



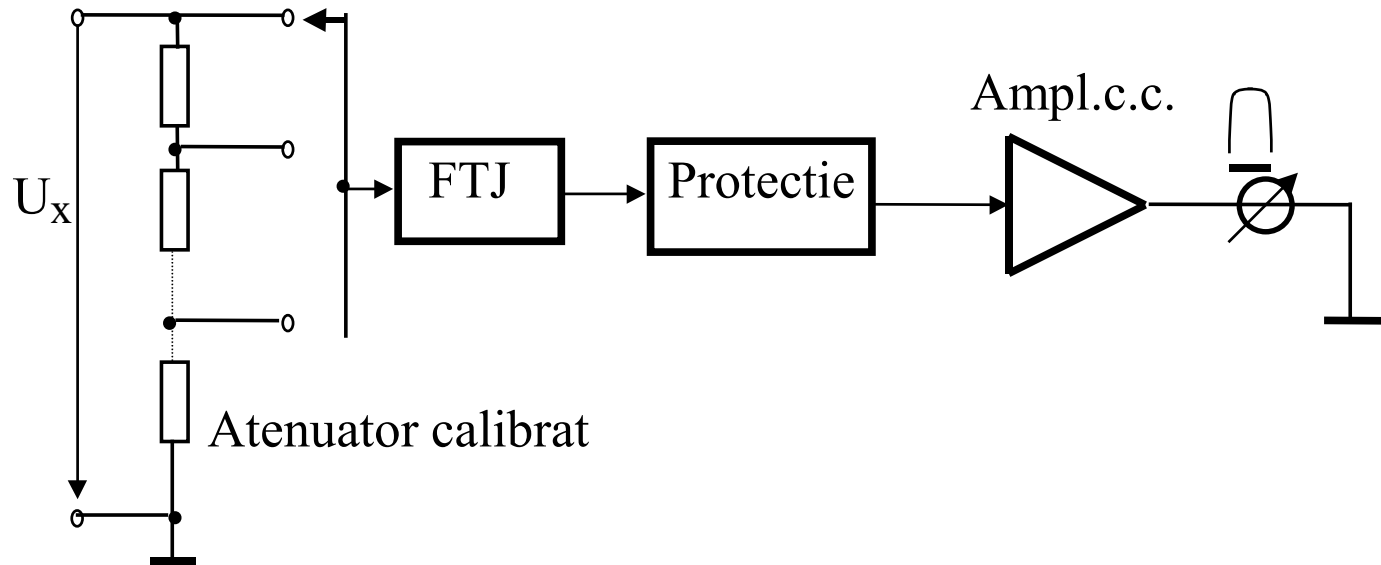
## 3. Măsurarea tensiunilor și a curenților electrici

---

### 3.2.2 Voltmetre electronice analogice



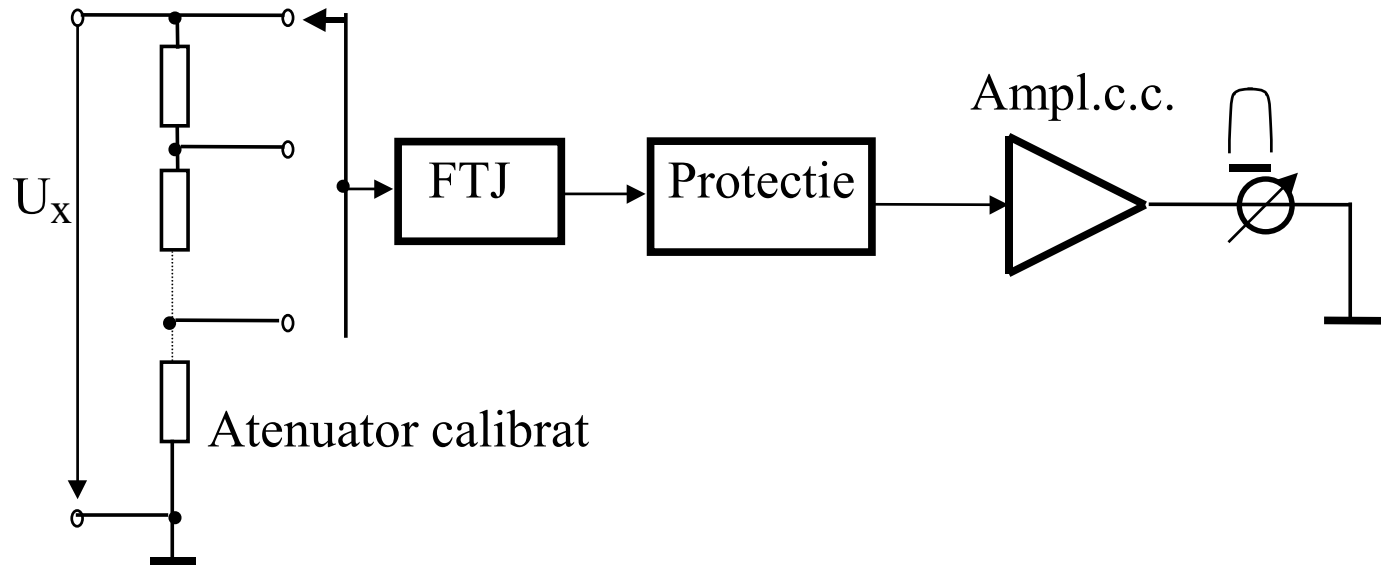
# Voltmetre de curent continuu



- Atenuatorul calibrat
  - divizor rezistiv
  - $R_{in}$  – const.
  - $R_{in} \gg 10 \text{ M}\Omega$



