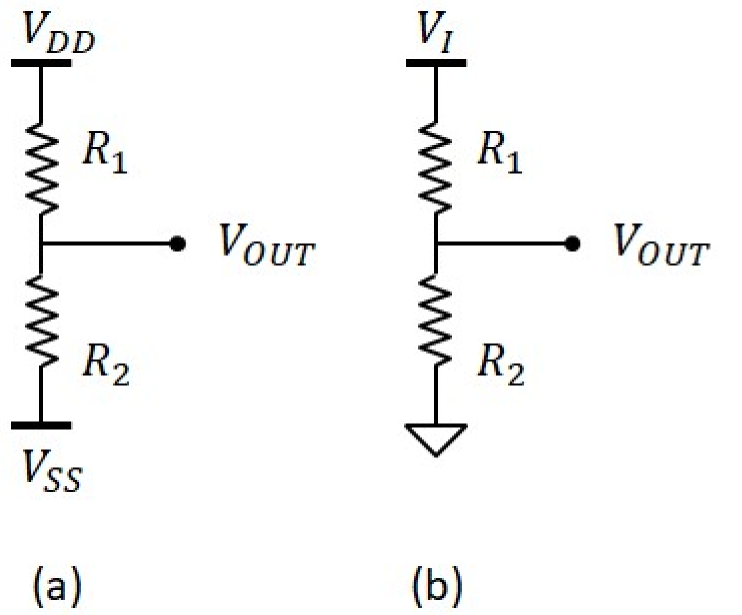
Reti elettriche in regime lineare

Esercizio 1

DATI: $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 3\Omega$,
$V_I = 4V$, $V_{DD} = 2V$, $V_{SS} = -2V$



Circuito A:
Regola del partitore di tensione:

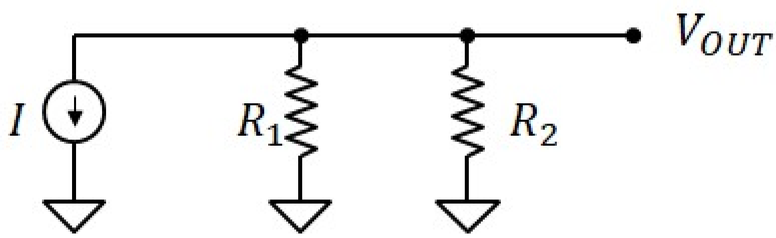
$$\boxed{V_{OUT} = V_{SS} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (V_{DD} - V_{SS}) = 1\ V}$$

Circuito B:
Regola del partitore di tensione:

$$\boxed{V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I = 3\ V}$$

Esercizio 2

DATI: $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $I = 3A$



Regola del partitore di corrente

$$\boxed{I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I = 2\ A}$$

$$\boxed{I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I = 1\ A}$$

Parallelo delle resistenze

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 0.667\,\Omega$$

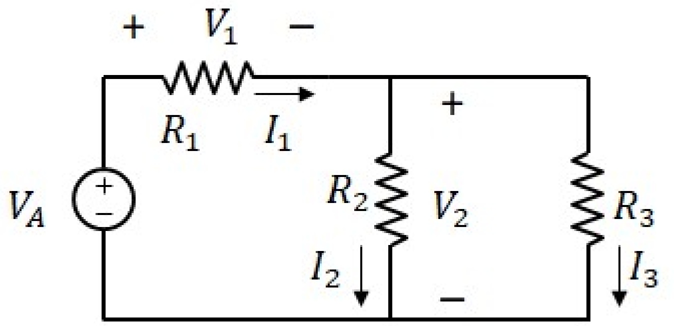
Legge di ohm applicata al parallelo delle resistenze

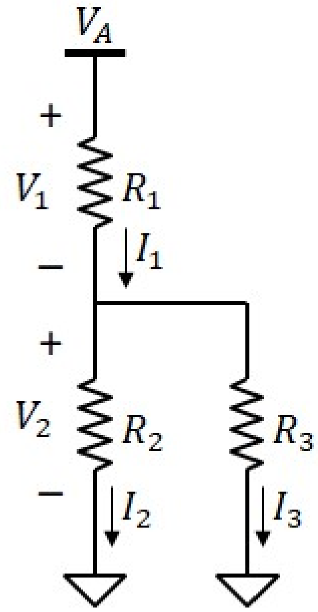
$$\boxed{V_{OUT} = R_P \cdot (-I) = -2\ V}$$

Il segno meno deriva dal fatto che abbiamo preso la massa come elettrodo di riferimento e V_{OUT} è misurato rispetto alla massa. Quindi V_{OUT} è l'elettrodo "+" e la massa l'elettrodo "-". La corrente entra nelle resistenze dal terminale di massa (-) ed esce dal terminale V_{OUT} (+). Secondo le convenzioni degli utilizzatori, invece, la legge di ohm assume la corrente che va dal terminale + al terminale - della resistenza. Dobbiamo quindi invertire il verso di I nell'applicare la legge di ohm.

Esercizio 3

DATI: $R_1 = 4.7k\Omega$, $R_2 = 2.2k\Omega$, $R_3 = 18k\Omega$, $V_A = 10V$





rappresentazione "elettronica" usando il potenziale di massa e i riferimenti di tensione

1) Tensioni V_1 e V_2

Resistenza equivalente al parallelo di R_2 e R_3:

$$R_P = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1.96 \cdot k\Omega$$

Usando la formula del partitore di tensione:

$$\boxed{V_1 = V_A \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_P} = 7.06\,V} \qquad \boxed{V_2 = V_A \cdot \frac{R_P}{R_1 + R_P} = 2.94\,V}$$

2) Correnti attraverso R_1, R_2 e R_3

Usando la legge di Ohm

$$\boxed{I_1 = \frac{V_1}{R_1} = 1.5 \cdot mA} \qquad \boxed{I_2 = \frac{V_2}{R_2} = 1.34 \cdot mA} \qquad \boxed{I_3 = \frac{V_2}{R_3} = 0.16 \cdot mA}$$

3) Potenza erogata dal generatore di tensione V_A

$$\boxed{P_A = V_A \cdot I_1 = 15 \cdot mW}$$

Convenzione dei generatori: corrente positiva se entrante nel terminale negativo e uscente dal terminale positivo.
P_A è positiva. Cioò significa che il generatore sta erogando potenza

4) Potenza consumata dalle tre resistenze

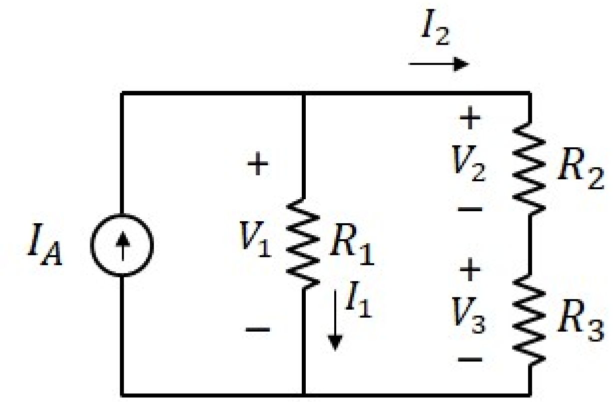
$$\boxed{P_1 = V_1 \cdot I_1 = 10.6 \cdot mW}$$
$$\boxed{P_2 = V_2 \cdot I_2 = 3.9 \cdot mW}$$
$$\boxed{P_3 = V_2 \cdot I_3 = 0.5 \cdot mW}$$

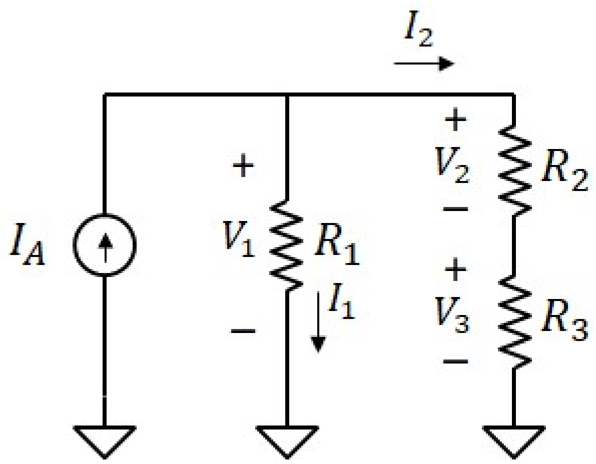
Convenzione degli utilizzatori: corrente positiva se entrante nel terminale positivo e uscente dal terminale negativo.
P_1,P_2,P_3 sono positive. Cioò significa che le tre resistenze stannpo assorbendo potenza.

Notiamo che: $P_1 + P_2 + P_3 = 15 \cdot mW = P_A$

Esercizio 4

DATI: $R_1 = 4.7k\Omega$, $R_2 = 2.2k\Omega$, $R_3 = 3.6k\Omega$, $I_A = 5mA$





rappresentazione "elettronica" usando il potenziale di massa

1) Correnti I_1 e I_2

Resistenza equivalente alla serie di R_2 e R_3: $R_S = R_2 + R_3 = 5.8 \cdot k\Omega$

Usando la formula del partitore di corrente

$$\boxed{I_1 = I_A \cdot \frac{R_S}{R_1 + R_S} = 2.76 \cdot mA} \qquad \boxed{I_2 = I_A \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_S} = 2.24 \cdot mA}$$

2) Tensioni V_1, V_2 e V_3 ai capi delle resistenze R_1, R_2 e R_3.

tensione ai capi di R_1 (legge di ohm): $\boxed{V_1 = R_1 \cdot I_1 = 12.98\,V}$

tensione ai capi di R_2 (legge di ohm): $\boxed{V_2 = R_2 \cdot I_2 = 4.92\,V}$

tensione ai capi di R_3 (legge di ohm): $\boxed{V_3 = R_3 \cdot I_2 = 8.06\,V}$

In alternativa per R_2 e R_3, usando la formula del partitore di tensione:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 4.92\,V \qquad V_3 = V_1 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 8.06\,V$$

3) Potenza erogata dal generatore di tensione V_A

$\boxed{P_A = I_A \cdot V_1 = 64.9 \cdot mW}$

Convenzione dei generatori: corrente positiva se entrante nel terminale negativo e uscente dal terminale positivo.
P_A è positiva. Cioò significa che il generatore sta erogando potenza

4) Potenza consumata dalle tre resistenze

$\boxed{P_1 = V_1 \cdot I_1 = 35.9 \cdot mW}$

$\boxed{P_2 = V_2 \cdot I_2 = 11 \cdot mW}$

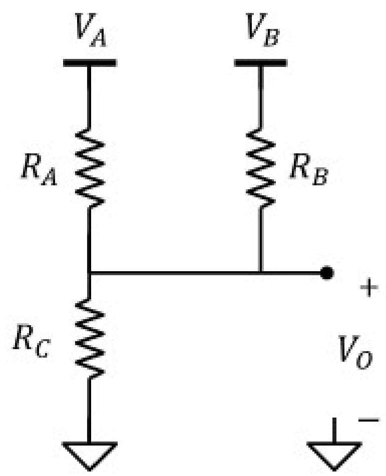
$\boxed{P_3 = V_3 \cdot I_2 = 18 \cdot mW}$

Convenzione degli utilizzatori: corrente positiva se entrante nel terminale positivo e uscente dal terminale negativo.
P_1,P_2,P_3 sono positive. Cioò significa che le tre resistenze stanno assorbendo potenza.

