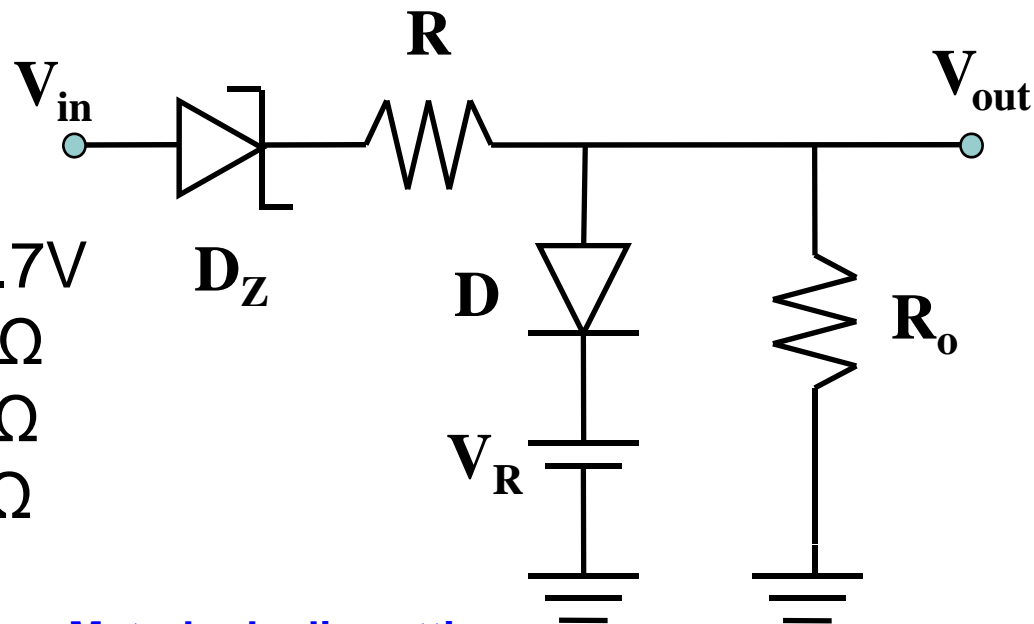


ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

Determinare la transcaratteristica $v_{out}(v_{in})$ del seguente circuito

Dati del problema

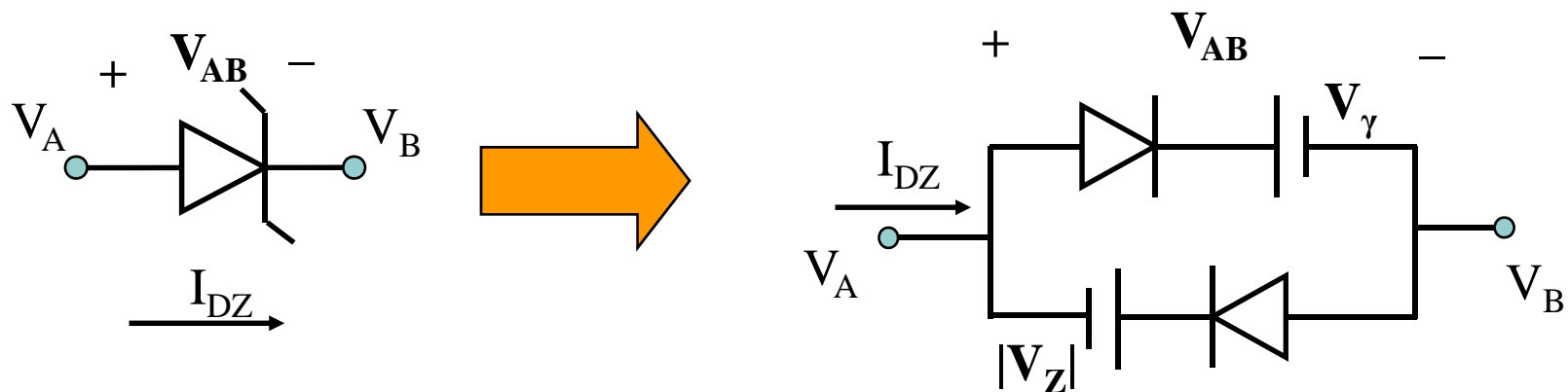
- $V_R = 5V$
- $V_V = 0.7V$
- $R_o = 1\text{ k}\Omega$
- $r_D = 0\Omega$
- $R = 10\Omega$
- $r_Z = 0\Omega$
- $V_Z = -8V$
- $r_i = \infty\Omega$



Metodo degli scatti

Si determinano i punti di scatto di ogni diodo nel circuito imponendo la condizione $i_d=0A$ e $v_d=v_v$ (nel caso ideale $i_d=0A$ e $v_d=0V$). Nel piano della curva di trasferimento $v_o=f(v_i)$ si riportano i punti di scatto così individuati e si uniscono con tratti di retta. I lati estremi della caratteristica linearizzata si determinano calcolando la pendenza delle semirette, con origine nei punti di scatto estremi, per $v_i \ll 0$ e $v_i \gg 0$.

Circuito equivalente di un diodo zener



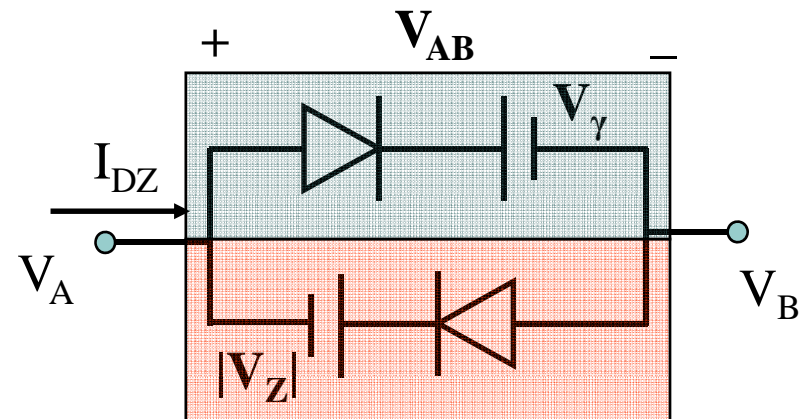
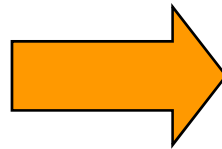
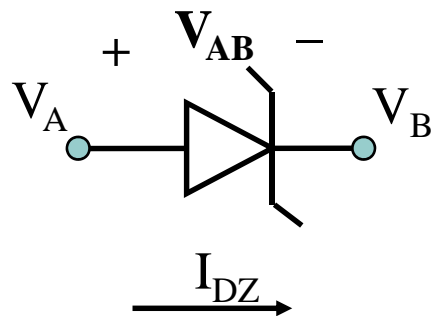
Il circuito equivalente del diodo Zener si ottiene in tre semplici passaggi:

1. Due diodi ideali antiparalleli
2. Un generatore di tensione $|V_\gamma|$ in serie al diodo che ha la punta nello stesso verso del diodo zener e con il polo positivo verso il polo negativo del diodo (regione n)
3. Un generatore di tensione $|V_Z|$ in serie al diodo che ha la punta nel verso opposto del diodo zener e con il polo negativo verso il polo positivo del diodo (regione p) **(praticamente il ramo superiore invertito)**

Perchè?

1. Lo zener conduce come un diodo "normale" quando $V_{AB} > V_\gamma$ (ramo sup.)
2. Si comporta come un diodo nel verso opposto quando $V_{AB} < -|V_Z|$ (ramo inf.)

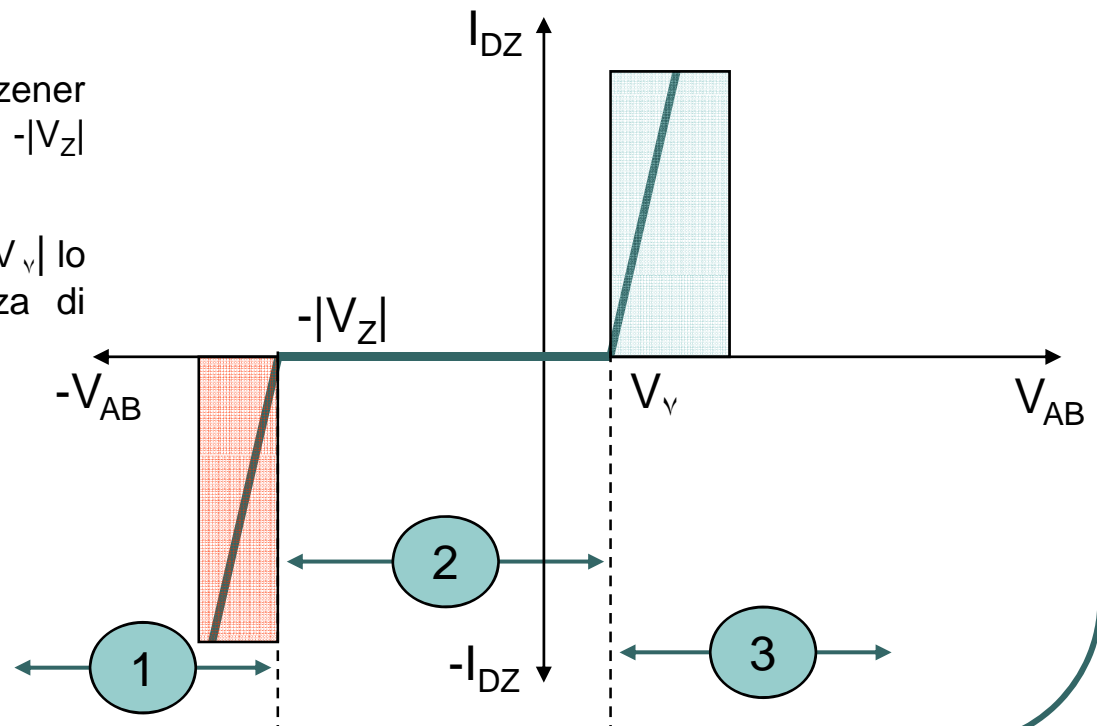
Circuito equivalente di un diodo zener II



Nella **regione 3** e quindi per $V_{AB} > V_\gamma$ lo zener si comporta come una batteria di valore V_γ

Nella **regione 2** e quindi per $V_{AB} < -|V_Z|$ lo zener si comporta come una batteria di valore $-|V_Z|$ per $V_{AB} < -|V_Z|$

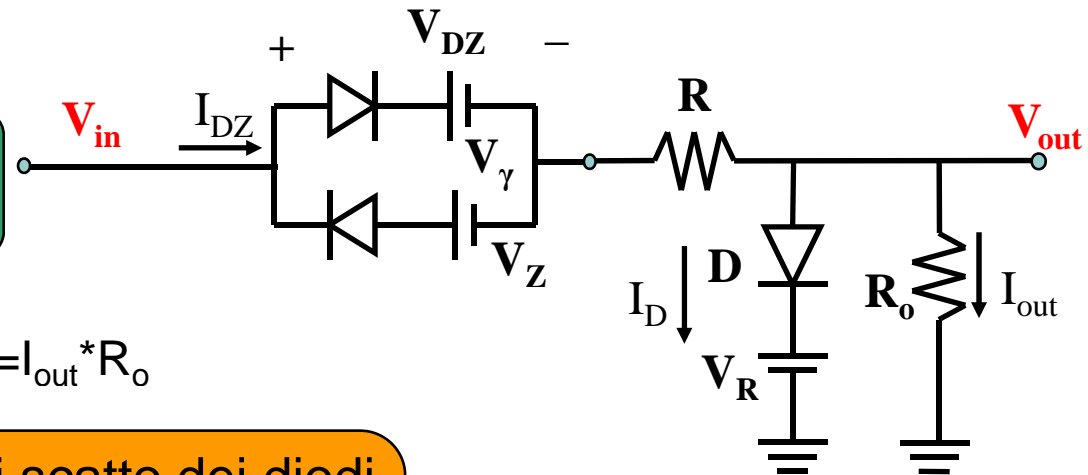
Nella **regione 1** e quindi per $|V_Z| < V_{AB} < |V_\gamma|$ lo zener si comporta come una resistenza di valore infinito



ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

Quindi Il circuito diventa:

Attenzione in questo caso la V_z è da intendersi negativa



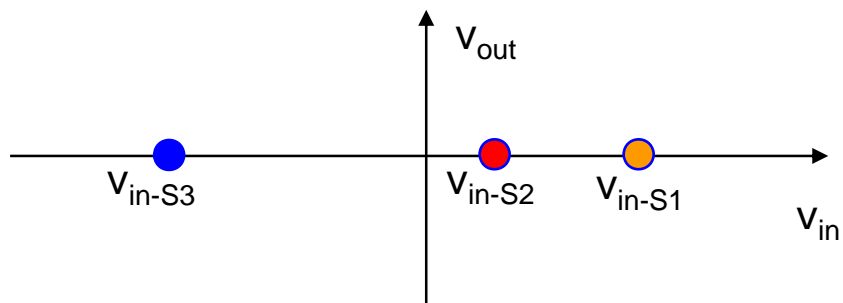
Dal circuito si evince che $V_{out} = I_{out} * R_o$

Individuazione dei punti di scatto dei diodi

1. Sul diodo di uscita se $V_{out} = V_R + V_\gamma$ e $I_D = 0$ A (S1)
2. Sul diodo zener $V_{in} - V_{out} = V_\gamma$ e $I_{DZ} = 0$ A (la corrente in R è uguale a zero) (S2)
3. Sul diodo zener $V_{in} - V_{out} = V_Z$ e $I_{DZ} = 0$ A (la corrente in R è uguale a zero) (S3)

