

# OEMI

## Službena zbirka zadataka

doc.dr.sc. Davor Ćosić

Izdanje: Lipanj, 2011  
Izdavač: Školska knjiga

## SADRŽAJ

1. Šum pojačala
2. Referentni naponski izvori
3. ADP općenito
4. Sample & Hold sklop
5. ADP s dvostrukim pilastim naponom
6. Naponsko-frekvencijski ADP

# 1. Šum pojačala

## 1. zadatak

Z5. Izračunati efektivnu vrijednost napona termičkog šuma otpornika  $1\text{k}\Omega$  i  $10\text{k}\Omega$ , te njihovog serijskog spoja u frekvencijskom području  $10\text{Hz} - 10\text{kHz}$  pri temperaturi  $25^\circ\text{C}$ .

## 2. zadatak

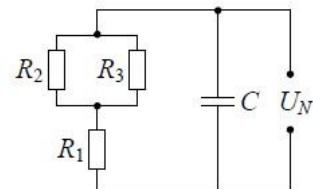
Z7. Na pojačalo pojačanja 50 i prijenosne karakteristike prvog reda granične frekvencije  $100\text{ kHz}$  spojen je generator sinusnog valnog oblika amplitude  $1\text{ mV}$  i unutarnjeg otpora  $1\text{ k}\Omega$ . Šum pojačala se može modelirati naponskim izvorom šuma spektralne gustoće snage  $9 \cdot 10^{-17}\text{ V}^2/\text{Hz}$ . Doprinos strujnog izvora šuma se može zanemariti. Odrediti efektivnu vrijednost napona šuma na izlazu pojačala te omjer snaga signala i šuma (SNR). Temperatura okoline iznosi  $25^\circ\text{C}$ , a Boltzmanova konstanta  $1,37 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ .

## 3. zadatak

Z2. Odredite izlazni napon šuma invertirajućeg pojačala izvedenog operacijskim pojačalom. Pojačanje pojačala je  $-10$ , ulazni otpor  $10\text{ k}\Omega$ . Otpornici su odabrani tako da je minimiziran izlazni napon pomaka pojačala. Operacijsko pojačalo ima spektralnu gustoću ulaznog napona šuma  $4 \cdot 10^{-16}\text{ V}^2/\text{Hz}$  i spektralnu gustoću ulazne struje šuma  $0,09 \cdot 10^{-24}\text{ A}^2/\text{Hz}$  (bijeli šum). Pojačalo je sustav prvoga reda s gornjom graničnom frekvencijom  $20\text{ kHz}$ . Zanemarite šum otpornika.

## 4. zadatak

Z3. Odredite pokazivanje voltmatra  $U_N$  s odzivom na efektivnu vrijednost ako su vrijednosti otpornika na slici  $R_1=1\text{ M}\Omega$ ,  $R_2=3\text{ M}\Omega$ ,  $R_3=6\text{ M}\Omega$ . Ulazni kapacitet voltmatra je  $C=10\text{ pF}$ , a temperatura  $300\text{ K}$ . Prepostavite da su sve komponente u termičkoj ravnoteži. Boltzmannova konstanta je  $1,381 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ .



## 5. zadatak

1. Odrediti najmanju amplitudu napona sinusnog izvora unutarnjeg  $1\text{. Rg}=1000\text{ Ohm}$  koju je moguće izmjeriti pogreškom manjom od  $0.1\%$  s obzirom na šum pojačala. Pojačalo je sustav 1. reda, gornje  $f=f_g=100\text{kHz}$ , pojačanja 50 i ulaznog otpora većeg od otpora izvora. Nacrtajte shemu mjeranja. Šum pojačala je određen naponskim i strunim izvorima gustoća  $20\text{uV/sqrt(Hz)}$  i  $10\text{ pA/sqrt(Hz)}$ . Temperatura okoline je  $300\text{ K}$ , a  $k=1,27 \cdot 10^{-23}\text{ J/kg}$ .

## 1. Zadatak

ZADATAK 5.

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$t = 25^\circ\text{C} \Rightarrow T = 298,15 \text{ K}$$

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = 10 \text{ Hz} \\ f_2 = 10 \text{ kHz} \end{array} \right\} \Delta f = 10000 - 10 = 9990 \text{ Hz}$$

$$U_{M1} = \sqrt{4kTR\Delta f} \Rightarrow U_{M1} = \sqrt{4 \cdot 1,382 \cdot 10^{-23} \cdot 298,15 \cdot 1000 \cdot 9990} = 4,058 \cdot 10^{-7} \text{ V} \\ = 0,41 \text{ } \cancel{\mu\text{V}}$$

$$U_{M2} = \sqrt{4 \cdot 1,382 \cdot 10^{-23} \cdot 298,15 \cdot 10000 \cdot 3930} = 1,285 \cdot 10^{-6} \text{ V} \\ = 1,28 \text{ } \cancel{\mu\text{V}}$$

$$U_{M,\text{TOT}}^2 = U_{M1}^2 + U_{M2}^2 = 0,41^2 + 1,28^2 = 1,8065$$

$$U_{M,\text{TOT}} = \sqrt{1,8065} = 1,34 \text{ } \cancel{\mu\text{V}}$$

## 2. Zadatak

ZADATAK 7.

$$A_o = 50$$

$$f_g = 100 \text{ Hz}$$

$$U_{u_{1,2}} = 1 \text{ mV}, R_g = 1 \text{ k}\Omega$$

$$M_{N,OP}^2 = 9 \cdot 10^{-12} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$T = 25^\circ\text{C} \Rightarrow T = 298,15 \text{ K}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$M_{H_{1,2},d} = ? , \text{ SNR} = ?$$

