

# Elettronica I

- Lab. Did. Elettronica Circuitale -

---

***BREVE INTRODUZIONE  
AGLI STRUMENTI DEL  
BANCO DI MISURA***

# Generatore di Funzioni T T i - TG2000



# Generatore di Funzioni T T i - TG2000



**Genera i segnali di tensione**

**Uscita BNC**

# Regolazioni principali

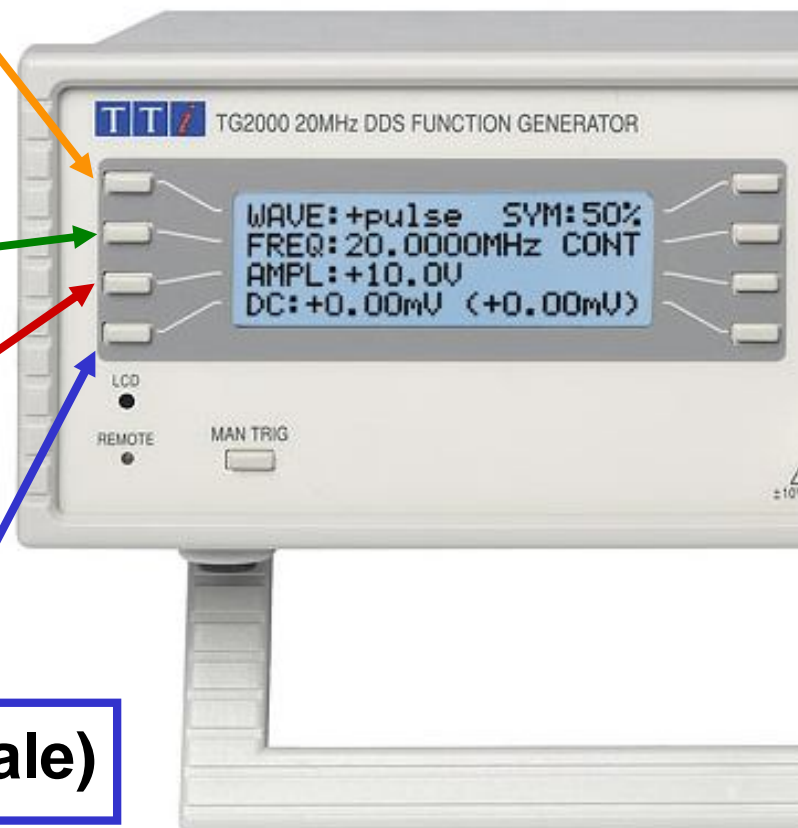
## Forma d'onda del Segnale



## Frequenza del Segnale

## Ampiezza picco-picco del Segnale

## Offset (comp. continua del Segnale)



# Generatore di Funzioni T T i - TG2000

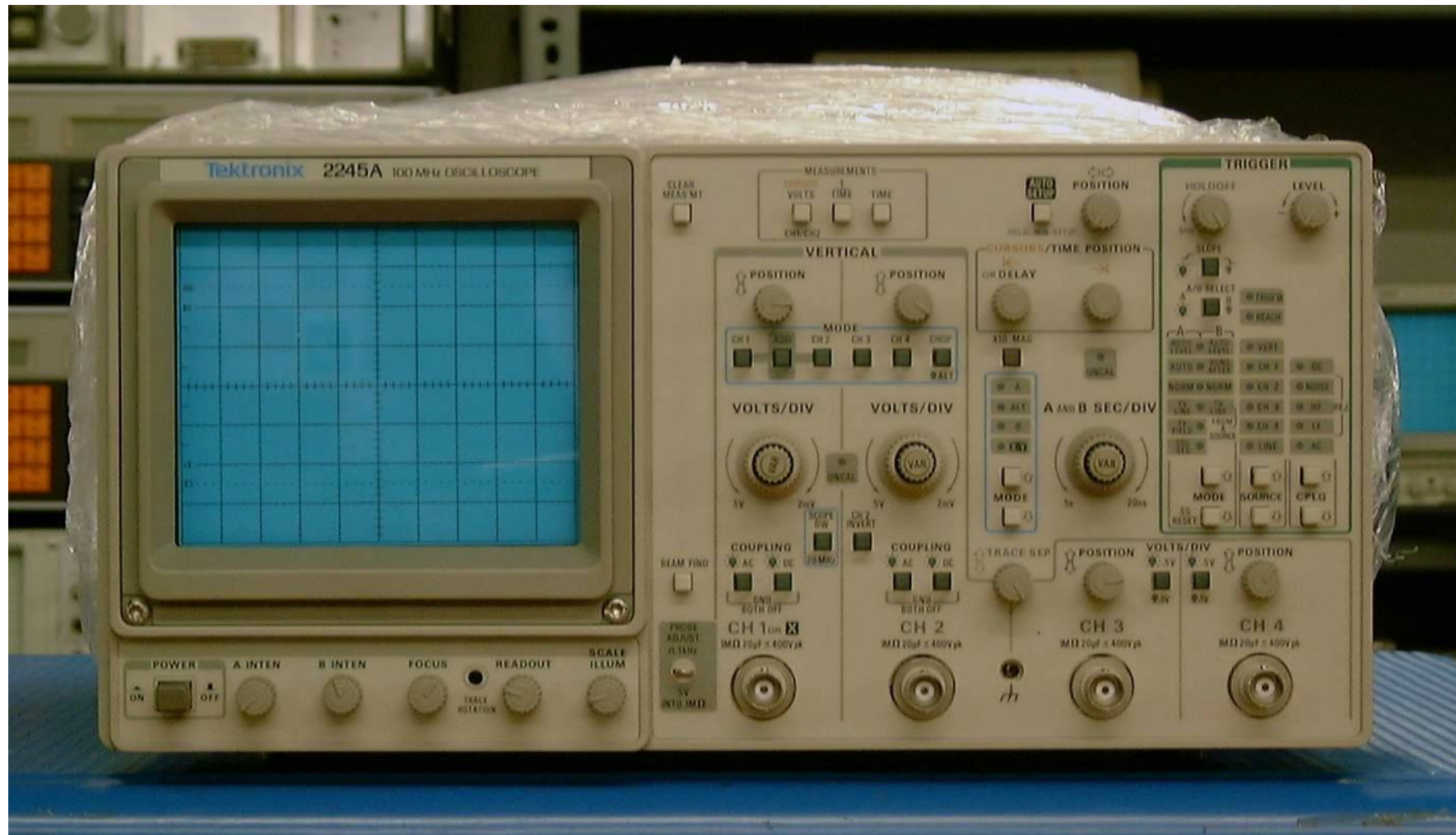


**Dopo aver impostato il generatore ed aver effettuato gli opportuni controlli mettere su ON (si accende il LED rosso)**

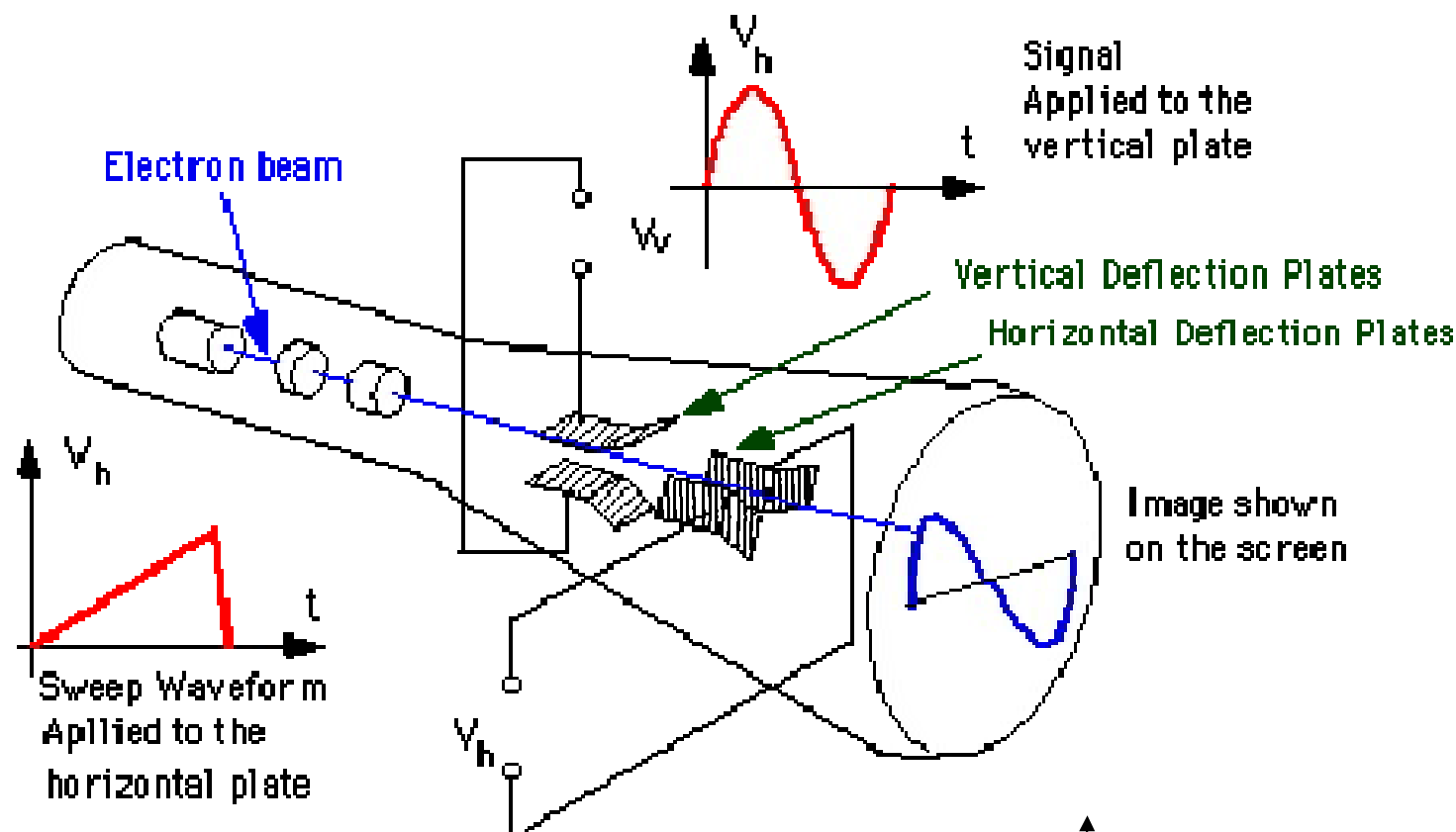


# Oscilloscopio Analogico

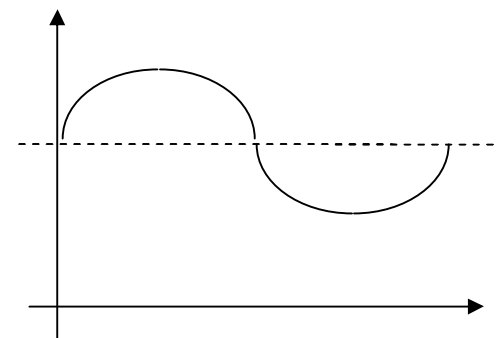
## Tektronix 2245A



# Oscilloscopio Analogico a Raggi Catodici



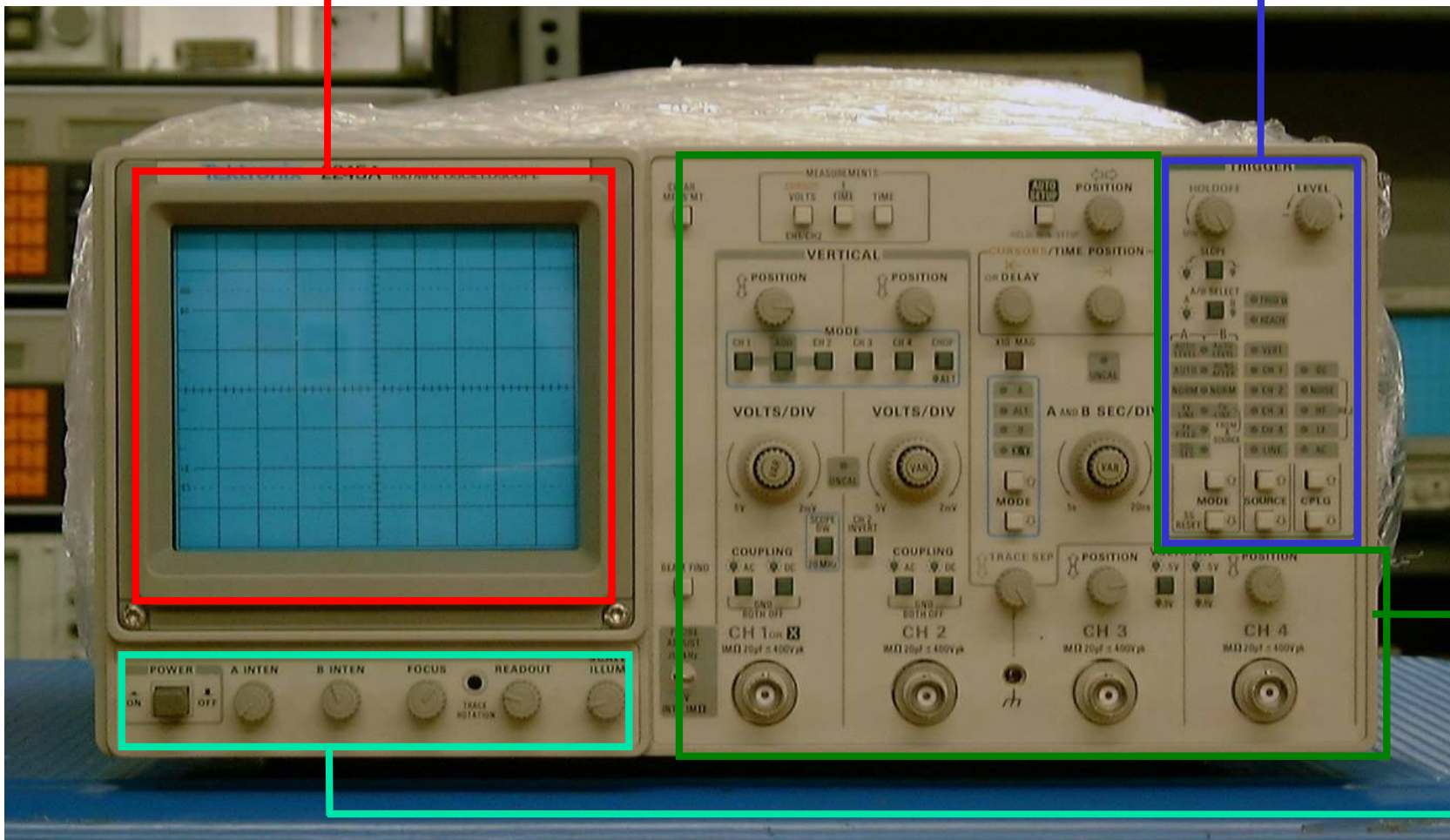
**Visualizza i segnali nel dominio  
del tempo (Banda 100MHz)**



# Pannello Frontale

Schermo

Controllo "Trigger"



Canali e Controlli

Regolazione Schermo



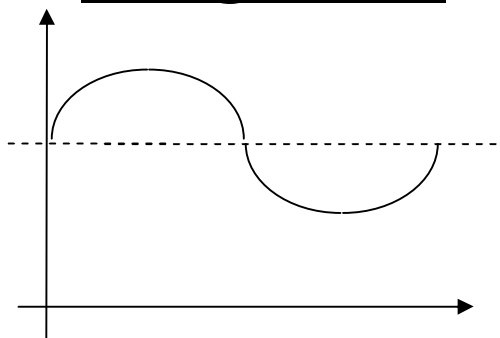
# Canali di Ingresso

Ingresso  
BNC  
Canale 1



## Accoppiamento in ingresso:

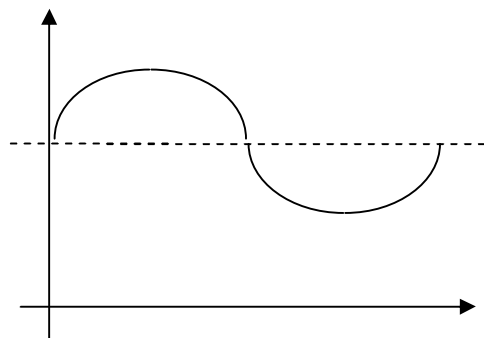
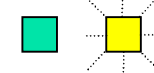
Segnale  
d'ingresso



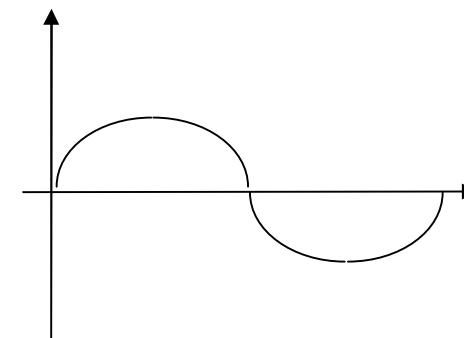
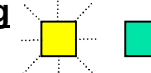
Riferimento di massa  
(o linea a 0 V)



Direct Coupling  
(DC)

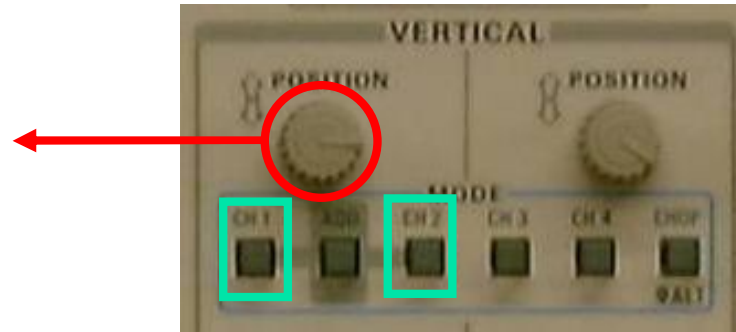


Alternate Coupling  
(AC)



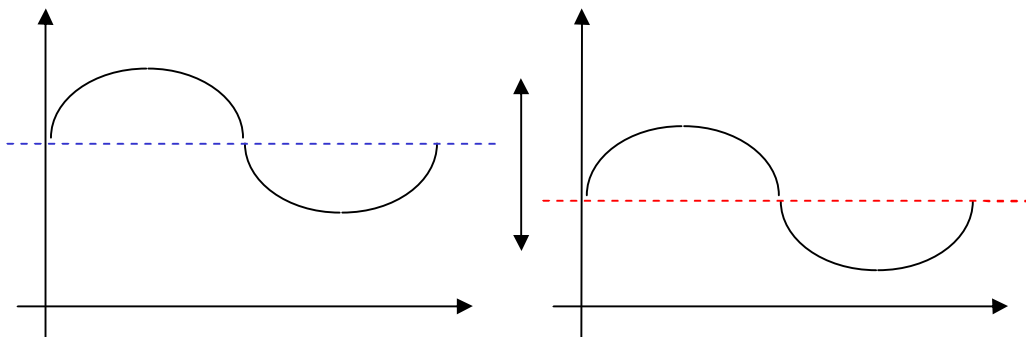
# Visualizzazione e Posizione del Livello della Continua

Controllo  
Posizione  
della  
Continua



Visualizzazione dei canali ON/OFF

Posizione della Continua

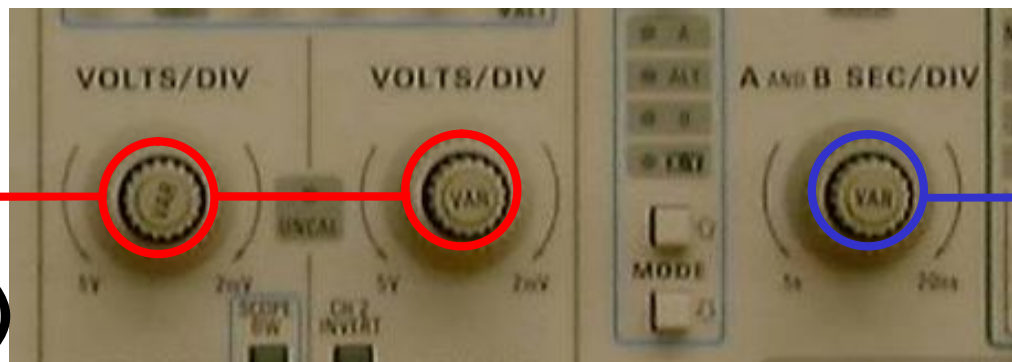


**NB: La continua del Segnale (il suo valore medio) NON viene alterata!!!**  
**Si cambia solo la posizione del Segnale sullo schermo!!!**

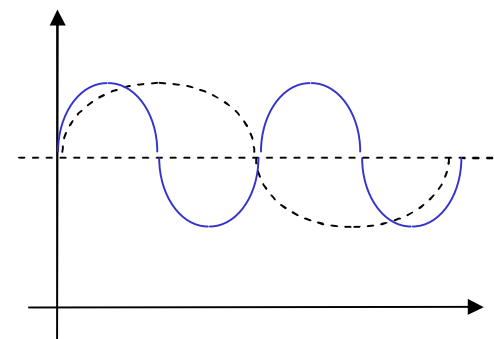
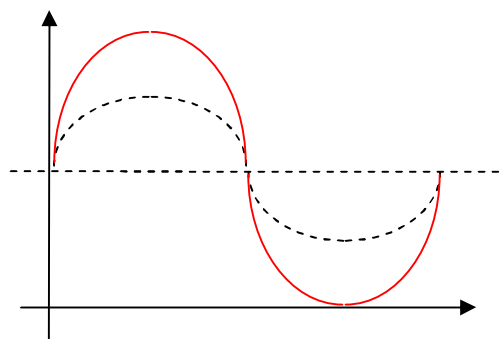
# Controllo delle Scale di Visualizzazione



**Scala Verticale  
Volt/div  
(Una per canale)**



**Scala  
Orizzontale  
(Comune)**

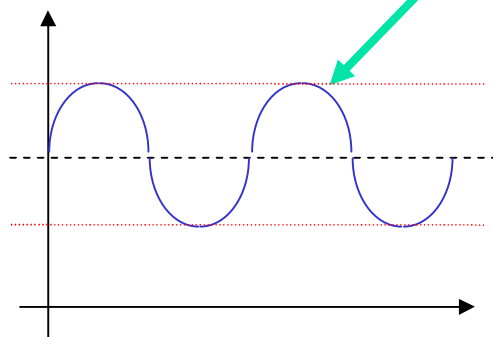
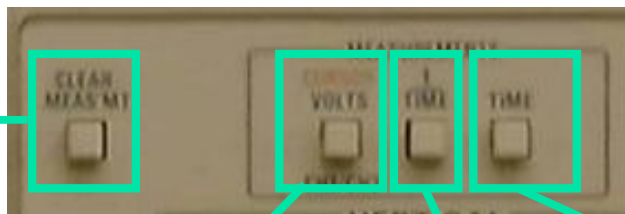


**Anche in questo caso il Segnale NON viene alterato!!!  
E' solo la visualizzazione che cambia!!!**

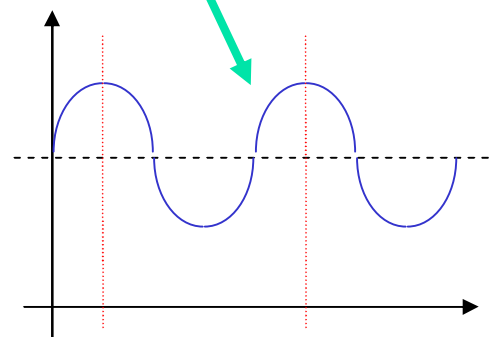
# Controlli per le Misure di Tempo e Tensione



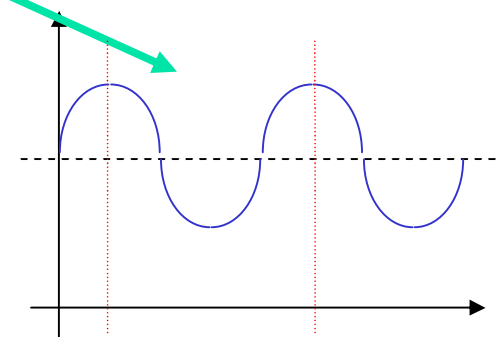
**Cancellazione  
Cursori**



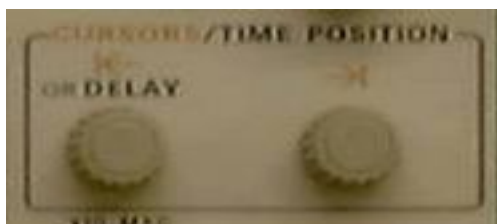
**0.5V**



**50Hz**

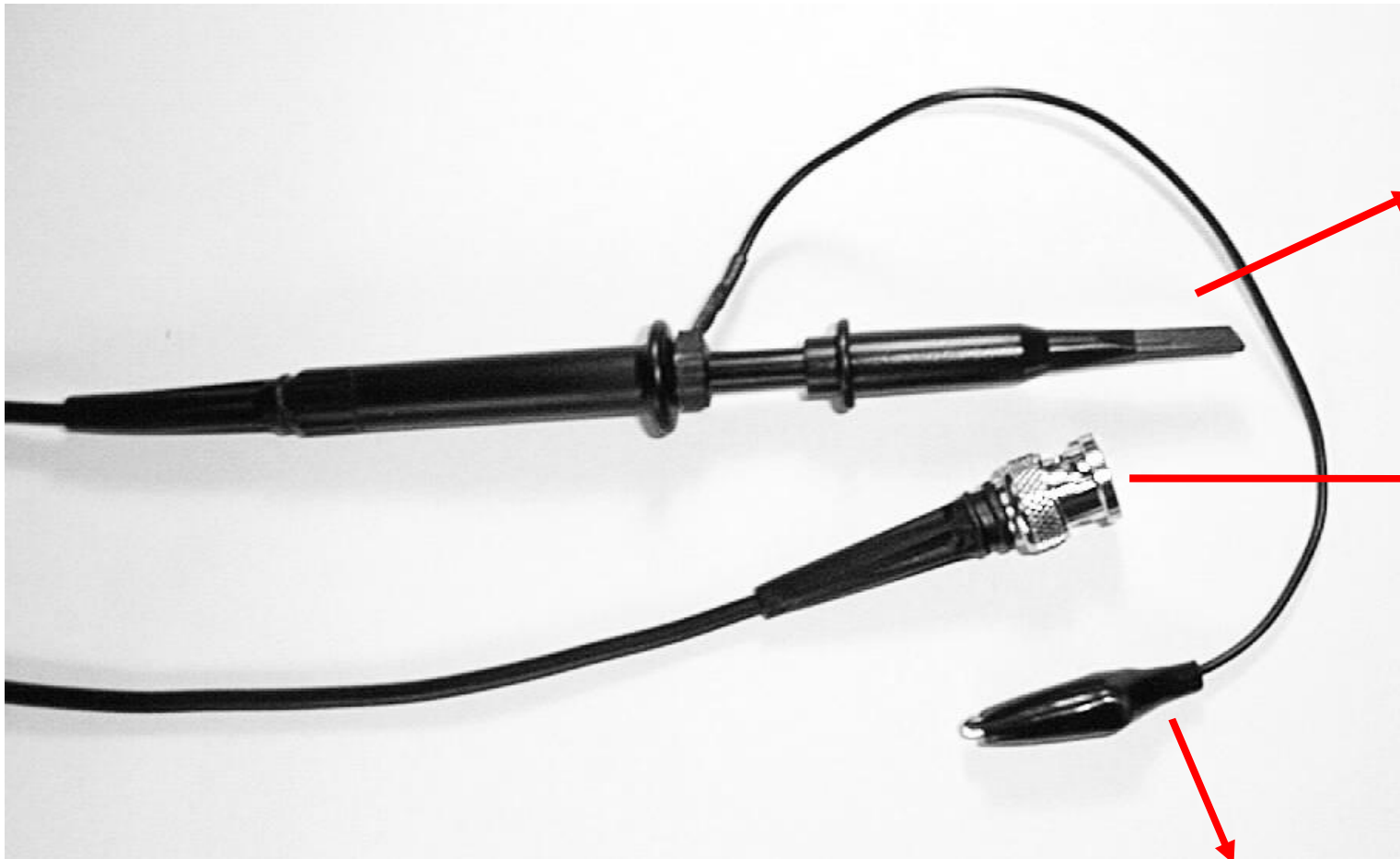


**20ms**



**Regolazione Posizione Cursori  
(Posizione Iniziale + Offset)**

# Sonda Oscilloscopio 10.1



**Punta Sonda**

**Connettore  
BNC**

**Coccodrillo di Massa**



# Elettronica I

## - Lab. Did. Elettronica Circuitale -

---

*Per ogni problema:*

✓ *Dispense del Laboratorio*

✓ *Tecnico del Laboratorio*

✓ *Docente / Tutor*

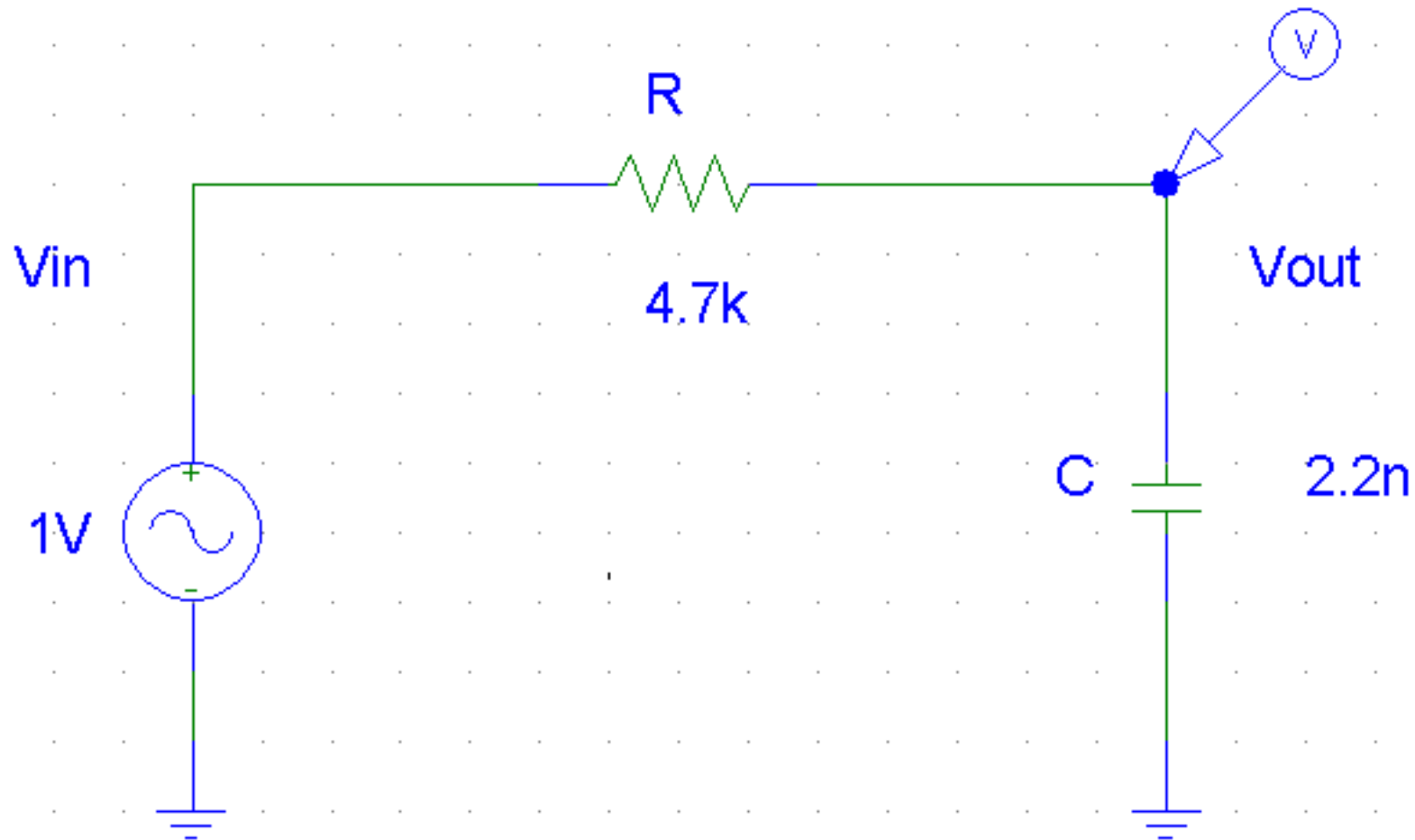
# Elettronica I

## - Prima Esercitazione -

---

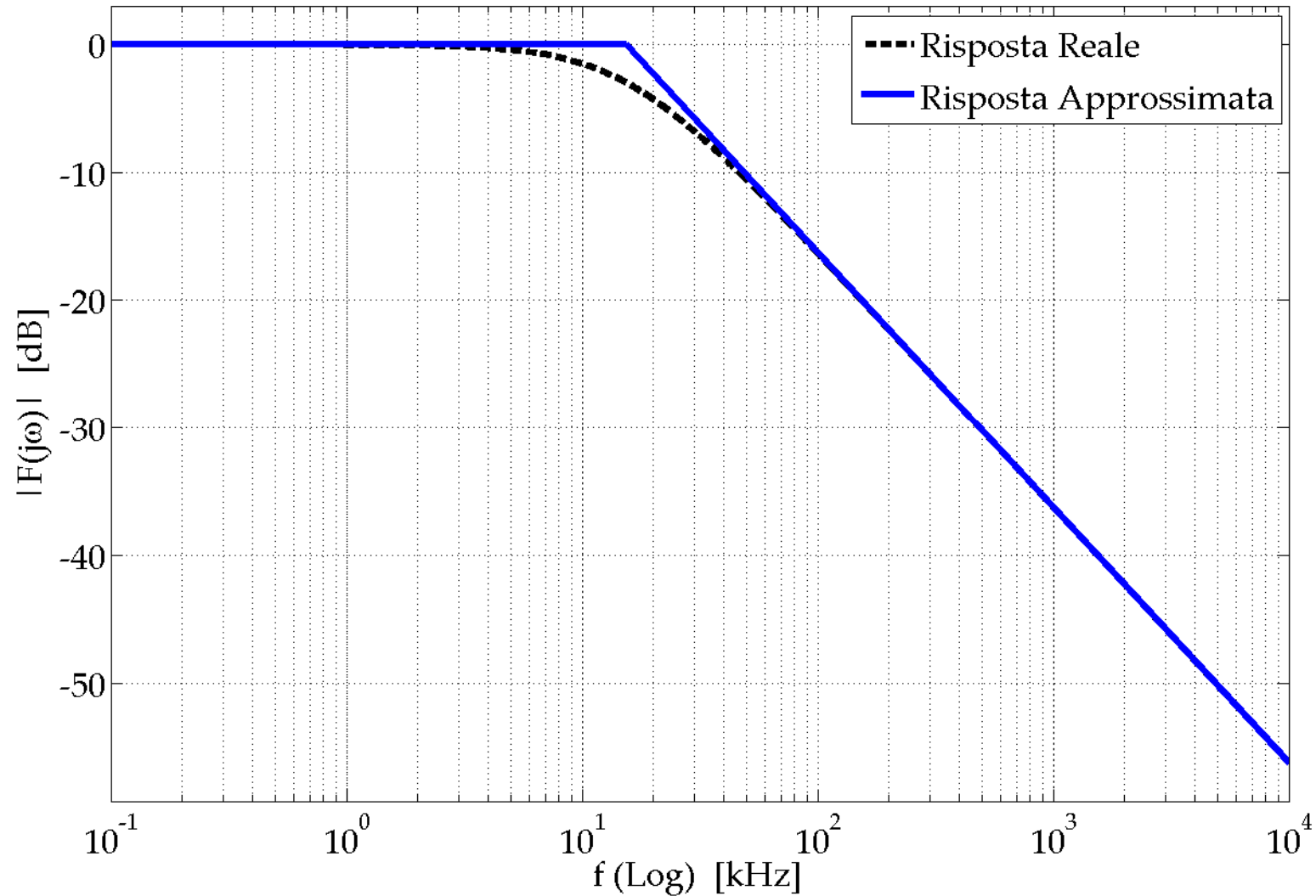
***RISPOSTA IN FREQUENZA DI  
CIRCUITI RC / CR  
PASSA BASSO / PASSA ALTO***

# RC Passa Basso Schema Circuitale



# RC Passa Basso

## Diagramma di Bode - Modulo



# Misura di Modulo e Fase di $F(j\omega)$ al variare di $\omega$

Funzione risposta in frequenza:  $F(j\omega) = V_{out}(j\omega)/V_{in}(j\omega)$

**Scopo:**

1. misurare  $|F(j\omega)|$  e  $\phi = \arg[F(j\omega)]$  al variare di  $\omega$
2. Tracciare i diagrammi di Bode di modulo e fase di  $F(j\omega)$  e determinare  $f_c$

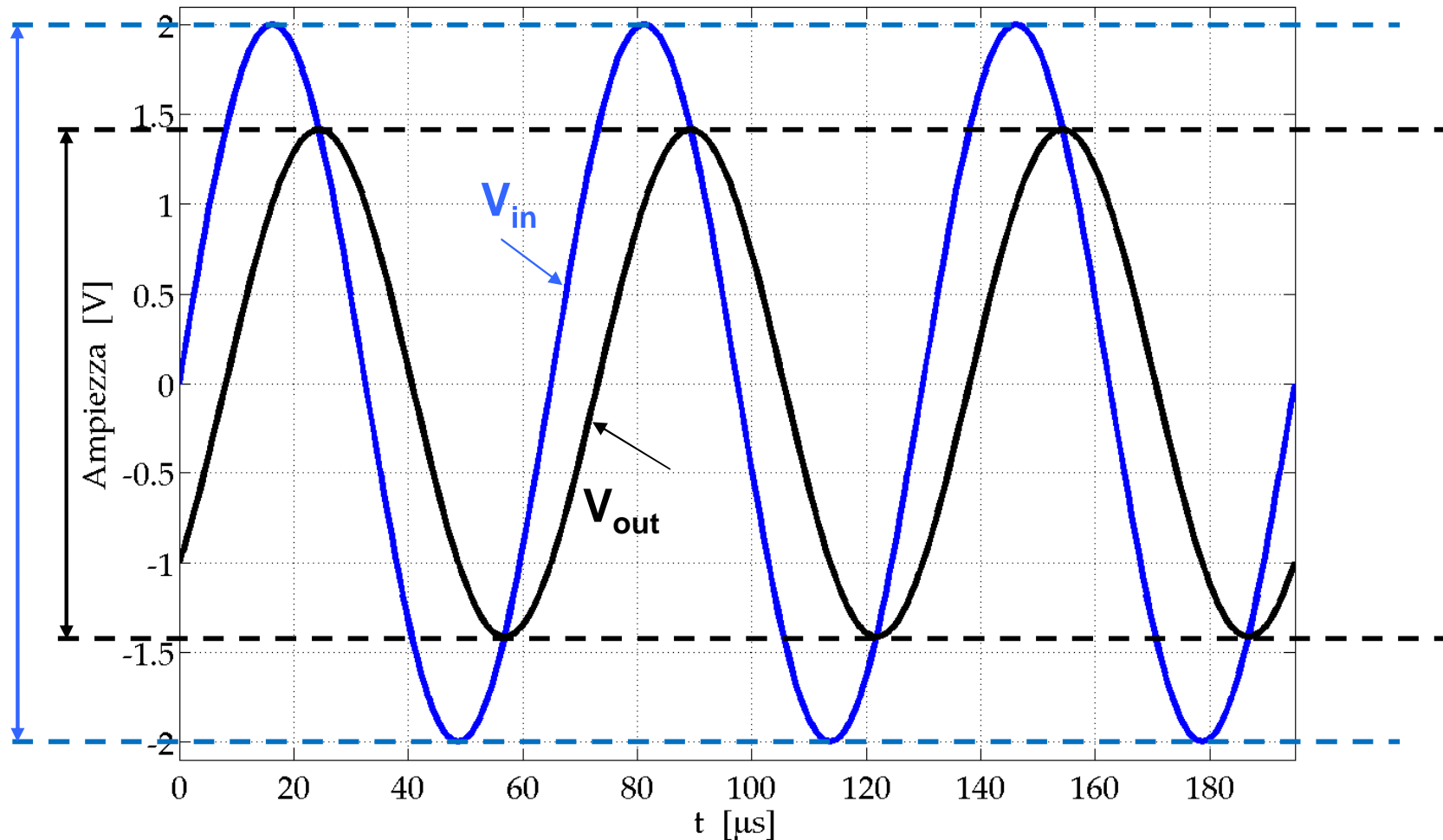
**Procedura:** creazione di una tabella di dati

Freq [Hz]	Vin [V]	Vout [V]	Vout/Vin	$ Vout/Vin _{dB}$	$\Delta t$ [s]	$\phi$ [°]
100						
200						
500						
1k						
2k						
5k						
...						
1M						



# Misura di Ampiezza: $|F(j\omega)|$

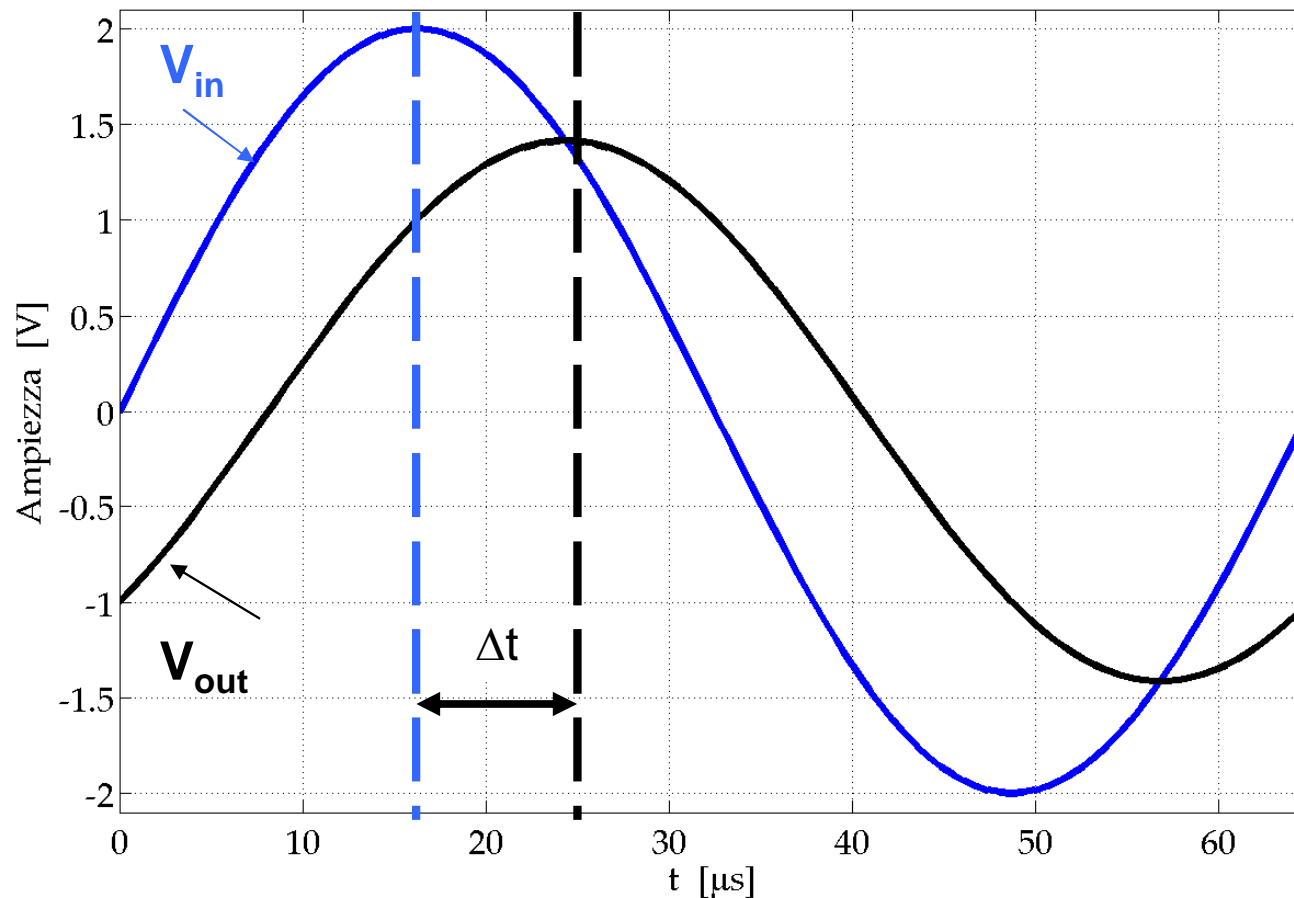
Misura delle ampiezze di  $V_{in}$  e  $V_{out}$  tramite i cursori orizzontali



# Misura di Fase: $\phi = \arg[F(j\omega)]$

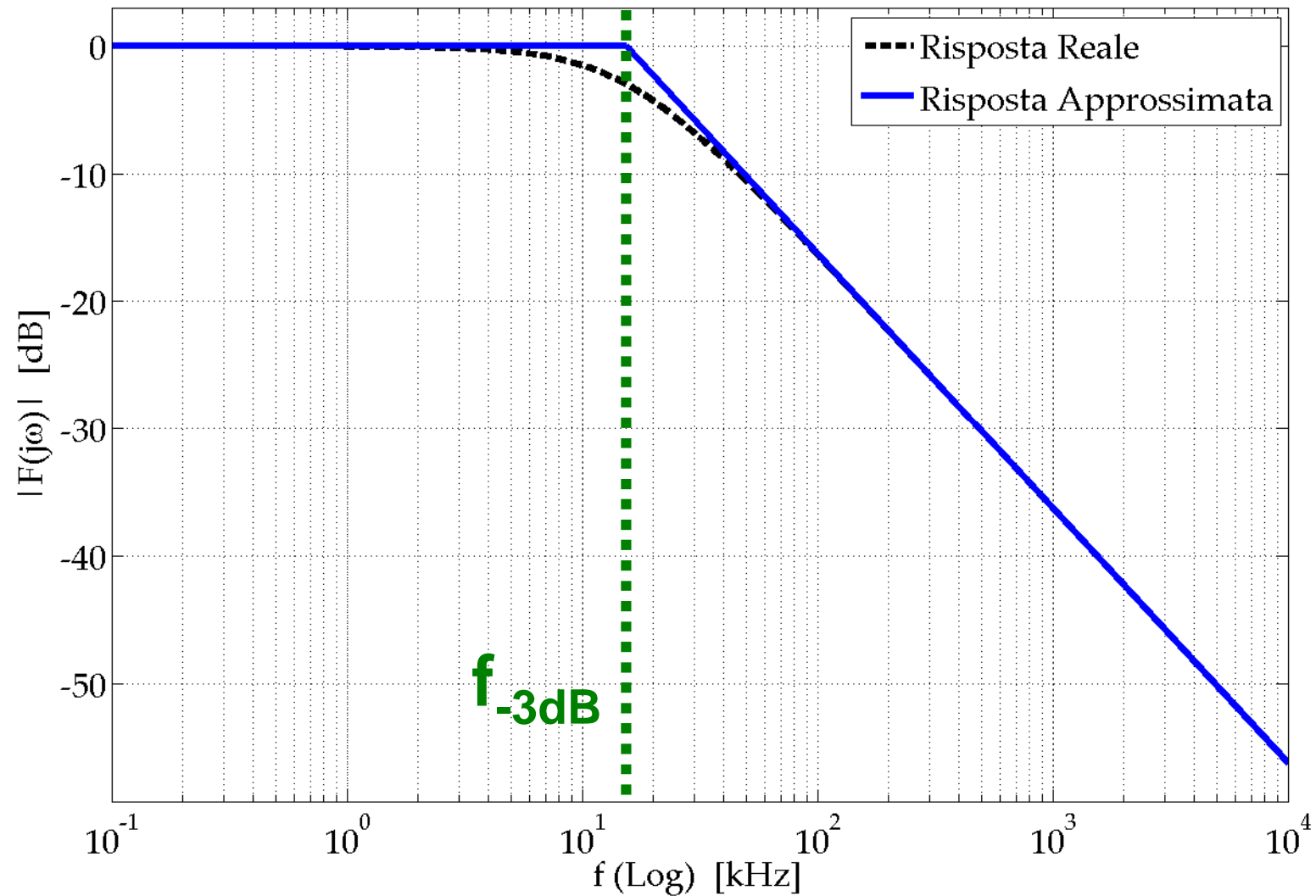
Misura del “ritardo”  $\Delta t$  di  $V_{out}$  rispetto a  $V_{in}$  tramite i cursori verticali

$$\Delta t : T = \phi : 360 \Rightarrow \phi = -360^\circ \cdot \Delta t / T = -360^\circ \cdot \Delta t \cdot f$$



