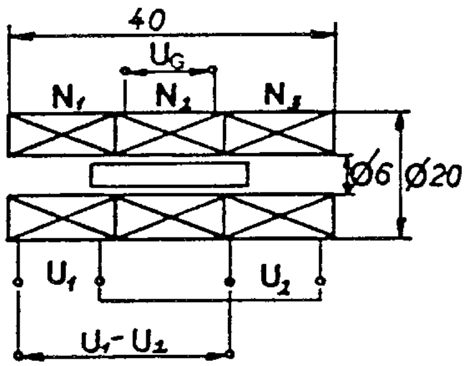
5. december 1995

1 Naloga

Pri dani napajalni napetosti izmerite karakteristiko linearnega diferencialnega transformatorja. Določite območje linearnosti za 0.5, 1 in 2% nelinearnosti. Izmerite preostalo napetost v ničelni legi U_0 in uporabite vezje za njeno kompenzacijo.

2 Analiza vezja

Diferencialni transformator (slika 1) vzbujamo s sinusnim generatorjem, ki je zgrajen z Wienovim oscilatorjem (slika 2).

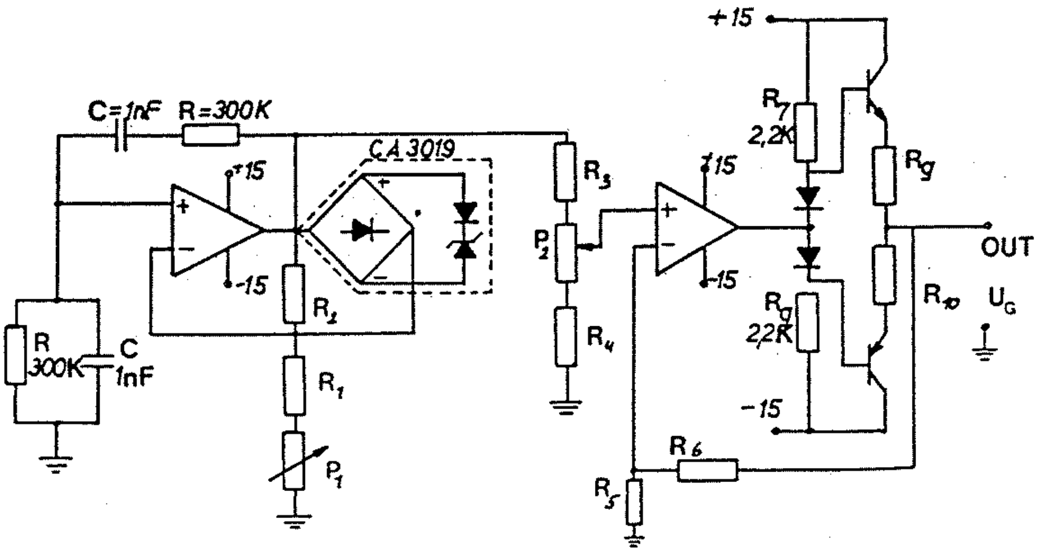


Slika 1: Diferencialni transformator

Wienov mostič ima frekvenco osciliranja

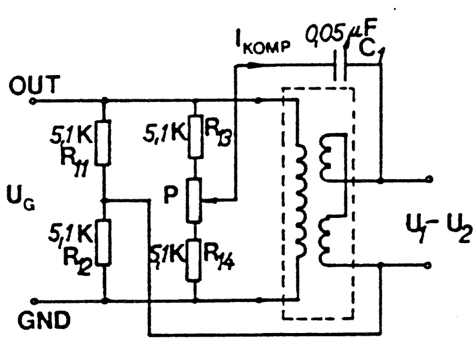
$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

in pogoj sinusnega nihanja pri ojačanju $A = 3$, ki ga nastavimo s potencionmetrom P_1. S potenciometrom P_2 nastavljamo amplitudo izhodnega ojačevalnika.



