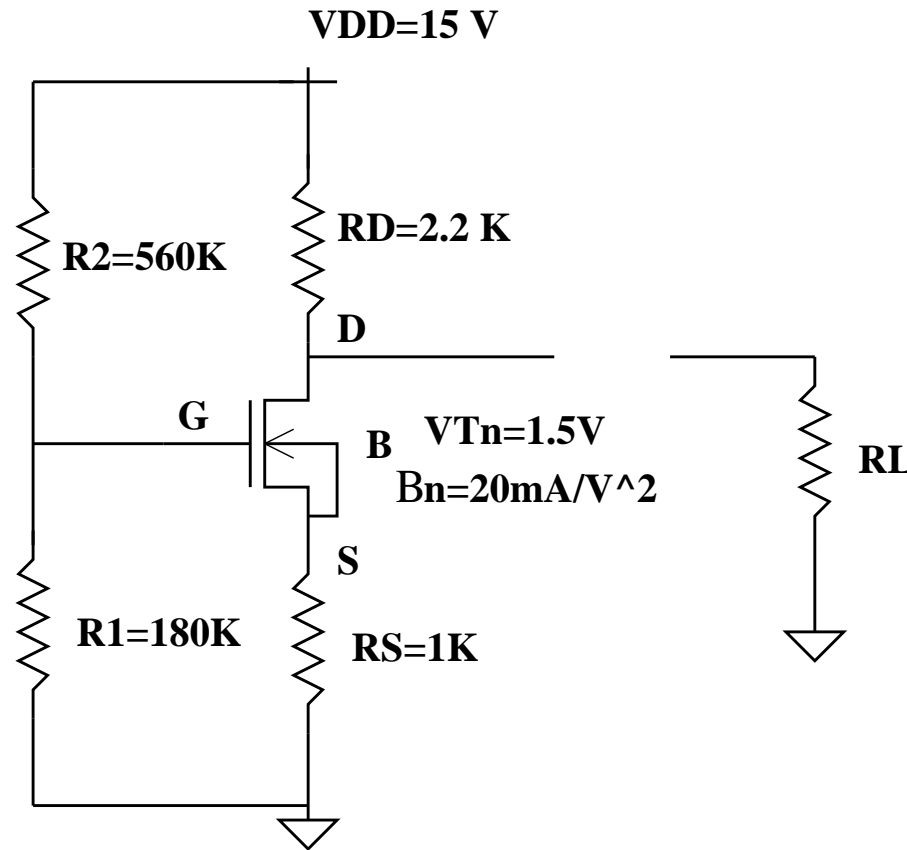


# **Dispositivi Elettronici**

## **Stadi Amplificatori MOSFET**

# Polarizzazione MOSFET

- **Esercizio 1:** si consideri il seguente circuito per la polarizzazione del MOSFET:



