

2011

Meritve

Vprašanja in odgovori za 1. kolokvij 02.10.2011



FERI

**Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko**

Gregor Nikolić

31.10.2011

Kazalo vsebine

1	Katere skupine enot SI poznate in kakšna je zveza med skupinami?.....	2
2	Katere enote so enote SI, katere niso: $A, V, F, s, kW, h, mol, bar, \mu H, MV, \dots$, zapišite jih tudi z besedami (na primer: V SI: A – amper... Zunaj SI: MV – megavolt...).	2
3	Zapišite decimalne (desetiške) predpone: $d, da, m, M, p, n, E, \dots$, z besedami in faktorji, ki jih predpone predstavljajo v obliki 10^x (na primer: m – mili = 10^{-3} ...).	3
4	Zapišite decimalne (desetiške) predpone z besedami in njihovimi črkovnimi oznakami (simboli), ki jih predstavljajo faktorji: $10^{-9}, \dots$, (na primer: $10^{-9} = n$ – nano).	3
5	Izrazite vrednost merjene veličine z drugačno enoto (na primer: $0,0012 A = \dots mA$ ali $1,32 kV = \dots V$ ali...).	3
6	Navedite zahtevane lastnosti za etalone. Za kateri namen so etaloni najpogosteje uporabljeni?	4
7	V katere skupine so uvrščeni etaloni glede na njihovo kakovost (hierarhija etalonov) ?	4
8	Kateri vplivni parametri zagotavljajo visoko točnost Josephsonovega etalona?	5
9	Skicirajte potek karakteristike $U = f(I)$ Josephsonovega etalona napetosti. Označite veličine na oseh grafa.	5
10	Skicirajte potek karakteristike $R = f(B)$ Hallovega etalona upornosti. Označite veličine na oseh grafa.	5
11	Z enačbo zapišite definicijo absolutnega in relativnega pogreška in pojasnite, kaj pomenijo posamezni parametri v enačbi.	6
12	V kateri skupini so razdeljeni pogreški po načinu pojavljanja in po katerih lastnostih so uvrščeni v posamezno skupino?	6
13	Skicirajte potek Gaussove (normalne) porazdelitve verjetnosti, označite parameter na osi x in na osi y.	7
14	Skicirajte potek pravokotne porazdelitve verjetnosti, označite parameter na osi x in na osi y.	7
15	Izračunajte aritmetično srednjo vrednost merjene veličine, eksperimentalni standardni odmik in mejo, oziroma območje zaupanja za verjetnost $P = 0,95$ (Numerični primer).	8
16	Izračunajte absolutno in relativno mejo pogreška analognega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).	9
17	Izračunajte absolutno in relativno mejo pogreška digitalnega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).	9
18	Izračunajte mejo relativnega pogreška posredno merjene veličine. (Na primer: $R = UI$).	10
19	Izračunajte aritmetično srednjo vrednost in eksperimentalni standardni odmik. (Zelo enostaven numeričen primer).	11
20	Navedite od kod dobite potrebne podatke za vsakega od tipov merilne negotovosti.	11
21	Izračunajte merilno negotovost analognega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).	13
22	Izračunajte merilno negotovost digitalnega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).	13
23	Naštejte prednosti in pomanjkljivosti, ki jih v merjenja vnašajo merilni ojačevalniki.	14
24	Skicirajte štiri osnovna vezja merilnih ojačevalnikov in zapišite enačbe za njihova ojačenja A	14
25	Vloga povratne zveze pri merilnih ojačevalnikih, njene prednosti in pomanjkljivosti.	15
26	Skicirajte vezje operacijskega ojačevalnika (inverterja ali seštevalnika ali odštevalnika ali integratorja ali diferenciatorja) in z enačbo izrazite U_{izh} v odvisnosti od U_{vh} ($U_{izh} = f(U_{vh})$).	15
27	Narišite skico analognega množilnika in z algoritmom (enačbo) pojasnite njegovo delovanje.	19
28	Skicirajte vezje impulznega množilnika in s časovnim potekom signalov pojasnite njegovo delovanje.	20

1 Katere skupine enot SI poznate in kakšna je zveza med skupinami?

V mednarodnem sistemu (The International System of Units-SI) SI merskih enot imamo dve skupini enot; skupina osnovnih enot in skupina izpeljanih enot. Poznamo tudi skupino enot izven SI.

Skupino osnovnih SI enot sestavlja sedem osnovnih enot ter skupino izpeljanih enot štirinajst izpeljanih enot, ki so sestavljene oz. izpeljane iz osnovnih enot.

Zgled: Osnovni enoti A – amper – električni tok in m – meter – dolžina, sta izpeljanki enote amper na meter – A/m – magnetna poljska jakost.

2 Katere enote so enote SI, katere niso: A, V, F, s, kW, h, mol, bar, μ H, MV, ..., zapišite jih tudi z besedami (na primer: V SI: A – amper ... Zunaj SI: MV – megavolt...).

SI enote so:

Ime	Simbol	Ime	Simbol
Meter	<i>m</i>	Kilogram	<i>kg</i>
Sekunda	<i>s</i>	Amper	<i>A</i>
Kelvin	<i>K</i>	Mol	<i>mol</i>
Kandela, Candela	<i>cd</i>	Stopinja Celzija	<i>stopinja C</i>
Radian	<i>rad</i>	Steradian	<i>sr</i>
Hertz	<i>Hz</i>	Newton	<i>N</i>
Pascal	<i>Pa</i>	Joule	<i>J</i>
Watt	<i>W</i>	Coulomb	<i>C</i>
Volt	<i>V</i>	Farad	<i>F</i>
Ohm	Ω	Siemens	<i>S</i>
Weber	<i>Wb</i>	Tesla	<i>T</i>
Henry	<i>H</i>	Lumen	<i>lm</i>
Luks, lux	<i>lx</i>	Becquerel	<i>Bq</i>
Gray	<i>Gy</i>	Sievert	<i>Sv</i>
Liter	<i>l ali L</i>	Tona	<i>t</i>
Bar	<i>bar</i>		

Zunaj SI enote:

Ime	Simbol	Ime	Simbol
Revolucija		Barn	<i>b</i>
Gon, grad	<i>gon</i>	(kotna) stopinja	<i>stopinj</i>
(kotna) minuta	'	(kotna) sekunda	"
Minuta	<i>min</i>	Ura	<i>h</i>
Dan	<i>d</i>	Elektronvolt	<i>eV</i>
Poentotena atomska masna enota	<i>u</i>	Dioptrija	
Metrski karat		Ar	<i>a</i>
Teks, tex	<i>tex</i>	Milimeter živega srebra	<i>mmHg</i>
Vozel		Morska milja	
Astronomska enota			

- 3 Zapišite decimalne (desetiške) predpone: $d, da, m, M, p, P, n, E, \dots$, z besedami in faktorji, ki jih predpone predstavljajo v obliki 10^x (na primer: m – mili = 10^{-3} ...).

Faktor	Predpona	Znak
10^{24}	Jota	Y
10^{21}	Zeta	Z
10^{18}	Eksa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^2	hekto	h
10	Deka	da
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	c
10^{-3}	Mili	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Ato	a
10^{-21}	Zeto	z
10^{-24}	Jokto	y

- 4 Zapišite decimalne (desetiške) predpone z besedami in njihovimi črkovnimi oznakami (simboli), ki jih predstavljajo faktorji: $10^{-9}, \dots$, (na primer: $10^{-9} = n$ – nano).

