

Драгана Прокин
Мијат Штимац
Ненад Толић

ЗБИРКА ЗАДАТАКА ИЗ
МЕРЕЊА 2

Висока школа електротехнике и рачунарства
струковних студија,
Београд 2019.

Др Драгана Прокин, 1963.
спец. струк. инж. Мијат Штимац, 1988.
спец. струк. инж. Ненад Толић, 1974.

Збирка задатака из Мерења 2

Рецензенти

Др Мирослав Лутовац,
Др Славица Маринковић.

Обрада и припрема текста
Ненад Толић, Мијат Штимац

Корице

Ненад Толић

Издавач

Висока школа електротехнике и рачунарства,
Војводе Степе 283, Београд

1. издање

Тираж: 30

Штампарија: Развојно – истраживачки центар графичког инжењерства ТМФ,
Београд

Формат: В5 (JIS)

ISBN 978-86-7982-293-2

Наставно веће Високе школе електротехнике и рачунарства, на својој седници одржаној 29.11.2018. године одобрило је издавање и коришћење овог уџбеника у настави.

CIP – Каталогизација у публикацији –
Народна библиотека Србије, Београд

621.317(075.8)(076)

ПРОКИН, Драгана, 1963–

Збирка задатака из Мерења 2 /
Драгана Прокин, Мијат Штимац, Ненад
Толић. – 1. изд. – Београд : Висока
школа електротехнике и рачунарства
струковних студија, 2019 (Београд :
Развојно-истраживачки центар графичког
инжењерства ТМФ). – 199 стр. : илустр. ;
26 cm

Тираж 30. – Библиографија: стр. 199.

ISBN 978-86-7982-293-2

1. Штимац, Мијат, 1988– [аутор] 2.
Толић, Ненад, 1974– [аутор]

а) Електрична мерења – Задаци
COBISS.SR-ID 274230796

ПРЕДГОВОР

Материја обрађена у овој збирци организована је у складу са програмом предмета Мерења 2, који се, према наставним плановима акредитованих студијских програма "Електроника и телекомуникације" и "Аутоматика и системи управљања возилима", изучава на трећој години Високе школе електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду.

Поред решених задатака и примера питања за проверу знања, збирка садржи и теоријске основе из области индустријске метрологије које су неопходне за успешно савладавање захтева овог предмета.

Збирка задатака из Мерења 2 је подељена на девет поглавља. Осам поглавља прати садржај уџбеника „Индустријска метрологија“, док девето поглавље садржи одговоре на питања за проверу знања.

04.02.2019.

Аутори

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР

1.	МЕРНИ СИГНАЛИ И СИСТЕМИ	1
1.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	1
1.2.	ЗАДАЦИ	5
1.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	27
2.	МЕРЕЊА У ИНДУСТРИЈИ	37
2.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	37
2.2.	ЗАДАЦИ	39
2.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	45
3.	МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	59
3.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	59
3.2.	ЗАДАЦИ	62
3.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	69
4.	МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ И ЕНЕРГИЈЕ	77
4.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	77
4.2.	ЗАДАЦИ	82
4.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	89
5.	СЕНЗОРИ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	93
5.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	93
5.2.	ЗАДАЦИ	98
5.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	109
6.	МЕТОДЕ И УРЕЂАЈИ ЗА МЕРЕЊЕ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	117
6.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	117
6.2.	ЗАДАЦИ	123
6.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	137
7.	ВИШЕФУНКЦИЈСКИ ДИГИТАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ	161
7.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	161
7.2.	ЗАДАЦИ	163
7.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	166
8.	ИНТЕРФЕЈСНИ СИСТЕМИ У МЕРНОЈ ТЕХНИЦИ	173
8.1.	ТЕОРИЈСКА ОСНОВА	173
8.2.	ЗАДАЦИ	177
8.3.	ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	181

9.	ОДГОВОРИ НА ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА	193
9.1.	МЕРНИ СИГНАЛИ И СИСТЕМИ	193
9.2.	МЕРЕЊА У ИНДУСТРИЈИ	194
9.3.	МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	195
9.4.	МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ И ЕНЕРГИЈЕ	195
9.5.	СЕНЗОРИ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	196
9.6.	МЕТОДЕ И УРЕЂАЈИ ЗА МЕРЕЊЕ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА	197
9.7.	ВИШЕФУНКЦИЈСКИ ДИГИТАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ	198
9.8.	ИНТЕРФЕЈСНИ СИСТЕМИ У МЕРНОЈ ТЕХНИЦИ	198
	ЛИТЕРАТУРА	199

1.

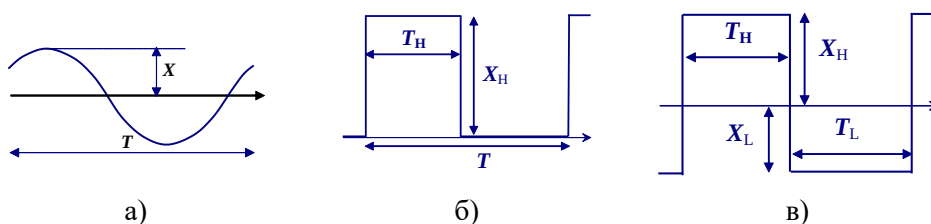
МЕРНИ СИГНАЛИ И СИСТЕМИ

1.1. Теоријска основа

Мерни сигнал је величина која представља мерену величину и са којом је функционално повезана. Носилац информације може да буде, на пример, аналогна величина чија вредност представља хармонијску функцију времена чија је кружна учестаност ω :

$$x(t) = X \sin(\omega t + \varphi) = X \sin(2\pi f t + \varphi) = X \sin\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right).$$

Притом, било који од параметара сигнала чији математички модел представља синусна функција (амплитуда, учестаност, период или почетна фаза) може да представља информациони параметар који приказује мерену величину. Параметри сигнала који нису функционално повезани са мереном величином су неинформативни параметри. Жељена информација добија се мерењем одговарајућег параметра.



Мерни сигнали

Када се као носилац информације користи периодични сигнал правоугаоног таласног облика, информациони параметар може да буде вршина (темена) вредност величине, учестаност, период или трајање импулса.

Средња вредност променљиве величине $x(t)$, посматрана у временском интервалу од почетног тренутка t_p , до крајњег тренутка t_k (за периодичне величине интервал је једнак периоду), једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{t_k - t_p} \int_{t_p}^{t_k} x(t) dt,$$

односно за периодичне величине:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt.$$

Средња апсолутна вредност је дефинисана као средња вредност апсолутне вредности наизменичне величине:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt.$$

Ефективна вредност променљиве величине $x(t)$, посматране у одређеном временском интервалу од t_p до t_k (за периодичне величине усваја се интервал посматрања једнак трајању једне периоде T), једнака је:

$$x_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t_k - t_p} \int_{t_p}^{t_k} x^2(t) dt},$$

односно за периодичне величине:

$$x_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}.$$

За уопштено карактерисање облика функције $x(t)$ користе се још и показатељ облика F (*form factor*), показатељ врха K_V (*peak factor*) и показатељ усредњавања K_R .

Показатељ облика F (*form factor*) представља количник ефективне вредности и средње апсолутне вредности сигнала:

$$F = K_O = \frac{X_{eff}}{|\overline{x(t)}|}.$$

Показатељ врха K_V (*peak factor*) који представља количник максималне и ефективне вредности сигнала:

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}}.$$

Показатељ усредњавања K_R је количник темене вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине:

$$K_R = \frac{X}{\overline{|x(t)|}}.$$

Периодични сигнал произвољног таласног облика може се апроксимирати тригонометријским редом:

$$x^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} X_n \sin(n\omega t + \varphi_n); \quad \omega = \frac{2\pi}{t}.$$

Математички, периодична функција може се представити збиром простопериодичних сигнала – хармоника. Учестаност хармоника представља умножак (мултипл) учестаности посматраног сигнала. Десна страна претходне једначине назива се Фуријеов ред функције $x(t)$.

Скуп амплитуда, учестаности и фаза хармоника представља спектар посматраног сигнала. Непрекидна периодична функција $x(t)$ једнозначно је одређена одговарајућим спектром, па приказ сигнала у временском домену може бити замењен приказом у домену учестаности тј. приказом његовог спектра. О овоме ће бити више речи у оквиру поглавља 1.2.

Средња вредност периодичног сигнала представља његову директну компоненту (*direct component*), односно нулту (константну) компоненту X_0 у његовом спектру.

Ефективна вредност сложенепериодичног сигнала зависи само од ефективних вредности његових хармоника, а не зависи од њихове почетне фазе φ_j :

$$X_{eff} = \sqrt{\sum_{j=0}^{\infty} X_{jeff}^2}.$$

Ефективна вредност X_{eff} карактерише снагу сигнала. Количник ефективне вредности збира виших хармоника и ефективне вредности наизменичне величине представља **показатељ хармонијског састава** (*total harmonic factor*):

$$d = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j_{eff}}^2}}{X_{eff}}.$$

Синусна компонента Фуријеовог реда периодичне величине чија је учестаност једнака учестаности саме величине назива се **основна компонента** (*fundamental component*). **Основни чинилац наизменичног сигнала** (*fundamental factor, g*) дефинисан је као количник ефективне вредности основне компоненте и ефективне вредности сигнала:

$$g = \frac{X_{1_{eff}}}{X_{eff}}.$$

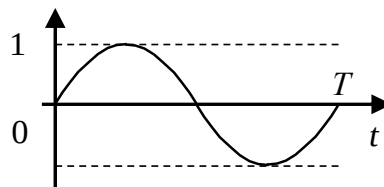
Сачинилац нелинеарних изобличења је мера одступања таласног облика периодичног сигнала $x(t)$ од синусног облика и представља однос ефективне вредности виших хармоника и ефективне вредности основне компоненте:

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j_{eff}}^2}}{X_{1_{eff}}}.$$

1.2. Задаци

1. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

- а) средњу вредност,
- б) апсолутну средњу вредност,
- в) ефективну вредност,
- г) показатељ врха K_V ,
- д) показатељ облика K_O ,
- ђ) показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

- а) Средња вредност периодичних сигнала једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t dt = \frac{1}{T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos \omega t \right) \Big|_0^T,$$

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T\omega} \left(-\cos \frac{2\pi}{T} T - \left(-\cos \frac{2\pi}{T} 0 \right) \right) = \frac{1}{T\omega} (-1 - (-1)) = 0.$$

- б) Апсолутна средња вредност периодичних сигнала једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |\sin \omega t| dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t dt = \frac{2}{T\omega} (-\cos \omega t) \Big|_0^{\frac{T}{2}},$$

$$|\overline{x(t)}| = \frac{2}{T\omega} \left(-\cos \frac{2\pi}{T} \frac{T}{2} - \left(-\cos \frac{2\pi}{T} 0 \right) \right) = \frac{2}{T\omega} (1 - (-1)) = \frac{4}{T \frac{2\pi}{T}} = \frac{2}{\pi},$$

- в) Ефективна вредност периодичних сигнала једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \Big|_0^T},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\left(\frac{T}{2} - \frac{\sin 2\frac{2\pi}{T} T}{4\frac{2\pi}{T}} \right) - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin 2\frac{2\pi}{T} 0}{4\frac{2\pi}{T}} \right) \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \frac{T}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

г) Показатељ врха K_V (*peak factor*) једнак је количнику максималне (темене) и ефективне вредности сигнала:

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $X_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}$:

$$K_V = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2}.$$

д) Показатељ облика K_O је количнику ефективне вредности и средње апсолутне вредности сигнала:

$$K_O = \frac{X_{eff}}{\overline{|x(t)|}} = \frac{\sqrt{\overline{x^2(t)}}}{\overline{|x(t)|}},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ и $\overline{|x(t)|} = \frac{2}{\pi}$:

$$K_O = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R је количник темене вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине:

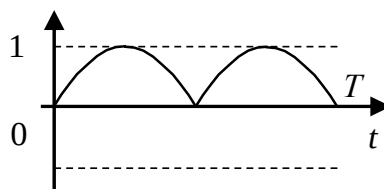
$$K_R = \frac{X}{|\overline{x(t)}|},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $|\overline{x(t)}| = \frac{2}{\pi}$:

$$K_R = \frac{1}{\frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2}.$$

2. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

- а) средњу вредност,
- б) апсолутну средњу вредност,
- в) ефективну вредност,
- г) показатељ врха K_V ,
- д) показатељ облика K_O ,
- ђ) показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Средња вредност периодичног сигнала једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt.$$

Сигнал приказан на слици представља апсолутну вредност синусног сигнала и може се представити једначином:

$$x(t) = |X \sin(\omega t + \varphi)|.$$

За приказани сигнал, код кога је $X = 1$ и $\varphi = 0$, средња вредност једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} \sin \omega t dt = \frac{2}{T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos \omega t \right) \Big|_0^{T/2} = \frac{2}{T\omega} \left(-\cos \frac{2\pi T}{T} \frac{T}{2} - \left(-\cos \frac{2\pi}{T} 0 \right) \right),$$

$$\overline{x(t)} = \frac{2}{T \frac{2\pi}{T}} (1 - (-1)) = \frac{2}{\pi}.$$

б) Апсолутна средња вредност периодичних сигнала једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$:

$$\overline{|x(t)|} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} |\sin \omega t| dt = \frac{2}{T\omega} (-\cos \omega t) \Big|_0^{T/2} = \frac{2}{\pi}.$$

в) Ефективна вредност периодичних сигнала једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad x(t) = |X \sin(\omega t + \varphi)|,$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{2}{T} \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \Big|_0^{T/2}},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{2}{T} \left(\left(\frac{T}{2} - \frac{\sin 2\frac{2\pi T}{T}}{4\frac{2\pi}{T}} \right) - \left(\frac{0}{2} - \frac{\sin 2\frac{2\pi}{T} 0}{4\frac{2\pi}{T}} \right) \right)} = \sqrt{\frac{2}{T} \frac{T}{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

г) Показатељ врха K_V (*peak factor*) једнак је количнику максималне и ефективне вредности сигнала:

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}}, \text{ односно, за сигнал са слике, где је } X = 1 \text{ и } X_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}:$$

$$K_V = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2}.$$

д) Показатељ облика K_O је количнику ефективне вредности и средње апсолутне вредности сигнала:

$$K_O = \frac{X_{eff}}{\overline{|x(t)|}} = \frac{\sqrt{x^2(t)}}{\overline{|x(t)|}},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ и $\overline{|x(t)|} = \frac{2}{\pi}$:

$$K_O = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R је количник темене вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине:

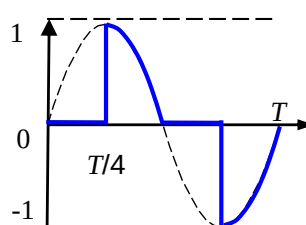
$$K_R = \frac{X}{\overline{|x(t)|}},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = 1$ и $\overline{|x(t)|} = \frac{2}{\pi}$:

$$K_R = \frac{1}{\frac{2}{\pi}} = \frac{\pi}{2}.$$

3. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

- средњу вредност,
- апсолутну средњу вредност,
- ефективну вредност,
- показатељ врха K_V ,
- показатељ облика K_O ,
- показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Средња вредност сигнала са слике, где је $X = 1$ и $\varphi = 0$, једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/2} x(t) dt + \frac{1}{T} \int_{3T/4}^T x(t) dt, x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos \omega t \right) \Big|_{T/4}^{T/2} + \frac{1}{T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos \omega t \right) \Big|_{3T/4}^T = \frac{1}{T\omega} - \frac{1}{T\omega} = 0.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$\overline{|x(t)|} = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt = \frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/2} |x(t)| dt + \frac{1}{T} \int_{3T/4}^T |x(t)| dt = \frac{2}{T} \int_{T/4}^{T/2} |x(t)| dt,$$

$$\overline{|x(t)|} = \frac{2}{T} \int_{T/4}^{T/2} \sin \omega t dt = \frac{2}{T\omega} (-\cos \omega t) \Big|_{T/4}^{T/2} = \frac{1}{\pi}.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/2} \sin^2 \omega t dt + \frac{1}{T} \int_{3T/4}^T \sin^2 \omega t dt},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \Big|_{T/4}^{T/2} + \frac{1}{T} \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \Big|_{3T/4}^T} = \frac{1}{2}.$$

г) Показатељ врха K_V (*peak factor*) једнак је:

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

д) Показатељ облика K_O је:

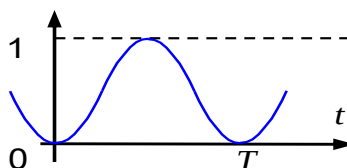
$$K_O = \frac{X_{eff}}{|x(t)|} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\pi}{2}}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је:

$$K_R = \frac{X}{|x(t)|} = \frac{1}{\frac{\pi}{2}} = \pi.$$

4. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

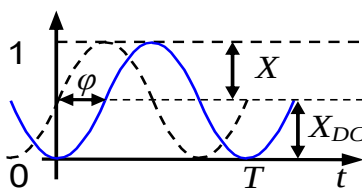
- средњу вредност,
- апсолутну средњу вредност,
- ефективну вредност,
- показатељ врха K_V ,
- показатељ облика K_O ,
- показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Сигнал приказан на слици представља синусну функцију која касни за $\pi/2$, фазни померај $\rho = -\pi/2$, са једносмерном компонентом $X_{DC} = \frac{1}{2}$.

Сигнал са слике се такође може представити и функцијом
 $x(t) = \sin^2(\omega t)$



Средња вредност сигнала са слике једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi) + X_{DC},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = \frac{1}{2}$, $X_{DC} = \frac{1}{2}$ и $\rho = -\frac{\pi}{2}$:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{2T} \int_0^T \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) dt + \frac{1}{2} = \frac{1}{2T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \Big|_0^T \right) + \frac{1}{2},$$

$$\overline{x(t)} = -\frac{1}{2T \frac{2\pi}{T}} \left(\cos\left(\frac{2\pi}{T} T - \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{T} 0 - \frac{\pi}{2}\right) \right) + \frac{1}{2},$$

$$\overline{x(t)} = -\frac{1}{4\pi} \left(\cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) - \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right) + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}.$$

или : $x(t) = \sin^2(\omega t)$,

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{T} \left(\frac{T}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right) \Big|_0^T = \frac{1}{2}.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt, \quad x(t) = X \sin(\omega t + \varphi) + X_{DC},$$

односно, за сигнал са слике, где је $X = \frac{1}{2}$, $X_{DC} = 0,5$ и $\rho = -\frac{\pi}{2}$:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) dt + \frac{1}{2} \right| = \frac{1}{T} \left(-\frac{1}{\omega} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \Big|_0^T \right) + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad x(t) = \sin^2(\omega t),$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^4(\omega t) dt},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(-\frac{\sin^3(\omega t) \cos(\omega t)}{4} + \frac{4-1}{4} \int \sin^2(\omega t) dt \right) \Big|_0^T},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(-\frac{\sin^3(\omega t) \cos(\omega t)}{4} + \frac{3}{4} \left(\frac{t}{2} - \frac{\sin 2(\omega t)}{4\omega} \right) \right) \Big|_0^T} = \sqrt{\frac{1}{T} \frac{3T}{8}} = \sqrt{\frac{3}{8}}.$$

г) Показатељ врха K_V (peak factor) једнак је :

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{8}}} = \sqrt{\frac{8}{3}}.$$

д) Показатељ облика K_O је:

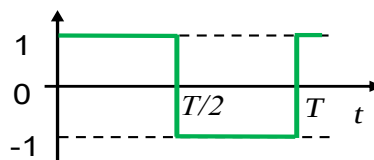
$$K_O = \frac{X_{eff}}{\overline{|x(t)|}} = \frac{\sqrt{\frac{3}{8}}}{\frac{1}{2}} = 2\sqrt{\frac{3}{8}}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је:

$$K_R = \frac{X}{\overline{|x(t)|}} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

5. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

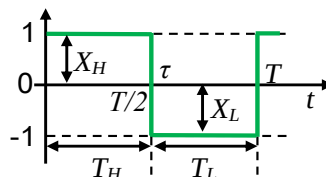
- средњу вредност,
- апсолутну средњу вредност,
- ефективну вредност,
- показатељ врха K_V ,
- показатељ облика K_O ,
- показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Сигнал приказан на слици представља функцију:

$$x(t) = \begin{cases} 1; & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -1; & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$$



Средња вредност периодичних сигнала са слике једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{X_H T_H + X_L T_L}{T_H + T_L} = \frac{1 \frac{T}{2} + (-1 \frac{T}{2})}{\frac{T}{2} + \frac{T}{2}} = 0.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt = \frac{|X_H T_H| + |X_L T_L|}{T_H + T_L} = \frac{1 \frac{T}{2} + 1 \frac{T}{2}}{\frac{T}{2} + \frac{T}{2}} = 1.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\tau} X_H^2 dt + \frac{1}{T} \int_{\tau}^T X_L^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} X_H^2 t|_0^{\tau} + \frac{1}{T} X_L^2 t|_{\tau}^T},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} X_H^2 \tau + \frac{1}{T} X_L^2 T - \frac{1}{T} X_L^2 \tau},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} X_H^2 \frac{T}{2} + \frac{1}{T} X_L^2 T - \frac{1}{T} X_L^2 \frac{T}{2}} = \sqrt{\frac{X_H^2}{2} + \frac{X_L^2}{2}} = \sqrt{\frac{1+1}{2}} = 1.$$

г) Показатељ врха K_V (*peak factor*) једнак је :

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{1} = 1.$$

д) Показатељ облика K_O је:

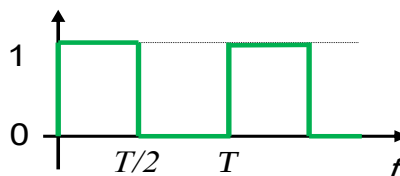
$$K_O = \frac{X_{eff}}{|\overline{x(t)}|} = \frac{1}{1} = 1.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је:

$$K_R = \frac{X}{|\overline{x(t)}|} = \frac{1}{1} = 1.$$

6. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

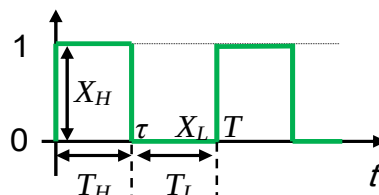
- а) средњу вредност,
- б) апсолутну средњу вредност,
- в) ефективну вредност,
- г) показатељ врха K_V ,
- д) показатељ облика K_O ,
- ђ) показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Сигнал приказан на слици представља функцију:

$$x(t) = \begin{cases} 1; & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ 0; & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$$



Средња вредност периодичних сигнала са слике једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{X_H T_H + X_L T_L}{T_H + T_L} = \frac{1 \cdot \frac{T}{2} + 0 \cdot \frac{T}{2}}{\frac{T}{2} + \frac{T}{2}} = \frac{1}{2}.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt = \frac{|X_H T_H| + |X_L T_L|}{T_H + T_L} = \frac{1 \cdot \frac{T}{2} + 0 \cdot \frac{T}{2}}{\frac{T}{2} + \frac{T}{2}} = \frac{1}{2}.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике, где је $X_H = 1$, $X_L = 0$ и $\tau = \frac{T}{2}$ једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} X_H^2 \tau + \frac{1}{T} X_L^2 T - \frac{1}{T} X_L^2 \tau} = \sqrt{\frac{1}{T} X_H^2 \frac{T}{2}} = \sqrt{\frac{X_H^2}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

г) Показатељ врха K_V (peak factor) једнак је :

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2}.$$

д) Показатељ облика K_O је:

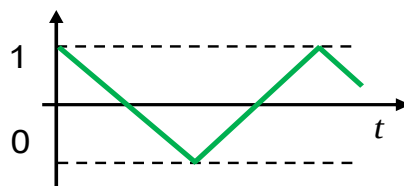
$$K_O = \frac{X_{eff}}{|x(t)|} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је:

$$K_R = \frac{X}{\overline{|x(t)|}} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

7. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

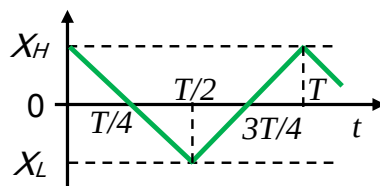
- средњу вредност,
- апсолутну средњу вредност,
- ефективну вредност,
- показатељ врха K_V ,
- показатељ облика K_O ,
- показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Сигнал приказан на слици представља функцију:

$$x(t) = \begin{cases} 1 - 4\frac{t}{T}; & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -3 + 4\frac{t}{T}; & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$$



Средња вредност симетричног, периодичних сигнала са слике где је $X_H = 1$, $X_L = -1$ једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{2}{T} \left(\frac{1}{2} \int_0^{T/4} X_H t dt + \frac{1}{2} \int_{T/4}^{T/2} X_L t dt \right),$$

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \left(X_H t \Big|_0^{T/4} + X_L t \Big|_{T/4}^{T/2} \right) = \frac{1}{T} \left(\frac{X_H T}{4} + \frac{X_L T}{2} - \frac{X_L T}{4} \right) = \frac{X_H + X_L}{4} = 0.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt = 4 \frac{1}{T} \frac{1}{2} \int_0^{T/4} X_H t dt = \frac{2}{T} X_H t \Big|_0^{T/4} = \frac{2}{T} X_H \frac{T}{4} = \frac{1}{2}.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике, где је $X_H = 1$, $X_L = -1$ једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{4 \frac{1}{T} \int_0^{T/4} \left(\frac{4X_H}{T} t \right)^2 dt} = \sqrt{\frac{64X_H^2}{T^3} \int_0^{T/4} t^2 dt},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{64X_H^2}{T^3} \frac{t^3}{3} \Big|_0^{T/4}} = \sqrt{\frac{64X_H^2}{T^3} \frac{T^3}{192}} = \frac{X_H}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

г) Показатељ врха K_V (peak factor) једнак је :

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3}.$$

д) Показатељ облика K_O је:

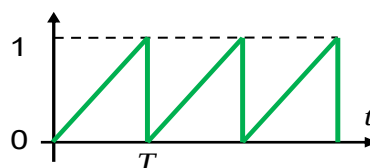
$$K_O = \frac{X_{eff}}{|x(t)|} = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је

$$K_R = \frac{X}{|x(t)|} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

8. За периодични сигнал приказан на слици одредити:

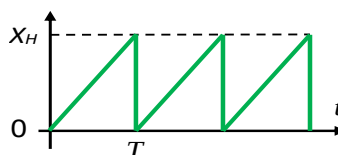
- средњу вредност,
- апсолутну средњу вредност,
- ефективну вредност,
- показатељ врха K_V ,
- показатељ облика K_O ,
- показатељ усредњавања K_R .



РЕШЕЊЕ

а) Сигнал приказан на слици представља функцију:

$$x(t) = \frac{1}{T} t$$



Средња вредност периодичних сигнала са слике где је $X_H = 1$ једнака је:

$$\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{X_H}{T} t dt = \frac{X_H}{T^2} \frac{t^2}{2} \Big|_0^T = \frac{1}{T^2} \frac{T^2}{2} = \frac{1}{2}.$$

б) Апсолутна средња вредност сигнала приказаног на слици једнака је:

$$|\overline{x(t)}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \frac{X_H}{T} t \right| dt = \frac{X_H}{T^2} \frac{t^2}{2} \Big|_0^T = \frac{1}{T^2} \frac{T^2}{2} = \frac{1}{2}.$$

в) Ефективна вредност сигнала са слике, где је $X_H = 1$ једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{X_H}{T} t \right)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \frac{X_H^2}{T^2} \int_0^T t^2 dt},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\frac{X_H^2}{T^3} \frac{t^3}{3} \Big|_0^T} = \sqrt{\frac{X_H^2}{T^3} \frac{T^3}{3}} = \sqrt{\frac{1}{3}}.$$

г) Показатељ врха K_V (*peak factor*) једнак је :

$$K_V = \frac{X}{X_{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3}.$$

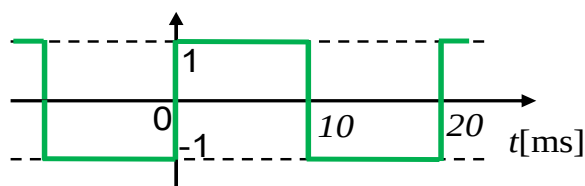
д) Показатељ облика K_O је:

$$K_O = \frac{X_{eff}}{|\overline{x(t)}|} = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}}.$$

ђ) Показатељ усредњавања K_R једнак је:

$$K_R = \frac{X}{|\overline{x(t)}|} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2.$$

9. За сложенопериодични сигнал приказан на слици одредити :
- а) првих 5 хармоника Фуриејов реда,
 - б) ефективну вредност, прва 3 хармоника,
 - в) основни сачинилац наизменичног сигнала,
 - г) сачинилац нелинеарних изобличења, прва 3 хармоника,
 - д) сачиниоци хармоника, прва 3 хармоника,
 - ђ) коефицијент хармонијског изобличења трећег реда,
 - е) слабљење хармонијског изобличења трећег реда,
 - ж) изобличење трећег хармоника (*nth harmonic distortion*),
 - з) укупно изобличење (*total harmonic distortion-THD*), за прва 3 хармоника.



РЕШЕЊЕ

а) Анализа периодичних сигнала могућа је применом Фуриејовог реда:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t),$$

где су:

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt, b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt.$$

Сигнал са слике представља непарну функцију, $f(x) = -f(x)$, тако да су сви a_n чланови Фуриејовог реда једнаки нула, $a_n = 0$.

Једносмерна компонента, односно средња вредност, овог сигнала једнака је нули тј. $a_0 = 0$ а амплитуда $E = 1$.

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt = \begin{cases} \frac{4E}{n\pi}, n = 1, 3, 5 \dots, \\ 0, n = 2, 4, 6 \dots \end{cases}$$

$$T = 20ms \Rightarrow f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{20ms} = 50Hz \Rightarrow \omega_0 = 2\pi f_0 = 314 \frac{rad}{s},$$

$$b_1 = \frac{4}{\pi}, b_2 = 0, b_3 = \frac{4}{3\pi}, b_4 = 0, b_5 = \frac{4}{5\pi}, b_6 = 0, b_7 = \frac{4}{7\pi} \dots,$$

тако да је Фуриејов реда за сигнал са слике:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \frac{1}{7} \sin 7\omega_0 t + \dots \right).$$

б) Ефективна вредност сложенепериодичног сигнала једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\sum_{j=0}^{\infty} X_{j_{eff}}^2}, X_{j_{eff}} = \frac{E_j}{\sqrt{2}}$$

односно, за сигнал са слике:

$$X_{1_{eff}} = \frac{\frac{4}{\pi}}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}\pi}, X_{2_{eff}} = 0, X_{3_{eff}} = \frac{\frac{4}{3\pi}}{\sqrt{2}} = \frac{4}{3\sqrt{2}\pi},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\left(\frac{4}{\sqrt{2}\pi}\right)^2 + 0^2 + \left(\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2} = \frac{4\sqrt{5}}{3\pi}.$$

в) Основни сачинилац наизменичног сигнала (*fundamental factor, g*) дефинисан је као количник ефективне вредности основне компоненте и ефективне вредности сигнала:

$$g = \frac{X_{1_{eff}}}{X_{eff}} = \frac{\frac{4}{\sqrt{2}\pi}}{\frac{4\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{3}{\sqrt{10}}.$$

г) Сачинилац нелинеарних изобличења једнак је количнику ефективне вредности виших хармоника и ефективне вредности основне компоненте, односно за прва 3 хармоника:

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j_{eff}}^2}}{X_{1_{eff}}} = \frac{\sqrt{0^2 + \left(\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}}{\frac{4}{\sqrt{2}\pi}} = \frac{\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}}{\frac{4}{\sqrt{2}\pi}} = \frac{1}{3}.$$

д) Количник ефективне вредности збира виших хармоника и ефективне вредности наизменичне величине представља показатељ хармонијског састава (*total harmonic factor*) односно сачинилац хармоника и за прва 3 хармоника сигнала са слике износи:

$$d = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j\text{eff}}^2}}{X_{\text{eff}}} = \frac{\sqrt{0^2 + \left(\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}}{\frac{4\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}}{\frac{4\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{1}{\sqrt{10}}$$

ђ) Коефицијент хармонијског изобличења n -тог реда једнак је:

$$d_n = \frac{X_{n\text{eff}}^2}{X_{1\text{eff}}^2},$$

односно, коефицијент хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике:

$$d_3 = \frac{X_{3\text{eff}}^2}{X_{1\text{eff}}^2} = \frac{\left(\frac{4}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}{\left(\frac{4}{\sqrt{2}\pi}\right)^2} = \frac{1}{9}.$$

е) Слабљење хармонијског изобличења n -тог реда једнако је:

$$a_n = 10 \log \frac{1}{d_n} = 20 \log \frac{U_{n\text{eff}}}{U_{1\text{eff}}},$$

односно, слабљење хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике једнако је:

$$a_3 = 10 \log \frac{1}{d_3} = 10 \log \frac{1}{\frac{1}{9}} = 9,54 \text{ dB}.$$

ж) Изобличење n -тог хармоника (n^{th} harmonic distortion):

$$D_n = \frac{X_n}{X_1} = \sqrt{d_n} \text{ или } \%D_n = \frac{X_n}{X_1} \cdot 100\%,$$

односно, изобличење трећег хармоника:

$$D_3 = \sqrt{d_3} = \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{1}{3}.$$

з) Укупно изобличење (*total harmonic distortion-THD*) једнако је:

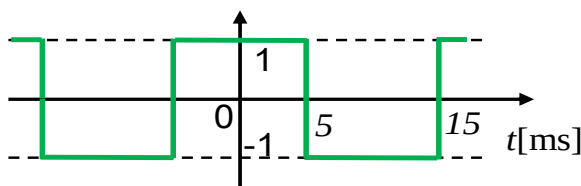
$$\%THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} D_n^2} \cdot 100\%,$$

односно, укупно изобличење за прва три хармоника:

$$\%THD = \sqrt{\sum_{n=2}^3 D_n^2} \cdot 100\% = \sqrt{0^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2} \cdot 100\% = 33,33\%.$$

10. За сложенопериодични сигнал приказан на слици одредити :

- а) првих 5 хармоника Фурејеов реда,
- б) ефективну вредност, прва 3 хармоника,
- в) основни сачинилац наизменичног сигнала,
- г) сачинилац нелинеарних изобличења, прва 3 хармоника,
- д) сачиниоци хармоника, прва 3 хармоника,
- ђ) коефицијент хармонијског изобличења трећег реда,
- е) слабљење хармонијског изобличења трећег реда,
- ж) изобличење трећег хармоника (*nth harmonic distortion*),
- з) укупно изобличење (*total harmonic distortion-THD*), за прва 3 хармоника.



РЕШЕЊЕ

а) Анализа периодичних сигнала могућа је применом Фуријеовог реда:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t),$$

где су:

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt, b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt.$$

Сигнал са слике представља парну функцију, $f(-x) = f(x)$, тако да су сви b_n чланови Фуријеовог реда једнаки нула, $b_n = 0$. Једносмерна компонента, односно средња вредност, овог сигнала једнака је нули тј. $a_0 = 0$ а амплитуда $E = 1$.

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt = \begin{cases} \pm \frac{2E}{n\pi}, n = 1, 3, 5 \dots, \\ 0, n = 2, 4, 6 \dots \end{cases}$$

$$T = 20ms \Rightarrow f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{20ms} = 50Hz \Rightarrow \omega_0 = 2\pi f_0 = 314 \frac{rad}{s},$$

$$a_1 = \frac{2}{\pi}, a_2 = 0, a_3 = -\frac{2}{3\pi}, a_4 = 0, a_5 = \frac{2}{5\pi}, a_6 = 0, a_7 = \frac{2}{7\pi} \dots,$$

тако да је Фуријеов реда за сигнал са слике:

$$f(t) = \frac{2}{\pi} \left(\cos\omega_0 t - \frac{1}{3} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t - \frac{1}{7} \cos 7\omega_0 t + \dots \right).$$

б) Ефективна вредност сложенопериодичног сигнала једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\sum_{j=0}^{\infty} X_{j_{eff}}^2}, X_{j_{eff}} = \frac{E_j}{\sqrt{2}},$$

односно, за сигнал са слике:

$$X_{1_{eff}} = \frac{\frac{2}{\pi}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}\pi}, X_{2_{eff}} = 0, X_{3_{eff}} = \frac{\frac{2}{3\pi}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{3\sqrt{2}\pi},$$

$$X_{eff} = \sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{2}\pi}\right)^2 + 0^2 + \left(\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2} = \frac{2\sqrt{5}}{3\pi}.$$

в) Основни сачинилац наизменичног сигнала (*fundamental factor*, g) дефинисан је као количник ефективне вредности основне компоненте и ефективне вредности сигнала:

$$g = \frac{X_{1_{eff}}}{X_{eff}} = \frac{\frac{2}{\sqrt{2}\pi}}{\frac{2\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{3}{\sqrt{10}}.$$

г) Сачинилац нелинеарних изобличења једнак је количнику ефективне вредности виших хармоника и ефективне вредности основне компоненте, односно за прва 3 хармоника:

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j\text{eff}}^2}}{X_{1\text{eff}}} = \frac{\sqrt{0^2 + \left(\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}}{\frac{2}{\sqrt{2}\pi}} = \frac{\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}}{\frac{2}{\sqrt{2}\pi}} = \frac{1}{3}.$$

д) Количник ефективне вредности збира виших хармоника и ефективне вредности наизменичне величине представља показатељ хармонијског састава (*total harmonic factor*) односно сачинилац хармоника и за прва 3 хармоника сигнала са слике износи:

$$d = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j\text{eff}}^2}}{X_{\text{eff}}} = \frac{\sqrt{0^2 + \left(\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}}{\frac{2\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}}{\frac{2\sqrt{5}}{3\pi}} = \frac{1}{\sqrt{10}}.$$

ђ) Коефицијент хармонијског изобличења n -тог реда једнак је:

$$d_n = \frac{X_{n\text{eff}}^2}{X_{1\text{eff}}^2},$$

односно, коефицијент хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике:

$$d_3 = \frac{X_{3\text{eff}}^2}{X_{1\text{eff}}^2} = \frac{\left(\frac{2}{3\sqrt{2}\pi}\right)^2}{\left(\frac{2}{\sqrt{2}\pi}\right)^2} = \frac{1}{9}.$$

е) Слабљење хармонијског изобличења n -тог реда једнако је:

$$a_n = 10 \log \frac{1}{d_n} = 20 \log \frac{U_{n\text{eff}}}{U_{1\text{eff}}},$$

односно, слабљење хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике једнако је:

$$a_3 = 10 \log \frac{1}{d_3} = 10 \log \frac{1}{\frac{1}{9}} = 9,54 \text{ dB}.$$

ж) Изобличење n -тог хармоника (n^{th} harmonic distortion):

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t),$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin(n\omega_0 t) dt = (-1)^n \frac{2E}{n\pi},$$

$$T = 10ms \Rightarrow f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{10ms} = 100Hz \Rightarrow \omega_0 = 2\pi f_0 = 628 \frac{rad}{s},$$

$$b_1 = -\sqrt{2}, b_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}, b_3 = -\frac{\sqrt{2}}{3}, b_4 = \frac{\sqrt{2}}{4}, b_5 = -\frac{\sqrt{2}}{5}, b_6 = \frac{\sqrt{2}}{6}, b_7 = -\frac{\sqrt{2}}{7} \dots,$$

тако да је Фуријеов реда за сигнал са слике:

$$f(t) = -\sqrt{2} \sin \omega_0 t + \frac{\sqrt{2}}{2} \sin 2\omega_0 t - \frac{\sqrt{2}}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{\sqrt{2}}{4} \sin 4\omega_0 t - \frac{\sqrt{2}}{5} \sin 5\omega_0 t.$$

б) Ефективна вредност сложенепериодичног сигнала једнака је:

$$X_{eff} = \sqrt{\sum_{j=0}^{\infty} X_{jeff}^2}, X_{jeff} = \frac{E_j}{\sqrt{2}}$$

односно, за сигнал са слике:

$$X_{1eff} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 1, X_{2eff} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}, X_{3eff} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{3}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{3},$$

$$X_{eff} = \sqrt{(1)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2} = \sqrt{\frac{49}{36}} = \frac{7}{6}.$$

в) Основни сачинилац наизменичног сигнала (*fundamental factor, g*):

$$g = \frac{X_{1eff}}{X_{eff}} = \frac{1}{\frac{7}{6}} = \frac{6}{7}.$$

г) Сачинилац нелинеарних изобличења за прва 3 хармоника једнак је:

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{jeff}^2}}{X_{1eff}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2}}{1} = \frac{\sqrt{13}}{6}.$$

д) Показатељ хармонијског састава (*total harmonic factor*) односно сачинилац хармоника за прва 3 хармоника сигнала са слике износи:

$$d = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{\infty} X_{j\text{eff}}^2}}{X_{\text{eff}}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2}}{\frac{7}{6}} = \frac{\frac{\sqrt{13}}{6}}{\frac{7}{6}} = \frac{\sqrt{13}}{7}.$$

ђ) Коефицијент хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике једнак је:

$$d_3 = \frac{X_{3\text{eff}}^2}{X_{1\text{eff}}^2} = \frac{\left(\frac{1}{3}\right)^2}{(1)^2} = \frac{1}{9}.$$

е) Слабљење хармонијског изобличења трећег реда за сигнал са слике једнако је:

$$a_3 = 10 \log \frac{1}{d_3} = 10 \log \frac{1}{\frac{1}{9}} = 4,77 \text{ dB}.$$

ж) Изобличење трећег хармоника (*nth harmonic distortion*):

$$D_3 = \frac{X_3}{X_1} = \sqrt{d_3} = \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{1}{3}.$$

з) Укупно изобличење (*total harmonic distortion-THD*) за прва три хармоника једнако је:

$$\%THD = \sqrt{\sum_{n=2}^3 D_n^2} \cdot 100\% = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{3}\right)^2} \cdot 100\% = 60,09\%.$$

1.3. Питања за проверу знања

1. Величина која представља мерену величину и са којом је функционално повезана зове се:
 - а) мерни параметар,
 - б) информациони параметар,
 - в) мерни сигнал.

