

Il problema del “carico”

- Si consideri un circuito composto (per il momento) da sole resistenze e generatori di tensione.
- Si immagini di aggiungere tra due punti A e B del circuito una resistenza R_c che chiameremo “carico”.
- Possiamo porci le seguenti domande:
 - Quanto vale la tensione tra i punti A e B dopo avere aggiunto il carico?
 - Quanto vale la corrente che scorre nel carico?
 - Quanto vale la potenza assorbita dal carico?
- La risposta alla prima domanda consente di rispondere immediatamente alle altre due: infatti si ha:

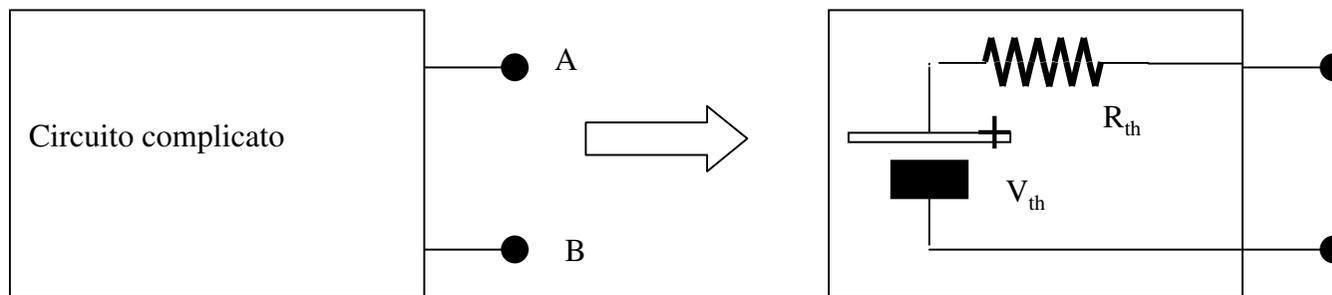
$$I = \frac{V_{AB}}{R_c}, \quad W = \frac{V_{AB}^2}{R_c}$$

Quando si presenta?

- Il problema proposto si presenta quando bisogna collegare assieme due apparecchiature: ad esempio, quando si collega una lampadina ad un generatore, o un altoparlante ad un amplificatore, o un tester a due punti di un circuito, etc, etc.
- In generale, abbiamo un apparecchio che fornisce energia, corrente, o tensione ad un secondo: il collegamento si effettua ponendo in contatto una coppia di fili che esce dal primo (uscita) con un'altra coppia che entra nel secondo (ingresso).
- In linea di principio, il problema sarebbe estremamente complicato se non ci venisse in soccorso il teorema di Thevenin.

Il teorema di Thevenin

- Si consideri un circuito complicato, formato però esclusivamente da resistenze e generatori di tensione.
- Si scelgano due punti del circuito, A e B: si immagini di chiudere il circuito in una scatola da cui escono solamente due fili, collegati rispettivamente ai punti prescelti.
- Il teorema di Thevenin dice che in questi casi sussiste l'equivalenza:



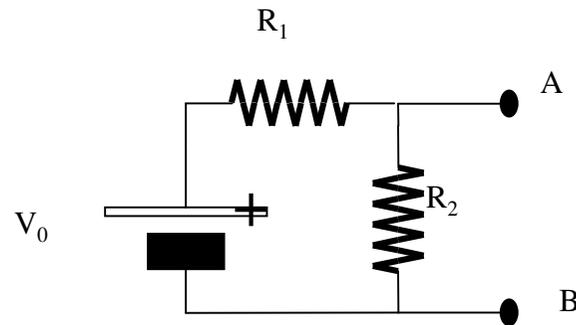
- Ovvero il circuito è assolutamente equivalente a (e quindi assolutamente indistinguibile da) un circuito composto da un generatore di tensione ideale e da una resistenza in serie ad esso.

Calcolo dei parametri V_{th} , R_{th}

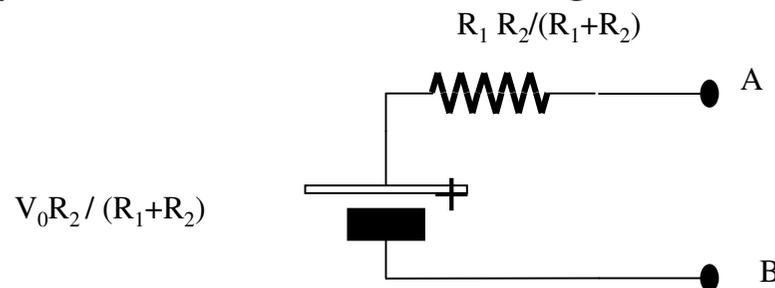
- I parametri dell'equivalente di Thevenin di un circuito complesso sono calcolabili se e solo se il circuito è conosciuto in dettaglio.
- In questo caso:
 - Il valore di V_{th} è uguale alla differenza di potenziale tra i punti A e B
 - Il valore di R_{th} si ottiene sostituendo, nello schema del circuito, tutti i generatori di tensione con dei cortocircuiti e calcolando la resistenza tra i punti A e B nel circuito così ottenuto.
- Nella maggior parte dei casi, non è possibile accedere direttamente al circuito. In questi casi è però possibile misurare direttamente i parametri in oggetto.

