



Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko

# **FUNKCIJSKI GENERATOR**

**Telekomunikacije-UNI-Komunikacijska vezja  
-2001/2002**

**Igor Jelovčan**  
**igor\_jelovcan@yahoo.com**

Ljubljana, 4.3.2002

## **KAZALO:**

<b>1.</b>	<b><u>UVOD</u></b> .....	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b><u>VEZALNI NAČRT</u></b> .....	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b><u>ANALIZA VEZJA</u></b> .....	<b>3</b>
3.1.	INTEGRATOR .....	3
3.2.	KOMPARATOR .....	4
3.3.	OSCILATOR .....	5
3.4.	OBLIKOVALEC SINUSNEGA SIGNALA .....	6
3.5.	FILTER .....	6
3.6.	KONČNI OJAČEVALNIK .....	8
<b>4.</b>	<b><u>ZAKLJUČEK</u></b> .....	<b>8</b>

## **KAZALO SLIK:**

Slika 1: Vezalni načrt preprostega funkcijskega generatorja .....	3
Slika 2: Integrator .....	3
Slika 3: Uporovni delilnik .....	3
Slika 4: Komparator .....	4
Slika 5: Preklop komparatorja .....	5
Slika 6: Oscilator .....	5
Slika 7: Nizko prepustno sito .....	6
Slika 8: Pretvorba zvezda – trikot .....	7
Slika 9: Uporaba Millerjevega teorema .....	7
Slika 10: Končni ojačevalnik .....	8

## **KAZALO TABEL:**

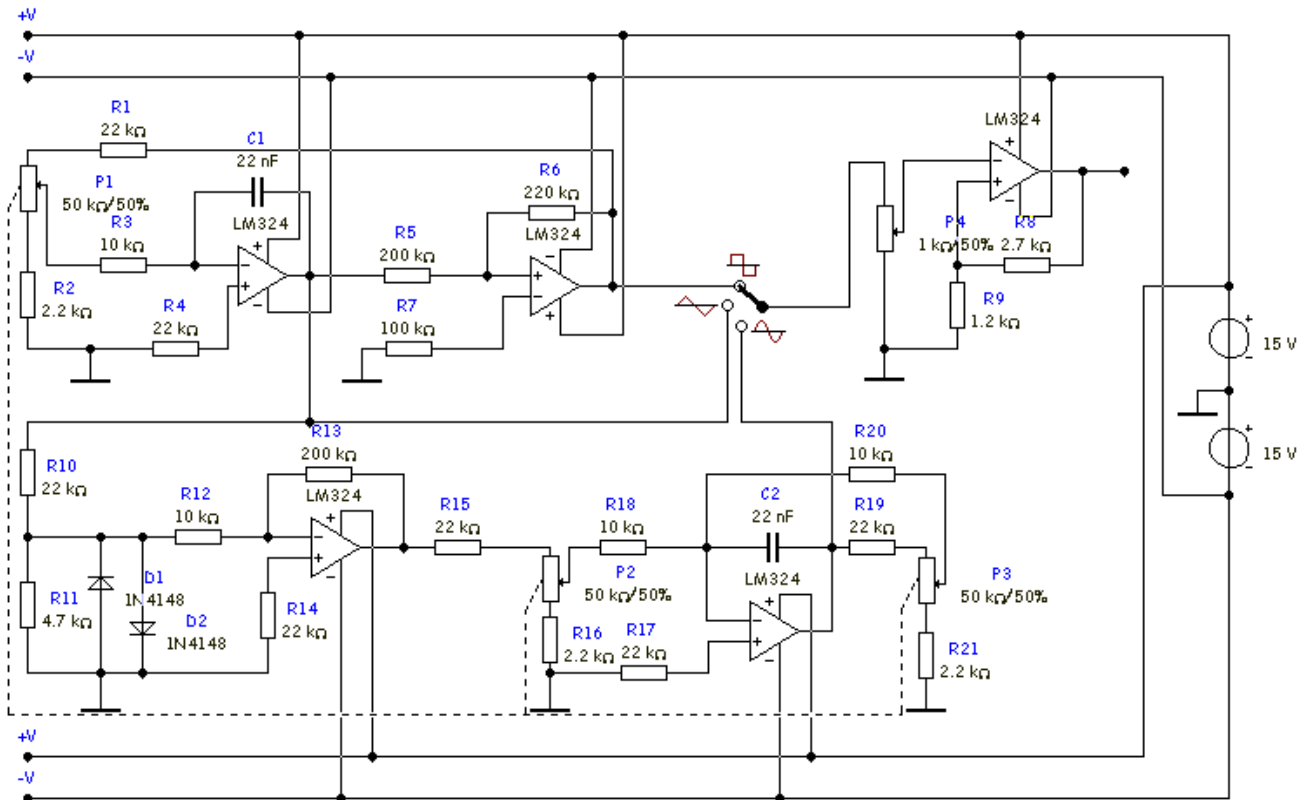
Tabela 1: Primerjava frekvence oscilatorja .....	5
Tabela 2: Izmerjene višjeharmonske komponente oblikovanega signala .....	6
Tabela 3: Vrednost preslikanega upora .....	7
Tabela 4: Frekvenca pola filtra .....	7
Tabela 5: Izmerjene višjeharmonske komponente filtriranega signala .....	8