Notiamo che: $P_1 + P_2 + P_3 = 64.9\,mW = P_A$

Esercizio 5

DATI: $R_A = 2k\Omega$, $R_B = 6k\Omega$, $R_C = 3k\Omega$



1. Trovare l'espressione di V_O in funzione di V_A e V_B

Legge di kirchhoff:
(orientiamo tutte le correnti con verso uscente dal nodo a potenziale V_O.

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

$$\frac{V_O - V_A}{R_A} + \frac{V_O - V_B}{R_B} + \frac{V_O - 0}{R_C} = 0$$

$$V_O \cdot \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right) = \frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B}$$

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)}}$$

L'espressione corrisponde alla media pesata dei potenziali V_A, V_B e 0V usando come pesi i reciproci delle resistenze

2a. Quanto vale V_O con $V_A = 2V$, $V_B = 0V$?

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = 1\ V}$$

2b. Quanto vale V_O con $V_A = 0V$, $V_B = -3V$?

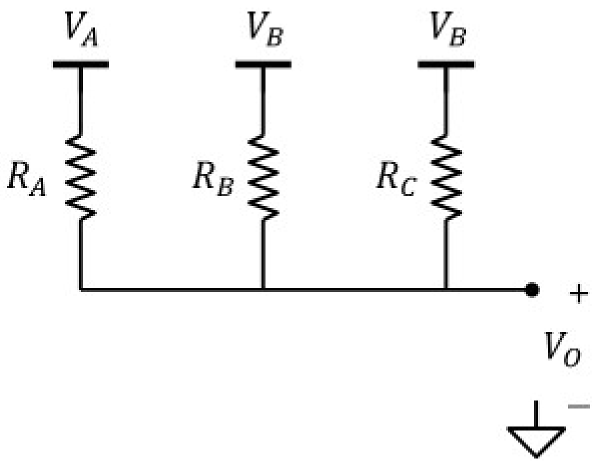
$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = -0.5\ V}$$

2c. Quanto vale V_O con $V_A = 2V$, $V_B = -3V$?

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = 0.5\ V}$$

Esercizio 6

DATI: $R_A = 2k\Omega$, $R_B = 6k\Omega$, $R_C = 3k\Omega$



1. Trovare l'espressione di V_O in funzione di V_A e V_B

Legge di kirchhoff:
(orientiamo tutte le correnti con verso uscente dal nodo a potenziale V_O.

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

$$\frac{V_O - V_A}{R_A} + \frac{V_O - V_B}{R_B} + \frac{V_O - V_C}{R_C} = 0$$

$$V_O \cdot \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right) = \frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}$$

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)}}$$

L'espressione corrisponde alla media pesata dei potenziali V_A, V_B e V_C usando come pesi i reciproci delle resistenze

2a. Qianto vale V_O con $V_A = -1V$, $V_B = 0V$, $V_C = 0$?

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = -0.5\,V}$$

2b. Qianto vale V_O con $V_A = 0V$, $V_B = 0V$, $V_C = -3V$?

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = -1\,V}$$

2c. Qianto vale V_O con $V_A = -1V$, $V_B = 6V$, $V_C = 0V$?

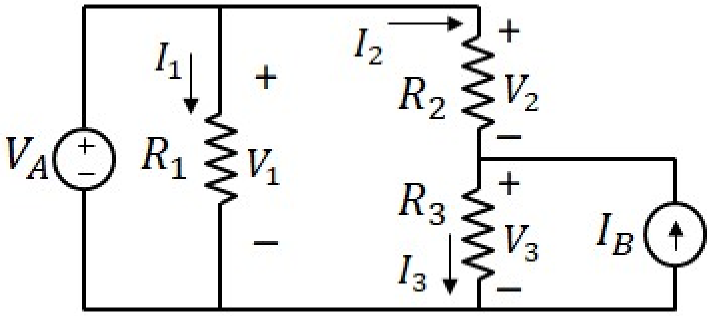
$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = 0.5\,V}$$

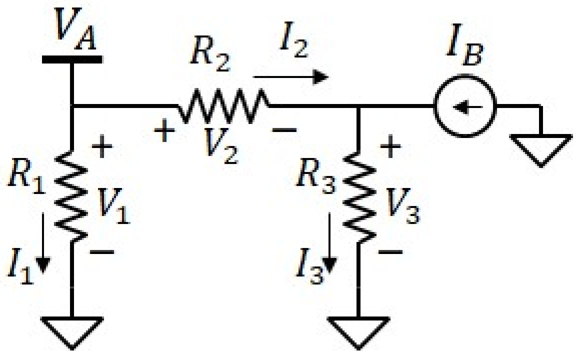
2d. Qianto vale V_O con $V_A = -1V$, $V_B = 6V$, $V_C = -3V$?

$$\boxed{V_O = \frac{\left(\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C}\right)}{\left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)} = -0.5\,V}$$

Esercizio 7

DATI: $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$, $R_3 = 1k\Omega$, $V_A = 5V$, $I_B = 5mA$





rappresentazione "elettronica" usando il potenziale di massa e i riferimenti di tensione

1) Tensioni V_1, V_2 e V_3 e correnti I_1, I_2 e I_3 usando le leggi di kirchhoff e di ohm

$\boxed{V_1 = V_A = 5\,V}$ $\boxed{I_1 = \frac{V_A}{R_1} = 5 \cdot mA}$

Legge di kirchhoff alla maglia V_A - R_2 - R_3 $\quad R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 - V_A = 0 \quad (1)$

Legge di kirchhoff al nodo tra I_B, R_2, R_3 $\quad I_2 + I_B - I_3 = 0 \quad (2)$

Da (2) ricaviamo: $I_3 = I_2 + I_B$

Sostituiamo in (1): $R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot (I_2 + I_B) - V_A = 0$

$$R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_2 = V_A - R_3 \cdot I_B$$

$$\boxed{I_2 = \frac{V_A - R_3 \cdot I_B}{R_2 + R_3} = 0\,A}$$

$$\boxed{I_3 = I_2 + I_B = 5 \cdot mA}$$

Legge di Ohm per R_2 e R_3 $\quad \boxed{V_2 = R_2 \cdot I_2 = 0\,V}$ $\boxed{V_3 = R_3 \cdot I_3 = 5\,V}$

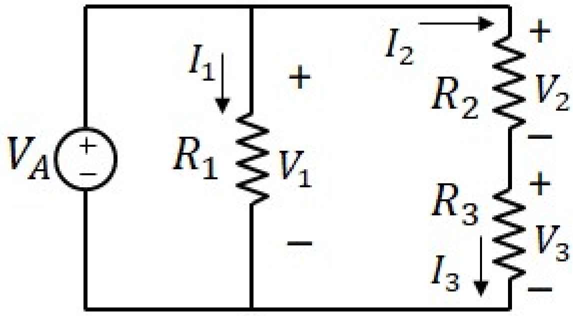
2) Tensioni V_1, V_2 e V_3 e correnti I_1, I_2 e I_3 usando la sovrapposizione degli effetti

Spegniamo il generatore di corrente I_B (circuito aperto)

Tensione e corrente su R_1: $\quad V_{1A} = V_A \quad I_{1A} = \frac{V_{1A}}{R_1}$

Corrente attraverso R_2 e R_3: $\quad I_{2A} = \frac{V_A}{R_2 + R_3} = 1 \cdot mA$

$$I_{3A} = I_{2A}$$

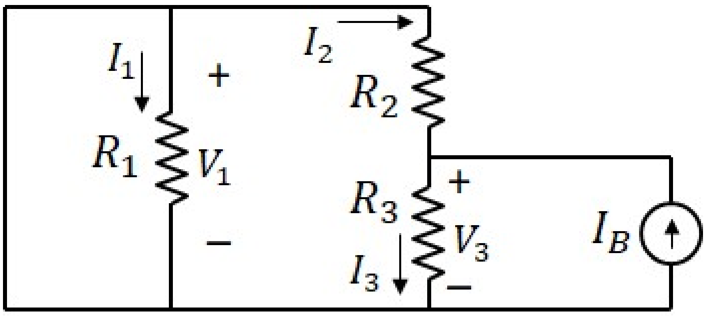


Tensionio ai capi di R_2 e R_3:

$$V_{2A} = R_2 \cdot I_{2A} = 4\,V$$

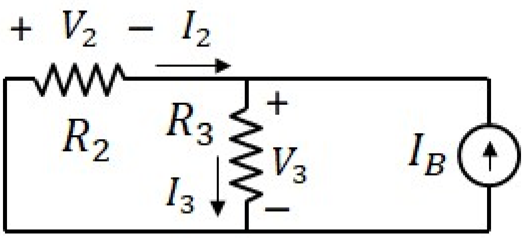
$$V_{3A} = R_3 \cdot I_{3A} = 1\,V$$

Spegniamo il generatore di corrente V_A (cortocircuito)



R_1 è cortocircuitata: $V_{1B} = 0 \quad I_{1B} = 0$

Il circuito si può semplificare in questo modo:



Partitore di corrente tra R_2 e R_3:

$$I_{2B} = -\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot I_B = -1 \cdot mA$$

(il segno meno è dovutop al fatto che abbiamo orientato la freccia di I_2 in verso opposto a quella di I_B)

$$I_{3B} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot I_B = 4 \cdot mA$$

Tensione ai capi delle resistenze (legge di ohm): $V_{2B} = R_2 \cdot I_{2B} = -4\,V \qquad V_{3B} = R_3 \cdot I_{3B} = 4\,V$

(Notiamo che le tensioni hanno lo stesso modulo, ma segno opposto, coerentemente con i riferimenti presi. Il terminale + di R_2 coincide con il terminale - di R_3 e viceversa).