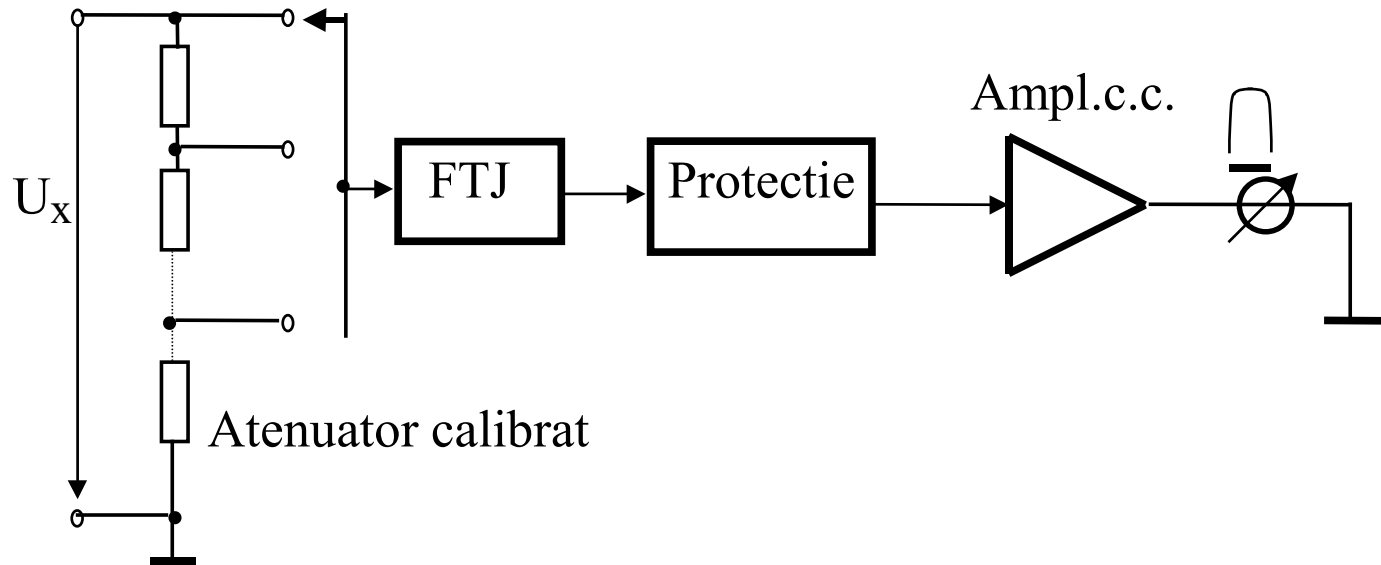
# Voltmetre de curent continuu



- FTJ
- circuit de protecție la supratensiuni



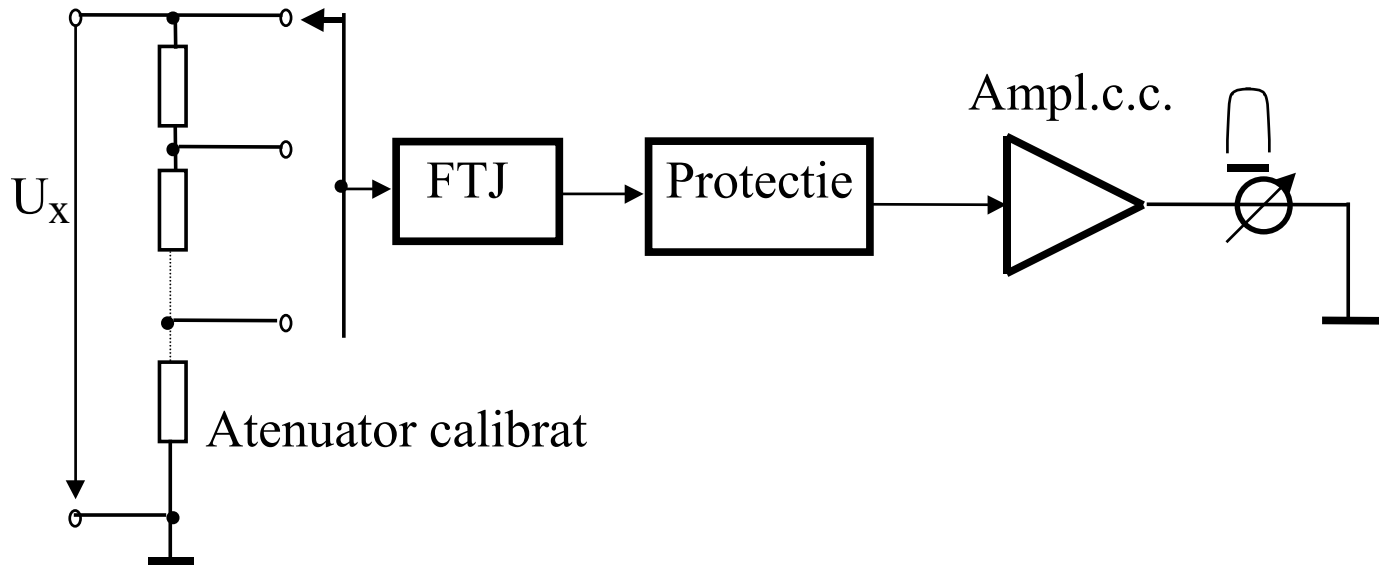
# Voltmetre de curent continuu



- Amplificatorul de curent continuu
  - $R_{in}$  foarte mare



# Voltmetre de curent continuu

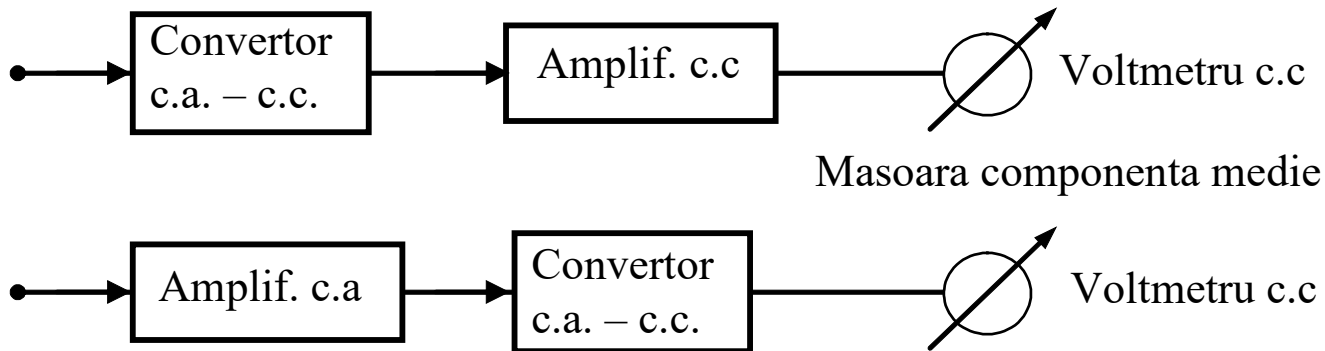


- Instrumentul indicator:
  - instrument cu ac sau
  - voltmetru numeric



# Voltmetre de curent alternativ

- 2 variante:



- Voltmetrul de curent alternativ este format din

- un convertor
- un amplificator de curent continuu sau alternativ
- un voltmetru de curent continuu.



