

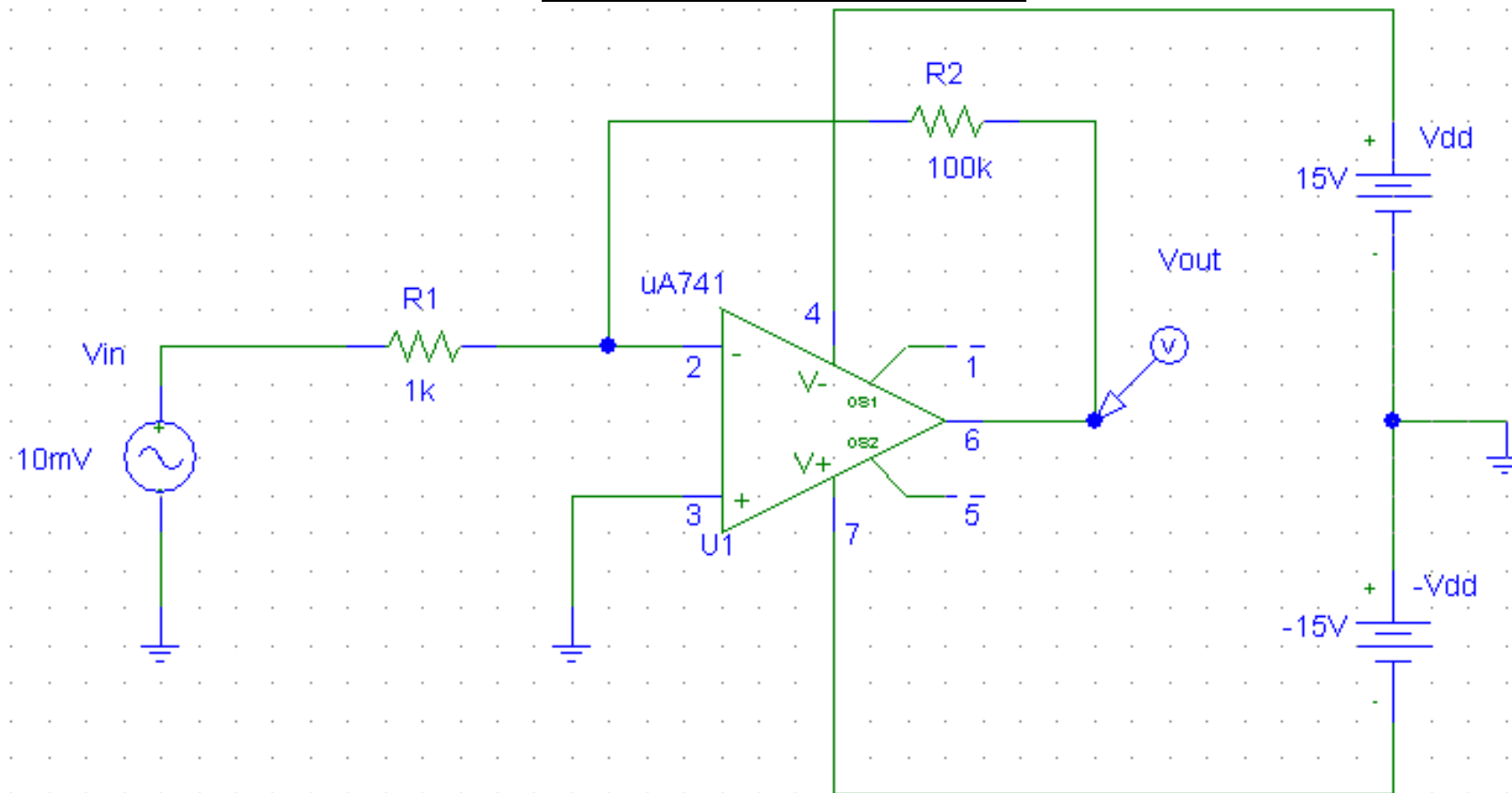
Elettronica I

- Seconda Esercitazione -

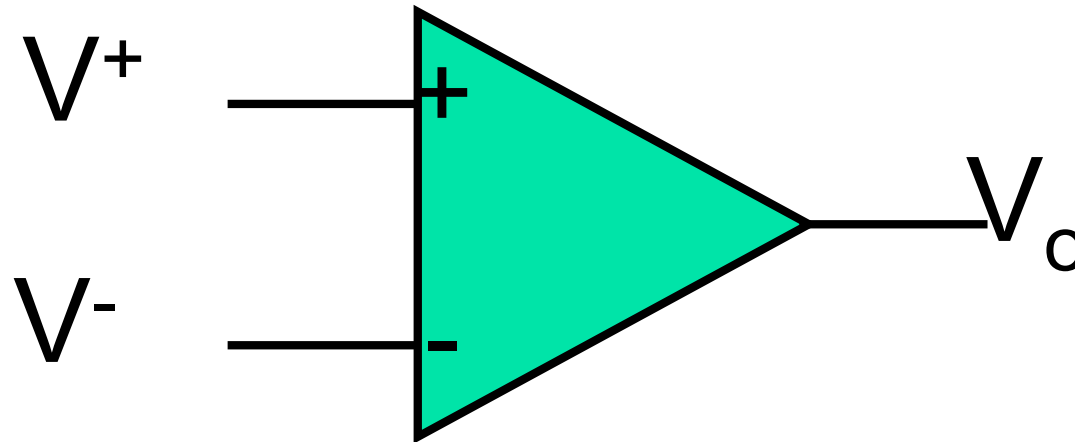
RISPOSTA IN FREQUENZA DI CIRCUITI CON AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

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:

$$V^+ = V^-$$

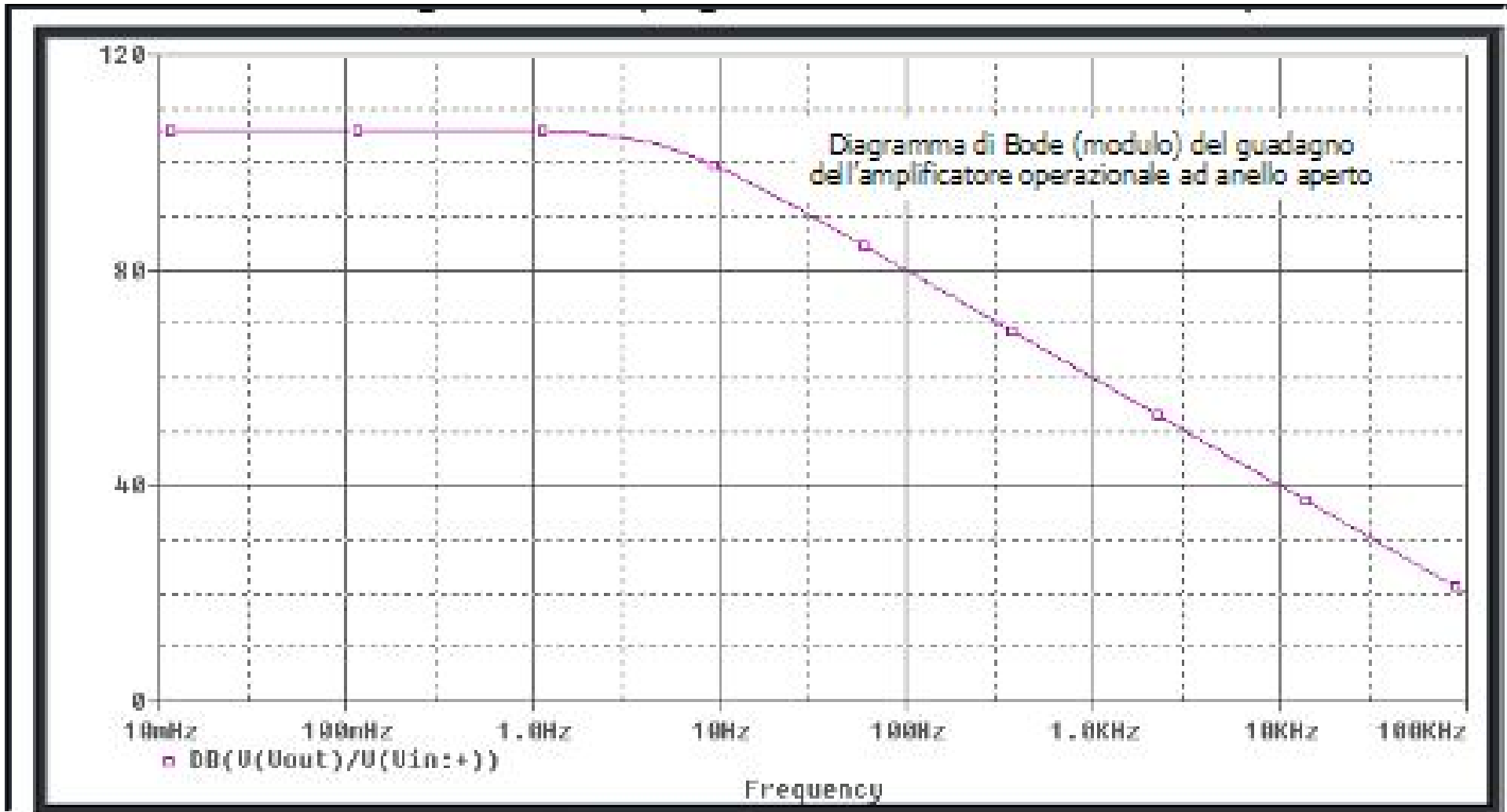
Guadagno Configurazione Invertente:

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

OpAmp μ A741 – Anello Aperto

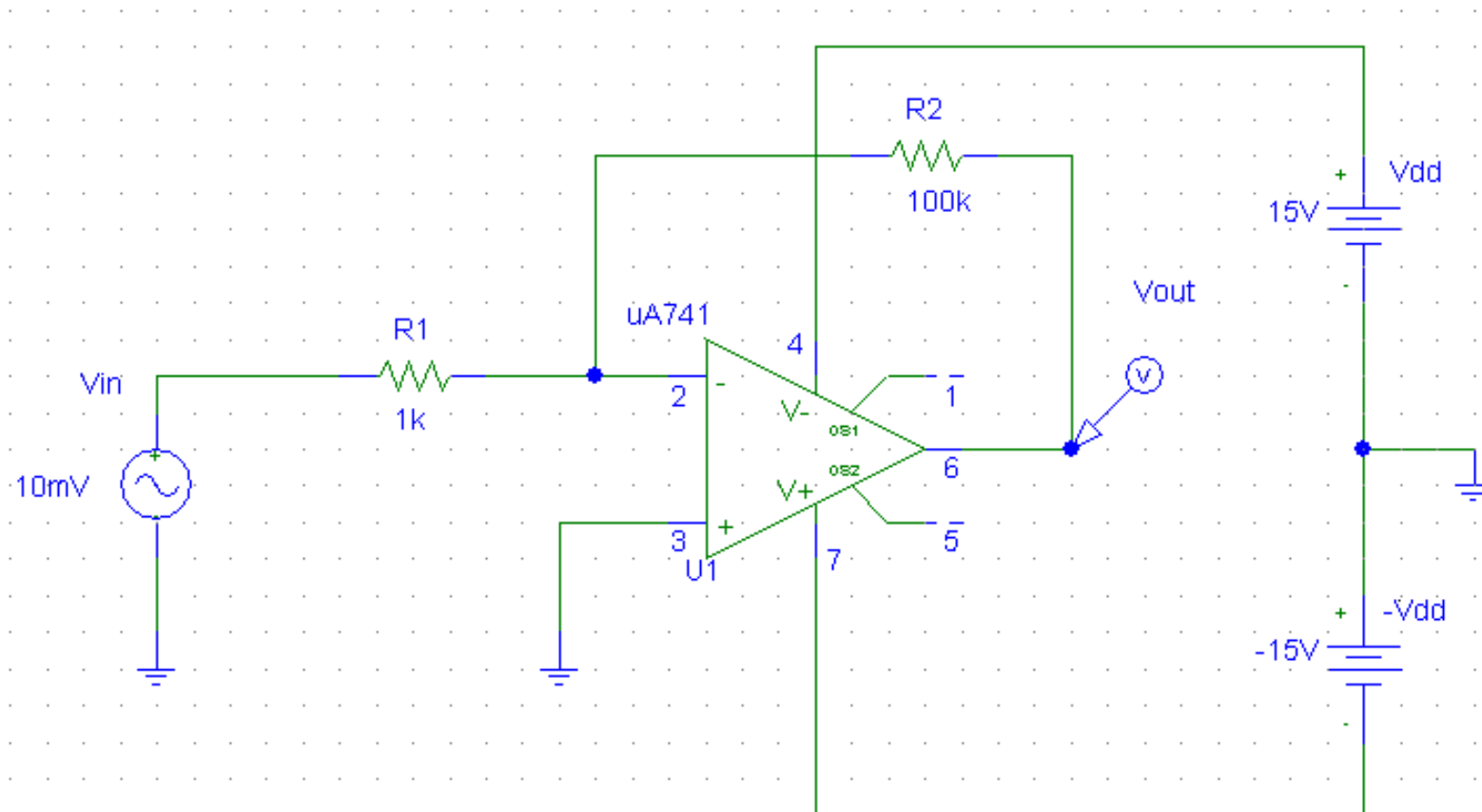
Diagramma di Bode – Modulo

Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



Configurazione Invertente

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



Elettronica I

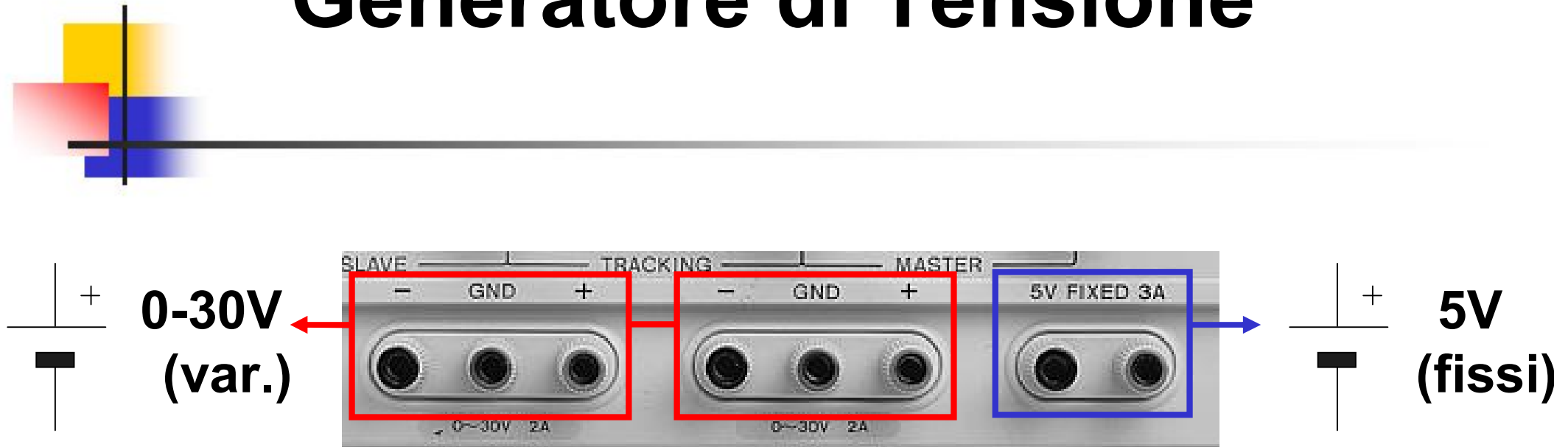
- Lab. Did. Elettronica Circuitale -

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

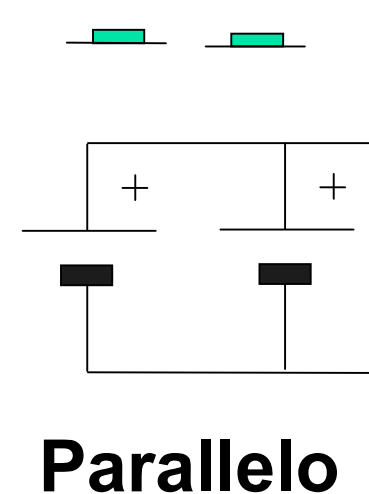
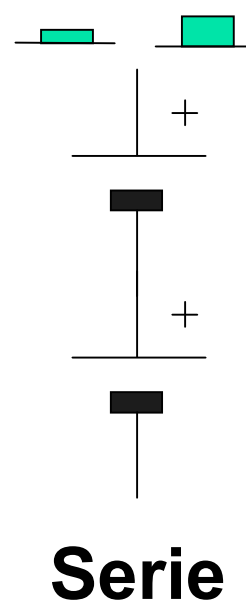
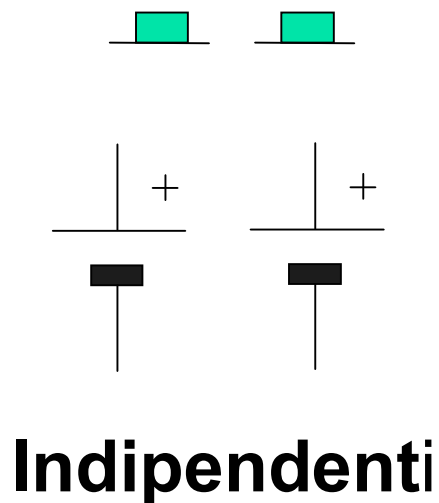
Alimentatore Tektronix PS283



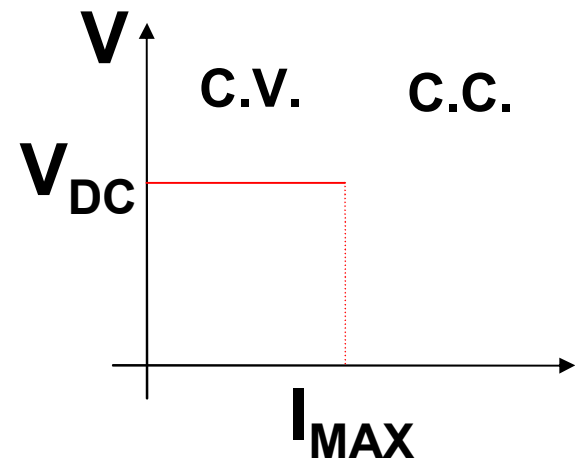
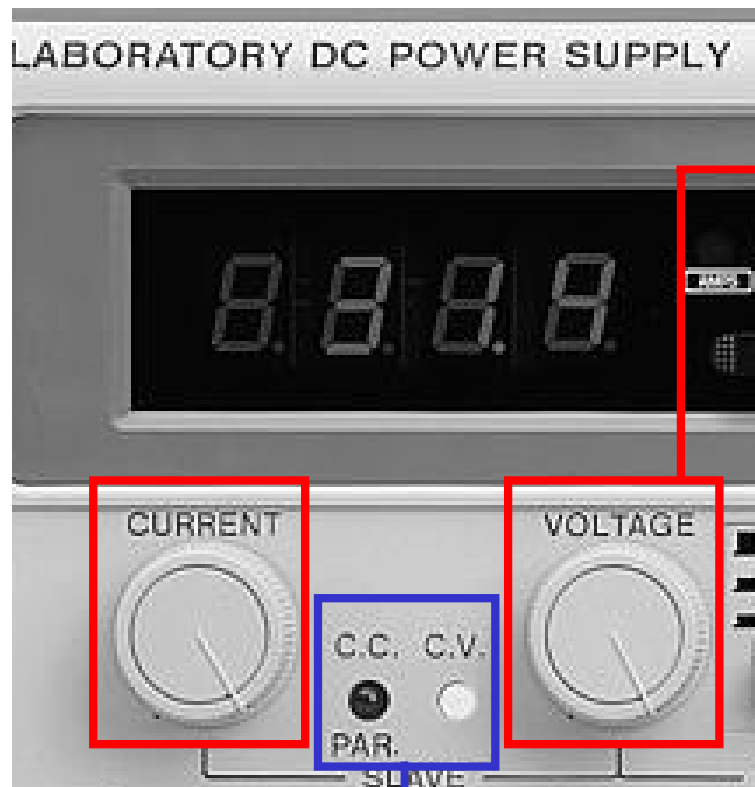
Generatore di Tensione



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

Generatore di Funzioni T T i - TG2000



Generatore di Funzioni T T i - TG2000



Genera i segnali di tensione

Uscita BNC

Regolazioni principali

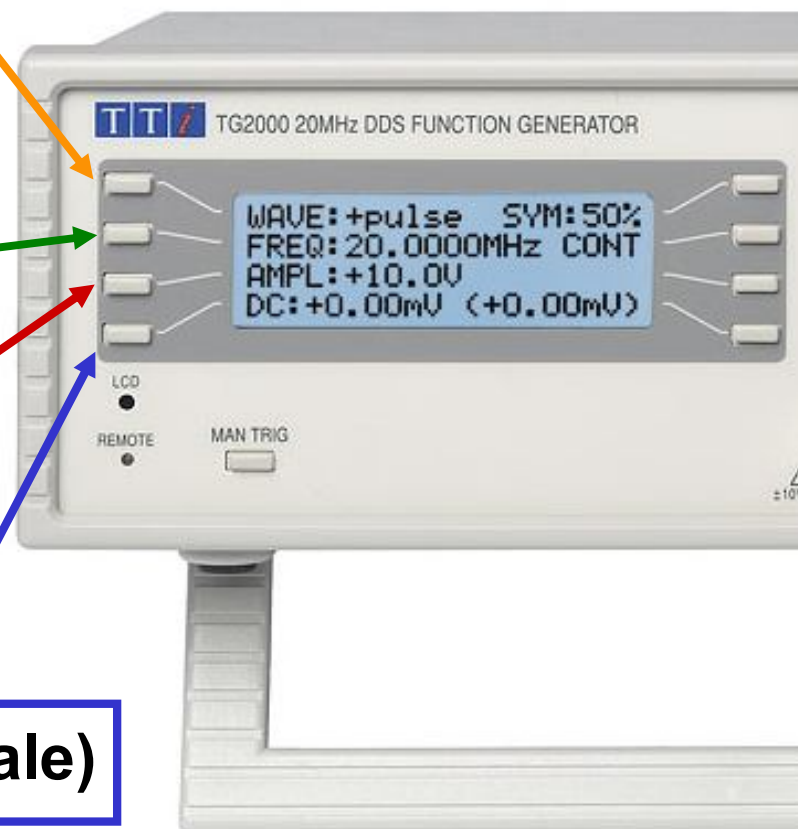
Forma d'onda del Segnale



Frequenza del Segnale

Ampiezza picco-picco del Segnale

Offset (comp. continua del Segnale)

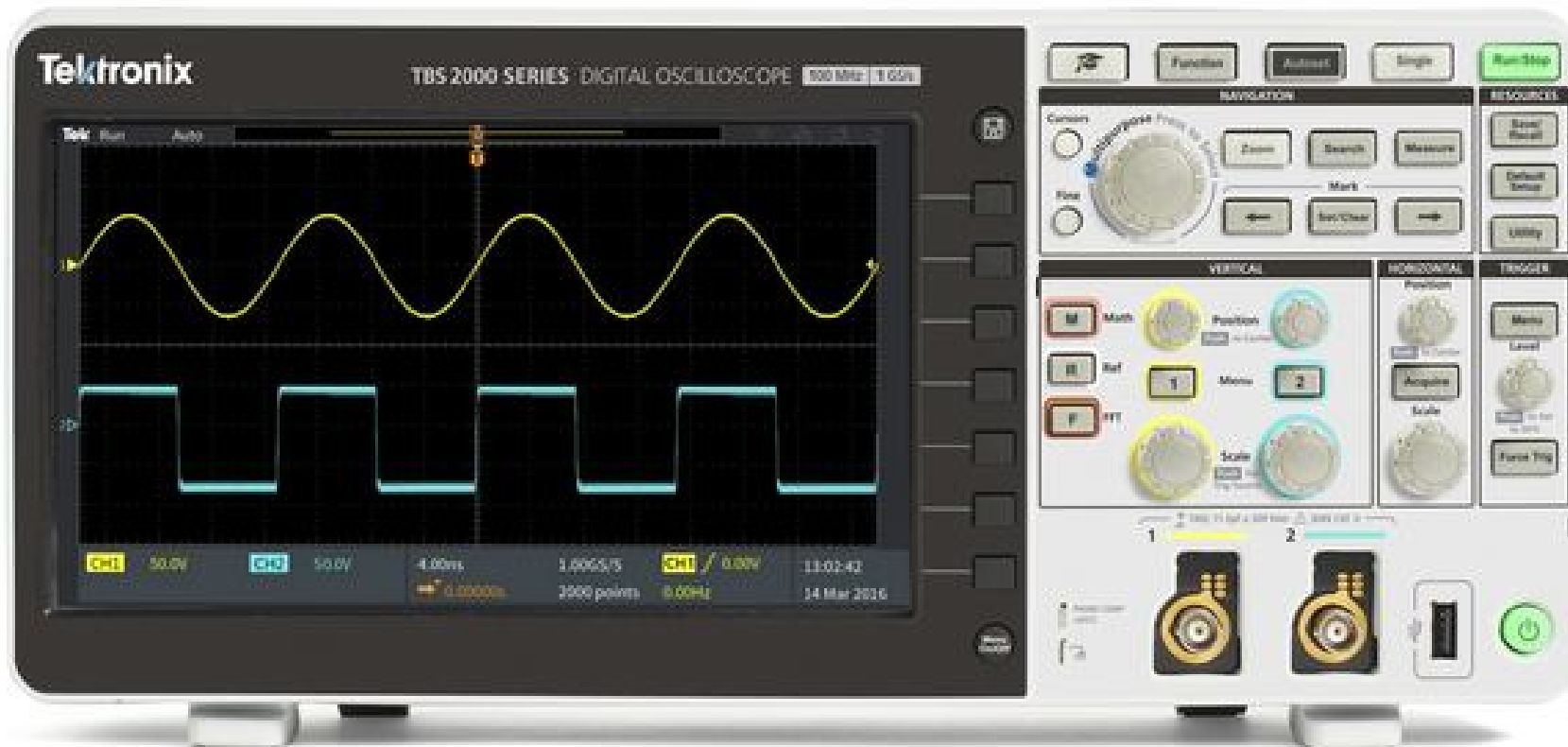


Generatore di Funzioni T T i - TG2000



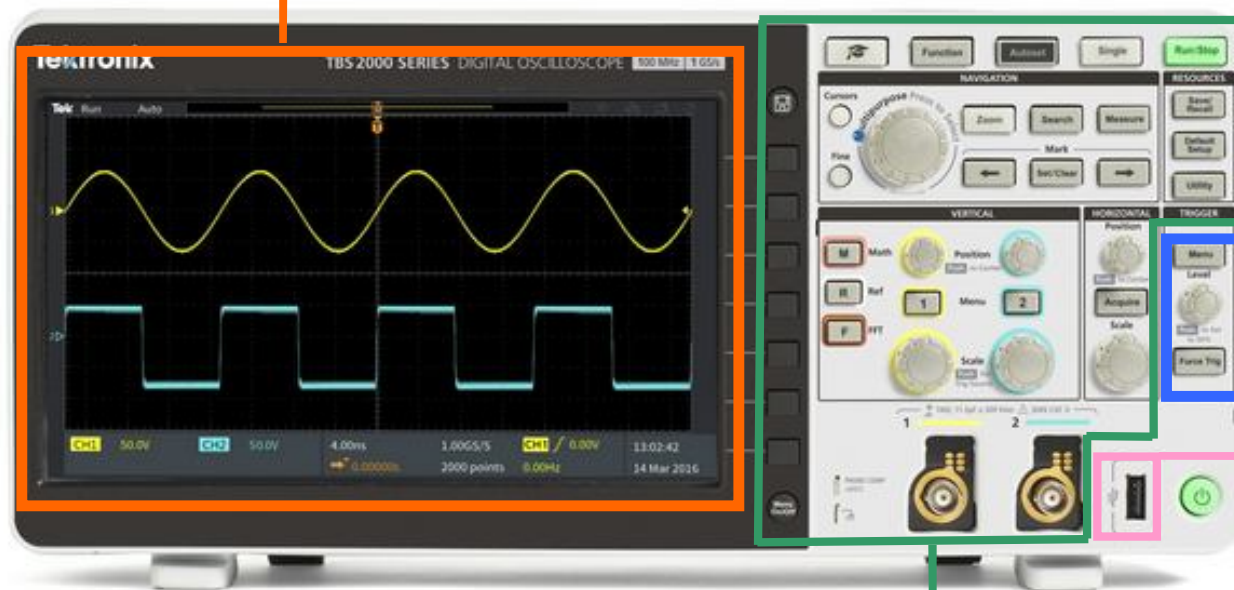
Dopo aver impostato il generatore ed aver effettuato gli opportuni controlli mettere su ON (si accende il LED rosso)

Oscilloscopio Digitale Tektronix TBS2102



Pannello Frontale

Schermo

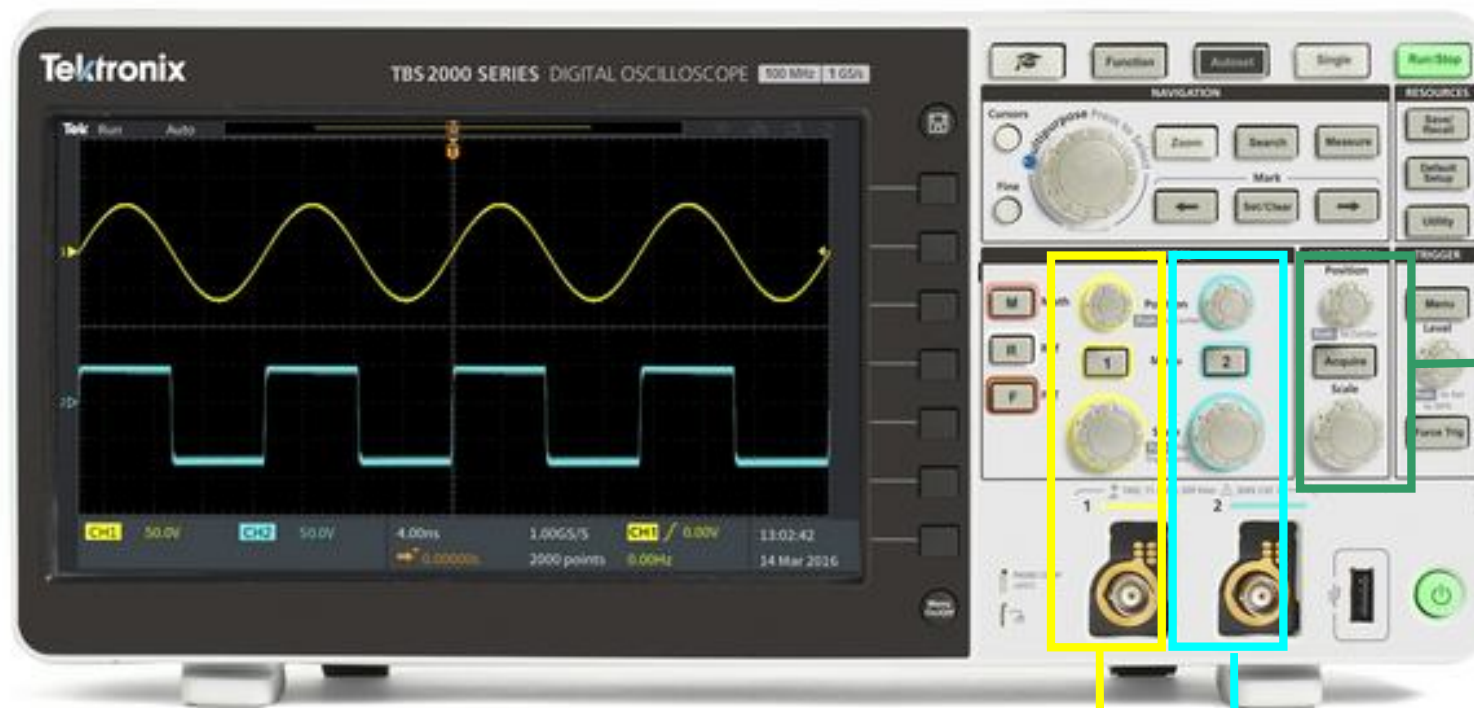


Controllo "Trigger"

USB

Canali e
Controlli

Canali di Ingresso



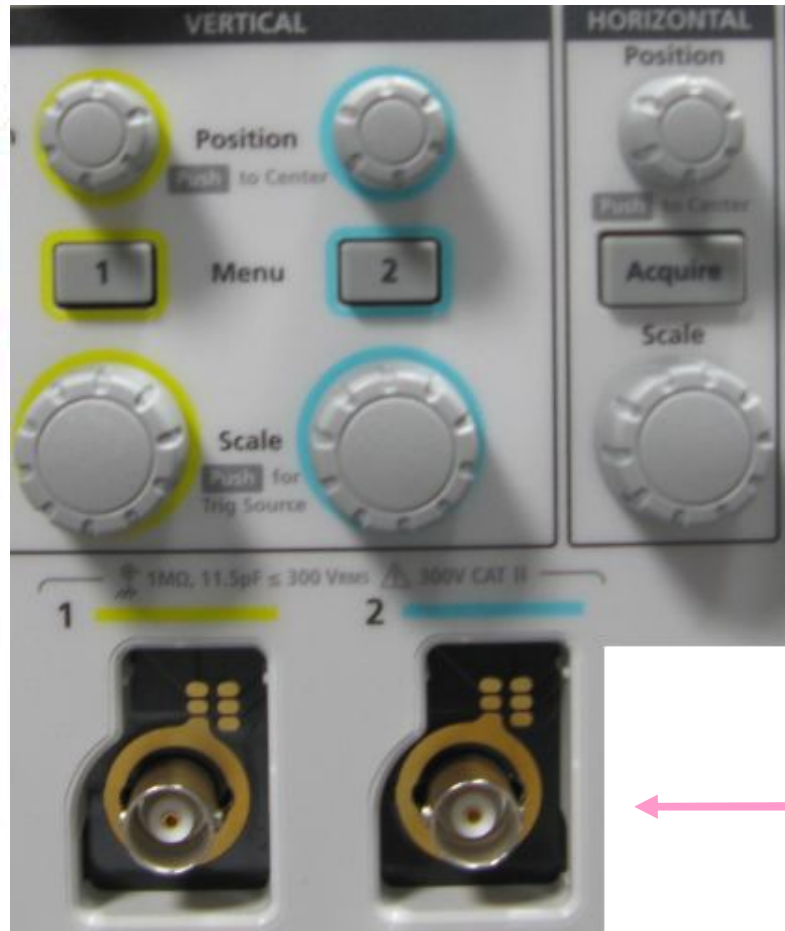
**Scala
orizzontale**

Canale 1
traccia gialla

Canale 2
traccia azzurra

Scale verticali

Canali di Ingresso



← Visualizzazione e posizione delle tracce

← Visualizzazione canali

Controllo delle Scale di

← Visualizzazione

← Ingressi BNC

CH1

traccia gialla

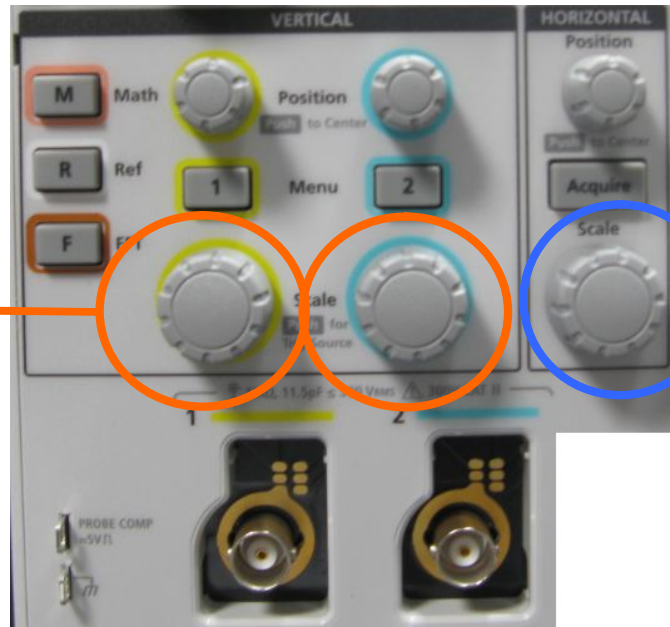
CH2

traccia azzurra

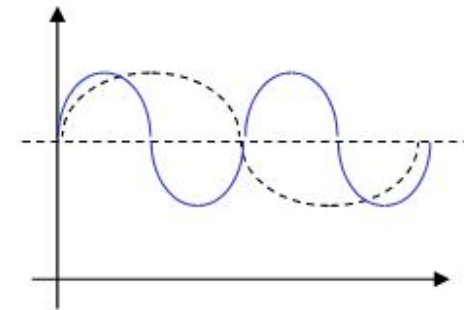
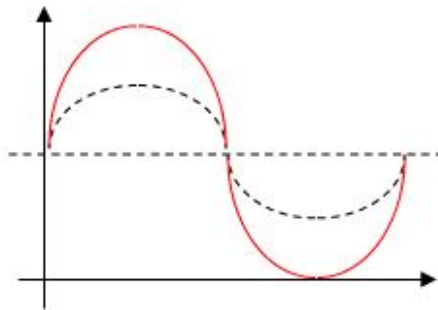
Controllo della Scala di Visualizzazione



Scala Verticale
Volt/div
(Una per canale)



Scala Orizzon.
(Comune)

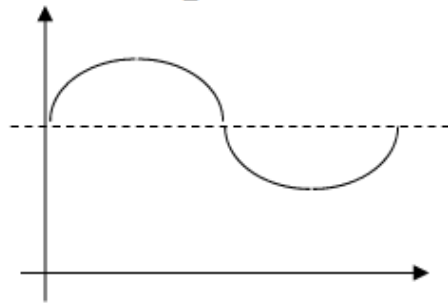


Anche in questo caso il segnale **NON** viene alterato!!!
E' solo la visualizzazione che cambia!!!