Odgovor na to vprašanje je enak odgovoru na 3. vprašanje.

- 5 Izrazite vrednost merjene veličine z drugačno enoto (na primer: $0,0012 A = \dots mA$ ali $1,32 kV = \dots V$ ali...).

Primer:

$$0,0012 A = 1,2 mA = 1200 \mu A = 1,2 * 10^{-6} A$$

$$1,32 kV = 1320 V = 1320 * 10^3 mV$$

$$100 \Omega = 0,1 k\Omega = 1 * 10^2 \Omega = 1 h\Omega$$

6 Navedite zahtevane lastnosti za etalone. Za kateri namen so etaloni najpogosteje uporabljeni?

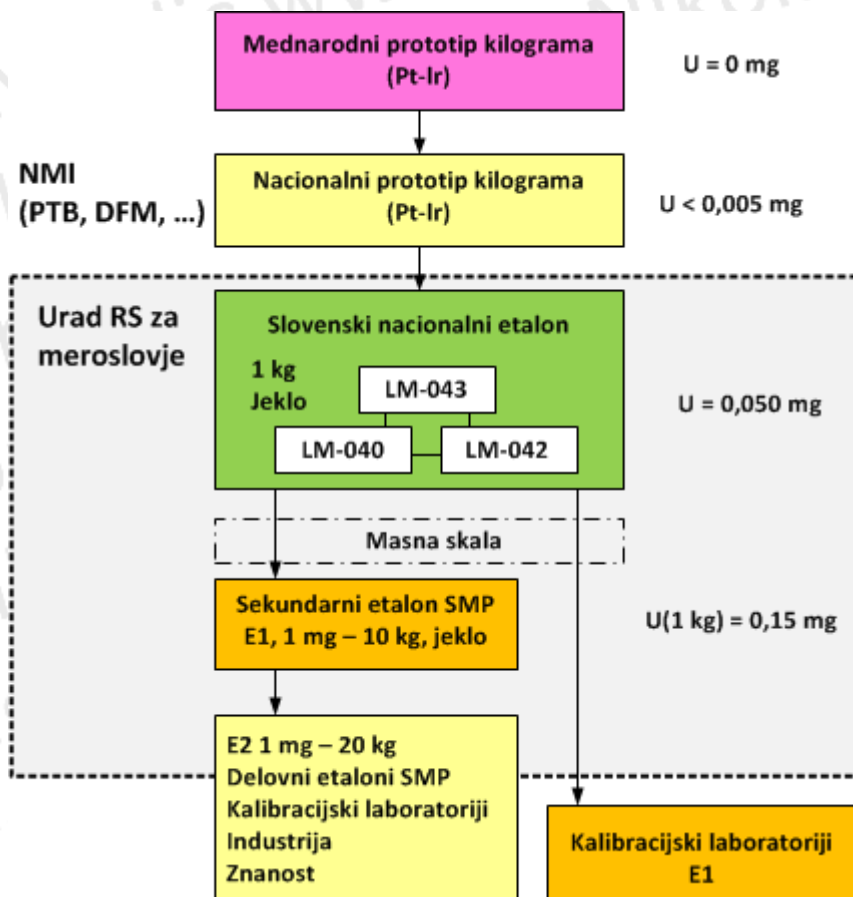
Etalon kot natančen fizični vzorec mere ali uteži mora imeti natančno določeno svojo vrednost. Etalon mora biti iz takšnega materiala, da ni nanj nobenih vplivov okolice oz. imajo točno določeno vrednost pod določenimi pogoji, saj če bi se npr. etalonu metra s temperaturo spreminjala vrednost, je takšen etalon neuporaben, saj bi vsakič imel drugačno vrednost.

Poznamo primarne, sekundarne in delovne etalone. Primarne etalone uporabljamo za umerjanje vseh drugih etalonov. Na primer primarni etalon za maso, je prototip prakilograma, ki ga hrani Mednarodni urad za uteži in mere (BIPM) v Parizu. Ker je kilogram po definiciji in se ne veže na noben naravni pojav, tak etalon nima negotovosti. Sekundarni etaloni se uporabljajo za umerjanja raznih laboratorijskih instrumentov, laboratorijska merjenja, ipd. Delovni etalon, nam že samo ime pove, da se uporabljajo za neko delo. Takšni etaloni se uporabljajo v kakšni industriji, kjer umerjajo kakšne stroje ipd., so za neposredno delo.

7 V katere skupine so uvrščeni etaloni glede na njihovo kakovost (hierarhija etalonov)?

Promet z merili je reguliran z zakonom o meroslovju. Vsa merila morajo imeti sledljivost, torej neka naprava mora biti umerjena z etalom, ki je na višji hierarhični stopnji, kot je naprava. Poznamo primarne, sekundarne in delovne etalone.

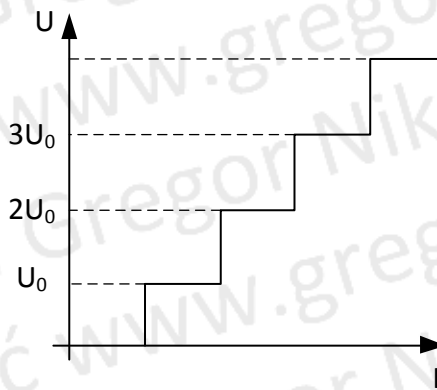
Shema sledljivosti;



8 Kateri vplivni parametri zagotavljajo visoko točnost Josephsonovega etalona?

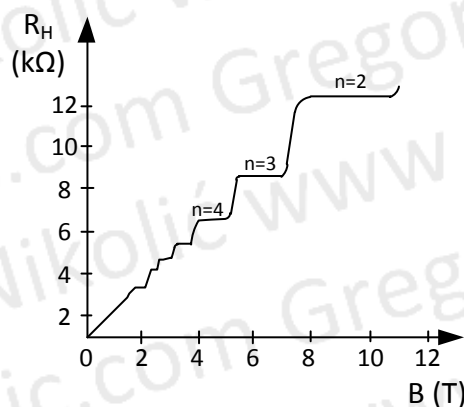
Pri Josephsonovem etalonu je izkoriščen Josephsonov pojav. Josephsonov spoj sta dva prevodnika (na primer niobij), ločena z zelo tanko plastjo izolacije. V supraprevodnem (temp. 4,2 K) stanju je tak spoj izpostavljen visokofrekvenčnemu elektromagnetnemu polju velikostnega razreda GHz. Če tak spoj napajamo zvezno z naraščajočim enosmernim tokom, nastaja na njem naraščajoča napetost. Torej visoko točnost zagotavlja supraprevodno stanje, temperatura 4,2 Kelvina, izpostavitve visokofrekvenčnemu elektromagnetnemu polju ter zvezno napajanje z naraščajočim enosmernim tokom.

9 Skicirajte potek karakteristike $U = f(I)$ Josephsonovega etalona napetosti. Označite veličine na oseh grafa.



Pri nekem toku se pojavi stopnica napetosti U_0 , ki nato zvezno narašča ter se pojavljajo večkratniki napetosti U_0 .

10 Skicirajte potek karakteristike $R = f(B)$ Hallovega etalona upornosti. Označite veličine na oseh grafa.



Ugodne stopnice upornosti se pričnejo pojavljati pri jakosti magnetnega polja nad dva tesla.

