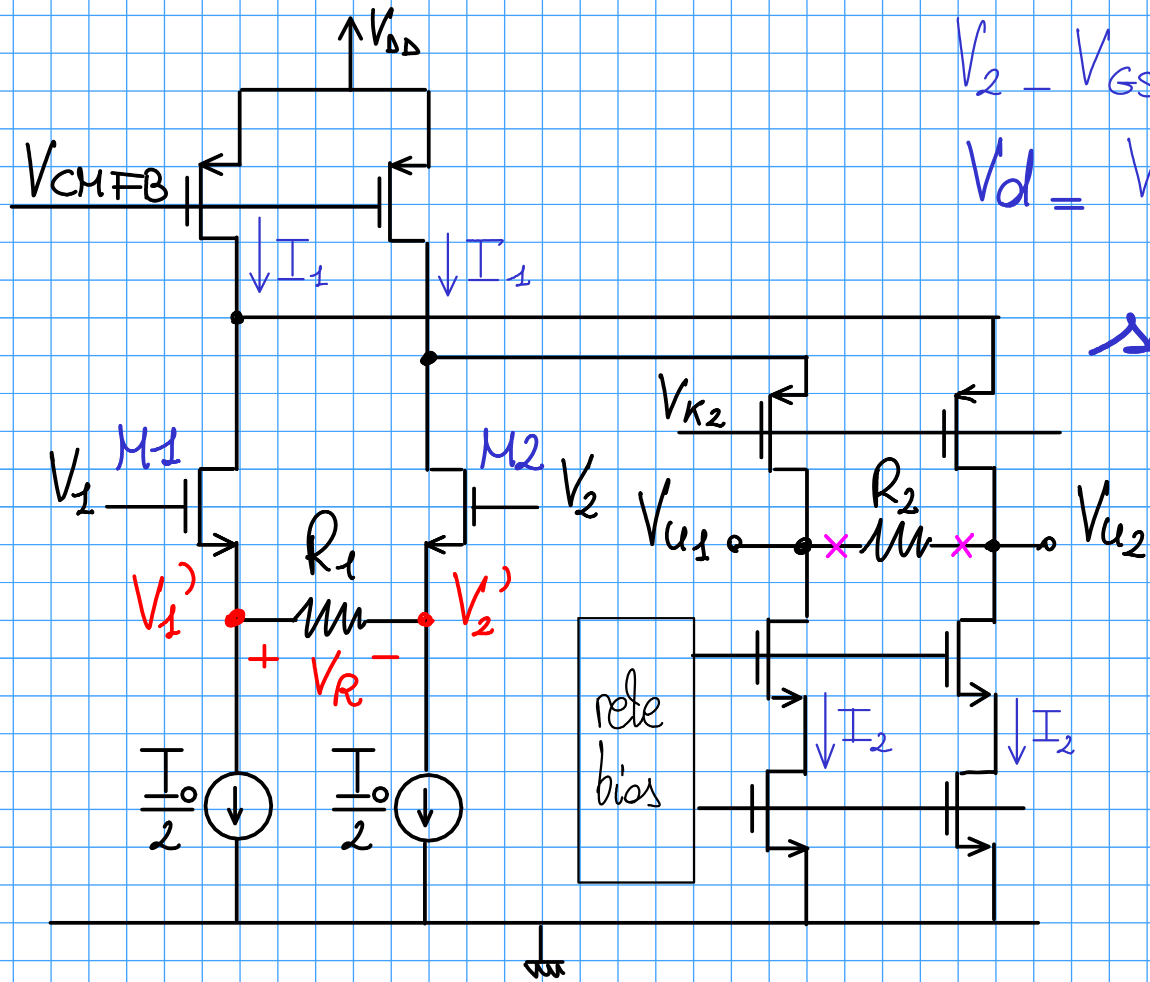
Amplificatore da strumentazione fully differential

