



Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko

Univerza v Mariboru,
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

MERITVE V ELEKTRONIKI
1. letnik VS

POROČILO

Maribor, 2013

Univerza v Mariboru,
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

MERITVE V ELEKTRONIKI
1. letnik VS

Poročilo

LABORATORIJSKIH VAJ

MERITVE V ELEKTRONIKI

Avtor:
Gregor Nikolić

Maribor, 2013

KAZALO

1. UVOD	8
2. Meritve napetosti	9
2.1 Meritev enosmerne napetosti	9
2.2 Meritev izmenične napetosti	9
2.3 Vezalna shema	9
2.4 Seznam uporabljene opreme	9
2.4.1 Napetostni generator HAMEG HM 7042-3	10
2.4.2 Digitalni multimeter HAMEG GM 8011-3	10
2.4.3 Osciloskop Rigol DS1102E.....	11
2.4.4 Analogni multimeter Univo 673724	11
2.5 Meritve	11
2.6 Izračuni	14
3. SPOZNAVANJE IN UPORABA OSCILOSKOPA	21
3.1 Kalibriranje osciloskopa	21
3.2 Meritev upornosti in kapacitivnosti vhodnega ojačevalnika in sonde	22
3.3 Meritev izmenične napetosti	25
3.4 Meritev nizkofrekvenčne napetosti	28
3.5 Meritev frekvence in časa	29
3.5.1 Meritev frekvence	29
3.5.2 Meritev časa.....	29
3.6 Meritve v X-Y načinu z izklopom časovne baze	30
3.6.1 Prenosna funkcija neznanega merjenja	30
3.6.2 Preklopna karakteristika neznanega merjenja	32
3.6.3 Meritev faznega kota.....	33
3.7 Osciloskop z digitalnim pomnilnikom	37
3.7.1 Meritve in rezultati	38
4. MERILNI OJAČEVALNIK	40
4.1 Meritev nekaterih lastnosti ojačevalnikov	40
4.1.1 Meritve in rezultati	44
5. UPORABA OPERACIJSKEGA OJAČEVALNIKA	50
5.1 N-N pretvornik – vezje a)	51
6. IZBRANI MERILNI POSTOPKI	51
6.1 Meritev vršne napetosti	51
6.1.1 Meritve in rezultati	52

KAZALO SLIK, TABEL, GRAFIKONOV, ENAČB

Slika 1 Vezalna shema za meritev napetosti.....	9
Slika 2 Kalibrirni signal osciloskopa - amplituda.....	21
Slika 3 Kalibrirni signal osciloskopa - frekvenca.....	21
Slika 4 Vezava za kalibriranje osciloskopa.....	22
Slika 5 Pričakovan signal v primeru, ko je $C_n \ll C_{osc}$	23

Slika 6 Pričakovan signal v primeru, ko je $C_n \gg C_{osc}$	23
Slika 7 Shema za izračun napetosti osciloskopa.....	23
Slika 8 Vezava za merjenje kapacitivnosti sonde.....	25
Slika 9 Vezalna shema za merjenje prenosne funkcije.....	30
Slika 10 Shema neznanega merjenca.....	31
Slika 11 Elipsa.....	35
Slika 12 Elipsa 2.....	36
Slika 13 Vezalna shema za merjenje kvazistabilnega stanja.....	37
Slika 14 1. vezje za merjenje V_{os} napetosti.....	40
Slika 15 2. vezje za merjenje V_{os} napetosti.....	40
Slika 16 Vezje za merjenje napetostnega ojačenja.....	41
Slika 17 Vezje za merjenje vhodnih tokov I_b in I_{os}	41
Slika 18 Vezave ojačevalnikov za merjenje tranzientne frekvence.....	42
Slika 19 Vezava ojačevalnika za merjenje SR (Slew Rate).....	42
Slika 20 Vezavi ojačevalnika za merjenje enosmernega rejekcijskega faktorja.....	43
Slika 21 Vezavi ojačevalnikov za meritev vpliva napajalne napetosti na izhodno napetost.....	43
Slika 22 Vezava za merjenje scintilacijskega šuma.....	47
Slika 23 Vezave operacijskega ojačevalnika.....	50
Slika 24 Vezave peak detektorja.....	51
Slika 25 Peak detektor z operacijskim ojačevalnikom.....	52
Tabela 1 Izmerjene vrednosti enosmerne napetosti.....	12
Tabela 2 Izmerjene vrednosti izmenične napetosti.....	12
Tabela 3 Odstopanja od referenčne vrednosti napetosti.....	14
Tabela 4 Izmerjene vrednosti amplitude majhnih signalov.....	15
Tabela 5 Izmerjene vrednosti amplitude relativno velikih signalov.....	16
Tabela 6 Izmerjene vrednosti napram frekvenci.....	18
Tabela 7 Izračun pogreškov za meritev enosmerne napetosti.....	19
Tabela 8 Izračun pogreškov za meritev izmeničnih napetosti.....	20
Tabela 9 Pravokotni signal - rezultati.....	26
Tabela 10 Trikotni signal 1 kHz - Rezultati.....	27
Tabela 11 Trikotni signal 500 kHz - Rezultati.....	27
Tabela 12 Trikotni signal 5 MHz - Rezultati.....	28
Tabela 13 Rezultati meritev - FG - DG1022.....	29
Tabela 14 Rezultati meritev - FG - 8030-3.....	29
Tabela 15 Rezultati meritev V_{os} za 1. in 2. vezje.....	44
Tabela 16 Rezultati meritev ojačenja operacijskih ojačevalnikov.....	45
Tabela 17 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov.....	45
Tabela 18 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov.....	45
Tabela 19 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov.....	46
Tabela 20 Rezultati meritev ter izračunov tranzientne frekvence ojačevalnika.....	46
Tabela 21 Rezultati meritev SR.....	46
Tabela 22 Rezultati meritev in izračunov CMRR za prvo in drugo vezje.....	47
Tabela 23 Rezultati meritev vpliva napajalne napetosti na izhodno napetost PSSR.....	47
Tabela 24 Kombinacije upora R_1 in kondenzatorja C_1	47
Tabela 25 Rezultati meritev izhodne napetosti pri različnih kombinacijah.....	48
Tabela 26 Rezultati izračuna scintilacijskih šumov.....	48
Tabela 27 Rezultati meritev območja izhodne napetosti ojačevalnika.....	48
Tabela 28 Rezultati meritev N-N pretvornika.....	51
Grafikon 1 Izmerjene vrednosti napram referenčni vrednosti.....	13

Grafikon 2 Izmerjene vrednosti napram referenčni vrednosti	13
Grafikon 3 Odstopanja meritev enosmerne napetosti od referenčne vrednosti	14
Grafikon 4 Odstopanja meritev izmenične napetosti od referenčne vrednosti	15
Grafikon 5 Meritev amplitude signala napram frekvenci - referenca 30 mVpp	16
Grafikon 6 Meritev amplitude signala napram frekvenci - referenca 4 Vpp	17
Grafikon 7 Izmerjene vrednosti v odvisnosti od frekvence	18
Grafikon 8 Merilna negotovost napram merjeni napetosti	20
Grafikon 9 Pravokotni signal 1 Vpp, 1 kHz	26
Grafikon 10 Trikotni signal - 1 kHz	26
Grafikon 11 Trikotni signal - 500 kHz	27
Grafikon 12 Trikotni signal 5 MHz	28
Grafikon 13 Vhodni signal 1 Vpp 20 Hz	28
Grafikon 14 AC in DC signala, ki se ne razlikujeta za več kot 10%	29
Grafikon 15 Pravokotni impulz	30
Grafikon 16 Prenosna karakteristika pri f=1 kHz	31
Grafikon 17 Prenosna karakteristika pri f=10 kHz	31
Grafikon 18 Potek signala pri frekvenci 2 kHz	32
Grafikon 19 Preklopna karakteristika pri frekvenci 2 kHz	32
Grafikon 20 Potek signala pri frekvenci 100 Hz	33
Grafikon 21 Preklopna karakteristika pri frekvenci 100 Hz	33
Grafikon 22 Združeni preklopni karakteristiki	33
Grafikon 23 Potek signala pri frekvenci 100 Hz – izhodni signal prehiteva	34
Grafikon 24 Potek signala pri frekvenci 1 kHz – izhodni signal zaostaja	34
Grafikon 25 X-Y način - elipsa pri frekvenci 100 Hz	35
Grafikon 26 X-Y način - elipsa pri frekvenci 1 kHz	35
Grafikon 27 Odčitek podatkov a in b pri f = 100 Hz	36
Grafikon 28 Odčitek podatkov a in b pri f = 1 kHz	37
Grafikon 29 Razmerje C in R - čas trajanja impulza (datasheetcatalog)	38
Grafikon 30 1. meritev impulza t = 1,18 s	38
Grafikon 31 2. meritev impulza t = 1,17 s	39
Grafikon 32 3. meritev impulza t = 1,17 s	39
Grafikon 33 Vos napetosti podane v grafikonu	44
Grafikon 34 Frekvenčna karakteristika ojačevalnik UA741 brez povratne vezave	49
Grafikon 35 Frekvenčna karakteristika ojačevalnik TL081 brez povratne vezave	49
Grafikon 36 Primer, ko peak detektor ne uspe slediti	52
Grafikon 37 Primer boljšega sledenja peak detektorja z odstopanjem	53

$$2 V \text{ do } 1000 V \pm (0,05\% n.v. + 0,005\% n.o.) \quad (2.1) \quad 19$$

$$200 mV \pm (0,05\% n.v. + 0,01\% n.o.)$$

$$E_m = \pm \frac{r}{100} \cdot x_i \quad (2.2) \quad 19$$

$$E_m = \pm \frac{0,05\% \cdot n.v. [mV] + 0,01\% \cdot n.o. [mV]}{100\%} \quad (2.3) \quad 19$$

$$U_{osc}(t) = \frac{U_g(t) \cdot R_{vh}}{R_{vh} + R_n} = U_g(t) \frac{1 M\Omega}{1 M\Omega + 9 M\Omega} = \frac{1}{10} U_g(t) \quad (3.1) \quad 23$$

$$U_{osc}(t) = \frac{1}{10} \cdot 10 V_{pp} = 1 V_{pp} \quad (3.2) \quad 24$$

$$Z_{osc} = \frac{\frac{1}{j\omega C_{vh}} R_{vh}}{\frac{1}{j\omega C_{vh}} + R_{vh}} = \frac{R_{vh}}{j\omega C_{vh} R_{vh} + 1} \quad (3.3) \quad 24$$

$$Z_n = \frac{C_n R_n}{C_n + R_n} = \frac{R_n}{j\omega C_n R_n + 1} \quad (3.4) \quad 24$$

$$= \frac{U_g(t)}{1 + \frac{R_n(j\omega C_{vh} R_{vh} + 1)}{R_{vh}(j\omega C_n R_n + 1)}} \Bigg|_{C_{vh} R_{vh} = C_n R_n} = \frac{U_g(t)}{1 + \frac{R_n}{R_{vh}}} = U_g(t) \frac{R_{vh}}{R_{vh} + R_n} \quad (3.5) \quad 24$$

$$C_{vh} R_{vh} = C_n R_n \quad (3.6) \quad 24$$

$$C_n = \frac{C_{vh} R_{vh}}{R_n} = \frac{25 \text{ pF} \cdot 1 \text{ M}\Omega}{9 \text{ M}\Omega} = 2,78 \text{ pF} \quad (3.7) \quad 24$$

$$C_{sonde} = 170 \text{ pF} - C_{vh} = 170 \text{ pF} - 25 \text{ pF} = 145 \text{ pF} \quad (3.8) \quad 25$$

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ \quad (3.9) \quad 34$$

$$\Delta t_{100} = T - \Delta t_m = 10 \text{ ms} - 5,68 \text{ ms} = 4,32 \text{ ms} \quad (3.10) \quad 34$$

$$\varphi_{100} = \frac{4,32 \text{ ms}}{10 \text{ ms}} \cdot 360^\circ = 155,52^\circ \quad (3.11) \quad 34$$

$$\Delta t_{1k} = 5,4 \text{ }\mu\text{s} \quad (3.12) \quad 34$$

$$\varphi_{1k} = \frac{-5,4 \text{ }\mu\text{s}}{10 \text{ }\mu\text{s}} \cdot 360^\circ = -194,4^\circ \quad (3.13) \quad 35$$

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{a}{b} \quad (3.14) \quad 36$$

$$\Rightarrow \varphi = 2 \cdot \arctan \frac{a}{b} \quad (3.15) \quad 36$$

$$\varphi_{100} = 2 \arctan \frac{8,485}{1,839} = 155,54^\circ \quad (3.16) \quad 37$$

$$\varphi_{1k} = 2 \arctan \frac{8,485}{0,566} = 172,37^\circ \quad (3.17) \quad 37$$

$$t = RC \ln(3) \quad (3.18) \quad 38$$

$$t = R_4 C_3 P_1 = 15 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ }\mu\text{F} \cdot 7,9 \Omega = 1,185 \text{ s} \quad (3.19) \quad 38$$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{47 \text{ k}\Omega}{47 \Omega} = 1001 \quad (4.1) \quad 44$$

$$V_{os} = \frac{U_{izh}}{A_u} \quad (4.2) \quad 44$$

$$f_T = f_g \frac{U_{izh}}{U_{vh}} \quad (4.3) \quad 46$$

$$f_T = f_{in} \frac{U_{izh}}{V_E} \quad (4.4) \quad 46$$

$$H = CMRR = 100 \frac{20V}{\Delta U_{izh}} \quad (4.5) \quad 47$$

$$E_{n_{1-2}} = \sqrt{E_{n_1}^2 + E_{n_2}^2} \quad (4.6) \quad 48$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega \quad (5.1) \quad 51$$

$$R_1 = \frac{R_2}{9} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{9} = 1,11 \text{ k}\Omega \quad (5.2) \quad 51$$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \text{ k}\Omega}{1,2 \text{ k}\Omega} = 9,33 \quad (5.3) \quad 51$$

1. UVOD

Gradivo obsega poročila vaj opravljenih pri predmetu Meritve v elektroniki na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko opravljenih s strani avtorja tega gradiva.

Gradivo se sme uporabljati v namene izobraževanja in se ga nikakor ne sme reproducirati ali spreminjati v komercialne namene brez soglasja avtorja.

Copyright © 2013, Gregor Nikolić, Maribor
www.gregornikolic.com

2. Meritve napetosti

2.1 Meritev enosmerne napetosti

Na stabiliziranem napetostnem viru nastavite poljubnih 10 vrednosti napetosti iz območja od 1 mV do 1 V , ki jih izmerite z najbolj točnim instrumentom. Nato izmerite posamezne nastavljene napetosti z drugimi instrumenti in osciloskopom. Primerjajte izmerjene vrednosti napetosti in izračunajte pogreške.

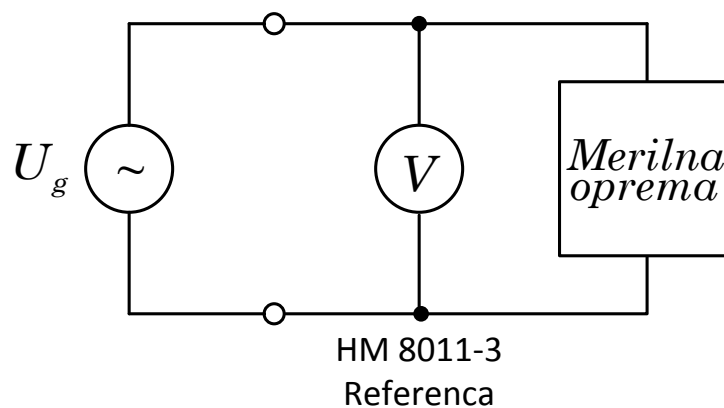
2.2 Meritev izmenične napetosti

a) Na funkcijskem generatorju izberite poljubno nizko frekvenco in nastavite 10 poljubnih vrednosti napetosti sinusne oblike z amplitudo od 1 mV do 1 V . V drugem primeru izberite visokofrekvenčni signal in meritev ponovite.

b) Na funkcijskem generatorju nastavite nizko napetost (do 10 mV) in izbirajte 10 poljubnih frekvenc med 1 Hz in 1 MHz , nato ponovite meritev še za izbrano višjo napetost (od 1 V do 5 V).

Pri meritvi določite najbolj točen instrument, pri tem imate na razpolago digitalni univerzalni instrument, elektronski V-meter ter osciloskop. Izračunajte pogreške in določite zgornje frekvenčne meje instrumentov. Izmerjene vrednosti predstavite v diagramih.

2.3 Vežalna shema



Slika 1 Vežalna shema za meritev napetosti

2.4 Seznam uporabljene opreme

- Napetostni generator HAMEG HM 7042-3
- Digitalni multimeter HAMEG HM 8011-3
- Osciloskop Rigol DS1102E
- Vgradni voltmeter na delovnem mestu Iskra
- Analogni multimeter Univo 673724
- Analogni multimeter MI 7042

2.4.1 Napetostni generator HAMEG HM 7042-3

Specifikacije izhoda napetosti katerega smo uporabili:

- Napetostno območje: 0 – 32 V
- Resolucija prikaza: 100 mV
- Izhodni tok: 2x 0 – 2 A
- Nastavitev tokovne omejitve: 2x 0,02 – 2 A
- Resolucija prikaza: (območje 0–1999 mA) 1 mA
(območje ≤ 2.0 A) 10 mA
- Minimalni izhod: 10 mA

2.4.2 Digitalni multimeter HAMEG GM 8011-3

Enosmena napetost:

- Merilni doseg: 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V, 1000 V
- Resolucija: 10 μV, 100 μV, 1 mV, 10 mV, 100 mV
- Natančnost: $2\text{ V do }1000\text{ V} \pm (0,05\% \text{ n.v.} + 0,005\% \text{ n.o.})$ ^{1,2}
 $200\text{ mV} \pm (0,05\% \text{ n.v.} + 0,01\% \text{ n.o.})$
- Vhodna impedanca: 10 MΩ || 70 pF
- Vhodni tok: max. 10 pA (23 °C)
- CMRR³: ≥ 100 dB (50 / 60 Hz ± 0,5%)
- NMRR⁴: ≥ 60 dB (50 / 60 Hz ± 0,5%)

Izmenična napetost:

- Merilni doseg: 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V, 750 V
- Resolucija: 10 μV, 100 μV, 1 mV, 10 mV, 100 mV
0.2 V do 20 V
od 40 Hz do 10 kHz ± (0,5% n.v. + 0,07% n.o.)
od 20 Hz do 20 kHz ± (15% n.v. + 0,07% n.o.)
- Natančnost: $200\text{ V do }750\text{ V}$ ^{5,6}
od 40 Hz do 100 Hz ± (0,5% n.v. + 0,07% n.o.)
od 20 Hz do 100 Hz ± (15% n.v. + 0,07% n.o.)
- Vhodna impedanca: 10 MΩ || 70 pF
- CMRR⁷: ≥ 60 dB (50 / 60 Hz ± 0,5%)

¹ n.v. – na izmerjeno vrednost

² n.o. – na merilno območje

³ Common Mode Rejection Ratio

⁴ Normal Mode Rejection Ratio

⁵ n.v. – na izmerjeno vrednost

⁶ n.o. – na merilno območje

⁷ Common Mode Rejection Ratio

2.4.3 Osciloskop Rigol DS1102E

- Frekvenčno območje osciloskopa: 100 MHz
- Osciloskop je dvokanalni
- Natančnost merjenja enosmerne napetosti:
 - 2 mV / div – 5 mV / div
 - ±4 %
 - 10m V / div – 20 V / div
 - ±3 %
- Vhodna impedanca: 1 MΩ
- Vhodna kapacitivnost: 15 pF

2.4.4 Analogni multimeter Univo 673724

Merilno območje	Izmerjena vrednost = število delcev X	Vhodna upornost	
		–	~
6 A	0,1 A	0,17 Ω	0,17 Ω
1,2 A	2 x 0,01 A	0,85 Ω	0,85 Ω
0,3 A	½ x 10 mA	3,4 Ω	3,4 Ω
120 mA	2 mA	8,5 Ω	8,5 Ω
30 mA	½ mA	34 Ω	34 Ω
6 mA	0,1 mA	170 Ω	170 Ω
1,2 mA	2 x 0,01 mA	850 Ω	850 Ω
60 μA	1 μA	2 kΩ	–
600 V	10 V	600 kΩ	600 kΩ
300 V	½ x 10V	300 kΩ	300 kΩ
120 V	2 V	120 kΩ	120 kΩ
30 V	½ V	30 kΩ	30 kΩ
6 V	0,1 V	6 kΩ	6 kΩ
3 V	½ x 0,1 V	3 kΩ	3 kΩ
120 mV	2 mV	2 kΩ	–

- Pogrešek pri merjenju enosmernih veličin: 1,5 %
- Pogrešek pri merjenju izmeničnih veličin: 2,5 %

Za instrumenta Iskra ter MI7042 žal nismo našli podatkov.