# Polarizzazione MOSFET

## ■ *Si calcoli:*

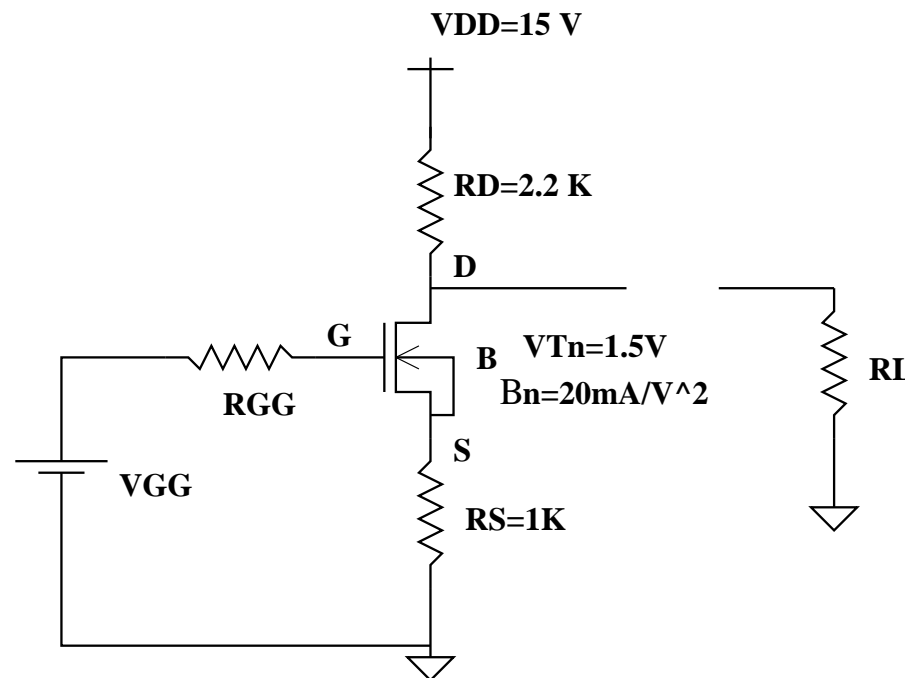
- ◆ il punto di lavoro e la sua stabilità al variare dei parametri del MOSFET ( $V_{Tn}$  e  $\beta_n$ );
- ◆ la dinamica di uscita;
- ◆ il guadagno  $V_o/V_s$ ;
- ◆ la resistenza di uscita;
- ◆ la resistenza di ingresso;
- ◆ l'effetto sui precedenti punti dell'inserzione della capacità  $C_S = 33nF$

# Polarizzazione MOSFET

- *Calcolando l'equivalente Thevenin del partitore in ingresso si ottiene.*

$$R_{GG} = R1 // R2 = 136.22 \text{ k}\Omega$$

$$V_{GG} = V_{DD} \frac{R1}{R1 + R2} = 3.64 \text{ V}$$



# Polarizzazione MOSFET

- Scrivendo l'equazione alla **maglia d'ingresso** si ottiene:

$$V_{GG} = V_{GS} + R_S I_{DS}$$

$$V_{GG} = V_{GS} + R_S \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GG} = V_{GS} - V_T + R_S \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 + V_T$$

- L'ultima equazione può essere scritta come equazione di 2° grado in  $(V_{GS} - V_T)$ :

$$\frac{R_S \beta_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 + (V_{GS} - V_T) - V_{GG} + V_T = 0$$

# Polarizzazione MOSFET

- *Risolvendo e accettando come valida solo la soluzione  $> 0$  si ha:*

$$V_{GS} - V_T = \frac{-1 + \sqrt{1 + 2R_S\beta_n (V_{GG} - V_T)}}{R_S\beta_n}$$

- *Sostituendo i valori si ottengono:*

$$V_{GG} = 3.64 \text{ V}$$

$$V_{GS} - V_T = 0.41 \text{ V}$$

# Polarizzazione MOSFET

- **Dal valore ottenuto per  $V_{GS} - V_T$  e ipotizzando che il transistorore sia in saturazione:**

$$I_{DS0} = \frac{\beta_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 1.73 \text{ mA}$$

$$V_{OUT0} = V_{DD} - R_D I_{DS} = 11.78 \text{ V}$$

$$V_{DS0} = 9.45 \text{ V}$$

- **Essendo  $V_{DS0} > V_{GS0} - V_T$  viene confermata l'ipotesi di trovarci in **saturazione****

# Polarizzazione MOSFET

- *La condizione di saturazione può anche essere verificata imponendo la condizioni di transistoro saturo e in conduzione:*

$$V_D - V_S > V_{GG} - V_S - V_T$$

$$V_{DD} - I_{DS}R_D > V_{GG} - V_T$$

$$I_{DS} < \frac{V_{DD} - V_{GG} + V_T}{R_D} = 5.84 \text{ mA}$$

# Polarizzazione MOSFET

■ *La condizione di MOSFET in conduzione:*

$$V_{GS} > V_T$$

$$V_{GG} - I_{DS}R_S > V_T$$

$$I_{DS} < \frac{V_{GG} - V_T}{R_S} = 2.14 \text{ mA}$$

# Polarizzazione MOSFET

- Il circuito utilizzato per la polarizzazione risulta particolarmente robusto grazie all'effetto di **controreazione** dovuto a  $R_S$ : infatti un aumento della corrente  $I_{DS}$  (ad esempio per una riduzione di  $V_T$  o di un aumento di  $\beta_n$ ) tende a ridurre la  $V_{GS}$  e conseguentemente a limitare l'aumento della  $I_{DS}$ .
- Questo comportamento può essere valutato quantitativamente valutando la **sensibilità** del punto di lavoro alla variazione della  $V_T$  e di  $\beta_n$ :