2. Мерење, у најопштијем случају, обухвата:
 - а) пренос мерног сигнала,
 - б) пренос и обраду мерног сигнала,
 - в) обраду мерног сигнала.

3. Периодична струја чија је средња вредност једнака нули је:
 - а) наизменична,
 - б) пулсирајућа,
 - в) константна.

4. Периодична струја чија је средња вредност различита од нуле је:
 - а) пулсирајућа,
 - б) константна,
 - в) наизменична.

5. Промена вредности аналогне величине:
 - а) може да буде само нека из скупа дискретних вредности,
 - б) не може да буде бесконачно мала,
 - в) може да буде бесконачно мала.

6. Промена вредности дигиталне величине:
 - а) не може да буде бесконачно мала,
 - б) може да буде само нека из скупа дискретних вредности,
 - в) може да буде бесконачно мала.

7. Сигнали према интензитету могу да буду:
 - а) непрекидни,
 - б) дискретни,
 - в) аналогни,
 - г) дигитални.

- 28

16. Сигнали чије будуће вредности (промене) нису унапред познате зову се **недетерминистички**.

- а) Тачно. б) Нетачно.

17. Ефективна вредност простопериодичног напона, који је представљен функцијом $u(t) = U \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, једнака је:

- а) $U_{eff} = \frac{U}{\sqrt{2}}$, б) $U_{eff} = 0$, в) $U_{eff} = U \cdot \sqrt{2}$.

18. Ефективна вредност сложенепериодичног сигнала, који је представљен функцијом $x(t) = \sum_{n=0}^N X_n \sin\left(2n\pi \frac{t}{T} + \varphi_n\right)$:

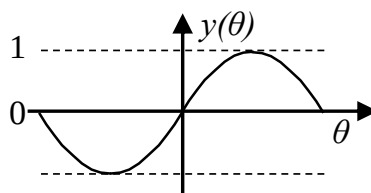
- а) зависи само од почетне фазе његових хармоника φ_n , а не зависи од њихових ефективних вредности,
 б) зависи само од ефективних вредности његових хармоника, а не зависи од њихове почетне фазе φ_n ,
 в) зависи од ефективних вредности његових хармоника, и од њихове почетне фазе φ_n .

19. Повезати редне бројеве означених чланова у тригонометријском реду са одговарајућим значењем:

$$f(x) = \underbrace{X_0}_{1} + \underbrace{X_1 \sin(\omega t + \varphi_1)}_{2} + \underbrace{\sum_{n=0}^{\infty} X_n \sin(n\omega t + \varphi_n)}_{3}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

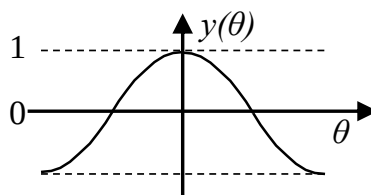
- а) Фундаментална компонента. _____
 б) Средња вредност (једносмерна компонента). _____
 в) Хармоници. _____

20. Функција приказана на слици је:



- | | |
|---|-----------------|
| а) представљена изразом: $y(\theta) = \cos(\theta)$, | б) непарна, |
| в) представљена изразом: $y(\theta) = \sin(\theta)$, | г) парна, |
| д) периодична, | ђ) апериодична. |

21. Функција приказана на слици је:



- | | |
|---|-----------------|
| а) представљена изразом: $y(\theta) = \cos(\theta)$, | б) непарна, |
| в) представљена изразом: $y(\theta) = \sin(\theta)$, | г) парна, |
| д) периодична, | ђ) апериодична. |

22. Повежите називе компонената Фуријеовог реда периодичне величине са одговарајућим описом:

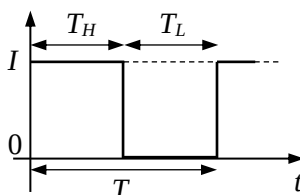
- | | | |
|---|--------------------------|------------------------|
| а) хармоник, | б) збир виших хармоника, | в) основна компонента. |
| 1) Величина добијена одузимањем основне компоненте од наизменичне величине. | | _____ |
| 2) Компонента првог реда Фуријеовог реда периодичне величине. | | _____ |
| 3) Компонента Фуријеовог реда периодичне величине, чији је ред већи од 1. | | _____ |

23. Ако је напон наизменичан, непериодичан и представљен функцијом $u(t) = \sum_{n=0}^{\infty} U_n \sin\left(2n\pi \frac{t}{T} + \varphi_n\right)$ повезати изразе који описују карактеристике сигнала са одговарајућим називом:

а) $\frac{U_{1ef}}{U_{ef}}$, б) $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nef}^2}}{U_{ef}}$, в) $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nef}^2}}{U_{1ef}}$, г) $\frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nef}^2}}{U_{ief}}$.

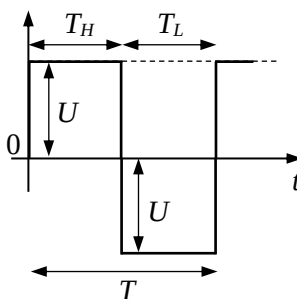
- 1) Сачиниоци хармоника. _____
- 2) Сачинилац нелинеарних изобличења. _____
- 3) Фундаментални фактор наизменичног напона. _____
- 4) Показатељ изобличења наизменичног напона. _____

24. Колика је средња вредност сигнала приказаног на слици?



а) $I_{av} = I \frac{T_H + T_L}{T_H}$, б) $I_{av} = I \frac{T_H}{T_H + T_L T_H}$, в) $I_{av} = I \frac{T_H - T_L}{T_H + T_L}$.

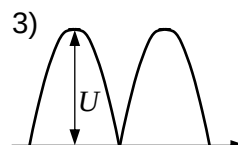
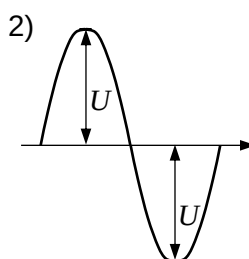
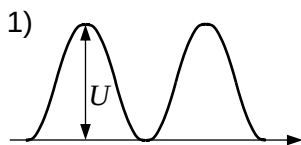
25. Колика је средња вредност сигнала приказаног на слици?



а) $U_{av} = U \frac{T_H}{T_H + T_L}$, б) $U_{av} = U \frac{T_H + T_L}{T_H}$, в) $U_{av} = U \frac{T_H - T_L}{T_H + T_L}$.

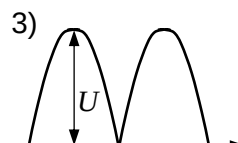
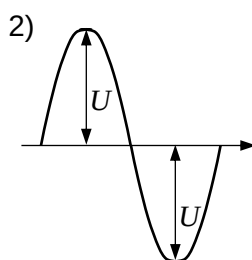
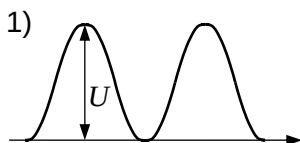
26. Повежите таласни облик са одговарајућом средњом вредношћу U_{av} :

а) $U_{av} = 0$, б) $U_{av} = U \frac{2}{\pi}$, в) $U_{av} = U \frac{1}{2}$, г) $U_{av} = U \frac{1}{\pi}$.



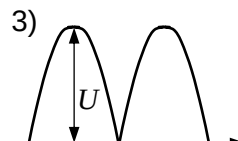
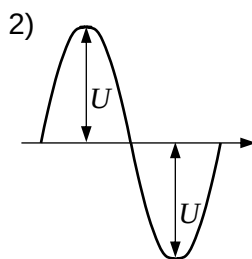
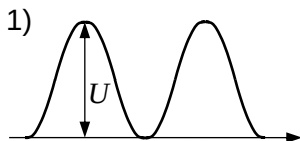
27. Повежите таласни облик са одговарајућом ефективном вредношћу U_{ef} .

а) $U_{ef} = U \frac{1}{\sqrt{2}}$, б) $U_{ef} = U \frac{1}{2\sqrt{2}}$, в) $U_{ef} = U \sqrt{\frac{3}{8}}$.



28. Повежите таласни облик са одговарајућом функцијом $u(t)$:

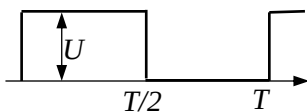
а) $u(t) = U \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$, б) $u(t) = \left| U \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \right|$, в) $u(t) = U \sin^2\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$.



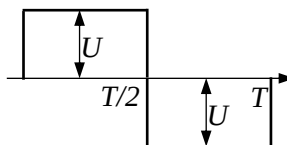
29. Повежите таласни облик са одговарајућом средњом вредношћу U_{av} :

а) $U_{av} = 0$, б) $U_{av} = U \frac{1}{\pi^2}$, в) $U_{av} = U \frac{\tau}{T}$, г) $U_{av} = U \frac{2\tau - T}{T}$.

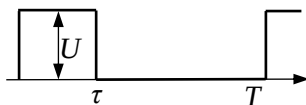
1)



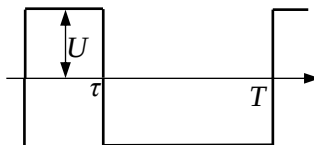
2)



3)



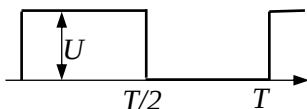
4)



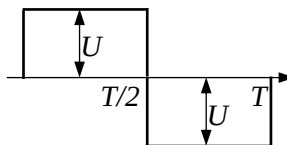
30. Повежите таласни облик са одговарајућом средњом вредношћу U_{ef} :

а) $U_{ef} = U$, б) $U_{ef} = U \frac{1}{\sqrt{2}}$, в) $U_{ef} = U \sqrt{\frac{\tau}{T}}$.

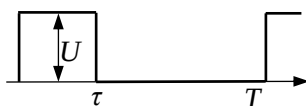
1)



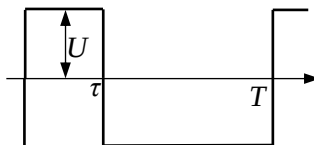
2)



3)



4)



31. Колика је дисторзија другог хармоника ($\%D_2=?$) ако је напон:

$$u(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t) + 0,1 \text{ V} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2) + 0,01 \text{ V} \cdot \sin(3\omega t + \varphi_3)$$

- а) 1%,
- б) 0,1%,
- в) 10%.

32. Колика је дисторзија трећег хармоника ($\%D_3=?$) ако је напон:

$$u(t) = 1 \text{ V} \cdot \sin(\omega t) + 0,1 \text{ V} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_2) + 0,01 \text{ V} \cdot \sin(3\omega t + \varphi_3)$$

- а) 5%,
- б) 0,5%,
- в) 10%.

33. Изразом $\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} u(t) dt$ одређује се:

- а) средња вредност,
- б) средња апсолутна вредност,
- в) ефективна вредност.

34. Изразом $\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} |u(t)| dt$ одређује се:

- а) средња вредност,
- б) средња апсолутна вредност,
- в) ефективна вредност.

35. Изразом $\sqrt{\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} u^2(t) dt}$ одређује се:

- а) средња вредност,
- б) средња апсолутна вредност,
- в) ефективна вредност.

36. Израз

$$u(t) = \sum_{n=0}^N U_n \sin\left(2n\pi \frac{t}{T} + \varphi_n\right),$$

описује:

- а) наизменичан напон,
- б) наизменичан и пулсирајући напон,
- в) пулсирајући напон.

37. Израз

$$u(t) = U_0 + U_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^N U_n \sin(n\omega t + \varphi_n),$$

описује:

- а) наизменичан напон,
- б) наизменичан и пулсирајући напон,
- в) пулсирајући напон.

38. Количник $K_O = \frac{U_{eF}}{U_r}$ представља:

- а) показатељ облика,
- б) показатељ врха,
- в) показатељ усредњавања.

39. Количник $K_R = \frac{U_{max}}{U_r}$ представља:

- а) показатељ облика,
- б) показатељ врха,
- в) показатељ усредњавања.

40. Количник $K_V = \frac{U_{max}}{U_{ef}}$ представља:

- а) показатељ облика,
- б) показатељ врха,
- в) показатељ усредњавања.

41. Показатељ врха, K_V , је дефинисан као количник:
- а) темене вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине,
 - б) темене вредности и ефективне вредности периодичне величине,
 - в) ефективне вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине.
42. Показатељ врха, K_O , је дефинисан као количник:
- а) ефективне вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине,
 - б) емене вредности и ефективне вредности периодичне величине,
 - в) темене вредности и средње апсолутн вредности периодичне величине.
43. Показатељ врха, K_R , је дефинисан као количник:
- а) темене вредности и ефективне вредности периодичне величине.,
 - б) темене вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине,
 - в) ефективне вредности и средње апсолутне вредности периодичне величине.

2. МЕРЕЊА У ИНДУСТРИЈИ

2.1. Теоријска основа

Део мерног система на који непосредно делује величина коју треба мерити назива се **сензор** и омогућује добијање информације о мереној величини. Са становишта електронске мерне технике, сензор је део мерног система који мерену неелектричну величину пресликава у електричну, и тако омогућује добијање жељене информације у облику који је подесан за мерење, обраду, запис или пренос.

Кондиционер остварује спрегу са сензором тако да се информација о вредности мерене величине добије у облику напонског или струјног сигнала у опсегу вредности подесном за мерење помоћу уобичајених мерних инструмената односно поступака. Помоћу кондиционера остварује се спрезање са сензором, које треба да што мање утиче на процес трансформације, али и одређена “примарна” обрада мерног сигнала којом је мерена величина представљена. Под овим се најчешће подразумева појачање сигнала или смањивање сметњи суперпонираних мерном сигналу.

У случајевима када потребна информација није вредност споро променљивог мерног сигнала у одређеном тренутку, већ неки показатељ квазипериодичног сигнала различитог таласног облика, као што је на пример ефективна вредност, неопходна је одговарајућа, понекад врло сложена, обрада. Потреба за додатном обрадом се по правилу појављује и када се жели постизање веће тачности мерења (што захтева компензацију деловања неких извора систематске грешке, линеаризацију карактеристике сензора и слично). У таквим случајевима кондиционер прераста у знатно сложенију целину, **мерни претварач**, која се као “градивна јединица” примењује у разноврсним мерним, надзорним или управљачким системима.

Мерни претварач је део мерног ланца који једну величину претвара, у информационом смислу, у другу величину ради мерења. У најопштијем смислу, мерни претварач се дефинише као уређај који на свом излазу даје величину која је у одређеном односу према улазној величини. Примери мерних претварача су струјни (напонски) мерни трансформатор, мерна трака, електрода за мерење *РН*-фактора,

биметална трака, Бурдонова цев, али и мерни претварач учестаности у напон, диференцијални мерни претварач отпорности, мерни претварач електричне снаге...

Кондиционирање има за циљ да омогући обраду информација електронским средствима и притом обезбеди постизање максималне тачности. Од кондиционера се најчешће захтева да се промене вредности улазне величине a што је могуће верније пресликају у сразмерне промене вредности нормализованог електричног сигнала x на његовом излазу. То значи да треба да буде задовољен услов:

$$\frac{\Delta x}{\Delta a} = \text{const},$$

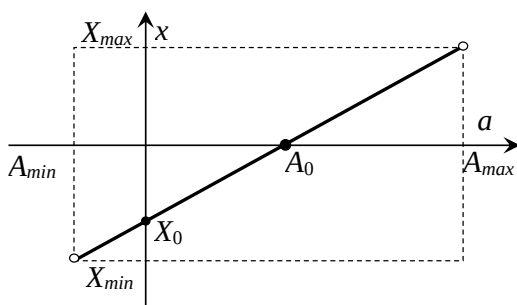
којим је дефинисано линеарно пресликавање промена величине a на

Карактеристика преноса кондиционера помоћу којег се вредност улазне променљиве a , у опсегу $[A_{min}, A_{max}]$ једнозначно пресликава на вредност излазне променљиве x у опсегу $[X_{min}, X_{max}]$ одређена је једначином:

$$\frac{x - x_{min}}{a - a_{min}} = k,$$

којом је дефинисана трансформација $a \rightarrow x$.

$$x = x_{min} + k(a - A_{min}); k = \frac{X_{max} - X_{min}}{A_{max} - A_{min}}.$$

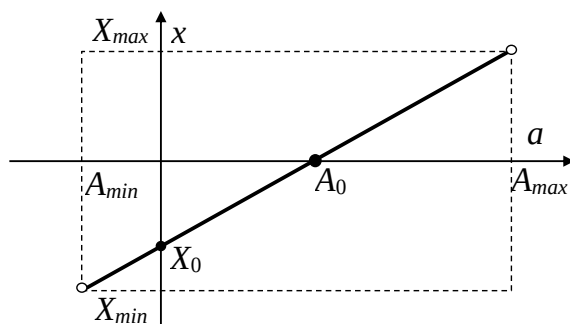


Линеарно пресликавање $a \rightarrow x$

Величина $A_{max} - A_{min}$ је распон односно ширина опсега вредности улазног сигнала кондиционера, док $X_{max} - X_{min}$ представља излазни распон. Величина k представља нагиб карактеристике $x(a)$.

2.2. Задаци

- Одредити функцију линеарног пресликавања кондиционера који омогућава да се излаз сензора који мери величину a у опсегу $[A_{min}, A_{max}]$ претвори у вредност излазне променљиве x у опсегу $[X_{min}, X_{max}]$.



РЕШЕЊЕ

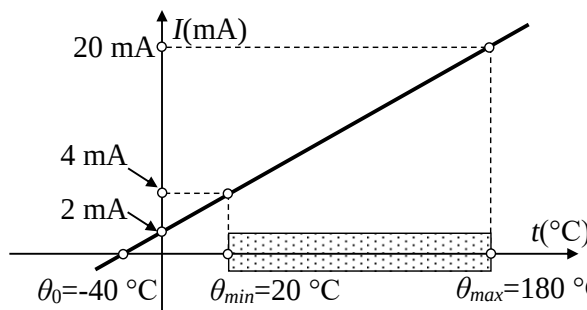
Функција линеарног пресликавања кондиционера помоћу којег се вредност улазне променљиве a опсегу $[A_{min}, A_{max}]$ једнозначно пресликава на вредност излазне променљиве x у опсегу $[X_{min}, X_{max}]$ одређена је једначином:

$$k = \frac{x - X_{min}}{a - A_{min}},$$

којом је дефинисана трансформација $a \rightarrow x$:

$$x = X_{min} + k(a - A_{min}), \quad k = \frac{x - X_{min}}{a - A_{min}}.$$

- Ако је струја на излазу мерног претварача температуре $I = k(\theta - 20^\circ\text{C}) + 4\text{ mA}$ на основу карактеристике приказане на слици одредити вредност константе преноса, k , претварача.



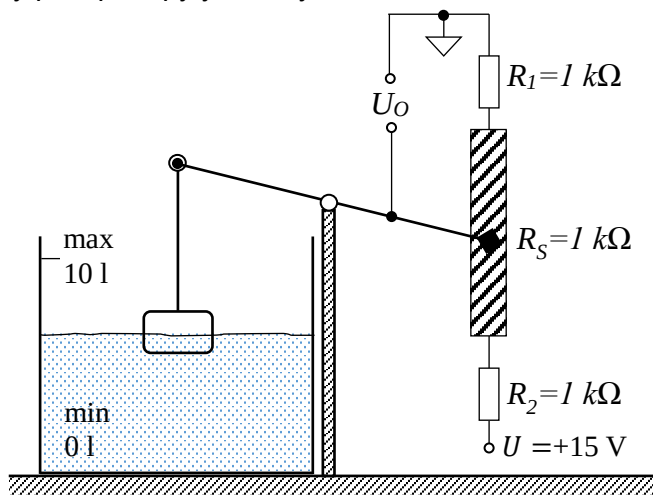
РЕШЕЊЕ

Мерни опсег претварача $[\theta_{min}, \theta_{max}]$, чија је преносна карактеристика дата на слици, је од $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ док је опсег излазне струје I , $[I_{min}, I_{max}]$, од 4 mA до 20 mA .

Константа преноса претварача, k , помоћу којег се вредност улазне променљиве t опсегу $[\theta_{min}, \theta_{max}]$ пресликава на вредност излазне променљиве I у опсегу $[I_{min}, I_{max}]$ једнака је нагибу карактеристике и одређена је једначином:

$$k = \frac{I - I_{min}}{t - \theta_{min}} = \frac{\Delta I}{\Delta \theta} = \frac{I_{max} - I_{min}}{\theta_{max} - \theta_{min}} = \frac{20\text{ mA} - 4\text{ mA}}{180\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{16\text{ mA}}{160\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,1 \frac{\text{mA}}{^{\circ}\text{C}}.$$

3. Код линеарног, отпорничког, претварача нивоа течности у напон, приказаног на слици, одредити :
- ширину опсега напона на излазу мерног претварача ΔU_O ,
 - вредност константе преноса мерног претварача k ако је ниво течности у резервоару у опсегу од 0 l до 10 l .

**РЕШЕЊЕ**

- а) Ширина опсега напона на излазу мерног претварача једнак је разлици напона на излазу претварача када је резервоар пун, U_{Omax} , и када је резервоар празан, U_{Omin} :

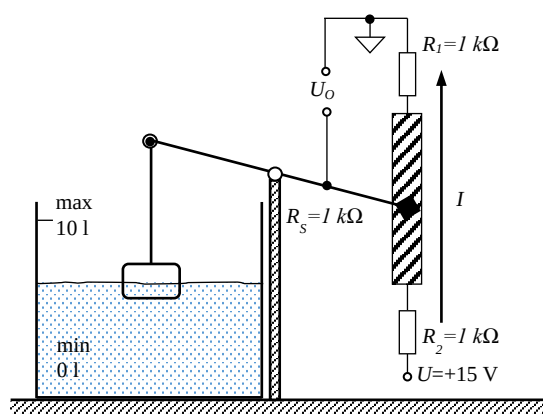
$$I = \frac{U}{R_1 + R_S + R_2} = 5 \text{ mA},$$

$$U_{Omax} = I(R_1 + R_S) = 10 \text{ V},$$

$$U_{Omin} = IR_1 = 5 \text{ V},$$

$$U_O[U_{Omax}, U_{Omin}] = [10 \text{ V}, 5 \text{ V}],$$

$$\Delta U_O = U_{Omax} - U_{Omin} = 5 \text{ V}.$$



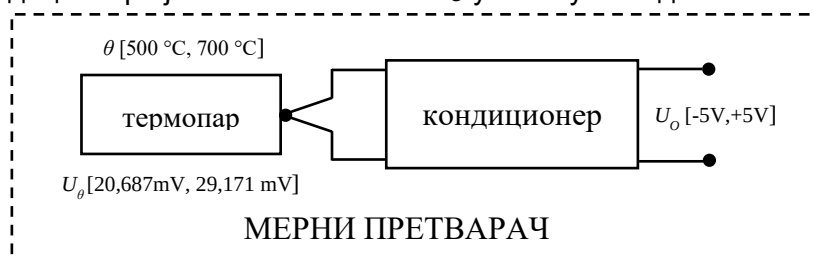
б) Константа преноса мерног претварача k ако је ниво течности у резервоару у опсегу од 0 l до 10 l а опсег напона на излазу мерног претварача од 5 V до 10 V.

$$k = \frac{U_{Omax} - U_{Omin}}{V_{max} - V_{min}} = \frac{10 \text{ V} - 5 \text{ V}}{10 \text{ l} - 0 \text{ l}} = 0,5 \frac{\text{V}}{\text{l}}.$$

4. За пример линеарног пресликавања температуре у напон, приказан на слици одредити:

а) вредност константе преноса мерног претварача k ако је улаз температура у опсегу 500 °C до 700 °C, а излаз напонски сигнал у опсегу -5 V до +5 V.

б) појачање кондиционера А ако је на његов улаз доведен напон са термопара, U_θ , у опсегу од 20,687 mV до 29,171 mV. Излаз кондиционера је напонски сигнал U_O у опсегу -5 V до +5 V.



РЕШЕЊЕ

а) Константа преноса k мерног претварача са слике једнака је:

$$U_O = U_{OL} + k(\theta - \theta_{min}).$$

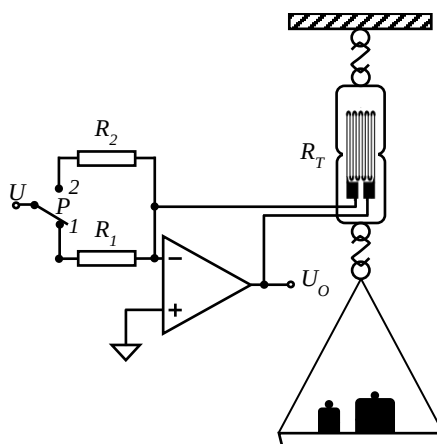
$$k = \frac{\Delta U_O}{\Delta \theta} = \frac{U_{Omax} - U_{Omin}}{\theta_{max} - \theta_{min}} = \frac{5 \text{ V} - (-5 \text{ V})}{700 \text{ °C} - 500 \text{ °C}} = \frac{10 \text{ V}}{200 \text{ °C}} = 0,05 \frac{\text{V}}{\text{°C}}.$$

б) Појачање кондиционера A , који се налази у оквиру мерног претварача типа „термопар“, једнако је:

$$U_o = U_{oL} + A(U_\theta - \theta_{min}),$$

$$A = \frac{U_{oH} - U_{oL}}{U_{\theta H} - U_{\theta L}} = \frac{5 \text{ V} - (-5 \text{ V})}{29,171 \text{ mV} - 20,687 \text{ mV}} = \frac{10 \text{ V}}{8,484 \text{ mV}} = 1178,7.$$

5. За пример линеарног, отпорничког, претварача масе у напон, приказаног на слици, под претпоставком да су операциони појачавачи савршени (улазна отпорност $R_{IN} = \infty$; излазна отпорност $R_O = 0$; појачање напона $A_U = \infty$; улазне струје $I_{BP} = I_{BN} = 0$; напон помераја нуле на улазу појачавача $U_{OS} = 0$) чији су напони напајања $+10 \text{ V}$, односно -10 V , одредити :



а) вредност константе преноса мерног претварача k ако је вредност улазног напона $U = -5 \text{ V}$, $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$, отпорност мерне траке R_T се мења у опсегу од $0 \text{ k}\Omega$ до $10 \text{ k}\Omega$ ако се маса мења у опсегу од 0 kg до 10 kg .

б) вредност отпорника R_2 и вредност константе преноса мерног претварача k ако се отпорност мерне траке R_T мења у опсегу од $0 \text{ k}\Omega$ до $100 \text{ k}\Omega$ и ако се маса мења у опсегу од 0 kg до 50 kg .

РЕШЕЊЕ

а) Коло са слике представља инвертујући појачавач код којег се у директној грани налази отпорник R_1 а у грани негативне повратне спреге отпорност мерне траке R_T , тако да је:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{-5 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = -1 \text{ mA}.$$

Опсег излазног напона једнак је:

$$U_O = U_{Omax} - U_{Omin},$$

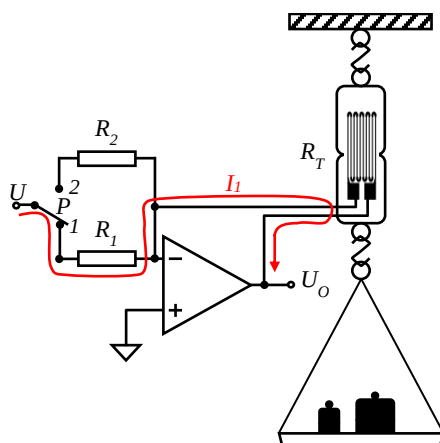
$$U_{Omax} = -I_1 R_{Tmax} = 10 \text{ V},$$

$$U_{Omin} = -I_1 R_{Tmin} = 0 \text{ V},$$

$$U_O [U_{Omax}, U_{Omin}] = [10 \text{ V}, 0 \text{ V}].$$

Константа преноса k мерног претварача са слике једнака је:

$$k = \frac{U_{Omax} - U_{Omin}}{m_{max} - m_{min}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{kg}}.$$



б) Пошто је максимални напон на излазу операционог појачавача једнак напону напајања, из једначине за излазни напон инвертујућег појачавача, узимајући и максималну отпорност мерне траке у обзир, добијамо вредност струје I_2 , која тече кроз коло капа се преклопник P налази у положају 2.

$$U_{Omax} = -I_2 R_{Tmax} = 10 \text{ V},$$

$$I_2 = -\frac{U_{Omax}}{R_{Tmax}} = -\frac{10 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = -0,1 \text{ mA},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{-5 \text{ V}}{-0,1 \text{ mA}} = 50 \text{ k}\Omega.$$

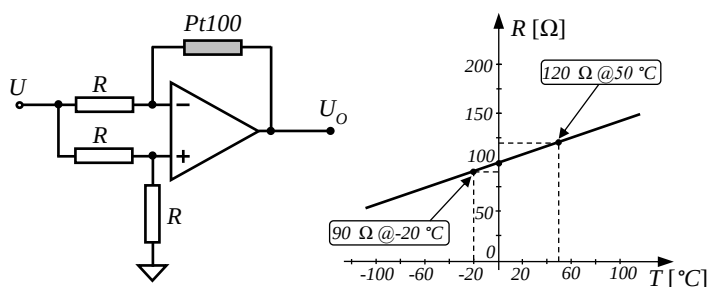
У овом случају константа преноса k мерног претварача је:

$$k = \frac{U_{Omax} - U_{Omin}}{m_{max} - m_{min}} = \frac{10 \text{ V} - 0 \text{ V}}{50 \text{ kg} - 0 \text{ kg}} = 0,2 \frac{\text{V}}{\text{kg}}.$$

6. За мерни претвач температуре реализован помоћу активног мерног моста и сензора температуре $Pt100$, чија је карактеристика приказана на слици, под претпоставком да су операциони појачавачи савршени (улазна отпорност $R_{IN} = \infty$; излазна отпорност $R_O = 0$; појачање напона $A_U = \infty$; улазне струје $I_{BP} = I_{BN} = 0$; напон помераја нуле на улазу појачавача $U_{OS} = 0$) чији су напони напајања $+15 \text{ V}$, односно -15 V :

а) одредити вредност отпорности R тако да се мерни мост налази у равнотежи на 0°C .

б) ако се температура мења од -20°C до $+50^\circ \text{C}$ и ако је напон на улазу $U = -10 \text{ V}$ одредити константу преноса мерног претварача.



РЕШЕЊЕ

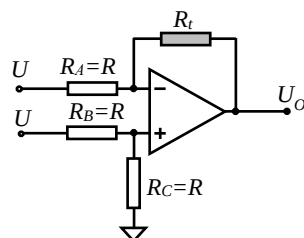
а) Активни мерни мост можемо посматрати као диференцијални појачавач са краткоспојеним улазима чији је излазни напон једнак:

$$U_o = \left(1 + \frac{R_t}{R_A}\right) \frac{R_C}{R_B + R_C} U - \frac{R_t}{R_A} U.$$

Напон на излазу мерног моста U_o , када се он налази у равнотежи, једнак је 0 V. Ако је $R_A = R_B = R_C$ из претходне једначине следи:

$$\frac{R}{R + R} \left(1 + \frac{R_t}{R}\right) = \frac{R}{R} \Rightarrow \frac{1}{2} \frac{R + R_t}{R} = 1,$$

$$R + R_t = 2R \rightarrow R = R_t = 100 \Omega.$$



б) Ширина опсега напона на излазу мерног претварача једнак је разлици напона на излазу претварача при температури од +50 °C, $U_o(+50 \text{ } ^\circ\text{C})$, и при температури од -20 °C, $U_o(-20 \text{ } ^\circ\text{C})$:

$$U_o(+50 \text{ } ^\circ\text{C}) = \left(1 + \frac{120 \Omega}{100 \Omega}\right) \frac{100 \Omega}{100 \Omega + 100 \Omega} U - \frac{120 \Omega}{100 \Omega} U = 1 \text{ V},$$

$$U_o(-20 \text{ } ^\circ\text{C}) = \left(1 + \frac{90 \Omega}{100 \Omega}\right) \frac{100 \Omega}{100 \Omega + 100 \Omega} U - \frac{90 \Omega}{100 \Omega} U = -0,5 \text{ V},$$

односно:

$$U_o[+50 \text{ } ^\circ\text{C}, -20 \text{ } ^\circ\text{C}] = [1 \text{ V}, -0,5 \text{ V}],$$

$$\Delta U_o = U_o(+50 \text{ } ^\circ\text{C}) - U_o(-20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1,5 \text{ V}.$$

Константа преноса k мерног претварача са слике једнака је:

$$k = \frac{\Delta U_o}{\Delta \theta} = \frac{U_o(+50 \text{ } ^\circ\text{C}) - U_o(-20 \text{ } ^\circ\text{C})}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} = \frac{1 \text{ V} - (-0,5 \text{ V})}{50 \text{ } ^\circ\text{C} - (-20 \text{ } ^\circ\text{C})} = 21,4 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}.$$

2.3. Питања за проверу знања

1. Повезати тип сигнала помоћу којих се процесни рачунар повезује са процесом са електричном природом наведених сигнала.

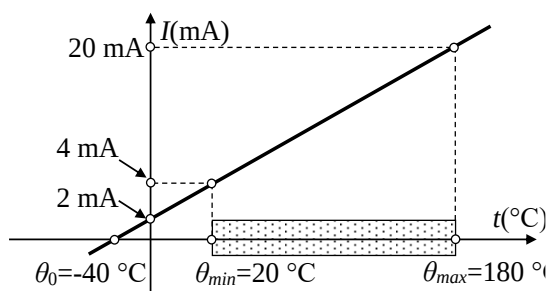
а) команде, б) мерења,
в) сигнализације, г) поставне (иницијалне) вредности.

- 1) Бинарне управљачке променљиве. _____
2) Аналогне управљачке променљиве. _____
3) Аналогне и дигиталне процесне величине. _____
4) Бинарне процесне величине. _____

2. Ако је струја на излазу мерног претварача температуре:

$$I = k(\theta - 20^\circ\text{C}) + 4\text{ mA},$$

на основу карактеристике приказане на слици одредити вредност константе преноса, k , претварача.



- а) $k = 1 \frac{\text{mA}}{^\circ\text{C}}$, б) $k = 0,01 \frac{\text{mA}}{^\circ\text{C}}$, в) $k = 0,1 \frac{\text{mA}}{^\circ\text{C}}$.

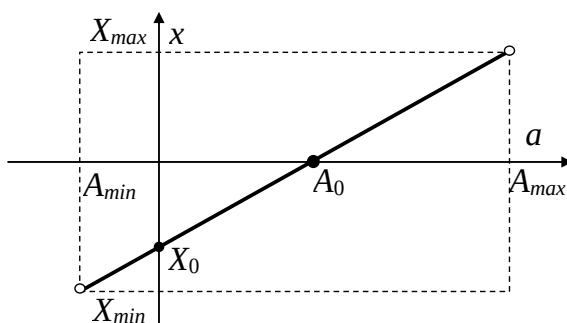
3. Ако је улаз мерног претварача температуре у опсегу 500°C до 700°C , а излаз напонски сигнал у опсегу -5 V до $+5\text{ V}$, колика је вредност константе преноса, k , претварача?

- а) $k = 0,5 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$, б) $k = 1 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$, в) $k = 0,05 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$.

4. Способност мерила да не мења мерену величину зове се:

а) транспарентност, б) стабилност, в) тачност.

5. Алгебарска разлика ниже и више називне вредности излазног сигнала зове се:
- мерни опсег,
 - гранични опсег,
 - излазни распон.
6. Применом ознака на временскоом дијаграму написати чему је једнака вредност константе k претварача са линеарном карактеристиком.



а) $k = \frac{X_{max}}{A_{max}}$, б) $k = \frac{X_{max}-X_0}{A_{max}-A_0}$, в) $k = \frac{X_{max}-X_{min}}{A_{max}-A_{min}}$.

7. Услови употребе који морају да буду испуњени током мерења да би мерни инструмент или мерни систем радио као што је пројектован су:
- гранични услови,
 - називни услови,
 - референтни услови.
8. Нелинеарна функција отпорности
- $$R = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots + \eta t^n),$$
- одговара:
- NTC отпорнику,
 - PTC отпорнику,
 - платинском сензору.

9. Носилац информације (излазни сигнал) може бити напон, струја или наелектрисање код:
- а) активних (генераторских) сензора,
 - б) активних и пасивних сензора,
 - в) пасивних сензора.
10. Сензори у којима се остварује “претварање” мерене неелектричне величине у електричну, која представља један од параметара електричне мреже: отпорност, индуктивност или капацитивност су:
- а) пасивни сензори,
 - б) пасивни и активни сензори,
 - в) активни сензори.
11. При мерењима у индустријским условима (процесна мерења) највећи број сензора, помоћу којих се мерена неелектрична величина трансформише у електрични сигнал, представља:
- а) пасивне и активне електричне елементе,
 - б) пасивне електричне елементе,
 - в) активне електричне елементе.
12. У индустријској метрологији најширу примену имају:
- а) отпорнички сензори,
 - б) капацитивни сензори,
 - в) индуктивни сензори.
13. При мерењу неелектричних величина, информација добијена помоћу сензора:
- а) најчешће је у облику погодном за прецизно мерење,
 - б) најчешће није у облику погодном за прецизно мерење,
 - в) никада није у облику погодном за прецизно мерење.

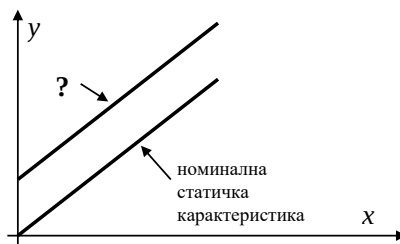
14. Ако је улаз мерног претварача температуре у опсегу $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, а излаз напонски сигнал у опсегу -5 V до $+5\text{ V}$, који од наведених израза описује начин пресликавање температуре у напон?
- а) $U_{\theta} = -5\text{ V} + k_{\theta}(500\text{ }^{\circ}\text{C} - \theta)$,
- б) $U_{\theta} = 5\text{ V} + k_{\theta}(\theta - 500\text{ }^{\circ}\text{C})$,
- в) $U_{\theta} = 5\text{ V} + k_{\theta}(500\text{ }^{\circ}\text{C} - \theta)$,
- г) $U_{\theta} = -5\text{ V} + k_{\theta}(\theta - 500\text{ }^{\circ}\text{C})$.
15. Интервал времена од тренутка када се побуда нагло промени до тренутка када одзив достигне и остане у одређеним границама око своје коначне стабилне вредности назива се _____.
16. Екстремни услови које мерни инструмент или мерни систем треба да издржи без оштећења и без губљења својих метролошких својстава када се касније употреби у називним условима рада су _____ услови.
17. Када се на улаз кондиционера доводи сигнал ниског нивоа, за тачно мерење неопходна је примена _____ појачавача.
18. Спора промена метролошког својства мерила назива се _____.
19. Мерни и управљачки уређаји различитог степена сложености, посредством којих се остварује спрега са процесом, представљају _____ јединице специјализованог рачунара.
20. _____ сензори захтевају додатни извор енергије.

21. Низ елемената мерног система који чине појединачну путању сигнала од сензора до излазног елемента зове се _____ .
22. Део мерног ланца који остварује спрегу са сензором назива се _____ .
23. Део мерног ланца који једну величину претвара, у информационом смислу, у другу величину ради мерења назива се _____ .
24. Мерни претварач је целина која се _____ може, не може) употребити самостално.
25. Уобичајено је да се специјализовани рачунари, намењени за управљање технолошким процесима називају _____ рачунари.
26. Структура кондиционера одређена је електричним карактеристикама сензора и практично _____ од физичке природе величине која се мери.
27. Са циљем успешнијег преноса, обраде или записивања, неелектричне мерене величине се пресликавају на _____ .
28. Део мерног система на који непосредно делује величина коју треба мерити назива се _____ .
29. Према _____ природи величине која се мери, сензори се могу поделити у две основне групе: сензоре електричних и сензоре неелектричних величина.
30. Према _____ основи начина рада, сензори се могу класификовати као: механички, електрични, оптички,...

31. _____ сензори енергију за свој рад узимају из медијума чије стање одражавају (мере).
32. Модуо разлике граничних вредности називног опсега $\Delta M = |M_{max} - M_{min}|$ назива се _____ .
33. Својство мерила којим своја метролошка својства одржава непроменљивим током времена назива се _____ .
34. У моделу сензора који је описан диференцијалном једначином:
$$\tau \frac{dx}{dt} + x(t) = ka(t),$$
константа k има димензију:
а) одређену димензијама величине одзива,
б) одређену димензијама величина побуде и одзива,
в) времена,
г) одређену димензијама величине побуде.
35. На које сензоре може да се примени диференцијална једначина другог реда?
$$c_2 \frac{d^2x}{dt^2} + c_a \frac{dx}{dt} + x(t) = ka(t), \quad x(0) = X_0, \quad \dot{x}(0) = X_1.$$

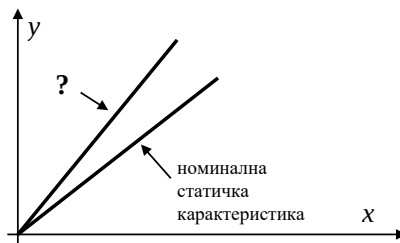
а) сензор угаоне брзине,
б) сензор убрзања,
в) анемометар,
г) пиезоелектрични сензор,
д) сензор влажности.
36. Подударност реалне карактеристике y_r и идеалне статичке карактеристике y_i представља:
а) линеарност, б) осетљивост, в) мерно подручје.