2.5 Meritve

V prvem delu naloge smo merili enosmerno napetost v desetih točkah z različnimi instrumenti. Kot referenčni merilnik smo izbrali digitalni multimeter HM 8011-3. V kolikor ni podatka v tabeli, pomeni, da z instrumentom nismo mogli izmeriti vrednosti.

Tabela 1 Izmerjene vrednosti enosmerne napetosti

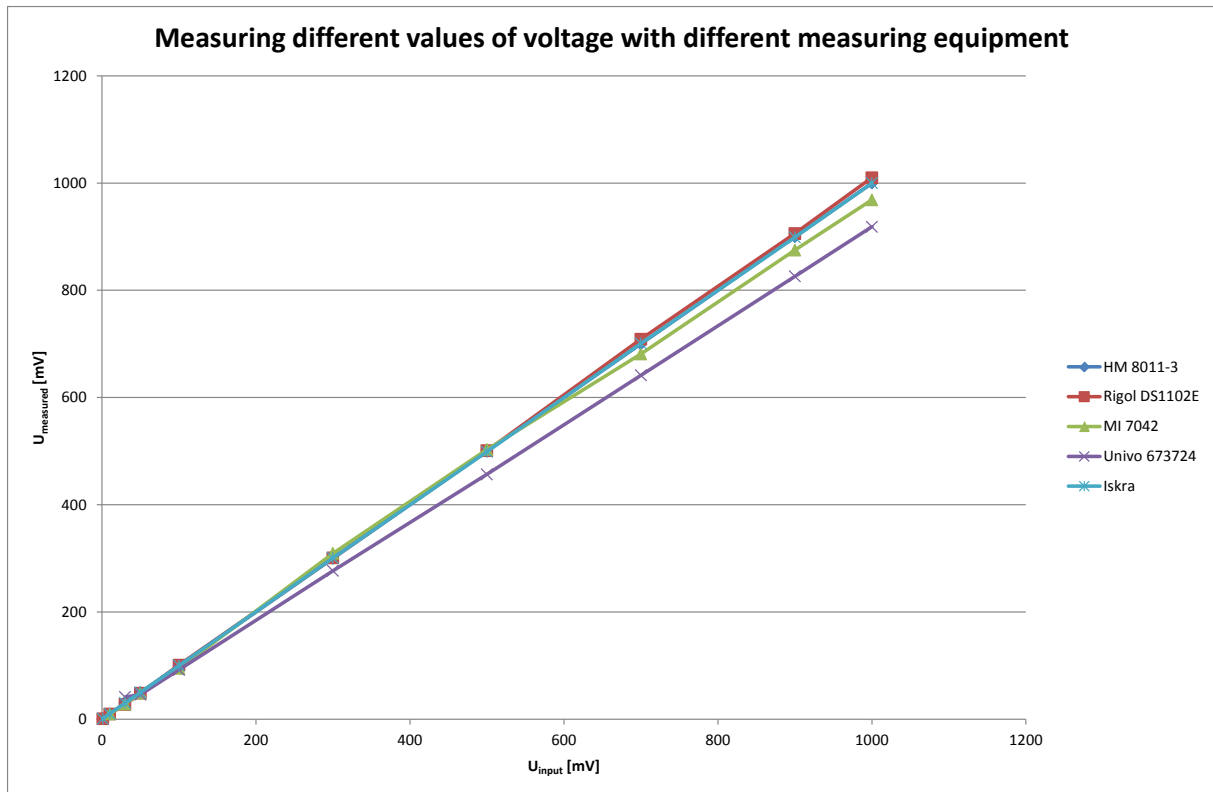
Referenca	HM 8011-3	Rigol DS1102E	MI 7042	Univo 673724	Iskra	
n	Uvh [mV]	Uizm1 [mV]	Uizm2 [mV]	Uizm3 [mV]	Uizm4 [mV]	Uizm5 [mV]
1	1	1	1,09			1,1
2	10	10	9,66	9,8		10,2
3	30	30	27,7	28,13	41,54	30,40
4	50	50	48,6	48,44	46,15	50,20
5	100	100	101	94,69	92,31	100,20
6	300	300	301	309,38	276,92	301,00
7	500	500	501	503,13	456,92	499,00
8	700	700	709	681,25	641,54	701,00
9	900	900	906	875,00	826,15	899,00
10	1000	1000	1010	968,75	918,46	1000,00

V drugem delu naloge pa smo najprej merili prav tako v desetih točkah, a tokrat smo merili izmenično napetost frekvence 100 Hz . Pri tem merjenju smo izločili instrument Iskra, saj meri le enosmerne veličine. Z osciloskopom (kateri je bil izbran kot referenca) smo merili tri različne vrednosti, da smo lahko primerjali z ostalimi instrumenti.

Tabela 2 Izmerjene vrednosti izmenične napetosti

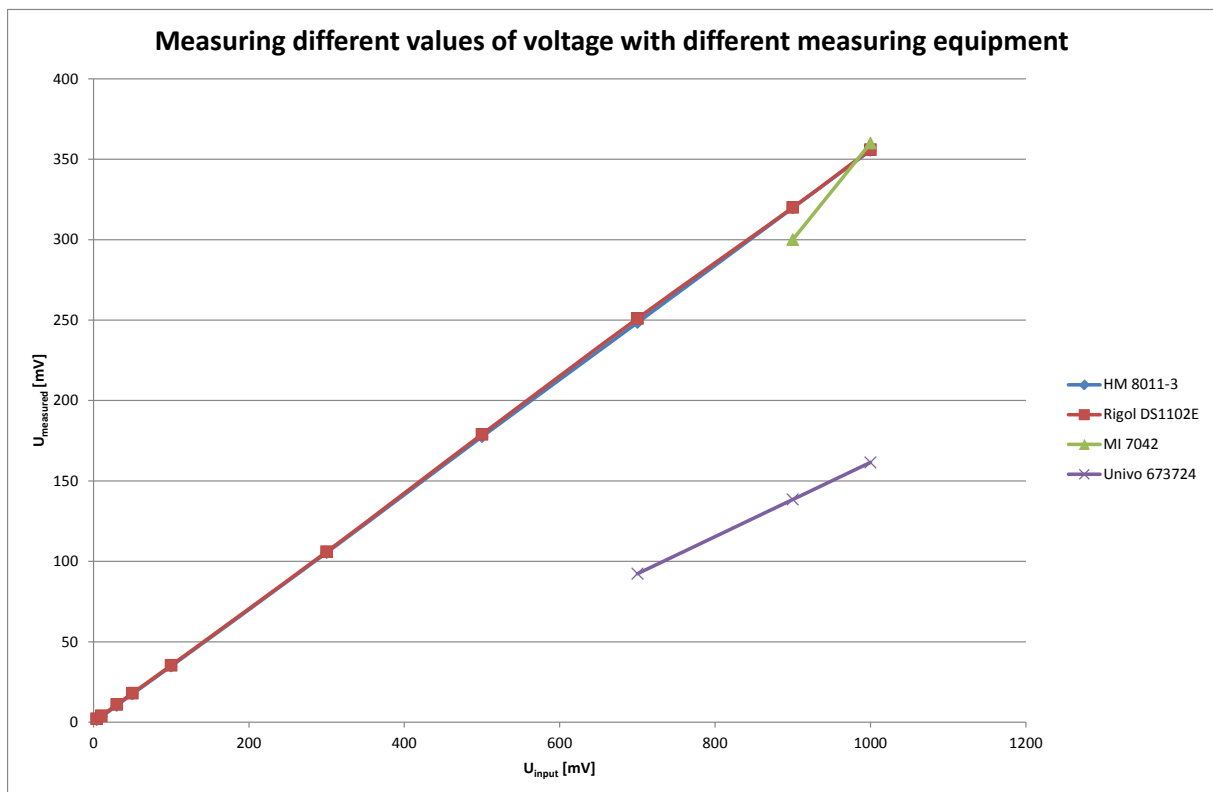
Referenca	HM 8011-3	Rigol DS1102E			MI 7042	Univo 673724
Uvh [mV]	Uizm1 [mV]	Uizm2 [mV] Vamp	Vpp [mV]	Vrms [mV]	Uizm3 [mV]	Uizm4 [mV]
4	1,6	6,06	7,6	2,17		
10	3,4	11,4	13,8	4,01		
30	10,4	30,8	33,6	11		
50	17,6	52,4	54,4	18,1		
100	34,9	102	103	35,4		
300	105,4	308	304	106		
500	177,5	519	512	179		
700	248,4	705	712	251		92,31
900	319,7	922	904	320	300,00	138,46
1000	355,5	1020	1020	356	360,00	161,54

Pri rezultatih meritve z osciloskopom, je vredno omeniti, da je pri majhnem signalu nastopal tudi šum.



Grafikon 1 Izmerjene vrednosti napram referenčni vrednosti

V zgornjem grafikonu je odvisnost izmerjene vrednosti napram referenčni vrednosti, iz katere pa ne moremo napraviti nobenih zaključkov, zato smo izračunali odstopanja glede na referenčno vrednost ter pogreške, kateri so pa razvidni v izračunih. Enako velja za meritve izmenične napetosti.



Grafikon 2 Izmerjene vrednosti napram referenčni vrednosti

Tukaj je vredno pokomentirati osi grafikona in sicer; na y osi se nahaja izmerjena vrednost RMS medtem ko je na x osi vrednost podana Vamp.

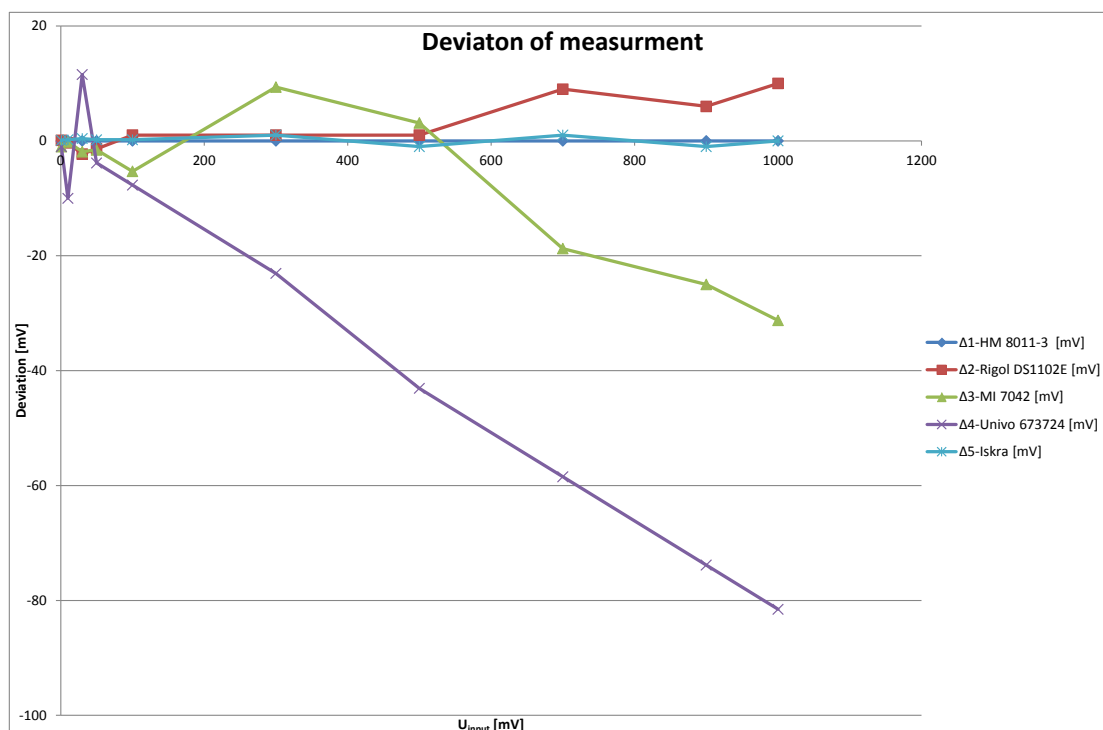
2.6 Izračuni

Za merjenje enosmerne napetosti, smo izračunali odstopanja od referenčne vrednosti, saj nam bodo ti rezultati podali jasno sliko o instrumentu.

Tabela 3 Odstopanja od referenčne vrednosti napetosti

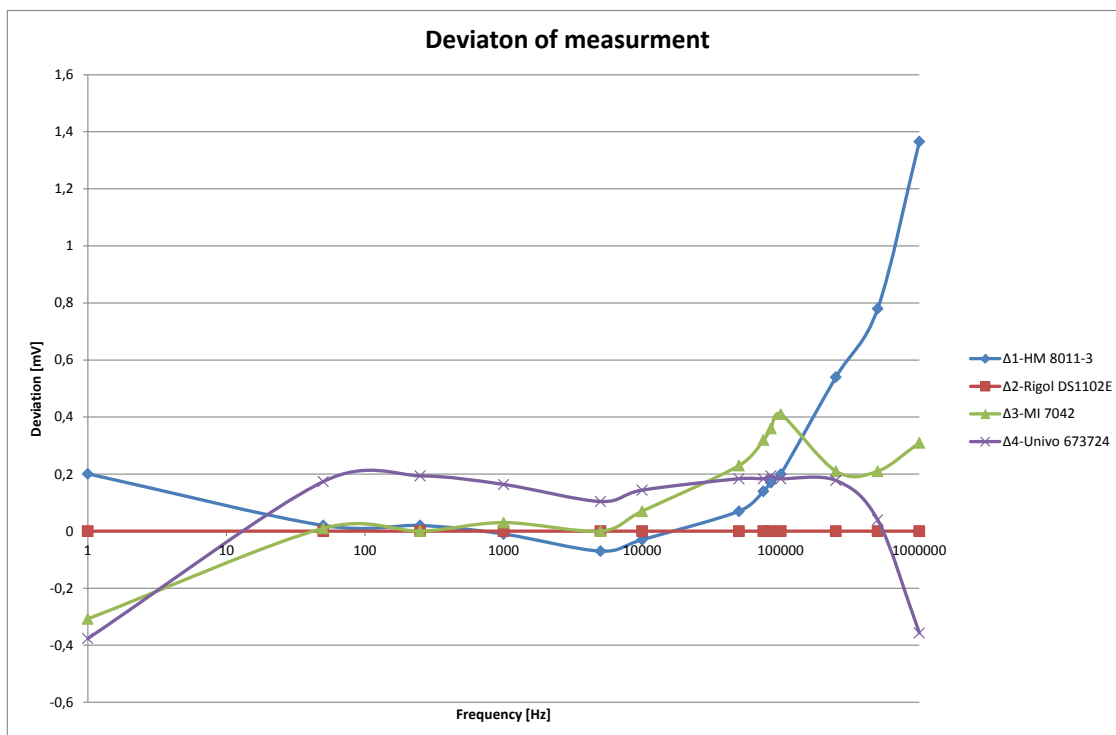
U _{vh} [mV]	Δ1-HM 8011-3 [mV]	Δ2-Rigol DS1102E [mV]	Δ3-MI 7042 [mV]	Δ4-Univo 673724 [mV]	Δ5-Iskra [mV]
1	0	0,09	-1,00	-1,00	0,10
10	0	-0,34	-0,20	-10,00	0,20
30	0	-2,30	-1,88	11,54	0,40
50	0	-1,40	-1,56	-3,85	0,20
100	0	1,00	-5,31	-7,69	0,20
300	0	1,00	9,38	-23,08	1,00
500	0	1,00	3,13	-43,08	-1,00
700	0	9,00	-18,75	-58,46	1,00
900	0	6,00	-25,00	-73,85	-1,00
1000	0	10,00	-31,25	-81,54	0,00

Ker je grafikon bolj nazoren podajmo še slednjega;



Grafikon 3 Odstopanja meritev enosmerne napetosti od referenčne vrednosti

Iz grafikona je lepo razvidno, da ima najmanjše odstopanje od referenčne vrednosti napetosti merilni instrument Iskra skozi vse merilne točke, za najslabšega se je izkazal instrument Univo, kateri pa zelo variira in ima precejšno odstopanje v skoraj vseh merilnih točkah.



Grafikon 4 Odstopanja meritev izmenične napetosti od referenčne vrednosti

Iz grafikona je razvidno, da imata instrumenta MI in HM najmanjše odstopanje do neke frekvence 10 kHz, medtem, ko ima instrument Univo skozi večji del frekvenčnega območja skoraj stabilno odstopanje.

Za vse instrumente (kateri so sposobni merjenja izmeničnih veličin) smo izmerili še frekvenčno karakteristiko – karakteristiko, katera nam prikaže, kako upada amplituda signala glede na frekvenco le tega. Meritev smo opravili za majhne signale in sicer amplitude 30 mV_{pp} ter za relativno velike signale amplitude 4 V_{pp}. Dobili smo slednje rezultate:

Tabela 4 Izmerjene vrednosti amplitude majhnih signalov

30 mV - referenca						
	HM 8011-3 [mV]	Rigol DS1102E [mV]			MI 7042 [mV]	Univo 673724 [mV]
f [Hz]	Uizm1 [mV]	Uizm2 [mV] Vamp	Vpp [mV]	Vrms [mV]	Uizm3 [mV]	Uizm4 [mV]
1	8,1	29,5	31,2	7,61		
50	10,9	30,2	31,6	10,7		
250	11,2	33,2	34,8	10,5		
1000	10,9	28,3	30,4	10,1		
5000	10,8	34,3	34,4	10,4		
10000	10,74	34,2	34,4	10,6		
50000	10,14	33,7	33,6	10,7		
75000	9,18	33,2	34	10,7		
85000	8,54	33,5	34	10,7		
100000	7,3	33,9	33,6	10,7		
250000	0,66	30,3	32,4	10,6		
500000	1,01	30,8	32,4	10,5		
1000000	0,79	32,1	32,8	10,5		

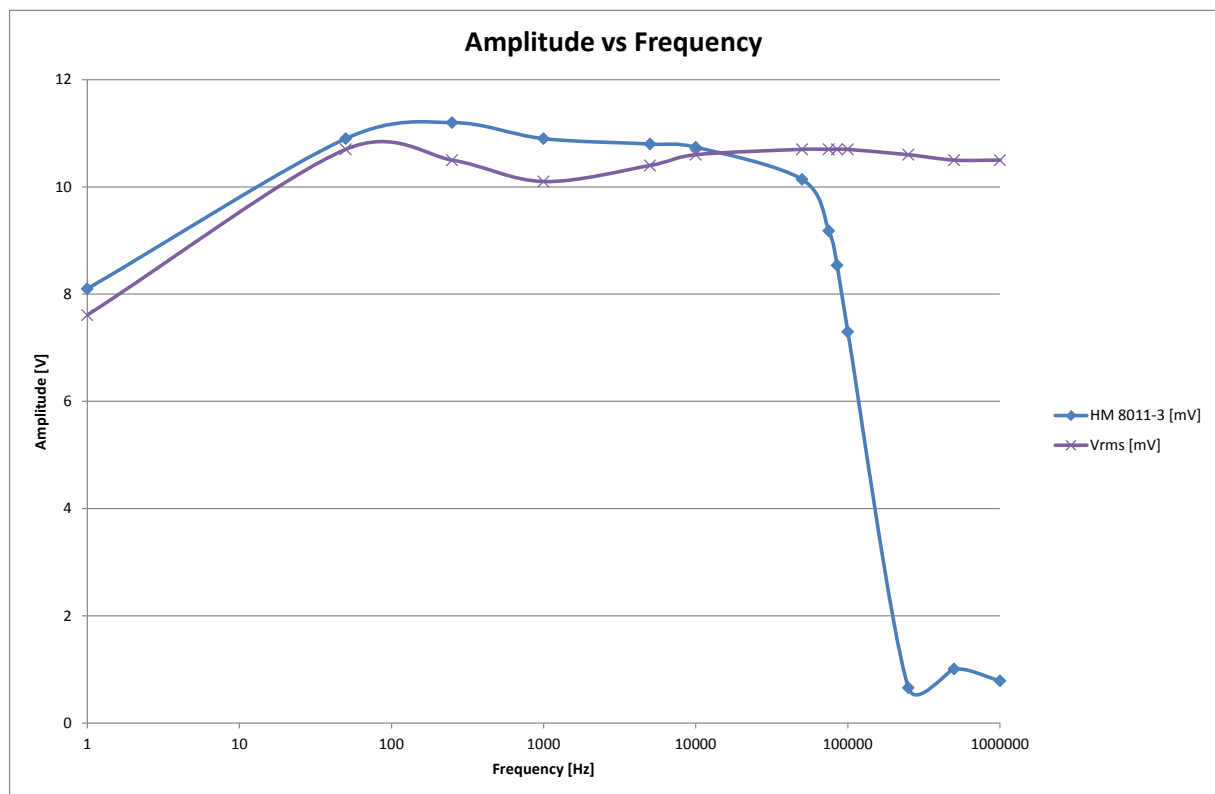
Instrumenta kot sta MI ter Univo žal nimata tako majhnega merilnega dosega, da bi lahko z njima izmerili tako majhni signal.