Sovrapponiamo gli effetti:

$\boxed{V_1 = V_{1A} + V_{1B} = 5\,V}$ $\boxed{I_1 = I_{1A} + I_{1B} = 5 \cdot mA}$

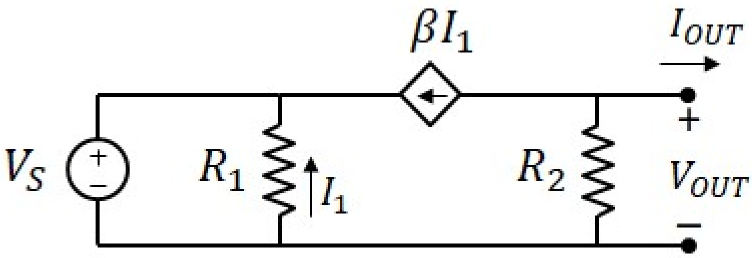
$\boxed{V_2 = V_{2A} + V_{2B} = 0\,V}$ $\boxed{I_2 = I_{2A} + I_{2B} = 0 \cdot mA}$

$\boxed{V_3 = V_{3A} + V_{3B} = 5\,V}$ $\boxed{I_3 = I_{3A} + I_{3B} = 5 \cdot mA}$

Esercizio 8

$\beta > 0$

Circuito A

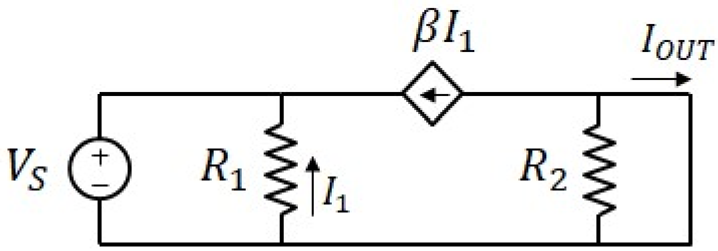


Tensione di circuito aperto

Corrente attraverso R_1: $I_1 = \frac{-V_S}{R_1}$ (Il segno meno è dovuto al verso scelto per la corrente I_1)

Tensione all'uscita (V_{OUT}): $\boxed{V_{TH} = V_{OUT} = R_2 \cdot (-\beta \cdot I_1) = \frac{R_2 \cdot \beta}{R_1} \cdot V_S}$

Corrente di cortocircuito



$I_N = I_{OUT} = -\beta \cdot I_1$ La corrente attraverso R_2 è nulla poichè R_2 è cortocircuitata

$$\boxed{I_N = -\beta \cdot \left(\frac{-V_S}{R_1}\right) = \frac{\beta \cdot V_S}{R_1}}$$

Calcolo della resistenza equivalente

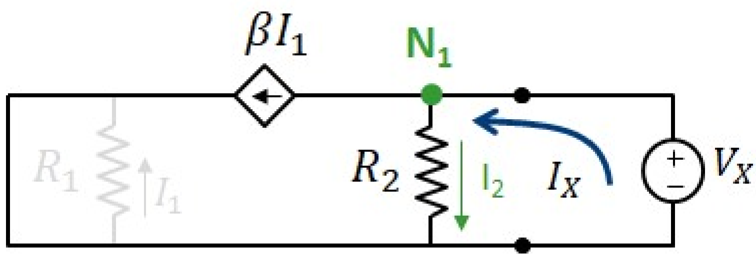
Metodo 1: date la tensione di circuito aperto e la corrente di cortocircuito:

$$R_{EQ} = \frac{V_{TH}}{I_N} \qquad \boxed{R_{EQ} = R_2}$$

Metodo 2: se non si conoscono V_{TH} o I_N è possibile usare il seguente procedimento:

1) Annullare tutti i generatori indipendenti
(sostituire tutti i generatori indipendenti di tensione con cortocircuiti e i generatori indipendenti di corrente con circuiti aperti)

2) Applicare una tensione V_X ai capi dell'uscita e calcolare la corrente I_X entrante nel circuito
(ciò equivale ad assumere la convenzione degli utilizzatori per il circuito e dei generatori per la sorgente indipendente V_X)



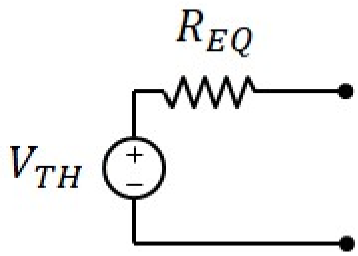
Per R_1 non passa corrente poichè ai suoi capi la tensione è nulla. Quindi il generatore di corrente controllato in cortrente eroga una corrente $\beta I_1 = 0$

Legge di kirchhoff al nodo N_1: $I_X - I_2 - \beta \cdot I_1 = 0$

$$I_X = I_2 = \frac{V_X}{R_2}$$

$$\boxed{R_{EQ} = \frac{V_X}{I_X} = R_2}$$

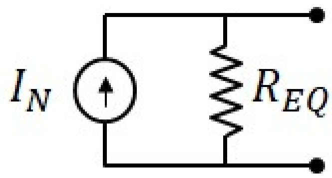
Rappresentazione secondo thevenin



$$V_{TH} = \frac{R_2 \cdot \beta}{R_1} \cdot V_S$$

$$R_{EQ} = R_2$$

Rappresentazione secondo norton:

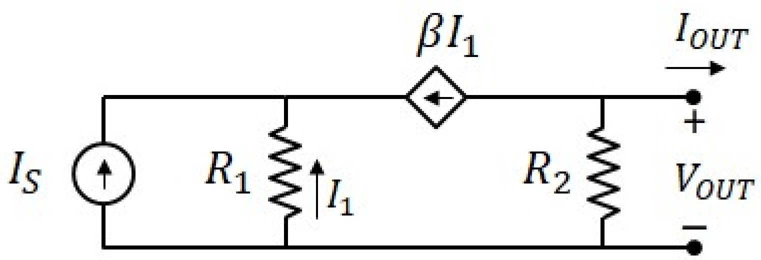


$$I_N = \frac{\beta \cdot V_S}{R_1}$$

$$R_{EQ} = R_2$$

$\beta > 0$

Circuito B



Tensione di circuito aperto

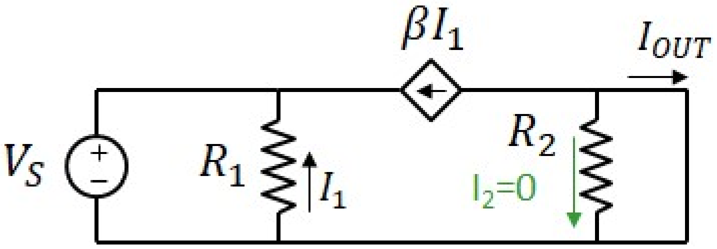
Legge di kirchhoff ai nodi:

$$I_S + I_1 + \beta \cdot I_1 = 0 \qquad I_1 = \frac{-I_S}{1+\beta}$$

$$-\beta \cdot I_1 - \frac{V_{OUT}}{R_2} = 0 \qquad V_{OUT} = -R_2 \cdot \beta \cdot I_1 = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot R_2 \cdot I_S$$

$$\boxed{V_{TH} = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot R_2 \cdot I_S}$$

Corrente di cortocircuito



Cortocircuitando l'uscita, la caduta di tensione su R_2 è nulla e quindi è nulla la corrente attraverso R_2.

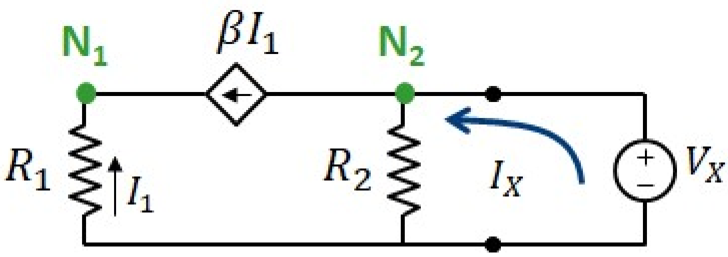
Legge di kirchhoff ai nodi: $I_S + I_1 + \beta \cdot I_1 = 0$ $\quad I_1 = \dfrac{-I_S}{1+\beta}$

$$\boxed{I_N = I_{OUT} = -\beta \cdot I_1 = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot I_S}$$

Resistenza equivalente

Metodo 1: $\boxed{R_{EQ} = \dfrac{V_{TH}}{I_N} = R_2}$

Metodo 2: Anulliamo la corrente I_S (equivale a sostituire il generatore con un circuito aperto)

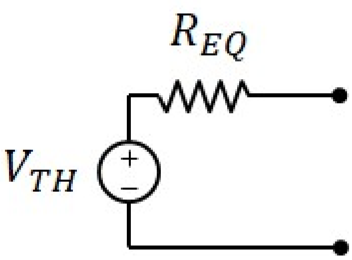


Legge di kirchhoff al nodo N_1: $I_1 + \beta \cdot I_1 = 0$ $\quad I_1 = 0$

Legge di kirchhoff al nodo N_2: $I_X - \beta I_1 - \dfrac{V_X}{R_2} = 0$ $\quad I_X = \dfrac{V_X}{R_2}$

Resistenza equivalente: $\boxed{R_{EQ} = \dfrac{V_X}{I_X} = R_2}$

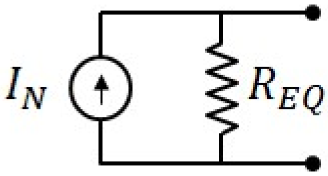
Rappresentazione secondo thevenin



$$V_{TH} = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot R_2 \cdot I_S$$

$$R_{EQ} = R_2$$

Rappresentazione secondo norton:

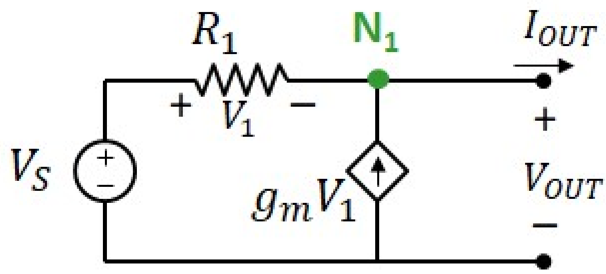


$$I_N = \frac{\beta}{1+\beta} \cdot I_S$$

$$R_{EQ} = R_2$$

Esercizio 9

DATI: $R_1 = 100k\Omega$, $g_m = 2mS$

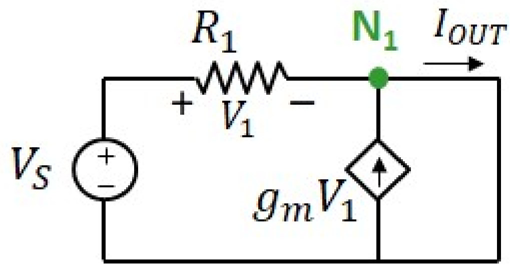


Tensione di circuito aperto

Legge di kirchhoff al nodo: $\frac{V_1}{R_1} + g_m \cdot V_1 = 0$ $\quad V_1 = 0$