37. Која врста дрифта је довела до одступања од номиналне статичке карактеристике сензора, као што је приказано на слици?



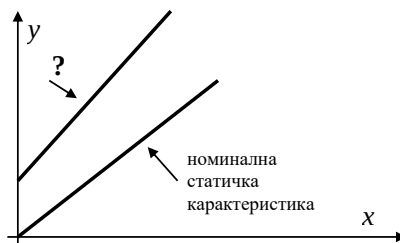
- а) дрифт нуле, б) дрифт осетљивости, в) комбиновани дрифт.

38. Која врста дрифта је довела до одступања од номиналне статичке карактеристике сензора, као што је приказано на слици?



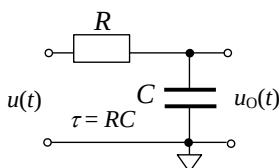
- а) дрифт нуле, б) дрифт осетљивости, в) комбиновани дрифт.

39. Која врста дрифта је довела до одступања од номиналне статичке карактеристике сензора, као што је приказано на слици?



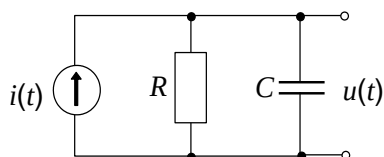
- а) дрифт нуле, б) дрифт осетљивости, в) комбиновани дрифт.

40. Подручје између два репера која одговарају најмањој и највећој вредности на скали представља:
- а) мерни опсег, б) мерно подручје, в) тачност.
41. Однос прираштаја излазне величине и прираштаја мерене величине након достизања стационарног стања представља:
- а) линеарност, б) осетљивост, в) мерно подручје.
42. Скуп података између два репера на скали који одговарају најмањој и највећој вредности (4 – 20 mA, 0 – 20 bar, 500 – 2000 °C,...) представља:
- а) мерни опсег, б) мерно подручје, в) тачност.
43. Способност сензора да у референтним радним условима даје показивања блиска стварној вредности мерене величине представља:
- а) мерни опсег, б) мерно подручје, в) тачност.
44. Уколико филтар има линеарну фазну карактеристику, фазна карактеристика:
- а) утиче на изобличење сигнала који пролазе кроз филтар,
б) не утиче на изобличење сигнала који пролазе кроз филтар.
45. Изабрати карактеристике које одговарају еквивалентном колу сензора приказаном на слици:



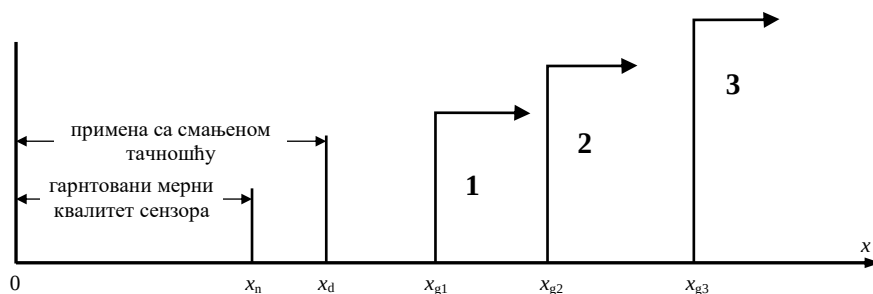
- а) представља инерцијални систем другог реда,
б) одговара жirosкопу,
в) одговара пиезоелектричном сензору,
г) одговара отпорничком термометру,
д) представља инерцијални систем првог реда.

46. Изабрати карактеристике које одговарају еквивалентном колу сензора приказаног на слици:



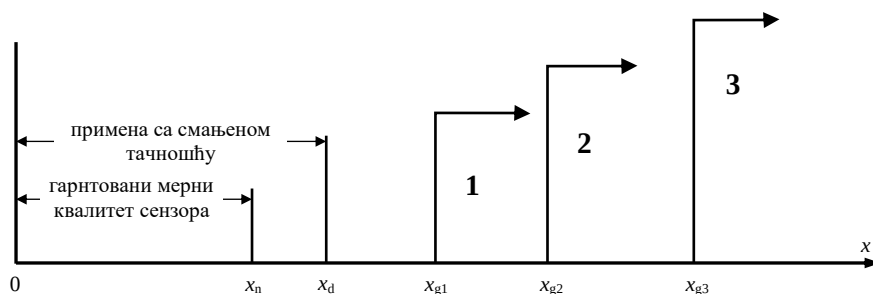
- а) представља инерцијални систем другог реда,
- б) одговара жирокопу,
- в) одговара пиезоелектричном сензору,
- г) одговара отпорничком термометру,
- д) представља инерцијални систем првог реда.

47. На основу дијаграма приказаног на слици, изабрати редни број мерног опсега мерене величине који доводи до оштећења:



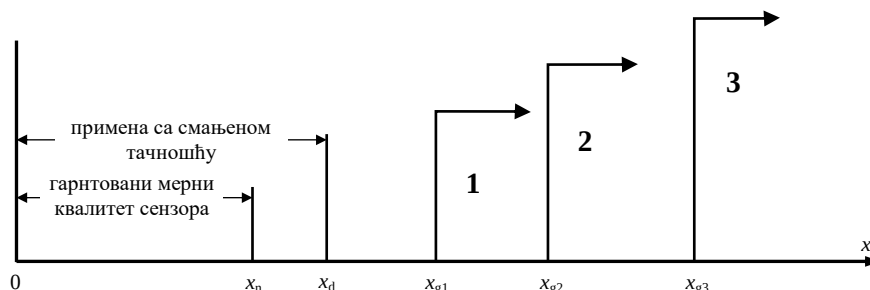
- а) 1,
- б) 2,
- в) 3.

48. На основу дијаграма приказаног на слици, изабрати редни број мерног опсега мерене величине који доводи до промене нуле:



- а) 1,
- б) 2,
- в) 3.

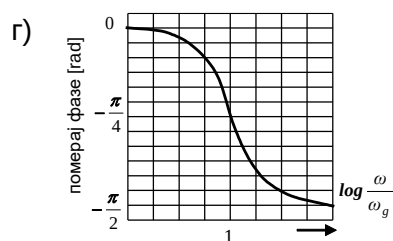
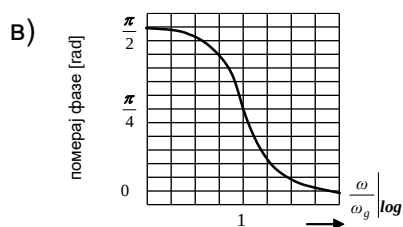
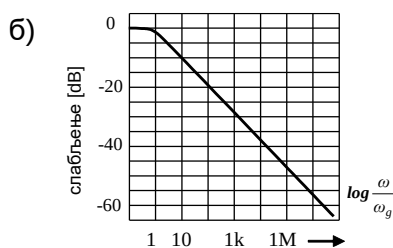
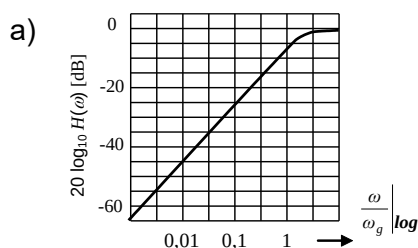
49. На основу дијаграма приказаног на слици, изабрати редни број мерног опсега мерене величине који доводи до промене осетљивости:



- а) 1, б) 2, в) 3.

50. Изабрати одговарајућу преносну функцију, логаритамску амплитудску и фазну карактеристику сензора чији је математички модел:

$$\tau \frac{dx}{dt} + x(t) = ka(t).$$



д)

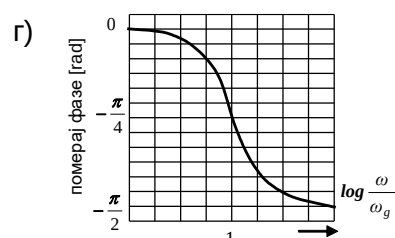
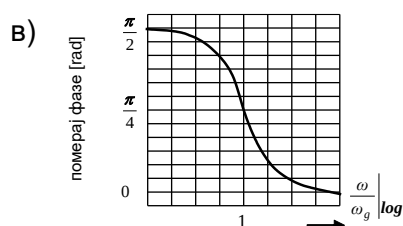
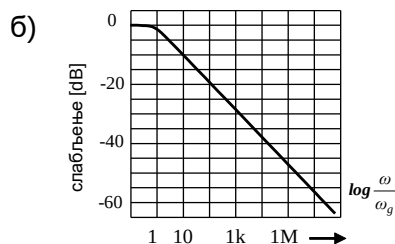
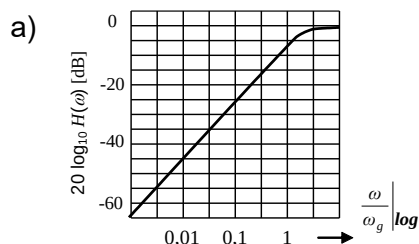
$$H(j\omega) = \frac{j \frac{\omega}{\omega_g}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

ђ)

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

51. Изабрати одговарајућу преносну функцију, логаритамску амплитудску и фазну карактеристику сензора чији је математички модел:

$$k_U \frac{du}{dt} + u = k_F \frac{dF}{dt}.$$



д)

$$H(j\omega) = \frac{j \frac{\omega}{\omega_g}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

ђ)

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_g}}$$

52. У великом броју случајева као модел сензора може да се примени диференцијална једначина _____ реда.

53. _____ трансформација омогућује замену операција диференцирања и интеграљења једноставнијим операцијама множења и дељења.

54. Хистерезис је нарочито присутан код _____ сензора.

55. Уколико у физичком систему који сензор представља постоје два елемента чије се деловање манифестује нагомилавањем енергије, понашање система описује се диференцијалном једначином _____ реда.

56. Диференцијална једначина:

$$\sum_0^n X_i \frac{d^i x}{dt^i} = \sum_0^m A_j \frac{d^j a}{dt^j},$$

описује _____ понашање сензора.

57. Дрифт _____ описује промене очитавања излаза за нулту вредност улазног сигнала које настају деловањем спољних фактора.

58. Дрифт _____ одређује вредност са којом се осетљивост сензора мења у зависности од спољних утицаја.

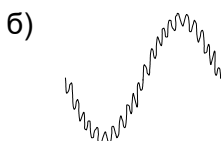
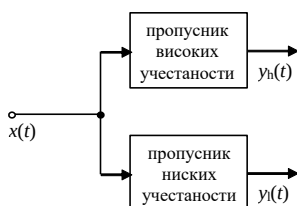
59. Диференцијална једначина:

$$\tau \frac{dx}{dt} + x(t) = ka(t),$$

описује _____ елемент првог реда.

60. Утицај старења односи се на _____ статичке карактеристике због старења компонената сензора.

61. Повезати ознаку сигнала на улазу и излазу са одговарајућим таласним облицима.



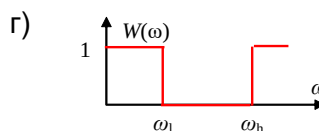
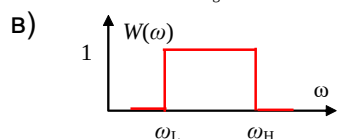
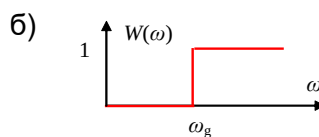
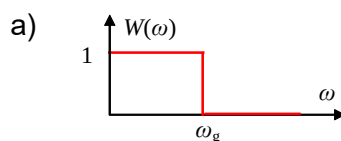
1) $x(t)$. _____ 2) $y_l(t)$. _____ 3) $y_h(t)$. _____

62. Повезати опис функције филтра са одговарајућом ознаком.

- а) Има само један пропусни опсег који се протеже од нулте до граничне учестаности,
- б) Има само један пропусни опсег, ограничен са две коначне учестаности које нису нула или бесконачне,
- в) Има само један пропусни опсег који обухвата све учестаности веће од граничне.

1) *LPF*. _____ 2) *BPF*. _____ 3) *HPF*. _____

63. Повезати приказану преносну функцију са одговарајућим типом филтра.



- 1) Филтар пропусник високих учестаности. _____
- 2) Филтар пропусник ниских учестаности. _____
- 3) Филтар пропусник опсега учестаности. _____
- 4) Филтар непропусник опсега учестаности. _____

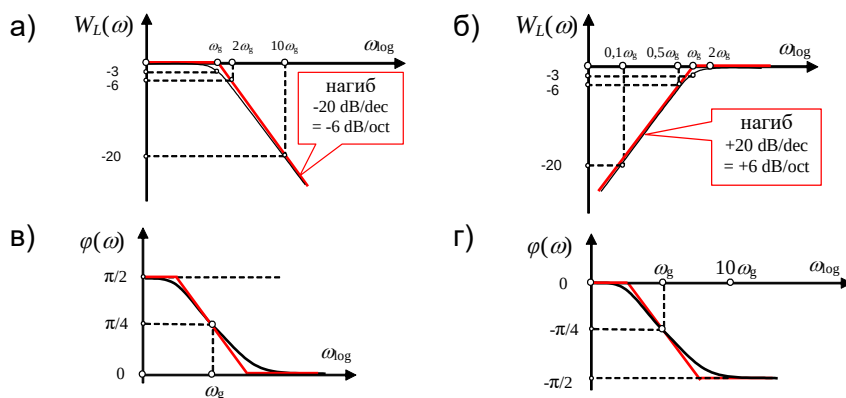
64. Непропусни опсег је опсег учестаности у коме слабљење:

- а) слабљење остаје мање од задате вредности,
- б) слабљење остаје веће од задате вредности,
- в) слабљење има вредност 1 или 0.

65. Пропусни опсег је опсег учестаности у коме слабљење:

- а) слабљење остаје мање од задате вредности,
- б) слабљење остаје веће од задате вредности,
- в) слабљење има вредност 1 или 0.

66. Повезати фреквентне карактеристике са одговарајућим називом и типом филтра (*LPF* или *HPF*).



- 1) Фазна фреквентна карактеристика *HPF*. _____
- 2) Амплитудска фреквентна карактеристика *HPF*. _____
- 3) Фазна фреквентна карактеристика *LPF*. _____
- 4) Амплитудска фреквентна карактеристика *LPF*. _____

67. Филтри _____ типа Батерворт имају _____ максимално амплитудску карактеристику.

68. Елемент који различито реагује на споре и брзе промене информационог параметра мерног сигнала називај се _____.

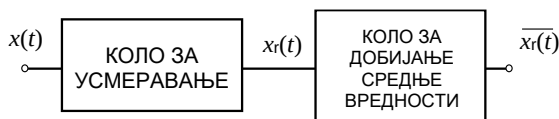
69. _____ је елемент са два приступа типа улаз-излаз, намењен да преноси спектралне компоненте улазног сигнала у складу са одређеним законом.

3.

МЕРЕЊЕ НАИЗМЕНИЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА

3.1. Теоријска основа

За мерење наизменичних величина у индустријским условима користе се одговарајући мерни претварачи којима се остварује пресликавање наизменичне величине на погодно одабрану једносмерну величину, која се потом мери. Најједноставнији мерни претварач наизменичне величине састоји се од кола за усмеравање и кола за одређивање средње вредности усмереног (*rectified*) сигнала. Општи структурни блок-дијаграм ове врсте *AC/DC* претварача приказан је на слици.

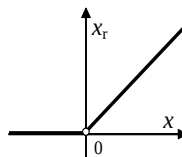


AC/DC претварач

Кола за усмеравање електричних сигнала представљају нелинеарне електричне мреже чија се улазно-излазна карактеристика може представити у два основна облика у зависности од тога да ли преносе само један или оба поларитета улазног сигнала. Другим речима, могуће су две врсте усмерава.

Једнострани усмерава (полуталасни усмерава) “пропушта” само сигнал једног одређеног поларитета. Графички приказ статичке карактеристика усмерава који на излаз “преноси” само сигнал позитивног поларитета, не мењајући притом његов знак, дат је на слици.

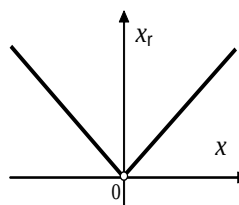
$$x_r(t) = \begin{cases} x(t), & x(t) \geq 0 \\ 0; & x(t) < 0 \end{cases}$$



Статичка карактеристика једностраног усмерава

Двострани усмерач (пуноталасни усмерач) остварује модуо-функцију. Учестаност основног хармоника сигнала на излазу је двоструко већа од учестаности сигнала на улазу овог елемента. Графички прикази статичке карактеристике таквог усмерача дат је на слици.

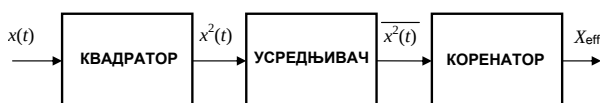
$$x_r(t) = \begin{cases} x(t); & x(t) \geq 0 \\ (-x(t)); & x(t) < 0 \end{cases} = |x_r(t)|$$



Статичка карактеристика двостраног усмерача

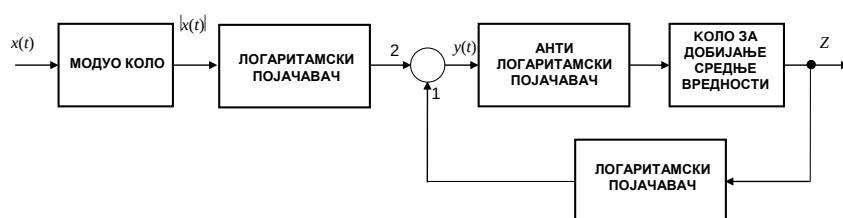
Средња вредност периодичног сигнала представља нулту (сталну, једносмерну) компоненту у његовом спектру, па се као коло за добијање средње вредности у аналогној мерној техници најчешће користи филтер пропусник ниских учестаности (*low-pass filter, LPF*). Карактеристике филтра одређују се на основу компромиса у погледу његове сложености, величине заостале наизменичне компоненте на излазу (*ripple*) и брзине одзива. Када се користе дигитални мерни инструменти, смањивање поигравања резултата мерења (*jitter*) постиже се применом аналого-дигиталних претварача интеграционог типа и подешавањем трајања мерног интервала тако да представља целобројни умножак периода мерних сигнала.

Мерење ефективне вредности периодичног сигнала произвољног таласног облика захтева сложенију обраду јер, у складу са дефиницијом подразумева нелинеарне операције: степеновање и кореновање. На слици је приказан блок-дијаграм мерног претварача чија је структура изведена из дефиниционе формуле као математичког модела.



Мерни претварач за мерење ефективне вредности

Овакав поступак је заснован на експлицитом методу моделовања карактеристике преноса мерног кола. Постоји и друга могућност заснована на примени логаритамског и антилогаритамског појачавача. Блок-дијаграм таквог мерног претварача приказан је на слици.



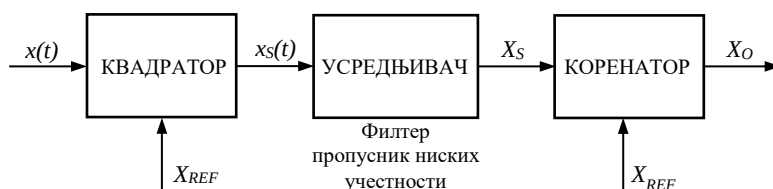
Мерни претварач за мерење ефективне вредности

3.2. Задаци

1. Нацртати блок-дијаграм експлицитног мерног претварача за мерење ефективне вредности наизменичне величине и написати његов математички модел.

РЕШЕЊЕ

Блок-дијаграм експлицитног мерног претварача за мерење ефективне вредности наизменичне величине приказан је на слици.



Математички модел претварача за мерење ефективне вредности наизменичне величине, чији је блок-дијаграм приказан на слици, чине једначине:

$$x(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(n\omega t + \Phi_n); \quad \omega = \frac{2\pi}{T},$$

$$x_S(t) = k_S \frac{x^2(t)}{X_{REF}},$$

$$X_S = k_F \frac{1}{T} \int_0^T x_S(t) dt,$$

$$X_O = k_R \sqrt{X_S X_{REF}},$$

где су k_S сачинилац преноса квадратора, k_F сачинилац преноса филтерског кола и k_R сачинилац преноса коренатора. На основу ових једначина следи:

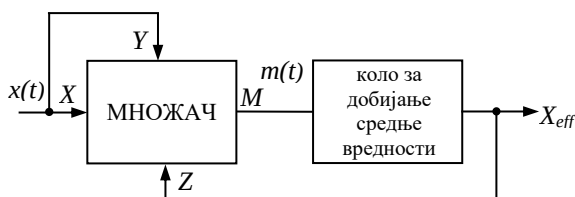
$$X_O = k_S k_F k_R \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} = k X_{eff},$$

$$X_{eff} = X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}.$$

2. Нацртати и објаснити блок-дијаграм имплицитног мерног претварача за мерење ефективне вредности наизменичне величине.

РЕШЕЊЕ

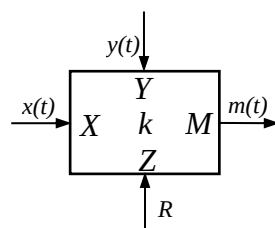
Блок-дијаграм имплицитног мерног претварача за мерење ефективне вредности наизменичне величине приказан је на слици.



Множач је коло са два улаза и једним излазом чија је карактеристика дата изразом:

$$m(t) = k_M \frac{x(t) \cdot y(t)}{R},$$

у којем $x(t)$ и $y(t)$ представљају улазне величине, $m(t)$ је излазна, R референтна величина, а k_M је константа множача која обезбеђује димензиону једнакост леве и десне стране једначине када величине $x(t)$, $y(t)$, $m(t)$ и R имају исту физичку димензију.



Увођењем повратне спреге са излаза M , преко кола за добијање средње вредности, на референтни улаз Z множача:

$$R = \overline{m(t)},$$

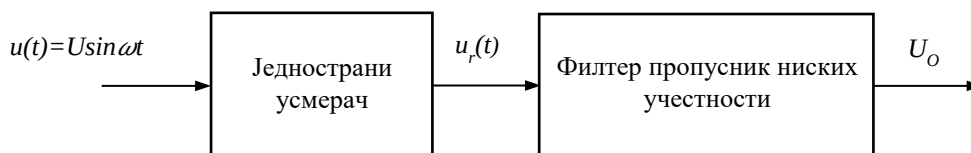
добија се, при $y(t)=x(t)$:

$$R = \sqrt{k_M \overline{x^2(t)}} = k X_{eff},$$

где је k константа мерила.

Овакав поступак омогућује једноставније техничко решење. Ограничење представљају неповољни услови за рад множача када је ефективна вредност улазне величине једнака или блиска нули.

3. Написати математички модел AC/DC претварача напона са **једностраним** усмерачем чији је блок-дијаграм приказан на слици.



РЕШЕЊЕ

Математички модел овог кола чине једначине којима су дефинисане карактеристике преноса појединих елемената:

$$u_r(t) = \begin{cases} ku(t) & \text{за } u(t) \geq 0 \\ 0 & \text{за } u(t) < 0 \end{cases} \quad (\text{једнострани усмерач}) \text{ и}$$

$$U_O = \overline{u_r(t)} \quad (\text{филтер пропусних ниских учестности}),$$

где је k сачинилац преноса усмерача. При побуди хармонијским сигналом чија је амплитуда једнака U , а период понављања једнак T :

$$u(t) = U \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

једносмерна компонента излазног напона U_O једнака је:

$$U_O = \frac{1}{T} \int_0^T u_r(t) dt = kU \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \frac{2\pi}{T} t dt = -\frac{kU}{2\pi} \cos \frac{2\pi}{T} t \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{kU}{\pi}.$$

Да би, при побуди синусним напоном, вредност излазног једносмерног напона U_O била једнака амплитуди U улазног напона, потребно је да буде $k=\pi$.

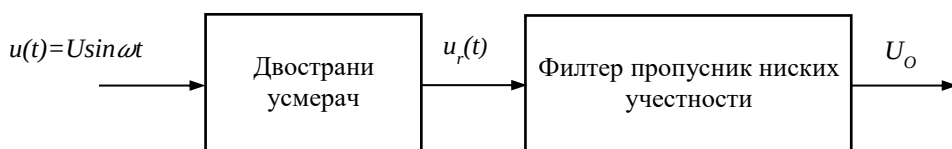
Да би вредност напона U_O била једнака ефективној вредности улазног напона:

$$U_{eff} = \frac{U}{\sqrt{2}},$$

потребно је да константа преноса усмерача, k , буде једнака:

$$k = \frac{\pi}{\sqrt{2}}.$$

4. Написати математички модел AC/DC претварача напона са **двостраним** усмерачем чији је блок-дијаграм приказан на слици.



РЕШЕЊЕ

Математички модел овог кола чине једначине :

$$u_R(t) = |u(t)| = \begin{cases} u(t); & u(t) \geq 0 \\ -u(t); & u(t) < 0 \end{cases}, \text{ за блок двостраног усмерача и}$$

$$U_O = k_F \overline{u_r(t)}, \text{ за филтер пропусних ниских учестаности.}$$

где је k_F сачинилац преноса филтерског кола.

При побуди синусним сигналом, чија је амплитуда једнака U , а кружна учестаност једнака $\omega = 2\pi/T$, једносмерна компонента излазног напона једнака је:

$$U_O = \frac{k_F}{T} \int_0^T u_r(t) dt = \frac{\omega k_F U}{\pi} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t dt = -\frac{k_F U}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2k_F}{\pi} U.$$

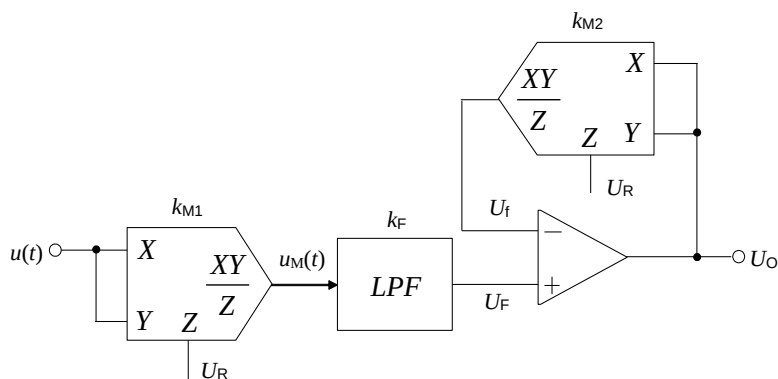
Да би вредност напона U_O била једнака амплитуди U улазног напона, потребно је да сачинилац преноса филтра, k_F , буде једнак:

$$k = \frac{\pi}{2}.$$

Да би излазни једносмерни напон бројевно био једнак ефективној вредности улазног напона потребно је да сачинилац преноса k_F буде једнак:

$$k_F = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}.$$

5. Написати математички модел претварача, којим се ефективна вредност улазног наизменичног напона пресликава на вредност једносмерног излазног напона, “по дефиницији” ове величине, приказан је на слици.



РЕШЕЊЕ

Операција степеновања остварена је применом аналогног множача у функцији квадратора. Операција кореновања је остварена применом множача у колу негативне повратне спреге операционог појачавача. Такав систем описан је једначинама:

$$u_M(t) = k_{M1} \frac{u^2(t)}{U_R},$$

где је k_{M1} сачинилац преноса првог множача,

$$U_F = k_F \overline{u_M(t)},$$

где је k_F сачинилац преноса филтра,

$$U_f = U_F \text{ и } U_f = k_{M2} \frac{U_O^2}{U_R}.$$

где је k_{M2} сачинилац преноса другог множача. На основу ових једначина следи:

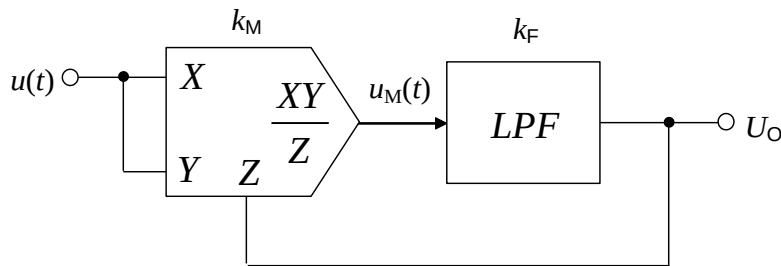
$$U_O = \sqrt{\frac{U_f U_R}{k_{M2}}} = \sqrt{\frac{U_F U_R}{k_{M2}}} = \sqrt{\frac{k_F}{k_{M2}} \overline{u_M(t)} U_R} = \sqrt{k_F \frac{k_{M1}}{k_{M2}} u^2(t)}.$$

Изразни напон U_O сразмеран је ефективној вредности напона $u(t)$. У овом случају, сачинилац преноса пресликавања $u(t) \rightarrow U_{eff}$ зависи само од сачиниоца преноса филтра пропусника ниских учестаности, k_F ,

а не зависи од сачиниоца преноса множача, ако су они упарени. Ако је $k_F = 1$, добија се:

$$U_O = U_{eff} = U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

6. Написати математички модел претварача за имплицитно мерење ефективне вредности наизменичног напона применом повратне спреге, приказаног је на слици.



РЕШЕЊЕ

Аналогни множач омогућује остваривање операције дизања на квадрат. Филтер пропусних ниских учестаности има улогу кола за добијање средње вредности пулсирајућег напона на излазу множача. Референтни улаз Z аналогног множача је искоришћен за остваривање негативне повратне спреге.

Математички модел овог система представљају једначине:

$$u_M(t) = k_M \frac{u^2(t)}{U_Z} \text{ за множач,}$$

$$U_O = k_F \overline{u_M(t)} \text{ за филтер и}$$

$$U_Z = U_O \text{ за повратну спрегу,}$$

на основу којих следи:

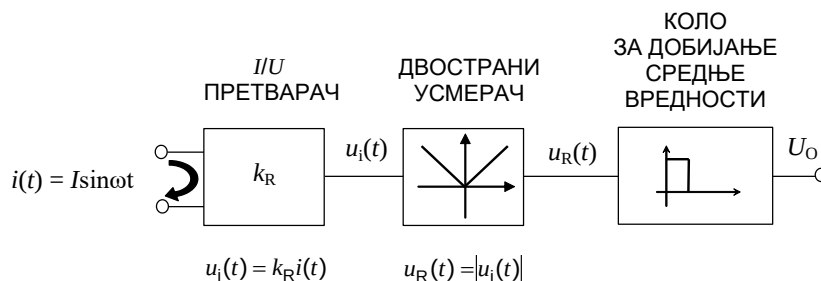
$$\overline{u_M(t)} = \frac{k_M}{U_Z} \overline{u^2(t)} = \frac{U_O}{k_F}, \text{ о односно}$$

$$U_Z^2 = k_M k_F \overline{u^2(t)},$$

Излазни напон U_O сразмеран је ефективној вредности напона $u(t)$.

$$U_O = U_Z = k \sqrt{u^2(t)}, k = \sqrt{k_F k_M}.$$

7. Написати математички модел мерног претварача наизменичне струје у једносмерни напон чији је блок дијаграм приказан је на слици.



РЕШЕЊЕ

Математички модел овог претварача чине једначине којима су дефинисане карактеристике преноса појединих елемената:

$$u_i(t) = k_R i(t) \text{ за } U/I \text{ претварач,}$$

$$u_R(t) = |u_i(t)| \text{ за двострани усмерач и}$$

$$U_O = \overline{u_R(t)} \text{ за филтер пропусних ниских учестаности.}$$

При побуди струјним сигналом синусног облика, чија је амплитуда једнака I , а учестаност једнака ω , $i(t) = I \sin \omega t$, једносмерна компонента излазног напона једнака је:

$$U_O = \frac{1}{T} \int_0^T u_R(t) dt = \frac{2k_R I}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t dt = -\frac{k_R I}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2k_R}{\pi} I, T = \frac{2\pi}{\omega},$$

односно:

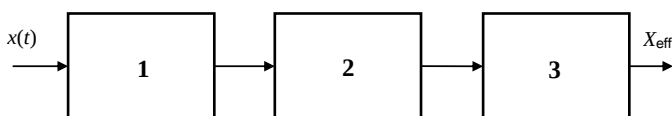
$$U_O = \frac{2\sqrt{2}k_R}{\pi} I_{eff}, I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}}.$$

Да би излазни једносмерни напон U_O , изражен у волтима, био једнак ефективној вредности улазне струје синусног таласног облика, изражене у милиамперима, потребно је да константа преноса U/I претварача, k_R , буде једнака:

$$k_R = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{V}{mA}.$$

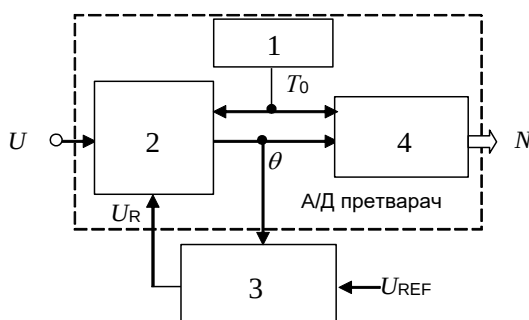
3.1. Питања за проверу знања

1. Повезати редне бројеве блокова мерног претварача ефективне вредности са одговарајућим називом.



- а) Квадратор. _____
- б) Коренатор. _____
- в) Усредњивач. _____

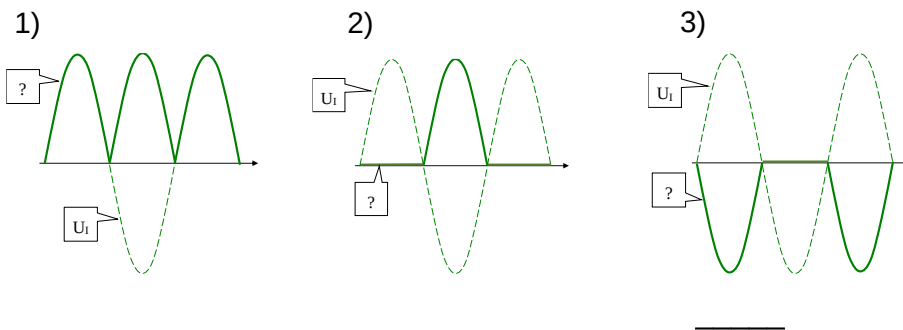
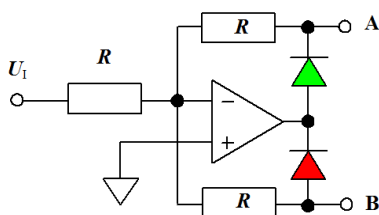
2. Повезати редне бројеве функционалних блокова дигиталног инструмента за мерење ефективне вредности са одговарајућим називима.



- а) Осцилатор. _____
- б) Претварач напона у временски домен. _____
- в) Коло за усредњавање. _____
- г) Бројач. _____

3. На слици је приказан мерни претварач наизменичног напона у једносмерни пулсирајући. Повезати ознаке напона са одговарајућим временским облицима.

- а) U_A , б) U_B , в) U_{AB} .



4. Повезати параметре сигнала синусног облика,

$$x(t) = X \sin(\omega t + \varphi),$$

са одговарајућим вредностима:

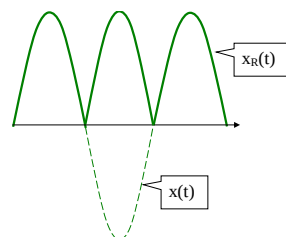
а) $\sqrt{2}$, б) $\frac{2}{\pi} X$, в) $\frac{X}{\sqrt{2}}$, г) $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

- 1) Средња апсолутна вредност. _____
- 2) Ефективна вредност. _____
- 3) Фактор врха. _____
- 4) Фактор облика. _____

5. Повезати карактеристике сигнала, $x_R(t)$, ако је на улаз једностраног усмерача доведен сигнал:

$$x(t) = X \sin \omega t; \quad \omega = \frac{2\pi}{T};$$

- а) $2\frac{X}{\pi}$, 1) Средња вредност. _____
- б) $\frac{X}{\sqrt{2}}$, 2) Ефективна вредност. _____
- в) X . 3) Максимална вредност. _____



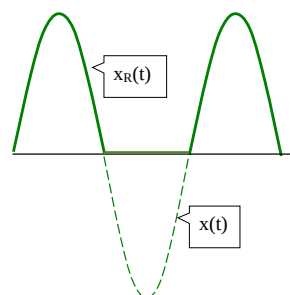
6. Повезати карактеристике сигнала, $x_R(t)$, ако је на улаз једностраног усмераача доведен сигнал:

$$x(t) = X \sin \omega t; \omega = \frac{2\pi}{T};$$

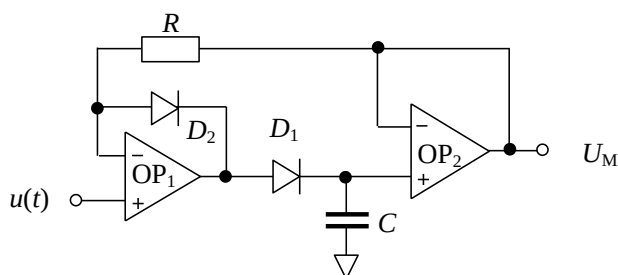
а) $\frac{X}{\pi}$, 1) Средња вредност. _____

б) X , 2) Ефективна вредност. _____

в) $\frac{X}{2}$, 3) Максимална вредност. _____



7. На слици је приказан AC/DC претварач напона:

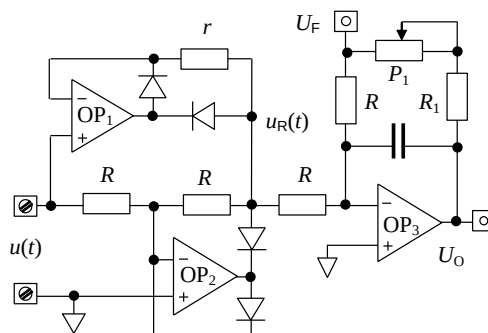


а) са једностраним усмерачем,

б) са детектором вршне вредности,

в) са двостраним усмерачем.

8. На слици је приказан AC/DC претварач напона:

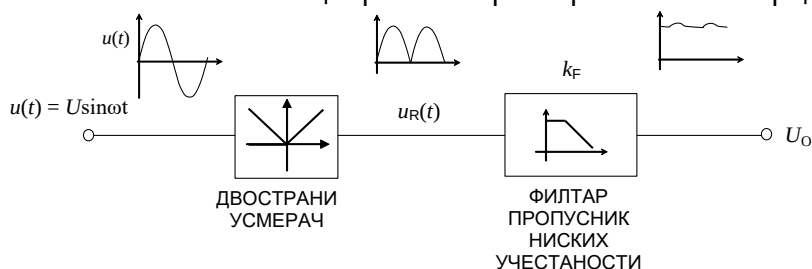


а) са једностраним усмерачем,

б) са детектором вршне вредности,

в) са двостраним усмерачем.

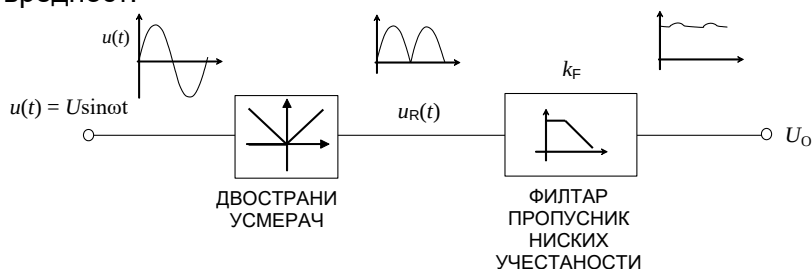
9. Излазни напон, U_o , претварача са двостраним усмерачем, приказаног на слици, пропорционалан је амплитуди улазног напона ако сачинилац преноса претварача k има вредност:



$$u_R(t) = |u(t)| = \begin{cases} u(t); & u(t) \geq 0 \\ -u(t); & u(t) < 0 \end{cases}$$

- а) $\frac{\pi}{2}$, б) $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$, в) π , г) $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

10. Излазни напон, U_o , претварача са двостраним усмерачем, приказаног на слици, пропорционалан је ефективној вредности улазног напона ако сачинилац преноса претварача k има вредност:



$$u_R(t) = |u(t)| = \begin{cases} u(t); & u(t) \geq 0 \\ -u(t); & u(t) < 0 \end{cases}$$

- а) $\frac{\pi}{2}$, б) $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$, в) π , г) $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

11. Ако инструмент има класу тачности 0,1 то значи да је грешка мерења:

- а) $\pm 0,1\%$, б) $\pm 0,5\%$, в) $\pm 1\%$.

12. Ако инструмент има класу тачности 0,2 то значи да је грешка мерења:

- а) $\pm 1\%$, б) $\pm 0,1\%$, в) $\pm 0,2\%$.

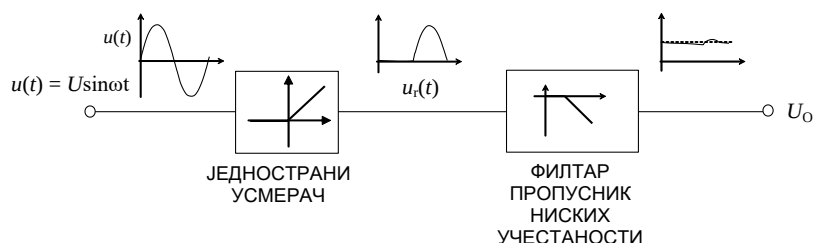
13. Ако инструмент има класу тачности 0,5 то значи да је грешка мерења:

- а) $\pm 0,5\%$, б) $\pm 1\%$, в) $\pm 0,1\%$.

14. Ако инструмент има класу тачности 1 то значи да је грешка мерења:

- а) $\pm 0,5\%$, б) $\pm 1\%$, в) $\pm 0,1\%$.