Tukaj je vredno omeniti, da je meritev z osciloskopom od 1 mV do 1000 mV vsebovala šum, katerega smo pri vseh ostalih meritvah izločevali z digitalnim filtrom osciloskopa.

Tabela 5 Izmerjene vrednosti amplitude relativno velikih signalov

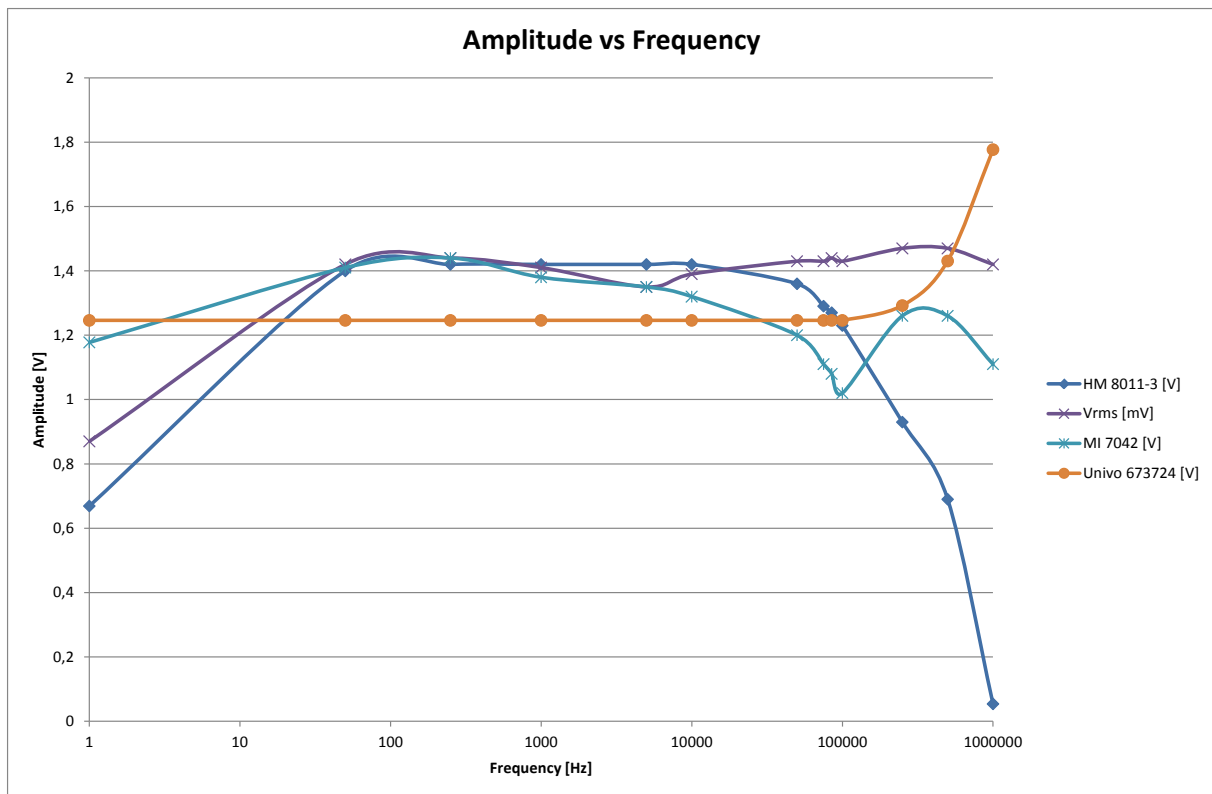
4 V - referenca						
f [Hz]	HM 8011-3 [V]	Rigol DS1102E [V]	Vpp [mV]	Vrms [mV]	MI 7042 [V]	Univo 673724 [V]
1	0,669	2,46	2,6	0,87	1,1775	1,246
50	1,4	3,95	4,08	1,42	1,41	1,246
250	1,42	4,01	4,16	1,44	1,44	1,246
1000	1,42	3,9	4,12	1,41	1,38	1,246
5000	1,42	3,98	4,12	1,35	1,35	1,246
10000	1,42	4	4,12	1,39	1,32	1,246
50000	1,36	3,94	4,04	1,43	1,2	1,246
75000	1,29	4,04	4,2	1,43	1,11	1,246
85000	1,27	4,04	4,2	1,44	1,08	1,246
100000	1,23	4,05	4,2	1,43	1,02	1,246
250000	0,93	4,14	4	1,47	1,26	1,292
500000	0,69	4,15	4,2	1,47	1,26	1,431
1000000	0,054	4,02	4,16	1,42	1,11	1,777

Ker so grafikoni bistveno bolj nazorni ter lažje iz njih napravimo zaključke prikažimo še slednje:



Grafikon 5 Meritev amplitude signala napram frekvenci - referenca 30 mVpp

Iz grafikona lahko razberemo, da je merilni doseg osciloskopa (Vrms) relativno širok, le pri signalih nizkih frekvenc pride do težav z meritvijo, a prav enako se dogaja z merilnim instrumentom Hameg, kateri pa ima zgornjo frekvenčno mejo pri približno 50 kHz.



Grafikon 6 Meritev amplitude signala napram frekvenci - referenca 4 Vpp

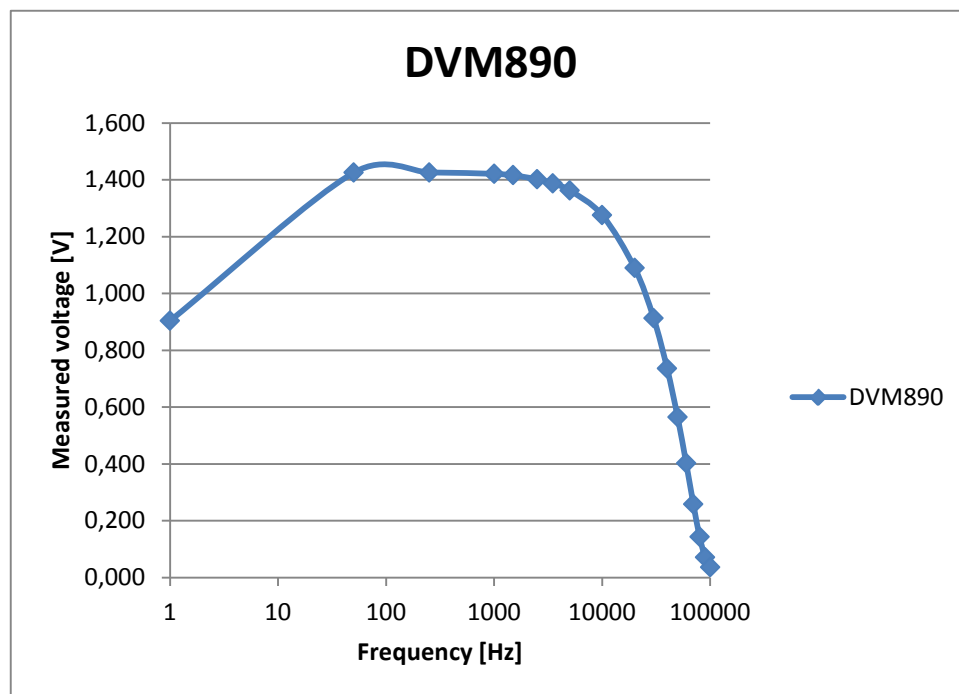
Iz grafikona je razvidno, da instrumenti kot so; Hameg, MI ter osciloskop Rigol imajo spodnjo frekvenčno mejo približno enako. Zgornja frekvenčno mejo instrumenta HM smo že podali, medtem, ko za instrument MI ne moremo določiti frekvenčne meje, saj prihaja do zanimivega odziva; pri frekvenci približno 90 kHz se amplituda signala občutno zmanjša medtem, ko pri višji frekvenci se ponovno zveča, tako bi lahko za ta instrument govorili o dveh merilnih področjih, kjer bi ga lahko uporabljali. Instrument Univo, pa se je izkazal za frekvenčno neodvisnega, do približno frekvence 100 kHz .

Če napravimo zaključek, moramo priznati, da je instrument Univo kljub svoji veliki starosti ter relativno enakem odstopanju meritve najbolj frekvenčno neodvisen. Tako bi bilo smotno v primeru merjenja amplitude signalov v širokem frekvenčnem spektru izbrati ta instrument, ob enem pa upoštevati njegovo odstopanje od prave vrednosti.

Ker med meritvijo ne nastopa noben zelo pogosto uporabljen instrument, smo se odločili, da opravimo meritve frekvenčne karakteristike za instrument DVM890, kateri oz. njemu podobnem se zelo pogosto pojavljajo na večini srednjih šol, v kompletih za praktične vaje ter so tudi na splošno zelo uporabljeni. Rezultati meritev so sledeči:

Tabela 6 Izmerjene vrednosti napram frekvenci

f [Hz]	DVM890
1	0,904
50	1,425
250	1,426
1000	1,421
1500	1,416
2500	1,402
3500	1,387
5000	1,363
10000	1,276
20000	1,09
30000	0,913
40000	0,736
50000	0,565
60000	0,403
70000	0,258
80000	0,143
90000	0,071
100000	0,036



Grafikon 7 Izmerjene vrednosti v odvisnosti od frekvence

Iz grafikona lahko zaključimo, da ima takšen instrument relativno zelo ozko področje, v katerem bi nam podajal pravilne rezultate meritev. Če primerjamo ta instrument z ostalimi, se izkaže, da ima najnižjo zgornjo frekvenčno mejo.

Vsi ti rezultati nam dajejo misliti, da preden podamo nek rezultat meritev, da ga kritično ocenimo oz. primerjamo z drugimi meritvami, saj vidimo, da so rezultati lahko zelo različni, glede na izbran instrument.

Zaradi pomanjkanja podatkov o nekaterih instrumentih, smo lahko opravili le za tri instrumente izračune pogreškov.

Pogreške smo normirali na milivolt ($\pm mV$). Kjer ni rezultata izračuna, pomeni, da z instrumentom nismo mogli odčitati izmerjene vrednosti.

Tabela 7 Izračun pogreškov za meritev enosmerne napetosti

+/- [mV]				
$\Delta 1$ -HM 8011-3	$\Delta 2$ -Rigol DS1102E	$\Delta 3$ -MI 7042	$\Delta 4$ -Univo 673724	$\Delta 5$ -Iskra
0,0007	0,0004			
0,0052	0,0029			
0,0152	0,0083		0,0062	
0,0252	0,0146		0,0069	
0,0502	0,0303		0,0138	
0,1501	0,0903		0,0415	
0,2501	0,1503		0,0685	
0,3501	0,2127		0,0962	
0,4501	0,2718		0,1239	
0,5001	0,3030		0,1378	

Za HM 8011-3 smo v katalogu podatkov instrumenta pogledali njegovo natančnost, ki je:

$$2 V \text{ do } 1000 V \pm (0,05\% n.v. + 0,005\% n.o.) \quad (2.1)$$

$$200 mV \pm (0,05\% n.v. + 0,01\% n.o.)$$

Za izračun merilne negotovosti izmerjene vrednosti in sicer absolutne, bi to izračunali po slednji enačbi:

$$E_m = \pm \frac{r}{100} \cdot x_i \quad (2.2)$$

Pri čemer je;

r – razred instrumenta

x_i – izmerjena vrednost

Do meritve 100 mV smo uporabili enačbo s katero smo normirali vrednosti odstopanja na mV;

$$E_m = \pm \frac{0,05\% \cdot n.v. [mV] + 0,01\% \cdot n.o. [mV]}{100\%} \quad (2.3)$$

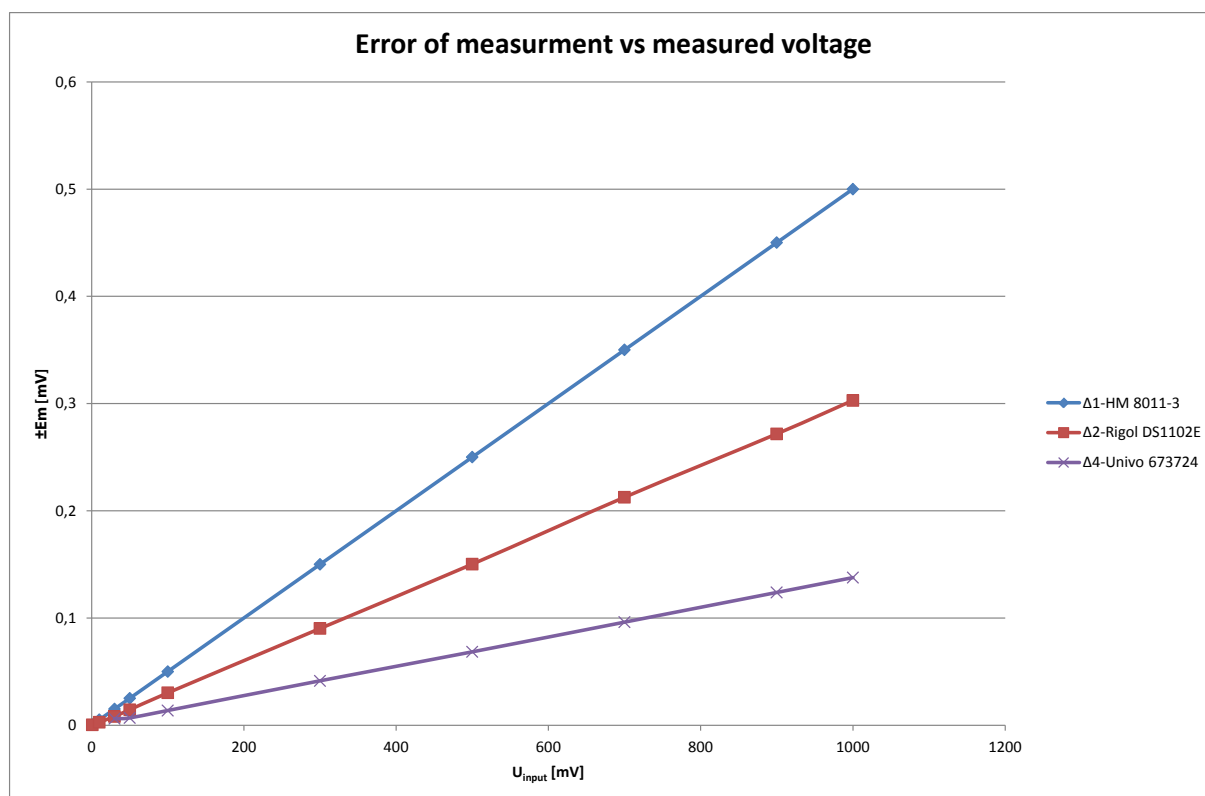
Pri čemer je;

$n.v.$ – na vrednost (katero smo izmerili)

$n.o.$ – na območje (nastavljeno merilno območje)

V katalogu srečamo oznaki $o.v.$ – of value ter $o.r.$ – of range.

Za izračun merilne negotovosti osciloskopa, smo uporabili splošno enačbo za izračun, pri kateri smo upoštevali razred osciloskopa $r = 4\%$, prav tako za instrument Univo, katerega razred pa je $r = 1,5\%$ pri merjenju enosmernih veličin.



Grafikon 8 Merilna negotovost napram merjeni napetosti

Iz grafa je razvidno, kako raste pogrešek oz. odstopanje meritve glede na merjeno vrednost napetosti.

Tabela 8 Izračun pogreškov za meritev izmeničnih napetosti

f [Hz]	+/- [mV]				
	Δ1-HM 8011-3	Δ2-Rigol DS1102E	Δ3-MI 7042	Δ4-Univo 673724	Δ5-Iskra
1	0,0143345	0,0118		0,000312	
50	0,0147	0,0121		0,000312	
250	0,01471	0,0133		0,000312	
1000	0,01471	0,0113		0,000312	
5000	0,01471	0,0137		0,000312	
10000	0,01471	0,0137		0,000312	
50000	0,01468	0,0135		0,000312	
75000	0,014645	0,0133		0,000312	
85000	0,014635	0,0134		0,000312	
100000	0,014615	0,0136		0,000312	
250000	0,014465	0,0121		0,000323	
500000	0,014345	0,0123		0,000358	
1000000	0,014027	0,0128		0,000444	

Tukaj je vredno omeniti, da je izračun pogreška pri instrumentu HM nad 10 kHz relativno brezpredmeten, saj je v katalogu navedeno, da ima merilni doseg zgolj do 20 kHz.

3. SPOZNAVANJE IN UPORABA OSCILOSKOPA

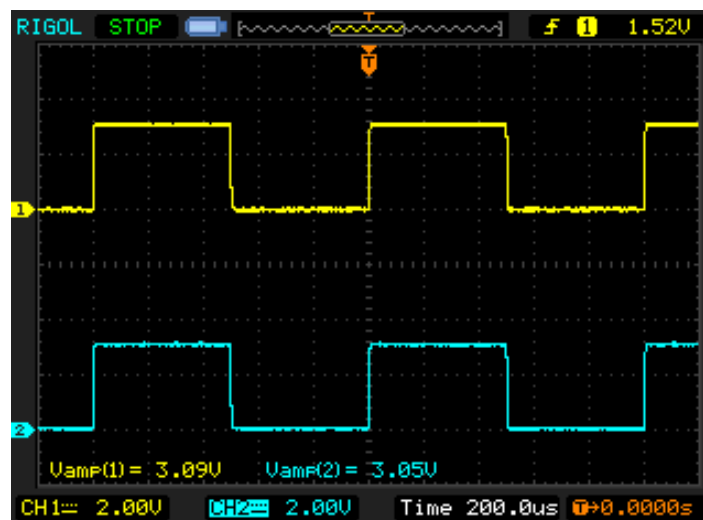
3.1 Kalibriranje osciloskopa

Pred uporabo moramo osciloskop pripraviti za meritve. V pripravo uvrščamo kalibriranje vhodov osciloskopa in časovne baze. Za kalibriranje lahko uporabimo v osciloskop vgrajene kalibracijske generatorje ali pa zunanji generator.

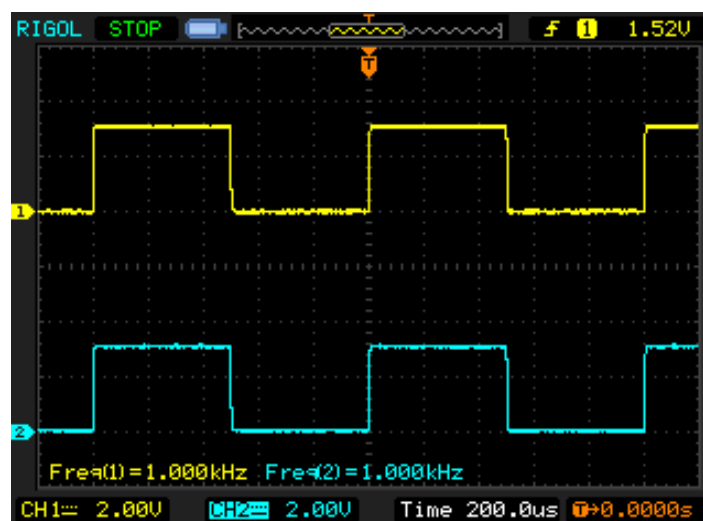
Kalibriranje: Povežite sondo osciloskopa s kalibrirnim signalom iz osciloskopa. Nastavite ustrezno amplitudno območje in poiščite kalibracijsko stanje vhodnega ojačevalnika. Nastavite časovno bazo osciloskopa in preišite kalibrirno napetost.

3.1.1.1 Meritve in rezultati

Na oba vhoda osciloskopa smo priključili njegov kalibrirni signal amplitude 3 V ter frekvence 1 kHz . Signal, ki nam ga je izrisal osciloskop lahko vidimo na slednjih dveh slikah. Na prvi sliki merimo amplitudo na drugi pa frekvenco signala.