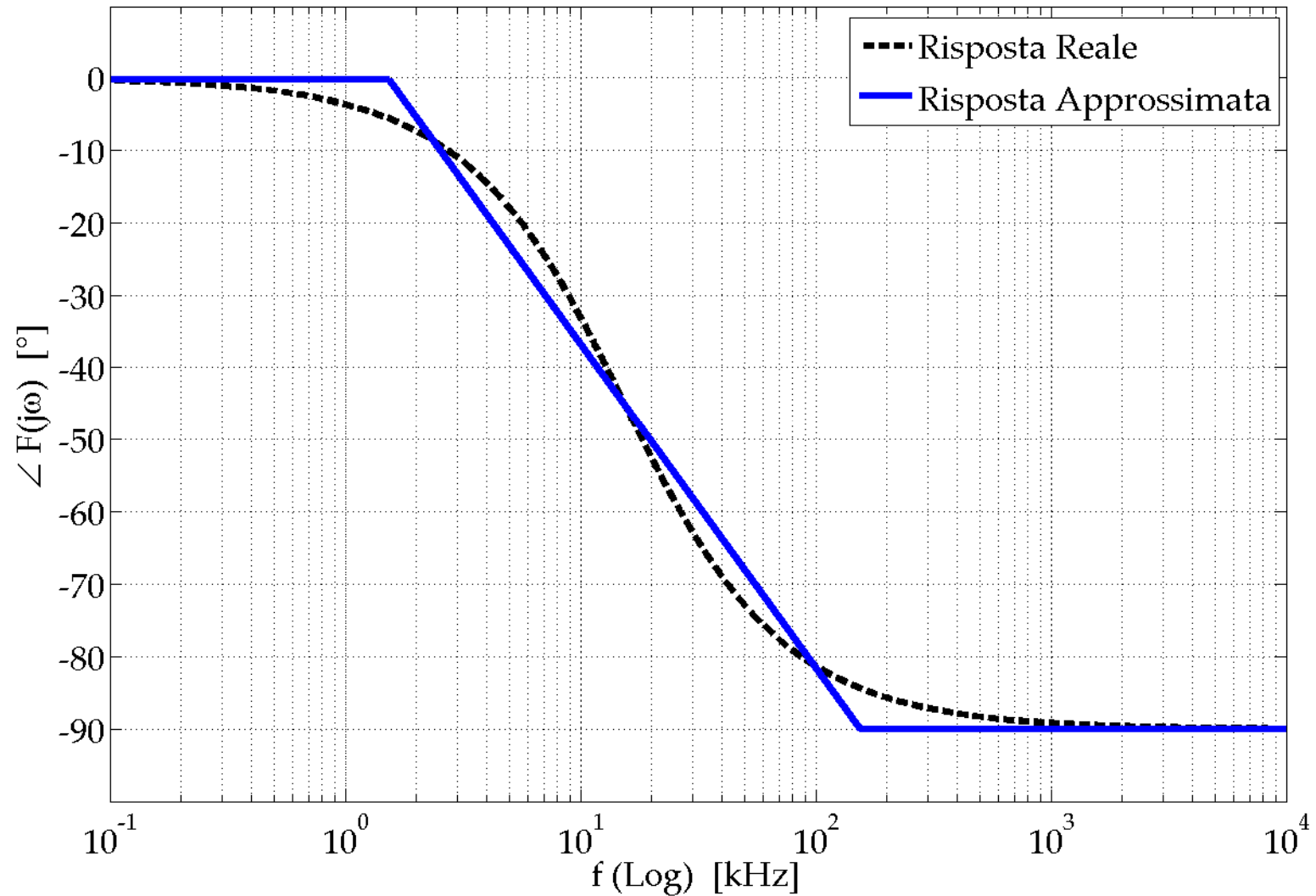
# RC Passa Basso

## Diagramma di Bode - Modulo



# RC Passa Basso

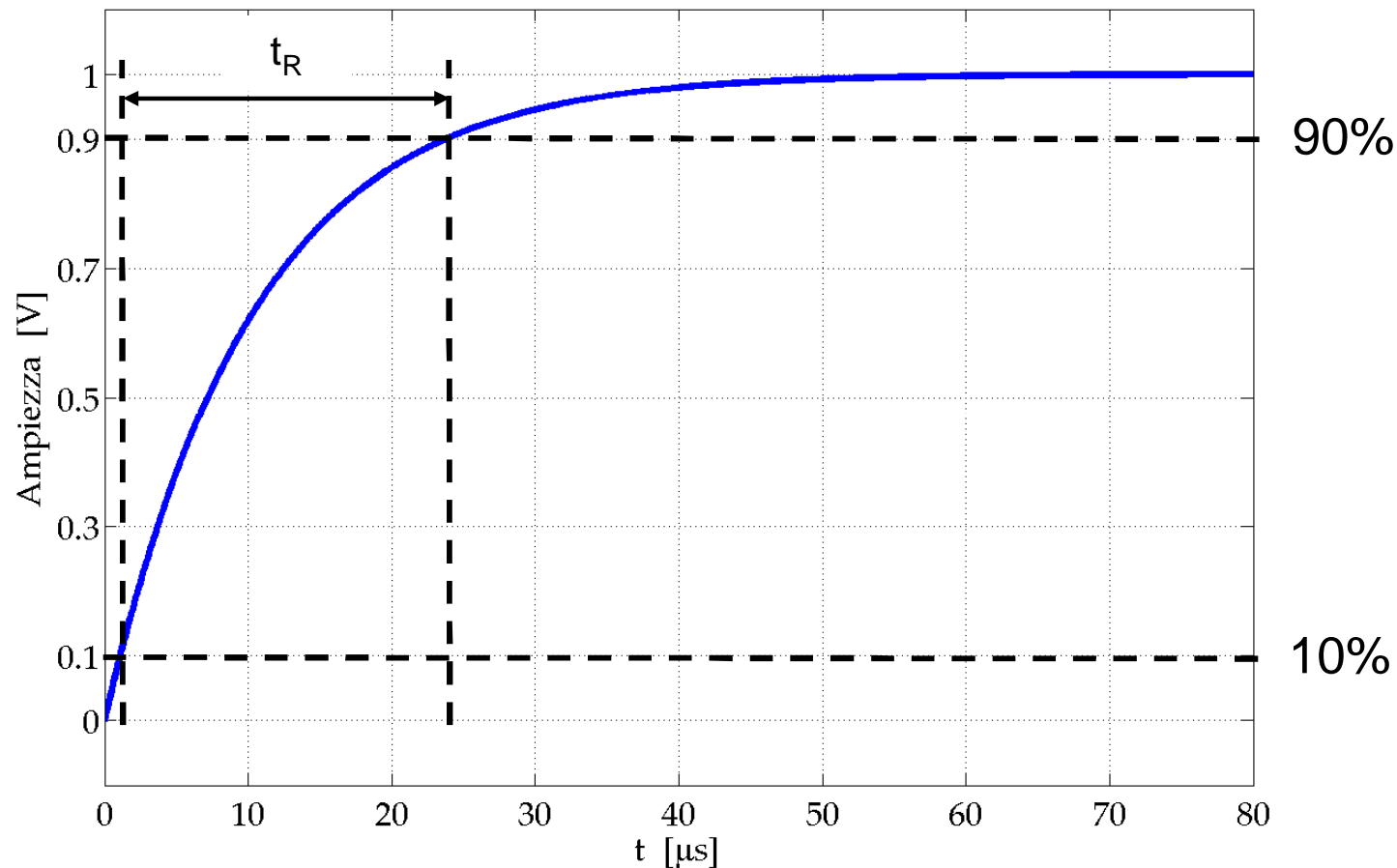
## Diagramma di Bode - Fase



# RC Passa Basso

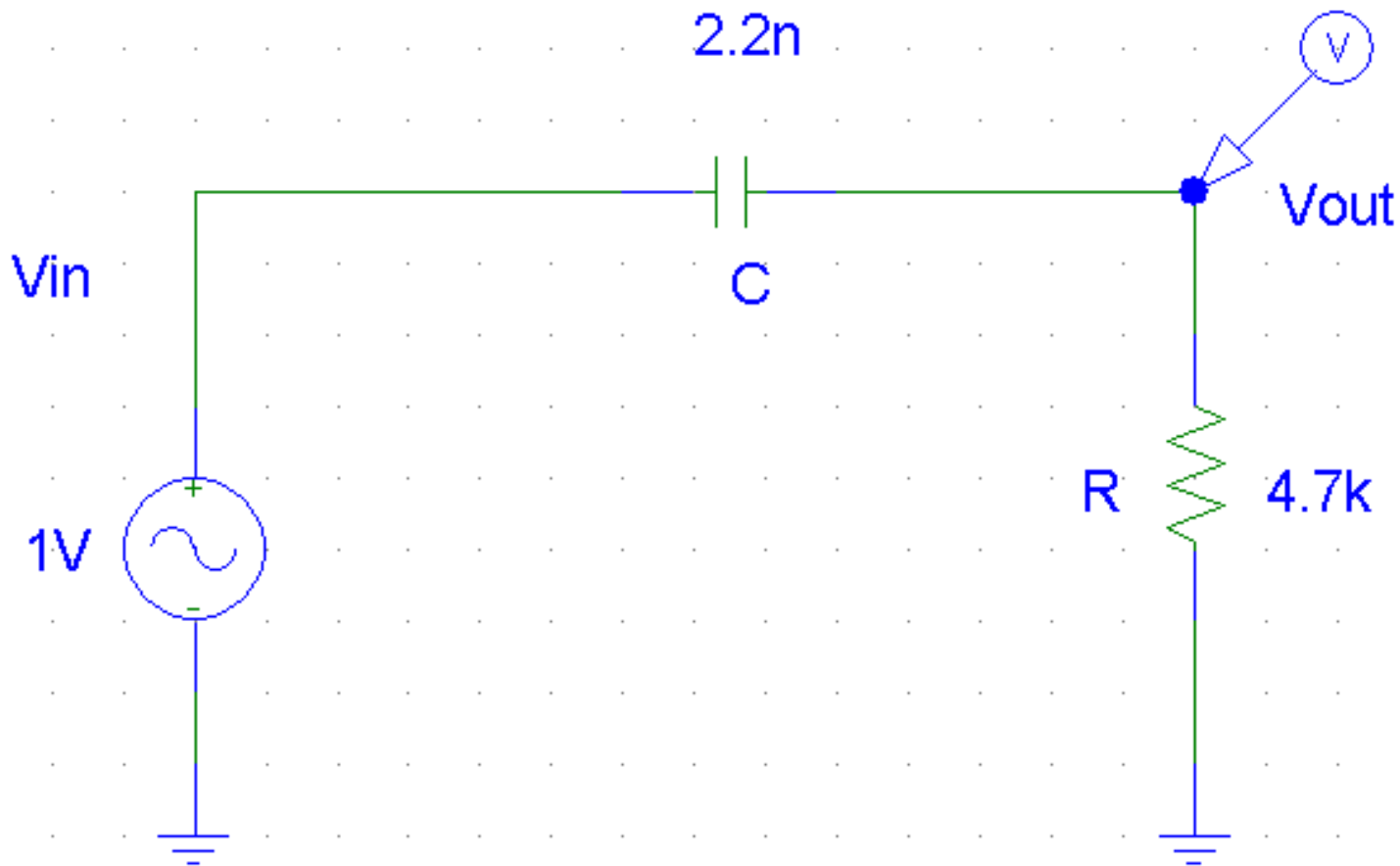
## Risposta al gradino di Tensione

$t_R$ : Rise Time (Tempo di Salita)  $\rightarrow f_c = 0.35 / t_R$



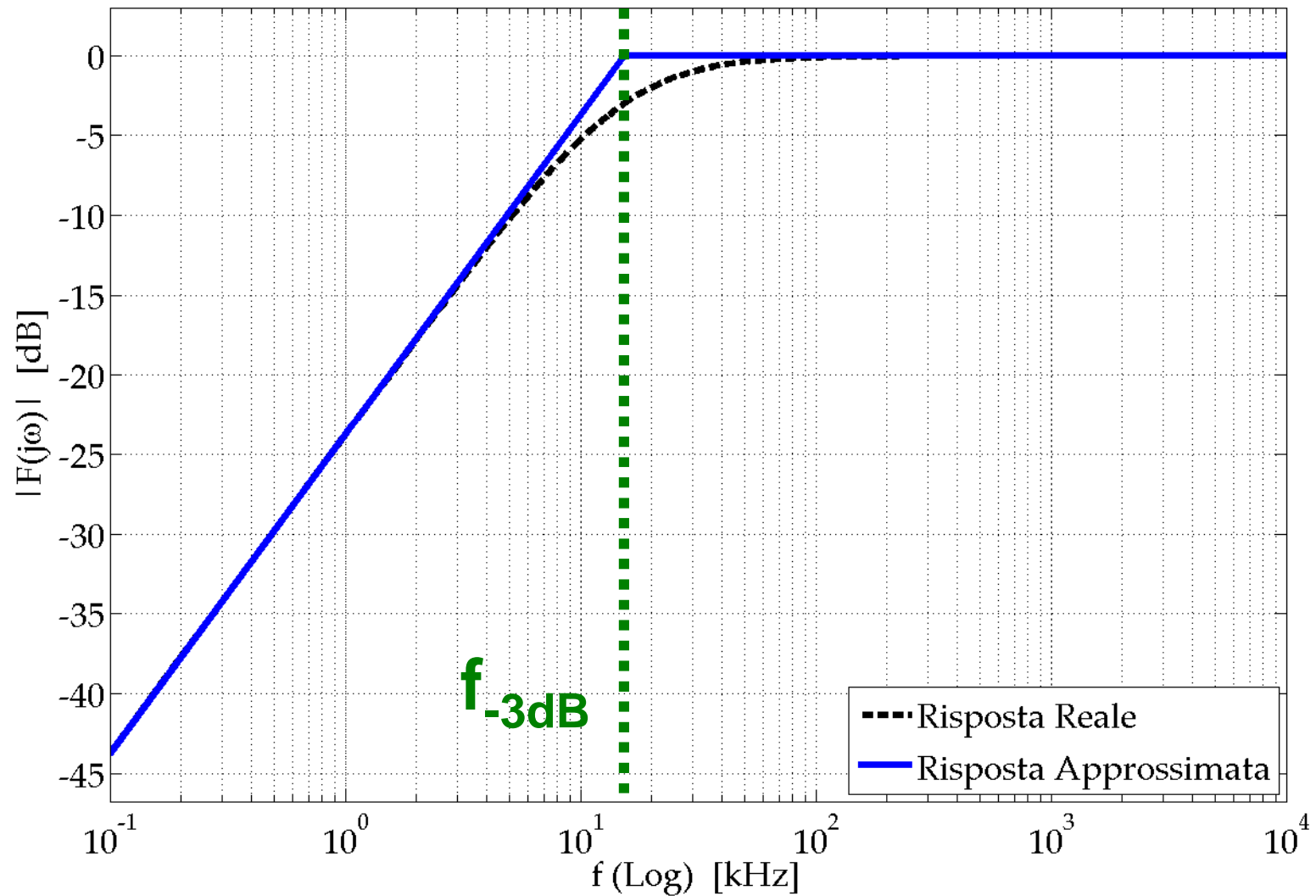


# CR Passa Alto Schema Circuitale



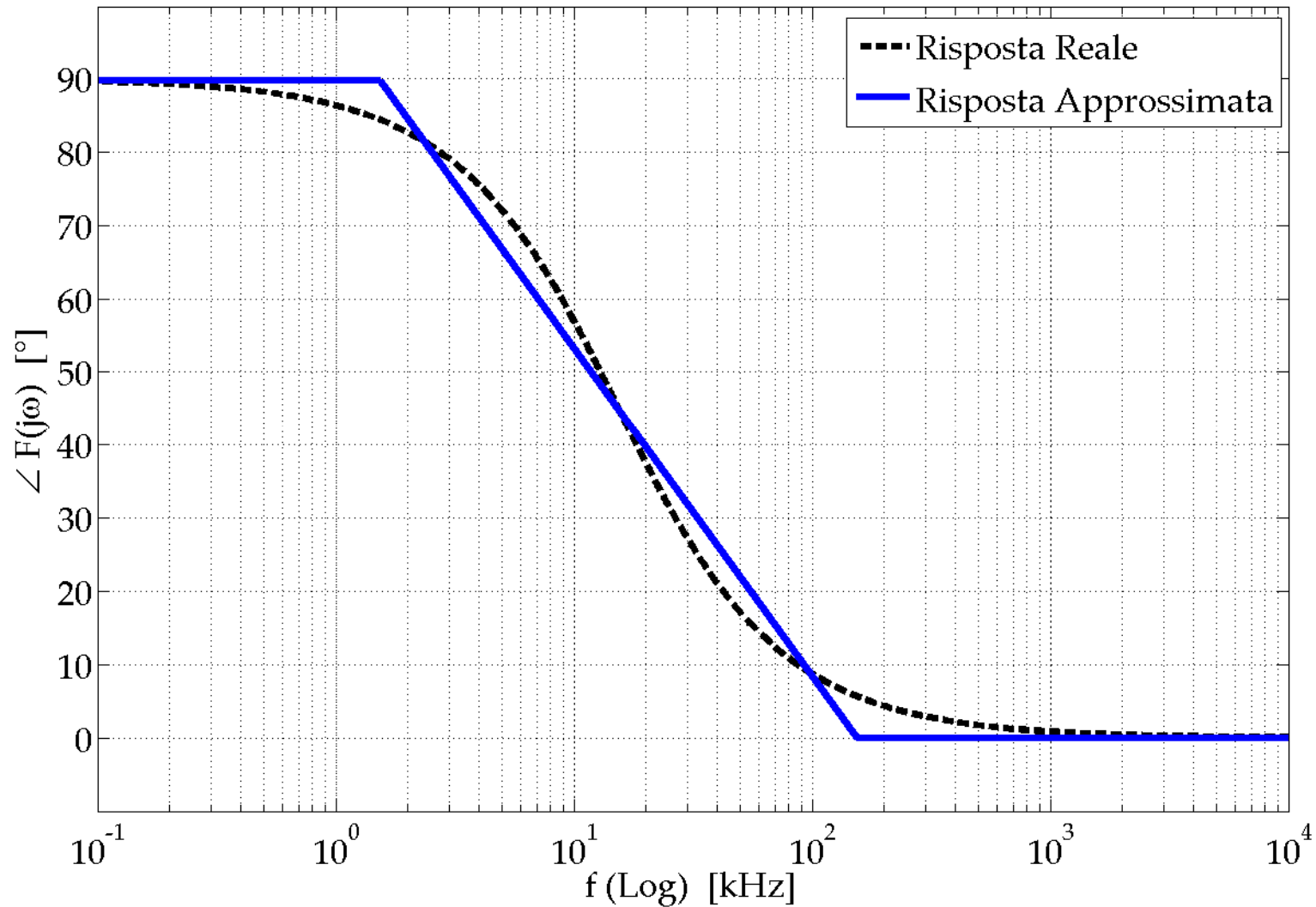
# CR Passa Alto

## Diagramma di Bode - Modulo



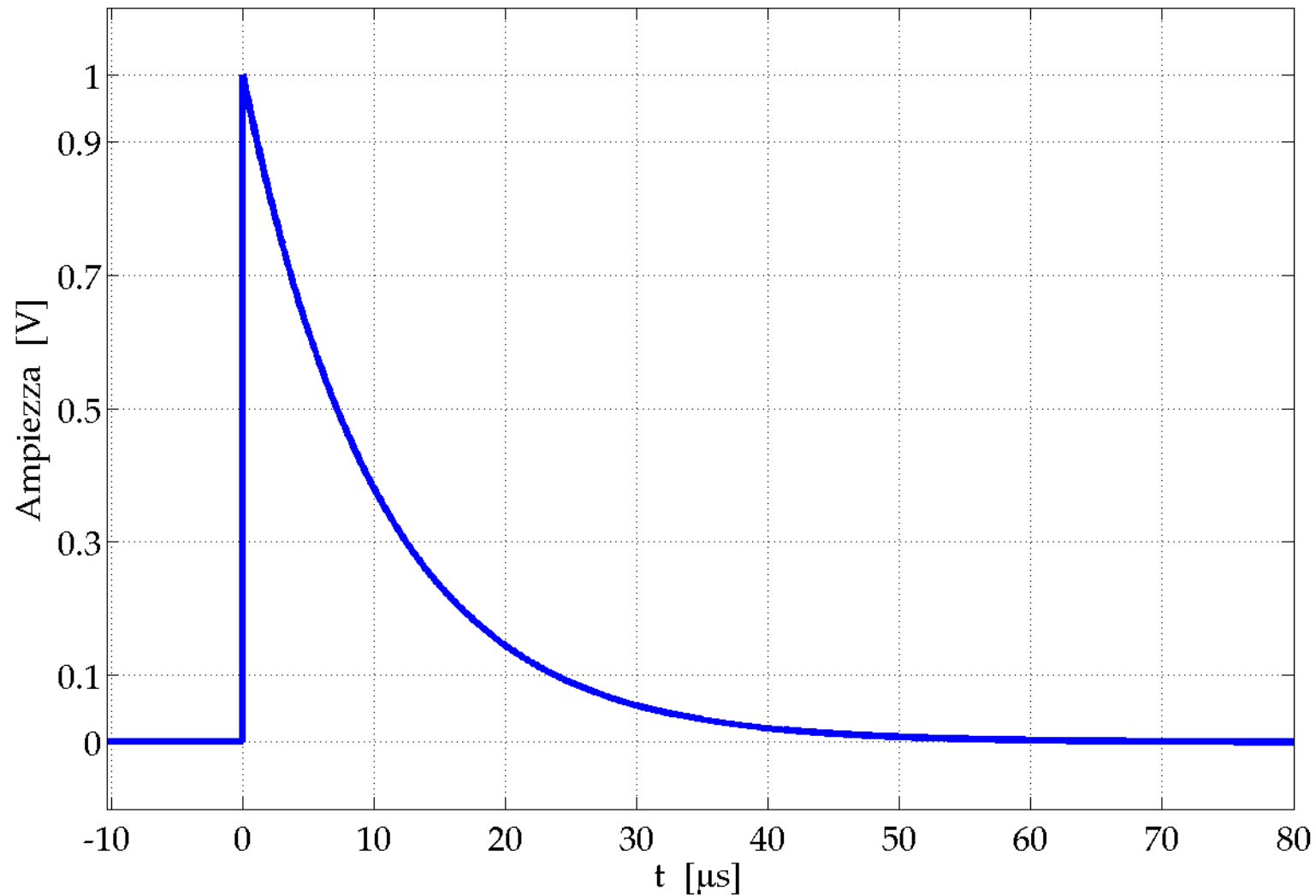
# CR Passa Alto

## Diagramma di Bode - Fase



# CR Passa Alto

## Risposta al gradino di Tensione



# **Elettronica I**

## **- Seconda Esercitazione -**

---

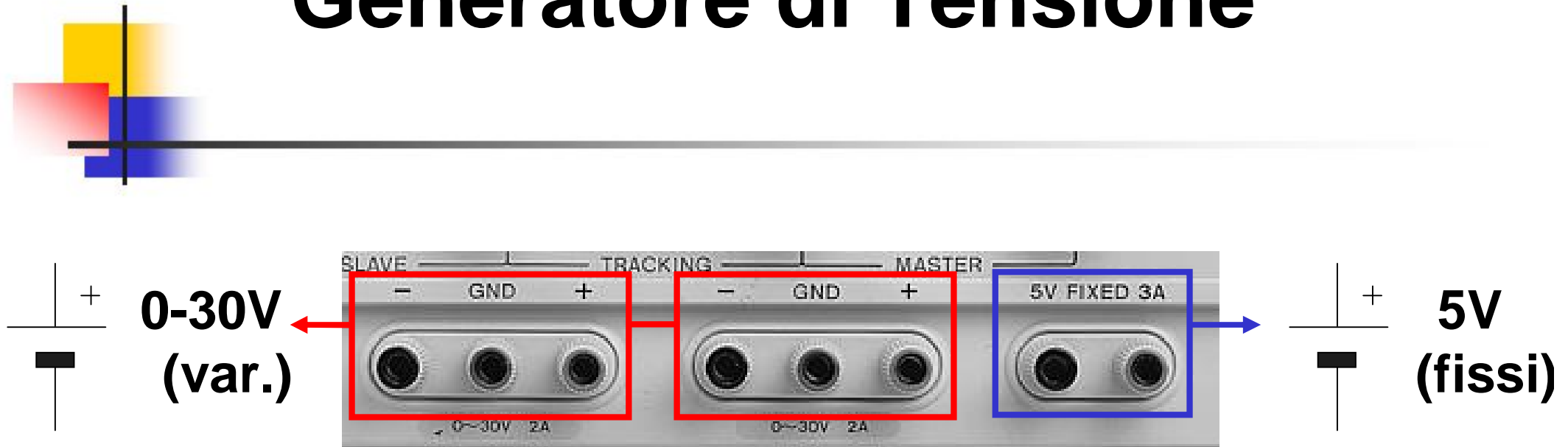
### ***RISPOSTA IN FREQUENZA DI CIRCUITI CON AMPLIFICATORI OPERAZIONALI***



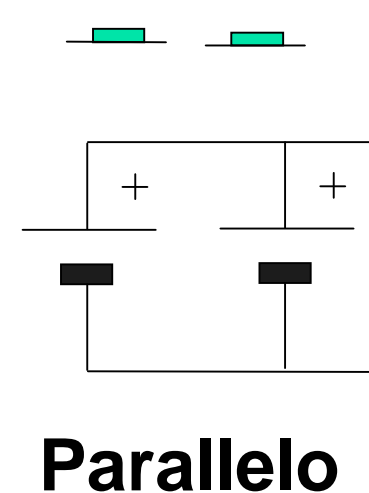
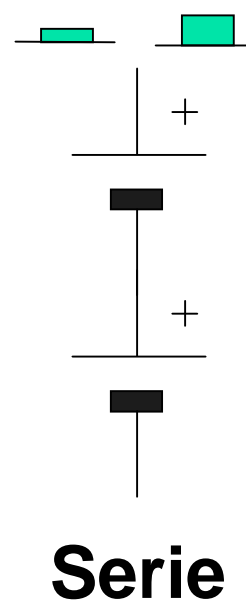
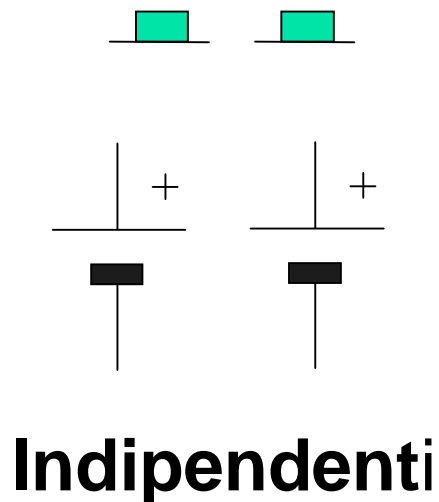
# Alimentatore Tektronix PS283



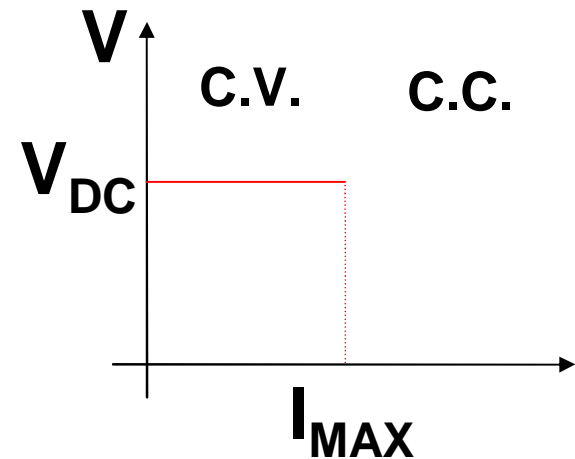
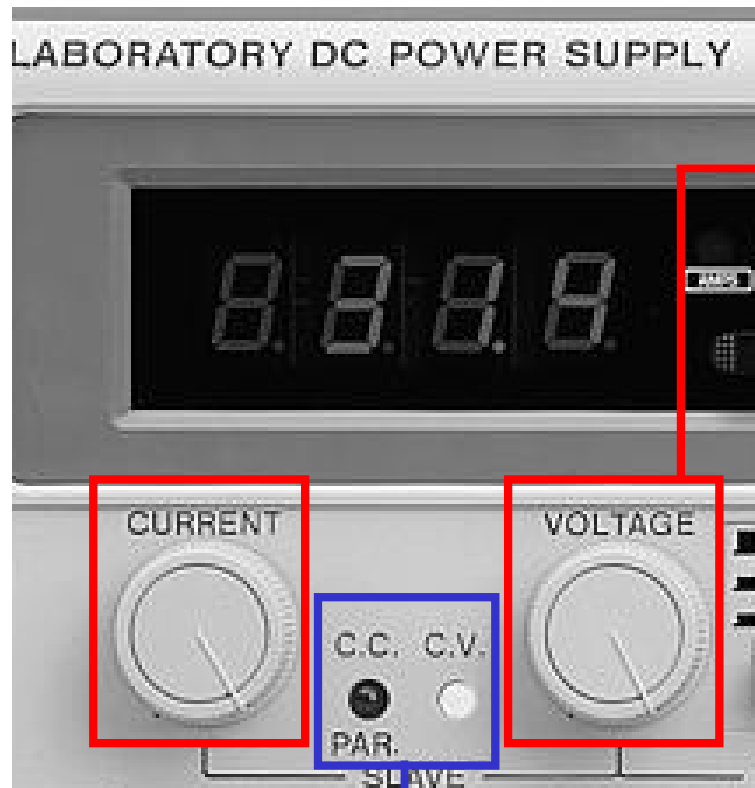
# Generatore di Tensione



Premere i tasti **SOLO** a strumento spento!!!



# Regolazione Tensione e Limite di Corrente



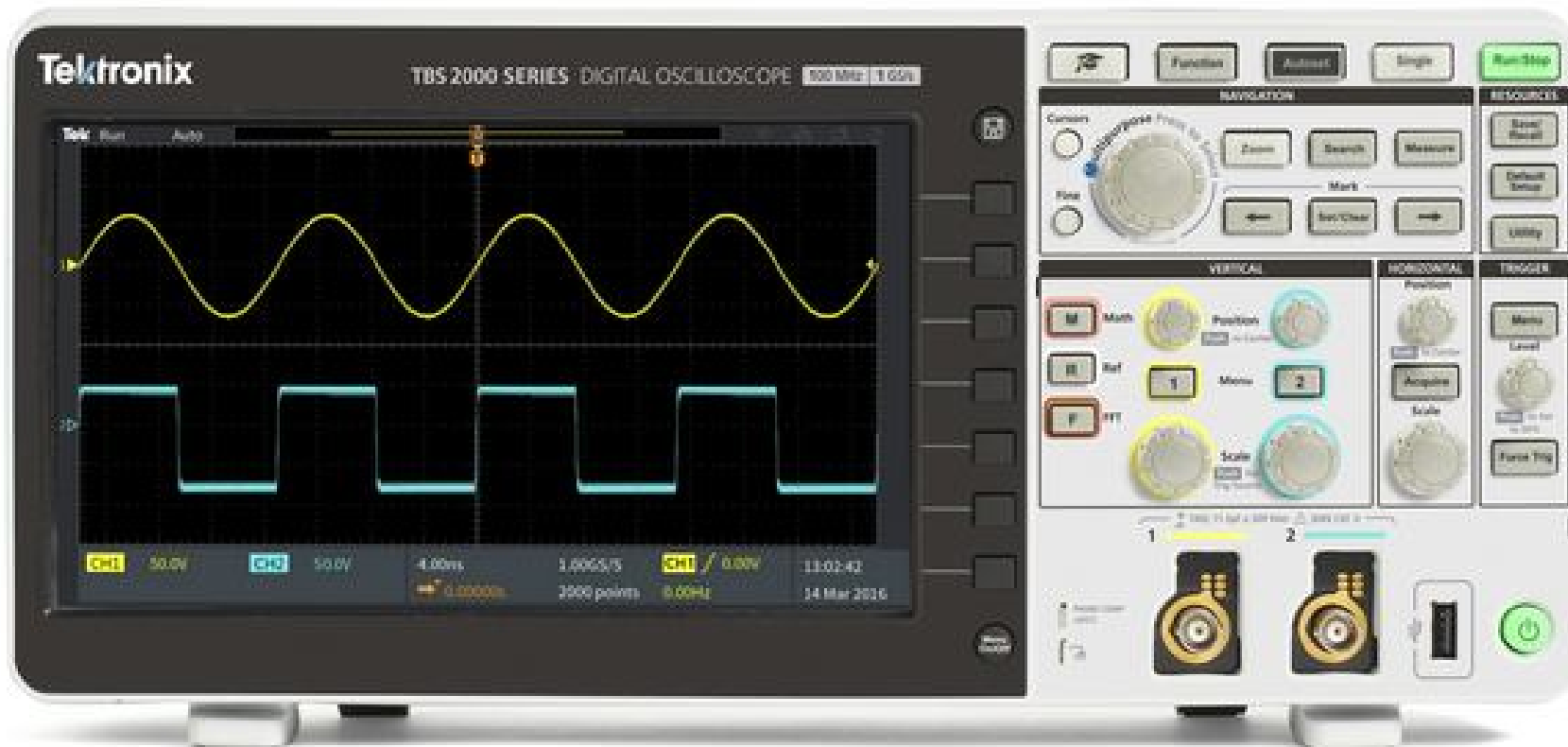
$I_{MAX}$  : Limite di corrente (2A)

**Spie che indicano i due regimi  
(Attenzione a C.C.!!!)**



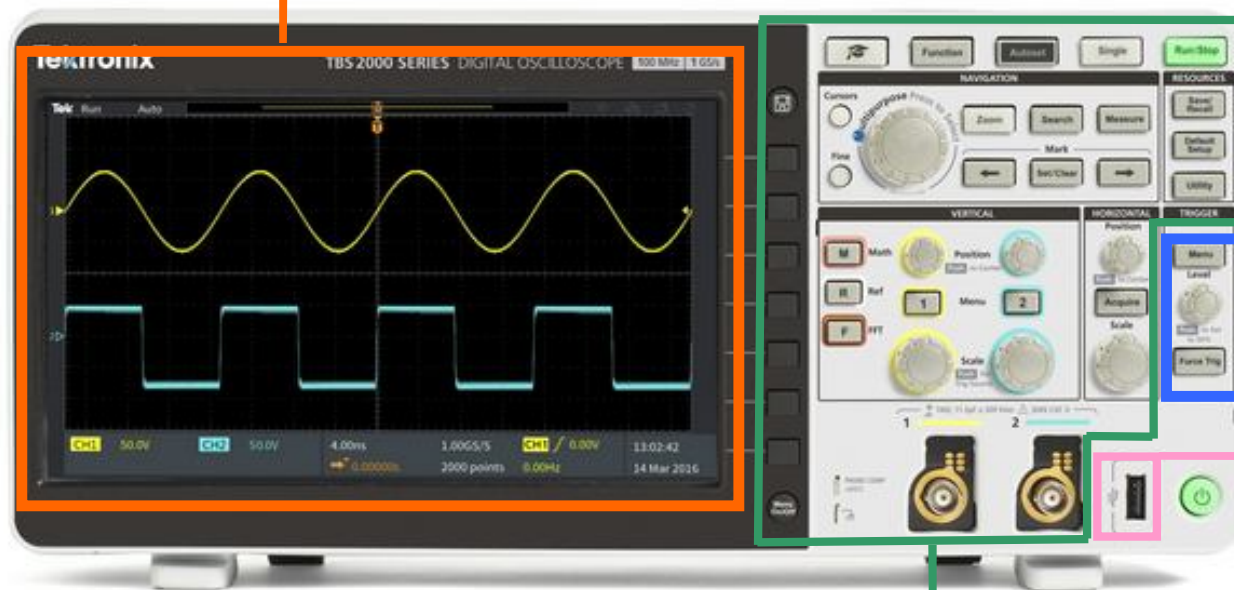
**Spia C.C.  
per il generatore  
5V 3A**

# Oscilloscopio Digitale Tektronix TBS2102



# Pannello Frontale

Schermo

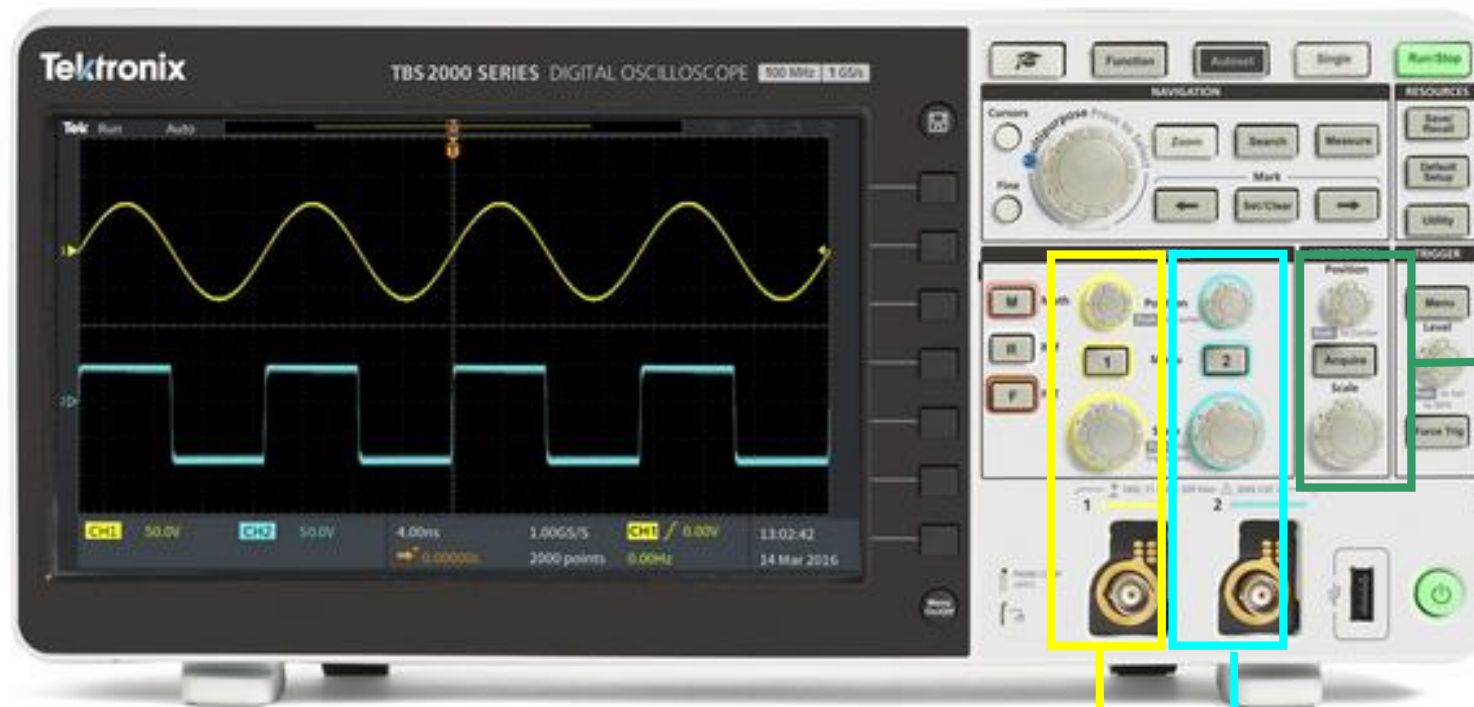


Controllo "Trigger"

USB

Canali e  
Controlli

# Canali di Ingresso

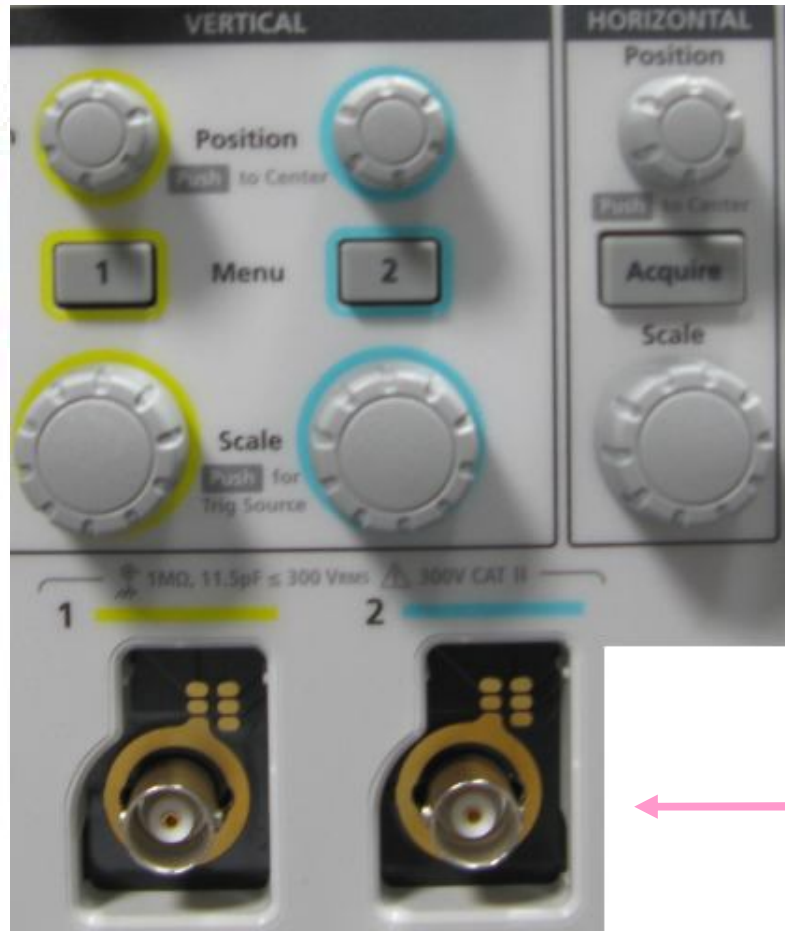


**Scala  
orizzontale**

**Canale 1**    **Canale 2**  
traccia gialla    traccia azzurra

**Scale verticali**

# Canali di Ingresso



← **Visualizzazione e posizione delle tracce**

← **Visualizzazione canali**

**Controllo delle Scale di**

← **Visualizzazione**

← **Ingressi BNC**

**CH1**

**CH2**

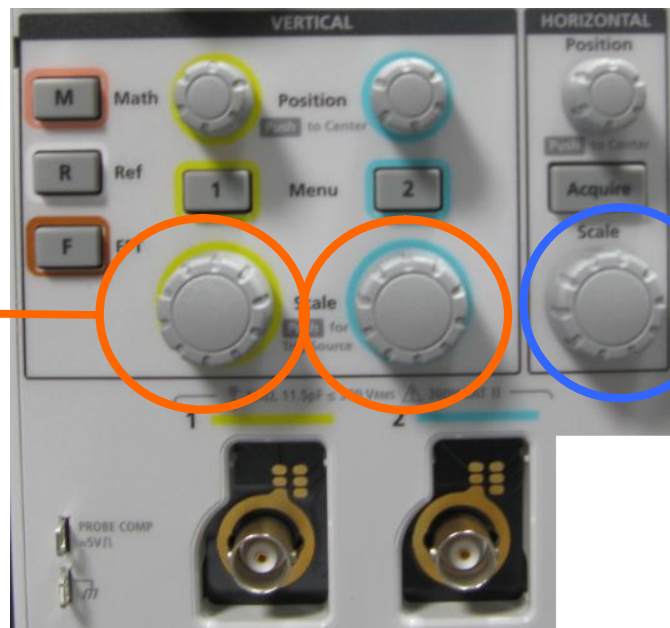
traccia gialla   traccia azzurra



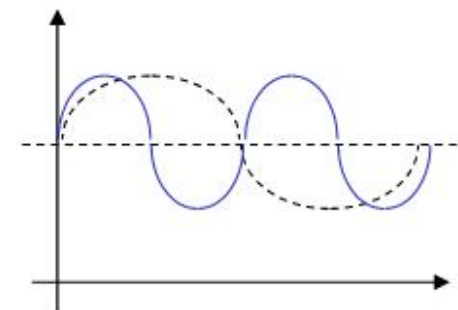
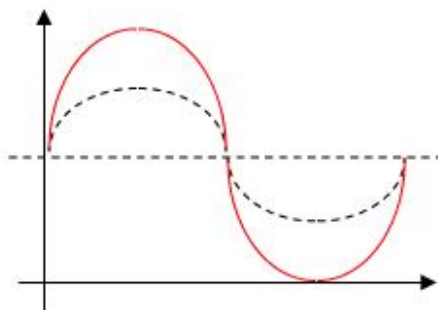
# Controllo della Scala di Visualizzazione



Scala Verticale  
Volt/div  
(Una per canale)



Scala Orizzon.  
(Comune)

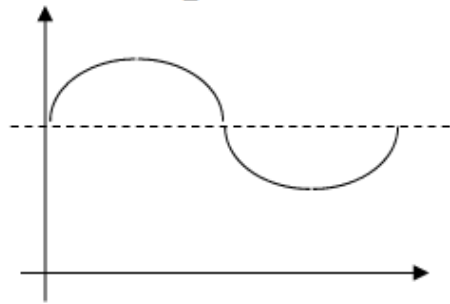


Anche in questo caso il segnale **NON** viene alterato!!!  
E' solo la visualizzazione che cambia!!!