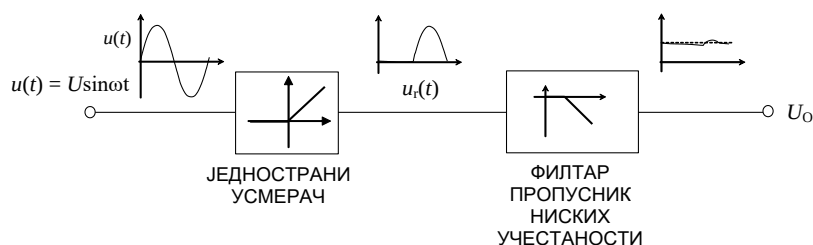
15. Излазни напон, U_o , претварача са једностраним усмерачем, приказаног на слици, пропорционалан је амплитуди улазног напона ако сачинилац преноса претварача k има вредност:



$$u_r(t) = \begin{cases} ku(t); & u(t) \geq 0 \\ 0; & u(t) < 0 \end{cases}$$

- а) $\frac{\pi}{2}$, б) $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$, в) π , г) $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

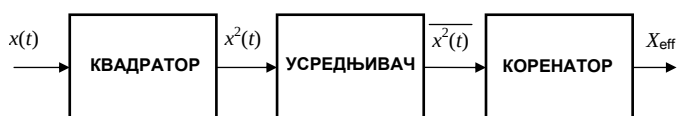
16. Излазни напон, U_o , претварача са једностраним усмерачем, приказаног на слици, пропорционалан је ефективној вредности улазног напона ако сачинилац преноса претварача k има вредност:



$$u_r(t) = \begin{cases} ku(t); & u(t) \geq 0 \\ 0; & u(t) < 0 \end{cases}$$

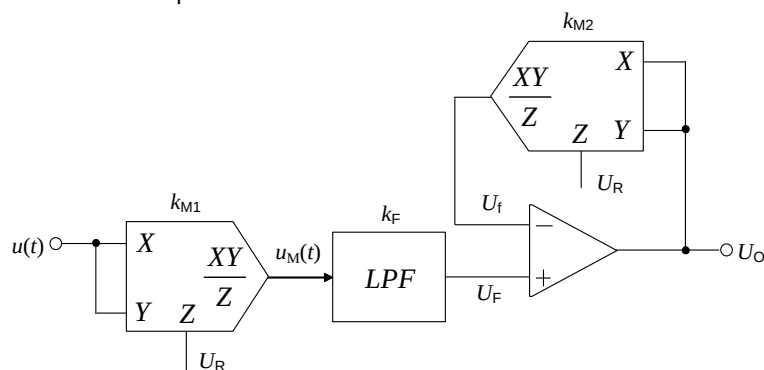
- а) $\frac{\pi}{2}$, б) $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$, в) π , г) $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$.

17. Како се зове метод мерења наизменичних величина приказан на слици?



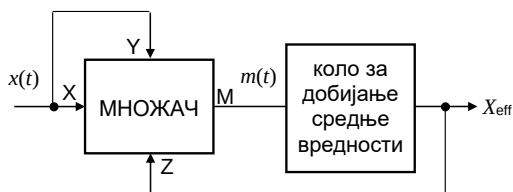
- а) Имплицитни метод,
- б) Експлицитни метод,
- в) Термички метод.

18. Како се зове метод мерења ефективне вредности напона приказан на слици?



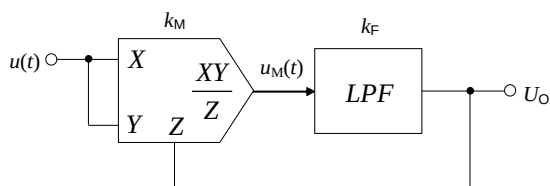
- а) Имплицитно мерење,
- б) Мерење по дефиницији,
- в) Мерење на бази топлотног ефекта.

19. Како се зове метод мерења наизменичних величина приказан на слици?



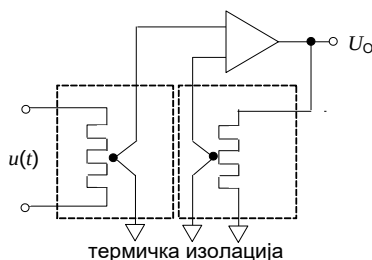
- а) Имплицитно мерење,
- б) Мерење по дефиницији,
- в) Мерење на бази топлотног ефекта.

20. Како се зове метод мерења наизменичних величина приказан на слици?



- а) Метод на бази топлотног ефекта,
- б) Експлицитни метод,
- в) Имплицитни метод.

21. Како се зове метод мерења наизменичних величина приказан на слици?



- а) Метод на бази топлотног ефекта,
- б) Експлицитни метод,
- в) Имплицитни метод.

22. Зашто се примењује специјални отпорник шант и како се везује са амперметром?

- а) Примењује се за компензацију промене отпорности намотаја амперметра са покретним калемом.
- б) Примењује се када амперметром треба да се мере струје већих јачина.
- в) Везује се на ред са амперметром.
- г) Везује се паралелно са амперметром.

23. У електротехници, као мера интензитета променљивих величина узима се еквивалентна по енергијском дејству _____ величина.

24. Однос ефективне и средње апсолутне вредности наизменичног сигнала:

$$\frac{X_{max}}{X_{eff}},$$

представља показатељ _____.

25. Однос ефективне и средње апсолутне вредности наизменичног сигнала:

$$\frac{X_{eff}}{X_r},$$

представља показатељ _____.

26. Струјни мерни трансформатор користи се за мерење _____ наизменичних струја.

4.

МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СНАГЕ И ЕНЕРГИЈЕ

4.1. Теоријска основа

Електрична снага је по својој природи брзина којом се електрична енергија ствара (генерише), преноси, односно користи (претвара у неки други други облик). Веза између снаге $p(t)$ и енергије, W , одређена је диференцијалном једначином првог реда:

$$p(t) = \frac{dW}{dt}.$$

Тренутна електрична снага која се предаје, односно троши, једнака је производу тренутне вредности напона $u(t)$, који делује између крајева који представљају приступ извора енергије, и тренутне вредности струје $i(t)$, коју извор даје, односно која протиче кроз потрошач:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Одговарајуће јединице имају посебне називе. То су ват (W), за снагу, и џул (J) за енергију. Између њих постоји веза:

$$J = Ws.$$

Када су напон и струја непроменљиви, електрична енергија се преноси сталном брзином:

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2,$$

где је R величина која се назива електрична отпорност. Она карактерише неповратно претварање електричне енергије у неки други облик, процесом који се у потрошачу одвија.

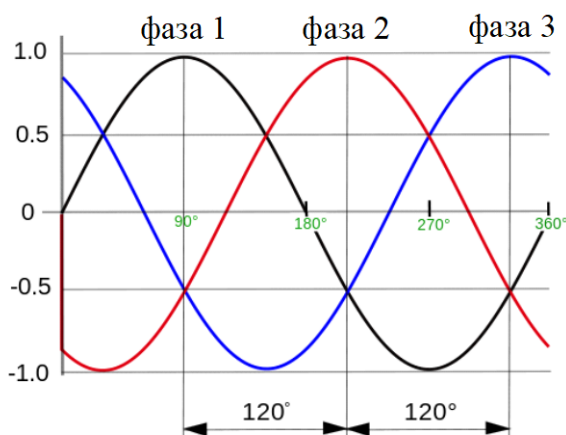
Када су $u(t)$ и $i(t)$ периодично променљиве величине електрична снага $p(t)$ је такође периодична величина. Средња вредност тренутне снаге, посматране током временског интервала чије је трајање једнако

једном периоду напона на крајевима кола, представља активну снагу (*active power*) P :

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt.$$

Генератори и пријемници са којима смо се до сада сусретали имали су два прикључка. Такви генератори и пријемници називају се монофазни или једнофазни, а системи у којима делују монофазни или једнофазни системи. Међутим, могуће је реализовати и генераторе и пријемнике са више од два прикључка. Такви генератори и пријемници се називају полифазни или вишефазни елементи. Системи у којима они делују називају се полифазни односно вишефазни системи.

У трофазној електричној мрежи напони су фазно померени за угао 120° ($2\pi/3$), као што је то приказано на слици.



Временски дијаграм напона у трофазном систему

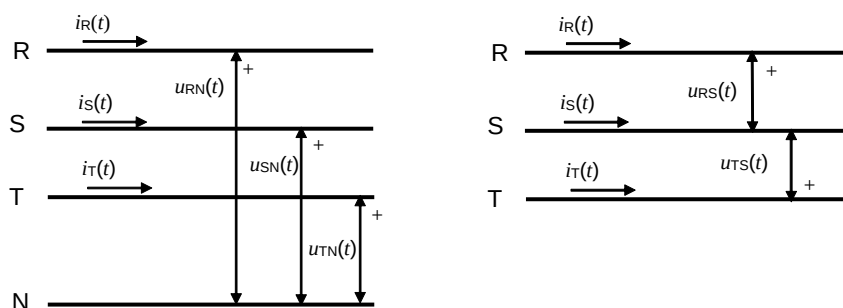
У трофазном четворожичном систему, чије су фазе означене са R , S и T , важи:

$$p(t) = u_{RN}(t)i_R(t) + u_{SN}(t)i_S(t) + u_{TN}(t)i_T(t),$$

односно:

$$P = U_{RN} \cos \varphi_R + U_{SN} \cos \varphi_S + U_{TN} \cos \varphi_T,$$

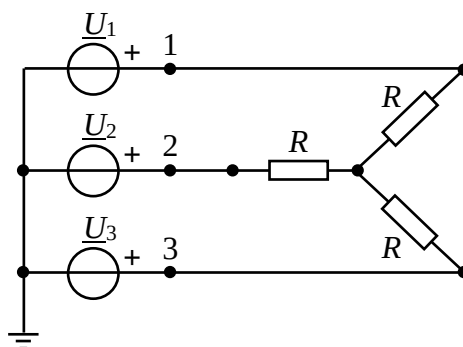
где су U_{RN} , U_{SN} и U_{TN} ефективне вредности фазних напона, а I_R , I_S и I_T ефективне вредности фазних струја.



Трофазни систем

Под номиналним напоном трофазног система, $U = 400 \text{ V}$, подразумева се ефективна вредност међуфазног напона. Фазни напон, односно напон између било које од три фазе и нуле, је $\sqrt{3}$ пута мањи и износи око 230 V . Трофазни потрошач се састоји од три импедансе које се могу везати у звезду (Y) или троугао (Δ). Уколико су све три импедансе потрошача једнаке, за потрошач се каже да је симетричан. Тада и струје кроз импедансе чине симетричан систем. Трофазни систем код кога и напони и струје чине симетричне системе (истог редоследа: директног или инверзног) назива се симетричан (уравнотежен) трофазни систем.

Трофазни систем чији су и генератор и потрошач везани у звезду приказан је на слици.



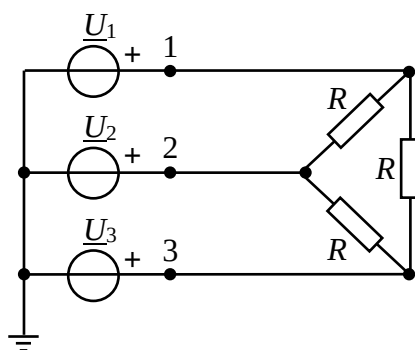
Веза у звезду

Када је потрошач везан у звезду напони на импедансама једнаки су фазним напонима.

Ако је при томе трофазни систем, приказан на слици, симетричан, тада су ефективне вредности напона свих генератора исте

и интензитети свих струја исти, па су и снаге свих потрошача исте. Због тога је, у том случају, довољно анализирати само једну фазу. Све остале струје се налазе фазним померањем прве струје за -120° , односно -240° .

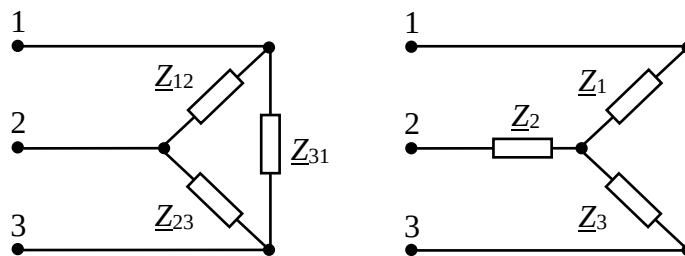
Трофазни потрошачи, осим у звезду, се могу везати и у троугао, као што је приказано на слици.



Веза у троугао

Када је потрошач везан у троугао напони на импедансама су једнаки међуфазним напонима.

Често је за лакше разумевање и анализу кола потребно потрошач везан у троугао трансформисати у потрошач везан у звезду или обрнуто. Ова трансформација је дозвољена ако се при томе не мењају струје и напони у остатку кола.



Трансформација троугла у звезду

Изрази за трансформацију троугла у звезду су:

$$\underline{Z}_1 = \frac{\underline{Z}_{12}\underline{Z}_{31}}{\Delta_Z}, \underline{Z}_2 = \frac{\underline{Z}_{12}\underline{Z}_{23}}{\Delta_Z}, \underline{Z}_3 = \frac{\underline{Z}_{31}\underline{Z}_{23}}{\Delta_Z},$$

где је

$$\Delta_Z = \underline{Z}_{12} + \underline{Z}_{23} + \underline{Z}_{31}.$$

Изрази за трансформацију звезде у троугао су:

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\Delta_T}{\underline{Z}_3}, \underline{Z}_{23} = \frac{\Delta_T}{\underline{Z}_1}, \underline{Z}_{31} = \frac{\Delta_T}{\underline{Z}_2},$$

где је

$$\Delta_T = \underline{Z}_1\underline{Z}_2 + \underline{Z}_2\underline{Z}_3 + \underline{Z}_3\underline{Z}_1.$$

У случају симетричних потрошача, $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}_Y$ и $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{31} = \underline{Z}_\Delta$, након трансформације звезде у троугао, на основу претходних израза, добија се да су импедансе пријемника везаног у троугао три пута веће од импеданси пријемника везаног у звезду:

$$\underline{Z}_\Delta = 3\underline{Z}_Y.$$

4.2. Задаци

1. Колико електричне енергије потроши за 90 минута сијалица кроз коју тече струја јачине 0,25 A, ако је прикључена на напон 220 V?

РЕШЕЊЕ

$$W = Pt = UIt = 220 \text{ V} \cdot 0,25 \text{ A} \cdot 5400 \text{ s} = 297 \text{ kJ}.$$

2. Колико електричне енергије троши проточни бојлер снаге 15 kW који ради 12 минута?

РЕШЕЊЕ

$$W = Pt = 15 \text{ kW} \cdot 0,2 \text{ h} = 3 \text{ kWh}.$$

3. Колико електричне енергије потроши сијалица чија је отпорност 10 Ω за 1 сат ако је прикључена на напон 100 V?

РЕШЕЊЕ

$$W = \frac{U^2}{R} t = \frac{(100 \text{ V})^2}{10 \Omega} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}.$$

4. Колика је отпорност сијалице која за 1 сат потроши 1 kWh електричне енергије, ако је прикључена на напон 100 V?

РЕШЕЊЕ

$$W = \frac{U^2}{R} t \Leftrightarrow R = \frac{U^2}{P} t = \frac{(100 \text{ V})^2}{1 \text{ kWh}} \cdot 1 \text{ h} = 10 \Omega$$

5. Колико електричне енергије потроши сијалица отпорности 10 Ω за 30 минута ако кроз њу тече струја јачине 10 A?

РЕШЕЊЕ

$$W = RI^2 t = 10 \Omega \cdot (10 \text{ A})^2 \cdot 0,5 \text{ h} = 500 \text{ Wh} = 0,5 \text{ kWh}.$$

6. Колико електричне енергије потроши електрична грејалица снаге 2,5 kW која је укључена 2 сата?

РЕШЕЊЕ

$$W = Pt = 2,5 \text{ kW} \cdot 2 \text{ h} = 5 \text{ kWh}.$$

7. Електрични грејач чија је отпорност 10Ω напаја се струјом од 2 A. Колика се количина топлоте потроши на грејачу за 2 сата?

РЕШЕЊЕ

$$W = RI^2t = 10 \Omega \cdot (2 \text{ A})^2 \cdot 2 \text{ h} = 80 \text{ Wh}.$$

8. Грејач електричне пећи је прорачунат за снагу од 0,5 W и напон од 220 V. Колики је отпор грејача?

РЕШЕЊЕ

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220 \text{ V})^2}{0,5 \text{ Wh}} = 96,8 \text{ k}\Omega.$$

9. Грејач електричне пећи је прорачунат за снагу од 4,4 kW и напон од 220 V. Колика струја може да протиче кроз овај грејач?

РЕШЕЊЕ

$$P = UI \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{4,4 \text{ kW}}{220 \text{ V}} = 20 \text{ A}.$$

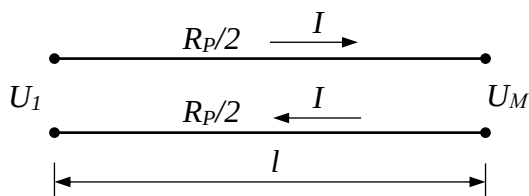
10. Спирала електричне пегле чији је отпор 85Ω прикључена је на напон 220 V. Колика се електрична енергија претвори у топлоту за 2 сата?

РЕШЕЊЕ

$$W = \frac{U^2}{R}t = \frac{(220 \text{ V})^2}{85 \Omega} \cdot 2 \text{ h} = 1138,8 \text{ Wh} \approx 1,14 \text{ kWh}.$$

11. Одредити минимални попречни пресек бакарних проводника, двожицне електричне линије дуге $l = 200 \text{ m}$, којом се напаја електромотор једносмерне струје, који узима снагу од $P_M = 4560 \text{ W}$ и чији је напон напајања $U_I = 110 \text{ V}$. Специфична проводност бакра

једнака је $\sigma_{Cu} = 57 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$. Максимални дозвољен пад напона на водовима за напајања мотора износи 6%.



РЕШЕЊЕ

Минимални напон на мотору, U_M , износи 94 % од напона U_I :

$$U_M = U_I \cdot 0,94 = 103,4 \text{ V},$$

тако да је максимални дозвољени пад напона на проводницима:

$$U_P = U_I - U_M = 110 \text{ V} - 103,4 \text{ V} = 6,6 \text{ V}.$$

Струја која тече кроз коло може се добити из снаге мотора:

$$P_M = U_M I \Rightarrow I = \frac{P_M}{U_M} = \frac{4560 \text{ W}}{103,4 \text{ V}} = 44,1 \text{ A}.$$

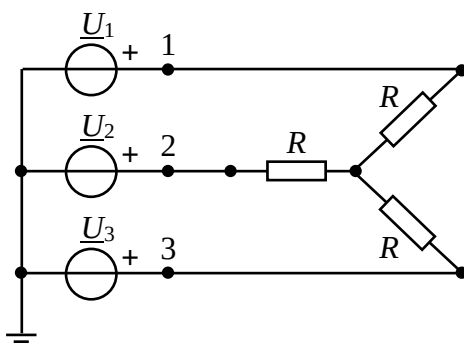
На основу максималног дозвољеног пада напона на проводницима и струје које тече кроз коло може се израчунати максимална отпорност проводника:

$$R_P = \frac{U_P}{I} = \frac{6,6 \text{ V}}{44,1 \text{ A}} = 149,65 \text{ m}\Omega \approx 150 \text{ m}\Omega.$$

Из формуле за отпорност проводника добија се минимална вредност попречног пресека напојних водова мотора:

$$R_P = \frac{1}{\sigma_{Cu}} \frac{l}{S} \Rightarrow S = \frac{l}{\sigma_{Cu} R} = \frac{2 \cdot 200 \text{ m}}{57 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2} \cdot 150 \text{ m}\Omega} = \frac{400}{8,55} \text{ mm}^2 = 46,8 \text{ mm}^2.$$

12. На симетричну трофазну мрежу напона $U = 400 \text{ V}$, прикључена су три отпорника отпорности $R = 23 \Omega$. Ови отпорници су везани у звезду. Одредити струје у отпорницима и укупну снагу сва три отпорника.

**РЕШЕЊЕ**

Под номиналним напонам трофазног система, $U=400\text{ V}$, подразумева се ефективна вредност међуфазног напона. Фазни напон, односно напон између било које од три фазе и нуле, је $\sqrt{3}$ пута мањи и износи око 230 V .

При спреси потрошача, у нашем случају три отпорника идентичне вредности, у звезду ефективне вредности струја које теку кроз сва три отпорника су исте и износе:

$$I_Y = \frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R} = \frac{U_3}{R} = \frac{\frac{400\text{ V}}{\sqrt{3}}}{23\ \Omega} = \frac{400\text{ V}}{23\sqrt{3}\ \Omega} = 10,04\text{ A}.$$

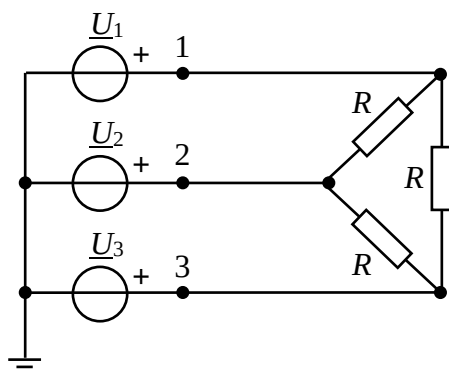
Снага појединачних отпорника једнака је:

$$P_{YR} = RI_Y^2 = 23\ \Omega \cdot (10,04\text{ A})^2 = 2318,44\text{ W}.$$

Укупна снага сва три отпорника, везана у звезду, је три пута већа и износи:

$$P = 3P_{YR} = 3 \cdot 2318,44\text{ W} = 6955,32\text{ W} \approx 6,95\text{ kW}.$$

13. На симетричну трофазну мрежу напона $U = 400\text{ V}$, прикључена су три отпорника отпорности $R = 20\ \Omega$. Ови отпорници су везани у троугао. Одредити струје у отпорницима и укупну снагу сва три отпорника.

**РЕШЕЊЕ**

Под номиналним напонем трофазног система, $U = 400 \text{ V}$, одразумева се ефективна вредност међуфазног напона. Фазни напон, односно напон између било које од три фазе и нуле, је $\sqrt{3}$ пута мањи и износи око 230 V .

При спрези потрошача, у нашем случају три отпорника идентичне вредности, у троугао ефективне вредности струја које теку кроз сва три отпорника су исте и износе:

$$I_{\Delta} = \frac{U}{R} = \frac{400 \text{ V}}{20 \Omega} = 20 \text{ A}.$$

Снага појединачних отпорника једнака је:

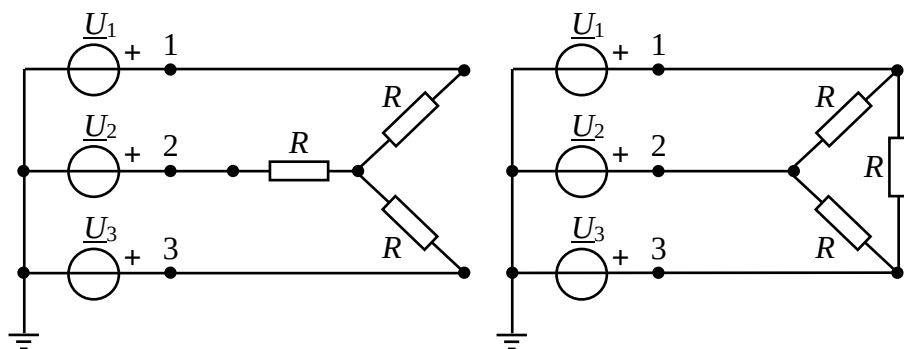
$$P_{\Delta R} = RI_{\Delta}^2 = 20 \Omega \cdot (20 \text{ A})^2 = 8000 \text{ W} = 8 \text{ kW}.$$

Укупна снага сва три отпорника, везана у звезду, је три пута већа и износи:

$$P = 3P_{\Delta R} = 3 \cdot 8 \text{ kW} = 24 \text{ kW}.$$

14. На симетричну трофазну мрежу напона $U = 400 \text{ V}$, прикључена су три отпорника идентичне отпорности $R = \frac{40}{\sqrt{3}} \Omega$ одредити :

- струје у отпорницима,
- појединачне снаге отпорника и укупну снагу сва три отпорника ако су они повезани у звезду и троугао,
- упоредити однос укупних снага добијених у оба случаја.

**РЕШЕЊЕ**

а) При спреси отпорника у звезду ефективне вредности струја кроз отпорнике су:

$$I_Y = \frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R} = \frac{U_3}{R} = \frac{\frac{400\text{ V}}{\sqrt{3}}}{\frac{40}{\sqrt{3}}\ \Omega} = \frac{400\text{ V}}{40\sqrt{3}\ \Omega} = 10\text{ A}.$$

При спреси отпорника у троугао ефективне вредности струја кроз отпорнике су:

$$I_\Delta = \frac{U}{R} = \frac{400\text{ V}}{\frac{40}{\sqrt{3}}\ \Omega} = 10\sqrt{3}\text{ A} = 17,3\text{ A}.$$

б) Снаге појединачних отпорника при спреси у звезду су:

$$P_{YR} = RI_Y^2 = \frac{40}{\sqrt{3}}\ \Omega \cdot (10\text{ A})^2 = 2312,14\text{ W}.$$

Укупна снага сва три отпорника, везана у звезду, је три пута већа и износи:

$$P_Y = 3P_{YR} = 3 \cdot 2312,14\text{ W} = 6936,42\text{ W} \approx 6,9\text{ kW}.$$

Снаге појединачних отпорника при спреси у троугао су:

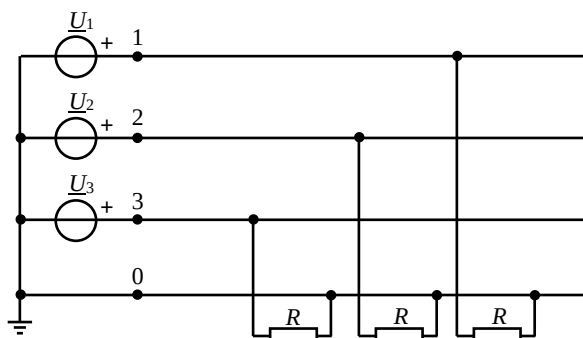
$$P_{\Delta R} = RI_\Delta^2 = \frac{40}{\sqrt{3}}\ \Omega \cdot (17,3\text{ A})^2 = 6920\text{ W} \approx 6,9\text{ kW}.$$

Укупна снага сва три отпорника, везана у звезду, је три пута већа и износи:

$$P_\Delta = 3P_{\Delta R} = 3 \cdot 6,9\text{ kW} = 20,7\text{ kW}.$$

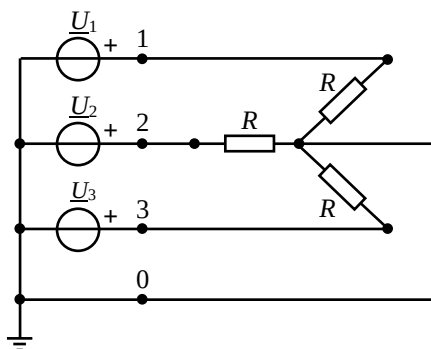
в) Укупна снага отпорника при спреси у троугао је, приближно, три пута већа од укупне снаге отпорника при спреси у звезду, $P_{\Delta} = 3P_Y$.

15. На симетричну трофазну мрежу фазних напона $U_1 = U_2 = U_3 = 230V$ прикључена су три једнофазна пријемника истих отпорности $R = 11,5 \Omega$. Одредити струје отпорника и њихове снаге.



РЕШЕЊЕ

Описана веза три једнофазна пријемника може се интерпретирати као симетричан трофазни пријемник везан у звезду са уземљеним звездиштем.



Пошто су отпорници у свим фазама исти, коло је симетрично и може се анализирати свођењем на једну фазу. Ефективне вредности струја кроз отпорнике једнаке су:

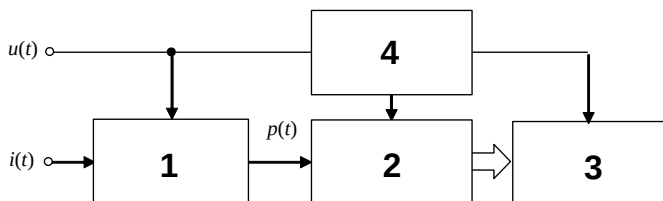
$$I_R = \frac{U_I}{R} = \frac{230 V}{11,5 \Omega} = 20 A.$$

Снага једног једнофазног пријемника износи:

$$P_R = RI_R^2 = 11,5 \Omega \cdot (20)^2 = 2645 W = 2,645 kW.$$

4.3. Питања за проверу знања

1. Повезати редни број блока на слици са одговарајућим називом.



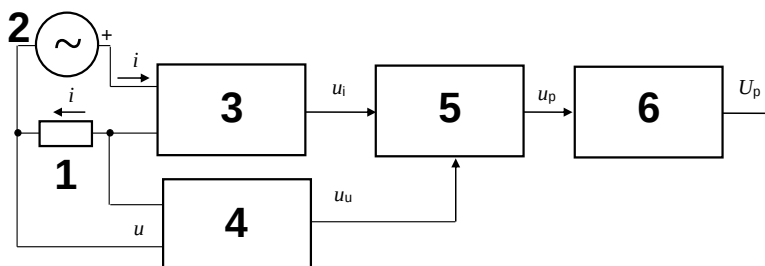
а) Интегратор.

б) Приказивач.

в) Множач.

г) Управљачка јединица.

2. Повезати редне бројеве елемената у блок шеми система за мерење снаге са одговарајућим називом.



а) Прилагођење струјног мерног сигнала.

б) Извор напона напајања.

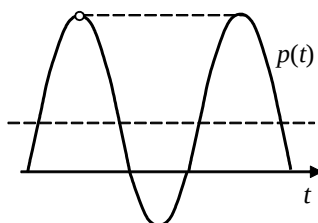
в) Прилагођење напонског мерног сигнала.

г) Управљачка јединица.

д) Множач.

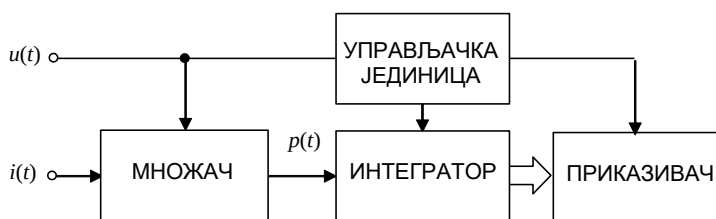
ђ) Коло за добијање средње вредности.

3. Уписати одговарајуће мерне јединице за наведене снаге:
- а) Активна снага (P). _____
- б) Реактивна снага (Q). _____
- в) Комплексна снага (S). _____
4. Ако су напон и струја синусне (простопериодичне) функције времена, $P = UI \cos \varphi$ представља израз за:
- а) привидну снагу, б) реактивну снагу, в) активну снагу.
5. Средња вредност наизменичне снаге $p(t)$ унутар сваке осцилације једнака је:



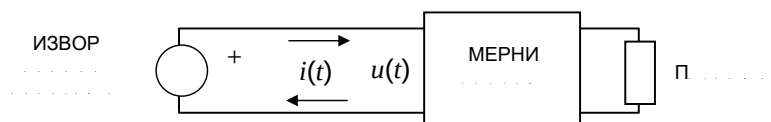
- а) привидној снази, б) реактивној снази, в) активној снази.
6. Ватметар се користи за мерење:
- а) електричне снаге,
- б) електричног потенцијала,
- в) електричне енергије.
7. Чему је једнака ефективна вредност снаге?
- а) $P = U_{ef} I_{ef}$, б) $P = \frac{U_{ef} I_{ef}}{\sqrt{2}}$,
- в) $P = \frac{U_m I_m}{2}$, г) $P = \frac{U_m I_m}{\sqrt{2}}$.
8. Производ ефективне вредности струје и напона представља:
- а) активну снагу, б) реактивну снагу, в) привидну снагу.

9. На слици је приказан блок дијаграм:



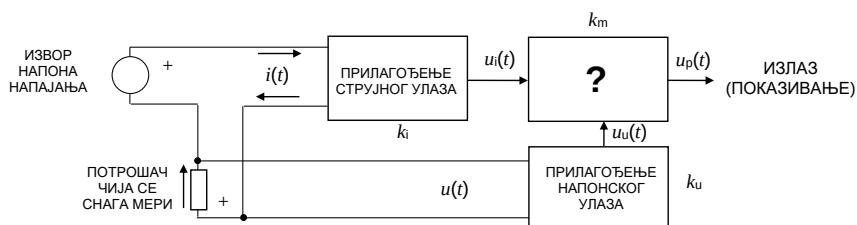
- а) уређаја за мерење електричне снаге,
- б) уређаја за мерење електричне енергије.

10. На слици је приказан блок дијаграм:



- а) једнака је снази коју узима потрошач,
- б) није једнака снази коју узима потрошач.

11. Основну функционалну јединицу (?) мерила електричне снаге чини:



- а) диференцијатор аналогних величина,
- б) множач аналогних величина,
- в) интегратор аналогних величина,
- г) делитељ аналогних величина.

12. У трофазној електричној мрежи напони су фазно померени за угао:
- а) 120° , б) 180° ,
в) 60° , г) 240° .
13. Мерење електричне _____ се превасходно врши са циљем обрачуна трошкова за преузету енергију.
14. _____ снага је реална снага која се преноси од извора електричне енергије потрошачу, односно од једног дела електроенергетског система другом.
15. Средња вредност тренутне снаге, посматране током временског интервала чије је трајање једнако једном периоду напона на крајевима кола, представља _____ снагу.
16. Када су напон и струја непроменљиви, електрична енергија се преноси _____ брзином.
17. Мера брзине којом се електрична енергија преноси од једног елемента (кола, система) другом назива се _____ .
18. Подесиви еталонски уређај којим се остварује испитивање ватметара и мерних претварача наизменичних величина назива се _____ .
19. Мерење електричне енергије остварује се _____ измерене електричне снаге током одређеног временског интервала.

5. СЕНЗОРИ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА

5.1. Теоријска основа

Отпорнички сензори се примењују за мерење величина које су у вези са деловањем механичке силе или температуре. Праве се од метала или полупроводника. Отпор металних сензора одређује се на основу формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где је R [Ω] отпор на номиналној температури амбијента ($t = 20$ °C), ρ [Ωm] је специфични отпор, који зависи од особина материјала, од кога је отпорник направљен, l је дужина отпорника [m], и S [m^2] је попречни пресек отпорника.

Деловање механичке силе одражава се на отпорнички сензор као промена његове дужине l и пресек S . Осетљивост на промену дужине l је константна:

$$\frac{\Delta R}{\Delta S} = \frac{\rho}{S},$$

док је осетљивост на линеарну промену попречног пресека нелинеарна:

$$\frac{\Delta R}{\Delta S} = -\rho \frac{l}{S}.$$

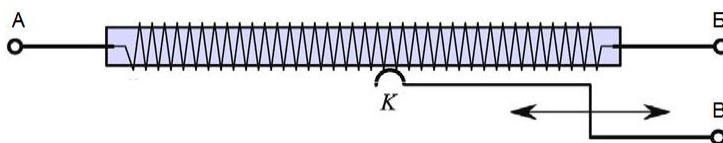
Основно својство свих отпорника је да им отпор у мањој или већој мери зависи од температуре. Зависност отпора од температуре је непожељан ефекат када је у питању мерење механичких величина, али се користи за реализацију температурних сензора.

Термистор је осетљиви отпорник који се прави од чистог германијума, оксида метала хрома, кобалта, гвожђа, никла и других.

Термистори имају веће отпоре у односу на отпоре метала за исту температуру. За већину термистора отпор опада са порастом температуре, што значи да је температурни коефицијент отпора негативан. Такви термистори се називају *NTC* отпорници (*Negative Temperature Coefficient*). Температурни коефицијент термистора може бити и позитиван, као што је код метала. Тада је реч о *PTC*-отпорницима (*Positive Temperature Coefficient*).

Принцип рада сензора са топлотом жицом заснива се на промени електричног отпора услед струјања флуида, око топле жице, кроз коју протиче струја. Жица се хлади струјањем гасовитог флуида, при чему је промена отпорности пропорционална брзини флуида.

Од свих отпорничких сензора за производна мерења се највише користе **потенциометарски сензори**. Принцип рада потенциометара се заснива на промени отпора услед промене положаја клизног контакта. Омски отпор се мења са променом дужине проводника, што доводи до промене потенцијала између две тачке када се на крајеве потенциометра А и Б доведе напон.



Потенциометарски сензор

Сензор у облику потенциометра је погодан за мерење механичких величина, јер омогућава мерења дужина и углова. Отпор се мења пропорционално линеарном или угаоном померању при кретању клизача.

Ако је r део отпора потенциометра који је пропорционалан деловању неке механичке величине и ако се излаз потенциометра води на мерни инструмент који има бесконачно велику улазну отпорност он неће оптерећивати потенциометарски сензор, тако да је статичка карактеристика сензора линеарна функција, а излазни напон је:

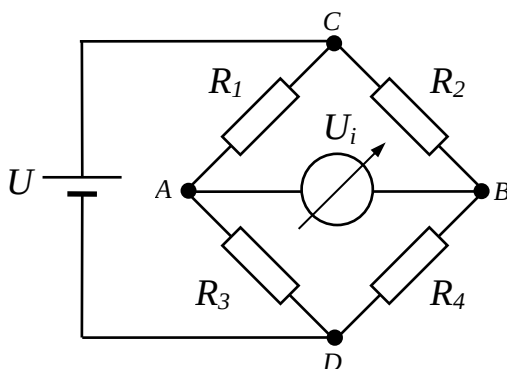
$$U_i = U \frac{r}{R}.$$

Осетљивост ових типова сензора ограничена је додирном површином клизача односно дебљином отпорне жице.

Витстонов мост састоји се од четири гране са отпорницимани извора за напајање који се налази у једној дијагонали моста. Уколико је вредност отпорника R_4 непозната, његова вредност може да се одреди из услова равнотеже моста, која се постиже подешавањем вредности:

$$R_4 = \frac{R_3 R_2}{R_1},$$

отпорника у једној или у обе гране моста. Када је мост у равнотежи, важи $V_{R3}=V_{R4}$ и $V_{R3}=V_{R4}$, а непозната отпорност може да се одреди из услова:



Витстонов мост

Витстонов мост је нашао примену код мерења промене отпорности мерних трака, до које долази услед напрезања (деформације).

Мерне траке су посебна врста отпорничких сензора. Принцип рада се заснива на промени отпорности траке услед промене дужине и попречног пресека при њеном издужењу или сабијању.

Рад **капацитивних сензора** се базира на промени капацитета кондензатора који се мења под утицајем мерене неелектричне величине.

Две металне плоче између којих се налази диелектрични (изолациони) материјал граде кондензатор капацитета:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d},$$

где су: S [m²] површина плоче, d [m] растојање између плоча ε_r релативна диелектрична константа, $\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \left[\frac{F}{m} \right]$ диелектрична константа вакуума.

Уколико се на S , d или ε утиче неком неелектричном величином, тада капацитет C зависи од те величине па се на тај начин добија капацитивни сензор. Рад капацитивних сензора се базира на промени капацитета кондензатора који се мења под утицајем мерене неелектричне величине.

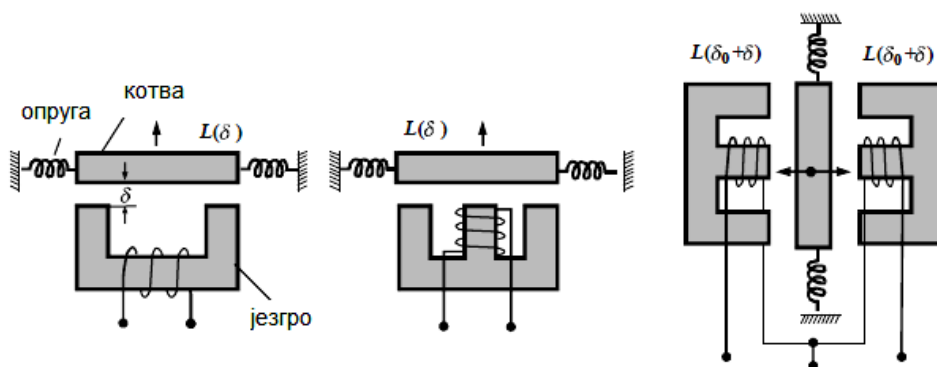
Рад **индуктивних сензора** се заснива на зависности индуктивности калема од промене отпора електромагнетног кола. Промена магнетног отпора може да се оствари променом укупне дужине намотаја, зазора, пермеабилности материјала језгра, променом међусобног положаја калема и језгра, као и променом положаја два намотаја. Најчешће се користе сензори код којих се промена магнетног отпора остварује променом величине зазора или променом магнетне пермеабилности гвозденог језгра μ .

Индуктивност калема, који садржи језгро од феромагнетног материјала и ваздушни зазор, одређује се изразом:

$$L = \frac{N^2}{Z_m} = \frac{\mu_0 N^2 S_\delta}{2\delta},$$

где је: N број намотаја калема, Z_m [H^{-1}] укупни магнетни отпор (релуктанса) кола, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [N/A^2] магнетна пермеабилност вакуума, S_δ [m^2] површина попречног пресека зазора.