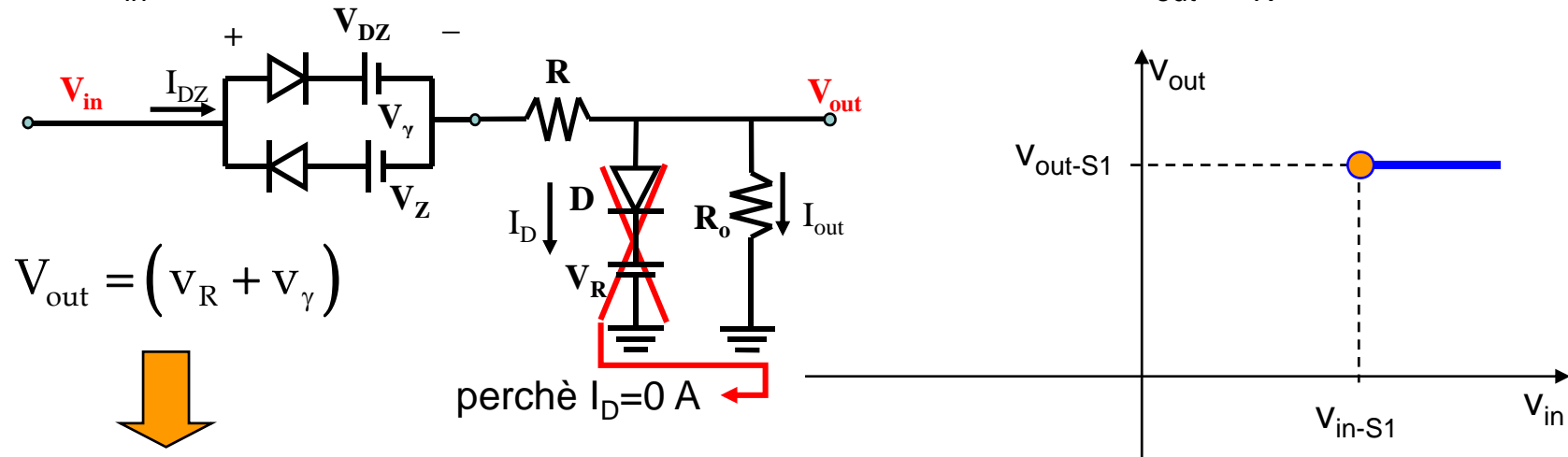
attenzione: la condizione di "SCATTO" è la SIMULTANEA " $V_D = V_\gamma$ e $I_D = 0$ A"

Rappresentazione dei punti di scatto dei diodi nel piano (V_{in} , V_{out})



ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

Per $V_{in} \gg 0$ entrambi i diodi sono in conduzione diretta è $V_{out} = V_R + V_\gamma$



valida fino a quando $V_{in} > V_{in-S1}$

come calcolo V_{in-S1} ???

Al punto di scatto si ha $I_D = 0 \text{ A}$ e quindi si può scrivere:

$$V_{in} - V_\gamma - RI_{out} - R_0 I_{out} = 0$$

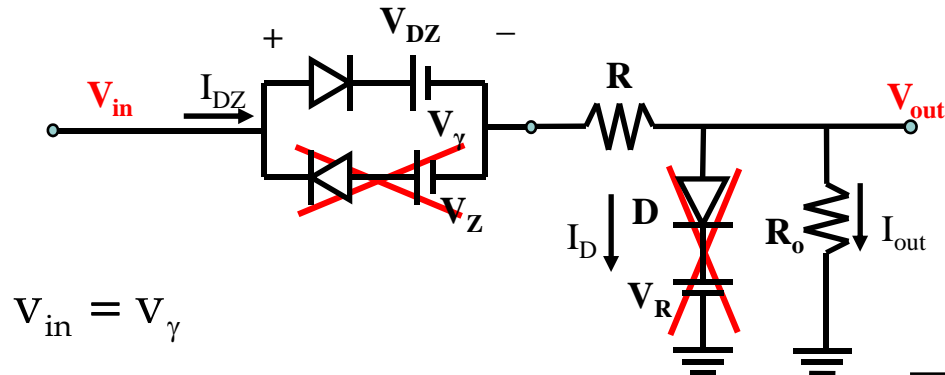
$$V_{out} = R_0 I_{out} = \frac{R_0}{R + R_0} (V_{in} - V_\gamma) = V_R + V_\gamma = V_{out-S1} = 5 + 0.7 = 5.7 \text{ V}$$

$$V_{in} = V_R + V_\gamma \left(1 + \frac{R_0}{R + R_0} \right) / \frac{R_0}{R + R_0} = V_{in-S1} = 6.45 \text{ V}$$

$$I_{out} = \frac{V_{in} - V_\gamma}{R + R_0}$$

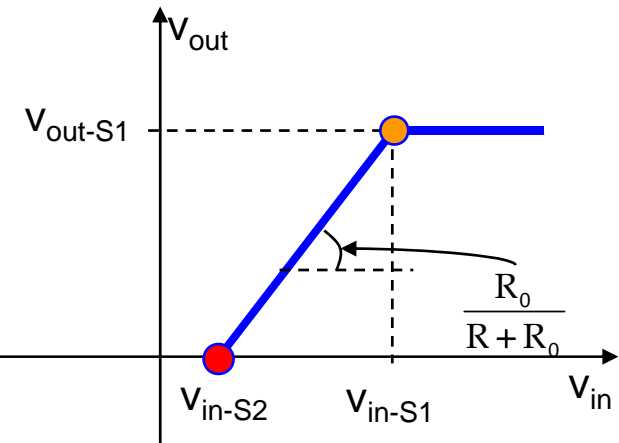
ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

S2: (cioè per $V_{in}=V_\gamma$) il diodo zener scatta in pol. dir. mentre il diodo di uscita è interdetto



$$V_{in} = V_\gamma$$

$$I_{DZ} = 0A = I_{out}$$



$$V_{out} = 0V \quad V_{out-S2} = 0V \quad V_{in-S2} = V_\gamma$$

per $V_{in-S2} < V_{in} < V_{in-S1}$ il diodo zener è in conduzione diretta mentre il diodo di uscita è interdetto

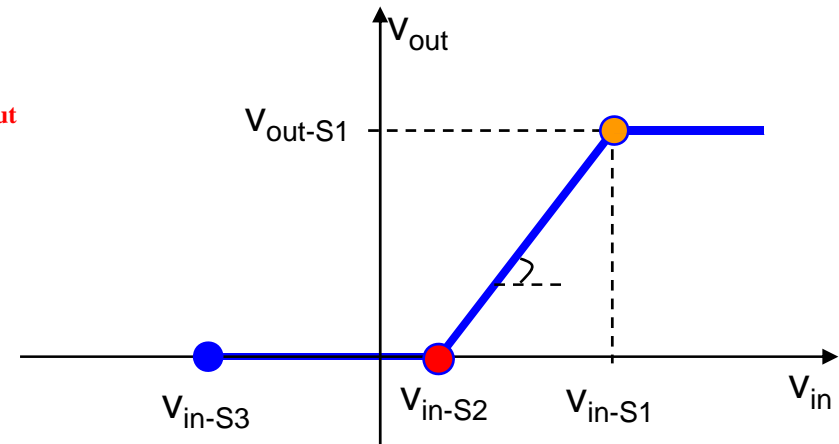
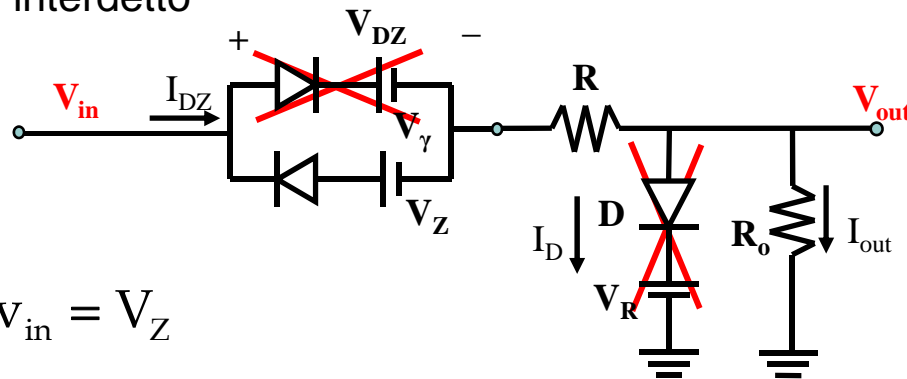
$$V_{in} - V_\gamma - RI_{out} - R_0I_{out} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_{out} = \frac{V_{in} - V_\gamma}{R + R_0}$$

$$V_{out} = R_0I_{out} = \frac{R_0}{R + R_0}(V_{in} - V_\gamma)$$

Dalla quale si può determinare la pendenza della retta!

ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

S3: (cioè per $V_{in} = V_Z$) il diodo zener scatta in pol. inv. mentre il diodo di uscita è interdetto



$$V_{in} = V_Z$$

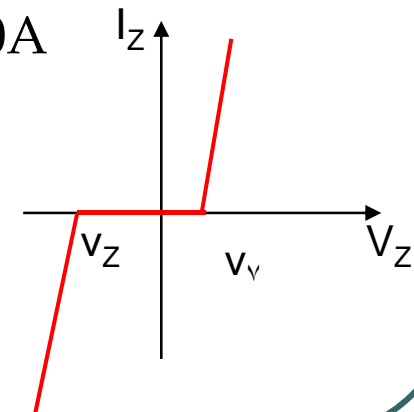
$$I_{DZ} = 0A = I_{out}$$

$$V_{out-S3} = 0V \quad V_{in-S3} = V_Z$$

per $V_{in-S3} < V_{in} < V_{in-S2}$ tutte e due i diodi sono interdetti $I_{DZ} = 0A$

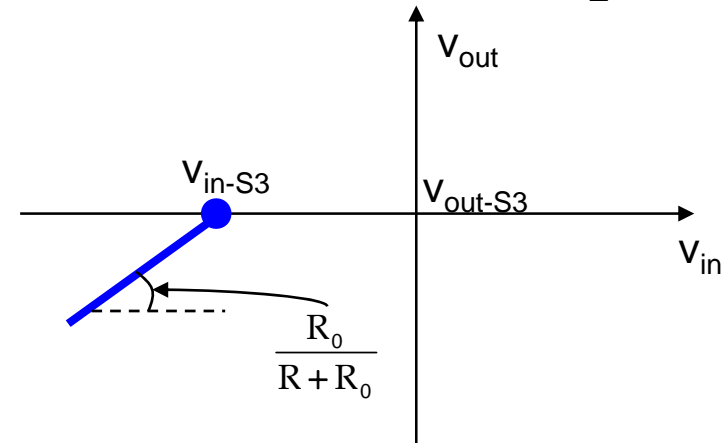
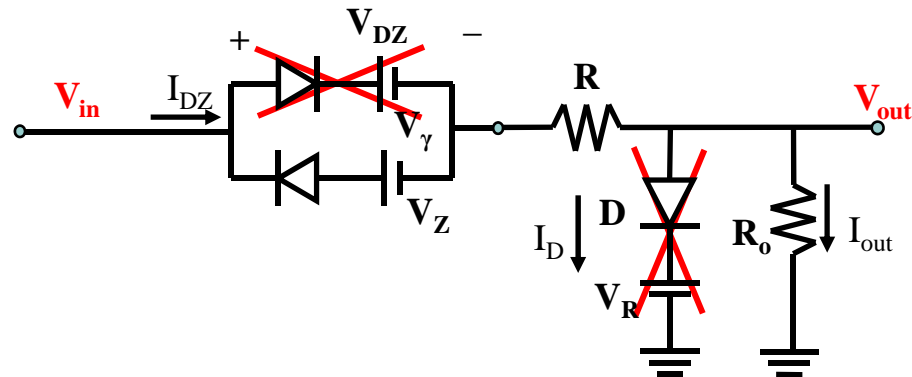
$$V_{in} - V_{DZ} - RI_{out} - R_0 I_{out} = 0 \quad \boxed{V_Z < V_{DZ} < V_D} \quad I = \frac{V_{in} - V_{DZ}}{R + R_0} = 0A$$

$$V_{out} = R_0 I_{out} = 0V$$



ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Scatti)

Per $V_{in} \ll 0$ lo zener è in conduzione inversa (la tensione ai suoi capi è $V_Z = -8V$), e il diodo in uscita è interdetto