# Polarizzazione MOSFET

$$\begin{aligned} S_{V_t} &= \left. \frac{\partial (V_{GS} - V_T)}{\partial V_T} \right|_{OP} \\ &= \frac{(1 + 2R_S\beta_n (V_{GS} - V_T))^{-1/2}}{2R_S\beta_n} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\beta_n} &= \left. \frac{\partial (V_{GS} - V_T)}{\partial \beta_n} \right|_{OP} \\ &= \dots\dots \end{aligned}$$

# Dinamica di Uscita

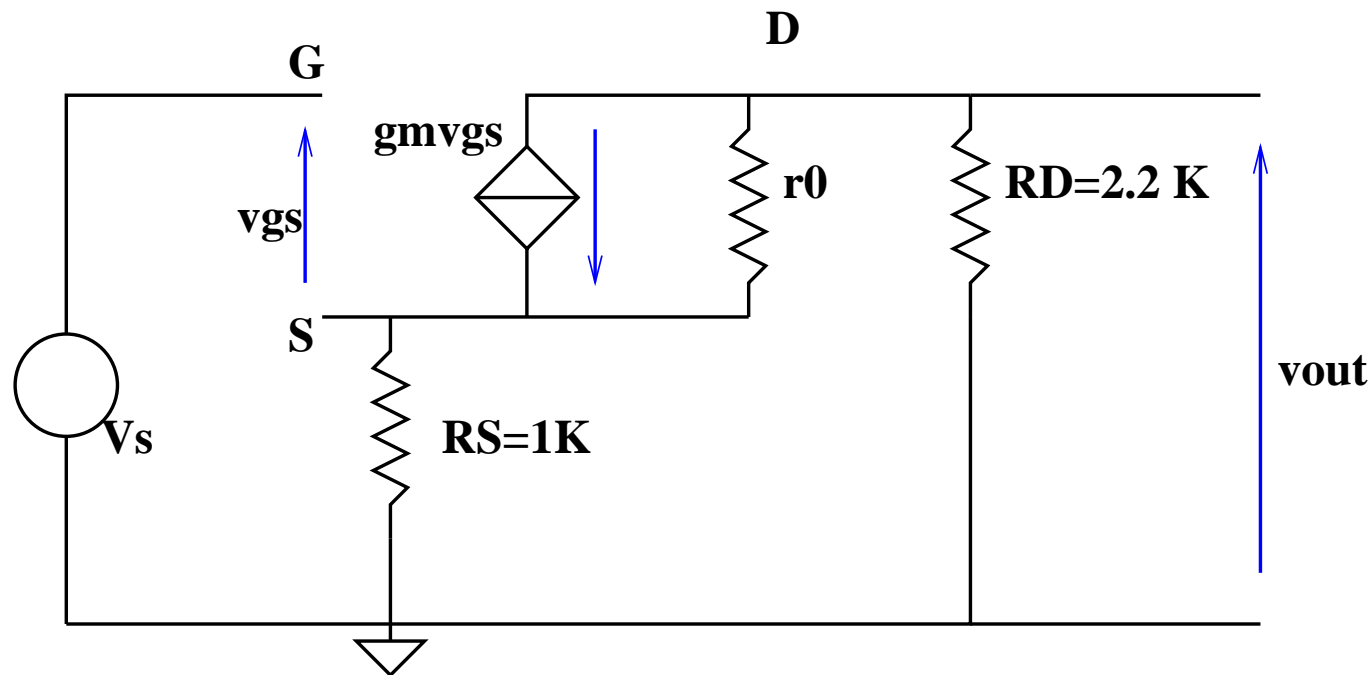
- *La dinamica di uscita è limitata superiormente dall'**interdizione** del MOSFET e inferiormente dall'uscita dalla **saturazione**.*

$$V_{OUT} < V_{DD}$$

$$V_{OUT} > V_{GG} - V_T$$

# Modello per piccolo segnale

- *Il modello equivalente per piccolo segnale dell'amplificatore è dato da (nell'analisi verrà trascurata la  $r_0$ )*