Legge di kirchhoff alla maglia: $V_S - V_1 - V_{OUT} = 0$ $\quad \boxed{V_{OUT} = V_S}$

Corrente di cortocircuito



Legge di kirchhoff alla maglia: $V_S - V_1 = 0$

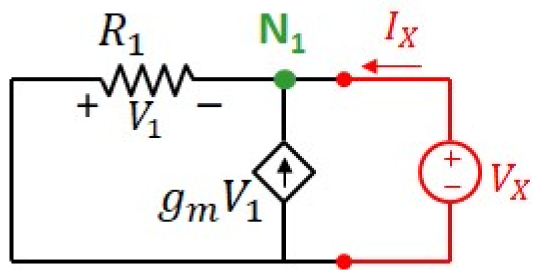
$$V_1 = V_S$$

Legge di kirchhoff al nodo: $\frac{V_1}{R_1} + g_m \cdot V_1 - I_{OUT} = 0$

$$I_N = I_{OUT} = \left(\frac{1}{R_1} + g_m\right) \cdot V_1 = \left(\frac{1}{R_1} + g_m\right) \cdot V_S$$

$$\boxed{I_N = \left(\frac{1}{R_1} + g_m\right) \cdot V_S}$$

Resistenza equivalente



1) Annullare tutti i generatori indipendenti

2) Applicare una tensione V_X ai capi dell'uscita e calcolare la corrente I_X entrante nel circuito

Tensione ai capi di R_1: $V_1 = -V_X$

Corrente attraverso il generatore pilotato: $g_m \cdot V_1 = -g_m \cdot V_S$

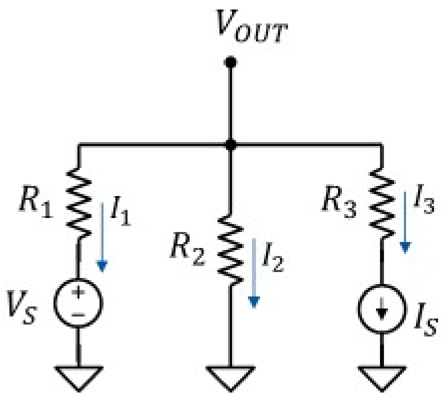
Legge di kirchhoff al nodo N_1: $I_X + g_m \cdot V_1 + \frac{V_1}{R_1} = I_X + (-g_m \cdot V_S) + \frac{-V_S}{R_1}$ $\quad I_X = \left(g_m + \frac{1}{R_1}\right) \cdot V_S$

$$R_{EQ} = \frac{V_X}{I_X} = \frac{V_S}{\left(g_m + \frac{1}{R_1}\right) \cdot V_S}$$

$$\boxed{R_{EQ} = \left(g_m + \frac{1}{R_1}\right)^{-1} = 497.5\,\Omega}$$

Esercizio 10

DATI: $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 3k\Omega$, $R_3 = 2k\Omega$, $V_S = 10V$, $I_S = 5mA$



1) Leggi di kirchhoff

Legge di kirchhoff al nodo V_{OUT}

$$\frac{V_{OUT} - V_S}{R_1} + \frac{V_{OUT}}{R_2} + I_S = 0$$

$$V_{OUT} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{V_S}{R_1} - I_S$$

$$\boxed{V_{OUT} = \frac{R_2 \cdot V_S - I_S \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 3.75\,V}$$

$$\boxed{I_1 = \frac{V_{OUT} - V_S}{R_1} = -6.25 \cdot mA}$$

$$\boxed{I_2 = \frac{V_{OUT} - 0}{R_2} = 1.25 \cdot mA}$$

$$\boxed{I_3 = I_S = 5 \cdot mA}$$

2) Sovrapposizione degli effetti

Usiamo solo V_S:

$$V_{OUT1} = V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 7.5\,V \qquad I_{1\_1} = \frac{V_{OUT1} - V_S}{R_1} = -2.5 \cdot mA \qquad I_{2\_1} = \frac{V_{OUT1}}{R_2} = 2.5 \cdot mA \qquad I_{3\_1} = 0$$

Usiamo solo I_S: R_1 e R_2 sono in parallelo: $$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 750\,\Omega$$

$$V_{OUT2} = -I_S \cdot R_P = -3.75\,V \qquad I_{1\_2} = \frac{V_{OUT2}}{R_1} = -3.75 \cdot mA \qquad I_{2\_2} = \frac{V_{OUT2}}{R_2} = -1.25 \cdot mA \qquad I_{3\_2} = I_S$$

Sommiamo:

$$\boxed{V_{OUT} = V_{OUT1} + V_{OUT2} = 3.75\,V}$$

$$\boxed{I_1 = I_{1\_1} + I_{1\_2} = -6.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_2 = I_{2\_1} + I_{2\_2} = 1.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_3 = I_{3\_1} + I_{3\_2} = 5 \cdot mA}$$

3) Teorema di Thevenin

Applichiamo il teorema di Thevenin alla maglia V_S-R_1-R_3-I_S usando R_2 come carico

Tensione di circuito aperto $V_{TH} = V_S - R_1 \cdot I_S = 5\,V$

Resistenza equivalente $R_{EQ} = R_1$

Applichiamo il generatore di Thevenin al carico R_2: $\boxed{V_{OUT} = V_{TH} \cdot \frac{R_2}{R_{EQ} + R_2} = 3.75\,V}$

Noto V_{OUT} calcoliamo le correnti dal circuito originale

$$\boxed{I_1 = \frac{V_{OUT} - V_S}{R_1} = -6.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_2 = \frac{V_{OUT} - 0}{R_2} = 1.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_3 = I_S = 5 \cdot mA}$$

4) Teorema di Norton

Applichiamo il teorema di Norton alla maglia V_S-R_1-R_3-I_S usando R_2 come carico

Corrente di cortocircuito $I_N = -(I_3 + I_1)$

$$I_3 = I_S = 5 \cdot mA$$

$$I_1 = \frac{0 - V_S}{R_1} = -10 \cdot mA$$

$$I_N = -(I_3 + I_1) = 5 \cdot mA$$

Resistenza equivalente $R_{EQ} = R_1$

Applichiamo il generatore di Norton al carico R_2: $\boxed{V_{OUT} = I_N \cdot \left(\frac{R_2 \cdot R_{EQ}}{R_2 + R_{EQ}}\right) = 3.75\,V}$

Noto V_{OUT} calcoliamo le correnti dal circuito originale

$$\boxed{I_1 = \frac{V_{OUT} - V_S}{R_1} = -6.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_2 = \frac{V_{OUT} - 0}{R_2} = 1.25 \cdot mA} \qquad \boxed{I_3 = I_S = 5 \cdot mA}$$

Esercizio 11

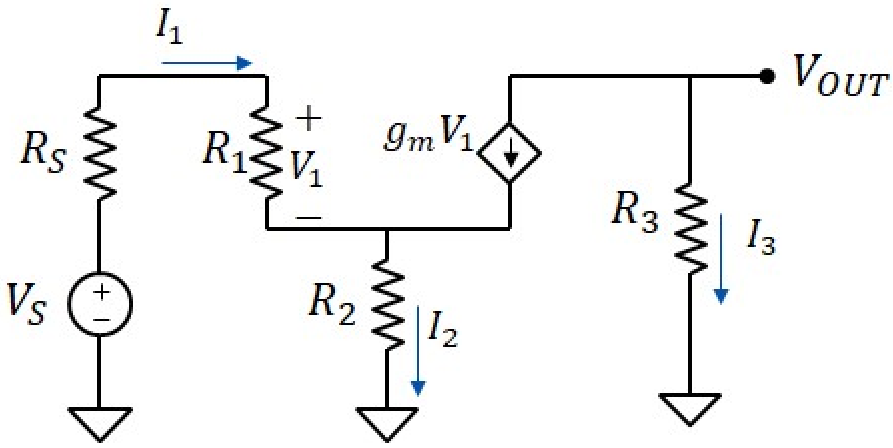
DATI:

$R_S = 1 \cdot k\Omega,$

$R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 2k\Omega,\ R_3 = 3k\Omega,$

$g_m = 100mS$

$V_S = 5V$



1) Calcolare la tensione V_{OUT} e le correnti I_1, I_2 e I_3

Dalle leggi di kirchhoff:

$$V_S - (R_S + R_1) \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2 = 0$$

$$I_2 = I_1 + g_m \cdot V_1 = I_1 + g_m \cdot R_1 \cdot I_1 = I_1 \cdot (1 + g_m \cdot R_1)$$

$$V_S - (R_S + R_1) \cdot I_1 - R_2 \cdot I_1 \cdot (1 + g_m \cdot R_1) = 0$$

Corrente I_1: $\boxed{I_1 = \dfrac{V_S}{R_S + R_1 + R_2 \cdot (1 + g_m \cdot R_1)} = 24.5 \cdot \mu A}$

Corrente I_3: $V_1 = R_1 \cdot I_1 = 0.025\,V$ $\boxed{I_3 = -g_m \cdot V_1 = -2.45 \cdot mA}$

Corrente I_2: $\boxed{I_2 = I_1 + g_m \cdot V_1 = 2.475 \cdot mA}$

Tensione di uscita: $\boxed{V_{OUT} = R_3 \cdot I_3 = -7.35\,V}$

2) Rappresentazione secondo thevenin e secondo norton

Tensione di circuito aperto: $\boxed{V_{TH} = V_{OUT} = -7.35\,V}$

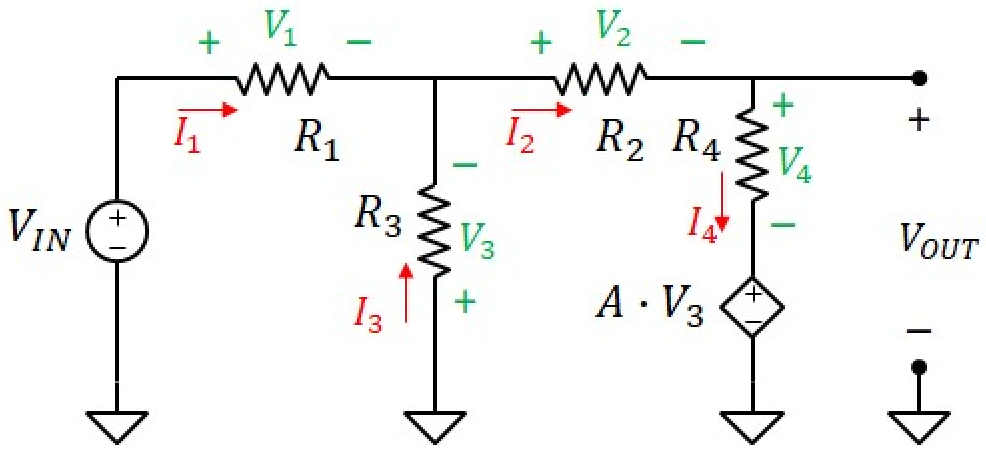
Corrente di cortocircuito: $\boxed{I_N = -g_m \cdot V_1 = -2.45 \cdot mA}$