1 DIC

→ guadagno preciso e noto
→ basse tensioni di offset

esistono varie topologie, noi vedremo una tecnica non reazionata



$V_2 - V_{GS_2} + V_R + V_{GS_1} = V_1 \rightarrow$ estraggo $V_1 - V_2$

$V_d = V_1 - V_2 = V_R + (V_{GS_1} - V_{GS_2})$

se $V_{GS_1} = V_{GS_2} \rightarrow V_R = V_d$

nodo V_1' : $I_{D_1} = \frac{I_0}{2} + \frac{V_R}{R_1}$

nodo V_2' : $I_{D_2} = \frac{I_0}{2} - \frac{V_R}{R_1}$

→ quindi $I_{D_1} - I_{D_2} = 2\frac{V_R}{R_1}$

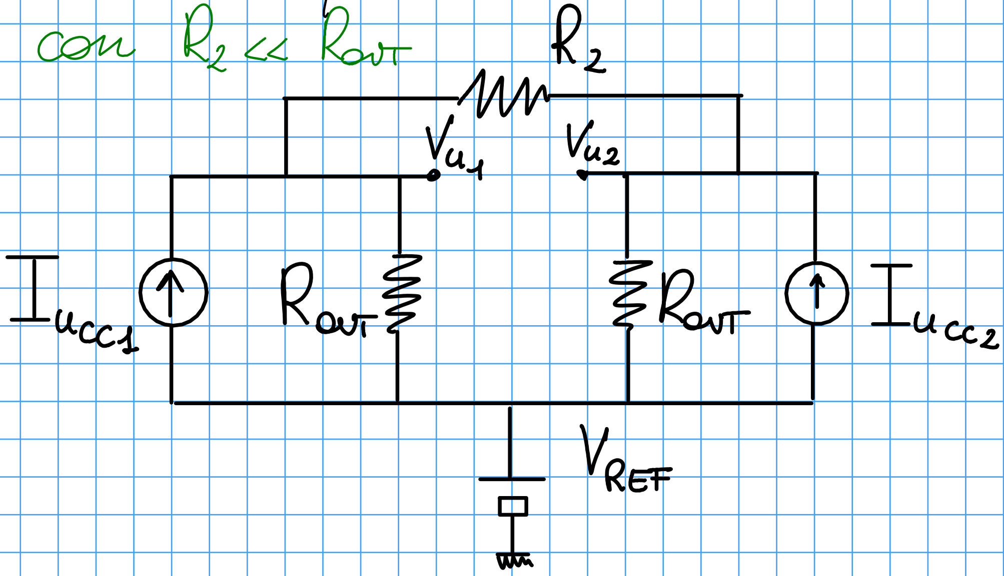
su ramo 1 → $I_{ucc_1} = I_1 + I_{D_1} - I_{D_2}$

