

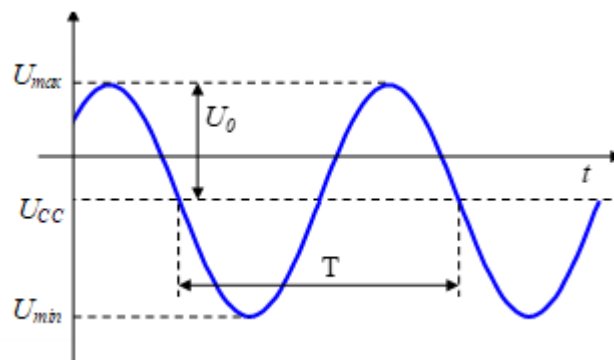
Lucrarea de laborator 4 Măsurarea tensiunilor continue și alternative

Scop: Familiarizarea studenților cu metodele de măsurare a tensiunilor continue și alternative și cu diferențele dintre valorile particulare.

Breviar teoretic

Parametrii semnalelor alternative, periodice

Se consideră un semnal periodic, de perioadă T , $x(t) = x(t + kT)$. Pentru acest semnal se pot defini următoarele mărimi:



Valoarea de vîrf – valoarea extremă (pozitivă sau negativă) a semnalului ($U_{max} = U_{V+}$, $U_{min} = U_{V-}$).

- **Valoarea vîrf la vîrf** - (peak-peak) domeniul de variație al semnalului

$$U_{VV} = U_{V+} - U_{V-} \quad (1)$$
- **Valoarea medie**–(*mean*) sau componenta continuă a semnalului (U_0 sau U_m sau U_{CC}). este valoarea indicată de un instrument analogic cu ac (magnetoelectric), dacă frecvența f este mult mai mare decît frecvența pe care o poate „urmări” acul instrumentului. Aceasta este valoarea indicată de un voltmetru de curent continuu.

$$U_m = \overline{u(t)} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(t) dt \quad (2)$$

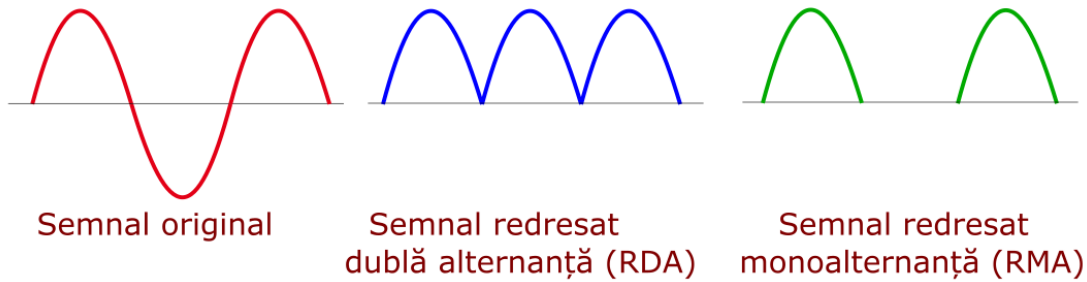
- **Valoarea medie absolută** – este valoarea medie a tensiunii **redresate**. Poate fi definită atît în cazul redresării monoalternanță (porțiunile pozitive SAU negative ale semnalului sînt *eliminate*) cît și în cazul redresării dublă alternanță (porțiunile negative ale semnalului sînt *convertite în pozitive*). Se notează U_{ma} .

- În cazul *redresării dublă alternanță* – RDA

$$U_{ma} = \overline{|u(t)|} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |u(t)| dt \quad (3)$$

- În cazul *redresării monoalternanță* – RMA (alternanță pozitivă)

$$U_{ma+} = \overline{|u_+(t)|} \quad (4)$$



- **Valoarea efectivă (eficace) – (Root Mean Squared):** Tensiunea efectivă este valoarea acelei tensiuni *continue* care dezvoltă aceeași putere medie printr-o rezistență, R , ca și semnalul periodic respectiv.

Formula pentru calculul puterii efective se obține egalând puterea tensiunii continue de valoare U_{ef} , $P_{ef} = \frac{U_{ef}^2}{R}$, cu puterea medie a semnalului alternativ, care se obține mediind puterea instantanee $p(t) = \frac{u^2(t)}{R}$, $P_{med} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \frac{u^2(t)}{R} dt$. Se obține:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} u^2(t) dt} = \sqrt{x^2(t)} \quad (5)$$

Valorile de vîrf, medie, medie absolută (redresare *monoalternanță* – *RMA* și *dublă alternanță* - *RDA*) și efectivă, pentru semnalele periodice uzuale de amplitudine A , sînt prezentate în tabelul 1.

<i>semnal</i>	U_v	$\overline{u(t)}$	U_{ma} RMA	U_{ma} RDA	U_{ef}
sinusoidal	A	0	A/π	$2A/\pi$	$\frac{A}{\sqrt{2}}$
dreptunghiular simetric	A	0	$A/2$	A	A
triunghiular simetric	A	0	$A/4$	$A/2$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$

Tabelul 1

Se definesc următorii coeficienți:

- *coeficientul de formă (numit și factor de formă FF):*

$$k_F = \frac{U_{ef}}{U_{ma}} \quad (6)$$

- *coeficientul de vîrf (numit și factor de creastă FC):*

$$k_V = \frac{U_v}{U_{ef}} \quad (7)$$

Valorile acestora pentru semnalele de forme uzuale (simetrice) se pot calcula pe baza tabelului 1 și sînt date în tabelul 2.

Semnal	k_F		k_V
	RDA	RMA	
sinusoidal	1.11	2.22	1.41
dreptunghiular simetric	1	2	1
triunghiular simetric	$2 / \sqrt{3}$	$4 / \sqrt{3}$	$\sqrt{3}$

Tabelul 2

Acest tabel permite determinarea unei valori pe baza oricărei alte valori, dar se observă că nu se poate folosi decît dacă se cunoaște forma de undă!

Aparate folosite pentru măsurarea tensiunilor:

- **Voltmetrul de curent continuu (DC):** măsoară tensiunea unui semnal continuu, sau valoarea medie a semnalului alternativ aplicat la intrarea sa:

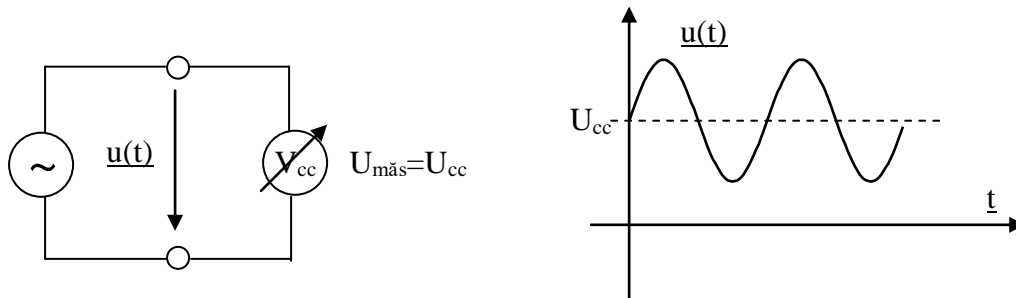


Figura 1: Voltmetru de curent continuu

- **Voltmetrul de curent alternativ (AC):** măsoară una din valorile asociate unui semnal alternativ; cel mai uzual, cînd nu se precizează altfel, este să măsoare valoarea efectivă pentru semnale sinusoidale, întrucît aceasta are cea mai mare utilitate practică (de exemplu, tensiunea de la priză este de 311V valoare de vîrf, 220V valoare efectivă, sau 622V valoare vîrf-la-vîrf; care valoare vi se pare mai cunoscută?)