Accoppiamento in ingresso Coupling:

(Configurare CH1  e CH2 )

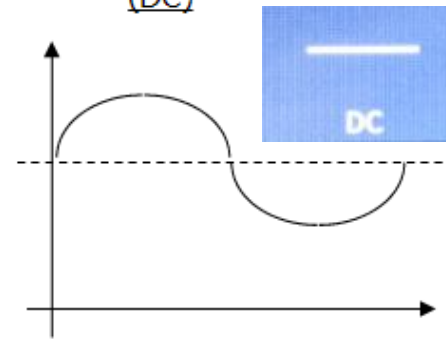
Segnale d'ingresso



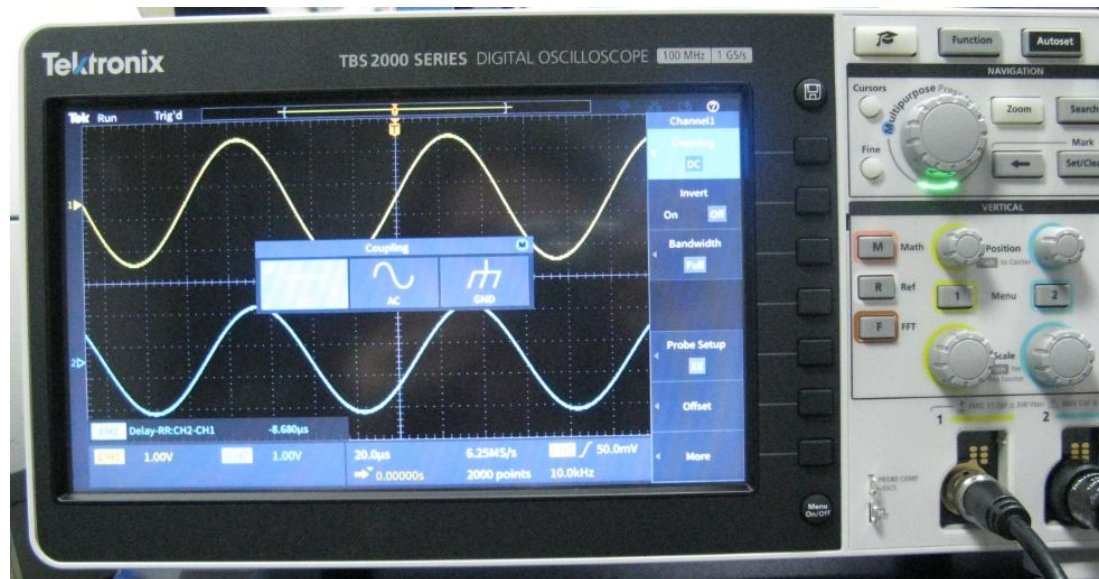
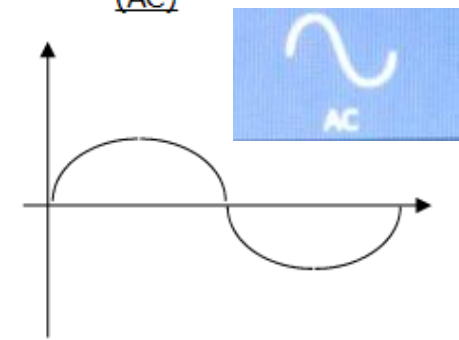
Riferimento di massa
(o linea a 0 V)



Direct Coupling
(DC)



Alternate Coupling
(AC)



Accoppiamento in ingresso Coupling:

(Configurare CH1 premi



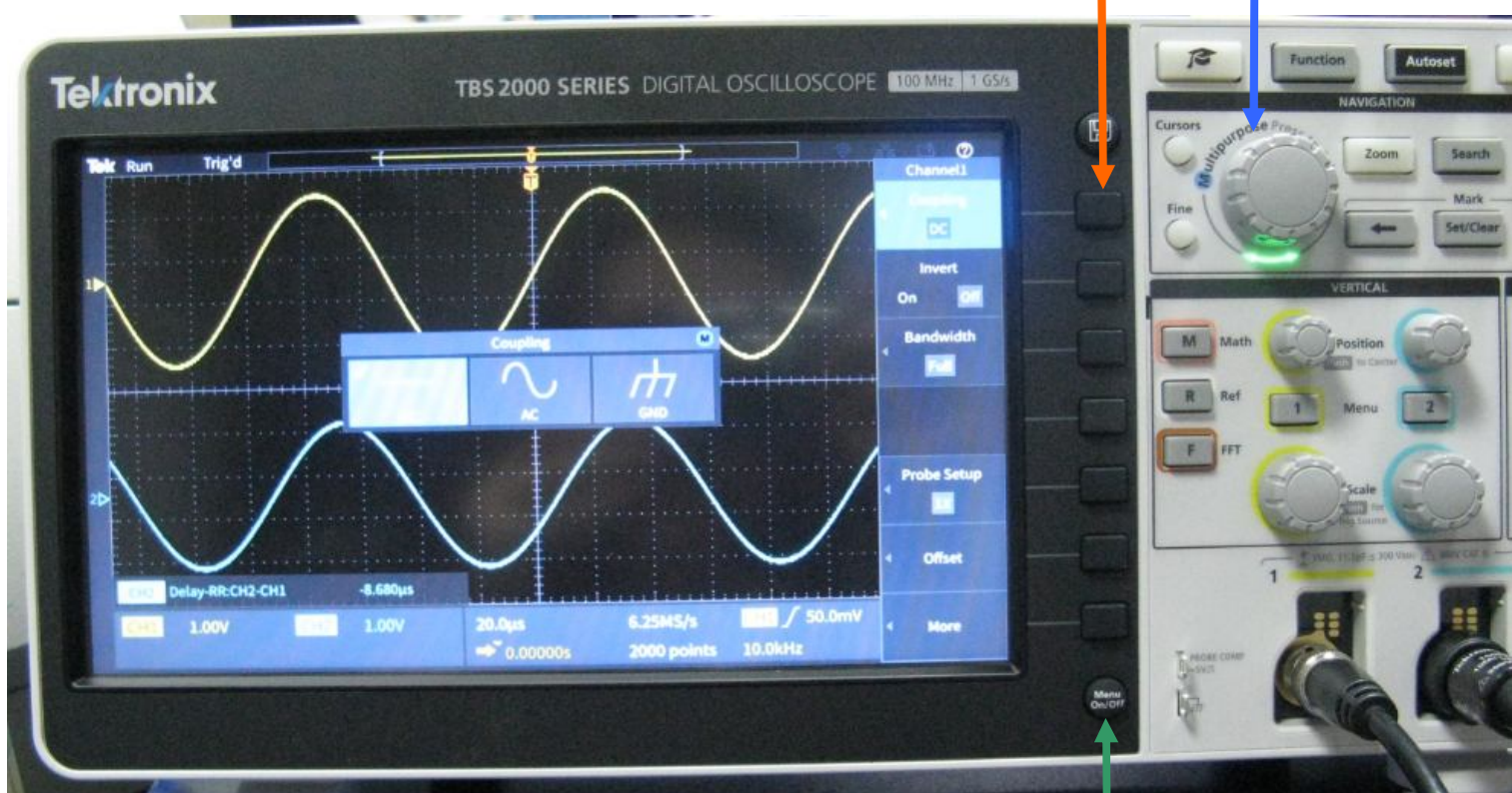
e poi CH2 premi



)

1 premi

2 ruota e seleziona



3 premi

4 esci dal Menu

DC

AC

GND

Sonda Oscilloscopio 10.1



**Coccodrillo 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



Elettronica I

- Lab. Did. Elettronica Circuitale -

Per ogni problema:

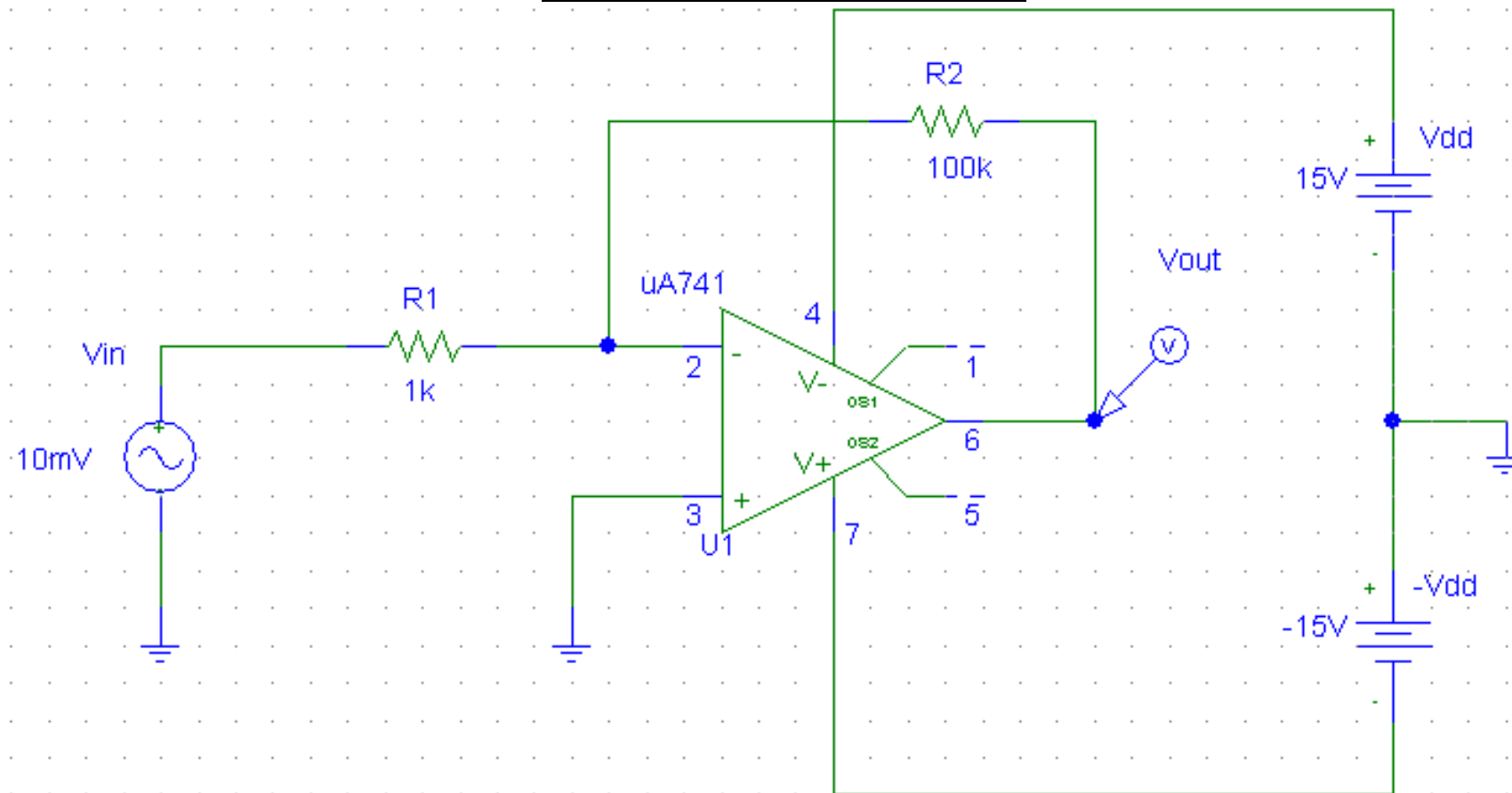
✓ Dispense del Laboratorio

✓ Tecnico del Laboratorio

✓ Docente / Tutor

Configurazione Invertente

Circuito **ATTIVO**: l'amplificatore operazionale
va alimentato



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

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

Scopo:

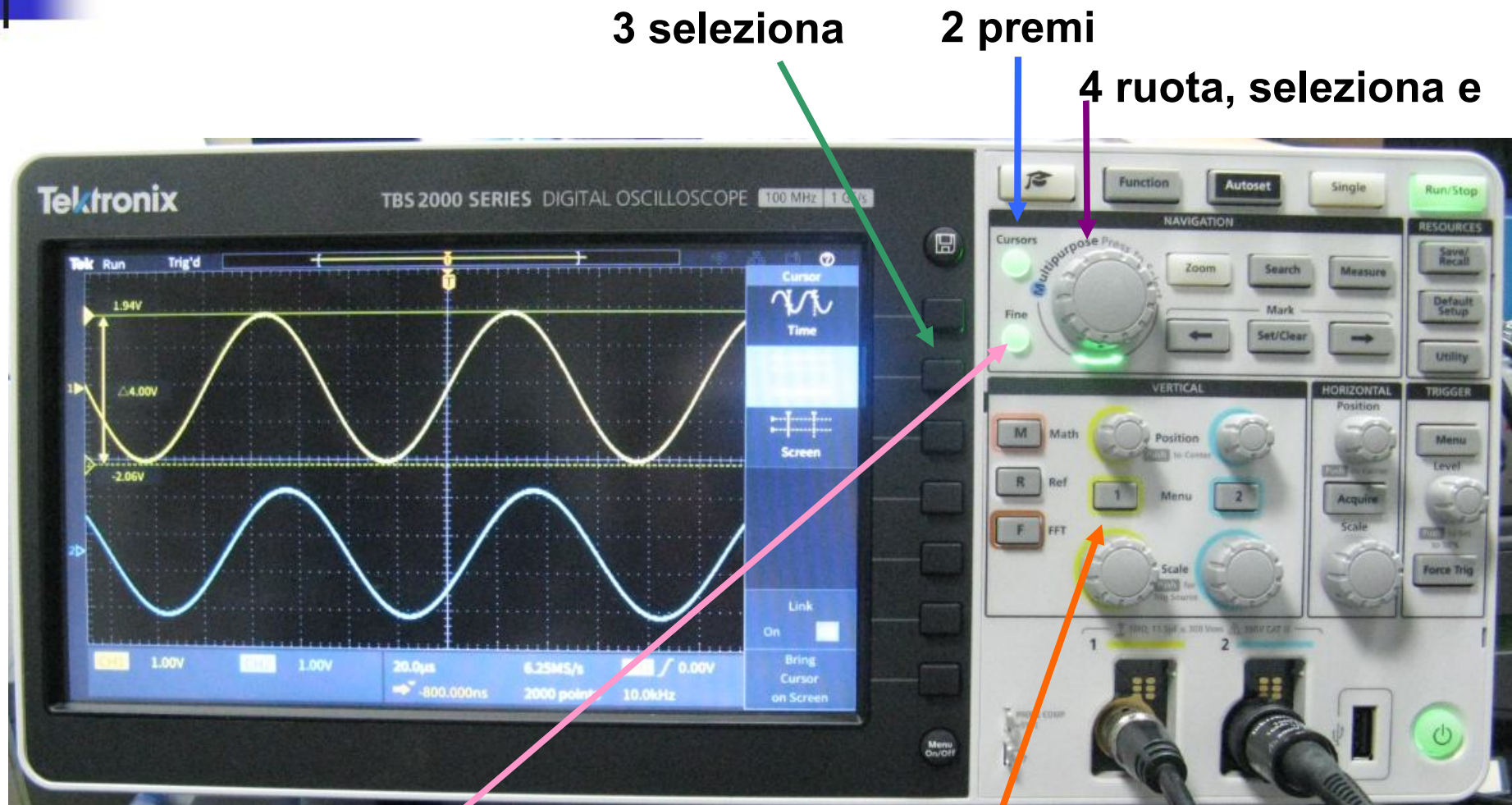
1. misurare $|F(j\omega)|$ e $\phi = \arg[F(j\omega)]$ al variare di ω
2. Tracciare i diagrammi di Bode di modulo e fase di $F(j\omega)$ e determinare f_c

Procedura: creazione di una tabella di dati

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

Misura di tensione picco-picco

(Misurare CH1  e poi CH2 )



3 seleziona

2 premi

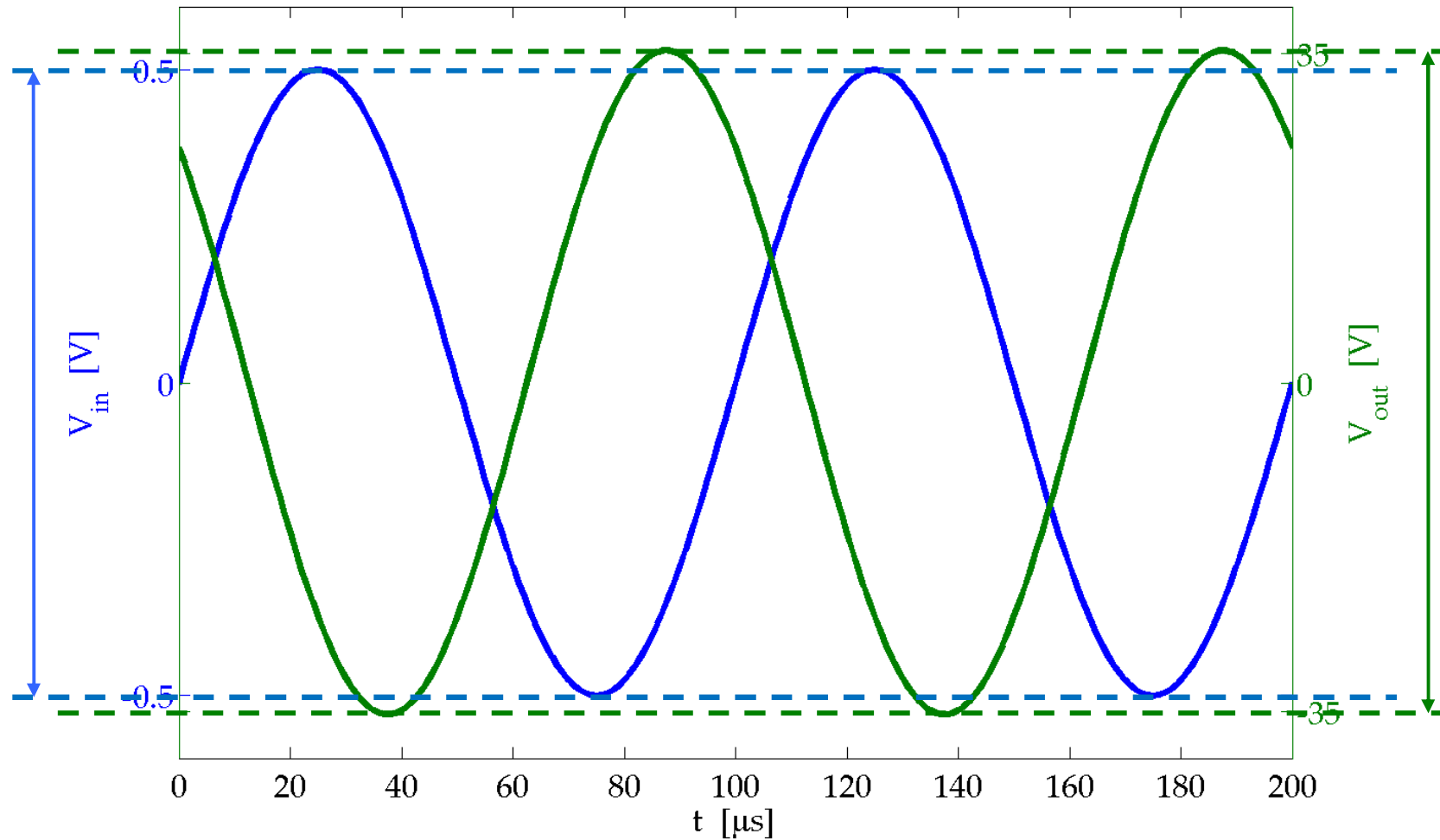
4 ruota, seleziona e

1 premi

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

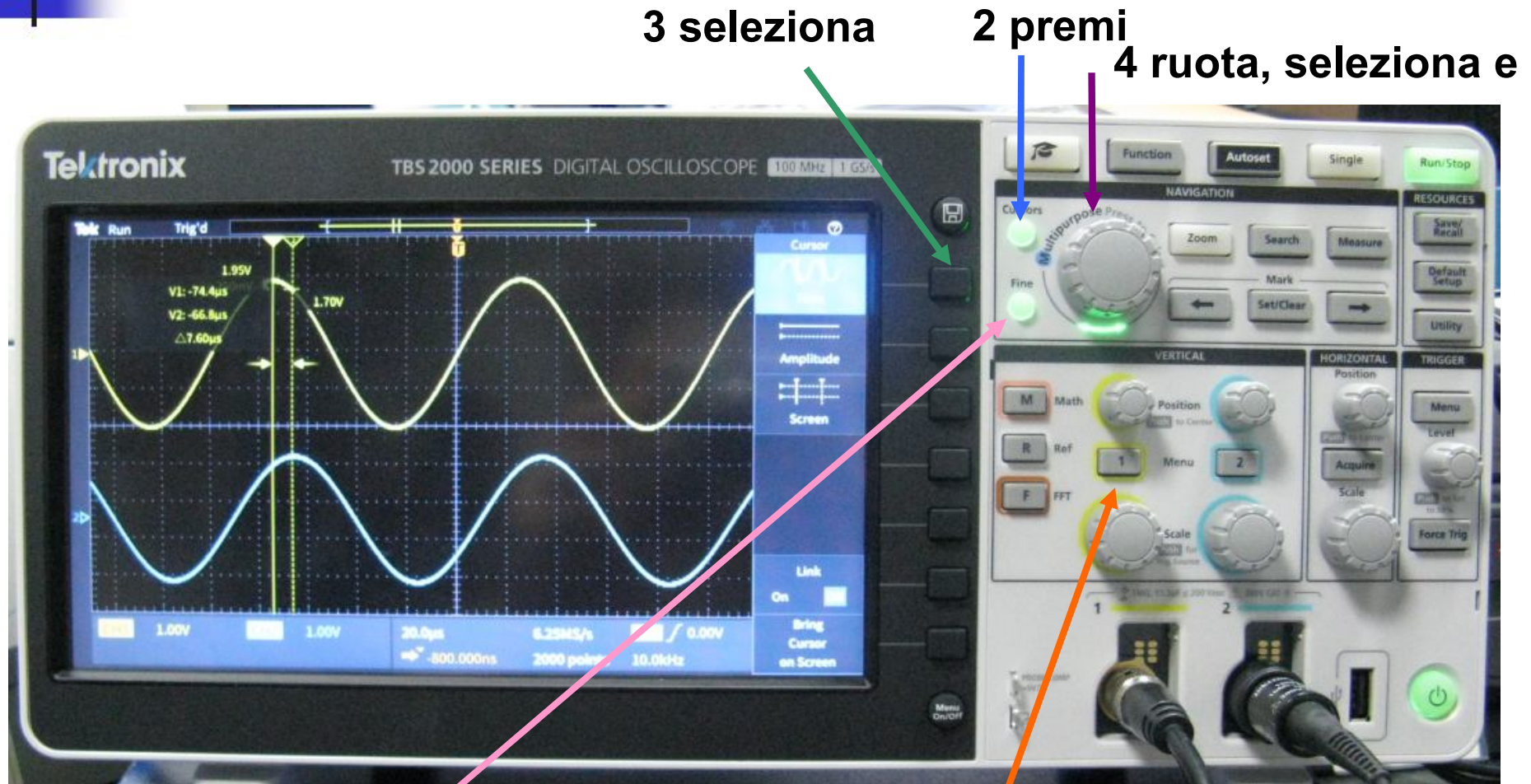
Misura di Ampiezza: $|F(j\omega)|$

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



Misura del Δt

(Misurare CH2 – CH1)



3 seleziona

2 premi

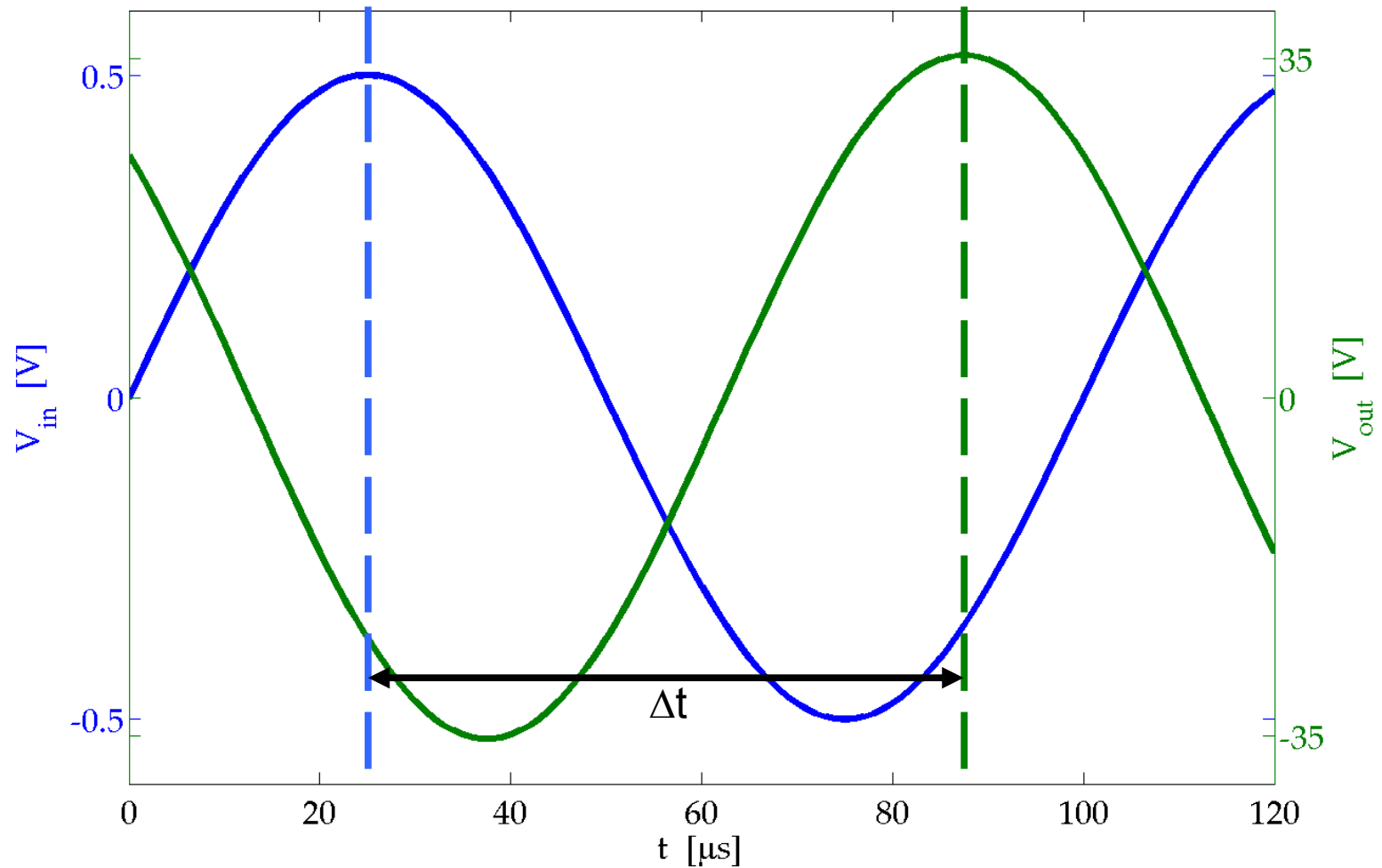
4 ruota, seleziona e

1 premi

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

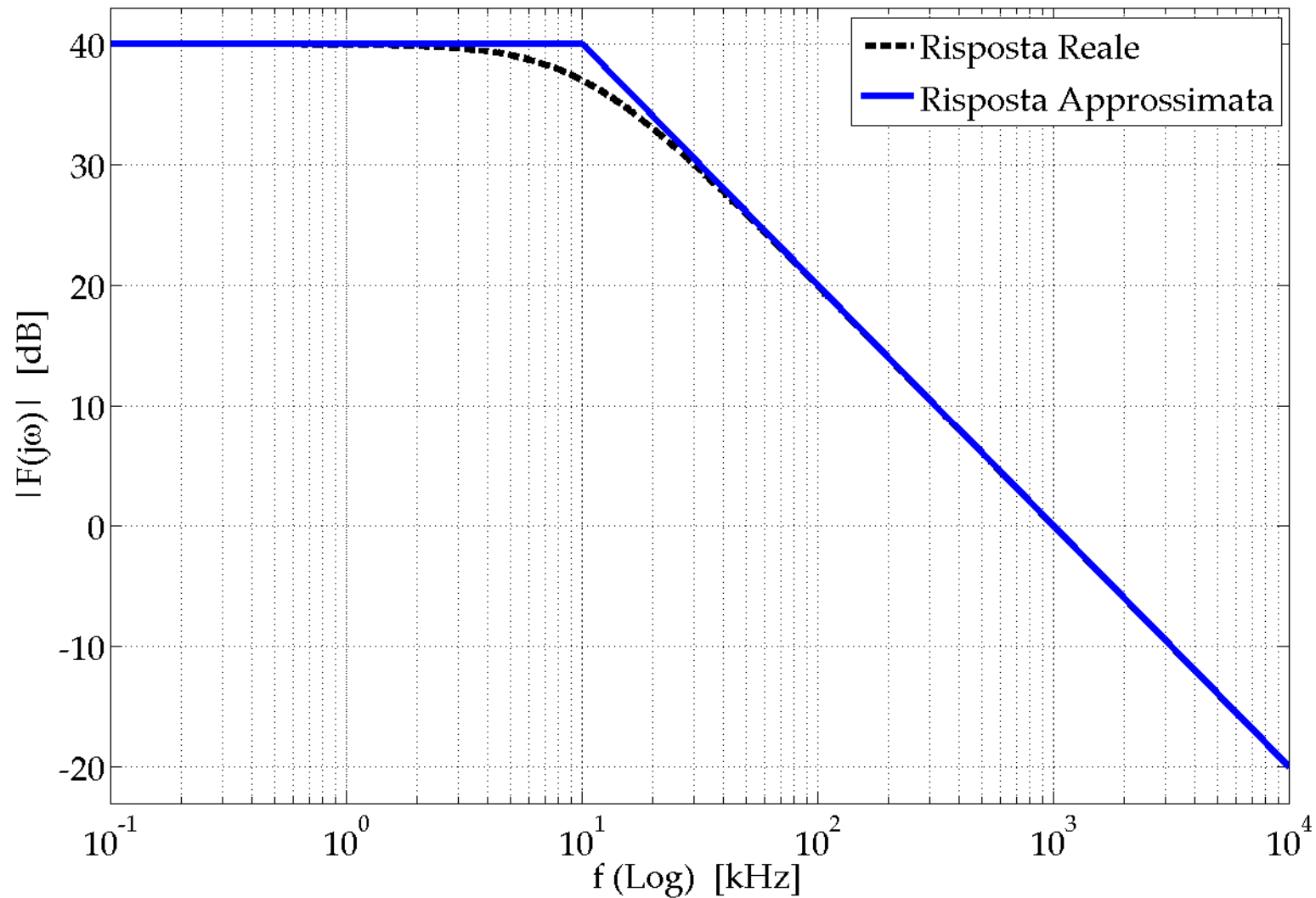
Misura di Fase: $\phi = \arg[F(j\omega)]$

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



Configurazione Invertente

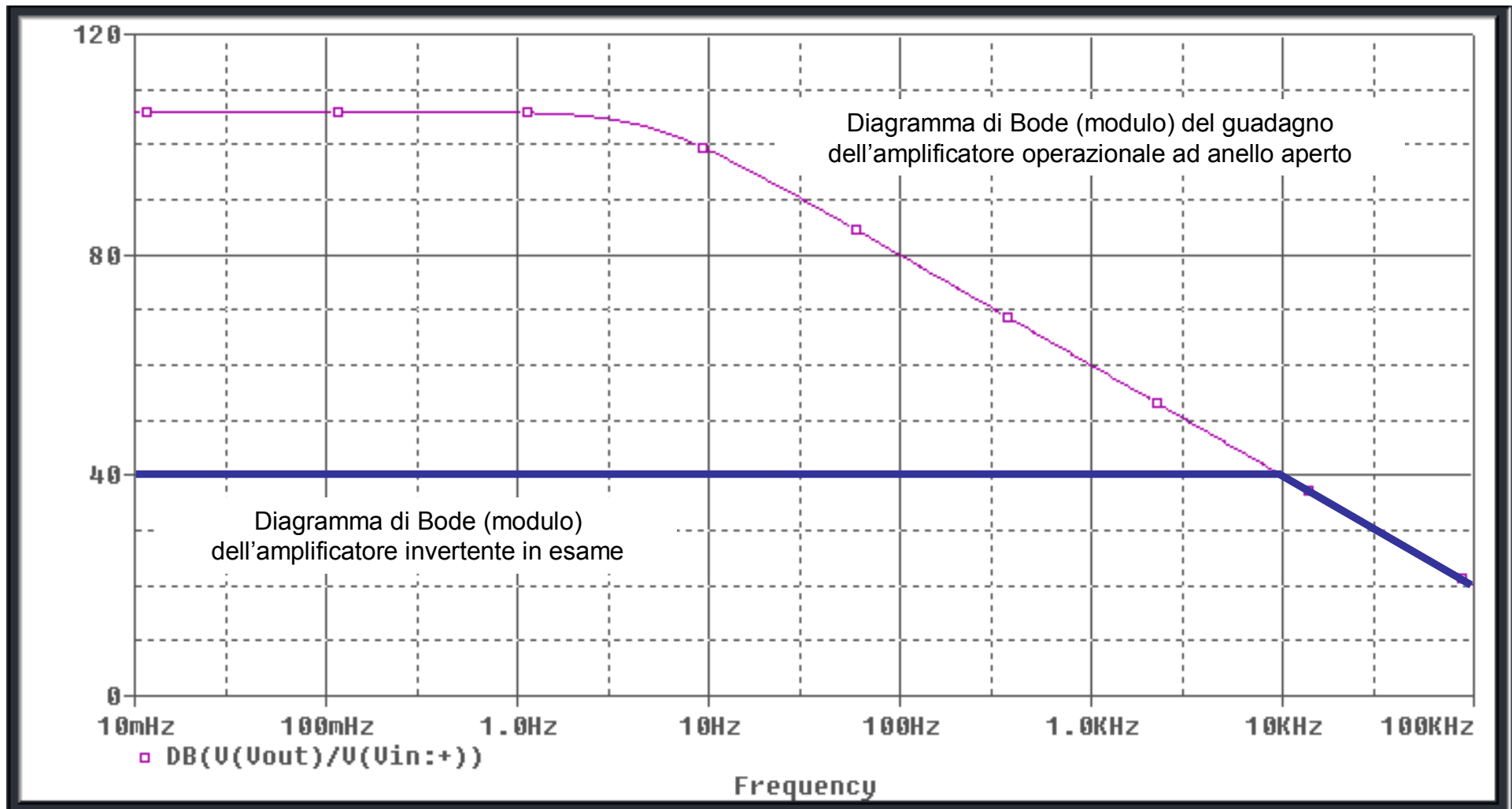
Diagramma di Bode - Modulo



OpAmp μ A741 - Anello Aperto

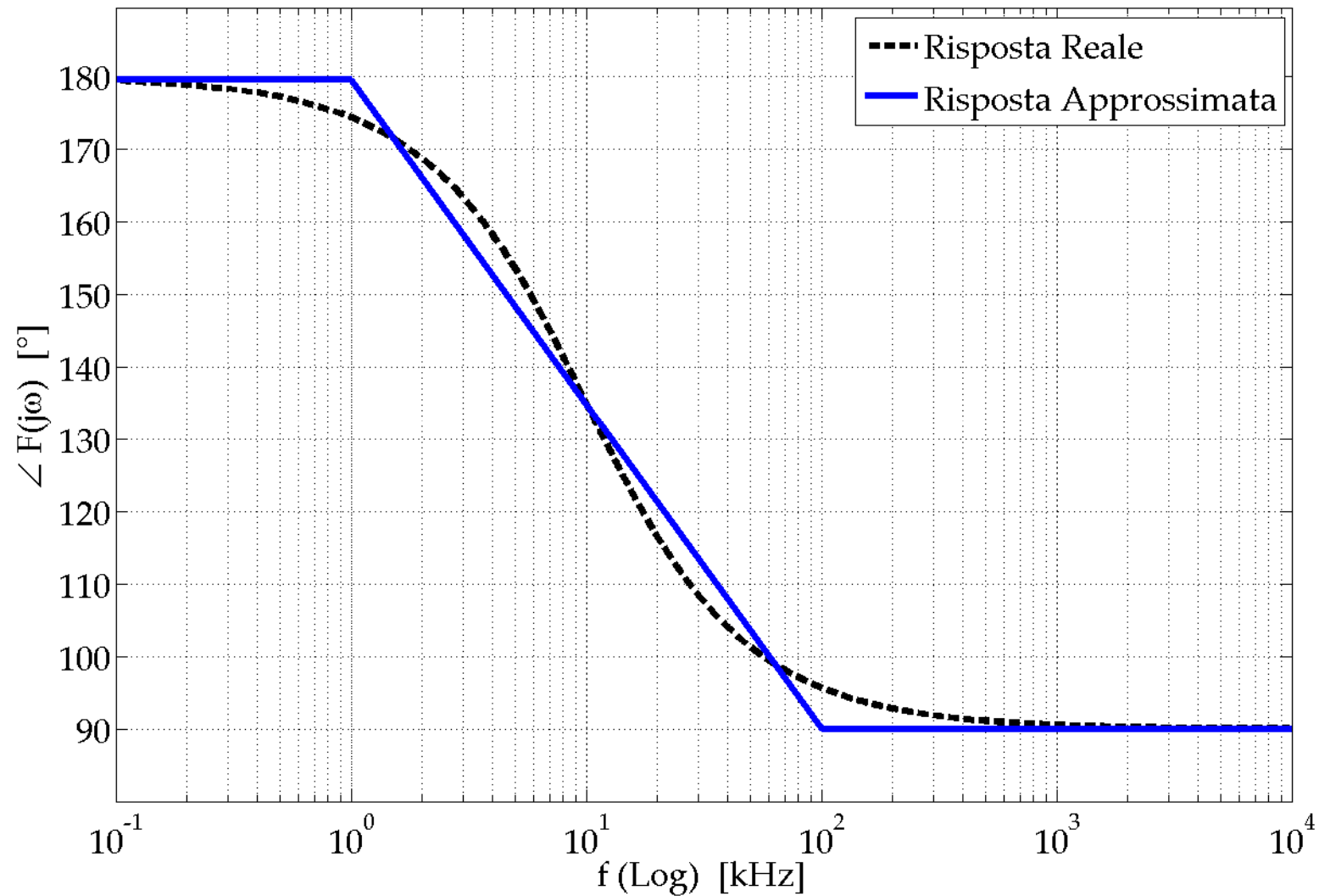
Diagramma di Bode - Modulo

Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



Configurazione Invertente

Diagramma di Bode - Fase





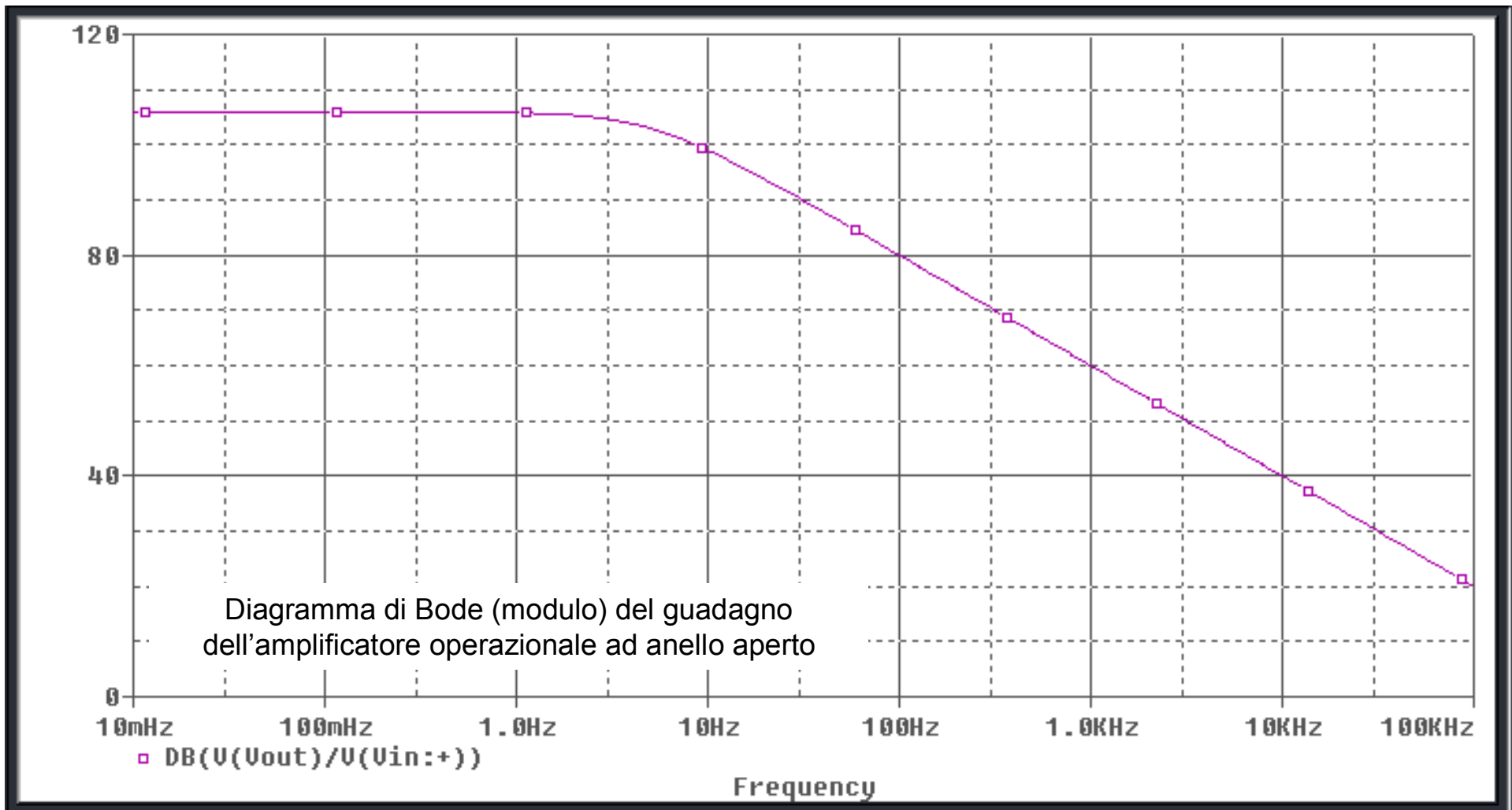
Corto Circuito Virtuale «Reale»