NA ULAZU POJĀCALA PRVIENOSNE FUNKCIJE  $H(jw)$  JE PROVJERIĆA SPECTRALNE GUSTIĆE SNAGE  $M_{N,OP}^2$ . TADA JE EFEKTIVNI NAPON  $U_N$  KOJI SE MOže POMjeriti NA REZALU TOG POJĀCALA JEDNAK:

$$U_N^2 = \int_0^{\infty} (A_o \cdot M_{N,OP})^2 |H(jw)|^2 dw$$

POJĀCALO IMA PRVIENOSNU KARAKTERISTIKU PRVOG REDA:

$$H(jw) = \frac{1}{1 + j \frac{w}{w_g}}$$

$$U_N^2 = (A_o M_{N,OP})^2 \int_0^{\infty} \frac{dw}{1 + \frac{w}{w_g}} = (A_o M_{N,OP})^2 \left[ \ln \left( 1 + \frac{w}{w_g} \right) \right]_0^{\infty} = (A_o M_{N,OP})^2 \frac{\pi}{2} \ln \left( \frac{1}{w_g} \right) = (A_o M_{N,OP})^2 \frac{\pi}{2} \frac{1}{w_g}$$

(1) NAPONSKI ŠUM POJĀCALA:

$$U_{N_A}^2 = (A_o M_{N,OP})^2 \frac{\pi}{2} \frac{1}{w_g} = 50^2 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 100000 = 3,534 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2$$

(2) TERMIČKI ŠUM OTPORA GENERATORA:

$$U_{N_B}^2 = (A_o^2 \cdot 4kT_R) \frac{\pi}{2} \frac{1}{w_g} = 50^2 \cdot 4 \cdot 1,37 \cdot 10^{-23} \cdot 298,15 \cdot 1000 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 100000 = 6,416 \cdot 10^{-9} \text{ V}^2$$

UKUPNA EFEKTIVNA VRJEDNOST NAPONA NA REZALU POJĀCALA:

$$U_{H_{1,2},d} = \sqrt{U_{N_A}^2 + U_{N_B}^2} = \sqrt{3,534 \cdot 10^{-8} + 6,416 \cdot 10^{-9}} = 0,204 \text{ mV}$$

EFEKTIVNA VRJEDNOST VALNOG GENERATORA SIGNALA NA REZALU POJĀCALA:

$$U_{g_{1,2},d} = \frac{A_o \cdot U_{u_{1,2}}}{\sqrt{2}} = \frac{50 \cdot 1}{\sqrt{2}} = 35,35 \text{ mV}$$

ODNOS SIGNAL ŠUM:

$$\text{SNR} = \frac{U_{g_{1,2},d}^2}{U_{H_{1,2},d}^2} = \frac{\left( \frac{35,35}{\sqrt{2}} \right)^2}{6,416 \cdot 10^{-9}} = 29936 = 10 \log 29936 = 44,8 \text{ dB}$$

**3. Zadatak** (NAPOMENA: u 3.DZ 10/11 se jedino šum pojačala uzeo u obzir)

**ZADATAK 1.** (AUDITORNE OG. 110.)

$$A_o = -10 \text{ (INVERTIRAJUĆE POJAČALO)}$$

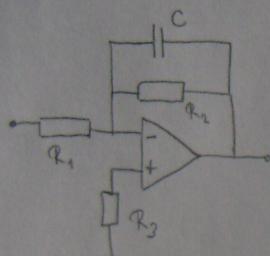
$$R_{UL} = 10 \text{ k}\Omega$$

- MINIMIZIRAN JE NAPON POMAKA POJAČALA

$$U_{N,OP}^2 = 4 \cdot 10^{-16} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$i_{N,OP}^2 = 0,03 \cdot 10^{-14} \text{ A}^2/\text{Hz}$$

- SUSTAV PRVOG REDA SA  $f_g = 20 \text{ kHz}$



**(I) ODABIR OTPORNika:**

$$R_{UL} = R_1 = 10 \text{ k}\Omega,$$

$$A_o = -\frac{R_2}{R_1} = -10 \Rightarrow R_2 = 10 R_1 = 100 \text{ k}\Omega,$$

$$R_3 = R_1 \parallel R_2 = \frac{10 \cdot 100}{10 + 100} = 3,1 \text{ k}\Omega,$$

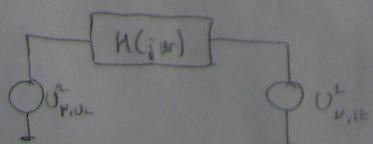
**(II) ODABIR KONDENZATORA:**

$$\left. \begin{aligned} U_g &= 2\pi f_g \\ U_g &= \frac{1}{R_3} = \frac{1}{C \cdot R_2} \end{aligned} \right] \frac{1}{C \cdot R_2} = 2\pi f_g \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{f_g R_2} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{20 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3} \\ C &= 79,58 \text{ pF}, \end{math}$$

⊗ ZADANO JE INVERTIRAJUĆE POJAČALO, PA MORAMO OTIMI SUMA POJAČALA U OBZIR UZETI I SUMI SVAKOG OD NJEGOVIH OTPORNika ( $R_1, R_2, R_3$ )

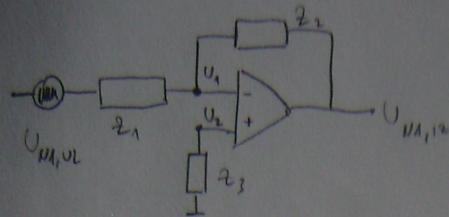
$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 \\ Z_2 &= R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{\frac{R_2}{j\omega C}}{1 + \frac{1}{j\omega C R_2}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C} \end{aligned}$$

$$Z_3 = R_3$$



⊗ SUM SA ULAZA SE PRESLIKU NA ILAZ, PA MORAMO PACI PRIJENARNU KARAKTERISTIKU ZA SVAKI OTPORNIK POSEBNO

⑦ DOPRINOS OTPORNIKA  $R_1$



$$\left. \begin{aligned} U_1 \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) &= U_{mu1,UL} \cdot \frac{1}{Z_1} + U_{mu1,R2} \cdot \frac{1}{Z_2} \\ U_2 \cdot \frac{1}{Z_3} &= 0 \Rightarrow U_2 = U_1 = 0 \end{aligned} \right\} \quad A_1 = \frac{U_{mu1,12}}{U_{mu1,UL}} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