Resistenza equivalente: $\boxed{R_{EQ} = \dfrac{V_{TH}}{I_N} = 3 \cdot k\Omega}$

In alternativa per il calcolo della resistenza equivalente è possibile cortocircuitare il generatore indipendente (V_S) applicare una tensione V_X in uscita, calcolare la corrente I_X e fare il rapporto V_X/I_X.
Notiamo che, se $V_S = 0$ anche $V_1 = 0$. Quindi $g_m V_1 = 0$. Ciò equivale a rimuovere anche il generatore pilotato.
La corrente I_X risulta pari a V_X/R_3. Otteniamo $R_{EQ} = R_3 = 3 \cdot k\Omega$

Esercizio 12

DATI: $V_{IN} = 1V,\ A = 99,\ R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 10k\Omega,\ R_3 = 99k\Omega,\ R_4 = 1k\Omega,\ R_L = 100\Omega$



1) Tensione V_{OUT}

Con i versi (arbitrariamenti) scelti in figura ricaviamo dalle leggi di kirchhoff:

$$V_{OUT} = V_4 + A\cdot V_3 = A\cdot R_3\cdot I_3 + R_4\cdot I_4 = A\cdot R_3\cdot I_3 + R_4\cdot I_2$$

(la corrente che attraversa R_2 è la stessa che attraversa R_4)

Calcoliamo le correnti I_2 e I_3. Ricaviamo dalle leggi di kirchhoff:

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0$$

$$V_{IN} = R_1\cdot I_1 - R_3\cdot I_3$$

$$-V_3 = V_2 + V_4 + A\cdot V_3$$

$$1\cdot\frac{\dfrac{R_3\cdot\left(R_2+R_4\right)}{2\cdot R_3+R_2+R_4}}{R_1 + \dfrac{R_3\cdot\left(R_2+R_4\right)}{2\cdot R_3 + R_2 + R_4}} = 0.83$$

Abbiamo il seguente sistema di tre equazioni e tre incognite:

(1) $I_1 + I_3 - I_2 = 0$

(2) $R_1\cdot I_1 - R_3\cdot I_3 = V_{IN}$

(3) $\left(R_2 + R_4\right)\cdot I_2 + (A + 1)\cdot R_3\cdot I_3 = 0$

Da (3): $I_2 = -\dfrac{A+1}{\left(R_2 + R_4\right)}\cdot R_3\cdot I_3$ Da (2): $I_1 = \dfrac{V_{IN}}{R_1} + \dfrac{R_3}{R_1}\cdot I_3$

Da (1): $\dfrac{V_{IN}}{R_1} + \dfrac{R_3}{R_1}\cdot I_3 + I_3 + \dfrac{A+1}{\left(R_2+R_4\right)}\cdot R_3\cdot I_3 = 0$

$$I_3 = -\left[\frac{R_3}{R_1} + 1 + \frac{1+A}{\left(R_2+R_4\right)}\cdot R_3\right]^{-1}\cdot\frac{V_{IN}}{R_1} = -1\cdot\mu A$$

$$I_2 = -\frac{A+1}{\left(R_2+R_4\right)}\cdot R_3\cdot I_3 = 900\cdot\mu A$$

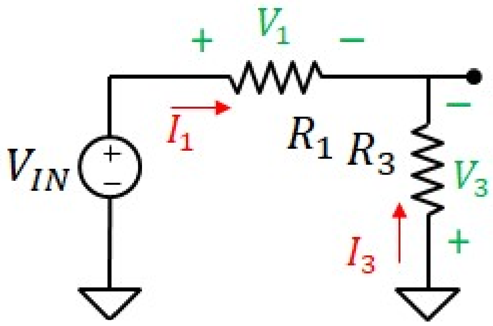
$$\boxed{V_{OUT} = A\cdot R_3\cdot I_3 + R_4\cdot I_2 = -8.9\,V}$$

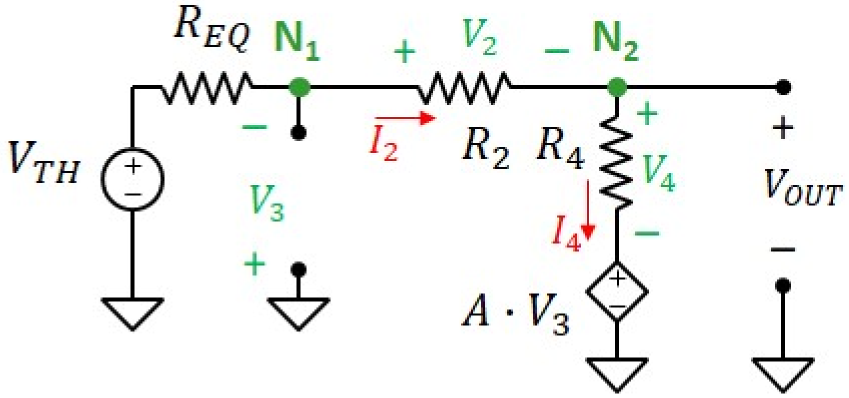
Metodo alternativo: usiamo il teorema di thevening

Tensione di circuito aperto: $V_{TH} = V_{IN} \cdot \dfrac{R_3}{R_1 + R_3} = 0.99\,V$

Resistenza equivalente: $R_{EQ} = \dfrac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 990\,\Omega$

N.B. Speziamo il circuito al nodo N_1 perchè ci serve conoscere la tensione V3 che pilota il generatore controllato.





Legge di kirchhoff alla maglia: $V_{TH} = \left(R_{EQ} + R_2 + R_4\right) \cdot I_2 + A \cdot V_3$

Legge di kirchhoff alla maglia: $-V_3 = V_{TH} - R_{EQ} \cdot I_2$

$$V_{TH} = \left(R_{EQ} + R_2 + R_4\right) \cdot I_2 - A \cdot \left(V_{TH} - R_{EQ} \cdot I_2\right)$$

$$V_{TH} \cdot (1 + A) = \left(R_{EQ} + R_2 + R_4 + A \cdot R_{EQ}\right) \cdot I_2$$

$$I_2 = \frac{V_{TH} \cdot (1 + A)}{R_2 + R_4 + (1 + A) \cdot R_{EQ}} = 900 \cdot \mu A$$

$V_{OUT} = V_{TH} - I_2 \cdot \left(R_{EQ} + R_2\right) = -8.9\,V$ oppure $V_3 = -\left(V_{TH} - R_{EQ} \cdot I_2\right) = -0.099\,V$

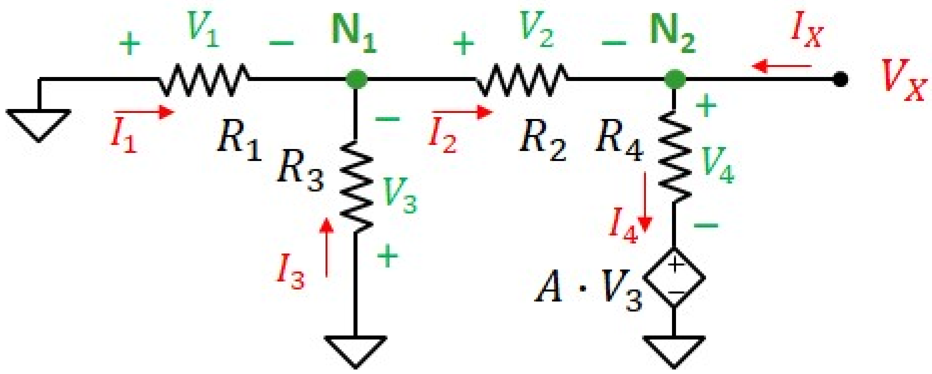
$$\boxed{V_{OUT} = A \cdot V_3 + R_4 \cdot I_2 = -8.9\,V}$$

2) Supponiamo di collegare all'uscita una resistenza R_L. Quanta potenza eroga il circuito alla resistenza R_L?

Applichiamo il teorema di thevenin all'intero circuito. Abbiamo già la tensione di circuito aperto (senza carico R_L)

$$V_{TH} = V_{OUT} = -8.901\,V$$

Calcoliamo la resistenza equivalente, anullando i generatori indipendenti e fissando la tensione V_X del nodo di uscita



Definiamo: $R_P = \dfrac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 990 \cdot \Omega$

Fissata V_X calcoliamo V_3 con la regola del partitore di tensione: $V_3 = -\dfrac{R_P}{R_P + R_2} \cdot V_X$

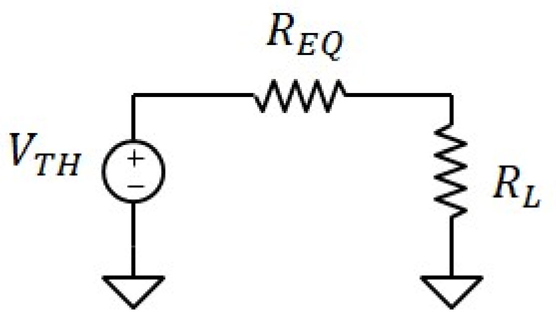
Calcoliamo la corrente I_X dalla legge di kirchhoff al nodo: $I_X + I_2 - I_4 = 0$

Usando la legge di ohm, calcoliamo: $-I_2 = \dfrac{V_X}{R_2 + R_P}$ (il segno meno deriva dall'orientamento scelto per I_2)

$$I_4 = \frac{V_X - A \cdot V_3}{R_4} = \frac{V_X + \dfrac{A \cdot R_P}{R_P + R_2} \cdot V_X}{R_4}$$

Legge di kirchhoff al nodo N_2 $I_X = I_4 - I_2 = V_X \cdot \dfrac{1}{R_4} \cdot \left(1 + \dfrac{A \cdot R_P}{R_P + R_2}\right) + \dfrac{V_X}{R_2 + R_P} = V_X \cdot \dfrac{1}{R_4} \cdot \left(1 + \dfrac{A \cdot R_P + R_4}{R_P + R_2}\right)$

Resistenza equivalente: $R_{EQ} = \dfrac{R_4}{1 + \dfrac{A \cdot R_P + R_4}{R_P + R_2}} = 100\,\Omega$