**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 $A_a(j\omega)$

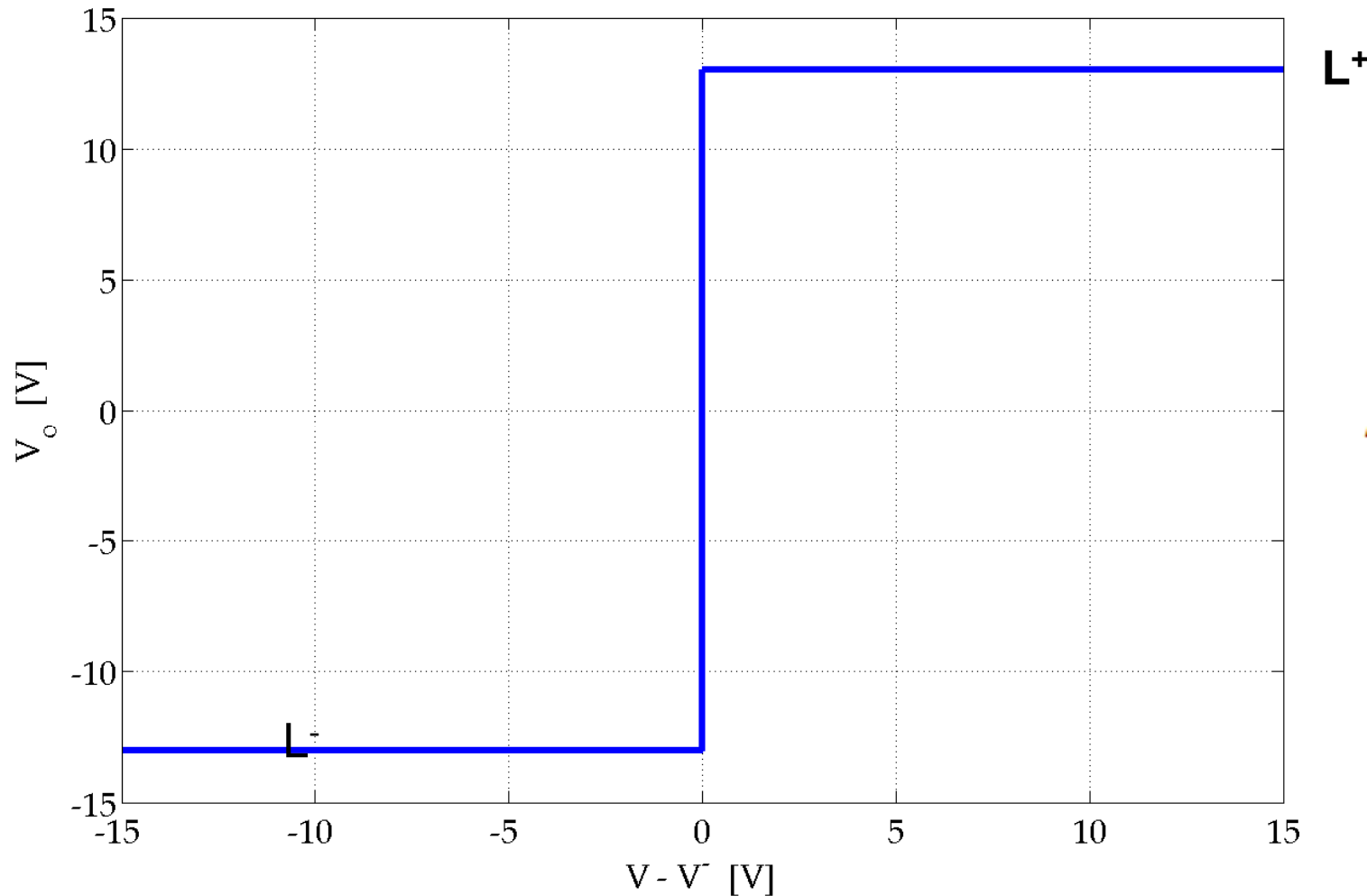
Vedi anche grafico a pag. 81 in basso sulle dispense



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

NO! Perché?

Pensate al valore di A_a

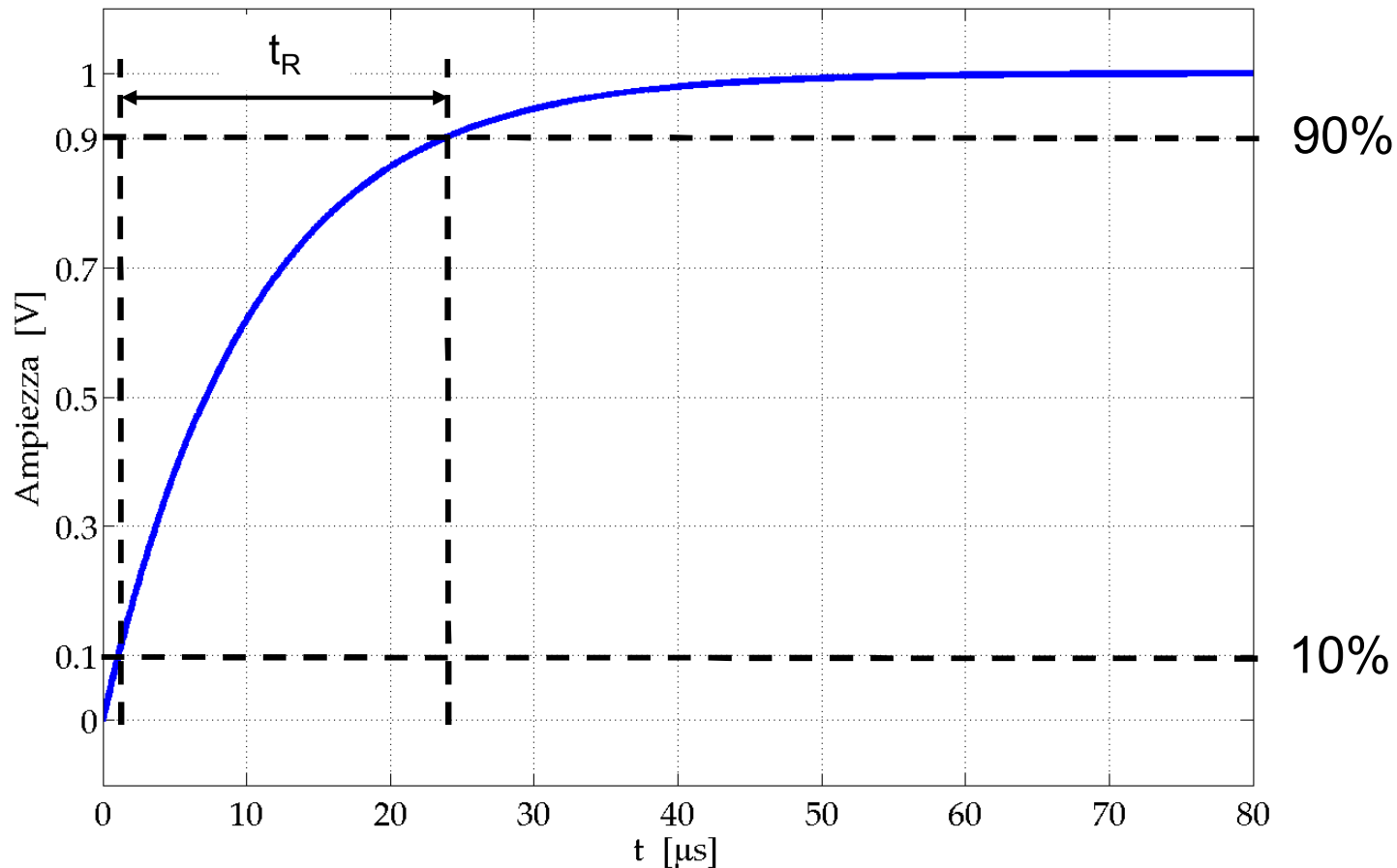


$$A_a = \frac{V_o}{V^+ - V^-}$$

Amplificatore Invertente

Risposta al Gradino

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



Misura del Tempo di Salita

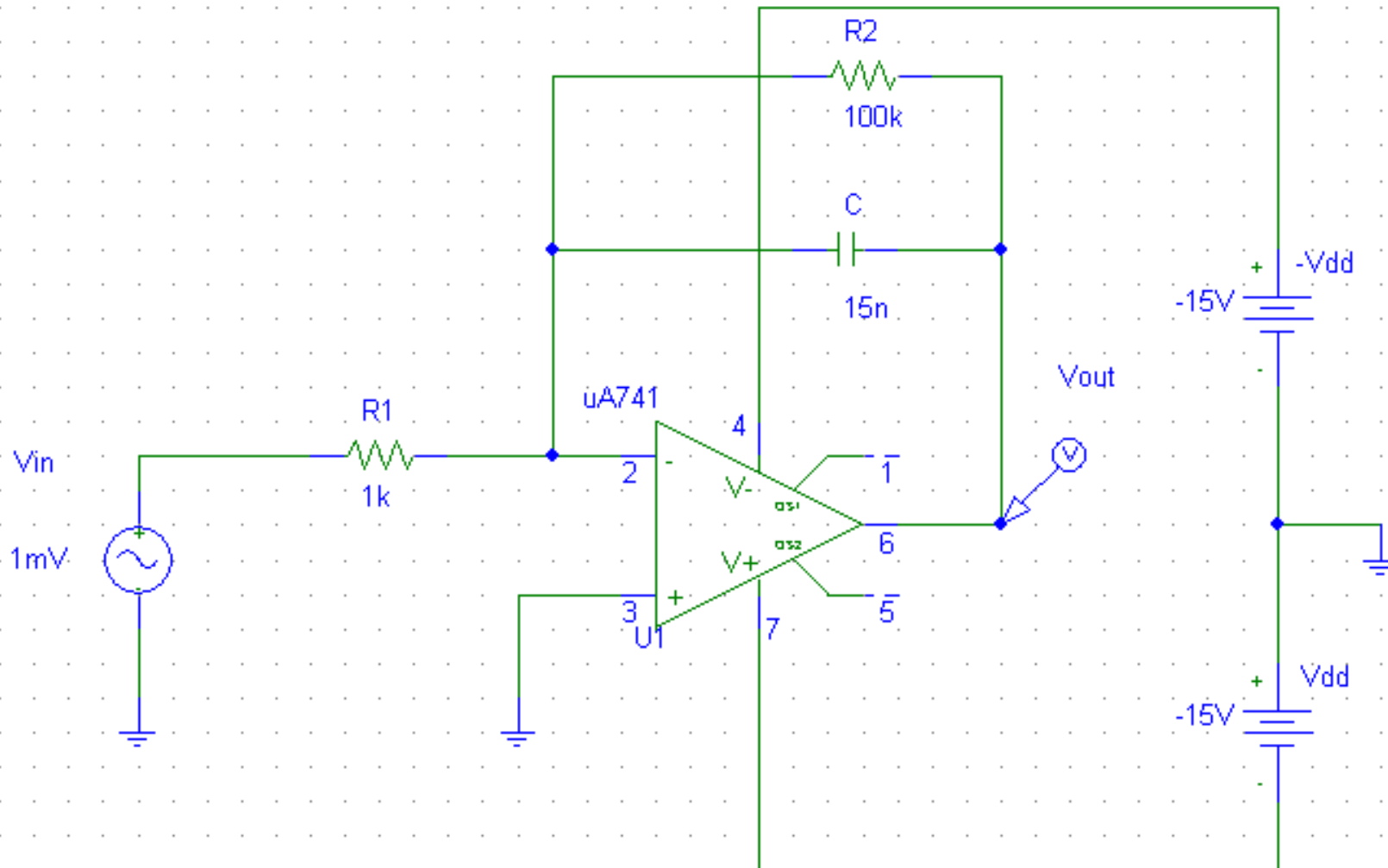
Rise Time (Configurare CH2)

2 ruota e seleziona 3 premi 1 premi



4 esci dal Menu (premi 1 volta)

