

**-Рачунске вежбе-**

**Аналогни волтметри наизменичног напона**

Задатак 1. На улаз волтметра базираног на двостраном диодном исправљачу са одзивом на **средњу вредност синусоидалног сигнала**, доведен је наизменични напон са фактором облика (форм фактором)  $k=1.15$ . Одредити релативну грешку при мерењу овог напона аналогним електронским волтметром.

$$K_{\text{тачно}} = \frac{U_{\text{eff}_t}}{U_{sr}} \Rightarrow U_{\text{eff}_t} = K_{\text{тачно}} \cdot U_{sr}$$

$$K_{\text{мерено}} = \frac{U_{\text{eff}_mer}}{U_{sr}} \Rightarrow U_{\text{eff}_mer} = K_{\text{мерено}} \cdot U_{sr}$$

$$\delta = \frac{U_{\text{eff}_mer} - U_{\text{eff}_t}}{U_{\text{eff}_t}} = \frac{K_{\text{мерено}} \cdot U_{sr} - K_{\text{тачно}} \cdot U_{sr}}{K_{\text{тачно}} \cdot U_{sr}} = \frac{K_{\text{мерено}} - K_{\text{тачно}}}{K_{\text{тачно}}}$$

Релативна грешка се рачуна из следећег израза:

$$\delta = \frac{1.15 - 1.11}{1.11} = \frac{0.04}{1.11}$$

$$\delta[\%] = \frac{0.04}{1.11} * 100\% = 0.036036 * 100\% = 3.604\%$$

Задатак 2. На улаз волтметра базираног на исправљачу са одзивом на **средњу вредност синусоидалног сигнала**, доведен је **једносмерни напон** од 4V. Колика је релативна грешка при мерењу овог напона аналогним електронским волтметром?

Познато је да је за једносмерни напон  $U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} = U_{sr}$ , тако да фактор облика (форм фактор) за једносмерни напон има вредност 1 (један):

$$K_{DC} = \frac{U_{\text{eff}}}{U_{sr}} = 1,$$

Релативна грешка:

$$\delta = \frac{U_{\text{eff}_mer} - U_{\text{eff}_t}}{U_{\text{eff}_t}} = \frac{K_{\text{мерено}} \cdot U_{sr} - K_{DC} \cdot U_{sr}}{K_{DC} \cdot U_{sr}} = \frac{K_{\text{мерено}} - K_{DC}}{K_{DC}}$$

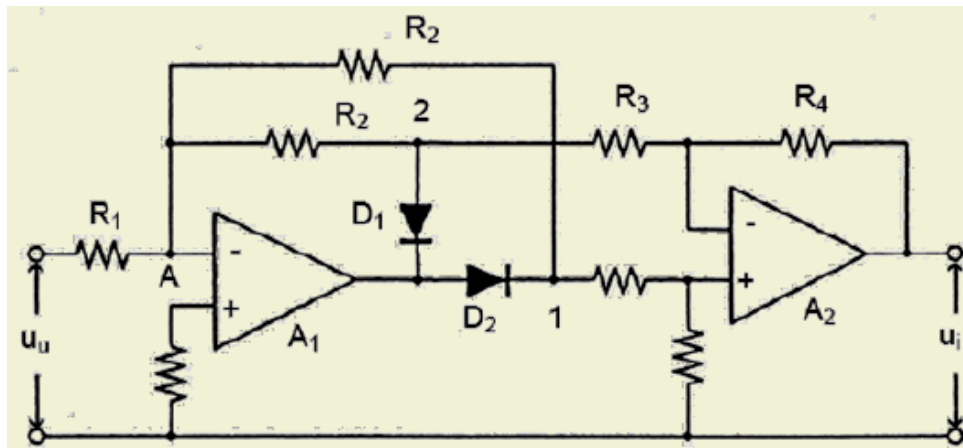
$$\delta = \frac{1.11 - 1}{1} = \frac{0.11}{1}$$

$$\delta[\%] = 0.11 * 100\% = 11\%$$

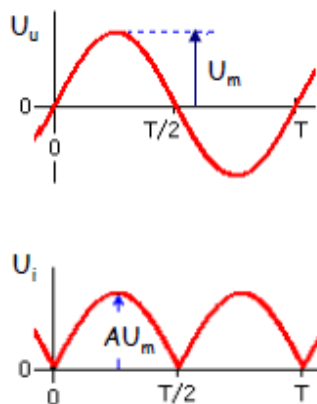
Релативна грешка при мерењу једносмерног напона аналогним електронским волтметром базираном на исправљачу са одзивом на средњу вредност синусоидалног сигнала износи 11%.

Студијски програм: Комуникационе технологије  
 Предмет: ЕЛЕКТРОНСКА МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

Задатак 3. Нацртати исправљач са одзивом на средњу вредност напона реализованог са операционим појачавачем и двостраним исправљањем. Ако је појачање појачавачког степена  $A=10 \text{ dB}$ , колика је средња вредност излазног напона  $U_{iz}$  ако се на улаз овог исправљача доведе напон  $U_{ul} = 2\pi\sqrt{10}\sin(2\pi 100t)[V]$ ?



Слика 1. Исправљач са одзивом на средњу вредност напона реализованог са операционим појачавачем и двостраним исправљањем.