Constructiv pot fi mai multe tipuri de voltmetre de c.a.:

- 1) *voltmetre de valori efective propriu-zise*, marcate de obicei cu inscripții ca *True RMS*, *RMS Responding*, etc. Acestea măsoară valoarea efectivă a semnalului, indiferent de forma acestuia, de obicei prin calcul (analogic sau numeric) sau prin efect termic. Sunt relativ mai scumpe.
- 2) *voltmetre gradate în valori efective, prin conversie de la valoarea medie absolută* - care nu măsoară direct valoarea efectivă a semnalului. Se folosește aceasta metodă deoarece valoarea U_{ma} este mult mai ușor de obținut (la semnale mari cu o simplă diodă sau punte de diode) decît valoarea efectivă, și, astfel, voltmetrul este mai ieftin. Așadar voltmetrele măsoară valoarea medie absolută pe care o convertesc apoi la valoarea efectivă pentru semnale sinusoidale, folosind coeficientul de formă pentru semnal sinusoidal din tabelul 2, (8),(9):

$$k_F^S = \frac{U_{ef}^S}{U_{ma}^S} \Rightarrow U_{ef}^S = k_F^S \cdot U_{ma} = 1,11 \cdot U_{ma} \quad (8)$$

În consecință, aparatul măsoară valoarea medie absolută a semnalului de intrare:

$$U_{m\grave{a}s} = U_{ma}$$

și indică valoarea de 1.11 ori mai mare (în cazul RDA):

$$U_{ind} = k_F^S \cdot U_{ma} = 1,11 \cdot U_{ma} \quad (9)$$

Dezavantaj: se observă că aparatul măsoară corect valoarea efectivă *numai* pentru semnale sinusoidale, singurele pentru care $k_F = 1,11$. **Pentru alte tipuri de semnale aparatul comite o eroare sistematică, (10):**

$$\epsilon_{sist} = \frac{U_{ind} - U_{ef}}{U_{ef}} = \frac{1,11 \cdot U_{ma} - U_{ef}}{U_{ef}} \quad (10)$$

Exercițiu: Folosind valorile din tabelul 1 să se determine eroarea sistematică făcută de un voltmetru non true RMS la măsurarea unui semnal triunghiular, respectiv a unui semnal dreptunghiular.

- **Voltmetrul AC+DC:** voltmetrele de curent alternativ precedente măsoară valoarea efectivă a semnalului *fără componenta continuă*, pe care o elimină înainte ca semnalul să fie măsurat. Există situații în care se dorește măsurarea valorii efective pentru întreg semnalul, inclusiv valoarea efectivă. În această situație vorbim de un **voltmetru de tip AC+DC**.

Exemplu:

Fie semnalul $u(t) = U_{CC} + U_o \sin(\omega t)$. Să se determine ce vor indica cele trei tipuri de voltmetre (voltmetru DC, AC, respectiv AC+DC), dacă la intrarea lor se aplică semnalul $u(t)$.

- **Voltmetrul DC** indică valoarea medie a semnalului (2):

$$U_{mas\ DC} = \frac{1}{T} \int_0^T (U_{CC} + U_o \sin(\omega t)) dt = U_{CC} \quad (11)$$

- **Voltmetrul AC** indică valoarea efectivă a semnalului *fară componentă continuă* (3):

$$U_{mas\ AC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_o^2 (\sin(\omega t))^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{U_o^2}{2} - \frac{U_o^2}{2} \cos(2\omega t) \right) dt} = \frac{U_o}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Rezultatul final a fost obținut ținând cont că integrala dintr-un semnal sinusoidal sau cosinusoidal pe o durată egală cu multiplul unei perioade este zero.

- **Voltmetrul AC+DC:** o metodă simplă de calcul se bazează pe legătura dintre puterea electrică și valoarea efectivă a tensiunii, relația (5). Dându-se o tensiune alternativă, valoarea sa efectivă e egală cu valoarea *acelei tensiuni continue* care produce *aceeași putere* pe o rezistență R precum tensiunea alternativă dată. Prin urmare, la calculul puterii în DC, se folosește tensiunea continuă U_{CC} , iar în AC, se folosește valoarea efectivă.

$$P_{cc} = \frac{U_{cc}^2}{R} \quad P_{ac} = \frac{U_{ef}^2}{R} = \frac{(U_o/\sqrt{2})^2}{R} = \frac{U_o^2}{2R} \quad (13)$$

În cazul AC+DC, puterea totală e dată de suma puterilor în AC și CC:

$$P = P_{cc} + P_{ac} = \frac{U_{cc}^2}{R} + \frac{U_o^2}{2R} \quad (14)$$

Dar puterea totală depinde de valoarea efectivă $U_{ef\ AC+DC}$ echivalentă a tensiunii AC+DC:

$$P = \frac{U_{efAC+DC}^2}{R} \quad (15)$$

Prin egalarea P din ultimele 2 relații se obține:

$$U_{masAC+DC} = U_{efAC+DC} = \sqrt{U_{CC}^2 + \frac{U_0^2}{2}} \quad (16)$$

O altă abordare pentru calculul valorii efective în cazul măsurării tensiunii efective pentru semnalul cu componentă continuă constă în aplicarea formulei de definiție pentru valoare efectivă. Demonstrația o puteți vedea în exercițiul de la sfârșitul lucrării.

Observație: Dacă la intrarea unui voltmetru de curent alternativ se aplică un semnal format dintr-o componentă continuă și o sumă de n componente alternative:

$$u(t) = U_{CC} + \sum_{k=1}^n U_k \sin(k\omega t) \quad (17)$$

atunci valoarea indicată va fi (demonstrația se face plecând de la relația de definiție):

Voltmetrul AC	Voltmetrul AC+DC
$U_{mas AC} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{U_k^2}{2}}$	$U_{mas ACDC} = \sqrt{U_{CC}^2 + \sum_{k=1}^n \frac{U_k^2}{2}}$

Tabelul 3

Măsurarea tensiunilor în decibeli:

În anumite situații se dorește exprimarea tensiunii efective sub formă de raport logaritmă - în decibeli (dB) - prin raportare la o tensiune de referință U_{ref} . De exemplu:

- $U_{ref1} = 1V$:

$$|U|dB = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_{ref1}} \quad (18)$$

Observație: Această tensiune corespunde unei puteri de referință $P_{ref} = 1mW$ generată pe o rezistență de $1k\Omega$ (1000Ω).