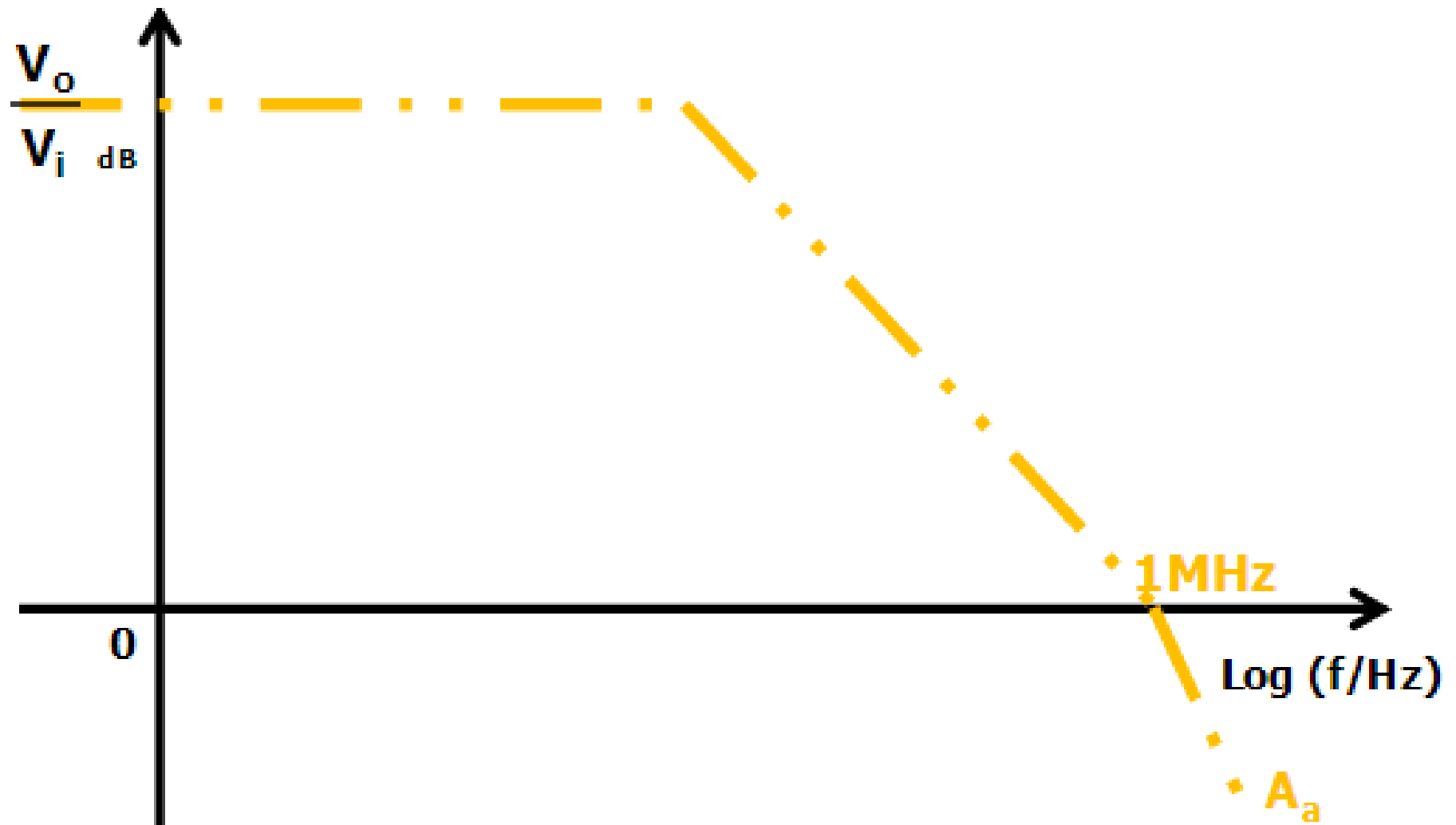
Integratore di Miller Approssimato



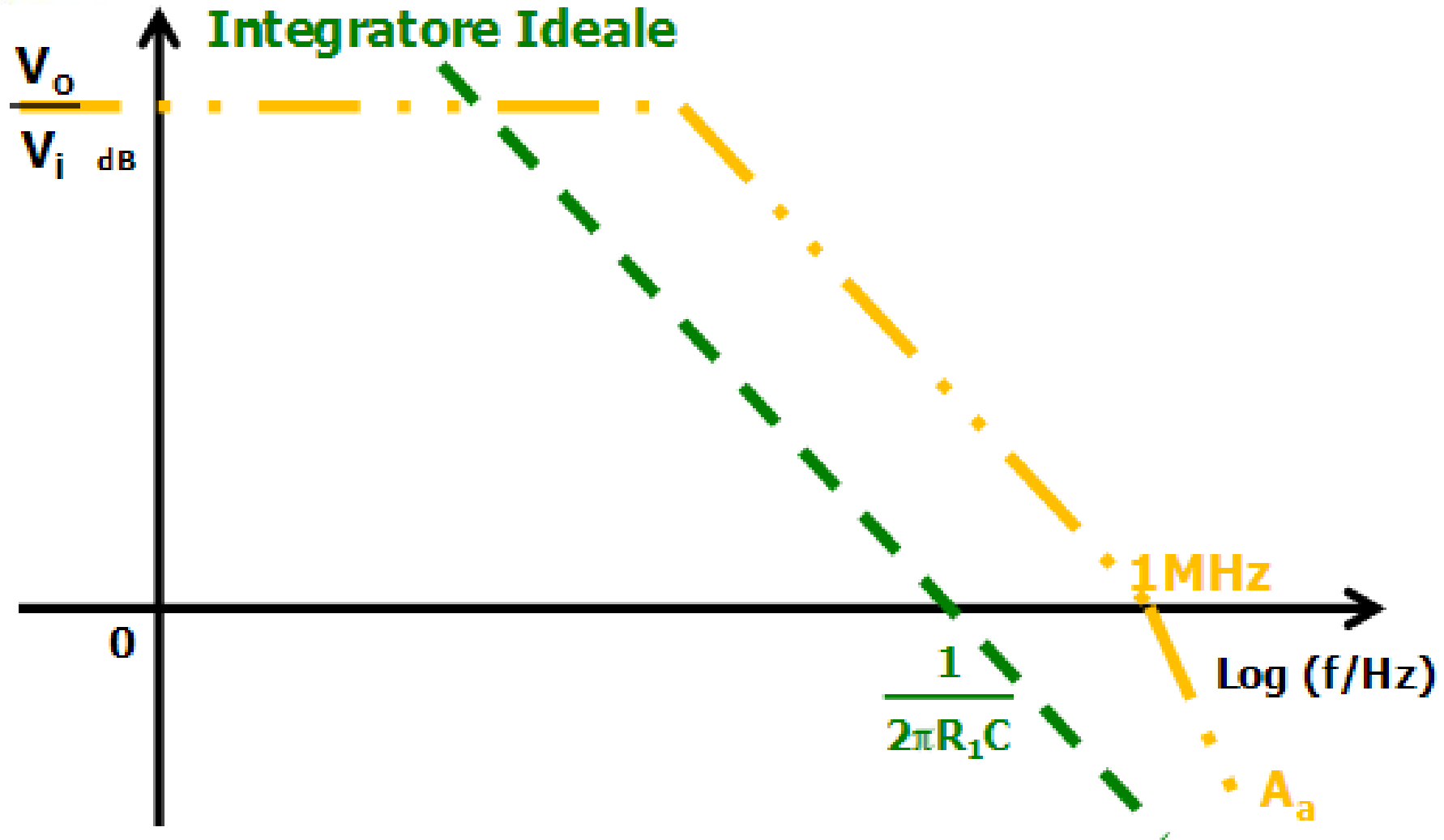
Stima Diagramma di Bode del Modulo



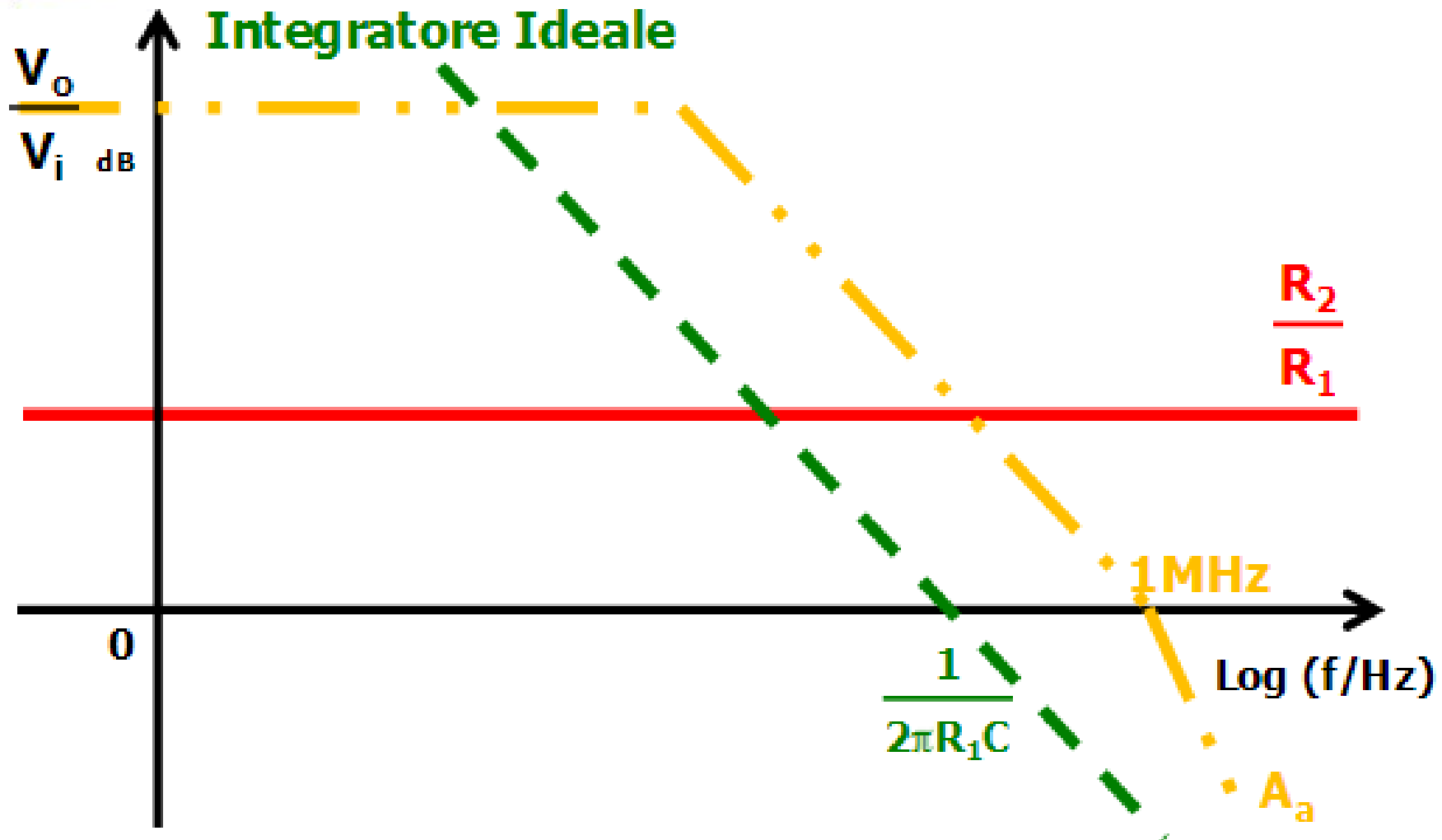
Stima Diagramma di Bode del Modulo



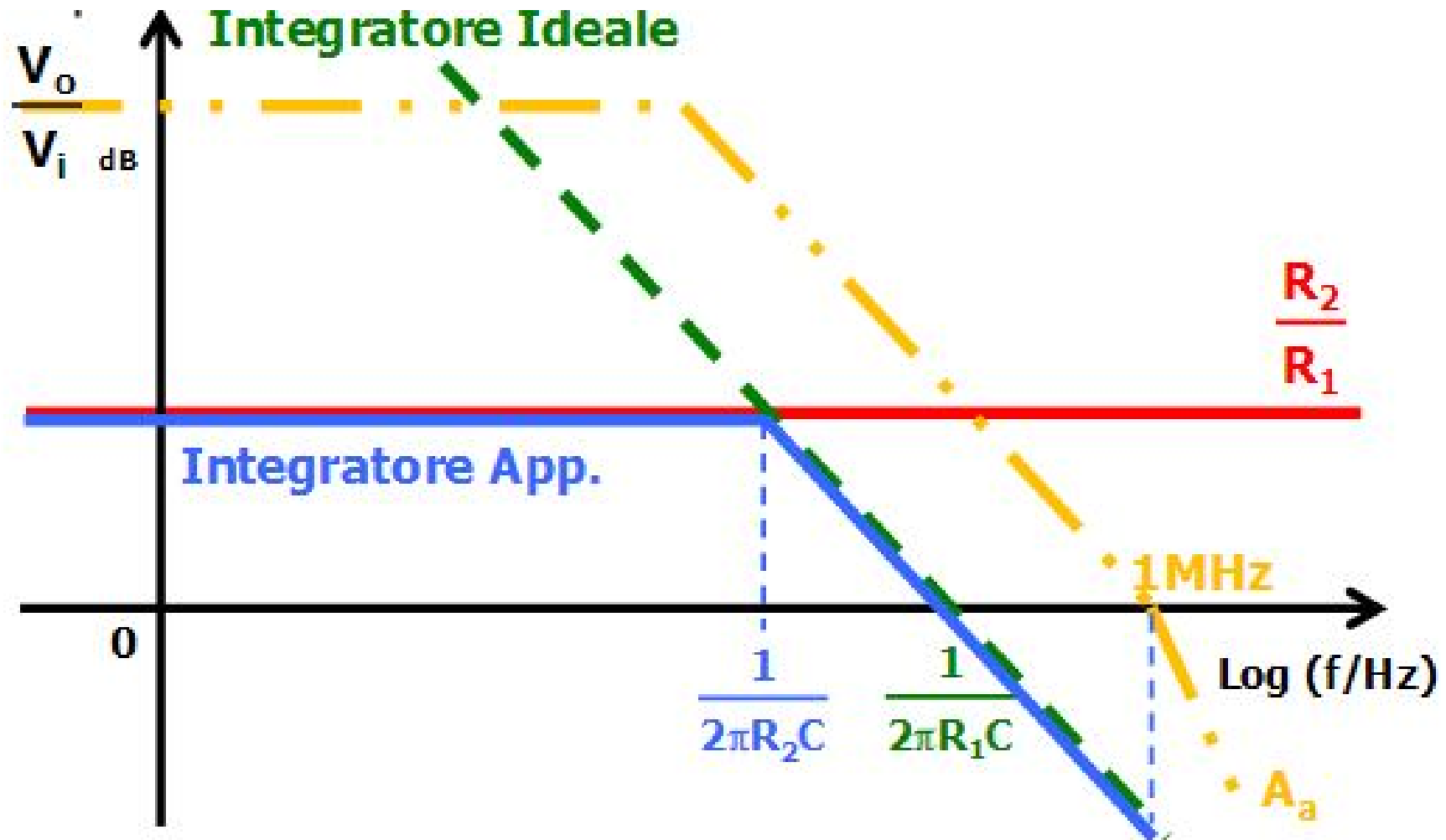
Stima Diagramma di Bode del Modulo



Stima Diagramma di Bode del Modulo

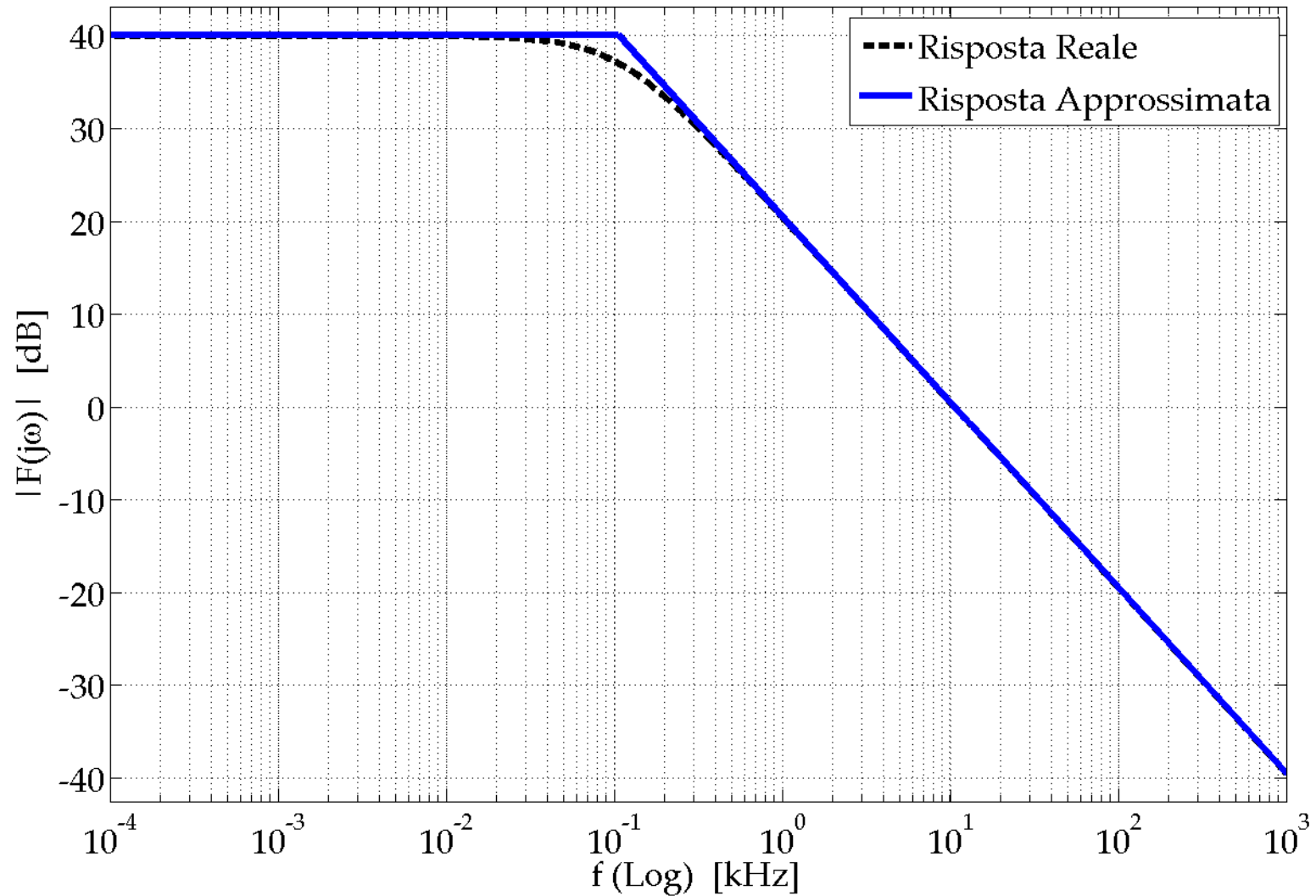


Stima Diagramma di Bode del Modulo



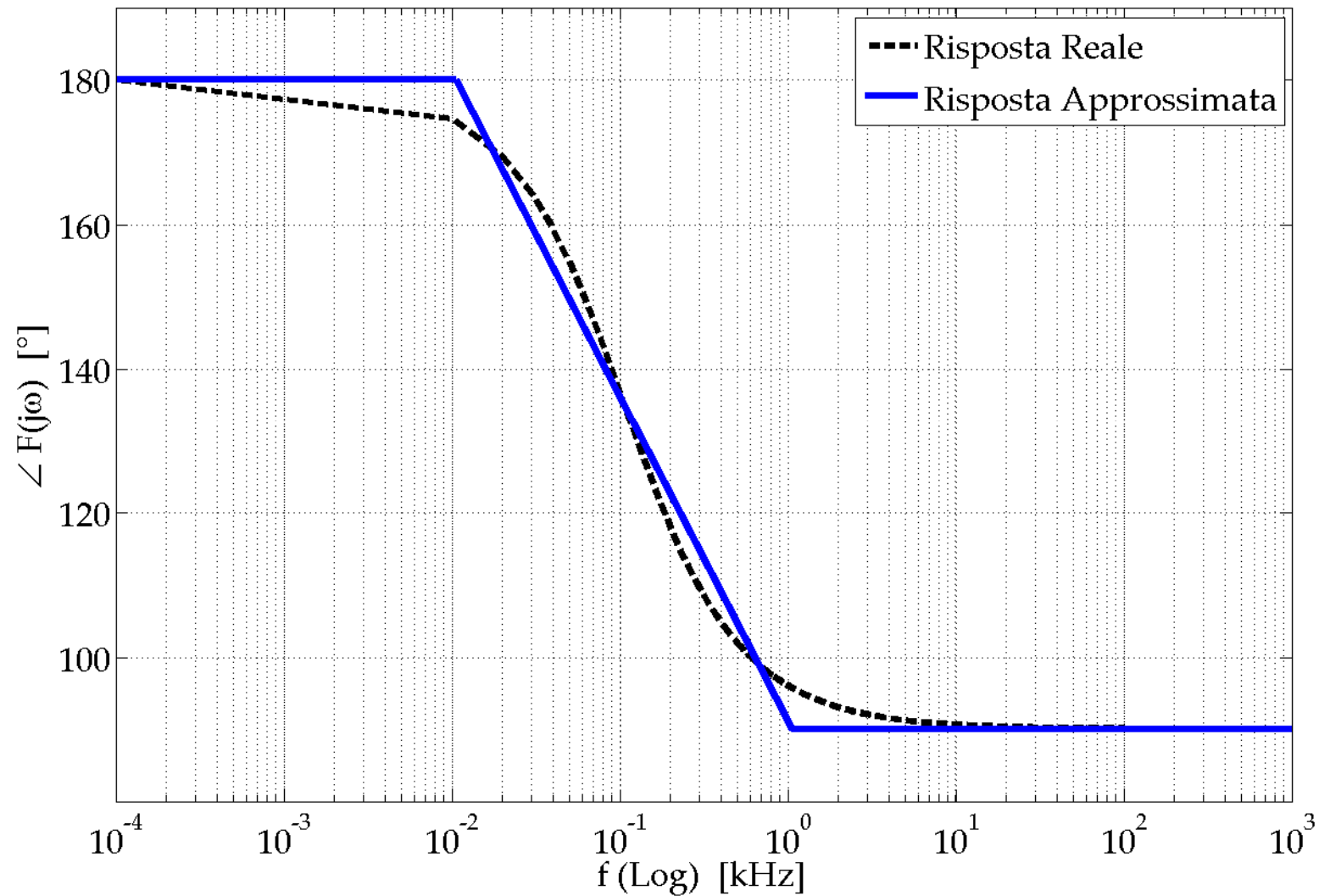
Integratore di Miller

Diagramma di Bode - Modulo



Integratore di Miller

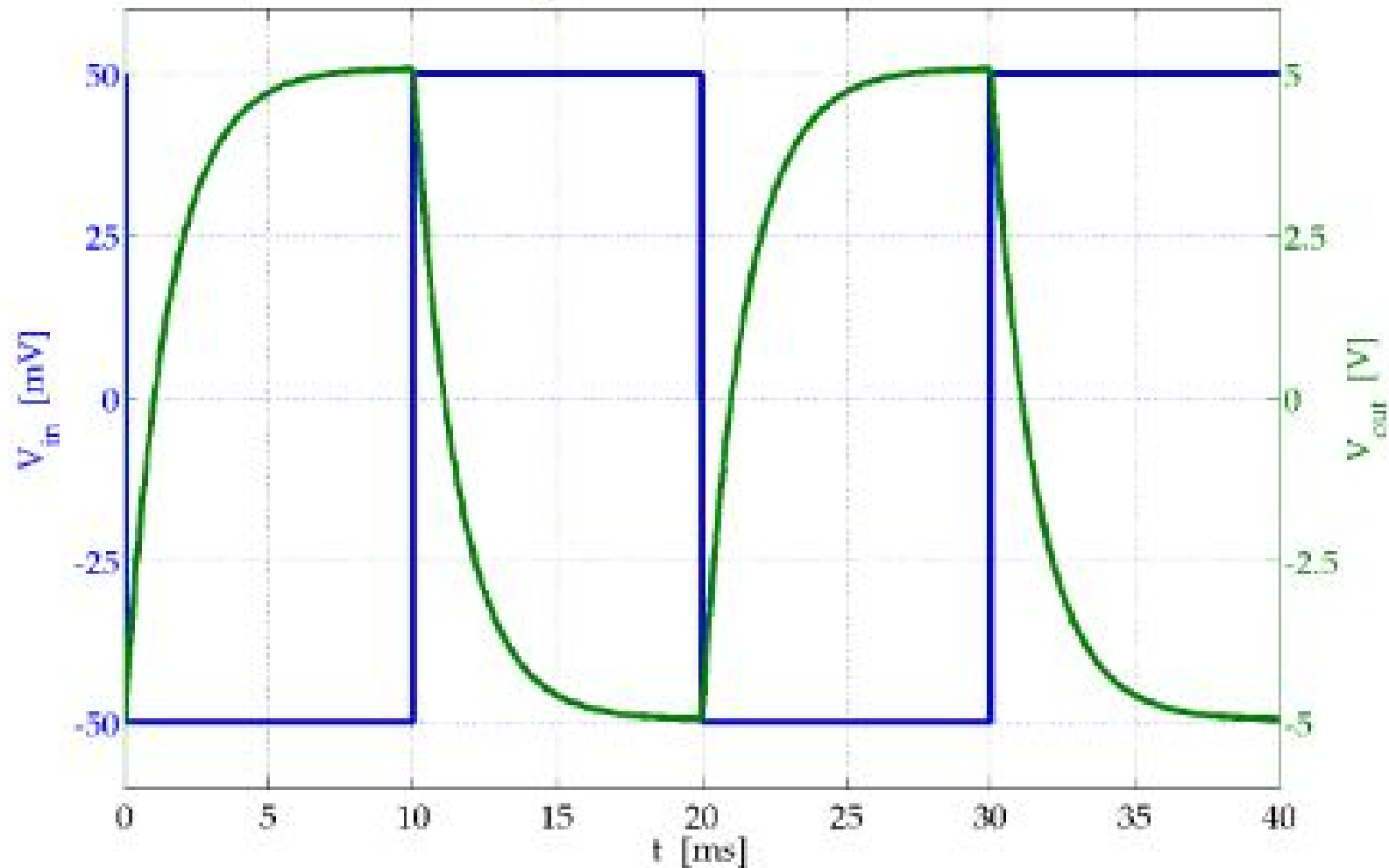
Diagramma di Bode - Fase



Integratore di Miller

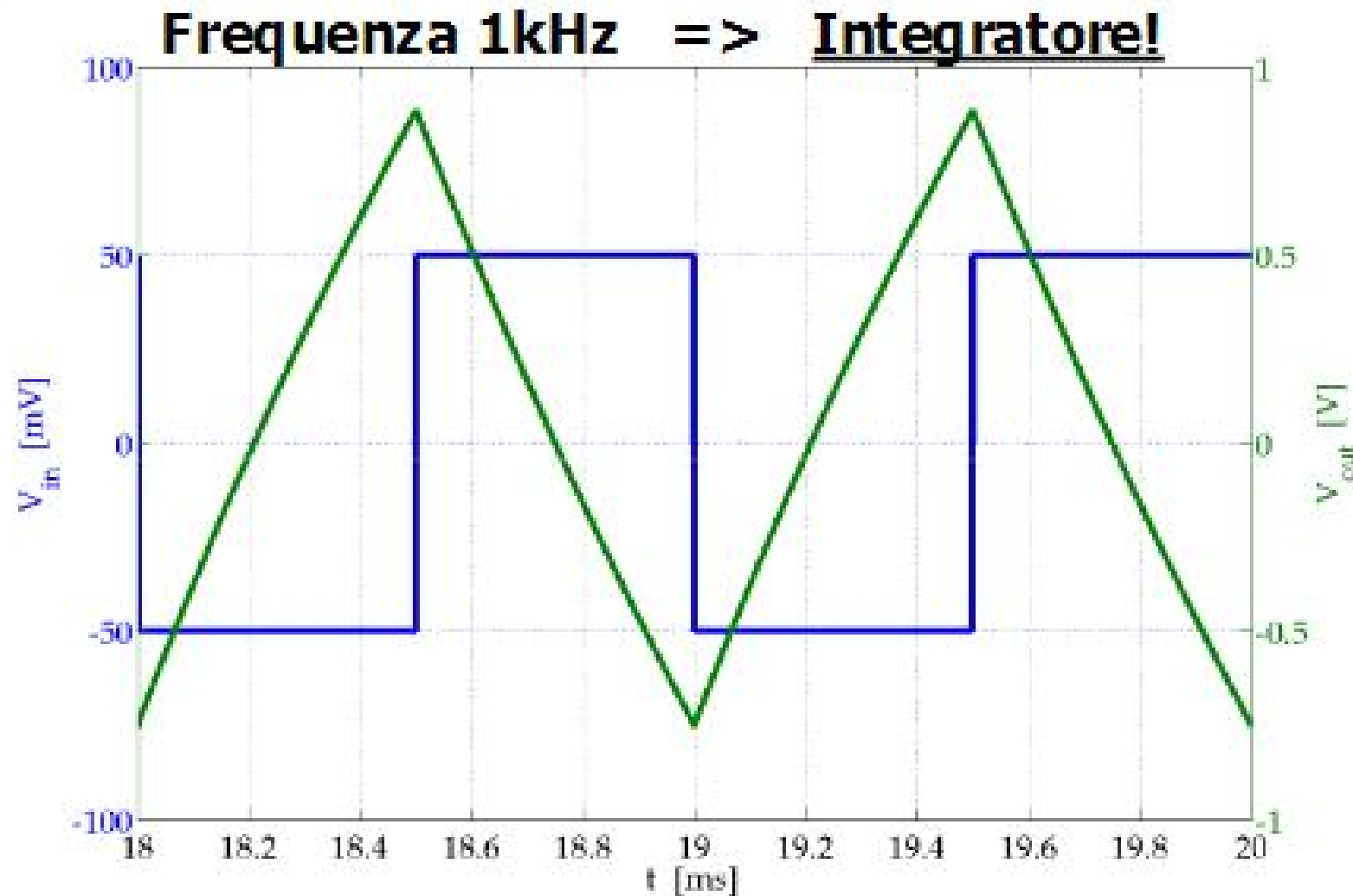
Risposta all'Onda Quadra (1)

Frequenza 50Hz

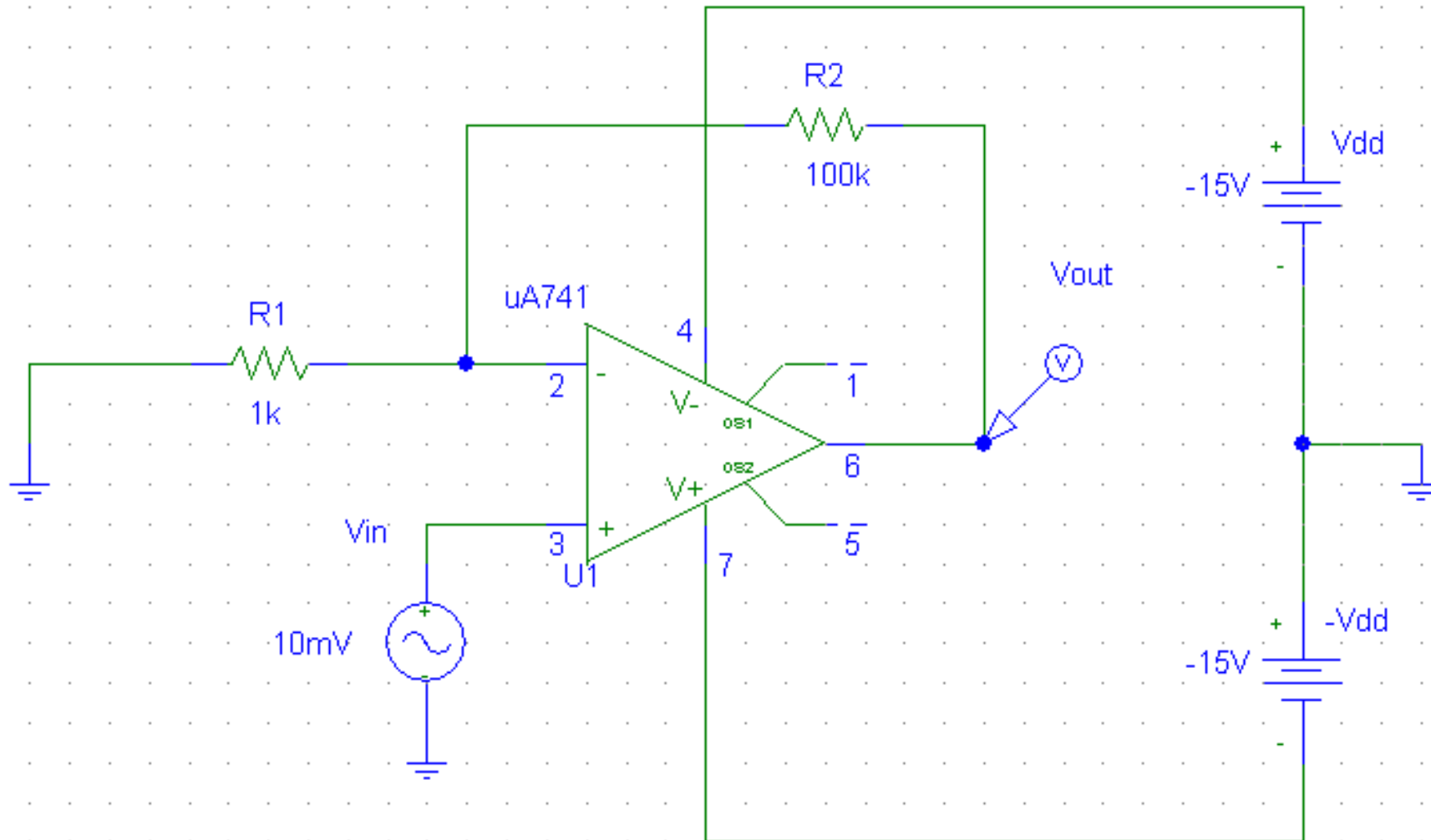


Integratore di Miller

Risposta all'Onda Quadra (2)

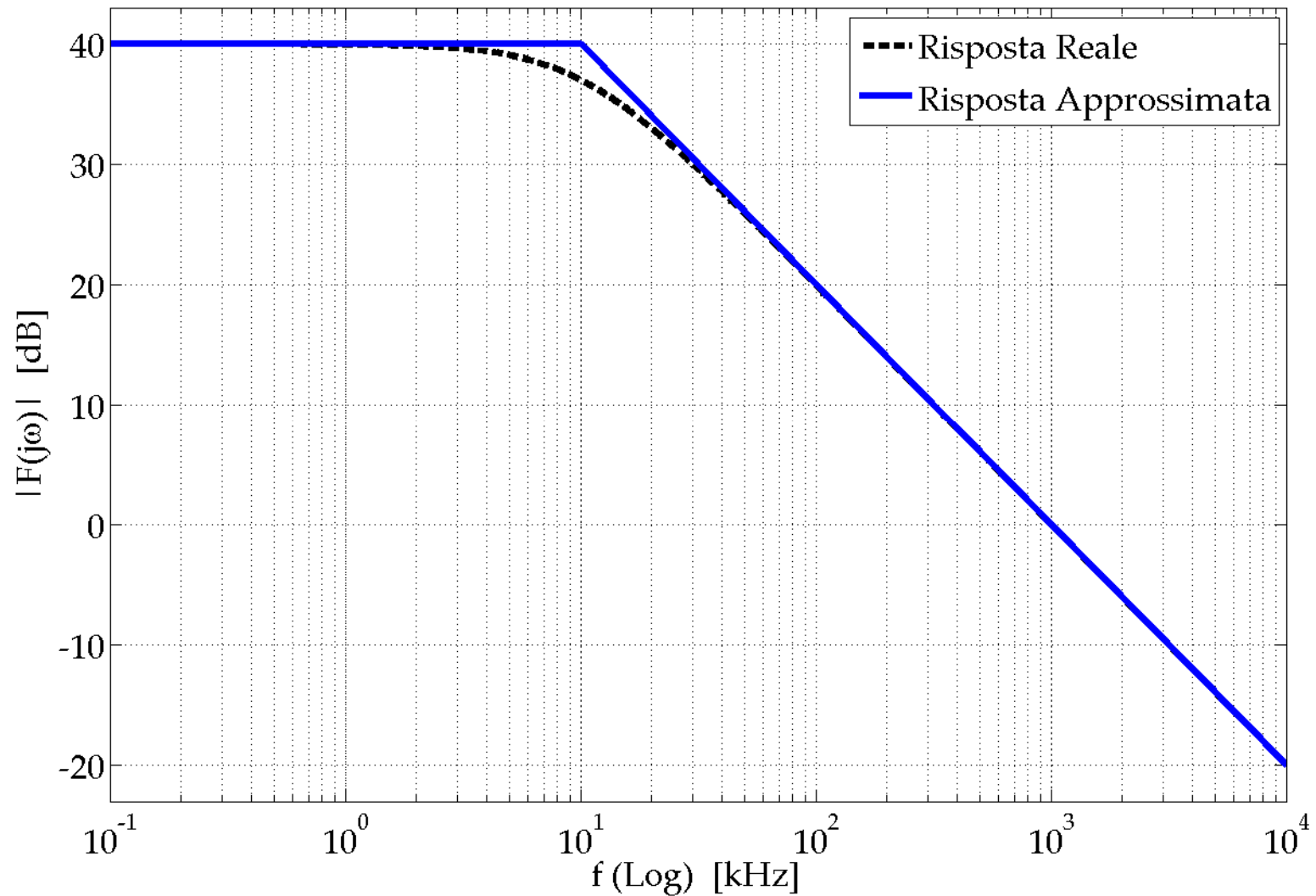


Configurazione Non Invertente



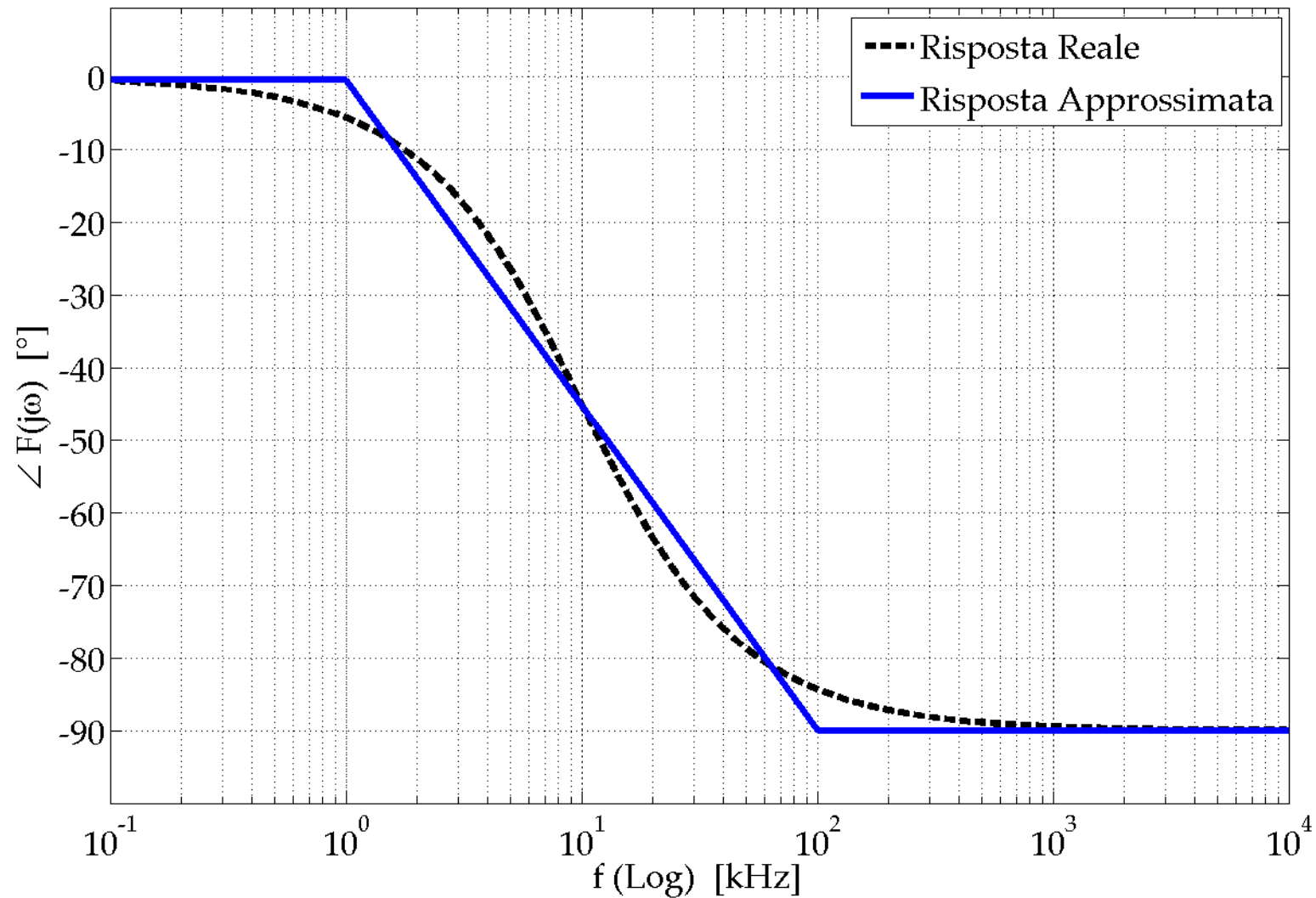
Configurazione Non Invertente

Diagramma di Bode - Modulo

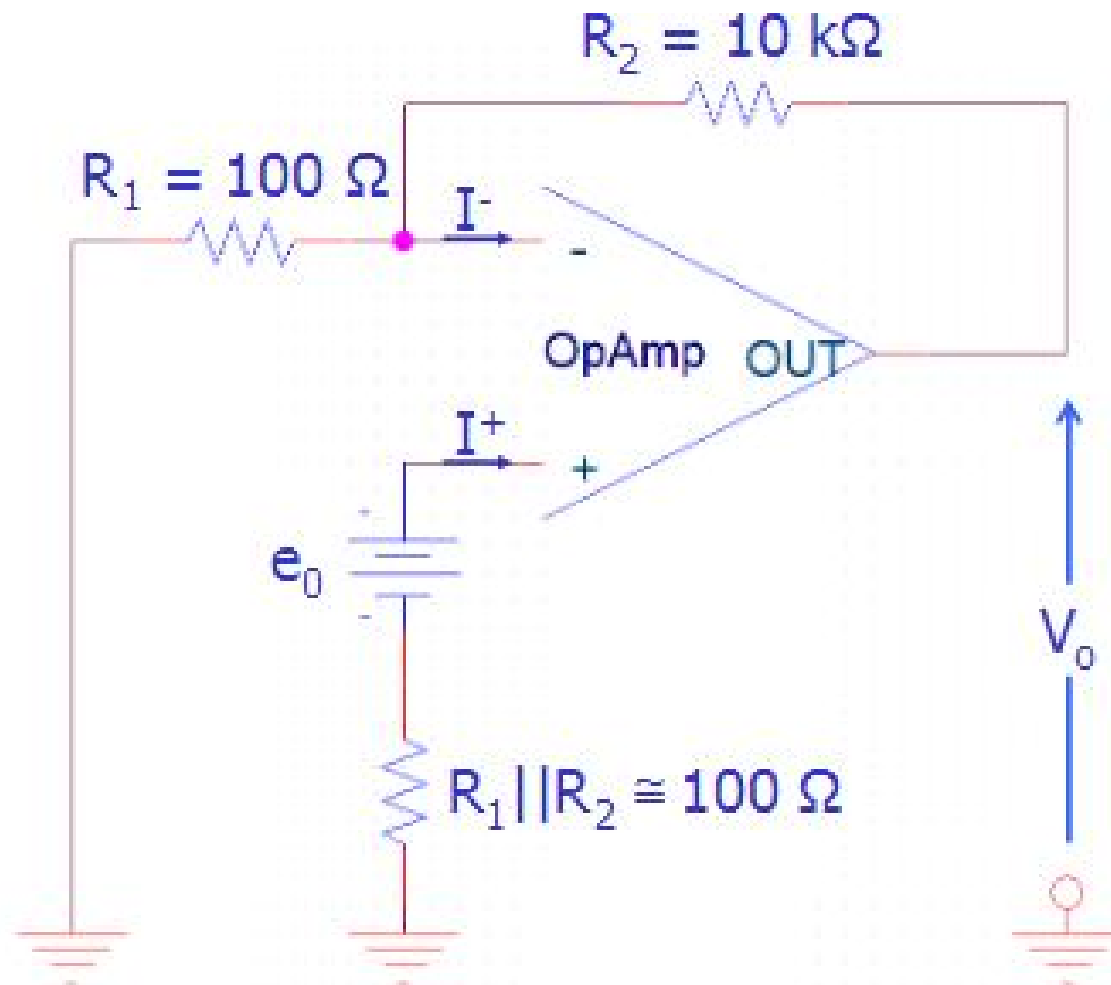


Configurazione Non Invertente

Diagramma di Bode - Fase



Effetto della Tensione e delle Correnti di Offset

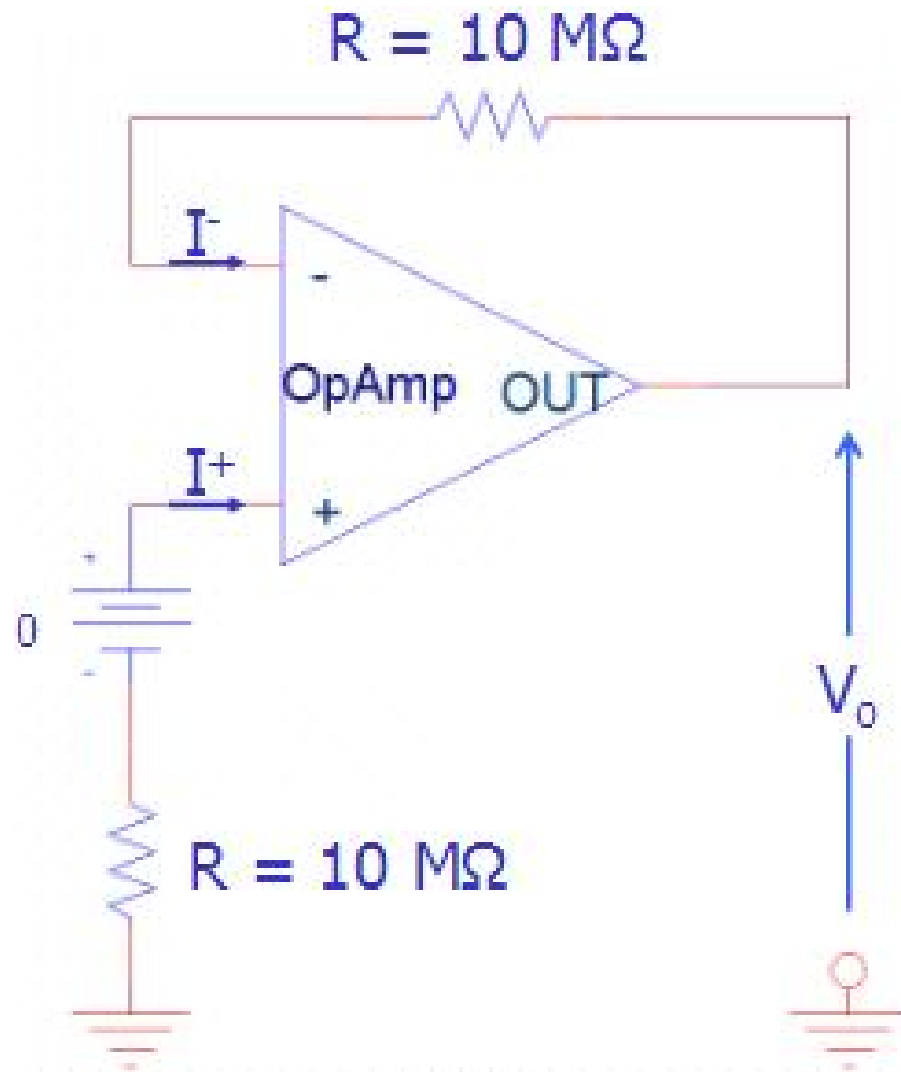


A causa degli offset di tensione e corrente, **in assenza di segnale applicato**, si osserva

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:

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

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



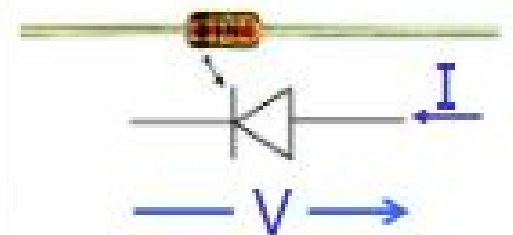
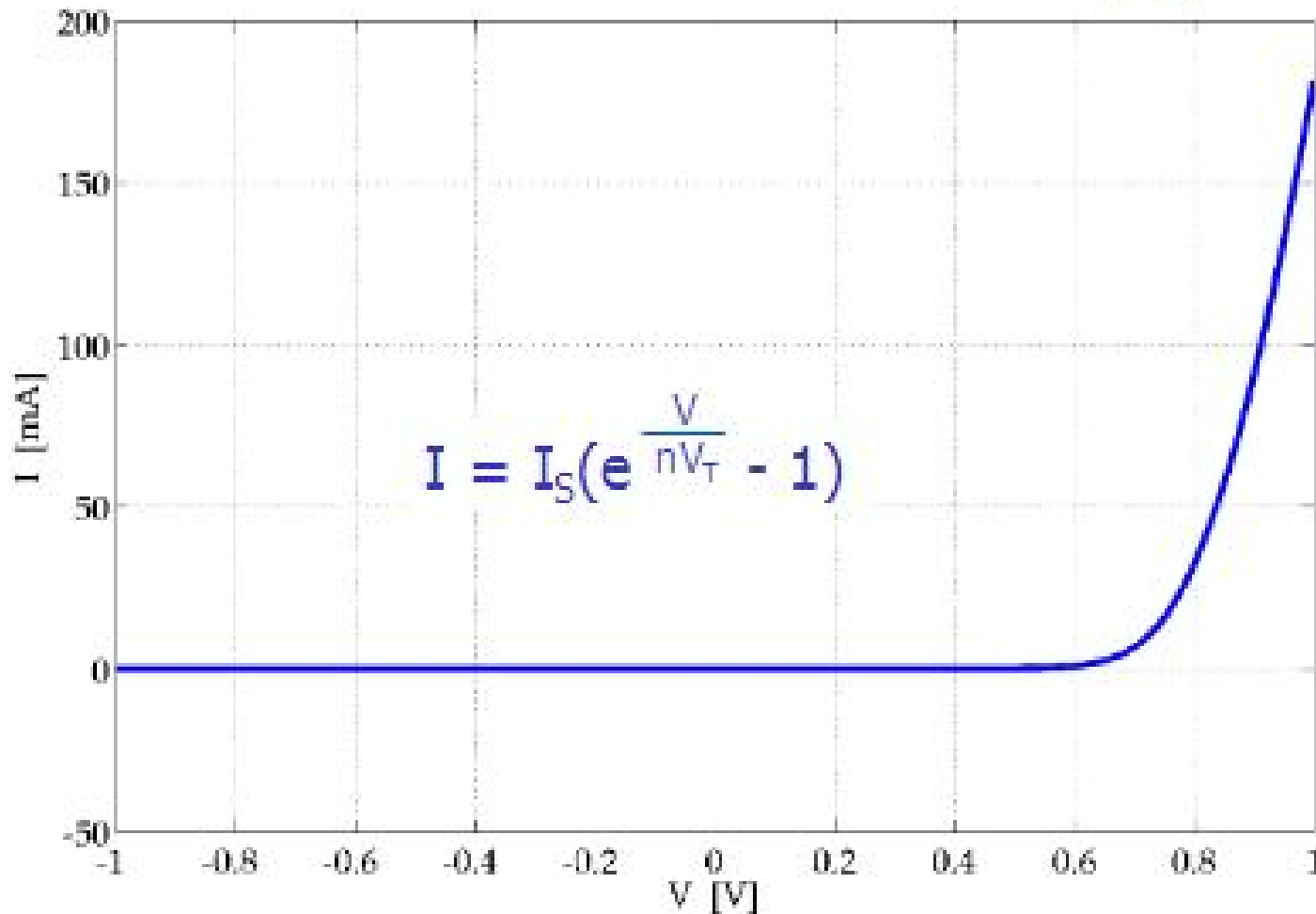
Elettronica I

- Terza Esercitazione -

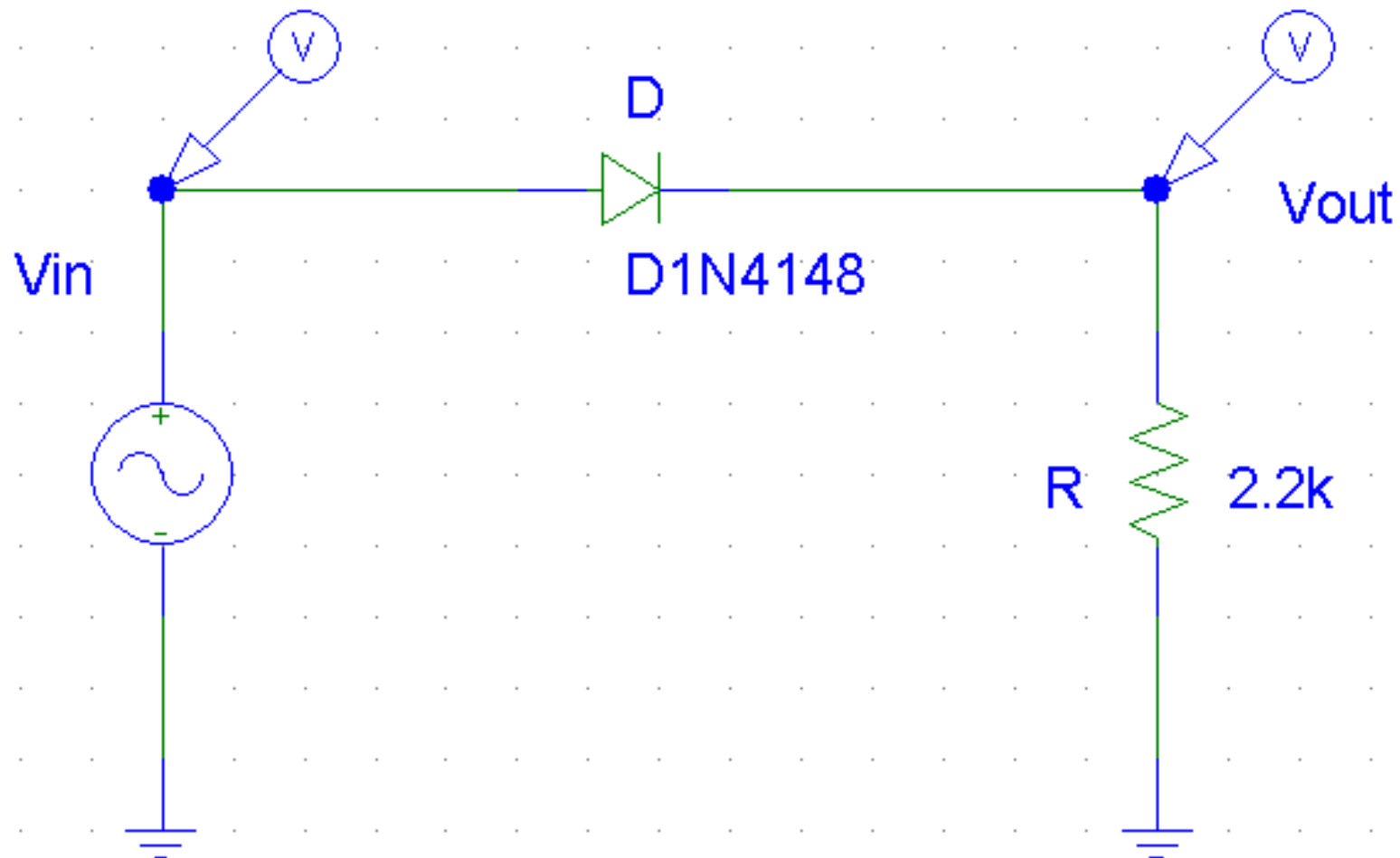
CIRCUITI CON DIODI

Caratteristica I(V) del Diodo 1N4148

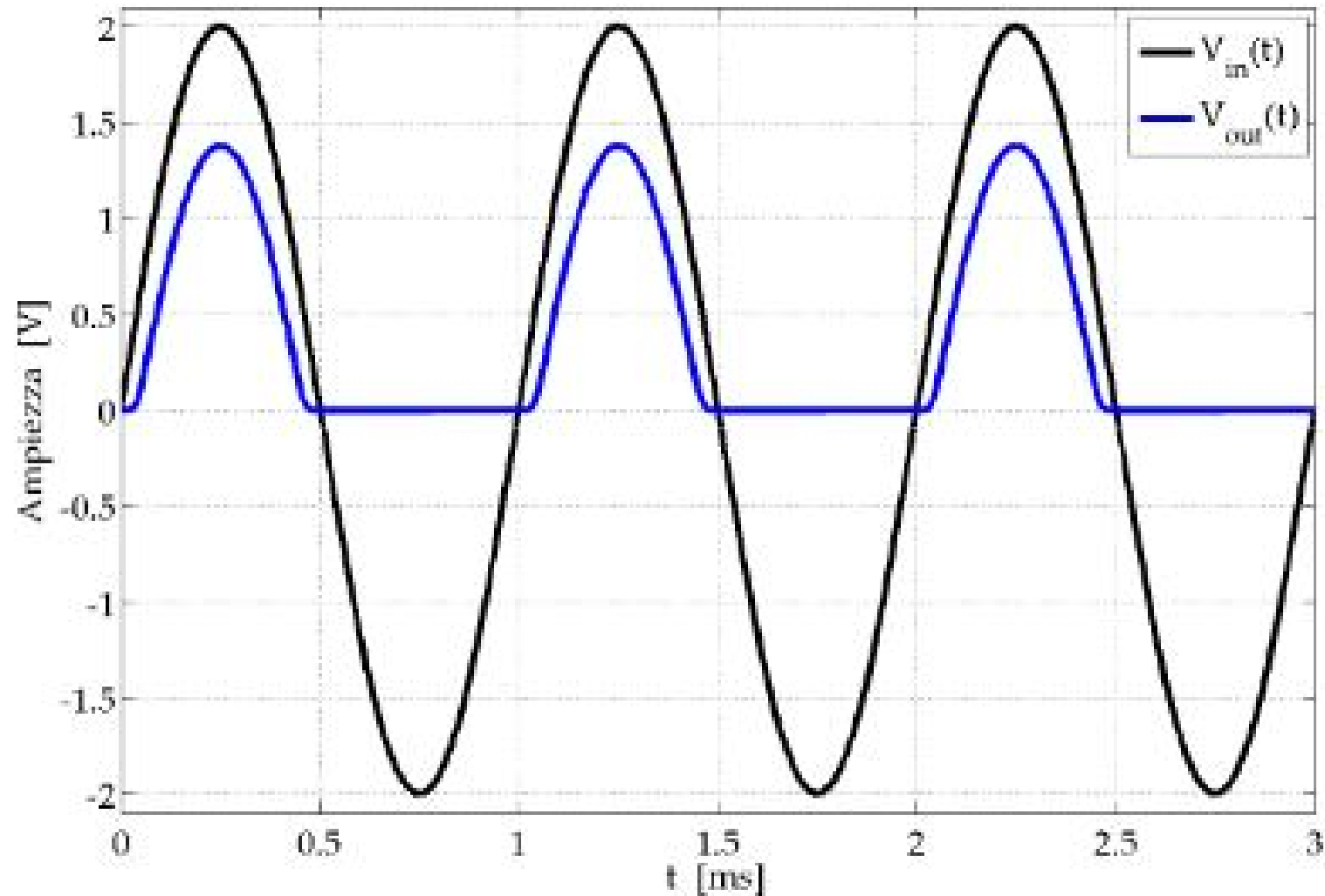
Datasheet del diodo a pag. 70



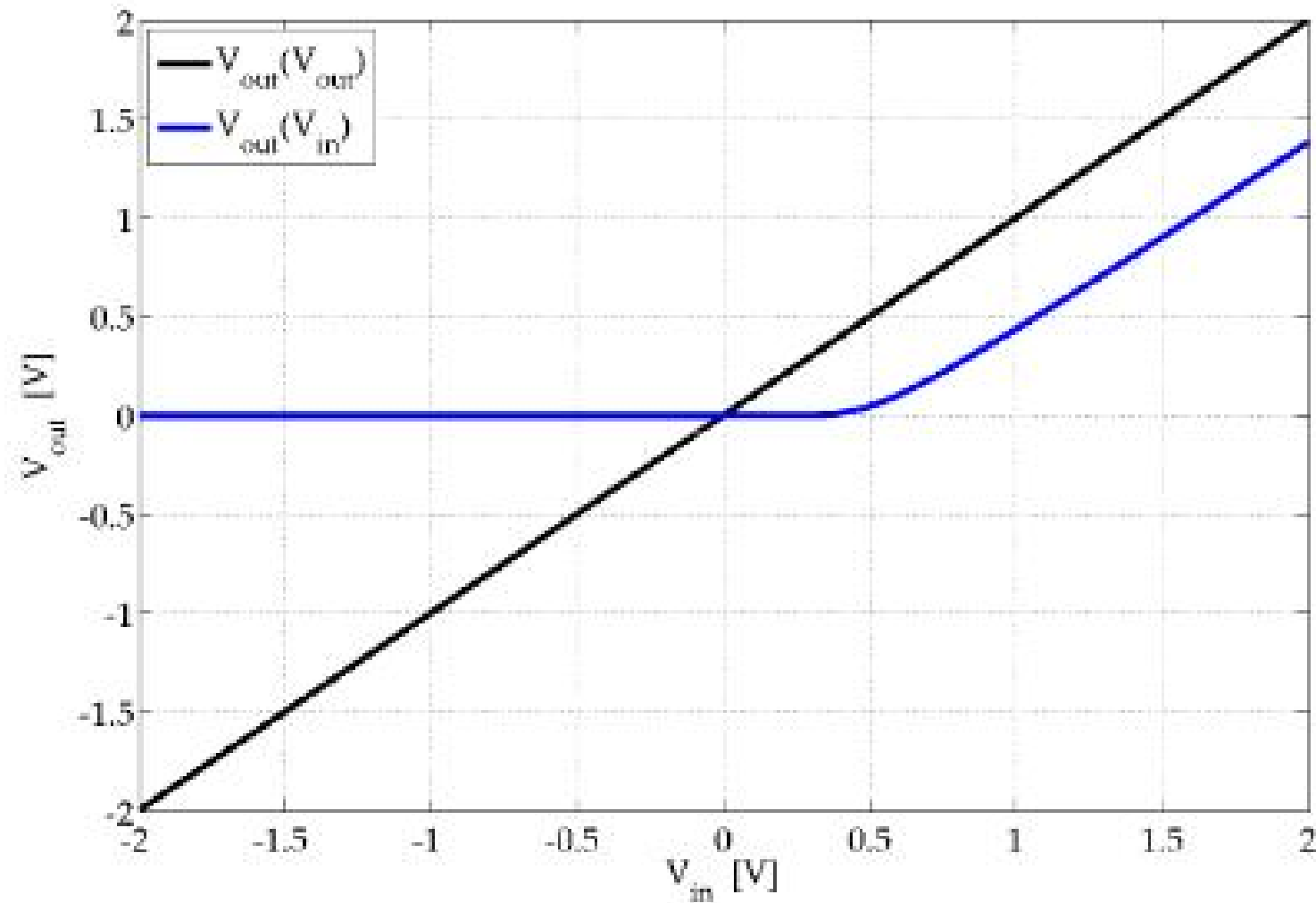
Raddrizzatore a Singola Semionda (uscita 1)