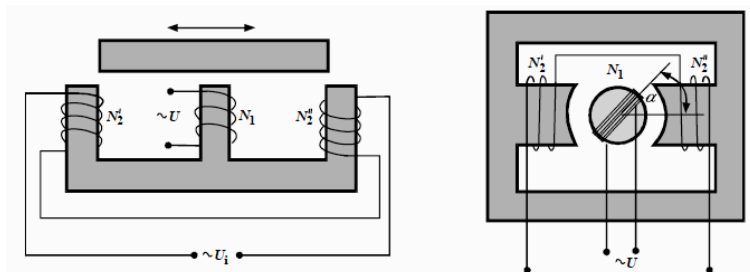
Индуктивни сензори са променљивим зазором мењају индуктивност у зависности од промене ваздушног зазора између језгра и покретног дела од феромагнетног материјала (котве). Прост индуктивни сензор има језгро у облику слова U или E. Када се котва приближи језгру, зазор се смањи, а повећа се индуктивност. Статичка карактеристика ових сензора је линеарна само за мале релативне промене ваздушног зазора и то је уједно и највећи недостатак ових сензора.



Индуктивни сензори са променљивим зазором

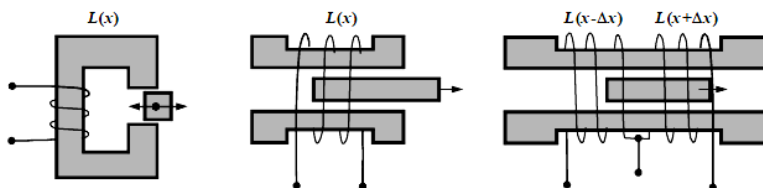
Диференцијални трансформаторски сензори имају по два магнетно повезана навоја. Назив овог типа сензора потиче од тога што између извора напајања и излаза постоји трансформаторска веза. Конструкција трансформаторског сензора омогућава проширење мерног опсега и бољу линеарност у односу на реализације сензора са

једним намотајем. Амплитуда излазног сигнала пропорционална је померају котве, а фаза излазног сигнала померају котве у односу на нулти положај.



Диференцијални трансформаторски сензори

Код **индуктивних сензора са променљивом површином ваздушног зазора**, котва се помера паралелно са навојима. Постоје варијанте простих сензора У или Е типа. Међутим, са становишта практичне реализације много су практичније реализације са покретним језгром. Постоји и диференцијална варијанта, којом се постиже боља линеарност.



Индуктивни сензори са променљивом површином

5.2. Задаци

1. Измерена отпорност за термистор на $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ је $1000\ \Omega$, а на $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ је $722\ \Omega$. Одредити коефицијенте C_1 и C_2 који описују карактеристику сензора:

$$R(T) = C_1 e^{\frac{C_2}{T}}.$$

РЕШЕЊЕ

Отпорности термистора на одређеним температурама, $T_1=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_2=30\text{ }^{\circ}\text{C}$, су једнаки:

$$R(T_1) = C_1 e^{\frac{C_2}{T_1}} \text{ и } R(T_2) = C_1 e^{\frac{C_2}{T_2}},$$

одакле следи:

$$\frac{R(T_1)}{R(T_2)} = \frac{C_1 e^{\frac{C_2}{T_1}}}{C_1 e^{\frac{C_2}{T_2}}} = e^{C_2 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = e^{C_2 \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2} \right)} \Rightarrow C_2 = \frac{T_2 \cdot T_1}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{R(T_1)}{R(T_2)} \right).$$

Температуре T_1 и T_2 су температуре у келвинима из тога следи:

$$C_2 = \frac{273,16\text{ K} \cdot 303,16\text{ K}}{303,16\text{ K} - 273,16\text{ K}} \ln \left(\frac{1000\ \Omega}{722\ \Omega} \right) = 898,9\text{ K},$$

$$R(T_1) = C_1 e^{\frac{C_2}{T_1}} \Rightarrow C_1 = \frac{R(T_1)}{e^{\frac{C_2}{T_1}}} = \frac{1000\ \Omega}{e^{\frac{898,9\text{ K}}{273,16\text{ K}}}} = 37,25\ \Omega.$$

2. Одредити грешку која настаје услед самозагревања отпорничког температурног детектора *Pt100* који мери температуру ваздуха. Сензор је направљен од жице полупречника $0,025\text{ mm}$ и дужине 18 mm . Коефицијент одвођења топлоте од жице према ваздуху је $400\text{ W}/(^{\circ}\text{Cm}^2)$. Струја кроз жицу је 100 mA , а отпорност сензора на радној температури је $0,54\ \Omega$. Дати предлог за смањење грешке самозагревања.

РЕШЕЊЕ

Снага дисипације отпорничког сензора услед самозагревања једнака је:

$$P = R_t \cdot I^2 = h \cdot A \cdot (T_s - T_v) = h \cdot A \cdot \Delta T,$$

где су R_t отпорност сензора, I струја која тече кроз сензор, h коефицијент одвођења топлоте, A површина жице изложена ваздуху, T_s

температура ваздуха и T_v температура сензора. У идеалном случају $T_s = T_v$.

Грешка мерења услед самозагревања је:

$$\Delta T = \frac{R_t \cdot I^2}{h \cdot A} = \frac{R_t \cdot I^2}{h \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \cdot l},$$

$$\Delta T = \frac{0,54 \, \Omega \cdot 100 \cdot 10^{-3} \, \text{A}}{400 \, \text{W}/(\text{°Cm}^2) \cdot 2 \cdot 0,025 \cdot 10^{-3} \, \text{m} \cdot \pi \cdot 18 \cdot 10^{-3} \, \text{m}} = \frac{5400}{1068,14} \approx 5 \, \text{°C},$$

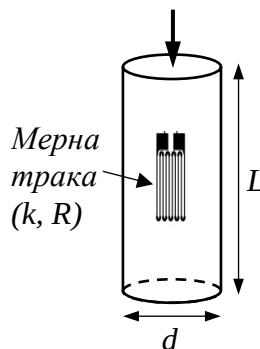
где су r полупречник жице и l дужина жице од које је израђен сензор.

Најједноставнији начин за смањење грешке која настаје услед самозагревања је смањење интензитета струје која је пропушта кроз сензор.

3. На алуминијумску шипку пречника $d=6,2$ cm и дужине $L=30$ cm делује сила од $F=5400$ N.

а) Израчунати притисак P и напрезање у шипци E_{st} ако је Јангов модул еластичности за алуминијум $E_y=70$ GN/m².

б) Мерна трака са мерним фактором $k=4$ и отпорношћу од $R=350 \, \Omega$ причвршћена је на шипку. Израчунати промену отпорности.



в) Ако се мерна трака користи у отпорничком мерном мосту у коме сви отпорноици имају вредност $R=350 \, \Omega$, израчунати раздешеност напона у мосту. Напајање моста је $U=10$ V.

РЕШЕЊЕ

а) Притисак који делује на шипку је:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{\left(\frac{d}{2}\right)^2 \pi} = \frac{5400}{\pi \left(\frac{6,2}{2}\right)^2 \cdot 10^{-4}} = 1788,63 \, \text{kPa},$$

где је F сила која делује на шипку и A површина на који делује сила.

Напрезање траке је:

$$\varepsilon_{st} = -\frac{\Delta L}{L} = -\frac{P}{E_y} = -\frac{1788,63 \cdot 10^3}{70 \cdot 10^9} = -0,0255 \cdot 10^{-3},$$

где је ΔL промена димензије траке и једнака је:

$$\Delta L = \varepsilon_{sr} L = -7,65 \mu m.$$

Негативна промена димензије траке означава да долази до скраћења траке услед деловања силе.

б) Промена отпорности траке услед деловања силе једнака је:

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_{st} k \Rightarrow \Delta R = \varepsilon_{st} k R = -0,0255 \cdot 4 \cdot 350 \cdot 10^{-3} = -35,7 m\Omega.$$

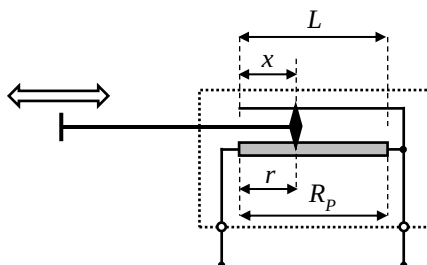
в) Промена напона на излазу отпорничког мерног моста која настаје услед деловања силе једнака је:

$$U_m = U \frac{\Delta R}{R} = 10 \frac{-35,7 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 350} = -0,225 mV.$$

4. Детектор положаја се састоји од линеарног потенциометара, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Радни ход клизног контакта је дужине $L=20$ cm а отпорност отпорног елемента је $R_p=10$ k Ω . Одредити зависност отпорности, r , од положаја клизача, x , и осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I}$$

где је O излазна величина, а I мерена величина.



РЕШЕЊЕ

Зависност отпорности линеарног потенциометра, у зависности од положаја, представљена је једначином:

$$\frac{x}{L} = \frac{r}{R_p},$$

при чему су: L дужина потенциометра, R_p отпор потенциометра, x дужина од места контакта клизача до референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.

Из претходне једначине следи:

$$r = \frac{x}{L} R_p.$$

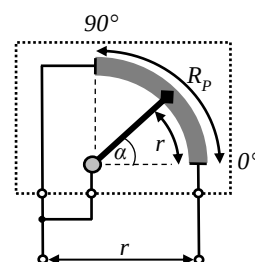
Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial r}{\partial x} = \frac{R_p}{L} dx = 0,5 \frac{k\Omega}{cm} = 50 \frac{k\Omega}{m}.$$

5. Отпорнички сензор мери угаони померај у опсегу 0° - 90° . Сензор се састоји од линеарног ротационог потенциометара, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Отпорност потенциометра је $R_p = 1,8 k\Omega$. Одредити зависност отпорности, r , од угла клизача, α , и осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I},$$

где је O излазна величина, а I мерена величина.



РЕШЕЊЕ

Зависност отпорности линеарног потенциометра, у зависности угла између клизача и референтног краја потенциометра, представљена је једначином:

$$\frac{\alpha}{90^\circ} = \frac{r}{R_p},$$

при чему су: R_p отпор потенциометра, α угао који се мери односно угао између клизача и референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.

Из претходне једначине следи:

$$r = \frac{\alpha}{90^\circ} R_p.$$

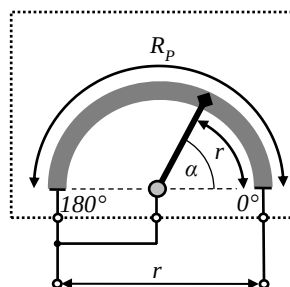
Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial r}{\partial \alpha} = \frac{R_p}{90^\circ} d\alpha = \frac{1,8 \text{ k}\Omega}{90^\circ} = 0,02 \frac{\text{k}\Omega}{^\circ} = 20 \frac{\Omega}{^\circ}.$$

6. Отпорнички сензор мери угаони померај у опсегу 0° - 180° . Сензор се састоји од линеарног ротационог потенциометара, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Отпорност потенциометра је $R_p = 18 \text{ k}\Omega$. Одредити зависност отпорности, r , од угла клизача, α , и осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I},$$

где је O излазна величина, а I мерена величина.



РЕШЕЊЕ

Зависност отпорности линеарног потенциометра, у зависности угла између клизача и референтног краја потенциометра, представљена је једначином:

$$\frac{\alpha}{180^\circ} = \frac{r}{R_p},$$

при чему су: R_p отпор потенциометра, α угао који се мери односно угао између клизача и референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.

Из претходне једначине следи:

$$r = \frac{\alpha}{180^\circ} R_p,$$

Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial r}{\partial \alpha} = \frac{R_p}{90^\circ} d\alpha = \frac{18 \text{ k}\Omega}{180^\circ} = 0,1 \frac{\text{k}\Omega}{^\circ} = 100 \frac{\Omega}{^\circ}.$$

7. Капацитивни претварач се састоји из две кружне плоче чији су пречници $2r=2$ cm и одвојени су ваздушним простором ширине $d=0,25$ mm. Диелектрична константа је $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Померај се мери променом капацитивности услед промене растојања између плоча кондензатора. Одредити осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I}$$

где је O излазна величина, а I мерена величина. Одредити опсег промене капацитивности ако је опсег промене размака између плоча d [$d_{\min}$, $d_{\max}$]=[0,1 mm, 1 mm].

РЕШЕЊЕ

За плочасти кондензатора важи :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d},$$

где је C капацитивност плочасти кондензатора, d међусобно растојање између плоча, $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m диелектрична константа вакуума и A површина кружног кондензатора:

$$A = r^2 \pi,$$

односно:

$$C = \epsilon_0 \frac{r^2 \pi}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{(1 \cdot 10^{-2})^2 \pi}{d} \approx \frac{27,8 \cdot 10^{-4}}{d} [pF].$$

Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial C}{\partial d} = -\epsilon_0 \frac{r^2 \pi}{d^2} \approx -44,46 \frac{nF}{m},$$

Опсег промене капацитивности, C [$C_{\min}$, $C_{\max}$], сензора једнак је:

$$C_{\min}(d_{\max} = 1 \text{ mm}) = 2,78 \text{ pF},$$

$$C_{\max}(d_{\min} = 0,1 \text{ mm}) = 27,8 \text{ pF}.$$

$$C[C_{\min}, C_{\max}] = [2,78 \text{ pF}, 27,8 \text{ pF}]$$

8. Капацитивни претварач се састоји из две кружне плоче чији су пречници $2r=1$ cm и одвојени су ваздушним простором ширине $d=0,25$ mm. Диелектрична константа је $\epsilon_o=8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m. Померај се мери променом капацитивности услед промене растојања између плоча кондензатора. Одредити осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I}$$

где је O излазна величина, а I мерена величина. Одредити опсег промене капацитивности ако је опсег промене размака између плоча d $[d_{\min}, d_{\max}] = [0,1 \text{ mm}, 1 \text{ mm}]$.

РЕШЕЊЕ

За плочасти кондензатора важи :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d},$$

где је C капацитивност плочастог кондензатора, d међусобно растојање између плоча, $\epsilon_o=8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m диелектрична константа вакуума и A површина кружног кондензатора:

$$A = r^2 \pi,$$

односно:

$$C = \epsilon_0 \frac{r^2 \pi}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{(0,5 \cdot 10^{-2})^2 \pi}{d} \approx \frac{6,95 \cdot 10^{-4}}{d} [\text{pF}].$$

Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial C}{\partial d} = \epsilon_0 \frac{r^2 \pi}{d} \approx 6,95 \cdot 10^{-4} \frac{\text{pF}}{\text{m}}.$$

Опсег промене капацитивности, $C[C_{\min}, C_{\max}]$, сензора једнак је:

$$C_{\min}(d_{\max} = 1 \text{ mm}) = 0,695 \text{ pF},$$

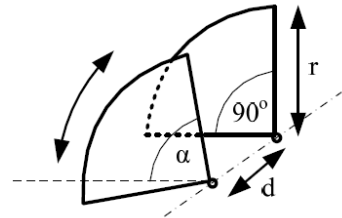
$$C_{\max}(d_{\min} = 0,1 \text{ mm}) = 6,95 \text{ pF},$$

$$C[C_{\min}, C_{\max}] = [0,695 \text{ pF}, 6,95 \text{ pF}].$$

9. Капацитивни сензор мери угаони померај у опсегу $0-90^\circ$. Сензор се састоји од две електроде облика кружног исечка од 90° и полупречника 2 см. Диелектрик је ваздух, а електроде се налазе на међусобном растојању 0,3 mm. Одредити осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I}$$

где је O излазна величина, а I мерена величина. Одредити опсег промене капацитивности.



РЕШЕЊЕ

За плочасти кондензатора важи :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d},$$

где је C капацитивност плочасти кондензатора, d међусобно растојање између плоча, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m диелектрична константа вакуума и A површина кружног кондензатора која зависи од угла α и једнака је:

$$A = \frac{r^2 \pi \alpha}{360^\circ},$$

односно:

$$C = \epsilon_0 \frac{r^2 \pi \alpha}{d 360^\circ} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{4 \cdot 10^{-4} \pi \alpha}{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 360^\circ} \approx 0,1 \cdot \alpha [pF].$$

Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial C}{\partial \alpha} = \epsilon_0 \frac{r^2 \pi}{d 360^\circ} \approx 0,1 \frac{pF}{^\circ}.$$

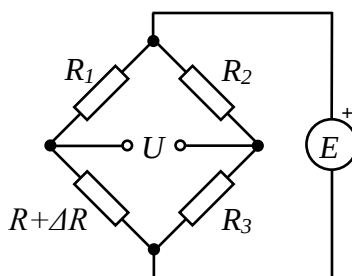
Опсег промене капацитивности, $C [C_{min}, C_{max}]$, сензора једнак је:

$$C_{min}(\alpha_{min} = 0^\circ) = S \cdot \alpha_{min} = 0 pF,$$

$$C_{max}(\alpha_{max} = 90^\circ) = S \cdot \alpha_{max} = 9 pF,$$

$$C[C_{min}, C_{max}] = [0, 9 pF].$$

10. У отпорном детектору температуре који користи сензор од платине и никла, температурни коефицијент на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ је $\alpha = 0,004\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ а отпорност $106\text{ }\Omega$. Ако се сензор прикључи у мерни мост са $R_1 = R_2 = R_3 = R = 100\text{ }\Omega$, чији је напон напајања $E = 10\text{ V}$, израчунати промену напона на излазу моста, U , при промени температуре од $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.



РЕШЕЊЕ

Отпорност сензора у зависности од температуре описује се изразом:

$$R(T) = R(T_0) \cdot (1 + \alpha \cdot (T - T_0)),$$

односно за темепеаратуру од 25°C израз има облик:

$$R(25^{\circ}\text{C}) = R(20^{\circ}\text{C}) \cdot (1 + \alpha(20^{\circ}\text{C}) \cdot (25^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})),$$

$$R(25^{\circ}\text{C}) = 106 \cdot (1 + 0,004 \cdot 5) = 108,12\text{ }\Omega.$$

Напон на излазу детектора темературе, на излазу мерног моста, на температури од 20°C једнак је:

$$U_1 = \frac{\Delta R'}{4R} \cdot E = \frac{(R(20^{\circ}\text{C}) - R)}{4R} E = \frac{6}{400} \cdot 10 = 150\text{ mV}.$$

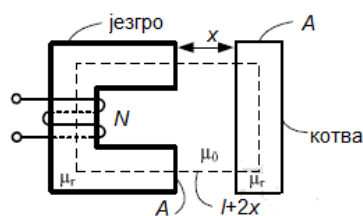
Напон на излазу детектора темературе, на излазу мерног моста, на температури од 25°C једнак је:

$$U_2 = \frac{\Delta R''}{4R} \cdot E = \frac{(R(25^{\circ}\text{C}) - R)}{4R} E = \frac{8,12}{400} \cdot 10 = 203\text{ mV}.$$

Промена напона на излазу мерног моста при промени температуре од $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ једнака је:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 203\text{ mV} - 150\text{ mV} = 53\text{ mV}.$$

11. На слици је дат индуктивни претварач који се састоји од језгра на ком се налази N намотаја и котве. Растојање између језгра и котве је x . Површина попречног пресека језгра и котве је A , а њихова релативна пермеабилност је μ_r . Када нема ваздушнoг зазора између језгра и котве средња магнетна линија је l . Структура се налази у ваздуху. Одредити зависност индуктивности од положаја x и осетљивост претварача.



РЕШЕЊЕ

Из Амперовог закона следе релације:

$$M = N \cdot i = H \cdot l = \frac{B}{\mu} \cdot l = \frac{\Phi}{\mu \cdot A} \cdot l = \Phi \cdot R_m,$$

$$\Phi = \frac{N \cdot i}{R_m},$$

где је M магнетомоторна сила, R_m релуктанса магнетног флуksа:

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{A}.$$

Из израза за индуковани напон у калему:

$$u = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt},$$

слиди израз за индуктивност:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{i} = \frac{N^2}{R_m}.$$

У конкретном примеру, релуктанса магнетног флуksа је:

$$R_m = \frac{1}{\mu_r \cdot \mu_0} \cdot \frac{l}{A} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{2 \cdot x}{A} = \frac{1}{\mu_r \cdot \mu_0} \cdot \frac{(l + 2 \cdot x \cdot \mu_r)}{A}.$$

Заменом израза за релуктансу у изведени израз за индуктивност, добија се израз за индуктивност претварача на слици:

$$L = \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N^2}{l + 2 \cdot x \cdot \mu_r}.$$

Осетљивост претварача на промену растојања између језгра и котве је:

$$S = \frac{dL}{dx} = - \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N^2}{(l + 2 \cdot x \cdot \mu_r)^2} \cdot 2 \cdot \mu_r = - \frac{2 \cdot \mu_r^2 \cdot \mu_0 \cdot A \cdot N^2}{(l + 2 \cdot x \cdot \mu_r)^2}.$$

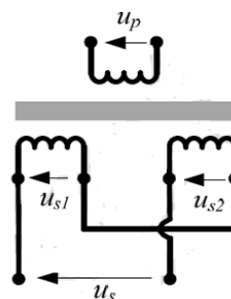
12. За линеарни променљиви диференцијални трансформатор приказан на слици одредити зависност излазног напона од помераја језгра. Познато је:

$$\frac{n_p}{n_{s1}} = \frac{n_p}{n_{s2}} = 50 = N.$$

Коефицијенти спрега су:

$$(0,6 + 0,1) \left[\frac{1}{mm} \right] \cdot x[mm],$$

$$(0,6 - 0,1) \left[\frac{1}{mm} \right] \cdot x[mm].$$



РЕШЕЊЕ

$$u_{s1} = k_1 \cdot u_p \cdot \frac{n_{s1}}{n_p} = k_1 \cdot \frac{u_p}{N},$$

$$u_{s2} = k_2 \cdot u_p \cdot \frac{n_{s2}}{n_p} = k_2 \cdot \frac{u_p}{N},$$

$$u_{s1} - u_{s2} = u_s,$$

$$k_1 \cdot \frac{u_p}{N} - k_2 \cdot \frac{u_p}{N} = \frac{u_p}{N} \cdot (k_1 - k_2) = u_s,$$

$$u_s = \frac{u_p}{N} \cdot 0,2 \cdot x.$$

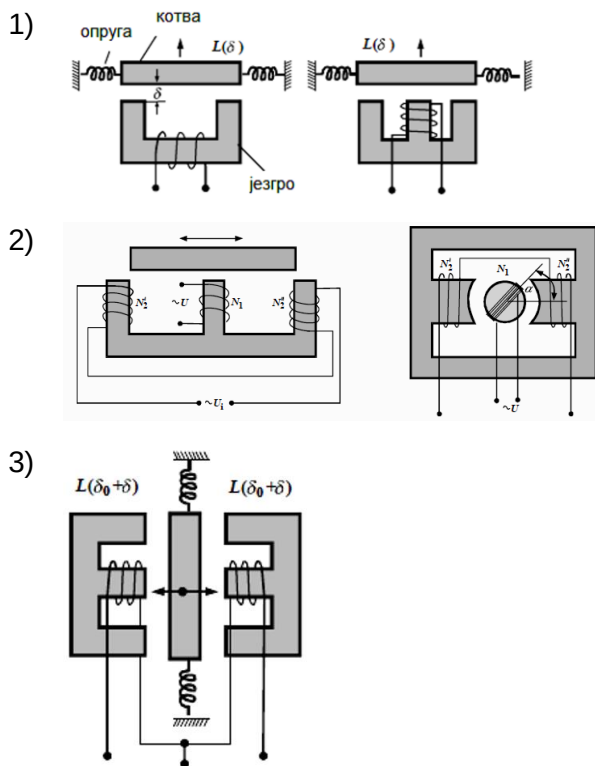
5.1. Питања за проверу знања

1. Повезати назив индуктивног сензора са одговарајућим приказом.

а) Диференцијални индуктивни сензор. _____

б) Прости индуктивни сензор. _____

в) Диференцијални трансформаторски сензор. _____



2. Полупроводничке мерне траке имају:

а) нелинеарну карактеристику,

б) линеарну карактеристику.

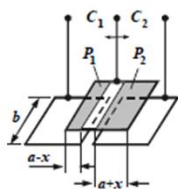
3. Повезати приказ капацитивног сензора са одговарајућим називом.

а) Плочасти полудиференцијални сензор. _____

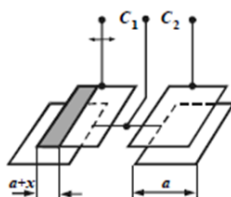
б) Прости капацитивни сензор. _____

в) Плочасти диференцијални сензор. _____

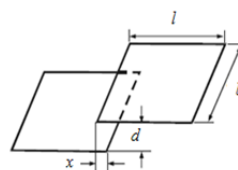
1)



2)



3)



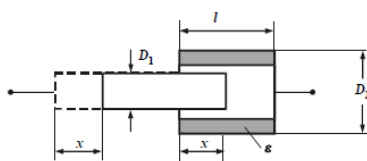
4. Повезати приказ капацитивног сензора са принципом рада.

а) Са промењивом површином. _____

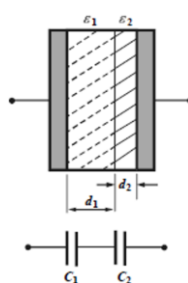
б) Са промењивим диелектриком. _____

в) Са промењивим размаком. _____

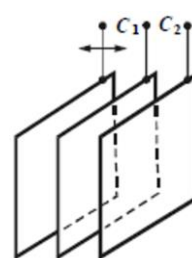
1)



2)



3)



5. За мерење деформација (истезања, напрезања), односно сила и притисака, употребљавају се:

а) мерне траке,

б) фотоотпорници,

в) термистори.

6. Повезати материјал за израду мерних трака са одговарајућом карактеристиком.

а) Имају добре електричне и термичке карактеристике и могу да се користе у опсегу температура до око 300°C .

б) Примењују се у опсегу високих температура од око 1000°C .

в) Постигнута минијатуризација елемената за мерење напрезања и притисака.

1) Легуре на бази бакра и никла. _____

2) Полупроводнички филмови. _____

3) Платина (Pt) и легуре на бази платине са волфрамом (W) и иридијумом (Ir). _____

7. Повезати тип претварача са одговарајућом категоријом.

а) Пасивни.

б) Активни.

1) Капацитивни претварачи. _____

2) Индуктивни претварачи. _____

3) Термоелементи _____

4) Пиезоелектрични _____

5) Фотоелементи _____

6) Отпорнички претварачи _____

8. Пасивни (параметарски) претварачи:

а) дају излазни сигнал као електромоторну силу или струју која се генерише директно под утицајем неелектричне величине,

б) дају промену неког електричног параметра: отпорности R , индуктивности L или капацитивности C , који се мењају под утицајем мерене величине,

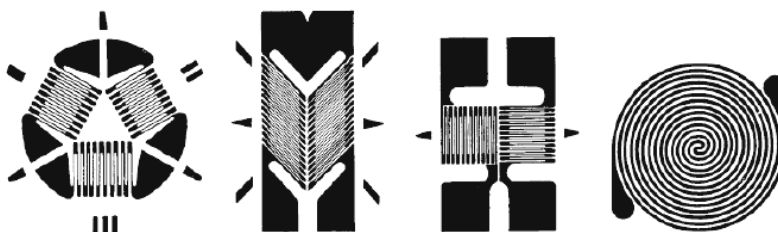
в) дају електрични излазни сигнал само ако се напајају из спољашњег извора енергије.

9. Нелинеарна функција отпорности $R = R_0 e^{(B_0 + B_1 T^{-1} + B_2 T^{-2} + B_3 T^{-3})}$ одговара:
- а) *NTC* отпорнику,
 - б) платинском сензору,
 - в) *PTC* отпорнику.
10. Температурна осетљивост металних отпорничких сензора је:
- а) позитивна или негативна,
 - б) негативна,
 - в) позитивна.
11. Термоотпорници су:
- а) активни претварачи,
 - б) пасивни претварачи.
12. Основно својство свих отпорника је да им отпор у мањој или већој мери зависи од _____ .
13. Температурна осетљивост полупроводних отпорничких сензора је:
- а) увек позитивна,
 - б) увек негативна,
 - в) позитивна или негативна.
14. Плочасти диференцијални сензор се састоји од:
- а) две непокретне и једне покретне плоче,
 - б) једног радног и једног фиксног кондензатора.
15. Када се котва приближи језгру простог индуктивног сензора са променљивим зазором индуктивност се:
- а) смањује,
 - б) повећава.

16. Статичка карактеристика простих индуктивних сензора је:

- а) линеарна увек,
- б) линеарна само за велике релативне промене ваздушног зазора,
- в) линеарна само за мале релативне промене ваздушног зазора.

17. Мерне траке приказане на слици, које могу да мере напрезање у различитим правцима називају се _____.



18. Повезати технологију израде потенциометарског сензора са максималним бројем прелаза клизача.

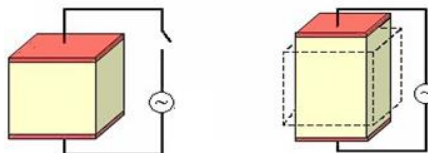
- а) 30×10^6 ,
- б) 5×10^6 ,
- в) 1×10^6 .

- 1) Жичани потенциометри. _____
- 2) Потенциометри са слојем угљеника. _____
- 3) Потенциометри са полупроводничким слојем. _____

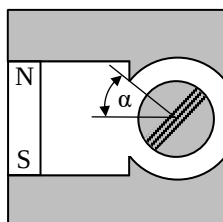
19. Електродинамички (индукциони) сензори спадају у категорију:

- а) пасивних сензора,
- б) активних сензора.

20. Појава наелектрисања када се материјал монокристалне структуре изложи деловању силе назива се _____ ефекат.

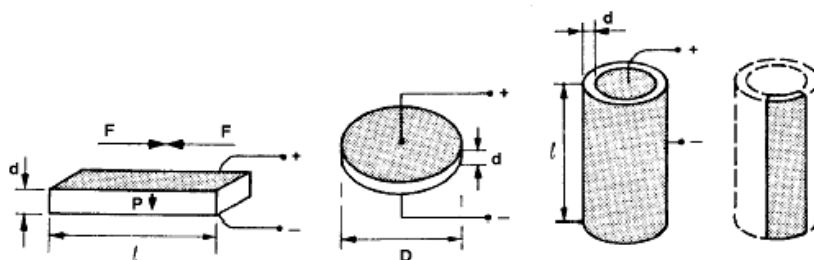


21. Који је тип сензора приказан на слици?



- а) индукциони,
- б) трансформаторски,
- в) индуктивни.

22. Највећа осетљивост простих пиезоелектричних сензора приказаних на слици је:



- а) када је пиезоелектрик у облику диска,
- б) када је минималан однос дужине и ширине (l/d),
- в) када је пиезоелектрик у облику ваљка,
- г) када је максималан однос дужине и ширине (l/d),
- д) када је пиезоелектрик у облику траке.

23. Фотоелектрични сензори са променом отпорности $P-N$ споја:

- а) настају када се фотонапонски елемент директно поларише помоћу спољашњег напонског извора,
- б) су фотодиоде и фототранзистори,
- в) настају када се фотонапонски елемент инверзно поларише помоћу спољашњег напонског извора,
- г) су фотоотпорници.

24. Електрични отпор осветљеног полупроводничког материјала фотоотпорника:



- а) линеарно пада,
- б) експоненцијално расте,
- в) експоненцијално пада,
- г) линеарно расте.

25. Фотоелектрични ефекат, на коме се базира рад фотоелектричних сензора може да буде:

- а) само унутрашњи,
- б) само спољашњи,
- в) унутрашњи и спољашњи.

26. Сензор у облику потенциометра је погодан за мерење _____ величина.

27. Термистори са позитивним температурним коефицијентом имају ознаку:
- а) PTC ,
 - б) Pt ,
 - в) NTC .
28. Термистори са негативним температурним коефицијентом имају ознаку:
- а) PTC ,
 - б) Pt ,
 - в) NTC .

6.

МЕТОДЕ И УРЕЂАЈИ ЗА МЕРЕЊЕ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИНА

6.1. Теоријска основа

Мерење неелектричних величина је од великог значаја за индустријску метрологију. За контролу, управљање и регулацију у процесној индустрији често је неопходна информација о притиску, температури, протоку, нивоу, вискозности, сили, маси, механичким осцилацијама, брзини, померају...

Највећи значај имају мерења електричним путем, јер за разлику од механичких метода, омогућавају пренос електричних сигнала на даљину без већих утицаја на тачност мерења, као и математичку обраду применом микропроцесора.

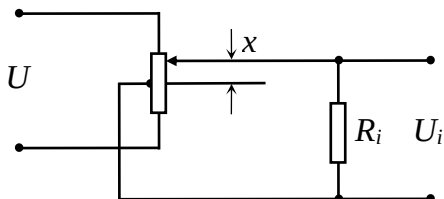
Основни елементи уређаја за мерење неелектричних величина електричним путем су претварач, систем за пренос и прилагођење мерног сигнала, који се назива мерни ланац, индикатор за читавање резултата мерења и извор за напајање уређаја.

Мерни претварачи обично имају велику осетљивост и малу инерцију. Код електричних мерних претварача улазне неелектричне величине изазивају према одређеним законитостима промену неког електричног или магнетног параметра претварача, као што су струја, напон, отпор, капацитет или индуктивност, при чему је пожељно да између улазне и излазне величине постоји линеарна зависност.

Код **мерења помераја** као сензорски елементи употребљавају се контакти, потенциометарски, тензоотпорнички, индуктивни, капацитивни, пиезоелектрични, оптоелектронски и други претварачи код којих је улазна величина осетљива на померај. Примена инкременталних енкодера који омогућавају добијање дигиталног излазног сигнала, повећава се тачност ових метода.

Отпорнички потенциометарски сензор линеарног помераја због једноставности и добрих карактеристика нашао је широку примену у техничкој пракси. Отпорни потенциометарски сензор састоји се од отпорника и покретног контакта.

Помераји се мере тако што се потенциометар прикључи на извор константног напона U , а излазни напон се мери између клизача и једног краја потенциометра, при чему је унутрашњи отпор волтметра R_i .



Потенциометарски сензор у електричном колу за мерење помераја

Рад потенциометра се заснива се на линеарној зависности:

$$\frac{x}{l} = \frac{r}{R_0} = \frac{U_i}{U}$$

при чему су: l дужина потенциометра, R отпор потенциометра, l дужина од места контакта клизача до референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра, U напон на крајевима потенциометра и U_i излазни напон између тачке контакта клизача и краја потенциометра.

Век потенциометарског сензора процењује се према броју прелаза клизача са једног на други крај потенциометра.

Основне мане потенциометарских сензора су мала осетљивост, присутност термичких шумова и променљиви прелазни отпор између контакта клизача и навоја. Међутим, због једноставности конструкције, малих габарита и цене, као и могућности напајања из једносмерног или наизменичног извора веома много се употребљавају у детекцији и аутоматској регулацији помераја.

Претварач на принципу струне представља танку затегнуту жицу чија се учестаност сопствених осцилација мења у зависности од силе затезања, односно од одговарајућих деформација жице. Струна-претварачи спадају у фреквентне претвараче, код којих се неелектрична величина директно претвара у учестаност сопствених осцилација, која се региструје помоћу фреквенцметра или тајмера.

Основна резонантна учестаност жице која осцилује као полуталасни осцилатор дата је Тејлоровом формулом:

$$\vartheta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{F}{S \cdot \rho}},$$

где је l дужина жице, ρ густина материјала и σ механичко напрезање које изазива сила затезања F . Применом Хуковог закона за истезање:

$$\vartheta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\Delta l \cdot E}{l \cdot \rho}},$$

где је E коефицијент еластичности, мерећи учестаност слободних осцилација жице може да се мери сила F или мала померања краја жице Δl .

Практична мерења помераја помоћу струна-претварача врше се на два начина: појединачним побуђивањем (окидањем) жице или помоћу осцилатора који осцилује на учестаности једнакој резонантној учестаности саме жице.

Проблеми **мерења протока флуида** јављају се у многим гранама технике, као што је процесна индустрија, снабдевање водом или одвођење отпадних вода, као и у многим другим областима. Флуиди, чији се проток или брзина мери, могу да буду гасови, течности или течности помешане са чврстим састојцима. У индустрији, претварачи и инструменти за мерење протока представљају најчешће саставне делове регулатора процеса или припадају системима за аутоматско управљање помоћу рачунара. Посебно су значајна обрачунска мерење, јер се цена гасова и течности одређује на основу протока кроз цеви. Због тога се од мерача протока захтева врло велика тачност и поузданост.

Проток је количина флуида, која протекне кроз посматрани попречни пресек у јединици времена.

Код **мерача протока** који у примарном делу имају **цев са сужењем** проток се одређује на основу разлике притисака до које долази услед препреке (сужења). Због тога је овај тип мерача познат и под нзивом пригушнице. У зависности од тога како је реализовано сужење, разликују се:

- пригушнице са блендом (пригушном плочом)
- пригушнице са млазницом
- Вентуријева цев

Њихов принцип рада се заснива на примени Бернулијеве једначине, која у случају идеалног флуида има облик:

$$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = const.$$

Мерач протока са **блендом** има највећи диференцијални притисак Δp , што значи да ови мерачи имају велику осетљивост. Због појаве турбуленције испред и иза отвора настају повећани губици

енергије, а то доводи до знатног губитка притиска Δp_g . Тај губитак мора да се надокнади помоћу пумпи, што у случају великих протока није увек исплативо.

Губици код мерача протока са **млазницом** су мањи, јер турбуленција настаје само иза отвора, па су Δp и Δp_g мањи.

Вентуријева цев за задати однос сужења и пречника цеви има најмањи Δp и Δp_g . Међутим, за уградњу Вентуријеве цеви је потребно више места од осталих пригушница, а имају и већу цену. Због тога се углавном примењују за мерење веома великих протока, где је битна уштеда енергије.

Заједничке карактеристике мерача са суженом цеви су да имају нелинеарну карактеристику, малу динамику (однос минималног и максималног протока флуида је 1,3), тачност 0,5 до 2% и нису погодни за мерења у системима у којима постоји брза промена струјања флуида.

Питоова цев је нашла примену за мерење брзине флуида, посебно гасова. Цев има два отвора. Помоћу једног отвора се мери статички притисак, јер се флуид заустављања на врху давача. Помоћу другог отвора се добија динамички притисак, пошто је ту брзина струјања једнака стварној брзини флуида. Применом Бернулијеве једначине за разлику притисака добија се:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\rho \cdot v^2}{2}.$$

Разлика динамичког и статичког притиска се одређује мерачем диференцијалног притиска, који даје сигнал пропорционалан квадрату брзине, слично као код претварача са суженом цеви.

Посебно конструисана кратка Питоова цев која се поставља са спољашње стране авиона омогућава мерење брзине авиона.

Принцип рада **електромагнетних мерача протока** заснива се на Фарадејевом закону електромагнетне индукције, па се зато често називају и индуктивни. По том закону се у проводнику, ако се креће у магнетном пољу, индукује електромоторна сила са амплитудом која зависи од јачине магнетног поља, брзине кретања и дужине проводника, тако да је:

$$E = B \cdot l \cdot v.$$

где је E електромоторна сила, B магнетни флукс, l дужина проводника и v брзина кретања проводника у магнетном пољу. Правац електромоторне слие у зависности од кретања проводника и магнетног поља дефинисан је познатим правилом десне руке.

Овај тип мерача усредњава брзину по пресеку у коме се налазе електроде. Пошто су интензитет електромагнетног поља (B) и пречник цеви (D) познати, следи да мерењем индуковане електромоторне силе може да се одреди средња вредност брзине протока

$$v = \frac{E}{B \cdot D},$$

а самим тим, постоји и линеарна зависност протока Q и индукованог напона E :

$$Q = A \cdot v = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \frac{E}{B \cdot D} = \frac{D \cdot \pi}{4 \cdot B} \cdot E \Rightarrow Q = K \cdot E.$$

Ултразвучни мерачи протока мере проток кроз цев преко праћења узајамне зависности протока течног флуида и таласа ултразвука који се емитује у цевовод кроз који протиче течност. Најчешће се примењују две методе: емисиона и Доплерова.

Принцип рада **емисионих** мерача протока најчешће се заснива на емитовању ултразвучног таласа између две тачке, прво у смеру тока течности, а затим у супротној смеру и мерењу времена мерењу времена путовања ултразвучног таласа кроз цевовод. У оба случаја брзина тока ће утицати на време путовања ултразвучног таласа, а разлика је директно пропорционална брзини течности. Звучни талас се упућује под неким углом θ у односу на смер кретања течности.

Време путовања таласа низводно може да се одреди из израза:

$$T_{12} = \frac{D}{\sin\theta \cdot (c - v \cdot \cos\theta)},$$

док је време путовања таласа узводно:

$$T_{21} = \frac{D}{\sin\theta \cdot (c + v \cdot \cos\theta)},$$

где је v средња брзина течења воде под углом θ у односу на правац простирања ултразвучног зрака, D је пречник цеви и c је брзина звука у води. Пошто је $c \gg v \cos \theta$ разлика у времену ΔT ће бити:

$$\Delta T = T_{12} - T_{21} = \frac{2 \cdot d \cdot \cos\theta \cdot v}{c^2}.$$

Разлика у времену путовања је пропорционална средњој брзини v а обрнуто пропорционална квадрату брзине звука c , па је за пречнике мерача који се користе у водоводним системима обично врло мала. У практичним реализацијама, примењује се секвенцијално или симултано мерење времена путовања ултразвука.