11 Z enačbo zapišite definicijo absolutnega in relativnega pogreška in pojasnite, kaj pomenijo posamezni parametri v enačbi.

Razlika med izmerjeno vrednostjo x_i in pravo vrednostjo x_{pr} predstavlja merilni pogrešek. Ta podaja točnost meritve in je lahko absolutni merilni pogrešek;

$$E = x_i - x_{pr}$$

x_i – izmerjena vprenost
 x_{pr} – prava vrednost
 E – absolutni pogrešek

Zapisujemo ga v enoti merjene veličine.

Relativni pogrešek je pa število brez enote in ga včasih tudi izražamo v odstotkih;

$$e = \frac{x_i - x_{pr}}{x_{pr}}$$

$$e(\%) = e * 100 = \frac{x_i - x_{pr}}{x_{pr}} * 100(\%)$$

e – relativni pogrešek
 x_i – izmerjena vrednost
 x_{pr} – prava vrednost
 $\%$ – procent

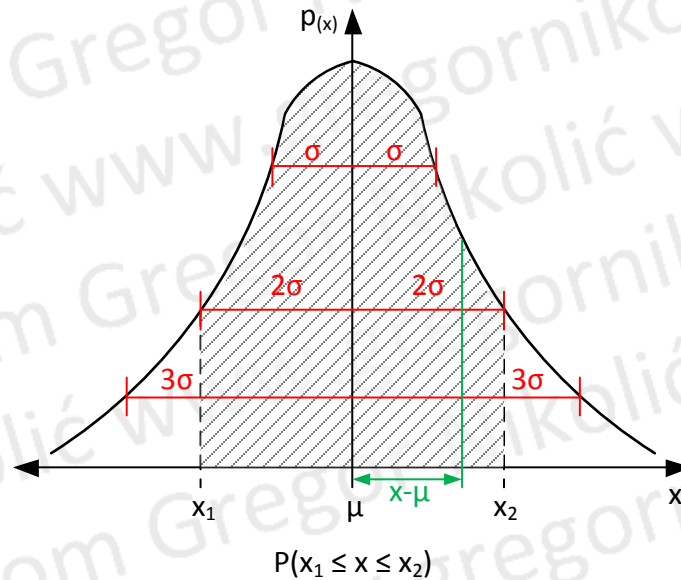
12 V kateri skupini so razdeljeni pogreški po načinu pojavljanja in po katerih lastnostih so uvrščeni v posamezno skupino?

Pogreški pri merjenjih so razdeljeni v skupino sistematskih pogreškov in naključnih pogreškov. Pogreški, ki so sistematski so nastali bodisi zaradi; nepopolnega merila, z napačno izbiro merilne metode, lahko pa je tudi vpliv zunanje vplivne veličine (električno polje, temperatura, magnetno polje, vlaga, ...). Sistematski pogrešek je lahko ves čas meritve enak po vrednosti in predznaku, lahko pa se spreminja.

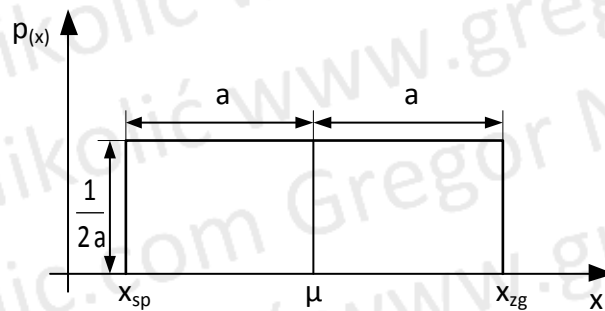
Naključni pogreški, kot že samo ime pove, nastajajo po naključju. Vzroka le teh ne moremo natančno določiti, niti predvideti vrednosti ali predznaka. Naključni pogrešek lahko definiramo kot vpliv več vplivnih veličin, ki vplivajo na meritev, tako je lahko vsaka naslednja meritev za naključni pogrešek drugačna. Za ugotavljanje naključnih pogreškov opravimo več zaporednih meritev.

13 Skicirajte potek Gaussove (normalne) porazdelitve verjetnosti, označite parameter na osi x in na osi y.

Gaussova (normalna) porazdelitev gostote verjetnosti:

**14 Skicirajte potek pravokotne porazdelitve verjetnosti, označite parameter na osi x in na osi y.**

Pravokotna porazdelitev gostote verjetnosti:



15 Izračunajte aritmetično srednjo vrednost merjene veličine, eksperimentalni standardni odmik in mejo, oziroma območje zaupanja za verjetnost $P = 0,95$ (Numerični primer).

Primer izmerjenih napetosti; 95 V, 102 V, 98 V, 93 V in 107 V, sledijo izračuni:

- Aritmetična srednja vrednost E_U :

$$\begin{aligned}\bar{U} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \\ \bar{U} &= \frac{95 + 102 + 98 + 93 + 107}{5} \\ \bar{U} &= 99 \text{ V}\end{aligned}$$

- Eksperimentalni standardni odmik s_U :

$$\begin{aligned}s_U &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})^2}{N - 1}} \\ s_U &= \sqrt{\frac{(95 \text{ V} - 99 \text{ V})^2 + (102 \text{ V} - 99 \text{ V})^2 + (98 \text{ V} - 99 \text{ V})^2 + (93 \text{ V} - 99 \text{ V})^2 + (107 \text{ V} - 99 \text{ V})^2}{5 - 1}} \\ s_U &= \sqrt{\frac{126 \text{ V}^2}{4}} \\ s_U &= 5,61248608 \text{ V} \cong 5,6 \text{ V}\end{aligned}$$

$$s_{\bar{U}} = \frac{s_U}{\sqrt{N}} = \frac{5,61248608 \text{ V}}{\sqrt{5}} = 2,50998008 \text{ V} \cong 2,5 \text{ V}$$

- Območje zaupanja za verjetnost $P = 0,95$:

$$\begin{aligned}&= \bar{x} \pm \frac{1,96 * s_x}{\sqrt{N}} \\ &= \bar{U} \pm \frac{1,96 * s_U}{\sqrt{N}} \\ &= 99 \text{ V} \pm \frac{1,96 * 5,61248608 \text{ V}}{\sqrt{5}} \\ &= 99 \text{ V} \pm 4,919560956 \text{ V} \cong 99 \text{ V} \pm 4,9 \text{ V}\end{aligned}$$

16 Izračunajte absolutno in relativno mejo pogreška analognega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).

Primer podatkov in izračuni:

$$U_i = 135 \text{ V}$$

$$U_d = 250 \text{ V}$$

$$r = 2,5$$

- Relativni pogrešek

$$e_m = \pm \frac{r U_D}{100 U_i} = \pm \frac{2,5 * 250 \text{ V}}{100 * 135 \text{ V}} = \pm 0,0462962963 \cong \pm 0,05$$

- Maksimalni absolutni pogrešek

$$E_m = \pm \frac{r}{100} x_D = \pm \frac{2,5}{100} * 250 \text{ V} = \pm 6,25 \text{ V}$$

ali

$$E_m = e_U * U_i = \pm 0,0462962963 * 135 \text{ V} = \pm 6,250000001 \text{ V} \cong \pm 6,25 \text{ V}$$

17 Izračunajte absolutno in relativno mejo pogreška digitalnega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).

Primer 1:

$$U_i = 15,750 \text{ V}$$

$$U_D = 20 \text{ V}$$

$$E_U = \pm (0,05\% * U_i + 0,02\% * U_D)$$

$$E_U = \pm \left(\frac{0,05\%}{100} * 15,750 \text{ V} + \frac{0,02\%}{100} * 20 \text{ V} \right)$$

$$E_U = \pm 0,011875 \text{ V} \cong 0,012 \text{ V}$$

Ker je na tretjem mestu decimalno število 1 (ali 2) pomeni, da zaokrožujemo na naslednje decimalno mesto.

