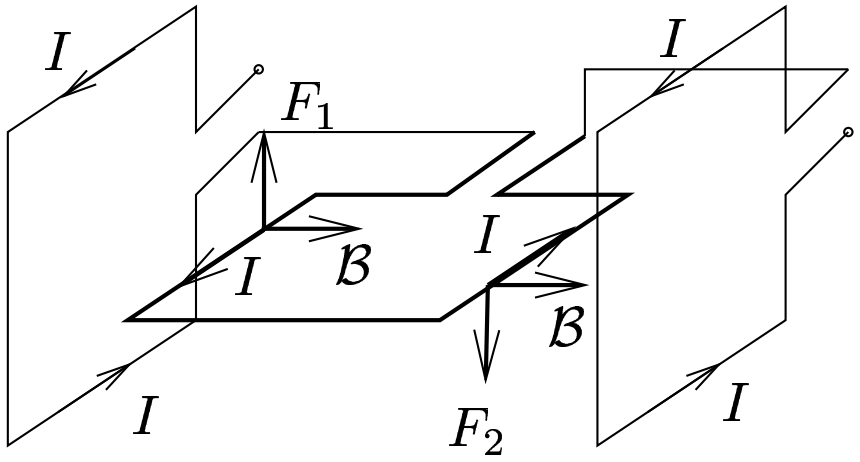
Elettrodinamometro

Misura di correnti alternate

$$M_I = 2Fr = 2\mathcal{B}LIr = \mathcal{B}IA$$

Se $i(t) = I_M \sin(\omega t)$ $(\mathcal{B}$ cost.$)$, $m_i(t) = M_M \sin(\omega t)$ (teoricamente ...)

Se I e $\mathcal{B}$ cambiano segno simultaneamente $\rightarrow$ la coppia non si inverte:



$$M_I \propto \mathcal{B}I, \quad \mathcal{B} \propto I, \qquad \Rightarrow \qquad M_I \propto I^2$$

Misura di correnti alternate

$$M_i = \beta i^2(t) \qquad \overset{\text{p.b.}}{\Rightarrow} \qquad \overline{M_i} = \beta \overline{i^2(t)} \qquad \theta = \frac{\beta}{k} \overline{i^2(t)}$$

Se $i(t)$ periodica (periodo T): $\left(\overline{i^2(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = I_{eff.}^2 \right)$

$$\theta = \frac{\beta}{k} I_{eff.}^2$$

Deflessione proporzionale al quadrato del valore efficace della corrente

$\Downarrow$

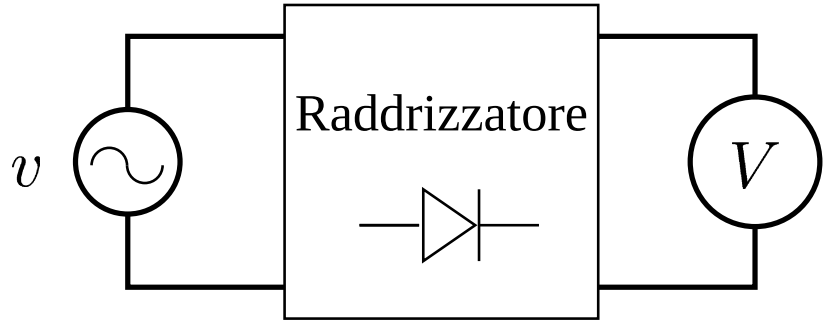
Strumento a **vero** valore efficace

Misura di grandezze alternate

Misura di grandezze continue (es.: tensione):

Voltmetro in corrente continua

Misura di grandezze alternate (es.: tensione):