Код ултразвучних **мерача протока са Доплеровим ефектом** примењен је добро познат ефекат да је величина промене фреквенце показатељ брзине кретања извора звука, односно препреке од које се звук одбија. Доплерова метода мерења протока је годинама имала широку примену за мерење протока воде у којој има чврстих честица, мехурића гаса или других облика нечистоћа о које су могли да се одбију ултразвучни таласи. Доплеров мерач протока практично се састоји од кућишта у које су уграђена два пиезоелектрична кристала, од којих је један предајник, а други пријемник. Предајник емитује ултразвучни талас са фреквенцом f_1 и под углом θ_1 према оси цеви. Један део енергије се одбија према пријемнику од честица или гасова у води. Ако вода путује брзином v , а c је брзина ултразвука у води, фреквенца f_2 одбијеног звука, који се добија на пријемнику износиће:

$$f_2 = f_1 \pm 2 \cdot v \cdot \cos\theta \cdot \frac{f_1}{c},$$

одакле следи да је брзина v :

$$v = \frac{c \cdot (f_1 - f_2)}{2 \cdot f_1 \cdot \cos\theta} = \frac{f_d \cdot c}{2 \cdot f_1 \cdot \cos\theta},$$

где је f_d Доплерово одступање фреквенце.

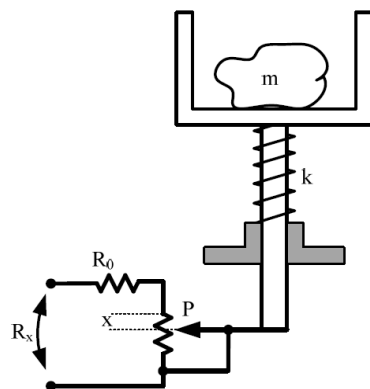
6.2. Задаци

1. На слици је дата принципска шема ваге са потенциометарским сензором. Подужна отпорност сензора је $0,5 \Omega/\text{mm}$ а $R_0 = 100 \Omega$.

а) Прорачунати коефицијент крутости опруге k , тако да осетљивост буде $S = 0,1 \Omega/\text{N}$.

б) Максимална маса која треба да се мери је $m_{\text{max}} = 10 \text{ kg}$. Израчунати минималну потребну дужину потенциометра.

в) Конструисати Витстонов мост и одредити везу између напона који показује волтметар и масе мереног тела. Напајање моста је $E = 10 \text{ V}$.



РЕШЕЊЕ

а) Коефицијент крутости опруге се израчунава на основу следећих једначина:

$$R_x = R_0 + x \cdot r' \Rightarrow \Delta R = \Delta x \cdot r',$$

услов механичке равнотеже:

$$F = k \cdot x \Rightarrow \Delta F = k \cdot \Delta x.$$

Осетљивост је дата изразом:

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta F} = \frac{r' \cdot \Delta x}{k \cdot \Delta x} = \frac{r'}{k} \Rightarrow k = \frac{r'}{S} = \frac{0,5}{0,2} = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}.$$

б) Минимална дужина потенциометра може се израчунати на основу силе којом маса делује на вагу:

$$F = m_{\text{max}} \cdot g = kx_{\text{min}} \Rightarrow x_{\text{min}} = \frac{m_{\text{max}} \cdot g}{k} = \frac{10 \cdot 9,81}{5} = 19,62 \text{ mm},$$

$$F \approx 20 \text{ mm},$$

где је g убрзање земљине теже, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

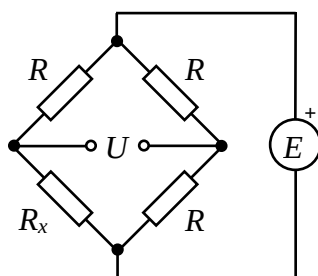
в) Напон на излазу витстоновог моста, приказаног на слици, у зависности од мерене масе је:

$$\Delta U = \frac{\Delta R}{4 \cdot R} \cdot E = \frac{\Delta R}{4 \cdot R_0} \cdot E,$$

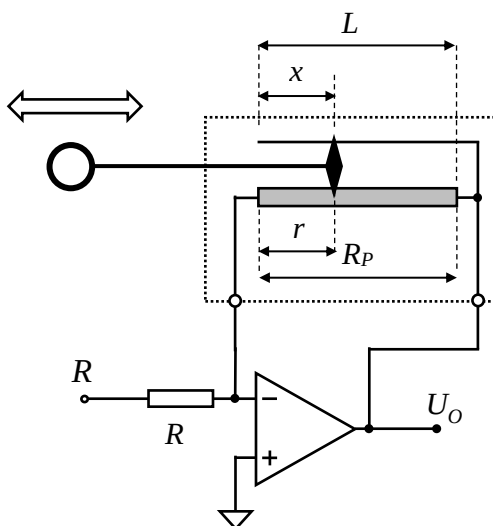
$$\Delta R = S \cdot \Delta F = S \cdot \Delta m \cdot g,$$

$$\Delta U = \frac{S \cdot \Delta m \cdot g}{4 \cdot R_0} \cdot E \Rightarrow \frac{\Delta U}{\Delta m} = \frac{S \cdot g}{4 \cdot R_0} \cdot E,$$

$$\frac{\Delta U}{\Delta m} = \frac{0,1 \cdot 9,81}{4 \cdot 100} \cdot 10 = 0,0245 \frac{V}{kg} = 24,5 \frac{mV}{kg}.$$



2. Детектор положаја хидрауличног актуатора као сензор користи потенциометар, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Радни ход клизног контакта је дужине $L=50$ см а отпорност линеарног отпорног елемента је $R_P=10$ кΩ. Вредност улазног напона је $U_i=-5$ V и $R=10$ кΩ.



Под претпоставком да је операциони појачавач идеалан, одредити:

а) зависност излазног напона U_O од положаја клизача x ,

б) осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I},$$

где је O излазна величина, а I мерена величина.

РЕШЕЊЕ

а) Отпорност линеарног потенциометра који се користи као сензор положаја хидрауличног актуатора, у зависности од положаја, заснива се на линеарној зависности:

$$\frac{x}{L} = \frac{r}{R_p} \Rightarrow r = \frac{x}{L} \cdot R_p,$$

при чему су: L дужина потенциометра, R_p отпор потенциометра, x дужина од места контакта клизача до референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.

Када је клизач на растојању x од почетка, на основу слике, излазни напон U , у функцији релативног положаја клизача x , дат је изразом:

$$U(x) = -\frac{r}{R} \cdot U_i = -\frac{x \cdot R_p}{L \cdot R} \cdot U_i.$$

б) Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{R_p \cdot U_i}{L \cdot R} dx = -\frac{10 \text{ k}\Omega \cdot (-5 \text{ V})}{0,5 \text{ m} \cdot 10 \text{ k}\Omega} = 10 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 0,1 \frac{\text{V}}{\text{cm}}.$$

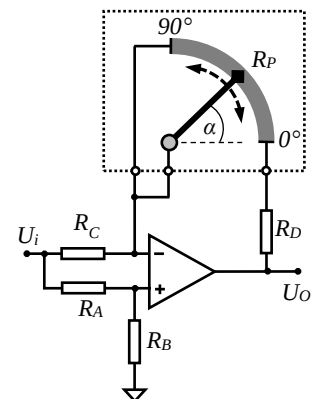
3. Детектор угла као сензор користи ротациони потенциометар, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Отпорност потенциометра је $R_p = R = 10 \text{ k}\Omega$. Ако се сензор прикључи у активни мерни мост, приказан на слици, са $R_A = R_B = R_C = R_D = R = 10 \text{ k}\Omega$, чији је напон напајања $U_i = -18 \text{ V}$, и под претпоставком да је операциони појачавач савршен одредити:

а) зависност излазног напона U_o од угла α ,

б) осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I},$$

где је O излазна величина, а I мерена величина.

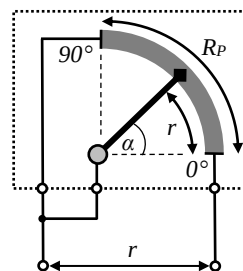


РЕШЕЊЕ

а) Отпорност ротационог потенциометра који се користи као сензор угла, у зависности од положаја, заснива се на линеарној зависности:

$$\frac{\alpha}{90^\circ} = \frac{r}{R_P} \Rightarrow r = \frac{\alpha}{90^\circ} R_P,$$

при чему су: R_P отпор потенциометра, α угао који се мери односно угао између клизача и референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.

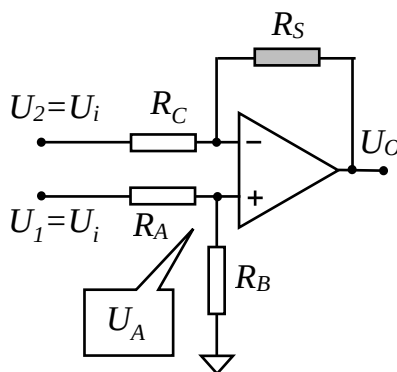


Максимални угао који може да се мери у овом случају је 90° .

Како би се лакше анализирано коло, отпорност дела потенциометра r и отпорник R_D посматраћемо као један отпорник R_S :

$$R_S = r + R_D = \frac{\alpha}{90^\circ} \cdot R_P + R_D.$$

Дати мерни мост се може посматрати као систем са два улаза на који је доведен исти сигнал, $U_i = U_1 = U_2$. Такво коло, са савршеним операционим појачавачем, представља линеаран систем за који важи принцип суперпозиције.



Одзив кола се може наћи као збир одзива на појединачну побуду, када је други улаз спојен са прикључком за референтни потенцијал (масом):

$$U_{O1} = U_O|_{U_2=0},$$

$$U_{O2} = U_O|_{U_1=0},$$

$$U_O = U_{O1} + U_{O2}.$$

Када је напон U_2 једнак нули, коло се своди на редну везу разделника напона и неинвертујућег појачавача:

$$U_A = \frac{R_B}{R_A + R_B} \cdot U_1,$$

$$U_{O1} = \left(1 + \frac{R_S}{R_C}\right) \cdot U_A.$$

Када је напон U_1 једнак нули, коло се своди на инвертујући појачавач:

$$U_{O2} = -\frac{R_S}{R_C} \cdot U_2.$$

На основу принципа суперпозиције следи:

$$U_O = U_{O1} + U_{O2} = \frac{R_B}{R_A + R_B} \cdot \left(1 + \frac{R_S}{R_C}\right) \cdot U_1 - \frac{R_S}{R_C} \cdot U_2.$$

Сређивањем овог израза, узимајући у обзир да је на два улаза доведен исти сигнал $U_i = U_1 = U_2$, да су $R_A = R_B = R_C = R_D = R_P = R$ и да је

$$R_S = \frac{\alpha}{90^\circ} \cdot R_P + R_D = \frac{\alpha}{90^\circ} \cdot R + R = \left(1 + \frac{\alpha}{90^\circ}\right) \cdot R,$$

добива се:

$$U_O = \left(\frac{R_B}{R_A + R_B} \cdot \left(1 + \frac{R_S}{R_C}\right) - \frac{R_S}{R_C}\right) \cdot U_i = \left(\frac{R - R_S}{2R}\right) \cdot U_i = \frac{U_i}{2} - \frac{R_S}{2 \cdot R} \cdot U_i,$$

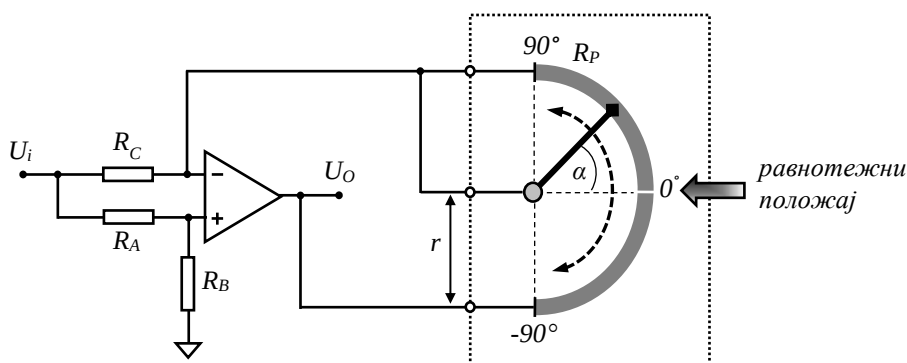
$$U_O = \frac{U_i}{2} - \frac{\left(1 + \frac{\alpha}{90^\circ}\right) \cdot R}{2 \cdot R} \cdot U_i = \frac{U_i}{2} - \left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha}{2 \cdot 90^\circ}\right) \cdot U_i = \frac{U_i}{2} - \frac{U_i}{2} - \frac{\alpha}{180^\circ} \cdot U_i,$$

$$U_O = -\frac{\alpha}{180^\circ} U_i.$$

б) Осетљивост S овог претварача, једнака је:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial U_O}{\partial \alpha} = -\frac{d\alpha}{180^\circ} \cdot U_i = -\frac{(-18 V)}{180^\circ} = 100 \frac{mV}{^\circ} = 0,1 \frac{V}{^\circ}.$$

4. Детектор угла као сензор користи ротациони потенциометар, чији се клизни контакт креће дуж линеарног отпорног елемента који делује као променљиви отпорник. Отпорност потенциометра је $R_P = 2R = 20 \text{ k}\Omega$. Равнотежни положај клизача у односу на референтни крај потенциометра је при углу $\alpha = 0^\circ$ и тада је отпорност сензора $r = R_P/2$. Ако се сензор прикључи у активни мерни мост, приказан на слици



са $R_A = R_B = R_C = R_D = R = 10 \text{ k}\Omega$, чији је напон напајања $U_i = -18 \text{ V}$, и под претпоставком да је операциони појачавач савршен одредити:

- а) зависност излазног напона U_O од угла α ,
 б) осетљивост S овог претварача, која је дата општим изразом:

$$S = \frac{\partial O}{\partial I},$$

где је O излазна величина, а I мерена величина,

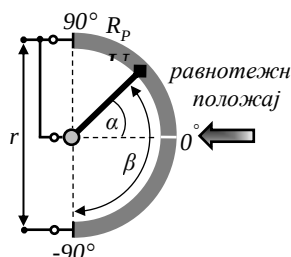
- в) одступање угла од равнотежног положаја, α , уколико је напон на излазу мерног моста $U_O = 3,7 \text{ V}$.

РЕШЕЊЕ

- а) Отпорност ротационог потенциометра заснива се на линеарној зависности:

$$\frac{\beta}{180^\circ} = \frac{r}{R_P},$$

при чему су: R_P отпор потенциометра, β угао између клизача и референтног краја потенциометра, r отпор од места контакта клизача до референтног краја потенциометра.



Равнотежни положај клизача, $\alpha = 0^\circ$, у односу на референтни крај потенциометра је при углу $\beta = 90^\circ$, односно:

$$\alpha = \beta - 90^\circ \Rightarrow \beta = \alpha + 90^\circ,$$

из овога следи:

$$\frac{\alpha + 90^\circ}{180^\circ} = \frac{r}{R_P}.$$

Из претходне једначине следи:

$$r = \frac{\alpha + 90^\circ}{180^\circ} R_P.$$

Напон на излазу активног мерног моста, U_O , једнак је:

$$U_O = \left(\frac{R_B}{R_A + R_B} \cdot \left(1 + \frac{r}{R_C} \right) - \frac{r}{R_C} \right) \cdot U_i.$$

односно, ако је $R_A = R_B = R_C = R_D = R$ и $R_P = 2R$:

$$U_O = \left(\frac{R - r}{2R} \right) \cdot U_i = \frac{U_i}{2} - \frac{r}{2 \cdot R} \cdot U_i,$$

$$U_O = \frac{U_i}{2} - \frac{\frac{\alpha + 90^\circ}{180^\circ} 2 \cdot R}{2 \cdot R} U_i = \frac{U_i}{2} - \frac{\alpha + 90^\circ}{180^\circ} \cdot U_i,$$

б) Осетљивост S овог претварача, једнака је:

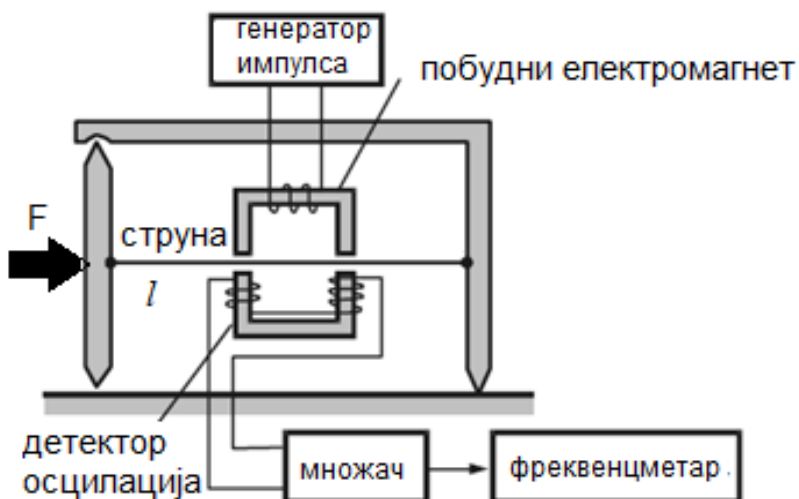
$$S = \frac{\partial O}{\partial I} = \frac{\partial U_O}{\partial \alpha} = \frac{U_i}{2} - \frac{d\alpha + 90^\circ}{180^\circ} \cdot U_i = \frac{U_i}{2} - \frac{d\alpha}{180^\circ} \cdot U_i - \frac{90^\circ}{180^\circ} \cdot U_i,$$

$$S = -\frac{(-18 V)}{180^\circ} = 100 \frac{mV}{^\circ} = 0,1 \frac{V}{^\circ}.$$

в) Уколико је напон на излазу мерног моста познат, $U_O = 3,7 V$, одступање угла од равнотежног положаја, α , се може израчунати из осетљивости:

$$U_O = S \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{U_O}{S} = \frac{3,7 V}{0,1 \frac{V}{^\circ}} = 37^\circ.$$

5. Помоћу струна сензора мери се механичко напрезање на површини објекта направљеног од материјала чија је еластичност $E=12 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$. Ако је сензор дужине $l=120 \text{ mm}$, одредити колико је механичко напрезање сензора σ , ако се крај жице под дејством силе F помери за 4 mm .



РЕШЕЊЕ

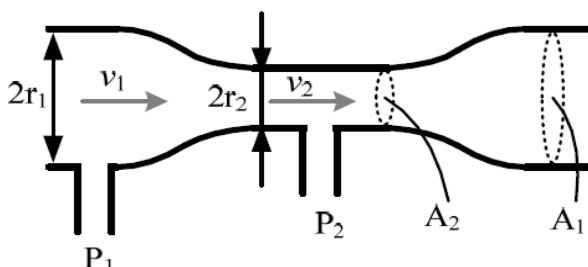
Основна резонантна учестаност жице која осцилује као полуталасни осцилатор дата је Тејлоровом формулом:

$$\vartheta = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{F}{S \cdot \rho}}$$

Применом Хуковог закона за истезање:

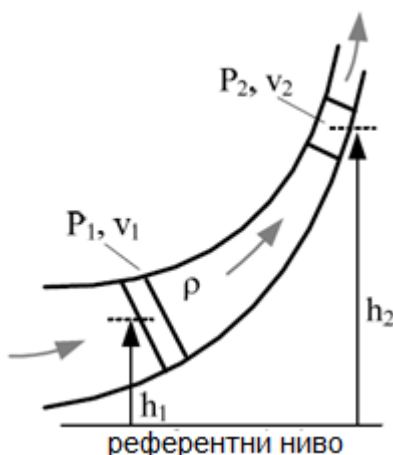
$$\vartheta \approx \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\Delta l \cdot E}{l \cdot \rho}} = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \Rightarrow \sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{l} = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}.$$

6. Помоћу Вентуријеве цеви мери се проток воде. Највећи проток је $500 \text{ m}^3/\text{h}$. Полупречник ширег дела цеви је 10 cm , а ужег 5 cm . Одредити максималну разлику притисака. Специфична густина воде је 1000 kg/m^3 .



РЕШЕЊЕ

Ток нестишљивог флуида кроз сужену цев, приказану слици, може да се изрази Бернулијевом једначином:



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2.$$

Запремински проток Q_v једнак је:

$$Q_v = v \cdot A.$$

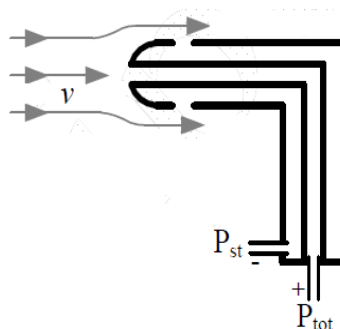
За случај када је $h_1 = h_2$:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \Rightarrow \frac{Q_v^2}{2 \cdot A_2^2} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right),$$

$$\Delta P_{max} = \frac{Q_{max}^2 \cdot \rho}{2 \cdot A_2^2} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) = \frac{Q_{max}^2 \cdot \rho}{2 \cdot (r_2^2 \cdot \pi)^2} \cdot \left(1 - \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4\right),$$

$$\Delta P_{max} = \frac{\left(\frac{500}{3600}\right)^2 \cdot 1000}{2 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \pi} \cdot \left(1 - \left(\frac{5}{10}\right)^4\right) = \frac{19,29}{50 \cdot 10^{-4} \pi} \cdot 0,9375 = 1,151 \text{ kPa}.$$

7. За мерење брзине авиона користи се Питоовом цеви, чији је принцип рада заснован на мерењу разлике притисака. Авион се налази на 9000 m, где је густина ваздуха 0,39 kg/m³. Конструкциони фактор Питоове цеви је 0,9. Ако је измерена разлика притисака 11 kPa одредити брзину авиона.



РЕШЕЊЕ

На основу Бернулијеве једначине следи:

$$\frac{P_{tot}}{\rho} = \frac{P_{st}}{\rho} + \frac{v^2}{2},$$

$$\Delta P = P_{din} = P_{tot} - P_{st} = \rho \cdot \frac{v^2}{2},$$

где је P_{din} динамички притисак.

Због немогућности да се статички и тотални притисак одреде у једној тачки уводи се конструкциони фактор k_c :

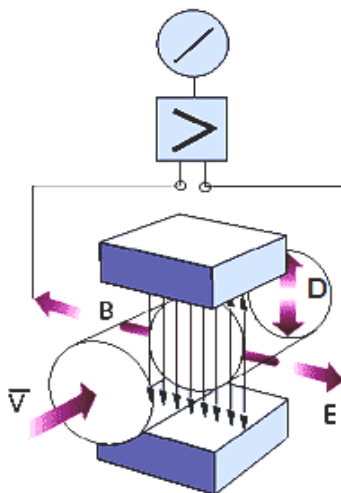
$$\Delta P = k_c \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2},$$

где је:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{k_c \cdot \rho}},$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 11 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,39}} = \sqrt{\frac{22000}{0,351}} \approx 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 900 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

8. Колики проток, Q , мери електромагнетни мерач протока приказан на слици, ако је његов пречник $D=100 \text{ mm}$, индукција електромагнетног поља $B=0,01 \text{ T}$ и индуковани напон на електродама $E=10 \text{ mV}$. Колика запремина течности, V , протекне кроз мерач у току једног минута?



РЕШЕЊЕ

На основу Фарадејевог закона електромагнетне индукције у проводнику ако се креће у магнетном пољу, индукује електромоторна сила са амплитудом која зависи од јачине магнетног поља, брзине кретања и дужине проводника, тако да је:

$$E = B \cdot l \cdot v,$$

где је E електромоторна сила, B магнетни флукс, l дужина проводника и v брзина кретања проводника у магнетном пољу.

Разлика потенцијала, E , је пропорционална јачини магнетног поља, средњој брзини и растојању између електрода. Тако се могу одредити средња брзина и проток течности у цеви.

$$E = B \cdot D \cdot v.$$

Пошто су интензитет електромагнетног поља, B , и пречник цеви D познати, следи да мерењем индуковане електромоторне силе може да се одреди средња вредност брзине протока:

$$v = \frac{E}{B \cdot D} = \frac{10 \text{ mV}}{0,01 \text{ T} \cdot 100 \text{ mm}} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{0,01 \frac{\text{N}}{\text{Am}} \cdot 100 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

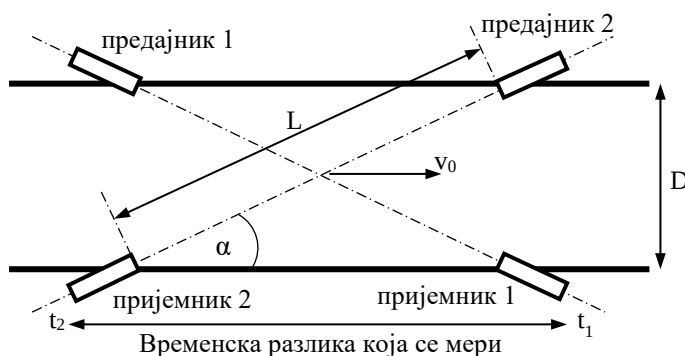
а самим тим, постоји и линеарна зависност протока Q и индукованог напона E :

$$Q = A \cdot v = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} v = \frac{(100 \cdot 10^{-3})^2 m^2 \pi}{4} \cdot 10 \frac{m}{s} = 0,0785 \frac{m^3}{s}.$$

На основу овога се може израчунати запремина течности V протекне кроз мерач у току једног минута:

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow V = Q \cdot t = 0,0785 \frac{m^3}{s} \cdot 60s = 4,71 m^3.$$

9. Проток воде у цевоводу пречника 100 mm мења се у опсегу од (0 - 300) m³/h. Проток се мери са два ултразвучна сензора. Предајници и пријемници сензора су смештени под углом од 30° у односу на осу цевовода на самом цевоводу. Ако је брзина ултразвука у води 1500 m/s израчунати разлику временских интервала у простирању таласа.



РЕШЕЊЕ

Дужина пута L , коју ултразвучни талас пређе рачуна се на основу пречника цеви D и угла α , под којим су сензори смештени на цев:

$$L = \frac{D}{\sin \alpha} = \frac{100 \text{ mm}}{0,5} = 200 \text{ mm}.$$

Површина попречног пресека цеви једнака је:

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \pi = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{10^4 \cdot 10^{-6} \pi}{4} = 7,85 \cdot 10^{-3} m^2.$$

Брзина воде кроз цев зависи од протока Q , и површине попречног пресека цеви и износи:

$$v_0 = \frac{Q}{A} \Rightarrow v_{0min} = 0 \wedge v_{0max} = \frac{300}{7,85 \cdot 10^{-3}} = 10,62 \frac{m}{s},$$

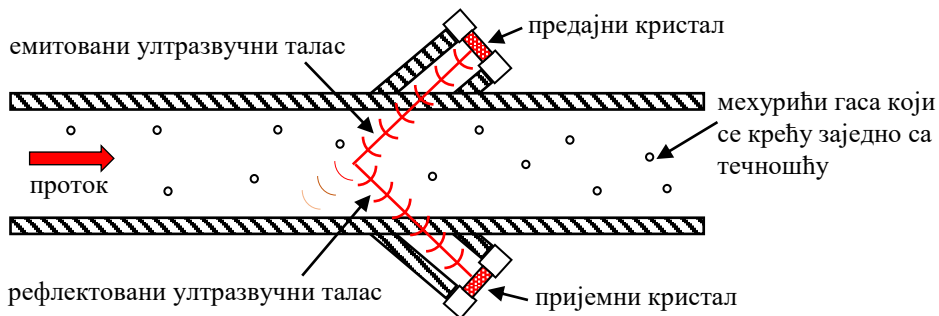
$$v = \frac{v_0}{\cos \alpha} \Rightarrow v_{min} = 0 \wedge v_{max} = 12,78 \frac{m}{s}.$$

Разлика временских интервала у простирању таласа је:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{L}{v_{uz} - v} - \frac{L}{v_{uz} + v} = 135,30 \mu s - 132,21 \mu s = 3,09 \mu s,$$

где је v_{uz} брзина ултразвука у води.

10. Одредити брзину течности у мерачу протока са Доплеровим ефектом, ако је померај Доплерове учестаности $f_d = 1 \text{ kHz}$ и учестаност ултразвучног извора $f_0 = 50 \text{ kHz}$. Извор емитује а пријемник прима таласе под углом од $\alpha = 45^\circ$ у односу на правац тока течности. Средња брзина звука у течности је $v_0 = 1500 \text{ m/s}$.



РЕШЕЊЕ

Услед Доплеровог ефекта долази до промене фреквенције емитованог таласа f_0 :

$$f_1 = \frac{v_0 \pm v_f}{v_0 \mp v_f} \cdot f_0.$$

Избор знака зависи од смера емитовања таласа и смера флуида.

Доплерова фреквенција, ако претпоставимо да долази до пораста фреквенције једнака је:

$$f_d = \Delta f = f_1 - f_0 = \frac{v_0 + v_f}{v_0 - v_f} \cdot f_0 - f_0,$$

где је v_f' компонента брзине флуида у правцу емитовања ултразвучног таласа:

$$v_f' = v_f \cdot \cos\alpha.$$

$$f_d = \frac{v_0 + v_f \cdot \cos\alpha}{v_0 - v_f \cdot \cos\alpha} \cdot f_0 - f_0 = \frac{2 \cdot v_f \cdot \cos\alpha}{v_0 - v_f \cdot \cos\alpha} \cdot f_0 \approx \frac{2 \cdot v_f}{v_0} \cdot f_0 \cdot \cos\alpha.$$

Брзина течности у цеви је:

$$v_f = \frac{f_d}{f_0} \cdot \frac{v_0}{2 \cdot \cos\alpha} = \frac{10^3}{50 \cdot 10^3} \cdot \frac{1500}{2 \cdot \cos 45^\circ} = 21,21 \frac{m}{s}.$$

6.1. Питања за проверу знања

1. Повезати параметре *LVDТ* сензора са одговарајућим физичким величинама.

- а) линеарно је пропорционална позицији,
- б) обрнуто је пропорционална позицији,
- в) пропорционална је смеру кретања,
- г) обрнуто је пропорционална смеру кретања.

1) амплитуда излазног напона _____

2) фаза излазног напона _____

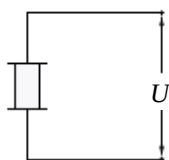
2. На сликама су приказана електрична кола са пиезоелектричним претварачем за мерење убрзања, брзине и помераја. Повезати одговарајућу зависност излазног напона са одговарајућим типом претварача.

а) Излазни напон је пропорционалан померају. _____

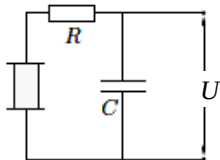
б) Излазни напон је пропорционалан убрзању. _____

в) Излазни напон је пропорционалан брзини. _____

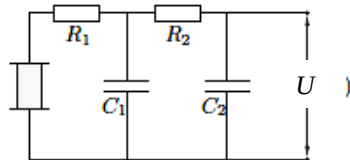
1)



2)



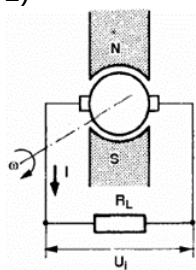
3)



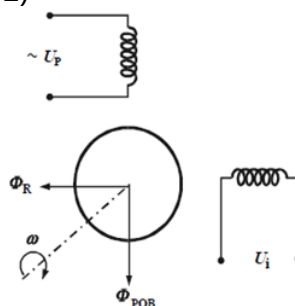
3. Повезати приказ принципа рада тахометра са одговарајућим називом.

- а) Индукциони претварач трансформаторског типа. _____
- б) Индукциони претварач са сталним магнетом. _____
- в) Наизменични тахогенератор. _____
- г) Једносмерни тахогенератор. _____

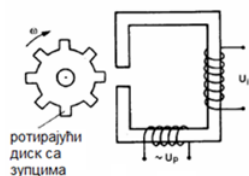
1)



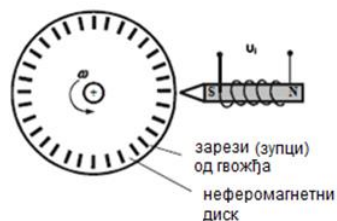
2)



3)



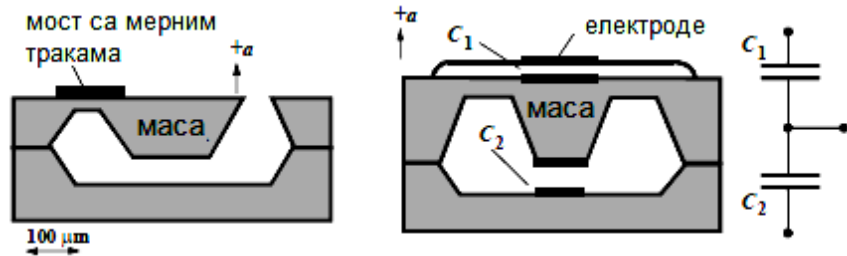
4)



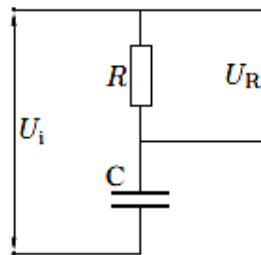
4. Означити карактеристике које одговарају LVDT сензору:

- а) неосетљив је на механичке ударе и вибрације,
- б) радна температура до 500°C,
- в) тачност до $\pm 1\%$ пуног опсега,
- г) тачност до $\pm 0,5\%$ пуног опсега,
- д) осетљив је на механичке ударе и вибрације,
- ђ) примењује се за детекцију малих помераја,
- е) примењује се за детекцију великих помераја,
- ж) радна температура до 200°C.

5. На слици су приказани:

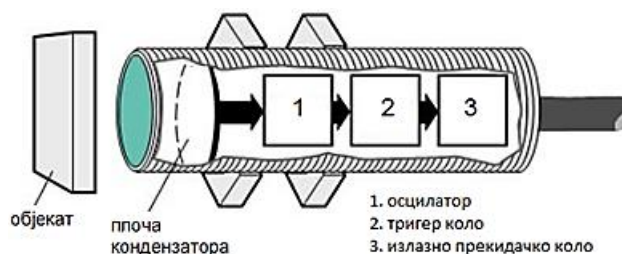


- а) полупроводнички акцелерометри,
 - б) пиезоелектрични акцелерометри,
 - г) индукциони акцелерометри,
 - д) контактни акцелерометри.
6. Приказано коло омогућава добијање излазног напона пропорционалног убрзању код:



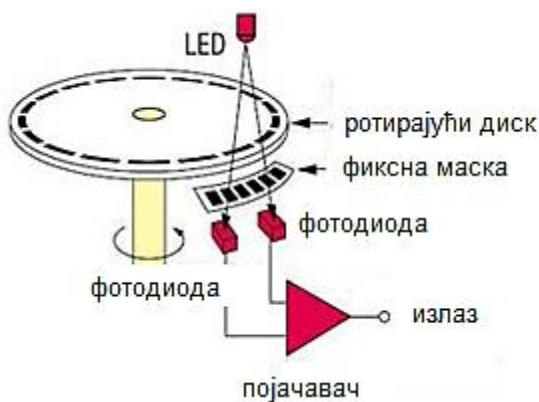
- а) полупроводничког акцелерометра,
- б) пиезоелектричног акцелерометра,
- г) индукционог акцелерометра,
- д) контактног акцелерометра.

7. Код близинских капацитивних сензора капацитивност коју стварају покретни објекат и тест електрода :



- а) повећава се када објекат прилази,
б) смањује се када објекат прилази.

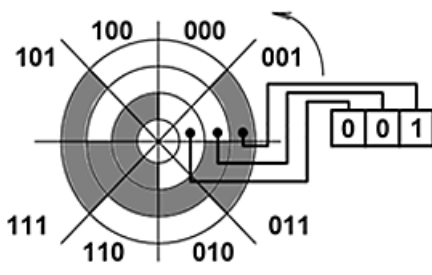
8. На слици је приказан принцип рада:



- а) инкременталног енкодера,
б) апсолутног енкодера са бинарним кодом,
в) апсолутног енкодера са Грејовим кодом.

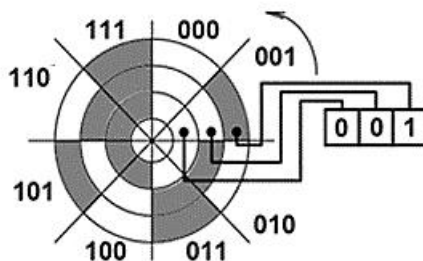
9. _____ енкодери дају јединствен дигитални код за сваку различиту позицију осовине или вратила.
10. _____ енкодери дају број импулса који одговара величини угла закретања осовине.

11. На слици је приказан принцип рада:



- а) апсолутног енкодера са Грејовим кодом,
- б) апсолутног енкодера са бинарним кодом,
- в) инкременталног енкодера.

12. На слици је приказан принцип рада:



- а) апсолутног енкодера са Грејовим кодом,
- б) апсолутног енкодера са бинарним кодом,
- в) инкременталног енкодера.

13. Код капацитивних претварача се користи:

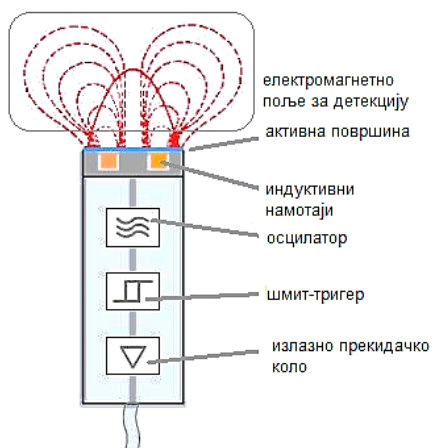
- а) паралелна веза,
- б) диференцијална веза,
- в) редна веза.

14. За мерење вибрација се најчешће користи
_____ акцелерометар.

15. Међу наведеним карактеристикама означити оне које се односе на потенциометарске сензоре:

- а) сложена конструкција и велики габарити,
- б) напајање само из наизменичног извора,
- в) имуност на термичке шуме,
- г) једноставност конструкције и мали габарити,
- д) присутност термичких шума,
- ђ) могућности напајања из једносмерног или наизменичног извора,
- е) велика осетљивост,
- ж) мала осетљивост.

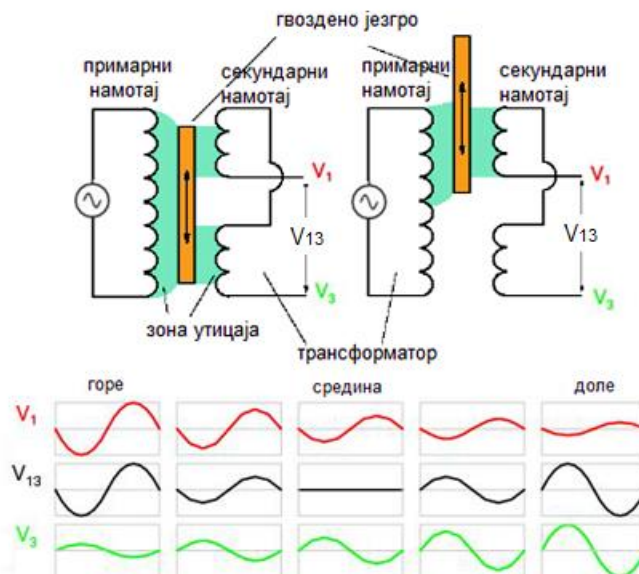
16. Проласком металног објекта испред проксимити сензора, приказаног на слици, на довољно блиском растојању осцилације се:



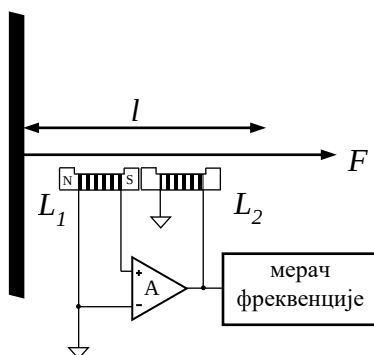
- а) повећавају,
- б) смањују до нуле.

17. Отпорни потенциометарски сензори најчешће се користе за мерење _____.

18. На слици је приказан принцип рада _____ сензора (написати скраћеницу).



19. На слици је приказан претварач на принципу _____ .



20. Уређаји за мерење угаоне брзине, којом се обрћу ротирајући елементи, називају се _____ .

21. Који од наведених типова сензора се најчешће користе за израду температурних релеа минијатурних димензија?

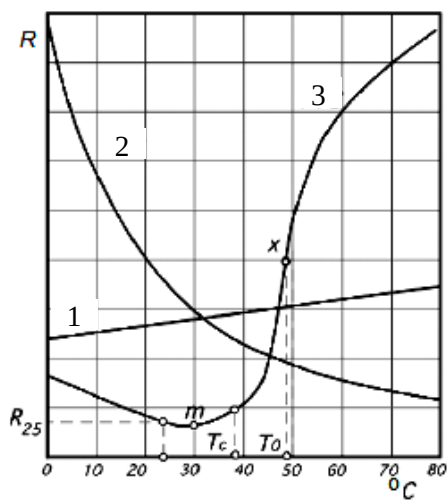
- а) *PTC* сензори,
- б) *NTC* сензори,
- в) *RTD*,
- г) Сензори на бази *PN*-споја.

22. Термоотпорници су:

- а) активни претварачи,
- б) пасивни претварачи.

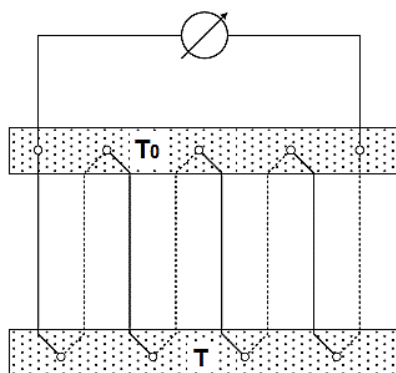
23. Повезати тип термостара са одговарајућом кривом.

