

Slow rate

in risposta a gradino $u(t)$
 $A'_v = -406,9$

19 nov

metodo 1

$$V_u = i_{aTd} \cdot R_{aTd} // R_{IN_{16}} A'_v$$

$$R_{aTd} // R_{IN_{16}} = 2,4 \text{ M}\Omega$$

applico gradino in ingresso

$$V(t) = V_f + (V_i - V_f) e^{-t/\tau}$$

Hp singolo polo \rightarrow risposta esponenziale \rightarrow primo polo dovuto a C_1 compensazione

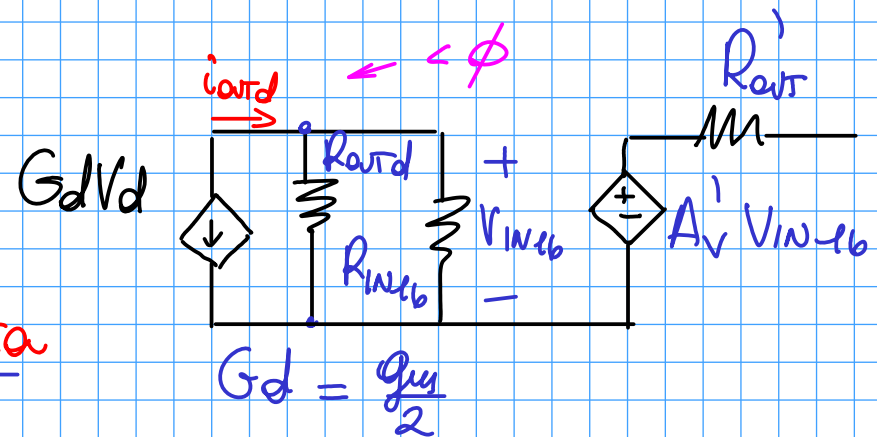
$$V_u(t) = i_{aTd} \cdot R_{aTd} // R_{IN_{16}} A'_v (1 - e^{-t/\tau}) \text{ con } \tau = R_{V_{C1}} C_1$$

$$R_{V_{C1}} = R_{aTd} // R_{IN_{16}} (1 - A'_v) + R_{aT} = R_{aTd} // R_{IN_{16}} |A'_v|$$

$$\left. \frac{dV_u}{dt} \right|_{t=\phi} \approx \frac{1}{\tau} i_{aTd} A'_v R_{aTd} // R_{IN_{16}}$$

$\uparrow \quad \uparrow$
 $\angle \phi \quad \angle \phi$

complessivamente si ritrova derivata
positiva



\rightarrow quanto vale la pendenza massima della risposta in uscita?

cerca valore massimo pendenza

$$\text{SLEW RATE} \triangleq \omega$$

$$\left. \frac{dV_u}{dt} \right|_{t=\phi} = - \frac{i_{\text{out}}}{C} \stackrel{\substack{\downarrow \angle \phi \\ \uparrow \text{max}}}{=} \frac{i_8}{C} \Rightarrow$$

$i_{\text{out}} \big|_{\text{max}} = -i_8$

$$\boxed{\left. \frac{dV_u}{dt} \right|_{t=\phi}^{\text{MAX}} = \frac{i_8}{C}}$$

nel $\mu A741$

$$\omega = 0,65 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\text{con } V = \pm 15\text{V}$$

calcoliamo tempo di salita da $V_u = \phi$ a saturazione alla

$$t_{\text{SAT}} = \frac{V_{u0}}{\omega} = \frac{13}{0,65 \text{ V}/\mu\text{s}} = \underline{20 \mu\text{s}}$$