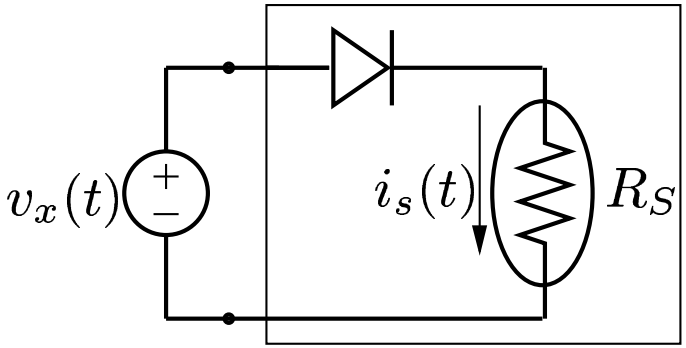


Voltmetro in corrente continua

Circuiti di raddrizzamento

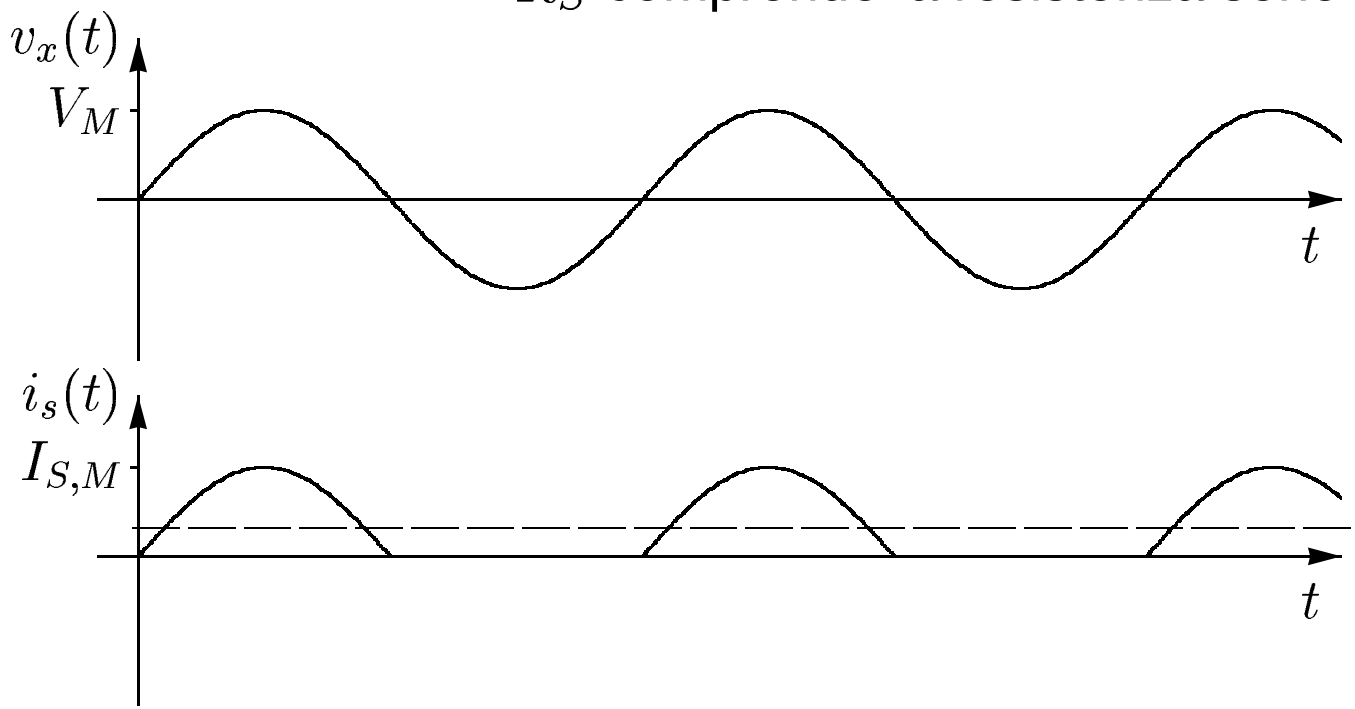
Raddrizzatore a singola semionda

Trascurando la c.d.t sul diodo:



$$i_s(t) = \begin{cases} \dfrac{v_x(t)}{R_S} & \text{per} \quad v_x(t) > 0 \\ 0 & \text{per} \quad v_x(t) \leq 0 \end{cases}$$