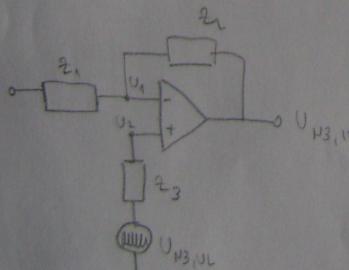
$$U_{R1}^2 = 4kT R_1 = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10000 = 1,656 \cdot 10^{-16} V^2/K \leftarrow \text{SUM ULAZU PREDALA}$$

$$U_1^2 = A_1 \cdot U_{R1}^2 \cdot \frac{\pi}{2} f_g \leftarrow \text{POJACANJE SUM NA PREDALU} \\ (\text{SUSTAV 1. REDA} \Rightarrow \text{MNOZITVO SA } \frac{\pi}{2} f_g)$$

$$U_1^2 = \int_0^\infty U_{R1}^2 |A_1|^2 df$$

$$= U_{R1}^2 \cdot \left( \frac{Z_2}{R_1} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{2} f_g = 1,656 \cdot 10^{-16} \cdot \left( \frac{100}{10} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 20000 = 5,202 \cdot 10^{-10} V^2$$

⑧ DOPRINOS OTPORNIKA  $R_3$



$$U_1 \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) = U_{mu3,12} \cdot \frac{1}{Z_2}$$

$$U_2 = U_{mu3,UL}$$

$$U_1 = U_2$$

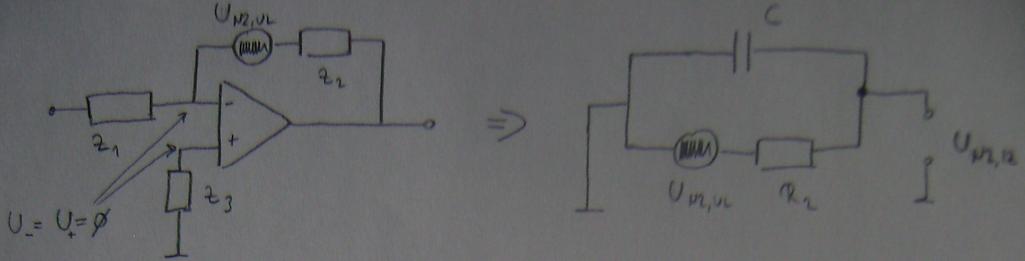
$$U_{mu3,UL} \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 \cdot Z_2} = U_{mu3,12} \cdot \frac{1}{Z_2}$$

$$A_3 = \frac{U_{mu3,12}}{U_{mu3,UL}} = \underbrace{1 + \frac{Z_2}{Z_1}}$$

$$U_{R3}^2 = 4kT R_3 = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 9100 = 1,509 \cdot 10^{-16} V^2/K$$

$$U_3^2 = U_{R3}^2 \cdot \left( 1 + \frac{Z_2}{R_1} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{2} f_g = 1,509 \cdot 10^{-16} \cdot 11^2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 20000 = 5,723 \cdot 10^{-10} V^2$$

⊗ DOPRINOS OTPORNIKA  $R_2$



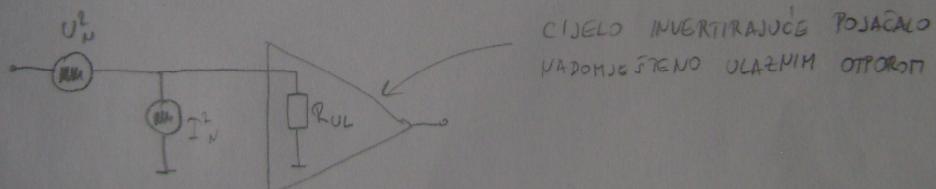
$$U_{M2,R2} \left( j\omega C + \frac{1}{R_2} \right) = U_{M2,UL} \cdot \frac{1}{R_2}$$

$$A_2 = \frac{U_{M2,R2}}{U_{M2,UL}} = \frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1+j\omega CR_2}{R_2}} = \underbrace{\frac{1}{1+j\omega CR_2}}$$

$$M_{R2} = 4kT R_2 = 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 100000 = 1,656 \cdot 10^{-15} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$U_2^2 = M_{R2}^2 \cdot \frac{M}{2} f_g = 1,656 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{M}{2} \cdot 20000 = 5,202 \cdot 10^{-11} \text{ V}^2$$

⊗ DOPRINOS POJAČALA



$$\begin{aligned} U_P^2 &= \left( -\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \cdot \left[ U_N^2 + R_{UL}^2 \cdot I_N^2 \right] \cdot \frac{M}{2} f_g = \left\{ R_{UL} = R_1 \right\} = \\ &= \left( -\frac{100}{10} \right)^2 \cdot \left[ 4 \cdot 10^{-16} + 10000^2 \cdot 0,09 \cdot 10^{-24} \right] \cdot \frac{M}{2} \cdot 20000 = 1,285 \cdot 10^{-9} \text{ V}^2 \end{aligned}$$

⊗ UKUPNI SUMA PRAZNU:

$$U_N^2 = U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_p^2 = 5,202 \cdot 10^{-10} + 5,202 \cdot 10^{-11} + 5,929 \cdot 10^{-10} + 1,285 \cdot 10^{-9} = 2,43 \cdot 10^{-9} \text{ V}^2$$

$$U_N = \sqrt{2,43 \cdot 10^{-9}} = 49,3 \mu\text{V}$$

#### 4. Zadatak

ZADATAK 3. (3. DZ 2010./11.)