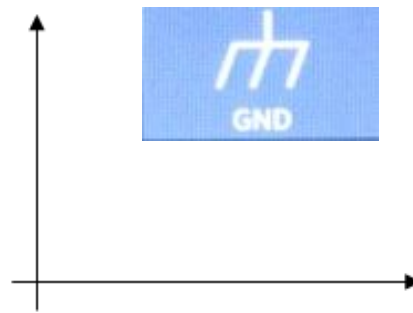
# Accoppiamento in ingresso Coupling:

( Configurare CH1  e CH2  )

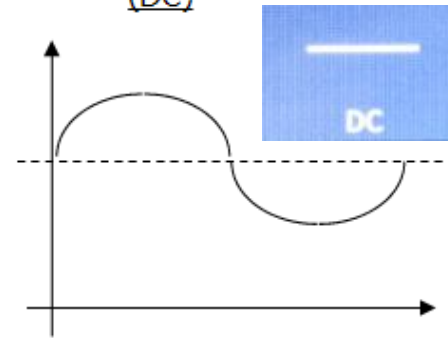
Segnale d'ingresso



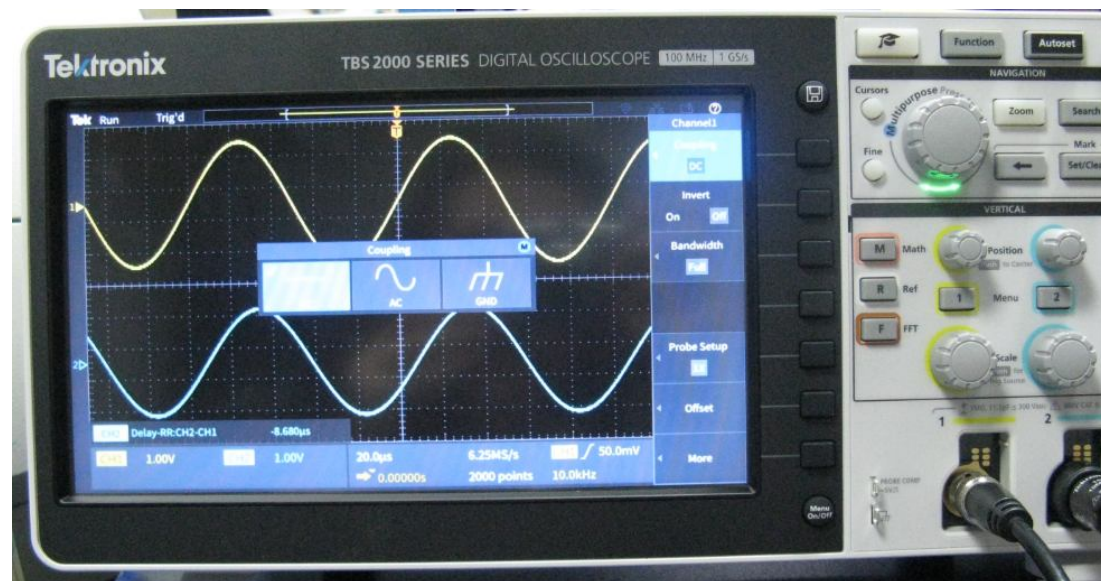
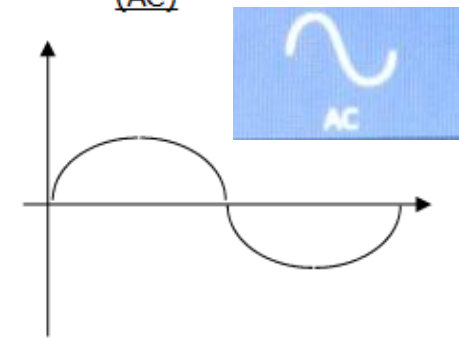
Riferimento di massa  
(o linea a 0 V)




Direct Coupling  
(DC)

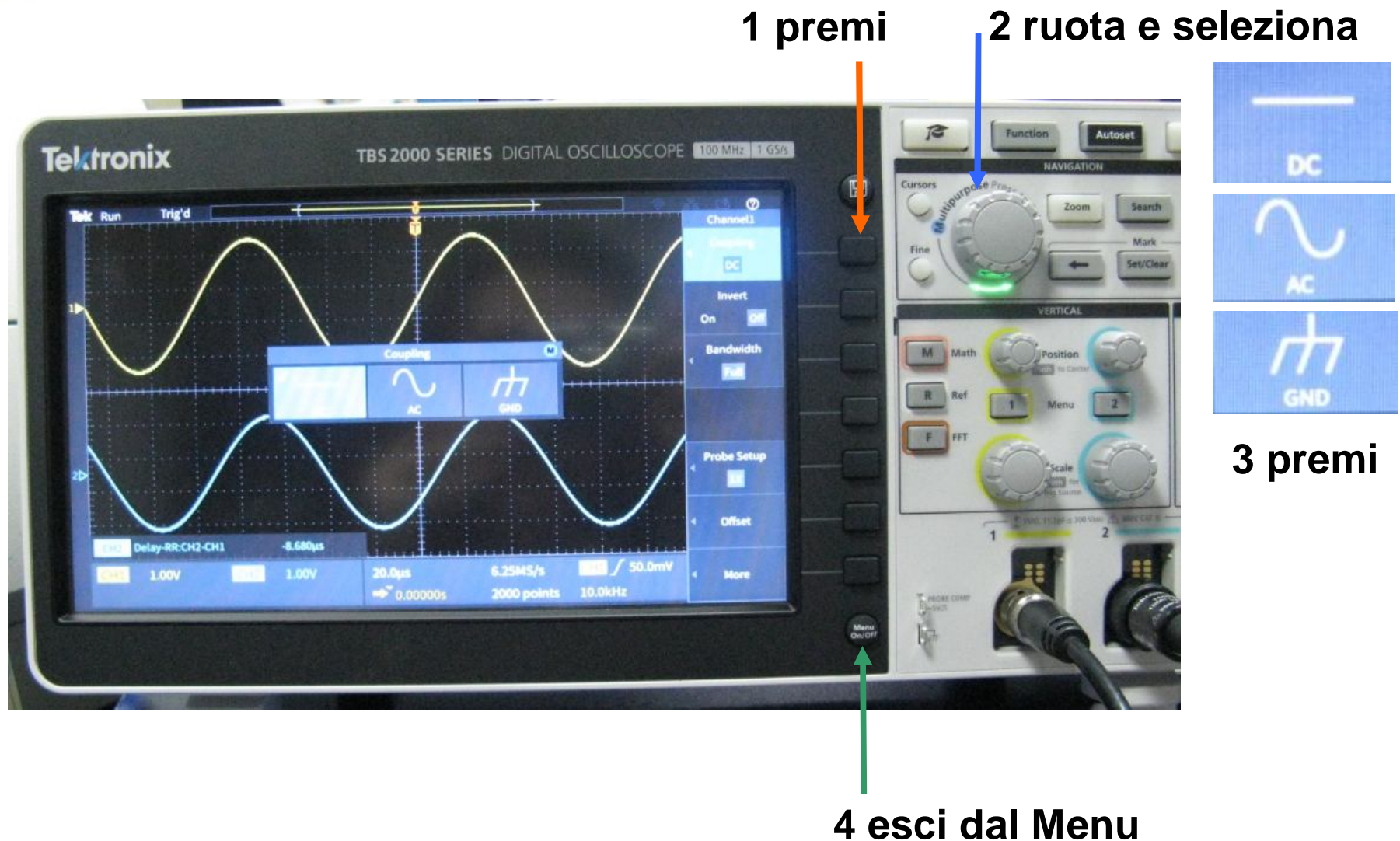


Alternate Coupling  
(AC)



# Accoppiamento in ingresso Coupling:

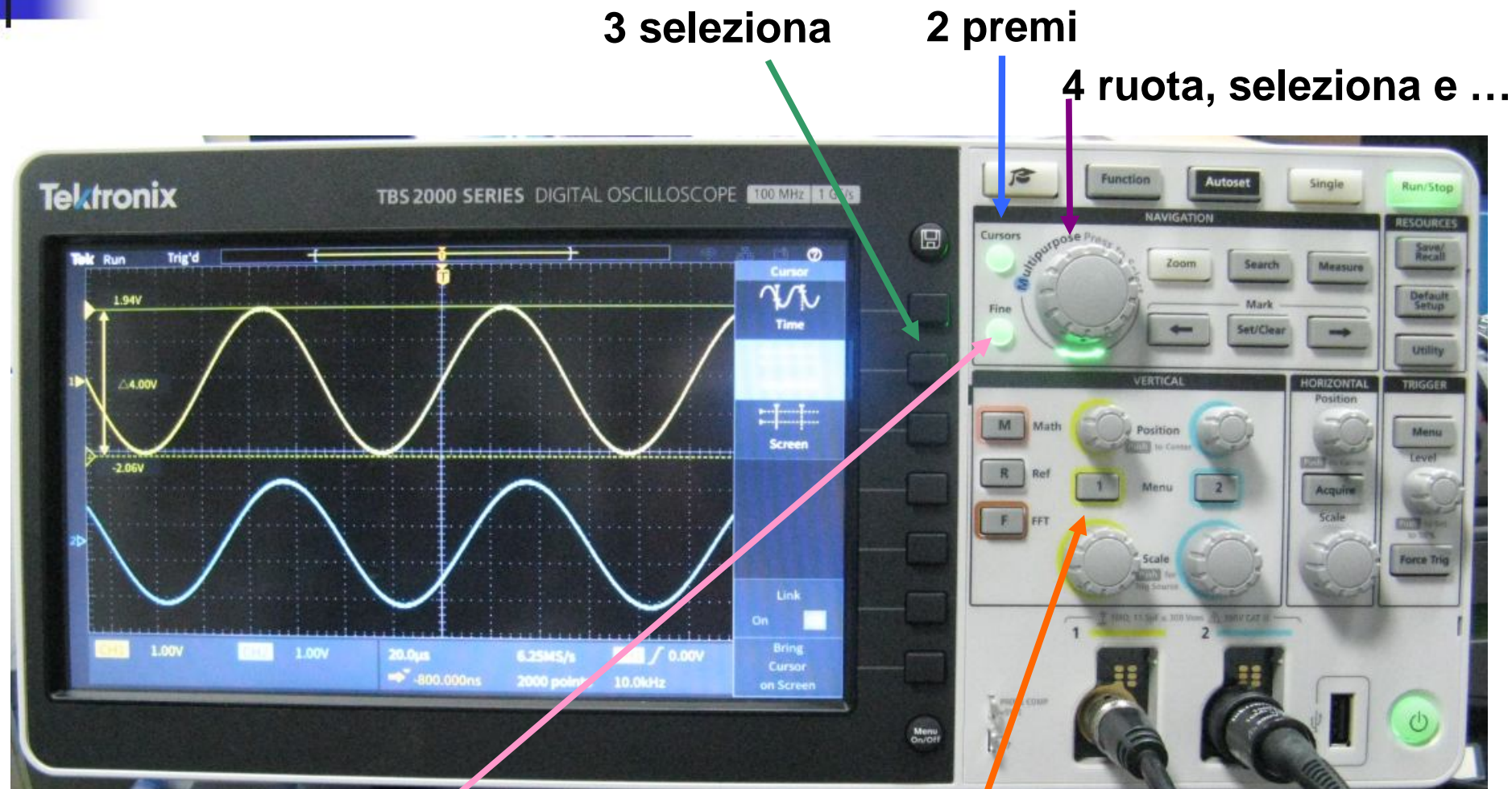
( Configurare CH1 premi  ... e poi CH2 premi  )





# Misura di tensione picco-picco

( Misurare CH1  ... e poi CH2  )



3 seleziona

2 premi

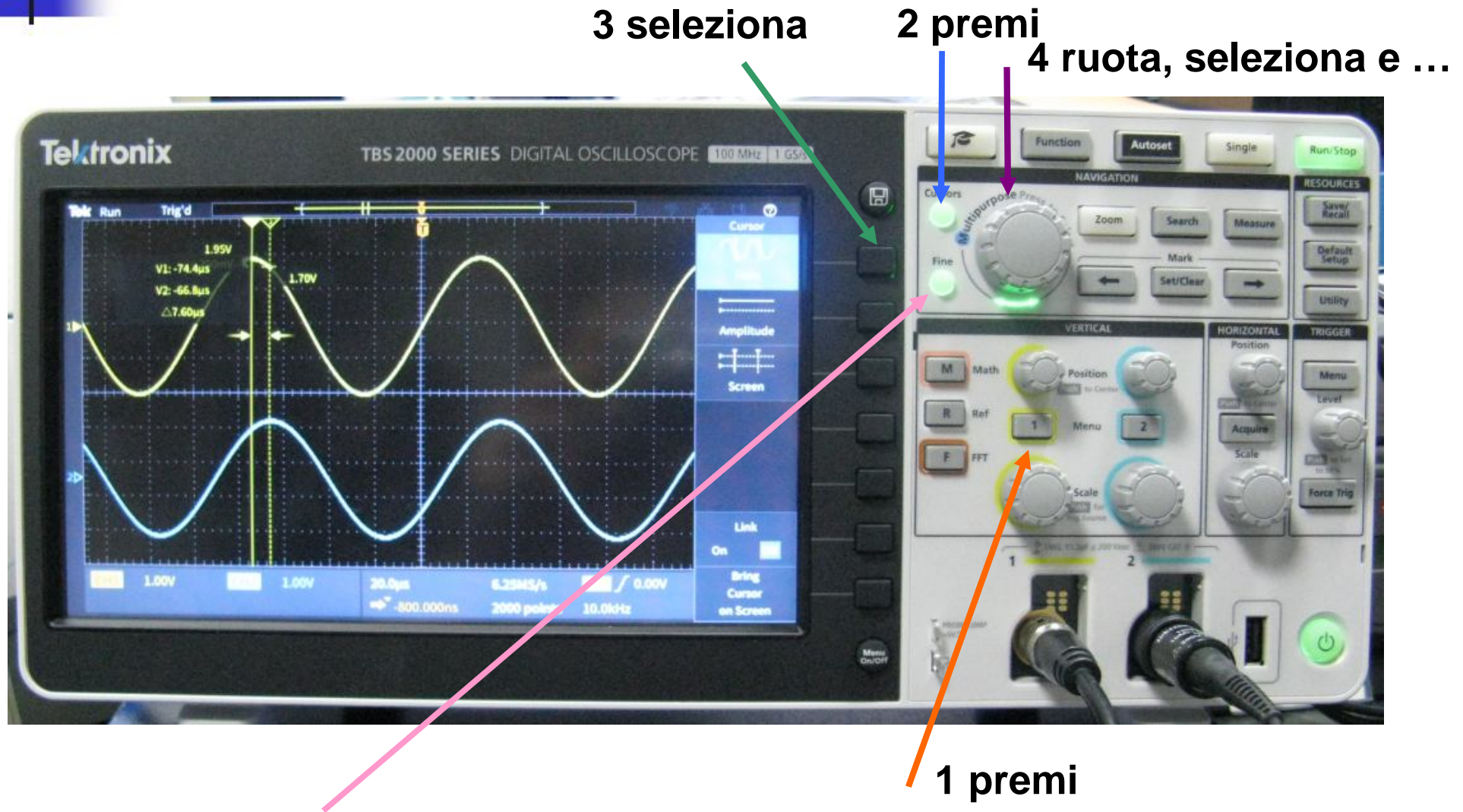
4 ruota, seleziona e ...

1 premi

5 regolazione Fine movimento barra 1 e premi per passare alla barra 2

# Misura del $\Delta t$

( Misurare CH2 – CH1 )



5 regolazione Fine movimento barra 1 e premi per passare alla barra 2



# Sonda Oscilloscopio 10.1



**Cocodrillo di  
Massa**

**Punta Sonda**

**Connettore  
BNC**

# CONTROLLARE eventuale ATTENUAZIONE

INPUT = Cavo BNC = CH1 = 1X

OUTPUT = Sonda Oscilloscopio = CH2 = 10X

3 ruota e seleziona 1X      4 premi



2 premi      5 premi      1 premi

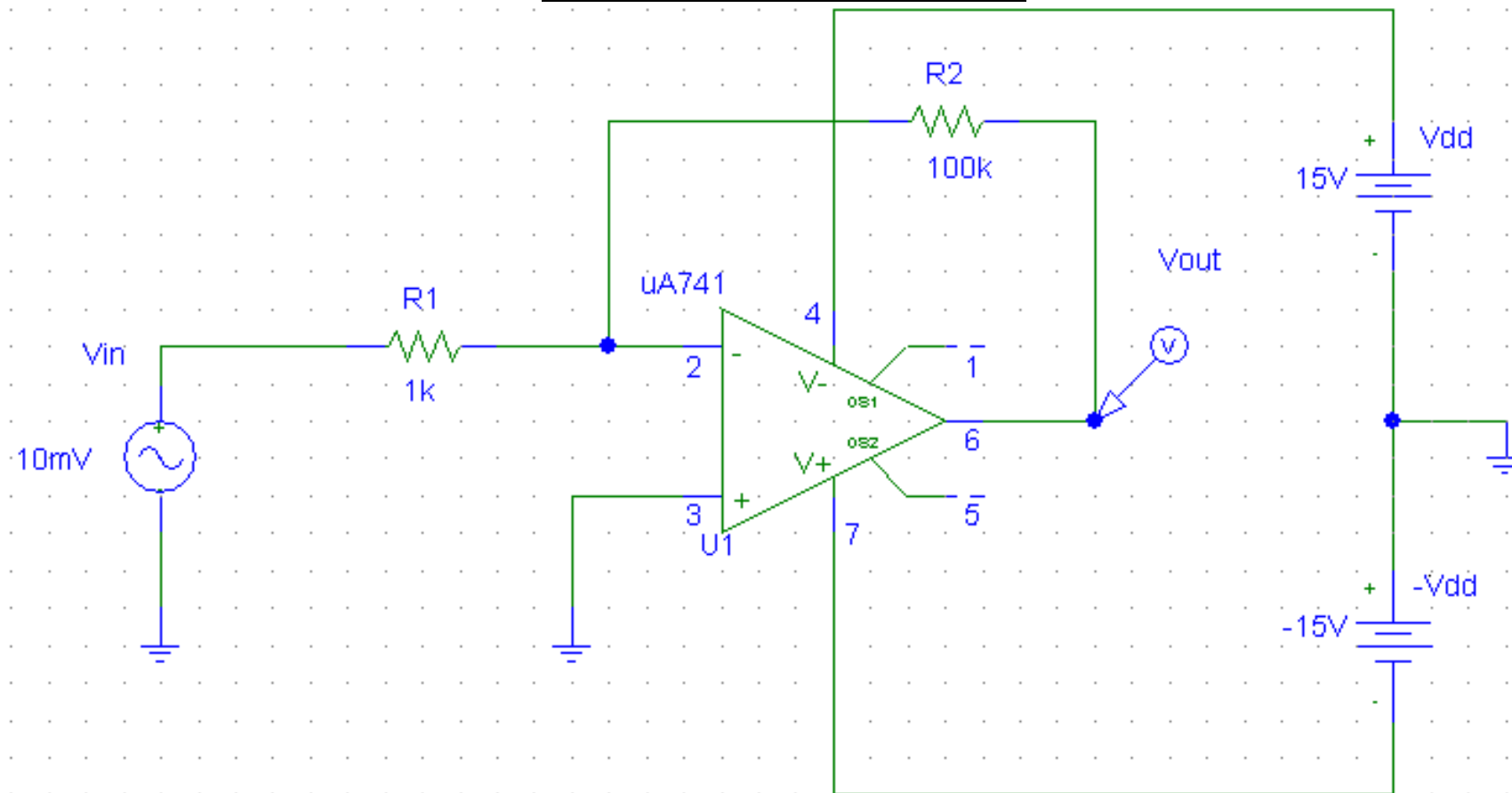
ruota e seleziona 10X



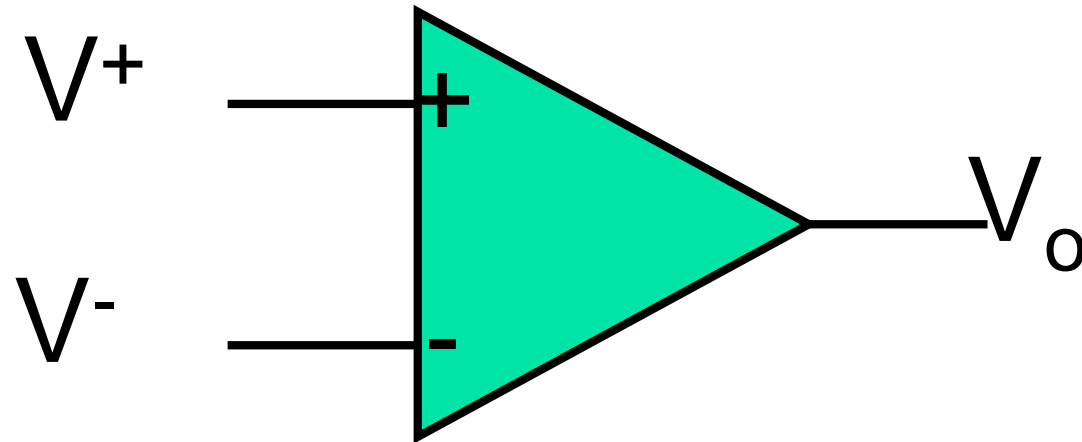


# Configurazione Invertente

Circuito ATTIVO: l'amplificatore operazionale  
va alimentato



# OpAmp Ideale



$$A_a = \frac{V_o}{V^+ - V^-} = +\infty$$

$$R_{in} = +\infty$$

$$R_{out} = 0 \Omega$$



# Configurazione Invertente con OpAmp Ideale

---

**Corto Circuito Virtuale:**

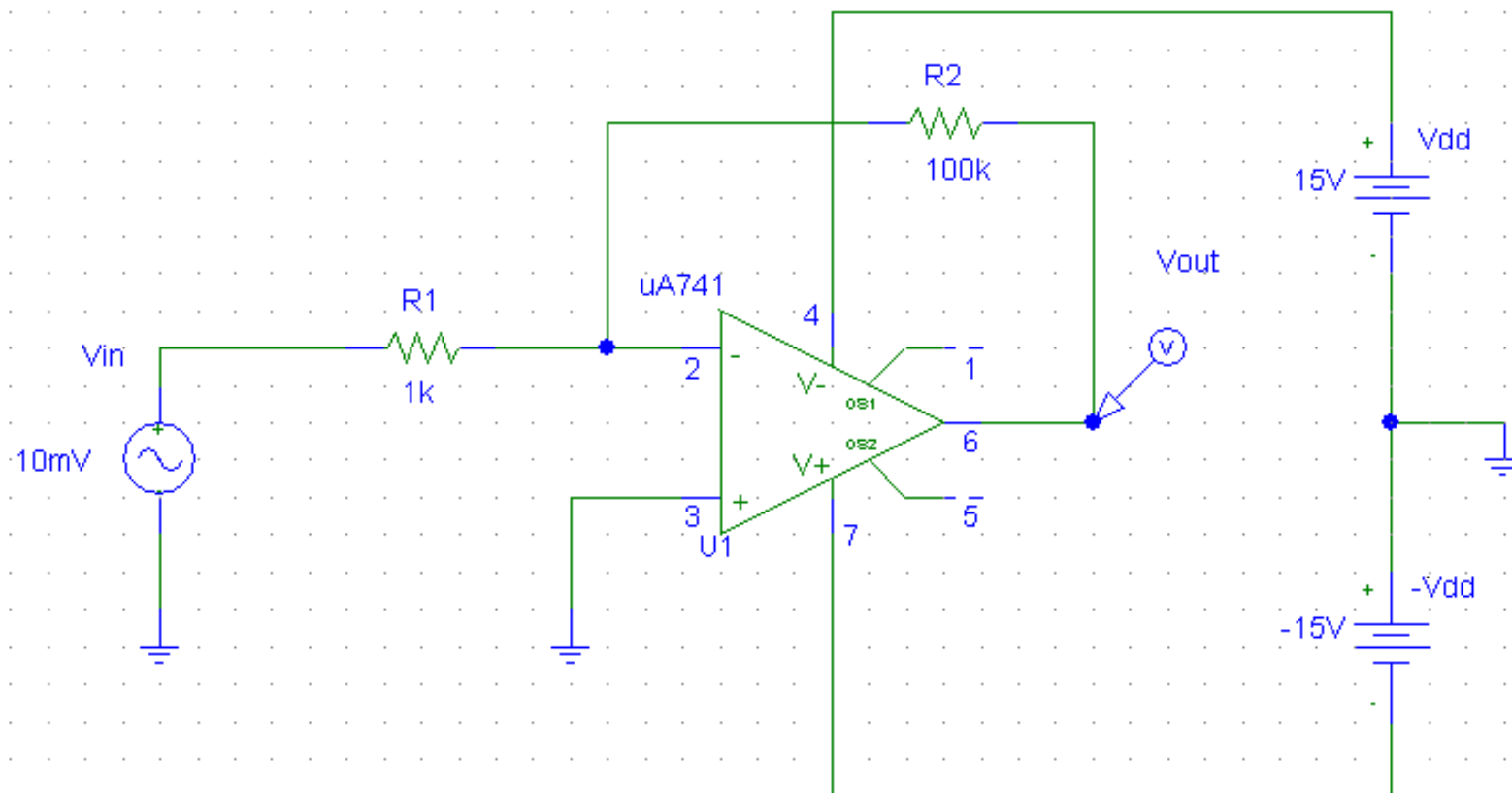
$$V^+ = V^-$$

**Guadagno Configurazione Invertente:**

$$G_{CI} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = - \frac{R_2}{R_1}$$

# Configurazione Invertente

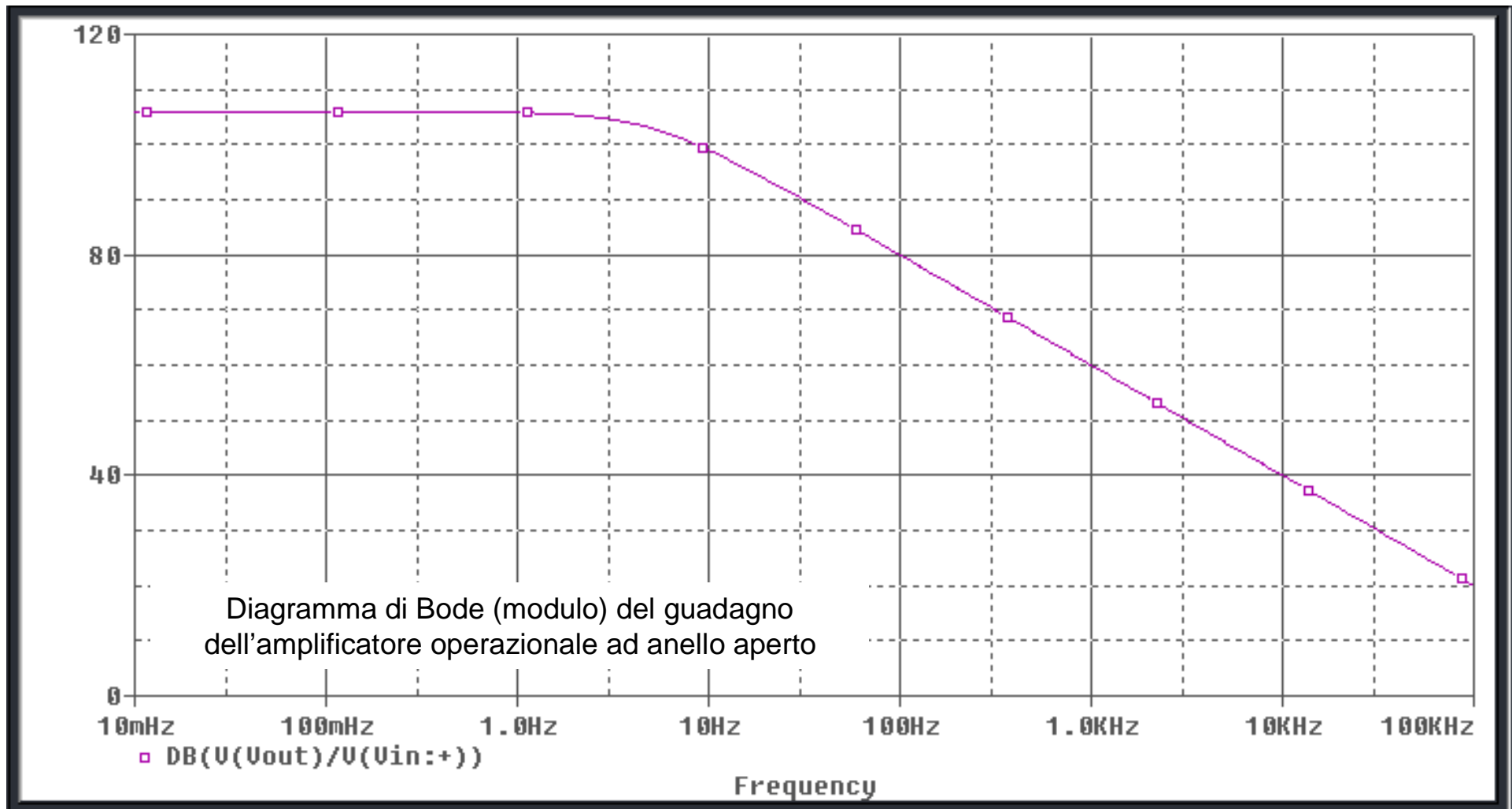
Circuito ATTIVO: l'OpAmp va alimentato:  
SATURAZIONE DEL NODO DI USCITA



# OpAmp $\mu A741$

## DdB del Modulo di $A_a(j\omega)$

Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



# Misura di Modulo e Fase di $F(j\omega)$ al variare di $\omega$

Funzione risposta in frequenza:  $F(j\omega) = V_{out}(j\omega)/V_{in}(j\omega)$

**Scopo:**

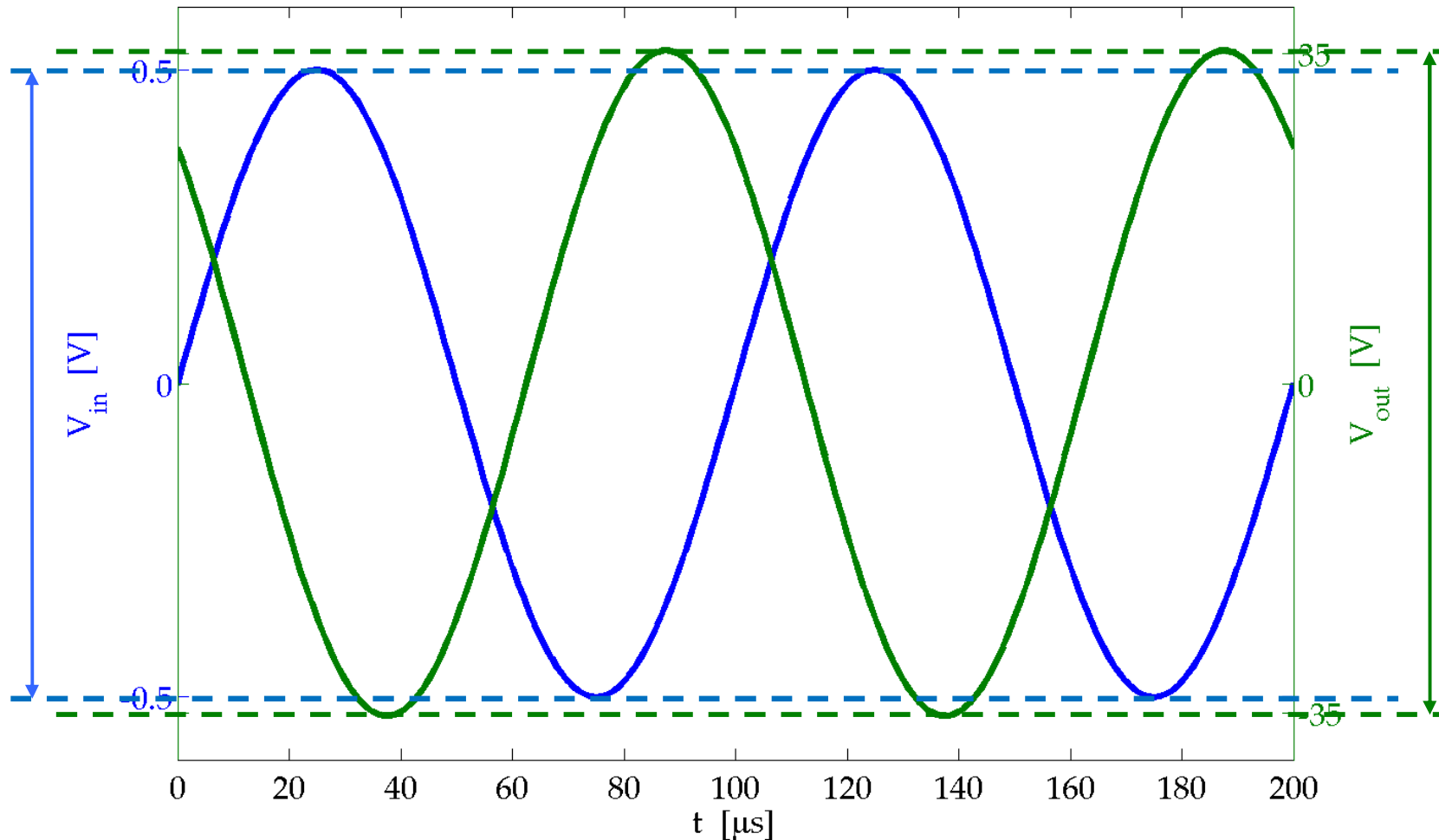
1. misurare  $|F(j\omega)|$  e  $\phi = \arg[F(j\omega)]$  al variare di  $\omega$
2. Tracciare i diagrammi di Bode di modulo e fase di  $F(j\omega)$  e determinare  $f_c$

**Procedura:** creazione di una tabella di dati

Freq [Hz]	Vin [V]	Vout [V]	Vout/Vin	$ Vout/Vin _{dB}$	$\Delta t$ [s]	$\phi$ [°]
100						
200						
500						
1k						
2k						
5k						
...						
1M						

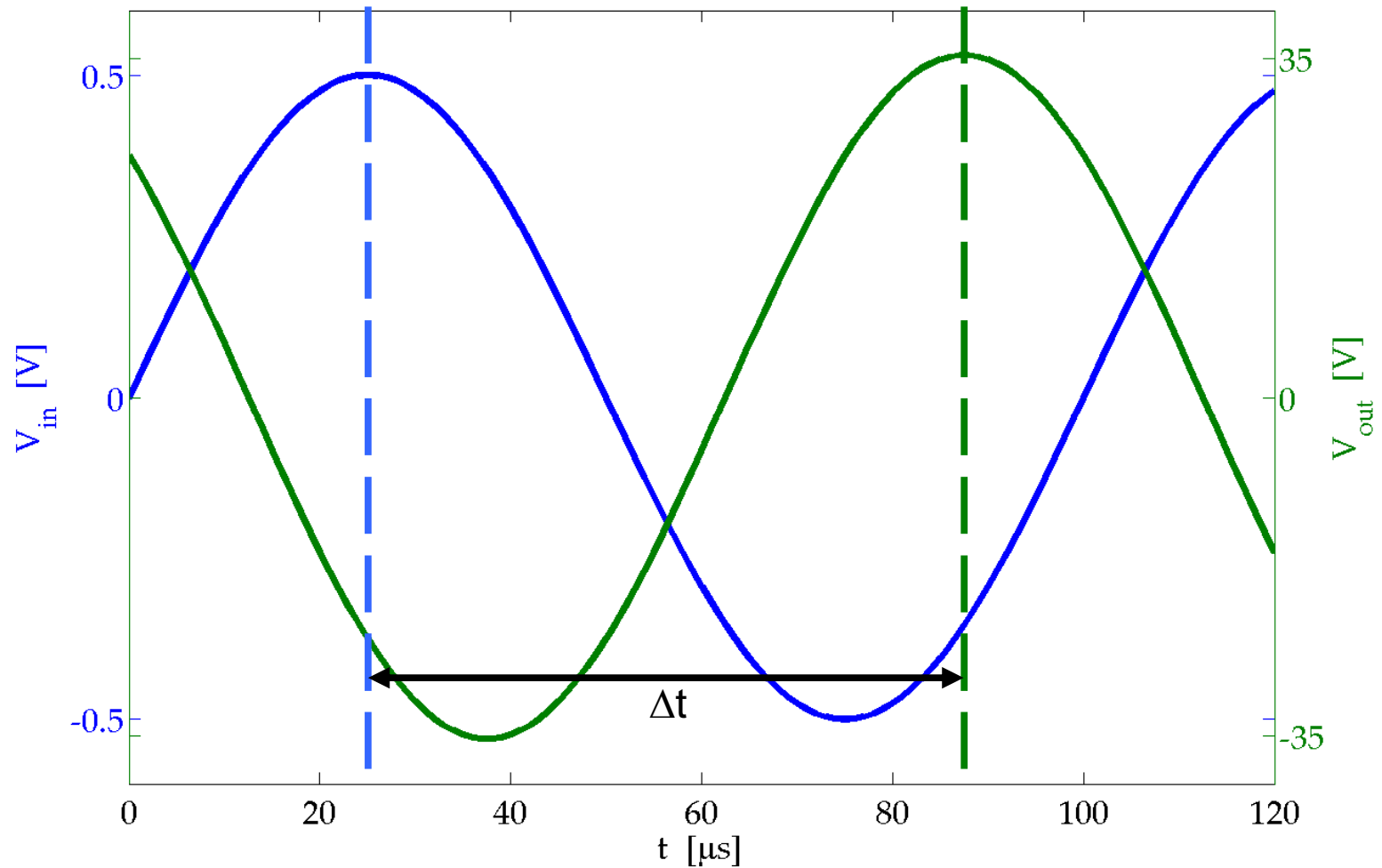
# Misura di Ampiezza: $|F(j\omega)|$

Misura delle ampiezze di  $V_{in}$  e  $V_{out}$  tramite i cursori orizzontali



# Misura di Fase: $\phi = \arg[F(j\omega)]$

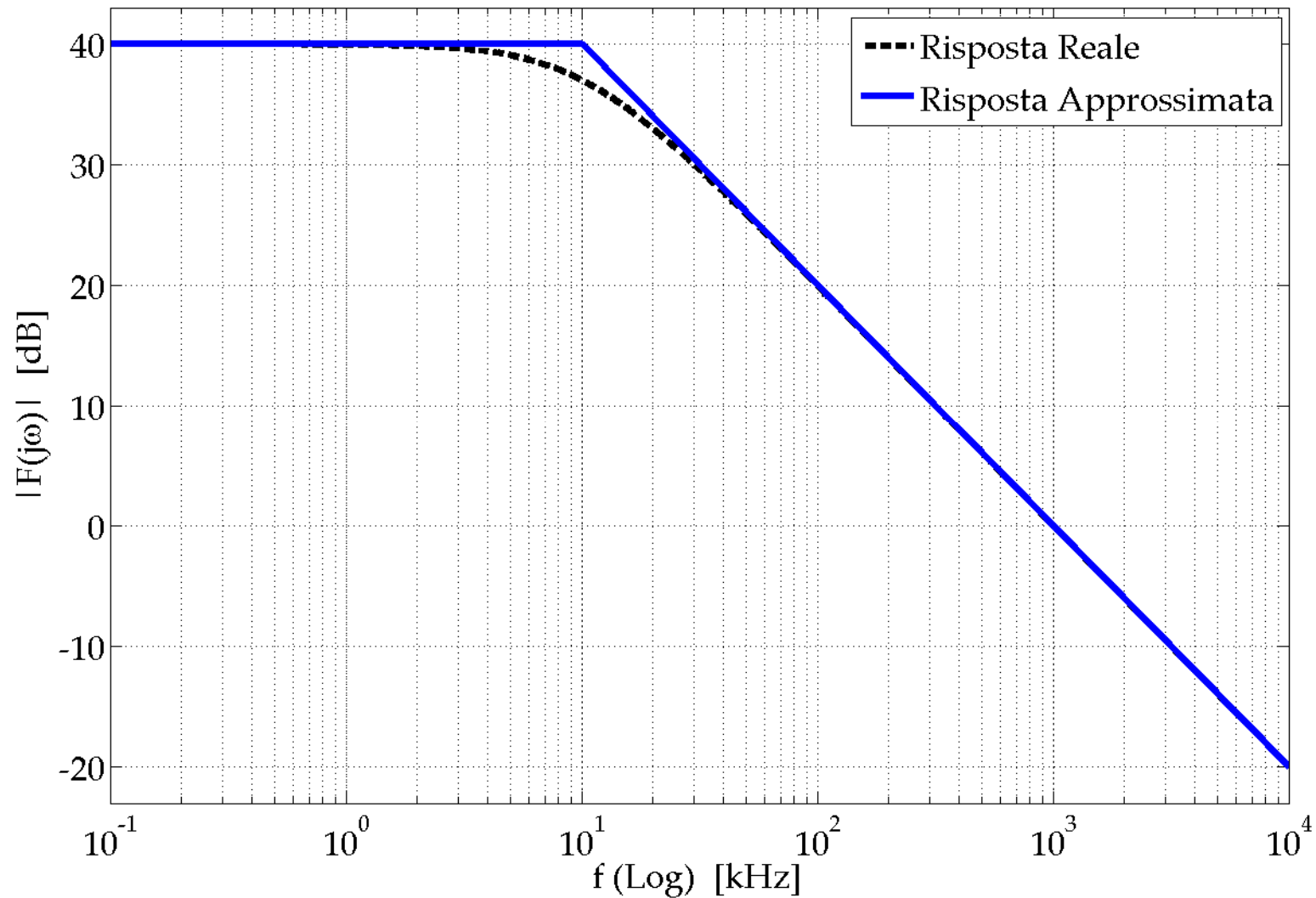
$$\Delta t : T = \phi : 360 \Rightarrow \phi = -360^\circ \cdot \Delta t / T = -360^\circ \cdot \Delta t \cdot f$$





# Configurazione Invertente

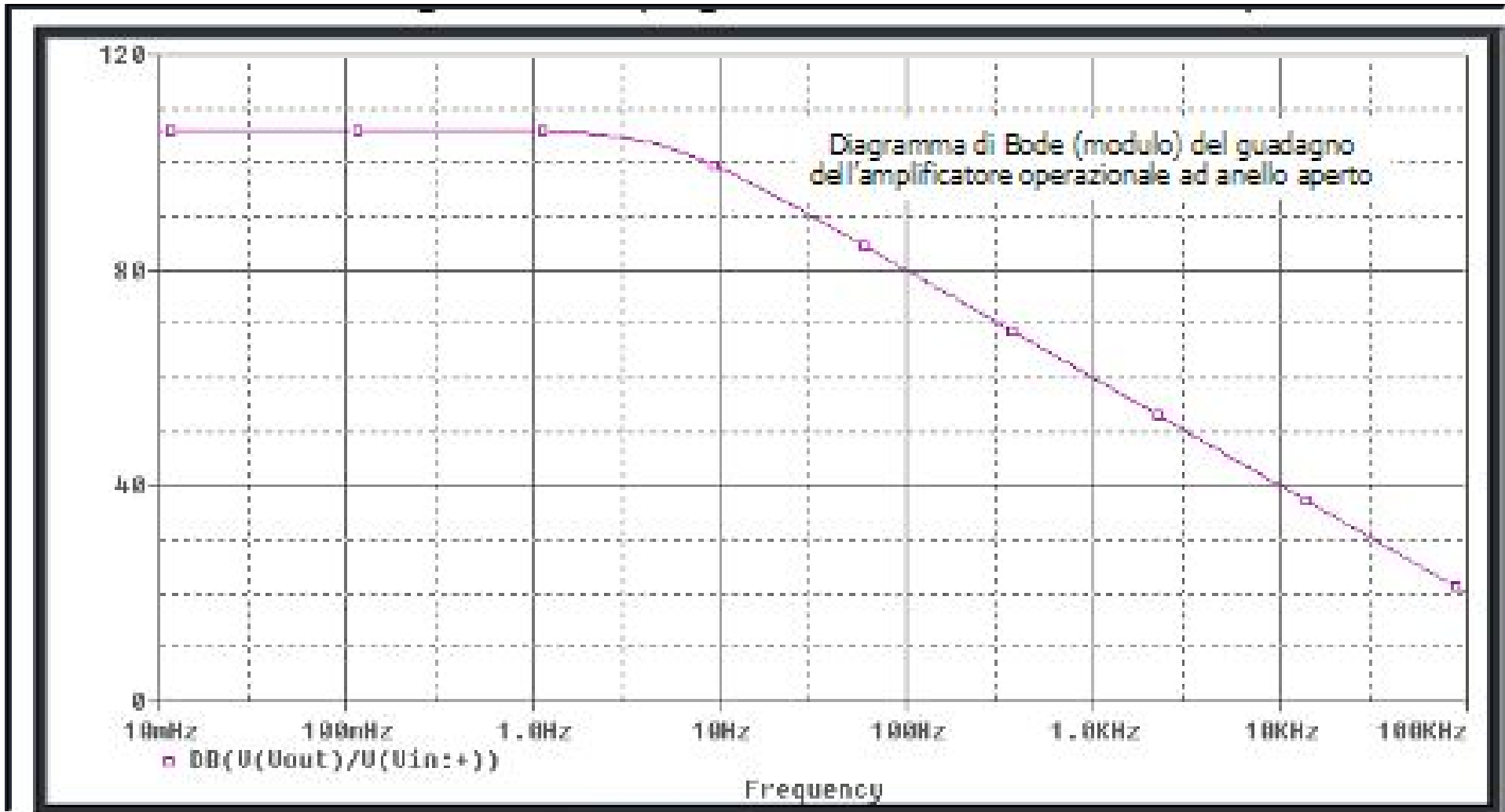
## Diagramma di Bode - Modulo



# OpAmp $\mu$ A741 – Anello Aperto

## Diagramma di Bode – Modulo

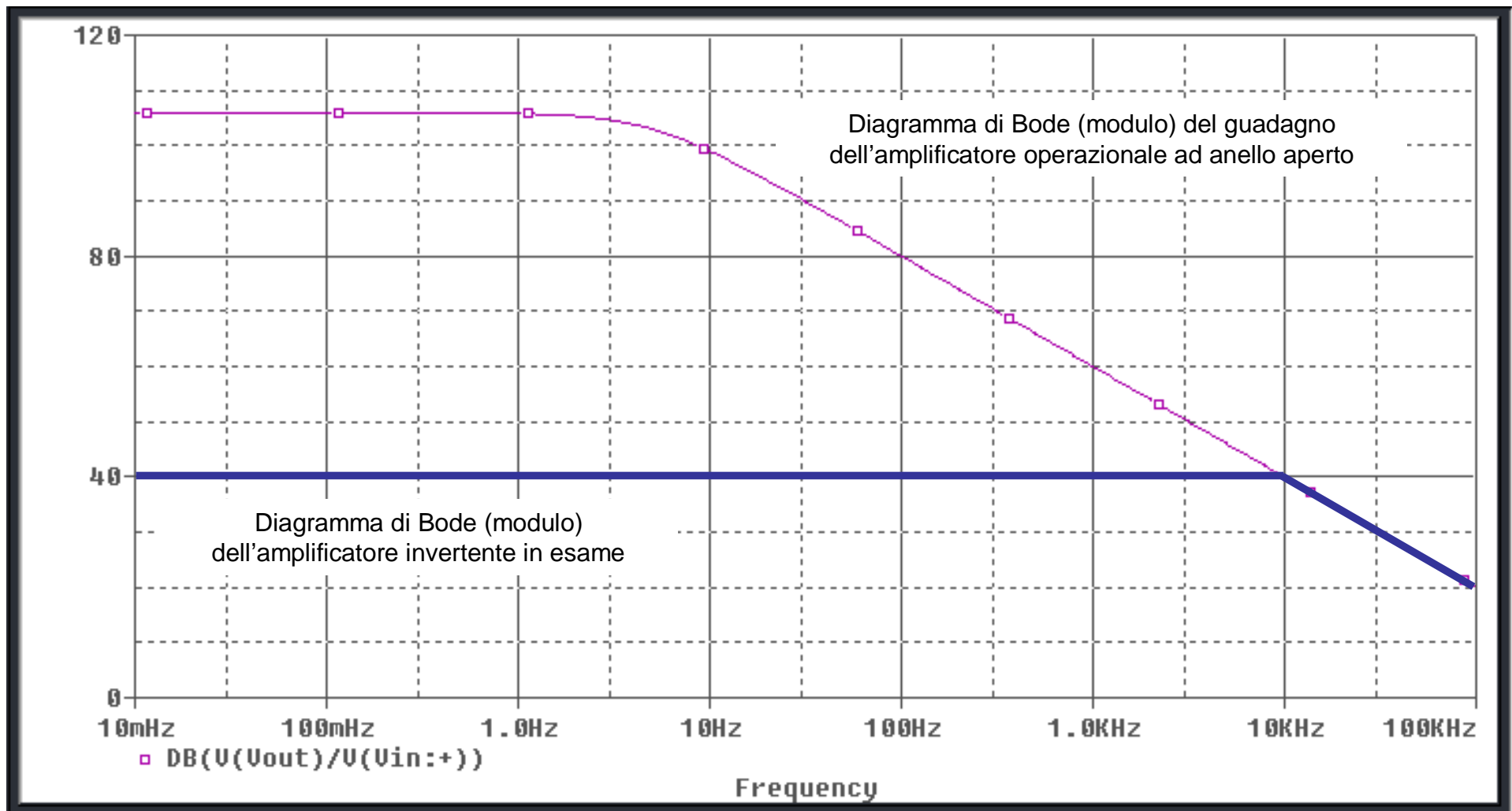
Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