Слика 2. Напон на улазу исправљача (периода синусоиде) и напон на излазу из исправљача са одзивом на средњу вредност напона реализованог са операционим појачавачем и двостраним исправљањем синусоиде.

$$A[dB] = 20 \log A$$

$$\frac{A[dB]}{20} = \log A / 10^x$$

$$10^{\frac{A[dB]}{20}} = A$$

$$A = 10^{\frac{10[dB]}{20}} = 10^{\frac{1}{2}} = \sqrt{10}$$

Студијски програм: Комуникационе технологије  
 Предмет: ЕЛЕКТРОНСКА МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

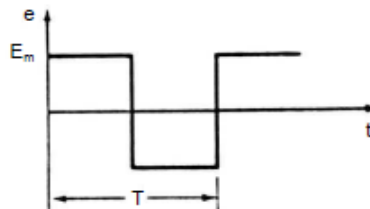
На излазу из исправљача са појачањем, слика 1. добија се следећи напон:

$$U_{iz} = A \cdot U_{ul} = \sqrt{10} \cdot 2\pi\sqrt{10} \sin(2\pi 100t) [V] = 20\pi \sin(2\pi 100t) [V] = U_m \sin(2\pi 100t) [V],$$

$$U_m = 20\pi = 62.83V$$

$$U_{sr} = \frac{2U_m}{\pi} = \frac{2 \cdot 20\pi[V]}{\pi} = 40V.$$

Задатак 4. Симетрични напон правоугаоног таласног облика, као на слици 3, доведен је на улаз волтметра избаждареног у вредностима праве вредности синусног напона. Израчунати фактор облика приказаног напона као и грешку показивања волтметра.



Слика 3.

Средњи и ефективни напон за једносмерни правоугаони сигнал рачуна помоћу следећих израза:

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T E_m dt = \frac{1}{T} E_m T = E_m,$$

$$U_{sr} = E_m,$$

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E_m^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} E_m^2 t \Big|_0^T} = \sqrt{\frac{1}{T} E_m^2 T} = \sqrt{E_m^2} = E_m,$$

$$\boxed{U_{eff} = E_m},$$

$$U_{sr} = U_{eff} = E_m,$$

**Форм фактор једносмерног напона правоугаоних импулса**  $k = \frac{U_{eff}}{U_{sr}} = 1,$

$$\Rightarrow k_{pr\_ta\check{c}} = \frac{U_{eff}}{U_{sr}} = 1,$$

Студијски програм: Комуникационе технологије

Предмет: ЕЛЕКТРОНСКА МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

Скала волтметра калибрисана за праве ефективне вредности синусоидалног напона има:

$$E_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

$$E_{sr} = \frac{U_m}{\pi},$$

$$k = \frac{E_{eff}}{E_{sr}} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2U_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

$$E_{eff} = kE_{sr} = 1.11E_{sr} \Rightarrow k_{sin\_mer} = \frac{E_{eff}}{E_{sr}} = 1.11,$$

Мерењем несинусоидалних таласних облика аналогним електронским волтметром наизменичног напона заснованог на мерењу средње вредности сигнала, а који приказује ефективне вредности, са форм фактором  $k=1.11$ , проузроковаће грешку.

Пошто се практична мерења углавном обављају над сигнаlima чији је таласни облик управо синусоидални, овакво индиректно решење је сасвим задовољавајуће и знатно јефтиније него израда волтметра праве ефективне вредности.

**Релативна грешка:**

$$\delta = \frac{E_{effsin\_mer} - E_{effpr\_tač}}{E_{effpr\_tač}} = \frac{k_{sin\_mer} \cdot U_{sr} - k_{pr\_tač} \cdot U_{sr}}{k_{pr\_tač} U_{sr}} = \frac{k_{sin\_mer} - k_{pr\_t}}{k_{pr\_tač}},$$

$$\delta = \frac{1.11 - 1}{1} = \frac{0.11}{1}$$

$$\delta[\%] = 0.11 * 100\% = 11\%.$$

Студијски програм: Комуникационе технологије  
Предмет: ЕЛЕКТРОНСКА МЕРНА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

---

Форм фактор или фактор облика:

- за једносмерне таласне облике  $k = \frac{U_{eff}}{U_{sr}} = 1$ ;
- за наизменичне таласне облике, једноструко исправљена синусоида

$$k = \frac{E_{eff}}{E_{sr}} = \frac{\frac{U_m}{2}}{\frac{U_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57;$$

- за наизменичне таласне облике, двоструко исправљена синусоида

$$k = \frac{E_{eff}}{E_{sr}} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2U_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11.$$

Задаци за домаћи

1. Нацртати једностранни исправљач са одзивом на средњу вредност напона реализованог са операционим појачавачем. Одредити средњу вредност и нацртати таласни облик напона улазу и на излазу исправљача ако је појачање овог степена  $A = 40\text{dB}$ , а доведен је напон  $U_{ul} = 200\pi \sin(2\pi 100t)[V]$ .
2. На улаз волтметра базираног на двостраном диодном исправљачу са одзивом на средњу вредност синусоидалног сигнала, доведен је наизменични напон са фактором облика (форм фактор)  $k = 1.17$ . Одредити релативну грешку при мерењу овог напона аналогним електронским волтметром.

Предметни асистент: др Наташа Нешић