Se observă că:

0dB = 1V, 20dB=10V, 40dB=100V, 60dB=1000V etc., dar și:

0dB = 1V, -20dB = 0.1V, -40dB = 0.01V

- $U_{ref2} = 0.775V$:

$$|U|dBm = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_{ref2}} \quad (19)$$

Observație: Această tensiune corespunde unei puteri de referință $P_{ref} = 1mW$ generată pe o rezistență de 600Ω . Se folosește mai ales în comunicațiile telefonice. Se calculează prin înlocuire în formulă că $0 dBm = 0.775V$.

Prin urmare, datorită logaritmării, valori *negative* la măsurarea în dB respectiv dBm înseamnă că tensiunea măsurată e mai mică decât referința (1V respectiv 0.775V).

Observație: factorul 20 = 2·10 la exprimarea tensiunilor în decibeli provine din următoarele:

- raportarea logaritmă s-a făcut inițial pentru puteri; cum tensiunea este proporțională cu pătratul puterii, se obține factorul 2 în afara logaritmului

- logaritmul se exprimă în bels [B] (de la *Alexander Graham Bell*) dar uzual se folosește 1dB (decibel) = 1/10 B.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2^2}{U_1^2} \rightarrow \lg \frac{P_2}{P_1} = 2 \lg \frac{U_2}{U_1} [B] = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} [dB] \quad (20)$$

Citirea scărilor milivoltmetrului analogic:

Milivoltmetrul de curent alternativ (AC) este un instrument pentru măsurarea tensiunii efective de tip *non true RMS*. Are un ecran care poate indica tensiunea în volți sau decibeli, precum și un selector de scări, Figura 2. Selectorul de scară, Figura 2b, selectează scara pe care este măsurată tensiunea. Valoarea numerică selectată reprezintă valoarea maximă a tensiunii care poate fi măsurată pe scara respectivă (numită și valoare de cap de scară).

Milivoltmetrul de AC are 4 scări, Figura 2a, cu capetele de scară 1, 3, +1dB și +3dBm. Primele două scări, cu gradații de culoare neagră, permit măsurarea tensiunilor în volți, iar următoarele două, cu gradații de culoare roșie, permit măsurarea tensiunilor în decibeli:

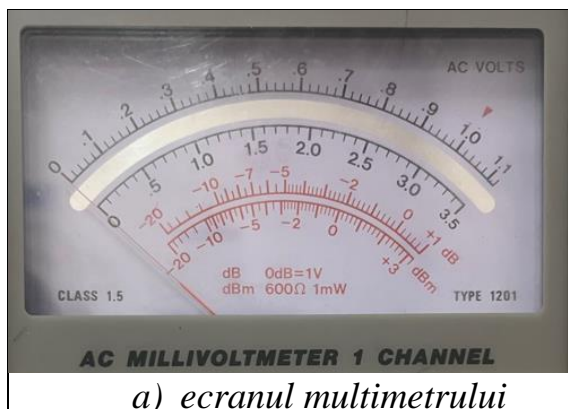
- scara terminată în 1 (mai exact 1.1) este folosită atunci când este selectată tensiunea de cap de scară de 1V și pentru multiplii/submultiplii de forma 10mV, 100mV, 10V, etc. Gradația de „1.1” de pe scară este o posibilitate de depășire, scara numindu-se în continuare scara de 1V, nu de 1.1V
- scara terminată în 3 (mai exact 3.5) este folosită atunci când este selectată tensiunea de cap de scară de 3V și pentru multiplii/submultiplii de forma 30mV, 300mV, 30V, etc. Permite depășirea pînă la 3.5.
- scările de dB și dBm măsoară conform definiției: 0dB = 1V, 0dBm=0.775V, sau 1mW pe o rez. de respectiv 1000Ω sau 600Ω

Pe scările de volți, selectorul de scări se folosește în modul următor:

- Indicația 0.6 pe scara terminată în 1 corespunde unei valori de 0.06V pe scara de 0.1V, respectiv unei valori de 60 V pe scara de 100 V.
- Similar, o indicație de 2.5 pe scara terminată în 3, corespunde unei valori de 0.25V pe scara de 0.3V, respectiv 25V pe scara de 30V.

Pe scările de dB/dBm, valorile de pe selectorul de scări se folosesc aditiv: se citește valoarea indicată de ac și se adună valoarea selectorului.

- De exemplu, o indicație de -3dB pe scara de +10dB înseamnă 7dB, iar pe scara de -10dB înseamnă -13dB (similar pe scara dBm).



a) ecranul multimetrului

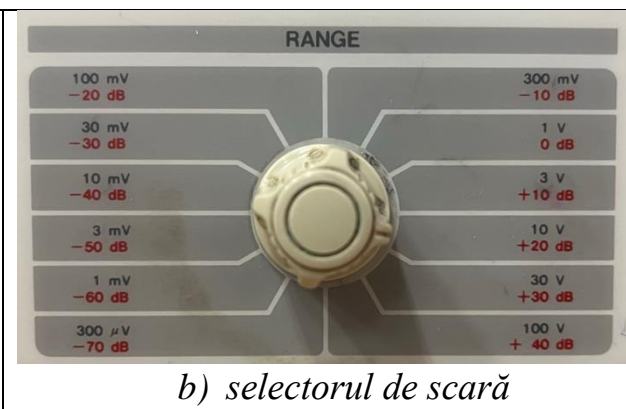


Figura 2: Milivoltmetrul de curent alternativ

Exemple: dacă poziția acului corespunde liniei roșii, iar a selectorului corespunde punctului roșu, citiți valoarea tensiunii în V, dB și dBm. Calculați din dB, dBm înapoi în V.