R_S comprende la resistenza serie (R_V)



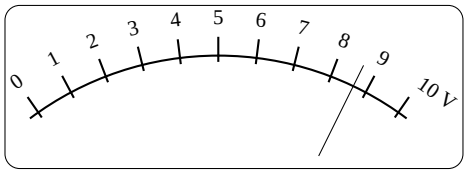
Circuiti di raddrizzamento

- $v_x(t) = V_M \sin(\omega t)$

$$i_s(t) = \begin{cases} I_{S,M} \sin(\omega t) = \dfrac{V_M}{R_S} \sin(\omega t) & \text{per} \quad v_x(t) > 0 \\ 0 & \text{per} \quad v_x(t) \leq 0 \end{cases}$$

Se lo strumento è sensibile al valor medio della corrente (inerzia), **l'indicazione** sarà **proporzionale** al valor medio di $i_s(t)$:

$$\vartheta = k\overline{i_s(t)} = k\frac{V_M}{\pi R_S}$$



e quindi anche **al valore efficace della tensione** (e della corrente)

$$\vartheta = k\overline{i_s(t)} = k\frac{V_M}{\pi R_S} = \frac{k\sqrt{2}}{\pi R_S} \cdot \frac{V_M}{\sqrt{2}} = k' V_{x,eff} \qquad k' = \frac{k\sqrt{2}}{\pi R_S}$$

$\Rightarrow$ Abbiamo ottenuto uno strumento per la misura del valore efficace **di una tensione sinusoidale** (non a vero valore efficace).

Circuiti di raddrizzamento

Ma ...