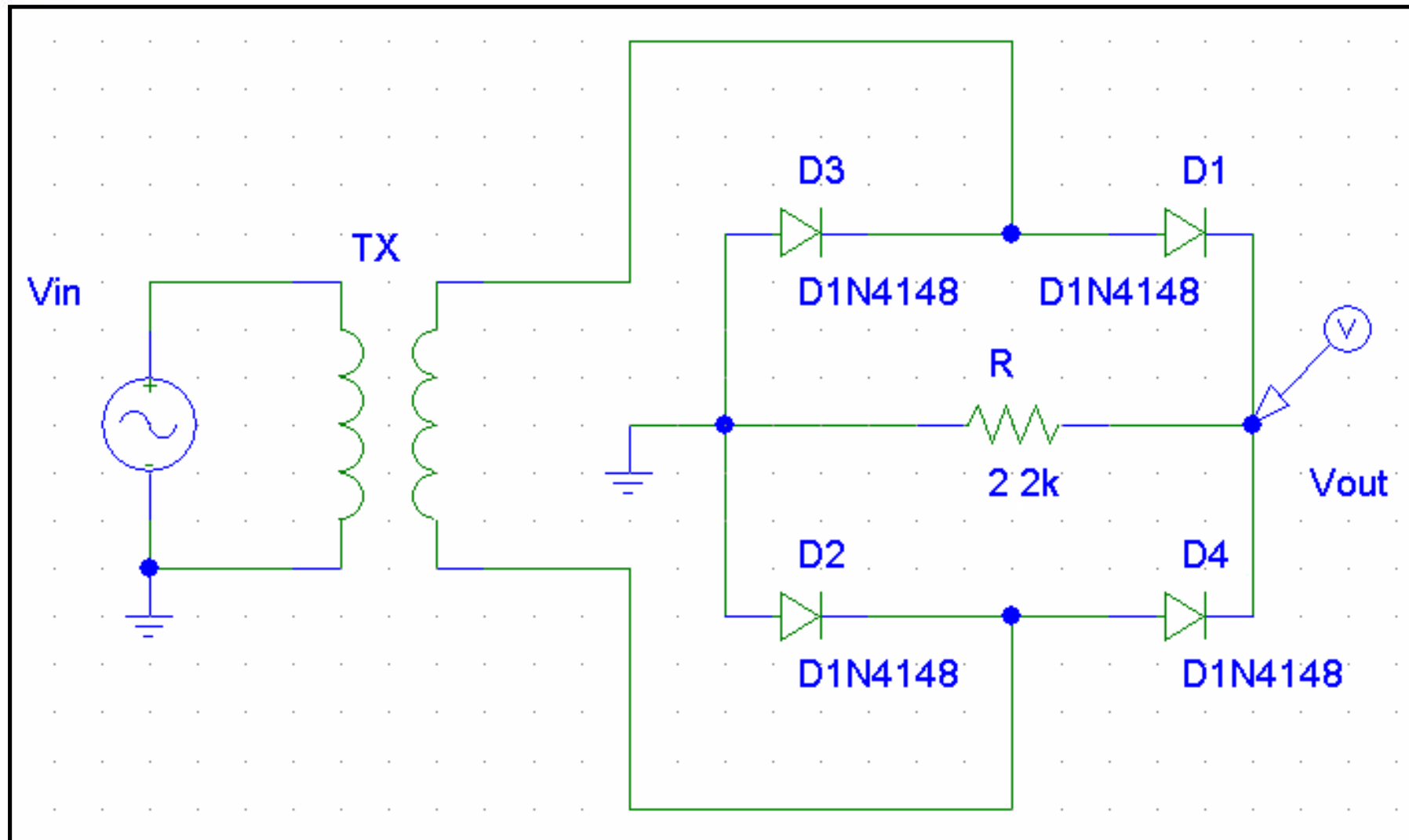
Raddrizzatore a Singola Semionda (uscita 1)



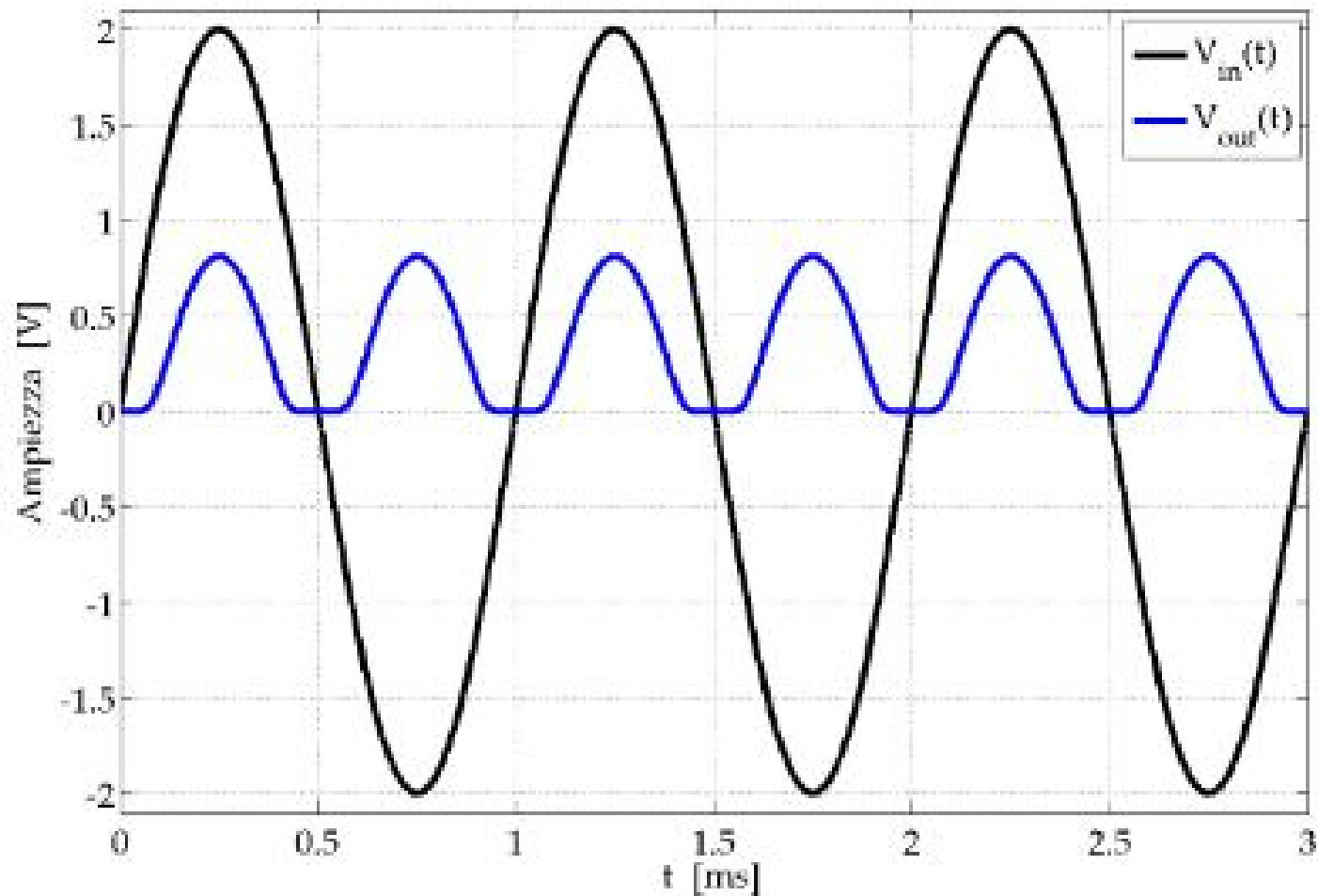
Caratteristica V_{out} (V_{in})



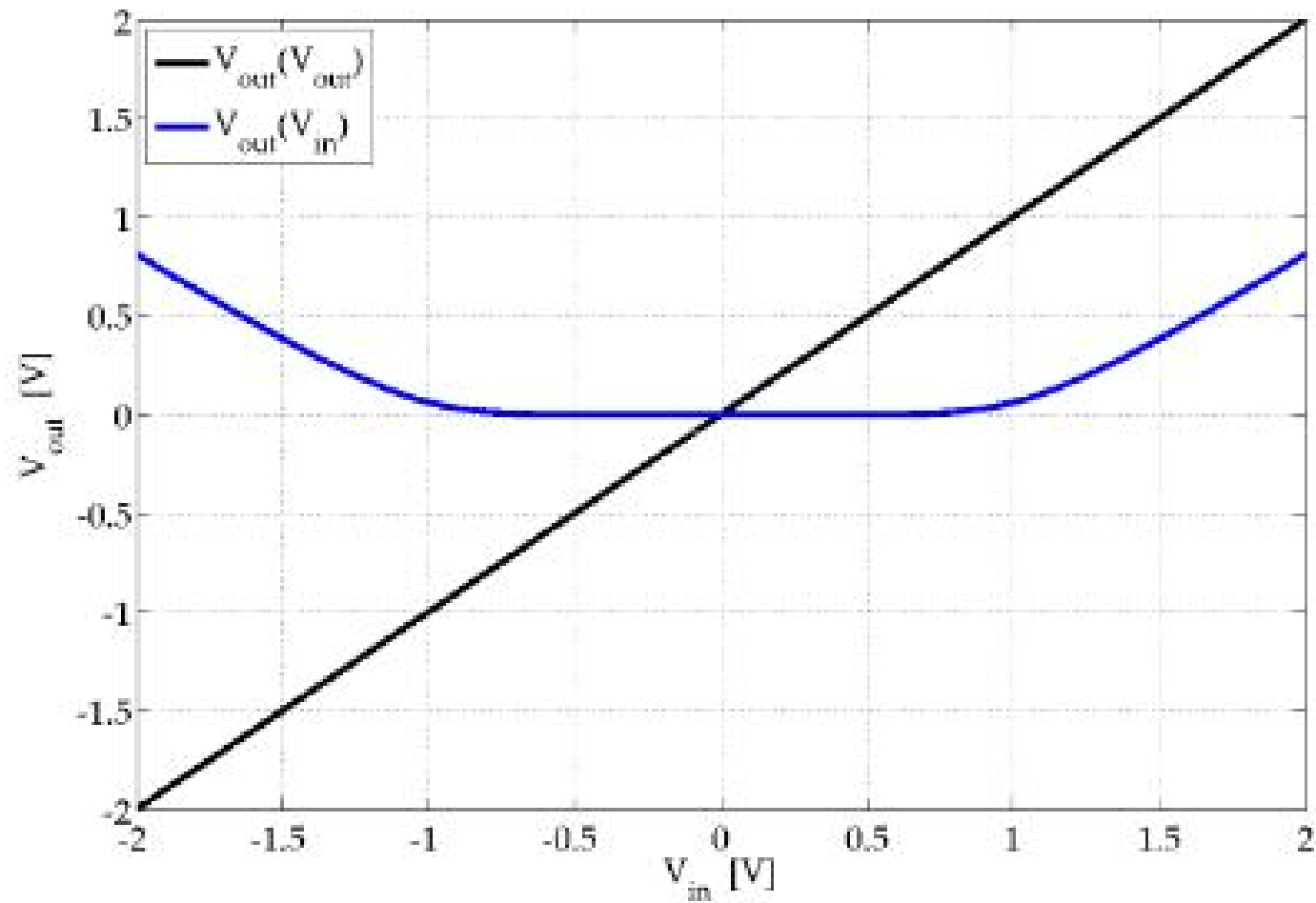
Raddrizzatore a Ponte di Diodi (uscita 2)



Raddrizzatore a Ponte di Diodi (uscita 2)

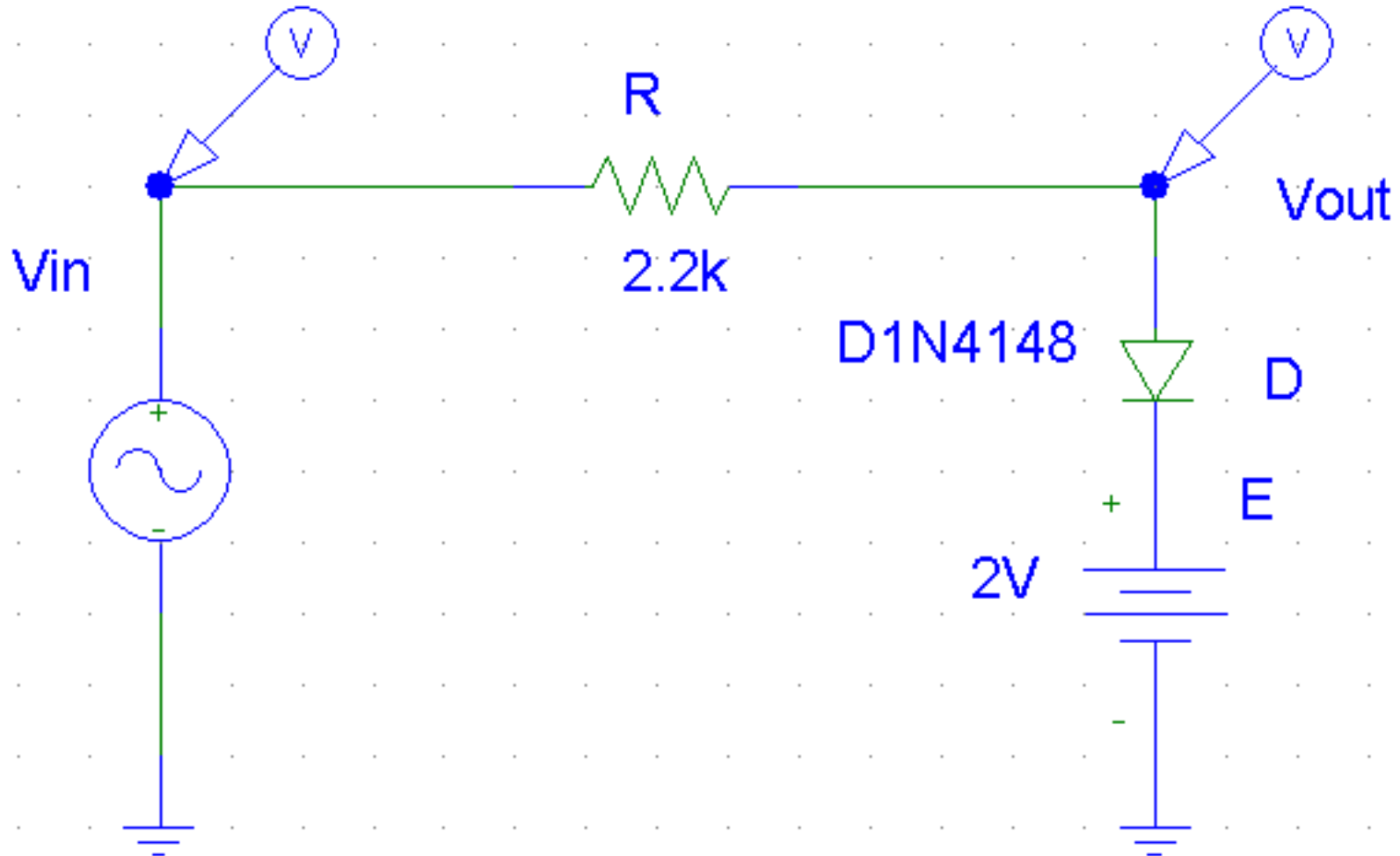


Caratteristica V_{out} (V_{in})



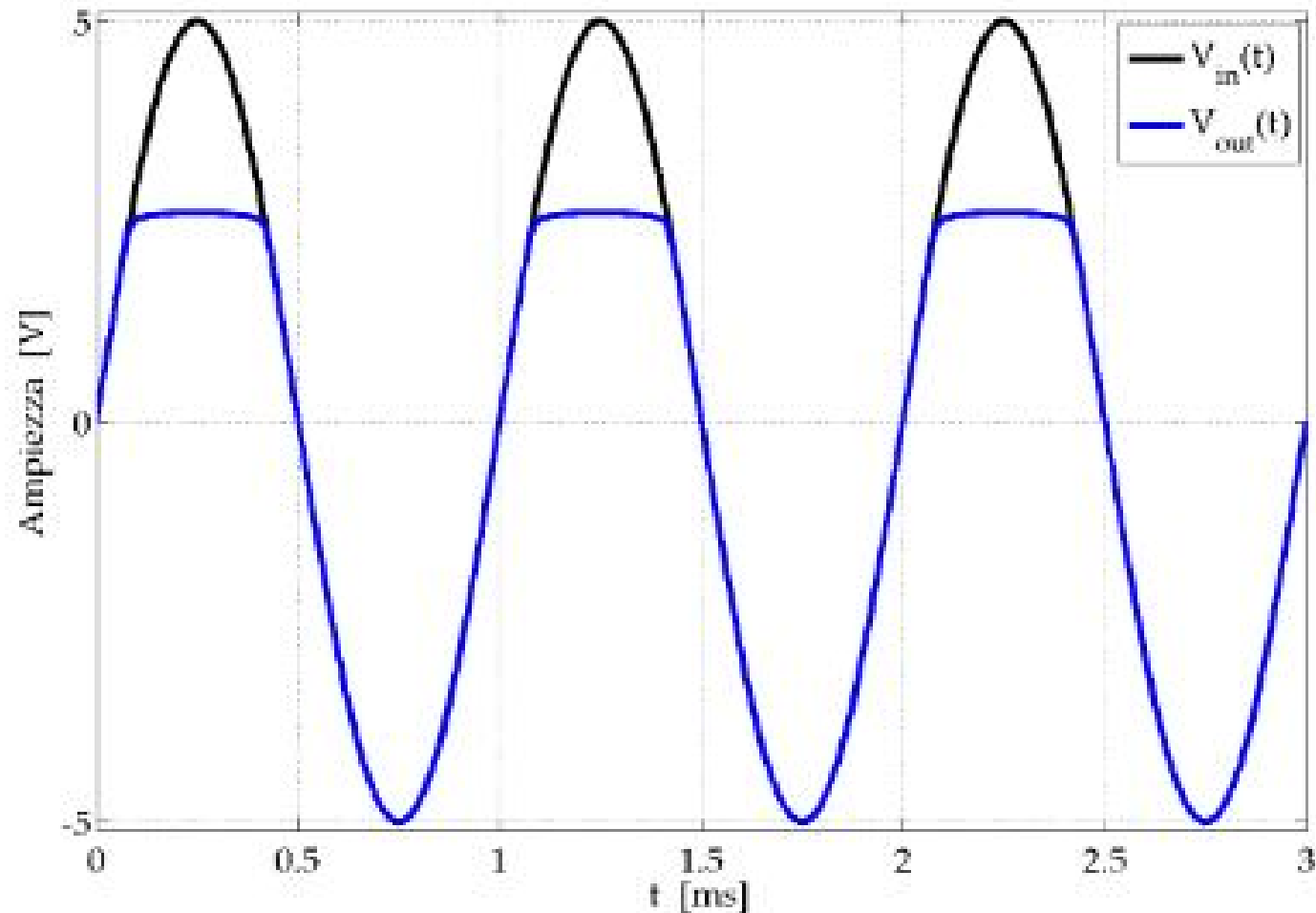
Limitatore al Valore Superiore

Clipping (uscita 3)

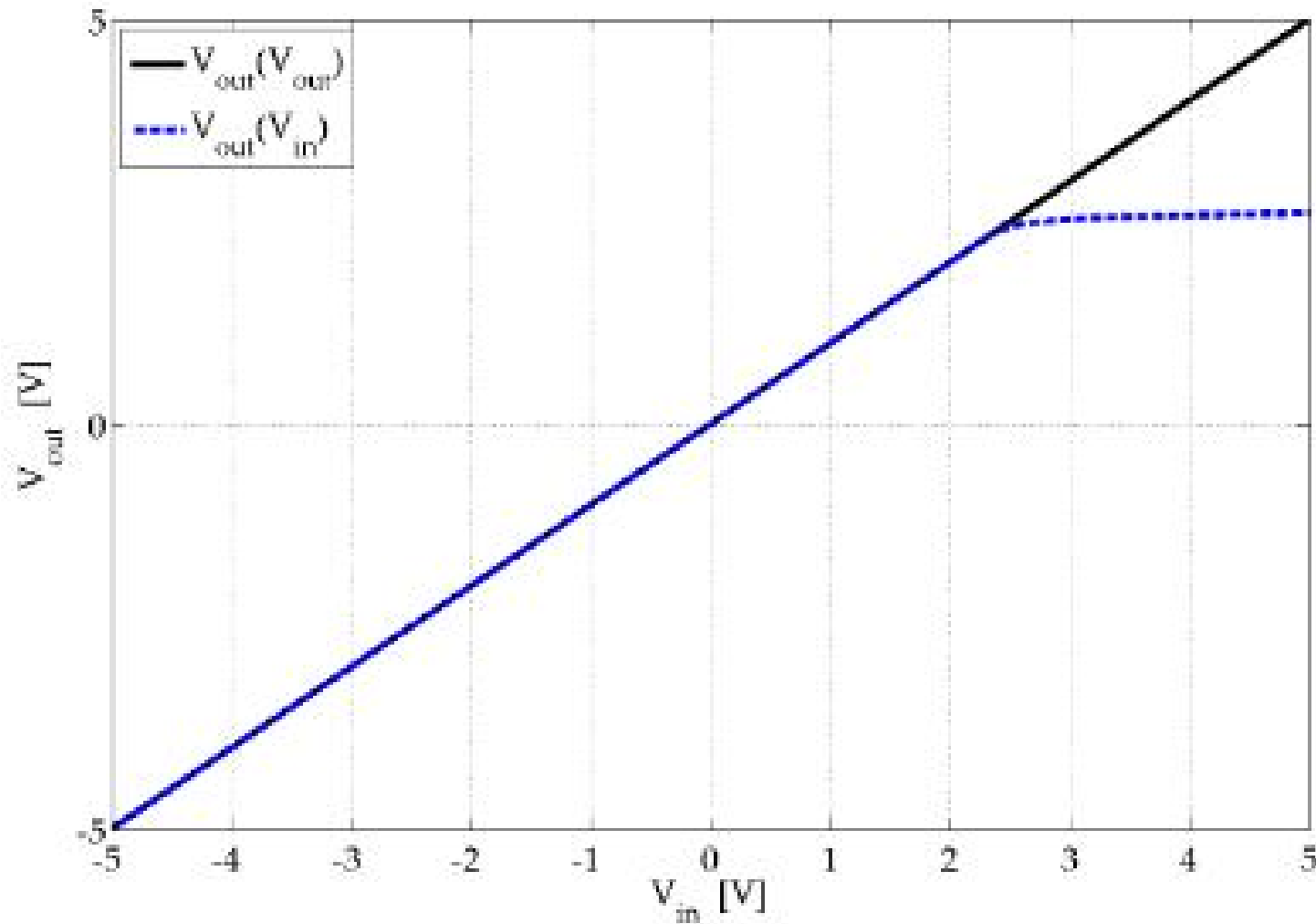


Limitatore al Valore Superiore

Clipping (uscita 3)

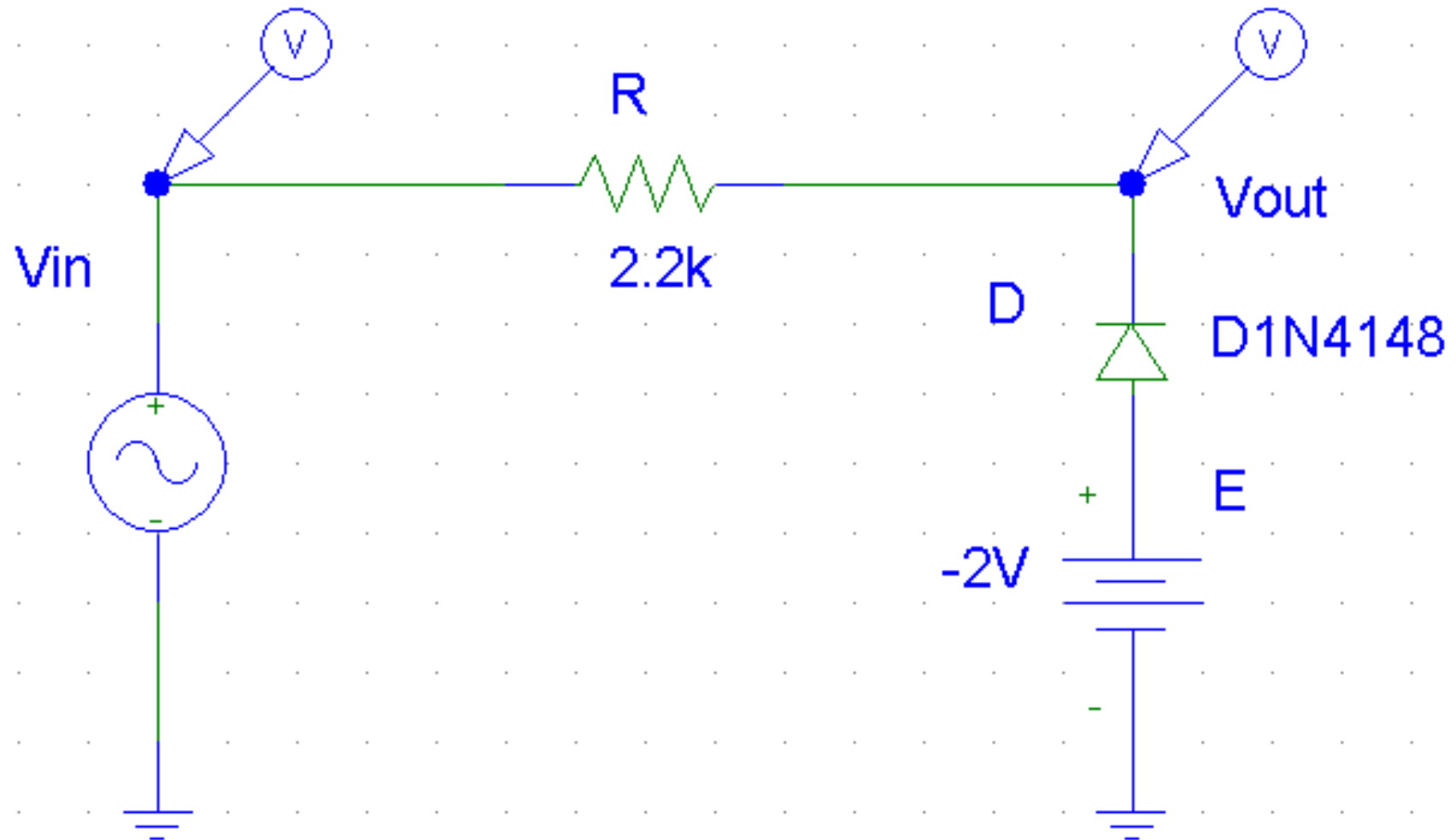


Caratteristica V_{out} (V_{in})



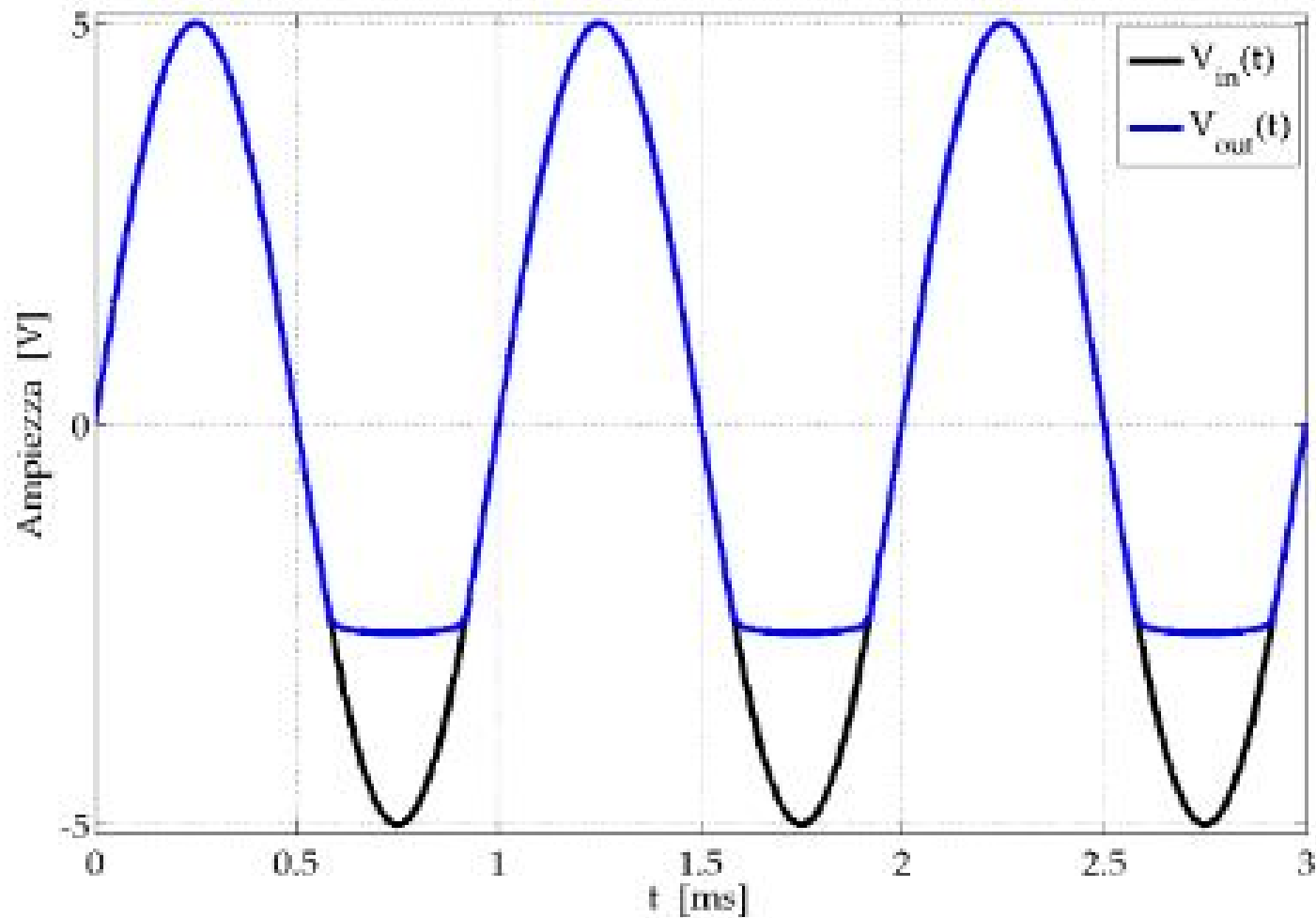
Limitatore al Valore Inferiore

Clipping (uscita 4)

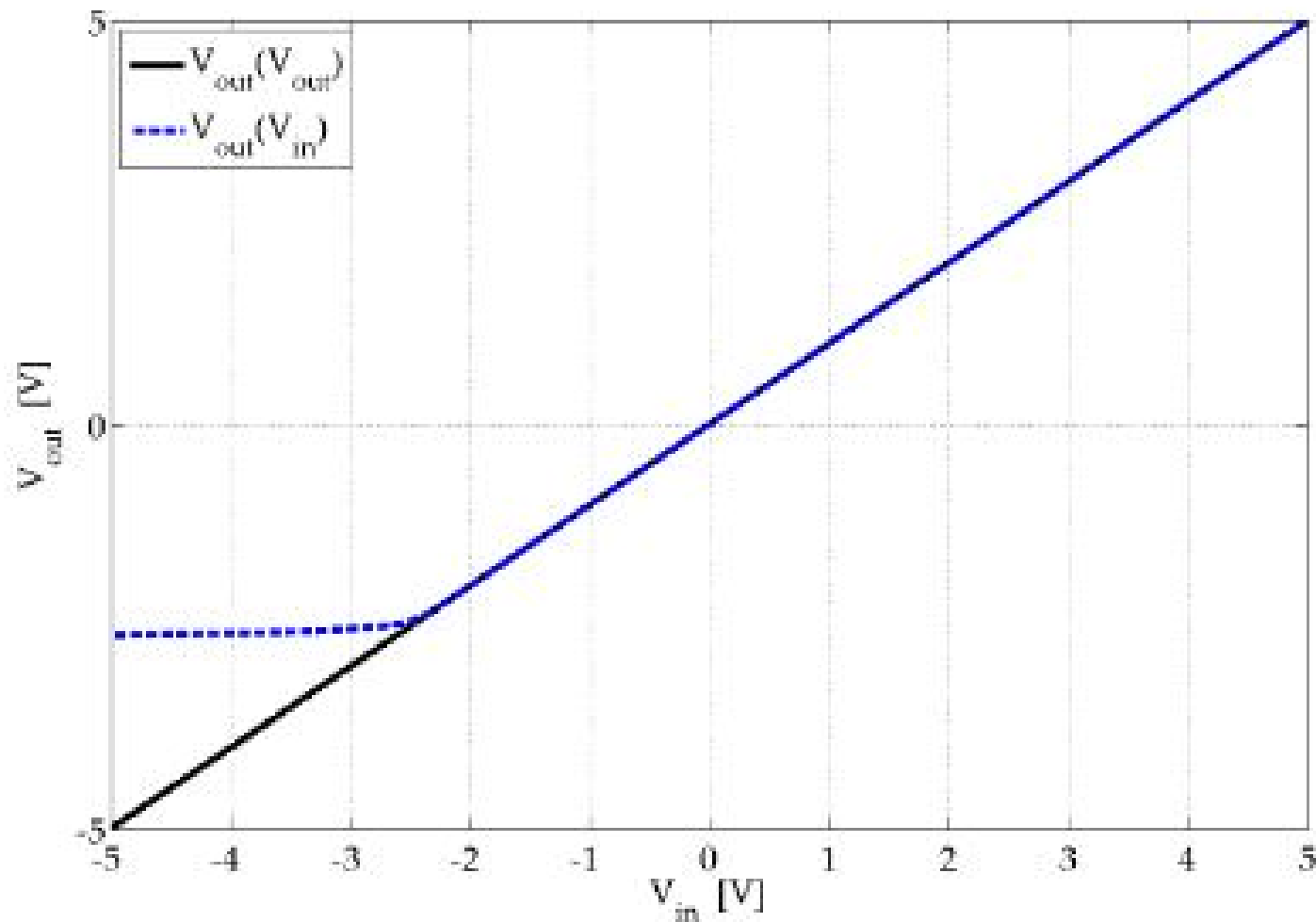


Limitatore al Valore Inferiore

Clipping (uscita 4)