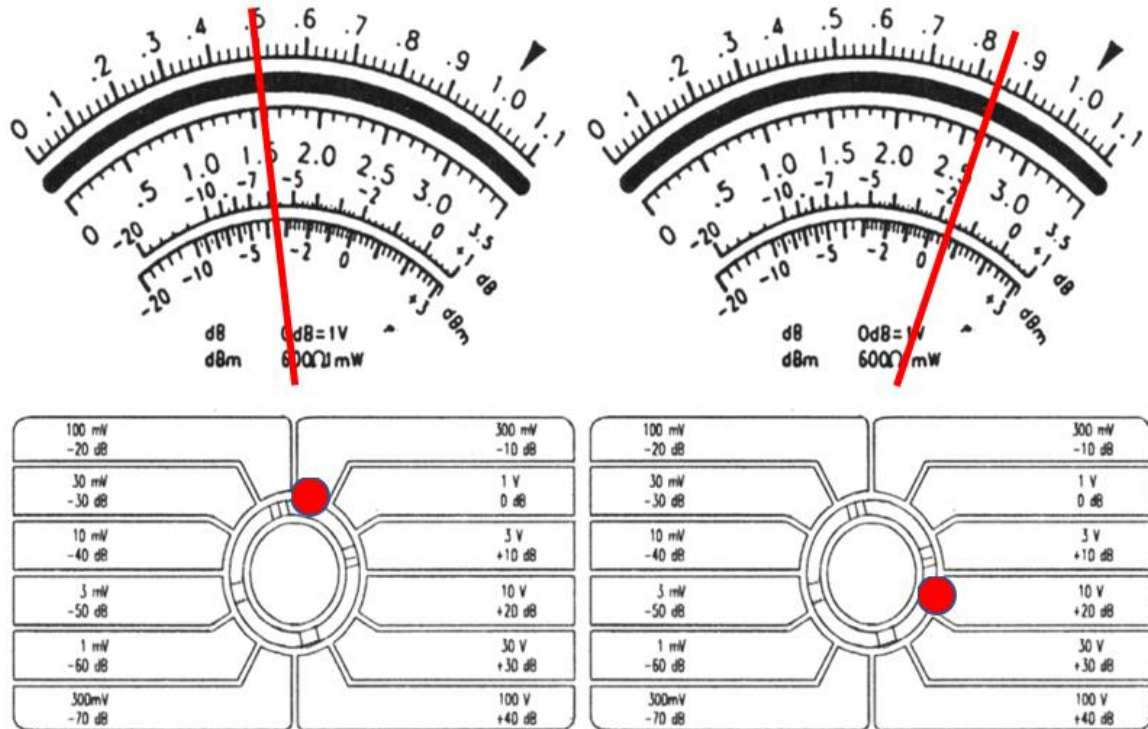


Figura 3: Citirea pe scara milivotmetrului de curent alternativ

$U_{CS}=300\text{mV} \rightarrow$ citim pe scara multiplă de 3
 indicație = 1.6 deci $U_X = 160\text{mV}$

$U_{CS}=+1\text{dB}-10\text{dB}$

indicație = -6dB deci $U_X = -6-10 = -16\text{dB}$

$U_{CS}=+3\text{dBm}-10\text{dBm}$

indicație = $-2.5\text{dBm}-10\text{dBm} = -12.5\text{dBm}$

Verificare: $-16\text{dB}: 20\lg U_X = -16$

$\rightarrow U_X = 10^{-0.8} = 0.158\text{V}$

$-12.5\text{dBm}: 20\lg U_X/0.775 = -12.5$

$\rightarrow U_X = 0.775 * 10^{-0.625} U_X = 0.183\text{V}$

Observație1: Valorile obținute în dB/dBm convertite prin calcul înapoi în V se observă că prezintă unele erori. Cauzele sînt:

- citirea imprecisă pe scara de dB/dBm
- acul este desenat „de mîna” fără a cunoaște exact poziția centrului cercului, prin urmare suprapunerea între scările de V și de dB este aproximativă.

Observație2: Valorile indicate de selectorul de scară reprezintă valorile tensiunii capăt de scară. Valorile respective corespund cu **gradația 1** de pe prima scară de volți (pentru valorile selectorului de scară de **100mV, 1V, 10V, etc.**), cu **gradația 3** de pe a doua scară de volți (pentru valorile selectorului de scară de **30 mV, 300mV, 3V, etc.**), cu **gradația 0 de pe scara de dB** (pentru valorile selectorului de scară de **-20dB, -10dB, 0dB, 10dB, 20 dB, etc.**), cu **gradația 0 de pe scara dBm** (pentru valorile selectorului de scară de **-20dB, -10dB, 0dB, 10dB, 20 dB, etc.**) – Figura 2. Se observă că selectorul de scară nu face distincția între dB și dBm, deoarece aparatul are gradații separate pentru dB și dBm după cum se vede în Figura 2a.

$U_{CS}=10\text{V} \rightarrow$ citim pe scara multiplă de 1
 indicație = 0.84 deci $U_X = 8.4\text{V}$

$U_{CS}=+1\text{dB}+20\text{dB}$

indicație = $-1.6\text{dB}+20\text{dB} = +18.4\text{dB}$

$U_{CS}=+3\text{dBm}+20\text{dBm}$

indicație = $0.8\text{dBm}+20\text{dBm} = +20.8\text{dBm}$

Verificare: $+18.4\text{dB} = 8.31\text{V}$

$+20.8\text{dBm} = 8.49\text{V}$

Desfășurarea lucrării

1. **Măsurarea tensiunii efective pentru semnal sinusoidal.** Se generează cu generatorul de semnal o tensiune sinusoidală avînd amplitudinea (val. de vîrf) U (scrisă pe tablă) și frecvența 1kHz. Amplitudinea semnalului se reglează de la generator, urmărind-o pe osciloscop unde se folosește canalul 1 (**CH1**) și un coeficient de deflexie pe verticală, C_y ales pentru maximizarea dimensiunii verticale a semnalului. Coeficientul de deflexie pe orizontală se alege $C_x=500\mu\text{s}/\text{div}$.

- Cîte diviziuni N_y ocupă amplitudinea semnalului?
- Se măsoară semnalul cu ajutorul milivoltmetrului de curent alternativ analogic (U_{va}). Ce mărime indică milivoltmetrul (în volți)?
- Se măsoară tensiunea efectivă (în volți) a semnalului cu ajutorul multimetrului digital (U_{md}), setat pe modul voltmetru (se apasă butonul **ACV**).
- Se măsoară cu osciloscopul tensiunea efectivă ($U_{cyc.rms}$) și valoarea vîrf-la-vîrf (U_{pk-pk}). Selectarea meniului se face astfel: **MEASURE** → **SOURCE=CH1** → **TYPE=Cyc RMS** respectiv **Pk-Pk**.
- Se calculează teoretic tensiunea **efectivă** pentru semnalul dat ($U_{ef.calc}$) pe baza valorii amplitudinii setate inițial U . Ce relație folosiți?
- Se calculează erorile relative ale indicației tensiunii efective pentru valorile măsurate cu cele trei aparate $U_{m\grave{a}s}=\{U_{va}, U_{md}, U_{cyc.rms}\}$ față de valoarea calculată teoretic pe baza amplitudinii ($U_{ef.calc}$): $\varepsilon = (|U_{m\grave{a}s} - U_{ef.calc}| / U_{ef.calc}) \cdot 100\%$

2. **Măsurarea tensiunii efective pentru semnal triunghiular și dreptunghiular.** Se reiau măsurătorile și calculele de la punctul 1 pentru semnalul triunghiular simetric cu amplitudinea U și dreptunghiular cu amplitudinea U (factor de umplere $\eta=50\%$), cu frecvențele de 1kHz. Ce relații de calcul folosiți pentru valoarea efectivă în funcție de amplitudine? Observați la care aparate erorile sînt mai mari față de cele pentru semnal sinusoidal. Explicați de ce.

3. **Măsurarea nivelului tensiunii efective (în dB).**

a) Se generează cu generatorul un semnal sinusoidal, avînd amplitudinea U și frecvența **1kHz**. Se stabilește coeficientul de deflexie la valoarea la care semnalul ocupă cît mai mult din ecran și se reglează amplitudinea la valoarea cerută.