1. La c. d. t. sul diodo potrebbe non essere trascurabile $(V_M \simeq V_\gamma)$

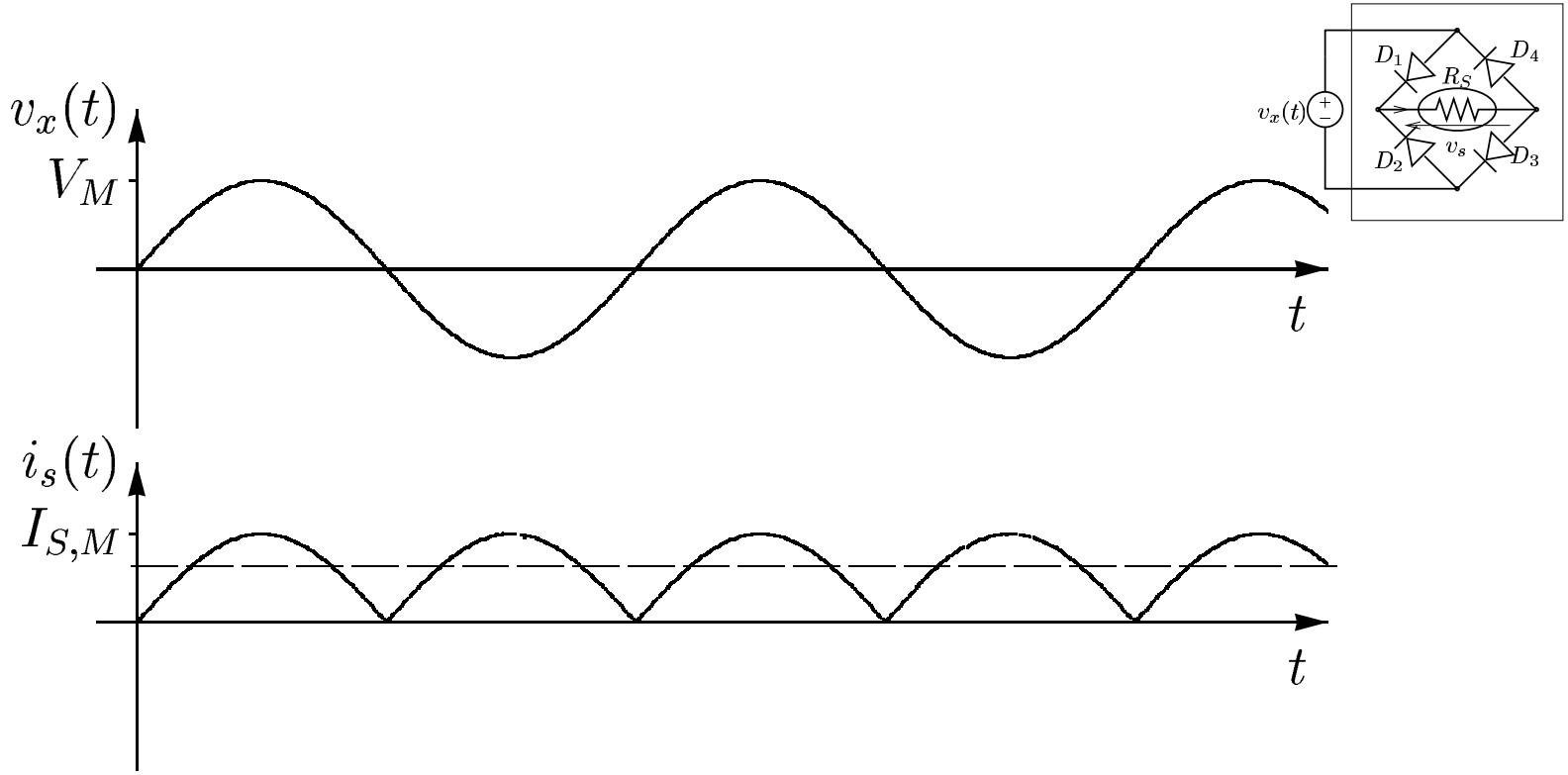
$$i_s(t) = \begin{cases} \dfrac{v_x(t) - V_\gamma}{R_S} & v_x(t) \geq V_\gamma \\ 0 & v_x(t) < V_\gamma \end{cases}$$

   La corrente non è piu “sinusoidale” (su una semionda) e non è più valido il risultato trovato $\rightarrow$ quanto vale k?
   (inoltre la caduta sul diodo dipende dalla corrente e non è costante)

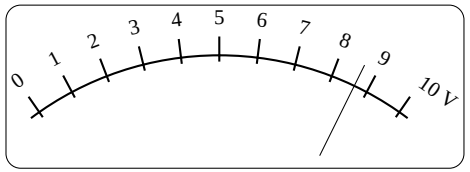
2. La tensione potrebbe non essere sinusoidale
   Il fattore k' dipende dalla forma della tensione.
   Per ricavare il valore efficace bisogna “correggere” la lettura, ma questo è possibile solo se si conosce l’andamento della tensione da misurare.

Circuiti di raddrizzamento

Raddrizzamento a doppia semionda (ponte di Graetz)



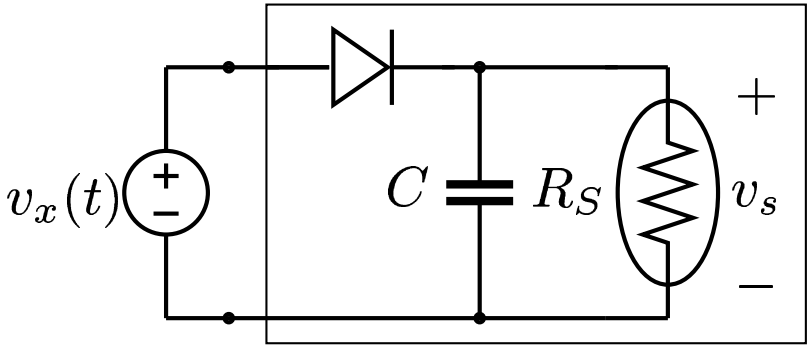
$$\vartheta = k\overline{i_s(t)} = k\frac{\mathbf{2}V_M}{\pi R_S}$$



