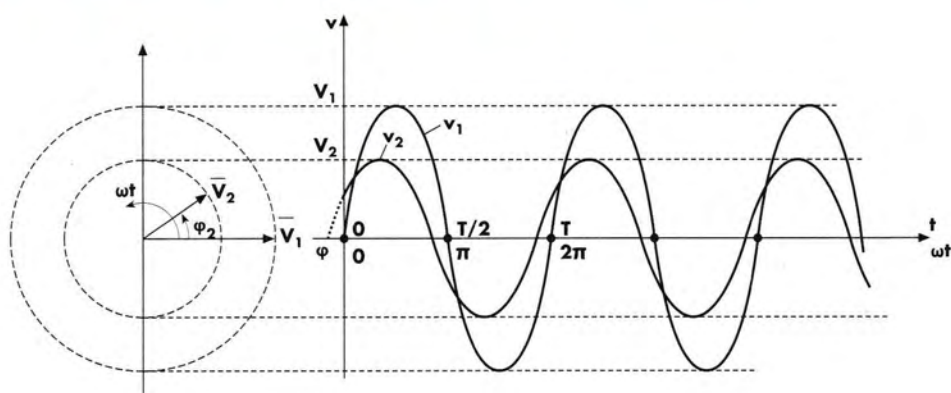


Prontuario per la progettazione

CONTENUTI

- 1 Grandezze sinusoidali e vettori rotanti
- 2 Vettori e numeri complessi
- 3 Circuiti in regime sinusoidale
- 4 Analisi di frequenza
- 5 Filtri passivi
- 6 Amplificatori operazionali (Operational Amplifier)
- 7 Operazioni analogiche lineari
- 8 Circuiti comparatori

1 Grandezze sinusoidali e vettori rotanti



ω = velocità di rotazione = pulsazione [rad/s]

$\omega \cdot t$ = angolo di rotazione [rad] dopo un tempo t [s]

\bar{V}_1 = vettore 1 rotante con velocità angolare ω ; V_1 = ampiezza (modulo) del vettore 1;
 ϕ_1 = fase del vettore 1 (posizione angolare)

\bar{V}_2 = vettore 2 rotante con velocità angolare ω ; V_2 = ampiezza (modulo) del vettore 2

$v_1 = V_1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_1)$ = grandezza sinusoidale = proiezione del vettore \bar{V}_1 sull'asse verticale

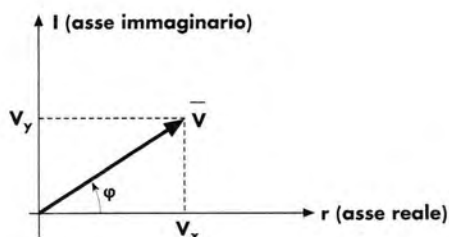
$v_2 = V_2 \cdot \sin(\omega \cdot t + 0)$ = proiezione del vettore \bar{V}_2 sull'asse verticale

T = periodo della sinusoide = tempo impiegato dal vettore a fare un giro completo (ciclo)



2 Vettori e numeri complessi

\bar{V} = Vettore = numero complesso



Coordinate cartesiane

V_x = componente reale del numero complesso = proiezione sull'asse x del vettore \bar{V}

V_y = componente immaginaria del numero complesso = proiezione sull'asse y del vettore \bar{V}

$\bar{V} = V_x + jV_y$; rappresentazione del vettore (numero complesso) mediante coordinate cartesiane

Coordinate polari

V = ampiezza (modulo) del vettore \bar{V}

φ = fase del vettore \bar{V} = angolo che il vettore forma con l'asse orizzontale

$\bar{V} = V \angle \varphi$; rappresentazione del vettore (numero complesso) mediante coordinate polari

Conversione da coordinate cartesiane a coordinate polari

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{V_y}{V_x}$$

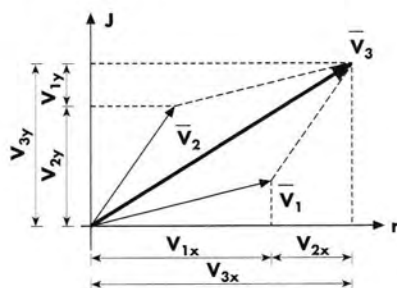
Es. $\boxed{\bar{V} = (4 + j3)}$; $V = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$; $\varphi = \arctg \frac{3}{4} = 36,87^\circ$; $\boxed{\bar{V} = (5 \angle 36,87^\circ)}$

Conversione delle coordinate polari in coordinate cartesiane

$$V_x = V \cdot \cos \varphi; \quad V_y = V \cdot \sin \varphi$$

Es. $\boxed{\bar{V} = (5 \angle 36,87^\circ)}$; $V_x = 5 \cdot \cos 36,87^\circ = 4$; $V_y = 5 \cdot \sin 36,87^\circ = 3$; $\boxed{\bar{V} = (4 + j3)}$

Somma di vettori-numeri complessi



$\bar{V}_3 = \bar{V}_1 + \bar{V}_2$; rappresentazione mediante coordinate cartesiane

$$(V_{3x} + jV_{3y}) = (V_{1x} + jV_{1y}) + (V_{2x} + jV_{2y}) = (V_{1x} + V_{2x}) + j(V_{1y} + V_{2y})$$



$V_{3x} = V_{1x} + V_{2x}$: la componente reale è somma delle componenti reali

$V_{3y} = V_{1y} + V_{2y}$: la componente immaginaria è somma delle componenti immaginarie

Prodotto di vettori-numeri complessi con coordinate polari

$$\bar{V}_3 = \bar{V}_1 \cdot \bar{V}_2$$

$(V_3 \angle \varphi_3) = (V_1 \angle \varphi_1) \cdot (V_2 \angle \varphi_2) = V_1 \cdot V_2 \angle (\varphi_1 + \varphi_2)$: prodotto dei moduli e somma delle fasi

Es. $\bar{V}_1 = (6 \angle 45^\circ)$; $\bar{V}_2 = (3 \angle 30^\circ)$; $\bar{V}_3 = \bar{V}_1 \cdot \bar{V}_2 = 6 \cdot 3 \angle (45 + 30) = (18 \angle 75^\circ)$

Prodotto di vettori-numeri complessi con coordinate cartesiane

$$\bar{V}_3 = V_{3x} + jV_{3y} = (V_{1x} + jV_{1y}) \cdot (V_{2x} + jV_{2y}) = (V_{1x} \cdot V_{2x} - V_{1y} \cdot V_{2y}) + j(V_{1x} \cdot V_{2y} + V_{1y} \cdot V_{2x})$$