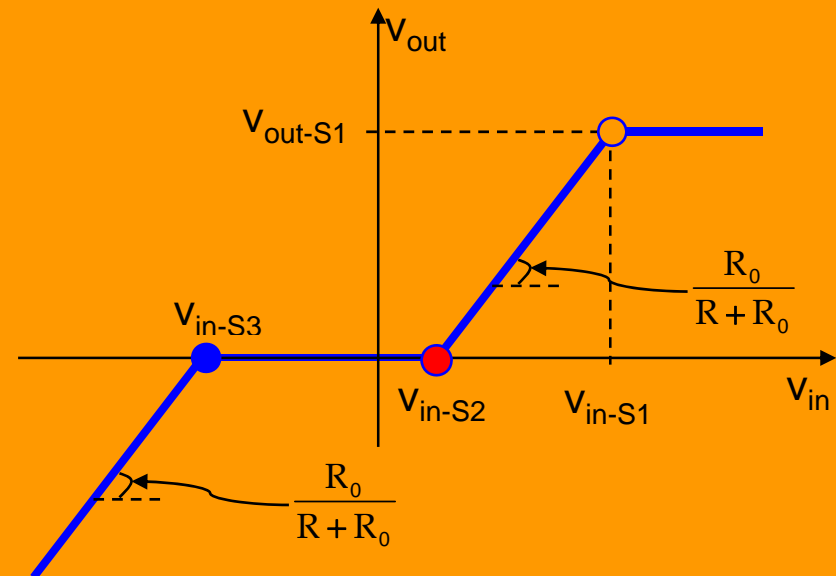
$$V_{in} - V_Z - RI_{out} - R_0I_{out} = 0$$

$$I_{out} = \frac{V_{in} - V_Z}{R + R_0}$$



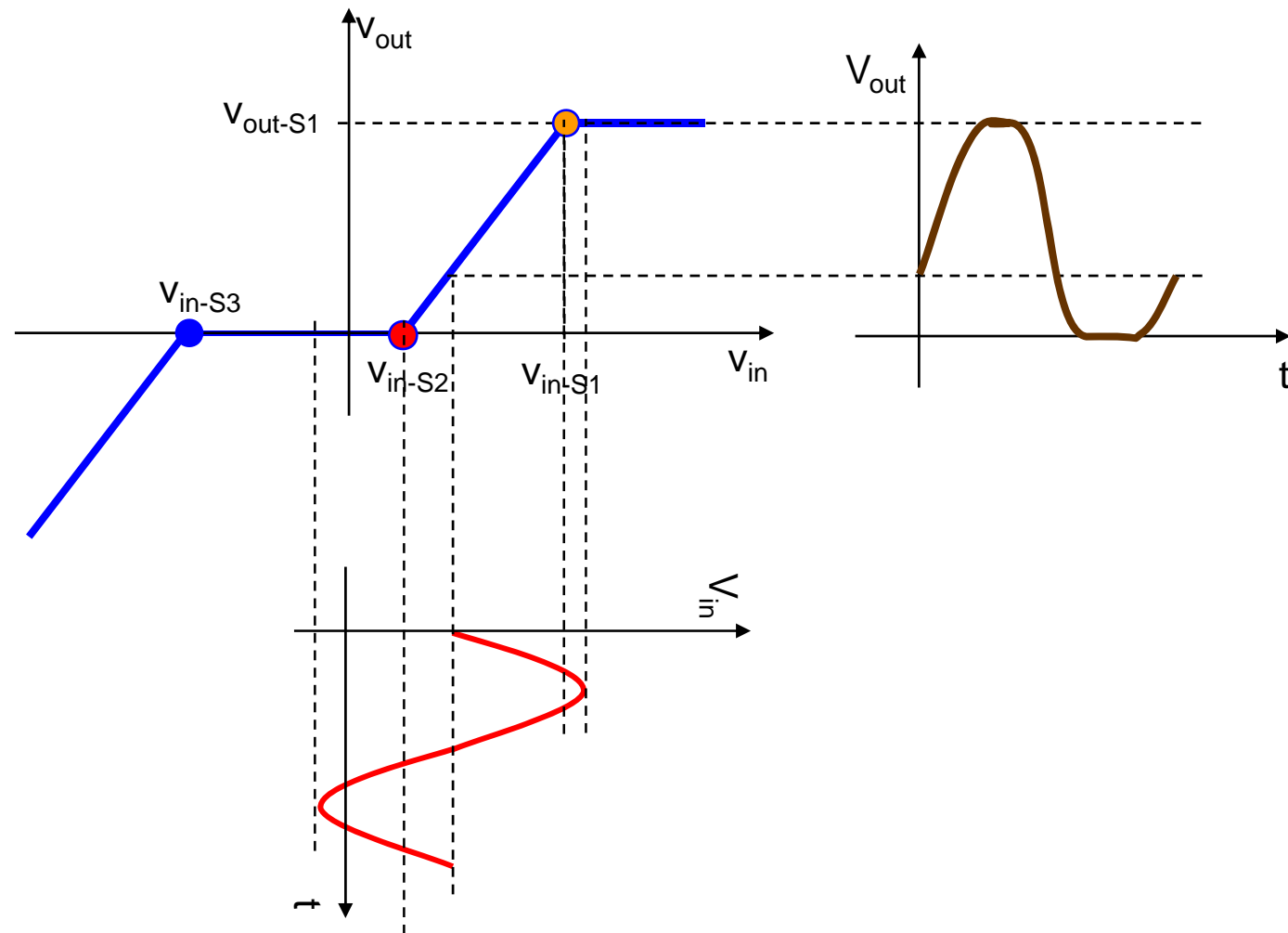
$$V_{out} = R_0I_{out} = \frac{R_0}{R + R_0}(V_{in} - V_Z)$$

Transcaratteristica globale



Sollecitazione al circuito

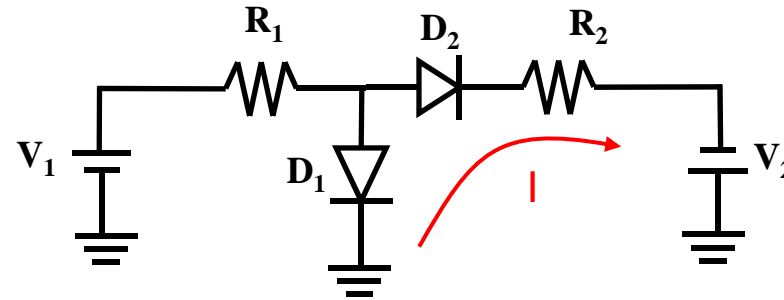
Disegnare l'andamento della tensione d'uscita quando in ingresso al circuito viene posta una sinusoide



ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Stati)

Dato il circuito di figura, ricavare la corrente I

- $V_1 = 15V$
- $V_2 = 10V$
- $R_1 = 10\text{ k}\Omega$
- $R_2 = 5\text{ k}\Omega$
- $V_V = 0.7V$
- $r_D = 0\Omega$
- $r_i = 1M\Omega$



Metodo degli stati

Si assume che ogni diodo presente nel circuito sia in uno stato preciso (ON o OFF) sostituendolo con il circuito equivalente relativo allo stato scelto. Il circuito, reso lineare, è esaminato con le leggi di Kirchhoff verificando che siano corrette le assunzioni iniziali e ripetendo l'analisi in caso di assunzione non corretta (es. corrente positiva in un diodo considerato OFF)

ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Stati)

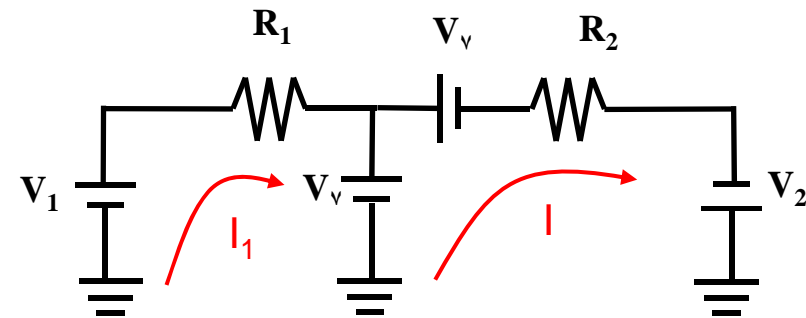
Ipotesi 1: D1 e D2 ON

Devo sostituire i due diodi con due batterie di valore V_γ

$$I_1 = \frac{V_1 - V_\gamma}{R_1} = 1.43\text{mA}$$

$$I = \frac{V_\gamma - (-V_2) - V_\gamma}{R_2} = 2\text{mA}$$

$$\begin{cases} I_{D2} = I = 2\text{mA} & \text{OK} \\ I_{D1} = I_1 - I = -0.57\text{mA} & \text{NO} \end{cases}$$



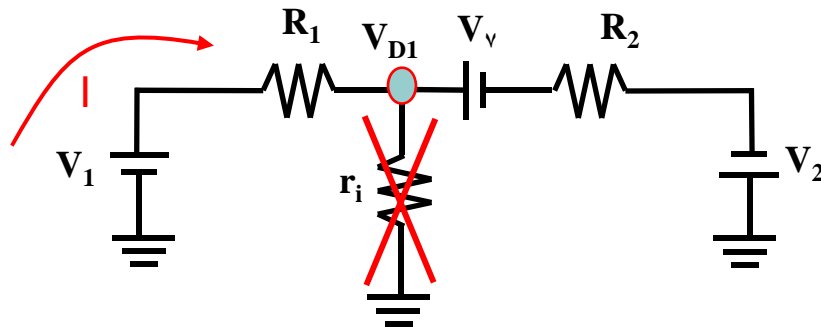
L'ipotesi 1
non è corretta

Lo stato del diodo D1 non è corretto, perchè la corrente che lo attraversa risulta negativa. Infatti avendolo supposto in polarizzazione diretta la sua corrente non può essere negativa.

ESERCIZIO SUI DIODI (Metodo degli Stati)

Ipotesi 2: D1 OFF e D2 ON

Devo sostituire rispettivamente: il diodo D1 con una resistenza di valore r_i e il diodo D2 con una batteria di valore V_γ



r_i è sicuramente trascurabile perchè molto elevata

$$I = \frac{V_1 + V_2 - V_\gamma}{R_1 + R_2} = 1.6\text{mA}$$



D2 ON OK

$$V_{D1} = V_1 - R_1 I = 15 - 16 = -1\text{V}$$



D1 OFF OK

L'ipotesi 2 è corretta

CIRCUITO A DIODI

Si disegni la transcaratteristica $V_o=f(V_i)$ del circuito di figura indicando chiaramente i punti di scatto e le pendenze dei vari tratti giustificando la risposta. Si considerino i diodi ideali.

Dati:

$$V_C = 5 \text{ V}$$

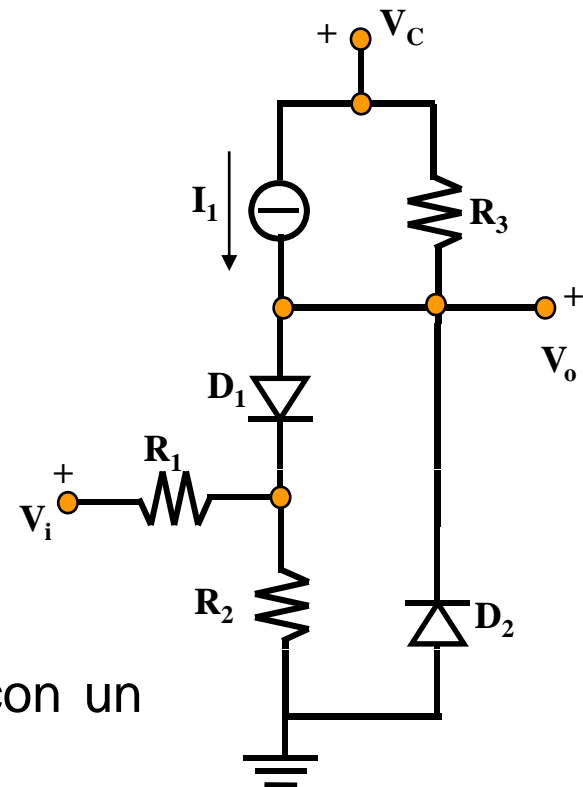
$$I_1 = 2 \text{ mA}$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 2 \text{ k}\Omega.$$

Ripetere l'esercizio sostituendo il diodo D_2 con un diodo zener con $V_Z = -7 \text{ V}$



CIRCUITO A DIODI

Osservando il circuito, si può supporre che, per valori sufficientemente positivi della tensione V_{in} , entrambi i diodi siano interdetti. Convienne allora iniziare l'analisi ipotizzando che:

D_1 e D_2 siano entrambi OFF

Il circuito da studiare si può semplificare come:

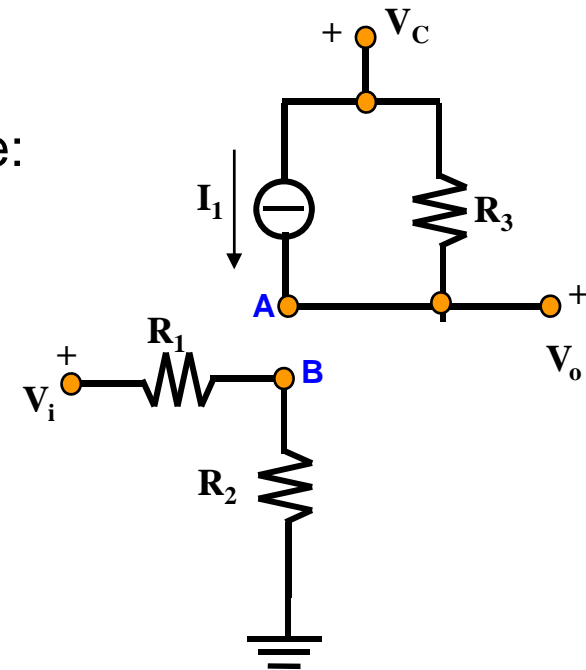
$$V_o = V_C + R_3 I_0 = 5V + 4V = 9V \quad 1$$

Questa situazione si mantiene finché la tensione ai capi dei diodi rimane negativa. La tensione ai capi di D_2 (con le usuali convenzioni di segno) è pari a $-V_o$ e quindi è effettivamente negativa. La tensione ai capi di D_1 invece risulta pari a:

$$V_{D1} = V_A - V_B = V_{AB} = V_o - V_i \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \quad 2$$

Sostituendo la (1) nella (2) si ricava la condizione:

$$V_i > \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot (V_C + R_3 I_0) = (1.5) 9 = 13.5V = V_{in-D1}$$

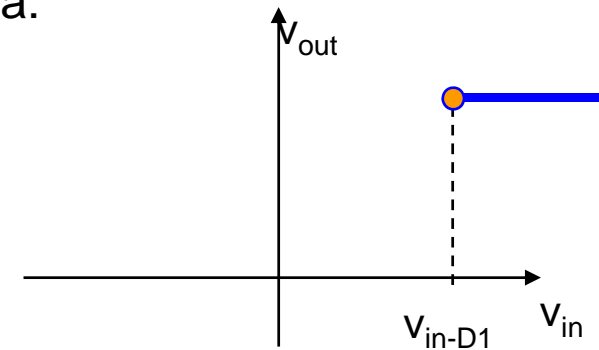
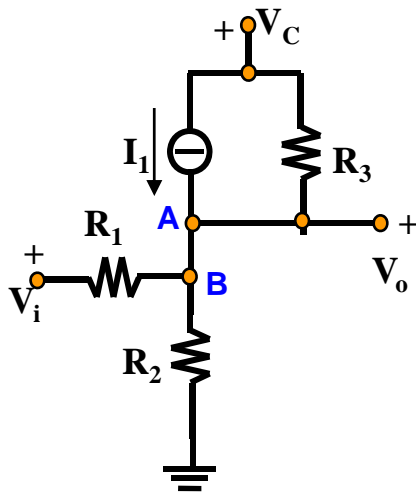


Si può quindi concludere che, per tensioni superiori a V_{in-D1} , la tensione di uscita resta fissata a 9 V.