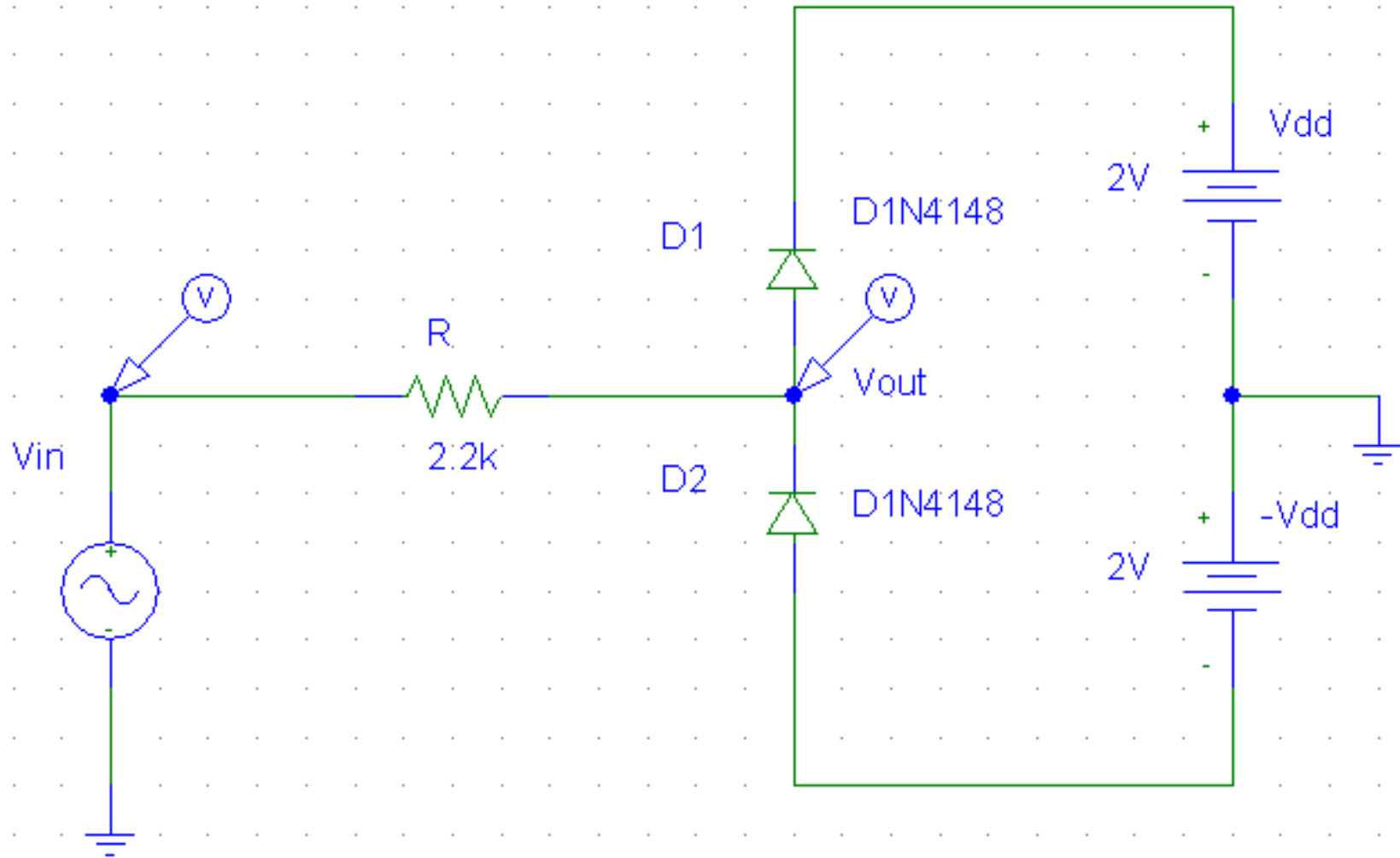


Caratteristica V_{out} (V_{in})



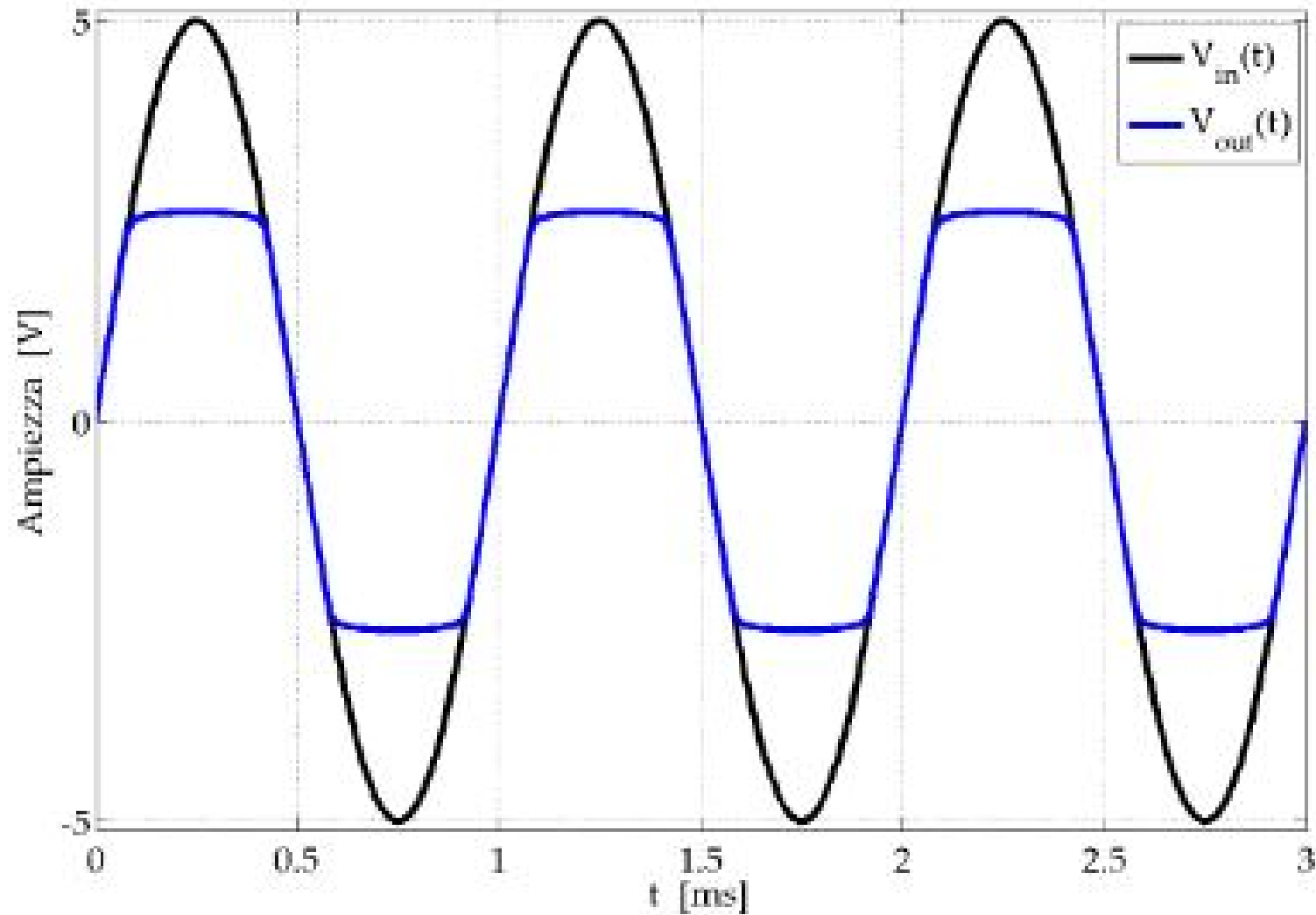
Limitatore Max/Min

Clipping

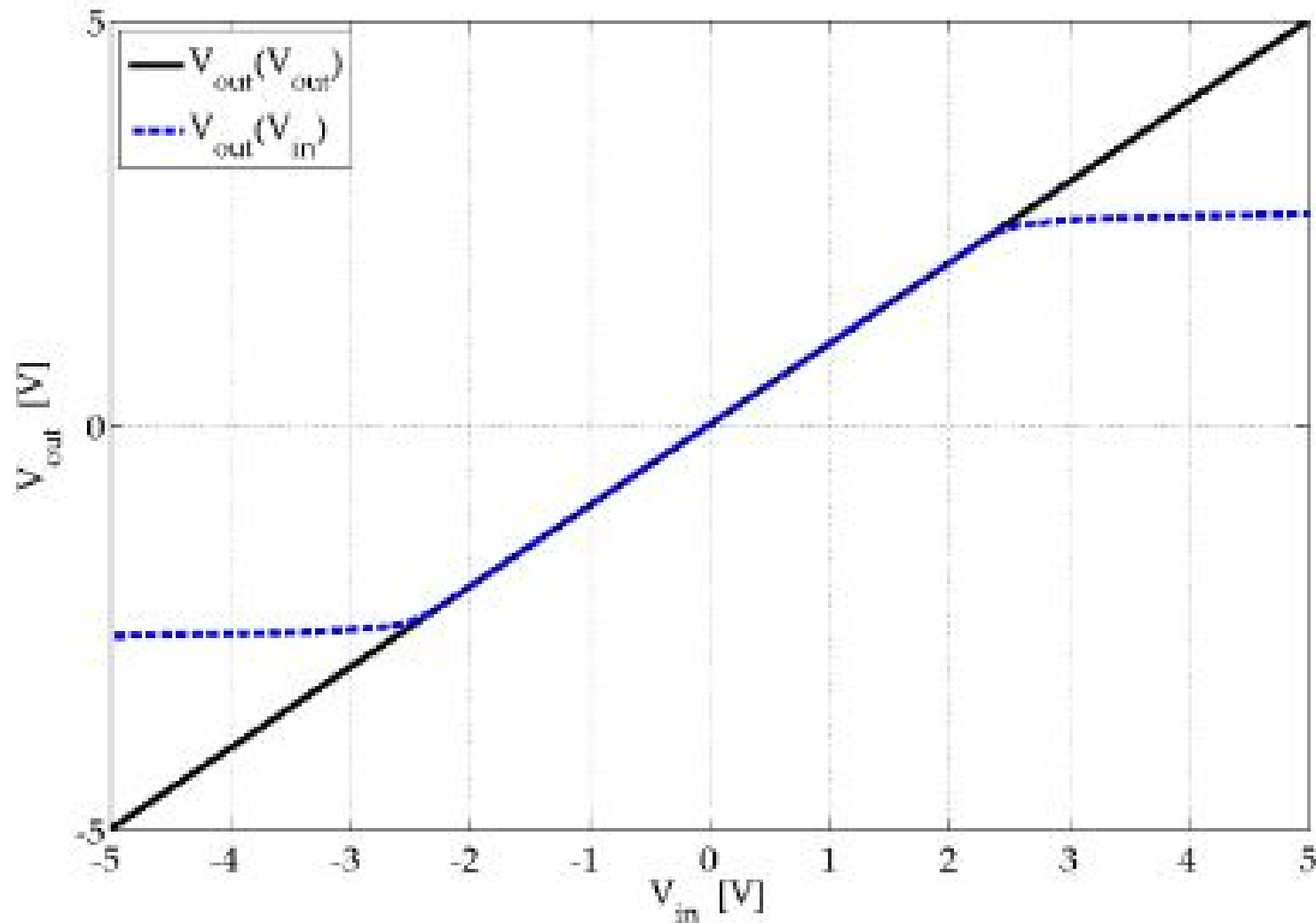


Limitatore Max/Min

Clipping

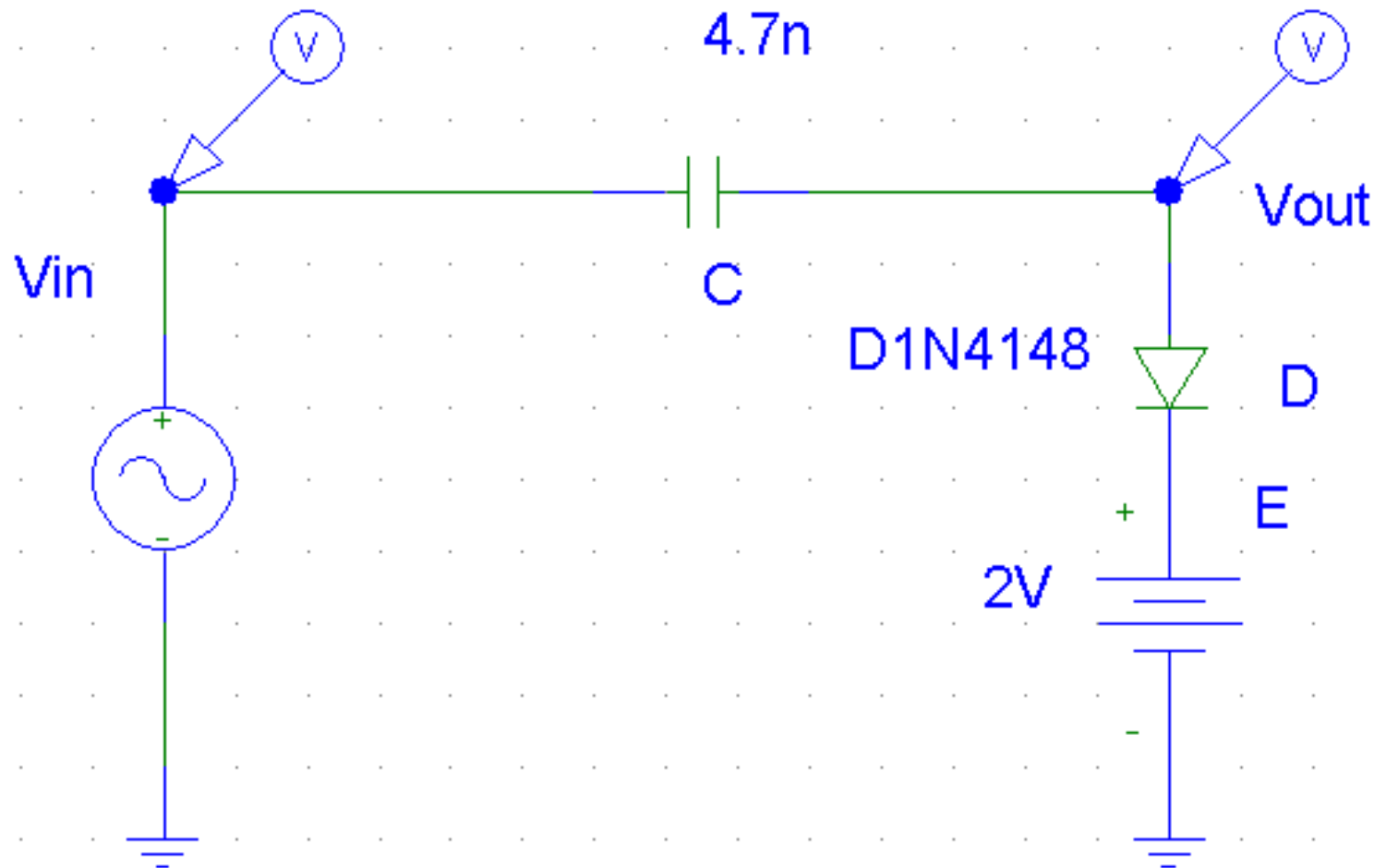


Caratteristica V_{out} (V_{in})

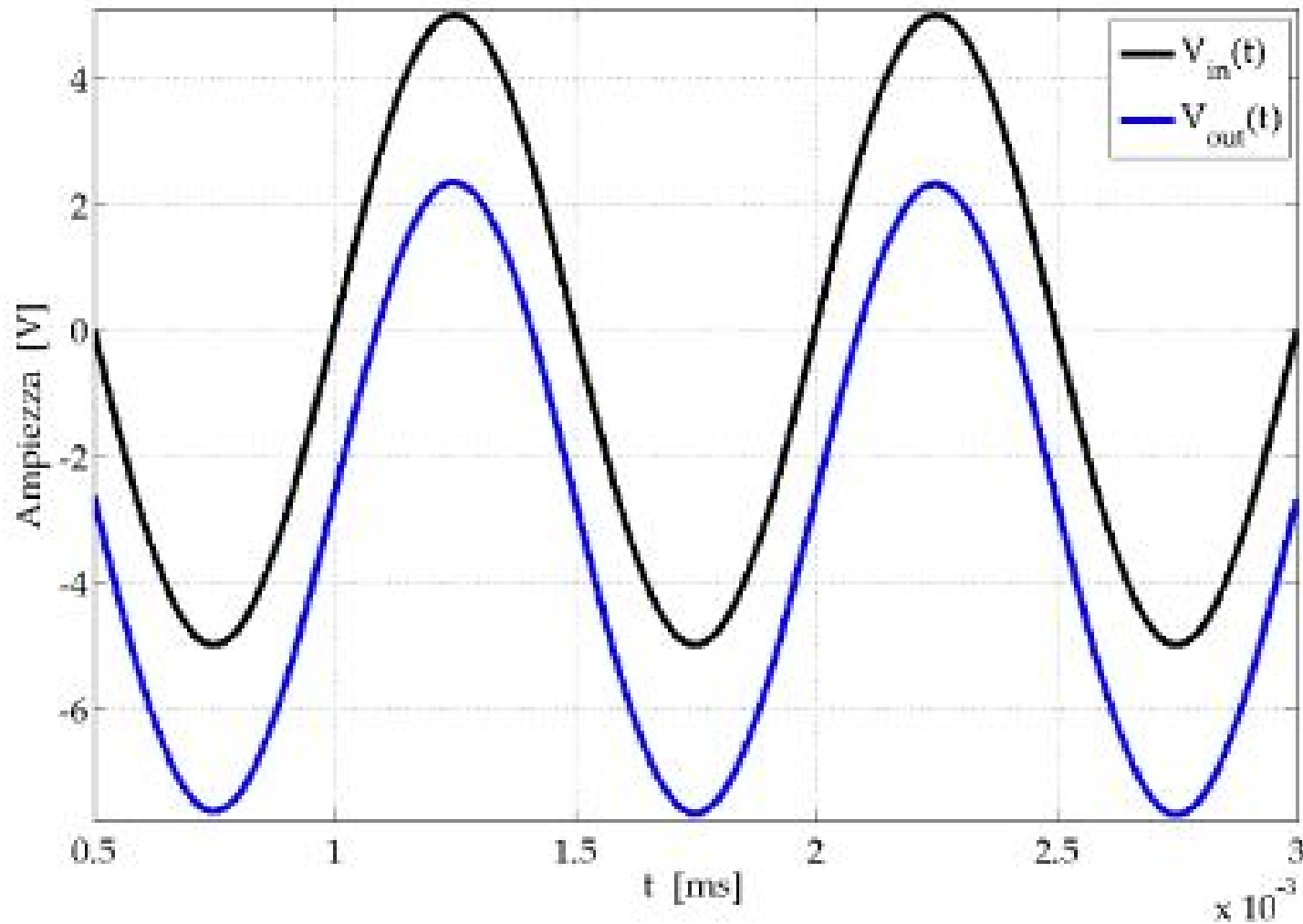


Aggancio del Massimo

Clamping (uscita 5)

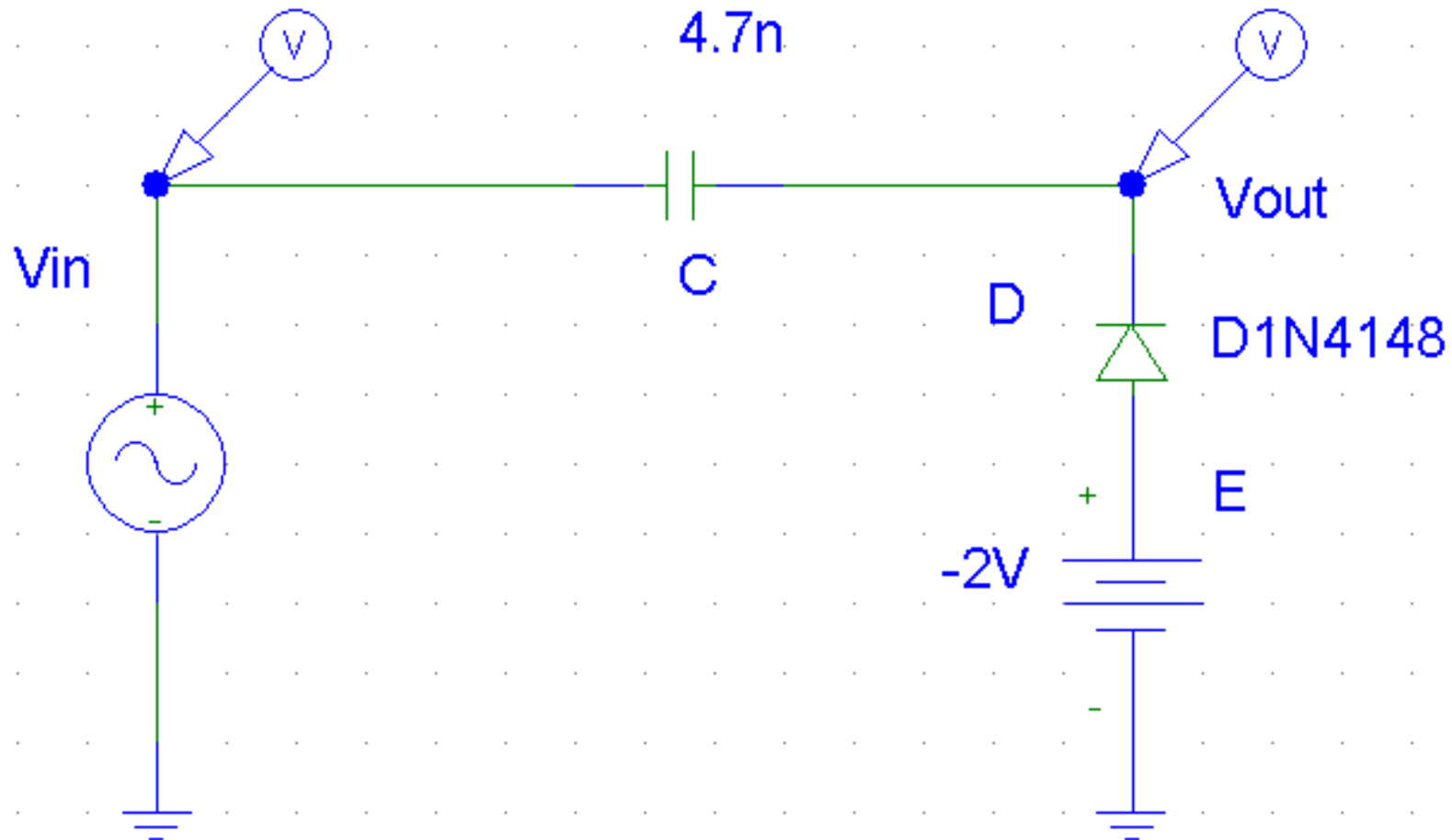


Aggancio del Massimo *Clamping* (uscita 5)



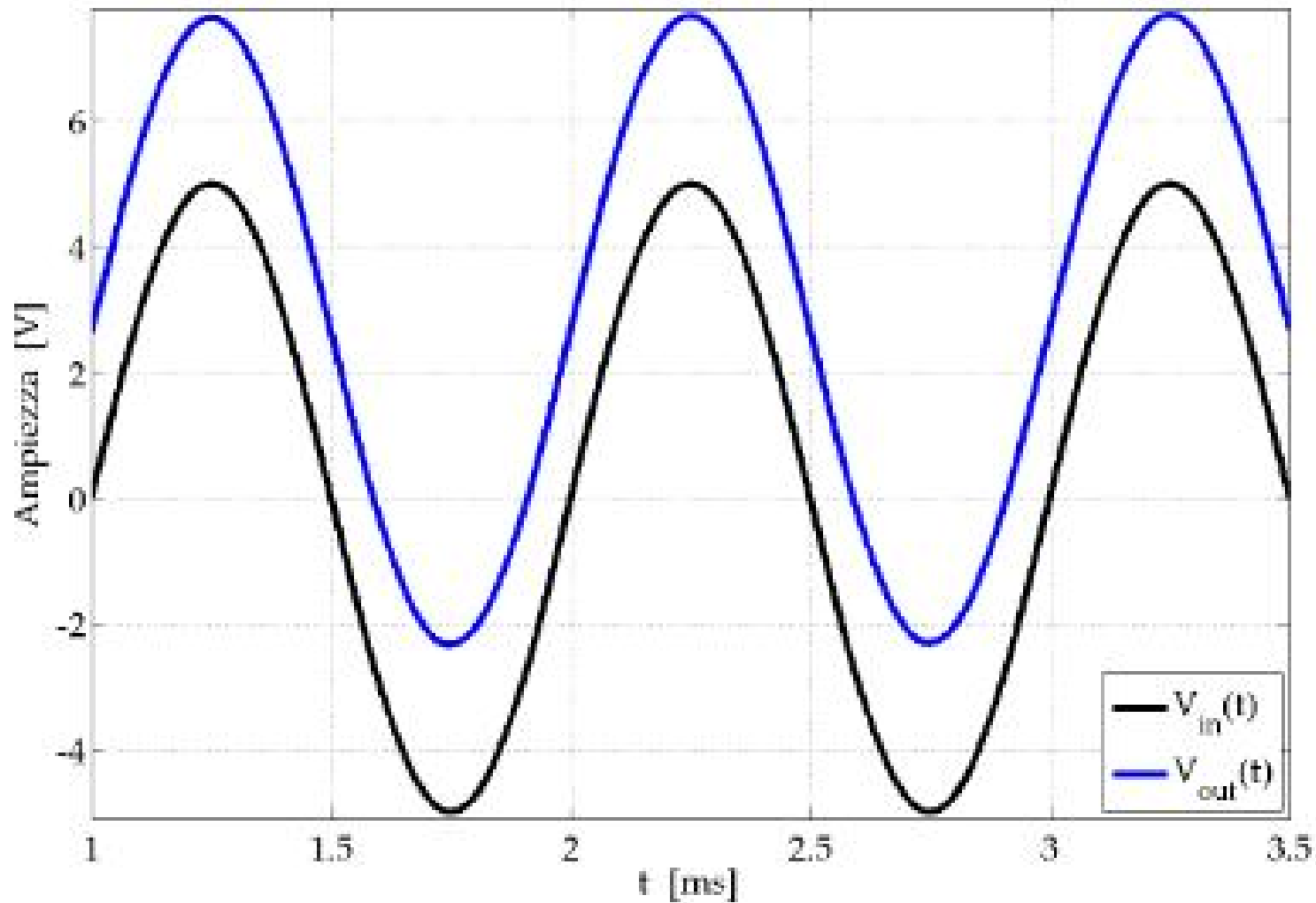
Aggancio del Minimo

Clamping (uscita 6)

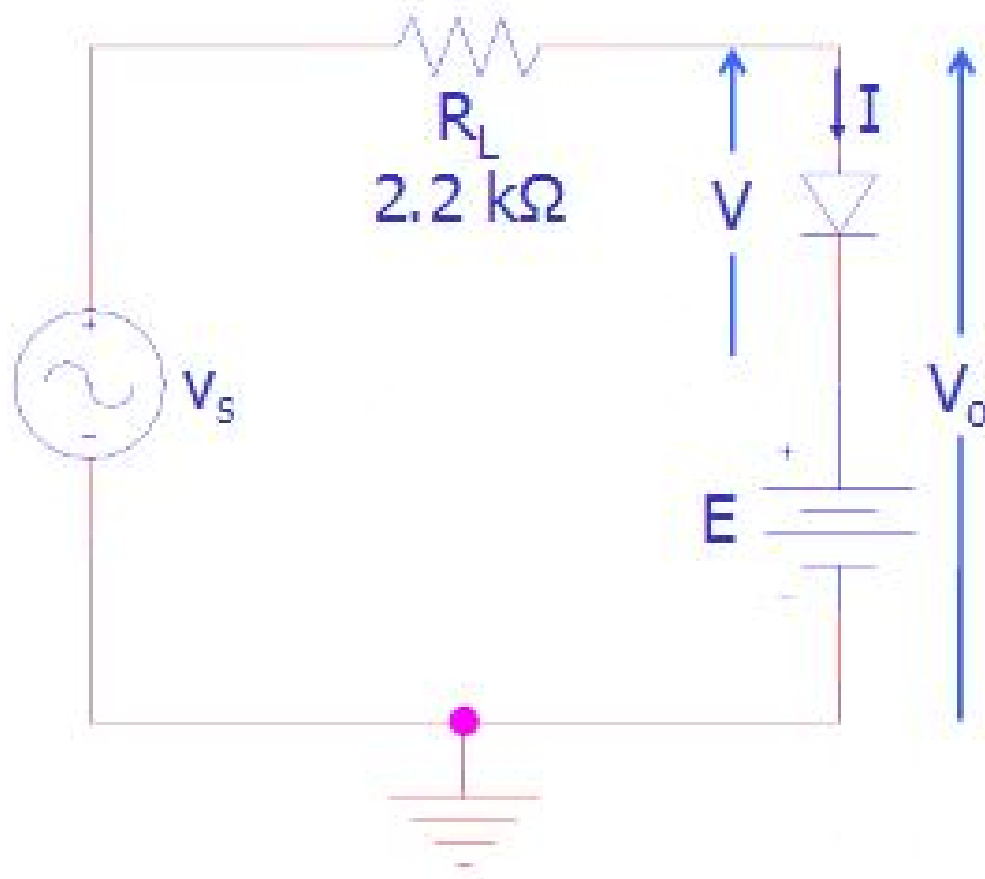


Aggancio del Minimo

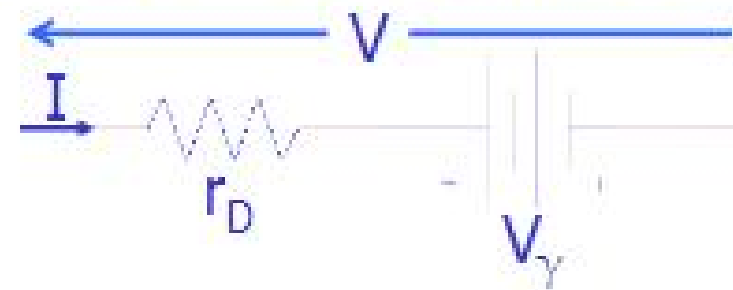
Clamping (uscita 6)



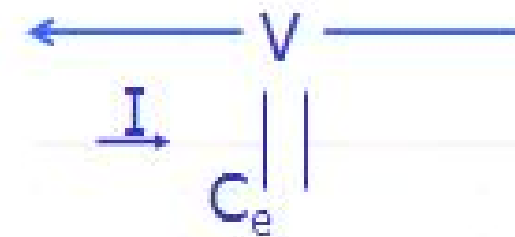
Polarizzazione e Parametri di Piccolo Segnale



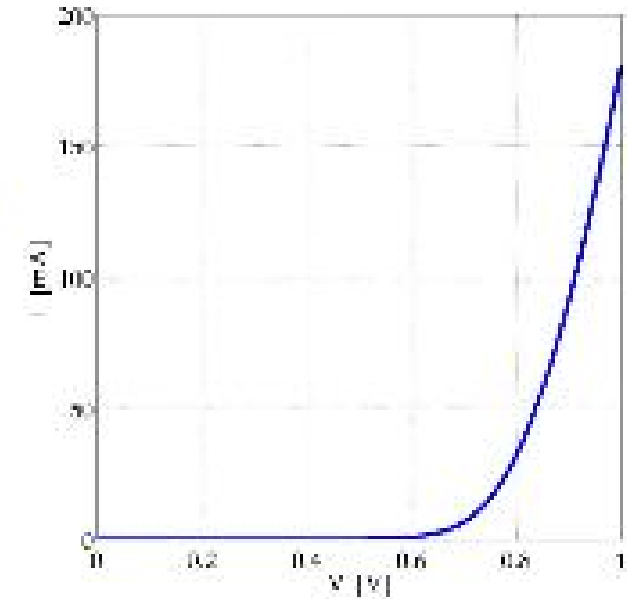
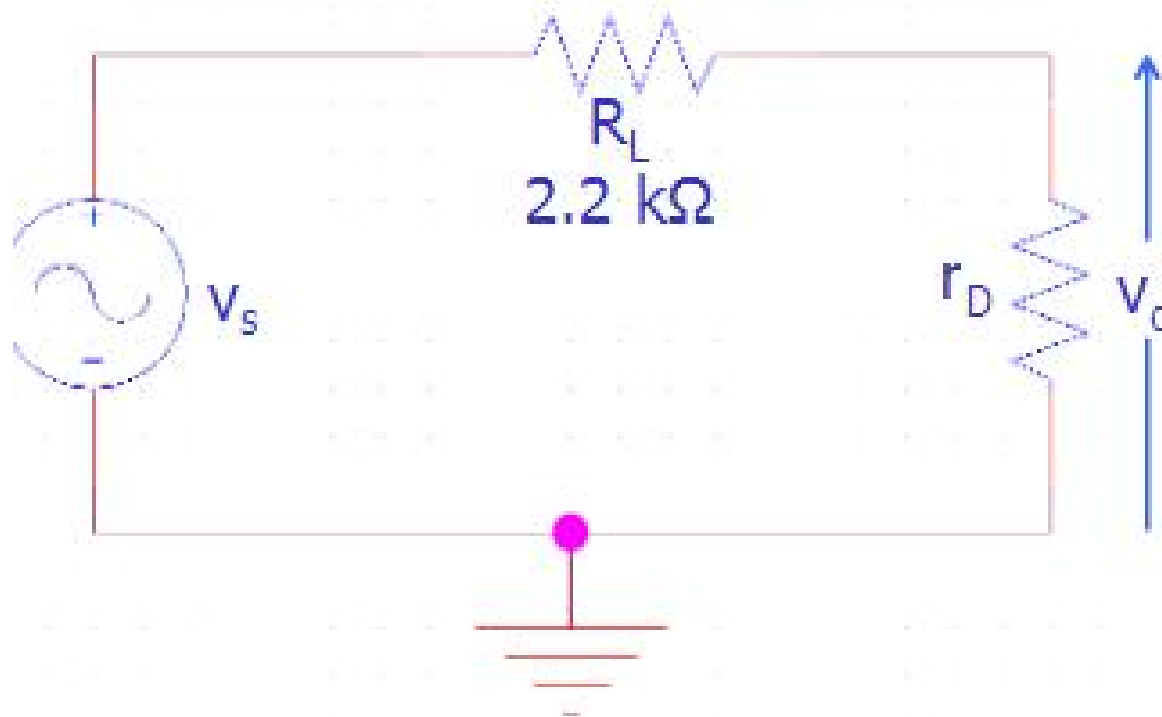
$E < 0 \text{ V} \Rightarrow$ Diodo in Diretta



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



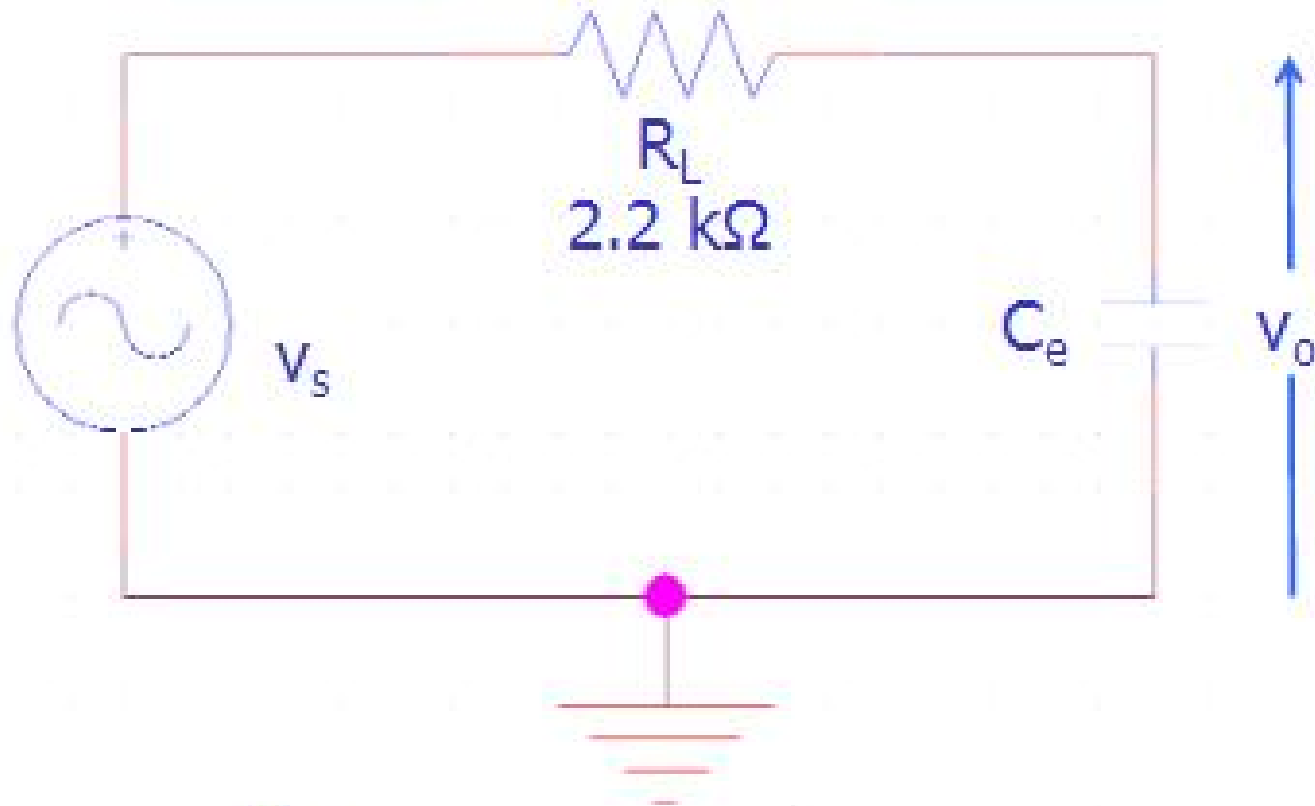
Polarizzazione Diretta ($E < 0V$)