- а) *NTC*, _____
- б) *PTC*, _____
- в) *RTD*, _____



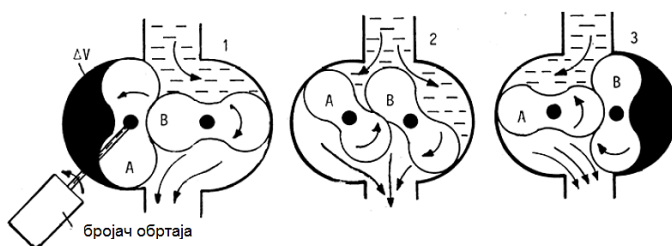
24. Које карактеристике се односе на термоелемент (термопар)?
- а) За тачно одређивање температуре објекта треба мерити температуру хладног краја.
 - б) За тачно одређивање температуре објекта треба мерити температуру топлог краја.
 - в) Термопарови су пасивни сензори.
 - г) Термопарови су активни сензори.
 - д) Да би радили, термопарови морају да буду прикључени на спољашњи извор енергије.
25. Која од карактеристика се односе на термопар бакар-константан?
- а) Примена је ограничена на ниже температурско подручје (од -200°C до $+300^{\circ}\text{C}$).
 - б) Осетљивост око $60 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
 - в) Примењују се за мерење високих температура (до 1650°C).
 - г) Имају мању осетљивост од платинских термопарова.
26. Које од карактеристика се односе на платински термопар?
- а) Примењују се за мерење високих температура (до 1650°C).
 - б) Осетљивост око $60 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
 - г) Имају мању осетљивост од бакар-константан термопара.
 - д) Примена је ограничена на ниже температурско подручје (-200°C до $+300^{\circ}\text{C}$).
27. Повећање осетљивости термопара постиже се:
- а) серијском или паралелном везом већег броја елемената,
 - б) паралелном везом већег броја елемената,
 - в) серијском везом већег броја елемената.
28. Полупроводнички сензор температуре чија се отпорност мења веома много и нелинеарно са температуром зове се _____ .

29. Спрега термопарова приказана на слици назива се _____.



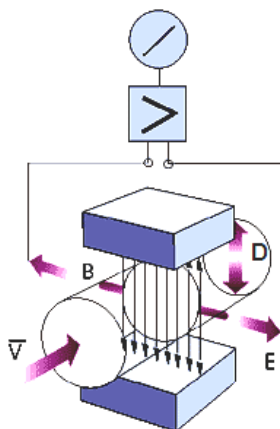
30. За волуметријски мерач протока, чији је принцип рада приказан на слици, важи:

- а) избројаном броју обртаја ротора,
- б) угаоној брзини ротора,
- в) броју лопатица ротора.



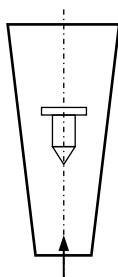
- 1) Укупна протекла количина течности је сразмерна: _____
- 2) Тренутни проток је сразмеран: _____

31. Међу наведеним карактеристикама издвојити оне које се односе на електромагнетни мерач протока:



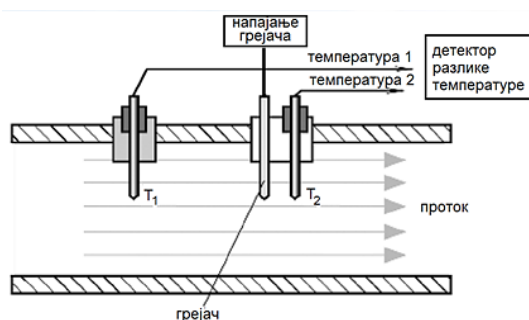
- а) побуђују се наизменичном побудом ниске учестаности,
 - б) побуђују се наизменичном побудом високе учестаности,
 - в) минимална проводност течности мора да буде већа од $5 \mu\text{S}/\text{cm}^2$,
 - г) побуђују се једносмерном побудом,
 - д) имају велики пад притиска,
 - ђ) имају занемарљив пад притиска,
 - е) нема покретне делове,
 - ж) мерење протока не зависи од проводности течности.
32. Међу наведеним карактеристикама издвојити оне које се односе на ултразвучни мерач протока са Доплеровим ефектом:
- а) примењују се за мерење протока воде у којој има чврстих честица, мехурића гаса или других облика нечистоћа,
 - б) може да се користи и за отворене токове,
 - в) има одличну тачност и поновљивост мерења,
 - г) основни услов за ефикасну примену је да цев буде испуњена водом,
 - д) тачност и поновљивост не могу да се гарантују,
 - ђ) могу да се примењују само за мерење протока чисте воде.

33. Међу наведеним карактеристикама издвојити оне које се односе на ротаметре:



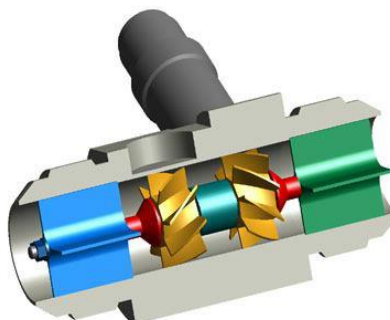
- а) нелинеарна карактеристика,
- б) динамика 1:10,
- в) мали пад притиска који не зависи од величине протока,
- г) линеарна карактеристика,
- д) вертикална уградња,
- ђ) хоризонтална уградња,
- е) динамика 1:3,
- ж) пад притиска зависи од величине протока.

34. Које од наведених карактеристика описују термички мерач?



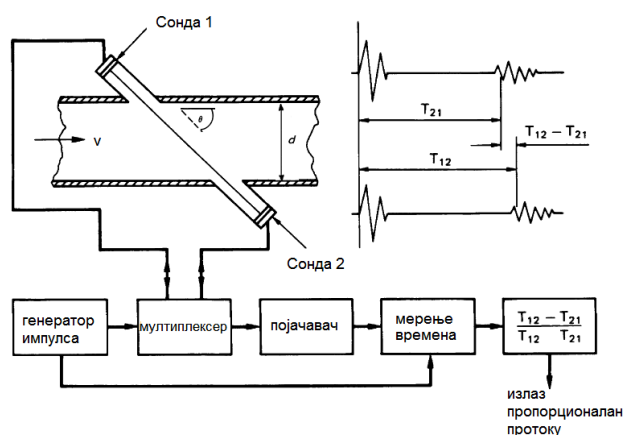
- а) Могу да се користе при малим брзинама флуида.
- б) Најчешће се примењује за мерење запреминског протока.
- в) Са порастом брзине флуида осетљивост опада.
- г) Разлика температура је пропорционална масеном протоку.
- д) Са порастом брзине флуида осетљивост расте.
- ђ) Највише се користе за велике брзине флуида.

35. Које од наведених карактеристика се односе на приказани мерач?



- а) Има динамику 100:1.
- б) Приказан је турбински мерач.
- в) Има тачност 0.1% до 1% максималног протока.
- г) Има веома добру линеарност.
- д) Има изразито нелинеарну карактеристику.
- ђ) Приказан је ротаметар.
- е) Има тачност 0.05% до 0.1% максималног протока.

36. Који је тип ултразвучног мерача приказан на слици?



На слици је приказан _____ тип ултразвучног мерача.

37. Повезати тип IC термографије и одговарајућу карактеристику.

- а) Квантитативна термографија.
- б) Квалитативна термографија.
- в) Активна термографија.
- г) Пасивна термографија.

- 1) Посматрају се објекти у стационарном стању на температурама различитим од температуре околине. _____
- 2) Посматра се температурна слика, термограм, само у смислу поређења температурних нивоа. _____
- 3) Посматрање динамичког понашања површине објекта изложеног топлотној побуди. _____
- 4) Даје као резултат стварну температуру на површини посматраног објекта _____

38. Повезати називе уређаја за бесконтактно мерење температуре са одговарајућом применом.

- а) Пирометри _____
- б) Оптички пирометри _____
- в) Радијациони пирометри _____
- г) Инфрацрвени термометри _____

- 1) мере енергију које зрачи вруће тело.
- 2) упоређују видљиво светло које зрачи вруће тело са светлом стандардног извора познате температуре.
- 3) користе се за веће температуре.
- 4) користе се за мање температуре.

39. Која од наведених температурних скала је термодинамичка?

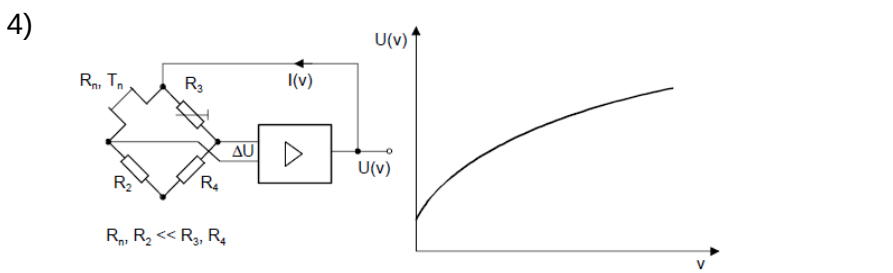
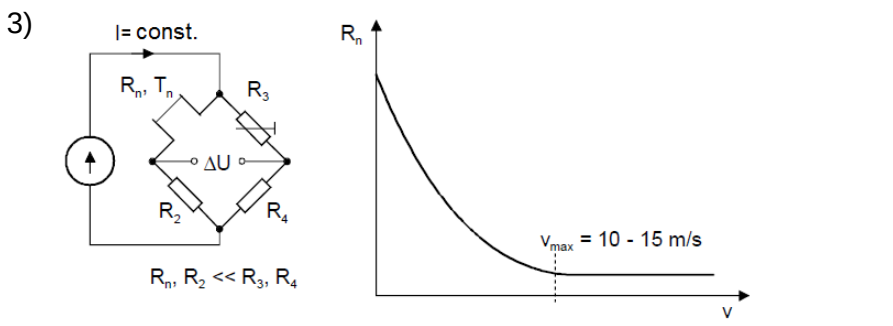
- а) Целзијусова.
- б) Фаренхајтова.
- в) Келвинова.

40. Повезати тип манометра са одговарајућим називом и карактеристиком.

- а) Анемометар са константном струјом.
 б) Анемометар са константном температуром.

1) Има велику осетљивост при малим брзинама флуида. _____

2) Нема засићења у области већих брзина. _____



41. Повезати наведене карактеристике сензора са одговарајућим називом.

- а) Платински *RTD*, б) *PTC* термистор, в) *NTC* термистор.

1) Производе се од баријум-титаната (BaTiO_3) који спада у фероелектрике са додатком донорских примеса. _____

2) Користе се првенствено као сензори који при некој температури дају одговарајући дискретан сигнал. _____

3) Имају високу тачку топљења (1769°C). _____

4) Отпор опада са порастом температуре нелинеарно. _____

5) Имају широку примену у индустријским и лабораторијским мерењима. _____

42. Повезати принцип рада са одговарајућим типом сензора температуре.

- а) неелектрични сензори,
- б) електрични сензори.

- 1) Дилатациони термометри. _____
- 2) Експанзиони термометри. _____
- 3) Биметални сензори. _____
- 4) Полупроводнички термометри. _____
- 5) Термоелементи. _____
- 6) Отпорни термометри. _____

43. Међу наведеним карактеристикама издвојити оне које се односе на Вентуријеву цев.

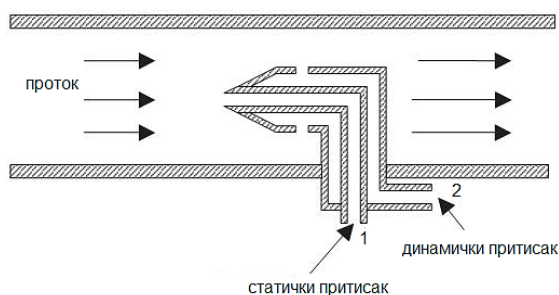
- а) Захтева најмање места за уградњу.
- б) Користи се за мерење великих протока.
- в) Има највећи пад притиска.
- г) Има највећу осетљивост.
- д) Најјефтинија пригушница.
- ђ) Захтева највише места за уградњу.
- е) Највише се користи за мерење малих протока.
- ж) Има најмање губитке.

44. Међу наведеним исказима издвојити тачне.

- а) Термодинамички термометри су једноставни.
- б) Већина практичних термометара су термодинамички термометри.
- в) Термодинамички термометри су компликовани и скупи.
- г) Већина практичних термометара не представљају термодинамичке термометре.

45. Које су заједничке карактеристике мерача протока типа пригушница.
- а) Погодни су за мерења у системима у којима постоји брза промена струјања флуида.
 - б) Нелинеарна карактеристика.
 - в) Линеарна карактеристика.
 - г) Нису погодни за мерења у системима са брзом променом струјања флуида.
 - д) Немају губитак притиска.
 - ђ) Мали однос минималног и максималног протока (1:3).
 - е) Велики однос минималног и максималног протока (1:100).
 - ж) Имају губитак притиска.

46. Како се зове тип мерача приказан на слици?



Мерач приказан на слици се назива _____ .

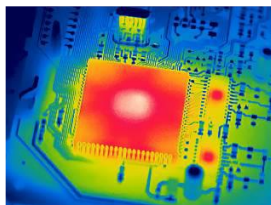
47. Количина флуида, која протекне кроз посматрани попречни пресек у јединици времена назива се _____ .

48. Како се зове уређај приказан на слици?

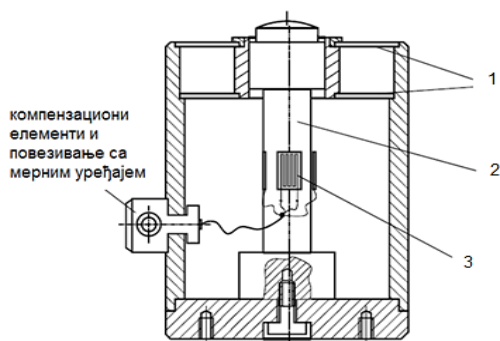


- а) Преносиви ИС термометар.
- б) Пирометар укупног зрачења.
- в) Пирометар парцијалног зрачења.

49. Резултат мерења добијен инфрацрвеном термографијом назива се _____.



50. Повезати бројеве са одговарајућим називима елемената електричног динамометра приказаног на слици.



- а) Мембране. _____
- б) Мерне траке. _____
- в) Еластично тело. _____

51. Повезати опис са називом претварача за мерење притиска.

а) Претвараачи облика шупљег цилиндра.

б) Бурдонова цев.

в) Претвараачи на бази мембране.

1) Користе се за мерење високих притисака. _____

2) Најстарији и најчешће коришћени еластични претвараач за мерење притиска. _____

3) Користе се у широком опсегу притисака, почев од нижег вакуума, па до преко 10^8 Ра. _____

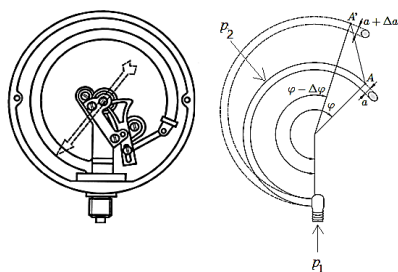
52. Повезати приказ са називом претвараача за мерење притиска.

а) Анероид. _____

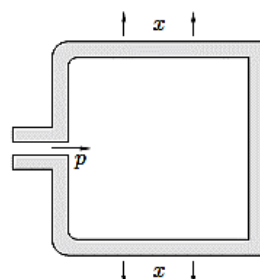
б) Бурдонова цев. _____

в) Претвараачи облика шупљег цилиндра. _____

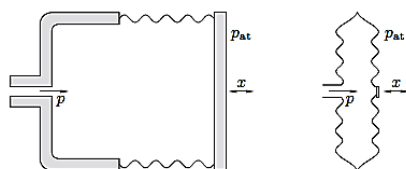
1)



2)



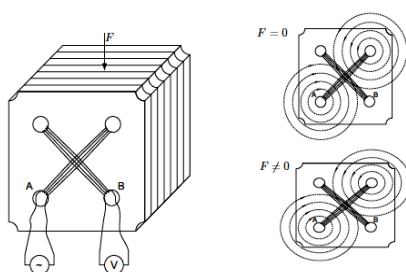
3)



53. Сила од 1 N која равномерно делује на површину од 1m^2 дефинише мерну јединицу.

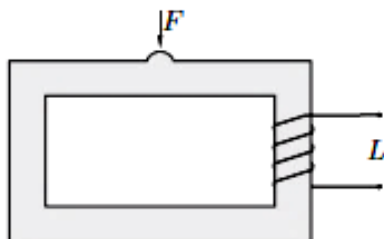
- а) 1 bar,
- б) 1 Pa,
- в) 10^5 Pa,
- г) 10^{-5} bar.

54. На слици је приказан давач:



- а) малих сила,
- б) великих сила.

55. Код претварача са феромагнетним језгром и намотајем чија се индуктивност L мери при деловању силе F долази до:



- а) пропорционалног повећања индуктивности L ,
- б) пропорционалног смањења индуктивности L .

56. Код механичких динамометара, техника баланса је:

- а) директно поређење,
- б) индиректно поређење.

57. Сила је пропорционална деформацији услед истезања на основу _____ закона.

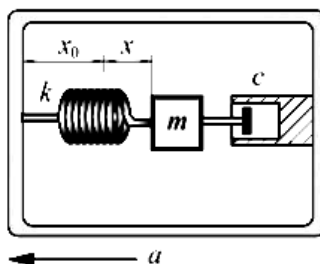
58. Мерењем _____, коју изазива сила може индиректним поступком да се израчуна колика је сила у опрузи или еластичном штапу.

59. _____ динамометри се чешће користе, јер имају мању инерцију, већу тачност и осетљивост у односу на механичке и хидрауличке.

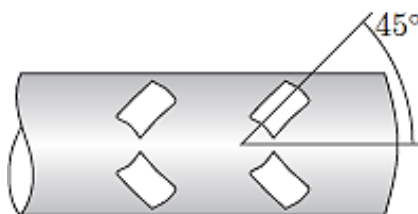
60. Инструменти за мерење притиска зову се _____.

61. Манометри са течностима се користе углавном за _____ мерење статичког притиска.

62. Уређај приказан на слици служи за мерење _____.



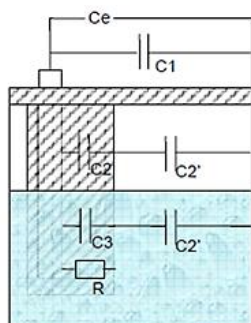
63. Цилиндар са залепљеним мерним тракама, приказан на слици користи се као еластичан елемент за мерење _____.



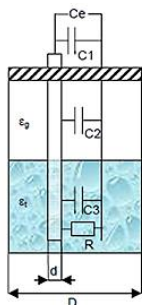
64. Директно мерење силе остварује се специјалним уређајима који се зову _____ .
65. Најједноставнији деформациони елемент за мерење силе је _____ .
66. Количина водене паре у ваздуху на датој температури представља:
- а) апсолутну влажност,
 - б) релативну влажност,
 - в) максималну влажност.
67. Који од наведених исказа су тачни?
- а) Отпорност отпорног претварача влажности са зрнстим материјалом опада са повећањем влажности.
 - б) Капацитивни претварачи влажности се користе чешће од отпорних.
 - в) Капацитивност капацитивног претварача влажности расте са повећањем влажности.
 - г) Капацитивност капацитивног претварача влажности опада са повећањем влажности.
 - д) По структури, отпорни мерачи влажности су омметри са наизменичним напајањем ниских учестаности.
 - ђ) Отпорни претварачи влажности се користе чешће од капацитивних.
 - е) Отпорност отпорног претварача влажности са зрнстим материјалом расте са повећањем влажности.
68. Гранична површина између две средине различите густине у односу на неку хоризонталну површину узету као референтну назива се _____ .

69. Повезати капацитивне сензоре, са слике, са одговарајућом врстом течности коју мере.

1)



2)



а) Капацитивни сензор нивоа за непроводне течности.

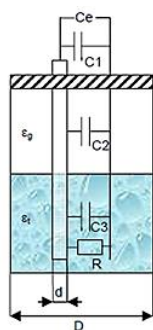
б) Капацитивни сензор нивоа за проводне течности.

в) Капацитивни сензор нивоа за проводне и непроводне течности.

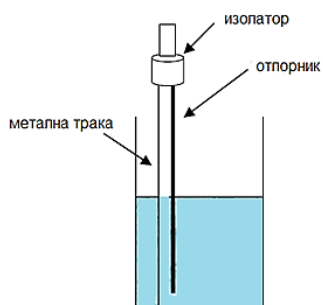
70. У ком опсегу се примењују нивометру са слике?

- а) Примењују се за нивое до 70 m.
- б) Примењују се за нивое до 20 m.
- в) Примењују се за нивое до 60 m.

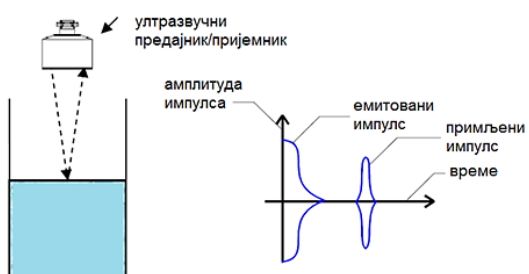
1)



2)



3)



7.

ВИШЕФУНКЦИЈСКИ ДИГИТАЛНИ МЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ

7.1. Теоријска основа

Развој инструмената намењених за мерење више различитих физичких величина започео је од мерила електричног напона - волтметара. Њихова основна функција је, на неки начин, елементарна: поређење улазног напона U са сопственим референтним напонам U_{REF} као материјализованом мером у односу на коју се вредност мерене величине одређује.

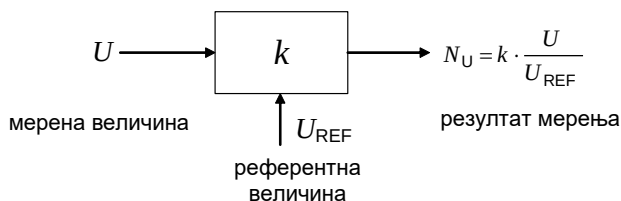
Независно од начина на који се ово поређење остварује, статичка карактеристика савршеног волтметра има облик:

$$N_U = k \frac{U}{U_{REF}},$$

где је k бездимензиона величина, одређена вредношћу неких пасивних елемената у мерном колу, чија је вредност подешена тако да резултат мерења, број N_U , представља вредност величине U изражену изабраном јединицом мере:

$$U = N_U U_U,$$

где је U_u јединична величина, која може да буде у опсегу од 1 nV до 1 kV.



Блок шема дигиталног волтметра

Мерење је процес добијања информација, који се састоји од поређења мерених (непознатих) са референтним (познатим) величинама, извршавања неопходних операција и представљања резултата у одговарајућем облику. У дигиталним вишенаменским мерним инструментима, осим одређивања вредности информационих параметра једног или више мерног сигнала, извршавају се разноврсни алгоритми којима се остварује математичка обрада мерних података са циљем смањивања утицаја случајних грешака путем вишеструких мерења, израчунавања вредности мерене величине на основу нелинеарних математичких модела сензора, изражавања резултата у логаритамским јединицама и слично.

Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су:

- кондиционирање (прилагођење) мерене величине,
- поређење величина исте врсте,
- обрада мерних података,
- запис,
- приказ,
- пренос података,
- програмирање,
- дијалог са корисником.

Дигитални мерни систем се састоји из две основне целине.

Прву целину чини мерни подсистем, који је физички издвојен заштитним оклопом са циљем стабилизације температуре, или заштићен екраном (*shield*) са циљем смањивања нивоа електромагнетске интерференције која може да утиче на резултат мерења. Садржи само онај део управљачке логики који је непосредно повезан са остваривањем мерних функција.

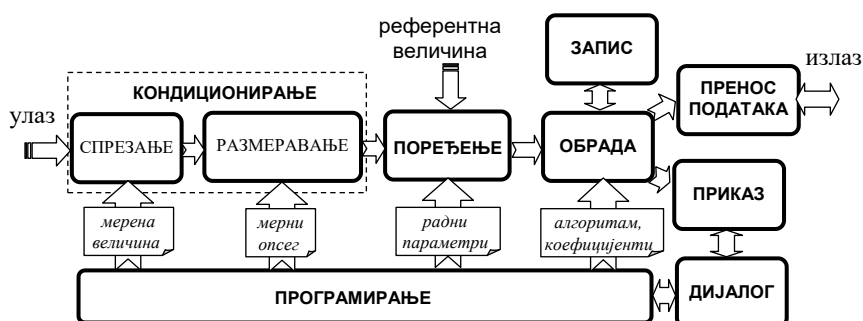
Другу целину представља подсистем који управља радом појединих функционалних блокова инструмента, извршавајући алгоритам којим се остварују изабране функције, обрађује резултате мерења, форматира их и приказује или преноси другом уређају. Он обухвата централну процесорску јединицу (*central processing unit, CPU*) и функционалне делове преко којих се остварују комуникационе функције.

7.2. Задаци

1. Нацртати блок-дијаграм који приказује основне активности, као и везе између њих, које се обављају у дигиталном мерном систему. Објаснити процес кондиционирања.

РЕШЕЊЕ

Општи блок дијаграм који приказује основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему, као и везе између њих, да је на слици.

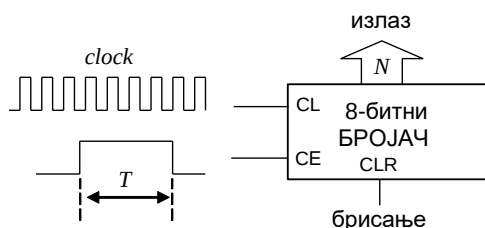


Кондиционирање омогућује спрезање мерног система са извором мерне информације, као и одговарајуће размеравање (скалирање), тако да се опсег вредности мерене величина преслика на оптимални мерни опсег оног дела уређаја којим се остварује поређење непознате и референтне величине. Кондиционирање сигнала који садрже информацију о стању неког система (процеса) подразумева и примену фреквенцијски-селективних кола. Када извор мерне информације представљају пасивни сензори, одговарајући кондиционер мора да обезбеди и помоћни извор енергије помоћу којег се остварује побуда сензора.

Подсистем за кондиционирање представља улазни део мерног система, а захтеви које он треба да испуни су:

- што мањи утицај на систем (процес) чије се стање посматра,
- заштита од нежељених дејстава испитиваног система на мерило,
- што тачније представљање информације у облику погодном за остваривање мерења.

2. Колико је трајање временског интервала T , код дигиталног мерног система приказаног на слици, ако је учестаност такта $f_{REF}=1\text{ kHz}$ а 8-битни бројач се зауставио на $N_2=00001111_{(2)}$. Бројач је пре почетка мерења доведен у почетно стање $N_2=00000000_{(2)}$.



РЕШЕЊЕ

Бројач се зауставио на $N_2=00001111_{(2)}$, што значи да је декадна вредност на излазу бројача $N=15$.

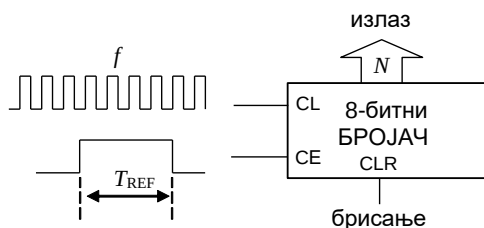
Из једначине:

$$N = \frac{T}{T_{REF}} = T f_{REF},$$

слиди да је трајање мереног временског интервала једнако:

$$T = \frac{N}{f_{REF}} = \frac{15}{1\text{ kHz}} = 15\text{ ms}.$$

3. Одредити фреквенцију f , код дигиталног мерног система приказаног на слици ако је трајање референтног временског интервала $T_{REF}=10\text{ ms}$ а бројач се зауставио на $N_2=00000100_{(2)}$.



РЕШЕЊЕ

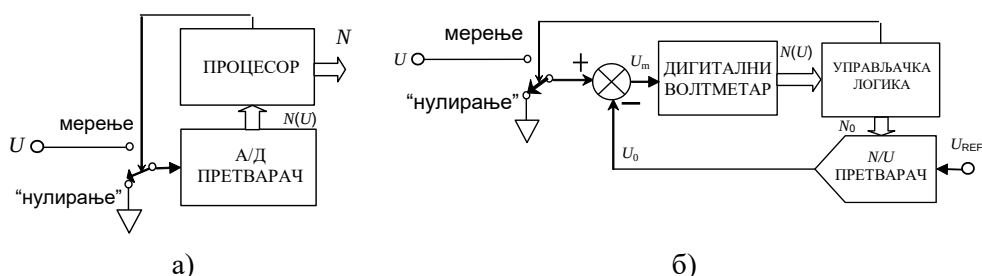
Декадна вредност на излазу бројача је $N=4$.

$$N = \frac{T_{REF}}{T} = T_{REF} f \Rightarrow f = \frac{N}{T_{REF}} = \frac{4}{10\text{ ms}} = 400\text{ Hz}.$$

4. Нацртати блок-дијаграме и објаснити начине самоподешавања нуле дигиталног волтметра.

РЕШЕЊЕ

Поништавање деловања еквивалентног напона помераја нуле улазних кола мерног система остварује се аутоматски (auto zero), поправком резултата мерења за вредност која одговара мерењу при кратком споју са масом (референтним потенцијалом) на улазу појачавача. Поправка може да се оствари дигитално, корекцијом резултата мерења одузимањем, слика под а), или аналогно, поларизацијом улаза, слика под б).



Самоподешавање нуле дигиталног волтметра

Одређивање корекционе вредности пре сваког мерења смањује брзину читавања, па често представља опцију која се по жељи може да укључи, уколико је то погодно, са циљем повећања тачности мерења.

Поједини мултиметри омогућују аутоматско извршавање процедура калибрације које не захтевају спољне изворе референтних величина (autocalibration). На тај начин се остварује провера исправности и постиже побољшање тачности додатних мерних функција, као што су мерење наизменичних величина и мерење отпорности. Осим тога, скраћује се време потребно за калибрацију инструмента спољним уређајима.

7.3. Питања за проверу знања

1. Које су основни захтеви за меморијски медијум?
 - а) Капацитет меморије.
 - б) Поузданост записа.
 - в) Што мањи утицај на систем (процес) чије се стање посматра.
 - г) Резолуција.
 - д) Заштита од нежељених дејстава испитиваног система на мерило.
 - ђ) Преносивост.
 - е) Брзина приступа.
 - ж) Прецизност.

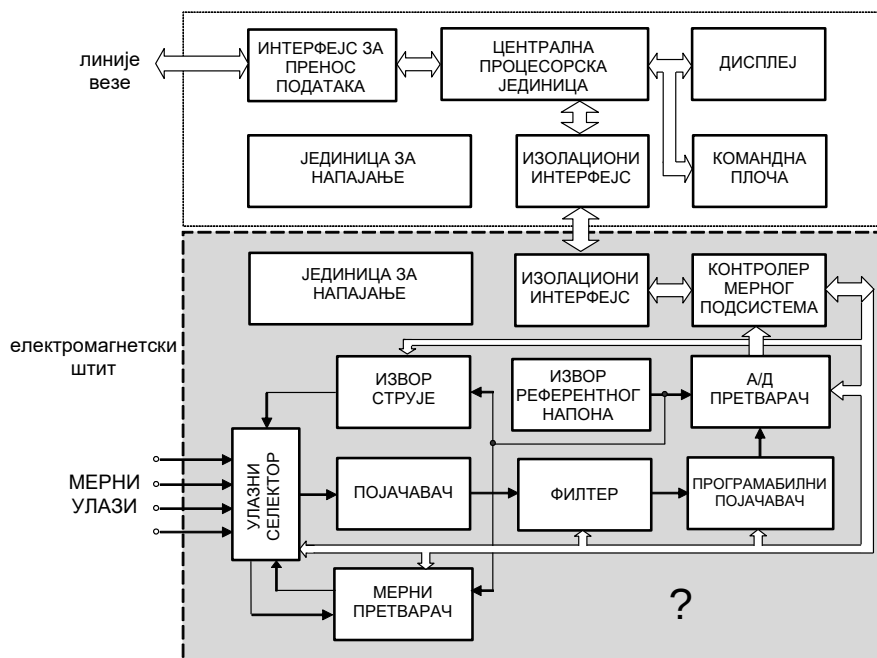
2. Које услове треба да испуни подсистем за кондиционирање?
 - а) Заштита од нежељених дејстава испитиваног система на мерило.
 - б) Што мањи утицај на систем (процес) чије се стање посматра.
 - в) Тачност.
 - г) Прецизност.
 - д) Резолуција.

3. Које услове треба да испуни подсистем за поређење?
 - а) Заштита од нежељених дејстава испитиваног система на мерило.
 - б) Што мањи утицај на систем (процес) чије се стање посматра.
 - в) Тачност.
 - г) Прецизност.
 - д) Резолуција.

4. Извршавање математичких и логичких операција у складу са дефинисаним (изабраним) моделом мерења назива се _____ мерних података.

5. _____ функције омогућују размену података са другим уређајима, као и дијалог са корисником.
6. Које су основни захтеви за приказ?
 - а) Заштита од нежељених дејстава.
 - б) Што мањи утицај на систем (процес) чије се стање посматра.
 - в) Тачност.
 - г) Капацитет меморије.
 - д) Резолуција.
 - ђ) Брзина приступа.
7. Програмирање флексибилних вишенаменских уређаја:
 - а) може да се обави кроз интерактиван поступак,
 - б) не захтева познавање одговарајућег програмског језика,
 - в) захтева познавање одговарајућег програмског језика,
 - г) може да се обави само у току производње уређаја.
8. _____ функције омогућују размену података са другим уређајима, као и дијалог са корисником.
9. Подсистем за _____ омогућава спрезање мерног система са извором мерне информације.
10. Подсистем за _____ омогућава меревање (скалирање), односно пресликавање опсега вредности мерење величине на оптималан мерни опсег.
11. Савремени мерни инструменти се одликују веома _____ опсегом вредности мерене величине.
12. _____ мерне функције одређују неке параметре мерног процеса у складу са конкретним условима мерења..

13. Део дигиталног мерног система приказаног на слици, који је означен сивим правоугаоником, назива се _____ подсистем.



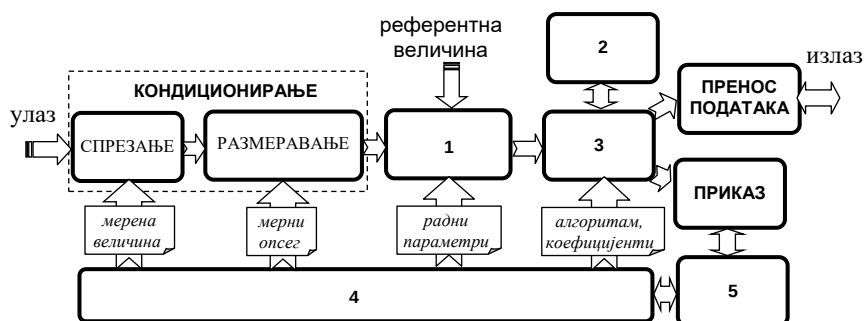
14. Функције које дефинишу намену инструмента и омогућавају мерење одређене физичке величине, називају се _____ мерне функције.

15. Мерење у ужем смислу представља _____ мерене величине чија вредност није позната са референтном величином исте врсте чија је вредност позната.

16. Функције које дигитални мерни инструменти обављају могу да се групишу у четири категорије?

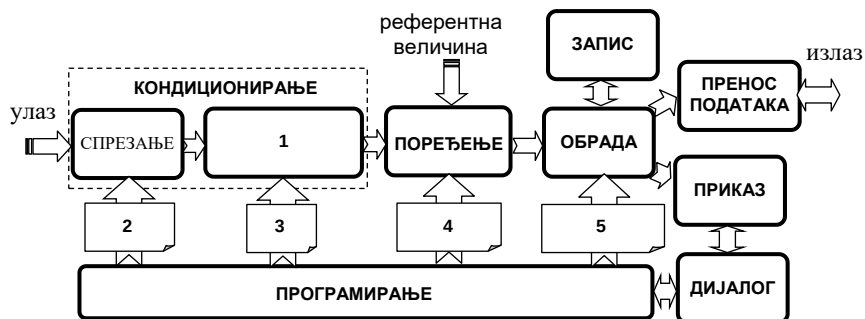
- 1) Основне.
- 2) Помоћне (мерне).
- 3) _____.
- 4) Комуникационе.

17. Повезати редни број блока са одговарајућим називом?



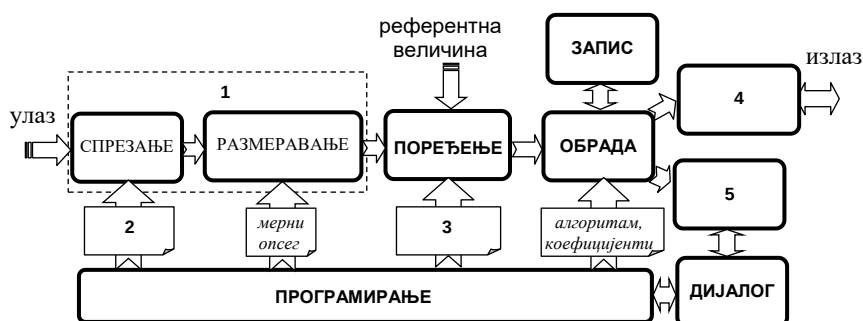
- а) Дијалог. _____
- б) Поређење. _____
- в) Запис. _____
- г) Обрада. _____
- д) Програмирање. _____

18. Повезати редни број блока са одговарајућим називом?



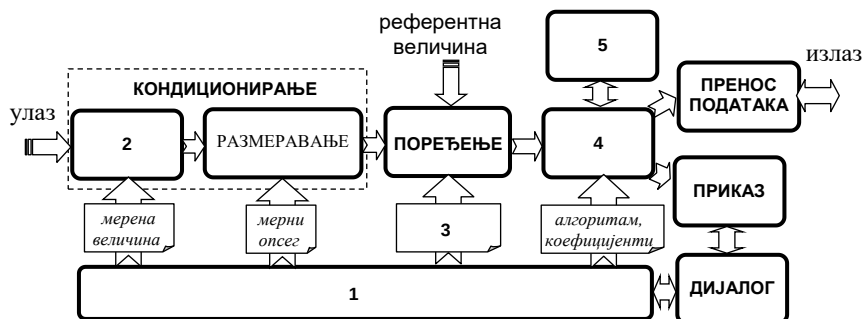
- а) Размеравање. _____
- б) Мерни опсег. _____
- в) Алгоритам, коефицијенти. _____
- г) Радни параметри. _____
- д) Мерена величина. _____

19. Повезати редни број блока са одговарајућим називом?



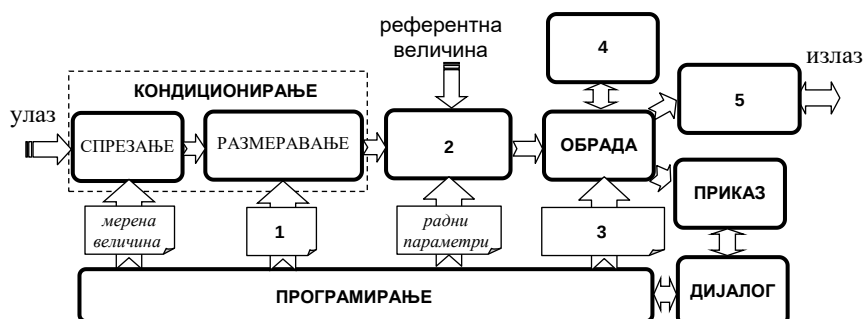
- а) Радни параметри. _____
- б) Кондиционирање. _____
- в) Приказ. _____
- г) Пренос података. _____
- д) Мерена величина. _____

20. Повезати редни број блока са одговарајућим називом?



- а) Обрада. _____
- б) Програмирање. _____
- в) Спрезање. _____
- г) Радни параметри. _____
- д) Запис. _____

21. Повезати редни број блока са одговарајућим називом?



- а) Мерни опсет. _____
- б) Запис. _____
- в) Алгоритам, коефицијенти. _____
- г) Пренос података. _____
- д) Поређење. _____

22. Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су: кондиционирање мерене величине, поређење величина исте врсте, обрада мерних података, запис, _____, пренос података, програмирање и дијалог са корисником.

23. Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су: кондиционирање мерене величине, поређење величина исте врсте, _____ мерних података, запис, приказ, пренос података, програмирање и дијалог са корисником.

24. Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су: кондиционирање мерене величине, поређење величина исте врсте, обрада мерних података, запис, приказ, пренос података, _____ и дијалог са корисником.

25. Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су: кондиционирање мерене величине, поређење величина исте врсте, обрада мерних података, запис, приказ, _____, података, програмирање и дијалог са корисником.
26. Основне активности које се обављају у дигиталном мерном систему су: кондиционирање мерене величине, поређење величина исте врсте, _____, обрада мерних података, приказ, пренос података, програмирање и дијалог са корисником.

8.

ИНТЕРФЕЈСНИ СИСТЕМИ У МЕРНОЈ ТЕХНИЦИ

8.1. Теоријска основа

Под интерфејсом (*interface*) се подразумева граница, у смислу споја, спреге између система или делова система, преко које се информације преносе. Светлосни индикатори, прекидачи и тастери командне табле, некад, а тастатура, миш и екран, данас, представљају примере спреге помоћу које се остварује размена информација између корисника и рачунарског система, односно интерфејс између људског бића и машине (*human mashine interface* - *HMI*).

Електрични и механички елементи потребни за остваривање међусобног спрезања унутар скупа уређаја образују интерфејсни систем. Уобичајено је, међутим, да се и целокупни спрежни систем, који обухвата не само каблове, конекторе, дигитална и аналогна улазна и излазна кола, него и спецификације сигналних линија, електричних и временских параметара, назива интерфејсом. У ширем смислу, под појмом интерфејс се подразумевају и програми којима се остварује одговарајући дијалог.