CIRCUITO A DIODI

Per tensioni inferiori a V_{in-D1} , invece, il diodo D_1 , che è l'unico il cui stato dipende da V_i , si accende. Quindi il circuito diventa:

D_1 ON e D_2 OFF



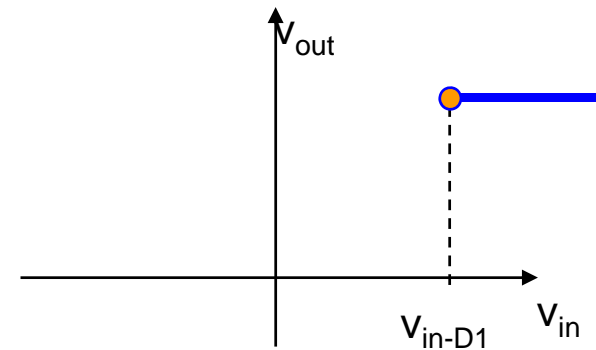
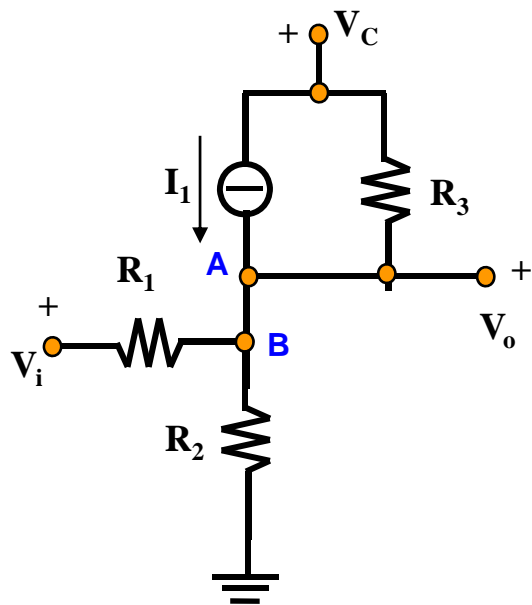
Per determinare la tensione di uscita conviene applicare il principio di sovrapposizione degli effetti. Dopo qualche passaggio, si trova:

$$V_o = (V_c + R_3 I_0) \cdot \left(\frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_3} \right) + V_i \cdot \left(\frac{R_3 // R_2}{R_3 // R_2 + R_1} \right) = 2.22 + 0.5 V_i$$

dove è possibile distinguere il contributo dei tre generatori indipendenti. Questa situazione si mantiene finché la tensione ai capi del diodo D_2 rimane negativa e la corrente sul diodo D_1 positiva.

CIRCUITO A DIODI

Determiniamo allora le due quantità:



Per determinare la tensione di uscita conviene applicare il principio di sovrapposizione degli effetti. Dopo qualche passaggio, si trova:

$$V_o = (V_C + R_3 I_0) \cdot \left(\frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_3} \right) + V_i \cdot \left(\frac{R_3 // R_2}{R_3 // R_2 + R_1} \right) = 2.22 + 0.5 V_i$$

dove è possibile distinguere il contributo dei tre generatori indipendenti. Questa situazione si mantiene finché la tensione ai capi del diodo D_2 rimane negativa (ai capi del diodo quindi finché $V_o > 0$) e la corrente sul diodo D_1 positiva.

Determiniamo allora le due quantità:

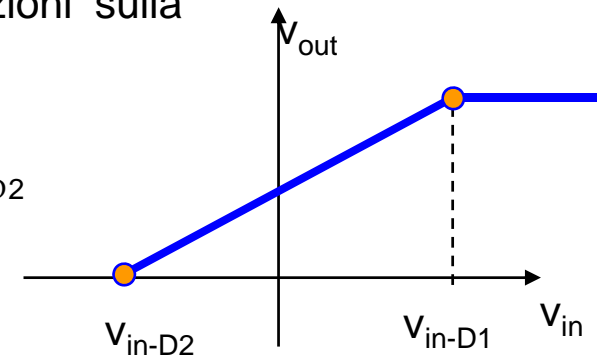
$$V_{D2} = -V_o$$

$$I_{D1} = I_0 - \frac{V_o - V_C}{R_3}$$

CIRCUITO A DIODI

Sostituendo la (3) nella (4) e nella (5) e imponendo il segno corretto a ciascuna quantità, si ricavano due condizioni sulla tensione V_{IN} . In particolare, dalla (5) si trova:

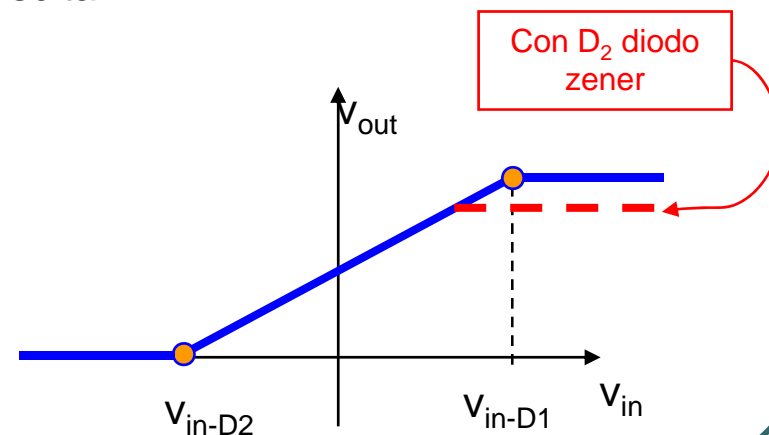
$$0V = 2.22 + 0.5V_i \Rightarrow V_i = \frac{-2.22}{0.5} = -4.44V = V_{in-D2}$$



Sostituendo la (3) nella (5) otteniamo ovviamente il valore di tensione V_{in-D1} quindi questa situazione D1 ON e D2 OFF si mantiene per tensioni d'ingresso comprese tra $V_{in-D2} < V_{in} < V_{in-D1}$

Per $V_{in} < V_{in-D2}$ si nota come la tensione d'uscita resta fissa a zero volt perché il diodo D_2 entrando in conduzione cortocircuita l'uscita.

Nel caso in cui il diodo D_2 fosse sostituito con un diodo zener l'unica differenza si avrebbe quando D_2 è in polarizzazione inversa in quanto lo zener forzerebbe il valore della tensione d'uscita a V_Z e non a $V_o = V_C + R_3 I_o$ cosa che si verificherebbe per una V_{in} diversa da V_{in-D1} determinata precedentemente



ESERCIZIO SUI DIODI

Dato il circuito di figura si disegni la transcaratteristica $V_o=f(V_i)$ indicando chiaramente i punti di scatto e le pendenze dei vari tratti giustificando la risposta.

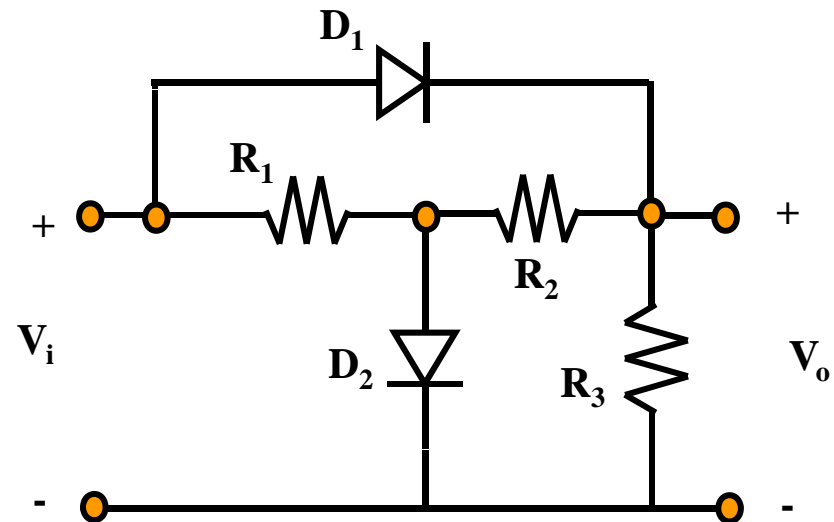
Dati:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

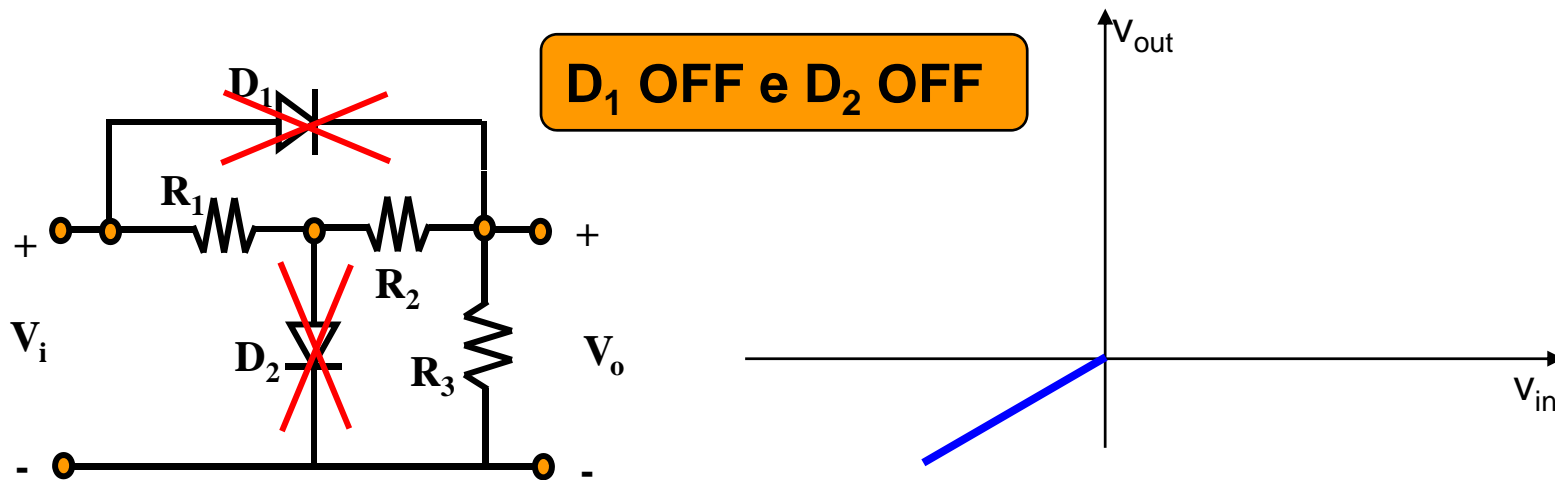
$$R_3 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$V_V = 0.6 \text{ V}$$



ESERCIZIO SUI DIODI

In questo caso è conveniente iniziare l'analisi del circuito per $V_{in} \ll 0$. Infatti per tale valore asintotico si può dire che entrambi i diodi sono interdetti.



$$V_o = V_i \cdot \left(\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) = \left(\frac{2K\Omega}{5K\Omega} \right) \cdot V_i = 0.4 \cdot V_i$$

$$V_{D1} = V_i \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \right) = 0.6 \cdot V_i \quad V_{D2} = V_i \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) = 0.8 \cdot V_i$$

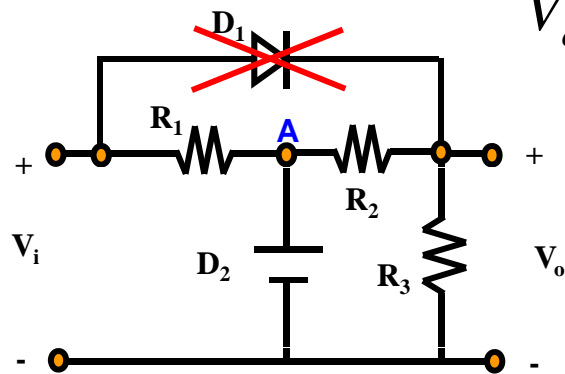
ESERCIZIO SUI DIODI

Per determinare quale diodo scatta per primo e di conseguenza il corrispondente valore di V_i è necessario ragionare sulle tensioni ai capi dei diodi.

$$D_1 \Rightarrow V_{D1} = V_\gamma = 0.6V = 0.6 \cdot V_i \Rightarrow V_{in-D1} = \frac{0.6}{0.6} = 1V$$