Če bi bila na tem mestu katerakoli druga številka (3, 4, 5, 6, 7, 8 ali 9) bi zaokrožili na enako (tokrat tretjo) decimalno mesto.

Primer, ko proizvajalec poda pogrešek v digitih:

$$U_i = 15,750 \text{ V} \text{ (v tem primeru je natančnost na 3. decimalno mesto in tako je digit } d = 0,001)$$

$$U_D = 20 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} E_U &= \pm (0,05\% * U_i + 2d) \text{ V} \\ &= \pm \left(\frac{0,05\%}{100} * 15,750 + 2 * 0,001 \right) \text{ V} \\ &= \pm 0,027875 \text{ V} \cong 0,028 \text{ V} \end{aligned}$$

$$e_U = \pm \frac{E_U}{U_i} = \pm \frac{0,027875 \text{ V}}{15,750 \text{ V}} = \pm 0,0017698 \cong 0,0018$$

$$U = U_i (1 \pm e_U)$$

$$U = 15,750 (1 \pm 0,0018) V$$

18 Izračunajte mejo relativnega pogreška posredno merjene veličine. (Na primer: $R = \frac{U}{I}$).

Za splošne primere kot je $R = \frac{U}{I}$, kot za kvocient velja:

- Kvocient

$$y = \frac{x_1}{x_2} \Rightarrow e_{n_y} = \pm(|e_{x_1}| + |e_{x_2}|)$$

Na primer, da imamo podatke o izmerjeni napetosti in toku na upor, želimo pa izračunati upornost in podati mejo relativnega pogreška izračunane veličine s posredno pridobljenimi podatki, ki imajo nek pogrešek.

$$U = 10 V$$

$$e_U = \pm 0,05$$

$$I = 2 A$$

$$e_I = \pm 0,02$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10 V}{2 A} = 5 VA (\Omega)$$

$$e_R = \pm(|e_U| + |e_I|)$$

$$e_R = \pm(|0,05| + |0,02|)$$

$$e_R = \pm 0,07$$

$$R = 5,0 (1 \pm 0,07) \Omega$$

Poznamo še druge:

- Vsota

$$y = x_1 + x_2 \Rightarrow e_{n_y} = \pm \frac{|e_{x_1} * x_1| + |e_{x_2} * x_2|}{x_1 + x_2}$$

- Razlika

$$y = x_1 - x_2 \Rightarrow e_{n_y} = \pm \frac{|e_{x_1} * x_1| + |e_{x_2} * x_2|}{x_1 - x_2}$$

- Produkt

$$y = x_1 * x_2 \Rightarrow e_{n_y} = \pm(|e_{x_1}| + |e_{x_2}|)$$

- Potenciranje

$$y = x^n \Rightarrow e_{n_y} = \pm |n * e_x|$$

- ln

$$y = x^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{x} \Rightarrow e_{n_y} = \pm \left| \frac{1}{n} e_x \right|$$

19 Izračunajte aritmetično srednjo vrednost in eksperimentalni standardni odmik. (Zelo enostaven numeričen primer).

Na primer, da imamo opravljenih 5 meritev neke napetosti: 230,1 V; 232,4 V; 229,8 V; 231,0 V; 230,6 V

- Izračunamo aritmetično srednjo vrednost \bar{x} :

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i = \frac{\sum_{i=1}^N U_i}{N}$$

$$\bar{U} = \frac{230,1 + 232,4 + 229,8 + 231,0 + 230,6}{5}$$

$$\bar{U} = 230,78 \text{ V}$$

- Ter eksperimentalni standardni odmik s_x :

$$s_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_i - \bar{U})^2}{N - 1}}$$

$$s_U = \sqrt{\frac{(230,1 - 230,78)^2 + (232,4 - 230,78)^2 + (229,8 - 230,78)^2 + (231,0 - 230,78)^2 + (230,6 - 230,78)^2}{5 - 1}}$$

$$s_U = 1,016 \text{ V}$$

20 Navedite od kod dobite potrebne podatke za vsakega od tipov merilne negotovosti.

Poznamo naslednje tipe merilnih negotovosti:

- Merilna negotovost (sipanje meritev);** je parameter, ki je neposredno povezan z merilnimi vrednostmi, ki jih dobimo ob merjenju neke veličine. Označuje raztros, sipanje vrednosti, katere je še upravičeno pripisati merjeni veličini (spomnimo se, da vrednost meritve, ki odstopa za več kot tri deviacije (3σ) ali drugače, za več kot tri variacije na kvadrat (S_U^2) zavržemo).
- Ovrednotenje negotovosti tipa A;** kjer izhajamo iz niza merilnih rezultatov x_1, x_2, \dots, x_N , katere smo dobili s ponavljajočim se merjenjem neke veličine x . Pri tem tipu ovrednotenja merilne negotovosti izračunamo povprečno vrednost \bar{x} in standardni odmik (deviacija) s_x ter variacijo s_x^2 .
Standardni odmik ali deviacija:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{N - 1} * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Variacija:

$$s_x^2 = \frac{1}{N - 1} * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Povprečna vrednost:

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

- **Ovrednotenje negotovosti tipa B;** Standardna negotovosti tipa B največkrat določimo na osnovi podatkov, specifikacije merilnega instrumenta, bodisi podatki o umerjanju meril, podanih toleranc, kalibracijski podatki neke naprave, ipd.
- **Standardna merilna negotovost ($u_{(y)}$);** je izražena kot standardni odmik ali deviacija s_y . Standardni odmik je enak pozitivnemu kvadratnemu korenu variance s_y^2 . Če je y funkcija ene same spremenljivke, izrazimo standardni odmik:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

kjer je \bar{x}

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

- **Kombinirana standardna negotovost ($u_{c(y)}$);** tukaj izhajamo iz tega, da je izhodna veličina y funkcija ene ali več vhodnih veličin x , ki so medsebojno neodvisne. Tukaj govorimo o posredno pridobljenih vrednosti, na primer z merjenjem;

$$y_{(x_1, \dots, x_N)}, \text{ npr. } I = \frac{U}{R}$$

Tukaj podatka U in R na primer merimo z instrumentom, I pa posredno izračunamo iz meritev. Seveda moramo pri izračunu upoštevati pogreške merjenja instrumenta s katerim merimo. Kombinirana negotovost za nekolinarne veličine (posamezna veličina ne vpliva ena na drugo):

$$u_c^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 * u_{x_i}^2$$

Za določitev kombinirane variance funkcije y je potrebno poznati merilne negotovosti u_{x_i} posameznih veličin x_i .