Es. $\bar{V}_1 = (3 + j2)$; $\bar{V}_2 = (5 + j4)$

$$\bar{V}_3 = \bar{V}_1 \cdot \bar{V}_2$$

$$\bar{V}_3 = (3 + j2) \cdot (5 + j4) = 3 \cdot 5 + 3 \cdot j4 + j2 \cdot 5 + j2 \cdot j4 = 15 + j(12 + 10) + j^2 8 = 15 - 8 + j22 = 7 + j22$$

Divisione di vettori-numeri complessi con coordinate polari

$$\bar{V}_3 = \frac{\bar{V}_1}{\bar{V}_2}$$

$$V_3 \angle \varphi_3 = \frac{V_1}{V_2} \angle (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Es. $\bar{V}_1 = 6 \angle 45^\circ$; $\bar{V}_2 = 3 \angle 30^\circ$; $\bar{V}_3 = \frac{6}{3} \angle (45 - 30) = 2 \angle 15^\circ$

Divisione di vettori-numeri complessi con coordinate cartesiane

$$\bar{V}_3 = V_{3x} + jV_{3y} = \frac{V_{1x} + jV_{1y}}{V_{2x} + jV_{2y}} \text{ si "razionalizza" } \frac{(V_{1x} + jV_{1y}) \cdot (V_{2x} - jV_{2y})}{(V_{2x} + jV_{2y}) \cdot (V_{2x} - jV_{2y})} \text{ e si ottiene}$$

$$\frac{V_{1x} \cdot V_{2x} - j^2 V_{1y} \cdot V_{2y} + j(V_{1y} \cdot V_{2x} - V_{1x} \cdot V_{2y})}{V_{2x}^2 + V_{2y}^2} = \frac{V_{1x} \cdot V_{2x} + V_{1y} \cdot V_{2y} + j(V_{1y} \cdot V_{2x} - V_{1x} \cdot V_{2y})}{V_{2x}^2 + V_{2y}^2}$$



Circuiti in regime sinusoidale

Impedenza

	$\bar{V} = \bar{Z} \cdot \bar{I}$	\bar{V} : vettore tensione \bar{I} : vettore corrente \bar{Z} : vettore impedenza
--	-----------------------------------	---

Ammettenza

$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}}$	$\bar{I} = \bar{Y} \cdot \bar{V}$	\bar{V} : vettore tensione \bar{I} : vettore corrente \bar{Y} : vettore ammettenza
-------------------------------	-----------------------------------	--

Impedenze in serie

	$\bar{Z}_{s12} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2$ Somma di impedenze
--	---



Impedenze in parallelo

	$\bar{Z}_{p12} = \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$ <p>Prodotto diviso la somma</p>
--	---

Ammettenze in parallelo

	$\bar{Y}_{p12} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2$ <p>Somma delle ammettenze</p>
--	---

Impedenza resistiva

<p>a)</p>	$\bar{Z} = R$ $\bar{V} = R \cdot \bar{I}$	<p>b)</p> <p>Tensione in fase con la corrente</p>
-----------	---	---

Impedenza induttiva

<p>a)</p>	$\bar{Z}_L = j\omega L$ $\omega L = X_L \text{ reattanza induttiva}$ $\bar{V} = j\omega L \cdot \bar{I}$	<p>b)</p> <p>Tensione in anticipo di 90° rispetto alla corrente</p>
-----------	--	---

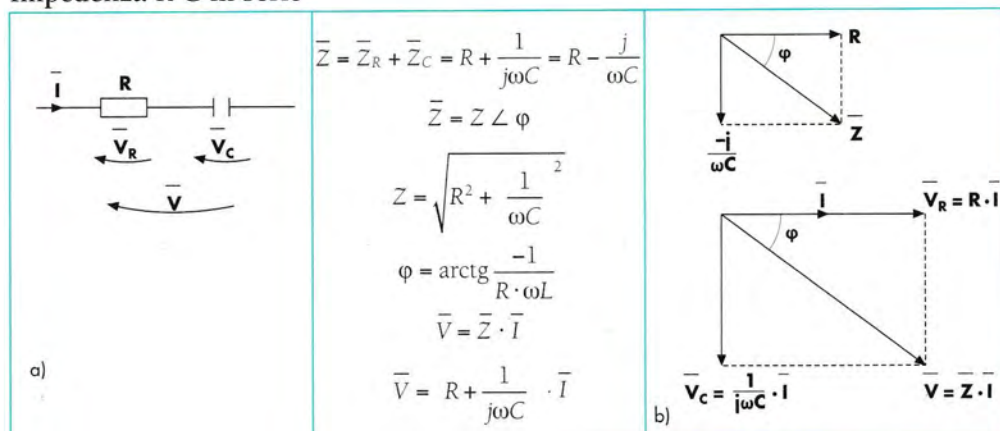
Impedenza capacitiva

<p>a)</p>	$\bar{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}; \quad \bar{Z} = \frac{-j}{\omega C}$ $\frac{1}{\omega C} = X_C$ $\bar{V}_C = \frac{1}{j\omega C} \cdot \bar{I}$	<p>b)</p> <p>Tensione in ritardo di 90° rispetto alla corrente</p>
-----------	---	--

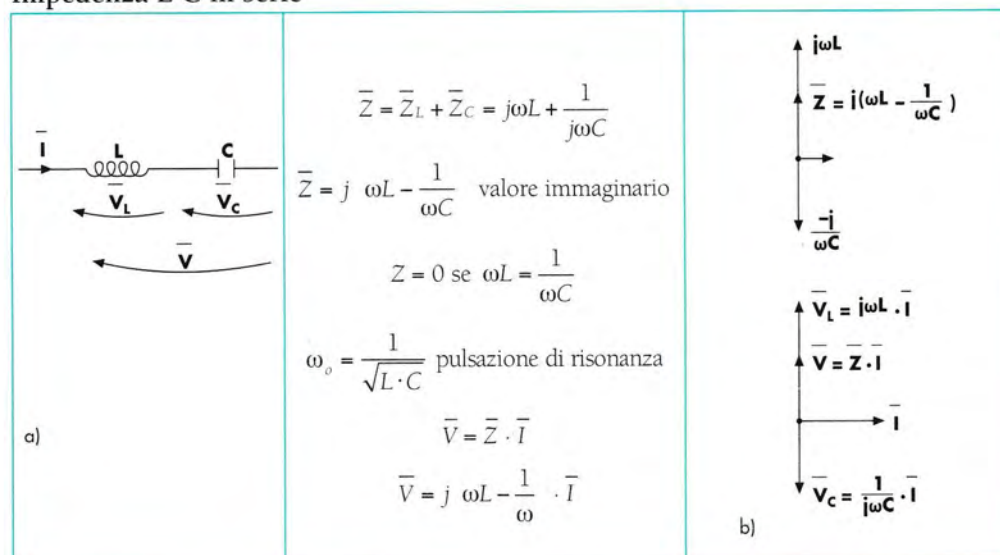
Impedenza R-L in serie

<p>a)</p>	$\bar{Z} = \bar{Z}_R + \bar{Z}_L = R + j\omega L$ $\bar{Z} = Z \angle \varphi$ $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$ $\bar{V} = \bar{Z} \cdot \bar{I}$ $\bar{V} = (R + j\omega L) \cdot \bar{I}$	<p>b)</p>
-----------	--	-----------