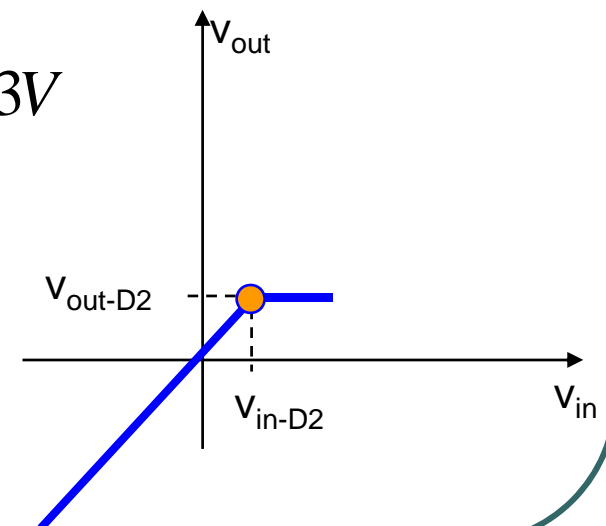
$$D_2 \Rightarrow V_{D2} = V_\gamma = 0.6V = 0.8 \cdot V_i \Rightarrow V_{in-D2} = \frac{0.6}{0.8} = 0.75V$$

Quindi il primo diodo che scatta dallo stato di interdizione a quello di conduzione è D_2 e la V_{out} corrispondente vale:



$$V_{out-D2} = V_\gamma \frac{R_3}{R_3 + R_2} = 0.3V$$

**$V_{out} = V_{out-D2}$ finché non
scatta D_1 cioè finché
 $V_{in-D2} < V_{in} < V_{in-D1}$**



ESERCIZIO SUI DIODI

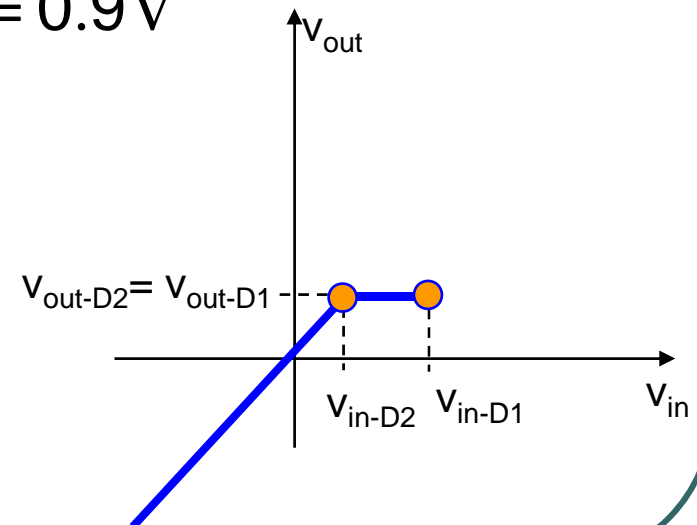
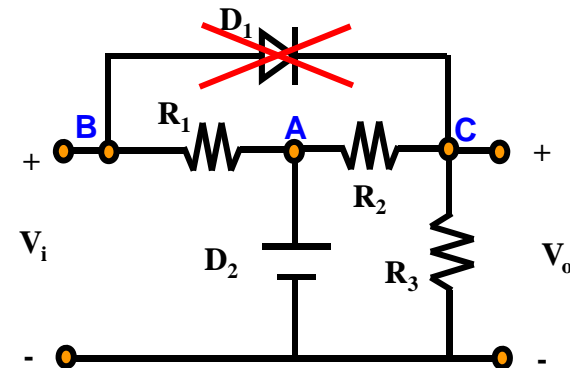
Rimane da determiniamo per quale valore della tensione d'ingresso scatta il diodo D_1

Il diodo D_1 scatterà quando la tensione $V_{BC} = V_i - V_o = V_\gamma$

Ma V_o un istante prima che il diodo D_1 scatti vale $0.3V$ quindi dato che nel punto di scatto $I_{D1} = 0A$, posso scrivere che:

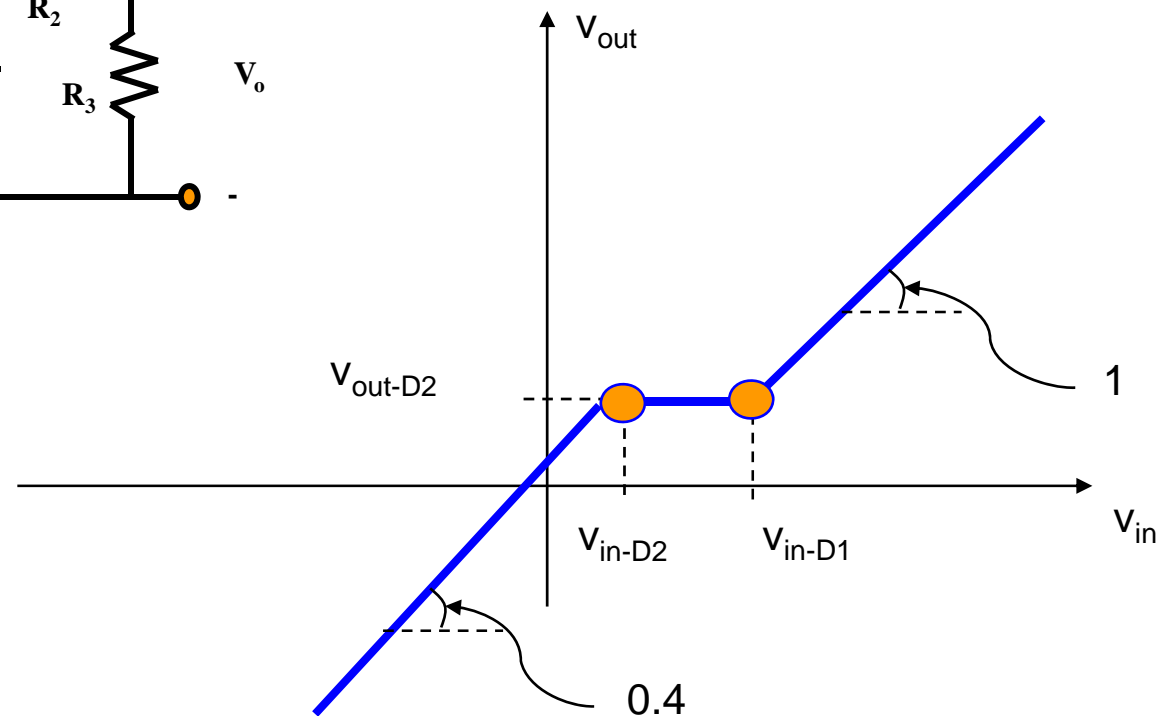
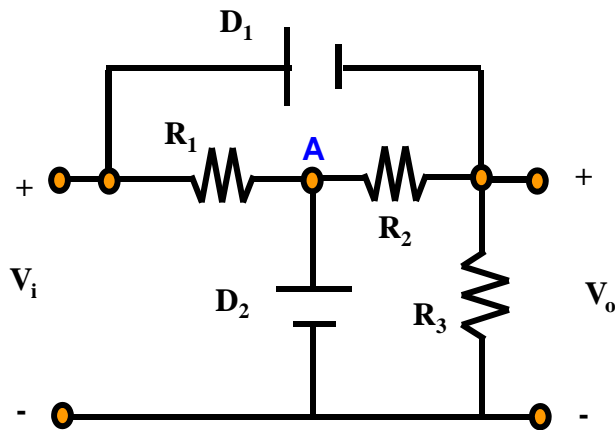
$$V_{in-D1} = V_\gamma + V_{out-D2} = 0.6V + 0.3V = 0.9V$$

**$V_{out} = V_{out-D2}$ finché non
scatta D_1 cioè finché
 $V_{in-D2} < V_{in} < V_{in-D1}$**



ESERCIZIO SUI DIODI

Per tensioni $V_i > V_{in-D1}$ entrambi i diodi sono in conduzione diretta e la tensione d'uscita vale $V_o = V_i - V_v$

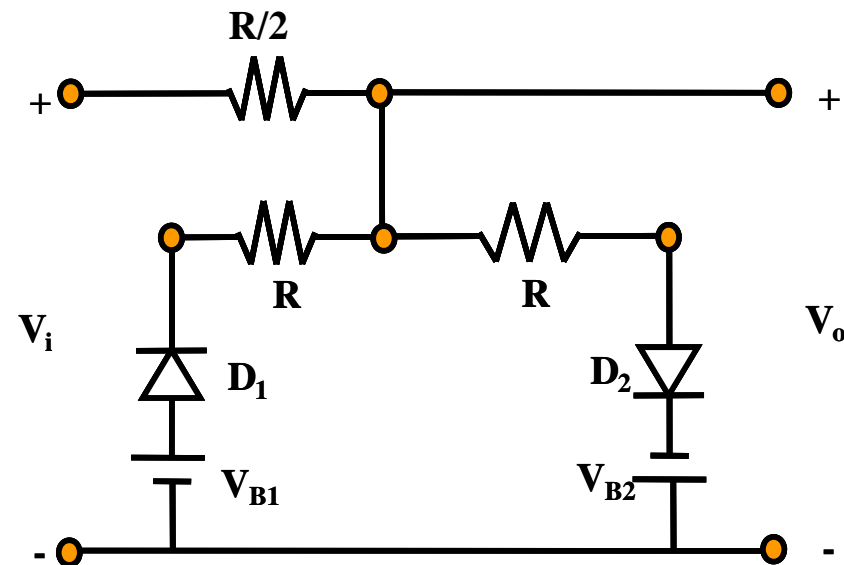


ESERCIZIO SUI DIODI

Dato il circuito di figura determinare l'andamento della tensione di uscita V_o al variare della tensione d'ingresso V_i e tracciarne il grafico.

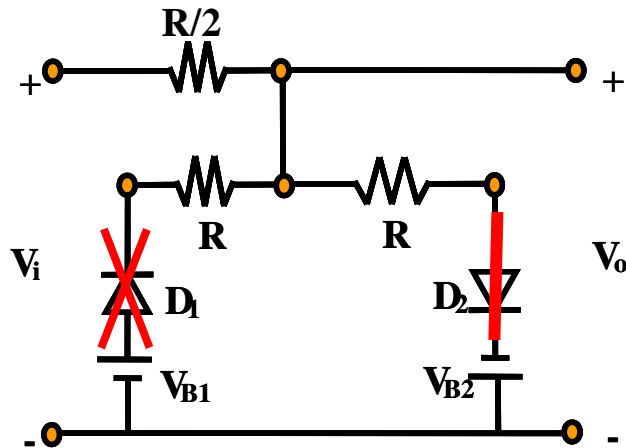
Dati:

- $V_{B1} = 5\text{ V}$
- $V_{B2} = 5\text{ V}$
- $R = 5\text{ k}\Omega$
- D_1 & D_2 diodi ideali
- $-15\text{ V} \leq V_i \leq 15\text{ V}$



ESERCIZIO SUI DIODI

In questo caso si può iniziare l'analisi del circuito per $V_i \gg 0$. Infatti per tale valore asintotico si può assumere che il diodo D1 è interdetto mentre il diodo D2 è in conduzione diretta. **Allora D1 aperto & D2 corto**



Scrivo l'equazione alla maglia:

$$V_i - \left(\frac{R}{2} + R \right) \cdot I + V_{B2} = 0 \quad I = \frac{V_i + V_{B2}}{\left(\frac{R}{2} + R \right)}$$

Sostituendo la relazione di I in quella di V_o si ottiene:

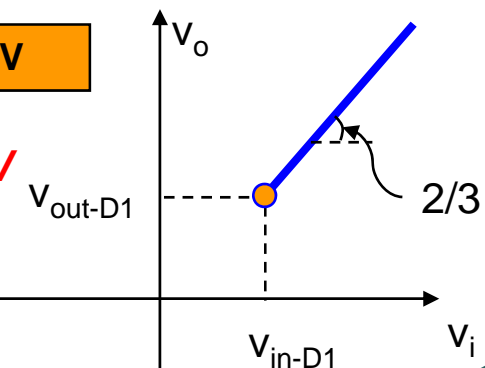
$$V_o = R \cdot I - V_{B2} = \Rightarrow V_o = \frac{2}{3} V_i - \frac{1}{3} V_{B2} = \frac{2}{3} V_i - \frac{5}{3}$$

Il primo diodo che scatta per $V_{in} > 0V$ è D1 che passa dallo stato OFF allo stato ON. Infatti, quando $V_{in} = 0V$ entrambi i diodi sono in conduzione, per cui D2 non può cambiare stato da ON a OFF per $V_{in} > 0V$.

$$V_{in-D1} = 10V \text{ \& \; } V_{out-D1} = 5V$$

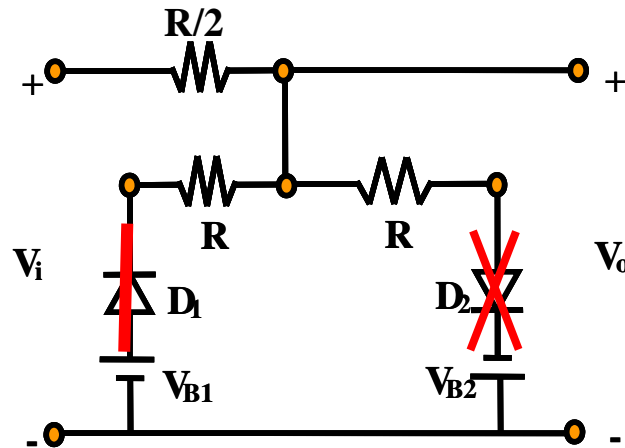
Il punto di scatto di D1 lo calcoliamo imponendo $V_o = V_{B1} = 5V$

$$V_o = \frac{2}{3} V_i - \frac{5}{3} = V_{B1} \Rightarrow V_i = \frac{3}{2} \left(V_{B1} + \frac{5}{3} \right) = 10V$$



ESERCIZIO SUI DIODI

Adesso analizziamo il circuito per $V_i \ll 0$. Per tale valore asintotico si può assumere che il diodo D2 (di cui dobbiamo calcolare il punto di scatto) è interdetto mentre il diodo D1 (che non cambierà più stato) è in conduzione diretta. **Allora D2 aperto & D1 corto**