# Modello per piccolo segnale

- *I parametri di piccolo segnale si riducono alla valutazione della  $g_m$  dato che  $r_0$  verrà trascurata e  $V_{BS} = 0$ .*

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right|_{OP} = \beta_n (V_{GS0} - V_T)$$

$$g_m = 8.2 \text{ mS}$$

# Modello per piccolo segnale

- *Scrivendo l'equazione alla maglia d'ingresso si ottiene:*

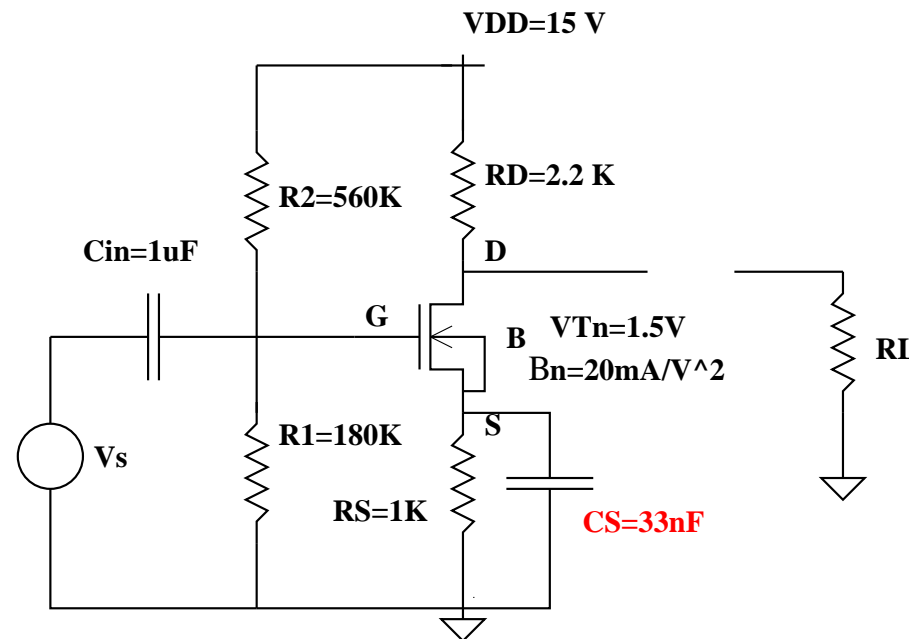
$$v_S = v_{gs} + R_S g_m v_{gs}$$

$$v_{gs} = \frac{v_s}{1 + R_S g_m}$$

$$\frac{v_{out}}{v_s} = -\frac{R_D g_m}{1 + R_S g_m} \approx -\frac{R_D}{R_S} = -2.2$$

# Modello per piccolo segnale

- *Il basso guadagno dello schema utilizzato può essere aumentato introducendo un condensatore  $C_S$  da 33 nF in parallelo alla resistenza  $R_S$  che in banda passante porta l'amplificazione a quella ottenibile con un Source Comune.*



# Modello per piccolo segnale

- *Ovviamente la polarizzazione non è alterata dalla presenza del condensatore  $C_S$  ma viene modificata la funzione di trasferimento:*