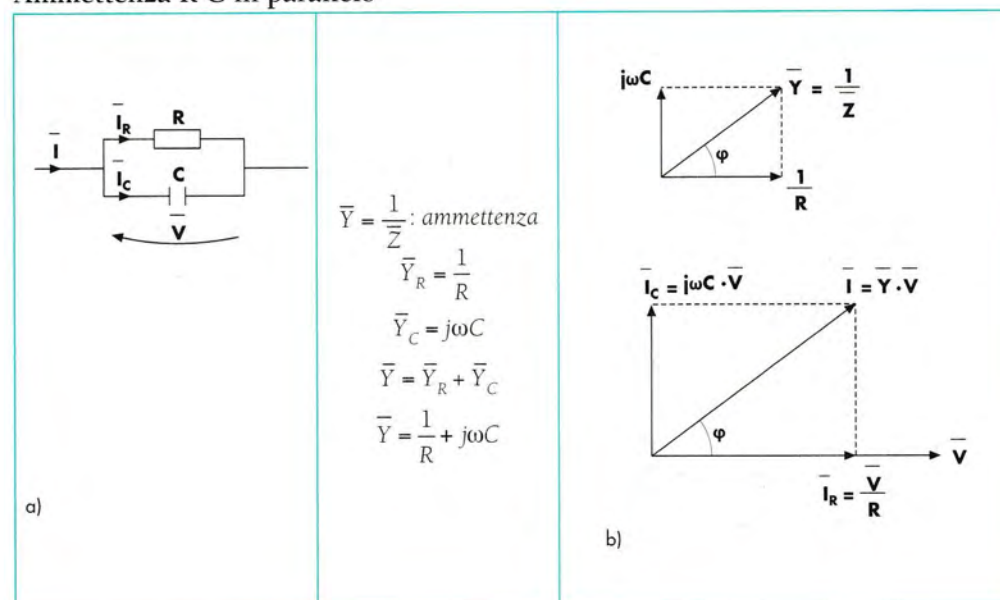
Impedenza R-C in serie



Impedenza L-C in serie



Ammettenza R-C in parallelo



4

Analisi di frequenza

$\bar{I}(j\omega) \rightarrow \boxed{\bar{F}(j\omega)} \rightarrow \bar{O}(j\omega)$

$\bar{O}(j\omega) = \bar{F}(j\omega) \cdot \bar{I}(j\omega)$
relazione fra grandezze vettoriali che variano al variare di ω
 $\bar{I}(j\omega)$ = grandezza vettoriale di ingresso
 $\bar{O}(j\omega)$ = grandezza vettoriale di uscita: risposta a $\bar{I}(j\omega)$
 $\bar{F}(j\omega)$ = **funzione di trasferimento** = legame fra $\bar{I}(j\omega)$ e $\bar{O}(j\omega)$

Funzione di trasferimento in forma canonica

$$\bar{F}(j\omega) = \frac{\bar{N}(j\omega)}{\bar{D}(j\omega)} = A \cdot \frac{(1 + j\omega_z \cdot \tau_{z1}) \cdot (1 + j\omega_z \cdot \tau_{z2}) \dots}{(1 + j\omega_p \cdot \tau_{p1}) \cdot (1 + j\omega_p \cdot \tau_{p2}) \dots}$$

Zeri $\omega_z = \frac{1}{\tau_z}$: in un termine del **numeratore** la parte immaginaria è uguale alla parte reale

Poli $\omega_p = \frac{1}{\tau_p}$: in un termine del **denominatore** la parte immaginaria è uguale alla parte reale

Funzione di trasferimento in coordinate polari

$$\bar{F}(j\omega) = F(\omega) \angle \varphi(\omega) : F(\omega) = \text{modulo al variare di } \omega; \quad \varphi(\omega) = \text{fase al variare di } \omega.$$

Diagrammi di Bode

Rappresentazione del modulo

$$F(\omega)_{dB} = 20 \log F(\omega): \text{ modulo espresso in decibel dB}$$

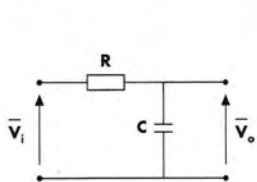
	Funzione di trasferimento	Modulo e fase	Diagrammi di Bode
Amplificazione	$\bar{F}(j\omega) = A$ $A > 1$	$F(\omega)_{dB} = 20 \log A$ $\varphi(\omega) = 0$	
Attenuazione	$\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{A}$ $A > 1$	$F(\omega)_{dB} = -20 \log A$ $\varphi(\omega) = 0$	
Zero nell'origine	$\omega_z = 0$ $\bar{F}(j\omega) = j\omega\tau$	$F(\omega)_{dB} = 20 \log(\omega\tau)$ <i>aumenta di 20 dB per decade</i> $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega\tau}{0} = 90^\circ$	

	Funzione di trasferimento	Modulo e fase	Diagrammi di Bode
Polo nell'origine	$\omega_p = 0$ $\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{j\omega\tau} = -j\frac{1}{\omega\tau}$	$F(\omega)_{dB} = 20 \log 1 - 20 \log(\omega\tau) = -20 \log(\omega\tau)$ $\varphi(\omega) = \arctg \frac{-1}{0} = -90^\circ$	<p>(segue)</p>
Zero ≈ 0	$\omega_z = \frac{1}{\tau}$ $\bar{F}(j\omega) = 1 + j\omega\tau$	$F(\omega) = \sqrt{1^2 + (\omega\tau)^2}$ $\omega\tau \ll 1: F(\omega) = 1; F(\omega)_{dB} = 0$ $\omega\tau = 1: F(\omega) = \sqrt{2}; F(\omega)_{dB} = 3 \text{ dB}$ $\omega\tau \gg 1: F(\omega) = \omega\tau; F(\omega)_{dB} = 20 \log(\omega\tau)$ $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega\tau}{1}$ $\omega\tau \ll 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{0}{1} = 0$ $\omega\tau = 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{1}{1} = 45^\circ$ $\omega\tau \gg 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega\tau}{0} = 90^\circ$	
Polo ≈ 0	$\omega_p = \frac{1}{\tau}$ $\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$ Razionalizzata: $\bar{F}(j\omega) = \frac{1 - j\omega\tau}{1^2 + (\omega\tau)^2}$	$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (\omega\tau)^2}}$ $\omega\tau \ll 1: F(\omega) = 1; F(\omega)_{dB} = 0$ $\omega\tau = 1: F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}}; F(\omega)_{dB} = -3 \text{ dB}$ $\omega\tau \gg 1: F(\omega) = \frac{1}{\omega\tau}; F(\omega)_{dB} = -20 \log(\omega\tau)$ $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\omega\tau}{1}$ $\omega\tau \ll 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{0}{1} = 0$ $\omega\tau = 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{1}{1} = -45^\circ$ $\omega\tau \gg 1: \varphi(\omega) = \arctg \frac{-\omega\tau}{0} = -90^\circ$	