# OpAmp $\mu$ A741 - Anello Aperto

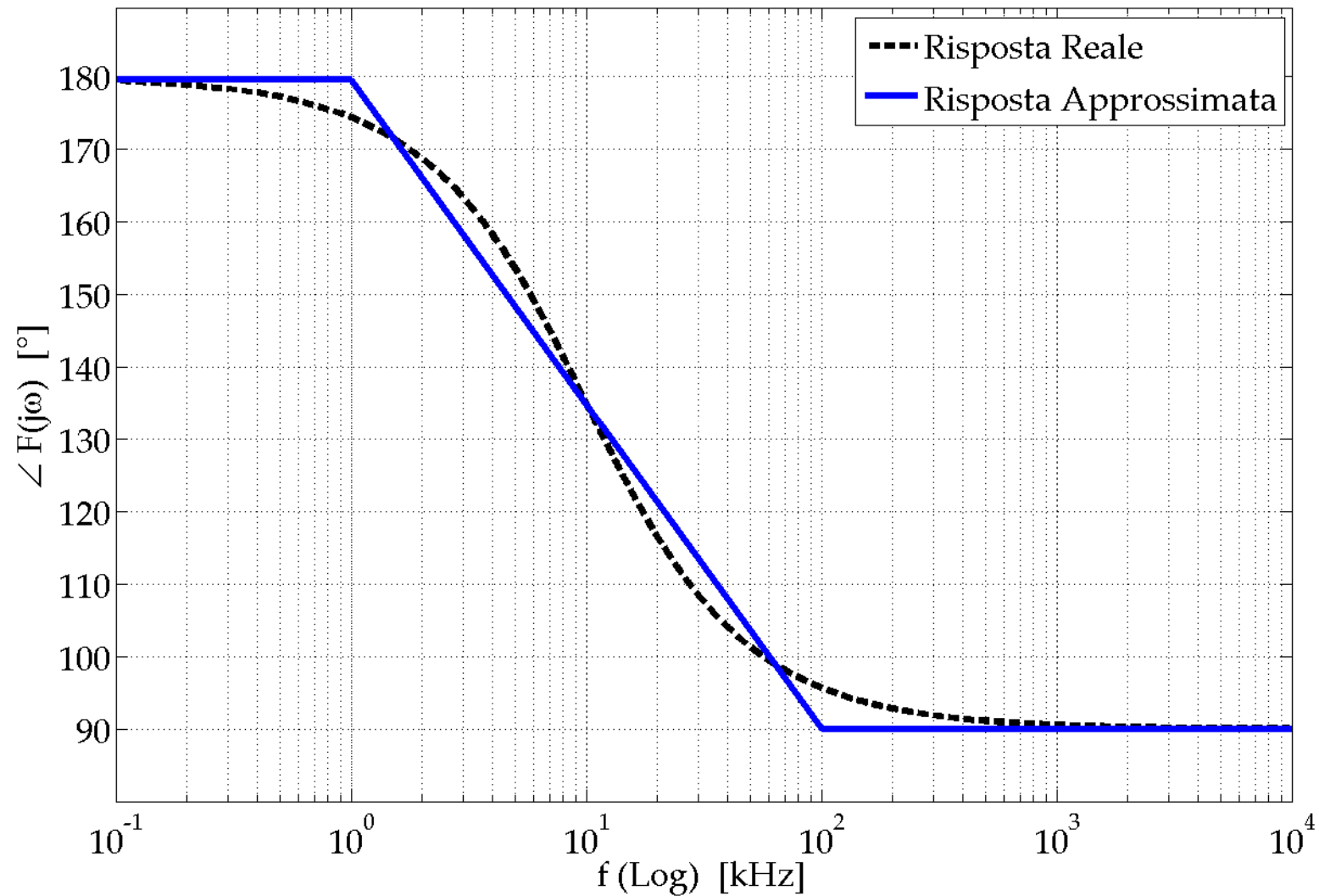
## Diagramma di Bode - Modulo

Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



# Configurazione Invertente

## Diagramma di Bode - Fase





# **Corto Circuito Virtuale «Reale»**

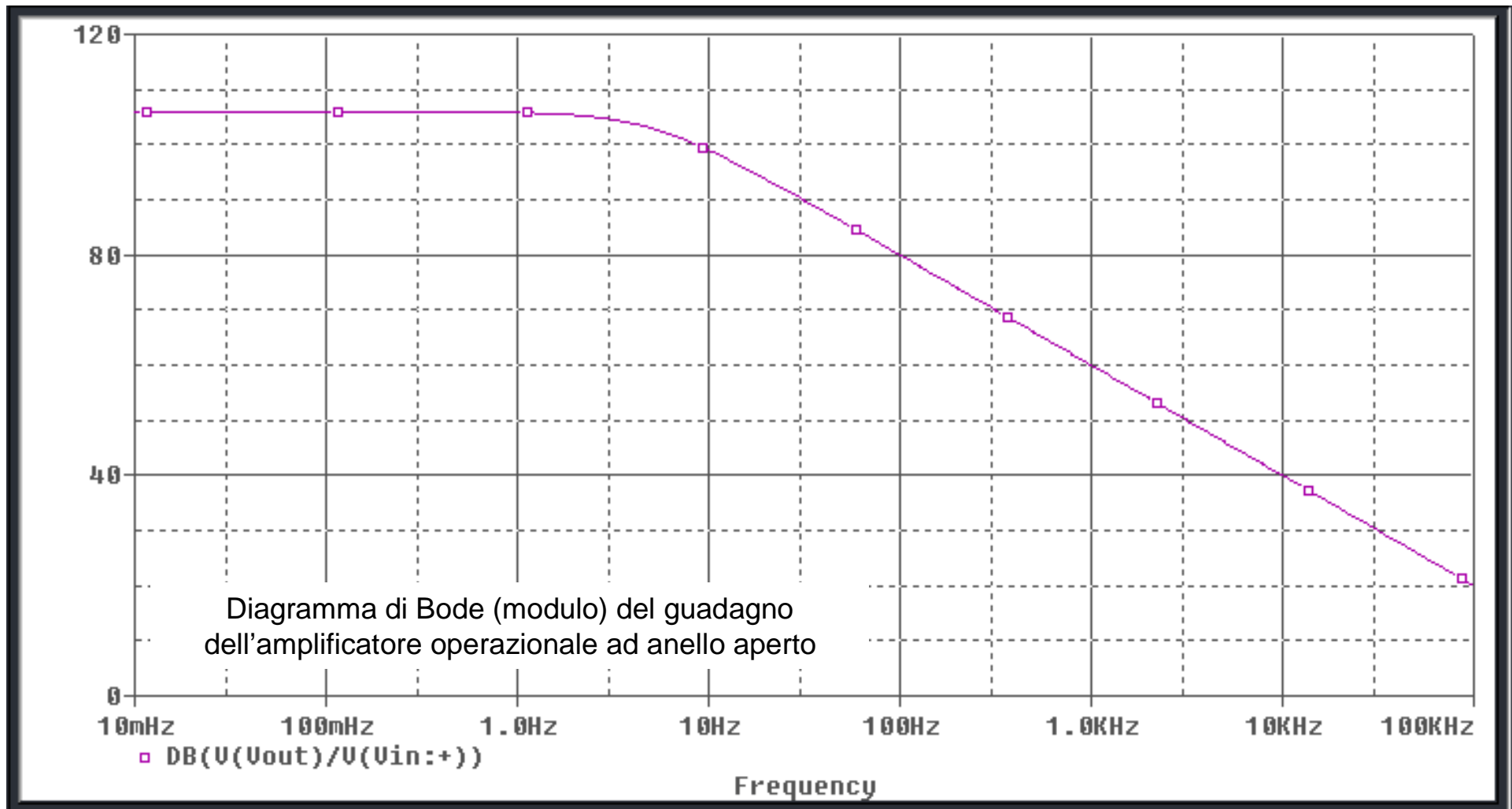
---

**Effetto del guadagno ad anello aperto sul Corto Circuito Virtuale:  
misura dell'ampiezza della tensione  $V^-$  al variare della  
frequenza  
( $V^+ = 0 \text{ V}$ )**

# OpAmp $\mu A741$

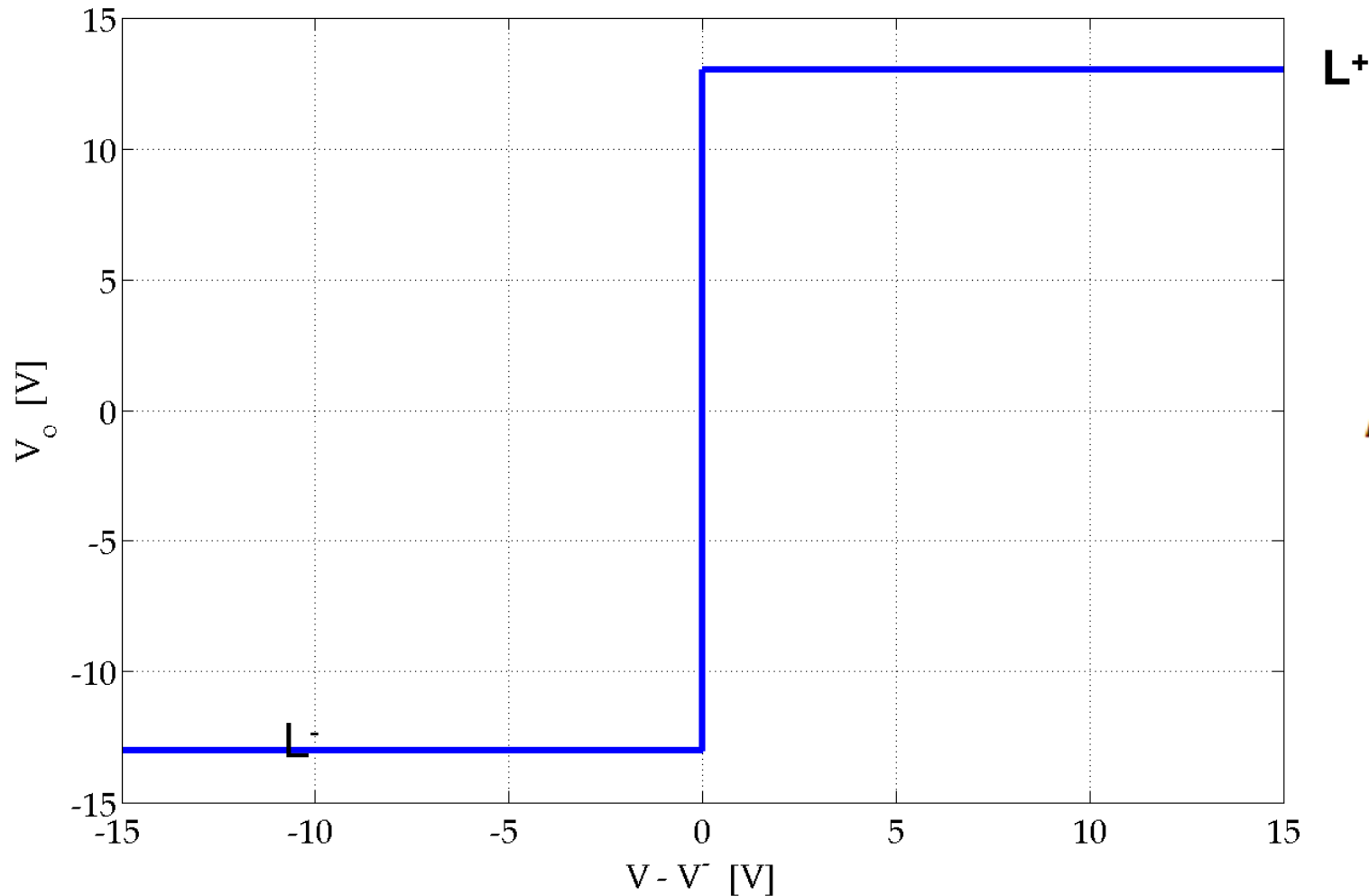
## Diagramma del Modulo di $A_a(j\omega)$

Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



# Se l'OpAmp Satura, vale il Corto Circuito Virtuale?

**NO! Perché? ... Pensate al valore di  $A_a$ ...**

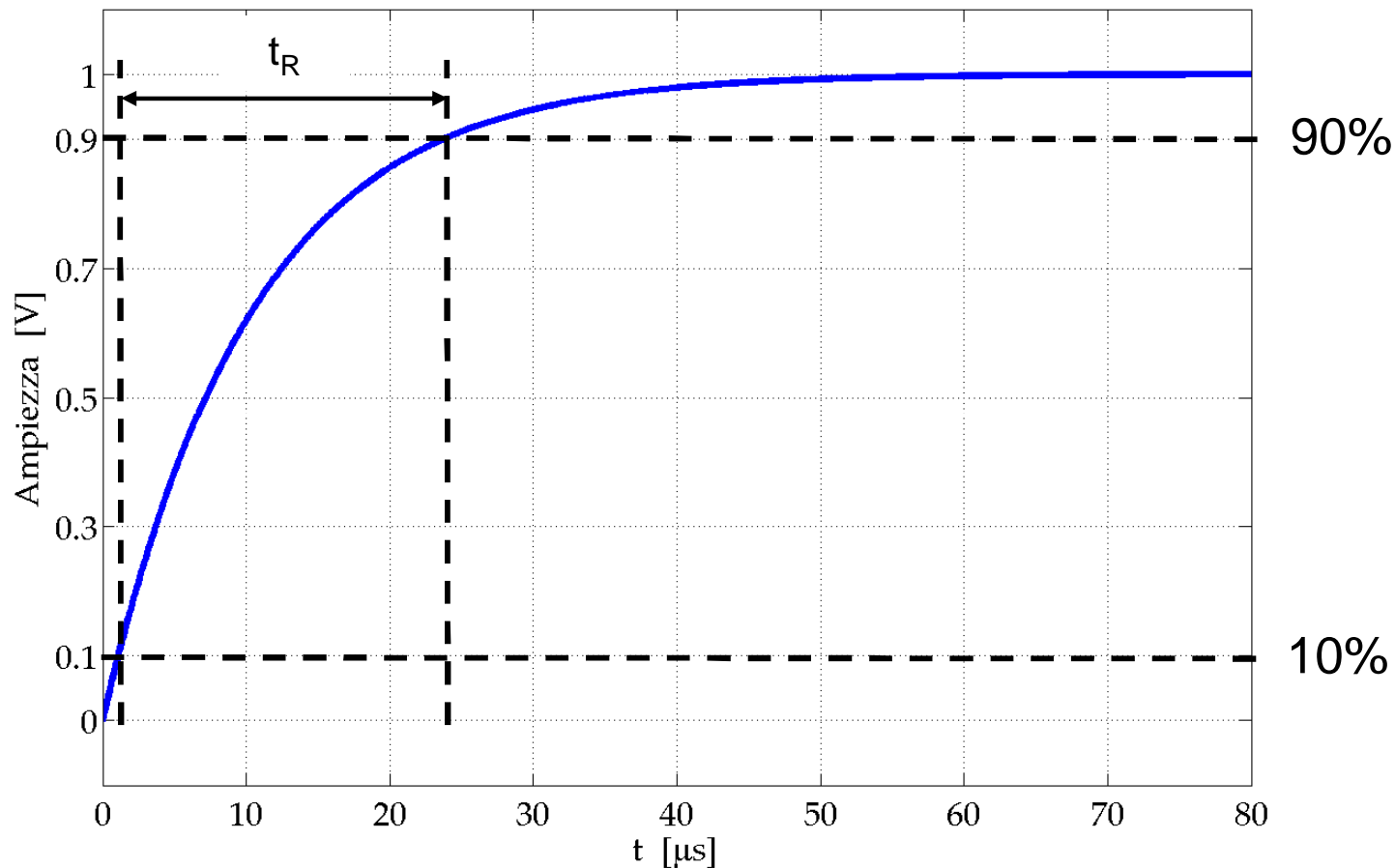


$$A_a = \frac{V_o}{V^+ - V^-}$$

# Amplificatore Invertente

## Risposta al Gradino

$t_R$ : Rise Time (Tempo di Salita)  $\rightarrow f_c = 0.35 / t_R$





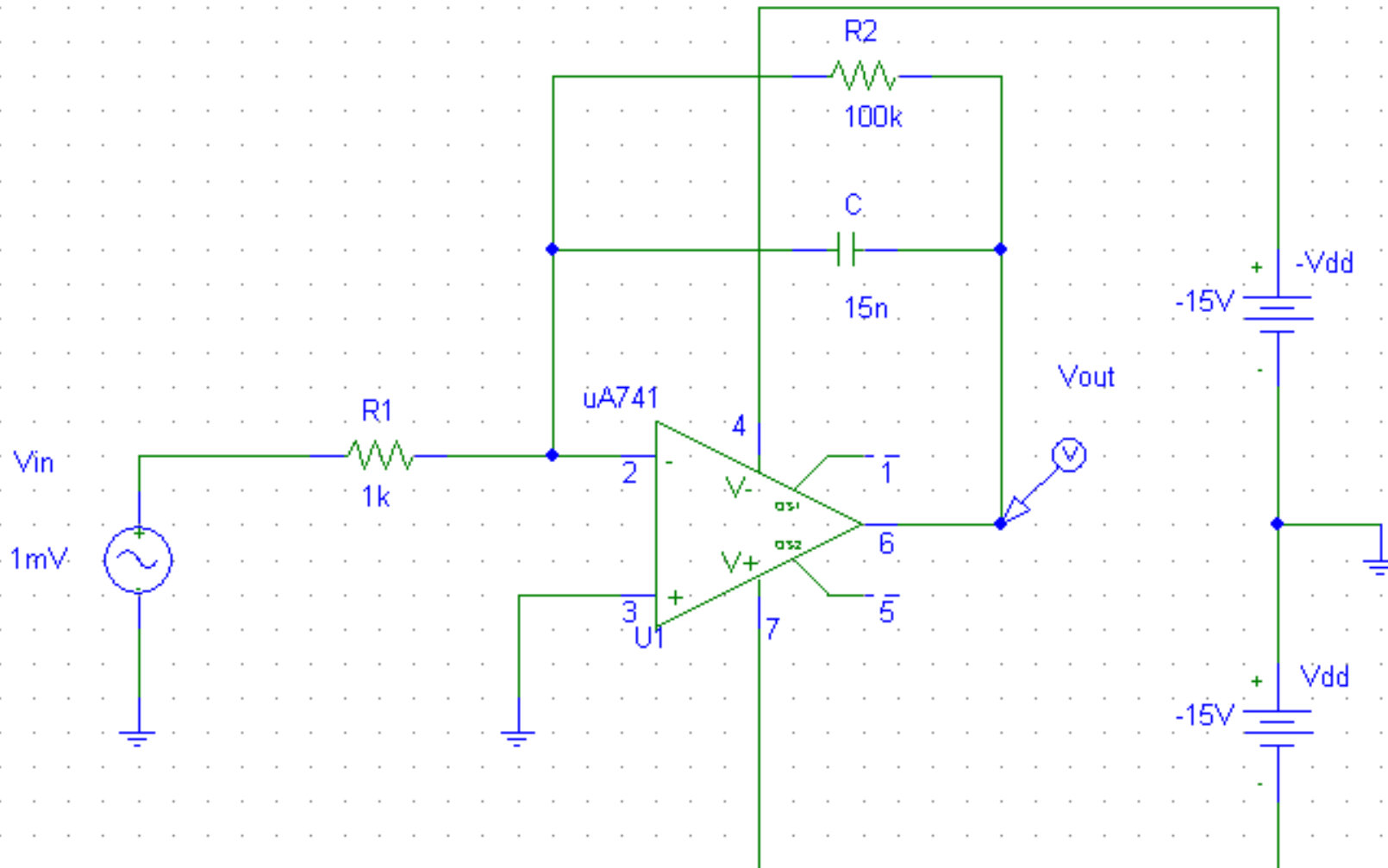
# Misura del Tempo di Salita

## Rise Time ( Configurare CH2 )

2 ruota e seleziona 3 premi 1 premi



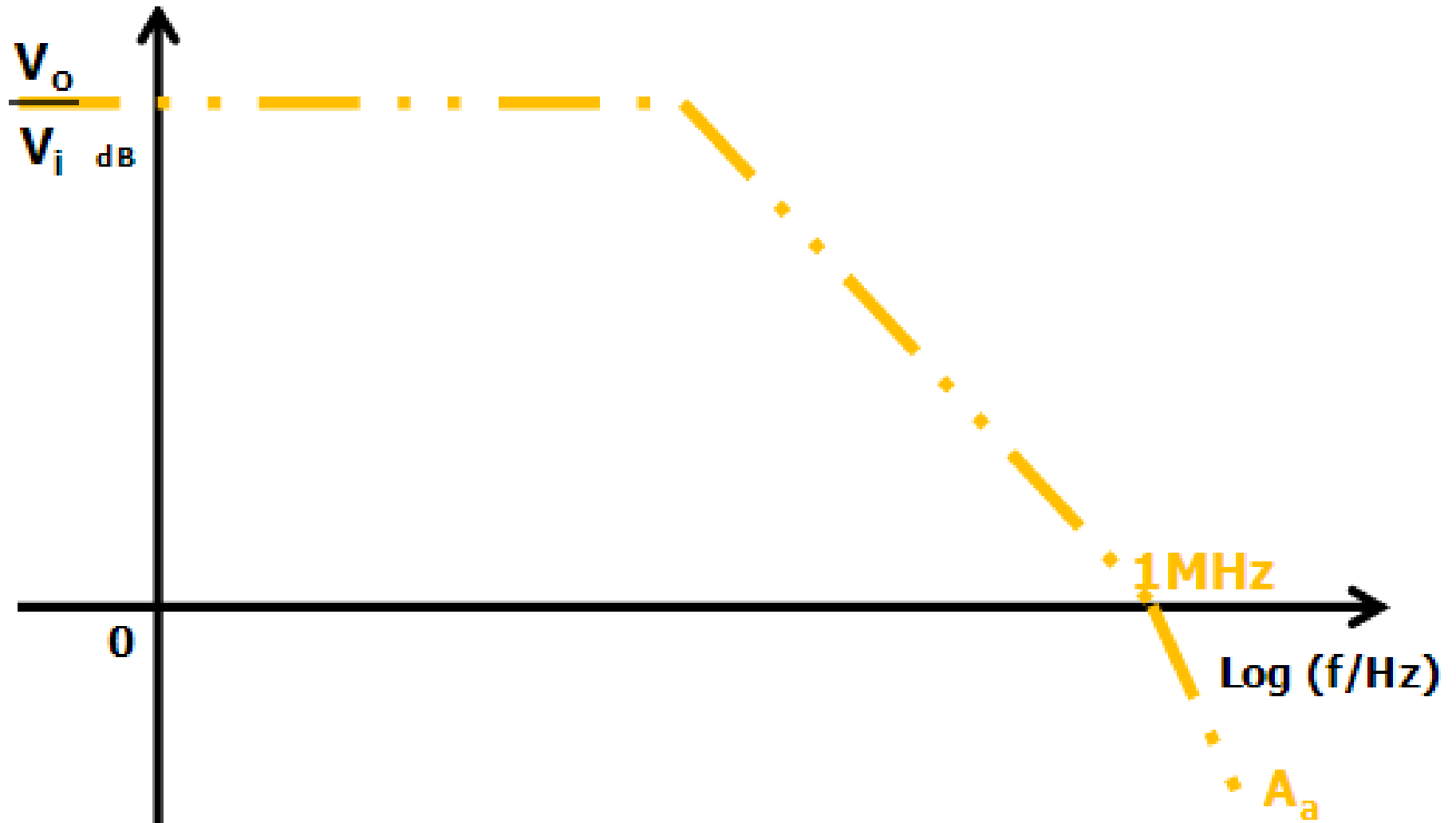
# Integratore di Miller Approssimato



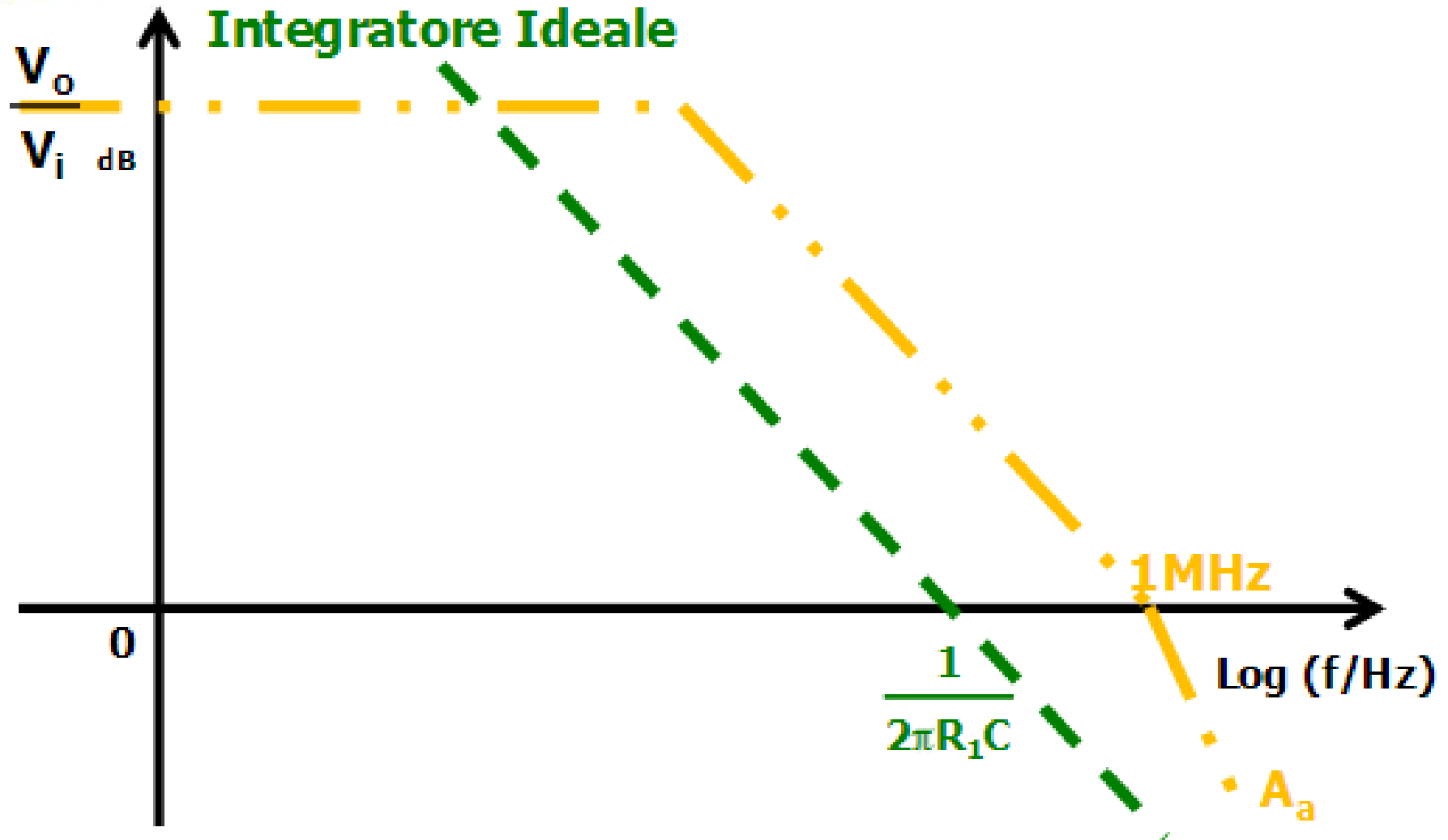
# Stima Diagramma di Bode del Modulo



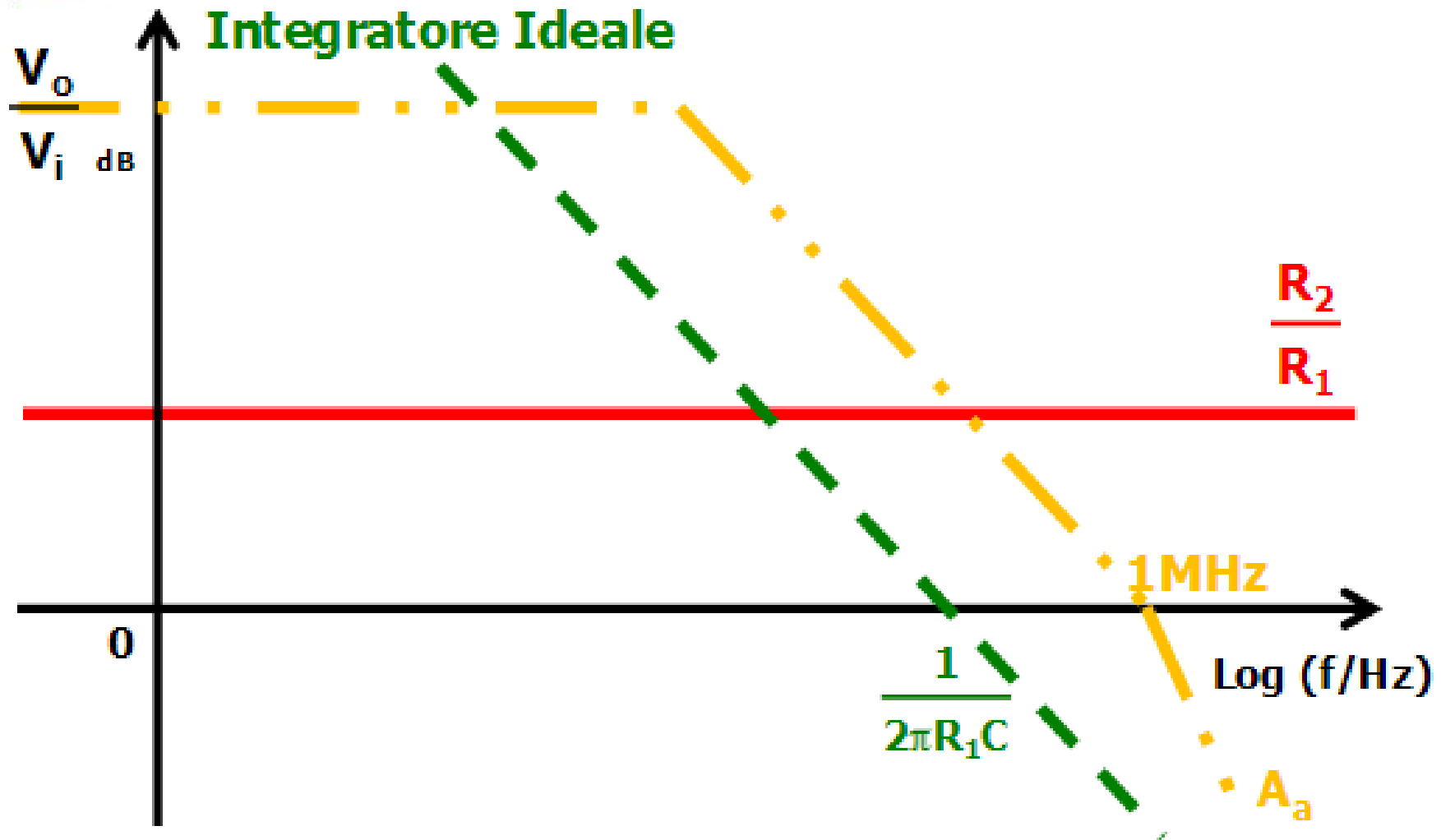
# Stima Diagramma di Bode del Modulo



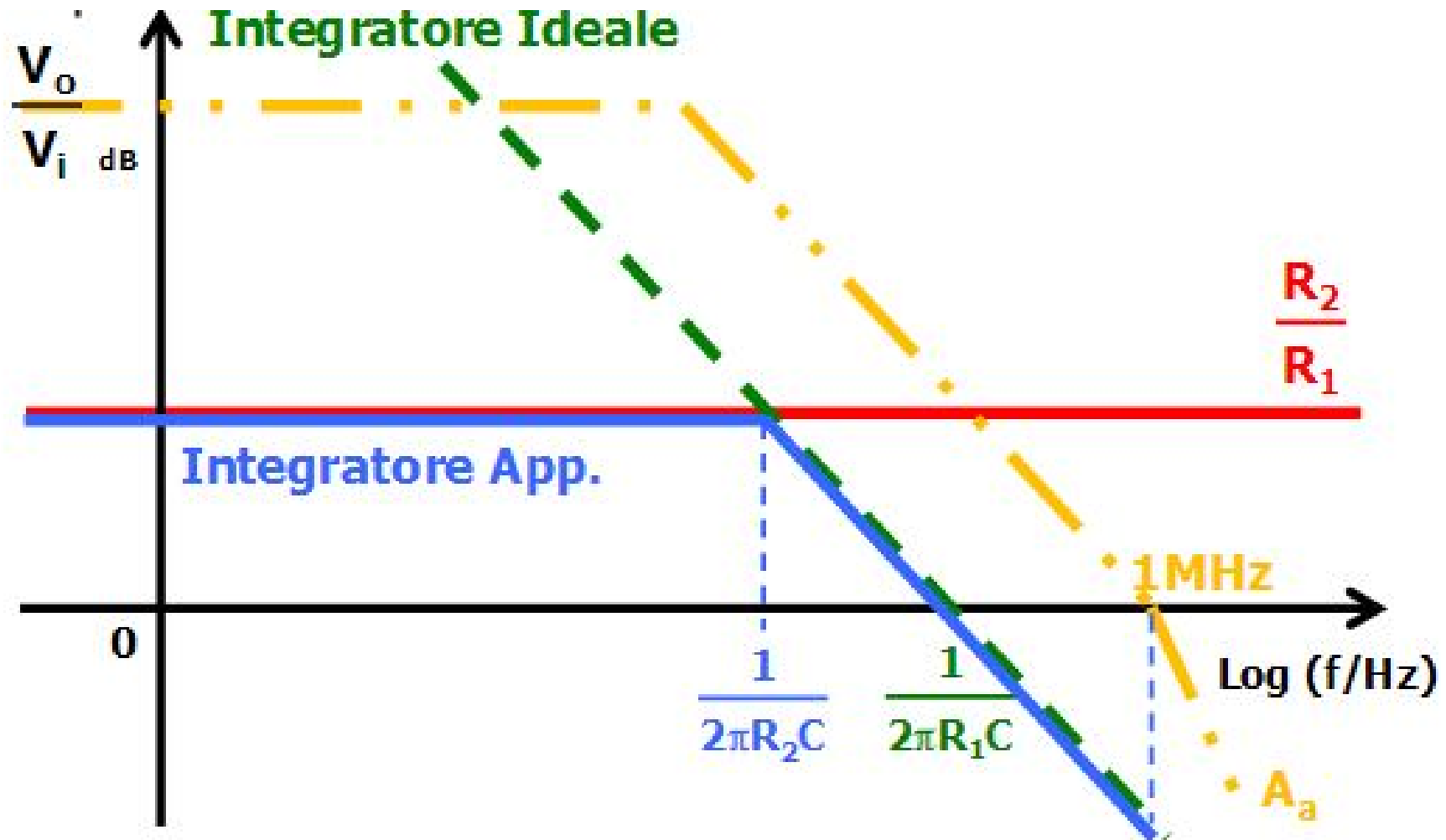
# Stima Diagramma di Bode del Modulo



# Stima Diagramma di Bode del Modulo

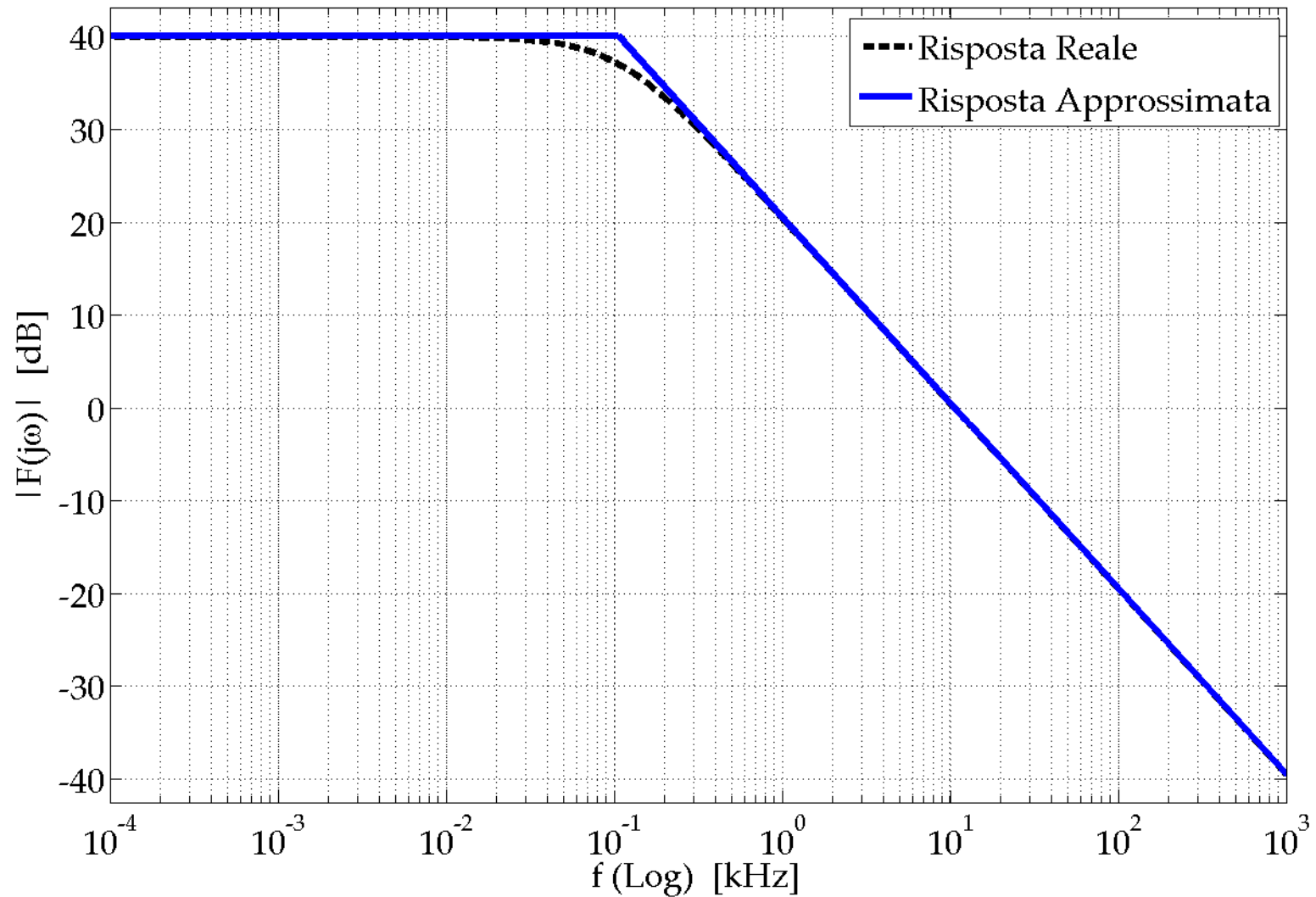


# Stima Diagramma di Bode del Modulo



# Integratore di Miller

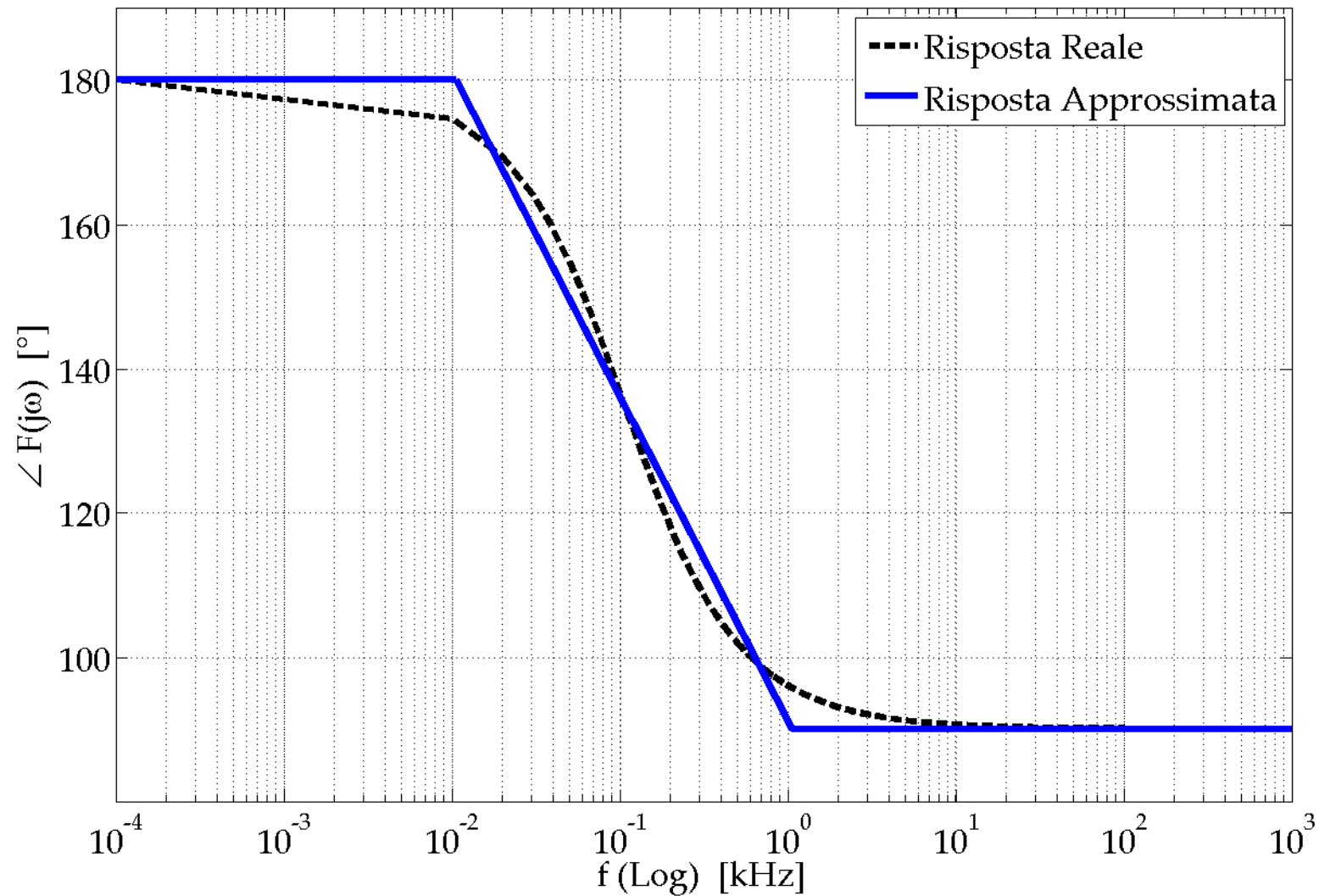
## Diagramma di Bode - Modulo





# Integratore di Miller

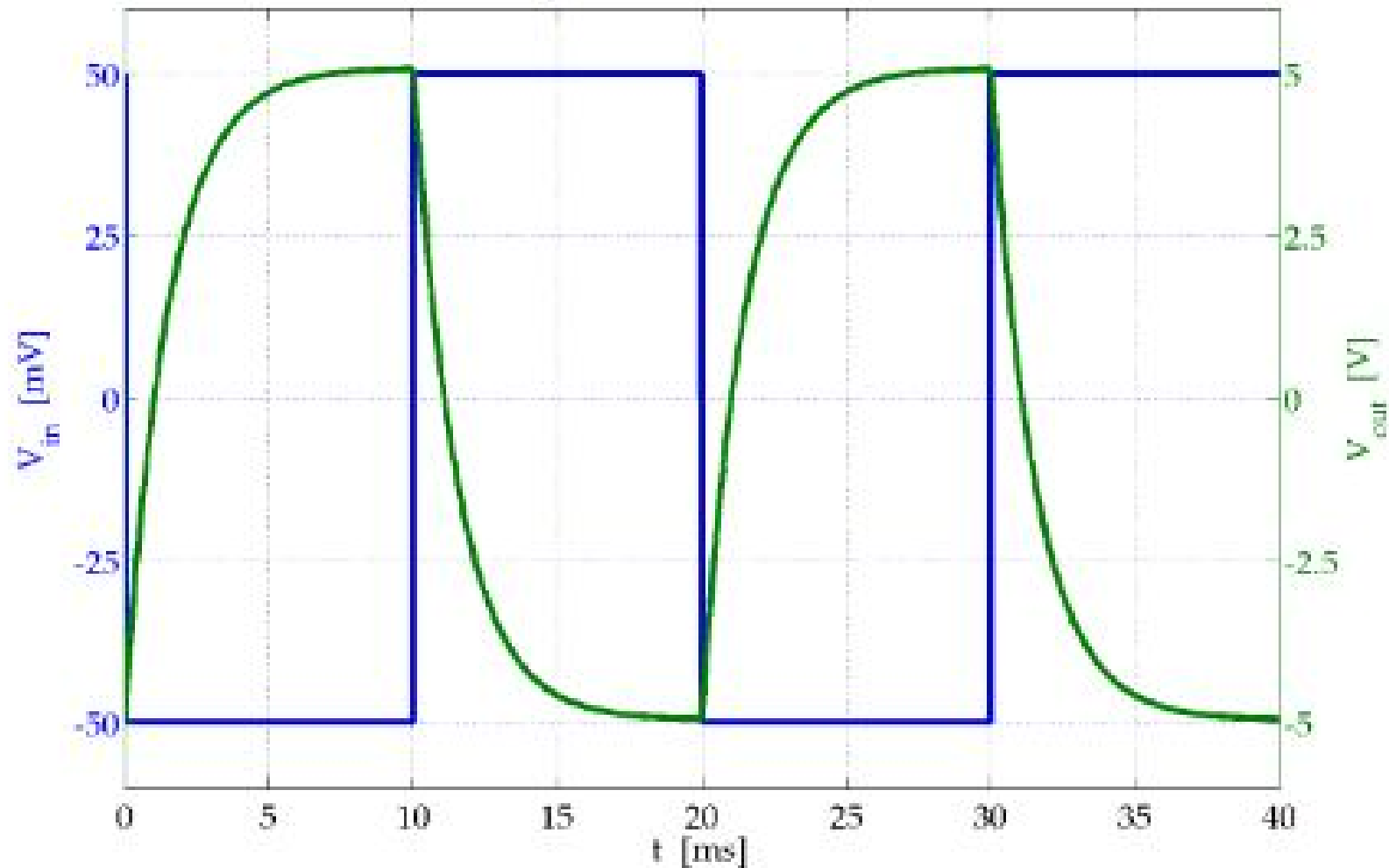
## Diagramma di Bode - Fase



# Integratore di Miller

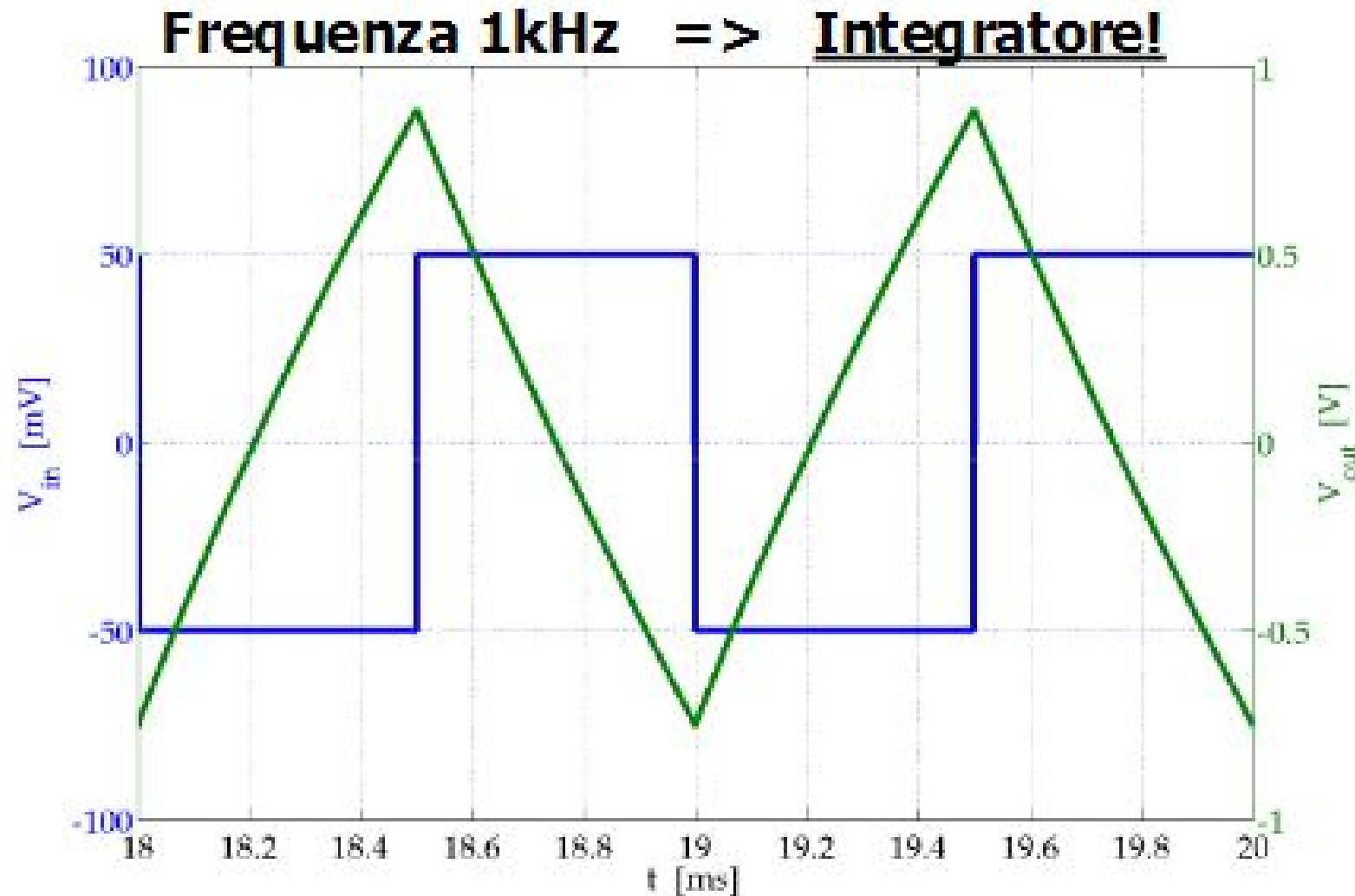
## Risposta all'Onda Quadra (1)