$$\tau = \underline{29,567 \text{ ms}}$$

FATTORE 1000
OK

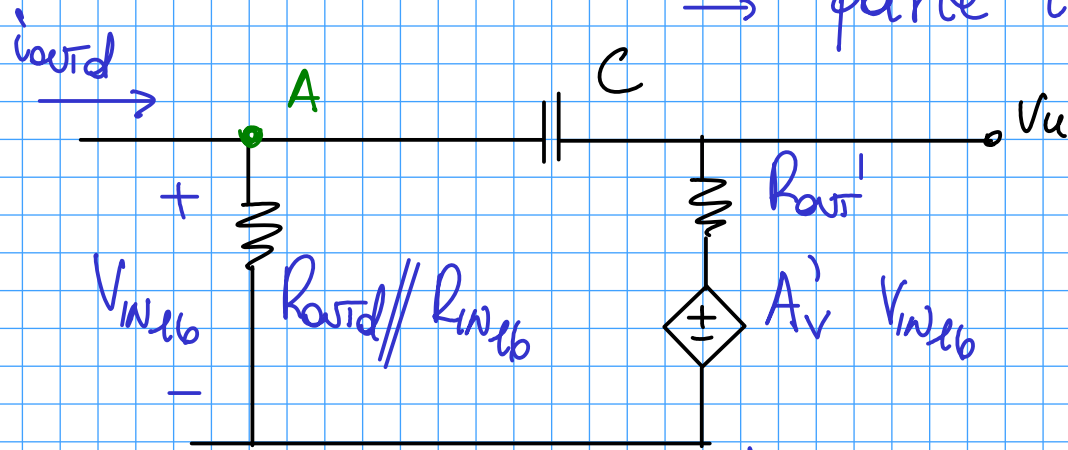
se risposta fosse lineare,
in realtà evolve
esponenzialmente con τ
confrontando t_{SAT} con τ ,
si ha fattore 1000 di
differenza, Hp lineare ok!

RAMPA LINEARE VERSO SATURAZIONE

transitorio slew rate molto più veloce dell'esponenziale,
andamento rettilineo

metodo 2

→ ingresso saturo $i_{ard} \approx 19 \mu A$
 → parte transitorio



bilancio correnti al nodo A

$$i_{ard} - \frac{V_{in16}}{R_{ard} // R_{in16}} - C \frac{d}{dt} [V_{in16}(t) - V_u(t)] = 0$$

$$\frac{V_{in16}}{R_{ard} // R_{in16}} = \frac{V_u}{R_{ard} // R_{in16}} A_v' < \frac{V_{u0}}{R_{ard} // R_{in16}} A_v' = \frac{13}{2,422 M\Omega \cdot 406,9} = \underline{\underline{13,19 \mu A}}$$

se stadio ingresso lavora in saturazione → $i_{ard} \approx 19 \mu A$
 ↑ $i_{ard} = i_s$

termine $\frac{V_{in16}}{R_{ard} // R_{in16}}$ trascurabile rispetto i_{ard} quando
 ingresso saturo (onda quadra)

$$i_{outd} - \frac{V_{in16}}{R_{outd} // R_{in16}} - C \frac{d}{dt} [V_{in16}(t) - V_u(t)] = 0$$

$$i_{outd} \approx C \frac{d}{dt} [V_{in16}(t) - V_u(t)]$$

tutta la corrente dello stadio di ingresso carica il condensatore

$$i_{outd} \approx -C \left. \frac{d}{dt} V_u(t) \right|_{MAX} \rightarrow \frac{d}{dt} V_u(t) = - \frac{i_{outd}}{C}$$

stesso risultato trovato prima

conclusioni

tutta l'analisi valida sui primi istanti del transitorio, poi con la saturazione dello stadio d'uscita

→ presenza C_1 migliora stabilità ma rallenta slew rate!

$$\text{slew rate} = \frac{i_{outd}}{C}$$

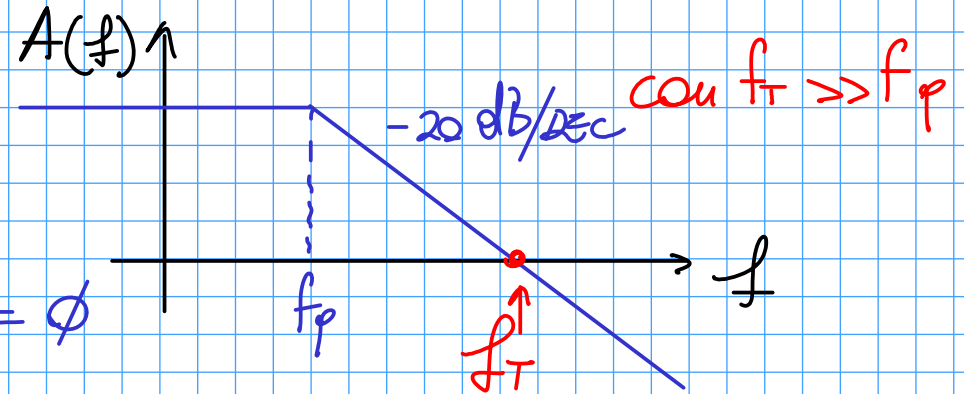
→ per comparazione meglio utilizzare OPAMP tipo LM311 senza compensazione