Slika 2 Kalibrirni signal osciloskopa - amplituda



Slika 3 Kalibrirni signal osciloskopa - frekvenca

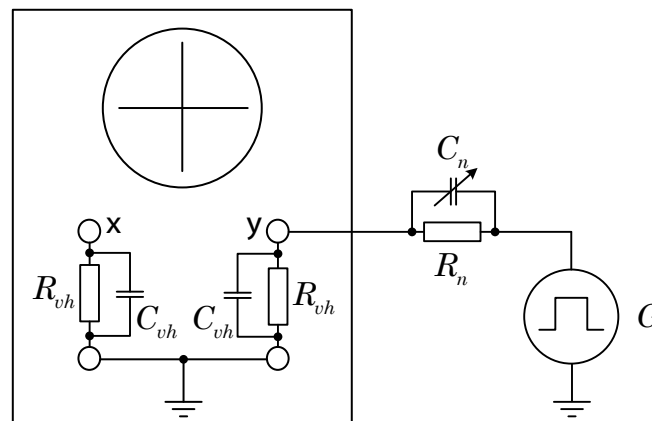
Tukaj se je smiselno vprašati zakaj smo sploh izmerili kalibrirni signal, ko pa tako piše kakšen signal je. Odgovor je zelo preprost. Ko merimo druge signale, potrebujemo referenco s čim jih primerjati, če ne bi izmerili kalibracijskega signala, ne bi imeli reference, proti čemu primerjati izmerjen signal. Npr.: priključimo na osciloskop signal po amplitudi in frekvenci enak kalibrirnemu – ker smo le tega že prej zmerili in videli, vemo, kaj pričakovati. Če se izmerjen signal razlikuje od kalibrirnega, vemo, da je nekaj vplivalo na naš merjen signal (npr. kapacitivnost sonde, izhodna upornost generatorja, ipd.). Če ne bi izmerili predhodno kalibrirnega signala, bi kar na slepo privzeli, da je izmerjen signal generatorja »ta pravi« signal.

3.2 Meritev upornosti in kapacitivnosti vhodnega ojačevalnika in sonde

Izmerite vhodno upornost in kapacitivnost samega osciloscopa in nato še vhodno upornost in kapacitivnost sonde vezane na vhod osciloscopa. Pri drugi meritvi kompenzirajte parazitsko kapacitivnost povezovalnega koaksialnega kabla in vhodne kapacitivnosti osciloscopa z nastavlјivim kondenzatorjem na sondi.

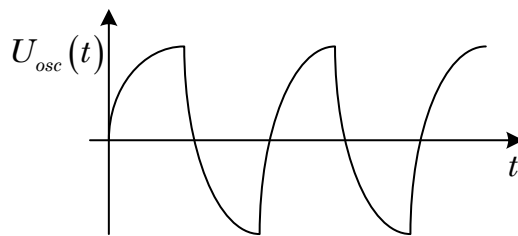
3.2.1.1 Meritve in rezultati

Najprej bomo izmerili notranjo kapacitivnost osciloscopa po vezavi, kot jo prikazuje slika 4.

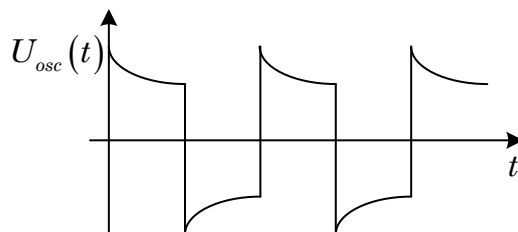


Slika 4 Vezava za kalibriranje osciloscopa

Če najprej pokomentiramo vezavo in način kompenziranja. Na osciloskop smo preko zaporedne namestitve nastavlјivega kondenzatorja ter upora priključili generator pravokotnih impulzov. Ker je vpliv vhodne upornosti in kondenzatorja osciloscopa na pravokoten signal velik, se le ta tudi spremeni. Če bo $C_n \gg C_{osc}$, bo signal na izhodu kot ga prikazuje slika 5, če bo pa $C_n \ll C_{osc}$, pa bo signal na izhodu kot ga prikazuje slika 6.



Slika 5 Pričakovan signal v primeru, ko je $C_n \ll C_{osc}$

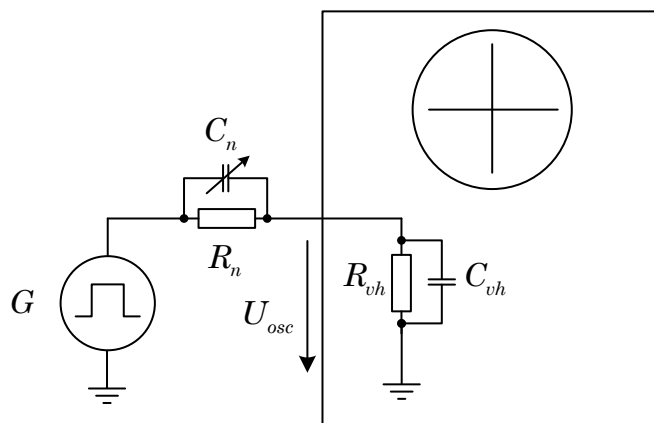


Slika 6 Pričakovan signal v primeru, ko je $C_n \gg C_{osc}$

V primeru, da je signal enak kot ga daje generator, pomeni, da smo kompenzirali notranjo kapacitivnost osciloskopa. V ostalih dveh primerih, pa nam je oblika smernica, ali moramo kompenzacijsko kapacitivnost povečati ali zmanjšati.

Ko je oblika signala na osciloskopu enaka obliki signala generatorja, pomeni, da smo kapacitivnost kompenzirali, pomeni pa tudi, da je kapacitivnost, ki smo jo nastavili enaka kapacitivnosti osciloskopa.

Na generatorju smo nastavili signal amplitude $10 V_{pp}$ ter frekvence $1 kHz$. Smiselno se je vprašati tudi, kakšno amplitudo pričakujemo na izhodu. Iz narisane vezja lahko izračunamo napetost na osciloskopu.



Slika 7 Shema za izračun napetosti osciloskopa

$$U_{osc}(t) = \frac{U_g(t) \cdot R_{vh}}{R_{vh} + R_n} = U_g(t) \frac{1 M\Omega}{1 M\Omega + 9 M\Omega} = \frac{1}{10} U_g(t) \quad (3.1)$$

$$U_{osc}(t) = \frac{1}{10} \cdot 10 \text{ Vpp} = 1 \text{ Vpp} \quad (3.2)$$

(enačba velja, kadar je vhodna kapacitivnost osciloskopa kompenzirana)

Torej na izhodu po enačbi (3.2) lahko pričakujemo signal amplitude 1 Vpp . Dokažimo to še z izpeljavo enačbe:

$$Z_{osc} = \frac{\frac{1}{j\omega C_{vh}} R_{vh}}{\frac{1}{j\omega C_{vh}} + R_{vh}} = \frac{R_{vh}}{j\omega C_{vh} R_{vh} + 1} \quad (3.3)$$

$$Z_n = \frac{C_n R_n}{C_n + R_n} = \frac{R_n}{j\omega C_n R_n + 1} \quad (3.4)$$

$$U_{osc}(t) = \frac{U_g(t) \cdot Z_{osc}}{Z_{osc} + Z_n} = \frac{U_g(t) \cdot \frac{R_{vh}}{j\omega C_{vh} R_{vh} + 1}}{\frac{R_{vh}}{j\omega C_{vh} R_{vh} + 1} + \frac{R_n}{j\omega C_n R_n + 1}} = \frac{U_g(t) \cdot R_{vh} (j\omega C_n R_n + 1)}{R_{vh} (j\omega C_n R_n + 1) + R_n (j\omega C_{vh} R_{vh} + 1)}$$

$$= \frac{U_g(t)}{1 + \frac{R_n (j\omega C_{vh} R_{vh} + 1)}{R_{vh} (j\omega C_n R_n + 1)}} \Bigg|_{C_{vh} R_{vh} = C_n R_n} = \frac{U_g(t)}{1 + \frac{R_n}{R_{vh}}} = U_g(t) \frac{R_{vh}}{R_{vh} + R_n} \quad (3.5)$$

Kadar je kapacitivnost kompenzirana torej velja enačba:

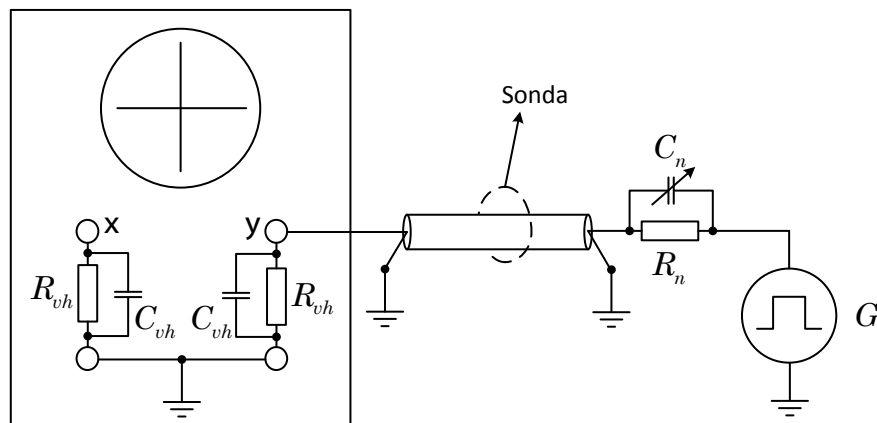
$$C_{vh} R_{vh} = C_n R_n \quad (3.6)$$

Od tod lahko izpeljemo potrebno kapacitivnost za kompenzacijo glede na izmerjeno vhodno kapacitivnost osciloskopa, katero smo izmerili z digitalnim RLC instrumentom, da znaša 25 pF .

$$C_n = \frac{C_{vh} R_{vh}}{R_n} = \frac{25 \text{ pF} \cdot 1 \text{ M}\Omega}{9 \text{ M}\Omega} = 2,78 \text{ pF} \quad (3.7)$$

Da je izmerjena kapacitivnost osciloskopa nekoliko višja, lahko okrivimo slabo izveden RC člen, s katerim smo merili, kapacitivnost BNC priključka ali pa je dejansko kapacitivnost osciloskopa večja od nazivne, da bi to ugotovili bi potrebovali dober RC člen z zelo dobrimi povezavami do generatorja, da bi lahko izničili vse ostale kapacitivnosti.

Pri merjenju kapacitivnosti sonde smo povezali osciloskop s sondo in RC členom za kompenzacijo na način, kot ga prikazuje slika 8.



Slika 8 Vezava za merjenje kapacitivnosti sonde

Po kompenzaciji smo izmerili nastavljeno kapacitivnost $C_n = 170 \text{ pF}$, vendar je to vrednost kompenzirane kapacitivnosti s kapacitivnostjo osciloskopa. Zato moramo kapacitivnost osciloskopa odšteti od izmerjene.

$$C_{sonde} = 170 \text{ pF} - C_{vh} = 170 \text{ pF} - 25 \text{ pF} = 145 \text{ pF} \quad (3.8)$$

Vidimo, da je kapacitivnost sonde precej velika in jo moramo ob meritvah, pri katerih bi bila lahko vplivna kapacitivnost, upoštevati.

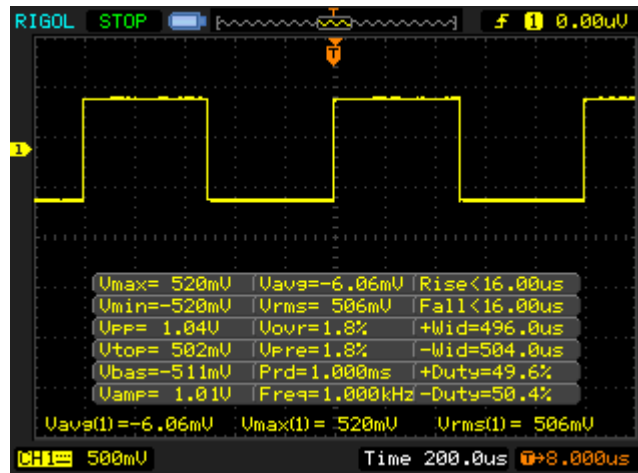
3.3 Meritev izmenične napetosti

Meritev pravokotne oblike napetosti: Na vhoda osciloskopa priključite generator pravokotnih signalov. Nastavite amplitudo med 1 mV in 5 V in preverite, če je sonda kompenzirana. Določite efektivno in absolutno srednjo vrednost napetosti faktor oblike in temenski faktor. Prerišite časovni diagram napetosti.

Meritev trikotne oblike napetosti: Na vhoda osciloskopa priključite generator trikotne oblike napetosti. Nastavite amplitudo med 1 mV in 5 V pri frekvencah $f_1 = 500 \text{ kHz}$, $f_2 = 1 \text{ kHz}$ in $f_3 = 5 \text{ MHz}$. Prerišite časovne diagrame. Določite faktor oblike in temenski faktor za napetost trikotne oblike.

3.3.1.1 Meritve in rezultati

Na vhod smo priključili signal pravokotne oblike amplitude 1 V_{pp} frekvence 1 kHz .



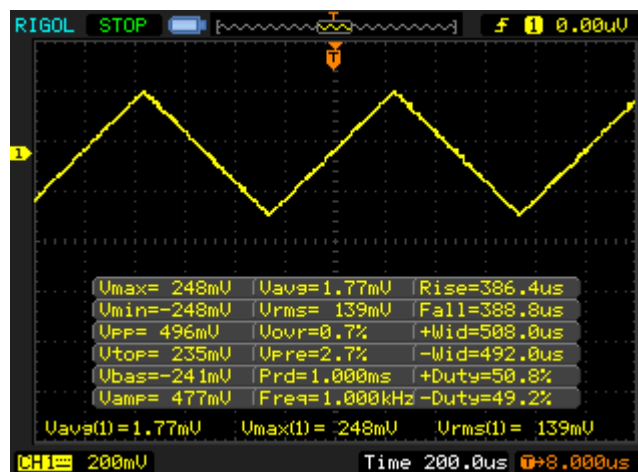
Grafikon 9 Pravokotni signal 1 Vpp, 1 kHz

Glede na obliko signala je sonda kompenzirana, saj ne vpliva na signal. Rezultati napetosti, faktor oblike ter temenski faktor se nahajajo v tabeli.

Tabela 9 Pravokotni signal - rezultati

Square signal								
	Referenca	Rigol DS1102E						
n	Uvh [mV]	Vavg [mV]	Vmax [mV]	Vrms [mV]	Vpp [mV]	Fshape	Ftop	
1	4	2,00	3,28	2,13	6,88	1,07	1,5399	
2	25	12,50	13,2	12,8	28	1,02	1,0313	
3	250	125,00	132	125	256	1,00	1,0560	
4	500	250,00	256	245	504	0,98	1,0449	
5	1000	500,00	520	506	1,04	1,01	1,0277	

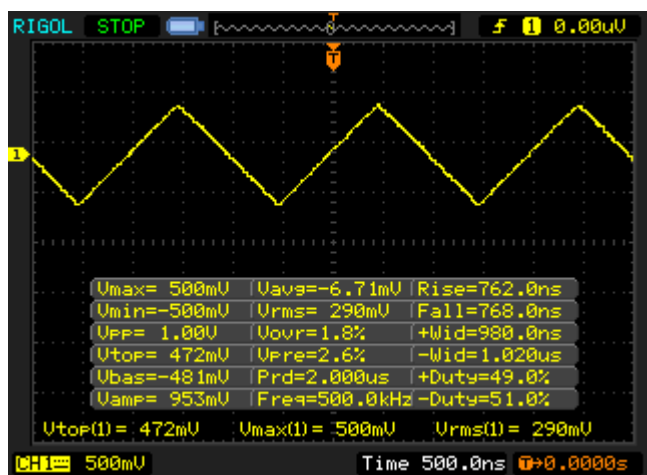
Meritve trikotnega signala pri različnih frekvencah in rezultati meritev podani tabelarično.



Grafikon 10 Trikotni signal - 1 kHz

Tabela 10 Trikotni signal 1 kHz - Rezultati

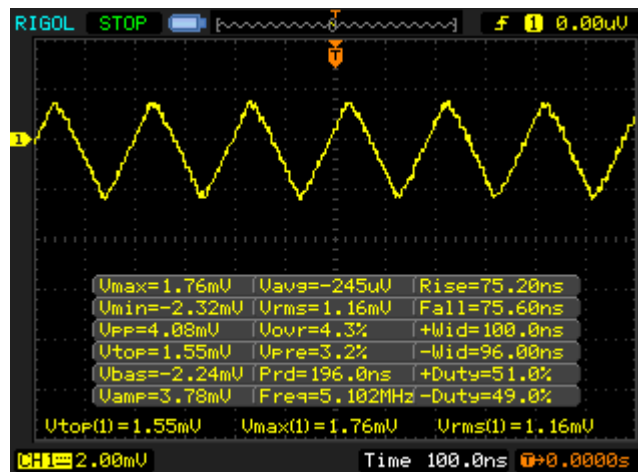
Triangle signal 1 kHz							
	Referenca	Rigol DS1102E					
n	U _{vh} [mV]	V _{avg} [mV]	V _{max} [mV]	V _{rms} [mV]	V _{pp} [mV]	Fshape	Ftop
1	4	3,47	2,32	1,1	5,76	0,317	2,1091
2	25	12,20	13,2	7,15	26,4	0,586	1,8462
3	250	128,00	88	55	176	0,430	1,6000
4	500	261,00	248	139	496	0,533	1,7842
5	1000	457	500	286	1,02	0,626	1,7483



Grafikon 11 Trikotni signal - 500 kHz

Tabela 11 Trikotni signal 500 kHz - Rezultati

Triangle signal 500 kHz							
	Referenca	Rigol DS1102E					
n	U _{vh} [mV]	V _{avg} [mV]	V _{max} [mV]	V _{rms} [mV]	V _{pp} [mV]	Fshape	Ftop
1	4	0,75	1,52	1,13	4	1,507	1,3451
2	25	4,17	12	7,16	25	1,719	1,6760
3	250	58,00	124	69,4	240	1,197	1,7867
4	500	116,50	248	146	500	1,253	1,6986
5	1000	224	500	285	1000	1,272	1,7544



Grafikon 12 Trikotni signal 5 MHz

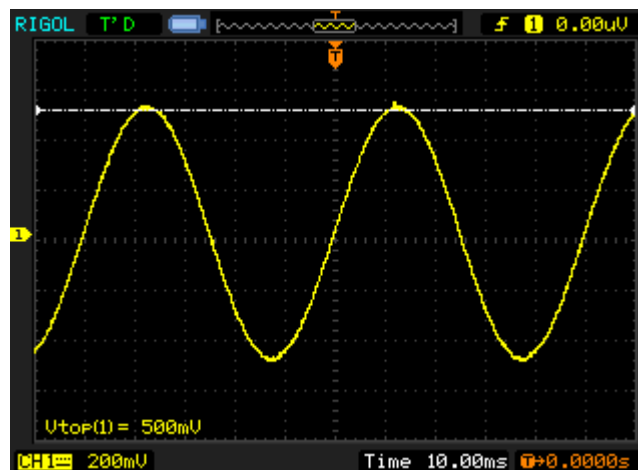
Tabela 12 Trikotni signal 5 MHz - Rezultati

Triangle signal 5 MHz							
	Referenca	Rigol DS1102E					
n	Uvh [mV]	Vavg [mV]	Vmax [mV]	Vrms [mV]	Vpp [mV]	Fshape	Ftop
1	4	0,78	1,76	1,16	4	1,50	1,5172
2	25	5,95	12,4	7,76	25	1,30	1,5979
3	250	60,00	120	77,5	252	1,29	1,5484
4	500	114,50	240	157	500	1,37	1,5287
5	1000	220,00	460	313	1000	1,42	1,4696

3.4 Meritev nizkofrekvenčne napetosti

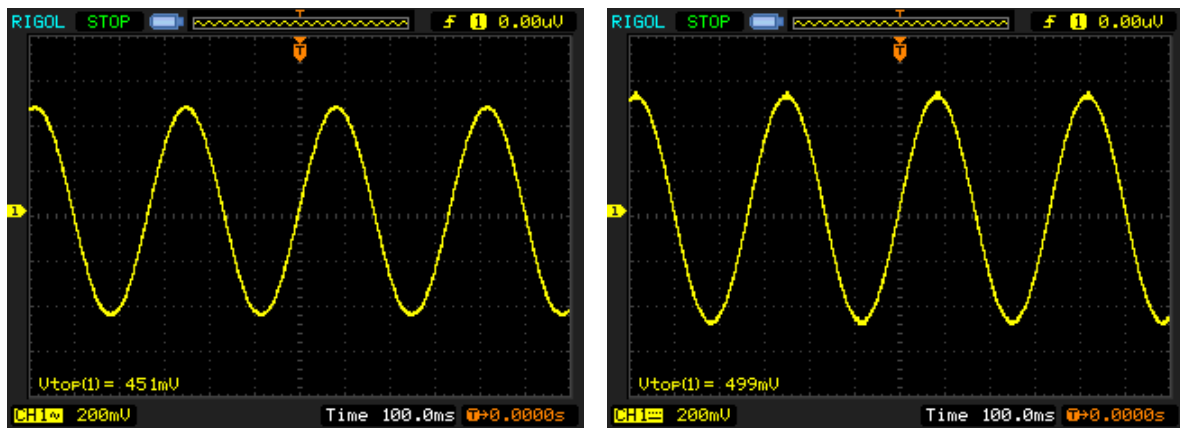
Signal sinusne in nato pravokotne oblike napetosti amplitude 1 V pri frekvenci 20 Hz priključite na vhod osciloskopa ter izberite enosmerni (DC) in izmenični način priključitve vhodnega ojačevalnika. Narišite časovne diagrame za vse primere. S spreminjanjem frekvence generatorja skušajte ugotoviti, pri katerih frekvencah se napetosti pri DC in AC ne razlikujejo za več kot 10%.