su ramo 2 → $I_{ucc_2} = I_1 - I_{D_1} - I_{D_2}$

non considero ancora R_2

circuito equivalente

con $R_2 \ll R_{OUT}$

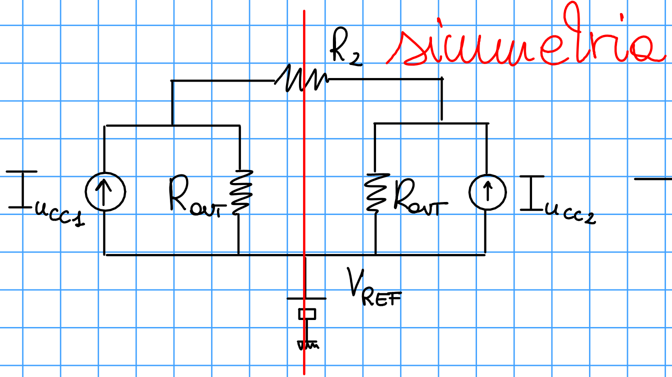


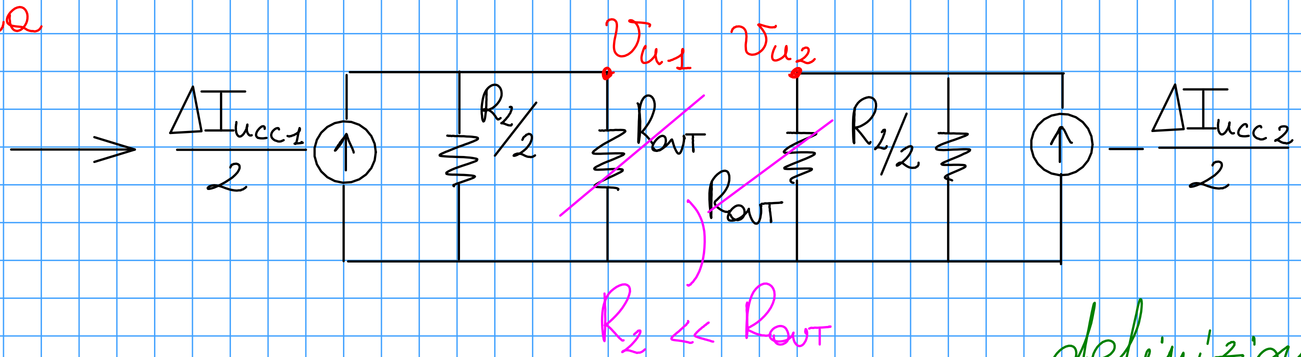
distinguo componenti a modo comune e differenziale di I_{ucc}

$$I_{uccM} = \frac{I_{ucc1} + I_{ucc2}}{2} = \phi \text{ per CMFB}$$

$$\Delta I_{cc} = I_{ucc1} - I_{ucc2}$$

Studio circuito equivalente con modo differenziale





definizioni I_{D1} e I_{D2}

$$v_{u1} = \frac{\Delta I_{ucc1}}{2} \cdot \frac{R_2}{2} = \frac{I_{D1} - I_{D2}}{2} \frac{R_2}{2}$$

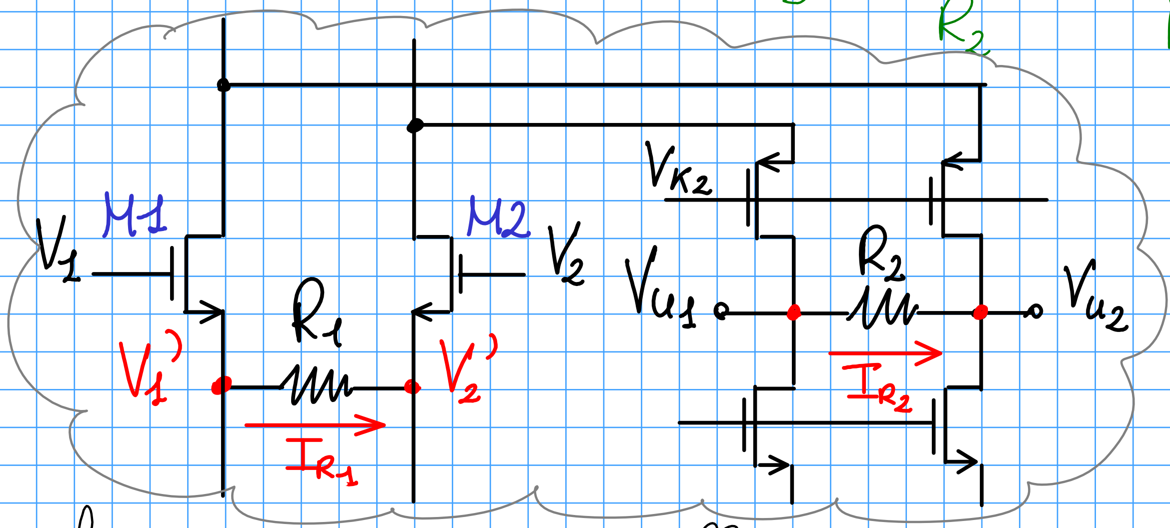
$$v_{u2} = -\frac{\Delta I_{ucc2}}{2} \cdot \frac{R_2}{2} = \frac{I_{D2} - I_{D1}}{2} \frac{R_2}{2}$$

$$\rightarrow \boxed{v_{ud} = \frac{I_{D1} - I_{D2}}{2} \cdot R_2 = V_R \frac{R_2}{R_1}}$$

la relazione trovata ci avvicina a soluzione

$$v_{ud} = \boxed{V_R} \frac{R_2}{R_1}$$ → guadagno preciso (in base a errore su un rapporto di resistenze) e noto

sulla R_2 scorre $I_{R_2} = \dfrac{v_{ud}}{R_2} = \dfrac{V_{R1}}{R_1}$ entrambe i lati usano stessa corrente