## **1. UVOD**

Za izdelavo in testiranje raznovrstnih elektronskih vezij, sta funkcijski generator in osciloskop nepogrešljiva instrumenta na naši delovni mizi. Funkcijski generator ima tri različne oblike izhodnega signala: sinusno, žagasto in pravokotno obliko. Sinusna oblika se največkrat uporablja za merjenje frekvenčnega pasu in izhodne moči audio ojačevalnikov ter za ugaševanje raznih filtrov. Žagasta oblika se uporablja za merjenje popačenj (cross-over distortion) ojačevalnikov. Najbolj uporabna pa je pravokotna oblika, ki se uporablja za frekvenčni in pulzni odziv audio ojačevalnikov. V digitalnih vezjih pa se uporablja za spremenljiv urin (clock) signal.

Vezalni načrt sem že pred leti našel v reviji Elektor electronics, vendar sem ga malo poenostavil, ker bi bil v celoti preobsežen za to seminarsko nalogo.

## 2. VEZALNI NAČRT



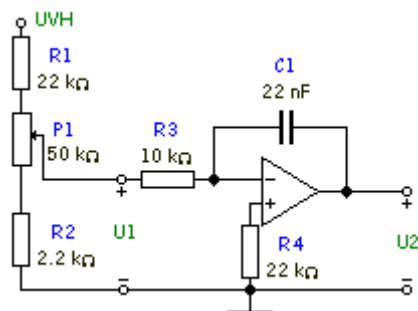
Slika 1: Vezalni načrt preprostega funkcijskega generatorja

## 3. ANALIZA VEZJA

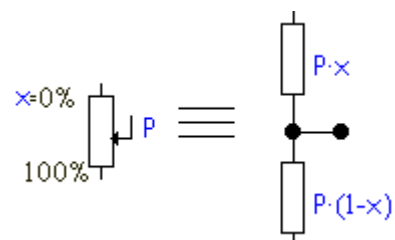
Funkcijski generator je sestavljen iz petih glavnih delov:

- **integratorja**
- **komparatorja** (Schmitt-ovega trigerja)
- **sinusnega oblikovalnika**
- **filtra**
- **ojačevalnika**

### 3.1. INTEGRATOR



Slika 2: Integrator



Slika 3: Uporovni delilnik

Če je na vhodu integratorja konstantna napetost, se kondenzator  $C_1$  polni oz. prazni s konstantnim tokom, ki ga določa upor  $R_3$ , saj je negativna vhodna sponka operacijskega ojačevalnika na virtualni masi.