Do katere frekvence boste uporabljali osciloskop v AC-načinu?



Grafikon 13 Vhodni signal 1 Vpp 20 Hz

Vrednost DC in AC napetosti se ne razlikujeta za več kot 10% pri frekvenci $f = 3 \text{ Hz}$.



Grafikon 14 AC in DC signala, ki se ne razlikujeta za več kot 10%

3.5 Meritev frekvence in časa

3.5.1 Meritev frekvence

Izmerite frekvenco generatorja z osciloskopom in digitalnim merilnikom frekvence ter primerjate vrednosti s prikazano frekvenco na zaslonu generatorja.

3.5.1.1 Meritve in rezultati

Meritve smo opravili z dvema različnima frekvenčnima generatorjema in dobili sledeče rezultate.

Tabela 13 Rezultati meritev - FG - DG1022

5 V _{pp}	FG DG1022	
f [kHz]	DS1102E	HM 8021-4
0,001	1 Hz	999,9986 mHz
10	10 kHz	9,99999 kHz
10000	10 MHz	9,99999 MHz

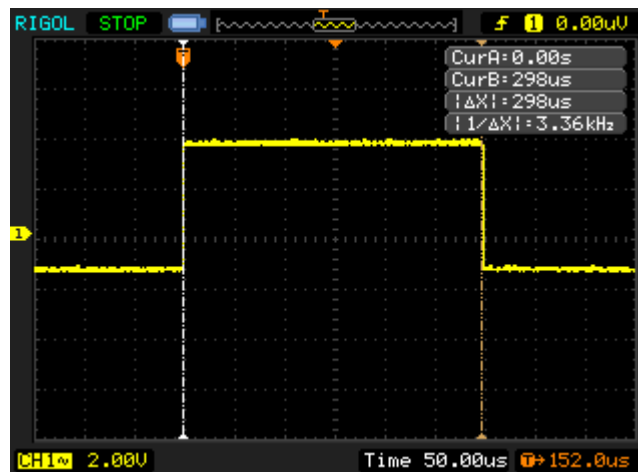
Tabela 14 Rezultati meritev - FG - 8030-3

9,12 V _{pp}	FG HM 8030-3	
f [kHz]	DS1102E	HM 8021-4
0,001	996 mHz	995,1729 mHz
10	9,843 kHz	9,87557 kHz
10000	1,020 MHz	1,021056 MHz

3.5.2 Meritev časa

Uporabite generator pravokotnih signalov z nastavljenim trajanjem impulza in izmerite z osciloskopom in merilnikom časovnih intervalov čas trajanja impulza in pavze. Narišite časovni potek merjene napetosti in določite pogrešek osciloskopa.

3.5.2.1 Meritve in rezultati



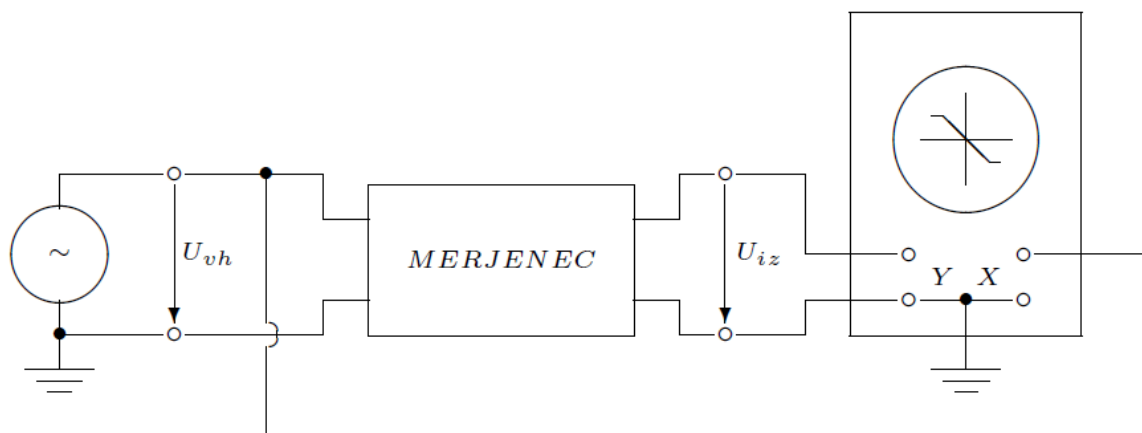
Grafikon 15 Pravokotni impulz

Z osciloskopom izmerjeno je pravokotni impulz amplitude 5 V ter trajanje impulza znaša $298\ \mu\text{s}$. Z merilnikom trajanja impulza Hameg HM 8021-3 pa smo izmerili čas trajanja impulza $299,58\ \mu\text{s}$.

3.6 Meritve v X-Y načinu z izklopom časovne baze

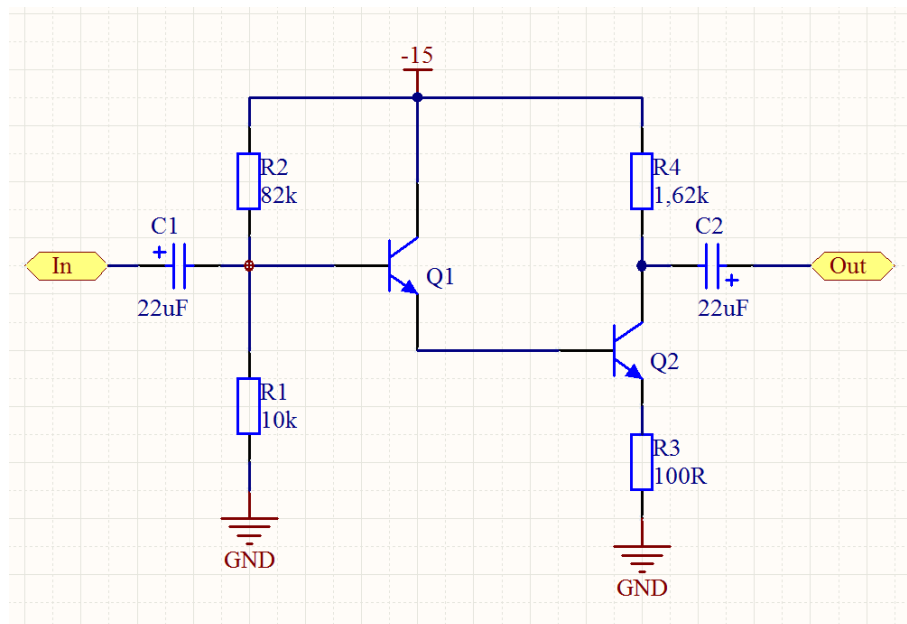
3.6.1 Prenosna funkcija neznanega merjenca

Maksimalna vhodna napetost merjenca znaša 50 mV , napajalna napetost pa $\pm 15\text{ V}$. Meritev opravite pri $f_1 = 1\text{ kHz}$ in $f_2 = 10\text{ kHz}$.

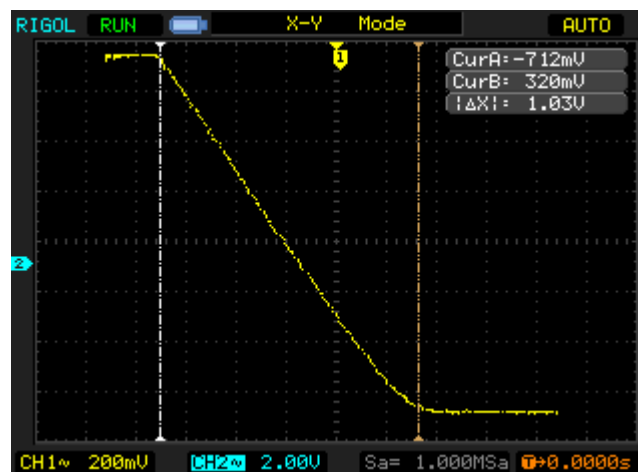


Slika 9 Vežalna shema za merjenje prenosne funkcije

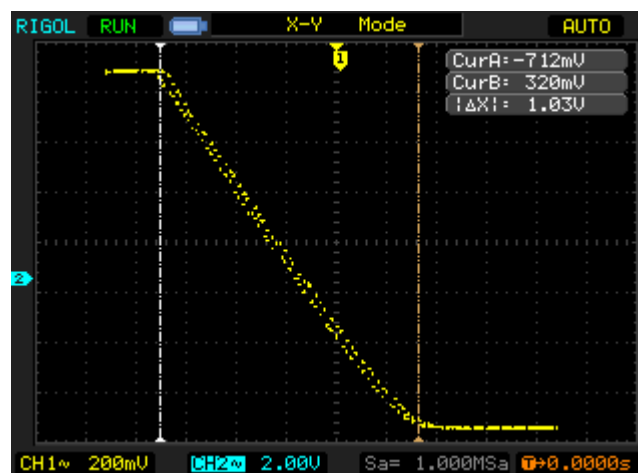
3.6.1.1 Meritve in rezultati



Slika 10 Shema neznanega merjenja



Grafikon 16 Prenosna karakteristika pri $f=1$ kHz

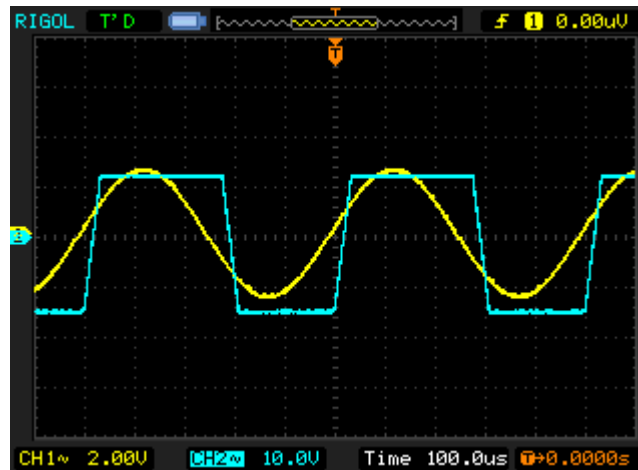


Grafikon 17 Prenosna karakteristika pri $f=10$ kHz

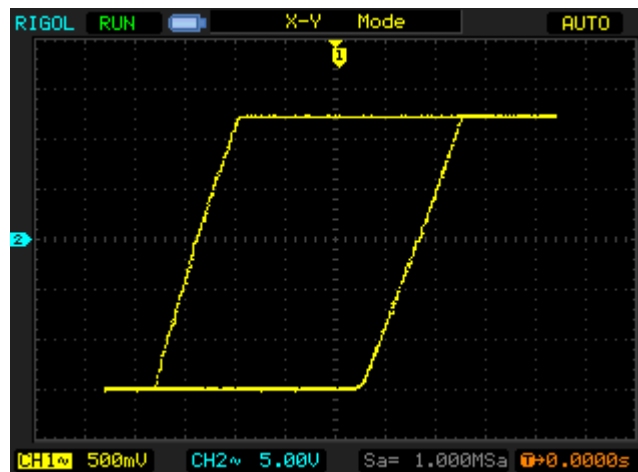
3.6.2 Preklopna karakteristika neznanega merjenca

Maksimalna vhodna napetost merjenca znaša 10 V , napajalna napetost pa $\pm 10\text{ V}$. Meritev opravite pri $f_1 = 100\text{ Hz}$ in $f_2 = 2\text{ kHz}$. Prerišite vezje in izmerite in narišite vhodno in izhodno napetost.

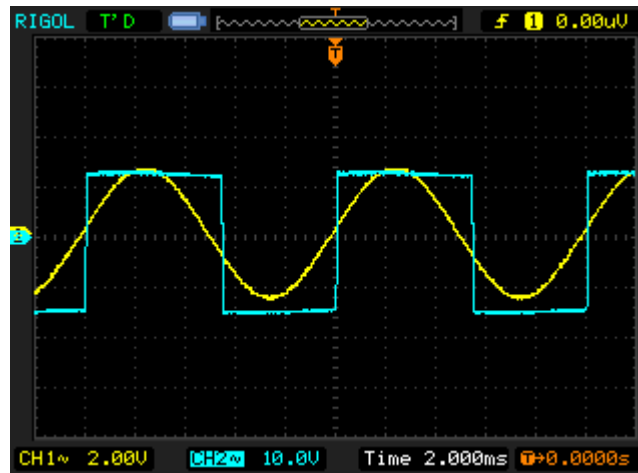
3.6.2.1 Meritve in rezultati



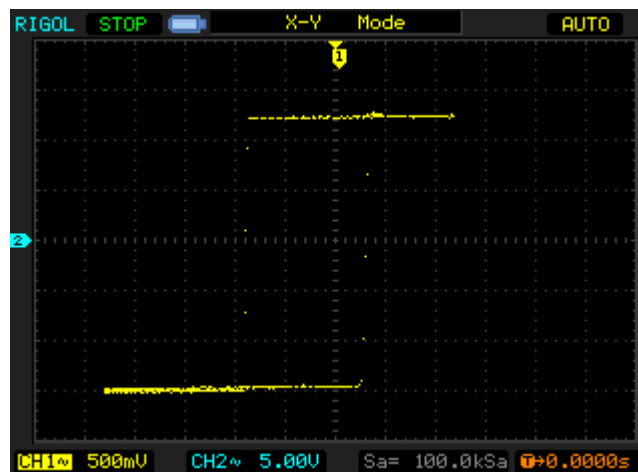
Grafikon 18 Potek signala pri frekvenci 2 kHz



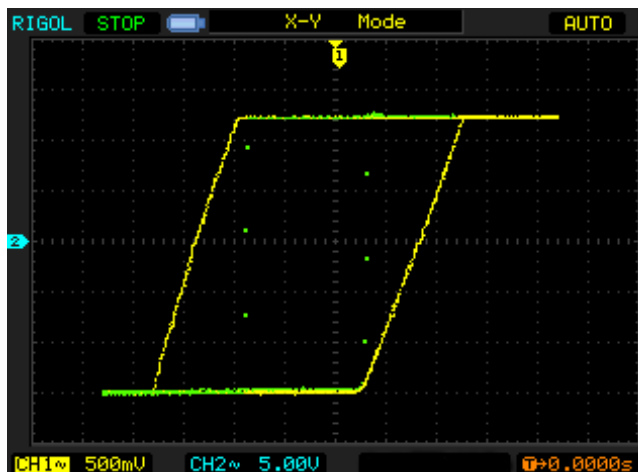
Grafikon 19 Preklopna karakteristika pri frekvenci 2 kHz



Grafikon 20 Potek signala pri frekvenci 100 Hz



Grafikon 21 Preklopna karakteristika pri frekvenci 100 Hz

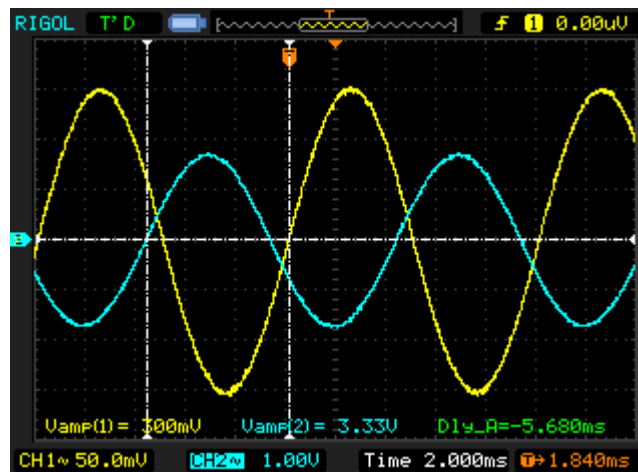


Grafikon 22 Združeni preklopni karakteristiki

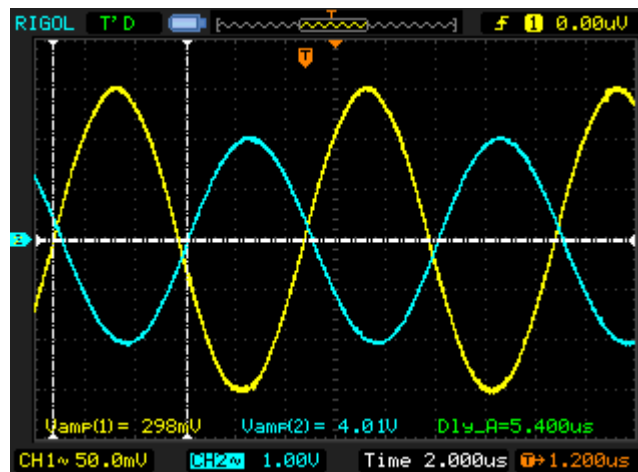
3.6.3 Meritev faznega kota

Meritev opravite z merjenjem prenosne karakteristike vezja - elipse, z merjenjem časovnega intervala med prehodom vhodne in izhodne napetosti skozi vrednost nič. Primerjajte rezultate dobljene z osciloskopom in z digitalnim merilnikom frekvence oziroma merilnikom časovnih intervalov.

3.6.3.1 Meritve in rezultati



Grafikon 23 Potek signala pri frekvenci 100 Hz – izhodni signal prehiteva



Grafikon 24 Potek signala pri frekvenci 1 kHz – izhodni signal zaostaja

Iz meritev zakasnitve signala lahko izračunamo fazne premike. Fazni premik pri frekvenci 100 Hz bomo označili φ_{100} , pri frekvenci 1 kHz pa φ_{1k} .

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ \quad (3.9)$$

Ker na osciloskopu ni merjen pravilni Δt moramo le tega preračunati glede na periodo:

$$\Delta t_{100} = T - \Delta t_m = 10 \text{ ms} - 5,68 \text{ ms} = 4,32 \text{ ms} \quad (3.10)$$

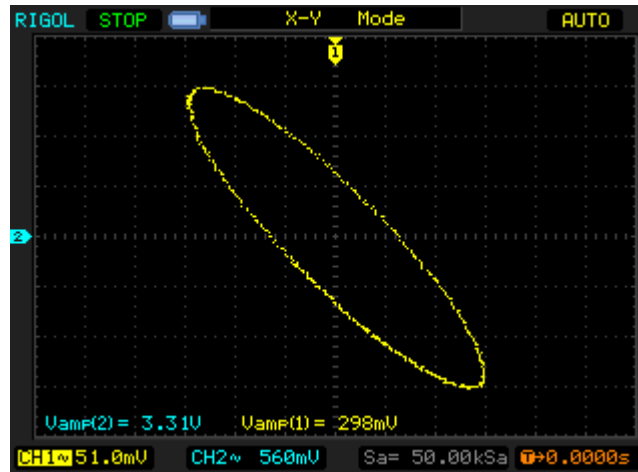
$$\varphi_{100} = \frac{4,32 \text{ ms}}{10 \text{ ms}} \cdot 360^\circ = 155,52^\circ \quad (3.11)$$

Negativen predznak ponazarja, da izhodni signal zaostaja za vhodnim. Meritev pri frekvenci 1 kHz pa nam daje pravilen čas zakasnitve.