Esempio

- Ad esempio si consideri il circuito in figura:



- La tensione a vuoto tra i punti A e B è data dalla formula del partitore, mentre sostituendo il generatore con un cortocircuito le resistenze R_1 ed R_2 vengono viste dai punti A e B in parallelo. Il circuito di Thevenin equivalente è allora il seguente:



Misura dei parametri V_{th} ed R_{th}

- Se non si conosce lo schema del circuito, è comunque possibile misurare i valori di V_{th} ed R_{th} .
 - Per misurare V_{th} , basta collegare un voltmetro tra i punti A e B. La resistenza del voltmetro deve essere però più grande di R_{th} , per non turbare la misura.
 - Per misurare R_{th} , basterebbe in teoria collegare un amperometro direttamente ai punti A e B: la resistenza R_{th} è data dal rapporto tra V_{th} ed il risultato di quest'ultima misura.

La misura di R_{th} in realtà

- In pratica, non è consigliabile collegare un amperometro direttamente all'uscita di un circuito, per evitare sovraccarichi. Si preferisce allora misurare R_{th} collegando tra i punti A e B una resistenza di valore noto, e misurando di quanto diminuisce la tensione tra i punti A e B.

$$V = V_{th} \frac{R}{R + R_{th}} \rightarrow R_{th} = R \left(\frac{V_{th} - V}{V} \right)$$

- Si verifica come la massima sensibilità si ha quando V si dimezza rispetto al valore a vuoto, ovvero quando $R=R_{th}$.

Impedenza di ingresso e di uscita

- L'importanza del teorema di Thevenin sta nel fatto che la maggior parte dei circuiti elettrici complessi, anche se al loro interno contengono componenti diversi dalle sole resistenze e generatori di tensione, si può approssimare nella zona di lavoro con lo schema di Thevenin.
- Gli ingressi di solito quando sono staccati non hanno una differenza di potenziale propria: gli apparecchi utilizzatori quindi equivalgono ad una sola resistenza, detta appunto resistenza di carico..
- Riferendosi alle resistenze di Thevenin, si parla allora di resistenza di ingresso e resistenza di uscita di un circuito.
- Spesso, invece della parola resistenza, si adopera il termine impedenza, che è più generale e che definiremo in seguito.

Esempio: il generatore di tensione reale

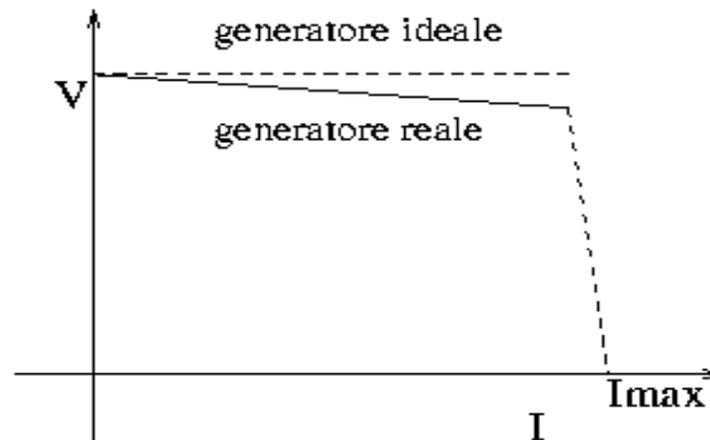
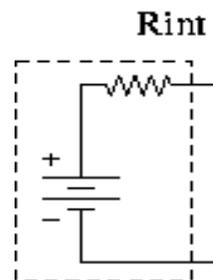
- Il generatore di tensione ideale è in grado di mantenere costante la d.d.p. tra i suoi estremi indipendentemente dalla corrente fornita. Il generatore reale possiede invece una resistenza interna che fa sì che la tensione fornita diminuisca all'aumentare della corrente:

$$V = V_0 - R_{\text{int}} I$$

- Nelle batterie, il modello è valido sempre: la scarica di una batteria si può allora modellare come un aumento della resistenza interna in funzione del tempo.