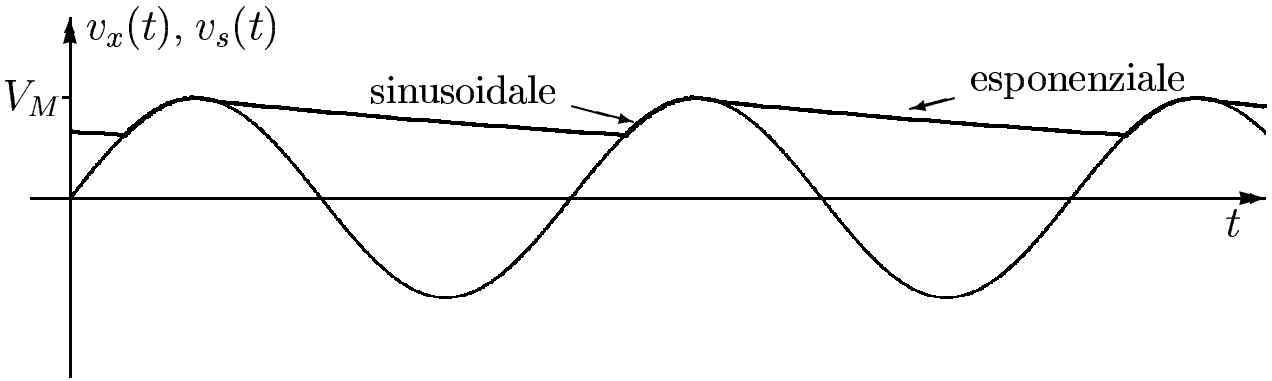
$\Rightarrow$ maggiore sensibilità!