$$U_2 = -U_{C_1} = -\frac{1}{C_1} \int_0^t i(t') \cdot dt' + U_{C_1}(0) \quad i(t) = \frac{U_1(t)}{R_3}$$

Upori  $R_1$ ,  $R_2$  in  $P$  služijo kot delilnik vhodne napetosti.

$$U_1 = U_{VH} \frac{(P_1 \cdot (1-x) + R_2) \parallel R_3}{R_1 + P_1 \cdot x + (P_1 \cdot (1-x) + R_2) \parallel R_3}$$

Integrator je napajan s pravoktnim signalom, ki pa ga dobimo na izhodu komparatorja. Ko je  $U_{VH}$  pozitivna se kondenzator polni, ko pa je negativna se prazni. Napetost na izhodu je linearna funkcija časa, kar pomeni, da se napetost linearno spreminja s časom in ne eksponentno kot je značilno za navadna RC vezja. Izhodna napetost  $U_2$  integratorja narašča (oz. pada) tako dolgo, dokler komparator ne preklopi izhoda in tako spremeni polariteto vhoda integratorja. Kako hitro se bo to zgodilo, pa je odvisno od  $U_1$ ,  $R_3$  ter  $C_1$ , kar se lepo vidi v spodnji enačbi.

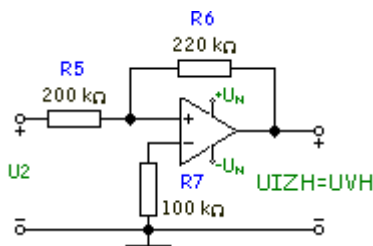
$$U_2 = -\frac{1}{R_3 C_1} \int U_1(t') \cdot dt' + U_{C_1}(0) = \mp \frac{1}{R_3 \cdot C_1} \cdot U_1 \cdot t + U_{C_1}(0)$$

Izračunamo lahko časovno konstanto vezja:

$$t = (U_2 - U_{C_1}(0)) \cdot \frac{R_3 \cdot C_1}{U_1}$$

Na izhodu integratorja dobimo prvo od treh željenih oblik funkcijskega generatorja; žagasto napetost, katere osnovno periodo bom izračunal v nadaljevanju.