5 Filtri passivi

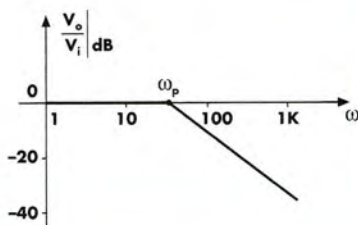
Filtro capacitivo passa basso

Risposta in frequenza

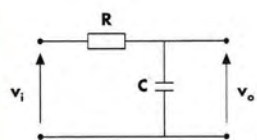


$$\bar{F}(j\omega) = \frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$\omega_p = \frac{1}{RC}$$

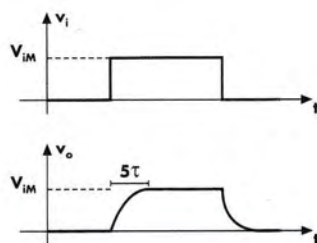


Risposta al gradino di tensione



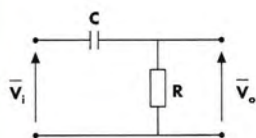
$$\tau = R \cdot C$$

Carica e scarica del condensatore



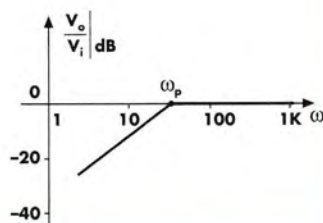
Filtro capacitivo passa alto

Risposta in frequenza

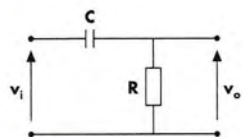


$$\bar{F}(j\omega) = \frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

$$\omega_p = \frac{1}{RC}; \quad \omega_z = 0$$

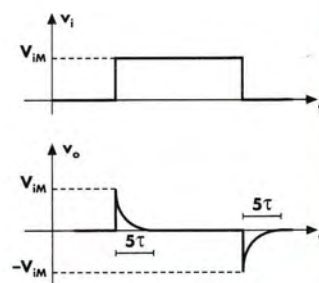


Risposta al gradino di tensione



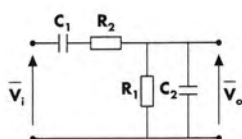
$$\tau = R \cdot C$$

Variazione improvvisa della tensione su R che diminuisce con l'aumentare della tensione su C



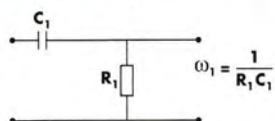
Filtro capacitivo passa banda

Risposta in frequenza



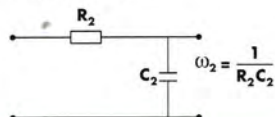
$$\text{Se } \frac{1}{R_1 C_1} > \frac{1}{R_2 C_2}$$

Insieme di un passa alto

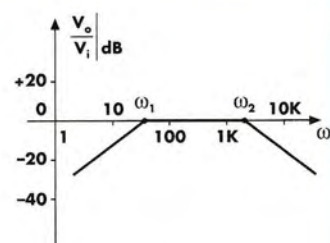


$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 C_1}$$

e un passa basso



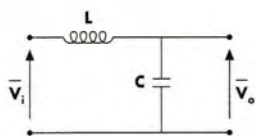
$$\omega_2 = \frac{1}{R_2 C_2}$$





Filtro LC passa basso

Risposta in frequenza



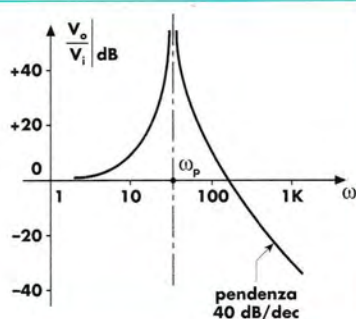
Nei circuiti reali è sempre presente una componente resistiva che riduce l'effetto della risonanza

$$\frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC}$$

Alla pulsazione di risonanza:

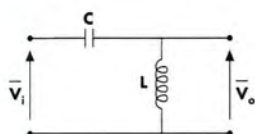
$$\omega_p = \pm \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

l'ampiezza $\frac{V_o}{V_i} = \infty$



Filtro CL passa alto

Risposta in frequenza



Nei circuiti reali è sempre presente una componente resistiva che riduce l'effetto della risonanza

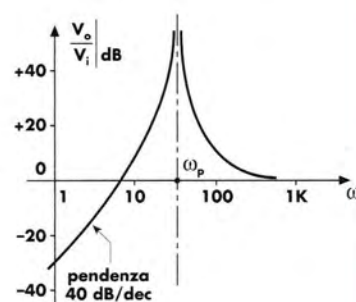
$$\frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} = \frac{-\omega^2 LC}{1 - \omega^2 LC}$$

Alle basse pulsazioni $\frac{V_o}{V_i} = 0$

Alla pulsazione di risonanza:

$$\omega_p = \pm \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

l'ampiezza $\frac{V_o}{V_i} = \infty$

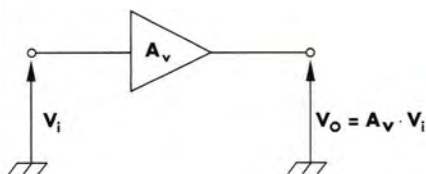


6

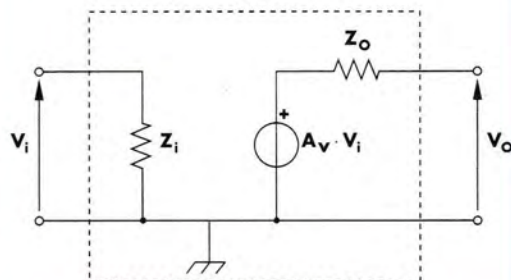
Amplificatori operazionali (Operational Amplifier)