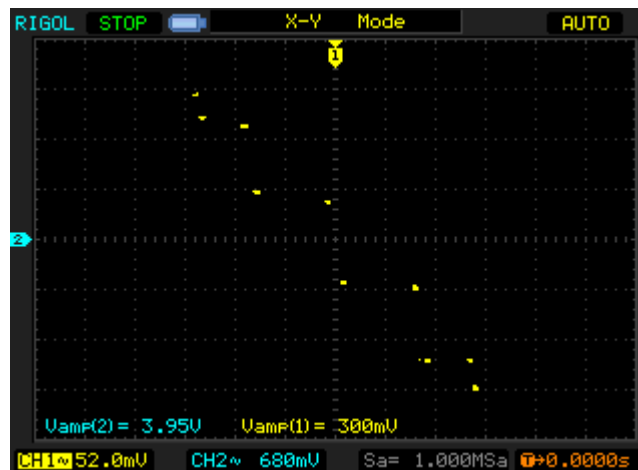
$$\Delta t_{1k} = 5,4 \mu\text{s} \quad (3.12)$$

$$\varphi_{1k} = \frac{-5,4 \mu s}{10 \mu s} \cdot 360^\circ = -194,4^\circ \quad (3.13)$$

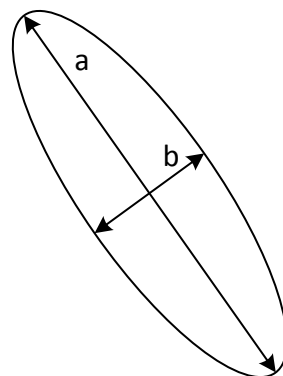
Te izračune smo opravili zgolj za primerjavo z naslednjimi rezultati pridobljenimi iz meritve z osciloskopom v x-y načinu ter elipse.



Grafikon 25 X-Y način - elipsa pri frekvenci 100 Hz



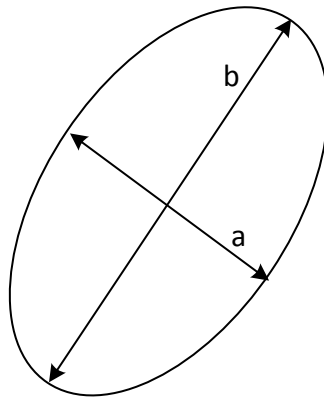
Grafikon 26 X-Y način - elipsa pri frekvenci 1 kHz



Slika 11 Elipsa

Za izračun kota iz elipse uporabimo enačbo (3.14), sicer obstajata še dve metodi, vendar ima ta metoda najmanjši pogrešek.

Pazimo! V literaturi bomo zasledili tudi naslednji prikaz elipse ter razdalji a in b .



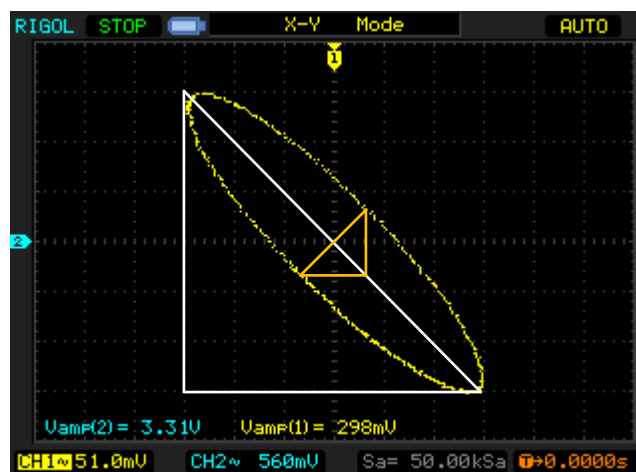
Slika 12 Elipsa 2

Razdalja a je še vedno počez, ne glede na to ali elipso raztegnemo ali zožimo, zato je v prejšnji sliki tudi daljša razdalja označena z a in ne kot tukaj daljša razdalja z b saj sta oznaki a in b fiksirani.

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{a}{b} \quad (3.14)$$

$$\Rightarrow \varphi = 2 \cdot \arctan \frac{a}{b} \quad (3.15)$$

Podatke o vrednosti a ter b bomo pridobili s pomočjo trikotnikov iz grafikona.



Grafikon 27 Odčitek podatkov a in b pri $f = 100$ Hz

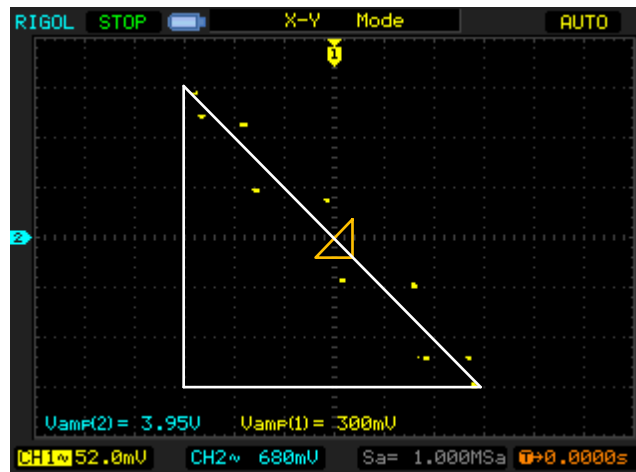
Podatki pri frekvenci 100 Hz :

$$a = 8,485 \text{ delcev}$$

$$b = 1,839 \text{ delcev}$$

$$\varphi_{100} = 2 \arctan \frac{8,485}{1,839} = 155,54^\circ \quad (3.16)$$

Podatek a pri frekvenci 1 kHz ostane nespremenjen medtem, ko se drug podatek spremeni.



Grafikon 28 Odčitek podatkov a in b pri $f = 1 \text{ kHz}$

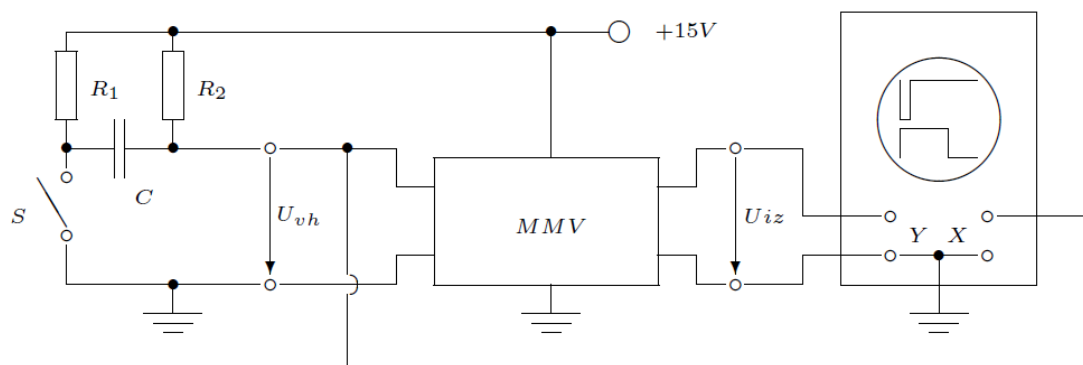
$$a = 8,485 \text{ delcev}$$

$$b = 0,566 \text{ delcev}$$

$$\varphi_{1k} = 2 \arctan \frac{8,485}{0,566} = 172,37^\circ \quad (3.17)$$

3.7 Osciloskop z digitalnim pomnilnikom

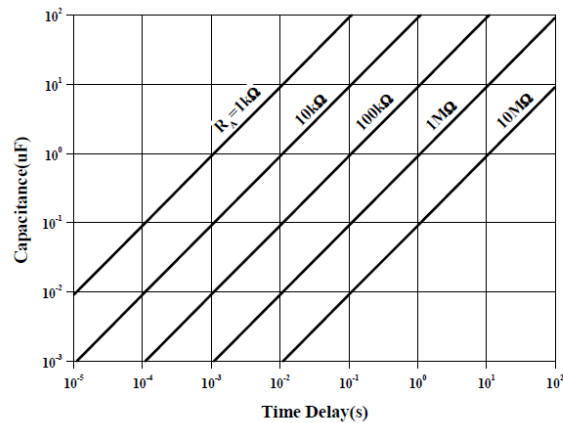
Izmerite kvazistabilno stanje monostabilnega multivibratorja, ki ste ga sprožili z diferencirnim prožilnim vezjem in stikalom. Narišite poteke prožilne napetosti, napetosti na pragovnem vходу in izhodne napetosti za vezje multivibratorja (vezje po prožilnem impulzu generira signal pravokotne oblike). Primerjate izmerjeno vrednost z izračunano.



Slika 13 Vezalna shema za merjenje kvazistabilnega stanja

3.7.1 Meritve in rezultati

Čas impulza na izhodu monostabilnega multivibratorja izračunamo po enačbi (3.18). Čas trajanja je definiran s kondenzatorjem in uporom, ki sta vezana kot delilnik napetosti z odcepom na trigger priključek timer integriranega vezja NE555. Iz datasheet kataloga lahko tudi vidimo razmerja le teh glede na trajanje izhodnega impulza.

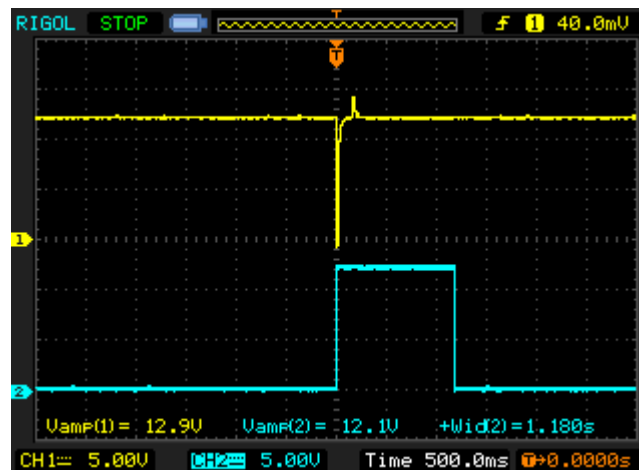


Grafikon 29 Razmerje C in R - čas trajanja impulza (datasheetcatalog)

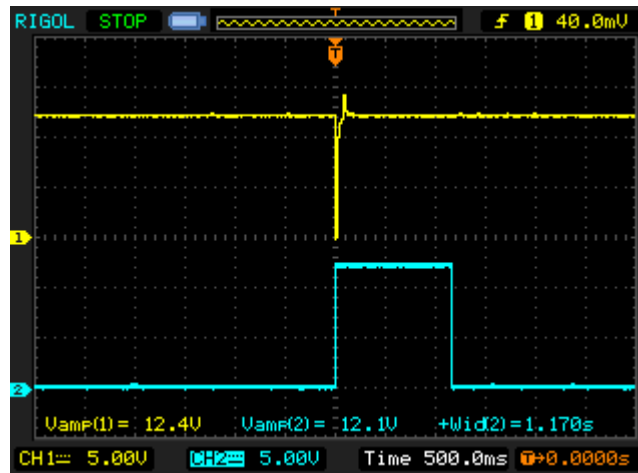
$$t = RC \ln(3) \quad (3.18)$$

$$t = R_4 C_3 P_1 = 15 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ }\mu\text{F} \cdot 7,9 \Omega = 1,185 \text{ s} \quad (3.19)$$

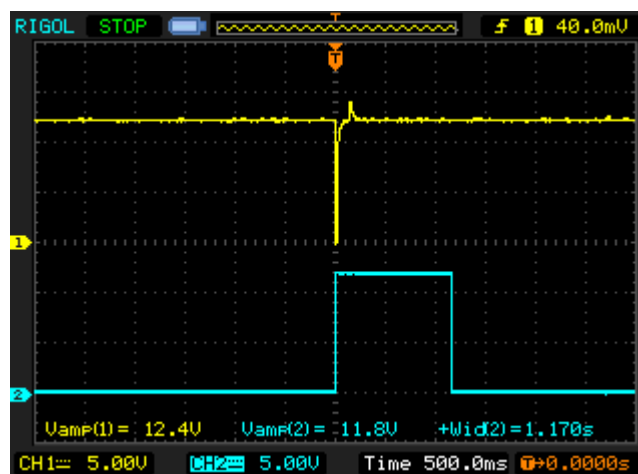
Z osciloskopom smo trikrat ponovili meritev impulza in s tem preverili čas trajanja. Iz meritev je razvidno, da načeloma res impulz traja enako dolgo in sicer je $t \approx 1,17 \text{ s}$.



Grafikon 30 I. meritev impulza $t = 1,18 \text{ s}$



Grafikon 31 2. meritev impulza $t = 1,17$ s



Grafikon 32 3. meritev impulza $t = 1,17$ s

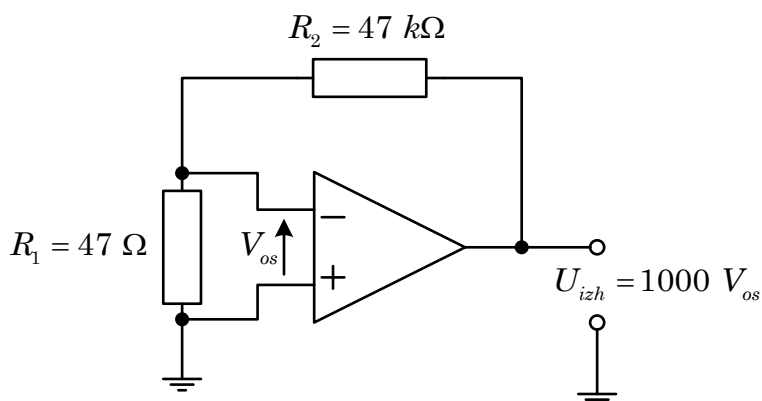
Na grafikonih predstavlja CH1 vhodni (rumen) signal, kjer je razviden prožilni (trigger) impulz proti masi. Izhodni signal predstavlja CH2 (moder). Amplitude ter trajanje impulza lahko odčitamo na dnu grafikonov. Pomembno je, da je prožilni impulz čim krajši, ne sme presegati trajanja izhodnega impulza, kar je pa v tem primeru zadoščeno.

4. MERILNI OJAČEVALNIK

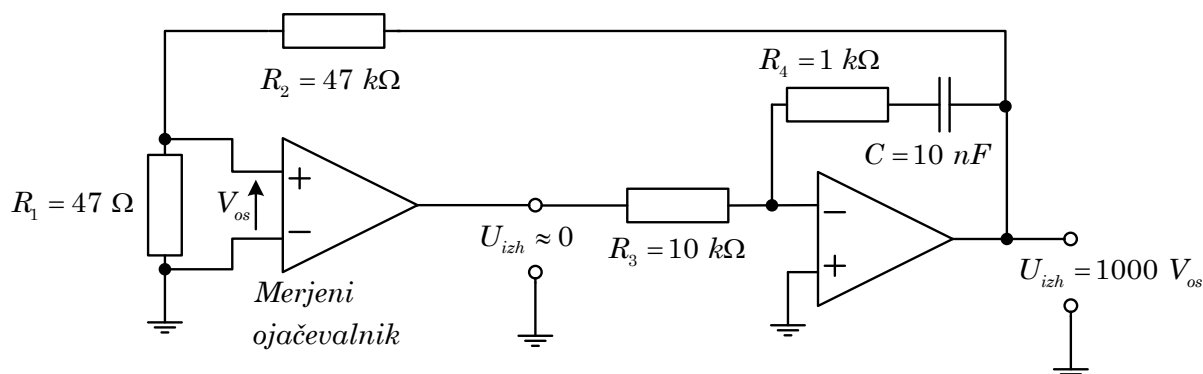
4.1 Meritev nekaterih lastnosti ojačevalnikov

Uporaba testnih vezij proizvajalcev operacijskih in instrumentacijskih ojačevalnikov:

1. Izmerite ničelno napetost (offset voltage V_{os}) operacijskega ojačevalnika in vpliv temperature na spremembo ničelne napetosti.



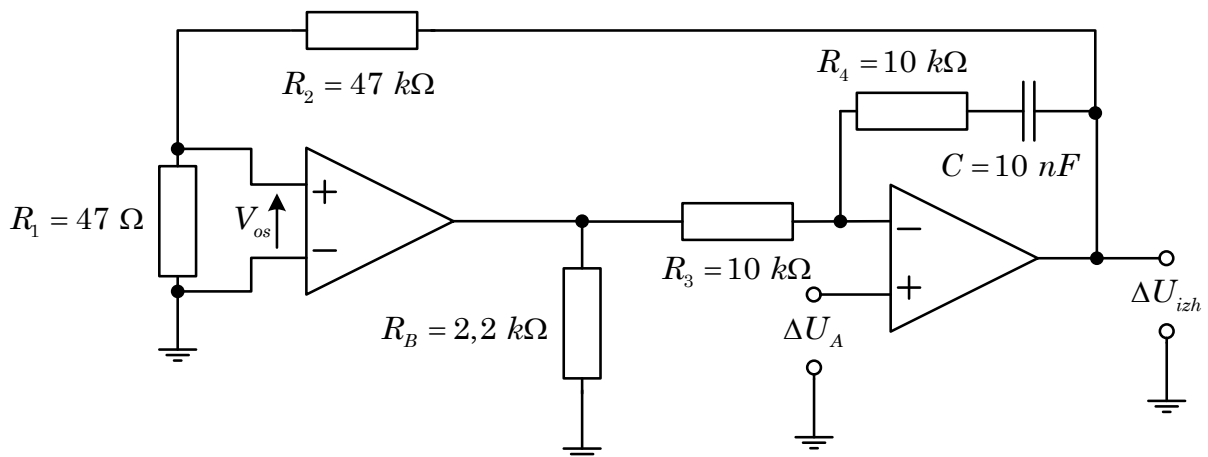
Slika 14 1. vezje za merjenje V_{os} napetosti



Slika 15 2. vezje za merjenje V_{os} napetosti

Prvo vezje vnaša nekaj procentni pogrešek, ker meritev ni opravljena pri izhodni napetosti $0 V$. To pomanjkljivost odpravimo z drugim vezjem. Pri vplivu temperature uporabite vezje za merjenje ničelne napetosti, merjeno vezje pa ogrejte v komori na $50^\circ C$ in $75^\circ C$. Pri nastavljeni temperaturi izmerite ničelno napetost in jo primerjajte z izmerjeno pri sobni temperaturi. V diagramu podajte odvisnost ničelne napetosti od temperature.