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 3 \text{ M}\Omega$$

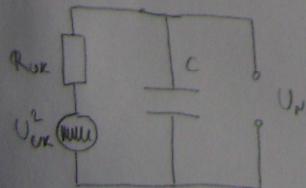
$$R_3 = 6 \text{ M}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$U_N = ? \text{ (VOLTMETAR SA ODRŽOM NA EFEKTNU VRJEDNOST)}$$

TERMÍCKI ŠUM RC ČLANA



PRIJEDOSNA KARAKTERISTIKA RC ČLANA:

$$U_N \left( \frac{1}{R_{UK}} + j\omega C \right) = U_{UK} \cdot \frac{1}{R_{UK}}$$

$$H(j\omega) = \frac{U_N}{U_{UK}} = \frac{\frac{1}{R_{UK}}}{\frac{1}{R_{UK}} + j\omega C} = \frac{\frac{1}{R_{UK}}}{\frac{1 + j\omega C R_{UK}}{R_{UK}}} = \frac{1}{1 + j\omega R_{UK} C}$$

EFEKTNUA VRJEDNOST KOJA SE MOže IZMJERITI NA RC ČLANU:

$$U_N^2 = \int_0^\infty U_{UK}^2(t) |A_v(t)|^2 dt$$

$$A_V(f) = H(j^{15}) \Big|_{\omega=2\pi f} = \frac{1}{1+j2\pi fR_{UK}C}$$

$$|A_V(f)|^2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi fR_{UK}C)^2}} \right)^2 = \frac{1}{1+(2\pi fR_{UK}C)^2}$$

$$\begin{aligned} U_N^2 &= \int_0^\infty (4kTR_{UK}) \cdot \frac{1}{1+(2\pi fR_{UK}C)^2} df = 4kTR_{UK} \cdot \int_0^\infty \frac{1}{1+(2\pi fR_{UK}C)^2} df = \\ &= \left\{ \int \frac{dx}{1+x^2} = \arctg x \right\} = 4kTR_{UK} \cdot \frac{1}{2\pi R_{UK}C} \left( \arctg(2\pi fR_{UK}C) \right) \Big|_0^\infty = \\ &= \frac{2kT}{\pi C} \cdot (\arctg(\infty) - \arctg(0)) = \frac{\pi}{\pi} \cdot \frac{kT}{C} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{kT}{C} \end{aligned}$$

$$U_N^2 = \frac{kT}{C} = \frac{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{10 \cdot 10^{-12}} = 4,143 \cdot 10^{-10} V^2$$

OVLET SAMO  
TEMPERATUR  
KAPACITETU

$$U_N = \sqrt{4,143 \cdot 10^{-10}} = 20,354 \mu V$$

## 5. Zadatak

ZADATAK 1. (21.08.03.)

$$R_g = 1000 \Omega$$

$$\mu = 0.1 \%$$

POJACALO - SUSTAV 1. REDA

$$- f_g = 100 \text{ Hz}, A_0 = 50$$

$$U_{N,OP} = 20 \mu V / \sqrt{\text{Hz}}$$

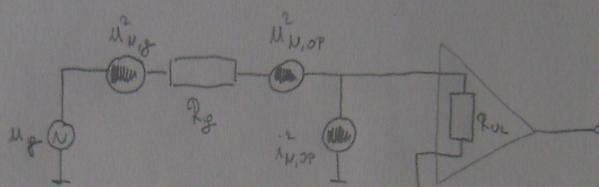
$$i_{N,OP} = 10 \mu A / \sqrt{\text{Hz}}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 1,27 \cdot 10^{-23} \text{ J/kg}$$

$$U_g = ?$$

SHEMA MJESENJA:



$$U_{N,UL}^2 = \underbrace{\left( \frac{R_{UL}}{R_{UL} + R_g} \right)^2}_{\text{SNAGA IZVORA SUMA } U_{N,G} \text{ KOJA OTPADA NA } R_{UL}} U_{N,g}^2 + \underbrace{\left( \frac{R_{UL}}{R_{UL} + R_g} \right) i_{N,OP}^2}_{\text{SNAGA IZVORA SUMA } U_{N,OP} \text{ KOJA OTPADA NA } R_{UL}} + \underbrace{\left( \frac{R_g R_{UL}}{R_{UL} + R_g} \right) i_{N,OP}^2}_{\text{ZA STRUJKI IZVORA SUMA } i_{N,OP}^2}$$

PA JE DVA SNAGA NA TOJ PARALELI

$$U_{N,UL} = \left( \frac{R_{UL}}{R_{UL} + R_g} \right) \cdot (U_{N,g}^2 + U_{N,OP}^2 + R_f^2 i_{N,OP}^2) = \left\{ R_{UL} \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{R_{UL}}{R_{UL} + R_g} \rightarrow 1 \right\}$$

$$= U_{N,g}^2 + U_{N,OP}^2 + R_f^2 i_{N,OP}^2 = \underbrace{4 \cdot k \cdot T \cdot R_g}_{\text{SUM IZVORA } U_{N,g}^2} + U_{N,OP}^2 + R_f^2 i_{N,OP}^2 =$$

$$= 4 \cdot 1,27 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1000 + (20 \cdot 10^{-9})^2 + (1000 \cdot 10 \cdot 10^{-12})^2 = \underline{5,1524 \cdot 10^{-16} \text{ V}^2 / \text{Hz}}$$

SHAGA SUMA NA IZLAZU POJACALA:

$$U_{N,UL}^2 = U_{N,UL} \cdot \Delta \frac{1}{4} = U_{N,UL} \cdot \frac{\pi \cdot f_g}{2} \quad \Leftarrow \text{DVO VRIGEDI SATO}$$

$$\text{AKO JE SUSTAV 1. REDA}$$

$$= 5,1524 \cdot 10^{-16} \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 100000 = 8,033 \cdot 10^{-11} \text{ V}^2$$

UVAJMANJA IZMJERIVA AMPLITUDA ULAZNOG NAPONA:

$$U_{\text{izmjereno}} = U_{g,\text{RMS}} \pm \underline{0,001 \cdot U_{g,\text{RMS}}}$$

- POGREŠKA MJERENJA NASTAJE ZBOG SUMA

- PAZITI NA **RMS!** JER VOLTMETAR POKAZUJE EFIKTNU VREDNOST

$$\underbrace{0,001 U_{g,\text{RMS}}}_{0,001 U_{g,12}} = U_{g,12} \Rightarrow U_{g,\text{RMS}} = \frac{U_{g,12}}{0,001} = \frac{\sqrt{8,093 \cdot 10^{-11}}}{0,001} = 9 \text{ mV}$$

POGREŠKA JE JEDNAKA  
SUMU NA PLAZU

$$U_g = \sqrt{2} \cdot U_{g,\text{RMS}} = 9\sqrt{2} \cdot 10^{-3} = 12,73 \text{ mV}$$

## 2. Referentni naponski izvori

### 1. Zadatak

**Z8.** Nacrtajte shemu referentnog naponskog izvora s Zenerovom diodom i operacijskim pojačalom. Odredite otpore svih otpornika u krugu, ako se želi postići referentni napon od 15 V, a Zenerova dioda ima radni napon od 5,2 V uz struju od 2 mA.