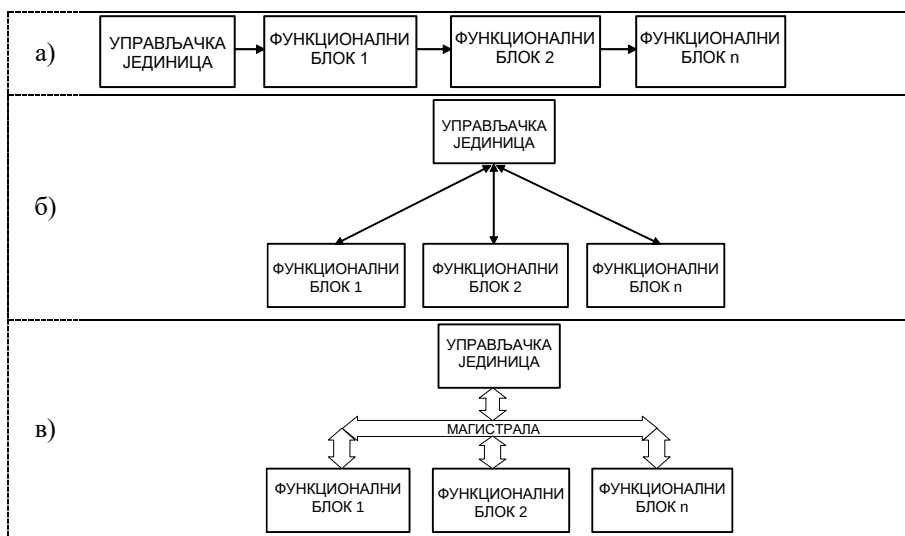
Стандардни интерфејс је свеукупност усаглашених и унифицираних хардверских, програмских и конструктивних средстава, неопходних за остваривање алгорита узајамног деловања различитих функционалних блокова, модула и система за аутоматску обраду података различитог облика, при стандардом прописаним условима који обезбеђују информациону, електричну и конструктивну усаглашеност ових блокова.

У информационом погледу, функционални делови система (блокови) су међусобно повезани сигнаlima који се могу поделити на:

- информационе (у ужем смислу),
- управљачке,
- адресне,
- специјалне.

Са становишта конфигурације мреже, коју образују делови сложеног система, могу се извојити три основне тополошке форме:

- каскадна, слика (а),
- радијална, слика (б),
- магистрална, слика (в).



Основни тополошки облици спреге

Каскадна конфигурација се одликује минималним бројем линија везе у систему. Везе се остварују непосредно, од једног блока другом, па адресовање блокова није неопходно.

Радијална (звездаста) конфигурација омогућује бржи проток информација које се преносе непосредно између централне (контролне) јединице и одређеног функционалног блока.

Развој микропроцесорске технологије је омогућио дистрибуцију "интелигенције" контролне јединице на поједине блокове система, па магистрална конфигурација доминира у савременим уређајима. Посредством одговарајућих система сигналних линија (сабирница, магистрала) компоненте система повезане су са централном јединицом и међусобно.

Са становишта структуре самог система, разликују се три основне категорије:

- модулни интерфејс,
- инструментациони интерфејс,
- комуникациони интерфејс.

Спрега између појединих функционалних блокова остварује се линијама везе којима се прослеђују бинарни сигнали који имају само два могућа стања. Пренос података (*data transfer*) између централне управљачке јединице и периферијских јединица дигиталног система може бити остварен серијски (бит по бит) или паралелно, у групама одређене дужине (бајт по бајт).

Серијски пренос података се, по правилу, користи при комуникацији на великим растојањима, али и за повезивање рачунара са различитим периферијским уређајима (модем, миш, штампач,...), као и за међусобно повезивање рачунара. Синхрона серијска комуникација захтева посебан синхронизациони сигнал који одређује временску координату сваког бита који предајник (трансмисер) шаље. Она има предност у погледу брзине и поузданости преноса, али се због сложености користи првенствено за екстремно брзи серијски пренос података између рачунара. Асинхрона серијска комуникација подразумева предефинисано трајање појединих битова, одређено локалним генератором такта (*clock*).

Паралелни пренос података се остварује скупом линија везе (водова), које формирају магистралу (сабирницу), тако да је сваком појединачном биту податка који се преноси додељена посебна линија. Прави паралелни пренос се данас веома ретко користи. Најчешће се примењује комбиновани пренос: битови информације представљене у бинарном облику преносе се паралелно, а групе (речи) серијски (*byte-serial, bit parallel*). Пренос сваке речи остварује се у току једног циклуса синхронизације.

У настојању да се достигне оптимум односа цена/перформансе/универзалност, дефинисана је читава фамилија система рачунарских магистрала отворене архитектуре (*open architecture bus*), од којих су неки прихваћени на нивоу разних међународних организација. Стандардима су прецизирани димензије и начин спајања модула, дефиниције сигнала, ширина адресне магистрале и магистрале података (8, 16 или 32 бита), протокол преноса података, "механизми" прекида и приступа оперативној меморији, могућност и начин паралелног рада више процесорских јединица. Развој технологије микропроцесора допринео је њиховој широкој примени у разноврсним периферијским уређајима рачунарских система. Системи магистрала, преко којих се повезује централна процесорска јединица са периферијама рачунара, су усавршавани, а тим развојем су условљене нове концепције архитектуре рачунарских система. У складу са том општом тенденцијом примене модуларне структуре, настали су и стандарди посебно намењени за међувезе мерних модула, уређаја и инструмената.

Са становишта прихваћености, најзначајнија су три стандарда:

- CAMAC,
- IEC625/IEEE488,
- VXIbus.

CAMAC (*Computer Automated Measurement and Control*) је модуларни дигитални мерни систем образован као одговарајућа комбинација специјализованих функционалних модула различите намене (појачавача, бројача, тајмера, аналого-дигиталних и дигитално-аналогних претварача итд). Модули се смештају у стандардизовано кућиште у којем се налази и извор за њихово напајање. Основни “градивни елемент” система је улазно/излазни (I/O) модул који остварује спрегу између екстерног процеса и рачунарски организоване магистрале (*CAMAC dataway*) преко које су разноврсни I/O модули повезани са специјализованим модулом (контролером) који омогућује паралелну или серијску спрегу са надређеним рачунаром.

VXI стандард се односи на програмабилне мерне инструменте реализоване у виду IOC-модула који се постављају у крлетку у заједничком кућишту (*mainframe*). Дефинисани су конструктивни параметри и начин међусобног повезивања ове врсте мерних уређаја. Основни захтеви формулисани су са циљем омогућавања реализације специјализованих компактних аутоматских мерних система са врло великим бројем мерних тачака и сразмерно високих перформанси.

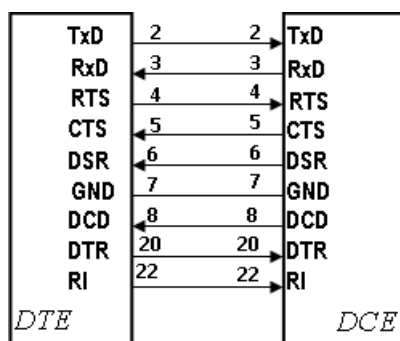
IEC625/IEEE488 интерфејсни систем програмабилних мерних инструмената је најспорији, али и најједноставнији у погледу електричне и механичке спреге. Спада у врло распрострањене стандарде јер представља економично и ефикасно решење проблема аутоматизације мерења у метролошким и истраживачким лабораторијама. Заснован је на бајт-серијском, бит паралелном преносу података. Због своје универзалности, у литератури се најчешће назива *GPIB (General Purpose Interface Bus)*.

Полазна поставка при дефинисању интерфејса *GPIB* била је оптимизација техничких захтева са гледишта самих инструмената. Усвојена је магистрална структура везе, са наменским интерфејсом којим је опремљен сваки уређај у систему.

8.2. Задаци

1. Нацртати блок-дијаграм који приказује начин повезивања терминалног уређаја *DTE* (*Data Terminal Equipment*), који представља део информационог система у оквиру којег се размењују подаци и електричних кола односно склопова *DCE* (*Data Circuit-terminating Equipment*) преко којих се остварује повезивање са телекомуникационом мрежом према стандарду RS-232.

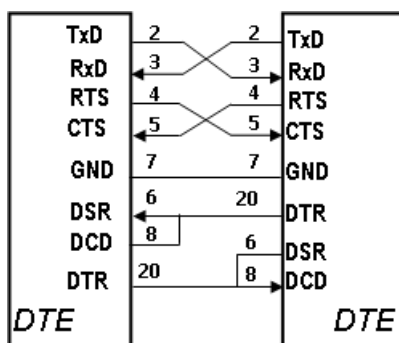
РЕШЕЊЕ



сигнал	назив	значење
<i>RTS</i>	<i>Request To Send</i>	захтев за слањем података; сигнал којим уређај који треба да пошаље податке (предајник) означава да је спреман за предају
<i>CTS</i>	<i>Clear To Send</i>	одговор којим уређај који треба да прихвати или проследи податке означава да је спреман за преузимање података
<i>DTR</i>	<i>Data Terminal Ready</i>	сигнал којим предајни уређај (<i>DTE</i>) означава да је спреман за рад (прикључен на напон напајања)
<i>DSR</i>	<i>Data Set Ready</i>	сигнал којим уређај који треба да прихвати или проследи податке означава да је спреман за рад (прикључен на напон напајања)
<i>DCD</i>	<i>Data Carrier Detect</i>	сигнал којим блиски (локални) <i>DCE</i> уређај индицира да је успоставио везу са удаљеним <i>DCE</i> уређајем.
<i>TxD</i>	<i>Transmit Data</i>	подаци који се предају
<i>RxD</i>	<i>Receive Data</i>	подаци који се примају

2. Нацртати блок-дијаграм који приказује директно повезивање два уређаја која међусобно размењују поруке путем серијске везе према стандарду RS-232.

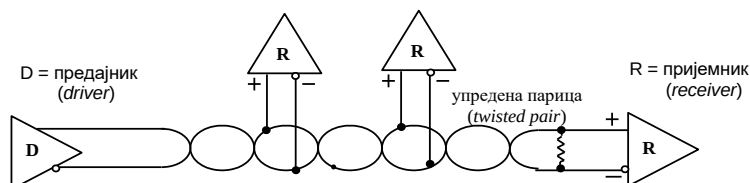
РЕШЕЊЕ



сигнал	назив	значење
<i>RTS</i>	<i>Request To Send</i>	захтев за слањем података; сигнал којим уређај који треба да пошаље податке (предајник) означава да је спреман за предају
<i>CTS</i>	<i>Clear To Send</i>	одговор којим уређај који треба да прихвати или проследи податке означава да је спреман за преузимање података
<i>DTR</i>	<i>Data Terminal Ready</i>	сигнал којим предајни уређај (<i>DTE</i>) означава да је спреман за рад (прикључен на напон напајања)
<i>DSR</i>	<i>Data Set Ready</i>	сигнал којим уређај који треба да прихвати или проследи податке означава да је спреман за рад (прикључен на напон напајања)
<i>DCD</i>	<i>Data Carrier Detect</i>	сигнал којим блиски (локални) <i>DCE</i> уређај индицира да је успоставио везу са удаљеним <i>DCE</i> уређајем.
<i>TxD</i>	<i>Transmit Data</i>	подаци који се предају
<i>RxD</i>	<i>Receive Data</i>	подаци који се примају

3. Нацртати блок-дијаграм који приказује начин повезивања уређаја путем *RS-422* интерфејса.

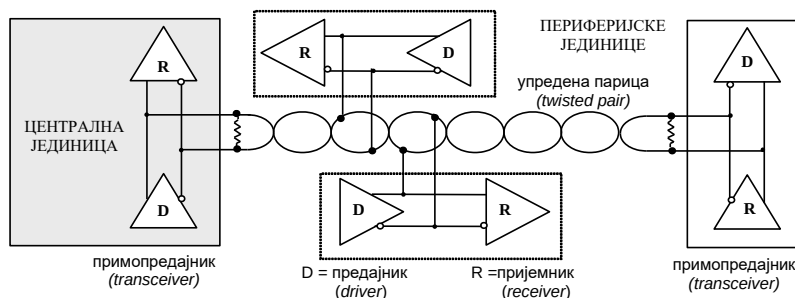
РЕШЕЊЕ



Пројектован је тако да омогућује пренос података на растојања до 1200 m, брзином до 100 kbit/s. На растојањима до 10 m брзина преноса се може повећати до 10 Mbit/s. До 10 пријемника може бити истовремено прикључено на исту линију.

4. Нацртати блок-дијаграм који приказује начин повезивања уређаја путем *RS-485* стандарда.

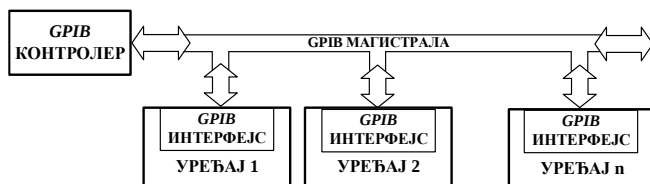
РЕШЕЊЕ



Омогућује пренос података на растојања до 1200 m, брзином до 100 kbit/s. На растојањима до 12 m брзина преноса се може повећати до 10 Mbit/s.

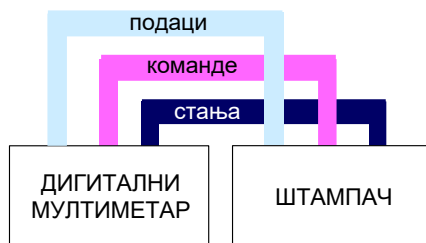
5. Нацртати блок-дијаграм који приказује повезивање уређаја посредством интерфејса *GPIB*.

РЕШЕЊЕ



6. Нацртати блок-дијаграм и објаснити од чега се састоји минимални GPIB-систем.

РЕШЕЊЕ



Минимални *GPIB*-систем састоји се од једног предајника и једног пријемника, без контролера. У таквој конфигурацији проток информација је сведен на директан пренос између уређаја постављеног у режим предајника (*talk only*) и уређаја постављеног у режим пријемника (*listen only*). У најједноставнијем облику, на пример, систем за регистрацију вредности мрежног напона садржи само један мерни инструмент (волтметар) који периодично обавља мерење и предаје податке регистратору (штампачу). Овако једноставни системи се веома ретко користе. Могућности *GPIB*-интерфејса далеко су више искоришћене када постоји контролер који руководи радом система, пре свега одређујући који уређај шаље, а који прима податке.

7. Нацртати блок-дијаграм који приказује структуру система програмабилних мерних инструмената – *GPIB*.

РЕШЕЊЕ



8.3. Питања за проверу знања

1. Повезати назив *GPIB* магистрале са одговарајућим бројем бита.
а) 3 бита, б) 4 бита, в) 5 битова,
г) 6 битова, д) 8 битова, ђ) 16 битова.

1) Магистрала података. _____
2) Контрола преноса. _____
3) Управљачки сигнали. _____
2. Повезати стање сигнала за контролу преноса у *GPIB*-систему са одговарајућим значењем.
а) Сви активни пријемници су спремни за пријем.
б) Подаци нису спремни.
в) Сви активни пријемници су прихватили податак са магистрале.
г) Подаци су спремни.
д) Бар један од активних пријемника није спреман за пријем.
ђ) Бар један од активних пријемника није прихватио податак са магистрале.

1) $NRFD = 0$. _____
2) $NDAC = 0$. _____
3) $DAV = 0$. _____
3. Који управљачки сигнал успоставља активни контролер, да би одредио текући режим рада, односно тип податка на магистрали података?
а) *IFC*.
б) *ATN*.
в) *SRQ*.
г) *EOI*.
д) *REN*.

4. Повезати редне бројеве блокова система за даљинско мерење са одговарајућим називима.

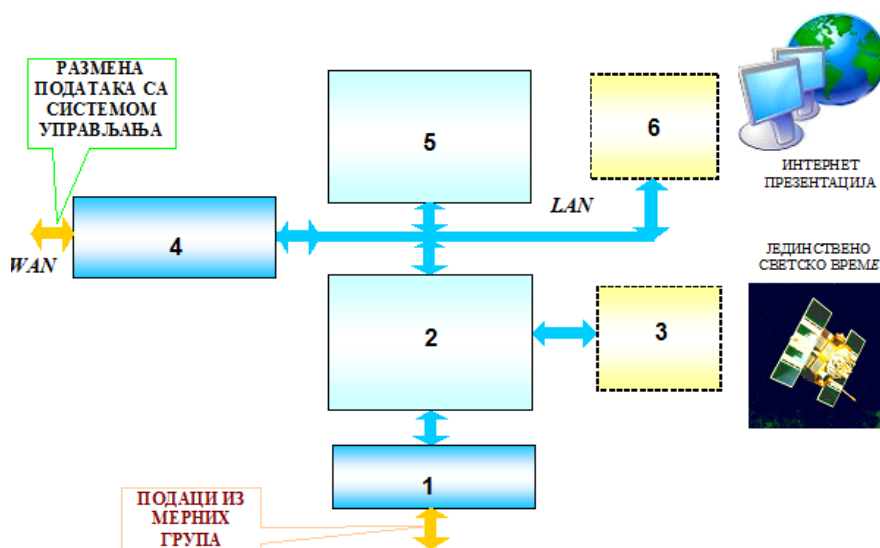
а) GPS пријемник.

б) Подсистем за обраду, архивирање, анализу и приказ података.

в) Комуникациони интерфејс.

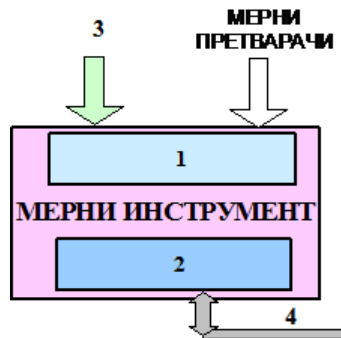
г) Сервер.

д) Подсистем за прикупљање мерних података.



- | | |
|-----------|-------|
| 1) Блок 1 | _____ |
| 2) Блок 2 | _____ |
| 3) Блок 3 | _____ |
| 4) Блок 4 | _____ |
| 5) Блок 5 | _____ |
| 6) Блок 6 | _____ |

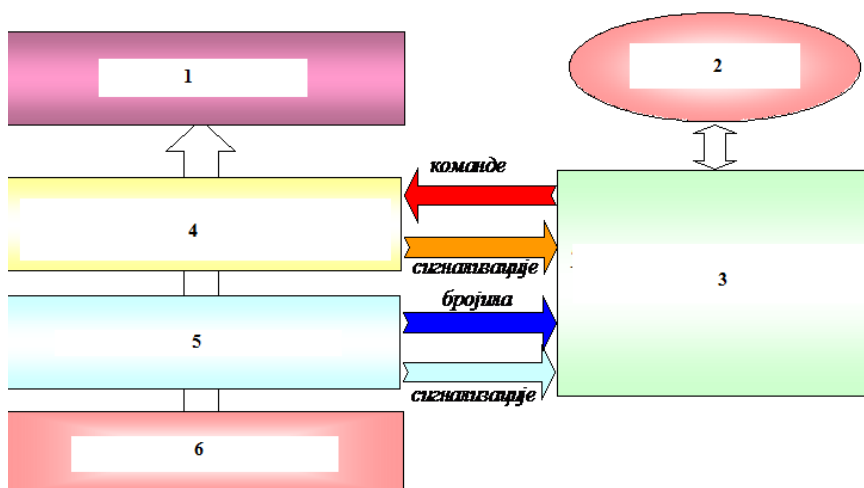
5. Повезати редне бројеве блокова са одговарајућим називима.
- Мерни интерфејс.
 - Подаци.
 - Сензори.
 - Инструментациони интерфејс.



- | | |
|-----------|-------|
| 1) Блок 1 | _____ |
| 2) Блок 2 | _____ |
| 3) Блок 3 | _____ |
| 4) Блок 4 | _____ |
6. Који управљачки сигнал поставља активни предајник током преноса последњег бајта поруке?
- IFC*.
 - ATN*.
 - SRQ*.
 - EOI*.
 - REN*.

7. Повезати редне бројеве са одговарајућим називима блокова у систему за надзор и управљање потрошњом електричне енергије *MARS*.

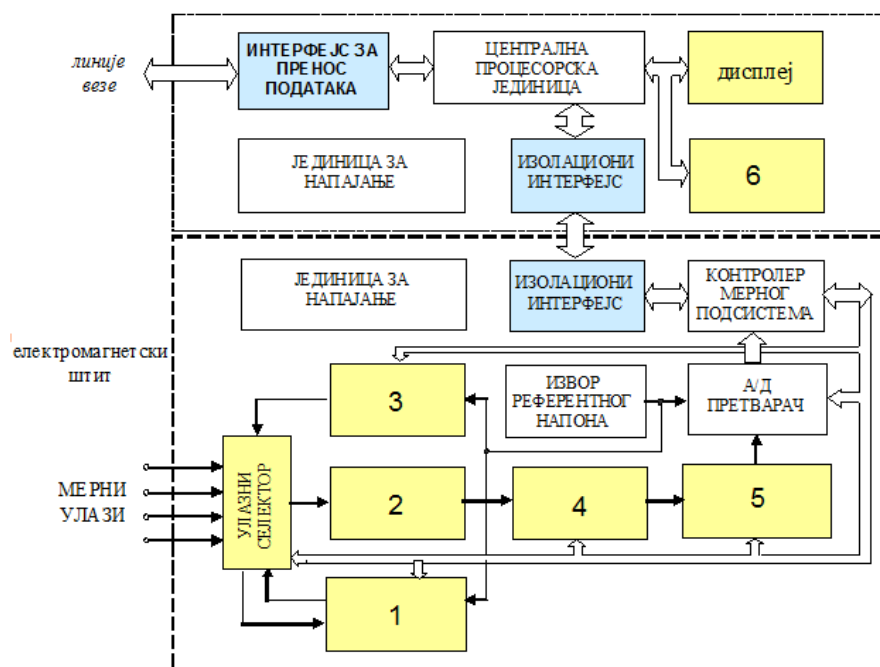
- а) Контролно-управљачки подсистем.
- б) Енергетска мрежа.
- в) Потрошачи.
- г) Центар.
- д) Мерни подсистем.
- ђ) Телеинформациони подсистем.



- 1) Блок 1 _____
- 2) Блок 2 _____
- 3) Блок 3 _____
- 4) Блок 4 _____
- 5) Блок 5 _____
- 6) Блок 6 _____

8. Повезати редне бројеве блокова са одговарајућим називима.

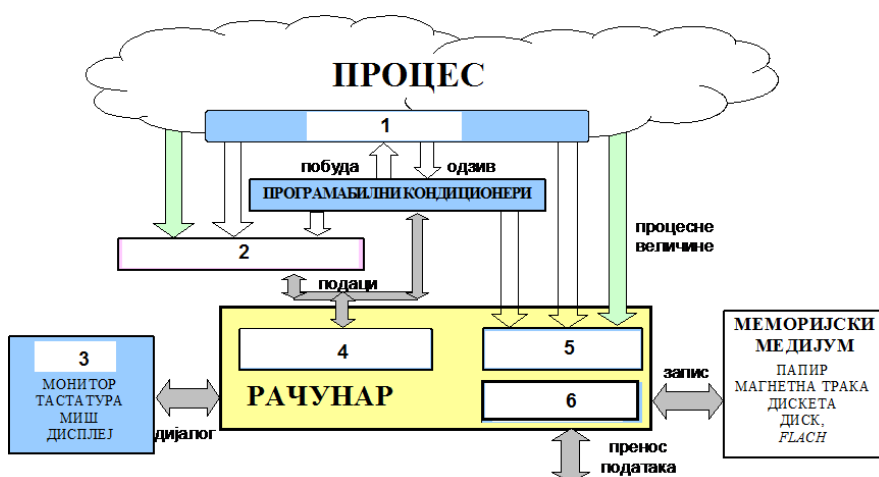
- а) Командна плоча.
- б) Програмабилни појачавач.
- в) Појачавач.
- г) Мерни претварач.
- д) Извор струје.
- ђ) Филтар.



- 1) Блок 1 _____
- 2) Блок 2 _____
- 3) Блок 3 _____
- 4) Блок 4 _____
- 5) Блок 5 _____
- 6) Блок 6 _____

9. Повезати редне бројеве блокова са одговарајућим називом.

- а) *MMI*.
- б) Инструментациони интерфејс.
- в) Мерни инструменти.
- г) Мерни интерфејс.
- д) Сензори.
- ђ) Комуникациони интерфејс.



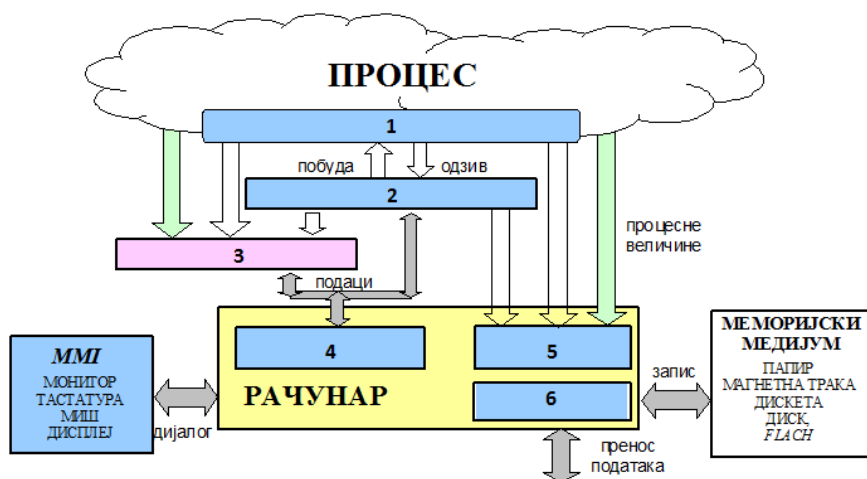
- 1) Блок 1 _____
- 2) Блок 2 _____
- 3) Блок 3 _____
- 4) Блок 4 _____
- 5) Блок 5 _____
- 6) Блок 6 _____

10. У *GPIB*-систему у било ком тренутку:

- а) број активних предајника зависи од конфигурације система,
- б) може да буде активно више предајника,
- в) може да буде активан само један предајник.

11. Повезати редне бројеве блокова и одговарајуће називе у блок дијаграму који описује надзор и управљање процесом.

- а) Сензори.
- б) Програмабилни кондиционери.
- в) Комуникациони интерфејс.
- г) Мерни интерфејс.
- д) Инструментациони интерфејс.
- ђ) Мерни инструмент.



- 1) Блок 1 _____
- 2) Блок 2 _____
- 3) Блок 3 _____
- 4) Блок 4 _____
- 5) Блок 5 _____
- 6) Блок 6 _____

12. У *GPIB*-систему:

- а) Може бити више уређаја способних да обављају улогу контролера.
- б) Само један уређај може да обавља улогу контролера.
- в) Систем контролер мора да буде активан контролер да би преузео управљање системом.
- г) Систем контролер може да преузме управљање системом иако није активни контролер.

13. Повезати стање управљачког сигнала $ATN = 0$ у *GPIB*-систему са одговарајућим значењем.

- а) Активни предајник може да почне се слањем података.
- б) У сваком од прикључених уређаја интерфејс се ресетује и прелази у пасивно стање.
- в) Информације на магистрали података представљају командне поруке, инструкције и адресе.
- г) Уређаји треба да игноришу сигнале на магистрали.

14. Повезати стање управљачког сигнала $ATN = 1$ у *GPIB*-систему са одговарајућим значењем.

- а) Уређаји треба да игноришу сигнале на магистрали.
- б) Активни предајник може да почне се слањем података.
- в) Информације на магистрали података представљају командне поруке, инструкције и адресе.
- г) У сваком од прикључених уређаја интерфејс се ресетује и прелази у пасивно стање.

15. MMI је интерфејс између:

- а) човека и рачунара,
- б) два човека на удаљеним локацијама,
- в) два рачунара.

16. Повезати стање управљачког сигнала $IFC = 1$ у $GPIB$ -систему са одговарајућим значењем.
- а) Информације на магистрали података представљају командне поруке, инструкције и адресе.
 - б) Уређаји треба да игноришу сигнале на магистрали.
 - в) Активни предајник може да почне се слањем података.
 - г) У сваком од прикључених уређаја интерфејс се ресетује и прелази у пасивно стање.
17. Који управљачки сигнал користи систем - контролер ради довођења интерфејсног система у дефинисано стање?
- а) SRQ ,
 - б) REN ,
 - в) ATN ,
 - г) IFC ,
 - д) EOI .
18. Како се на $GPIB$ магистрали за контролну преноса сигнализира да бар један од активних пријемника **није прихватио** податак који се у том тренутку налази на магистрали података?
- а) $NRFD = 1$,
 - б) $NRFD = 0$,
 - в) $NDAC = 0$,
 - г) $NDAC = 1$.
19. Како се на $GPIB$ магистрали за контролну преноса сигнализира да бар један од активних пријемника **није спреман** за пренос?
- а) $NRFD = 0$,
 - б) $NDAC = 0$,
 - в) $NRFD = 1$,
 - г) $NDAC = 1$.

20. Како се на *GPIB* магистрала за контролну преноса сигнализира да су сви активни пријемници спремни за пренос?
- а) $NRFD = 1$,
 - б) $NDAC = 0$,
 - в) $NRFD = 0$,
 - г) $NDAC = 1$.
21. Који управљачки сигнал успоставља систем - контролер, да би обезбедио да периферијски уређаји извршавају даљинске наредбе које примају преко магистрале?
- а) *REN*,
 - б) *ATN*,
 - в) *SRQ*,
 - г) *EOI*,
 - д) *IFC*.
22. Којим управљачким сигналом било који од уређаја прикуључених на *GPIB* магистралу поставља захтев за прекидом?
- а) *ATN*,
 - б) *SRQ*,
 - в) *REN*,
 - г) *IFC*,
 - д) *EOI*.
23. Које функције интерфејса омогућују размену података са другим уређајима, као и дијалог са корисником?
- а) Помоћне мерне функције.
 - б) Рачунарске функције.
 - в) Комуникационе функције.
 - г) Основне функције.

24. Њима се остварује мерење одређене физичке величине (електричног напона, струје, времена, учестаности, температуре, влажности итд).
- а) Помоћне мерне функције.
 - б) Рачунарске функције.
 - в) Основне функције.
 - г) Комуникационе функције.
25. Одређују параметре мерног процеса у складу са конкретним условима мерења (мерни опсег, трајање мерења, начин његовог иницирања,...).
- а) Комуникационе функције.
 - б) Рачунарске функције.
 - в) Помоћне мерне функције.
 - г) Основне функције.
26. Колико пријемника може да истовремено слуша податке које један предајник саопштава у *GPIB* систему?
- а) Више њих.
 - б) Највише осам.
 - в) Само један.
 - г) Највише два.
 - д) Највише четири.
27. Остварују нумеричку обраду резултата мерења, као и рад са подацима у циљу њиховог складиштења, припреме за пренос или приказ.
- а) Основне функције.
 - б) Рачунарске функције.
 - в) Помоћне мерне функције.
 - г) Комуникационе функције.

28. Којим сигналом активни предајник означава да је избацио податак на *GPIB* магистралу података (*DIO1* до *DIO8*)?
- а) *NRFD*.
 - б) *DAV*.
 - в) *NDAC*.
29. Процес прикупљања информација о стању неког физичког система и њихово претварање у податке који могу да се обрађују помоћу рачунара зове се _____ .
30. Спрега између система или делова система, преко које се преносе информације зове се _____ .
31. Допунити списак основних обележја савремене мерне технике:
- а) модуларност,
 - б) комплексност,
 - в) _____ .
32. Допунити реченицу са "може" или "не може".
- Систем-контролер у *GPIB* систему _____
- да пренесе контролну функцију другом уређају.

9. ОДГОВОРИ НА ПИТАЊА ЗА ПРОВЕРУ ЗНАЊА

9.1. Мерни сигнали и системи

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. б) | 23. 1-г, 2-в, 3-а, 4-б |
| 2. б) | 24. б) |
| 3. а) | 25. в) |
| 4. а) | 26. 1-в, 2-а, 3-б |
| 5. в) | 27. 1-б, 2-а, 3-в |
| 6. б) | 28. 1-в, 2-а, 3-б |
| 7. в), г) | 29. 1-б, 2-а, 3-в, 4-г |
| 8. информациони параметар | 30. 1-б, 2-а, 3-в, 4-а |
| 9. сигнал | 31. в) |
| 10. периодичан | 32. а) |
| 11. амплитуда | 33. а) |
| 12. спектар | 34. б) |
| 13. 1-в, 2-б, 3-а, 4-г | 35. в) |
| 14. а) | 36. а) |
| 15. б) | 37. в) |
| 16. а) | 38. а) |
| 17. а) | 39. в) |
| 18. б) | 40. б) |
| 19. а-2, б-1, в-3 | 41. б) |
| 20. б), в), д) | 42. а) |
| 21. а), г), д) | 43. б) |
| 22. 1-б, 2-в, 3-а | |

9.2. Мерења у индустрији

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. 1-а, 2-б, 3-в, 4-г | 36. а) |
| 2. в) | 37. а) |
| 3. в) | 38. б) |
| 4. а) | 39. в) |
| 5. в) | 40. а) |
| 6. в) | 41. б) |
| 7. б) | 42. б) |
| 8. в) | 43. в) |
| 9. а) | 44. б) |
| 10. а) | 45. б), г), д) |
| 11. б) | 46. в), д) |
| 12. а) | 47. в) |
| 13. б) | 48. а) |
| 14. в) | 49. б) |
| 15. време одзива | 50. б), г), ђ) |
| 16. гранични | 51. а), в), д) |
| 17. диференцијалног | 52. првог |
| 18. помак | 53. Фуријеова |
| 19. спољне (периферијске) | 54. електромеханичких |
| 20. пасивни | 55. другог |
| 21. мерни ланац | 56. динамичко |
| 22. кондиционер | 57. нуле |
| 23. мерни претварач | 58. осетљивости |
| 24. може | 59. инерцијални |
| 25. процесни | 60. нестабилност |
| 26. не зависи | 61. 1-б, 2-а, 3-в |
| 27. електричне | 62. 1-а, 2-б, 3-в |
| 28. сензор | 63. 1-б, 2-а, 3-в, 4-г |
| 29. физичкој | 64. б) |
| 30. физичкој | 65. а) |
| 31. активни | 66. 1-в, 2-б, 3-г, 4-а |
| 32. распон | 67. глатку |
| 33. стабилност | 68. филтар |
| 34. б) | 69. филтар |
| 35. а), б), д) | |

9.3. Мерење наизменичних електричних величина

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. а-1, б-3, в-2 | 14. б) |
| 2. а-1, б-2, в-3, г-4 | 15. в) |
| 3. 1-в, 2-а, 3-б | 16. б) |
| 4. 1-б, 2-в, 3-а, 4-г | 17. б) |
| 5. 1-а, 2-б, 3-в | 18. б) |
| 6. 1-а, 2-в, 3-б | 19. а) |
| 7. б) | 20. в) |
| 8. в) | 21. а) |
| 9. а) | 22. б), г) |
| 10. г) | 23. једносмерна |
| 11. а) | 24. врха |
| 12. в) | 25. облика |
| 13. а) | 26. великих |

9.4. Мерење електричне снаге и енергије

- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1. а-2, б-3, в-1, г-4 | 11. б) |
| 2. а-3, б-2, в-1, г-4, д-5, ђ-6 | 12. а) |
| 3. а) W , б) var , в) VA | 13. енергије |
| 4. в) | 14. активна |
| 5. в) | 15. активну |
| 6. а) | 16. сталном |
| 7. а), в) | 17. електрична снага |
| 8. в) | 18. калибратор |
| 9. б) | 19. интеграцијом |
| 10. б) | |

9.5. Сензори неелектричних величина

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1. а-2, б-1, б-3 | 15. б) |
| 2. а) | 16. в) |
| 3. а-2, б-3, в-1 | 17. розете |
| 4. а-1, б-2, в-3 | 18. 1-в, 2-б, 3-а |
| 5. а) | 19. б) |
| 6. а-1, б-3, в-2 | 20. пиезоелектрични |
| 7. 1-а, 2-а, 3-б, 4-б, 5-б, 6-а | 21. а) |
| 8. б), в) | 22. г), д) |
| 9. а) | 23. б), в) |
| 10. в) | 24. в) |
| 11. б) | 25. в) |
| 12. температуре | 26. механичких |
| 13. в) | 27. а) |
| 14. а) | 28. в) |

9.6. Методе и уређаји за мерење неелектричних величина

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1. 1-а, 2-в | 36. емисиони |
| 2. а-3, б-1, в-2 | 37. а-4, б-2, в-3, г-1 |
| 3. а-3, б-4, в-2, г-1 | 38. а-3, б-2, в-1, г-4 |
| 4. а), б), г), ђ) | 39. в) |
| 5. а) | 40. 1-а, 2-б, 3-а, 4-б |
| 6. г) | 41. 1-б, 2-б, 3-а, 4-в, 5-а |
| 7. а) | 42. 1-а, 2-а, 3-а, 4-б, 5-б, 6-б |
| 8. а) | 43. б), ђ), ж) |
| 9. апсолутни | 44. в), г) |
| 10. инкрементални | 45. б), г), ђ), ж) |
| 11. а) | 46. Питоова цев |
| 12. б) | 47. проток |
| 13. б) | 48. а) |
| 14. пиезоелектрични | 49. термограм |
| 15. г), д), ђ), ж) | 50. а-1, б-3, в-2 |
| 16. б) | 51. 1-а, 2-б, 3-в |
| 17. помераја | 52. а-3, б-1, в-2 |
| 18. LVDT | 53. б), г) |
| 19. струне | 54. б) |
| 20. тахометри | 55. б) |
| 21. г) | 56. а) |
| 22. б) | 57. Хуковог |
| 23. а-2, б-3, в-1 | 58. деформације |
| 24. а), г) | 59. електрични |
| 25. а), б) | 60. манометри |
| 26. а), г) | 61. апсолутно |
| 27. в) | 62. вибрација |
| 28. термистор | 63. момента |
| 29. термобатерија | 64. динамометри |
| 30. 1-а, 2-б | 65. опруга |
| 31. а), в), ђ), е) | 66. а) |
| 32. а), б), д) | 67. а), б), в), д) |
| 33. б), в), г), д) | 68. ниво |
| 34. а), в), г) | 69. 1-б, 2-а |
| 35. б), г), е) | 70. 1-б, 2-в, 3-а |

9.7. Вишефункционални дигитални мерни инструменти

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| 1. а), б), ђ), е) | 14. основне |
| 2. а), б) | 15. поређење |
| 3. в), г) | 16. рачунарске |
| 4. комуникационе | 17. а-5, б-1, в-2, г-3, д-4 |
| 5. обрада | 18. а-1, б-3, в-5, г-4, д-2 |
| 6. а), в), д) | 19. а-3, б-1, в-5, г-4, д-2 |
| 7. а), в) | 20. а-4, б-1, в-2, г-3, д-5 |
| 8. рачунарске | 21. а-1, б-4, в-3, г-5, д-2 |
| 9. кондиционирање | 22. приказ |
| 10. кондиционирање | 23. обрада |
| 11. широким | 24. програмирање |
| 12. помоћне | 25. пренос |
| 13. мерни | 26. запис |

9.8. Интерфејсни системи у мерној техници

- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1. 1-д, 2-а, 3-в | 17. г) |
| 2. 1-д, 2-ђ, 3-г | 18. в) |
| 3. б) | 19. а) |
| 4. 1-в, 2-д, 3-а, 4-в, 5-б, 6-г | 20. а) |
| 5. 1-а, 2-г, 3-в, 4-б | 21. а) |
| 6. г) | 22. б) |
| 7. 1-в, 2-г, 3-ђ, 4-а, 5-д, 6-б | 23. в) |
| 8. 1-г, 2-в, 3-д, 4-ђ, 5-б, 6-а | 24. в) |
| 9. 1-д, 2-б, 3-а, 4-б, 5-г, 6-ђ | 25. в) |
| 10. в) | 26. а) |
| 11. 1-а, 2-б, 3-ђ, 4-д, 5-г, 6-в | 27. б) |
| 12. а), г) | 28. б) |
| 13. а) | 29. аквизиција |
| 14. в) | 30. интерфејс |
| 15. а) | 31. дистрибуирана интелигенција |
| 16. г) | 32. може |

ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. Бошњаковић, Д. Прокин - *Индустријска метрологија*, ВИШЕР, Београд, 2015.
- [2] П. Бошњаковић - *Аналогна електроника*, ВИШЕР, Београд, 2012.
- [3] П. Бошњаковић - *Умеће мерења*, ВИШЕР, Београд, 2011.
- [4] Н. Миљковић - *Методе и инструментација за електрична мерења*, Електротехнички факултет у Београду, 2016.
- [5] М. Поповић - *Сензори и мерења*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2004.
- [6] Д. Станковић - *Физичко-техничка мерења*, Научна књига, Београд, 1991.
- [7] Т. R. Kuphaldt, *Lessons in industrial instrumentation*, ver. 1.30, 2012.
http://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii_1v30.pdf,
преузето: јануар 2018.
- [8] *Instrumentation for process control*, Mc Master University, 2013.
http://www.pc-education.mcmaster.ca/Instrumentation/go_inst.htm,
преузето: март 2018.
- [9] Д. Кркљеш, Ј. Бајић, *Сензори - решени задаци*, КЕЛ-ФТН, Нови Сад, 2013. <https://www.ktet.ftn.uns.ac.rs/download.php?id=2824>, преузето: јануар 2018.
- [10] З. Јегеш, С. Маравић Чисар, Г. Биач - *Сигнали и системи - збирка задатака*, ВТШ, Суботица, 2003.
- [11] Д. Прокин - *Питања и задаци из тестова за проверу знања на страници предмета Мерења 2 у систему за учење Moodle*,
<https://lectio2.viser.edu.rs/course/view.php?id=21>, 2018.