# Voltmetre de curent alternativ

---

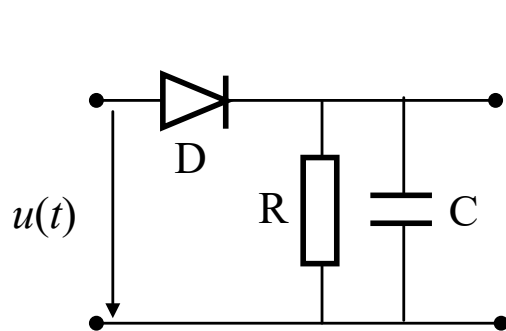
Clasificare în funcție de tipul convertorului:

- Voltmetre de vârf
- Voltmetre de valori medii absolute
- Voltmetre de valori eficace

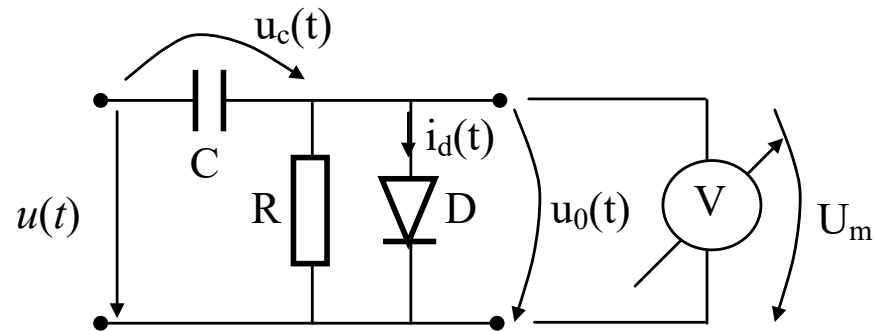


## Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- Convertorul tensiune de vârf – tensiune continuă (detector de vârf, de amplitudine)
- variantă serie sau paralel:



a) Detector serie



b) Detector paralel





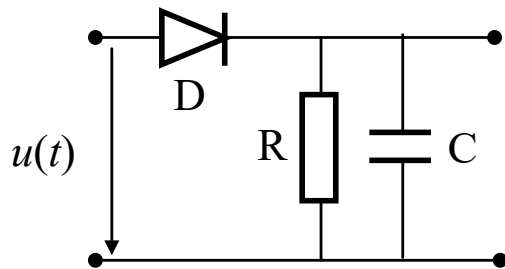
# Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

## ■ Detectorul serie

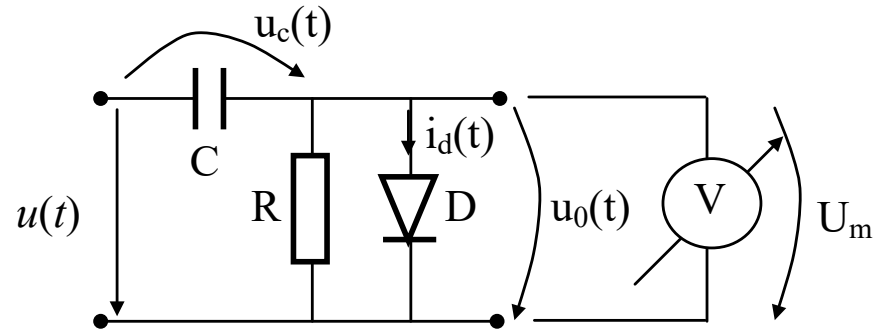
- demodulator pentru semnale MA în radioreceptoare
- nu este folosit în voltmetre
- nu separă c.c de c.a.

## ■ Detectorul paralel

- folosit în voltmetre de c.a.
- separă c.c de c.a.



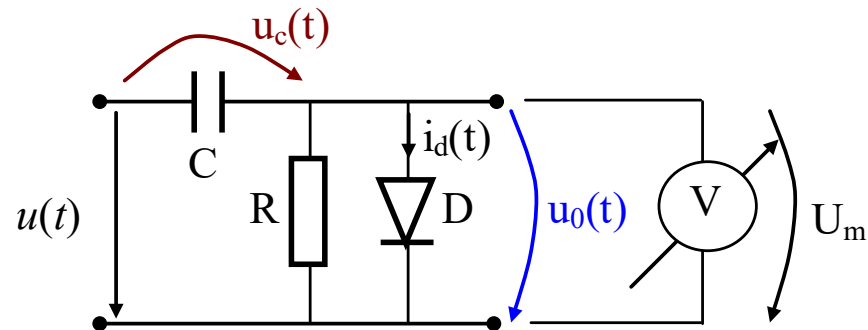
a) Detector serie



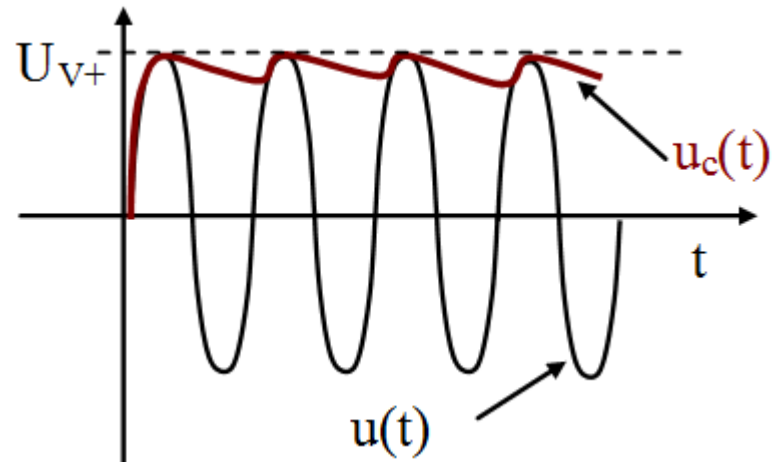
b) Detector paralel



# Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă



- se presupune  $RC \gg T$
- când  $u(t)$  crește  
→ D – deschisă  
→  $u_c(t) = u(t)$