Amplificatore generico

Simbolo grafico

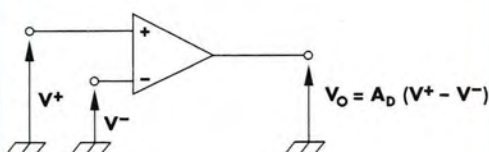


Circuito equivalente

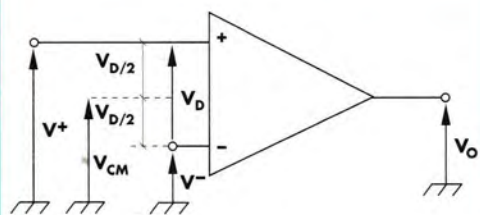


Amplificatore differenziale

Simbolo grafico



Scomposizione delle tensioni d'ingresso



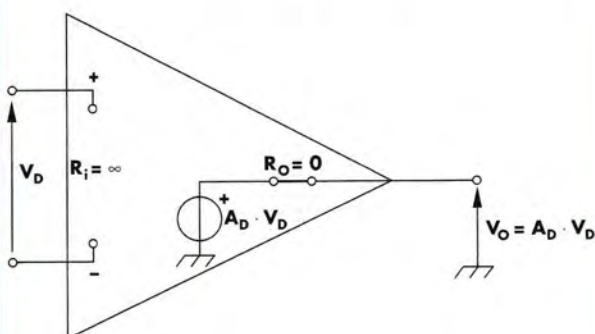
(segue)

Grandezze e relazioni principali (continua)

- V^+ = tensione sull'ingresso non invertente; V^- = tensione sull'ingresso invertente
- A^+ = amplificazione della tensione V^+ ; A^- = amplificazione della tensione V^-
- $V_o = (A^+ \cdot V^+) - (A^- \cdot V^-)$ tensione di uscita dipendente da V^+ e V^-
- $V_D = V^+ - V^-$ = tensione differenziale (Differential Voltage)
- $V_{CM} = \frac{V^+ + V^-}{2}$ = tensione media o di modo comune (Common Mode Voltage)
- $A_D = \frac{A^+ + A^-}{2}$ = guadagno della tensione differenziale (guadagno differenziale)
- $A_{CM} = (A^+ - A^-)$ = guadagno della tensione di modo comune (guadagno di modo comune)
- $V_o = A_D \cdot V_D + A_{CM} \cdot V_{CM}$ = tensione di uscita in funzione di V_D e V_{CM}
- $CMRR = \frac{A_D}{A_{CM}}$ = rapporto di reiezione di modo comune (Common Mode Reiection Ratio): maggiore è il CMRR migliore è l'amplificatore differenziale.
- $CMRR(dB) = 20 \cdot \log \frac{A_D}{A_{CM}}$

Amplificatore operazionale ideale

Circuito equivalente

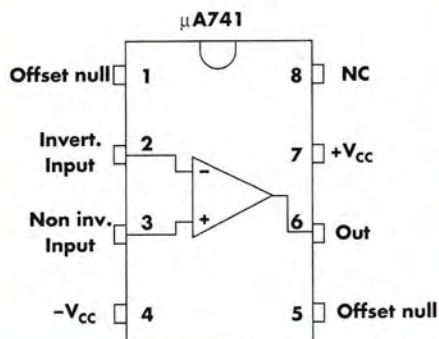


Parametri caratteristici

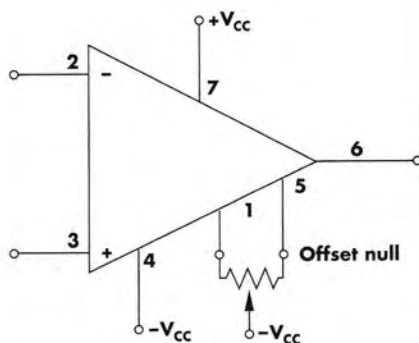
- $A_D = \infty$ guadagno differenziale molto grande
- $CMRR = \infty$ di conseguenza $A_{CM} = 0$
- $Z_i = \infty$ di conseguenza gli ingressi non assorbono corrente
- $Z_o = 0$ di conseguenza l'uscita si comporta come un generatore ideale di tensione
- $BW = \infty$ larghezza di banda (Band Width) molto grande sono amplificati i segnali con qualsiasi frequenza

Amplificatore operazionale reale e sue caratteristiche CI $\mu A741$ (General Purpose Operational Amplifier)

Piedinatura



Simbolo





Sceita dell'amplificatore operazionale

La scelta di un amplificatore operazionale è influenzata in primo luogo da: tipo di alimentazione (singola o duale); impedenza d'ingresso; slew rate; guadagno differenziale e banda passante.

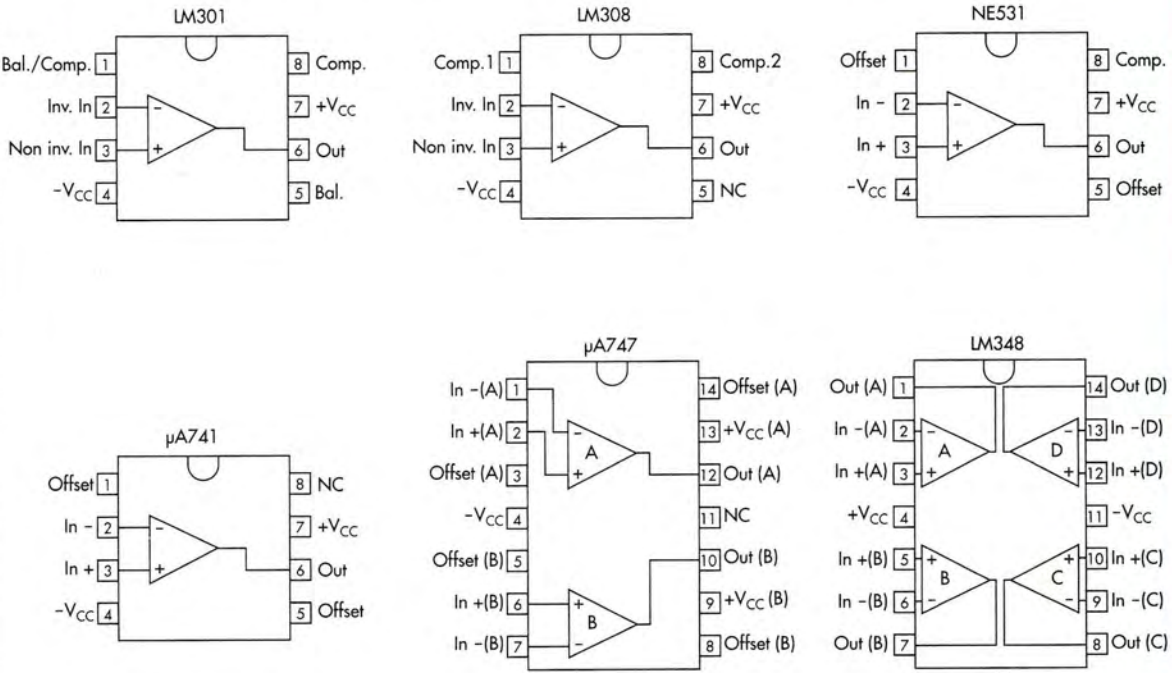
In secondo luogo vanno esaminati tutti gli altri parametri descritti nel data sheet. I parametri di un amplificatore operazionale dipendono dalla tecnologia costruttiva, in base alla quale sono suddivisi in:

- **bipolari:** realizzati con BJT; e quindi con i vantaggi (alta velocità) e gli svantaggi (assorbimento di corrente) della tecnologia bipolare;
- **con ingressi a JFET:** gli ingressi a JFET consentono di avere alta impedenza d'ingresso e quindi basse correnti di polarizzazione;
- **BiFET:** in tecnologia bipolare e ingressi a JFET ma con alte prestazioni;
- **LinCMOS (linear CMOS):** in tecnologia *Silicon Gate* di tipo CMOS.

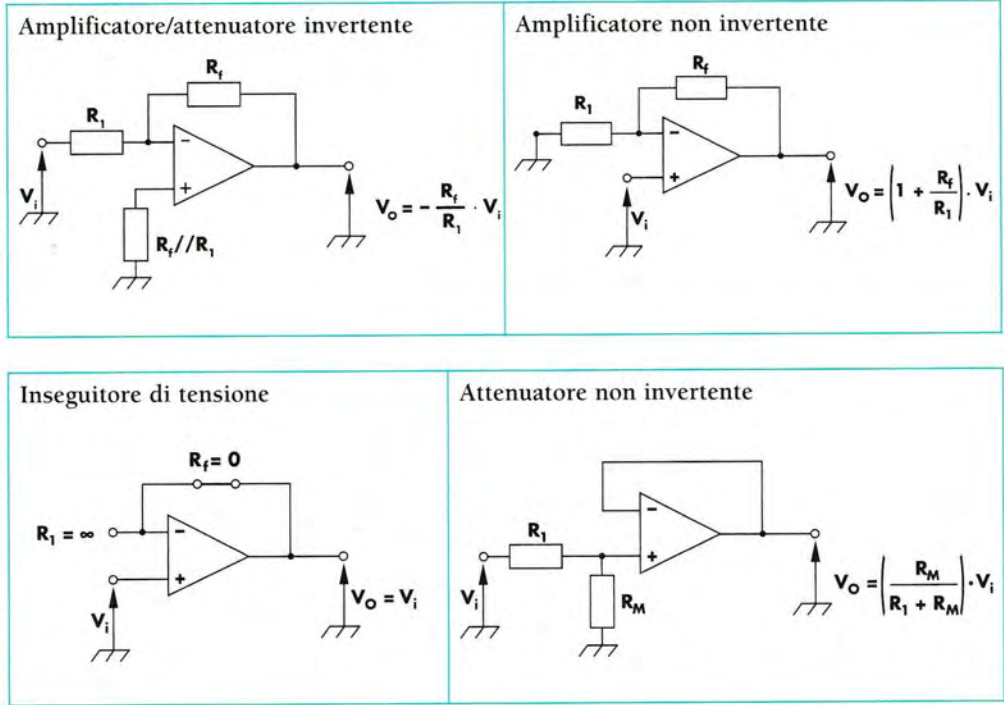
Tabella 1 Integrati con amplificatori operazionali

Part Name	Supply Volt. [V]	Input Volt. [V]	Gain [dB]	Bias Current [nA]	Slew Rate [V/μs]	Description
Bipolari						
LM 301	±15±18	±30	88	70	0,4	High performance
LM 308	±15±18	±30	102	1,5	—	Series of precision
μA 741	±5±18	±30	106	80	0,5	General purpose
μA 747	±7±18	±30	106	80	0,5	Dual μA 741
LM 348	±10±18	±24	96	30	0,6	Quad μA 741
LM 725	±4±22	±5	130	42	0,25	High performance
NE 5534	±3±20	±05	100	200	9	Power, Low noise
NE 5532	±3±20	±05	100	200	9	Dual 5534
Ingressi a JFET						
AD 711	±4,5±8	—	100	25 pA	20	Precision
AD 712	±4,5±8	—	100	25 pA	20	Dual AD 711
LF351	±5±18	30	110	50 pA	13	High Speed
LF353	±5±18	30	110	50 pA	13	Dual LF351
BiFET						
TL 061	±3,5±18	±30	76	30 pA	3,5	BiFET, Low Power
TL 062	±3,5±18	±30	76	30 pA	3,5	Dual TL 061
TL 064	±3,5±18	±30	76	30 pA	3,5	Quadruple TL 061
CMOS						
ICL7611	18	—	98	1 pA	1,6	Low Power
ICL7641	18	—	98	1 pA	1,6	Quad ICL7611

Contenitori per amplificatori operazionali

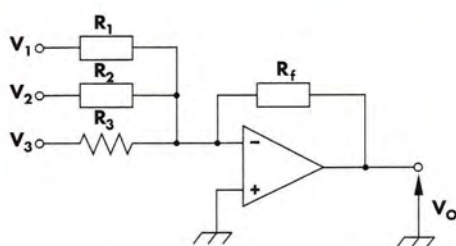


7 Operazioni analogiche lineari





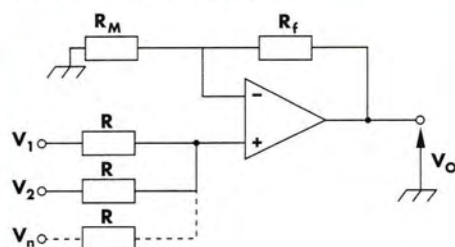
Sommatore invertente



$$V_O = - \left(\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_2 + \frac{R_f}{R_3} \cdot V_3 \right)$$

se $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$ $V_O = - (V_1 + V_2 + V_3)$

Sommatore non invertente

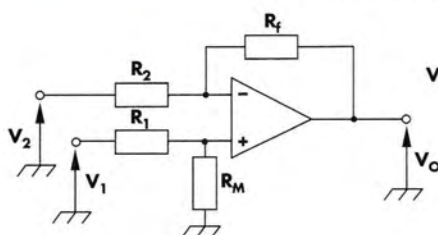


$$V_O = \left(1 + \frac{R_f}{R_M} \right) \cdot \frac{1}{n} \cdot (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

se $R_f = (n - 1) \cdot R_M$

$$V_O = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

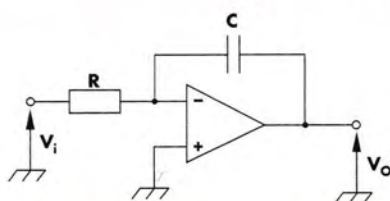
Differenziale



$$V_O = \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_2} \right) \cdot \left(\frac{R_M}{R_M + R_1} \right) \right] V_1 - \left(\frac{R_f}{R_2} \right) \cdot V_2$$