Slika 2: Oscilator z Wienovim mostičem in izhodni ojačevalec

Kompenzacijo ničelne napetosti izvedemo z vezjem na sliki 3, ki je referenčni transformator s fiksiranim jedrom. Oba diferencialna transformatorja imata enaki karakteristiki. Tako se se izhodna karakteristika z nastavljanjem kompenzacijskega toka linearno pomika po celem obsegu.



Slika 3: Vezje za kompenzacijo ničelne napetosti

3 Rezultati

Izmerjena je bila karakteristika diferencialnega transformatorja za polni obseg. Izmerjene izhodne napetosti brez kompenzacijskega vezja prikazuje tabela 1. V ničelni legi je imel diferencialni transformator $7.7mV$ ničelne napetosti, ki je bila kasneje kompenzirana z vezjem in izmerjena na $2.7mV$.

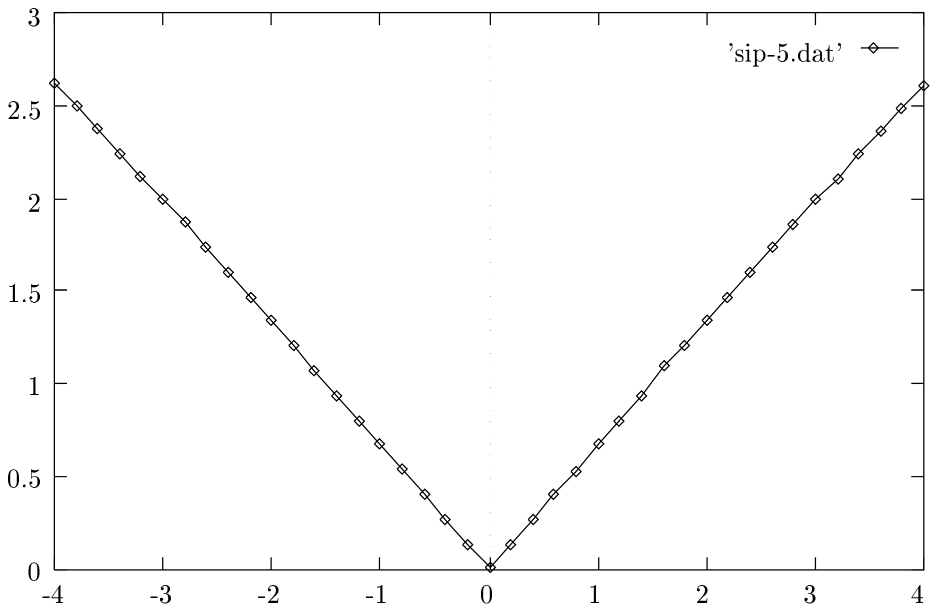
Pomik /mm	Izhod /V	Pomik /mm	Izhod /V
		0.0	0.0077
-4.0	2.62	0.2	0.135
-3.8	2.50	0.4	0.271
-3.6	2.37	0.6	0.407
-3.4	2.24	0.8	0.532
-3.2	2.12	1.0	0.677
-3.0	1.994	1.2	0.807
-2.8	1.869	1.4	0.942
-2.6	1.731	1.6	1.097
-2.4	1.602	1.8	1.209
-2.2	1.471	2.0	1.341
-2.0	1.345	2.2	1.467
-1.8	1.214	2.4	1.605
-1.6	1.075	2.6	1.738
-1.4	0.940	2.8	1.864
-1.2	0.804	3.0	1.989
-1.0	0.676	3.2	2.11
-0.8	0.547	3.4	2.24
-0.6	0.407	3.6	2.36
-0.4	0.268	3.8	2.49
-0.2	0.136	4.0	2.61

Tabela 1: Izmerjene lastnosti merilnika pomika

Slika 4 prikazuje karakteristiko diferencialnega transformatorja. Zaradi omejitev pri pomiku, je videti karakteristika dokaj linearna. Od največjega obsega bi bilo možno izmeriti še kakih 0.5 mm več, vendar so bile te meritve opuščene zaradi prikaza simetrije transformatorja.