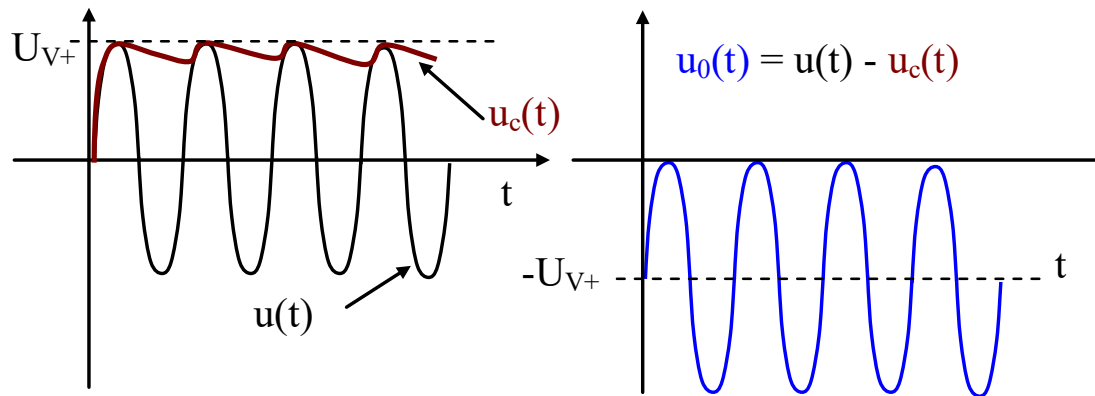
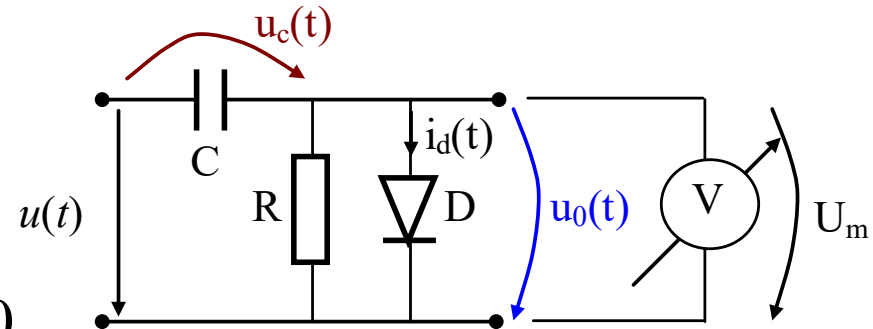
# Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- când  $u(t)$  scade

$$u_0(t) = u(t) - u_c(t) = u(t) - U_{V+} < 0$$

- D - blocată

- C se descarcă prin R mult mai lent (RC mare)



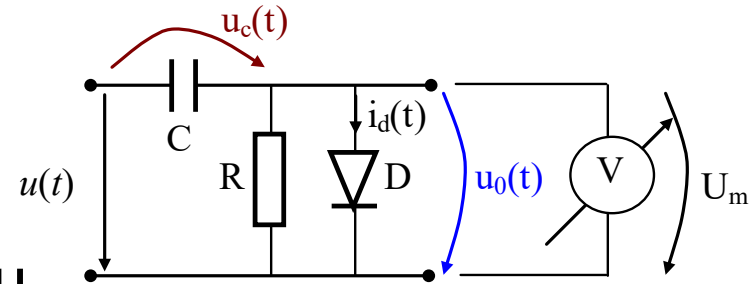


# Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

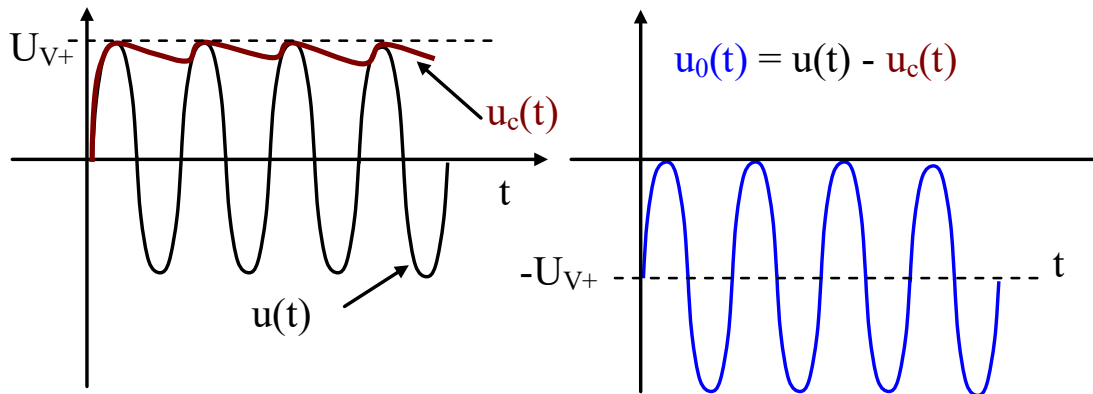
- Tensiunea  $u_0(t)$  este

$$u_0(t) = u(t) - u_C(t)$$

- Un instrument de curent continuu indică:



$$U_{mas} = \overline{u_0(t)} = \overline{u(t) - u_C(t)} = \overline{u(t)} - U_{V+} = u(t) - U_{V+}$$





## Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- *detector clasă C*
- Dacă  $\overline{u(t)} = 0$

$$U_{mas} = 0 - U_{V+} = -U_{V+}$$

→ voltmetru de vârf negativ



## Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- Dacă inversăm D
  - D se deschide pe alternanțele negative
  - C se încarcă la valoarea  $U_{V-}$
  - se obține un detector de vârf pozitiv

$$U_{mas} = \overline{u_0(t)} = \overline{u(t)} - U_{V-} = \overline{u(t)} + U_{V+}$$