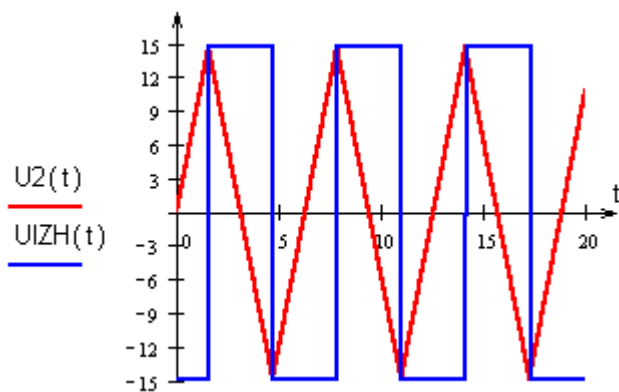
### 3.2. KOMPparator



$$U_{IZH} = (U_+ - U_-) \cdot A$$

Slika 4: Komparator

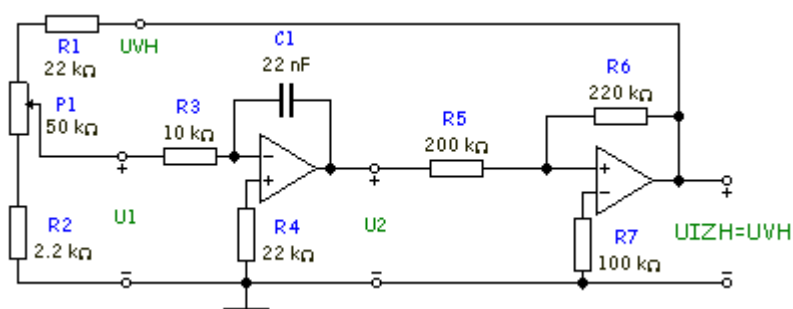
Drugi del je komparator. Glavna značilnost tega vezja je zelo močna pozitivna povratna vezava operacijskega ojačevalnika. Ker je ojačanje  $A$  zelo veliko, lahko izhod zasede le dve stanji  $+U_N$  ali  $-U_N$ . V katerem stanju bo je odvisno od vhodne napetosti oper. ojačevalnika. Če je na pozitivni sponki pozitiven potencial se izhod postavi v pozitivno stanje ( $+U_n$ ), če je negativen pa v negativno stanje ( $-U_n$ ). Za vhodno napetost komparatorja vzamemo kar žagasto napetost (izhodno napetost iz integratorja,  $U_2$ ) (Slika 5).



Slika 5: Preklop komparatorja

$$U_{IZH} = \begin{cases} +U_N & \text{če je } U_2 > U_N \\ -U_N & \text{če je } U_2 < U_N \\ \text{prejšnje st.} & \text{če je } -U_N \leq U_2 \leq U_N \end{cases}$$

### 3.3. OSCILATOR



Slika 6: Oscilator

Če pa povežemo integrator in komparator zaporedno v zanko, tako da izhod integratorja povežemo z vhom komparatorja in izhod komparatorja pripeljemo nazaj na vhod integratorja, dobimo oscilator, katerega frekvenca je v največji meri odvisna od potenciometra  $P_1$ , kondenzatorja  $C_1$  in upora  $R_3$ , kar se lepo vidi iz spodnjih enačb. Ponavadi s preklopnikom menjamo kapacitivnost  $C_1$ , s čimer izberemo frekvenčno območje funkcijskega generatorja, fino nastavitvev frekvence pa opravimo s potenciometrom  $P_1$ .

$$T = \frac{1}{f} = 2 \cdot t = 2 \cdot (U_N - (-U_N)) \cdot \frac{R_3 C_1}{U_1}$$

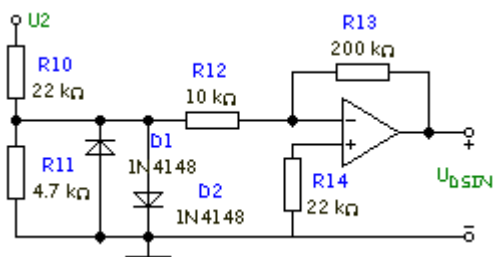
$$f_0 = \frac{1}{4} \cdot \frac{(P_1 \cdot (1-x) + R_2) \parallel R_3}{R_1 + P_1 \cdot x + (P_1 \cdot (1-x) + R_2) \parallel R_3} \cdot \frac{1}{R_3 C_1}$$

Sedaj lahko primerjamo izračunani in izmerjeni vrednosti frekvenci oscilatorja za položaj potenciometra  $x=0$  in  $x=1$ .

položaj $P_1$	izmerjena $f_0$ [HZ]	izračunana $f_0$ [Hz]
$x=1$	30,4	27,8
$x=0$	337,2	313,8

Tabela 1: Primerjava frekvence oscilatorja

### 3.4. OBLIKOVALEC SINUSNEGA SIGNALA



Tretji del nam preoblikuje žagasto napetost v približno sinusno obliko. To naredimo s pomočjo dveh inverzno vezanih diod. V pozitivni periodi je odprta dioda  $D_2$ , v negativni pa  $D_1$ . Delilnikom napetosti  $R_{10} - R_{11}$  dimenzioniramo tako, da bo napetost na diodah v okolici kolenske napetosti, saj je v tem delu karakteristika diode najbolj podobna sinusnemu signalu. Tako dobljeni signal ima amplitudo, ki je enaka kolenski napetosti diode ( $\sim 0.6V$ ), zato ga je potrebno še ojačati.

$$A_{\beta\infty} = -\frac{R_{13}}{R_{12}} = -20$$

Signal je zelo podoben sinusnemu signalu, vendar že na osciloskopu lahko vidimo, da je popačen. Spektralni analizator pa nam to le še potrdi, saj vidimo, da vsebuje veliko višjiharmonskih komponent.