Za določitev najboljše premice, ki ima najmanjšo napako v celotnem izmerjenem obsegu, lahko uporabimo regresijsko premico, ki ima enačbo

$$p = a + bx$$



Slika 4: Karakteristika merilnika pomika

in je določena s številoma a in b, ki ju izračunamo z metodo najmanjših kvadratov, iz česar izhaja:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

kjer je

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

in

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

Za podatke iz tabele 1 so bile izračunane naslednje vrednosti regresijske premice:

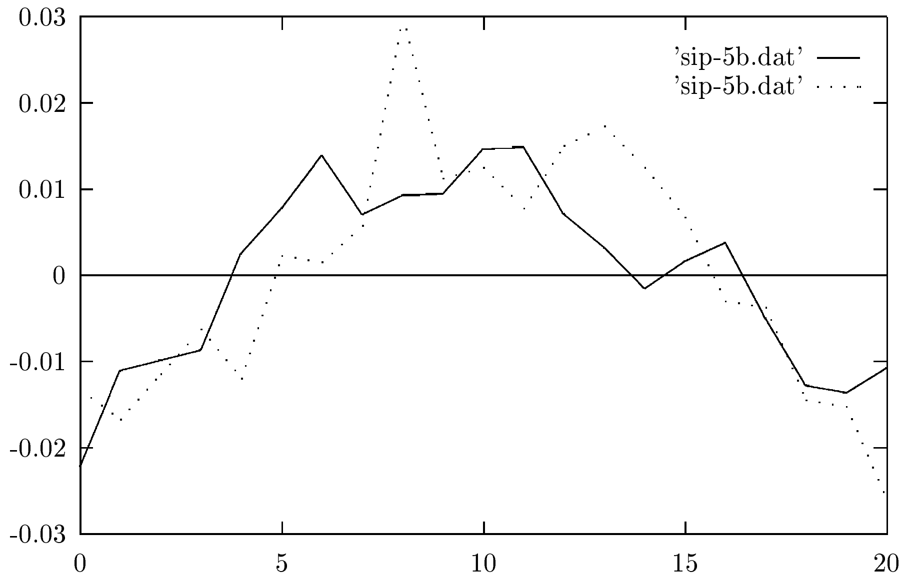
```
Negativna regresijska premica:
n =  21
x =  -42  y =  27.9367
xx =  114.8  yy =  50.4198
xy =  -76.077
mx =  -2  my =  1.33032
```

```
Regresijska premica: y = a + bx,  a =  0.018397  b =  -0.655961

Pozitivna regresijska premica:
n =  21
x =  42  y =  27.8987
xx =  114.8  yy =  50.2316
xy =  75.9332
mx =  2  my =  1.32851
Regresijska premica: y = a + bx,  a =  0.02099  b =  0.65376
```

Pripadajoči program za izračun regresijskih koeficientov je bil napisan v jeziku AWK:

```
BEGIN {
  init();
  prehod = 0;
}

END {
  print "\nPozitivna regresijska premica:"
  izpis();
}

{  /* glavna zanka */
  suma();

  if ($1 >= 0 && !prehod) /* $ */
    {
      print "\nNegativna regresijska premica:"
      izpis();
      init();
      suma();
      prehod++;
    }
}

/* Inicializacija vsot */
function init()
{
  x = 0;
  y = 0;
  xx = 0;
  yy = 0;
  xy = 0;
  n = 0;
}

/* Vsote ene vrstice */
function suma()
```

```
{
  x += $1;
  y += $2;
  xx += $1 * $1;
  yy += $2 * $2;
  xy += $1 * $2;
  n++;
  /* print "n:", n, " x = ", $1, " y = ", $2 */
}

/* Izpis vsote in regresijskih koeficientov */
function izpis()
{
  print "n = ", n
  print "x = ", x, " y = ", y
  print "xx = ", xx, " yy = ", yy
  print "xy = ", xy
  mx = x/n;
  my = y/n;
  print "mx = ", mx,  " my = ", my
  b = (xy - n*mx*my)/(xx - n*mx*mx);
  a = my - b*mx;
  print "Regresijska premica: y = a + bx,  a = ", a, " b = ", b
}
```