Scrivo l'equazione alla maglia:

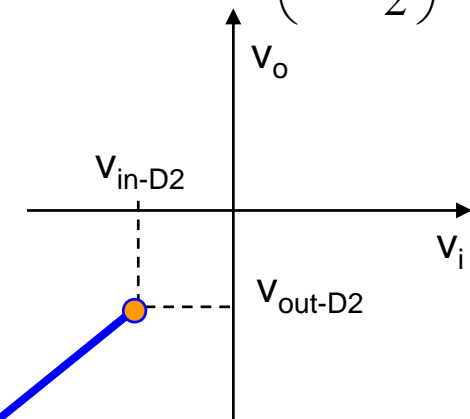
$$V_i - \left(R + \frac{R}{2} \right) \cdot I - V_{B1} = 0$$

$$I = \frac{V_i - V_{B1}}{\left(R + \frac{R}{2} \right)}$$

$$V_o = R \cdot I + V_{B2}$$

Sostituendo la relazione di I in quella di V_o si ottiene:

$$V_o = \frac{2}{3} V_i + \frac{1}{3} V_{B1} = \frac{2}{3} V_i + \frac{5}{3}$$



Il punto di scatto di D2 lo calcoliamo imponendo $V_o = -V_{B2} = -5V$

$$V_o = \frac{2}{3} V_i + \frac{5}{3} = -V_{B2} \quad \Rightarrow \quad V_i = \frac{3}{2} \left(-V_{B2} + \frac{5}{3} \right) = -10V$$

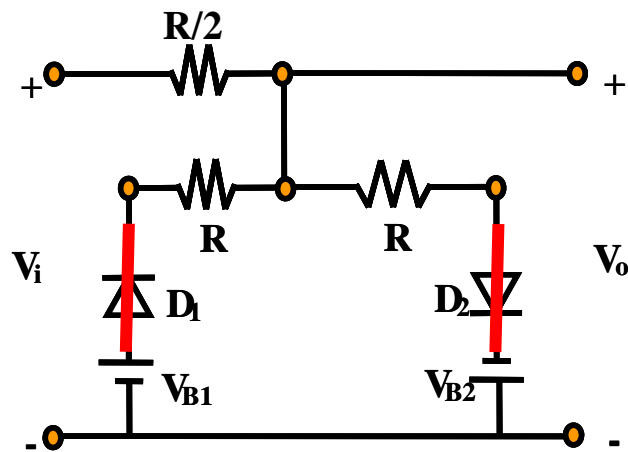
$$V_{in-D1} = -10V$$

&

$$V_{out-D1} = -5V$$

ESERCIZIO SUI DIODI

A questo punto, una volta individuati i punti di scatto dei due diodi presenti nel circuito, non ci rimane che unire, con un tratto di retta, i due punti di scatto, cioè risolvere il circuito per $V_{in-D2} < V_i < V_{in-D1}$

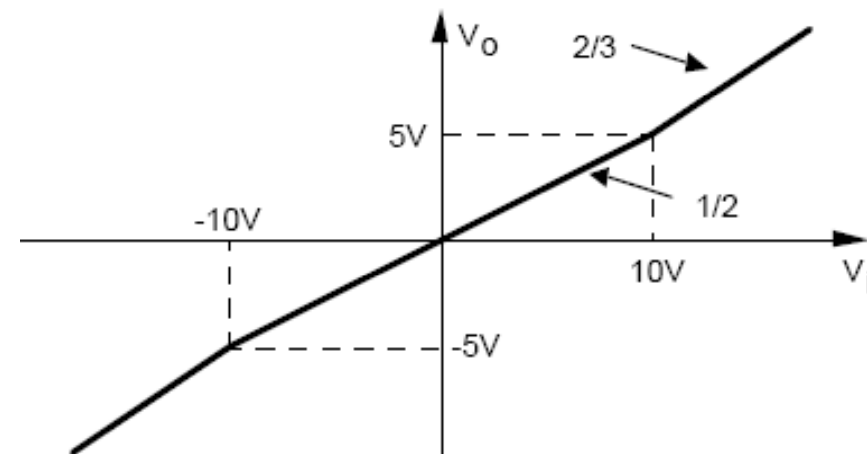


per detti valori di V_i i due diodi sono entrambi in conduzione diretta e:

**D2 OFF
D1 ON**

**D2 ON
D1 ON**

**D1 OFF
D2 ON**



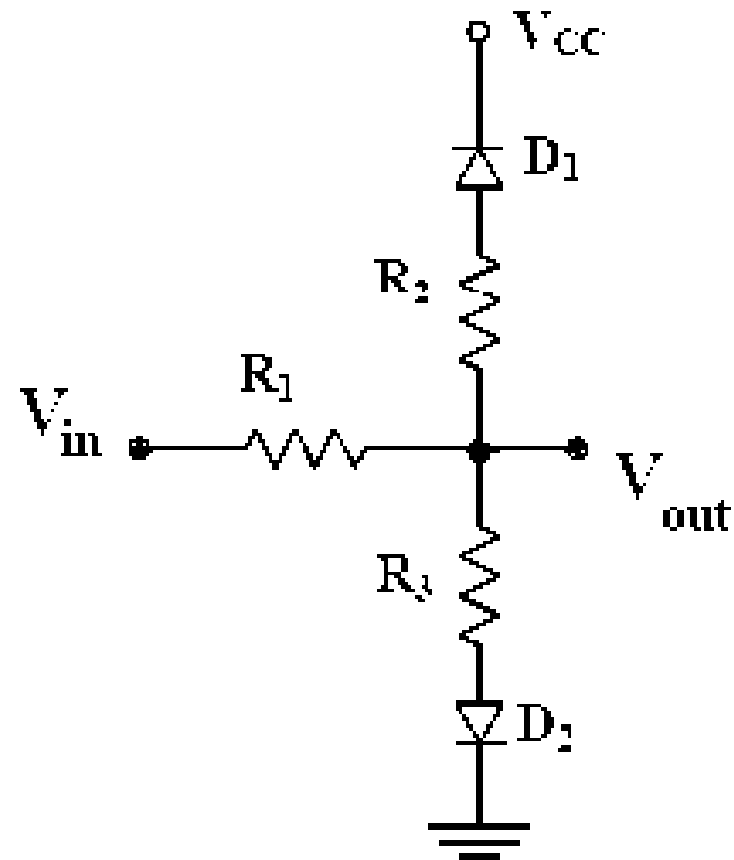
$$V_o = \frac{1}{2} V_i$$

ESERCIZIO SUI DIODI

Dato il circuito in figura determinare l'andamento della tensione di uscita V_{out} al variare della tensione d'ingresso V_{in} e tracciarne il grafico.

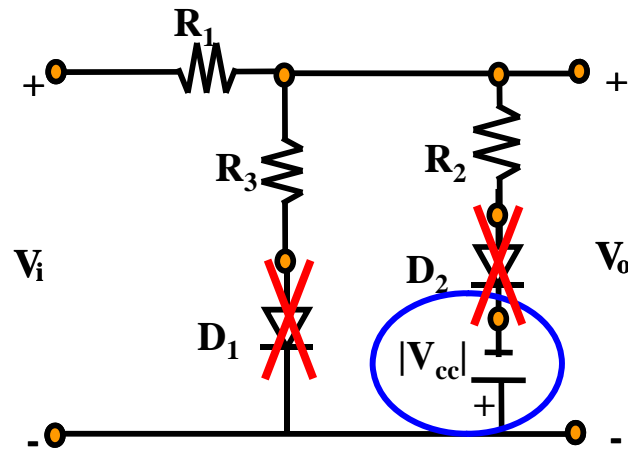
Dati:

- $V_{CC} = -5\text{ V}$
- $R_1 = R_2 = R_3 = 500\ \Omega$
- D_1 & D_2 diodi ideali
- $-15\text{ V} \leq V_{in} \leq 15\text{ V}$



ESERCIZIO SUI DIODI

Il circuito può essere ridisegnato come segue. Inoltre anche in questo caso si può iniziare l'analisi per $V_i < 0$. Assumendo **entrambi i diodi in aperto**.

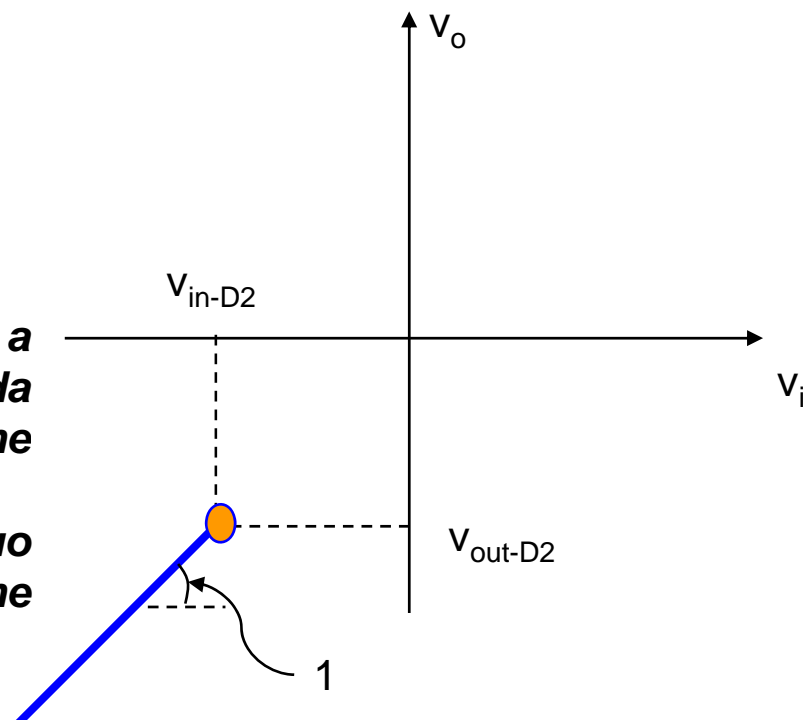


Se entrambi i diodi sono interdetti, allora non c'è circolo di corrente nel circuito e di conseguenza la tensione di uscita non può che essere uguale a quella d'ingresso.

$$V_o = V_i$$

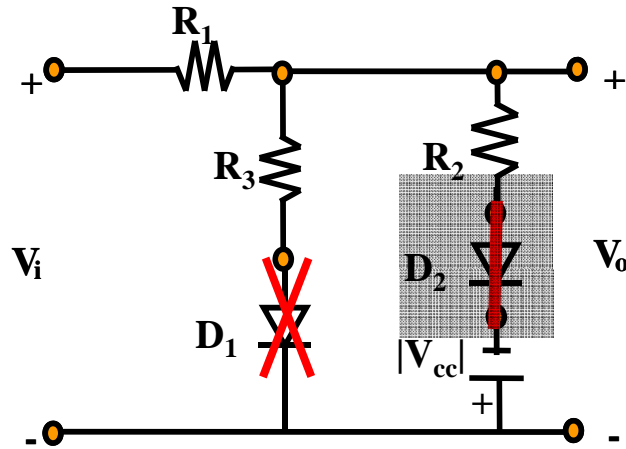
Questa condizione si mantiene fino a quando la tensione d'ingresso non è tale da far scattare il diodo D_2 in conduzione diretta.

Il primo diodo che scatta è D_2 perché al suo polo negativo è applicata una tensione inferiore allo zero.



ESERCIZIO SUI DIODI

Calcoliamo adesso il punto di scatto del diodo D_2 . Assumendo quindi che il diodo D_1 sia un circuito aperto e che nel ramo di D_2 non scorra corrente.



Il diodo D_2 scatta quando:

$$V_o = R_2 I - V_{cc} = -V_{cc}$$

Se il diodo D_2 scatta quando la tensione d'uscita V_o è pari a $-V_{cc}$ e dato che un'istante prima che il diodo scatti, la tensione d'uscita era uguale a quella d'ingresso, possiamo concludere che il diodo 2 scatta quando la tensione d'ingresso è pari a $-V_{cc}$.

$$V_{in-D2} = -V_{cc} = -5V$$

&

$$V_{out-D2} = -V_{cc} = -5V$$

Subito dopo che il diodo è scattato c'è circolo di corrente nelle resistenze R_1 ed R_2 e la tensione d'uscita aumenterà ad un rate pari a $R_2 I$

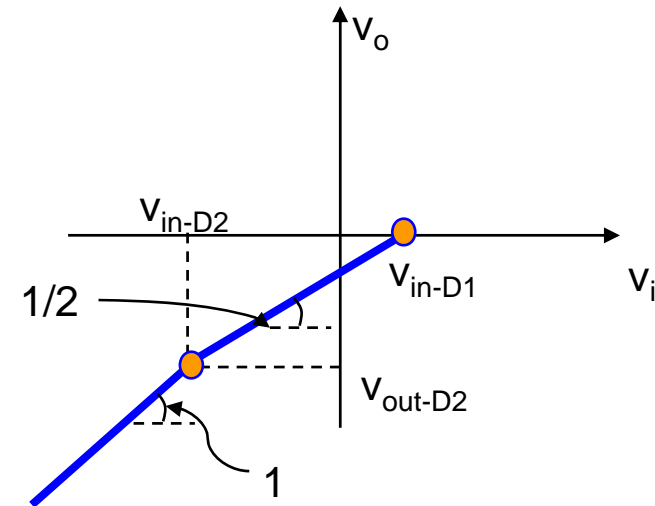
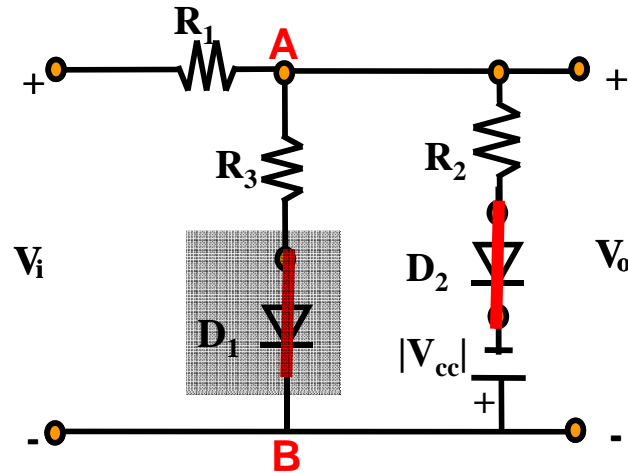
$$I = \frac{V_i + V_{cc}}{(R_1 + R_2)}$$



$$V_o = R_2 \left(\frac{V_i + V_{cc}}{(R_1 + R_2)} \right) - V_{cc} = \frac{1}{2} V_i - \frac{1}{2} V_{cc}$$

ESERCIZIO SUI DIODI

Questa condizione si mantiene fino a quando il diodo D_1 non scatta. Ma il ramo a cui appartiene D_1 è connesso in parallelo al ramo del diodo D_2 e di conseguenza la tensione tra il nodo A e B è pari alla tensione d'uscita.