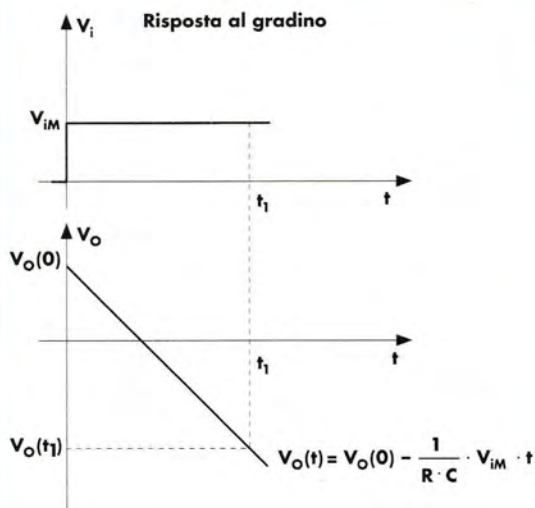
se $\left[\left(1 + \frac{R_f}{R_2} \right) \cdot \left(\frac{R_M}{R_M + R_1} \right) \right] = \frac{R_f}{R_2}$ si ottiene $V_O = V_1 - V_2$

Integratore invertente ideale

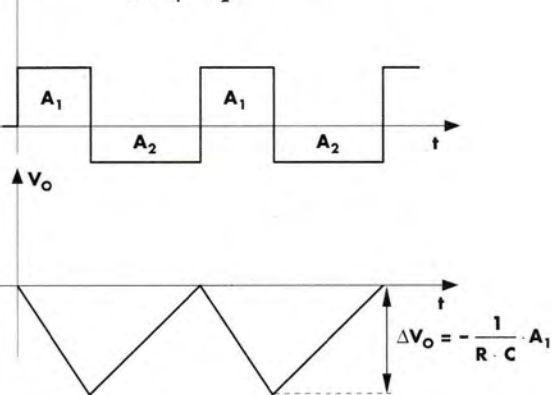


$$V_O(t) = V_O(0) - \frac{1}{R \cdot C} \int_0^t V_i \cdot dt$$

Risposta al gradino



Risposta all'onda quadra con $A_1 = A_2$

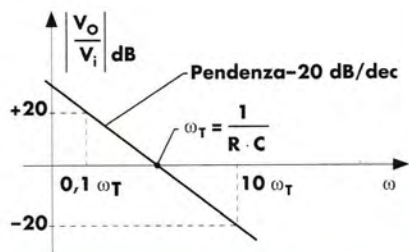
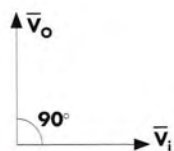


(segue)

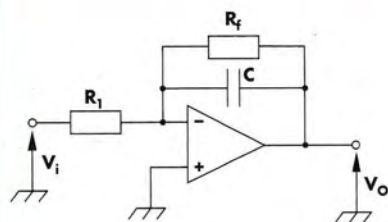
(continua)

Risposta in regime sinusoidale

$$\bar{V}_O = -\frac{1}{j\omega R \cdot C} \cdot \bar{V}_i$$

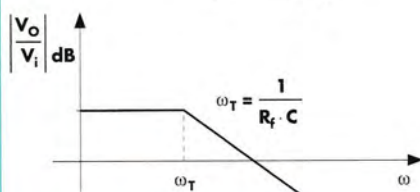


Integratore invertente reale



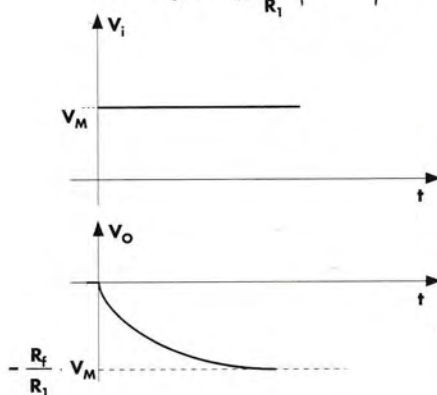
Risposta in regime sinusoidale

$$\bar{V}_O = -\frac{R_f}{R_1} \cdot \frac{\bar{V}_i}{1 + j\omega R_f \cdot C}$$



Risposta al gradino

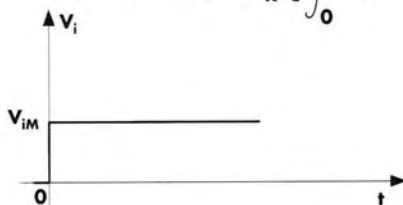
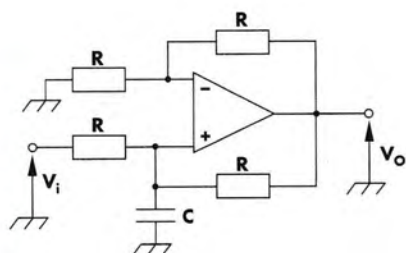
$$V_O(t) = V_M \cdot \frac{R_f}{R_1} \cdot \left(e^{-\frac{t}{R_f \cdot C}} - 1 \right)$$



Integratore non invertente ideale

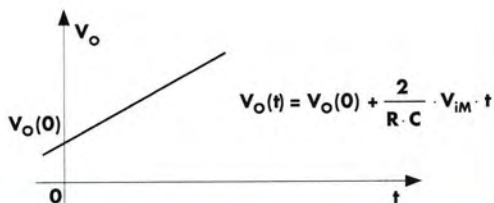
Risposta al gradino

$$V_O(t) = V_O(0) + \frac{2}{R \cdot C} \int_0^t V_i \cdot dt$$

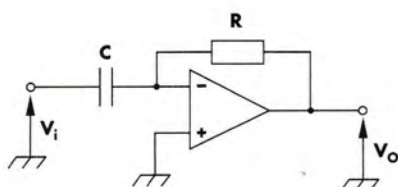


Risposta in regime sinusoidale

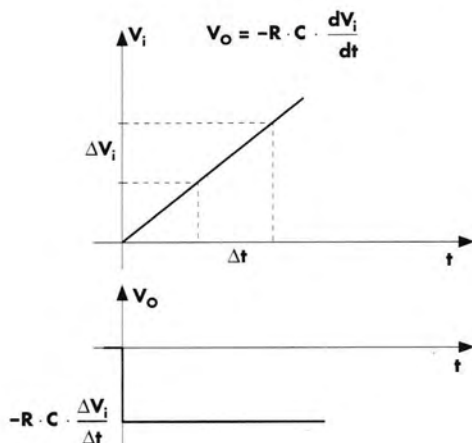
$$\bar{V}_O = \frac{2}{j\omega R \cdot C} \cdot \bar{V}_i$$



