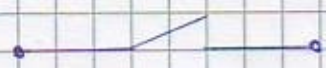
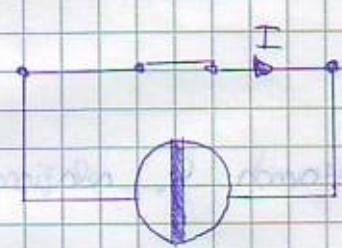


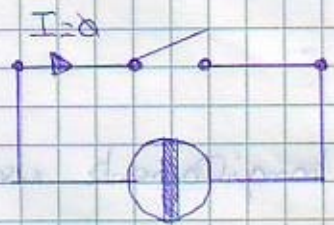
Analizziamo ora brevemente alcuni casi particolari che si possono incontrare nell'analisi di un circuito elettrico. Con il seguente simbolo circuitale rappresentiamo un **interuttore**.



Quando l'interuttore è alzato il circuito è **aperto** e quindi non circola corrente ($I=0$). Viceversa se l'interuttore è abbassato circola corrente nel circuito. Quindi:



CIRCUITO CHIUSO



CIRCUITO APERTO

Pericolo con cortocircuito si intende il caso in cui la resistenza tende ad essere nulla e la corrente tende ad essere massima. Il cortocircuito è molto pericoloso in quanto molti componenti elettronici non sono in grado di resistere a correnti così elevate. Per evitare a questo problema si usano i **fusibili** i quali sono dei dispositivi la cui parte conduttrice fonde per effetto joule in presenza di quelle correnti con valore maggiore della soglia prestabilita. Indichiamo con **corrente nominale** la corrente da cui si parte per il fusibile senza fondere. Oggi il fusibile è stato sostituito dall'**interuttore magnetotermico** il quale è in grado di interrompere il flusso di corrente in caso di un sovraccarico. Per essere più precisi tale interuttore è composto da due sezioni distinte in grado, una di gestire le fenomeni del cortocircuito e l'altra di gestire il sovraccarico. Il cortocircuito si ha quando due fili conduttori a differente potenziale vengono posti a contatto provocando un flusso di corrente di migliaia di Ampere. Il **sovraccarico** si ha quando l'intensità di corrente supera un certo valore di soglia. Fuso può essere provocato da troppi cavi accesi contemporaneamente. Esiste una linea fissa di protezione del circuito dal cortocircuito. Basta verificare che l'interuttore sia in grado di interrompere la corrente di corto circuito prima che essa provochi danni. Quindi deve essere soddisfatta la condizione seguente:

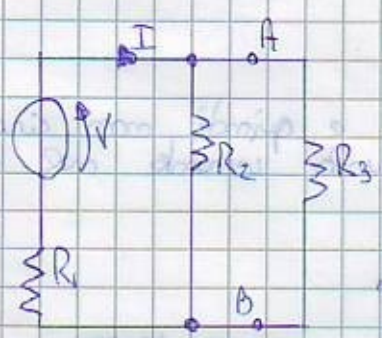
$$E_i \leq E_c$$

dove E_i è l'energia specifica rilasciata durante il corto circuito ed E_c è l'energia specifica sopportabile.

In precedenza si è già parlato dell'effetto joule e dello scambio di calore fra metallo e ambiente. Abbiamo visto che sostanzialmente i metalli diminuiscono la propria resistenza elettrica con la diminuzione della temperatura. In prossimità più dello zero assoluto appare una vera anomalia nel comportamento dei metalli. Alcuni infatti presentano una diminuzione della resistenza molto maggiore rispetto a quella prevista parlando così il materiale ad una conduttività estrema. Questo fenomeno si chiama **superconduttività**.

Analizziamo ora tutta una serie di fenomeni fondamentali in Elettrotecnica:

1) **Teorema di Thevenin**: consideriamo a titolo di esempio il seguente circuito:



PARITORE DI CORRENTE.

Tale circuito può essere tranquillamente risolto utilizzando le relazioni costitutive dell'elettrotecnica:

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad \text{e} \quad R_{eq} = R_1 + R_{eq1} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Poi: $I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \Rightarrow I_1 = V \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$

$$V_{AB} = R_{eq1} \cdot I_1 = V \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = V \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

La corrente su R_3 vale:

$$I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3} = V \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Si potrebbe però anche scrivere:

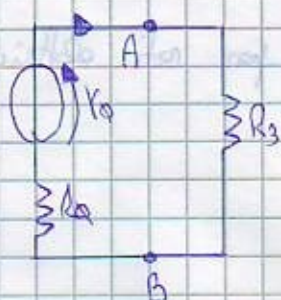
$$I_3 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} : \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \right)$$