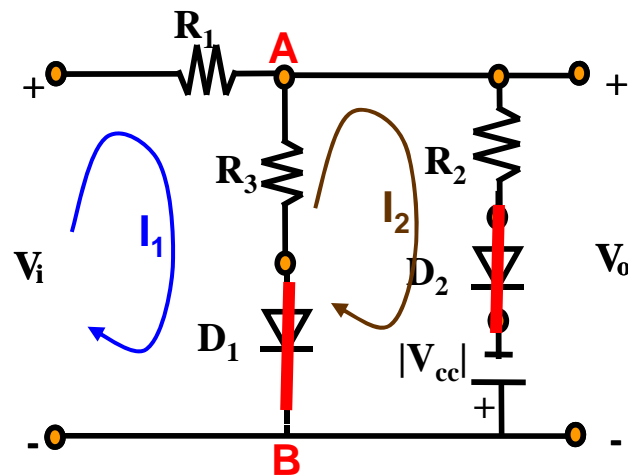
$$V_o = R_2 I_{R2} - V_{cc} = R_3 I_{R3} = 0 \quad \text{Quando } D1 \text{ scatta dallo stato OFF a quello ON}$$

$$V_o = 0 = R_2 \left(\frac{V_i + V_{cc}}{(R_1 + R_2)} \right) - V_{cc} = \frac{1}{2} V_i - \frac{1}{2} V_{cc} \quad \longrightarrow \quad V_i = V_{cc}$$

$$V_{in-D1} = V_{cc} = 5V \quad \& \quad V_{out-D1} = V_{AB} = 0V$$

ESERCIZIO SUI DIODI

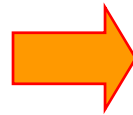
Per calcolare la pendenza della transcaratteristica, per tensioni d'ingresso maggiori di V_{in-D1} bisogna risolvere le equazioni alle maglie del circuito.



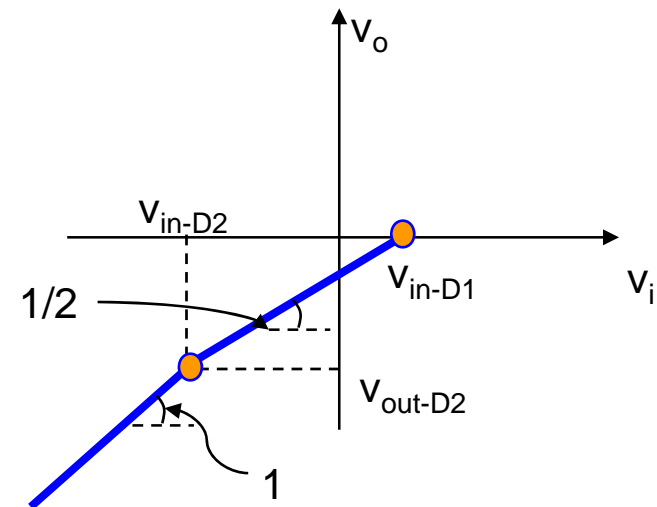
$$\begin{cases} V_i = R_1 I_1 + R_3 (I_1 - I_2) \\ V_{cc} = R_2 I_2 + R_3 (I_2 - I_1) \end{cases}$$



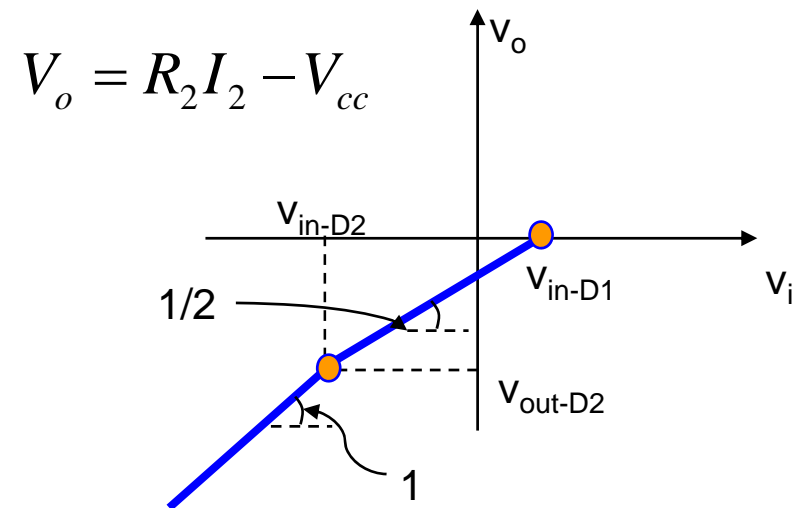
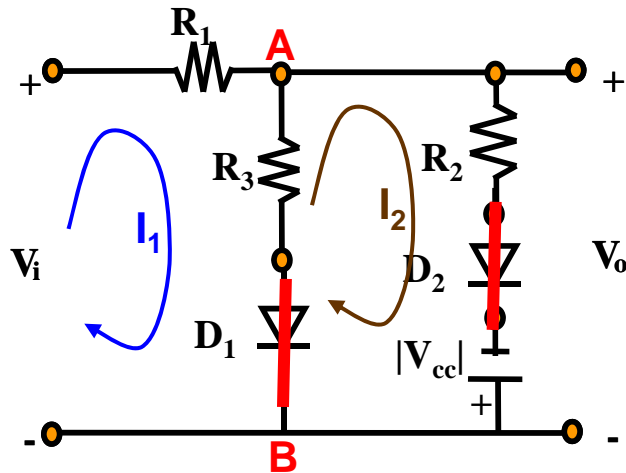
$$\begin{cases} V_i = (R_1 + R_3) I_1 - R_3 I_2 \\ V_{cc} = (R_2 + R_3) I_2 - R_3 I_1 \end{cases}$$



$$\begin{cases} I_1 = \frac{V_i + R_3 I_2}{(R_1 + R_3)} \\ V_{cc} = (R_2 + R_3) I_2 - R_3 \left(\frac{V_i + R_3 I_2}{(R_1 + R_3)} \right) \end{cases}$$



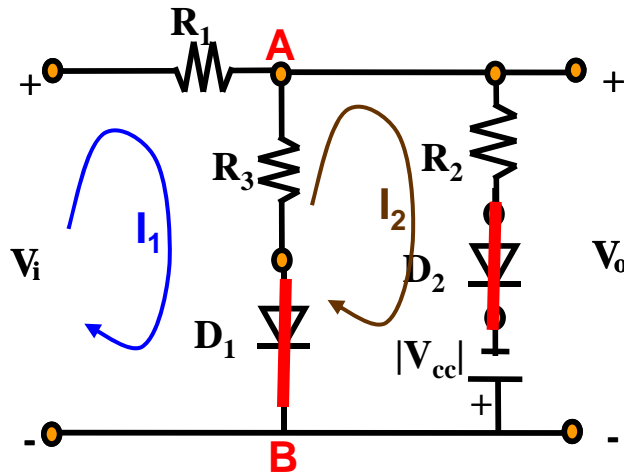
ESERCIZIO SUI DIODI



$$\begin{cases} I_1 = \dots \\ V_{cc} = (R_2 + R_3)I_2 - \frac{R_3 V_i}{(R_1 + R_3)} - \frac{R_3^2 I_2}{(R_1 + R_3)} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \dots \\ V_{cc} = \left((R_2 + R_3) - \frac{R_3^2}{(R_1 + R_3)} \right) I_2 - \frac{R_3 V_i}{(R_1 + R_3)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 = \dots \\ I_2 = \frac{V_{cc} + \frac{R_3 V_i}{(R_1 + R_3)}}{\left((R_2 + R_3) - \frac{R_3^2}{(R_1 + R_3)} \right)} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \dots \\ I_2 = \frac{V_{cc} + \frac{V_i}{2}}{\left(\frac{3}{4} \right)} \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 = \dots \\ I_2 = \frac{4}{3} V_{cc} + \frac{2}{3} V_i \end{cases}$$

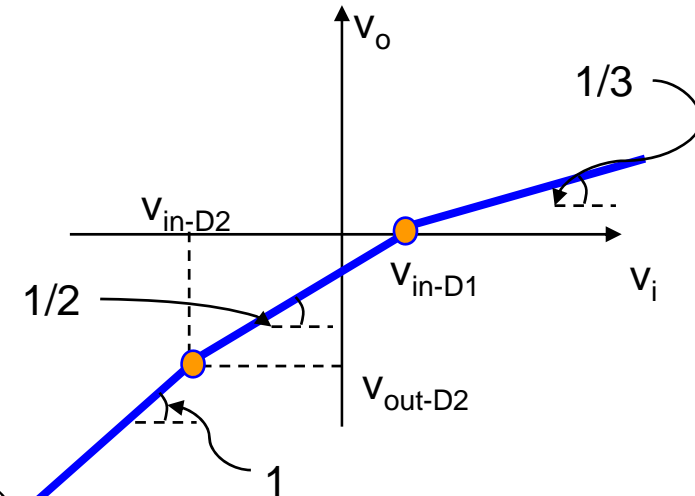
ESERCIZIO SUI DIODI



D1 OFF
D2 OFF

D1 OFF
D2 ON

D1 ON
D2 ON



$$\begin{cases} I_1 = \dots \\ I_2 = \frac{4}{3}V_{cc} + \frac{2}{3}V_i \end{cases} \Rightarrow V_o = R_2 \left(\frac{4}{3}V_{cc} + \frac{2}{3}V_i \right) - V_{cc}$$

$$V_o = -\frac{1}{3}V_{cc} + \frac{1}{3}V_i$$

$$V_o = \frac{1}{3}(V_i - V_{cc})$$

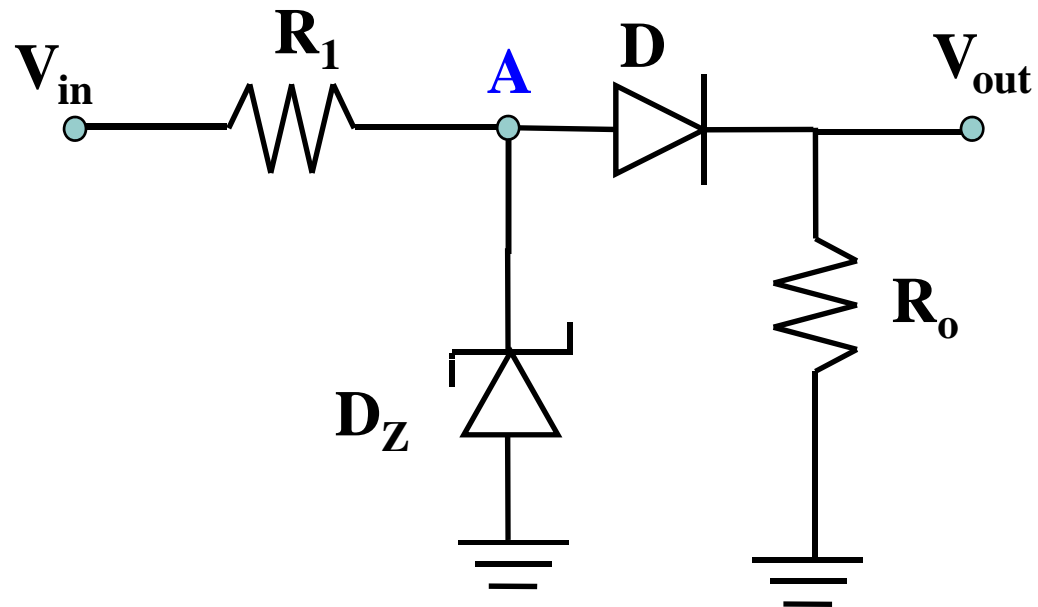
Per verificare che non sono stati commessi degli errori nello svolgimento del sistema basta sostituire, nell'espressione della tensione d'uscita, il valore della tensione d'ingresso (V_{in-D1}) per cui il diodo D_1 scatta e verificare che il valore che si ottiene sia pari a (V_{out-D1})

$$V_{in-D1} = V_{cc} = 5V \text{ \& } V_{out-D1} = V_{AB} = 0V$$

ESERCIZIO SUI DIODI

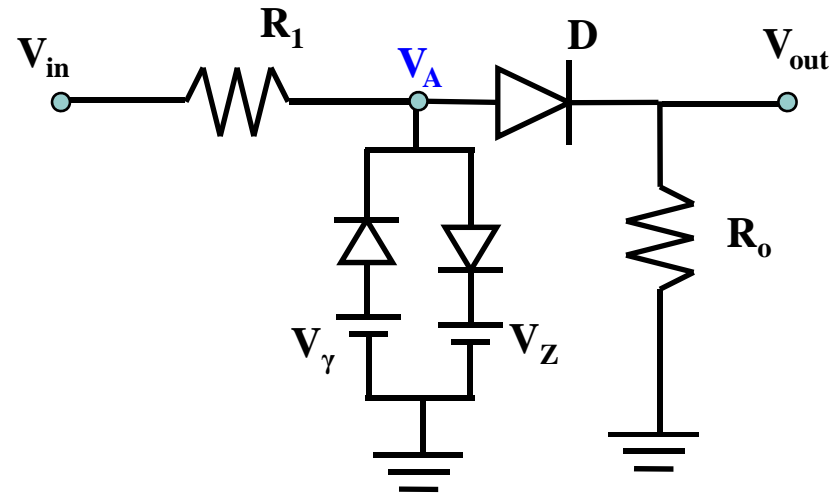
Dato il circuito di figura tracciare la transcaratteristica