Alimentatori

- Negli alimentatori, come quello adoperato in laboratorio, esiste una corrente massima che il generatore è in grado di fornire.
- Alcuni sono protetti automaticamente dai cortocircuiti, per cui appena viene raggiunta la corrente massima la tensione in uscita scende rapidamente a zero.
- Altri, sono protetti tramite un fusibile, un filo di stagno sottilissimo che in caso di corrente elevata fonde interrompendo il circuito.

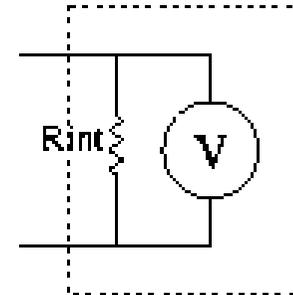
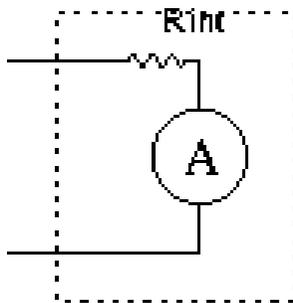


Amperometri

- Un amperometro ideale deve avere resistenza nulla per non turbare il circuito.
- Un amperometro reale avrà invece una sua resistenza interna, che dev'essere la più piccola possibile.
- La resistenza interna decresce al crescere della scala di lettura: se si ha il dubbio che una misura di corrente possa essere turbata da effetti dovuti alla resistenza interna, si può provare a cambiare scala di lettura per vedere cosa succede.
- In un amperometro analogico la resistenza interna è dell'ordine di qualche centinaio di Ω : nei nostri, ad esempio, è circa $0.1\Omega/A_{fs}$:per un fondo scala da 100 mA quindi è esattamente di 1 Ω , ma è di 2k Ω per il fondo scala da 50 μA

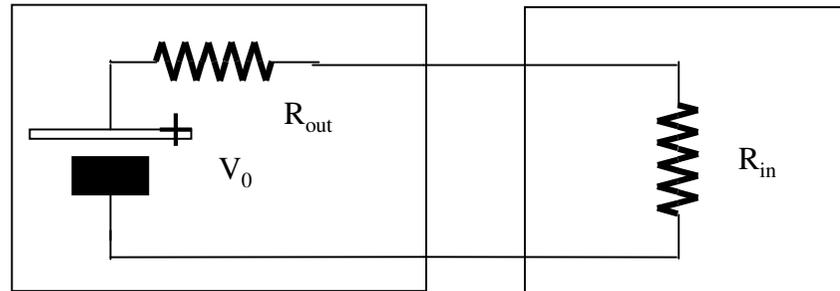
Voltmetri

- In un voltmetro ideale la resistenza interna deve essere infinita.
- In un voltmetro reale, la resistenza deve essere la più grande possibile.
- Un voltmetro digitale ha una resistenza interna che va da $1\text{M}\Omega$ a $10\text{M}\Omega$.
- Un voltmetro analogico ha una resistenza interna di qualche decina o centinaia di $\text{k}\Omega$, che varia col fondo scala: stavolta, un fondo scala alto ha un'alta resistenza..
- Nei tester di laboratorio, la resistenza è di $20\text{k}\Omega * V_{fs}$: vale quindi $20\text{k}\Omega$ nel fondo scala di 1 V e $200\text{k}\Omega$ in quello da 10V



Adattare l'impedenza

- Si supponga di collegare un ingresso con una uscita.



- la tensione ai capi dell'utilizzatore è
$$V_{in} = \frac{R_{in}}{R_{out} + R_{in}} V_0$$
- la corrente che vi scorre è
$$I_{in} = \frac{V_0}{R_{in} + R_{out}}$$
- per massimizzare la tensione, la resistenza di ingresso deve essere molto maggiore della resistenza di uscita
- per massimizzare la corrente, la resistenza di ingresso deve essere molto minore della resistenza di uscita

Potenza assorbita

- La potenza assorbita dal carico è:
$$W_{out} = R_{in} I_{in}^2 = \frac{R_{in} V_0^2}{(R_{in} + R_{out})^2}$$
- E' massima quando $R_{in} = R_{out}$ e in tal caso vale
$$W_{max} = \frac{V_0^2}{4R_{out}}$$
- Quindi per trasferire al carico la massima potenza, la resistenza di ingresso deve essere uguale a quella di uscita.
- In queste condizioni, però, sulla resistenza interna viene dissipata una quantità di energia pari a quella erogata: il trasferimento ha una efficienza del 50%.