Frequenza 50Hz

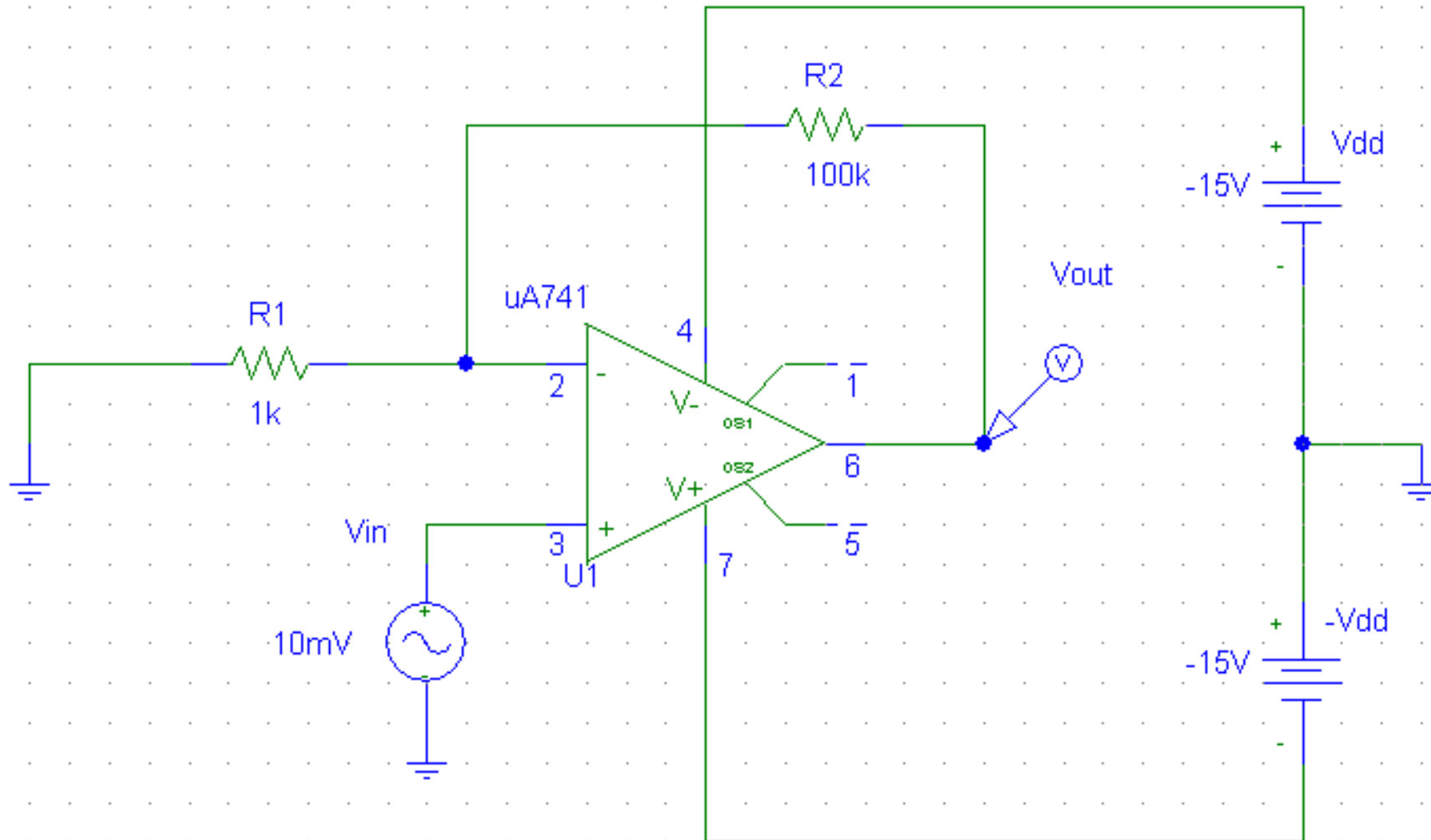


# Integratore di Miller

## Risposta all'Onda Quadra (2)

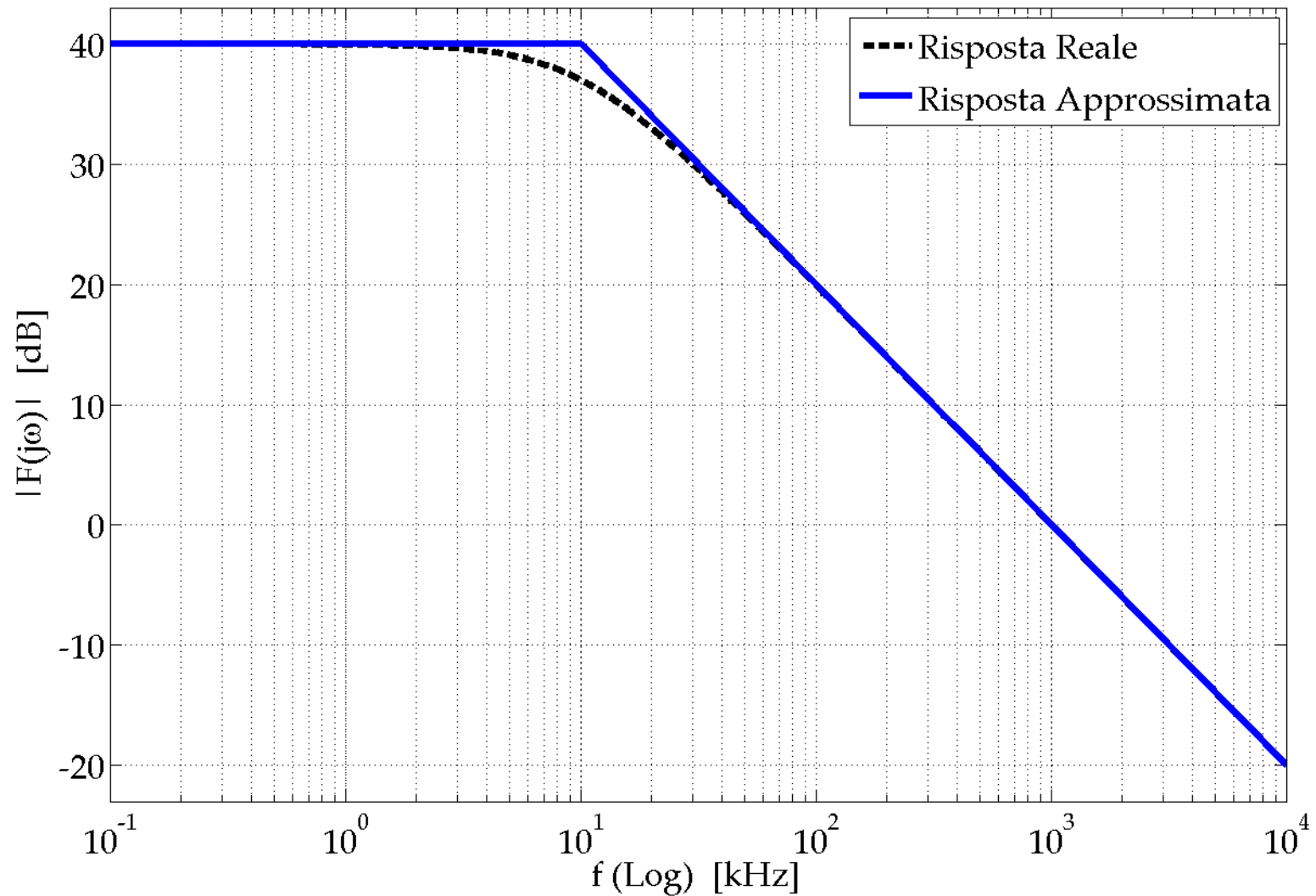


# Configurazione Non Invertente



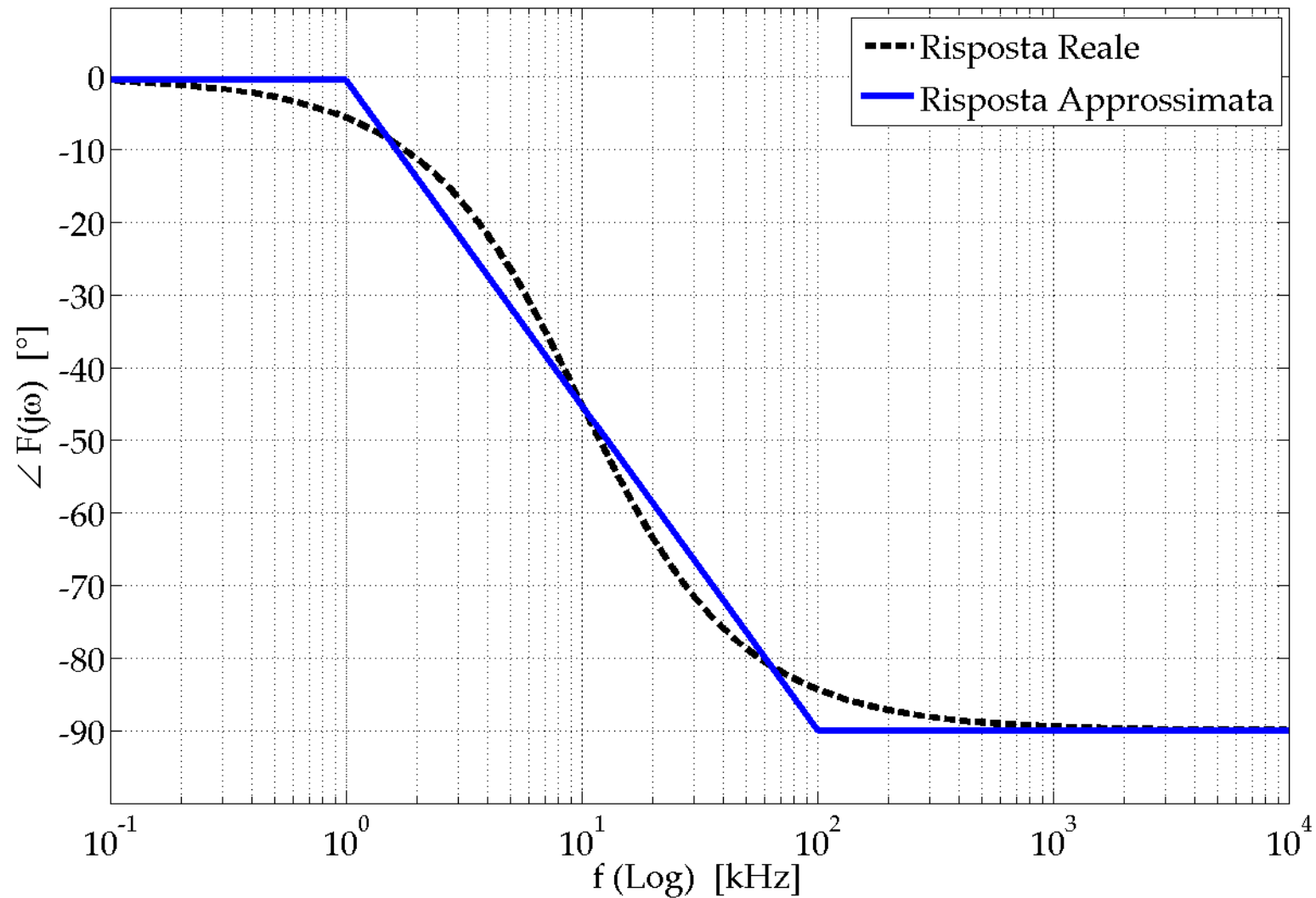
# Configurazione Non Invertente

## Diagramma di Bode - Modulo

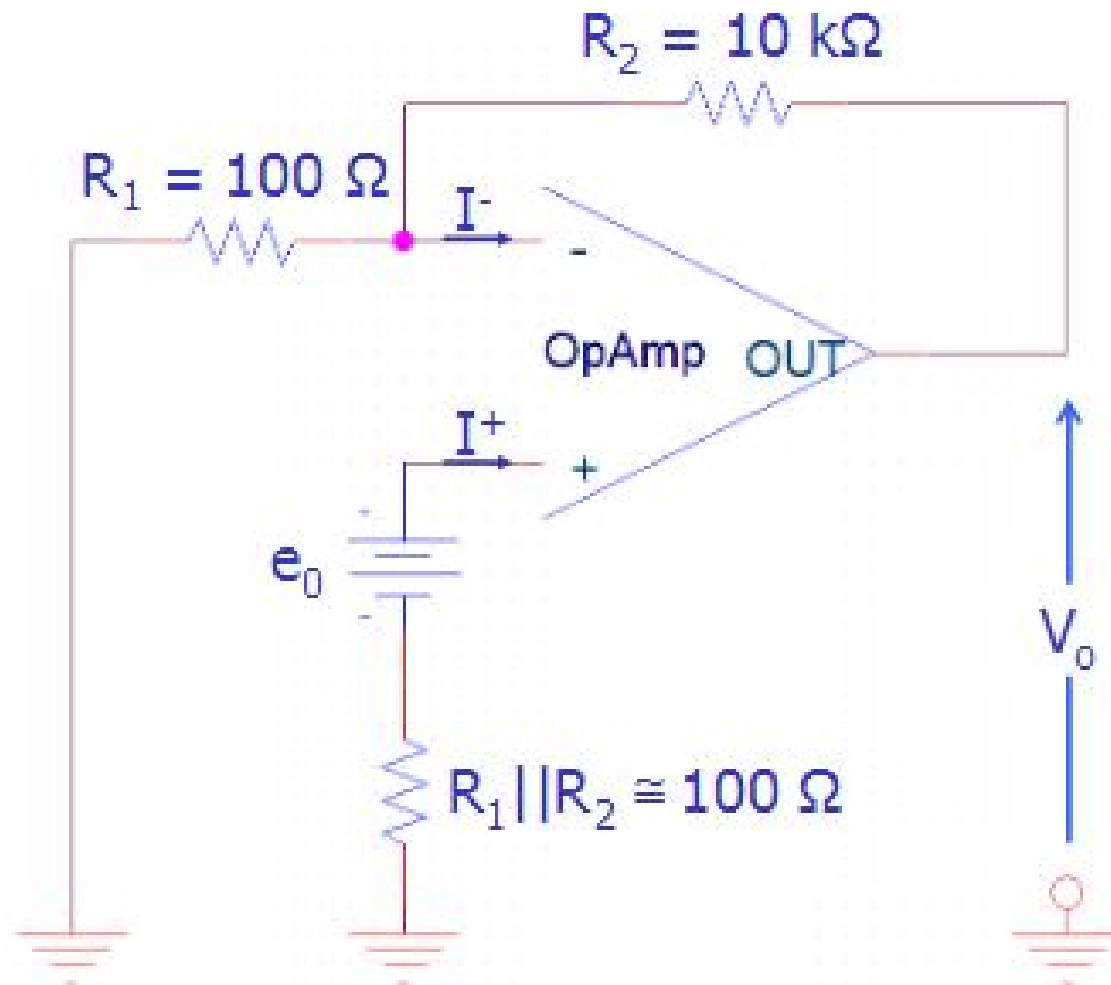


# Configurazione Non Invertente

## Diagramma di Bode - Fase



# Effetto della Tensione e delle Correnti di Offset

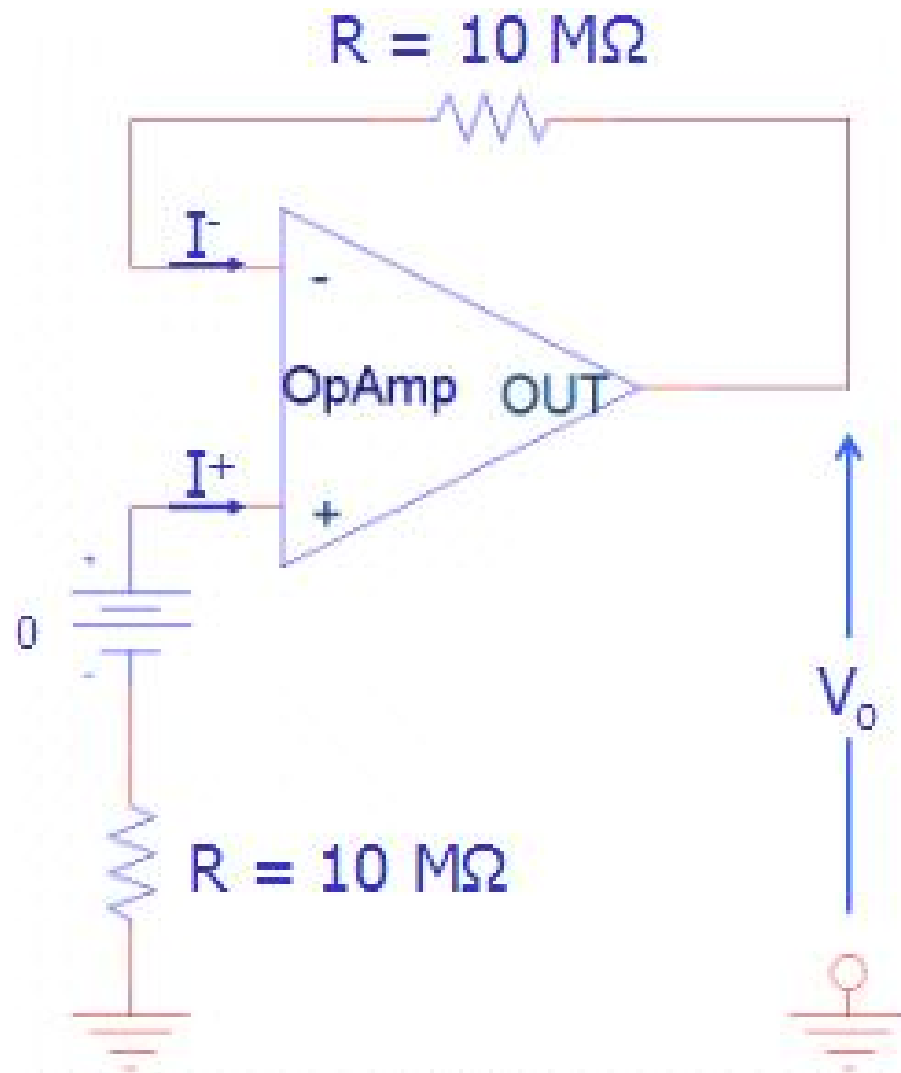


A causa degli offset di tensione e corrente, **in assenza di segnale applicato**, si osserva

una tensione di uscita  $V_o$  pari a:

$$V_o = e_0 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 (I^- - I^+) \Rightarrow V_o \approx e_0 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

# Effetto della Tensione e delle Correnti di Offset



A causa degli offset di tensione e corrente, **in assenza di segnale applicato**, si osserva una tensione di uscita

$V_o$  pari a:

$$V_o = e_0 + R ( I^- - I^+ ) \Rightarrow$$

$$V_o \approx R ( I^- - I^+ )$$





# **Elettronica I**

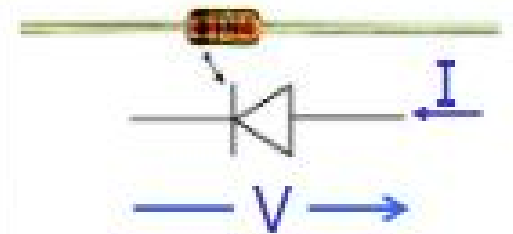
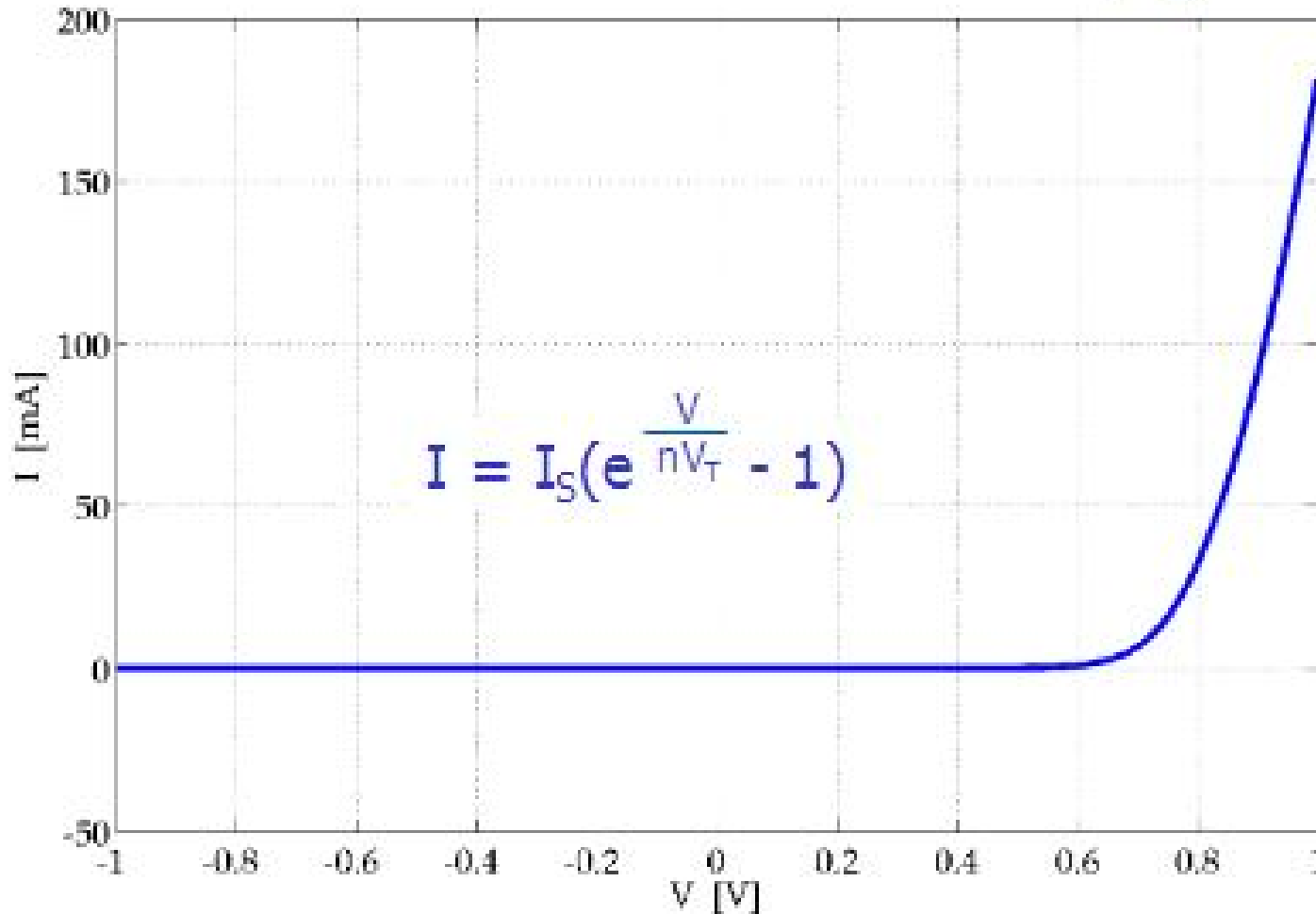
## **- Terza Esercitazione -**

---

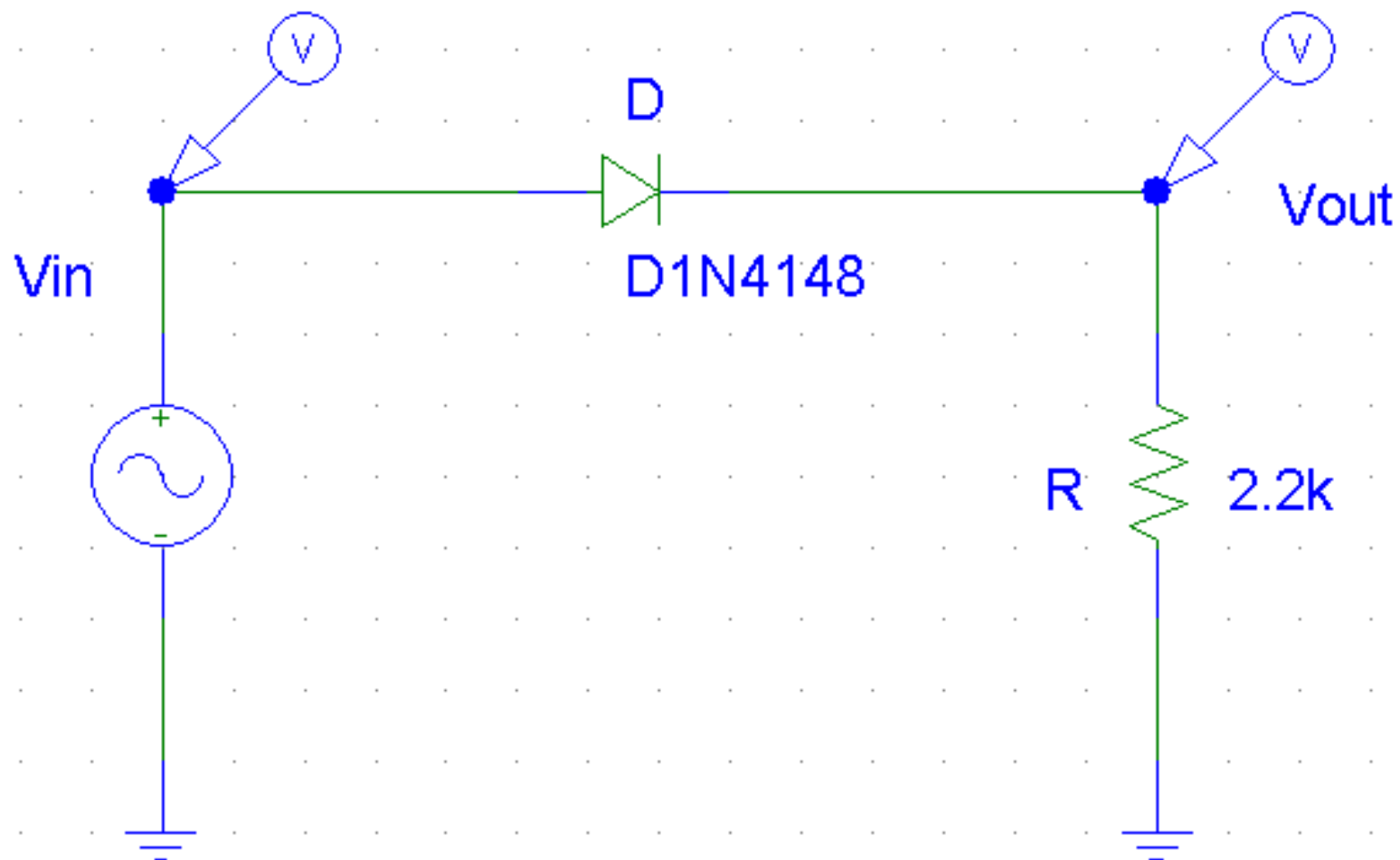
### ***CIRCUITI CON DIODI***

# Caratteristica I(V) del Diodo 1N4148

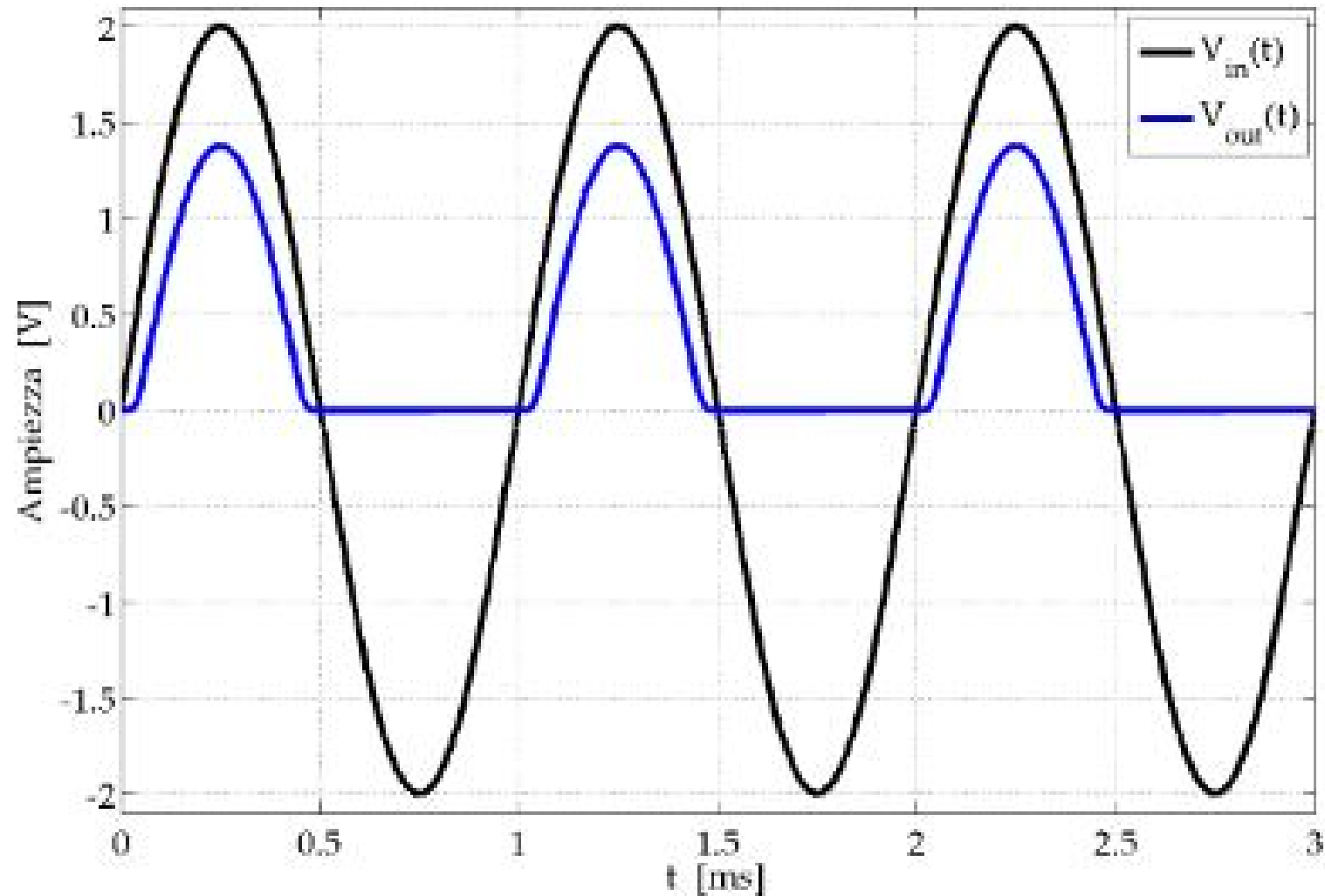
Datasheet del diodo a pag. 70



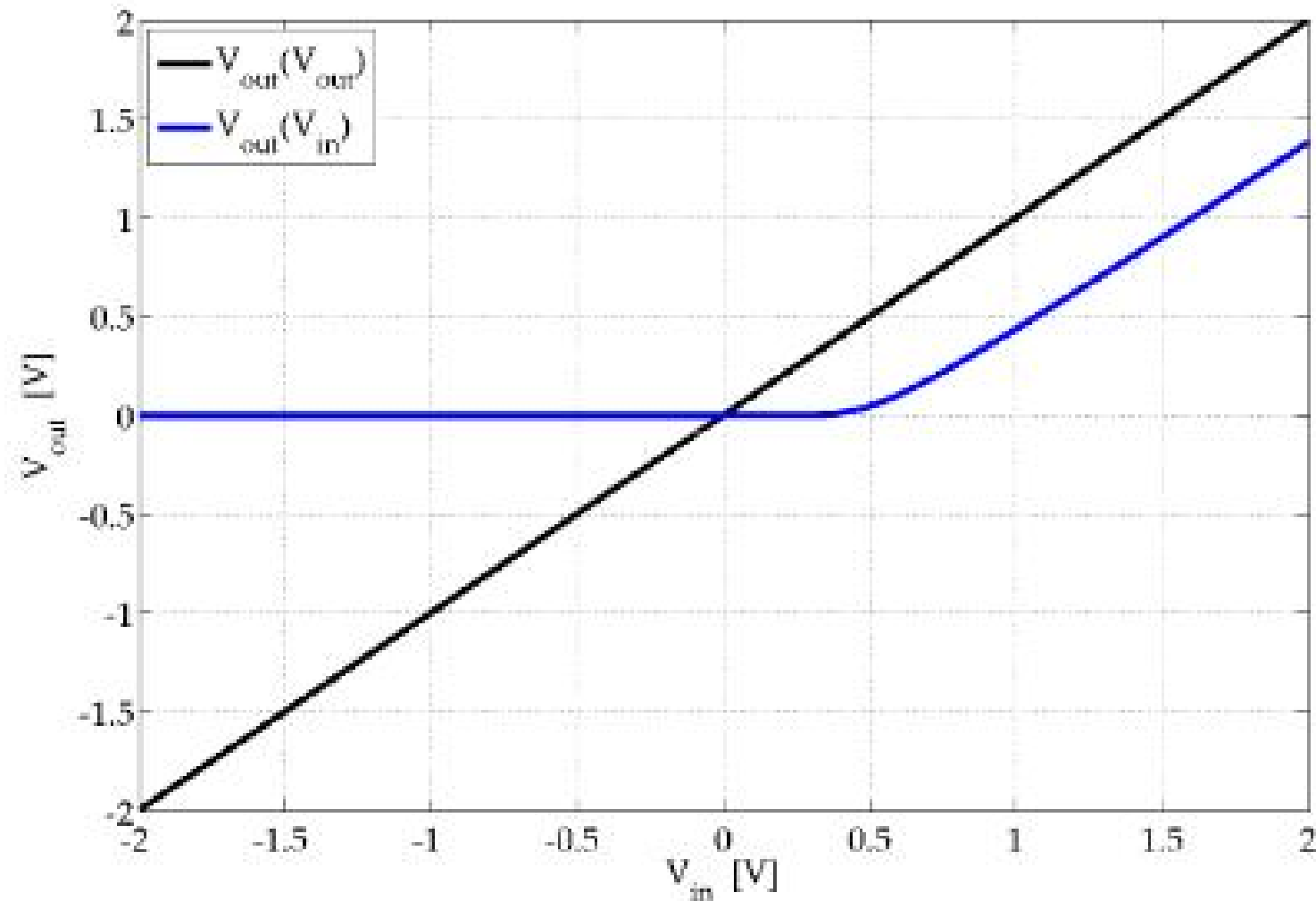
# Raddrizzatore a Singola Semionda (uscita 1)



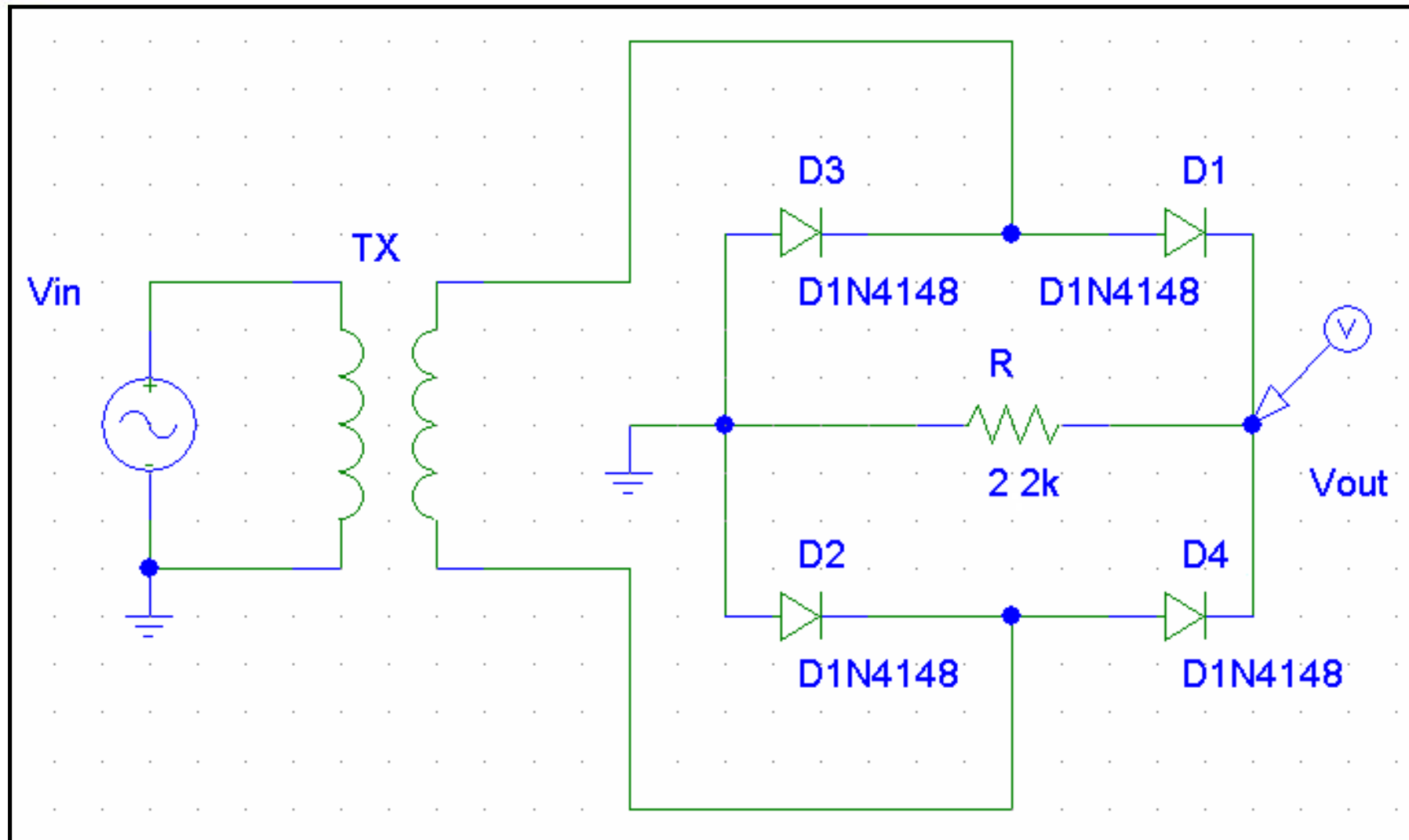
# Raddrizzatore a Singola Semionda (uscita 1)



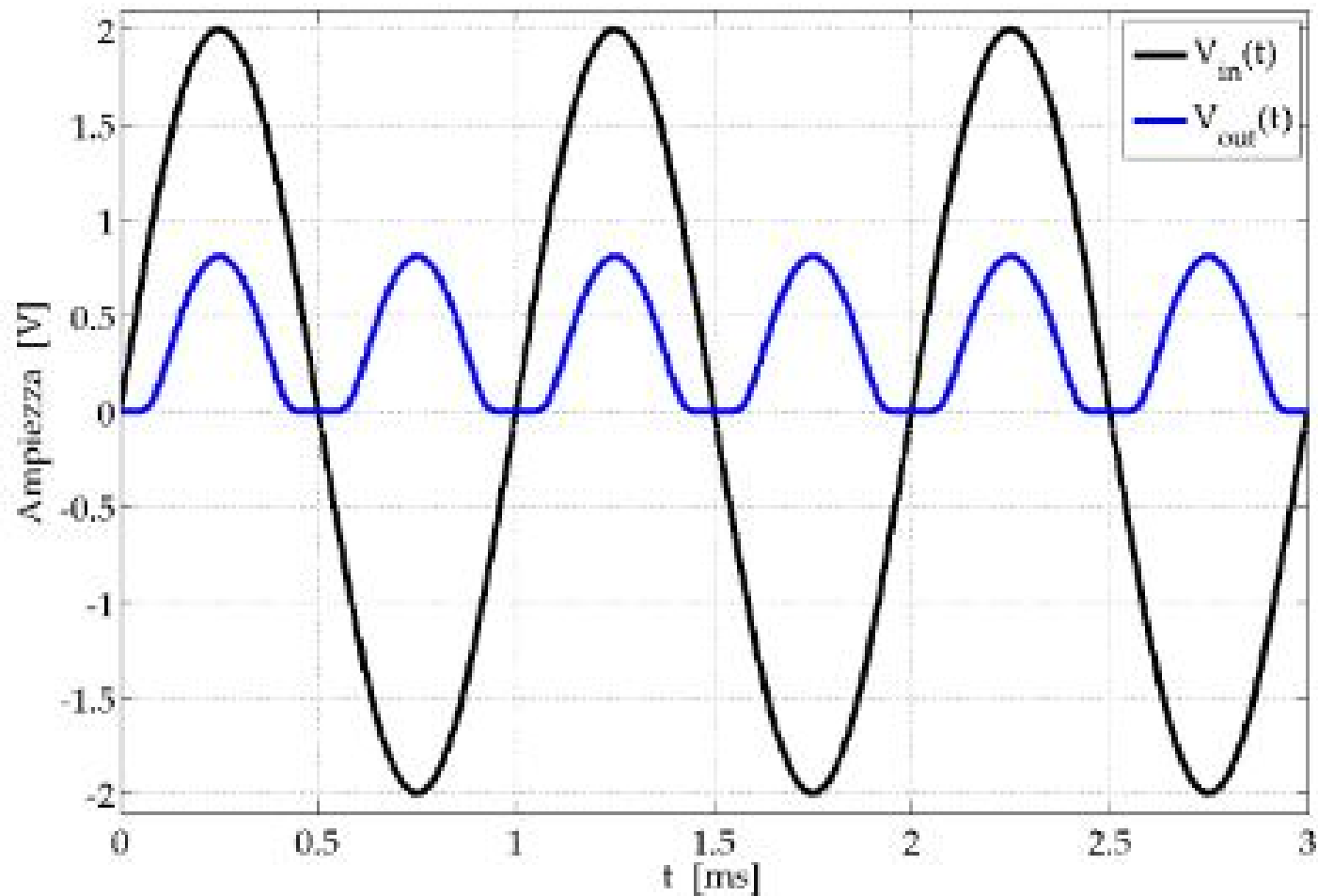
# Caratteristica $V_{out}(V_{in})$



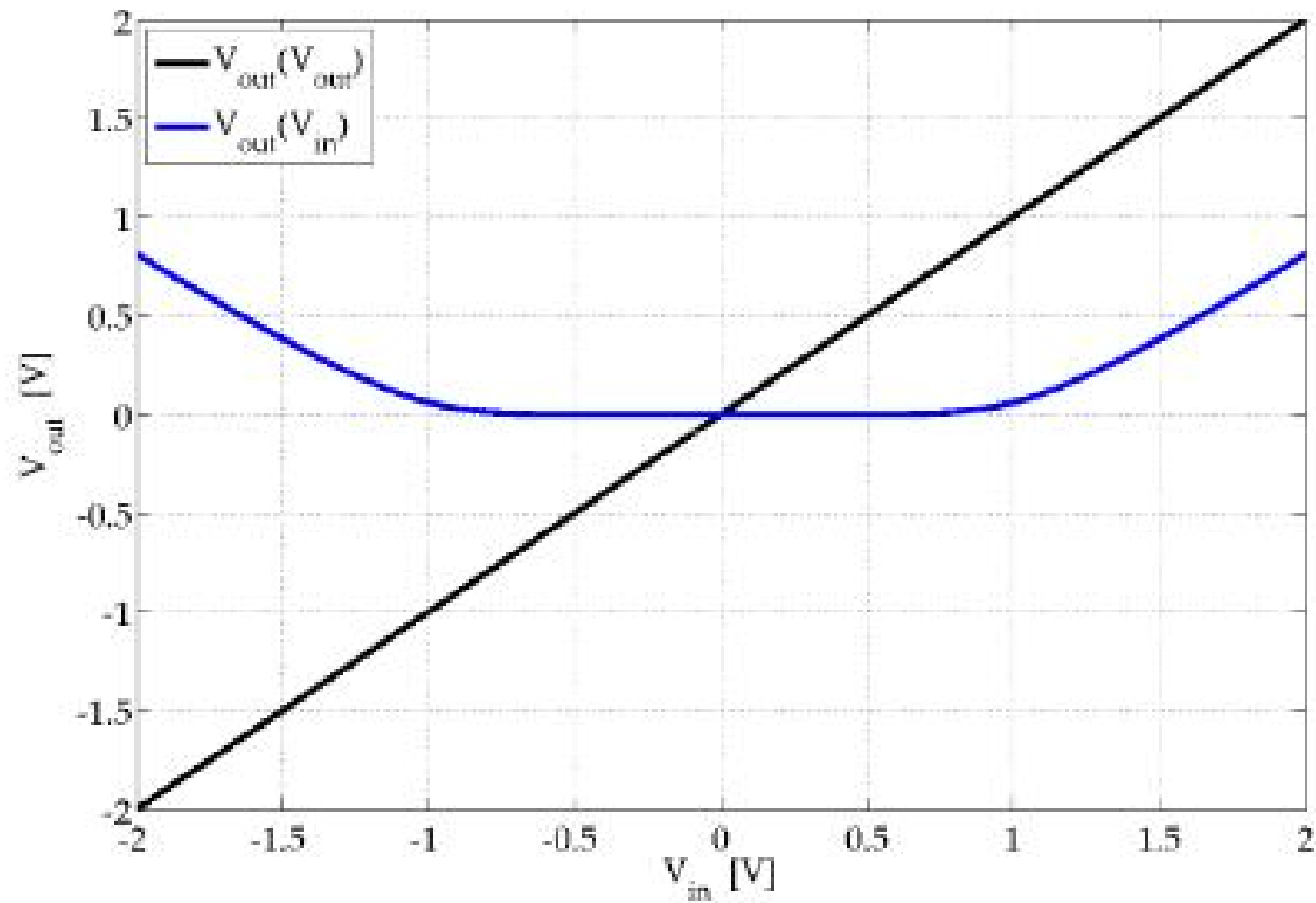
# Raddrizzatore a Ponte di Diodi (uscita 2)