$$U_{mas} = U_{V+} \quad \text{dacă} \quad \overline{u(t)} = 0$$

- Pentru un semnal sinusoidal acest aparat măsoară amplitudinea semnalului

$$U_{mas} = U_{V+} = U$$



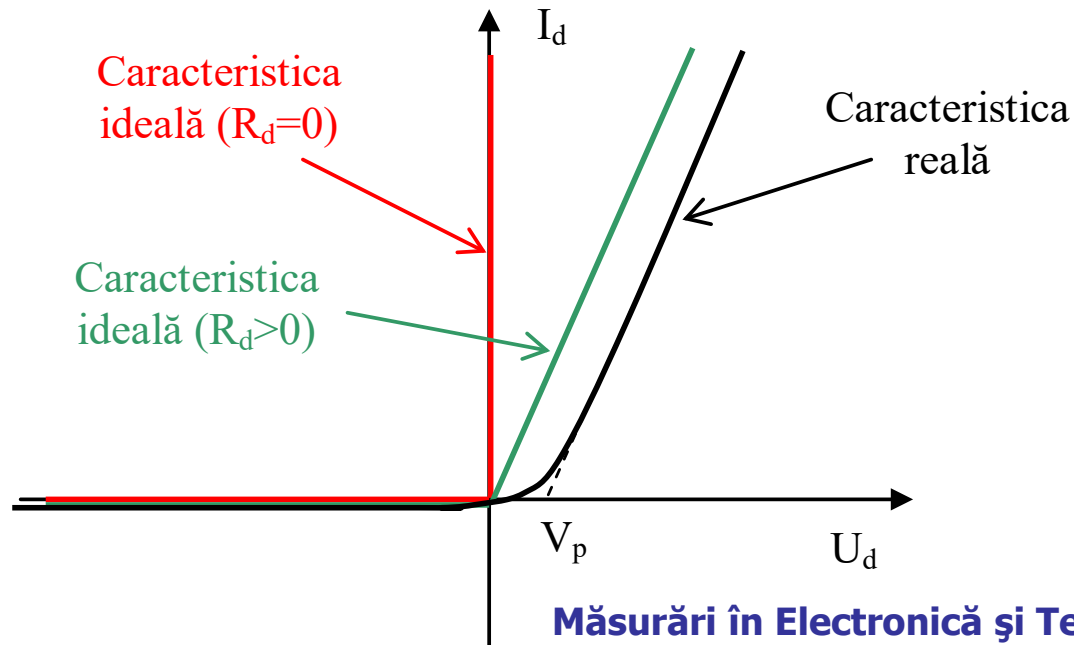
## *Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă*

- de regulă etalonat în **valori eficace** pentru sin.  
→ similitudine cu etalonarea în c.c.
  - din punct de vedere energetic valoarea eficace este cea care corespunde unei tensiuni continue care produce același efect.
  - în practică voltmetrul va indica nu  $U_{ef}$ , ci o valoare de ori  $\sqrt{2}$  mai mică decât  $U_v$



# Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- caz real:
  - **rezistență serie** a diodei în conducție,
  - **trecere graduală** de la blocare la conducție



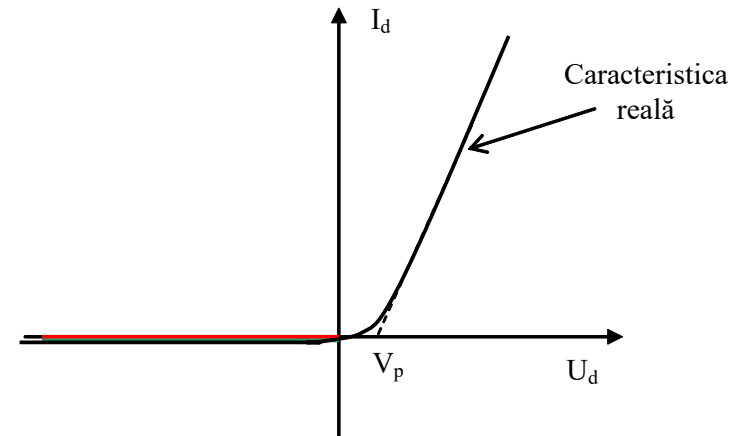




## Convertor tensiune de vârf-tensiune continuă

- Curentul prin dioda

$$I_d = \begin{cases} 0 & ; U_d \leq V_p \\ \frac{U_d - V_p}{R_d} & ; U_d > V_p \end{cases}$$

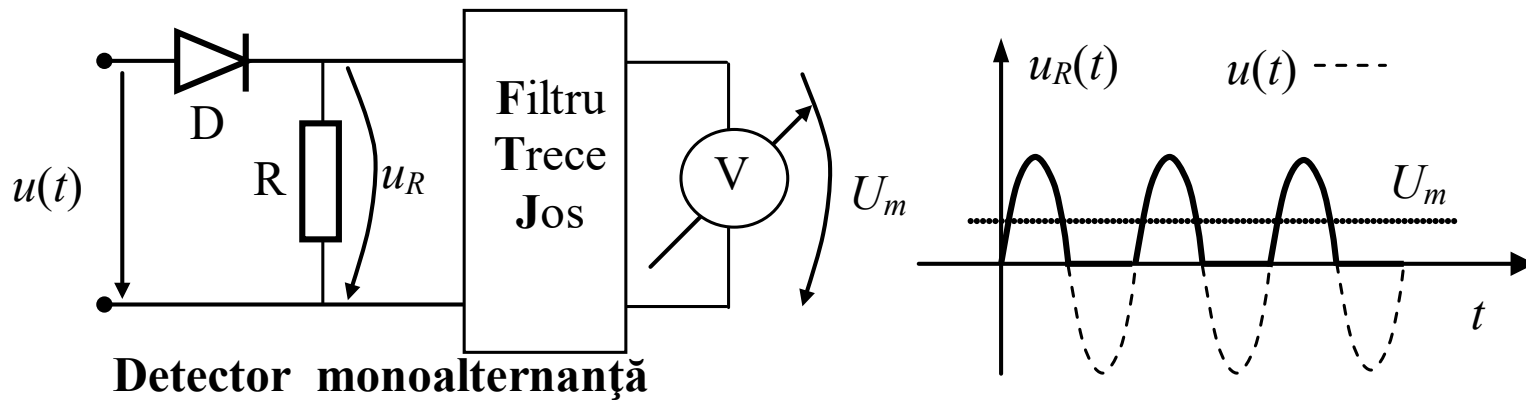


- prag de deschidere al diodei,  $V_p$
- pentru diodele de siliciu,  $V_p = 0,6 - 0,7$  V.
- erori pentru măsurarea de tensiuni  $< 3$ V
- pe scări cu  $U_{CS} = 3$ V se preferă o etalonare neliniară a scalei aparatului, care să compenseze neliniaritatea diodei.