2. Izmerite napetostno ojačenje A_0 operacijskega ojačevalnika



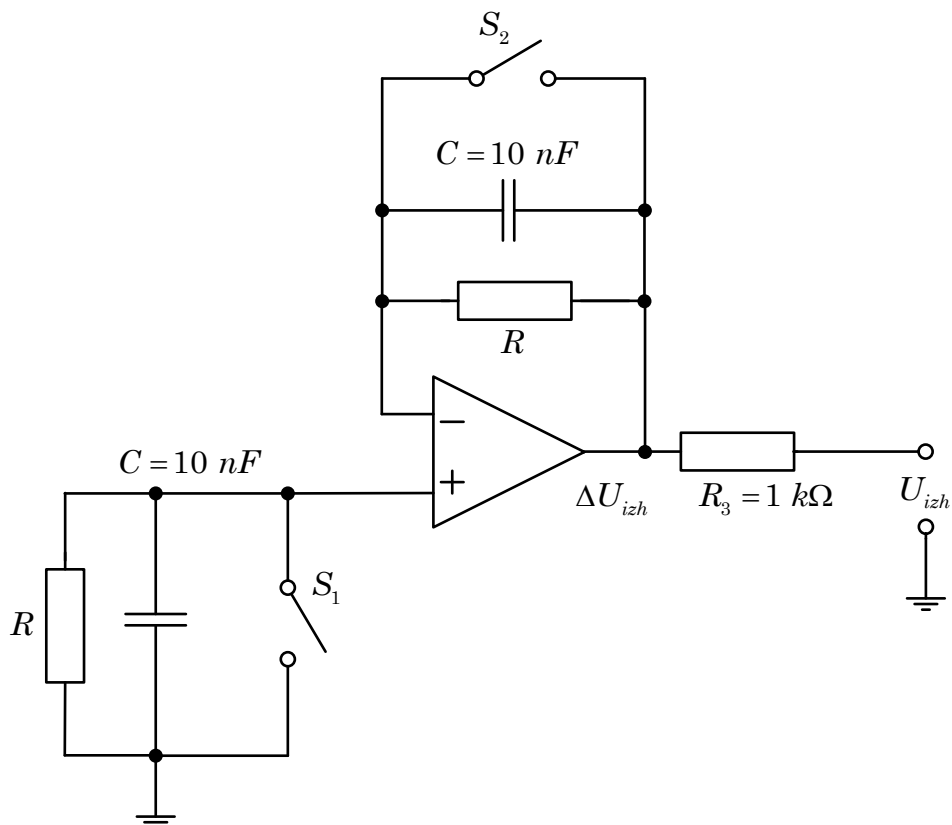
Slika 16 Vezje za merjenje napetostnega ojačenja

Za $\pm 15\text{ V}$ – napajanje izberemo

$\Delta U_A = 20\text{ V}$ (od -10 V do $+10\text{ V}$)

$$A = 1001 \frac{\Delta U_A}{\Delta U_{izh}} = \frac{20020}{\Delta U_{izh}}$$

3. Izmerite vhodne tokove I_B in I_{os} .



Slika 17 Vezje za merjenje vhodnih tokov I_B in I_{os}

$$\text{Obe sklenjeni} = V_{os}$$

$$\text{Obe odprti} = I_{os} \cdot R + V_{os}$$

$$S_1 - \text{sklenjeno}, S_2 - \text{odprto} = (-I_B^- \cdot R) + V_{os}$$

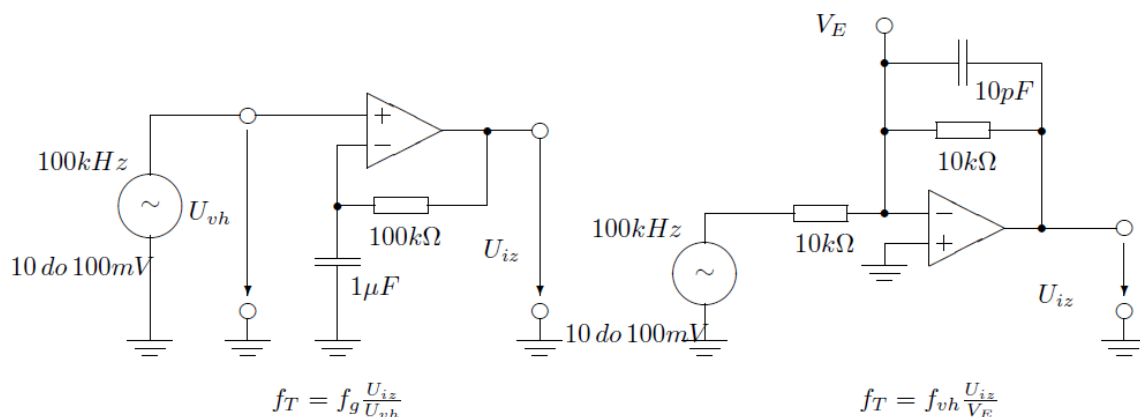
$$S_1 - \text{odprto}, S_2 - \text{sklenjeno} = (I_B^+ \cdot R) + V_{os}$$

$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

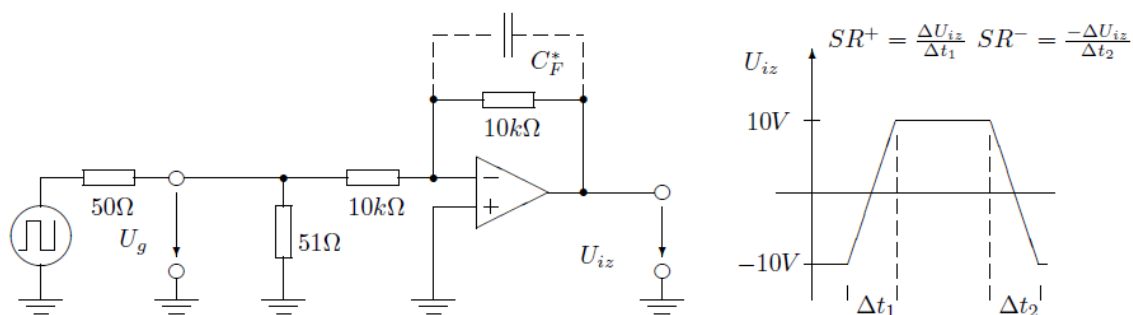
$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

4. Z ekstrapoliranjem poteka amplitude poiščite frekvenco f_T , pri kateri bo napetostno ojačenje ojačevalnika enako ena ter izračunajte produkt ojačenja in pasovne širine GBW (Gain Band Width Product).



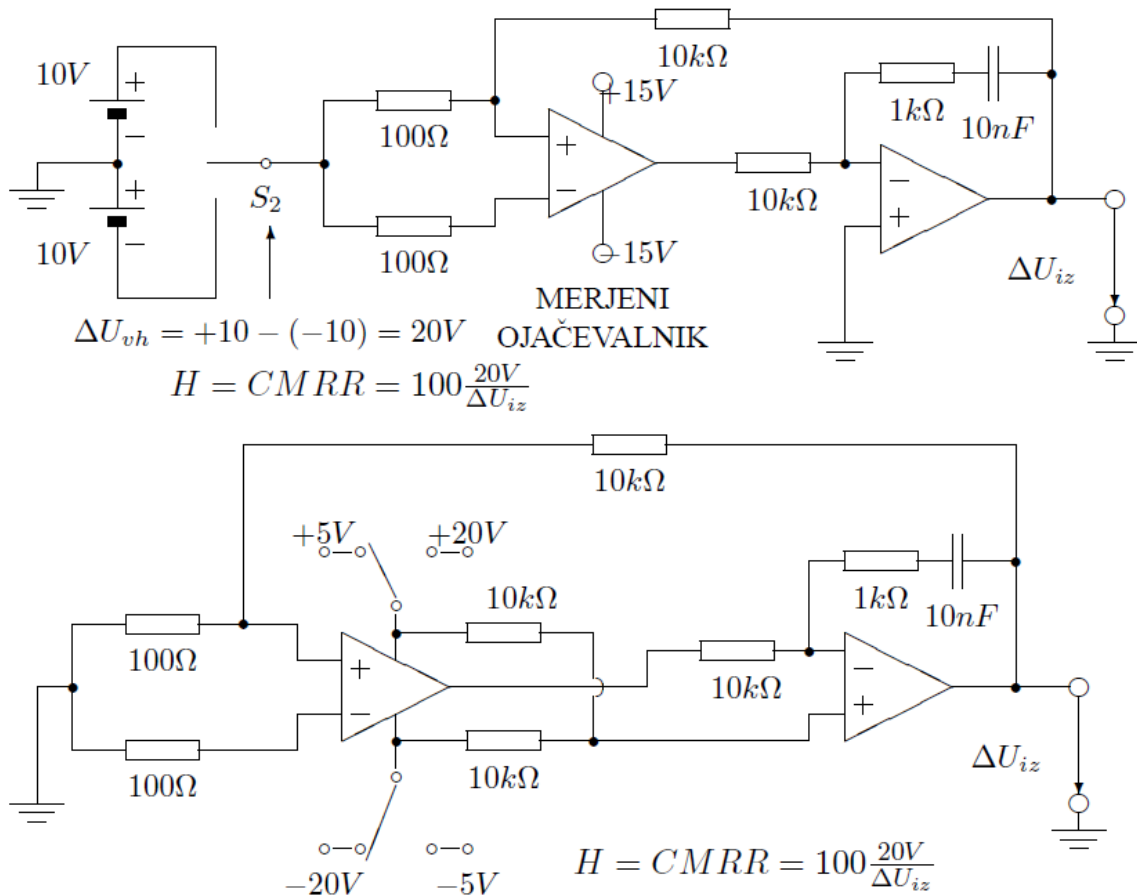
Slika 18 Vezave ojačevalnikov za merjenje tranzientne frekvence

5. S pravokotnim vhodnim signalom amplitude $\pm 10 \text{ V}$ izmerite strmino naraščanja oz. padanja izhodne napetosti SR (Slew Rate).



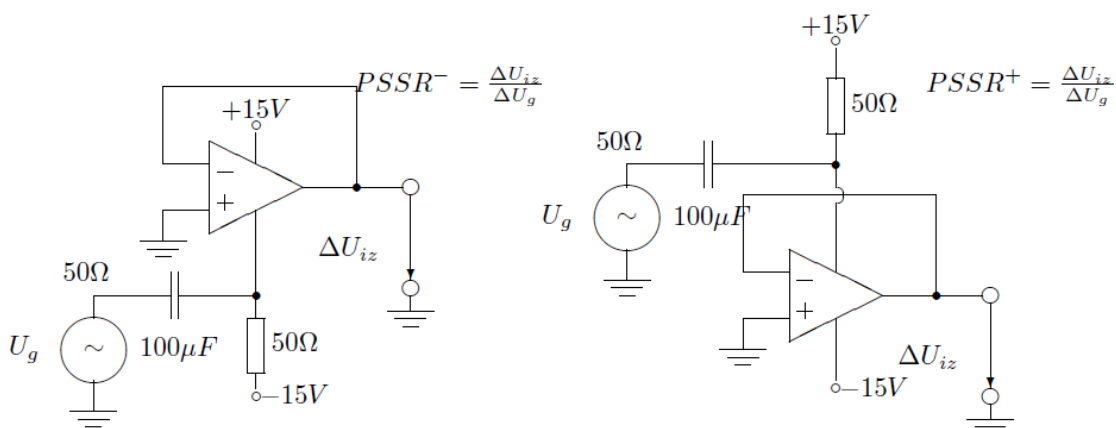
Slika 19 Vezava ojačevalnika za merjenje SR (Slew Rate)

6. Izmerite enosmerni rejekcijski faktor za obe vezji in primerjajte rezultate DC CMRR (Common Mode Rejection Ratio).



Slika 20 Vezavi ojačevalnika za merjenje enosmernega rejekcijskega faktorja

7. Izmerite vpliv spremembe napajalne napetosti na izhodno napetost PSRR (Power Supply Rejection Ratio).



Slika 21 Vezavi ojačevalnikov za meritev vpliva napajalne napetosti na izhodno napetost

8. Izmerite scintilacijski šum (Flicker noise). Ker je obratno sorazmeren s frekvenco, ga imenujemo tudi $\frac{1}{f}$ šum.
9. Izmerite območje izhodne napetosti operacijskega ojačevalnika (Output Voltage Swing). Napajalna napetost je $\pm 15V$.

10. Izmerite in narišite frekvenčno karakteristiko operacijskega ojačevalnika brez povratne vezave (potek amplitude in faznega kota v odvisnosti od frekvence).

4.1.1 Meritve in rezultati

Meritve smo izvedli s petimi različnimi ojačevalniki in sicer; UA741CN, OPA37GP, LF351N, CA3410EZ ter TL081.

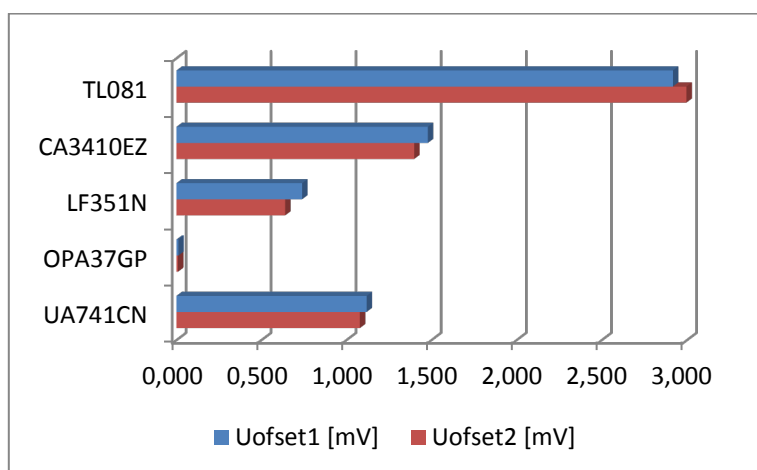
Tabela 15 Rezultati meritev Vos za 1. in 2. vezje

	I. Vezje	II. Vezje	I. Vezje	II. Vezje
OP-AMP	Uizh1 [mV]	Uizh2 [mV]	Uofset1 [mV]	Uofset2 [mV]
UA741CN	1120	1080	1,119	1,079
OPA37GP	10,8	8,8	0,011	0,009
LF351N	740	640	0,739	0,639
CA3410EZ	1480	1400	1,479	1,399
TL081	2920	3000	2,917	2,997

Ko smo izmerili izhodno napetost ojačevalnika je bila ta napetost za ojačenje operacijskega ojačevalnika ojačeno, tako je bilo potrebno izračunati V_{os} po enačbi (4.2).

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{47 \text{ k}\Omega}{47 \text{ }\Omega} = 1001 \quad (4.1)$$

$$V_{os} = \frac{U_{izh}}{A_u} \quad (4.2)$$



Grafikon 33 Vos napetosti podane v grafikonu

Iz grafikona lahko določimo boljše in slabše ojačevalnike. Vidimo, da ima relativno veliko V_{os} napetost ojačevalnik TL081 najmanj pa ojačevalnik OPA37GP, kar pa je pričakovano, saj je nizko šumni ojačevalnik.

Tabela 16 Rezultati meritev ojačenja operacijskih ojačevalnikov

OP-AMP	U _{izh} (U _a = -10V)	U _{izh} (U _a = 10V)	ΔU _{izh}	A _u
UA741CN	1,08	1,08	0,00E+00	#DEL/0!
OPA37GP	5,75E-03	1,85E-02	-0,01275	-1570196,078
LF351N	0,52	0,68	-0,16	-125125
CA3410EZ	1,2	1,64	-0,44	-45500
TL081	3,04	3	0,04	500500

Pri operacijskem ojačevalniku UA741CN ni prišlo do razlike izhodne napetosti, tako je teoretično ojačenje neskončno veliko.

Tabela 17 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov

UA741CN	[mV]		LF351N	[μV]	
V _{os}	-1,38	Izmerjeno	V _{os}	776	Izmerjeno
I _{os} *R+V _{os}	-3,88		I _{os} *R+V _{os}	820	
I _b ⁺ *R+V _{os}	-33,86		I _b ⁺ *R+V _{os}	854	
I _b ⁻ *R+V _{os}	28,6		I _b ⁻ *R+V _{os}	720	
I _{os} =-V _{os} /R	-2,50E-09	Računsko [A]	I _{os} =-V _{os} /R	4,40E-11	Računsko [A]
I _B ⁺ =-V _{os} /R	-3,25E-08		I _B ⁺ =-V _{os} /R	7,80E-11	
I _B ⁻ =V _{os} /R	3,00E-08		I _B ⁻ =V _{os} /R	-5,60E-11	

Tabela 18 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov

CA3140EZ	[μV]		TL081	[mV]	
V _{os}	400	Izmerjeno	V _{os}	2,99	Izmerjeno
I _{os} *R+V _{os}	480		I _{os} *R+V _{os}	2,97	
I _b ⁺ *R+V _{os}	525		I _b ⁺ *R+V _{os}	2,88	
I _b ⁻ *R+V _{os}	375		I _b ⁻ *R+V _{os}	3,07	
I _{os} =-V _{os} /R	8,00E-11	Računsko [A]	I _{os} =-V _{os} /R	-2,00E-11	Računsko [A]
I _B ⁺ =-V _{os} /R	1,25E-10		I _B ⁺ =-V _{os} /R	-1,10E-10	
I _B ⁻ =V _{os} /R	-2,50E-11		I _B ⁻ =V _{os} /R	8,00E-11	

Tabela 19 Rezultati meritev in izračunov vhodnih tokov

OPA37GP	[mV]	
V _{os}	-1,32	Izmerjeno
I _{os} *R+V _{os}	0,21	
I _b ⁺ *R+V _{os}	-6,18	
I _b ⁻ *R+V _{os}	5,02	
I _{os} =-V _{os} /R	1,53E-09	Računsko [A]
I _B ⁺ =-V _{os} /R	-4,86E-09	
I _B ⁻ =V _{os} /R	6,34E-09	

Če primerjamo posredno izračunane podatke tokov ter podatke tokov, ki jih navaja proizvajalec v datasheet katalogih se (katere smo preverili) ujemajo oz. so v podanih mejah.

Pri merjenju tranzientne frekvence ojačevalnika smo uporabili dve vezji ter dve enačbi:

$$f_T = f_g \frac{U_{izh}}{U_{vh}} \quad (4.3)$$

$$f_T = f_{in} \frac{U_{izh}}{V_E} \quad (4.4)$$

Tabela 20 Rezultati meritev ter izračunov tranzientne frekvence ojačevalnika

Vezje a)	f _g [kHz]	U _g [mV]	U _{izh} [V]	f _T [MHz]
TL081	100	100	3,81	3,810
LM741CN	50	100	1,87	0,935
CA3140EZ	80	100	5,35	4,280
Vezje b)	f _{in} [kHz]	U _g [mV]	V _E [mV]	f _T [MHz]
TL081	100	100	5,60	1,786
LM741CN	100	100	38,60	0,259
CA3140EZ	100	100	3,30	3,030

Pri meritvi SR (Slew Rate) smo upoštevali nivo merjenja in sicer smo za naklon izbrali tisti del, kjer je signal narastel že za 10% vrednosti signala ter kjer je vrednost signala 90%. Dobili smo sledeče rezultate:

Tabela 21 Rezultati meritev SR

	Rise			Fall		
	ΔU _{izh} [V]	Δt [ns]	SR ⁺ [V/ns]	ΔU _{izh} [V]	Δt [ns]	SR ⁻ [V/ns]
CA3140	6,56	540,00	0,0121	6,32	520	-0,0122
UA741CN	6,4	9120	0,0007	6,16	8720	-0,0007
TL081	6,24	580	0,0108	6,24	600	-0,0104

Za merjenje enosmernega rejekcijskega faktorja (DC CMRR) smo uporabili dve različni vezji ter enačbo za izračun:

$$H = CMRR = 100 \frac{20V}{\Delta U_{izh}} \quad (4.5)$$

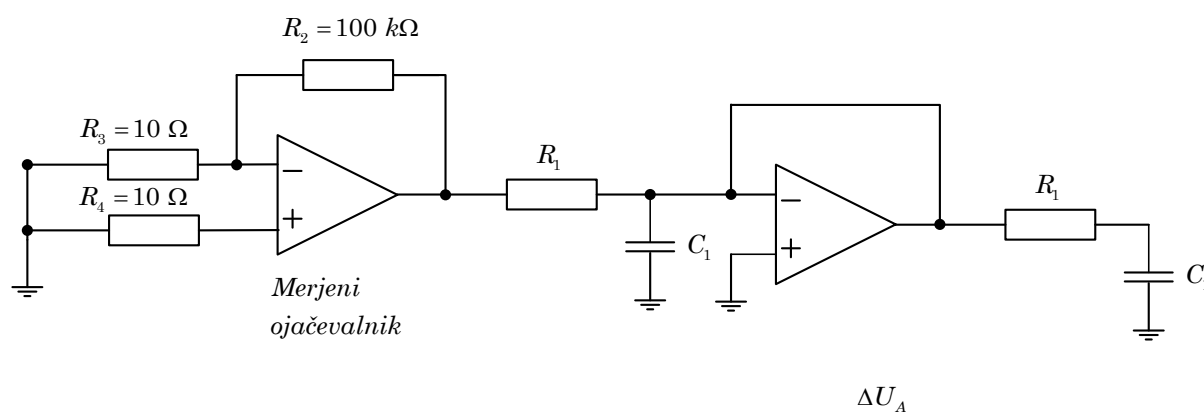
Tabela 22 Rezultati meritev in izračunov CMRR za prvo in drugo vezje

Prvo vezje					
IC	U _{izh(+10V)} [V]	U _{izh(-10V)} [V]	ΔU _{izh}	CMRR	CMRR [dB]
UA741	10,2	-9,95	0,25	8000	78,06
OPA37GP	10,1	-10	0,1	20000	86,02
CA3140EZ	9,88	-10,3	-0,42	4762	73,56
TL081CN	10,3	-9,78	0,52	3846	71,70
Drugo vezje					
IC	U _{izh(+5/-20)} [mV]	U _{izh(-5/+20)} [mV]	ΔU _{izh}	CMRR	CMRR [dB]
UA741	-56,2	-56,5	112,7	17746	84,98
OPA37GP	-5,32	6,35	11,67	171380	104,68
CA3140EZ	-270	-266	536	3731	71,44
TL081CN	203	238	441	4535	73,13