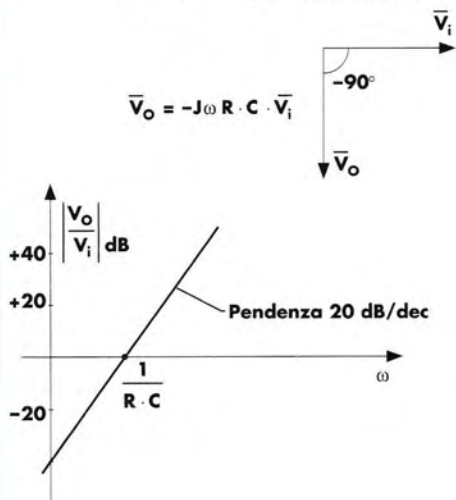
Derivatore invertente ideale



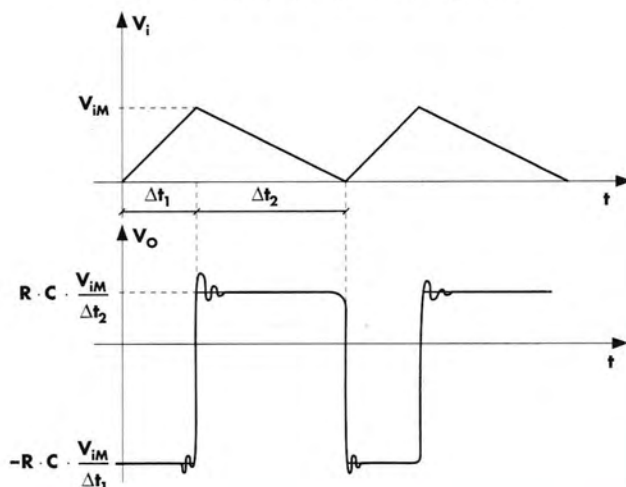
Risposta alla rampa



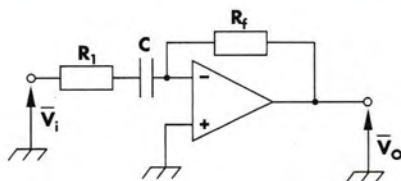
Risposta in regime sinusoidale



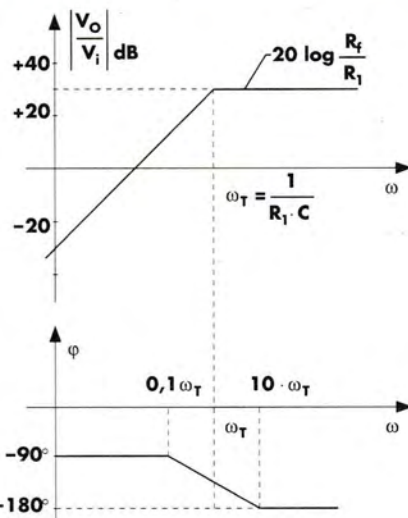
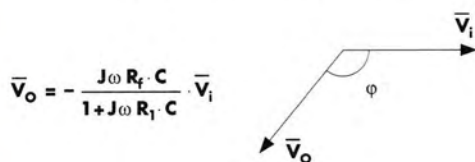
Risposta all'onda triangolare



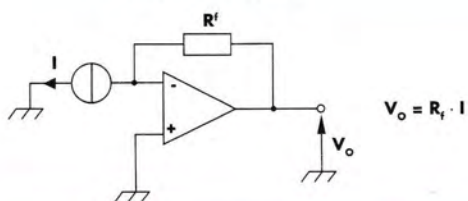
Derivatore invertente reale



Risposta in regime sinusoidale

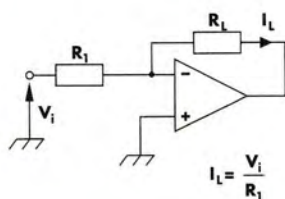


Convertitore I-V

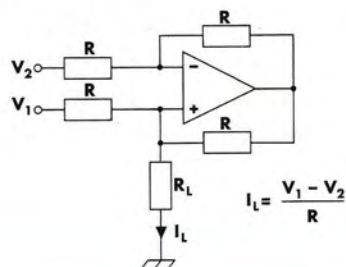


Convertitore V-I

Carico isolato da massa

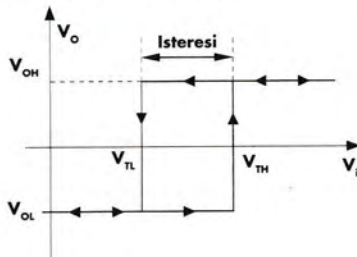
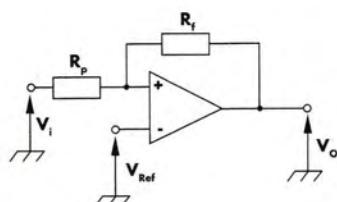


Carico a massa



8 Circuiti comparatori

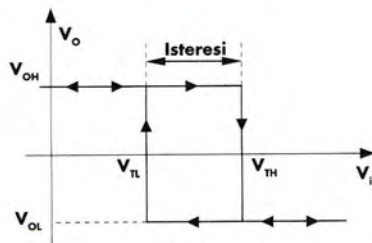
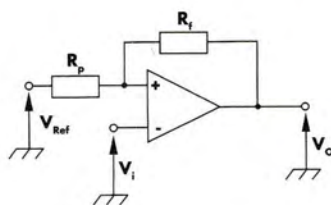
Comparatore non invertente con isteresi



$$V_{TH} = \frac{R_f + R_p}{R_f} \cdot V_{Ref} - \frac{R_p}{R_f} \cdot V_{OL}$$

$$V_{TL} = \frac{R_f + R_p}{R_f} \cdot V_{Ref} - \frac{R_p}{R_f} \cdot V_{OH}$$

Comparatore invertente con isteresi



$$V_{TH} = \frac{R_f}{R_f + R_p} \cdot V_{Ref} + \frac{R_p}{R_f + R_p} \cdot V_{OH}$$

$$V_{TL} = \frac{R_f}{R_f + R_p} \cdot V_{Ref} + \frac{R_p}{R_f + R_p} \cdot V_{OL}$$