- Se măsoară nivelul semnalului în dB și în dBm, folosind milivoltmetrul analogic ($U_{va}[\text{dB}]$, și $U_{va}[\text{dBm}]$) și multimetrul digital ($U_{md}[\text{dB}]$ și $U_{md}[\text{dBm}]$).

Observație:

- În cazul multimetrului digital, afișajul secundar în dB sau dBm se activează în modul **ACV** apăsînd succesiv combinația de taste **SHIFT** și **dBm**. Pentru măsurarea valorilor în decibeli (dB) se va selecta rezistența de referință de 1000Ω , iar pentru cea a valorilor în dBm se va selecta rezistența de 600Ω . Modificarea valorilor rezistențelor se face apăsînd succesiv tastele:

- **SHIFT** → **SET** → Ω → valoare 600Ω , 1000Ω (cu săgețile **▲▼**) → **SET**

ATENȚIE! Indiferent de valoarea selectată, sub afișaj apare aceeași indicație luminoasă „dBm”. Prin urmare, doar verificînd rezistența de referință puteți ști ce valoare indică aparatul.

- Se calculează valoarea teoretică pentru tensiunea efectivă în V, apoi se transformă în dB, dBm ($U_{\text{calc}}[\text{dB}]$, $U_{\text{calc}}[\text{dBm}]$).

Observație: se folosesc formulele (18) și (19), folosind tensiunile de referință pentru dB și dBm.

b) Se reglează la generator noua amplitudine $U' = U/\sqrt{2} = 0.707U$, unde U este amplitudinea de la pct. a). Aplicând formula (18) se obține:

$$U'[\text{dB}] - U[\text{dB}] = 20\lg \frac{U'}{U} = 20\lg \frac{U'}{U} = 20\lg \frac{1}{\sqrt{2}} = ? \quad (21)$$

Observație: Valoarea determinată mai sus (**calculați !**) arată cu cât se reduce tensiunea exprimată în dB sau dBm, dacă în raport ea se reduce de $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ori. Această valoare (diferență) este aceeași, *indiferent* cât sînt valorile aflate în respectivul raport, și de asemenea este aceeași și pt. dB și pt. dBm, căci referința U_{ref} se simplifică. Acesta este unul din avantajele folosirii dB ca unitate de măsură: dpdv al calculelor este mai ușor de făcut o *diferență* decît un *raport*.

c) pentru valoarea U' de mai sus se repetă măsurătorile din tabelul de la a). Ultimele 2 coloane se pot calcula ca la a), dar e mai simplu să se *scadă* valoarea obținută în ecuația (3), din valorile deja calculate la a) !

Observație: reducerea în tensiune de $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ori este echivalentă cu reducerea în putere de 2 ori.

4. Măsurarea componentei continue pentru un semnal dreptunghiular

a) Se trece osciloscopul pe **CH1 MENU** → **Coupling** → **DC**. Se trece generatorul pe semnal dreptunghiular simetric, cu **factor de umplere (duty cycle) 50%**, avînd amplitudinea $U_V=2V$, frecvența $f=2kHz$. Se vor regla coeficienții de deflexie la valorile: $C_X=100\mu\text{s}/\text{div}$ și $C_Y=1V/\text{div}$.

Nivelul de zero va fi reglat la mijlocul ecranului din **VERTICAL POSITION**.

- Se măsoară componenta continuă, U_{CC1} , prin comutarea între modurile de cuplaj AC și DC și măsurarea deplasării imaginii pe verticală. Are semnalul componentă continuă?

b) Se modifică de la generator semnalul pentru a-l face nesimetric, cu factor de umplere (duty cycle) de **20%**, folosind butonul funcțional **DtyCyc**.

- Procedînd ca la punctul a) se măsoară componenta continuă, U_{CC2} , a semnalului (**valoarea în Volți și semnul!**). Are semnalul componentă continuă? De ce?
- Se calculează componenta continuă folosind procedura de la exercițiul rezolvat 2. Se notează pe fișă valoarea U_{CC2_calc} .
- Se măsoară componenta continuă, U_{CC2_md} , cu multimetrul digital (**DCV**).

c) Se modifică de la generator factorul de umplere (duty cycle) la valoarea **60%**.

- Procedînd ca la punctul a) se măsoară componenta continuă, U_{CC3} , a semnalului (**valoarea în Volți și semnul!**).
- Se calculează componenta continuă folosind procedura de la exercițiul rezolvat 2. Se notează pe fișă valoarea U_{CC3_calc} .
- Se măsoară componenta continuă, U_{CC2_md} , cu multimetrul digital (DCV).

5. Măsurarea componentei continue pentru un semnal sinusoidal

a) Se generează un semnal sinusoidal cu amplitudinea $U_o=3V$, componentă continuă $U_{cc}=+2V$ și perioadă $T=250 \mu s$. Componenta continuă se verifică cel mai ușor văzînd cu cîte diviziuni urcă sau coboară semnalul cînd se comută de pe **CH1 Menu->Coupling->AC** (afișare fără c.c.) pe **DC**. Osciloscopul va fi reglat cu:

- $C_y=1V/div$ și $C_x=50 \mu s/div$, **Coupling->DC**. Se poziționează din **VERTICAL POSITION** nivelul $0V$ (GND), indicat în stînga imaginii prin săgeata cu numărul canalului, la 2 div față de marginea de jos a ecranului.

- Se vizualizează și se desenează semnalul.
- Se calculează teoretic U_{V+} și U_V . (observați că în cazul în care $U_{cc} \neq 0$, $U_{V+} \neq U_V$).
- Folosind meniul **MEASURE** al osciloscopului, se măsoară U_V , U_{V+} și valoarea medie, $U_{med_osc_MEAN}$, (**MEASURE → SOURCE=CH1 → TYPE=Min, Max** respectiv **Mean**).
- Se măsoară componenta continuă a semnalului cu multimetrul numeric (butonul **DCV**), $U_{med_voltmetru_cc}$, și se compară cu cea măsurată pe osciloscop.
- Se măsoară valoarea efectivă a semnalului pe modul **AC+DC**, U_{ef_ACDC} .
- Se calculează valoarea teoretică a valorii efective în modul **AC+DC**, $U_{ef_ACDC_calc}$, ecuația (16) și se compară cu valoarea măsurată.

ATENȚIE! La sfîrșitul măsurătorii se readuce nivelul GND la mijlocul ecranului și se setează **OFFSET=0** de la generator.

b) Vom ilustra o situație în care indicația **MEAN** din meniul **MEASURE** nu corespunde așteptărilor. Acest lucru se întîmplă atunci cînd osciloscopul nu afișează un număr întreg de perioade. Este important de înțeles că osciloscopul calculează **MEAN** pentru **imaginea afișată**, în timp ce, în mod normal, cînd vorbim de valoarea medie a unui semnal, ne referim la **media pe o perioadă!**

Setați **TRIGGER LEVEL=0V** și **C_x=250us/div**. Aplicați un semnal *sinusoidal* cu frecvență **f=1KHz**, amplitudine **A=4V**, **fără OFFSET!**

Mutați din HORIZONTAL POSITION săgeata corespunzătoare începutului afișării semnalului în stînga, la marginea ecranului.