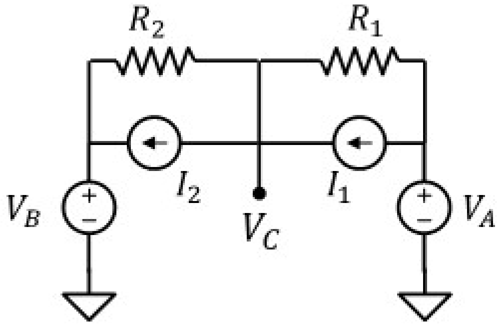
Corrente attraverso R_L: $I_L = \dfrac{V_{TH}}{R_{EQ} + R_L} = -44.5 \cdot mA$

Tensione ai capi di R_L: $V_L = V_{TH} \cdot \dfrac{R_L}{R_{EQ} + R_L} = -4.45 \cdot V$

Potenza assorbita da R_L: $\boxed{P = I_L \cdot V_L = 198.2 \cdot mW}$

Esercizio 13

DATI: $R_1 = 50k\Omega$, $R_2 = 100k\Omega$, $I_1 = 2mA$, $I_2 = I_1$, $V_A = 3V$, $V_B = 12V$



Calcolo del portenziale V_C

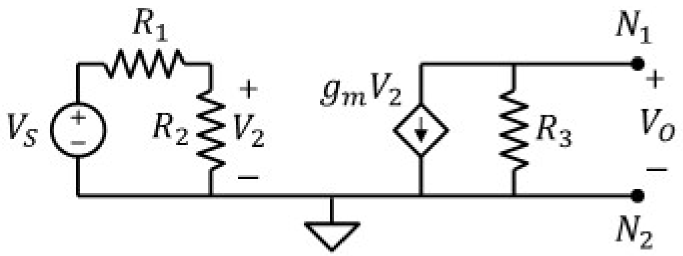
Legge di kirchoff al nodo:

$$\frac{V_B - V_C}{R_2} + \frac{V_A - V_C}{R_1} + I_1 - I_2 = 0$$

$$V_C \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right) = \frac{V_B}{R_2} + \frac{V_A}{R_1}$$

$$\boxed{V_C = \frac{V_B \cdot R_1 + R_2 \cdot V_A}{R_1 + R_2} = 6\,V}$$

Esercizio 14



DATI: $R_1 = 5k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 4k\Omega$, $V_S = 5V$,
$g_m = 1mS$

1. La tensione V_O

$V_O = R_3 \cdot I_{R3}$ $\quad$ $I_{R3} = -g_m \cdot V_2$

$$V_2 = V_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4\,V \qquad I_{R3} = -g_m \cdot V_2 = -4 \cdot mA$$

$$\boxed{V_O = R_3 \cdot I_{R3} = -16\,V}$$

2. La resistenza equivalente del circuito ai nodi N_1 e N_2

Anulliamo SOLO il generatore indipendente V_S

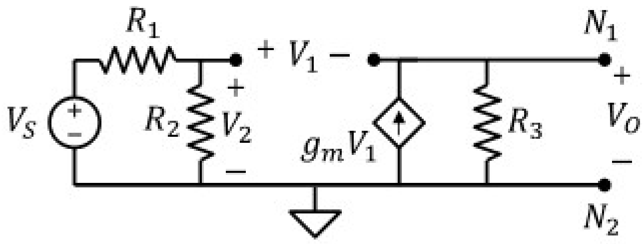
$V_2 = 0$ $\quad$ $g_m \cdot V_2 = 0$

Applichiamo una tensione V_X tra N_1 e N_2 e calcoliamo la corrente entrante nel circuito I_X

$$I_X = \frac{V_X}{R_3} + g_m \cdot V_2 = \frac{V_X}{R_3}$$

$$\boxed{R_{EQ} = \frac{V_X}{I_X} = R_3}$$

Esercizio 15



DATI: $R_1 = 5k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 10k\Omega$, $V_S = 5V$, $g_m = 0.7mS$

1. La tensione V_O

$$V_O = R_3 \cdot g_m \cdot V_1 = R_3 \cdot g_m \cdot (V_2 - V_O)$$

con: $$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_S = 4\,V$$

Risolviamo per l'incognita V_O:

$$V_O + R_3 \cdot g_m \cdot V_O = R_3 \cdot g_m \cdot V_2$$

$$\boxed{V_O = \frac{R_3 \cdot g_m}{1 + R_3 \cdot g_m} \cdot V_2 = 3.5\,V}$$

2. La resistenza equivalente del circuito ai nodi N_1 e N_2

Anulliamo il generatore indipendente: $V_S = 0$ $V_2 = 0$

Applichiamo una tensione V_X all'uscita e misuriamo la corrente I_X:

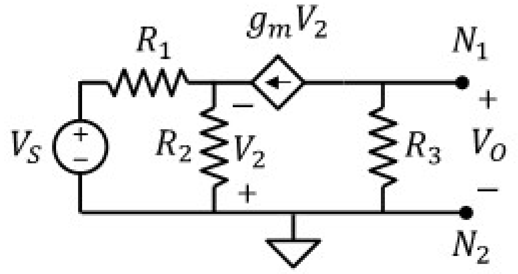
$$I_X = -g_m \cdot (0 - V_X) + \frac{V_X}{R_3}$$

$$I_X = \left(\frac{1}{R_3} + g_m\right) \cdot V_X$$

$$\boxed{R_{EQ} = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + g_m} = 1.25 \cdot k\Omega}$$

Esercizio 16

DATI: $R_1 = 5k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$, $R_3 = 50k\Omega$, $V_S = 1V$,
$g_m = 1mS$



1. La tensione V_O

$$V_O = -R_3 \cdot g_m \cdot V_2 = -50 \cdot V_2$$

Legge di kirchoff:
$$\frac{V_S - (-V_2)}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + g_m \cdot V_2 = 0$$

$$\frac{V_S - (-V_2)}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + g_m \cdot V_2 = 0$$

$$\frac{V_S}{R_1} + V_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + g_m\right) = 0$$

$$V_2 = \frac{-V_S}{R_1 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + g_m\right)} = -0.16\,V$$

Legge di ohm: $\boxed{V_O = R_3 \cdot (-g_m \cdot V_2) = 8\,V}$

2. La resistenza equivalente del circuito ai nodi N_1 e N_2

Anulliamo il generatore indipendente: $V_S = 0$ R_1 e R_2 sono in parallelo: $R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 4 \cdot k\Omega$

Applichiamo una tensione V_X all'uscita e misuriamo la corrente I_X:

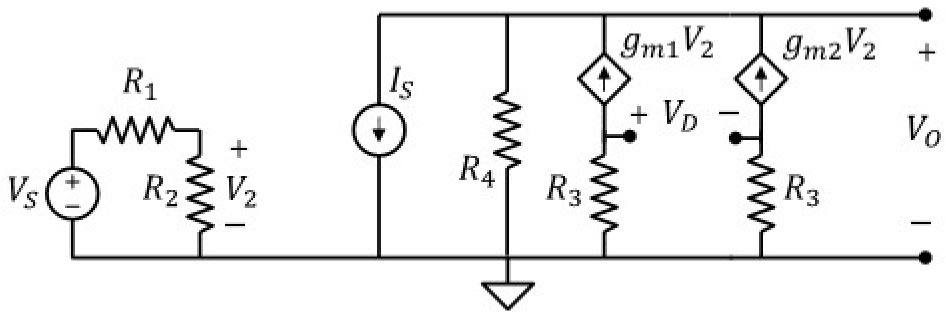
$$I_X = g_m \cdot V_2 + \frac{V_X}{R_3}$$

Calcoliamo la tensione V_2: $V_2 = -R_2 \cdot g_m \cdot V_2$ --> $V_2 = 0$

$$I_X = \frac{V_X}{R_3}$$ $\boxed{R_{EQ} = R_3 = 50 \cdot k\Omega}$

Esercizio 17

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 20k\Omega$,
$R_3 = 5k\Omega$, $R_4 = 500\Omega$
$V_S = 3V$, $I_S = 5mA$,
$g_{m1} = 2mS$, $g_{m2} = 3mS$

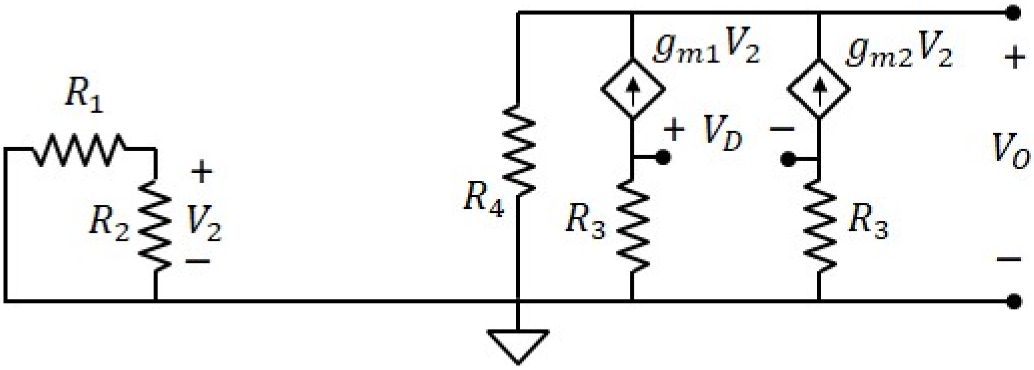


1. La tensione V_O

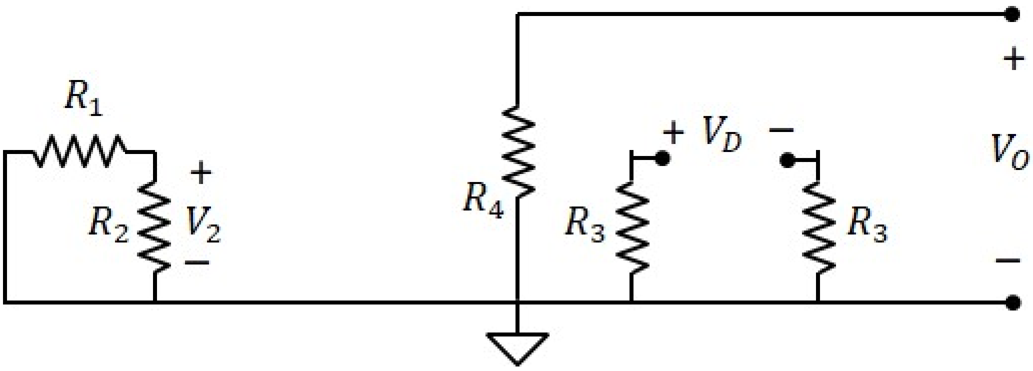
Tensione V_2: $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_S = 2\,V$

Legge di kirchhoff: $\frac{V_O}{R_4} + I_S = g_{m1} \cdot V_2 + g_{m2} \cdot V_2$ $\boxed{V_O = \left(g_{m1} \cdot V_2 + g_{m2} \cdot V_2 - I_S\right) \cdot R_4 = 2.5\,V}$