# Raddrizzatore a Ponte di Diodi (uscita 2)



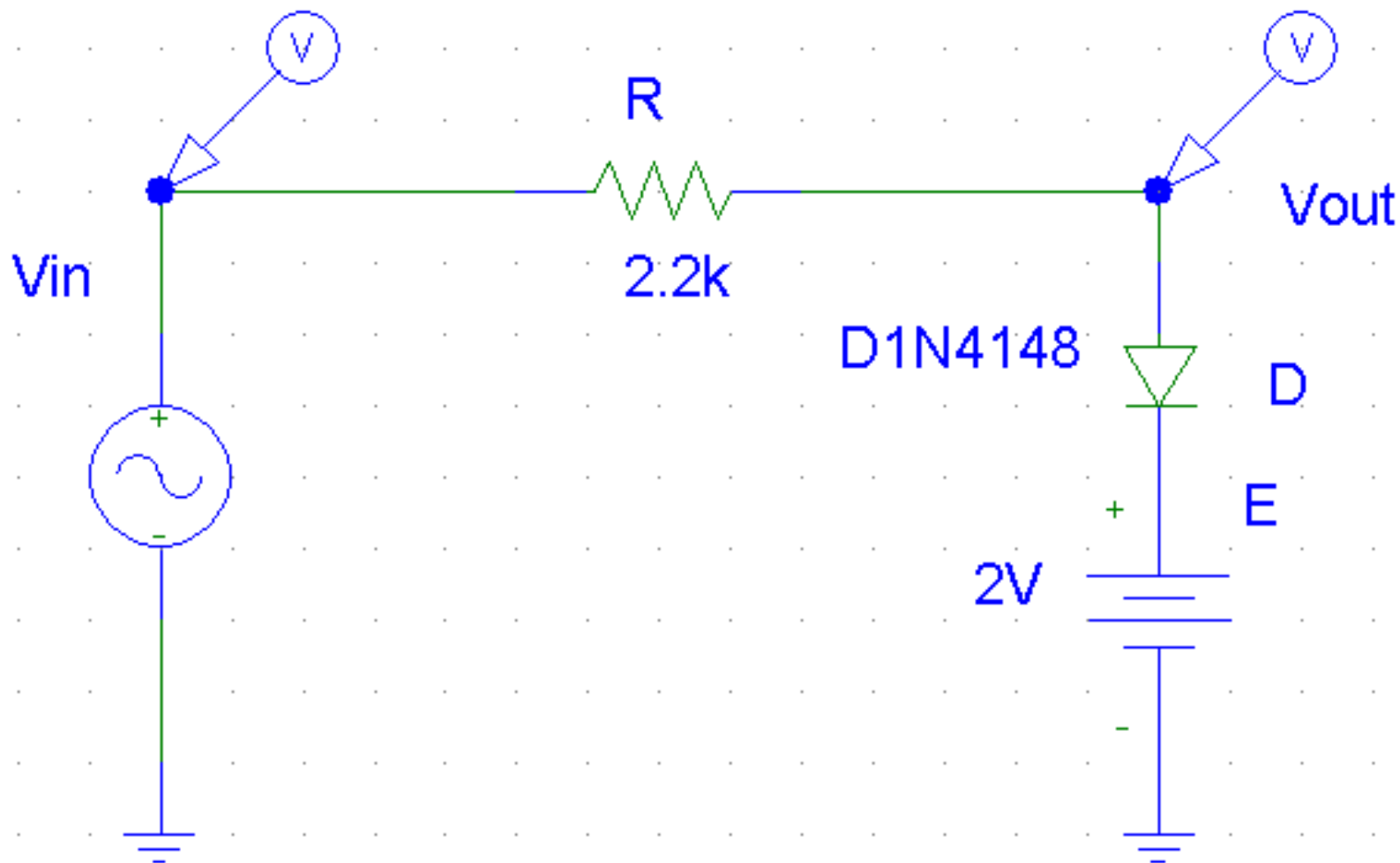
# Caratteristica $V_{out}$ ( $V_{in}$ )