Peraltro la corrente I_3 potrebbe essere fornita da un generatore che avesse una p.e.m. del tipo:

$$V_0 = V \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

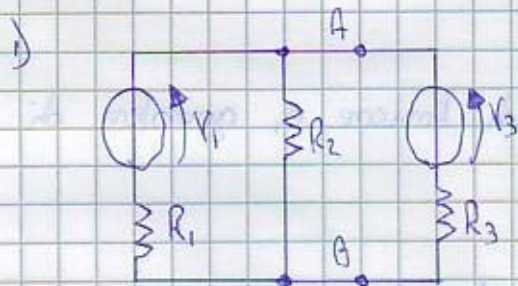
e resistenza interna: $R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

V_0 equivale alla tensione V_{AB} con resistenze staccate e R_0 equivale alla vista dall'utilizzatore dopo aver sostituito il generatore con un corto circuito. Quindi il Teorema di Thevenin afferma che una rete elettrica può essere sostituita tra due punti e molto spesso una schematica equivalente.



schema equivalente di Thévenin.

Per esempio:



$$\begin{aligned} V_1 &= 50V \\ V_3 &= 20V \\ R_1 &= 10\Omega \\ R_3 &= 20\Omega \\ R_2 &= 60\Omega \end{aligned}$$

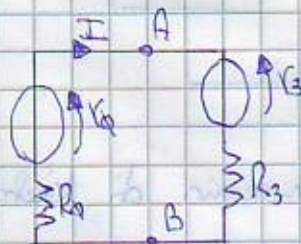
trovare l'equivalente di Thévenin.

Abbiamo:

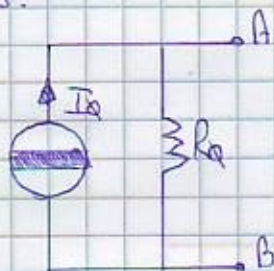
$$V_{AB} = V_{R_2} = V_1 - V_{R_1} = V_1 - R_1 \cdot I, \text{ ma: } I = V_1 / (R_1 + R_2) \Rightarrow V_{AB} = V_0 = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 30V$$

La resistenza interna è:

$$R_0 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 24\Omega$$



2) **Teorema di Norton** è il duale del teorema di Thévenin. Una rete elettrica può essere ridotta tra due punti e ridotta secondo uno schema equivalente del seguente tipo:



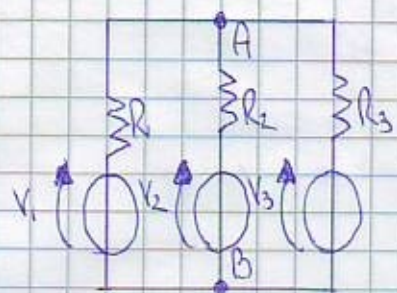
schema equivalente Norton.

Si avrà:

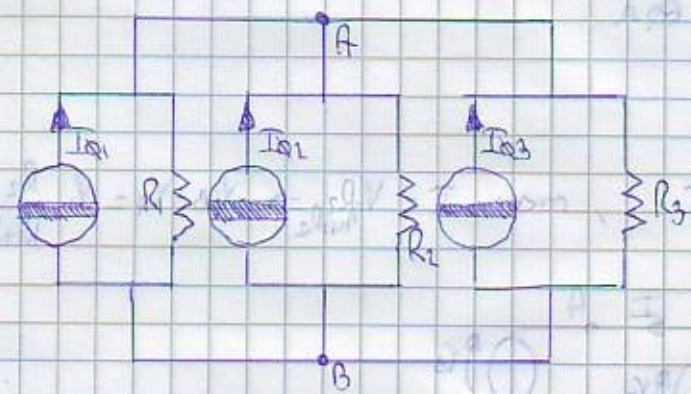
$$I_0 = V/R_1 \quad \text{e} \quad R_0 = R_1 // R_2$$

Si noti che $//$ è un simbolo usato per indicare che i due resistori sono in parallelo.

3) Teorema di Millman. Questo teorema va bene per reti elettriche con due nodi. Si consideri la seguente rete elettrica:



Se ora effettuiamo la conversione generatore di tensione o generatore di corrente per ogni ramo otteniamo:



$$I_q = V/R$$

Applicando il primo principio di Kirchhoff al nodo A otteniamo:

$$I_{q1} + I_{q2} + I_{q3} = 0 \Rightarrow G_1 V + G_2 V + G_3 V = I_{q1} + I_{q2} + I_{q3}$$

Ritornando:

$$V = \frac{I_{q1} + I_{q2} + I_{q3}}{G_1 + G_2 + G_3}$$

In generale:

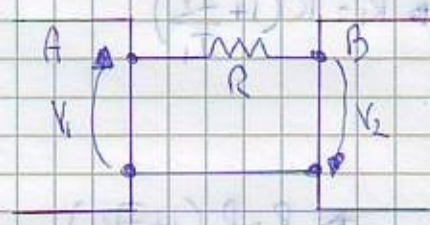
$$V = \frac{\sum I_q}{\sum G} \Rightarrow V = \frac{\sum (V/R)}{\sum (1/R)}$$

Si noti come abbiamo sfruttato il dualismo Theremin - Norton.

b) Teorema di Thevenin. In realtà i teoremi di Thevenin sono due e sono:

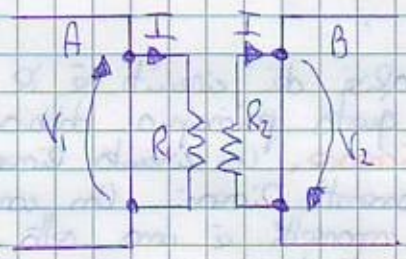
- 1) teorema di Thevenin sulle tensioni
- 2) teorema di Thevenin sulle correnti

Analizziamo il teorema di Thevenin sulle tensioni. Consideriamo il seguente caso di due circuiti più o meno complessi legati attraverso una resistenza in serie R .



È possibile considerare due blocchi funzionanti separatamente di cui rispettivamente sulle resistenze R_1 e R_2 .

Quindi si ha:



Dimostriamo formalmente queste due equivalenze:

$$V_1 + V_2 = R \cdot I \Rightarrow V_1 = R_1 I \text{ allora } R_1 I + R_2 I = R I \Rightarrow I(R_1 + R_2) = I R$$

Quindi:

$$\frac{V_1 + V_2}{V_1} = \frac{R}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{R}{1 + (V_2/V_1)}$$

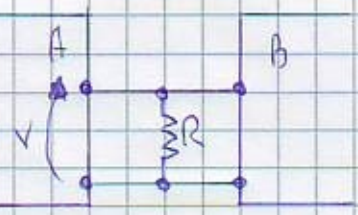
$$\downarrow$$

$$R = R_1 + R_2$$

Analogamente:

$$\frac{V_1 + V_2}{V_2} = \frac{R}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{R}{1 + (V_1/V_2)}$$

Il teorema di Thevenin sulle correnti invece afferma che se abbiamo una rete di questo tipo:



È possibile considerare i due blocchi funzionanti separatamente di cui rispettivamente sulle resistenze R_1 e R_2 .

Quindi:



Per dimostrare basta osservare che:

$$I_1 + I_2 = \frac{V}{R} \quad \text{con} \quad \begin{cases} I_1 = \frac{V}{R_1} \\ I_2 = \frac{V}{R_2} \end{cases}$$

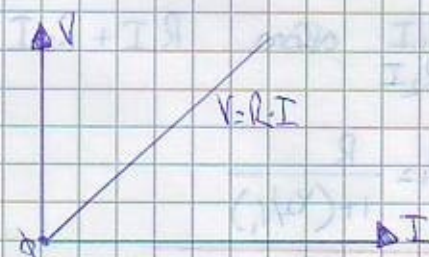
Sistema:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = \frac{V}{R} \\ I_1 = \frac{V}{R_1} \end{cases} \Rightarrow \frac{I_1 + I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R} \Rightarrow R_1 = R \left(1 + \frac{I_2}{I_1} \right)$$

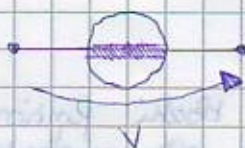
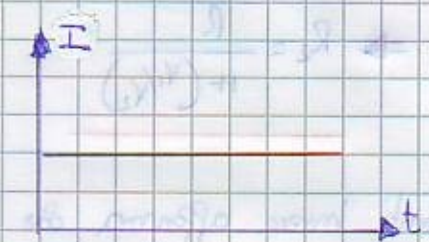
Analogamente:

$$\frac{I_1 + I_2}{I_2} = \frac{R_2}{R} \Rightarrow R_2 = R \left(1 + \frac{I_1}{I_2} \right)$$

Un principio invece molto utilizzato nell'analisi di circuiti è il **principio di sovrapposizione degli effetti**. Prima di spiegare questo principio dobbiamo definire il concetto di **rete elettrica (circuiti elettrici) lineare**. Un circuito lineare è tale se e soltanto se è composto soltanto da componenti lineari. Un componente si dice lineare quando la sua caratteristica ai morsetti è una retta. Il resistore, il generatore ideale di corrente, il generatore ideale di tensione, sono esempi di componenti lineari. Infatti:



Più è alta la resistenza, e più è pendente la retta.