## Convertor valoare medie absolută–tensiune continuă

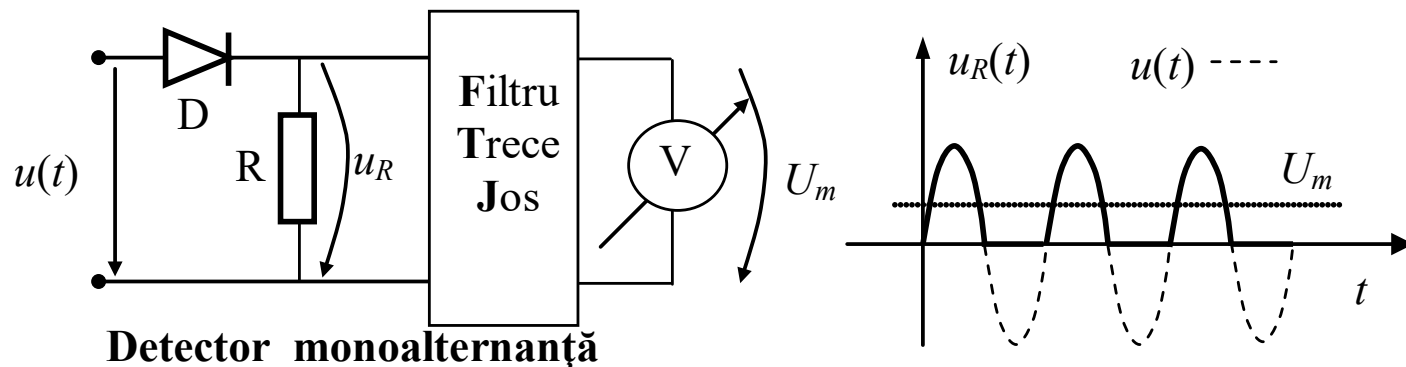
- redresor m.a. sau d.a. + un voltmetru de valori medii
  - Dioda se deschide doar pe alternanța pozitivă  
→  $u_R(t) = u(t)$





## Convertor valoare medie absolută–tensiune continuă

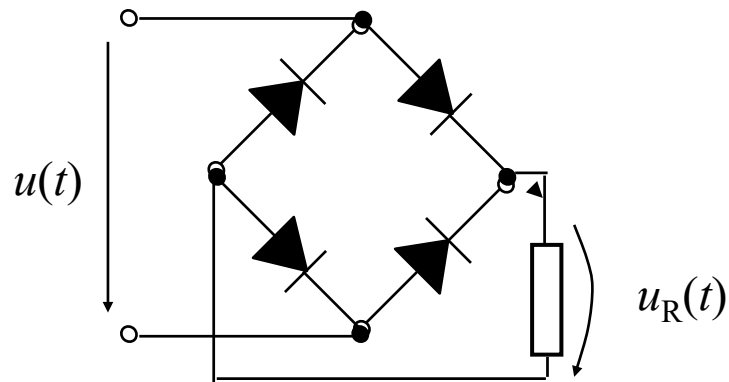
- voltmetru de valori medii (ex. voltmetru magnetoelectric) sau
- FTJ + voltmetru de curent continuu





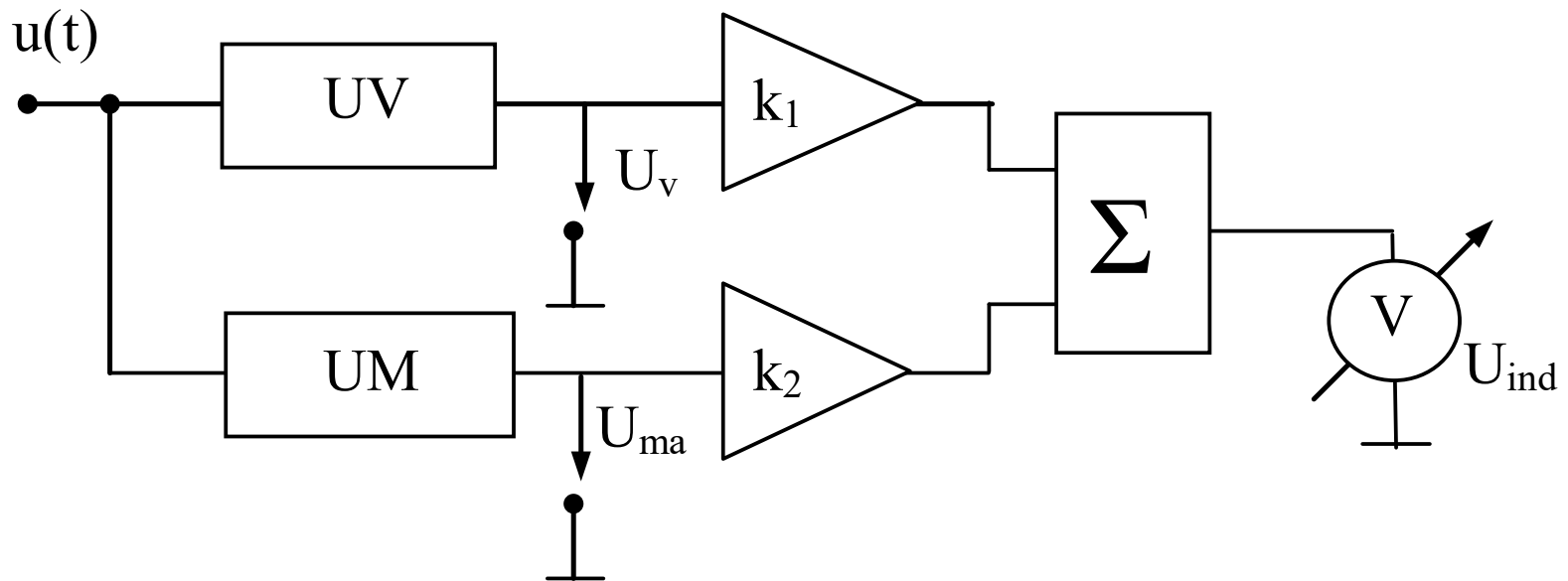
## *Convertor valoare medie absolută–tensiune continuă*

- Redresor dublă alternanță:





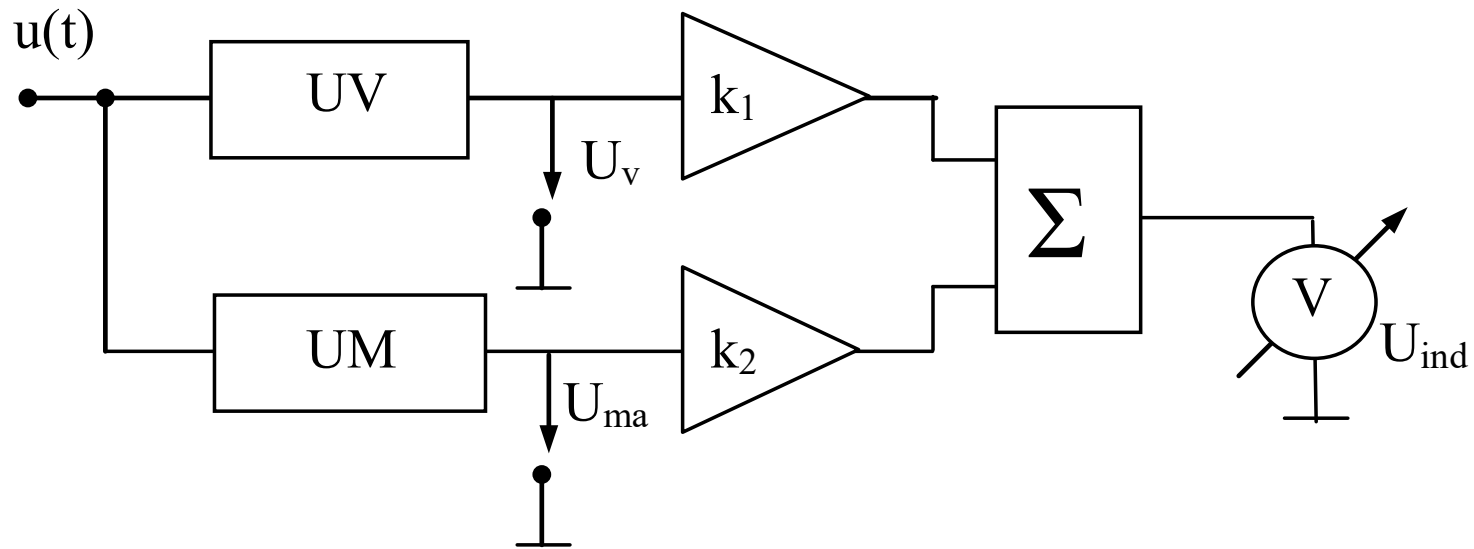
# Voltmetru de valori pseudoeficace





# Voltmetru de valori pseudoeficace

$$U_{ind} = k_1 U_v + k_2 U_{ma}$$





# Voltmetru de valori pseudoeficace

- Alegând corect  $k_1$  și  $k_2$   
→  $U_{ind} = U_{ef}$  pentru două tipuri de semnale
- Exemplu: două semnale  $s(t)$ ,  $d(t)$

$$\begin{cases} U_{ef}^s = k_1 U_v^s + k_2 U_{ma}^s \\ U_{ef}^d = k_1 U_v^d + k_2 U_{ma}^d \end{cases}$$

- Indicii  $s$ ,  $d$  semnifică tipul semnalului



# Voltmetru de valori pseudoeficace

- Împărțind prin  $U_{ef}$  se obține

$$\begin{cases} 1 = k_1 K_V^s + k_2 \frac{1}{K_F^s} \\ 1 = k_1 K_V^d + k_2 \frac{1}{K_F^d} \end{cases}$$

$$K_V = \frac{U_V}{U_{ef}}$$

$$K_F = \frac{U_{ef}}{U_{ma}}$$

- cu soluțiile

$$k_1 = \frac{k_F^s - k_F^d}{k_V^s K_F^s - k_V^d k_F^d}$$

$$k_2 = \frac{(k_V^d - k_V^s) k_F^s k_F^d}{k_V^d K_F^d - k_V^s k_F^s}$$





# Voltmetru de valori pseudoeficace

---

## EXEMPLUL 1 :

- Să se determine constantele  $k_1, k_2$  astfel încât voltmetrul să măsoare tensiunea efectivă pentru semnal sinusoidal și semnal dreptunghiular simetric de medie nulă.
- Să se calculeze eroarea pe care o face acest voltmetru la măsurarea unei tensiuni triunghiulare simetrice, de medie nulă.



# Voltmetru de valori pseudoeficace

- pentru semnalul sinusoidal se obțin:

$$U_v = A \quad U_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad K_V = \sqrt{2}$$

$$K_V = \frac{U_V}{U_{ef}}$$

$$U_{ma} = \frac{2A}{\pi} \quad K_F = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

$$K_F = \frac{U_{ef}}{U_m}$$

- pentru semnalul dreptunghiular simetric:

$$U_{ma} = A \quad U_{ef} = A \quad U_v = A \quad K_F = 1 \quad K_V = 1$$

- Ținând cont de aceste valori și de expresiile pentru  $k_1$  și  $k_2$  se obține:  $k_1 = 0,19$ ;  $k_2 = 0,8$

$$k_1 = \frac{K_F^s - K_F^d}{K_V^s K_F^s - K_V^d K_F^d}$$

$$k_2 = \frac{(K_V^d - K_V^s) K_F^s K_F^d}{K_V^d K_F^d - K_V^s K_F^s}$$



# Voltmetru de valori pseudoeficace

- Pentru semnal triunghiular indicația voltmetrului va fi

$$U_{ef\ ind} = k_1 U_V^t + k_2 U_{ma}^t = A \left( 0,19 + 0,8 \frac{1}{2} \right) = 0,59 A$$