- Folosind meniul **MEASURE** determinați noua valoare **MEAN**. Cîte perioade sînt afișate pe ecran? Desenați imaginea.

Modificați afișarea semnalului în modul „inversat pe y” mergînd în meniul **CH1 MENU → Invert → On**.

- Folosind meniul **MEASURE** determinați noua valoare **MEAN**.
- Explicați de ce s-a modificat **MEAN**, deși semnalul nu s-a modificat.

Modificați C_x la 100us/div.

- Determinați noua valoare MEAN. Câte perioade sînt afișate de această dată?
- Explicați rezultatele obținute. Care dintre variantele MEAN indicate corespunde valorii medii a semnalului și de ce?

Se revine la **CH1 MENU** → **Invert** → **Off**.

Observație: În meniul de măsură, valoarea efectivă este prescurtată **Cyc RMS** tocmai pentru că, în cazul acestei valori, osciloscopul face calculul pentru o perioadă a semnalului (*cycle*), indiferent de câte perioade sînt afișate pe ecran. Valoarea medie însă este **Mean** și nu **Cyc Mean**

6. Măsurarea unui semnal sinusoidal redresat monoalternanță

a) Se realizează pe machetă redresorul monoalternanță din figura 4. Rezistența nu face parte din redresor, ea este o *rezistență de sarcină* (în acest fel, circuitul nu funcționează în gol, care ar fi o situație ne-întîlnită în practică).

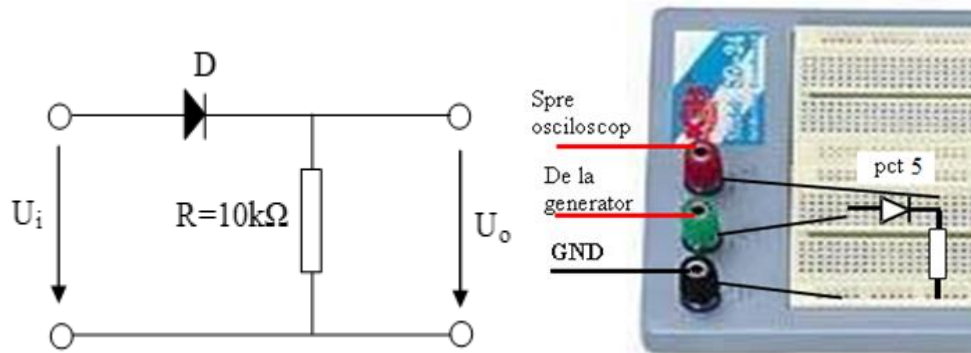


Figura 4: Schema redresorului monoalternanță; exemplu de realizare

OBS: la diodă, linia verticală de pe simbol (catodul) corespunde dungii marcate pe componentă

- Se aplică la intrarea redresorului un semnal o tensiune sinusoidală avînd amplitudinea de **5V**, frecvența **1kHz**, fără componentă continuă. Se verifică la osciloscop că **CH1/2 Menu** -> **Coupling**->**DC**, pentru ambele canale.
- Se vizualizează simultan pe osciloscop semnalul de la intrarea circuitului pe CH1 și de la ieșirea circuitului pe CH2. Se reglează coeficienții de deflexie pe verticală $C_y=2V/div$. Se desenează cele 2 semnale pe același grafic (cu culori diferite). Se măsoară componenta continuă a semnalului de ieșire (U_o) cu voltmetrul de curent continuu din multimetrul numeric (tasta **DCV**) (U_{ccmono}).

Indicație: Dioda reală introduce o cădere de tensiune de aproximativ 0.5-1V (tipic 0.6V), ceea ce face ca semnalul obținut pe ecran să difere puțin de semnalul redresat monoalternanță ideal.

- Se calculează teoretic componenta continuă a semnalului ($U_{tccmono}$).

Indicație: Deoarece avem un semnal redresat monoalternanță, valoarea medie a acestuia va reprezenta chiar U_{maRMA} (Tabel 1).

b) Se repetă vizualizarea semnalului de la intrare și ieșire inversînd dioda astfel încît să redreseze semialternanțele negative. Se desenează pe același grafic semnalele de la intrare și ieșire (cu culori diferite).

7. Măsurarea unui semnal format din două semnale sinusoidale

Se dorește obținerea unui semnal format din suma a două semnale sinusoidale. În acest scop se va implementa pe placa de test **circuitul sumator** din **figura 5a**. Rezistențele vor avea valoarea $10\text{k}\Omega$. În punctul A se aplică semnalul de la canalul 1 al generatorului (**CH1**), iar în punctul B semnalul de la canalul 2 (**CH2**). În figura 5c este dat un exemplu de realizare a montajului. Semnalele de la generator se vor conecta la firele roșii, iar osciloscopul la firul portocaliu (punctul C).

La generator se vor genera două semnale sinusoidale de frecvențe $f_1 = 1\text{kHz}$ (pe **CH1**), respectiv $f_2 = 4\text{kHz}$ (pe **CH2**). Schimbarea canalului se face din butonul **CH1/CH2** de la generator. Semnalele vor avea amplitudinea $A = 3\text{V}$ (6Vpp) și **Offset = 0V**. Se va selecta **Align Phase** pentru fiecare semnal.

Semnalul de la ieșirea circuitului va fi $u_o(t) = A_1 \sin(\omega_1 t) + A_2 \sin(\omega_2 t)$.

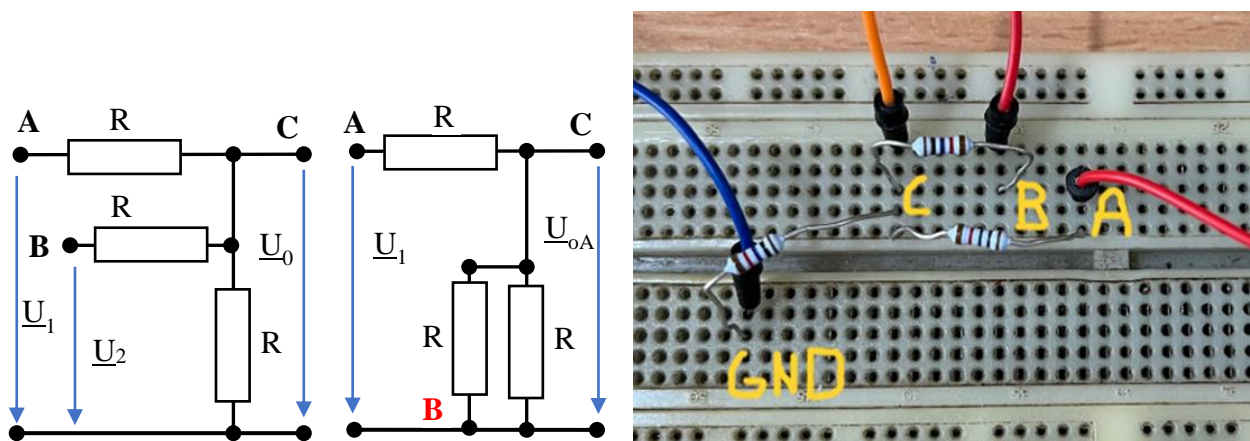


Figura 5: a) Sumator

b) Pasivizare sursa CH2

c) ex. implementare sumator

Pentru determinarea amplitudinilor sinusoidelor care compun semnalul de ieșire, A_1 și A_2 , se aplică principiul superpoziției (se pasivizează pe rând sursele de tensiune de la generator prin legarea succesivă la masa a punctelor A și B, Figura 5b, și se calculează contribuțiile la ieșire, \underline{U}_{0A} , respectiv \underline{U}_{0B} , ale celor două surse):