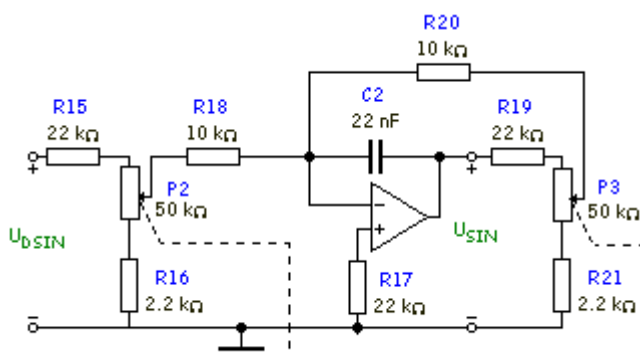
	$f_0$	$2 \cdot f_0$	$3 \cdot f_0$	$4 \cdot f_0$	$5 \cdot f_0$
[dB]	0	-22	-18	-25	-24
[V]	1	0,079	0,126	0,056	0,063

Tabela 2: Izmerjene višjiharmonске komponente oblikovanega signala

Faktor popačenja:

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} a_n^2}{\sum_{n=1}^{\infty} a_n^2}} = \sqrt{\frac{0,079^2 + 0,126^2 + 0,056^2 + 0,063^2}{1 + 0,079^2 + 0,126^2 + 0,056^2 + 0,063^2}} = 16,9\%$$

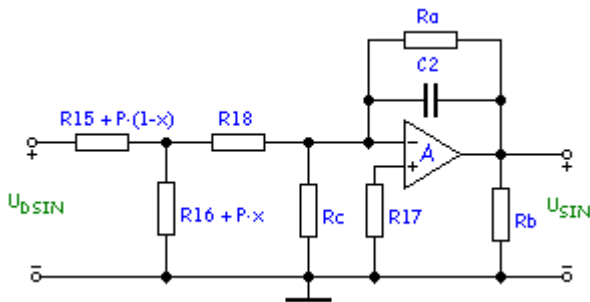
### 3.5. FILTER



Slika 7: Nizko prepustno sito

Četrti del pa nam predstavlja filter, potrebujemo pa ga zato, da bi zmanjšali popačenje sinusega signala oz. prisotnost višjiharmonskih komponent. To je nizki filter, ki prepušča nedušeno vse signale, katerih frekvenca je nižja od  $f_p$ , ki jo nastavljamo s potenciometrom. Frekvence višje od  $f_p$  pa duši z 20dB/dekado.

Za lažji izračun frekvence pola filtra, moramo vezje iz slike 7 malo preoblikovati. Prvi problem je način vezave uporov  $R_{19}$ ,  $R_{20}$ ,  $R_{21}$  ter potenciometra  $P_3$ . Za poenostavitev uporabimo preslikavo zvezda-trikot.



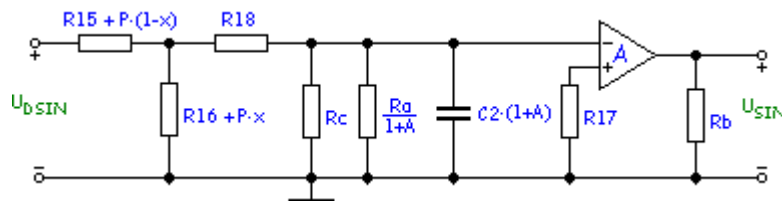
$$R_a = R_{20} + R_{19} + P \cdot (1-x) + \frac{R_{20} \cdot (R_{19} + P \cdot (1-x))}{R_{21} + P \cdot x}$$

položaj $P_3$	$R_a$ [k $\Omega$ ]
$x=1$	36,2
$x=0$	409,3

Slika 8: Pretvorba zvezda – trikot

Tabela 3: Vrednost preslikanega upora

Z uporabo Millerjevega teorema lahko prestavimo upor  $R_a$  in  $C_2$  kot prikazuje Slika 9, nato pa lahko direktno zapišemo frekvenco pola po spodnji enačbi.