Circuiti di raddrizzamento

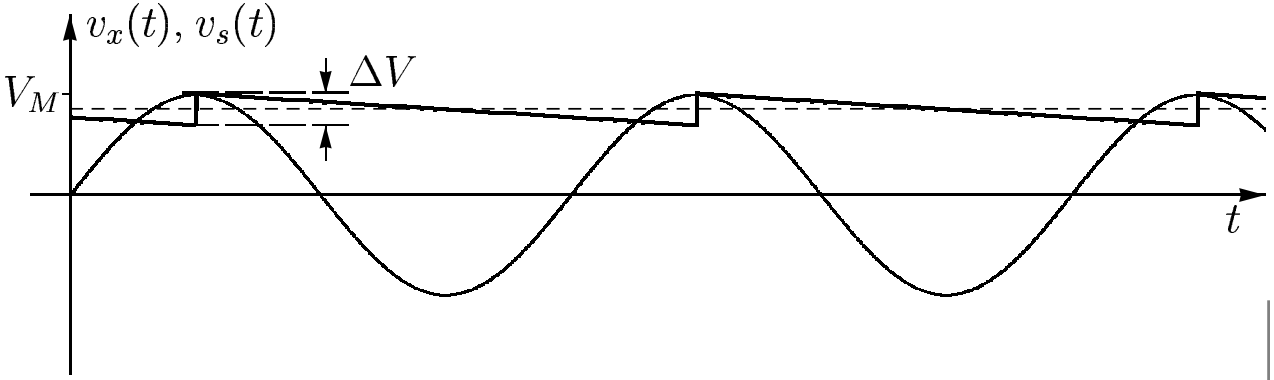
Raddrizzatore con filtro capacitivo



andamento $\simeq$ reale:
c.d.t. sul diodo trascurabile



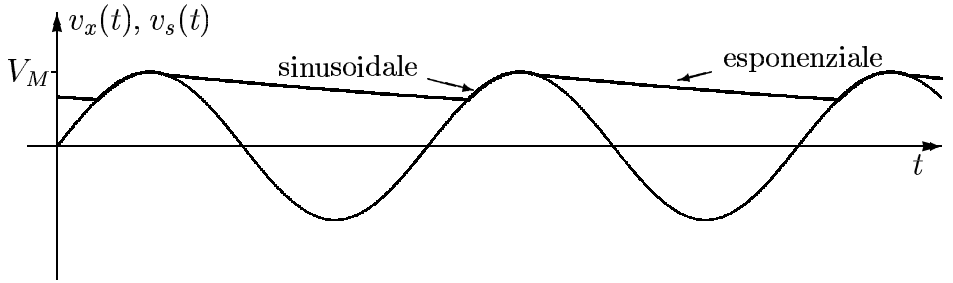
andamento approssimato:
c.d.t. sul diodo trascurabile
scarica lineare del condensatore



Circuiti di raddrizzamento

Andamento esponenziale:

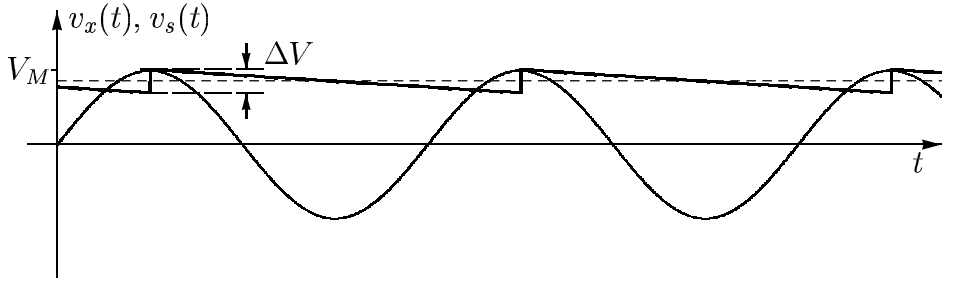
$$v_s(t) \simeq V_M e^{\dfrac{t - T/4}{\tau}}, \quad \tau = R_S C$$



Se $\tau \gg T$, allora

$$v_s(t) \simeq V_M \left[1 - \frac{(t - T/4)}{\tau}\right]$$

per $T/4 \leq t < 5T/4$



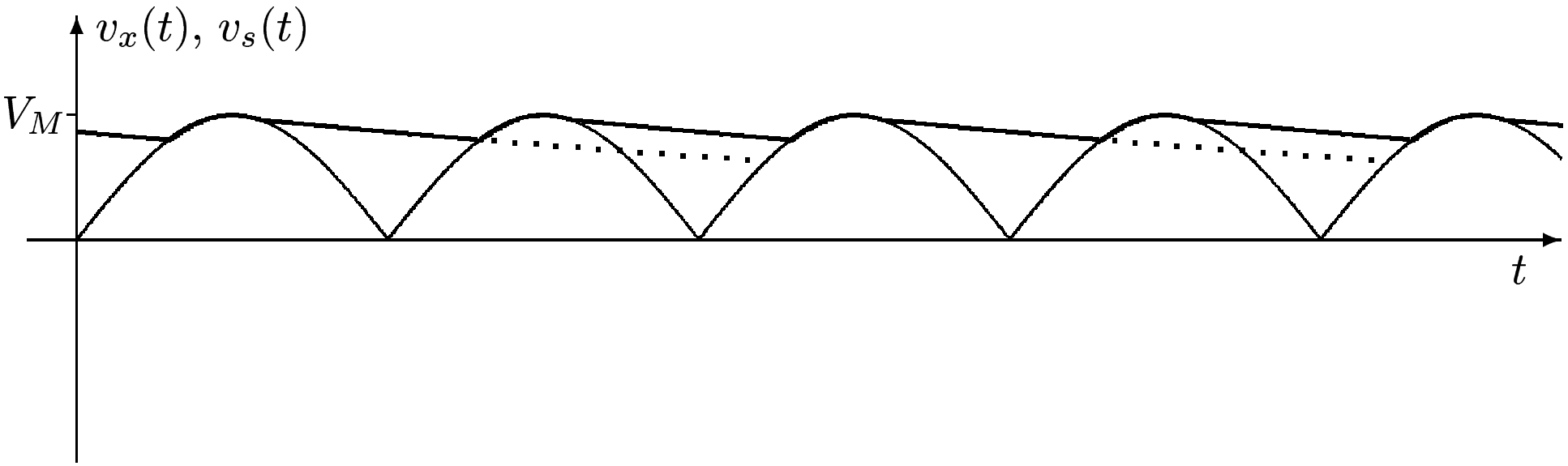
$$\Delta V = V_M \frac{T}{\tau} \qquad \overline{v_s(t)} = V_M - \Delta V/2 \qquad \overline{i_s(t)} = \frac{V_M}{R_S} - \frac{\Delta V}{2R_S}$$