- **Razširjena merilna negotovost u ;** Vrednost kombinirane standardne negotovosti $u_{c(y)}$ pomnožimo s faktorjem k , za katerega običajno vzamemo kar $k = 2$, kar pomeni približno 95% verjetnost. Razširjena negotovost je:

$$u = k * u_{c(y)}$$

21 Izračunajte merilno negotovost analognega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).

Primer podatkov za analogni merilni instrument:

$$U_i = 75 \text{ V}$$

$$U_D = 100 \text{ V}$$

$$r = 1,5$$

Najprej izračunamo relativni pogrešek e_x :

$$e_U = \pm \frac{r * U_D}{100 * U_i} = \pm \frac{1,5 * 100}{100 * 75} = \pm 0,02$$

Nato še absolutni pogrešek E_x :

$$E_U = U_i * e_U = \pm 0,02 * 75 \text{ V} = \pm 1,5 \text{ V} = a$$

Ko imamo ta dva podatka nadaljujemo z izračunom merilne negotovosti u_x :

$$u_x = \sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{E_U}{\sqrt{3}}$$

$$u_U = \frac{\pm 1,5 \text{ V}}{\sqrt{3}} = \pm 0,866 \text{ V} \cong \pm 0,9 \text{ V}$$

in še varianco katera je enaka kvadratu merilne negotovosti:

$$u_U^2 = \pm \left(\frac{1,5 \text{ V}}{\sqrt{3}} \right)^2 = 0,75 \text{ V}^2 \cong 0,8 \text{ V}^2$$

22 Izračunajte merilno negotovost digitalnega merilnega instrumenta. (Numeričen primer).

Primer podatkov za digitalni merilni instrument:

$$U_i = 15,75 \text{ V}$$

$$U_D = 20 \text{ V}$$

Pri digitalnih merilnih instrumentih imamo od proizvajalca podano enačbo za izračun absolutnega mejnega pogreška:

$$E_U = \pm (0,05\% * U_i + 0,02\% * U_D)$$

$$E_U = \pm (0,05\% * 15,75 \text{ V} + 0,02\% * 20 \text{ V}) = \pm 1,1875 \text{ V}$$

Nato izračunamo merilno negotovost u_x :

$$u_U = \pm \frac{E_U}{\sqrt{3}}$$

$$u_U = \pm \frac{1,1875 \text{ V}}{\sqrt{3}} = \pm 0,6856 \text{ V} \cong \pm 0,7 \text{ V}$$

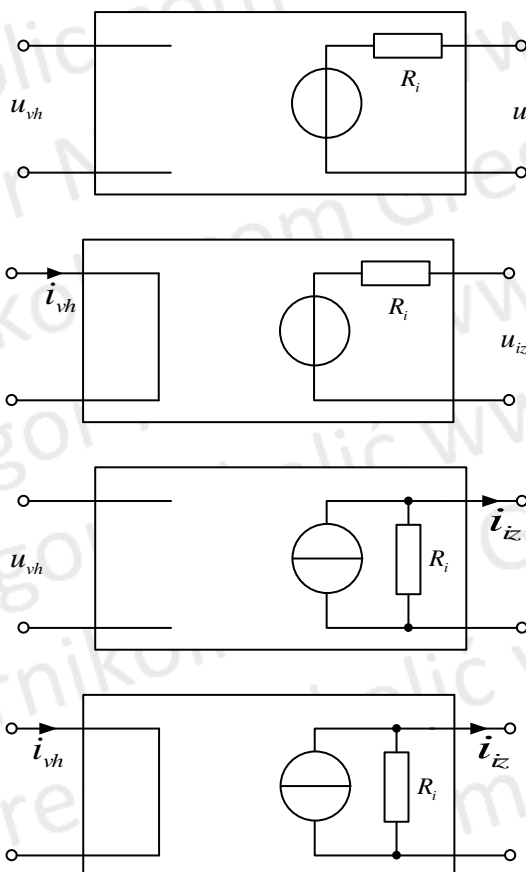
Ter varianco u_x^2 :

$$u_{\bar{U}}^2 = \pm \left(\frac{1,1875 \text{ V}}{\sqrt{3}} \right)^2 = 0,47 \text{ V}^2$$

23 Naštejte prednosti in pomanjkljivosti, ki jih v merjenja vnašajo merilni ojačevalniki.

- **Prednosti** merilnih ojačevalnikov je, da imajo veliko ojačenje, kar nam velikokrat omogoča, da merjene veličine (napetostne ali tokovne) ojačimo v večje moči, saj jih neposredno z merilnimi instrumenti ne moremo izmeriti.
- **Slabosti**, ki jih doprinesejo ojačevalniki pa so:
 - Nestabilno ojačenje (izboljšujemo s povratno vezavo),
 - Dodatno napajanje (potrebujejo simetrično napajanje),
 - Premaknitev (offset) napetosti ($2 \mu\text{V}$ do 5 mV),
 - Lezenje (drift) napetosti ($0,001 \frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}}$ do $15 \frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}}$).

24 Skicirajte štiri osnovna vezja merilnih ojačevalnikov in zapišite enačbe za njihova ojačenja A .



Napetostno-napetostni tip u/u :

$$A_u = \frac{u_{iz}}{u_{vh}} \left(\frac{V}{V} \right)$$

Tokovno-napetostni tip i/u :

$$A = \frac{u_{iz}}{i_{vh}} \left(\frac{V}{A} \right)$$

Napetostno-tokovni tip u/i :

$$A = \frac{i_{iz}}{u_{vh}} \left(\frac{A}{V} \right)$$

Tokovno-tokovni tip i/i :

$$A = \frac{i_{iz}}{i_{vh}} \left(\frac{A}{A} \right)$$

Pri napetostno napetostnem tipu merilnega ojačevalnika si želimo, da bi bila vhodna upornost neskončno velika ter izhodna upornost praktično nič, kar bi zagotovilo, da se v samem ojačevalniku ne pojavi noben padec napetosti in je celotna napetost na izhodu.

Pri tokovno napetostnem tipu si želimo, da je vhodna upornost enaka nič, saj bo le v tem primeru celoten vhodni tok tekel v ojačevalnik. Izhodna upornost bi naj bila enaka kot pri napetostno napetostnem ojačevalniku, torej enaka nič, da bi zagotovili celotno napetost na izhodu.

Napetostno tokovni tip ojačevalnika bi v idealnih razmerah imel neskončno vhodno upornost, da bi bil celoten padec napetosti na ojačevalniku, prav tako tudi na izhodu, da v ojačevalniku nebi tekel noben tok.

Pri tokovno tokovnem tipu ojačevalnika si želimo, da bi bila vhodna upornost ojačevalnika praktično nič, saj bi v tem primeru tekel celoten tok v ojačevalnik. Izhodna upornost takšnega ojačevalnika bi pa bila idealna neskončna, saj bi v tem primeru bil celoten padec napetosti na ojačevalniku in vanj nebi tekel noben tok, s tem dosežemo celoten tok na izhodu ojačevalnika.