$I_{R_1} = I_{R_2}$ bilancio asimmetrico tra i due rami

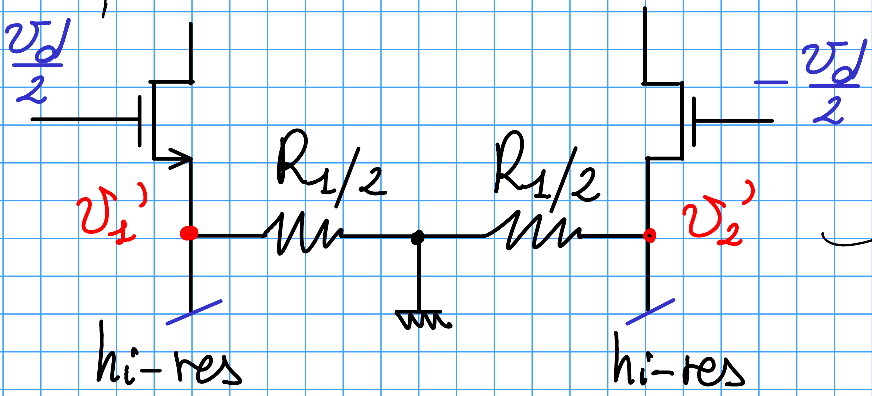
facciamo un passo ulteriore, v_{ud} in funzione di v_d

se V_R fosse pari a V_d → $v_{ud} = V_R \dfrac{R_2}{R_1} \stackrel{?}{=} V_d \dfrac{R_2}{R_1}$ avrei guadagno preciso e noto tra V_d e V_{ud}

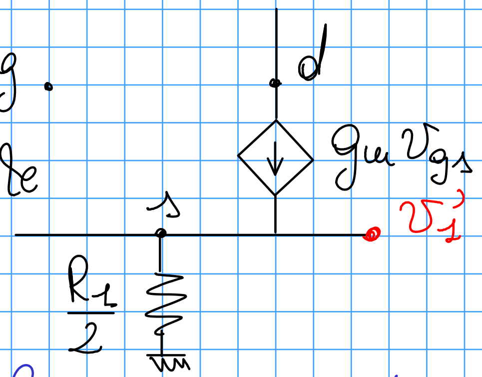
MA siccome coppie lavorano in antisimmetria ho diverse I_D e di conseguenza diverse V_{GS}

$$V_{GS_1} \neq V_{GS_2} \Longrightarrow V_d \neq V_R$$

quantifichiamo il problema, Hp antisimmetria su coppia per studio delle variazioni



sviluppo equivalente per M1



$$v_{gs} = \frac{v_d}{2} - g_m v_{gs}\frac{R_1}{2} \rightarrow v_{gs} = \frac{v_d}{2}\cdot\frac{1}{1+g_{m1}\frac{R}{2}}$$

$$v_1' = g_{m1} v_{gs1}\frac{R_1}{2} = \frac{v_d}{2}\cdot\frac{g_{m1}\frac{R_1}{2}}{1+g_{m1}\frac{R_1}{2}}$$

$$v_2' = g_{m2} v_{gs2}\frac{R_1}{2} = -\frac{v_d}{2}\cdot\frac{g_{m2}\frac{R_1}{2}}{1+g_{m2}\frac{R_1}{2}}$$

prime considerazioni

- R_1 piccola e g_{m1} elevato per amplificare ($I \propto g_{m1}$)
- effetto body