ω_G , pulsazione a guadagno unitario chiamata anche f_T

Hp polo dominante

in termini di fasori:

$$I_{outd} - \frac{V_{in_{cb}}}{R_{outd} // R_{in_{cb}}} - j\omega C (V_{in_{cb}} - V_u) = 0$$



$$-G_d V_d - \frac{V_{in_{cb}}}{R_{outd} // R_{in_{cb}}} - j\omega C (V_{in_{cb}} - V_u) = 0 \quad \omega \text{ elevato, trasuro termine}$$

$$-G_d V_d - j\omega C (V_{in_{cb}} - V_u) = 0 \rightarrow I_{outd} \approx -j\omega C V_u$$

$$G_d V_d = j\omega C V_u \rightarrow \frac{V_u}{V_d} = \frac{G_d}{j\omega C} \leftarrow \text{come se avesse polo nell'origine (f elevato)}$$

$R_{V_{cb}}$ polo $\mu A741 \approx R_{outd} // R_{in_{cb}}$

$$\left| \frac{V_u}{V_d} \right| = \frac{G_d}{\omega C} = 1 \rightarrow$$

$$\omega_G = \frac{G_d}{C}$$

$$\mu A741 \quad f_T = 969 \text{ KHz}$$

pulsazione in corrispondenza della quale il modello del guadagno ad quello aperto diventa unitario

relazione ω_G e slewrate

$$\omega = \frac{I_8}{C}, \quad \omega_G = \frac{G_d}{C}$$

↑
ricaro C e sostituisco

$$\omega = \frac{I_8}{G_d} \quad \omega_G = \frac{I_8}{g_{m2}/2} \quad \omega_G = \frac{\cancel{I_8}}{\frac{\cancel{I_8}}{2V_T} \frac{1}{2}} \quad \omega_G = 4V_T \omega_G$$

$G_d = g_{m2}/2$

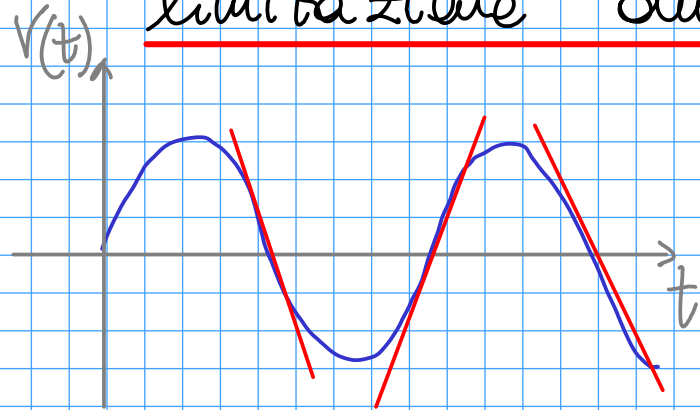
$$\boxed{\omega = 4V_T \omega_G} = \boxed{\omega = \frac{I_8}{G_d} \omega_G}$$

slew rate legato a:

- temperatura
- inversamente proporzionale alla capacità di compensazione
- inversamente proporzionale guadagno differenziale (g_{m2})

limitazione ampiezza - frequenza

f_{bpf}



segnale sinusoidale in ingresso ha pendenza massima nei dintorni dell'attraversamento dello zero

limita su ampiezza e/o frequenza

$$V_u = V_M \sin \omega t$$

$$\frac{dV_u}{dt} = V_M \omega \cos \omega t \longrightarrow \left. \frac{dV_u}{dt} \right|_{\max} = V_M \omega$$