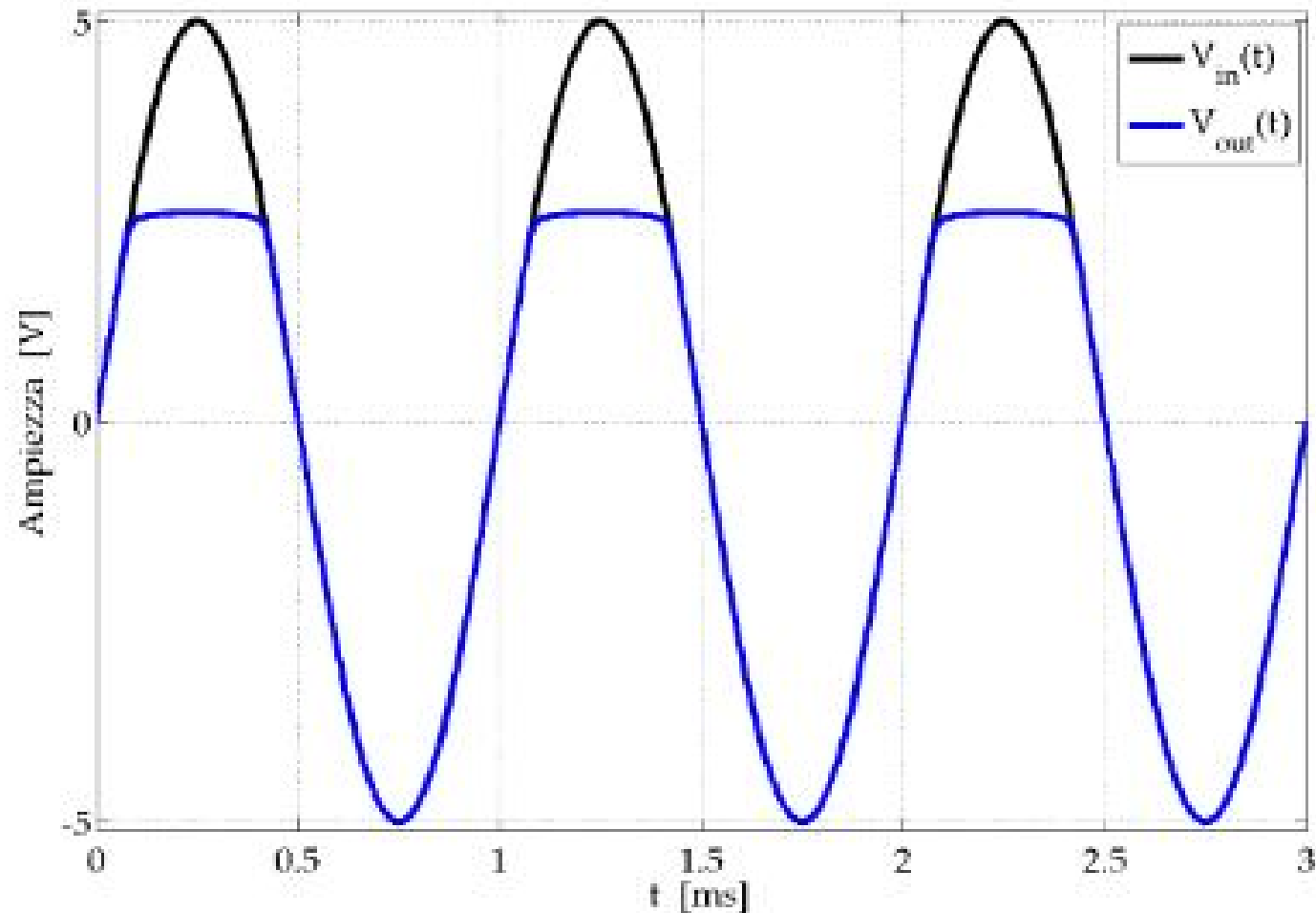
# Limitatore al Valore Superiore

## *Clipping* (uscita 3)

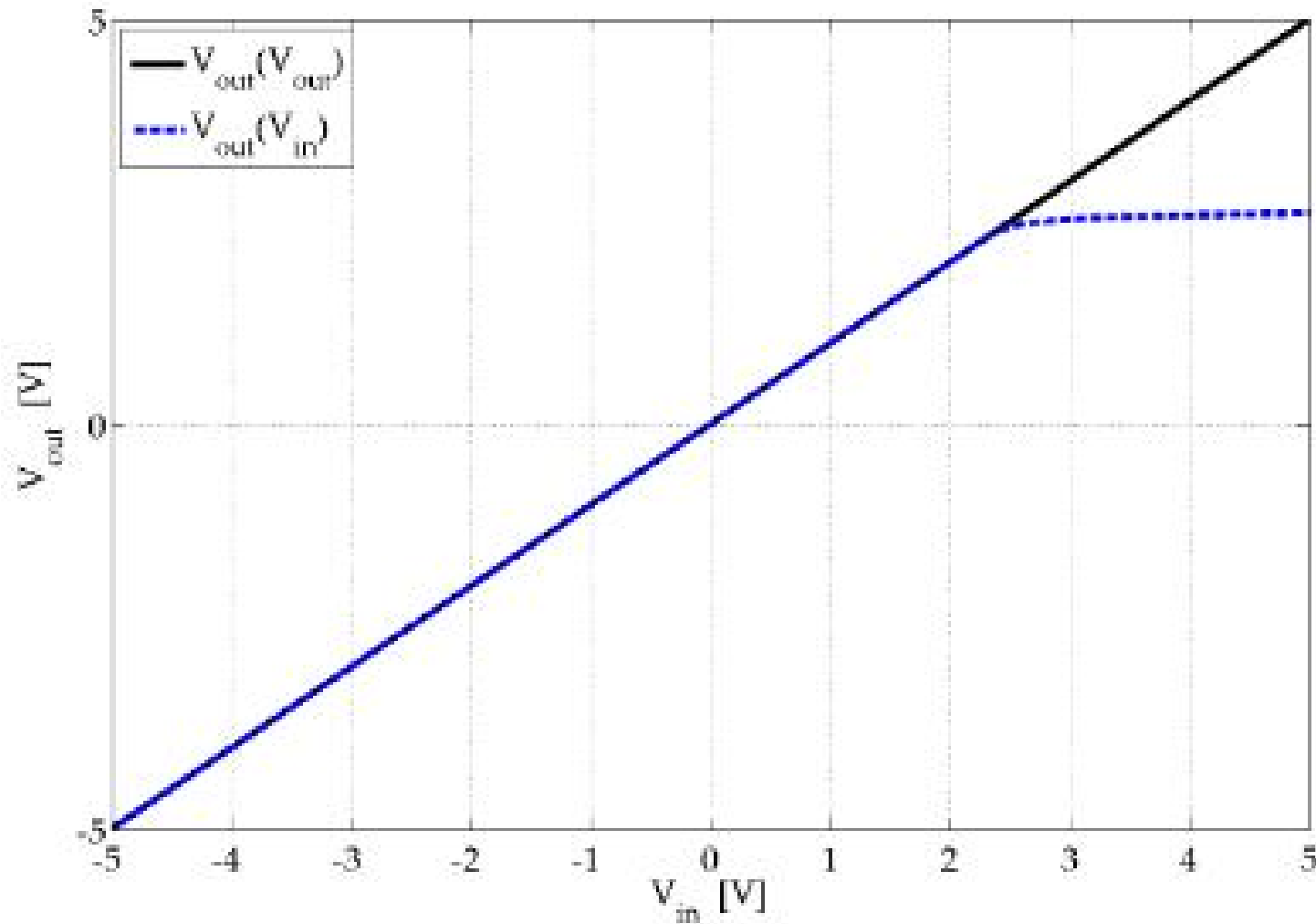


# Limitatore al Valore Superiore

## *Clipping* (uscita 3)

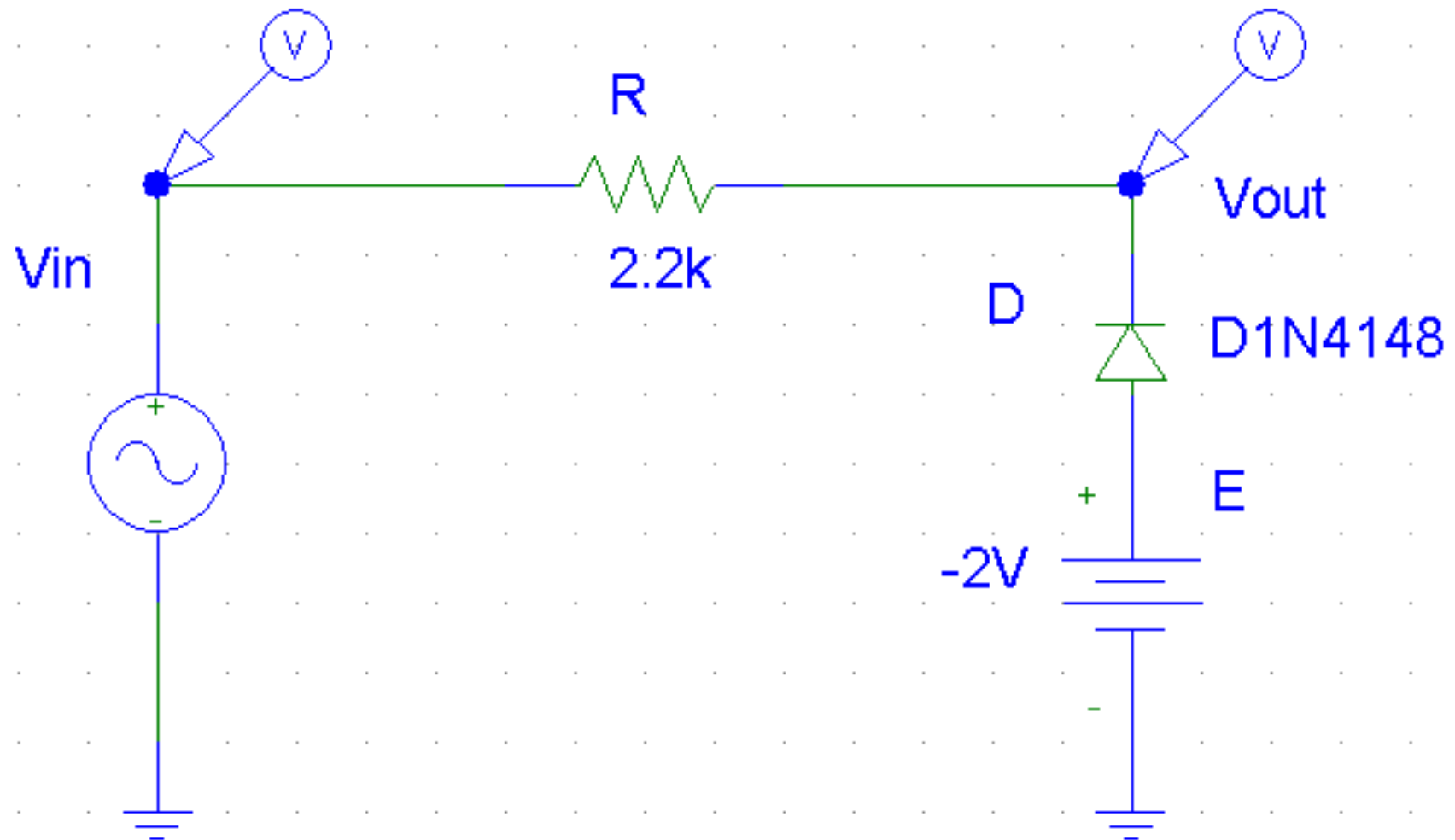


# Caratteristica $V_{out}$ ( $V_{in}$ )



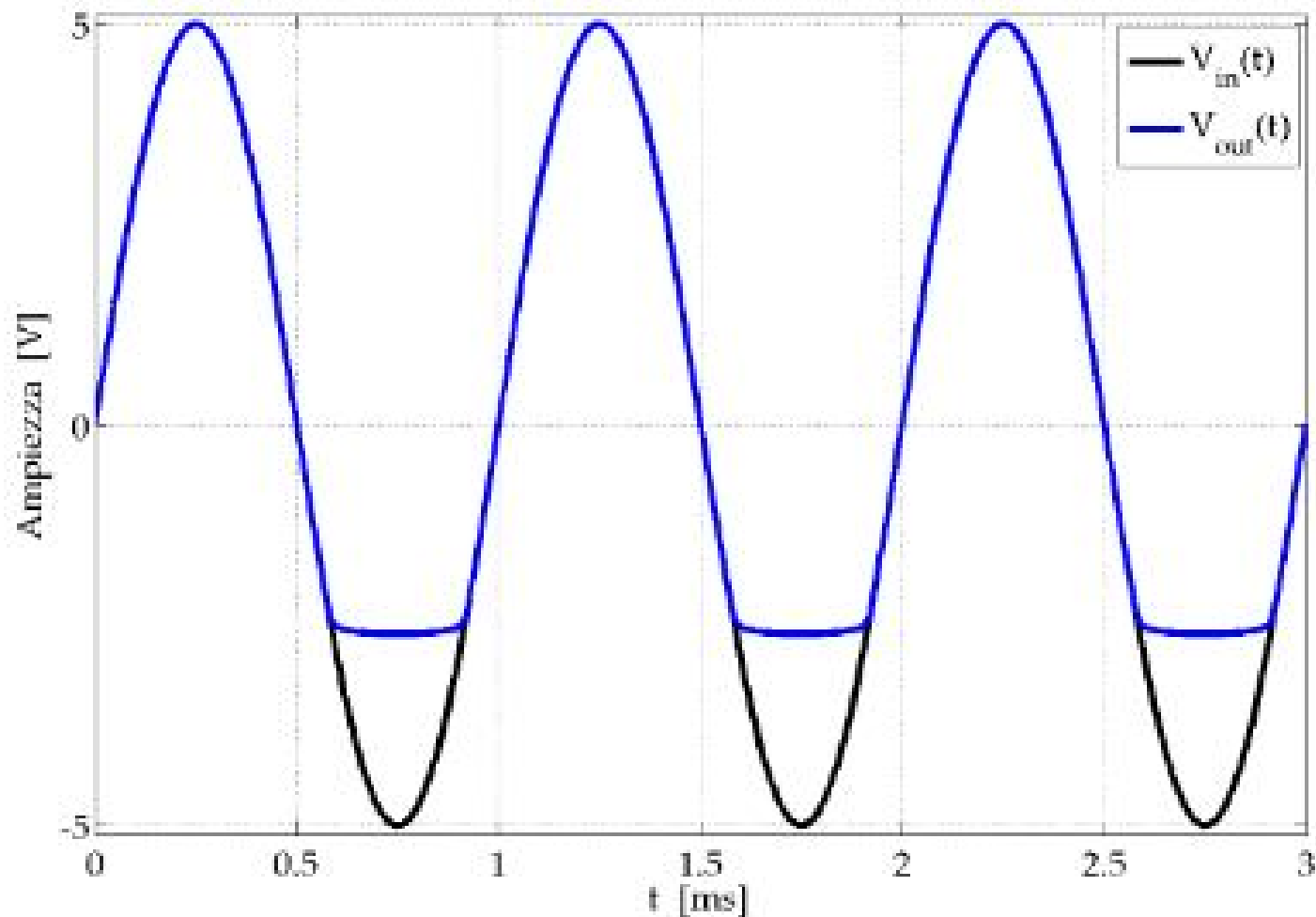
# Limitatore al Valore Inferiore

## *Clipping* (uscita 4)

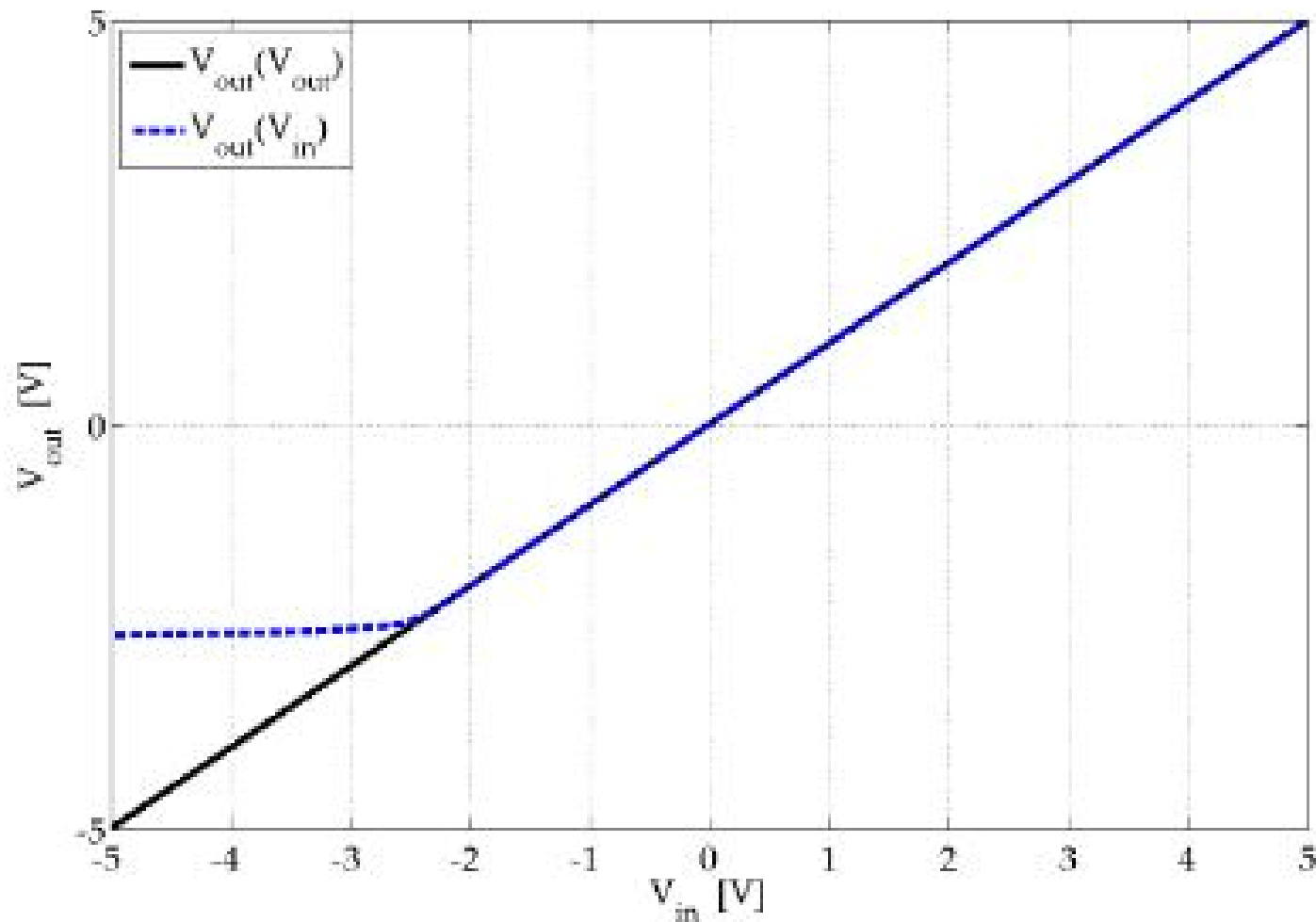


# Limitatore al Valore Inferiore

## *Clipping* (uscita 4)

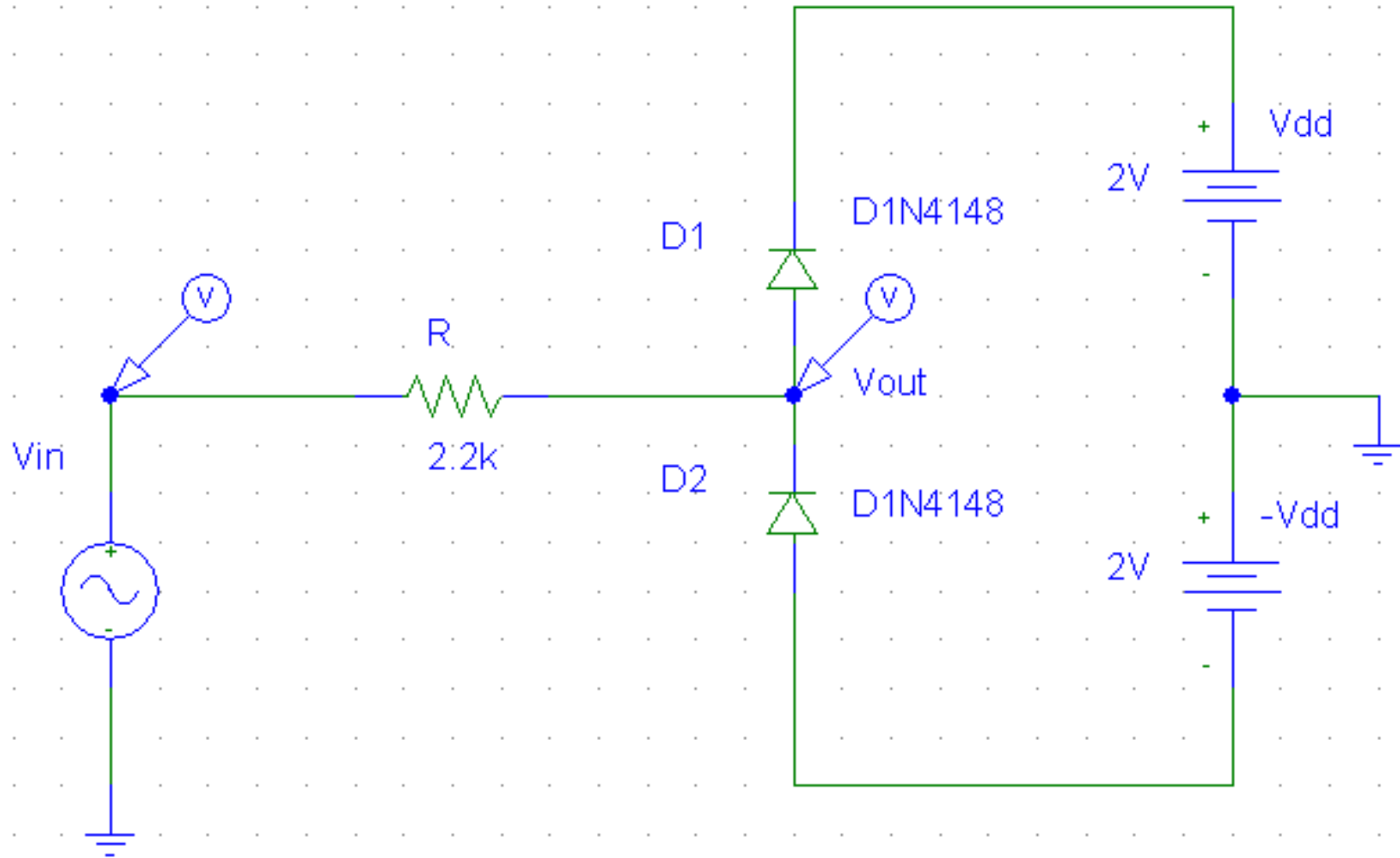


# Caratteristica $V_{out}$ ( $V_{in}$ )



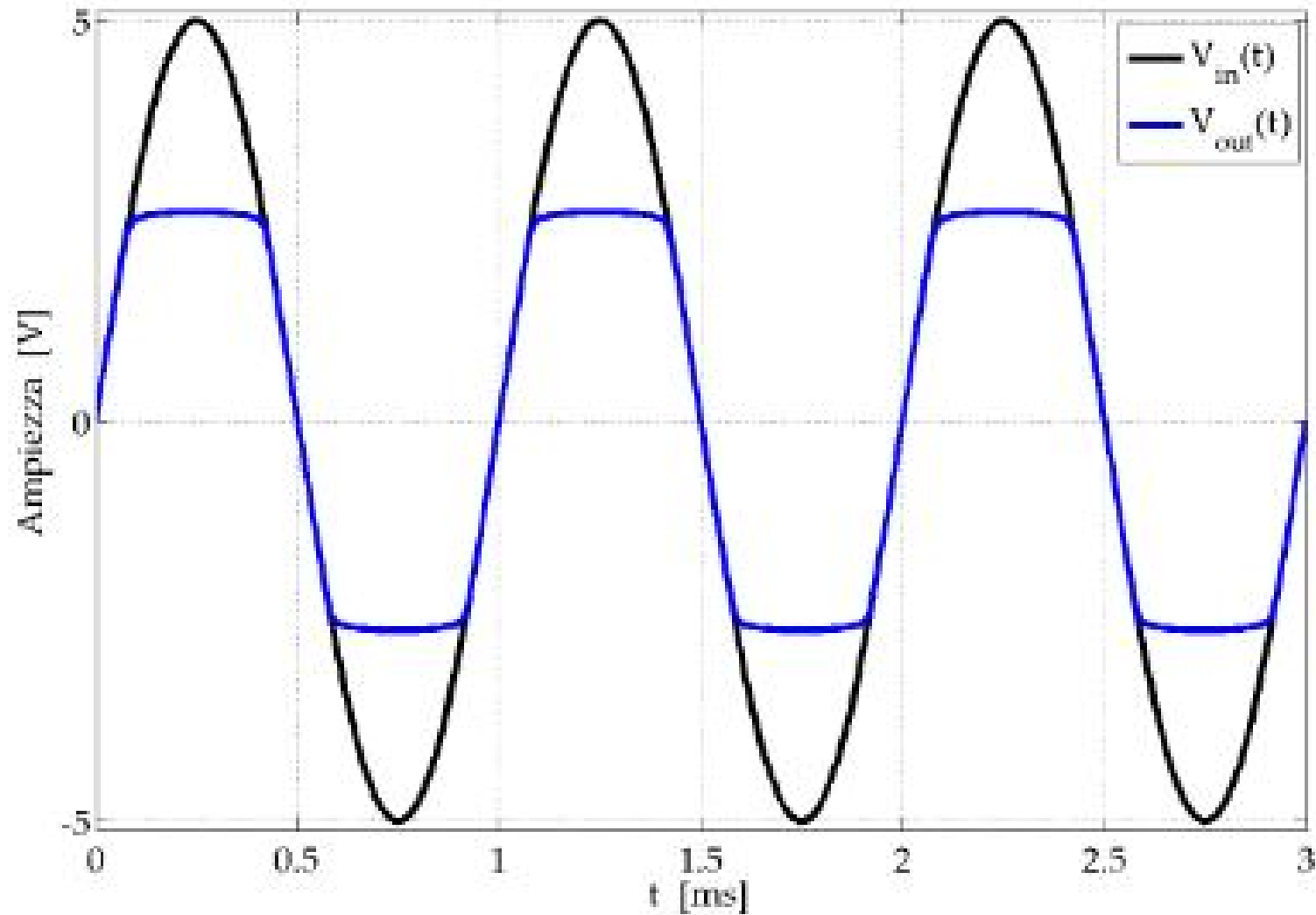
# Limitatore Max/Min

## *Clipping*



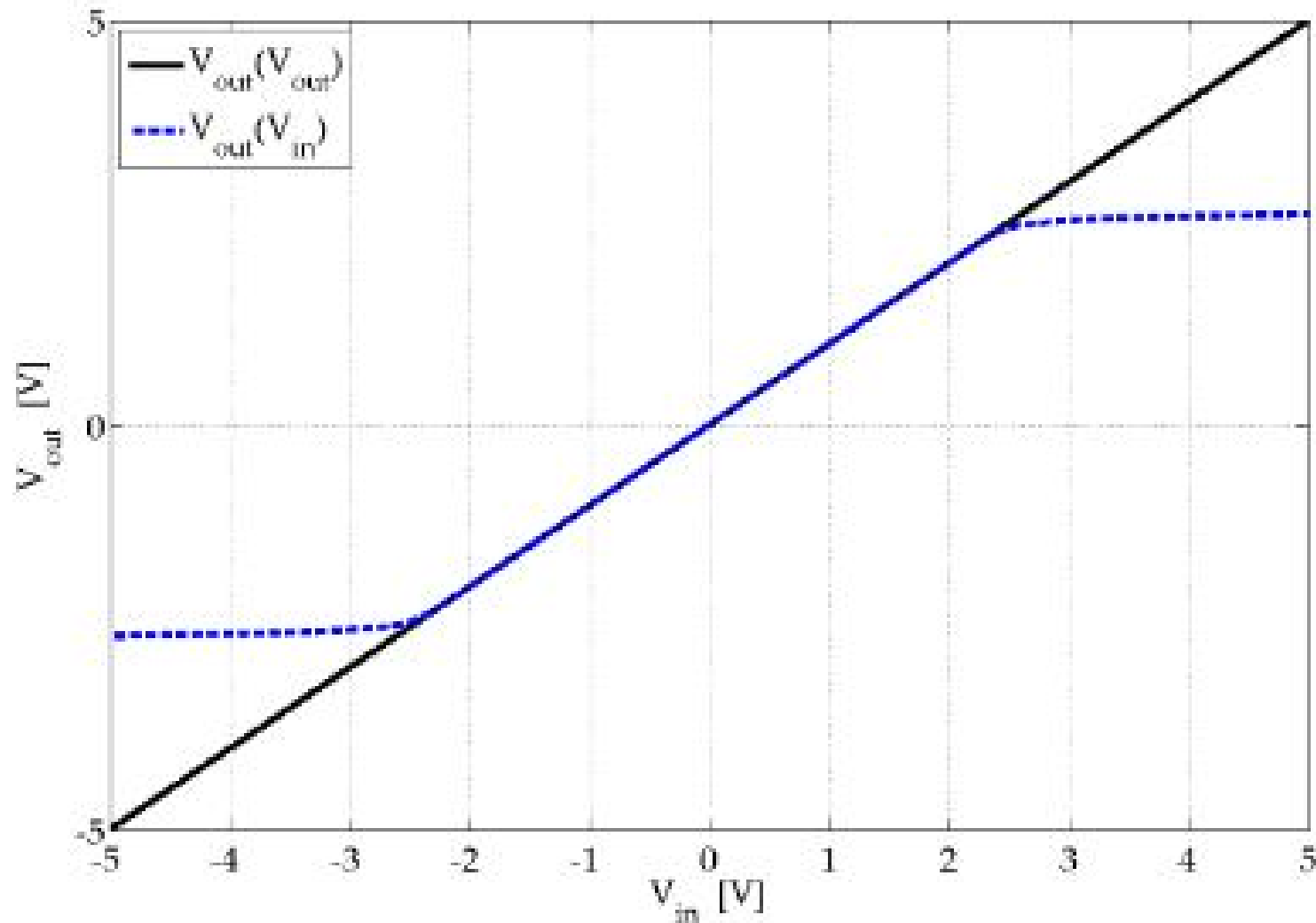
# Limitatore Max/Min

## *Clipping*



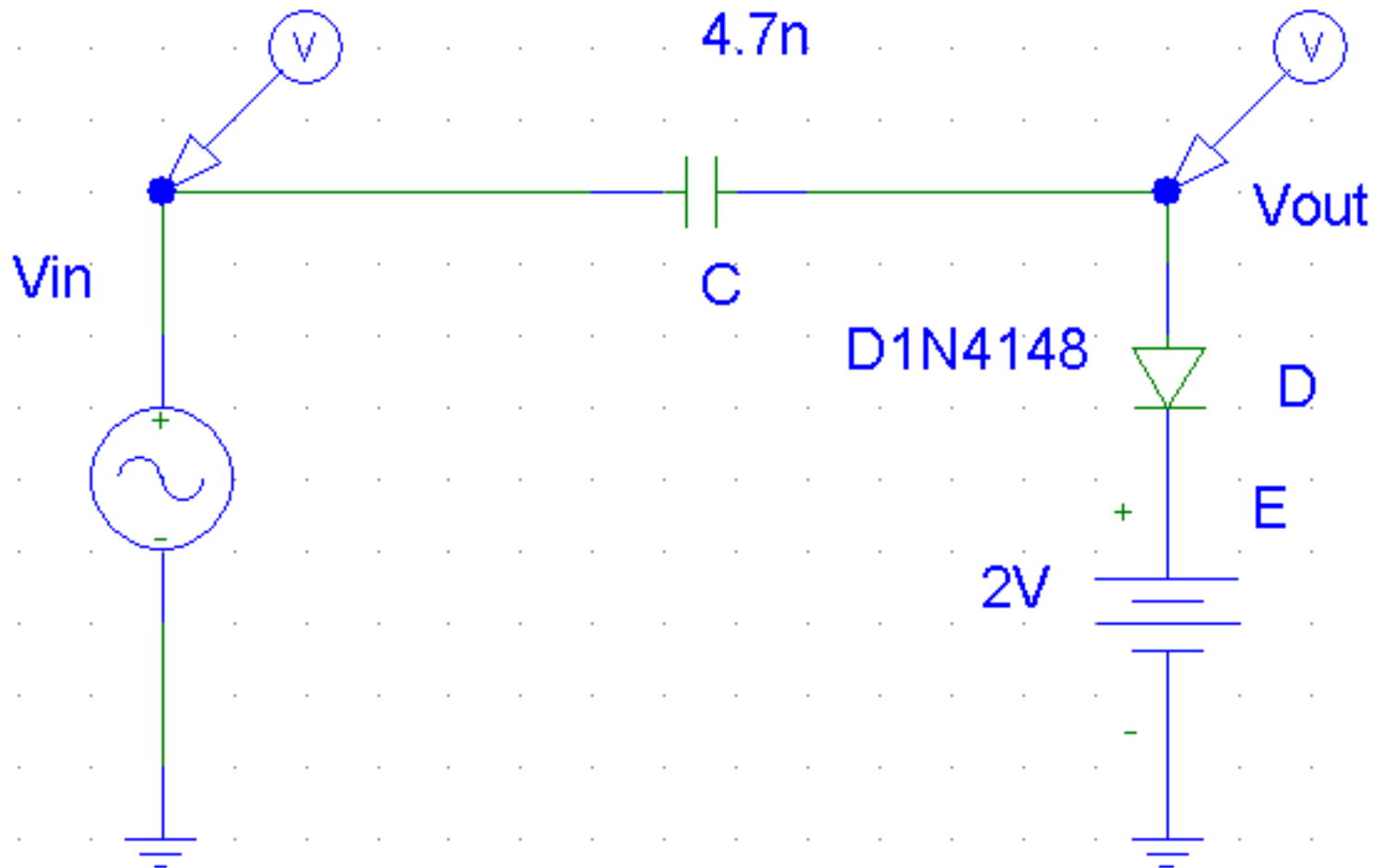


# Caratteristica $V_{out}$ ( $V_{in}$ )

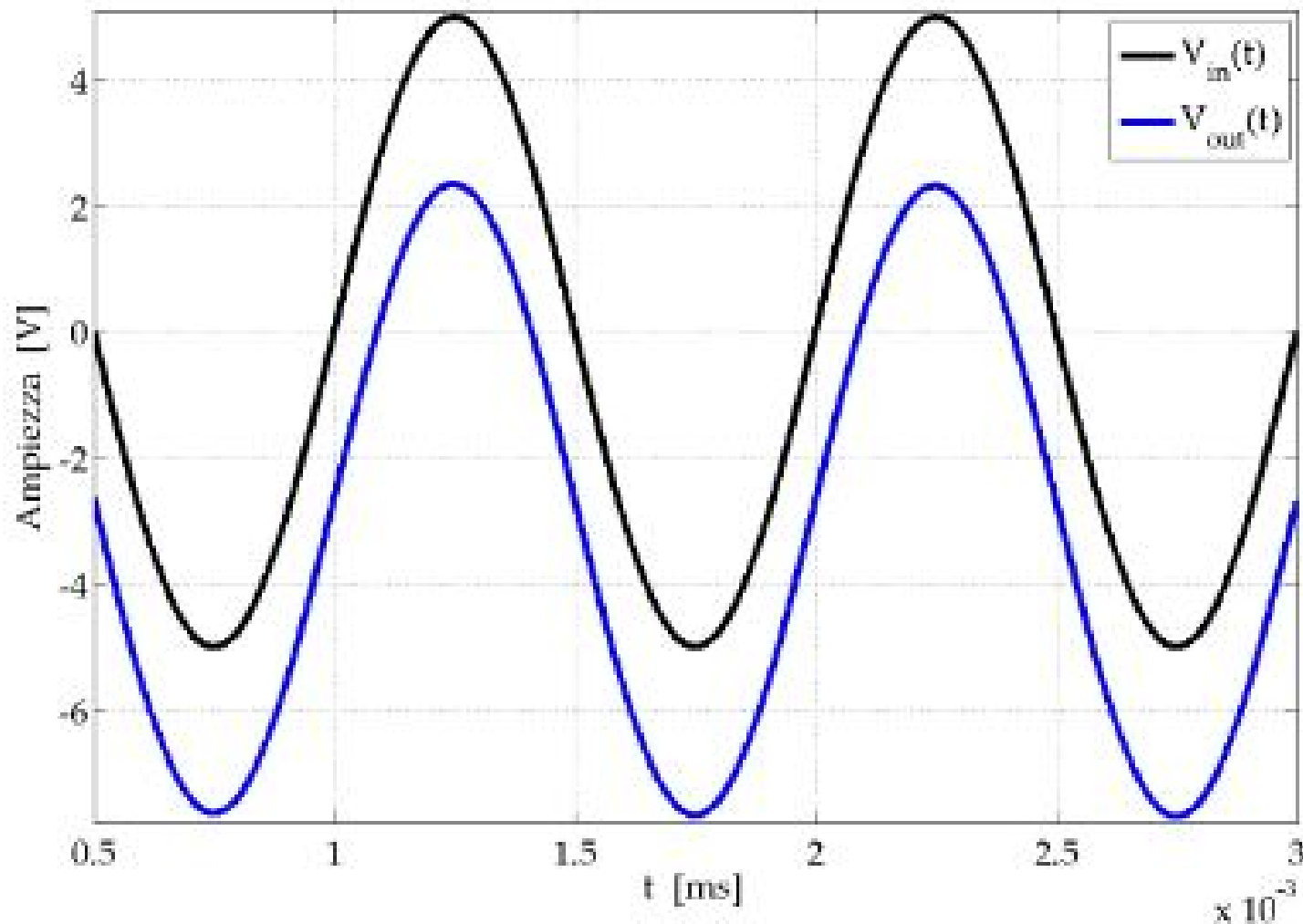


# Aggancio del Massimo

## *Clamping* (uscita 5)

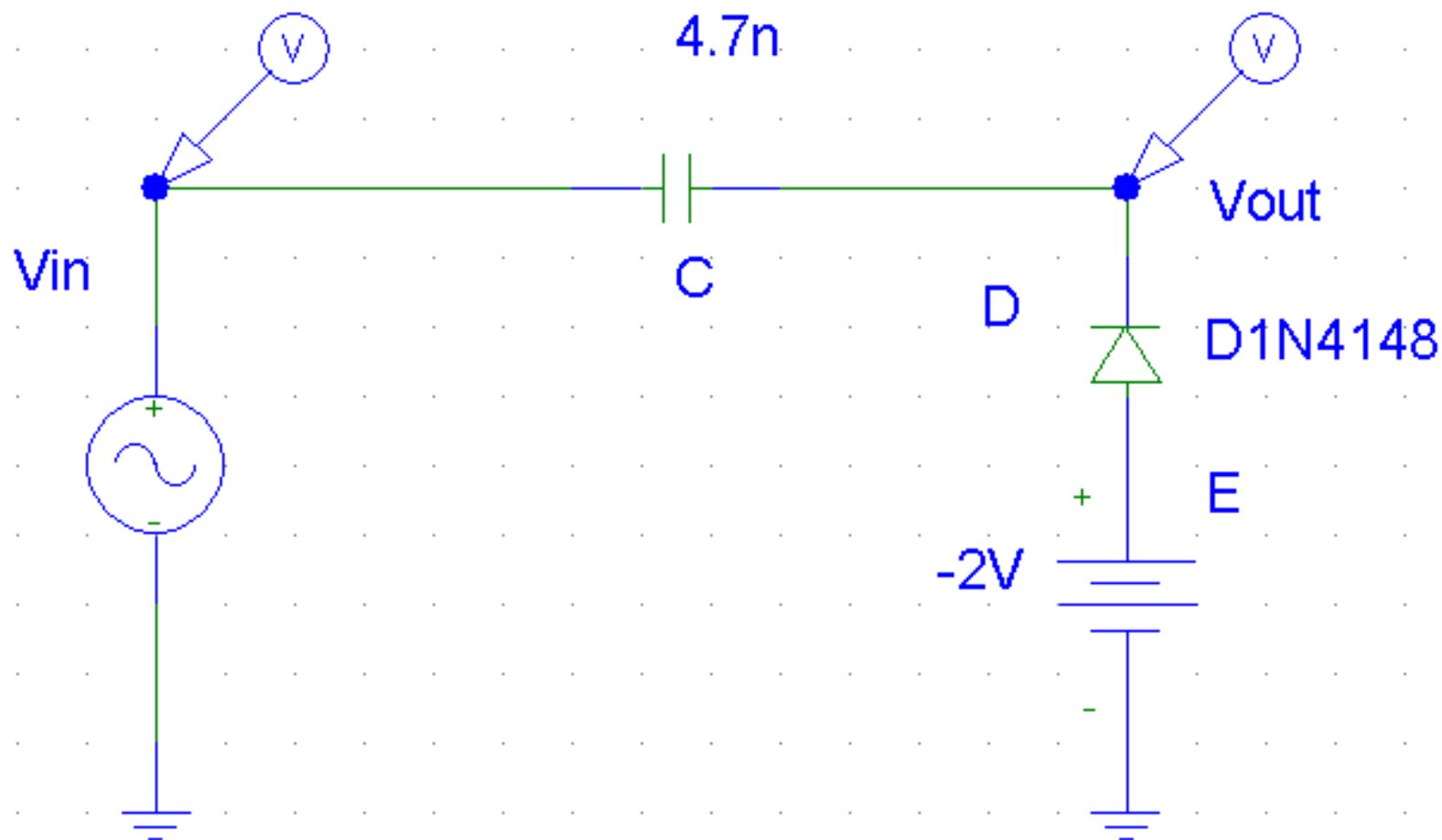


# Aggancio del Massimo *Clamping* (uscita 5)



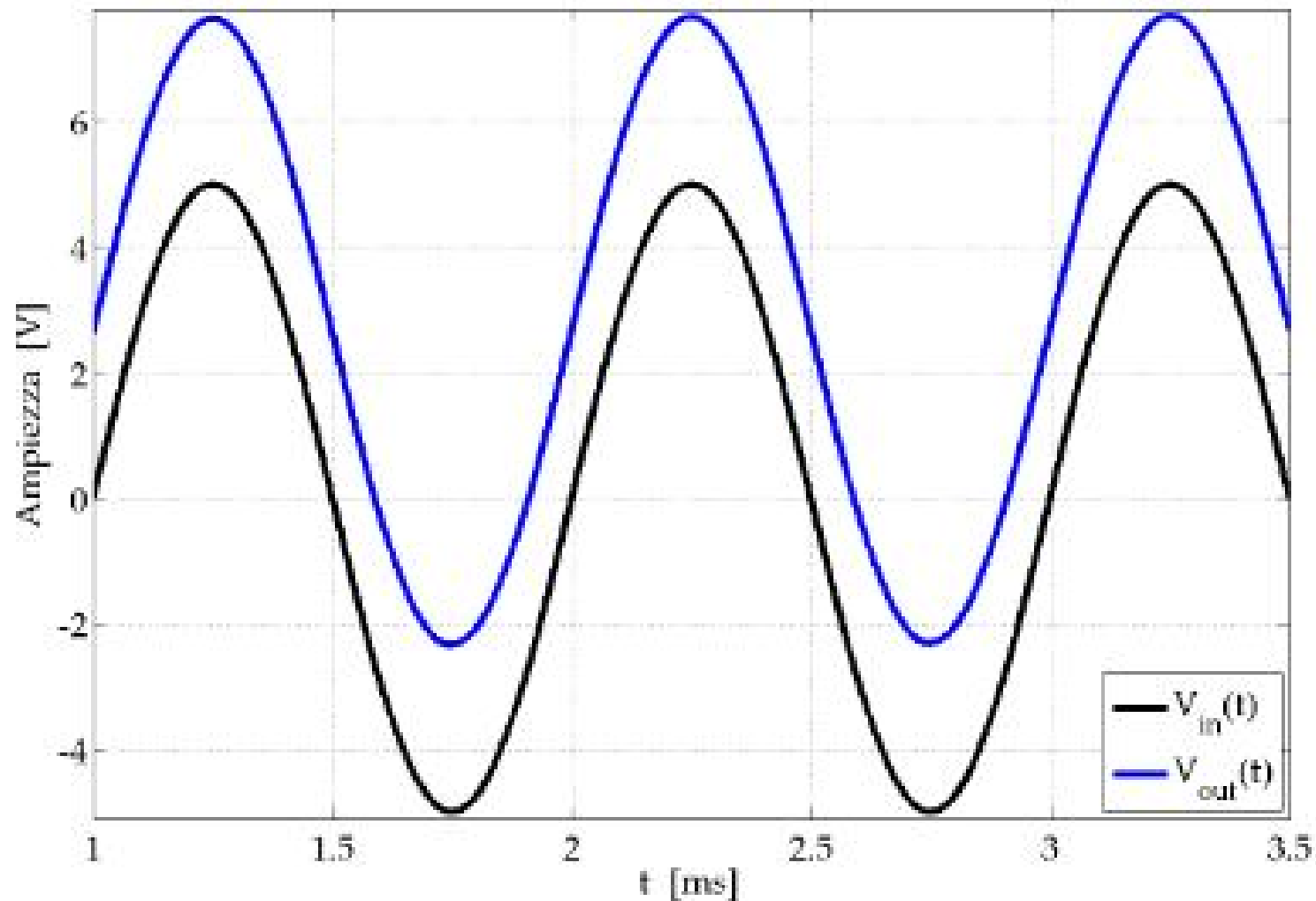
# Aggancio del Minimo

## *Clamping* (uscita 6)

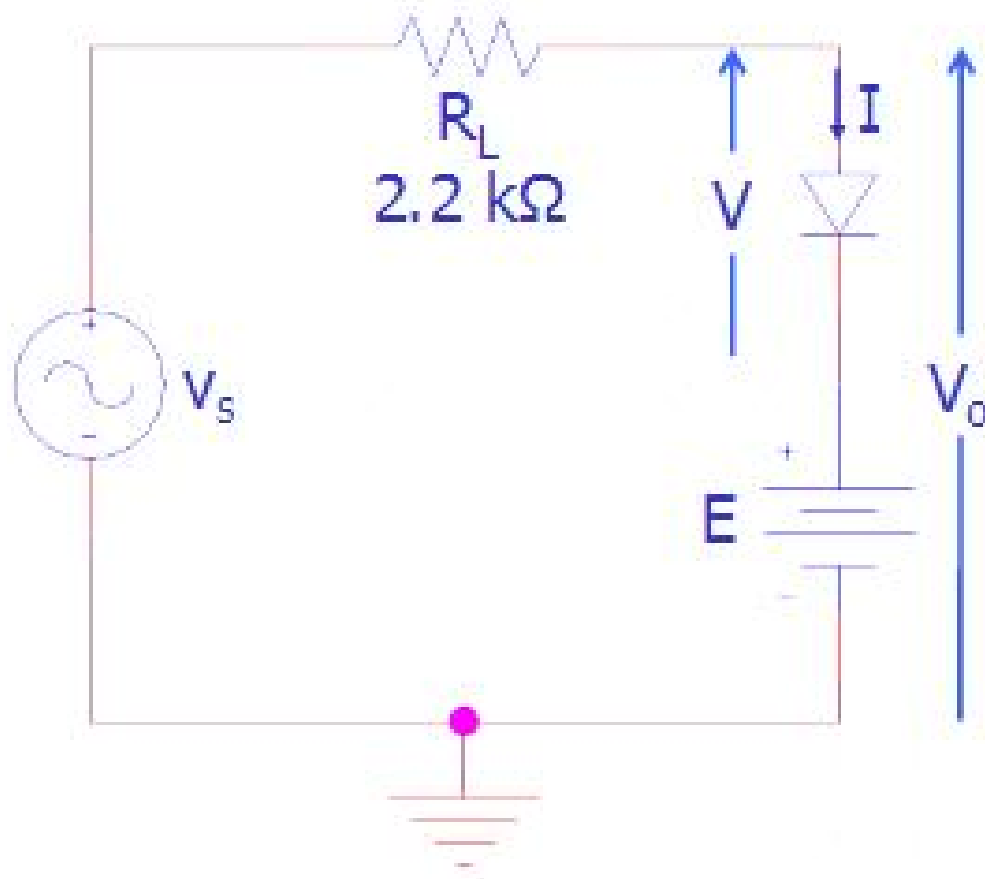


# Aggancio del Minimo

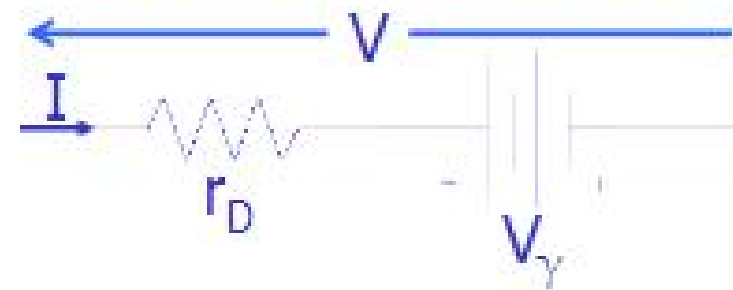
## *Clamping* (uscita 6)



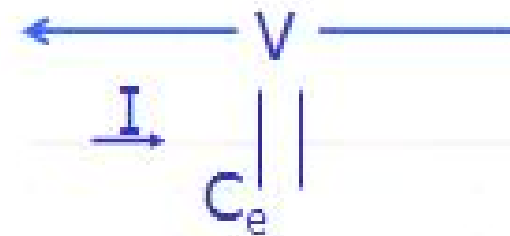
# Polarizzazione e Parametri di Piccolo Segnale



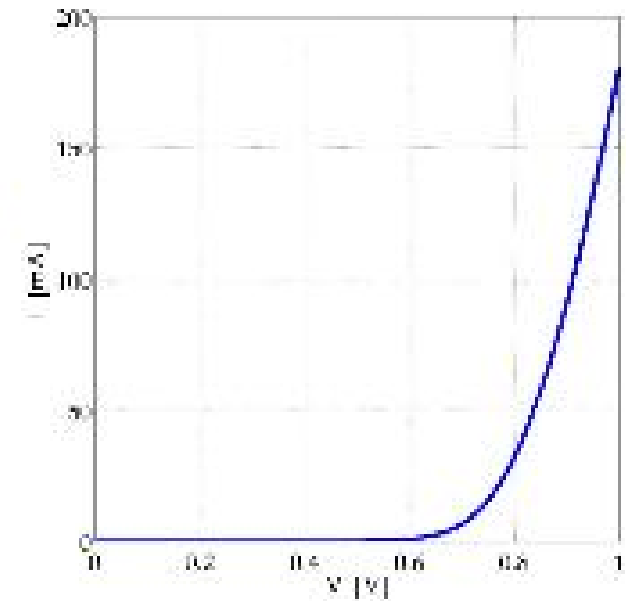
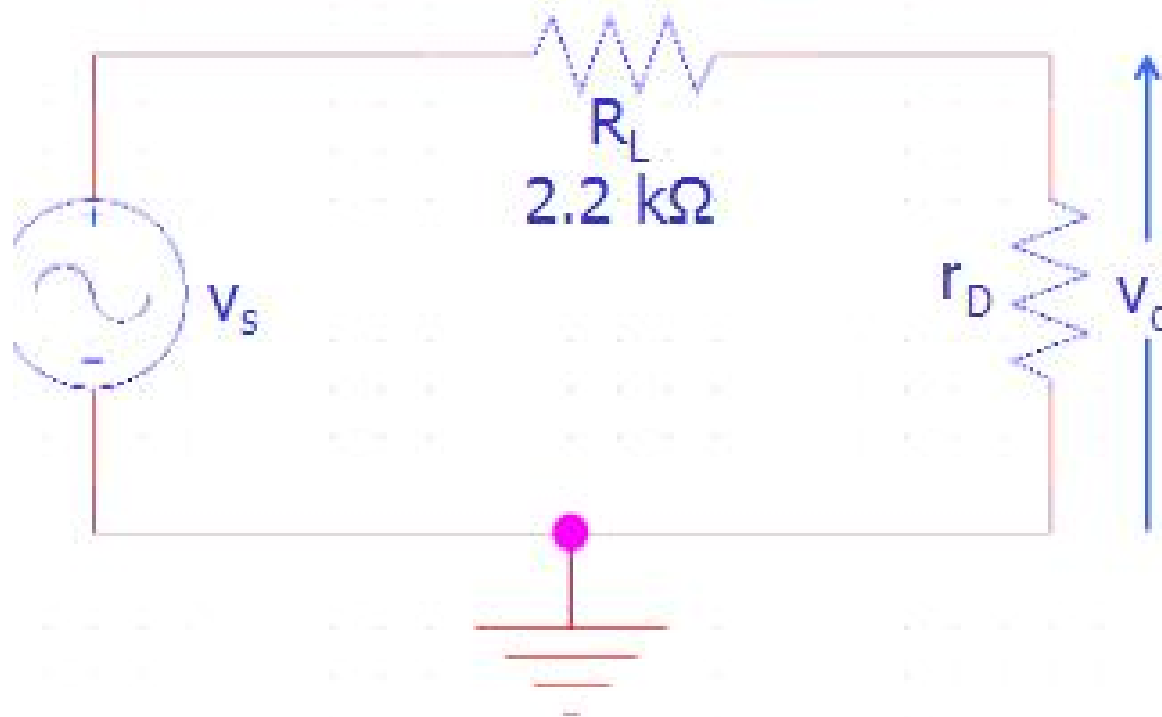
$E < 0 \text{ V} \Rightarrow$  Diodo in Diretta



$E > 0 \text{ V} \Rightarrow$  Diodo in Inversa



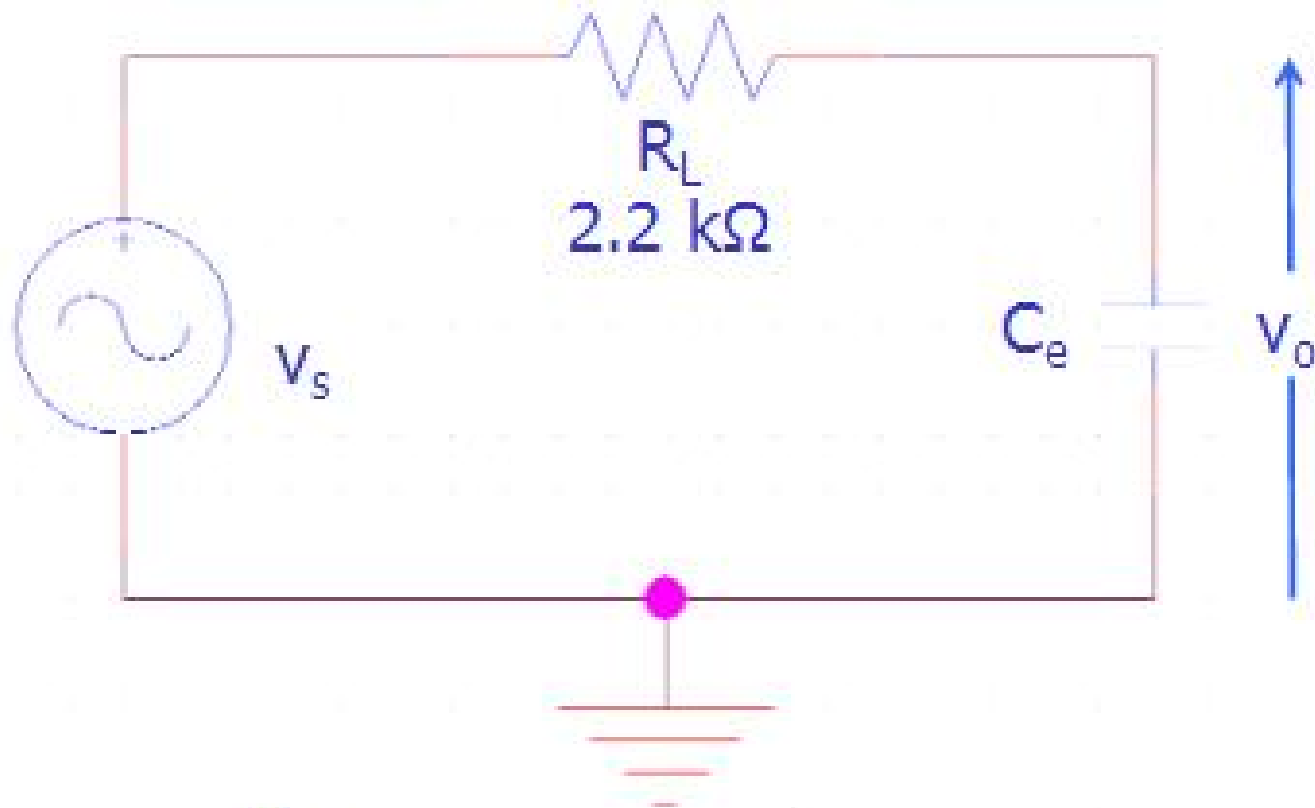
# Polarizzazione Diretta ( $E < 0V$ )



$$r_D = \left[ \frac{dI}{dV} \right]^{-1} = \frac{nV_T}{I}$$

$$V_o = V_s \frac{r_D}{r_D + R_L}$$

# Polarizzazione Inversa ( $E > 0V$ )

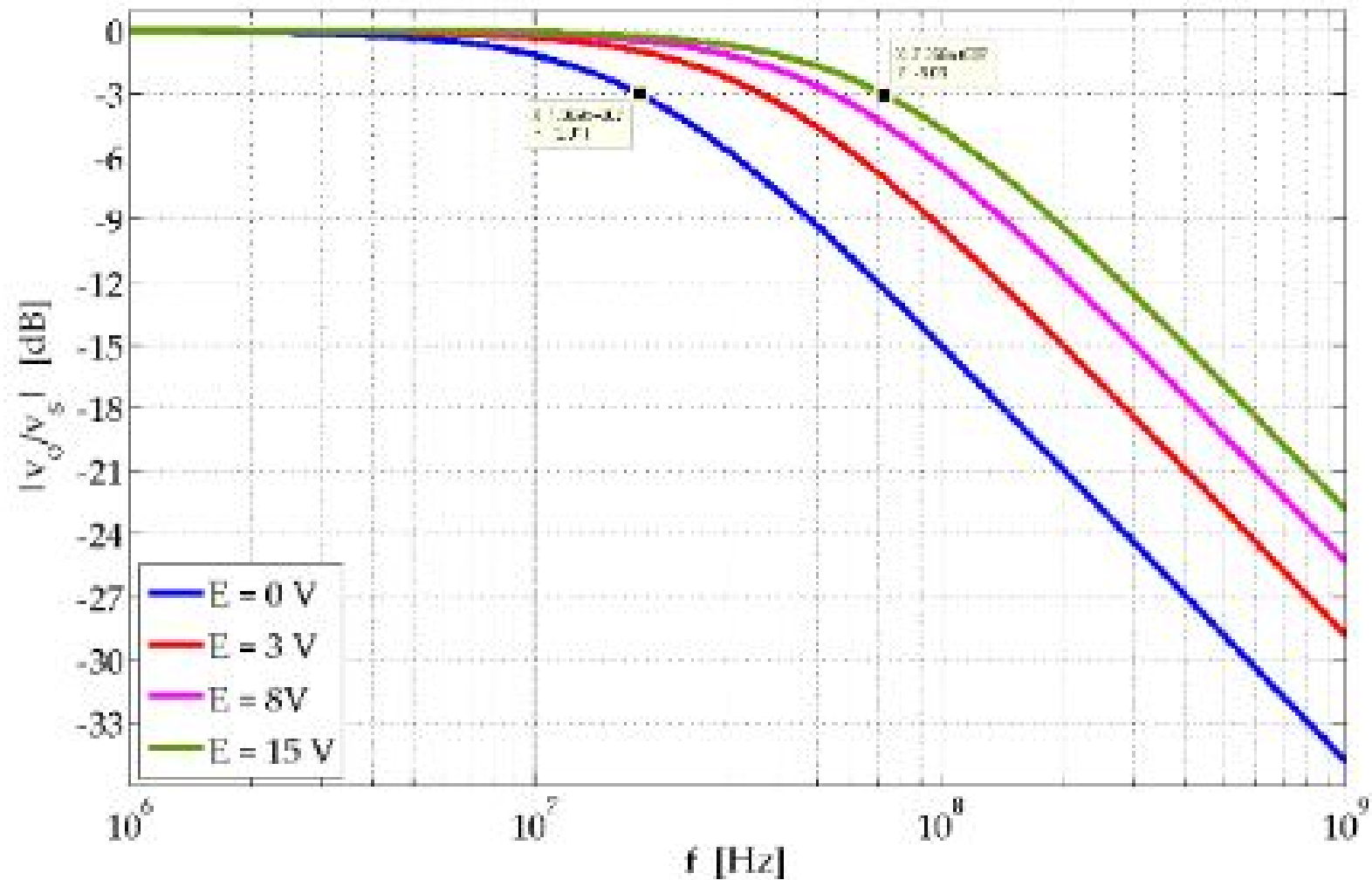


$$C_e = \frac{C_0}{\left[1 + \frac{E}{V_C}\right]^{1/2}}$$

$$V_o = V_s \frac{1}{1 + j\omega C_e R_L}$$



# Polarizzazione Inversa ( $E > 0V$ )



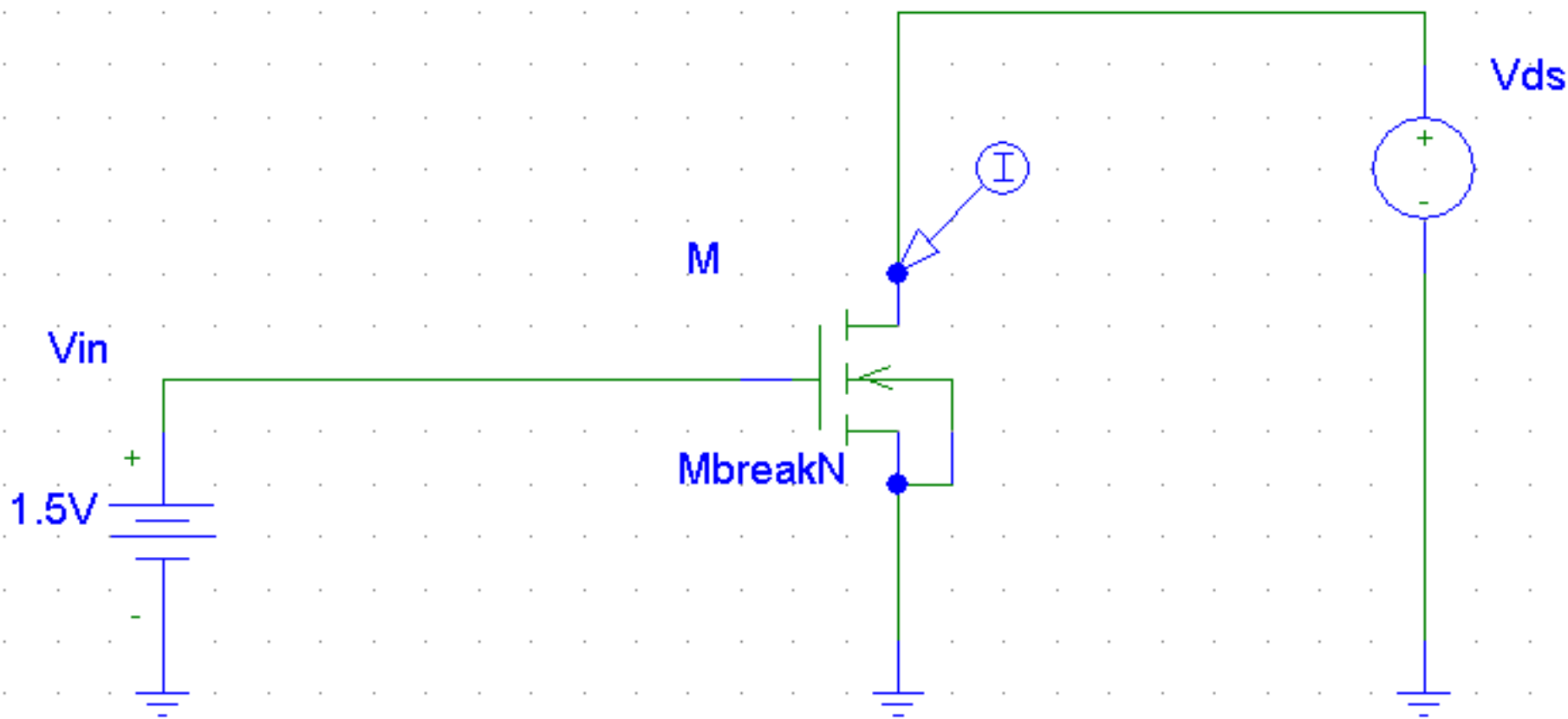
# **Elettronica I**

## **- Quarta Esercitazione -**

---

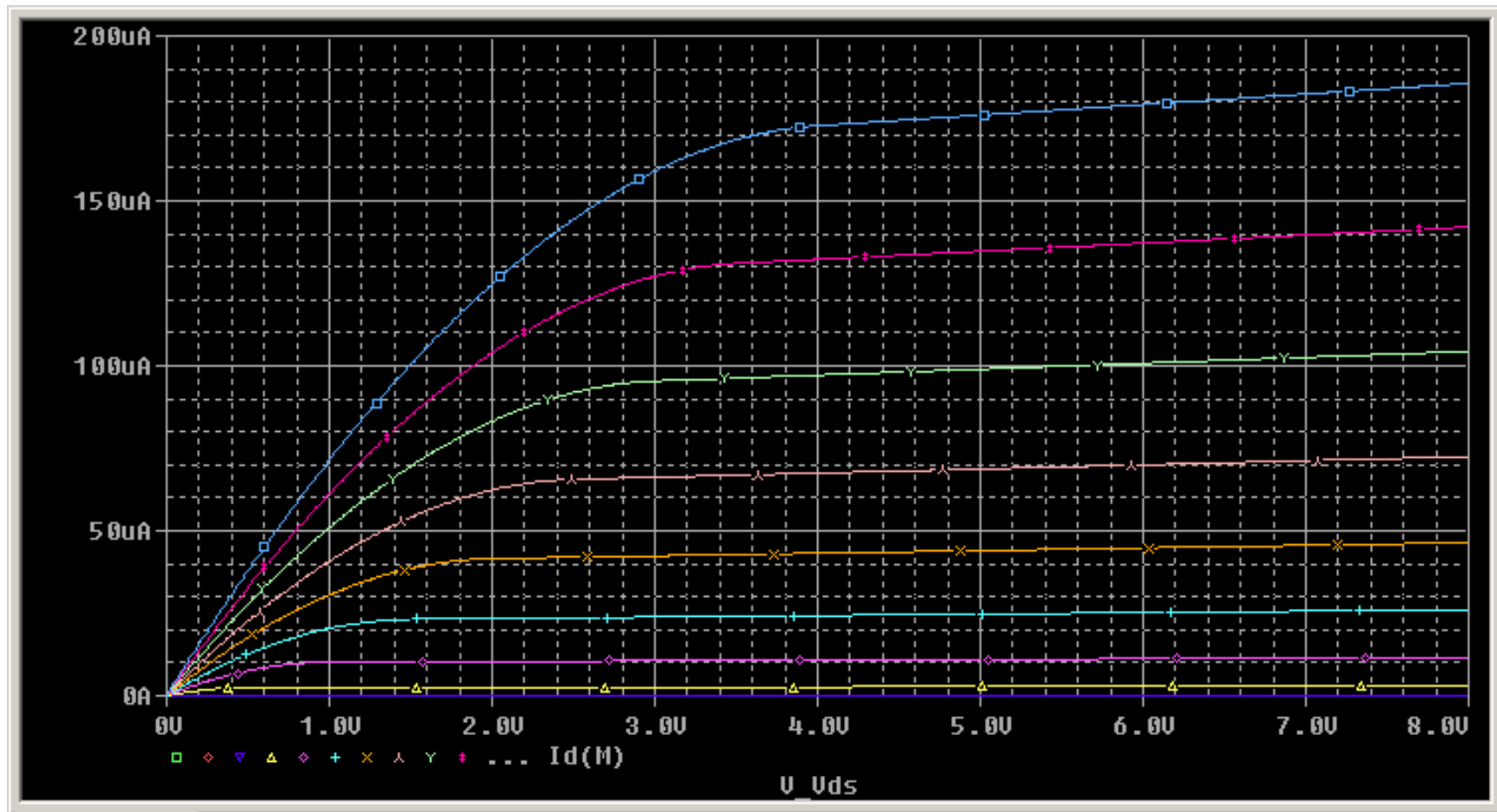
### ***INVERTITORI REALIZZATI CON TRANSISTORI NMOS***

# Transistore NMOS ad Arricchimento (1)



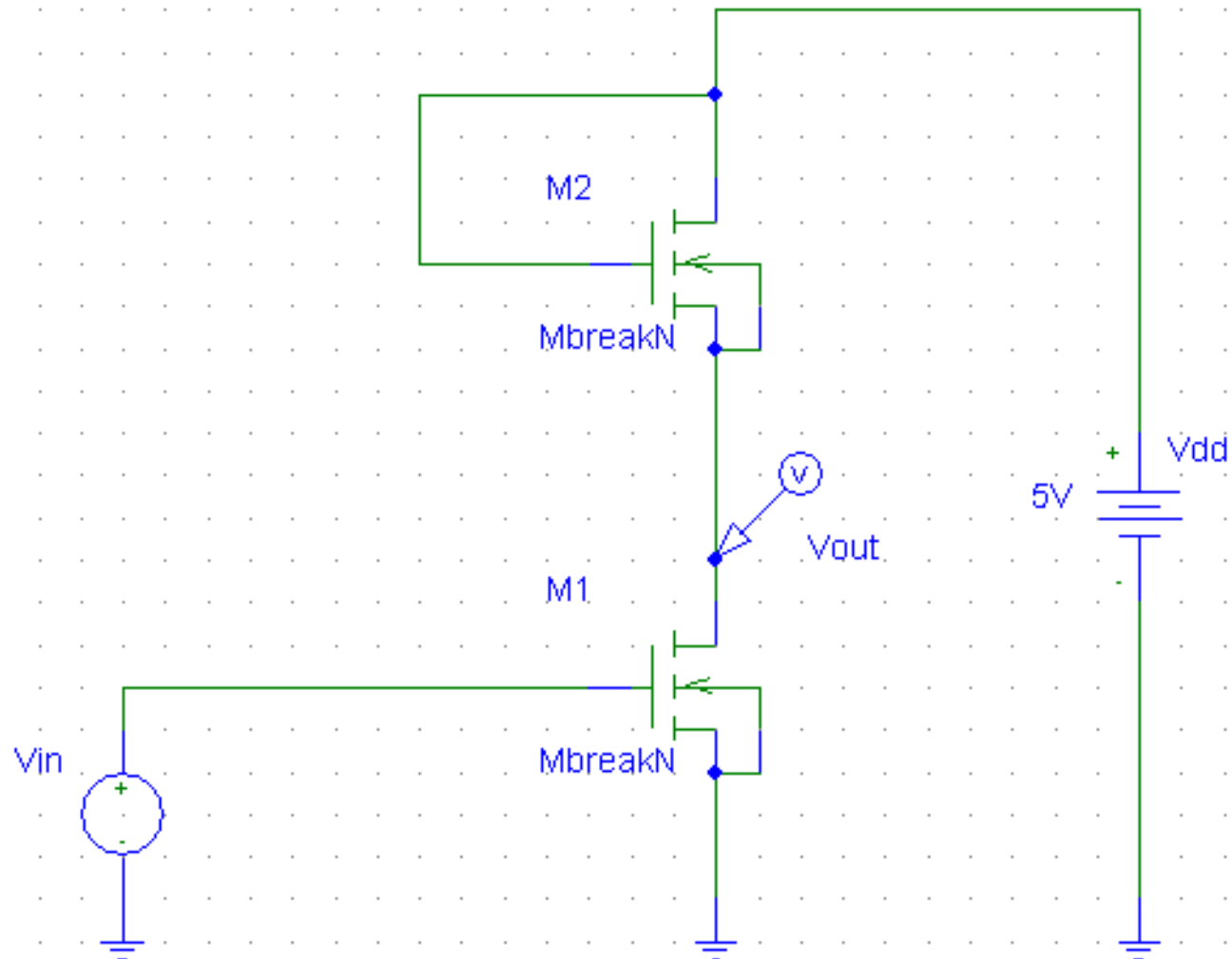
# Transistore NMOS ad Arricchimento (2)

Famiglia delle caratteristiche  $I_d - V_{ds}$



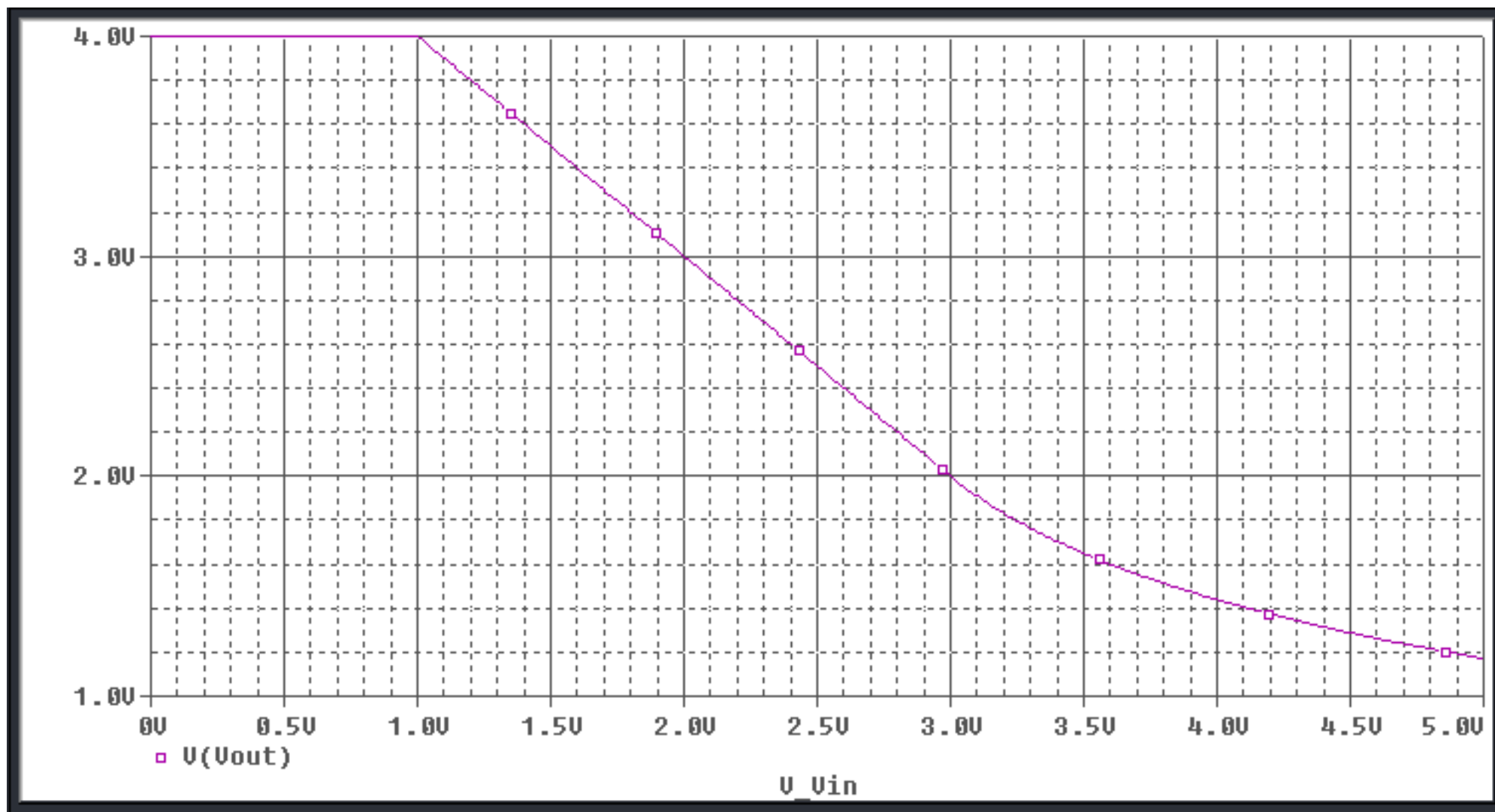
$V_{GS}$  varia da 0 a 5V (passo .5V)

# Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (1)



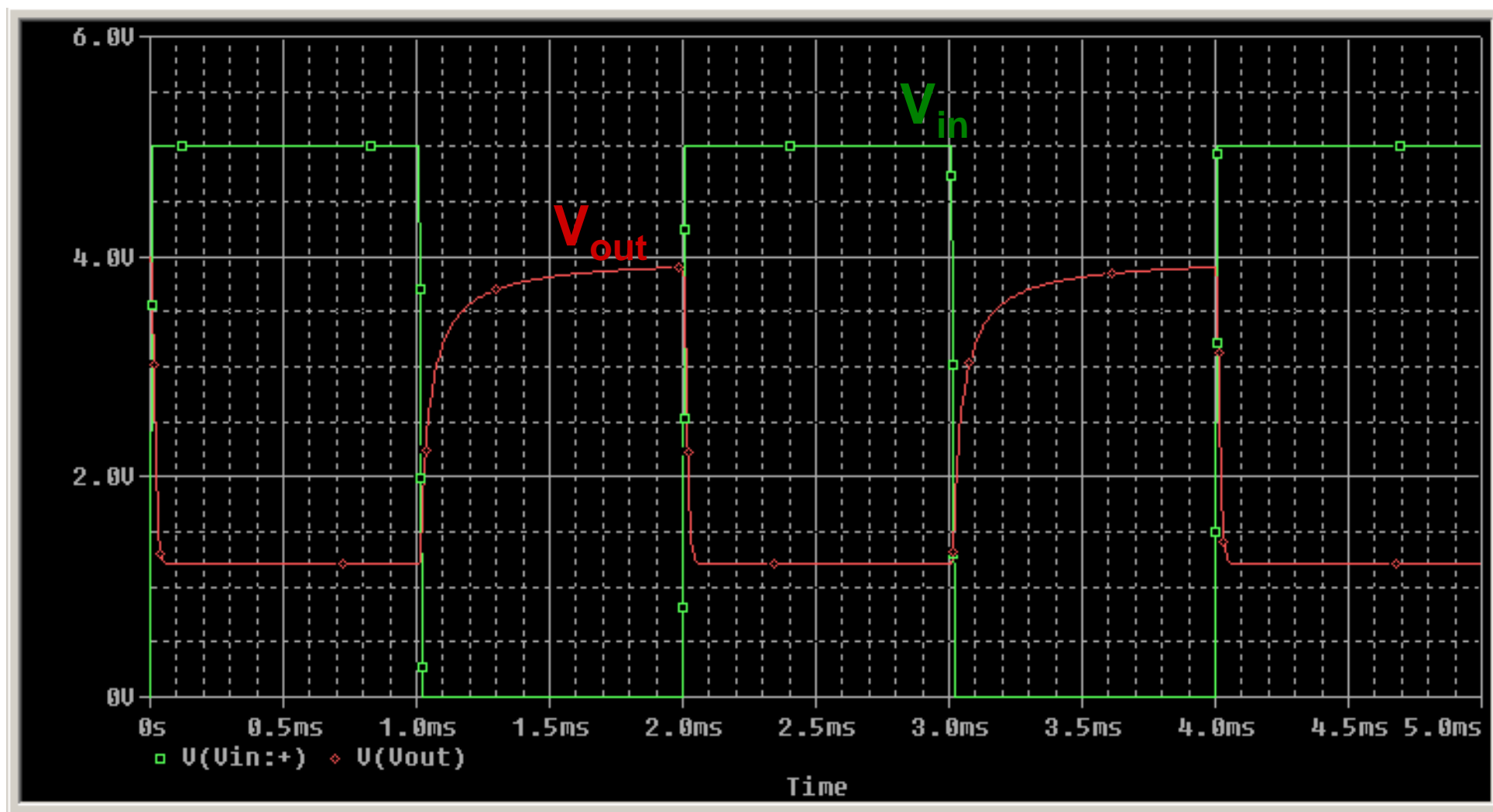
# Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (2)

Caratteristica  $V_{out} - V_{in}$

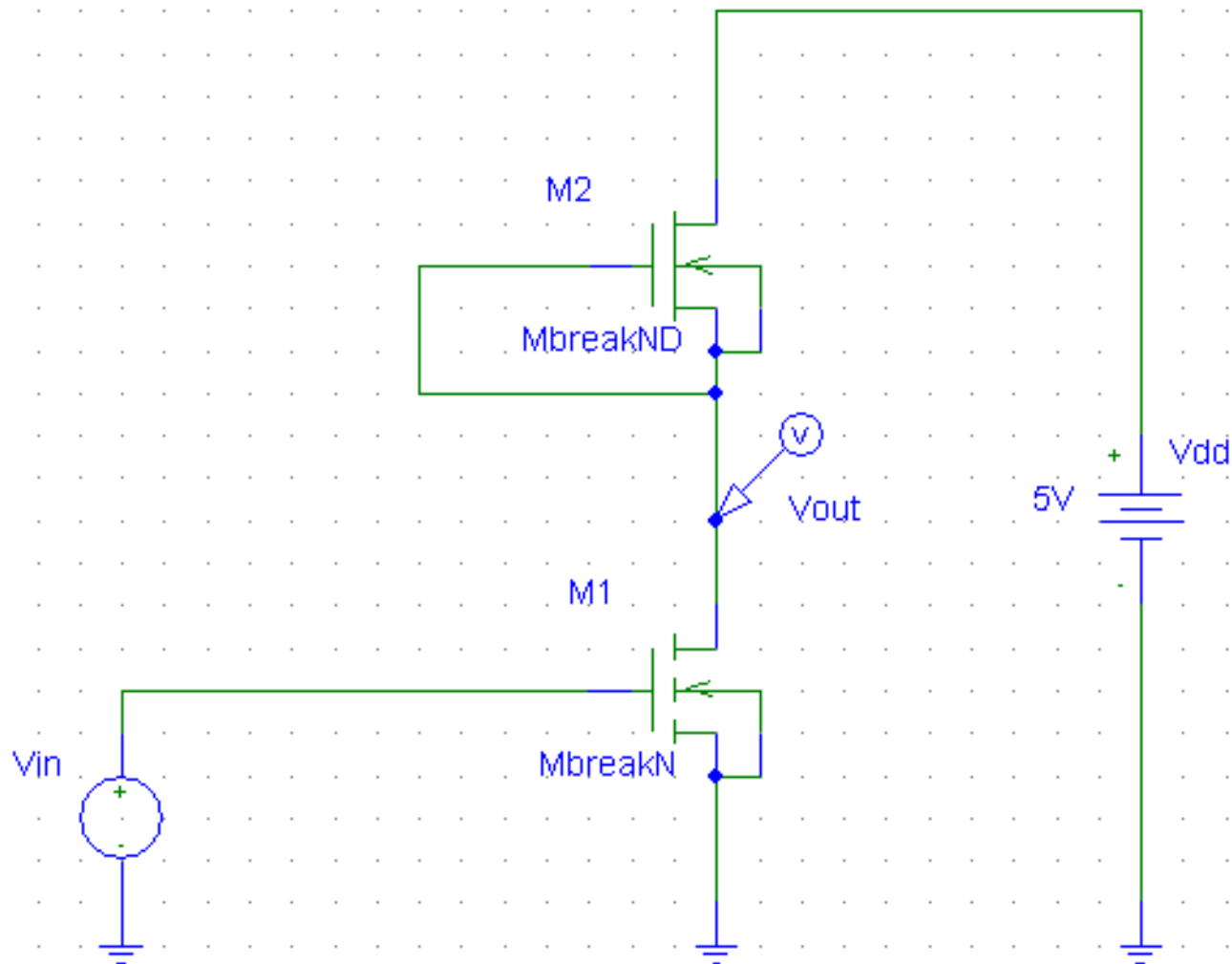


# Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (3)

Risposta ad un ingresso ad onda quadra



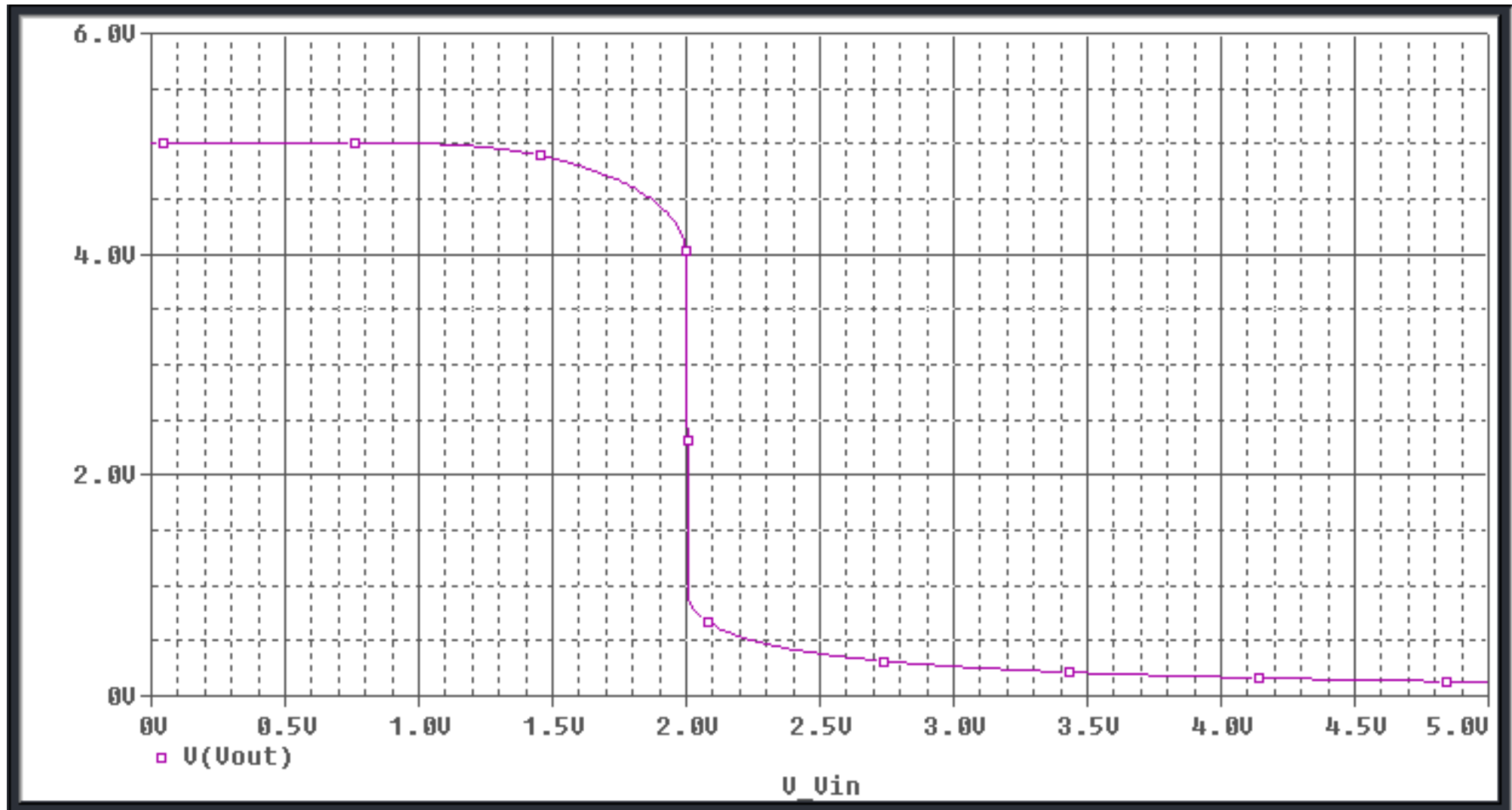
# Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (1)