$$\frac{v_{out}}{v_s} = -\frac{R_D g_m}{1 + Z_S g_m}$$

$$Z_S = \frac{R_S}{1 + sR_S C_S}$$

$$\frac{v_{out}}{v_s} = -\frac{R_D g_m (1 + sR_S C_S)}{sR_S C_S + g_m R_S + 1}$$

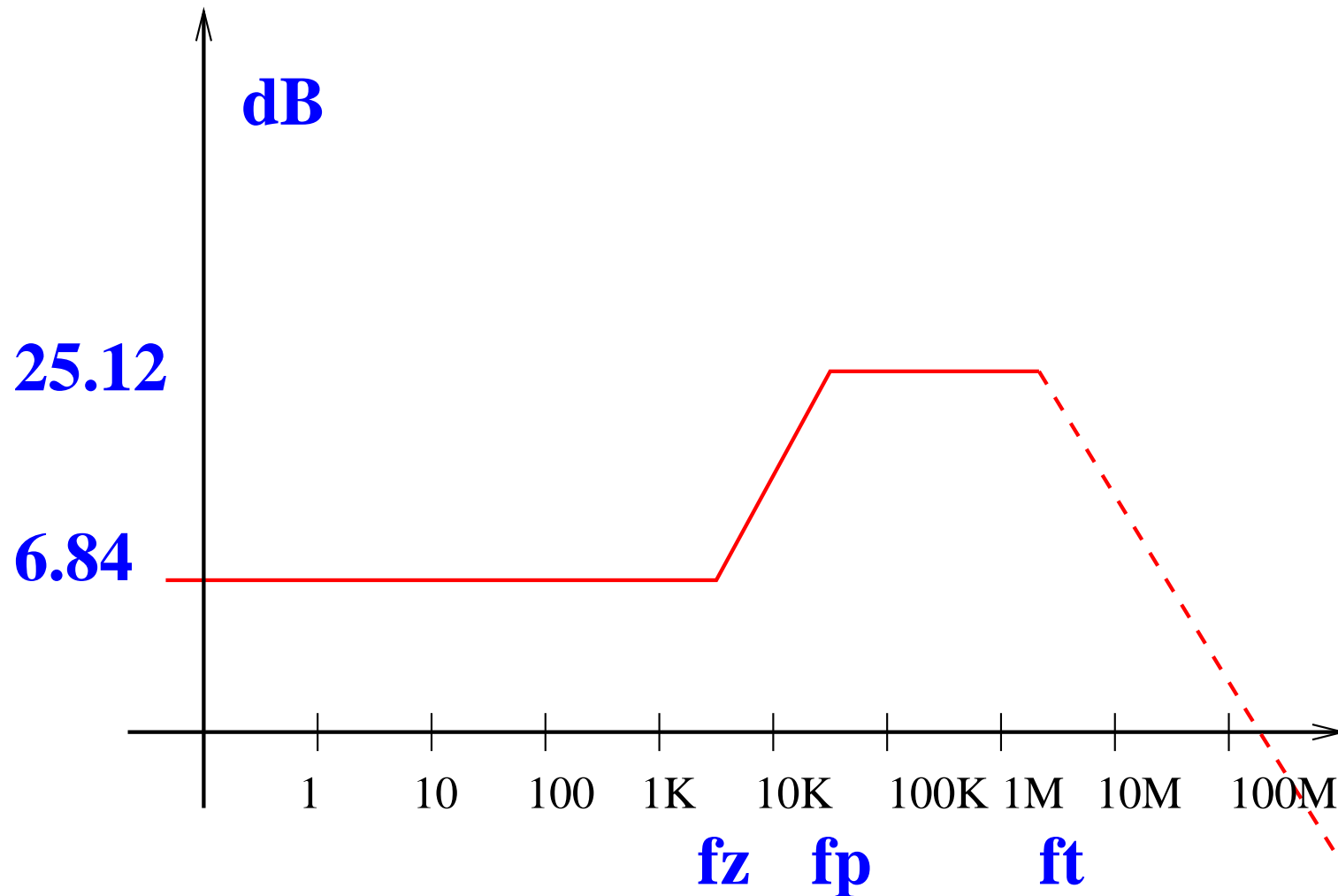
# Diagramma di Bode

- *La funzione di trasferimento presenta uno **zero** e un **polo**.*
- *Il guadagno alle basse frequenze vale  $-R_D/R_S = -2.2$  equivalente a **6.84 dB** e alle alte frequenze  $-g_m R_D = -18$  equivalente a **25.12 dB**.*