- $V_v = 0.6V$
- $r_d = 0\Omega$
- $r_z = 0\Omega$
- $V_z = -6.1V$
- $R_1 = 1K\Omega$
- $R_0 = 2K\Omega$



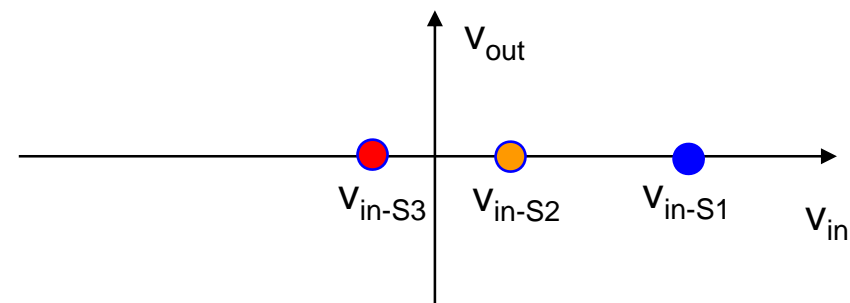
ESERCIZIO SUI DIODI

sostituiamo lo zener con il suo circuito equivalente e determiniamo i punti di scatto



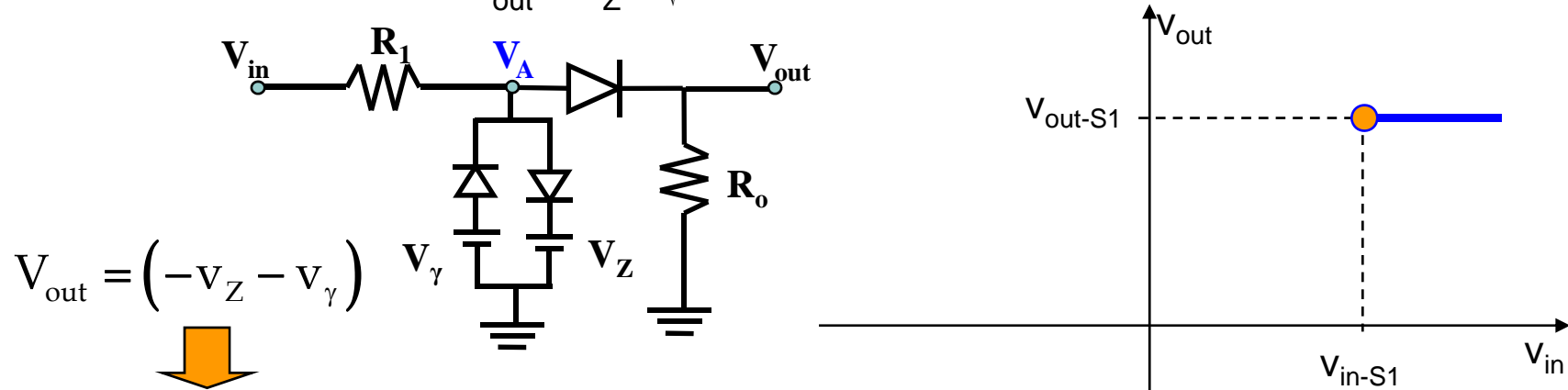
1. Sul diodo zener $V_{in} = -V_Z$ (pari a +6.1V) e $I_{DZ} = 0$ A (S1)
2. Sul diodo di uscita se $V_{in} = V_\gamma$ (pari a +0.6V) e $I_D = 0$ A (S2)
3. Sul diodo zener $V_{in} = -V_\gamma$ (pari a -0.6V) e $I_{DZ} = 0$ A (S3)

Rappresentazione dei punti di scatto dei diodi nel piano (V_{in} , V_{out})



ESERCIZIO SUI DIODI

Per $V_{in} \gg 0$ il diodo d'uscita è in conduzione diretta mentre lo zener è in conduzione inversa è $V_{out} = -V_Z - V_\gamma$



$$V_{out} = (-V_Z - V_\gamma)$$

valida fino a quando $V_{in} > V_{in-S1}$

come calcolo V_{in-S1} ???

Al punto di scatto si ha $I_{DZ} = 0A$ e quindi si può scrivere:

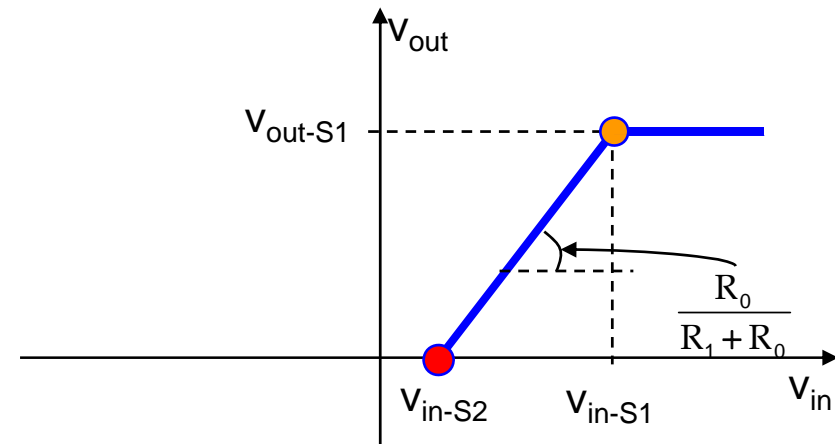
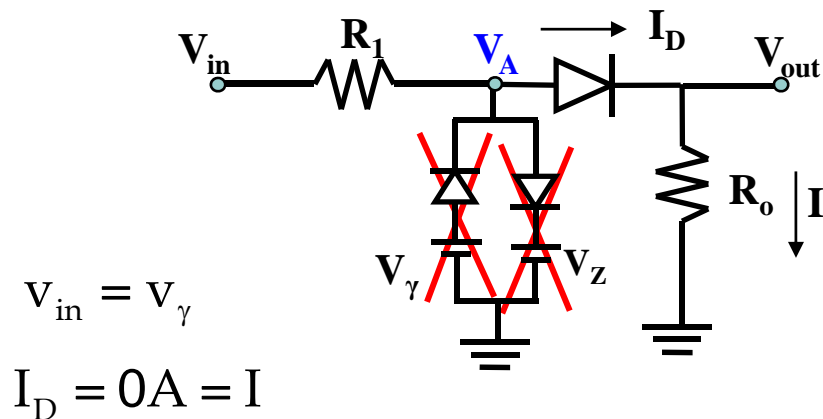
$$V_{in} - V_\gamma - R_1 I - R_0 I = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{in} = +V_\gamma + R_1 I + V_{out} \quad I = \frac{V_{in} - V_\gamma}{R_1 + R_0}$$

$$V_{out} = R_0 I = \frac{R_0}{R_1 + R_0} (V_{in} - V_\gamma) = -V_Z - V_\gamma = V_{out-S1} = 6.1 - 0.6 = 5.5V$$

$$V_{in} = -V_Z + V_\gamma \left(\frac{R_0}{R_1 + R_0} - 1 \right) / \frac{R_0}{R_1 + R_0} = -(-6.1) + 0.6 \left(-\frac{1}{3} \right) / \frac{2}{3} = V_{in-S1} = 8.85V$$

ESERCIZIO SUI DIODI

S2: (cioè per $V_{in}=V_v$) il diodo zener è interdetto mentre il diodo di uscita si interdice



$$V_{out} = 0V \quad V_{out-S2} = 0V \quad V_{in-S2} = V_\gamma$$

per $V_{in-S2} < V_{in} < V_{in-S1}$ il diodo zener è interdetto mentre il diodo di uscita è in conduzione diretta

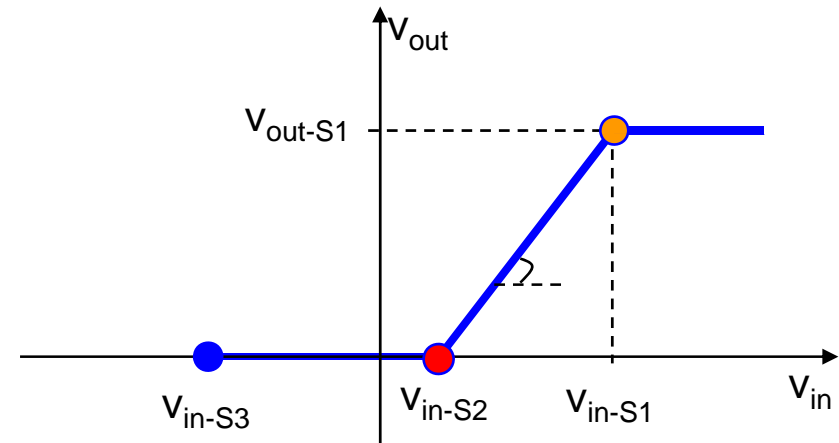
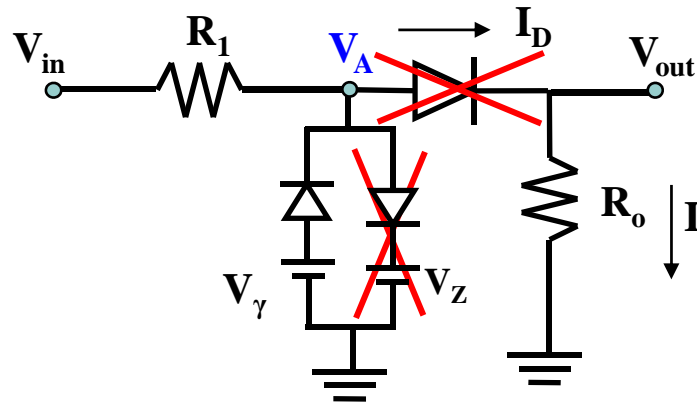
$$V_{in} - V_\gamma - R_1 I - R_0 I = 0 \quad \Rightarrow \quad I = \frac{V_{in} - V_\gamma}{R_1 + R_0}$$

$$V_{out} = R_0 I = \frac{R_0}{R_1 + R_0} (V_{in} - V_\gamma)$$

Dalla quale si può determinare la pendenza della retta!

ESERCIZIO SUI DIODI

S3: (cioè per $V_{in} = -V_\gamma$) il diodo zener scatta in pol. dir. mentre il diodo di uscita è interdetto



$$V_{in} = -V_\gamma \quad I_{DZ} = 0A = I$$

$$V_{out-S3} = 0V$$

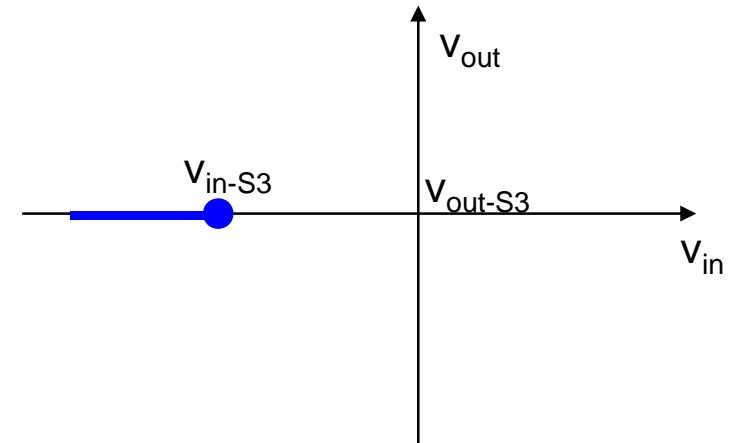
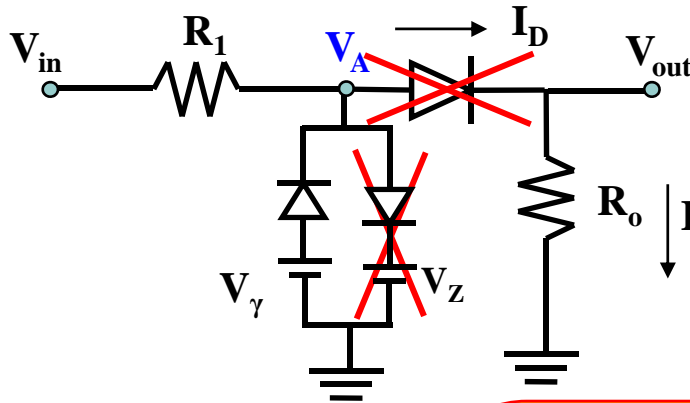
Perchè il diodo d'uscita è interdetto

$$V_{in-S3} = -V_\gamma$$

per $V_{in-S3} < V_{in} < V_{in-S2}$ tutte e due i diodi sono interdetti $I_{DZ} = 0A = I_D$

ESERCIZIO SUI DIODI

Per $V_{in} \ll 0$ lo zener è in conduzione diretta (la tensione ai suoi capi è $V_Z = V_\gamma$), e il diodo in uscita è interdetto



Transcaratteristica globale