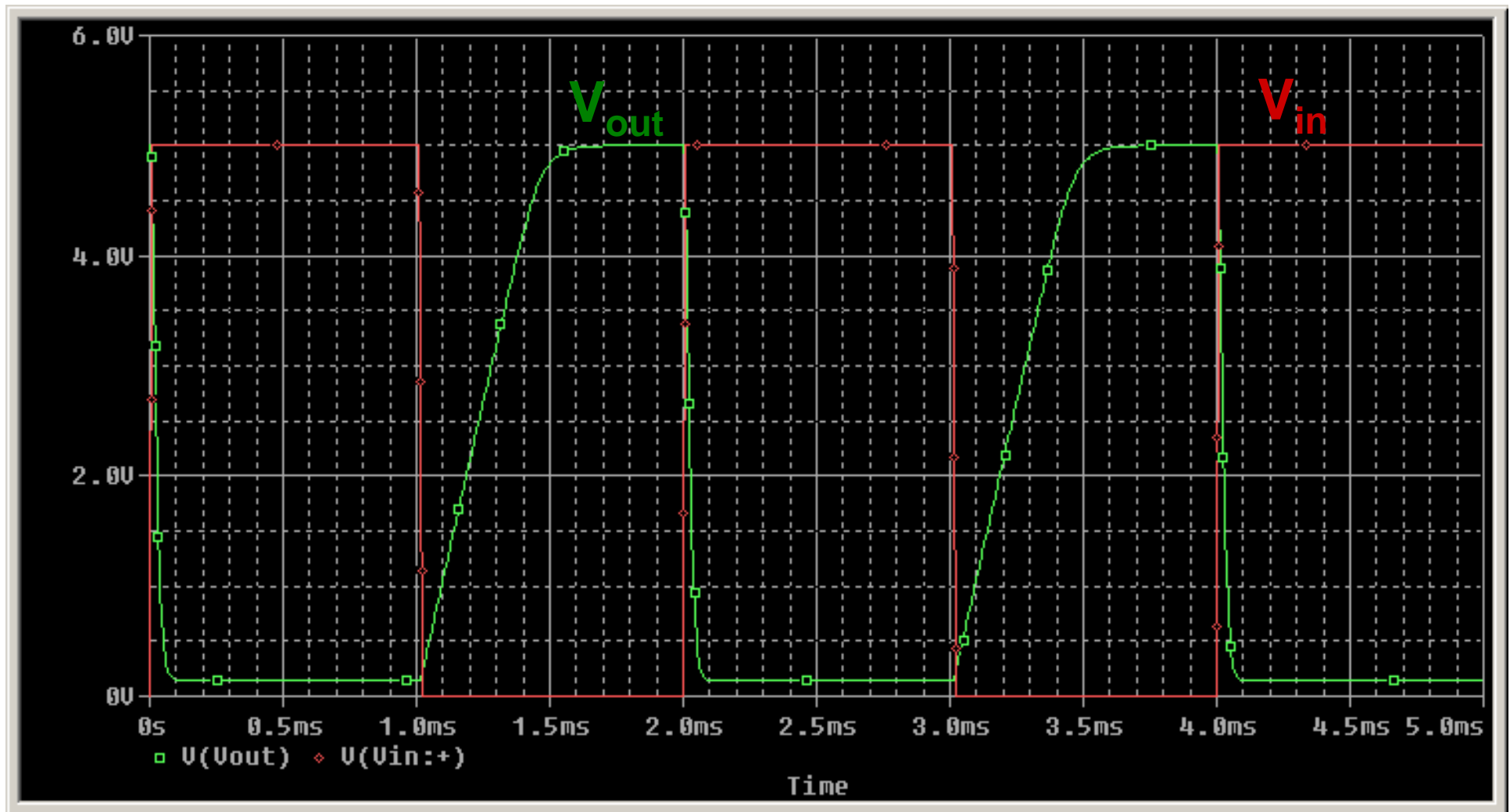
# Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (2)

Caratteristica  $V_{out} - V_{in}$



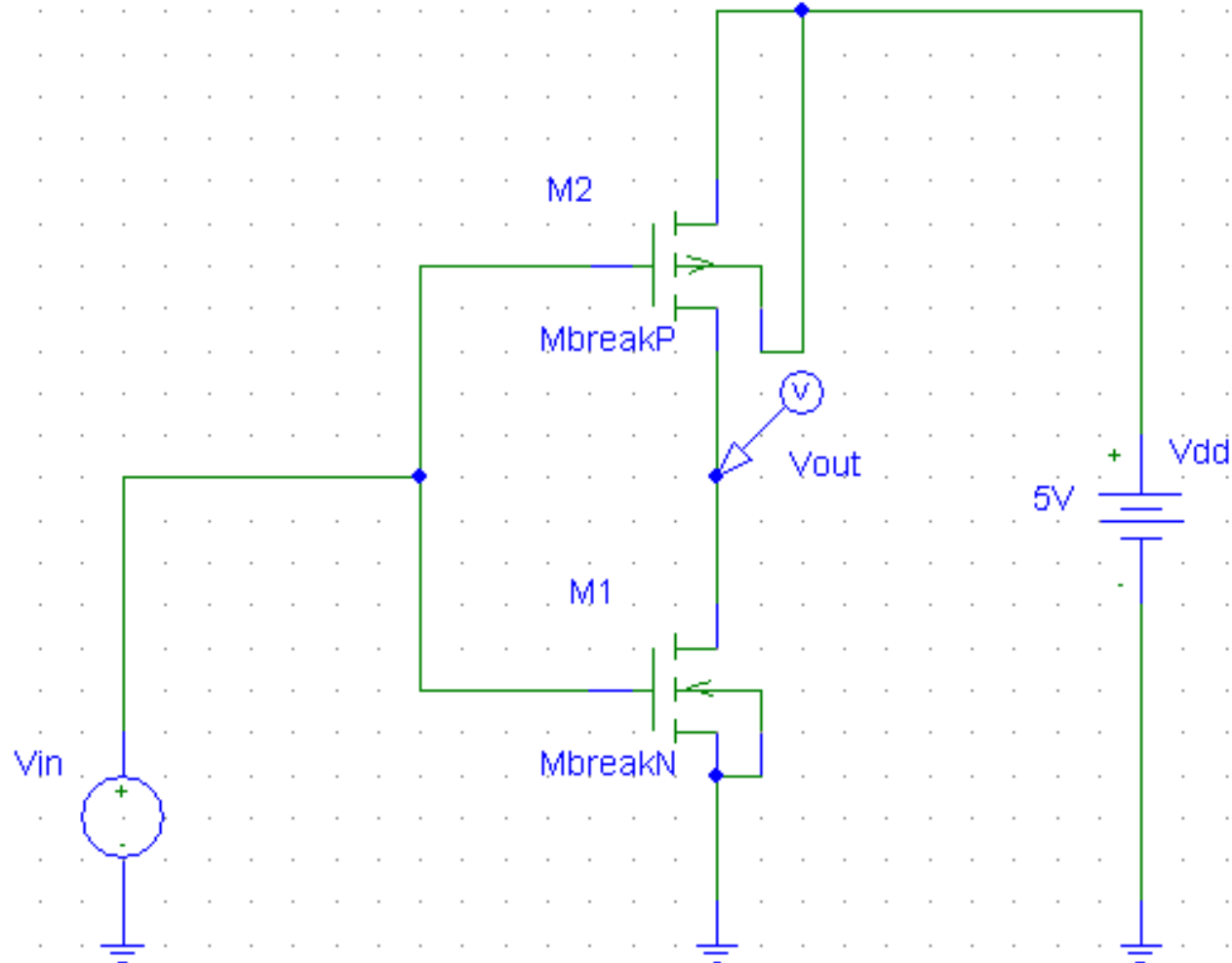
# Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (3)

Risposta ad un ingresso ad onda quadra

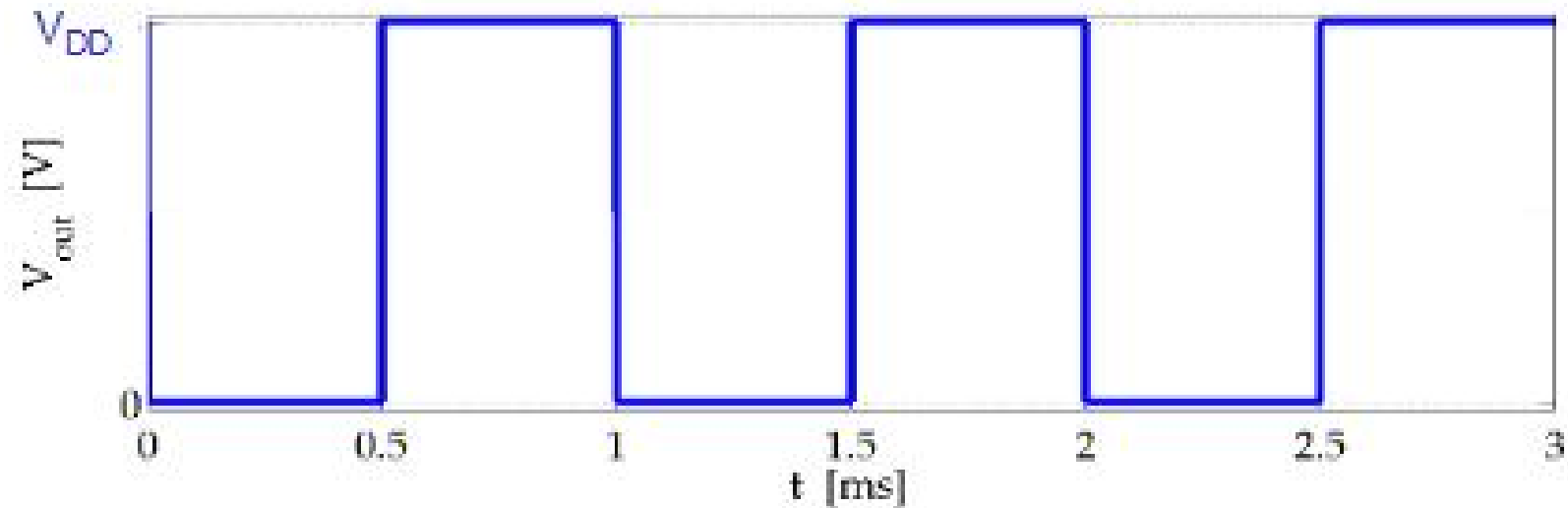
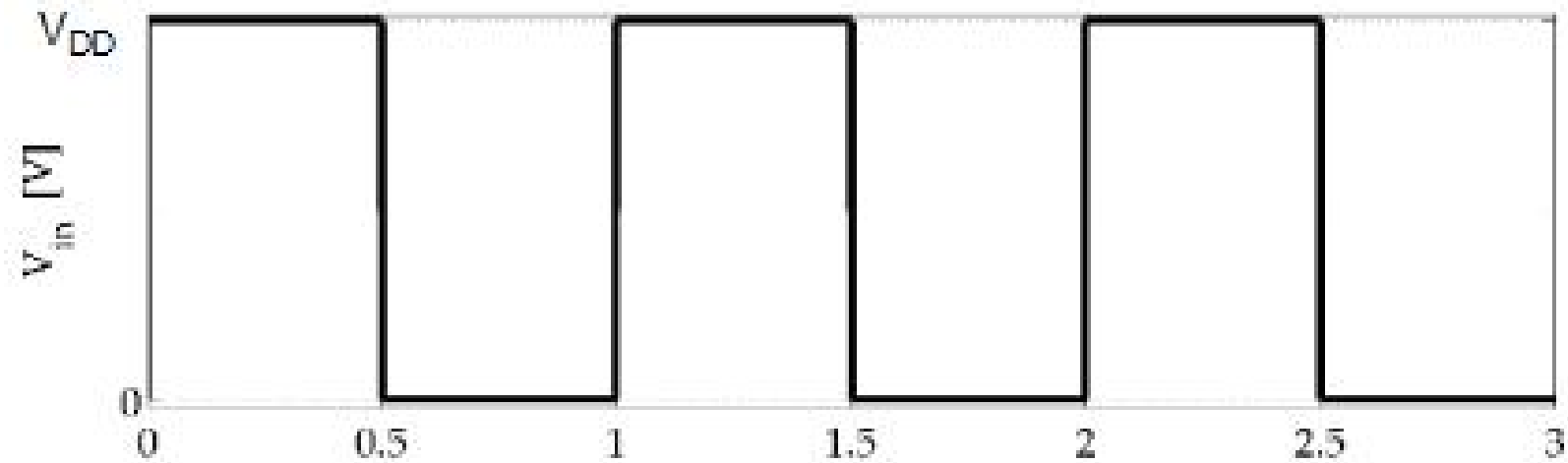


# Invertitore CMOS

( $V_{DD} = 3V$ )



# Risposta statica all'Onda Quadra (f = 1 kHz)





# Caratterizzazione Invertitore CMOS

---

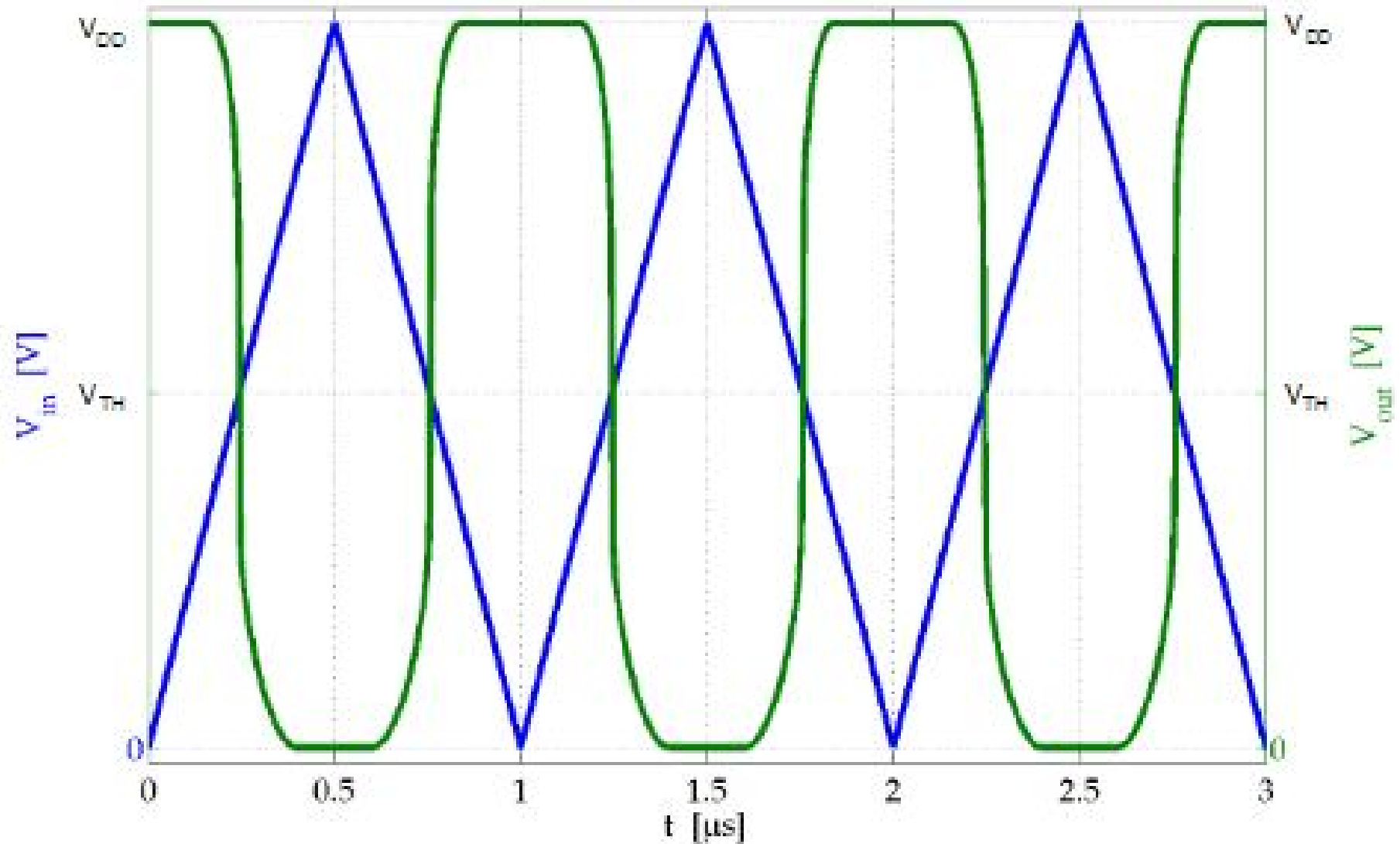
Misure sulla caratteristica  $V_{out}(V_{in})$ :

- Tensioni di soglia dei MOSFET ( $V_{tN}$  e  $V_{tP}$ )
- Tensione di soglia dell'invertitore ( $V_{TH}$ )
- Margini di rumore ( $V_{IL}$  e  $V_{IH}$ )
- Guadagno  $G$  dell'invertitore usato come amplificatore di tensione

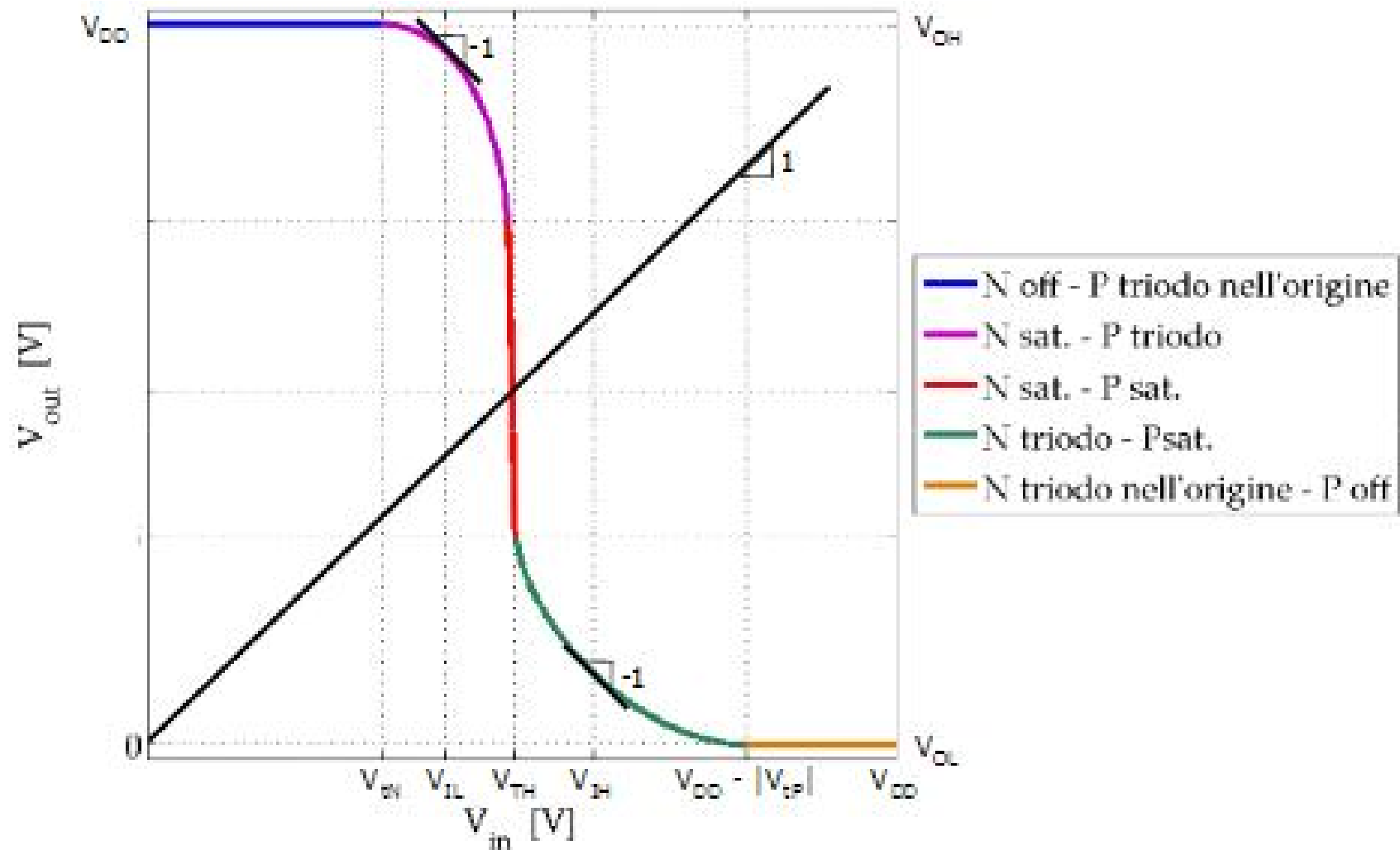
Misure nel dominio del tempo:

- Tensione di soglia dell'invertitore ( $V_{TH}$ )
- Risposta all'onda quadra con carico Capacitivo
- Tempi di propagazione con carico Capacitivo
- $K_p$  e  $K_N$  (con carico Capacitivo)

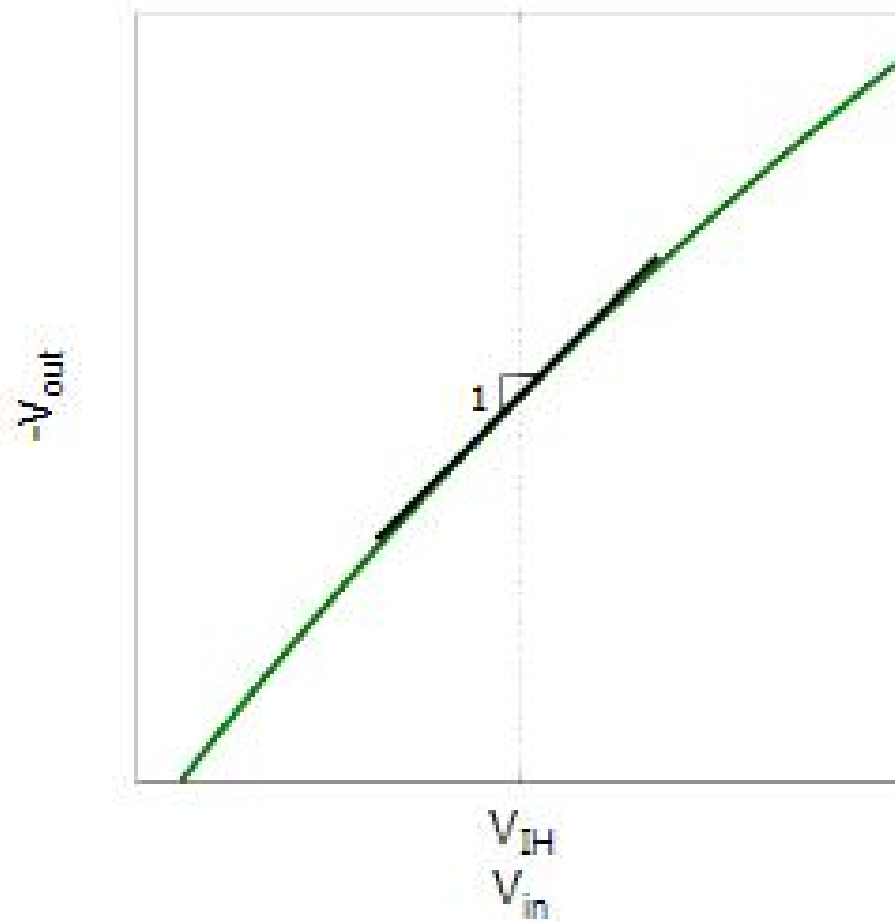
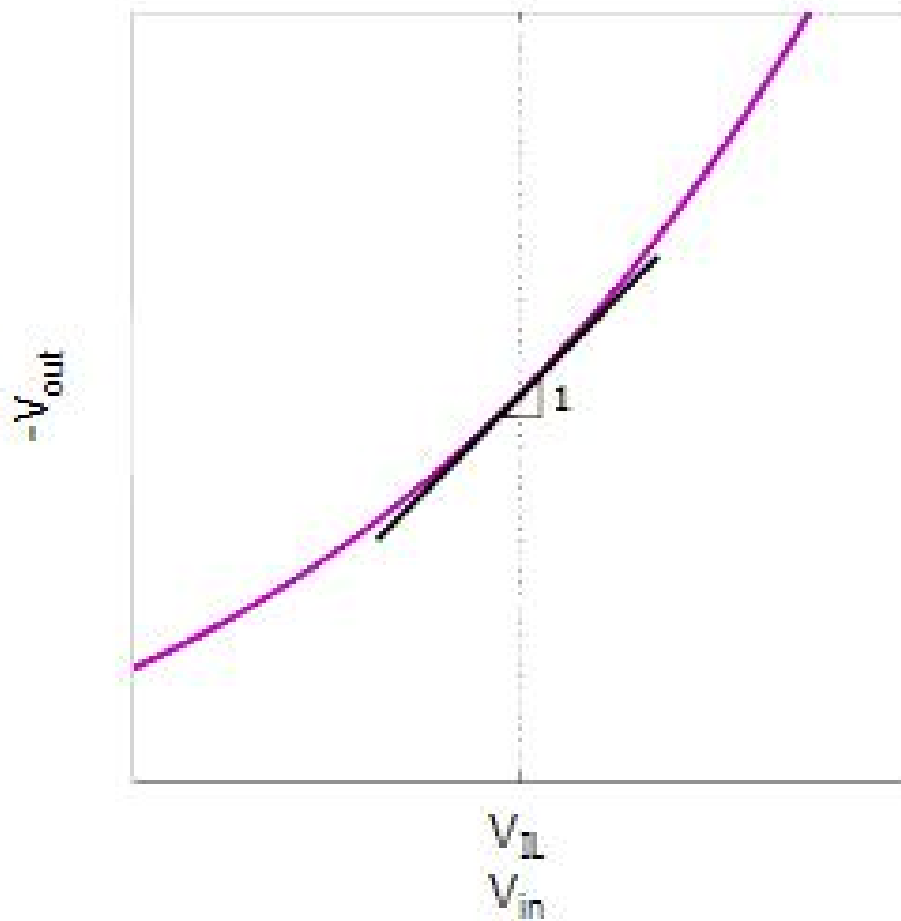
**Stima di  $V_{TH}$ :  $V_{out} = V_{in} = V_{TH}$**



# Caratteristica $V_{out}$ ( $V_{in}$ )

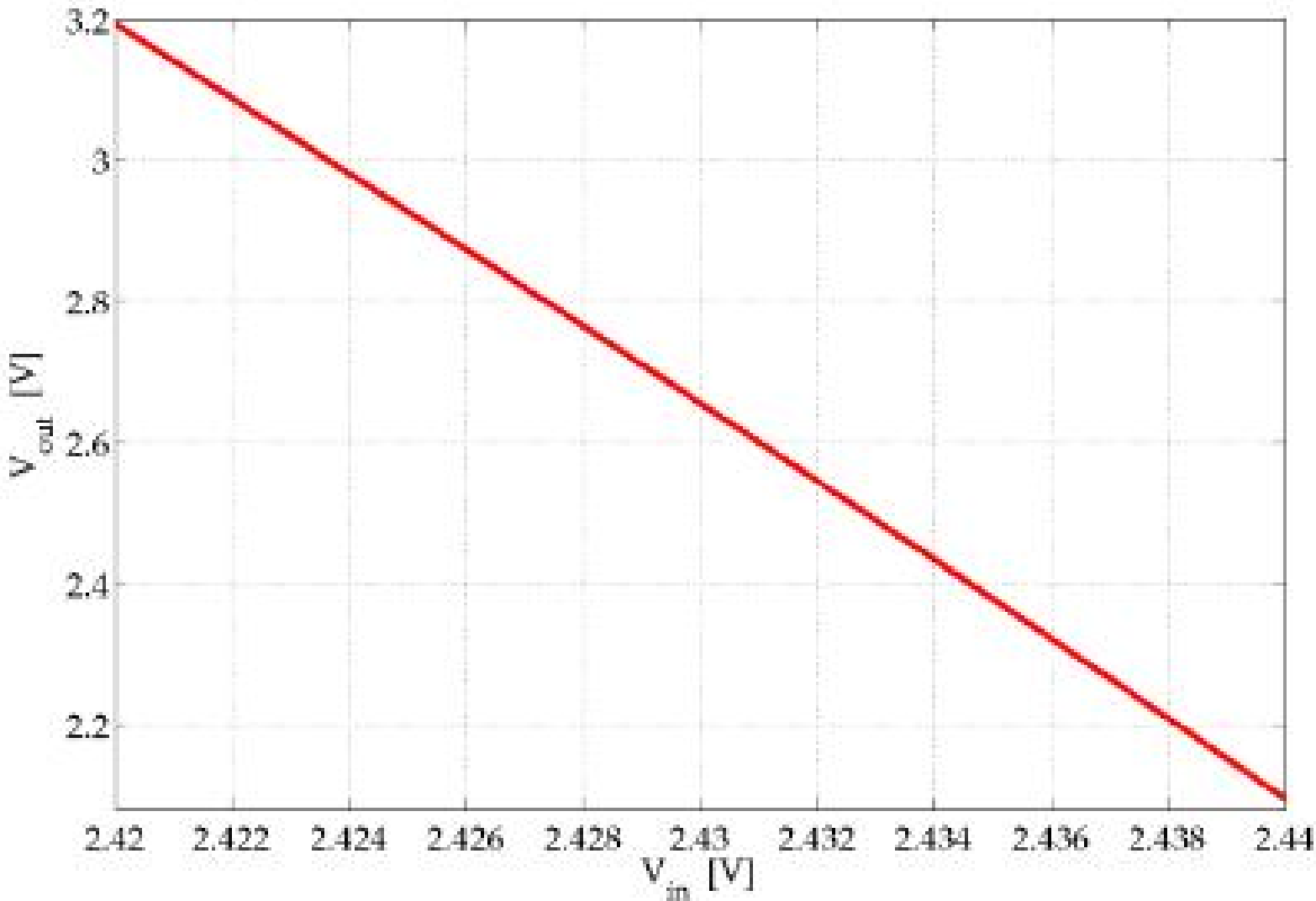


# Stima di $V_{IL}$ e $V_{IH}$

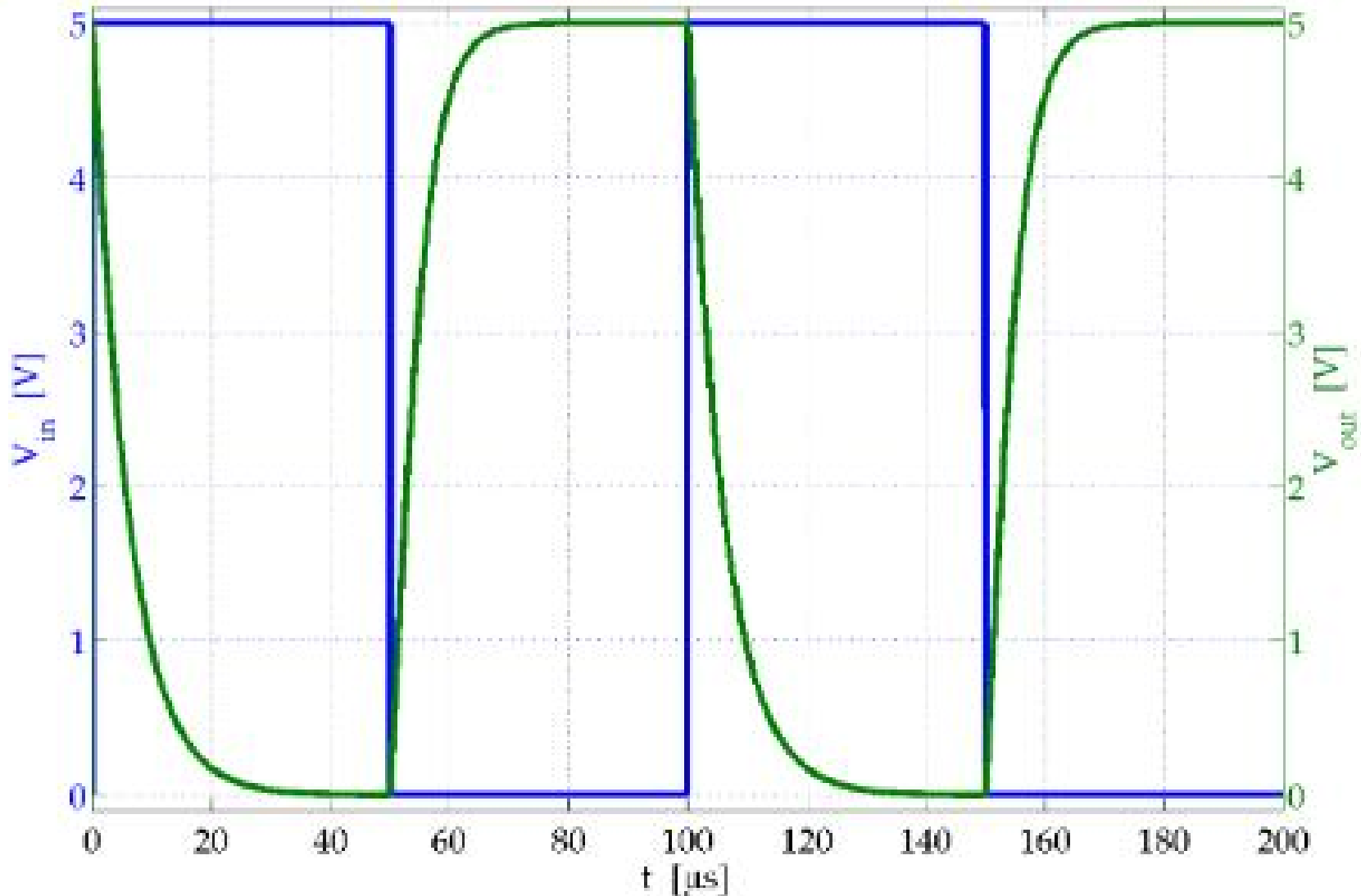




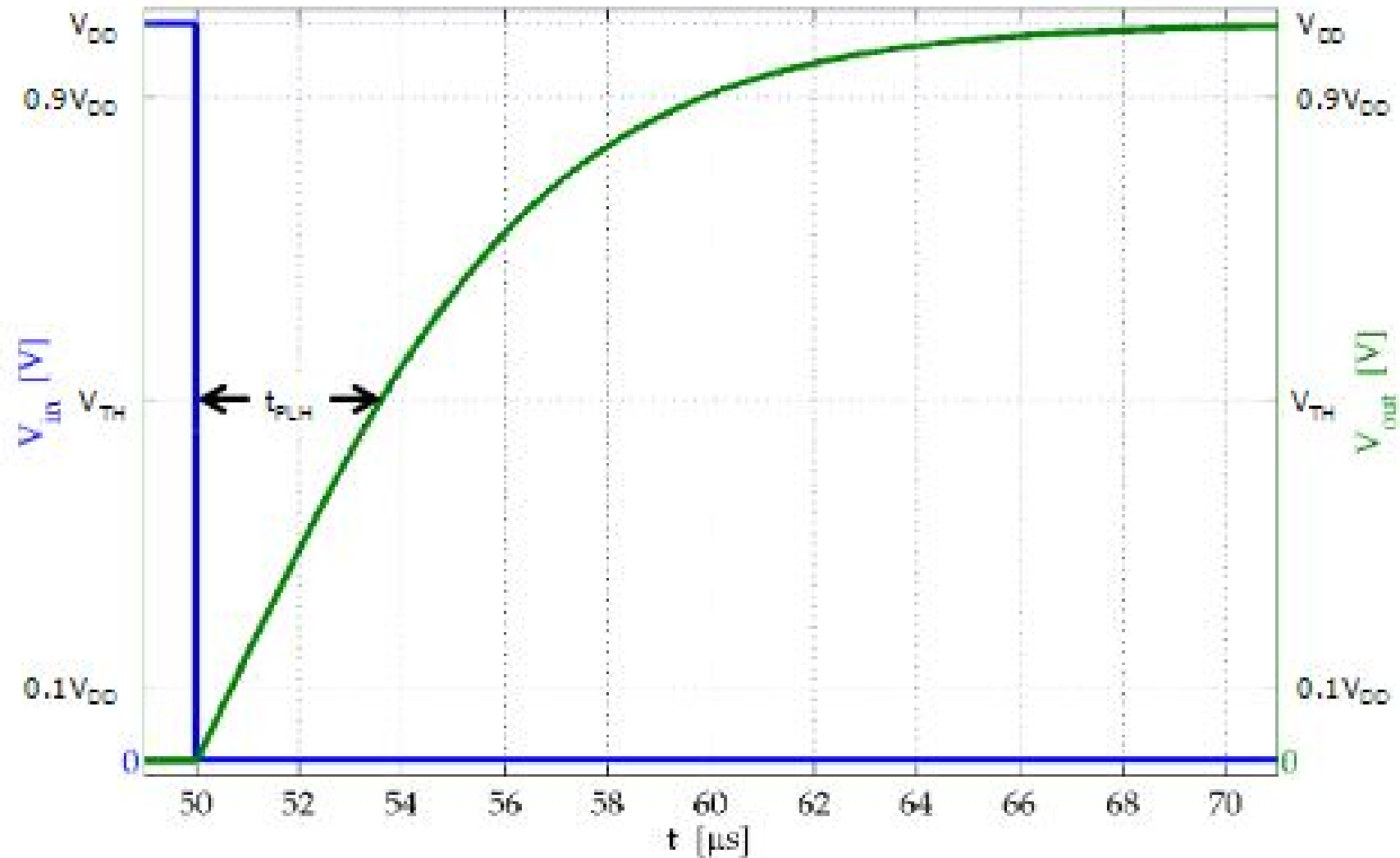
# Stima di G



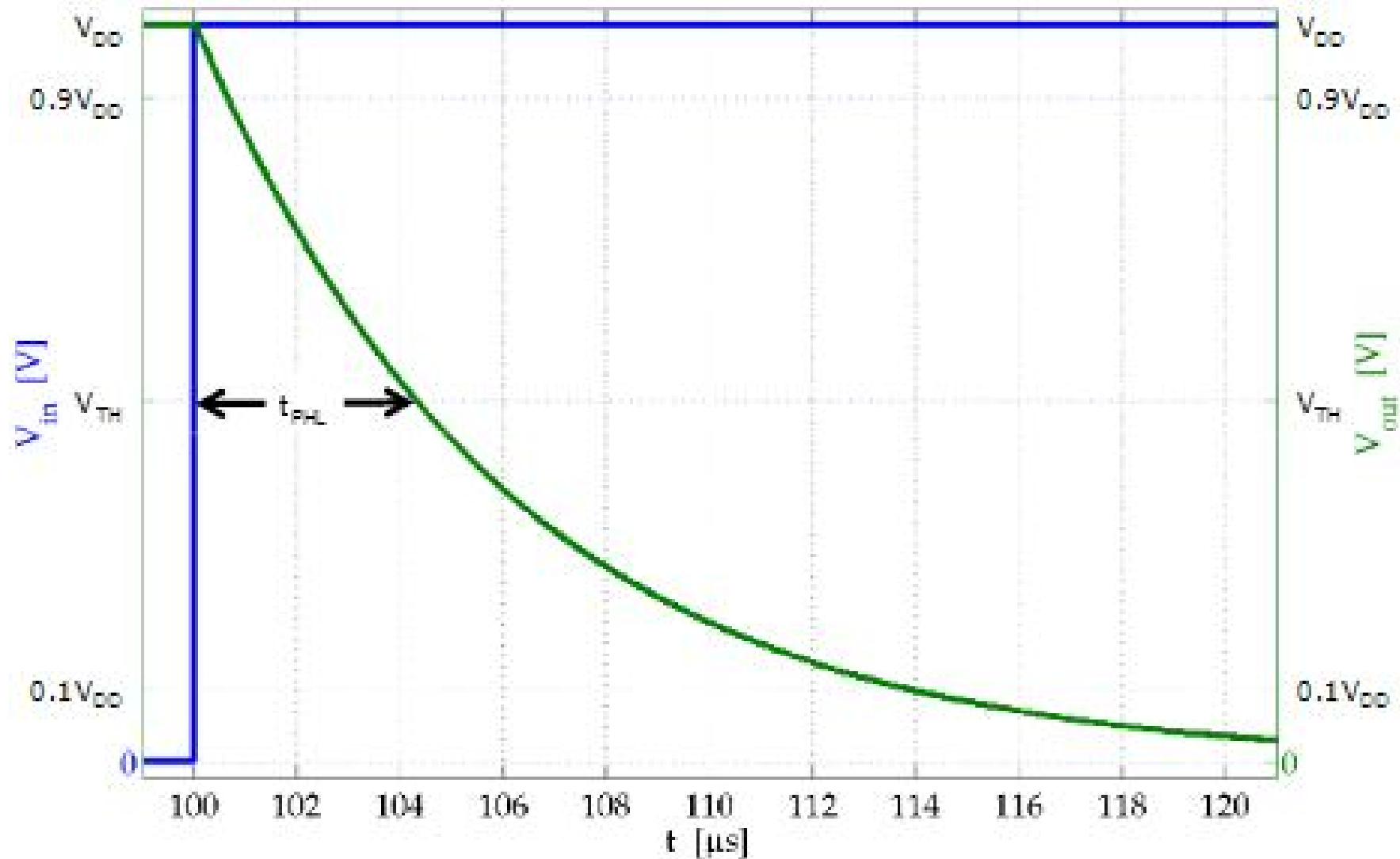
# Risposta all'Onda Quadra con Carico Capacitivo ( $f = 10 \text{ kHz}$ )



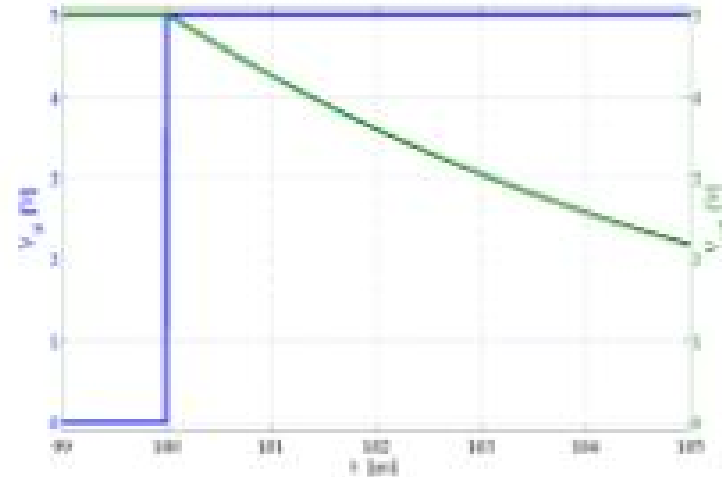
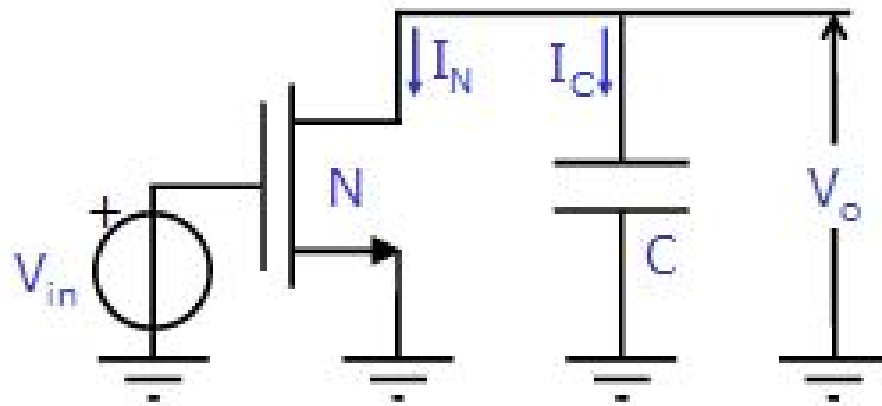
# Stima di $t_r$ e $t_{PLH}$ (con C)



# Stima di $t_f$ e $t_{PLH}$ (con C)



# Stima di $K_N$ (con C)



Se  $V_o \geq V_{DD} - V_{thN}$  N è in Saturazione:

$$\begin{cases} I_N = K_N (V_{DD} - V_{thN})^2 \\ I_C = C \frac{dV_o}{dt} \\ I_N = -I_C \end{cases}$$

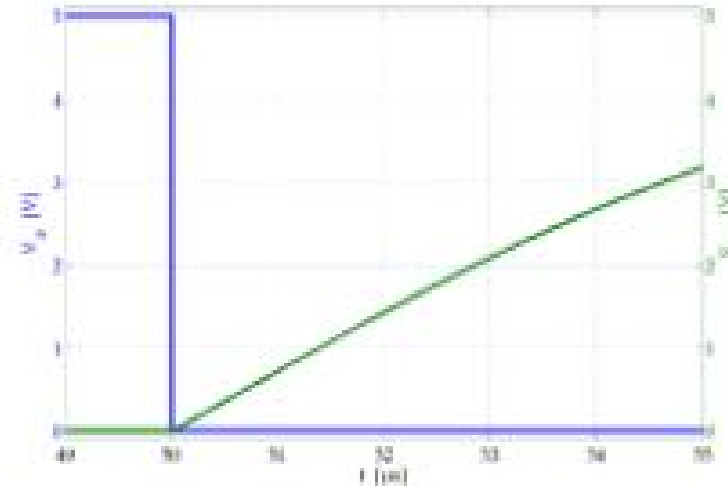
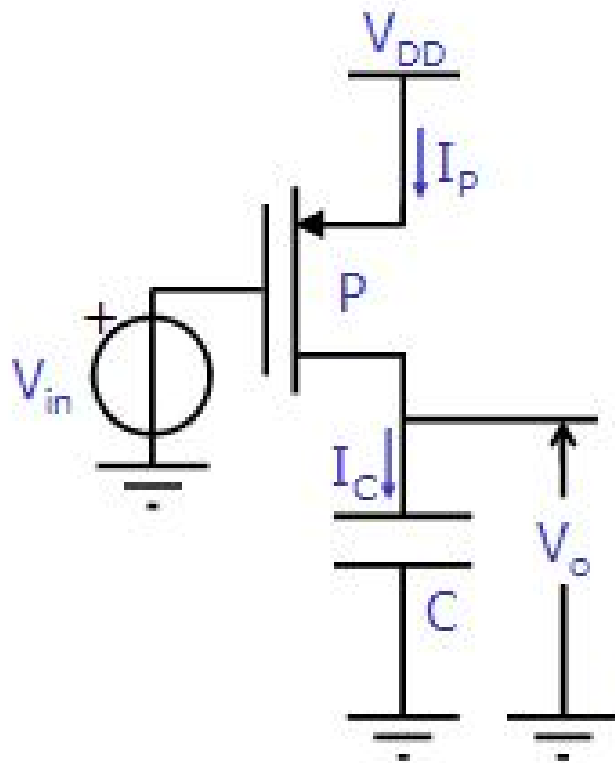


$$V_o(t) = V_{DD} - \left[ \frac{I_N}{C} \right] t$$

$$K_N \approx - \frac{C \left[ \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \right]}{(V_{DD} - V_{thN})^2}$$

Consideriamo trascurabile l'effetto Early

# Stima di $K_p$ (con C)



Se  $V_o \leq |V_{tp}|$  P è in Saturazione:

$$\begin{cases} I_p = K_p (V_{DD} - |V_{tp}|)^2 \\ I_C = C \frac{dV_o}{dt} \\ I_p = I_C \end{cases} \Rightarrow V_o(t) = \left[ I_p / C \right] t$$

$$K_p \approx \frac{C \left[ \Delta V_o / \Delta t \right]}{(V_{DD} - |V_{tp}|)^2}$$

Consideriamo trascurabile l'effetto Early