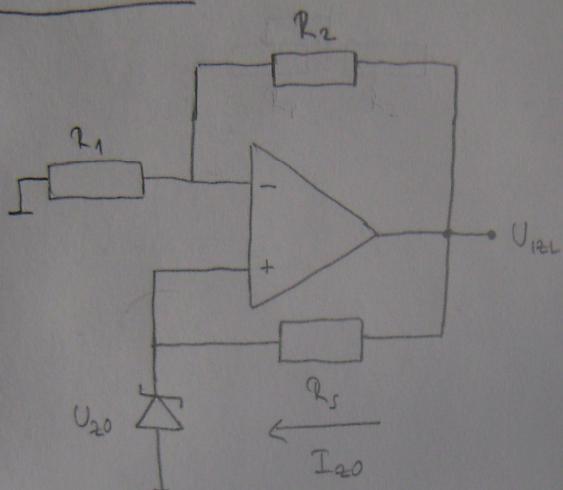
## 1. Zadatak

ZADATAK 8. (3. DR 2010/11.)

$$U_{1zL} = 15 \text{ V}$$

$$U_{20} = 5,2 \text{ V}$$

$$I_{20} = 2 \text{ mA}$$



$$R_3 = \frac{U_{1zL} - U_{20}}{I_{20}} = \frac{15 - 5,2}{0,002} = 4,9 \text{ k}\Omega //$$

$$U_{UL} = U_{20} \Rightarrow U_{1zL} = \underbrace{\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}_{\text{POJAČANJE NEINVERTIRAJUĆEG POJAČALA}} U_{UL}$$

POJAČANJE  
NEINVERTIRAJUĆEG  
POJAČALA

$$15 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot 5,2 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 1,885 \Rightarrow R_2 = 1,885 R_1 //$$

### 3. ADP općenito

#### 1. Zadatak

**Z4.** Analogno-digitalni pretvornik s 12-bitnom razlučivošću ima raspon ulaznog napona od 0 V do 5 V. Odredite kvantizacijski korak, maksimalnu kvantizacijsku pogrešku (u milivoltima) te omjer signala i šuma pretvornika za sinusni napon pune skale.

#### 2. Zadatak

2. ADP se želi digitalizirati signal dinamičkog područja 44dB. Odredite potrebnu razlučivost pretvornika, raspon ulaznog napona uz kvantizacijski korak od 12.5 mV te omjer signala i kvantizacijskog šuma.

ZADATAK 1. (3.DZ 04/08.)

$$\underline{U_{FS} = 5 \text{ V}; m=12}$$

$$\underline{Q, \epsilon, SNR = ?}$$

$$Q = \frac{U_{FS}}{2^m} = \frac{5}{2^{12}} = 1,22 \text{ mV}$$

KUANTIZACIJSKA POGREŠKA POPRIMA VRJEDNOSTI UNUTAR  $\pm \frac{1}{2} LSB$ .

$$\text{VRJENEDI } Q = 1 LSB, \text{ PA JE } \epsilon_{MAX} = \frac{1}{2} LSB = \frac{1}{2} Q = \frac{1}{2} \cdot 1,22 \cdot 10^{-3} = 0,61 \text{ mV}$$

$$SNR = 20 \log (2^{m-1} \sqrt{6}) = 6,02 \text{ n} + 1,76 = 6,02 \cdot 12 + 1,76 = 74 \text{ dB}$$

ZADATAK 2. (21.08.08.)

$$\underline{D = 44 \text{ dB}}$$

$$\underline{Q = 12,5 \text{ mV}}$$

$$\underline{m, U_{FS}, SNR = ?}$$

$$(I) D = 6,02 \text{ n [dB]}$$

$$44 = 6,02 \text{ n} \Rightarrow m = \frac{44}{6,02} = 7,309$$

ZA OVAJ m IMAMO  $2^{7,309} = 158$  KUANTIZACIJSKIH RAZINA. BROJ m MORA BITI CELI BROJ. AKO UZMEHO DA JE m=7 DOBIJEMO  $2^7 = 128$  KUANTIZACIJSKIH RAZINA. TO JE MANJE OD 158, STO ZNACI DA UZIMAMO PRVI SLEDEC m, ODNOSNO 7,309 ZAKRUZENOGA NA VEĆU VRJEDNOST!  $\Rightarrow m = 8$

$$(II) Q = \frac{U_{FS}}{2^m} \Rightarrow U_{FS} = Q \cdot 2^m = 0,0125 \cdot 2^8 = 3,2 \text{ V}$$

$$(III) SNR = 6,02 \text{ n} + 1,76 = 6,02 \cdot 8 + 1,76 = 49,92 \text{ dB}$$

## 4. Sample & Hold sklop

### 1. Zadatak

**Z5.** Trokutasti napon frekvencije 1 kHz, amplitude  $\pm 1$  V digitalizira se 8-bitnim analogno-digitalnim pretvornikom sa S&H krugom. Kolika je najniža frekvencija uzorkovanja signala da se spriječi *aliasing* osnovnog harmonika ulaznog signala? Odredite brzinu porasta (*slew rate*) ulaznog signala. Koliko je najdulje vrijeme otvora S&H sklopa (aperturno vrijeme) uz koje neće doći do amplitude pogreške veće od  $\pm 0,5$  LSB? Raspon ulaznog napona pretvornika iznosi  $\pm 1$  V.

## 1. Zadatak

ZADATAK 3.