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

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

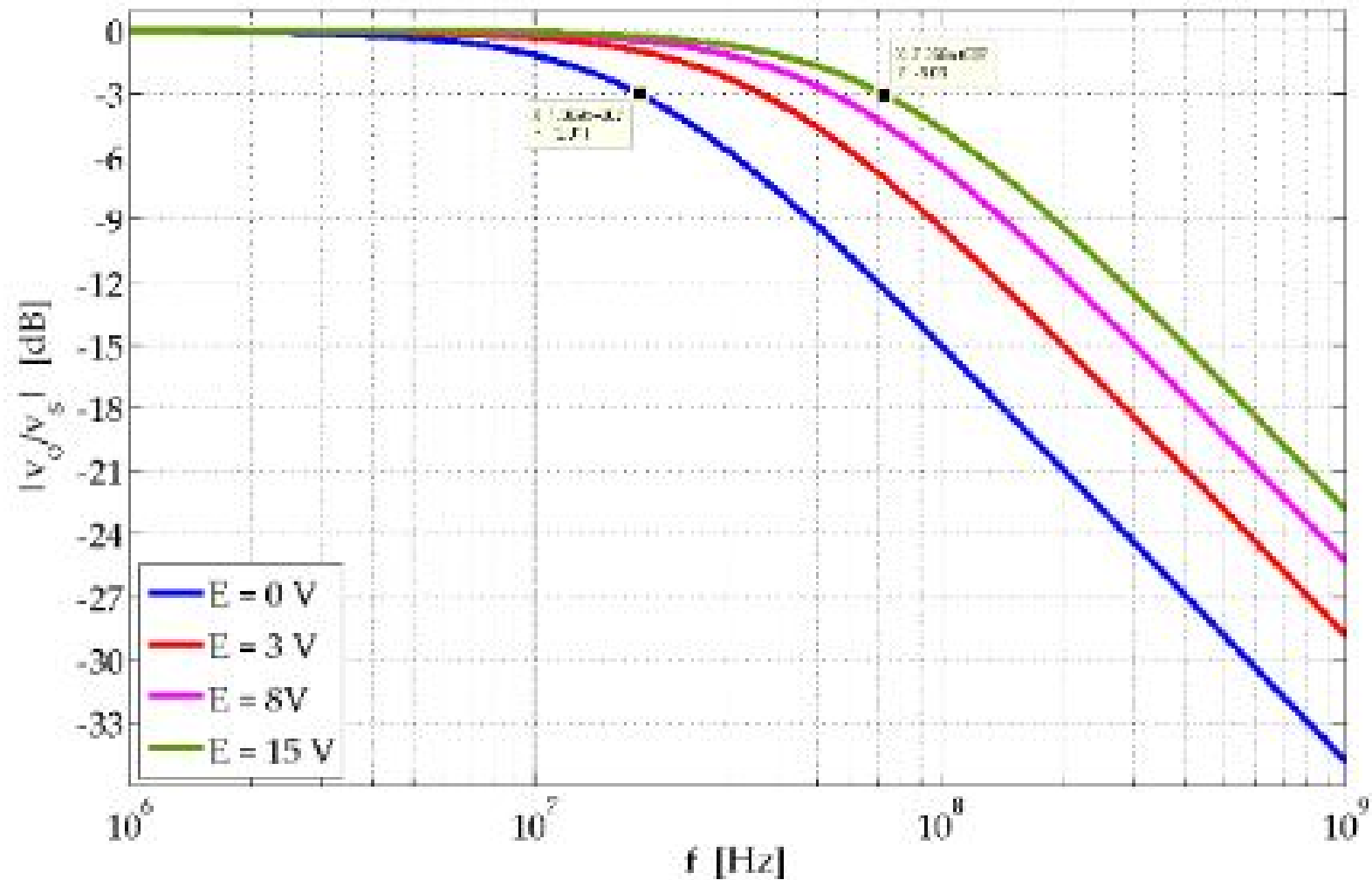
Polarizzazione Inversa ($E > 0V$)



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

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

Polarizzazione Inversa ($E > 0V$)

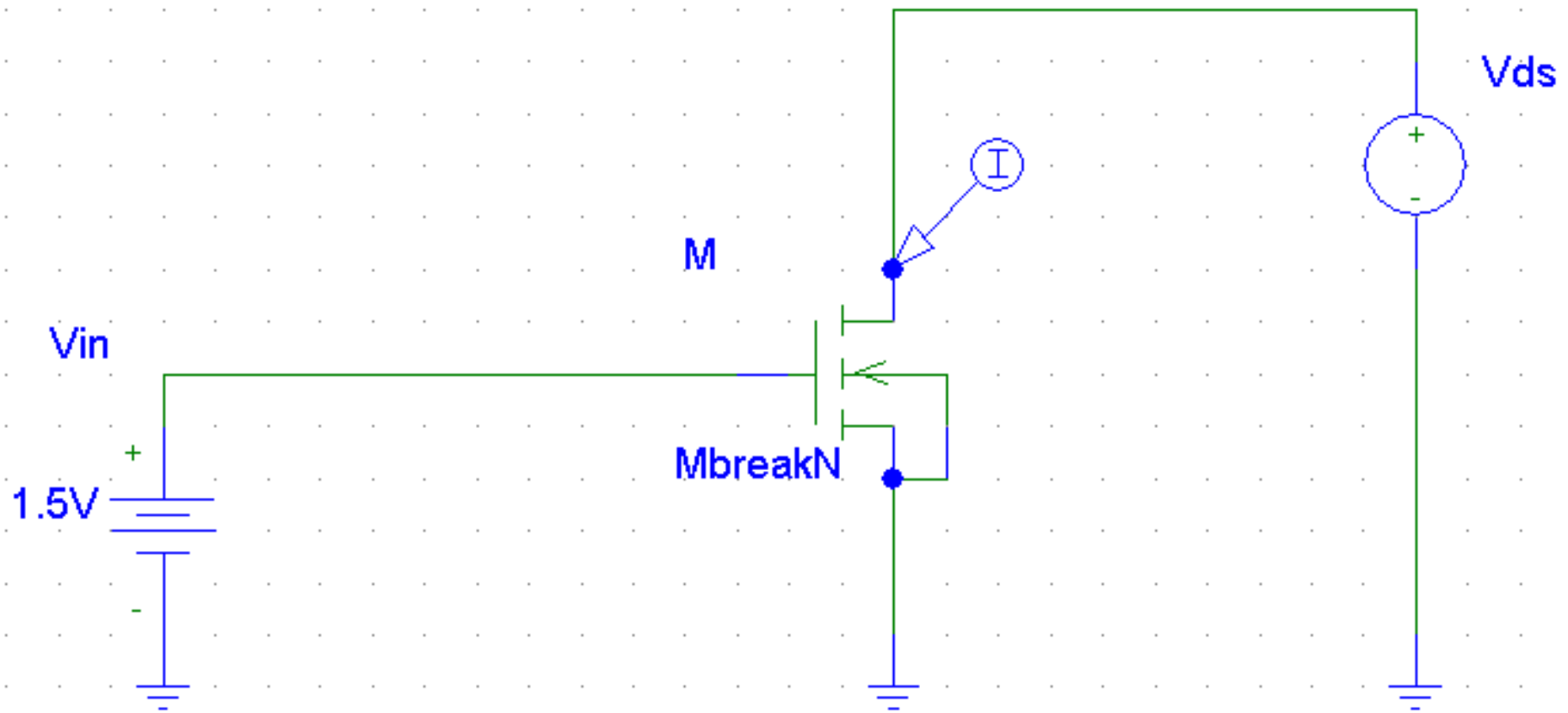


Elettronica I

- Quarta Esercitazione -

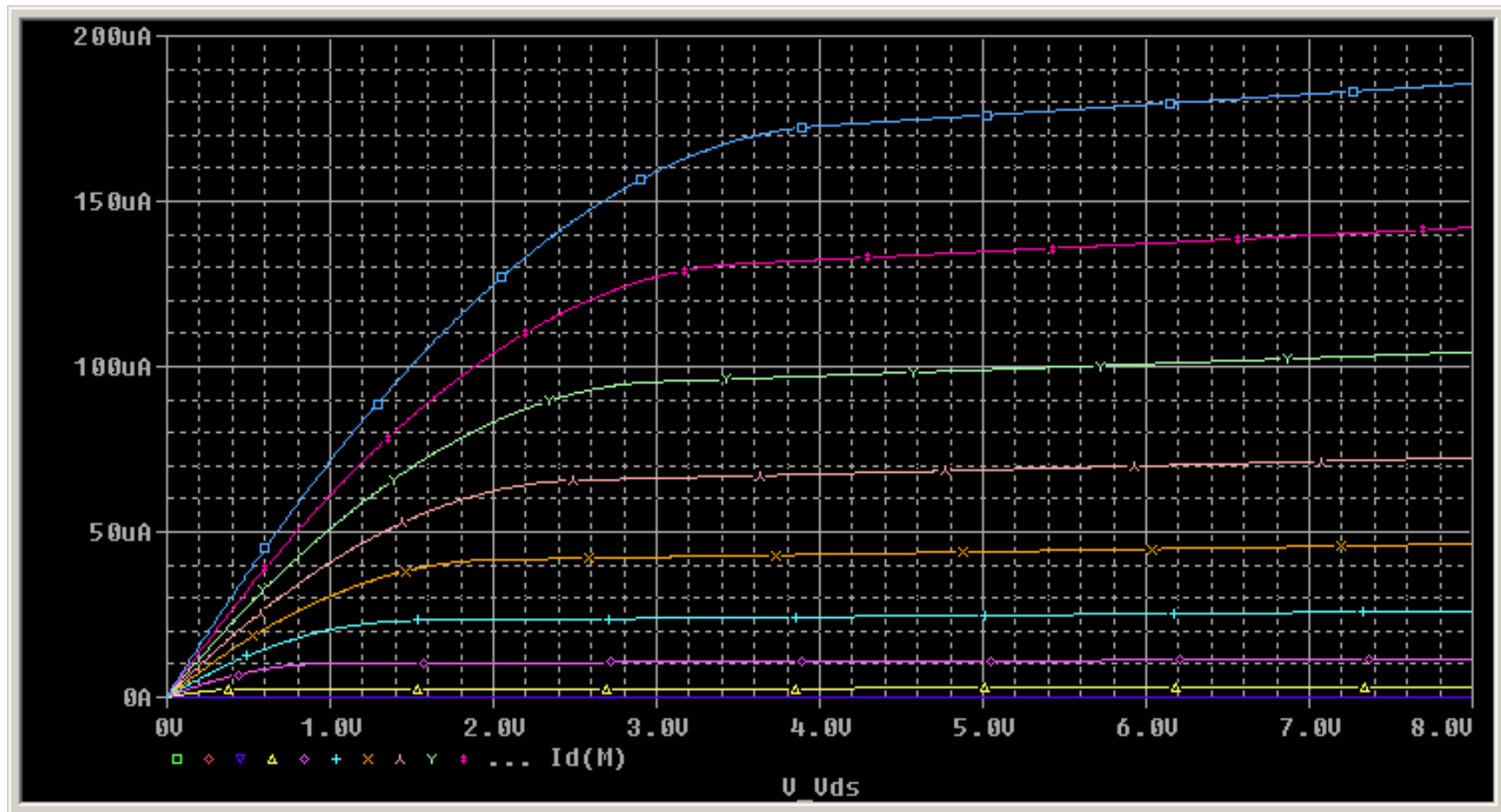
INVERTITORI REALIZZATI CON TRANSISTORI NMOS

Transistore NMOS ad Arricchimento (1)



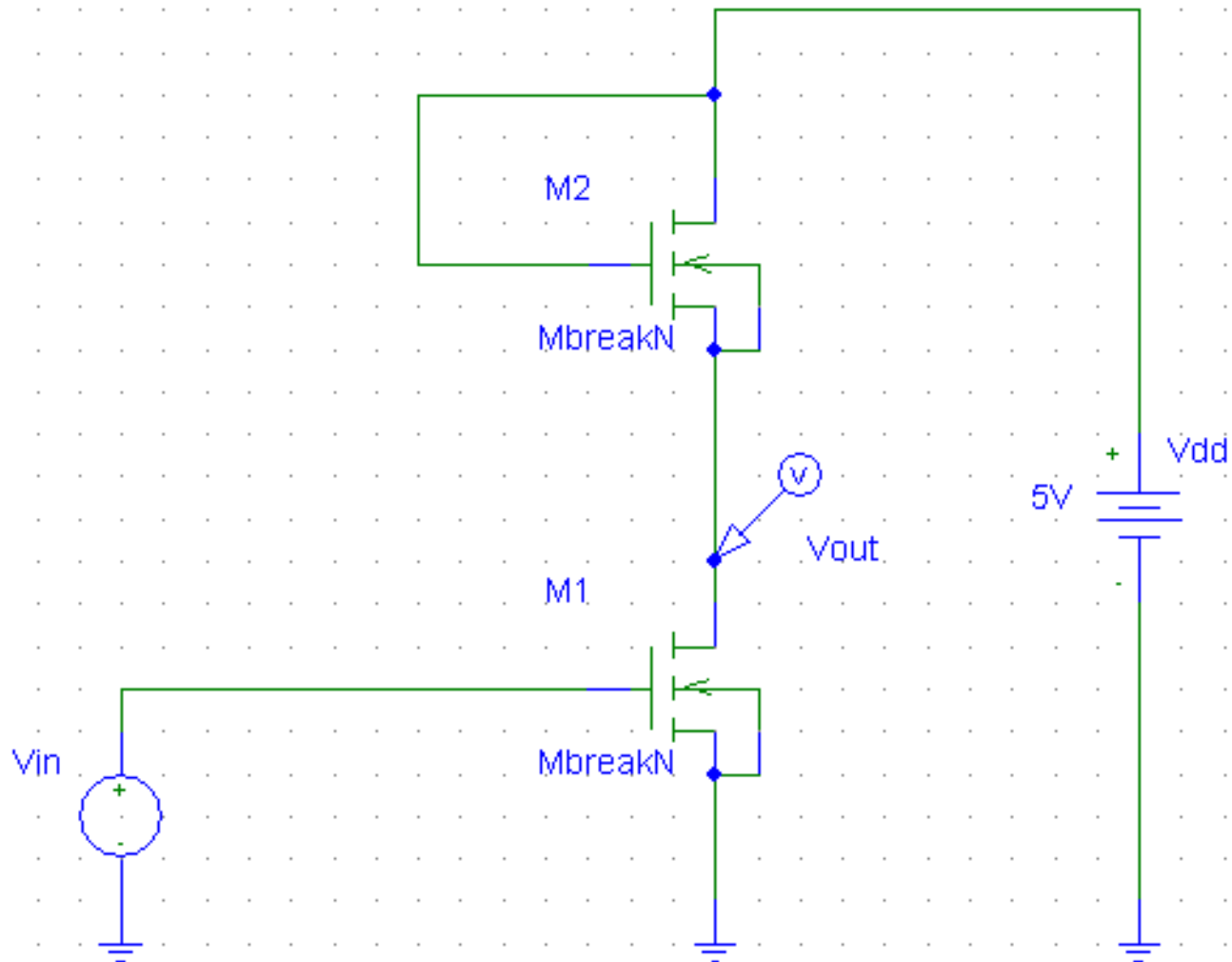
Transistore NMOS ad Arricchimento (2)

Famiglia delle caratteristiche $I_d - V_{ds}$



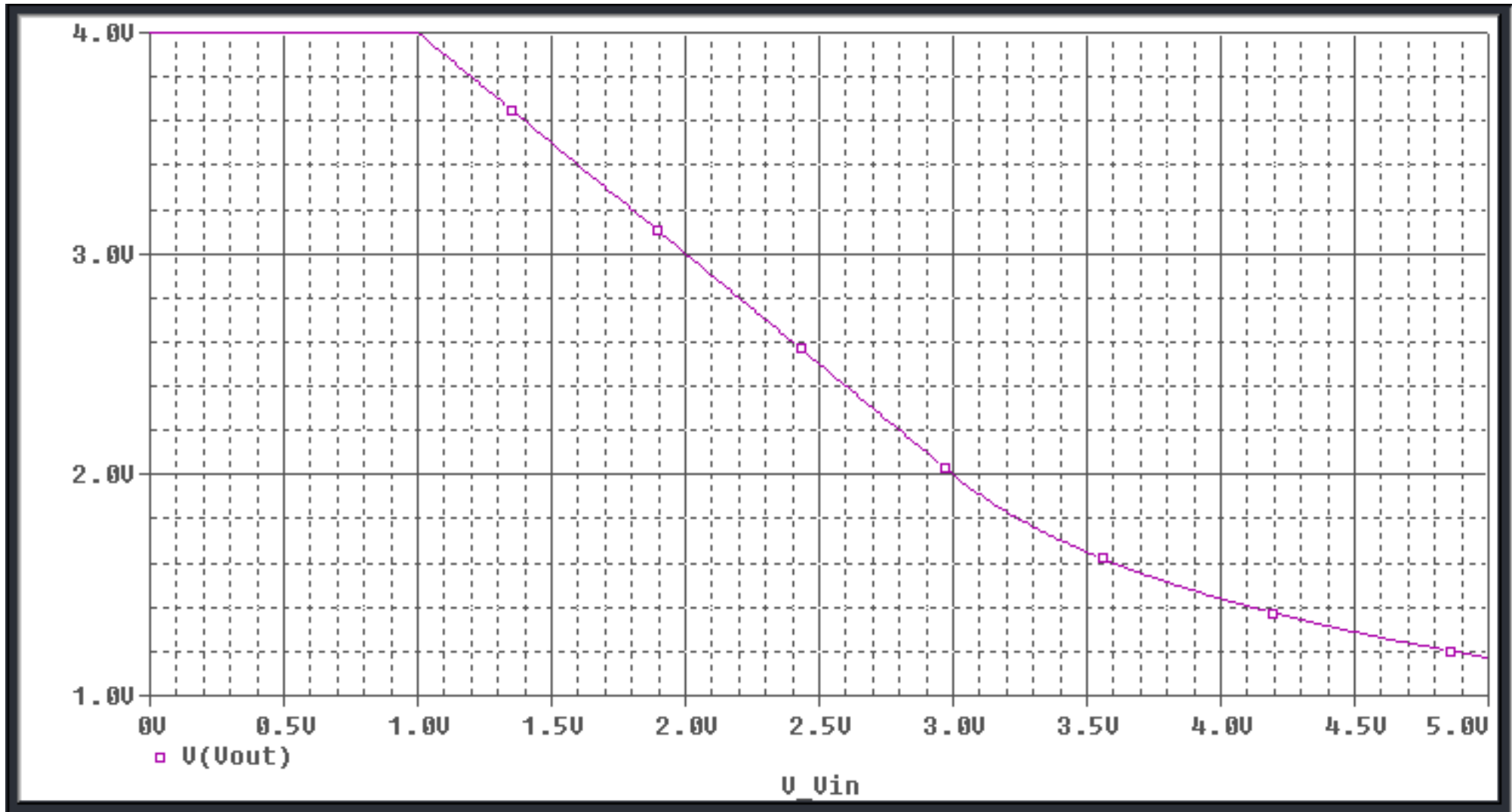
V_{GS} varia da 0 a 5V (passo .5V)

Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (1)



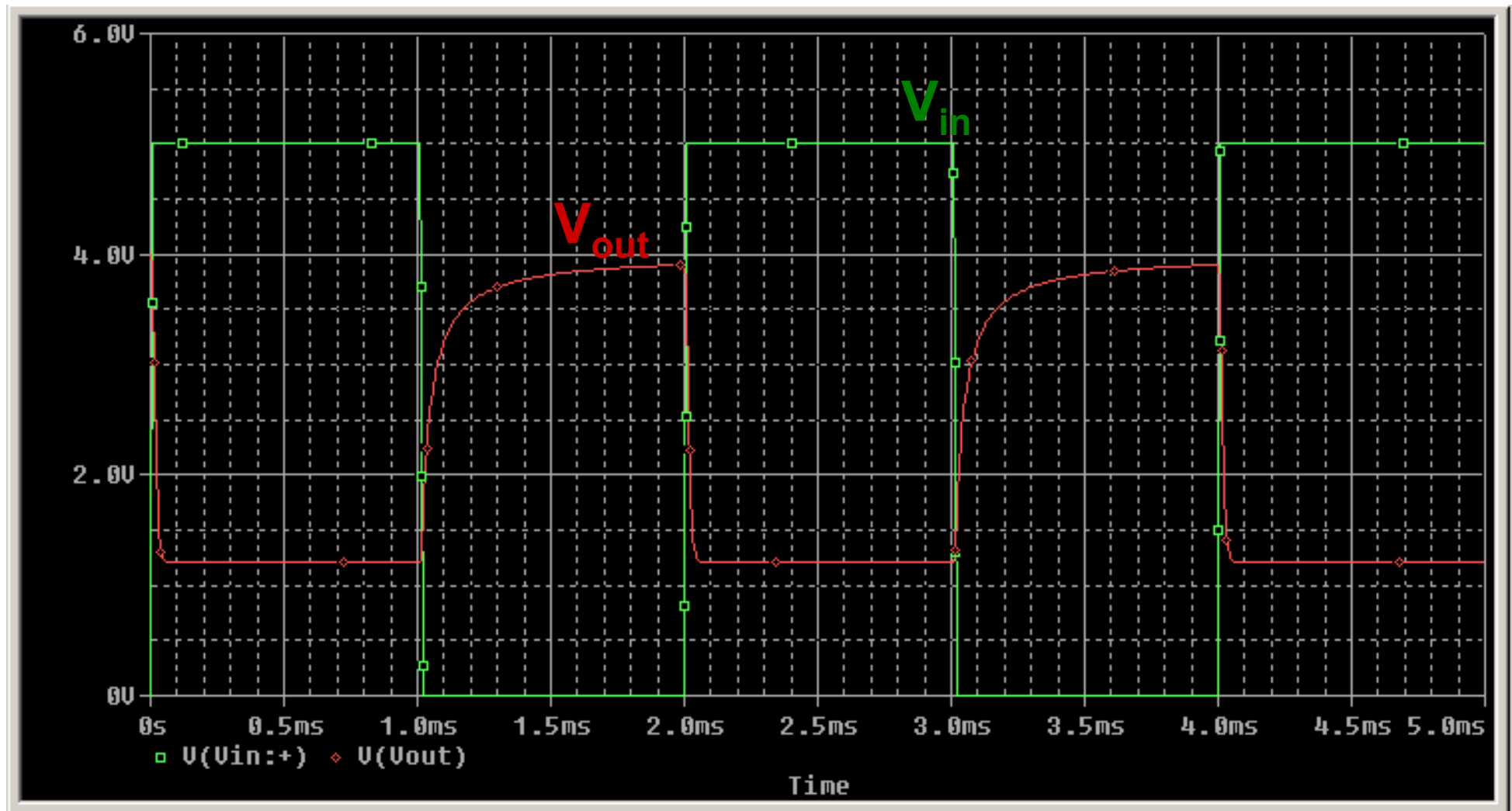
Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (2)

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

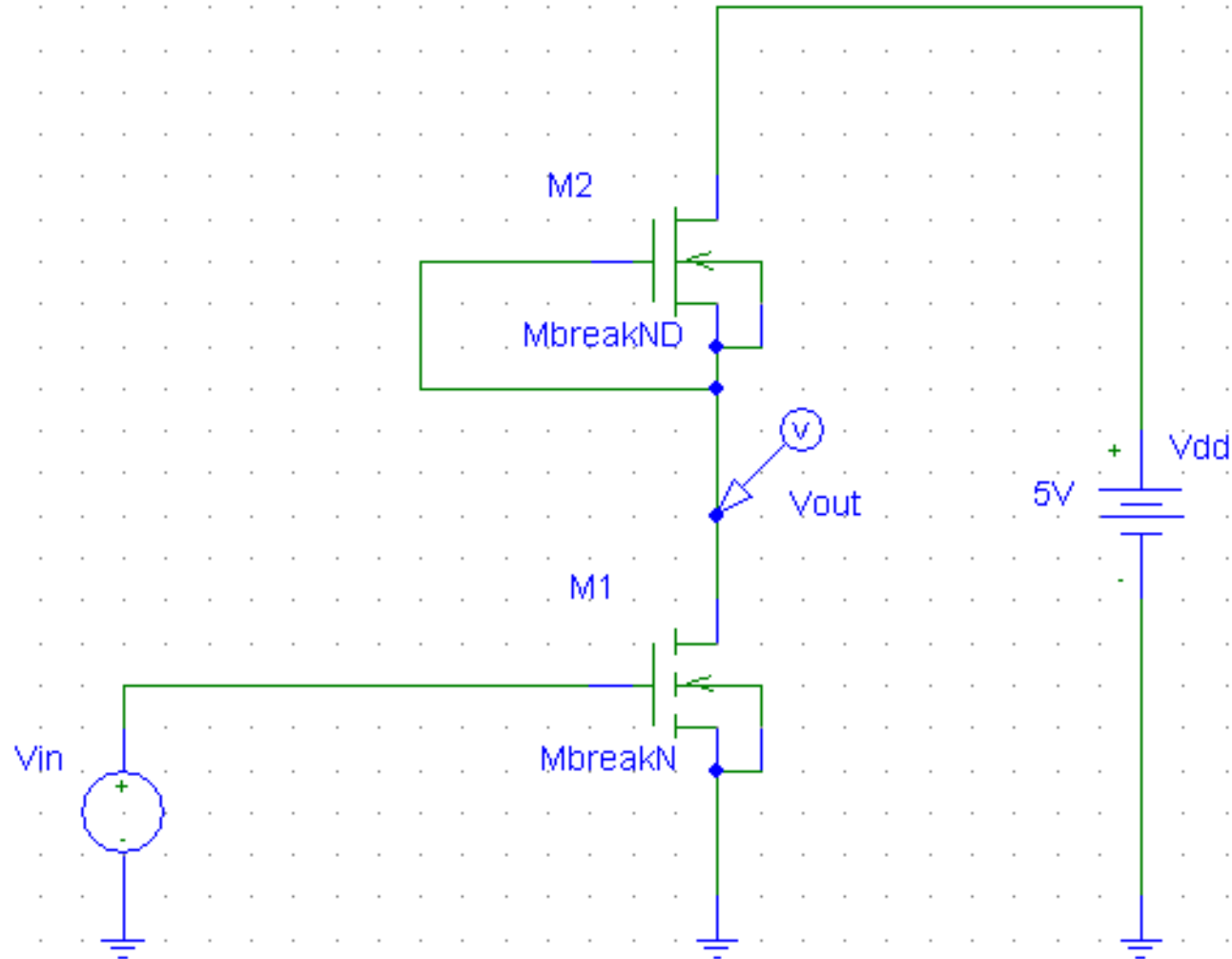


Invertitore NMOS con Carico ad Arricchimento (3)

Risposta ad un ingresso ad onda quadra

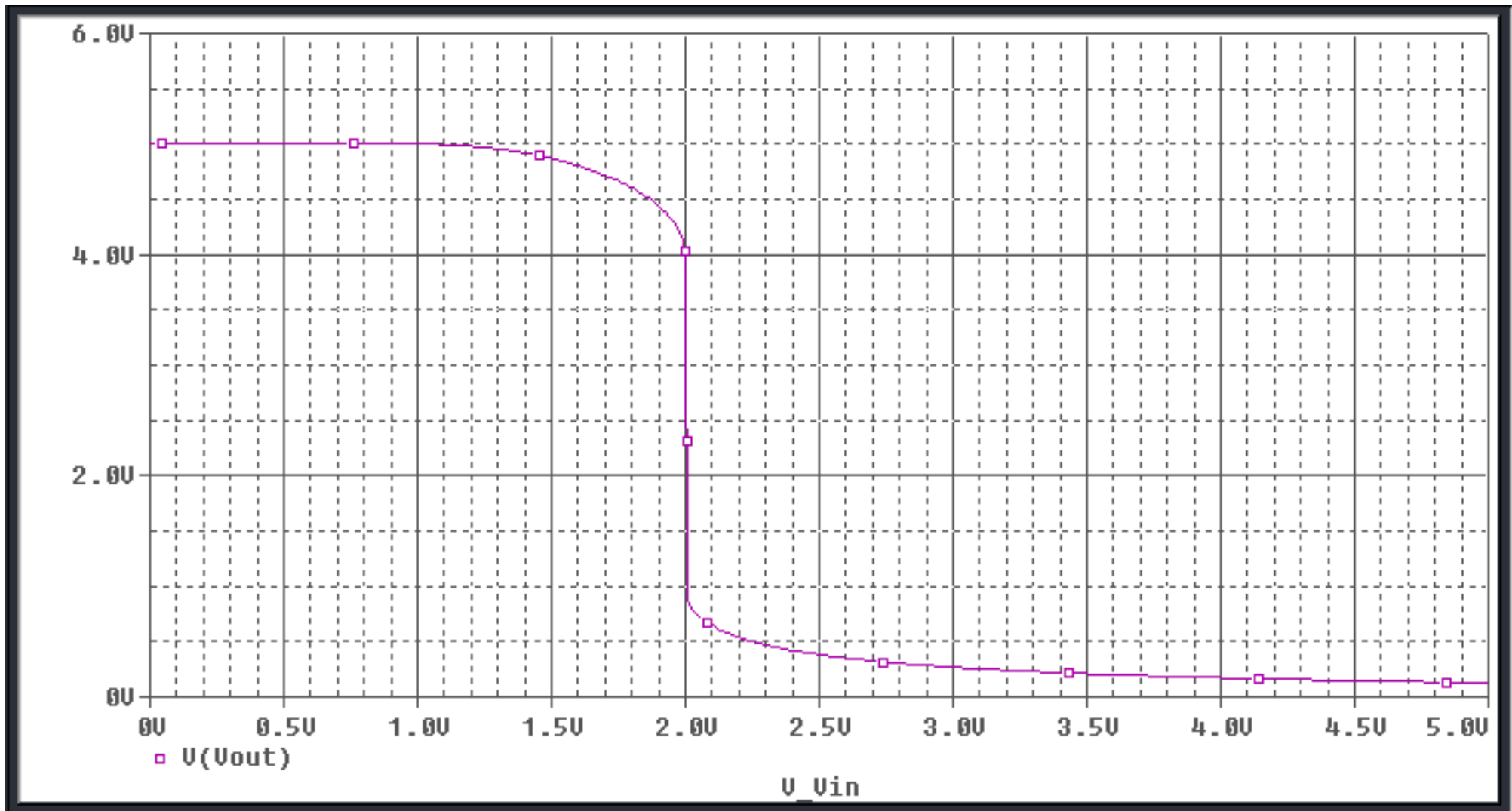


Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (1)



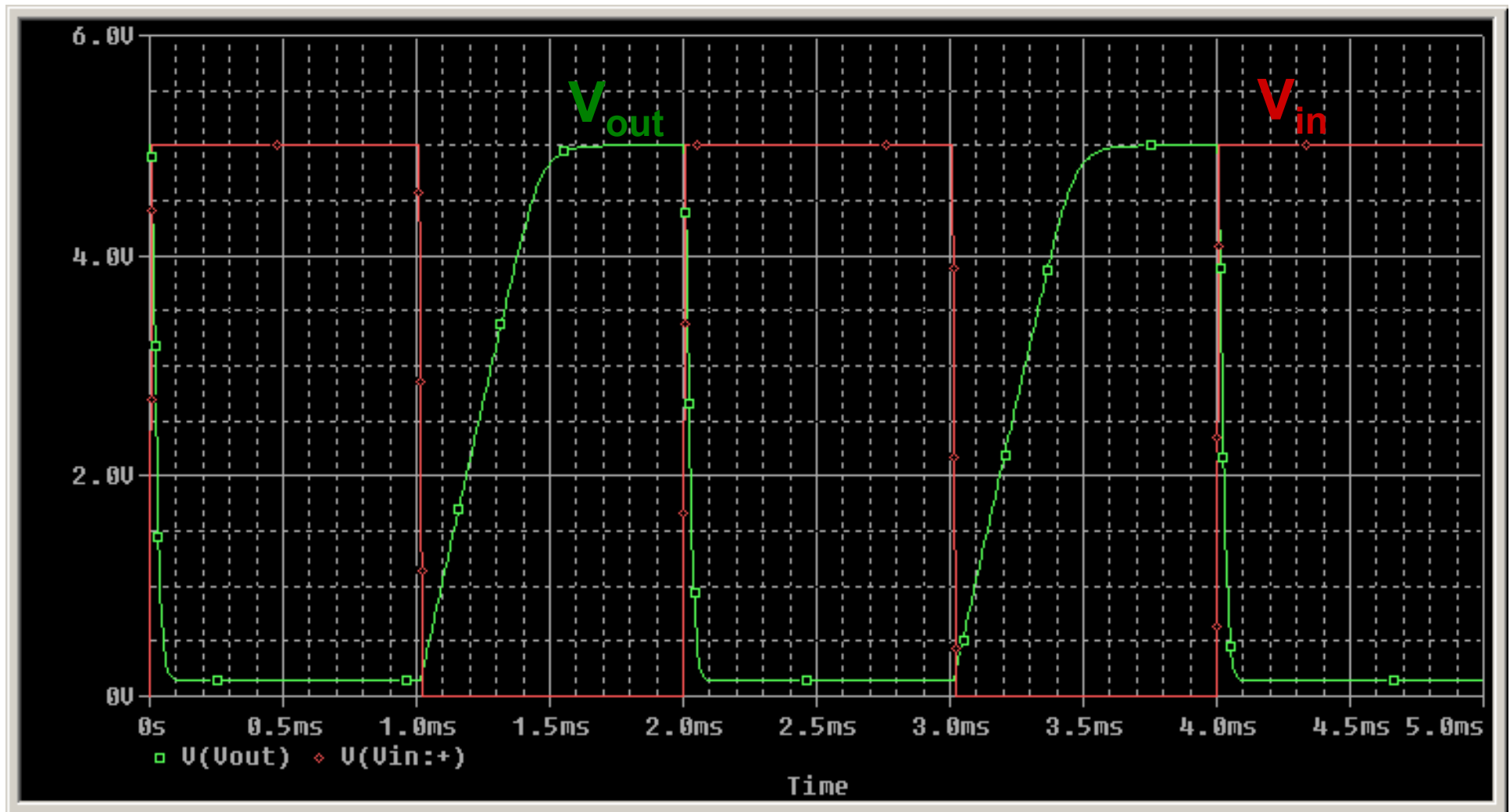
Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (2)

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



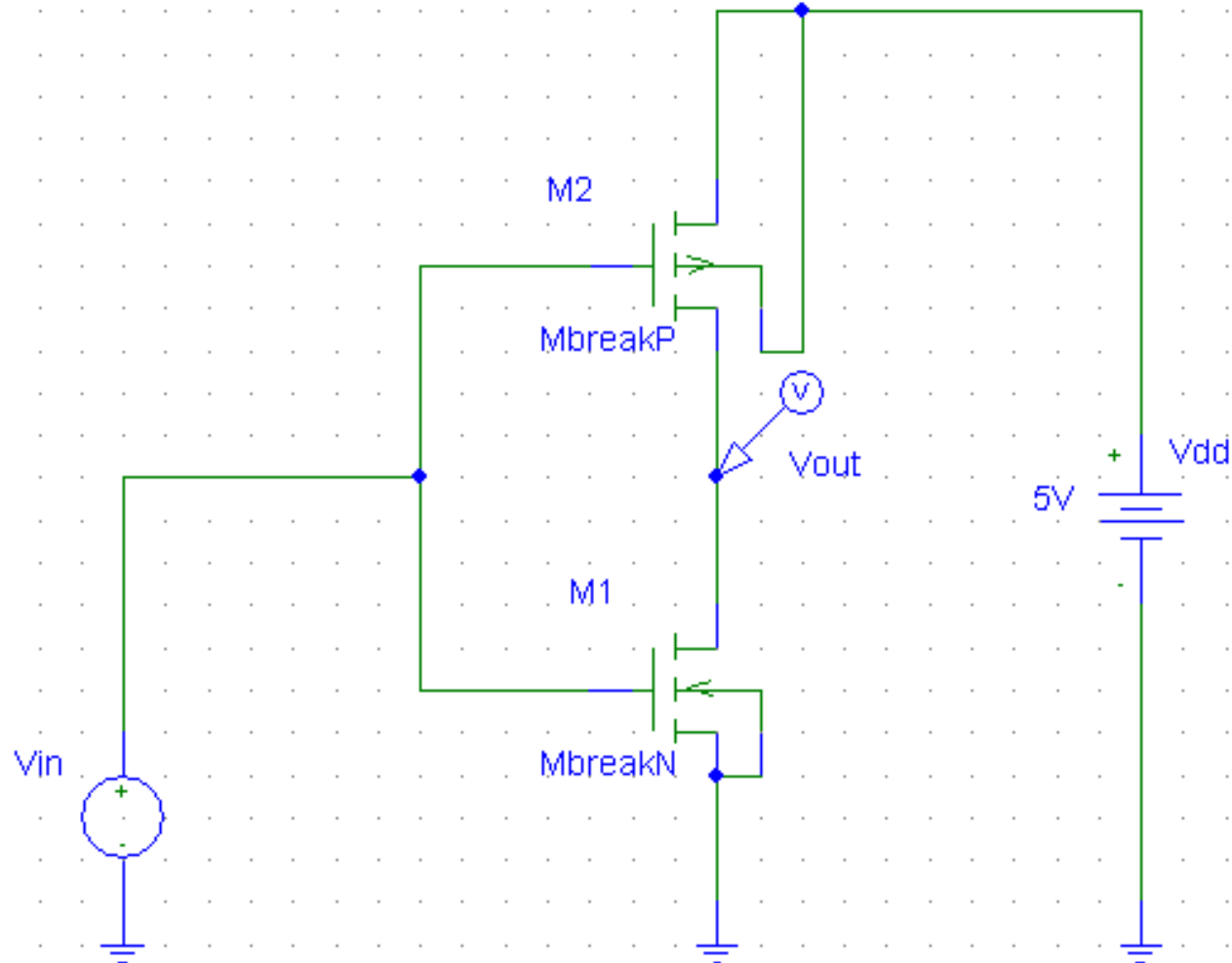
Invertitore NMOS con Carico a Svuotamento (3)