$$\underline{U}_0 = \underline{U}_{0A} + \underline{U}_{0B} = \underline{U}_1/3 + \underline{U}_2/3 \quad 22$$

Se observă că pe lângă operația de sumare se obține o divizare cu 3 a amplitudinilor celor două sinusoidale. Semnalul de la ieșirea circuitului, în punctul C (figura 5a), se va conecta la intrarea CH1 a osciloscopului. Coeficienții de deflexie ai osciloscopului se vor alege $C_{Y1}=1\text{V/div}$ și $C_x=100\mu\text{s/div}$.

- Să se deseneze semnalul sumă obținut.
- Se măsoară cu osciloscopul, **MEASURE** → **TYPE=Cyc RMS** valoarea efectivă a semnalului, $U_{ef_sum_osc}$.
- Se calculează cu formula din tabelul 3 valoarea efectivă a semnalului, $U_{ef_sum_calc}$. (**Atenție:** Amplitudinile celor două semnale sinusoidale care compun semnalul sumă vizualizat se determină conform formulei (22)).

Exerciții rezolvate:**Exercițiu rezolvat 1:**

Fie semnalul $u(t) = U_{CC} + U_o \sin(\omega t)$. Să se determine valoarea efectivă a semnalului.

Rezolvare:

Se aplică relația de definiție pentru tensiunea efectivă și se obține:

$$U_{mas\ AC+DC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_{CC} + U_o \sin(\omega t))^2 dt =}$$

$$U_{mas\ AC+DC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_{CC}^2 + U_o^2 (\sin(\omega t))^2 + 2U_{CC}U_o \sin(\omega t)) dt}$$

$$U_{mas\ AC+DC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(U_{CC}^2 + \frac{U_o^2}{2} - \frac{U_o^2}{2} \cos(2\omega t) + 2U_{CC}U_o \sin(\omega t) \right) dt} = \sqrt{U_{CC}^2 + \frac{U_o^2}{2}}$$

Integralele din sinus și cosinus pe un interval de timp egal cu un număr întreg de perioade sunt zero.

Exercițiu propus:

Folosind abordarea de mai sus să se demonstreze relația tensiunii efective din tabelul 3 pentru semnalul

$$u(t) = U_{CC} + \sum_{k=1}^n U_k \sin(k\omega t)$$

Exercițiu rezolvat 2:

Se dă un semnal dreptunghiular simetric cu amplitudine $A=4V$, frecvență $f=40KHz$, factor de umplere 25%. Osciloscopul are reglajele $C_x=5\mu s/div$, $C_y=2V/div$, tensiunea de prag $U_p=0V$ și frontul de declanșare pozitiv (SLOPE=+). Momentul de trigger este poziționat în stînga ecranului. Să se reprezinte imaginea afișată de osciloscop pentru modurile de cuplaj **DC**, respectiv **AC**.

Rezolvare:

Se verifică ușor că amplitudinea semnalului este afișată pe $N_{yA}=2div$, iar perioada este afișată pe $N_{xT}=5 div$.

Deoarece factorul de umplere, $\eta = 25\%$, rezultă că $\tau=T/4=6,25\mu s$, care va fi afișat pe $N_{x\tau} = \tau/C_x = 1,25div$.

Imaginea obținută este reprezentată în figura 6.a.

Pe modul AC semnalul este vizualizat fără componentă continuă. Componenta continuă a semnalului din figura 7.a reprezintă valoarea medie a semnalului pe o perioadă.

$$U_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} [A \cdot \tau - A(T - \tau)] = \frac{1}{T} \left(A \cdot \frac{T}{4} - A \cdot \frac{3T}{4} \right) = \frac{-A}{2} = -2V$$

Deoarece în modul AC dispăre componenta continuă de $-2V$ (care are o valoare ce corespunde unei diviziuni pe ecran), pe modul AC graficul semnalului se va deplasa în sus cu o diviziune. Imaginea afișată pe ecran este dată în figura 6.b.

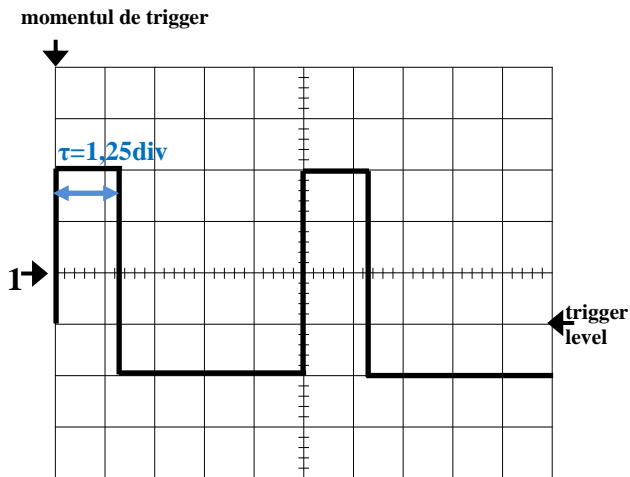


Figura 6.a: Cuplaj DC

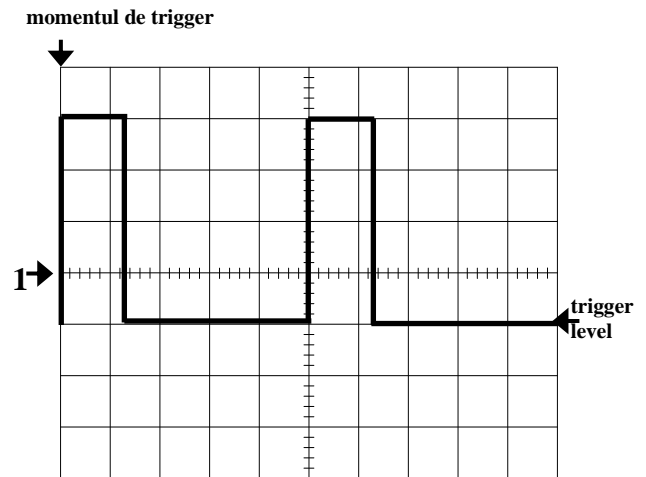


Figura 6.b: Cuplaj AC

Exercițiu rezolvat 3:

Să se determine indicația unui voltmetru de curent continuu (DC), respectiv de curent alternativ (AC), dacă la intrare este aplicat semnalul $u(t) = 4 \cdot \cos^2(\omega t) [V]$.