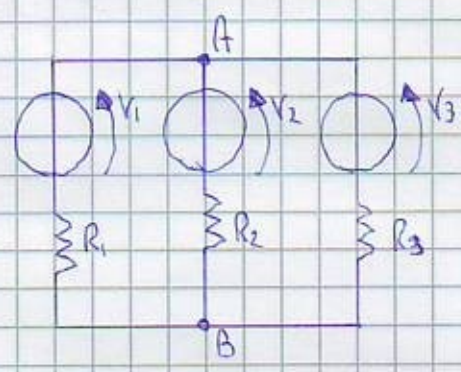
Un componente non lineare è il **diodo**. Il diodo è un componente particolare che permette il passaggio di corrente solo in un'unica direzione. Il simbolo circuito di un diodo è il seguente:



Come si può facilmente notare, il diodo è un bipolo passivo, un utilizzatore.

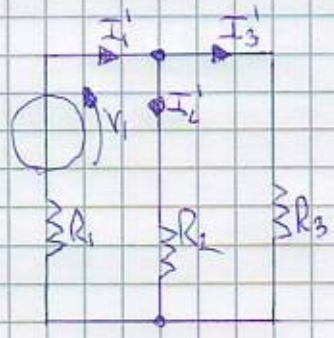
Questo componente è non lineare perché ha una caratteristica ai suoi morsetti che non è una retta. Quindi se in un circuito è presente almeno un diodo, allora il circuito stesso è non lineare. Il principio di sovrapposizione degli effetti si può applicare soltanto sui circuiti lineari e dice che se in un circuito sono presenti più elementi affini (generatori) l'effetto complessivo di essi è la somma degli effetti parziali singolarmente. Quindi si tratta di risolvere tanti circuiti altrettanti quanti sono gli elementi affini. Vediamo subito un esempio:

1)



- $V_1 = 100V$
- $V_2 = 80V$
- $V_3 = 60V$
- $R_1 = 20\Omega$
- $R_2 = 20\Omega$
- $R_3 = 10\Omega$

Iniziamo con il togliere i generatori V_1 e V_2 . Quando si toglie un generatore di tensione si sostituisce con una linea, mentre quando si toglie un generatore di corrente si sostituisce con un circuito aperto. Quindi si ha:

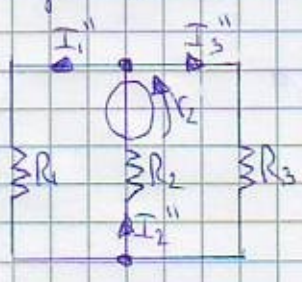


Quindi: $R_2 // R_3 \Rightarrow R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 13,3\Omega$

$R_T = R_1 + R_{23} = 33,3\Omega \Rightarrow I_1' = \frac{V_1}{R_T} = 3A$

$I_2' = 2A \Rightarrow I_3' = 1A$

Spegniamo poi V_1 e V_3 e abbiamo:



$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 13,3\Omega$

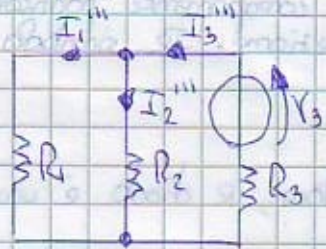
$\Rightarrow I_2'' = \frac{V_2}{R_T''} = 2,5A$

$R_T'' = R_2 + R_{13} = 33,3\Omega$

$I_1'' = 1,6A \Rightarrow I_3'' = 0,8A$

36

Immaginiamo spegniamo V_1 e V_2 e determiniamo:



$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 10 \Omega$$

$$R_T''' = R_3 + R_{12} = 50 \Omega$$

$$\Rightarrow I_3''' = \frac{V_3}{R_T'''} = 1,2 A$$

$$\begin{cases} I_1''' = 0,6 A \\ I_2''' = 0,6 A \end{cases}$$

Adesso sommiamo le correnti parziali e determiniamo:

$$I_1 = I_1' - I_1'' - I_1''' = 0,3 A$$

$$I_2 = I_2' - I_2'' + I_2''' = 0,2 A$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = 0,6 A$$

$$\begin{aligned} V_{oc1} &= V \\ V_{oc2} &= V \\ V_{oc3} &= V \\ R_{12} &= 10 \Omega \\ R_{12} &= 10 \Omega \\ R_{12} &= 10 \Omega \end{aligned}$$



$$I_1 = I_1' - I_1'' - I_1''' = 0,3 A$$

$$I_2 = I_2' - I_2'' + I_2''' = 0,2 A$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = 0,6 A$$



Adesso sommiamo le correnti parziali e determiniamo:

$$I_1 = I_1' - I_1'' - I_1''' = 0,3 A$$

$$I_2 = I_2' - I_2'' + I_2''' = 0,2 A$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = 0,6 A$$