(AUDITORMS 03/10.)

$$f = 1 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{1000} = 1 \text{ ms}$$

$$U_{UL} = \pm 1 \text{ V}$$

$$m = 8$$

$$\Delta U = \pm 1 \text{ LSB}$$

$$U_{FS} = \pm 1 \text{ V}$$

NAPOMENA: KOD UVRIJETAVANJA U FORMULU  $U_{FS} = \pm 1 \text{ V}$ , ZAMJENI

ZNAČI RASPON NAPONA OD  $\boxed{2 \text{ V}}$ :

$$2 = \frac{1}{2^m} \quad 2 = \frac{\underline{1}}{2^m} \quad \checkmark$$

$\Rightarrow$  NAJNIZA f KOJOM SE SPRIJEĆI ALIASING:

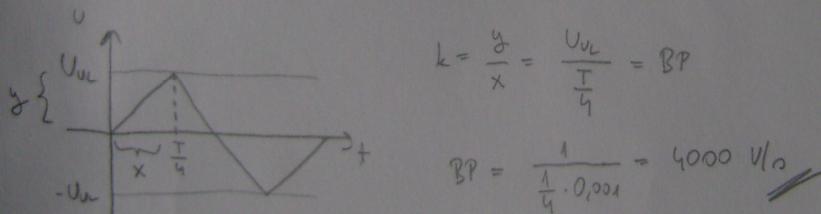
$$f_{MAX} = 1 \text{ kHz} \Rightarrow f_{SAMPLING} \geq 2 f_{MAX}$$

$$f_{SAMPLING} \geq 2 \text{ kHz}$$

$\Rightarrow$  BREZINA PORASTA (SLEW RATE)

$$- \text{VAJVEĆA BREZINA PORASTA NAPONA: } \left( \frac{dU_{UL}}{dt} \right)_{MAX}$$

- DERIVACIJA NAPONA JE KOD TROKUTASTOG SIGNALA KOEFICIENT NAGIBA PRAVCA



$\Rightarrow$  NAJDUCE APERTURNO VRIJEME:

$$BP = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

APERTURNO VRIJEME JE PERIOD TINEKOM KOJEG ADP ČITA ULAZNI SIGNAL.

$$\left. \begin{aligned} BP &= \frac{\Delta U_{UL}}{\Delta t_A} \Rightarrow t_A = \frac{\Delta U_{UL}}{BP} \\ \Delta U &\leq \pm \frac{1}{2} \text{ LSB} \\ 2 &= \frac{U_{FS}}{2^m} = \frac{2}{2^8} = 7,8125 \text{ mV} = 1 \text{ LSB} \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} t_A &= \frac{\Delta U_{UL}}{BP} = \frac{1}{2} \text{ LSB} \cdot \frac{1}{BP} = \frac{1}{2} \cdot 7,8125 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{4000} \\ t_A &= 976,56 \text{ ns} \end{aligned} \right\}$$

## 5. ADP s dvostrukim pilastim naponom

### 1. Zadatak

**Z6.** U analogno-digitalnom pretvorniku s dvostrukim pilastim naponom frekvencija oscilatora je 400 kHz, referenti napon je 10 V, a brojilo broji do  $10^4$  impulsa. Nacrtajte blok shemu pretvornika i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe. Izračunate najdulje trajanje mjerljivog ciklusa i odredite ulazni napon pri kojem to vrijedi. Koliki je ulazni napon, ako se uz superponiranu smetnju frekvencije 50 Hz i amplitude 500 mV na pokazniku spojenom na izlaz pretvornika očita 3,755 V.

### 2. Zadatak

4. AD pretvornik s dvostrukim pilastim naponom frekvencije oscilatora,  $f_{osc}=1\text{MHz}$ ,  $-U_{ref}=-5\text{V}$   $N=10^4$ , blok shema i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe. Koliko impulsa brojilo izbroji uz ulazni napon od 3.6V u slučaju bez i sa smetnjom. Smetnja je trokutastog valnog oblika,  $U_{sm}=180\text{uV}$  i frekvencije 125Hz, a početak pretvorbe je sinkroniziran sa smetnjom.

### 3. Zadatak

**Z3.** Na analogno-digitalni pretvornik s dvostrukim pilastim naponom priključen je ulazni napon 1,5 V. Millerov integrator je izведен otpornikom od  $1\text{ M}\Omega$  i kondenzatorom od 100 nF. Referentni napon je 2,5 V. Frekvencija oscilatora je 51,282 kHz, brojilo može izbrojiti najviše 20000 impulsa.

Odredite napon na koji se nabije kondenzator u integratoru, te ukupni broj impulsa koje brojilo izbroji za vrijeme ciklusa pretvorbe.

Kolika je najveća apsolutna pogreška pretvorbe, ako je na ulazni signal superponirana smetnja iz gradske mreže amplitude 10 mV?

## 1. Zadatak

**ZADATAK 4.** (AUDITORNE 03/b)

$$f_{osc} = 400 \text{ kHz}$$

$$U_{REF} = 10 \text{ V}$$

$$N_o = 10^4$$

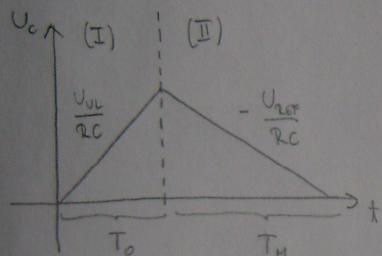
$$t_{sn} = 50 \text{ ms}$$

$$U_{sn} = 500 \text{ mV}$$

$$\underline{U_{UL} = 3,755 \text{ V}}$$

$$T_{MAX} = ? , U_{UL} = ?$$

$\Rightarrow$  NAJDUĆI MJERNI CIKLUS:



(I) PUNJENJE KONDENZATORA TRAJANJA  $T_0$

(II) PRÄŽENJE KONDENZATORA TRAJANJA  $T_n$

$$\text{VAPON NA ULAZU INTEGRATORA 2A (I): } U_o = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_0} U_{UL}(t) dt = -\frac{T_0}{RC} U_{UL}$$

$$\underline{T_0 U_{UL} = -U_o R C}$$

$$\text{VAPON NA ULAZU INTEGRATORA 2A (II): } U_o - \frac{1}{RC} \int_{T_0}^{T_0+T_n} (-U_{REF}) dt = U_o + \frac{T_n}{RC} U_{REF}$$

$$\text{KADA JE (II) STUPITI UK } \emptyset V, \text{ VRIZEDI: } \emptyset = U_o + \frac{T_n}{RC} U_{REF} \Rightarrow \underline{T_n U_{REF} = -U_o R C}$$

$$T_0 U_{UL} = T_n U_{REF} \Rightarrow U_{UL} = U_{REF} \frac{T_n}{T_0}$$

NANJEĆI ULAZNI VAPON JE  $U_{UL} = U_{REF}$ , ZA KOJI ONDA VRIZEDI  $T_0 = T_n$ .

$$\text{TAJ MJERNI CIKLUS TRAJE } T' = T_0 + T_n = 2T_0 = 2 \cdot \frac{N_o}{f_{osc}} = 2 \cdot \frac{10^4}{400000} = 50 \text{ ms}$$

$\Rightarrow$  UTjecaj smetnje:

$$U'_{sn} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} U_{sn}(t) dt = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} U_{sn} \sin(2\pi f_{sn} t) dt = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-3}} \int_0^{0,025} 0,5 \sin(314,16 t) dt =$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-3}} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{314,16} (-\cos(314,16 t)) \Big|_0^{0,025} = 0,06366 (-1,8366 \cdot 10^{-5} + 1) = 0,06366$$

$$U_{UL} = U_{REF} \pm U'_{sn} = (3,755 \pm 0,06366) \text{ V}$$

## 2. Zadatak

ZADATAK 4. (21. 08.03.)

$$f_{osc} = 1 \text{ MHz}$$

$$U_{REF} = -5 \text{ V}$$

$$N_o = 10^4$$

$$U_{UL} = 3,6 \text{ V}$$

TROKUTASTI NAPON SMETNIJE:  $- U_{SM} = 180 \text{ mV}$

$$f_{SM} = 125 \text{ Hz}$$

$$N_n, N_n' = ?$$

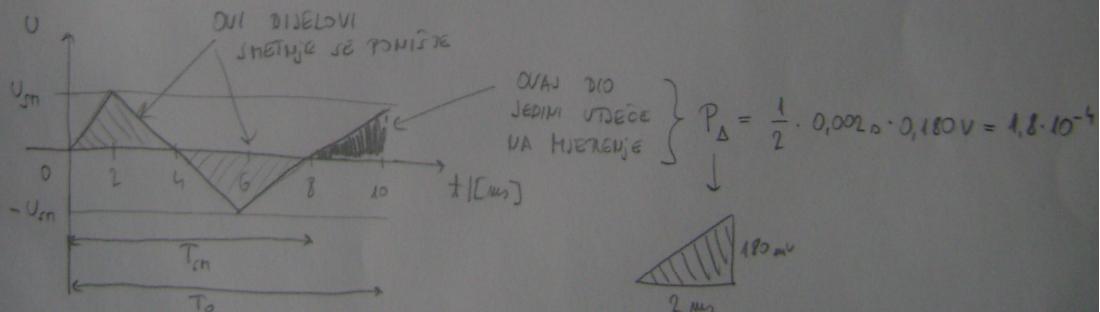
$\Rightarrow$  BEZ SMETNIJE:

$$N_n = N_o \cdot \frac{U_{UL}}{U_{REF}} = 10000 \cdot \frac{3,6}{5} = 7200 \quad //$$

$\Rightarrow$  SA SMETNIJOM:

$$T_o = \frac{N_o}{f_{osc}} = \frac{10000}{10^6} = 10 \text{ ms} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{VRJEME POTREBNO DA SE} \\ \text{REPROVI MAX BROJ IMPULSA } N_o \end{array}$$

$$T_{SM} = \frac{1}{f_{SM}} = \frac{1}{125} = 8 \text{ ms} \quad \leftarrow \text{TRAJANJE JEDNE PERIODE SMETNIJE}$$



$$U_{sm}' = \frac{1}{T_o} \cdot \left( \int_0^{T_o} u_{sm}(t) dt \right) = \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} = 0,018 \text{ V}$$

BROJ IMPULSA U SLUČAJU POSTOJANJA SMETNIJE JE:

$$N_n' = N_o \cdot \frac{(U_{UL} + U_{sm}')}{U_{REF}} = 10^4 \cdot \frac{(3,6 + 0,018)}{5} = 7236 \quad //$$

### 3. Zadatak

ZADATAK 3. (3.02 09|08)

$$U_{UL} = 1,5 \text{ V}$$

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

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$U_{REF} = 2,5 \text{ V}$$

$$f_{osc} = 51,282 \text{ kHz}$$

$$N_o = 20 \text{ 000}$$

$$U_C, N_H = ?$$

$$2A U_{in} = 10 \text{ mV}, \mu = ?$$

$\Rightarrow$  UAPON NA KOJI SE NABIJE KONDENZATOR U INTEGRATORU JE:  
(UAPON NA ULAZU INTEGRATORA U TRENUTKU  $T_0$ )

$$U_C = \frac{T_0}{RC} U_{UL} = \left\{ T_0 - \begin{array}{l} \text{VRJEME POTREBNO DA BROJILO} \\ \text{PREGRIJ MAX. BROJ IMPULSA } N_o \end{array} \right\} = \frac{1}{RC} \cdot \left( \frac{N_o}{f_{osc}} \right) U_{UL} =$$

$$= \frac{1}{10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{20 \text{ 000}}{51,282 \cdot 10^3} \cdot 1,5 = 5,85 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_H = N_o \cdot \frac{U_{UL}}{U_{REF}} = 20 \text{ 000} \cdot \frac{1,5}{2,5} = 12 \text{ 000}$$

$\Rightarrow$  NAJVEĆA POGREŠKA PRETVORBE:

UAPON SMETNJE:

$$U'_{in} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} U_{in} \sin(2\pi f_{in} \cdot t) dt = \left\{ T_0 = \frac{N_o}{f_{osc}} = \frac{20 \text{ 000}}{51,282} = 0,39 \text{ s} \right\} =$$

$$= \frac{1}{0,39} \int_0^{0,39} 0,01 \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t) dt = \frac{1}{0,39} \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{100\pi} (-\cos(100\pi t)) \Big|_0^{0,39} =$$

$$= 8,1618 \cdot 10^{-5} \cdot (1 + 1) = 163,24 \text{ }\mu\text{V}$$

BRZI IMPULSA POD UTjecajem smetnje:

$$N'_H = N_o \cdot \frac{(U_{UL} + U'_{in})}{U_{REF}} = 20 \text{ 000} \cdot \frac{(1,5 + 163,24 \cdot 10^{-6})}{2,5} = 12001,3 \approx 12001$$

ABSOLUTNA POGREŠKA JE:

$$\mu = N'_H - N_H = 12001 - 12000 = 1 \text{ IMPULS}$$

## 6. Naponsko-frekvencijski ADP

### 1. Zadatak

Z7. Analogno-digitalnim pretvornikom napona u frekvenciju mjeri se napon 2,5 V. Pretvornik koristi Millerov integrator s vremenskom konstantom  $220 \mu\text{s}$ . Napon komparacije je -3 V. Kondenzator u integratoru se izbjija tranzistorskom sklopkom zanemarivog otpora u vođenju. Nacrtajte blok shemu pretvornika i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe. Izračunajte trajanje nabijanja kondenzatora u integratoru. Koliko impulsa izbroji brojilo tijekom jednog mjernog ciklusa koji traje 250 ms?

### 2. Zadatak

3. Ulf, DC( $U_{ul}=4V$ ),  $\tau=240\text{us}$ ,  $U_{ref}=-2V$ , blok shema i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe, pogreška=? (ako se impuls na izlazu komparatora daje u vremenskom intervalu od 50ms). Utječe li više na rezultat pretvorbe smetnja frekvencije 20 Hz ili 30 Hz?

## 1. Zadatak

ZADATAK 4. (3. DE 09.108.)

$$U_{UL} = 2,5 \text{ V}$$

$$\tau = 220 \text{ } \mu\text{s}$$

$$R_{UL} = 10 \text{ k}\Omega$$

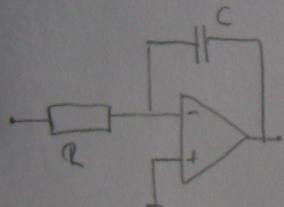
$$U_{REF} = -3 \text{ V}$$

$$T_m = 250 \text{ ms}$$


---

$\Rightarrow$  SHEMA NACRTANA U TEORIJI

MILLEROV INTEGRATOR:



$$R_{UL} = R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\tau = RC \Rightarrow C = \frac{\tau}{R} = \frac{220 \cdot 10^{-6}}{10000} = 22 \text{ nF}$$

$\Rightarrow$  VRIJEME NABIHANJA KONDENZATORA:

$$T = t_0 = RC \frac{U_{REF}}{U_{UL}} = 220 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{3}{2,5} = 264 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\Rightarrow N = k_{AD} T_m \cdot U_{UL} = \left\{ k_{AD} = \frac{1}{RCU_{REF}} = \frac{1}{220 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 1515,15 \right\} =$$

$$= 1515,15 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 = 946,97 \approx 946$$

BROJILO REBROJI 946 IMPULSA U VREMENU  $T_m = 250 \text{ ms}$ .

## 2. Zadatak

ZADATAK 3. (21.08.09.)

$$U_{OL} = 4 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} T = 240 \mu\text{s} \\ U_{REF} = -2 \text{ V} \end{array} \right\} k_{AD} = \frac{1}{RC U_{REF}} = \frac{1}{240 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 2083 \text{ Hz/V}$$

$$T_M = 50 \text{ ms}$$

$$f_{M1} = 20 \text{ Hz}$$

$$\underline{f_{M2} = 30 \text{ Hz}}$$

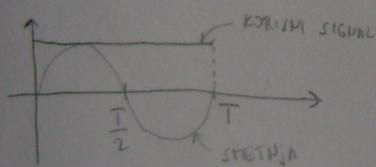
$$N = k_{AD} \cdot T_M \cdot U_{OL} = 2083 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 416,6 \approx 416 \text{ IMPULSA}$$

$$\text{POGREŠKA: } \mu = \frac{416,6 - 416}{416} = 0,00144 = 0,14\%$$

UTJECAJ SMETNJI NA MJERENJE:

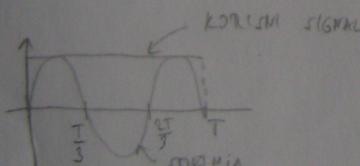
PRETPOSTAVIMO LI SMETNIJU SINUSNOG OBILICA, IMAMO 2 SLUČAJA

(I)



$\Rightarrow$  AKO JE  $T_{SMETNJE} = T_{SIGNALA}$  ONDA NEMA UTDECAJA SMETNJE, JER SE DNA PONIŠTI  
(U PRVOM POLUPERIODI JE  $\oplus$ , U DRUGOM JE  $\ominus$ )

(II)



$\Rightarrow$  OVDJEIMA UTDECAJA JER VRIJEDI:  $\oplus, \ominus, \oplus$   
PRVE DVE PRECIVE PERIODE SE PONIŠTE, AII OSTANE ZADNJA.  
(OUAKAV T JE ODABRAN SAMO KAO PRIMER  $\ominus$ )

$$f_{M1} = 20 \text{ Hz} \Rightarrow T_{M1} = \frac{1}{20} = 50 \text{ ms} \Rightarrow T_{M1} = T_M \Rightarrow \text{NEKA UTDECAJA}$$

$$f_{M2} = 30 \text{ Hz} \Rightarrow T_{M2} = \frac{1}{30} = 33,3 \text{ ms} \Rightarrow \text{IMA UTDECAJA}$$