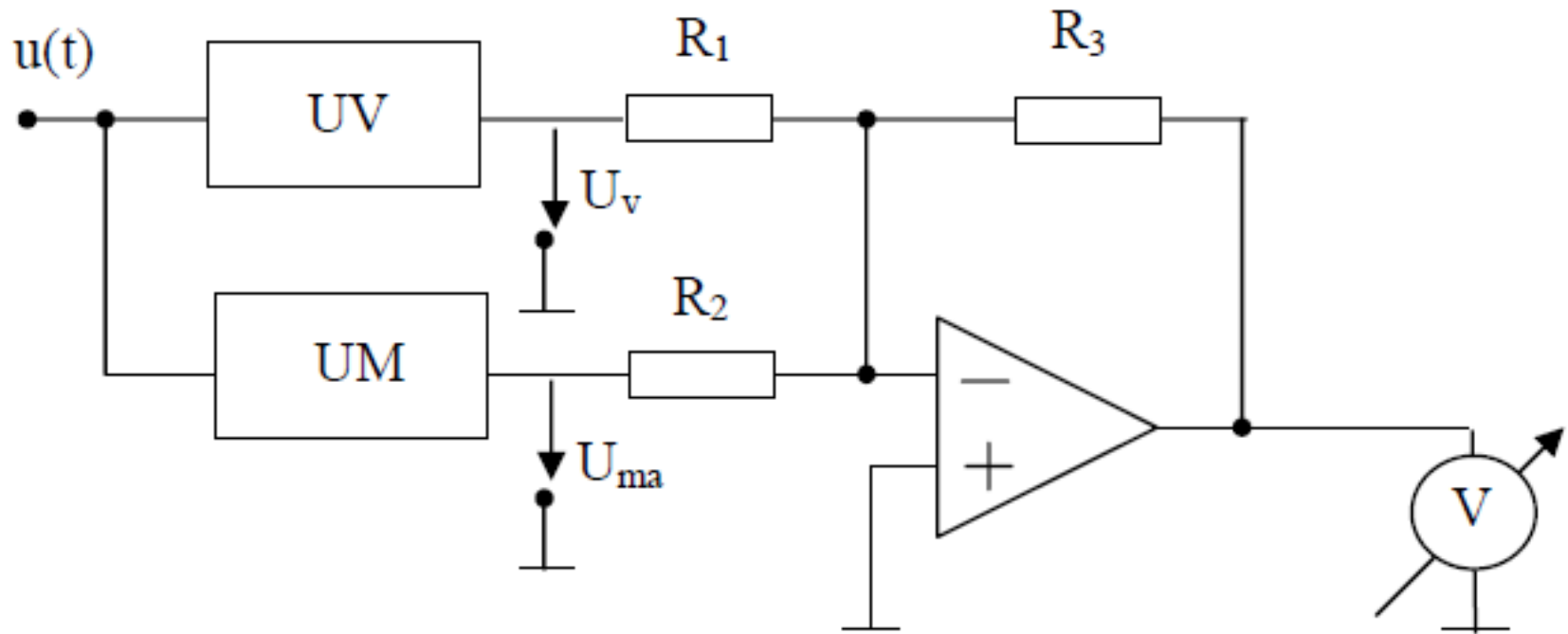
- Eroarea făcută de aparat va fi

$$\varepsilon_s = \left| \frac{U_{ef}^t - U_{ef\ ind}}{U_{ef}^t} \right| = \left| \frac{\frac{A}{\sqrt{3}} - 0,59 A}{\frac{A}{\sqrt{3}}} \right| = 2,1\%$$



# Voltmetru de valori pseudoeficace

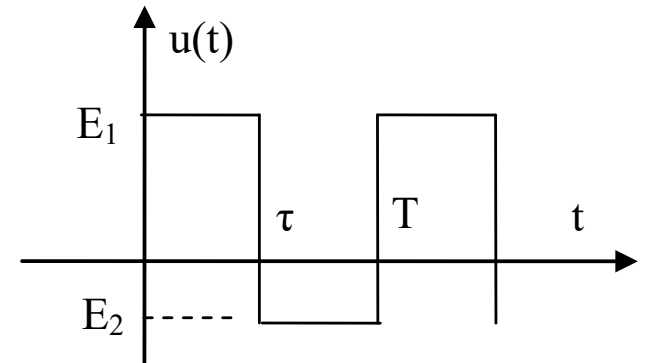
Exemplu de realizare practică





# Voltmetru de curent alternativ

- **EXEMPLUL2:** Cu un voltmetru magnetoelectric având scări pentru măsurarea tensiunilor continue și alternative, cu redresor dublă alternanță, se fac următoarele măsurători pentru tensiunea periodică din figură:



- pe scara de curent continuu se măsoară  $U_1=4V$ ;
  - pe scara de curent alternativ se măsoară  $U_2=7,77V$ .
- 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 valoarea lui  $\tau=T/2$ .
- b) Ce va indica voltmetrul în cele două cazuri dacă  $\tau=T/3$ .



# Voltmetru de curent alternativ

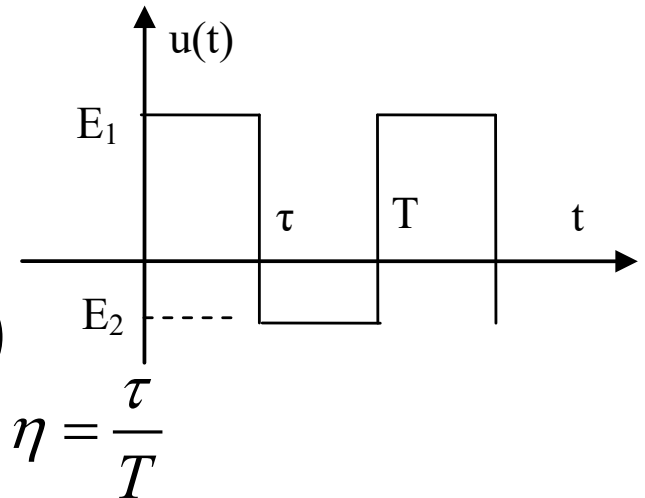
- Pe scara de curent continuu voltmetrul măsoară valoarea medie a semnalului de intrare

$$U_1 = \overline{u(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = E_1 \eta + E_2 (1 - \eta)$$

unde  $\eta$  este factorul de umplere,  $\eta = \frac{\tau}{T}$

- În curent alternativ voltmetrul măsoară tensiunea medie absolută a semnalului și apoi o convertește la valoarea efectivă cu ajutorul factorului de formă pentru semnal sinusoidal

$$U_2 = U_{ma} K_F^s = \left( \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \right) K_F^s$$





# Voltmetru de curent alternativ

- Se obține:  $U_2 = (E_1\eta - E_2(1-\eta))K_F^s$

- Se formează sistemul

$$\begin{cases} E_1\eta + E_2(1-\eta) = 4V \\ E_1\eta - E_2(1-\eta) = \frac{7,77}{K_F^s} = 7V \end{cases}$$

- Soluțiile sistemului sunt pentru  $\eta=1/2$

$$E_1 = 11V, \quad E_2 = -3V$$

- b) Pentru  $\eta=1/3$  voltmetrul va indica

$$E_1 = \frac{5}{3}V, \quad E_2 = 6,29V$$