- Sensibilità: come per Voltmetro in c.c.
- *ripple:* errore sistematico ($\neq$ cost.).

$$\vartheta = k\overline{i_s(t)} = k\left(\frac{V_M}{R_S} - \frac{\Delta V}{2R_S}\right)$$

Circuiti di raddrizzamento

Filtro capacitivo + raddrizzamento a doppia semionda:

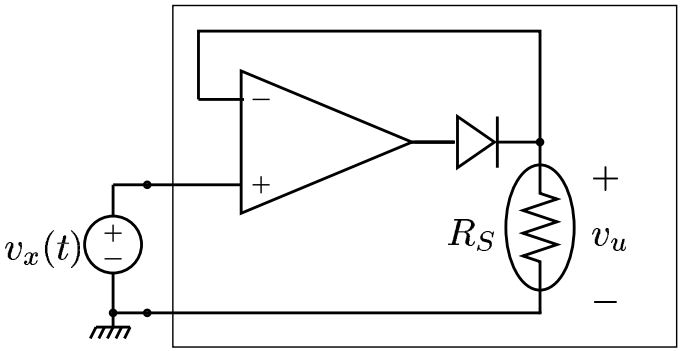


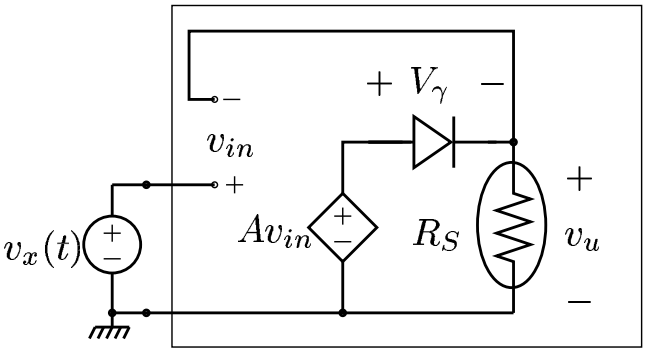
- riduzione del *ripple*;
- ulteriore aumento del valor medio della tensione (e della corrente);
- ulteriore aumento della sensibilità.

⚠ rimane l'errore!

Circuiti di raddrizzamento

Raddrizzatori di precisione - Uso degli A.O.