limitazione in funzione di ω

picco-zero

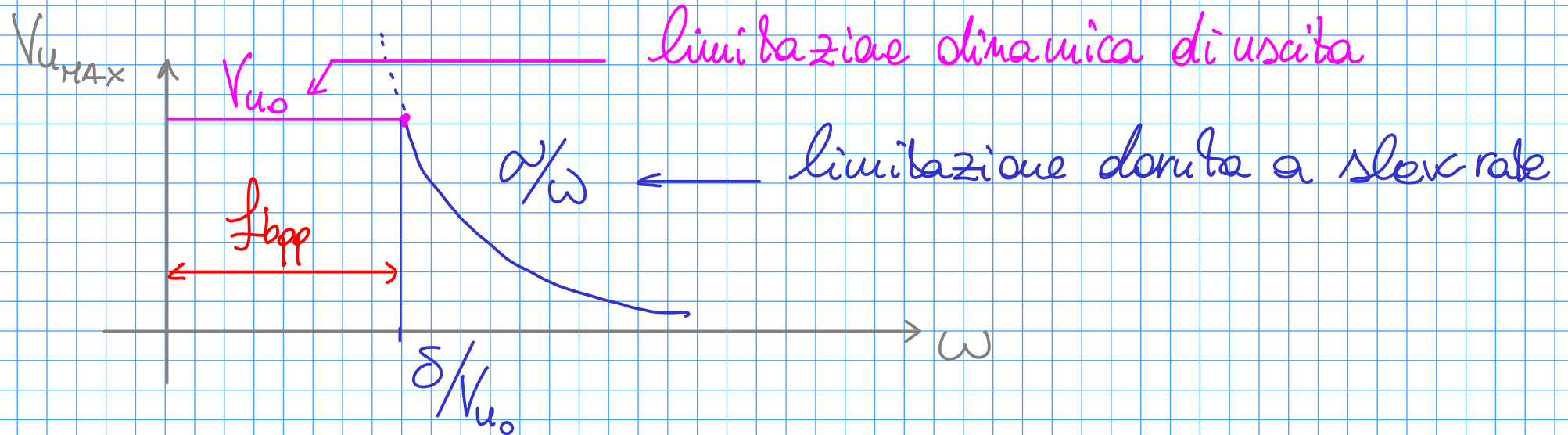
$$V_{eff} = \frac{V_M}{\sqrt{2}}$$

frequenza

$$V_M \omega = \omega$$

fino a che $\omega/\omega > V_{u0} = 13V$ non ho problemi, limitazione solo su ω
con $\omega/\omega < V_{u0} = 13V$ limitazione in ampiezza

grafico limitazione

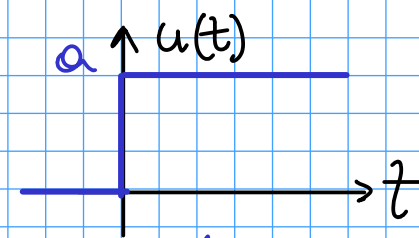


Banda a piena potenza (ampiezza limitata da slew rate d'uscita)

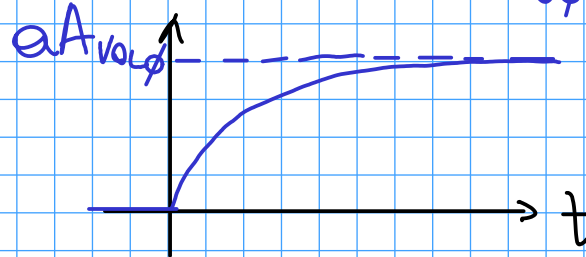
$$f_{bpp} = \frac{\omega}{2\pi V_{u0}}$$

$$\mu A741 \quad f_{bpp} = 7,59 \text{ KHz}$$

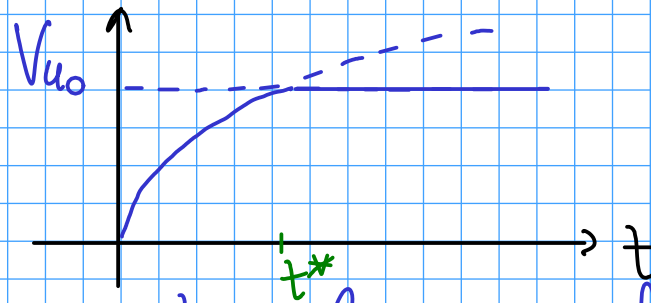
Risposta a gradino



con $a < 65 \mu V$ \longrightarrow risposta esponenziale di primo ordine, tende ad $aA_{v_{o\phi}}$ (stadio ingresso non saturo)



con $65 \mu V < a < 4V_T$ \longrightarrow transitorio esponenziale in uscita interrotto da saturazione uscita



$$aA_{v_{o\phi}}(1 - e^{-t/\tau}) = V_{uo}$$

con $a > 4V_T$ \longrightarrow risposta lineare fino a saturazione uscita