Rezolvare:

Se folosește scrierea semnalului cosinus pătrat în funcție de unghiul dublu:

$$u(t) = 2 + 2 \cdot \cos(2\omega t) [V]$$

Se observă că semnalul are atât componentă continuă, cât și componentă alternativă.

- În modul DC se măsoară componenta continuă
 - $U_{\text{ind_DC}} = 2V$
- În modul AC se măsoară valoarea efectivă a componentei alternative $U_{ef} = \sqrt{2} V$
 - $U_{\text{ind_AC}} \cong 1,41 V$

Întrebări pregătitoare

1. Se dă semnalul sinusoidal $s(t) = 5 \sin(\omega_0 t) [V]$. Să se calculeze tensiunea efectivă, tensiunea de vîrf și tensiunea medie absolută.
2. Pentru un semnal dreptunghiular simetric de amplitudine $A=2V$ să se calculeze tensiunea efectivă, tensiunea medie și tensiunea medie absolută.
3. Pentru un semnal triunghiular simetric de amplitudine $A=3V$ să se calculeze tensiunea efectivă, tensiunea medie și tensiunea medie absolută.
4. Explicați diferența dintre un voltmetru de c.a. de tip **true RMS** și unul cu convertor de valori medii absolute gradat în valori efective pentru semnal sinusoidal.
5. Cu un voltmetru de curent continuu se măsoară semnalul $s(t) = 3 + 2 \sin(\omega_0 t) + 2 \sin(3\omega_0 t) [V]$. Să se determine indicația voltmetrului.
6. Cu un voltmetru de curent alternativ se măsoară tensiunea $s(t) = 4 + 3\sqrt{2} \sin(\omega_0 t) [V]$. Să se determine indicația voltmetrului.
7. Cu un voltmetru de curent alternativ se măsoară tensiunea $s(t) = 2\sqrt{2} \sin(3\omega_0 t) [V]$. Să se determine indicația voltmetrului.
8. Se dă tensiunea $U=7,75V$. Să se calculeze valoarea sa exprimată în dBm.
9. Se dă tensiunea $U=20V$. Să se calculeze valoarea sa în dB.
10. O tensiune are valoarea $U=32dB$. Să se determine valoarea sa exprimată în volți.
11. O tensiune are valoarea $U=60dBm$. Să se determine valoarea sa exprimată în volți.
12. Calculați valorile în dB pentru tensiunile de 10V și 7.07V. Calculați raportul valorilor în V, respectiv diferența în dB.
13. Repetați calculul precedent în dBm, pentru 14.14V și 10V. Cum e diferența în dBm față de cea în dB precedentă ? de ce ? *Indicație: comparați cele 2 rapoarte.*
14. Calculați cu câți dB se reduce tensiunea, dacă valoarea în V se reduce de la 20V la 10V. Refaceți calculul în dBm.
15. Să se calculeze tensiunea medie pentru semnalul $s(t) = 2 \sin^2(\omega_0 t) [V]$.
16. Se dă tensiunea $U=4,48V$. Să se calculeze valoarea sa exprimată în dB.
17. O tensiune are valoarea $U=26dBm$. Să se determine valoarea sa exprimată în volți.
18. Ce componentă/componente trebuie schimbate pentru a transforma un detector de vîrf serie într-unul paralel ?

Exerciții :

1. Să se calculeze tensiunea medie absolută și tensiunea efectivă pentru următoarele semnale (se vor detalia calculele efectuate):

$$s_1(t) = \left| 3 \sin(10^4 \pi t) \right|$$

$$s_2(t) = 2 \sin(2000 \pi t)$$

$$s_3(t) = 3 + \cos(2000 \pi t)$$

$$s_4(t) = 2(\sin 4000 \pi t)^2$$

$$s_5(t) = \sin(10^4 \pi t) - \left| \sin(10^4 \pi t) \right|$$

$$s_6(t) = 2 \cdot \cos(3 \cdot 10^4 \pi t) + 2 \cdot \left| \cos(\cdot 10^4 \pi t) \right|$$

2. Să se calculeze tensiunea medie absolută și tensiunea efectivă pentru semnale din figura 6 (se vor detalia calculele efectuate):

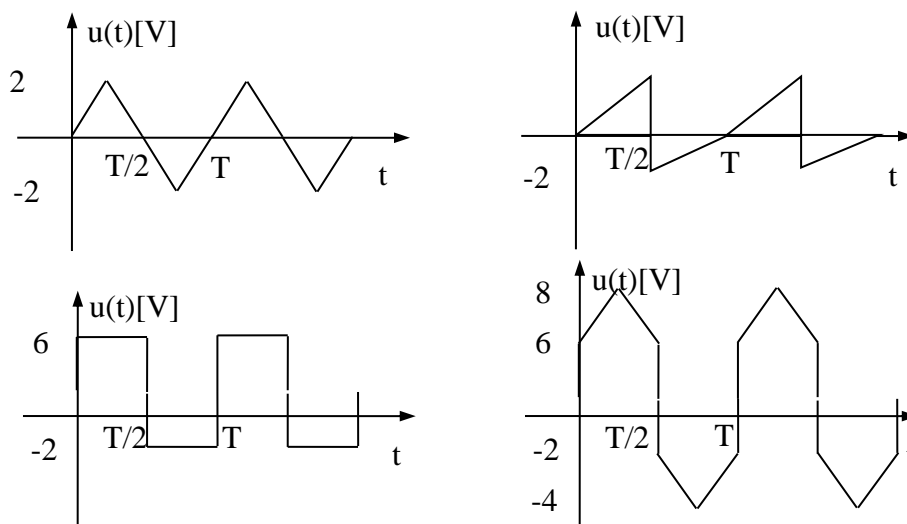


Figura 6: Semnale în domeniul timp

3. Cu un voltmetru avînd scări pentru măsurarea tensiunilor continue și alternative, cu redresor dublă alternanță, se măsoară tensiunea din figura 7

- pe scara de curent continuu se măsoară $U_1 = 2V$;
- pe scara de curent alternativ se măsoară $U_2 = 5,55V$.

- a) Știind că pe scara de curent alternativ voltmetrul este etalonat în valori efective pentru semnal sinusoidal, să se calculeze tensiunile E_1 și E_2 dacă $\tau = T/2$.
- b) Ce va indica voltmetrul în cele două cazuri dacă $\tau = T/3$?

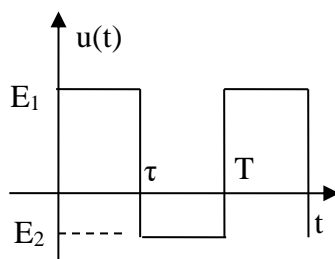


Figura 7: Semnal dreptunghiular nesimetric