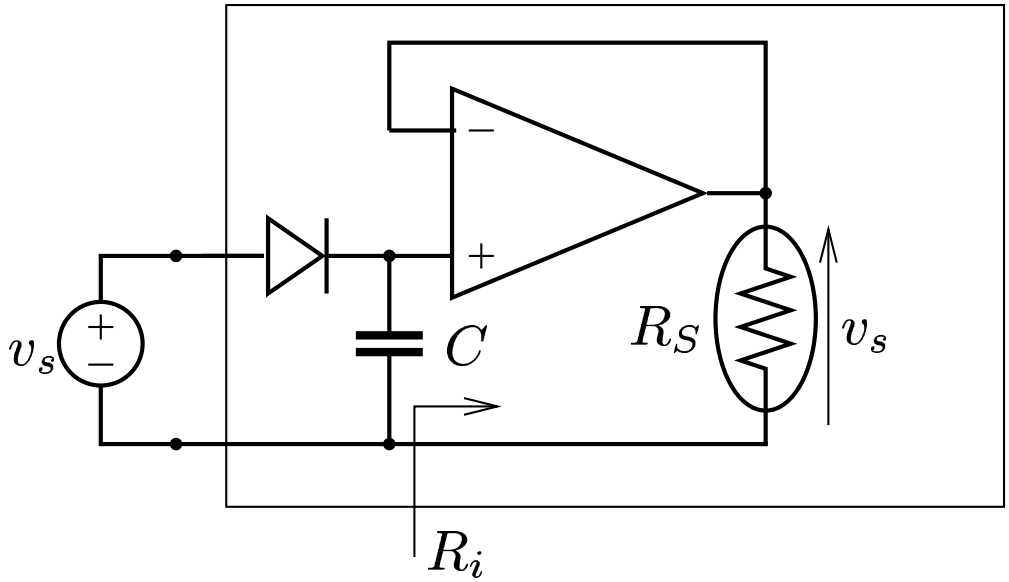
$$v_u(t) = \begin{cases} \dfrac{Av_x(t) - V_\gamma}{1+A} & v_x(t) \geq \dfrac{V_\gamma}{A} \\ 0 & v_x(t) < \dfrac{V_\gamma}{A} \end{cases}$$

$$v_u(t) = \frac{Av_x(t) - V_\gamma}{1+A} = \frac{A}{1+A}v_x(t) - \frac{V_\gamma}{1+A} \simeq v_x(t) \qquad \left(v_x(t) \geq \frac{V_\gamma}{A}\right)$$

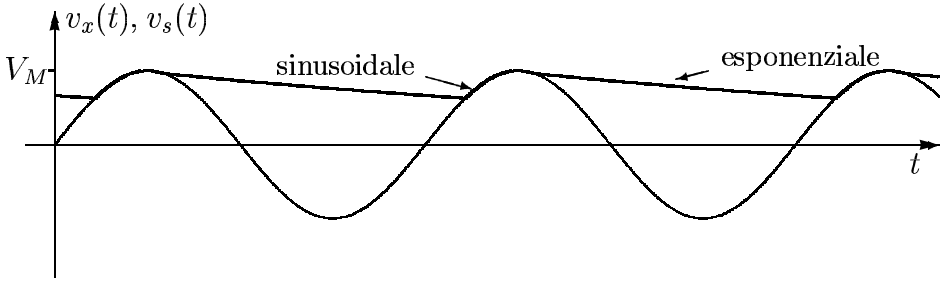
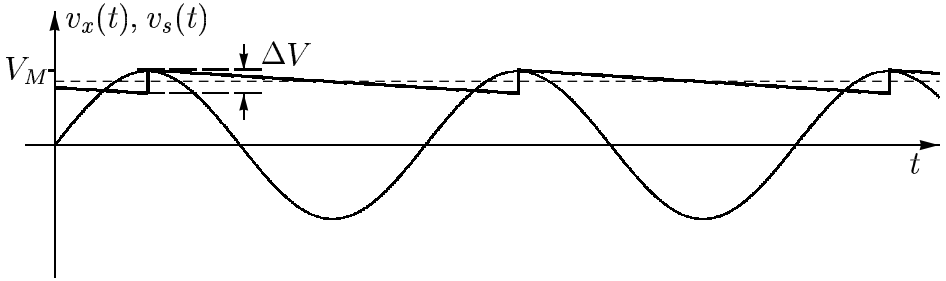
$\Rightarrow$ errore praticamente nullo (*superdiodo*)!

Circuiti di raddrizzamento

Voltmetro con inseguitore di tensione



$$R_i = R_{in,A.O.}(1 + A_{vol0})$$

$$> 10^{11}\,\Omega\,!$$

$$\tau \ggg T$$