25 Vloga povratne zveze pri merilnih ojačevalnikih, njene prednosti in pomanjkljivosti.

Ker je teoretično ojačenje neskončno (niti ni točno znano), se ta pomanjkljivost odpravi s povratno vezavo, katera nam točno definira lastnosti ojačevalnika. Negativna povratna vezava ojačevalnika deluje tako, da del izhodnega signala pripeljemo nazaj na vhod, kateri se od vhodnega odšteva. Na vhod torej pripeljemo razliko:

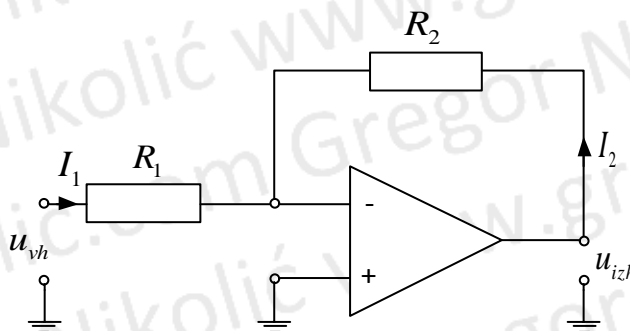
$$u_{iz} = A' + u_d = A'(u_{vh} - k * u_{iz})$$

u_d = razlika napetosti med vhodnima sponkama ojačevalnika

A' – ojačenje ojačevalnika

26 Skicirajte vezje operacijskega ojačevalnika (inverterja ali seštevalnika ali odštevalnika ali integratorja ali diferenciatorja) in z enačbo izrazite U_{izh} v odvisnosti od U_{vh} ($U_{izh} = f(U_{vh})$).

Inverter:



Če je operacijski ojačevalnik priključen kot inverter, potem takoj vemo, da je vhod na invertirajočem priključku ojačevalnika. Predpostavimo, da ima ojačevalnik neskončno ojačenje ter neskončno vhodno upornost kar sledi:

$$A_u = \frac{u_{izh}}{u_{vh}} \Rightarrow u_{vh} = \frac{u_{izh}}{A_u} = \frac{u_{izh}}{\infty} = 0$$

Zaradi tega je tok, ki priteka iz vhoda skozi upor R_1 , enak ali nasproten toku, ki priteka iz izhoda skozi upor R_2 .

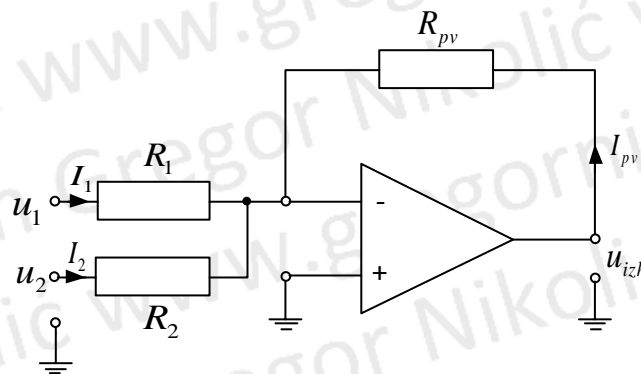
$$I_1 = -I_2 \text{ ali } \frac{u_{vh}}{R_1} = \frac{u_{izh}}{R_2}$$

Sledi, da je ojačenje razmerje med izhodno in vhodno napetostjo:

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

Seštevalnik:

Pri seštevalniku se vhodna signala seštevata.



Napetost na izhodu takšnega ojačevalnika je:

$$u_{izh} = -R_2 \left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} \right)$$

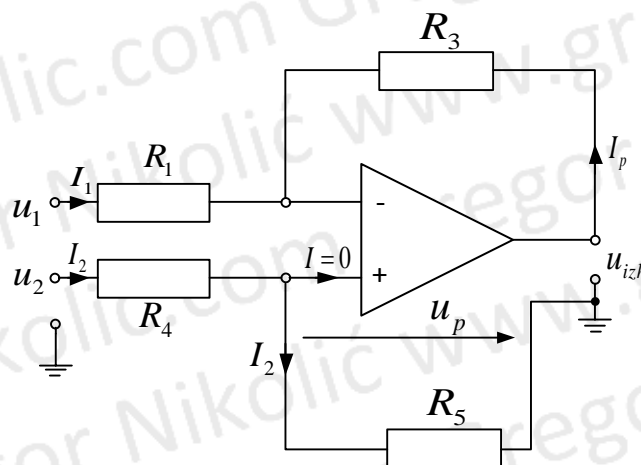
ali pri predpostavki $R_1 = R_2 = R$

$$\frac{u_{izh}}{R_{pv}} + \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} = 0$$

$$\frac{u_{izh}}{R_{pv}} = -\left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} \right) = -\frac{u_1 + u_2}{R} \Rightarrow u_{izh} = -\frac{u_1 + u_2}{R} * R_{pv} = -\frac{R_{pv}}{R} (u_1 + u_2)$$

Odštevalnik:

Pri odštevalniku se vhodni signali odštevajo.



Napetost na izhodu takšnega ojačevalnika pri predpostavki $R_1 = R_4$ in $R_3 = R_5$.

$$i_1 = -i_p \Rightarrow i_p = -i_1$$

$$u_1 = i_1 * R_1 + u_p = -i_p * R_1 + u_p$$

$$i_1 = \frac{u_1 - u_p}{R_1}$$

$$u_{izh} = i_p * R_3 + u_p = -i_1 * R_3 + u_p$$

$$u_{izh} = -\frac{u_1 - u_p}{R_1} * R_3 + u_p$$

$$u_2 = i_2 * R_4 + u_p \Rightarrow u_p = i_2 * R_5 \Rightarrow i_2 = \frac{u_p}{R_5}$$

$$u_2 = \frac{u_p}{R_5} * R_4 + u_p = \frac{u_p * R_4}{R_5} + \frac{u_p * R_5}{R_5} = \frac{u_p * (R_4 + R_5)}{R_5} \Rightarrow u_2 * R_5 = u_p (R_4 + R_5)$$

$$\Rightarrow u_p = \frac{u_2 * R_5}{R_4 + R_5} = u_2 \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

$$u_{izh} = -i_1 * R_3 + u_p = -\frac{u_1 - u_p}{R_1} * R_3 + u_p = -\frac{u_1 * R_3}{R_1} + \frac{u_p * R_3}{R_1} + u_p$$

$$= u_p \left(1 + \frac{R_3}{R_1} \right) - u_1 \frac{R_3}{R_1} = u_p \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{R_3}{R_1} \right) - u_1 \frac{R_3}{R_1} \Rightarrow$$

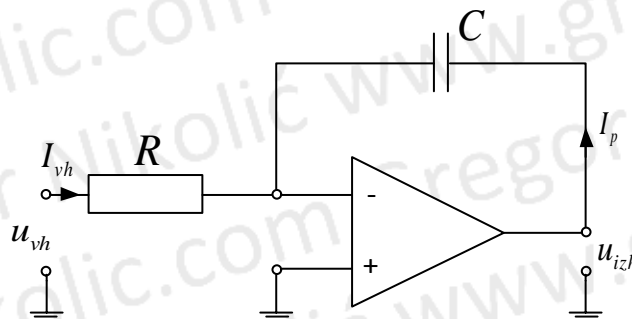
$$u_{izh} = u_p \frac{R_1 + R_3}{R_1} - u_1 \frac{R_3}{R_1}$$

Ne pozabimo na predpostavki $R_1 = R_4$ in $R_3 = R_5$.

$$u_{izh} = u_2 \frac{R_5}{R_4 + R_5} * \frac{R_1 + R_3}{R_1} - u_1 \frac{R_3}{R_1} = u_2 \frac{R_5}{R_4 + R_5} * \frac{R_4 + R_5}{R_4} - u_1 \frac{R_4}{R_5} \Rightarrow$$

$$u_{izh} = u_2 \frac{R_5}{R_4} - u_1 \frac{R_5}{R_4} = -\frac{R_5}{R_4} (u_1 - u_2)$$