legame v_R e v_d

unisco

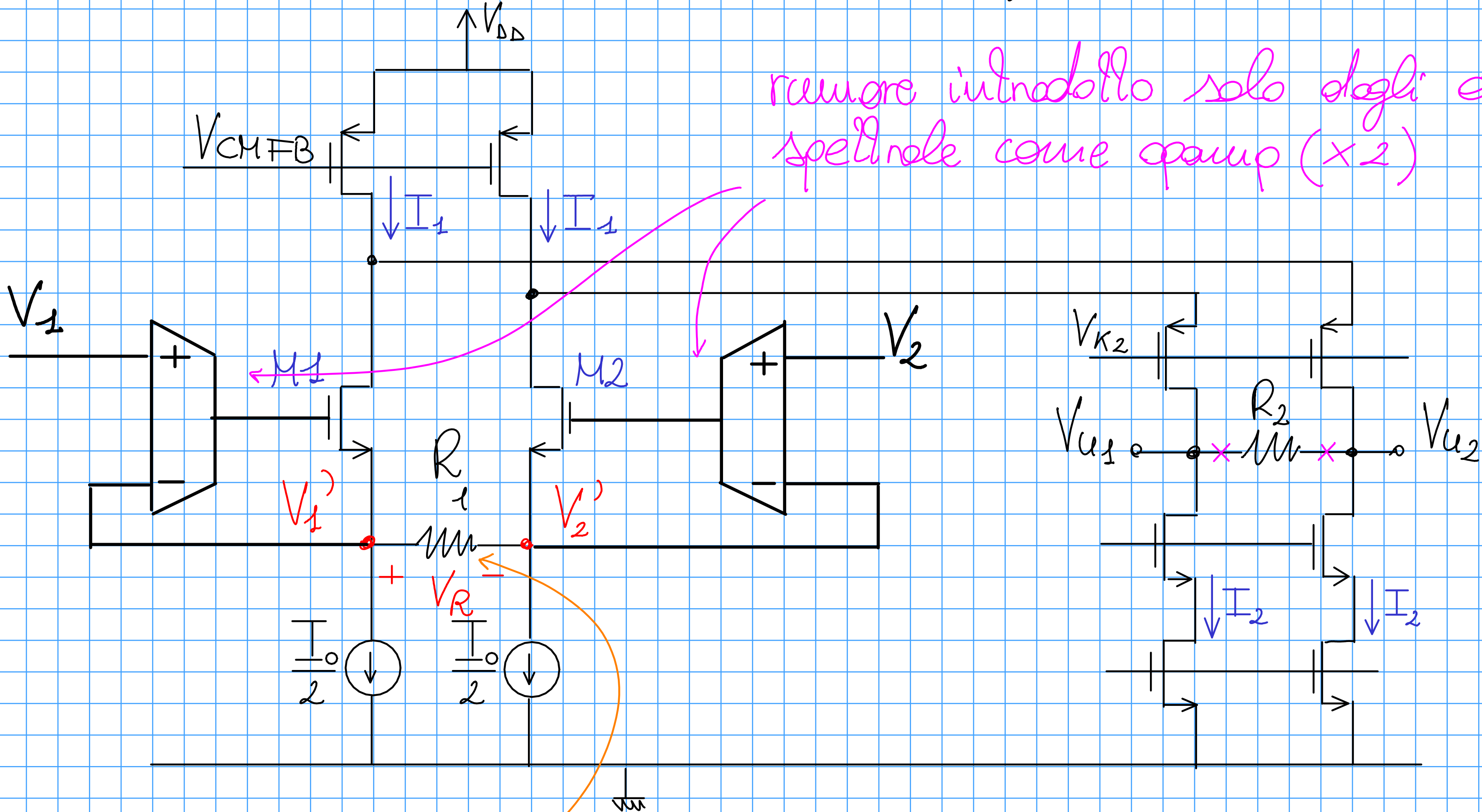
$$\boxed{v_R = v_d\,\frac{g_m\frac{R_1}{2}}{\underbrace{1+g_m\frac{R_1}{2}}_{\text{termine fastidioso ma controllabile}}} + \text{effetto body}}$$

difficilmente controllabile, ma è possibile linearizzarlo con metodi a retroazione

Soluzione circuitale per imporre $V_d = V_R$ con precisione

→ si utilizzano OTA connessi a buffer

rumore introdotto solo dagli OTA, densità spettrale come opamp ($\times 2$)



R_1 complica analisi di rumore