Annulliamo i generatori indipendenti:



$V_2 = 0$ $g_{m1} \cdot V_2 = 0$ $g_{m2} \cdot V_2 = 0$ i due generatori pilotati equivalgono a un circuito aperto



$\boxed{R_{EQ} = R_4 = 500\,\Omega}$

2. La tensione V_D

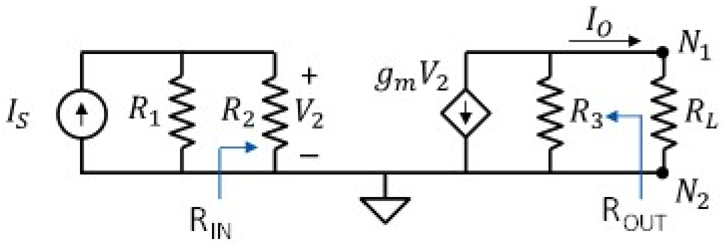
$\boxed{V_D = R_3 \cdot \left(-g_{m1} \cdot V_2\right) - R_3 \cdot \left(-g_{m2} \cdot V_2\right) = 0}$

$R_3 \cdot \left(-g_{m1} \cdot V_2\right) = 0$ $R_3 \cdot \left(-g_{m2} \cdot V_2\right) = 0$

$\boxed{R_{EQ} = 2R_3 = 10 \cdot k\Omega}$

Esercizio 18

DATI: $R_1 = 4.5k\Omega$, $R_2 = 0.5k\Omega$, $R_3 = 8k\Omega$; $R_L = 2k\Omega$
$I_S = 0.4mA$, $g_m = 5mS$



1. La corrente I_O

Calcolo della tensione V_2:

$$V_2 = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_S = 0.18\,V$$

Corrente erogata dal generatire pilotato: $g_m \cdot V_2 = 900 \cdot \mu A$

Corrente su R_L: (formula del partitore di corrente) $\boxed{I_O = \frac{R_3}{R_3 + R_L} \cdot \left(-g_m \cdot V_2\right) = -720 \cdot \mu A}$

2. La resistenza equivalente vista dall'uscita del circuito come indicato dalla freccia (R_{OUT})

Annulliamo i generatori indipendenti: $I_S = 0$ otteniamo: $V_2 = 0$ $g_m \cdot V_2 = 0$

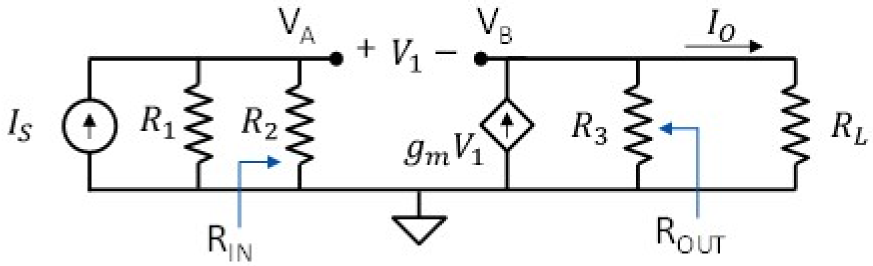
$\boxed{R_{OUT} = R_3 = 8 \cdot k\Omega}$

3. La resistenza equivalente vista dall'ingresso del circuito come indicato dalla freccia (R_{IN})

$\boxed{R_{IN} = R_2 = 500\,\Omega}$

Esercizio 19

DATI: $R_1 = 45k\Omega,\ R_2 = 5k\Omega,$
$R_3 = 8k\Omega,\ R_L = 2k\Omega$
$I_S = 0.4mA,\ g_m = 5mS$



1. La corrente I_O

Calcolo della tensione ai capi del parallelo: $R_P = \dfrac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 4.5 \times 10^3\,\Omega$ $\qquad V_A = R_P \cdot I_S = 1.8\,V$

Legge di kirchhoff: $g_m \cdot (V_A - V_B) = \dfrac{V_B}{R_3} + \dfrac{V_B}{R_L}$ $\qquad g_m \cdot V_A = V_B \cdot \left(g_m + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_L}\right)$

$$V_B = \frac{g_m}{\left(g_m + \dfrac{1}{R_3} + \dfrac{1}{R_L}\right)} \cdot V_A = 1.6\,V$$

$$V_1 = V_A - V_B = 200 \cdot mV$$

Corrente erogata dal generatore pilotato: $g_m \cdot V_1 = 1 \cdot mA$

Corrente attraverso R_3 $\qquad \dfrac{V_B}{R_3} = 0.2 \cdot mA$

Corrente attraverso R_L: $\qquad \boxed{I_O = \dfrac{V_B}{R_L} = 0.8 \cdot mA}$

2. La resistenza equivalente vista dall'uscita del circuito come indicato dalla freccia (R_{OUT})

Annulliamo i generatori indipendenti: $I_S = 0$ Otteniamo: $V_A = 0$

Applichiamo una tensione V_X all'uscita. Otteniamo: $V_1 = -V_X$

Calcoliamo la corrente I_X erogata dal generatire V_X:

$$I_X = \frac{V_X}{R_3} - g_m \cdot (-V_X) = V_X \cdot \left(\frac{1}{R_3} + g_m\right) \qquad \boxed{R_{OUT} = \left(\frac{1}{R_3} + g_m\right)^{-1} = 0.195 \cdot k\Omega}$$

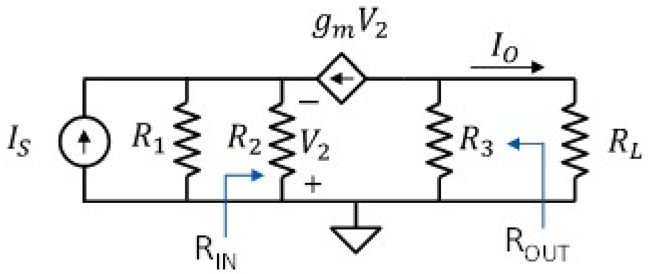
Corrente erogata dal generatore pilotato: $-g_m \cdot V_X$

3. La resistenza equivalente vista dall'ingresso del circuito come indicato dalla freccia (R_{IN})

$$\boxed{R_{IN} = R_2 = 5 \cdot k\Omega}$$

Esercizio 20

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 2.5k\Omega$, $R_3 = 9k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$
$I_S = 2mA$, $g_m = 1.5mS$



1. La corrente I_O

Legge di kirchhoff: $$I_S + \frac{V_2}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + g_m \cdot V_2 = 0$$

$$V_2 = \frac{-I_S}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + g_m} = -1\ V \qquad \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + g_m\right) = 2 \cdot mS$$

corrente erogata dal generatore pilotato: $g_m \cdot V_2 = -1.5 \cdot mA$

Partitore di corrente: $$\boxed{I_O = -\frac{R_3}{R_L + R_3} \cdot (g_m \cdot V_2) = 1.35 \cdot mA}$$

2. La resistenza equivalente vista dall'uscita del circuito come indicato dalla freccia (R_{OUT})

Annulliamo i generatori indipendenti: $I_S = 0$

Applichiamo una tensione V_X ai capi di R_3 e calcoliamo la corrente I_X:

$$I_X = \frac{V_X}{R_3} + g_m \cdot V_2 \quad \text{con:} \quad V_2 = g_m \cdot V_2 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{-->} \quad V_2 = 0$$

$$\boxed{R_{OUT} = R_3 = 9 \cdot k\Omega}$$

3. La resistenza equivalente vista dall'ingresso del circuito come indicato dalla freccia (R_{IN})

Annulliamo i generatori indipendenti: $I_S = 0$

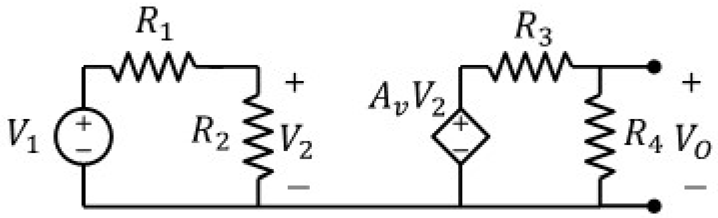
Applichiamo una tensione V_X ai capi di R_2 e calcoliamo la corrente I_X:

$V_2 = -V_X$ Il generatore pilotato eroga: $-g_m \cdot V_X$

$$I_X = \frac{V_X}{R_2} - g_m \cdot (-V_X) = V_X \cdot \left(\frac{1}{R_2} + g_m\right) \qquad \boxed{R_{IN} = \left(\frac{1}{R_2} + g_m\right)^{-1} = 526.3\ \Omega}$$

Esercizio 21

DATI: $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 40k\Omega$, $R_3 = 500\Omega$, $R_4 = 4.5k\Omega$
$V_1 = 0.25V$, $A_V = 10$



Calcolo di v_O

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1 = 0.2\,V$$

$$A_V \cdot V_2 = 2\,V$$

$$\boxed{V_O = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot A_V \cdot V_2 = 1.8\,V}$$

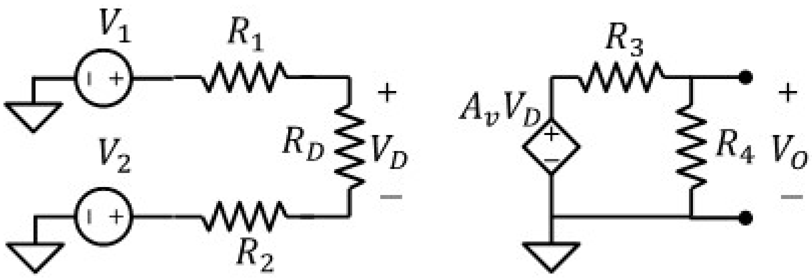
Esercizio 22

DATI:

$R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, $R_D = 5k\Omega$;

$R_3 = 200\Omega$, $R_4 = 800\Omega$:

$V_1 = 1.5V$, $V_2 = -0.5V$, $A_v = -5$



Calcolo di v_O

$$V_D = (V_1 - V_2)\cdot\frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 1.25\,V$$

$$A_V\cdot V_D = -6.25\,V$$

$$\boxed{V_O = \frac{R_4}{R_3 + R_4}\cdot A_V\cdot V_D = -5\,V}$$

Si può risolvere anche con la sovrapposizione degli effetti:

V_1 ON e $V_2 = 0$

$$V_{D1} = V_1\cdot\frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 0.938\,V \qquad V_{O1} = A_V\cdot V_{D1}\cdot\frac{R_4}{R_4 + R_3} = -3.75\,V$$