Risposta ad un ingresso ad onda quadra

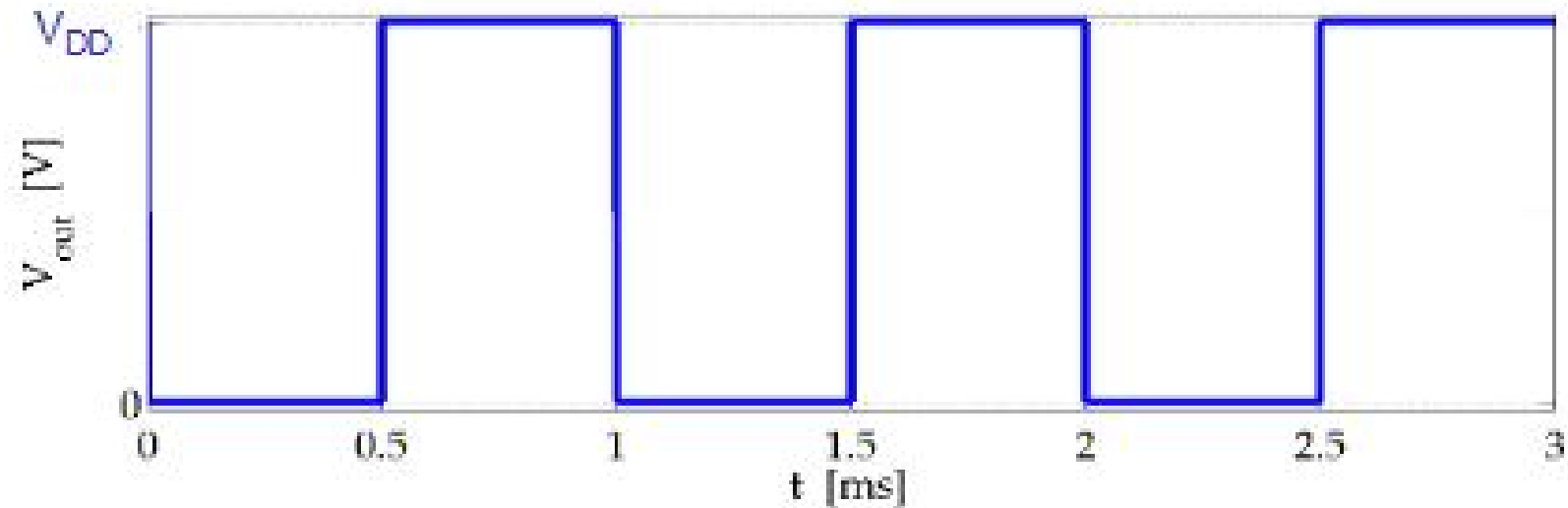
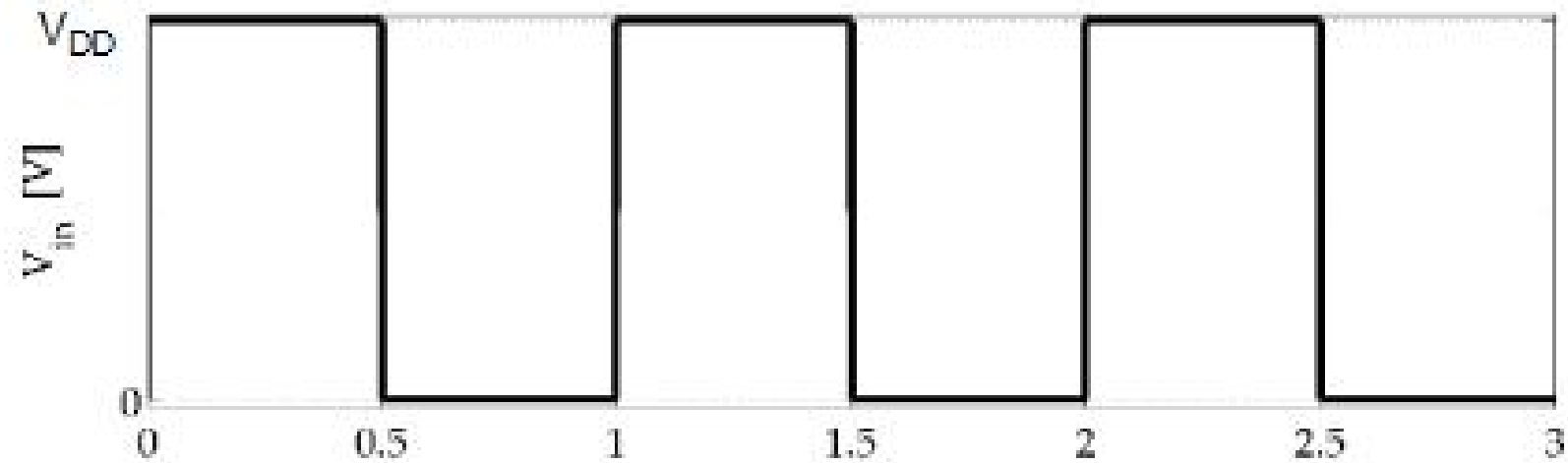


Invertitore CMOS

($V_{DD} = 3V$)



Risposta statica all'Onda Quadra ($f = 1 \text{ kHz}$)





Caratterizzazione Invertitore CMOS

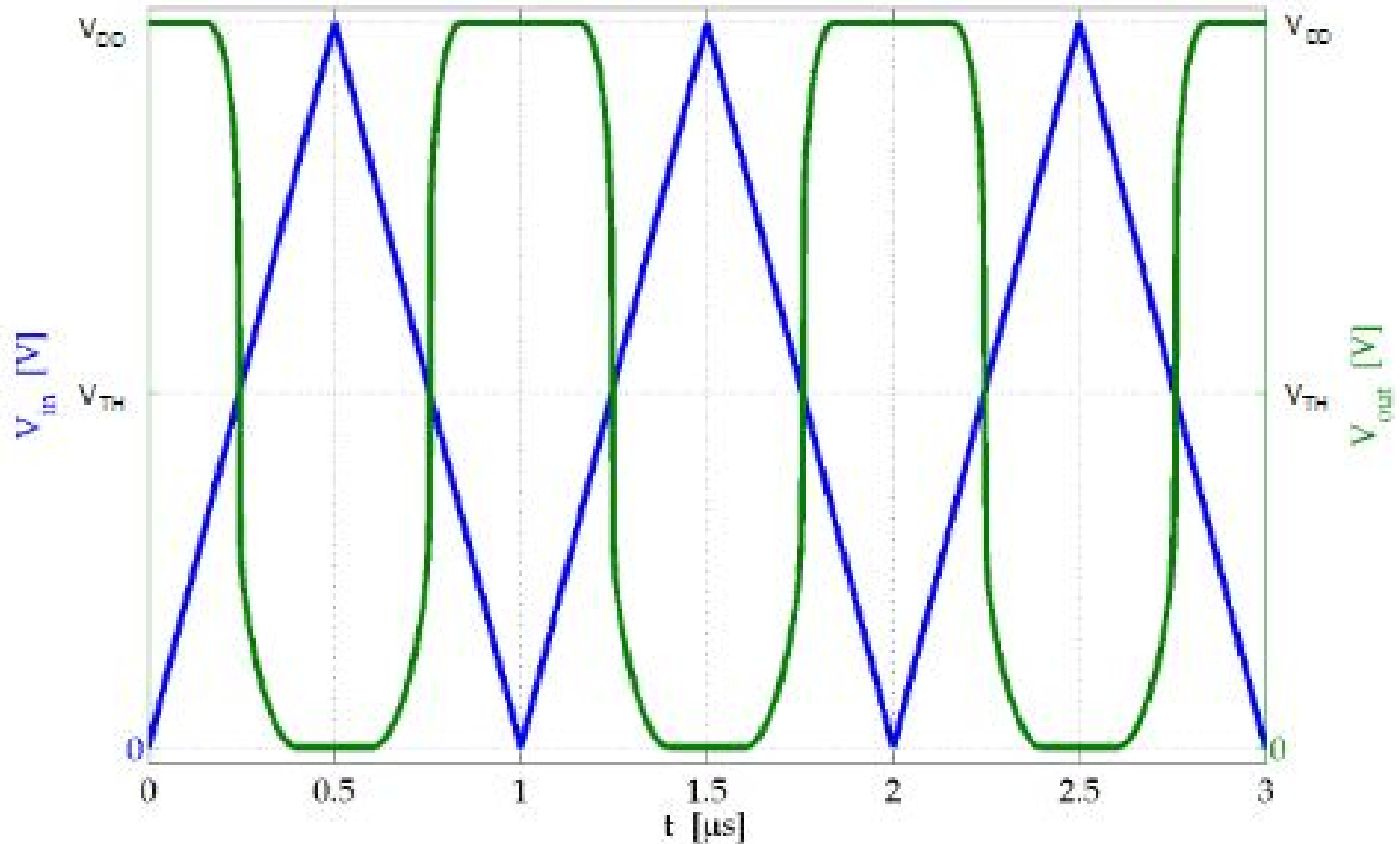
Misure sulla caratteristica $V_{out}(V_{in})$:

- 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

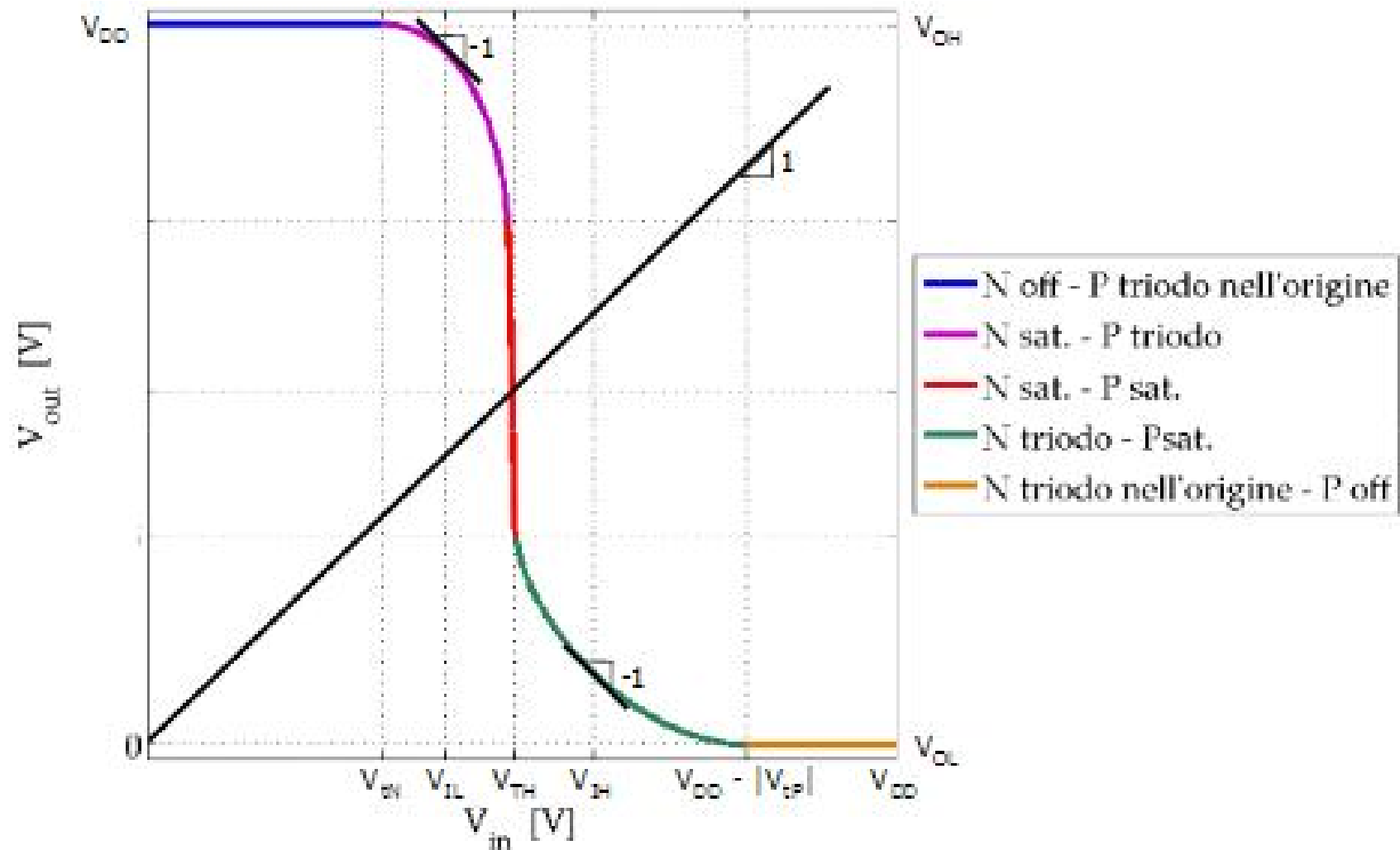
Misure nel dominio del tempo:

- 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)

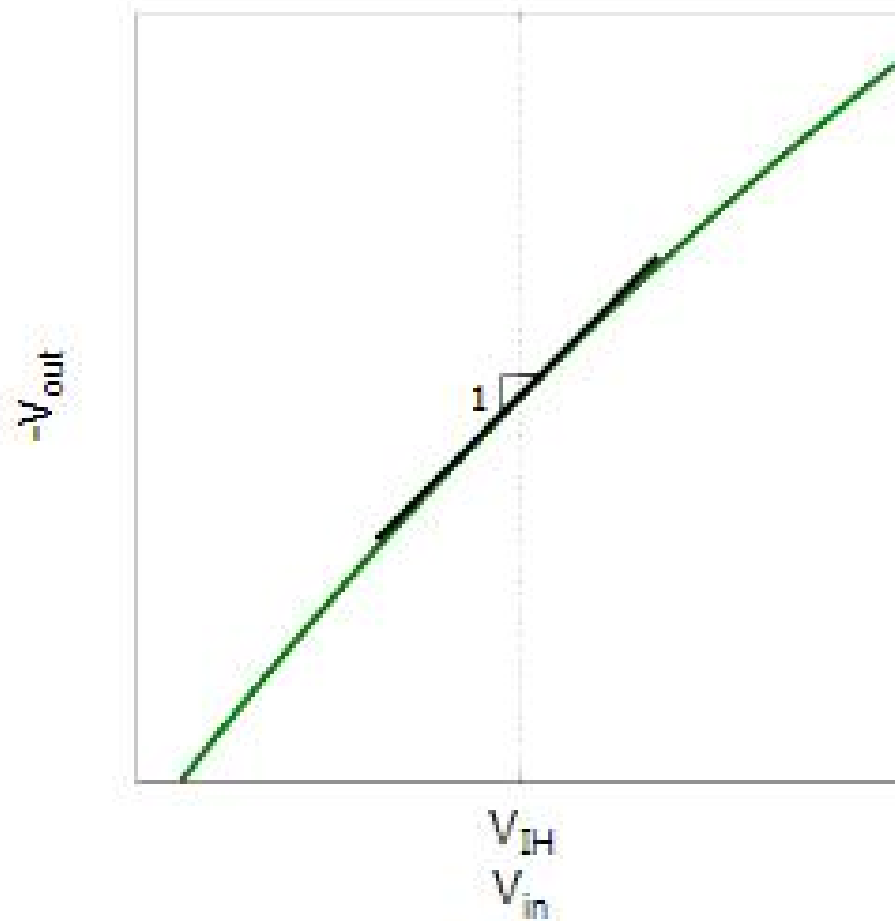
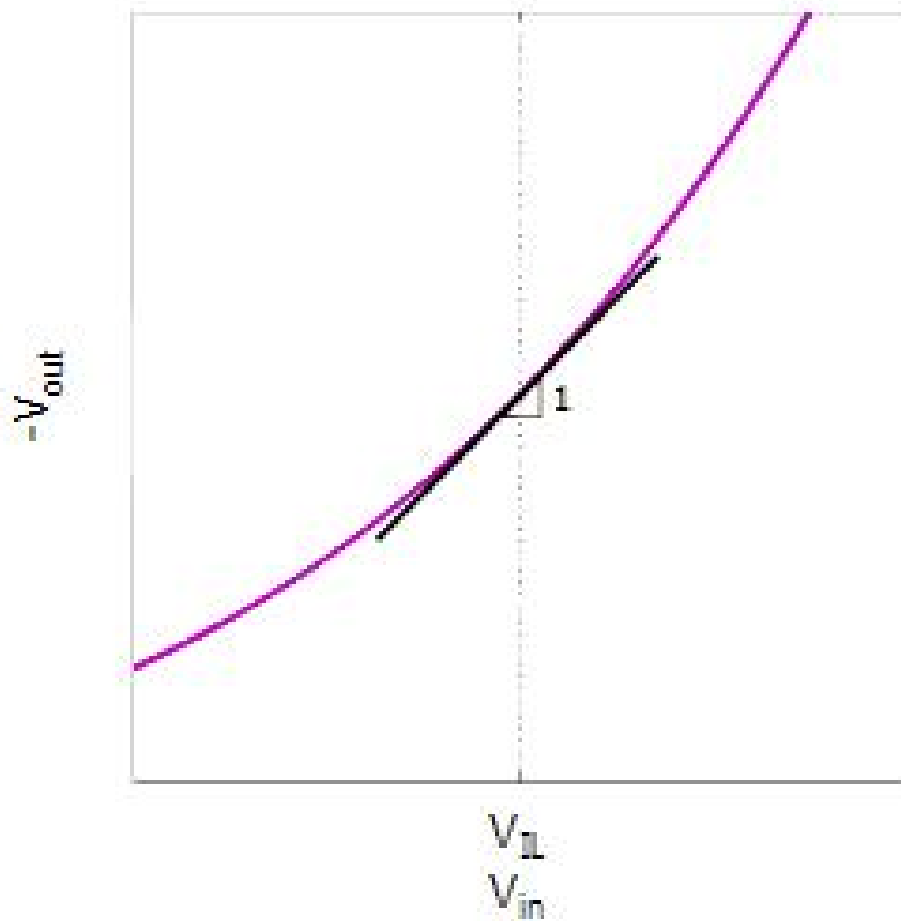
Stima di V_{TH} : $V_{out} = V_{in} = V_{TH}$



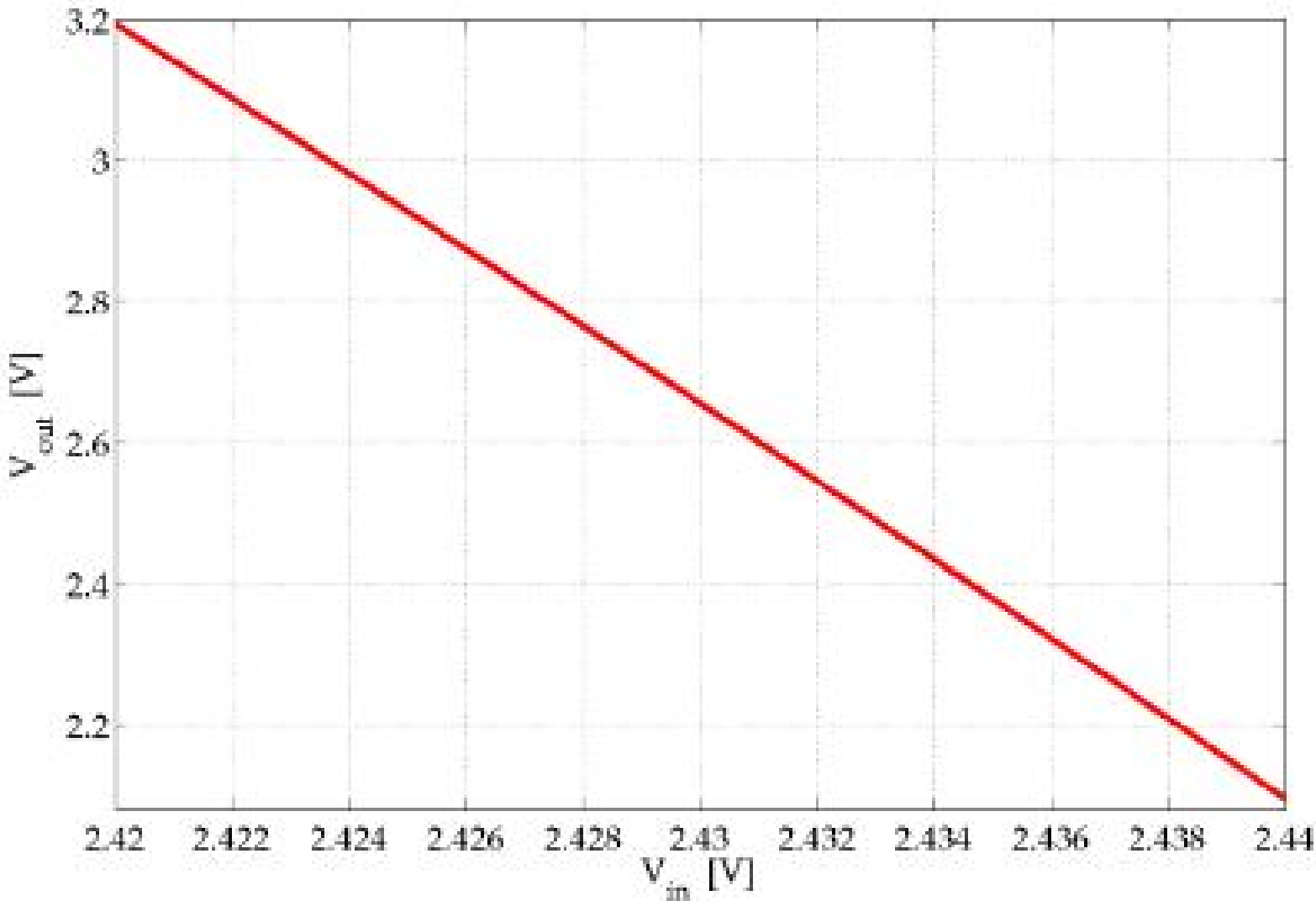
Caratteristica V_{out} (V_{in})



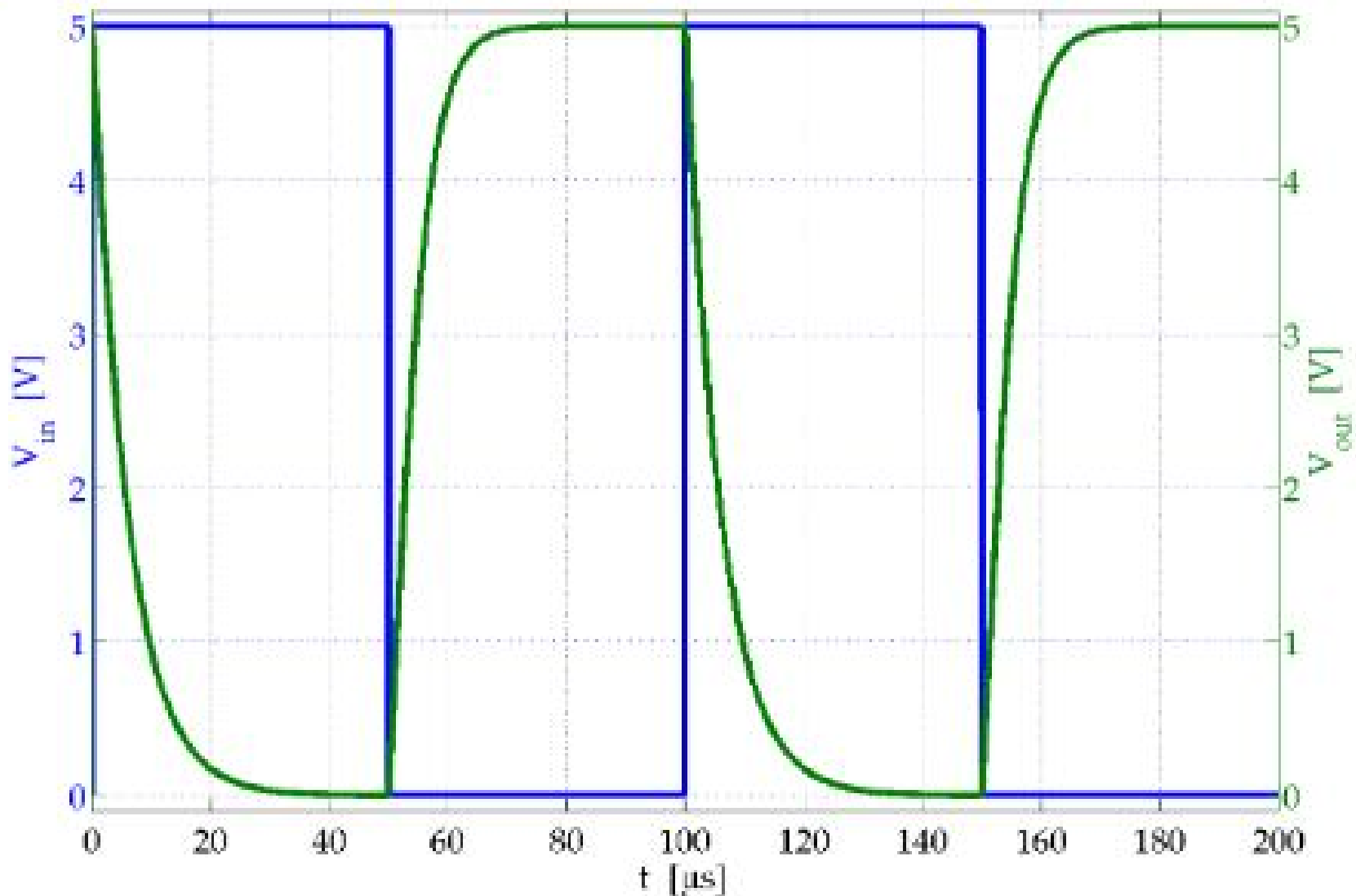
Stima di V_{IL} e V_{IH}



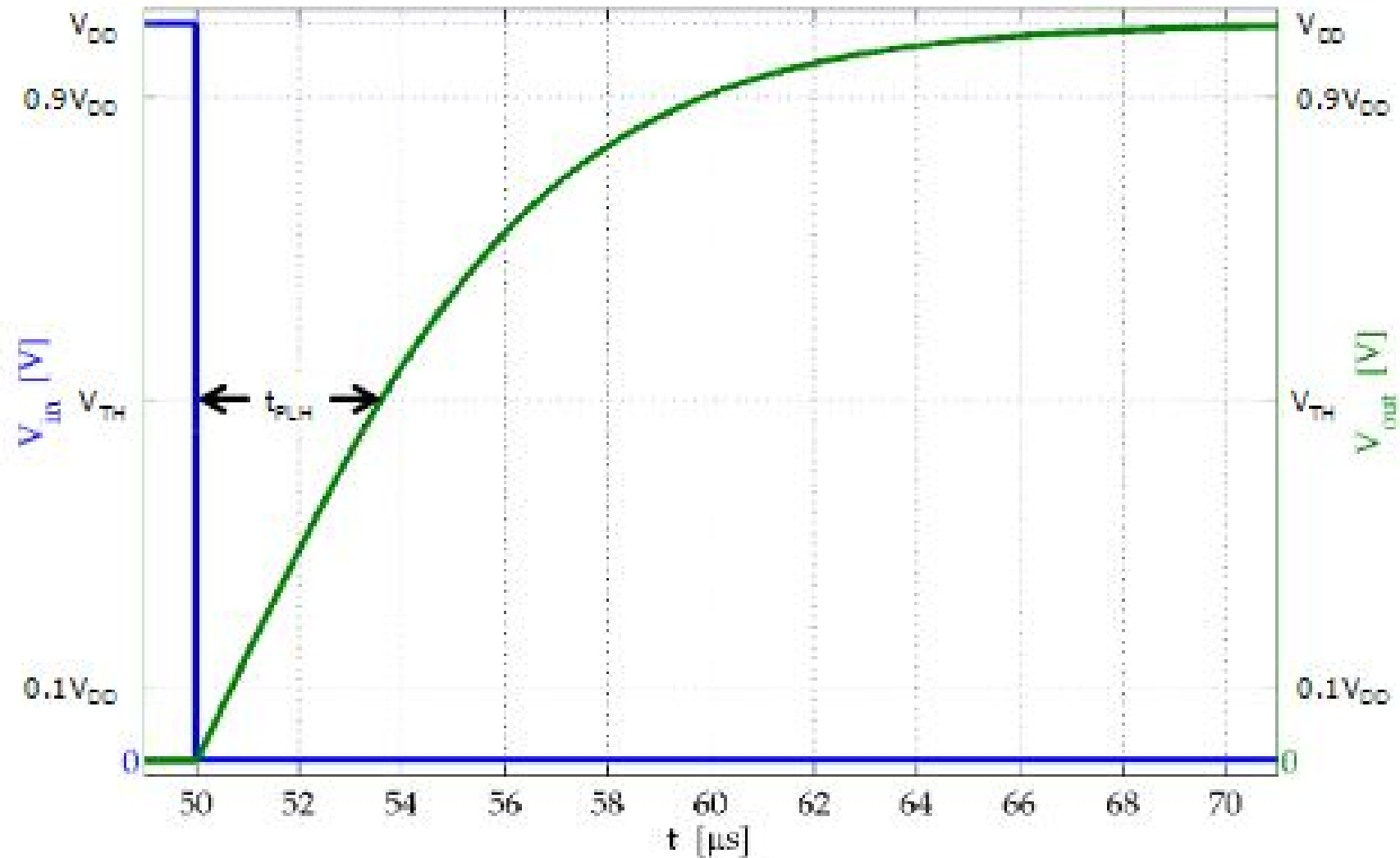
Stima di G



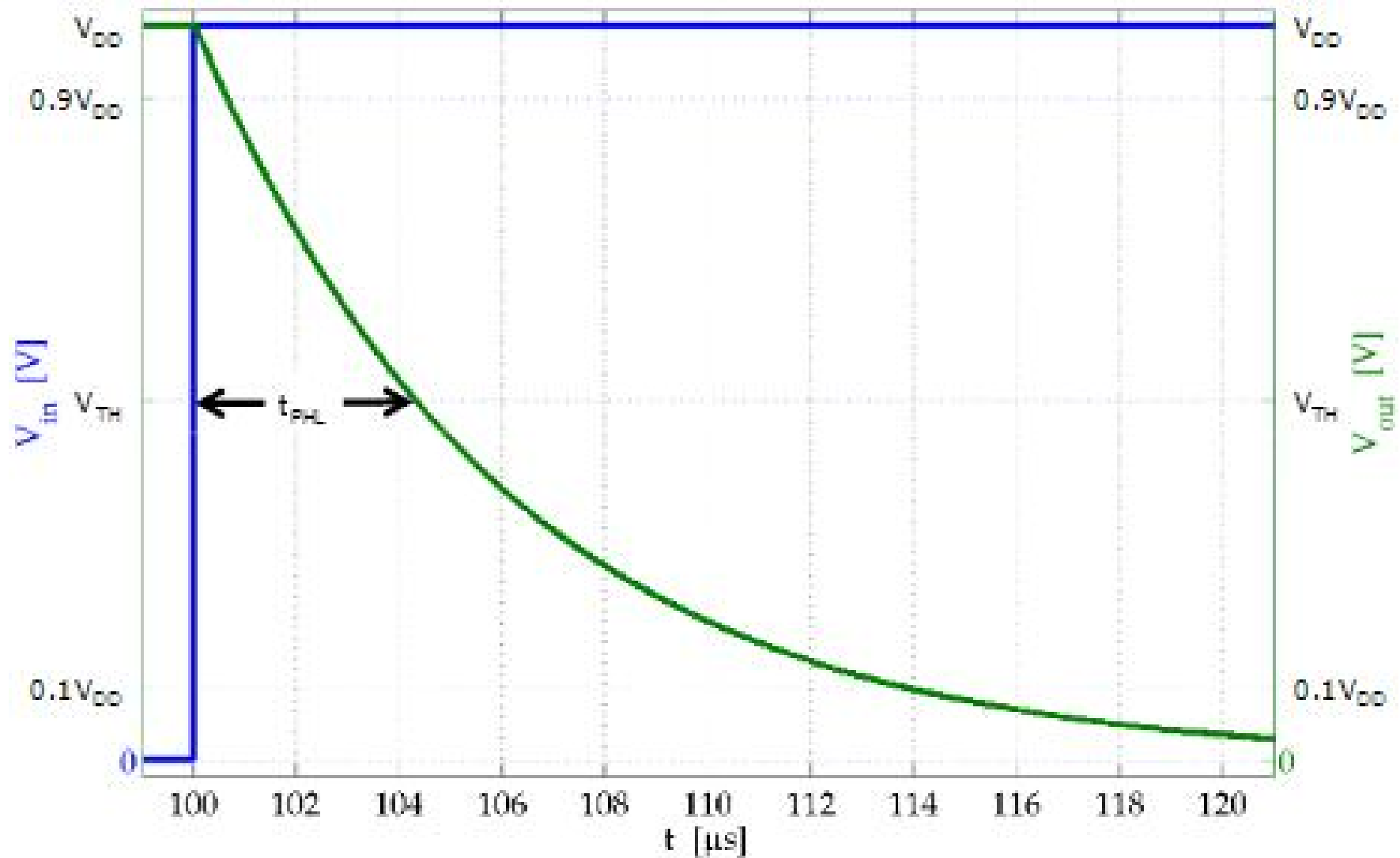
Risposta all'Onda Quadra con Carico Capacitivo ($f = 10 \text{ kHz}$)



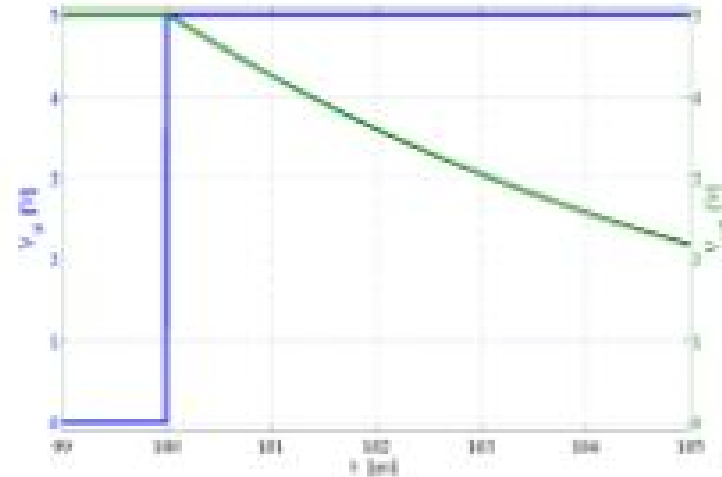
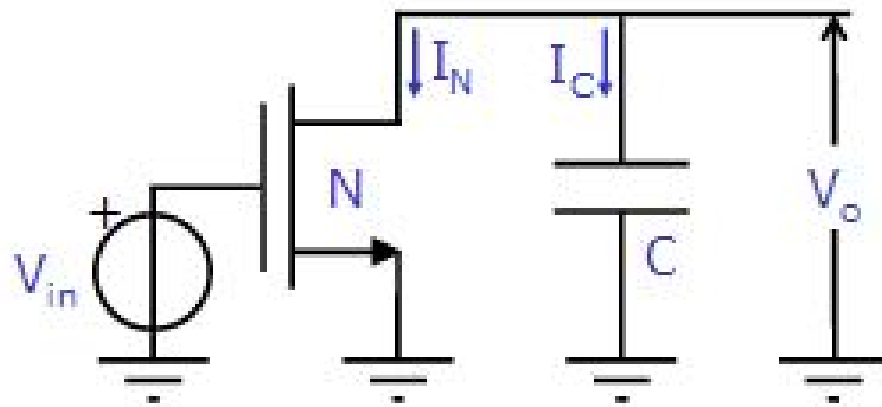
Stima di t_r e t_{pLH} (con C)



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

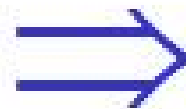


Stima di K_N (con C)



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

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

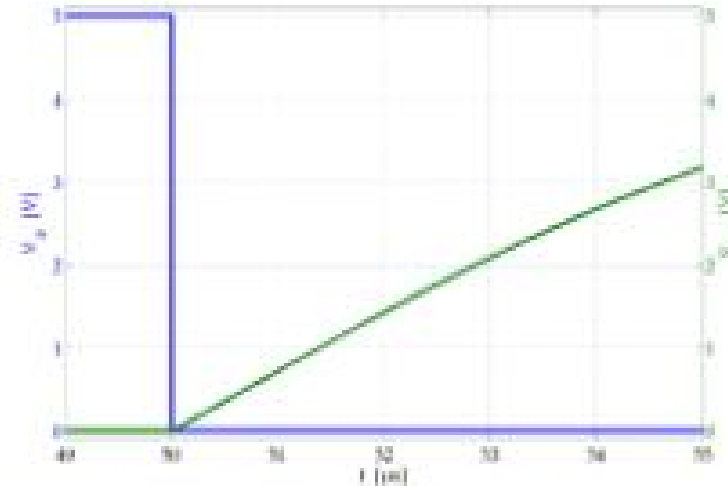
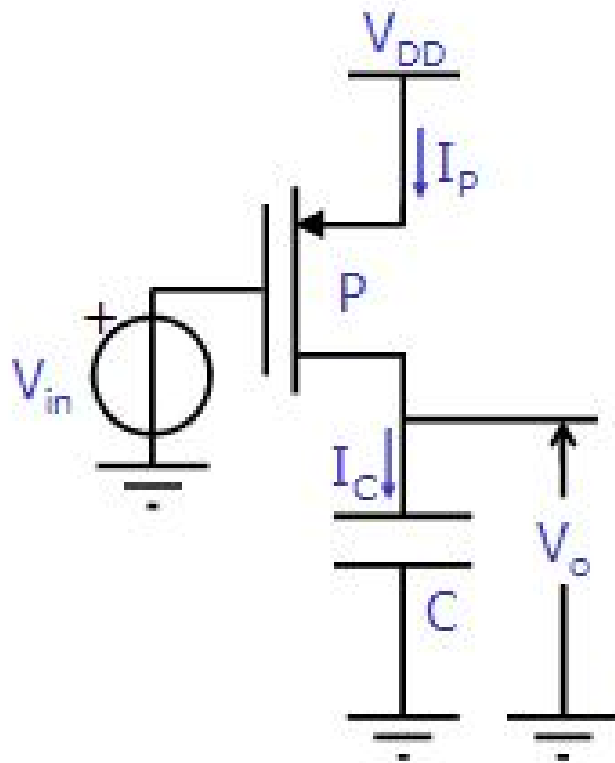


$$V_o(t) = V_{DD} - \left[\frac{I_N}{C} \right] t$$

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

Consideriamo trascurabile l'effetto Early

Stima di K_p (con C)



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

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

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

Consideriamo trascurabile l'effetto Early