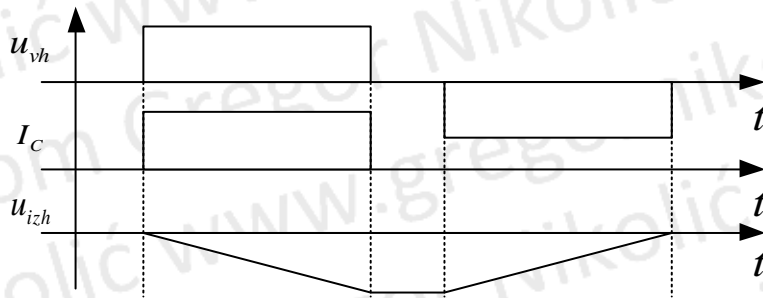
Integrator:



Kadar priključimo na integrator napetost, se kondenzator s polnilnim tokom, katerega določa upor R napolni v nekem času, ki ga določa kapacitivnost kondenzatorja in polnilen tok. Ojačenje takšnega operacijskega ojačevalnika predstavlja še vedno razmerje upornosti kondenzatorja X_C in upora R :

$$A = -\frac{X_C}{R} = \frac{1}{\frac{\omega C}{R}} = -\frac{1}{\omega RC} [RC - \text{časovna konstanta}]$$

Kadar je priključena vhodna napetost u_{vh} pozitivna, bo izhodna napetost rastle v negativno smer, če napetost odklopimo, ostane izhodna napetost na nivoju kot je bila ob odklopu vhodne napetosti in se ne spreminja. Če na vhod priključimo negativno napetost, bo pričela napetost na izhodu naraščati v pozitivno smer, kar prikazuje naslednji graf v odvisnosti od časa;

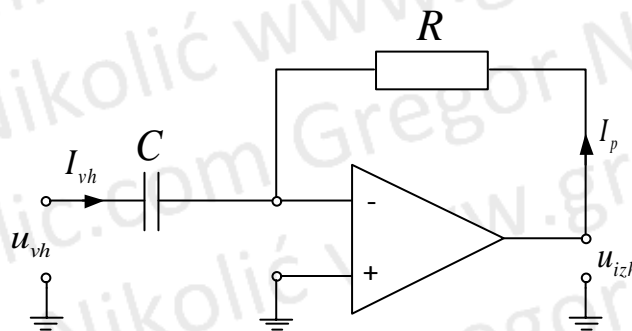


$$i_p = C \frac{du_{iz}}{dt} = -i_{vh} = -\frac{u_{vh}}{R}$$

$$u_{iz} = -\frac{1}{C} \int i_{vh} dt = -\frac{1}{RC} \int u_{vh} dt$$

Diferenciator (diferenciranje ali odvajanje):

Diferenciranje oziroma odvajanje je matematična funkcija, s pomočjo katere ugotovimo hitrost spreminjanja neke funkcije. Če vrednost funkcije narašča, je odvod te funkcije pozitiven in po velikosti enak hitrosti spremembe. Odvod bo negativen če bo vrednost funkcije padala, kadar je vrednost enaka, se ne spreminja je odvod enak nič.

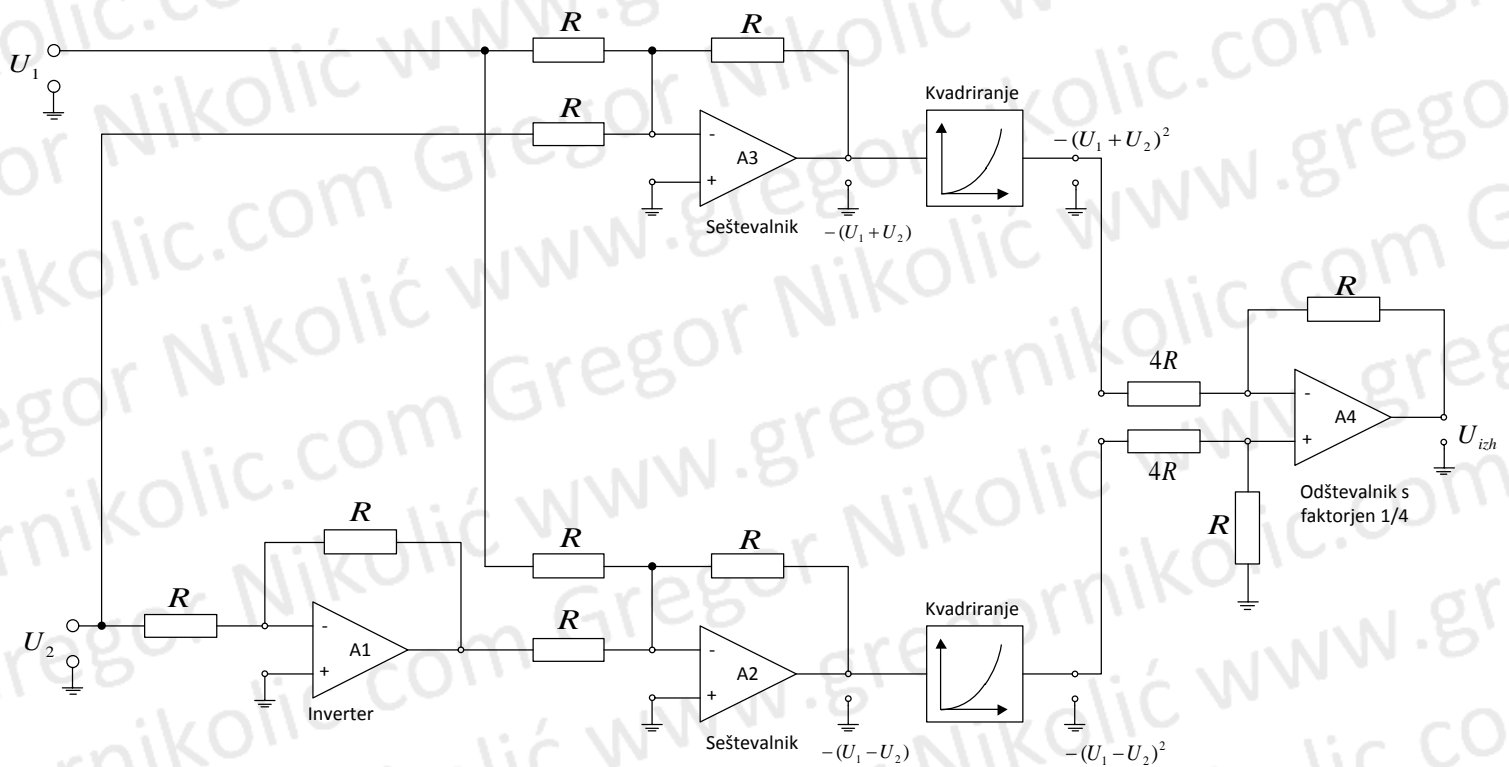


Hitra sprememba vhodne napetosti požene tok skozi kondenzator, kateri pa povzroči višjo napetost na izhodu vezja. Ker je vhodni signal pripeljan na invertirajoč vhod, bo izhodni signal podobno kot pri integratorju obrnjen.