Slika 9: Uporaba Millerjevega teorema

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot R_N \cdot C_2 \cdot (1+A)}$$

Vrednost upora  $R_N$  predstavlja tisto nadomestno upornost, preko katere bi se kondenzator  $C_2 \cdot (1+A)$  praznil, če je  $U_{DSIN}=0V$ . Ker je ojačanje operacijskega ojačevalnika zelo veliko ( $\sim 10^5$ ), je vrednost preslikanega Millerjevega upora  $R_a$  zelo majhna, zato vzporedno vezavo ostalih uporov zanemarimo.

$$R_N \approx \frac{R_a}{1+A} \Rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi \cdot R_a \cdot C_2}$$

položaj $P_3$	$f_p$ [Hz]
$x=1$	18
$x=0$	200

Tabela 4: Frekvenca pola filtra

V tabeli 5 lahko vidimo, da so se amplitude višjiharmonskih komponent zelo oslabile, kar je zelo izboljšalo faktor popačenja K.

	$f_0$	$2 \cdot f_0$	$3 \cdot f_0$	$4 \cdot f_0$	$5 \cdot f_0$
[dB]	0	-32	-35	-40	-43
[V]	1	0,025	0,017	0,01	0,0071

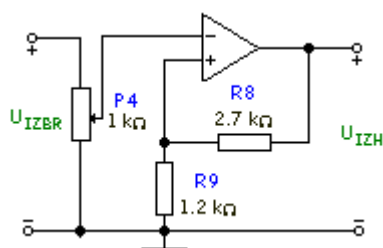
Tabela 5: Izmerjene višjiharmonske komponente filtriranega signala

Faktor popačenja po filtriranju signala:

$$K = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} a_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} a_n^2}} = \sqrt{\frac{0,025^2 + 0,017^2 + 0,01^2 + 0,0071^2}{1 + 0,025^2 + 0,017^2 + 0,01^2 + 0,0071^2}} = 3,3\%$$

### 3.6. KONČNI OJAČEVALNIK

Peti del pa nam omogoča ojačanje vseh treh signalov funkcijskega generatorja. Potenciometer P<sub>4</sub> nam predstavlja uporovni delilnik, s katerim spreminjamo velikost signala, ki ga peljemo na ojačevalnik. Velikost ojačanja je odvisna od razmerja uporov R<sub>8</sub> in R<sub>9</sub>. Tu je zelo pomembna tudi pasovna širina ojačevalnika, če je premajhna, nam višjiharmonske komponente ta ojačevalnik slabi in na izhodu ne dobimo več željenega signala. Ta lastnost je najpomembnejša za pravokotni signal, ki je sestavljen iz neskončne vrste višjiharmonskih komponent.



Slika 10: Končni ojačevalnik

$$A_{\beta\infty} = 1 + \frac{R_8}{R_9} = 1 + \frac{2,7\text{k}\Omega}{1,2\text{k}\Omega} = 3,25$$

$$A_{\beta\infty\text{IZMERJENI}} = 3,21$$

## 4. ZAKLJUČEK

V poročilo sem zajel obravnavo, ki se je meni zdela nekako smiselna in pomembna. Lahko bi opravil še meritev prevajalne funkcije filtra, da bi lahko primerjal izračunane rezultate. Rezultati se mi zdijo dokaj smiselni, razen spekter signala, ki je podan v tabeli 2. Res je bil signal pred filtriranjem zelo popačen, vendar bi filter s polom blizu osnovne frekvence, težko slabil drugo harmonsko komponento za 10dB (tabela 5). Predvidevam, da sem opravil slabe meritve.