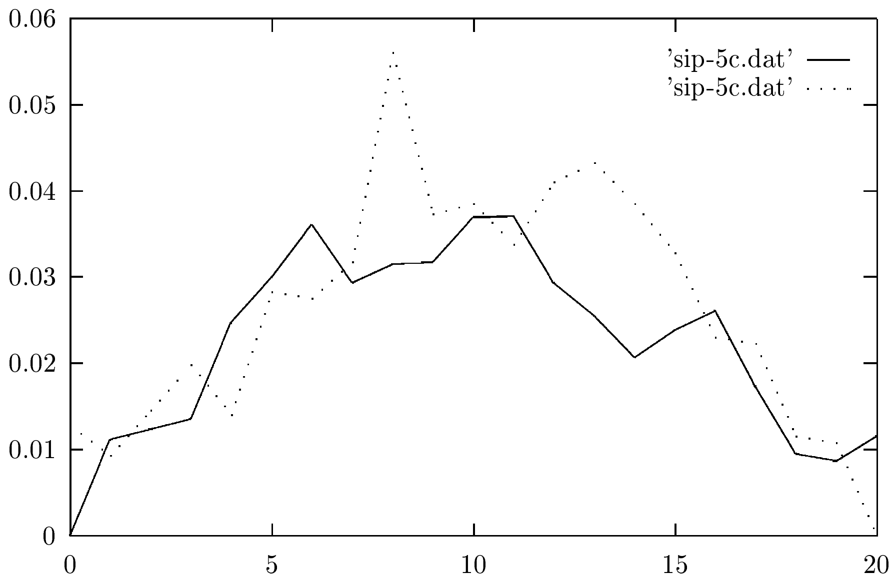
Slika 5: Napaka regresijske premice na negativni in pozitivni smeri

Iz slike 5 je razvidno, da obstaja ukrivljenost karaktereistike, ki je enaka tako za negatiivno, kot za pozitivno smer in ni le posledica napak pri meritvah.

4 Določanje območja nelinearnosti

Zahtevano je bilo določiti območja nelinearnosti za 0.5%, 1% in 2% nelinearnosti. Če vrednosti napak iz slike 5 ustrezno premaknem, da dobimo le pozitivne vrednosti, lahko ocenimo nelinearnost za izmerjeni obseg. Slika 6 prikazuje premaknjene napake regresijske premice. Nelinearnost celotnega obsega ($\pm 4mm$) lahko zaradi podobnosti karakteristike negativne in pozitivne smeri, podamo kot

$$e_0 = \frac{\Delta U_{max}}{U_{max} - U_0} = \frac{55mV}{2.6V} = 2.1\%$$



Slika 6: Korigiranje napake regresijske premice na negativni in pozitivni smeri

Iz slike 6 je razvidno tudi da, če bi želeli imeti na polovici obsega nelinearnost 1%, bi morala največja napaka znašati

$$e_{1\%} = \frac{2.6V}{2} \cdot 1\% = 13mV$$

Ker napaka linearnosti ni gladka, lahko predvidevamo, da je vpliv merilnih napak pri določanju 0.5 % obsega nelinearnosti prevelik in bi morali popreje narediti analizo zanesljive meje pogreška posamezne meritve. Iz slike 6, bi sicer lahko rekli, da je obseg nelinearnosti za 1 % nelinearnosti enak 2 mm, vendar z omenjeno rezervo.