$$i_{vh} = C \frac{du_{vh}}{dt} = -i_p = -\frac{u_{iz}}{R}$$

$$u_{iz} = -R * C \frac{du_{vh}}{dt}$$

27 Narišite skico analognega množilnika in z algoritmom (enačbo) pojasnite njegovo delovanje.



Pri inverterju vemo, da nam vhodni signal invertira, tako dobimo na izhodu inverterja $-U_2$. Seštevalnik nam po enačbi;

$$U_{izh} = -R_2 \left(\frac{U_{R1}}{R_1} + \frac{U_{R2}}{R_2} \right)$$

sešteje posamezni signal in na seštevalniku A3 dobimo:

$$U_{izh} = -R \left(\frac{U_1}{R} + \frac{U_2}{R} \right) = -(U_1 + U_2)$$

ter na seštevalniku A2:

$$U_{izh} = -R \left(\frac{U_1}{R} + \frac{-U_2}{R} \right) = -(U_1 - U_2)$$

Po posameznem kvadriranju imamo na vhodu odštevalnika s $\frac{1}{4}$ faktorjem signala;

$$(U_1 - U_2)^2 \text{ in } (U_1 + U_2)^2$$

Kjer izračunamo izhodni signal po enačbi odštevalnika;

$$u_{izh} = -\frac{R_5}{R_4} (u_1 - u_2)$$

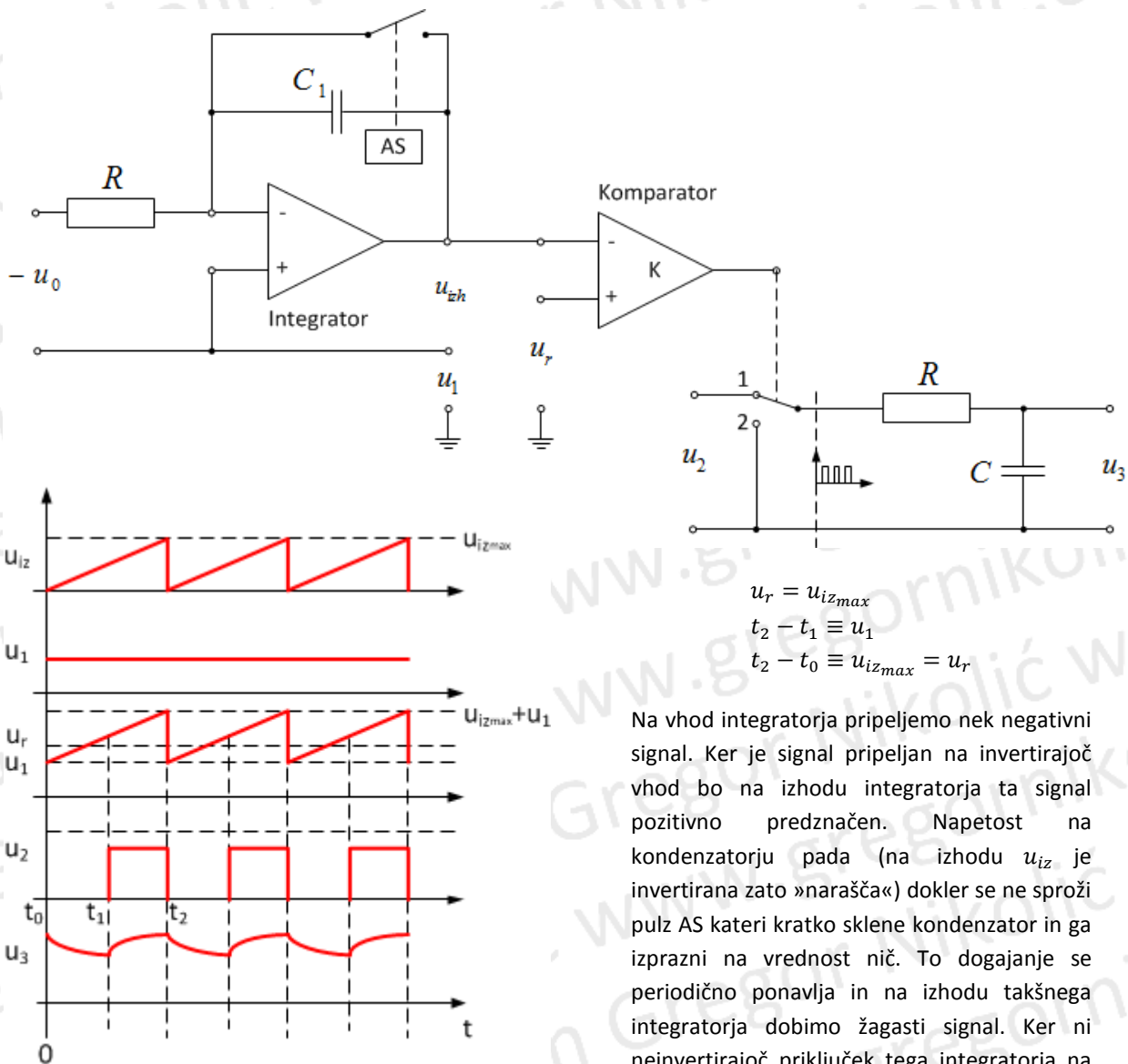
$$u_{izh} = -\frac{1R}{4R}((U_1 - U_2)^2 - (U_1 + U_2)^2)$$

$$u_{izh} = -\frac{1}{4}((U_1^2 - 2U_1U_2 + U_2^2) - (U_1^2 + 2U_1U_2 + U_2^2))$$

$$u_{izh} = -\frac{1}{4} * 4 U_1 U_2$$

$$u_{izh} = U_1 * U_2$$

28 Skicirajte vezje impulznega množilnika in s časovnim potekom signalov pojasnite njegovo delovanje.



$$u_r = u_{izmax}$$

$$t_2 - t_1 \equiv u_1$$

$$t_2 - t_0 \equiv u_{izmax} = u_r$$

Na vhod integratorja pripeljemo nek negativni signal. Ker je signal pripeljan na invertirajoč vhod bo na izhodu integratorja ta signal pozitivno predznačen. Napetost na kondenzatorju pada (na izhodu u_{iz} je invertirana zato »narašča«) dokler se ne sproži pulz AS kateri kratko sklence kondenzator in ga izprazni na vrednost nič. To dogajanje se periodično ponavlja in na izhodu takšnega integratorja dobimo žagasti signal. Ker ni neinvertirajoč priključek tega integratorja na

potencialu nič in je za napetost u_1 dvignjen, se mu ta napetost prišteje, v kolikor gledamo napetost od izhoda prosti masi, to napetost označimo u_{izmax} . V nadaljevanju imamo komparator, kateri spremlja napetost na (-) in (+) priključku. Napetosti priključena na (+) priključek je vsota napetosti u_{izmax} in u_1 , ter na (-) priključku je referenčna napetost u_r . Ko se napetosti izenačita (ter tudi, ko je vsota napetosti u_{izmax} in u_1 večja od napetosti u_r) se stanje na izhodu komparatorja preklopi in s tem tudi stikalo v pozicijo 1. Sedaj je napetost u_2 na vhodu RC člena in je na izhodu napetost kot jo prikazuje časovni diagram u_3 , vse tako dolgo dokler se pulz AS ne sproži ponovno in pade napetost integratorja pod nivo referenčne napetosti komparatorja.