V_2 ON e $V_1 = 0$

$$V_{D2} = -V_2\cdot\frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 0.313\,V \qquad V_{O2} = A_V\cdot V_{D2}\cdot\frac{R_4}{R_4 + R_3} = -1.25\,V$$

$$V_D = V_{D1} + V_{D2} = 1.25\,V \qquad \boxed{V_O = V_{O1} + V_{O2} = -5\,V}$$

Esercizio 23

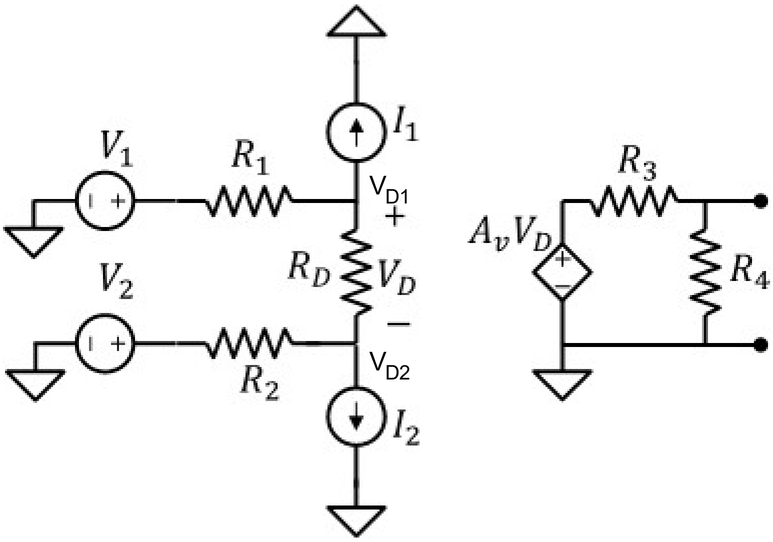
DATI:

$R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 2k\Omega,\ R_D = 5k\Omega;$

$R_3 = 2k\Omega,\ R_4 = 6k\Omega:$

$V_1 = 2V,\ V_2 = -4V, I_1 = 0.4mA\ I_2 = 0.4mA$

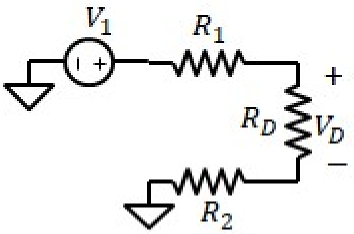
$A_V = 4$



Calcolo di v_O

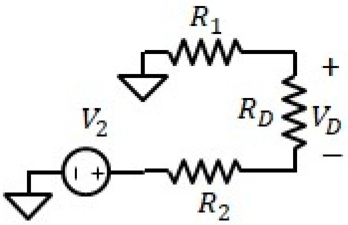
Usiamo la sovrapposizione degli effetti per calcolare V_D, accendendo un generatore alla volta.

<u>*Generatore V_1:*</u>



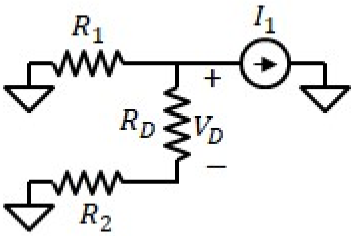
$$V_{D1} = V_1 \cdot \frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 1.25\,V$$

<u>*Generatore V_2:*</u>



$$V_{D2} = -V_2 \cdot \frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 2.5\,V$$

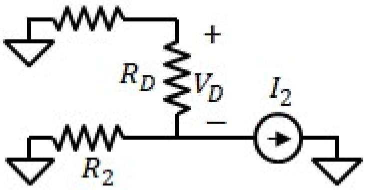
<u>*Generatore I_1:*</u>



Partitore di corrente:

$$I_D = -I_1 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_D} = -50 \cdot \mu A \qquad V_{D3} = R_D \cdot I_D = -0.25\,V$$

<u>*Generatore I_2:*</u>



Partitore di corrente:

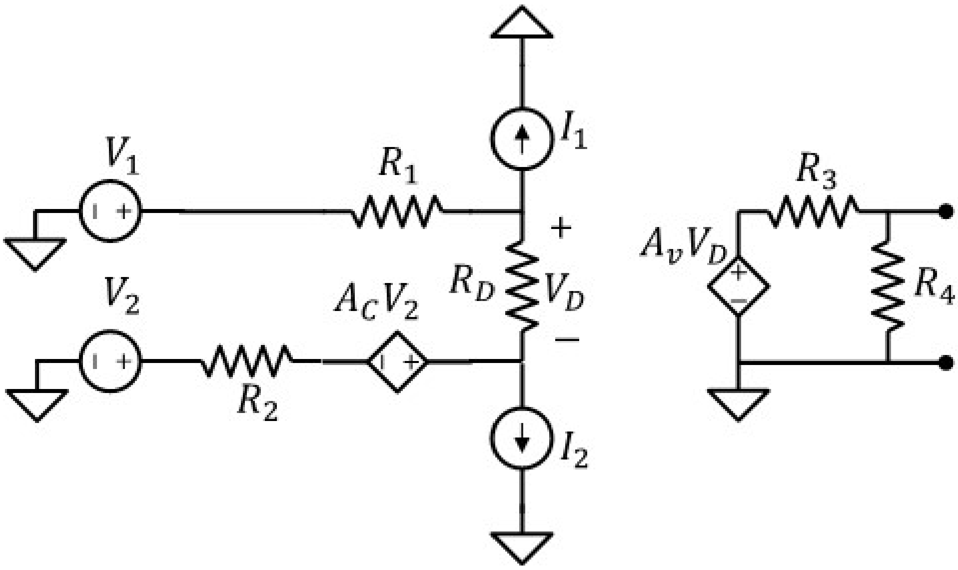
$$I_D = I_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1 + R_D} = 100 \cdot \mu A \qquad V_{D4} = R_D \cdot I_D = 0.5\,V$$

$$V_D = V_{D1} + V_{D2} + V_{D3} + V_{D4} = 4\,V$$

$$\boxed{V_O = A_V \cdot V_D \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_3} = 12\,V}$$

Esercizio 24

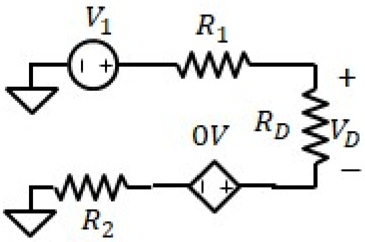
DATI:
$R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 2k\Omega,\ R_D = 5k\Omega;$
$R_3 = 4k\Omega,\ R_4 = 4k\Omega:$
$V_1 = 2V,\ V_2 = -4V, I_1 = 0.4mA$
$I_2 = -0.2mA$
$A_V = 4,\ A_C = 0.5$



Calcolo di v_O

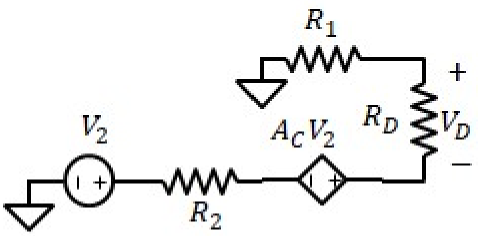
Usiamo la sovrapposizione degli effetti per calcolare V_D, accendendo un generatore alla volta.

Generatore V_1:



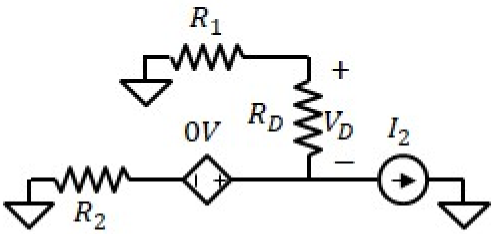
$$V_{D1} = V_1 \cdot \frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 1.25\,V$$

Generatore V_2:



$$V_{D2} = \left(0 - V_2 - A_C \cdot V_2\right) \cdot \frac{R_D}{R_1 + R_2 + R_D} = 3.75\,V$$

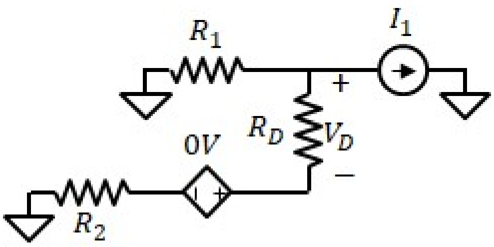
Generatore I_1:



Partitore di corrente:

$$I_D = -I_1 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_D} = -50 \cdot \mu A \qquad V_{D3} = R_D \cdot I_D = -0.25\,V$$

Generatore I_2:



Partitore di corrente:

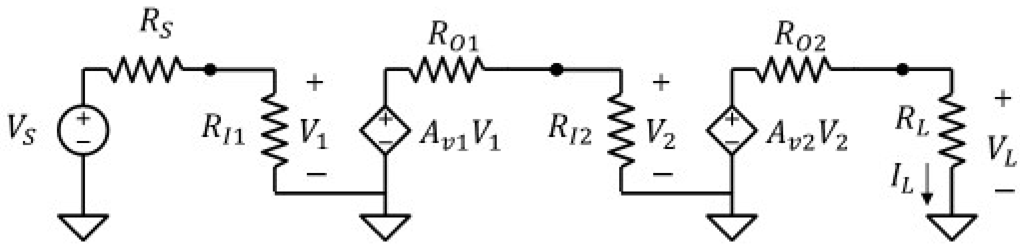
$$I_D = I_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1 + R_D} = -50 \cdot \mu A \qquad V_{D4} = R_D \cdot I_D = -0.25\,V$$

$$V_D = V_{D1} + V_{D2} + V_{D3} + V_{D4} = 4.5\,V$$

$$\boxed{V_O = A_V \cdot V_D \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_3} = 9\,V}$$

Esercizio 25

DATI: $R_S = 1k\Omega$, $R_{I1} = 9k\Omega$, $R_{O1} = 2k\Omega$, $R_{I2} = 4k\Omega$, $R_{O2} = 100\Omega$, $R_L = 1.1k\Omega$, $A_{v1} = -10$, $A_{v2} = 2$, $V_S = 1V$



Tensione e corrente su R_L

$$V_1 = \frac{R_{I1}}{R_S + R_{I1}} \cdot V_S = 0.9\,V \qquad A_{v1} \cdot V_1 = -9\,V$$

$$V_2 = \frac{R_{I2}}{R_{O1} + R_{I2}} \cdot A_{v1} \cdot V_1 = -6\,V \qquad A_{v2} \cdot V_2 = -12\,V$$

$$\boxed{V_L = \frac{R_L}{R_L + R_{O2}} \cdot A_{v2} \cdot V_2 = -11\,V} \qquad \boxed{I_L = \frac{V_L}{R_L} = -10 \cdot mA}$$