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_S C_S} = 4.82 \text{ KHz}$$

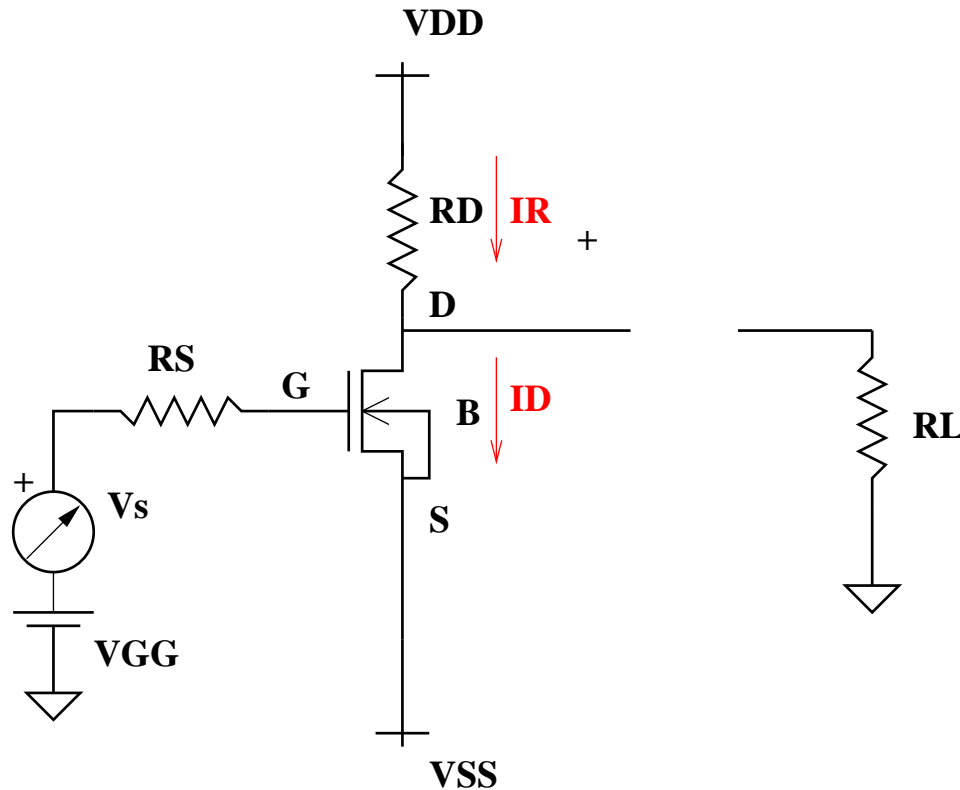
$$f_p = \frac{g_m R_S + 1}{2\pi R_S C_S} = 44.37 \text{ KHz}$$

# Diagramma di Bode



# Polarizzazione MOSFET

■ **Esercizio 2:** si consideri la configurazione a source comune MOSFET:



# Polarizzazione MOSFET

- **Si calcoli con  $V_{DD} = 15\text{ V}$ ,  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ,  $R_D = 2.2\text{ K}$ ,  $V_T = 1.5\text{ V}$  e  $\beta_n = 20\text{ mA/V}^2$ :**
  - ◆ il valore di  $V_{GG}$  in modo da avere come punto di lavoro  $V_{OUT} = V_{DD}/2$ ;
  - ◆ la stabilità del punto di lavoro al variare dei parametri del MOSFET ( $V_{Tn}$  e  $\beta_n$ );
  - ◆ la dinamica di uscita;
  - ◆ il guadagno  $V_o/V_s$ ;
  - ◆ la resistenza di uscita;
  - ◆ la resistenza di ingresso;

# Polarizzazione MOSFET

- *La condizione di polarizzazione richiesta può essere ottenuta (ipotizzando il MOSFET in saturazione):*

$$V_{OUT} = V_{DD} - R_D \frac{\beta_n}{2} (V_{GG} - V_T)^2 = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$V_{GG} = V_T + \sqrt{\frac{V_{DD}}{R_D \beta_n}} = 2.08 \text{ V}$$