Tabela 23 Rezultati meritev vpliva napajalne napetosti na izhodno napetost PSSR

ΔU _g = 1 V	U _{izh} [mV]			PSSR ⁻			U _{izh} [mV]			PSSR ⁺		
IC/f [Hz]	50	100	1000	50	100	1000	50	100	1000	50	100	1000
CA3140EZ	1,76	1,68	1,92	0,0018	0,0017	0,0019	2,32	2,88	3,2	0,0023	0,0029	0,0032
UA741	1,36	1,36	1,44	0,0014	0,0014	0,0014	3,04	3,28	3,68	0,0030	0,0033	0,0037
TL081	1,12	1,12	1,28	0,0011	0,0011	0,0013	1,76	1,84	2,16	0,0018	0,0018	0,0022
OPA37GP	208	210	280	0,2080	0,2100	0,2800	248	304	16	0,2480	0,3040	0,0160

Za meritev scintilacijskega šuma smo uporabili naslednjo vezavo operacijskega ojačevalnika ter naslednjo kombinacijo upora R ter kondenzatorja C:



Slika 22 Vezava za merjenje scintilacijskega šuma

Tabela 24 Kombinacije upora R1 in kondenzatorja C1

	R ₁	C ₁
1.	3,3 k	4,7 uF
2.	3,3 k	470 nF
3.	3,3 k	47 nF
4.	3,3 k	4,7 nF
5.	3,3 k	470 pF

Tabela 25 Rezultati meritev izhodne napetosti pri različnih kombinacijah

IC	Uizh [mV]				
	Kombinacija				
	1.	2.	3.	4.	5.
CA3140EZ	6,80	10,90	14,40	20,60	22,20
UA741	1,92	2,08	3,08	6,80	8,40
TL081	2,48	3,28	6,00	8,60	10,00
OPA37GP	1,84	1,60	2,80	3,20	5,40

Ker z vsako naslednjo meritvijo zajamemo predhodni šum, moramo predhodne izločiti če želimo pridobiti podatek o posameznem šumu.

$$E_{n_{1-2}} = \sqrt{E_{n_1}^2 + E_{n_2}^2} \quad (4.6)$$

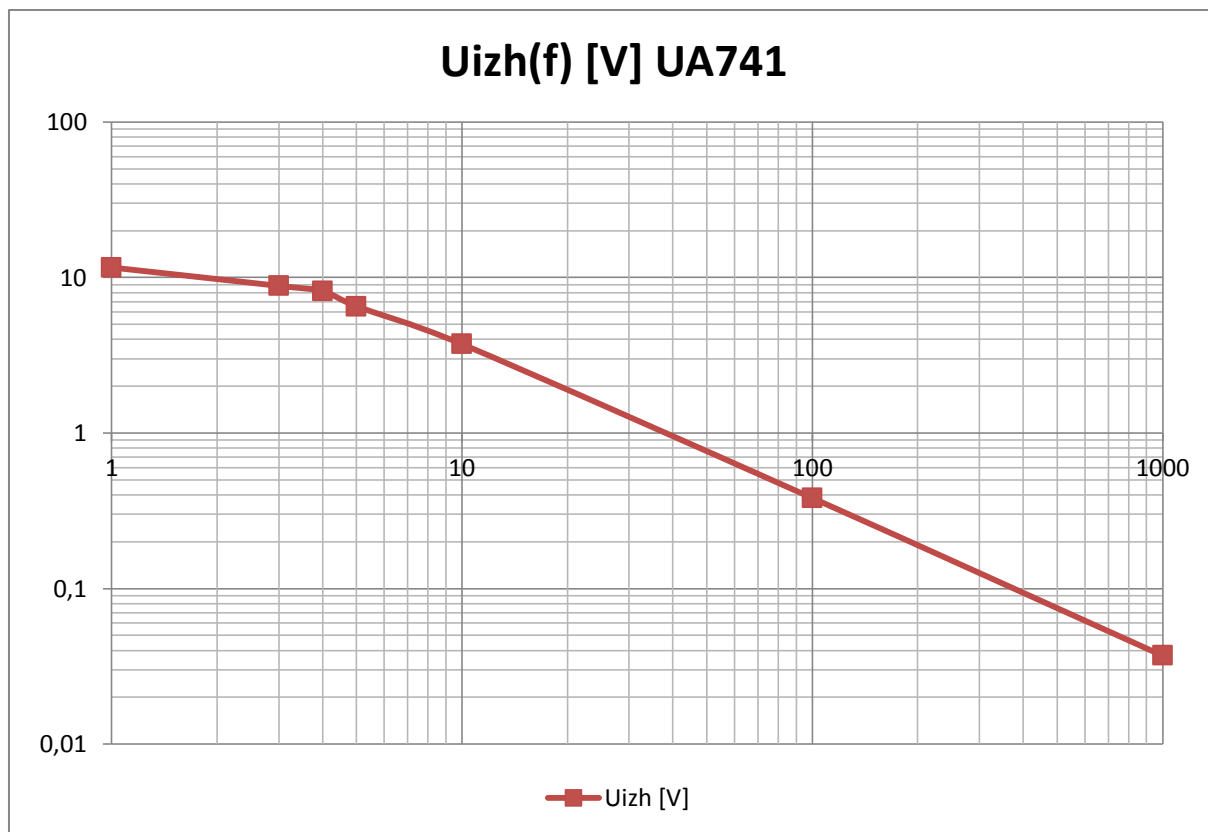
Tabela 26 Rezultati izračuna scentilacijskih šumov

IC	Uizh [mV]									
	Kombinacija									
	1.	2.	3.	4.	5.	En1	En2	En3	En4	En5
CA3140EZ	6,80	10,90	14,40	20,60	22,20	6,80	8,52	9,41	14,73	8,28
UA741	1,92	2,08	3,08	6,80	8,40	1,92	0,80	2,27	6,06	4,93
TL081	2,48	3,28	6,00	8,60	10,00	2,48	2,15	5,02	6,16	5,10
OPA37GP	1,60	1,84	2,80	3,20	5,40	1,60	0,91	2,11	1,55	4,35

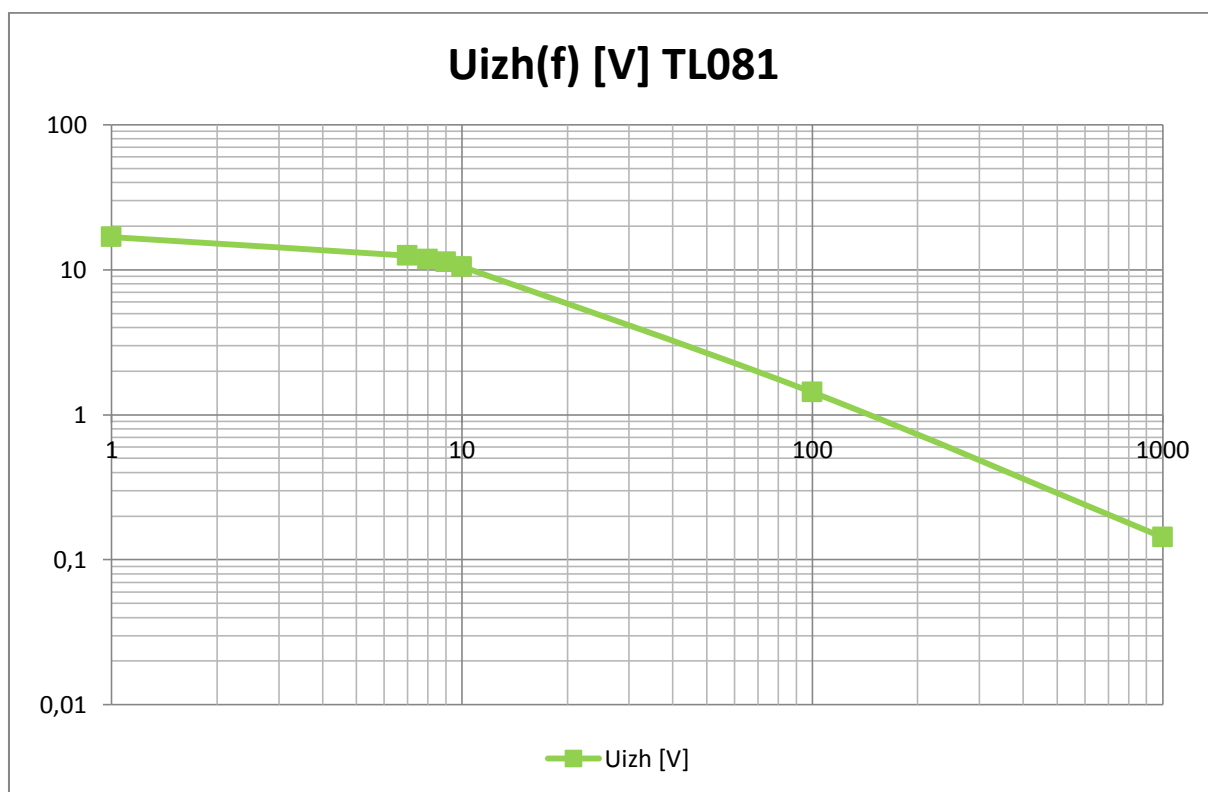
Tabela 27 Rezultati meritev območja izhodne napetosti ojačevalnika

Au = -1000	Uvh _{max} [V]	Uizh [V]
UA741	36	20,5
TL081	31	20,8
CA3140	28	18,9
OPA37GP	36	24,8

S pomočjo nastavljanja vhodnega signala ter opazovanja izhodnega signala na osciloskopu, smo lahko določili mejo, pri kateri še signal ni porezan in ga je ojačevalnik sposoben ojačevati.



Grafikon 34 Frekvenčna karakteristika ojačevalnik UA741 brez povratne vezave



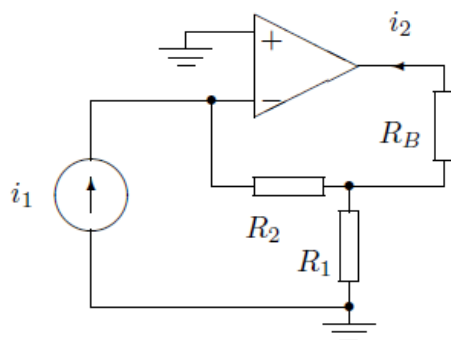
Grafikon 35 Frekvenčna karakteristika ojačevalnik TL081 brez povratne vezave

5. UPORABA OPERACIJSKEGA OJAČEVALNIKA

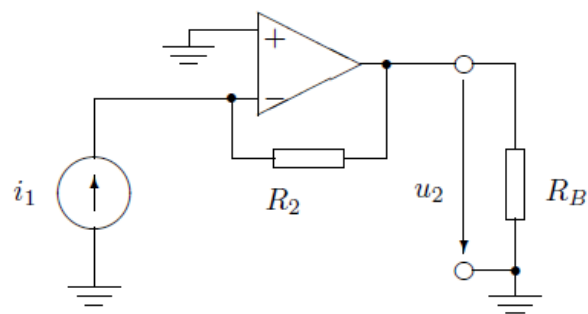
Izberite eno od vezij, nastavite ojačenja in izmerite prenosno karakteristiko pretvornika:

- a) U-U: napetostno napetostni pretvornik: $\frac{U_{iz}}{U_{vh}} = 10$ pri $U_{vh} = 0,1 \text{ V}$
- b) I-U: tokovno napetostni pretvornik: $\frac{U_{iz}}{I_{vh}} = 1000 \frac{\text{V}}{\text{A}}$ pri $I_{vh} = 1 \text{ mA}$
- c) U-I: napetostno tokovni pretvornik: $\frac{I_{iz}}{U_{vh}} = 5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$ pri $U_{vh} = 1 \text{ V}$
- d) I-I: tokovno tokovni pretvornik: $\frac{I_{iz}}{I_{vh}} = 3$ pri $I_{vh} = 0,5 \text{ mA}$

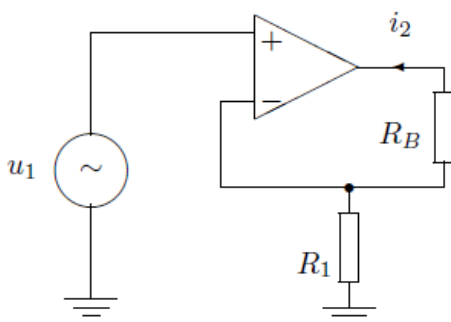
Za izbrano vezje še izmerite vhodno in izhodno upornost. Napajalni napetosti sta $U_{cc} = +15 \text{ V}$ in $U_{EE} = -15 \text{ V}$.



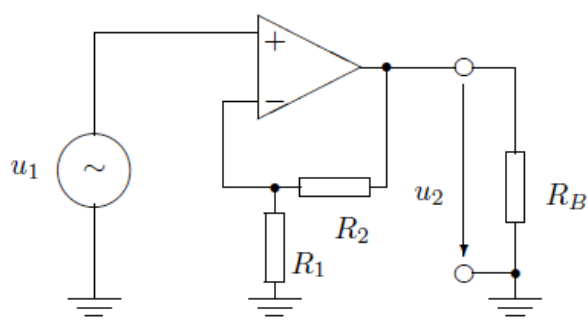
č) T – T



b) T – N



c) N – T



a) N – N

Slika 23 Vezave operacijskega ojačevalnika

5.1 N-N pretvornik – vezje a)

Da bo ojačenje pri vhodni napetosti $U_{vh} = 0,1 \text{ V}$ enako 10, smo izbrali upor:

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega \quad (5.1)$$

Ter vrednost drugega izračunali:

$$R_1 = \frac{R_2}{9} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{9} = 1,11 \text{ k}\Omega \quad (5.2)$$

Iz lestvice uporov E12 smo izbrali vrednost upora $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \text{ k}\Omega}{1,2 \text{ k}\Omega} = 9,33 \quad (5.3)$$

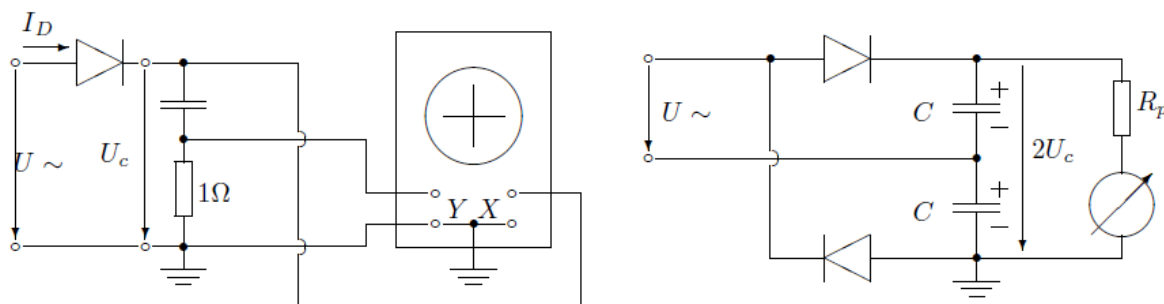
Tabela 28 Rezultati meritev N-N pretvornika

a) N - N		
$U_{vh} \text{ [mV]}$	$U_{izh} \text{ [mV]}$	U_{izh}/U_{vh}
51	477	9,35
98,7	928	9,40
192	1870	9,74
251	2340	9,32
295	2790	9,46
347	3280	9,45
397	3760	9,47

6. IZBRANI MERILNI POSTOPKI

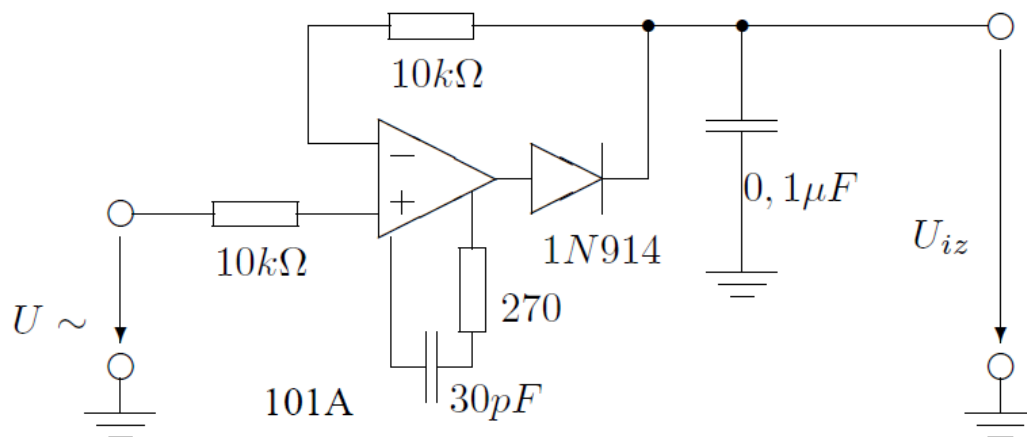
6.1 Meritev vršne napetosti

Izmerite vršno napetost periodičnega izmeničnega signala (peak detector). Z osciloskopom



Slika 24 Vezave peak detektorja

izmerite in prerišite potek vhodne napetosti, napetost na kondenzatorju in potek toka i_D v odvisnosti od časa. Tok merite posredno z merjenjem padca napetosti na $1\ \Omega$ uporu.

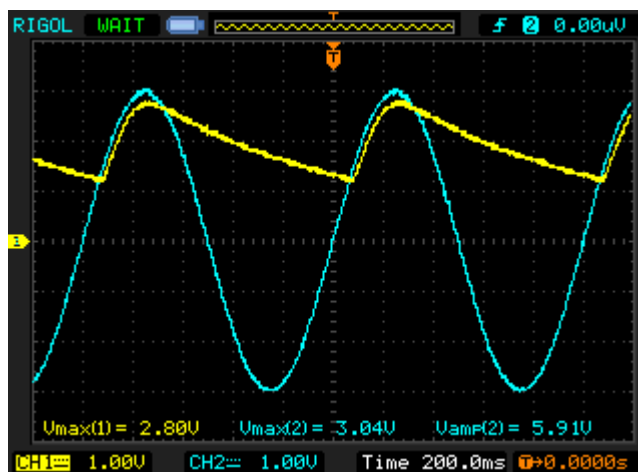


Slika 25 Peak detektor z operacijskim ojačevalnikom

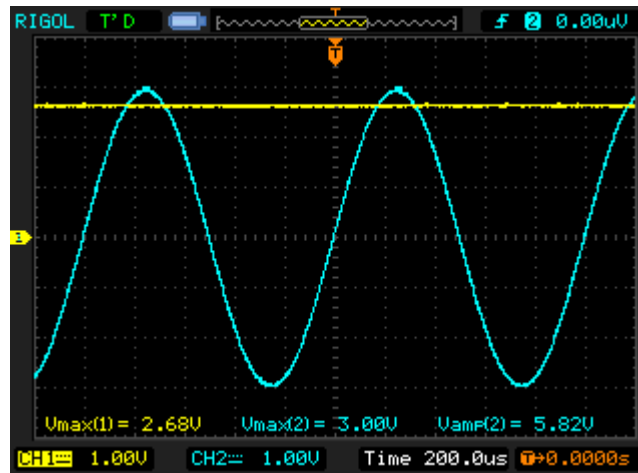
6.1.1 Meritve in rezultati

Pri prvi meritvi smo uporabili peak detektor z diodo ter kondenzatorjem. Pri tem smo opravili meritev pri različnih frekvencah z različnima kondenzatorjema.

Prikazali bomo zgolj nekaj grafikonov, na koncu pa strnili ugotovitve, ki veljajo za to vrsto peak detektorja.



Grafikon 36 Primer, ko peak detektor ne uspe slediti



Grafikon 37 Primer boljšega sledenja peak detektorja z odstopanjem

Ko gradimo peak detektor je potrebno upoštevati v katerem frekvenčnem območju bomo delovali. Na primer peak detektor s kondenzatorjem 100 nF ter diodo bo deloval odlično v srednjih ter visokih frekvencah, v izredno nizkih pa bo odpovedal, saj ne bo zadostnega naboja. V tem primeru izberemo kondenzator z večjo kapacitivnostjo. Kot je razvidno iz Grafikona 37, detektirana napetost nekoliko odstopa od prave vršne vrednosti in sicer za padec napetosti na diodi. Tudi tukaj ne smemo posplošiti in reci, da enostavno prištejemo padec napetosti na diodi v vseh frekvenčnih področjih saj povsod ta ni enak. Na primer, pri frekvencah in amplitudi, ko se odprtje diode nahaja nekje v kolenu ali malo nižje, je padec napetosti na njej nižji.

Torej, ko načrtujemo peak detektor se moramo zavedati v katerem frekvenčnem področju bomo delovali, s kakšnimi amplitudami imamo opravka ter pomerimo padec napetosti s katerim korigiramo rezultate.

Da si olajšamo delo in izdelamo natančen peak detektor brez odstopanja bi izbrali tretje vezje z operacijskim ojačevalnikom, ki pa natančno sledi vršni napetosti.