

Fondamenti

Mc128k

2015-09-01

Elementi fondamentali

Definizione di tensione e corrente, leggi di Ohm, bipoli, generatori ideali e reali, leggi di Kirchhoff, potenza, serie e parallelo, strumenti di misura

Indice

1	Tensione e corrente	3
2	Leggi di Ohm	3
2.1	Prima legge di Ohm	4
2.2	Seconda legge di Ohm	5
3	Componenti elementari	5
3.1	Interruttore	5
3.2	Generatore ideale di tensione (GIV)	6
3.3	Generatore ideale di corrente (GII)	7
3.4	Resistenza e conduttanza	7
3.5	Collegamento equipotenziale	8
4	Circuiti elementari	8
4.1	Maglie	8
4.2	Generatore e utilizzatore	9
5	Leggi di Kirchhoff	9
5.1	Prima legge	9
5.2	Seconda legge	10
6	Potenza elettrica e termica	10

7	Bipoli in serie	12
7.1	Resistenze	12
7.2	GIV	13
7.3	GII	13
8	Bipoli in parallelo	14
8.1	Resistenze	14
8.2	GII	15
8.3	GIV	15
9	Generatori reali	16
9.1	Generatori reali di tensione (GRV)	16
9.2	Generatori reali di corrente (GRI)	17
9.3	GRI e GRV	18
9.4	GRV in serie	19
9.5	GRI in serie	20
10	Generatori pilotati	21
11	Strumenti di misura	21
11.1	Voltmetro	21
11.2	Amperometro	22
11.3	Ohmetro	22
11.4	Wattmetro	23

1 Tensione e corrente

Le **grandezze fisiche** che verranno prese in esame sono le seguenti:

Differenza di potenziale	E	[v]olt
Corrente	I	[A]mpère
Carica elettrica	Q	[C _o]oulomb

Definizione 1.1. Una **carica elettrica** consiste in una particella dotata di proprietà intrinseche del materiale, che può avere un eccesso o una carenza di elettroni.

Definizione 1.2. La **corrente elettrica** consiste in un flusso di cariche elettriche attraverso un materiale; gli elettroni possono essere più o meno liberi di muoversi a seconda del tipo e delle condizioni ambientali.

Per convenzione la corrente si indica che va (come direzione) **dal polo positivo al polo negativo**, anche se si potrebbe dire il contrario, dato che sono gli elettroni a muoversi. Di fatto si può vedere come il movimento di "buchi" lasciati dagli elettroni, quindi cariche positive, che si "muovono" in senso opposto rispetto alle cariche negative. Alla fine dei conti "positivo" e "negativo" sono solo una convenzione per distinguere i poli.

Per creare una corrente attraverso un materiale, bisogna sottoporlo ad una **differenza di potenziale**. Una corrente di 1 Ampère è equivalente all'attraversamento di $1C_o/s$.

$$1A = 1 \frac{C_o}{s}$$

Per capire il funzionamento di un semplice circuito elettrico si può fare una analogia con il mondo dell'idraulica, quindi la differenza di tensione si può vedere come una **pressione**, mentre la corrente come il **flusso nel tubo**.

In un circuito la tensione può essere indicata in due modi (fig.1), come la tensione tra due punti *A* e *B* oppure la tensione su un punto riferita ad una massa comune.

2 Leggi di Ohm

Una resistenza impedisce il passaggio degli elettroni, secondo la legge di Ohm esiste una relazione lineare tra resistenza, corrente e tensione. Nella figura 2 è possibile

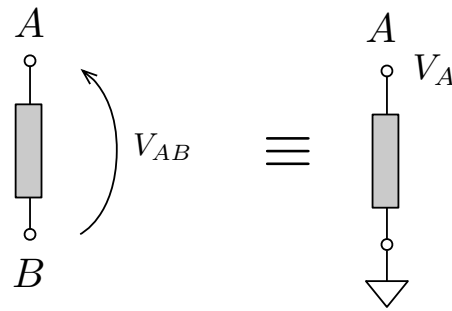


Figura 1: Massa relativa

notare come la corrente cambia linearmente al variare della tensione, mantenendo la resistenza fissa.

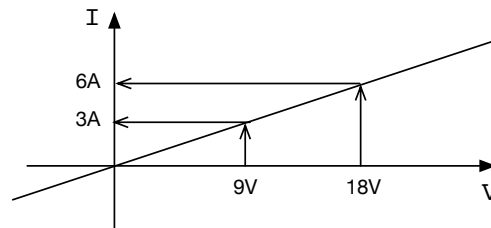


Figura 2: Relazione tra tensione e corrente

Essendo una relazione lineare vale il **principio di sovrapposizione degli effetti**, che risulta in grado di semplificare notevolmente i calcoli. Spesso si fa in modo di approssimare funzioni complesse in funzioni lineari per ridurre il lavoro necessario per risolvere un problema.

$$\begin{cases} y(x_1) = y_1 \\ y(x_2) = y_2 \end{cases} \implies y(x_1 + x_2) = y_1 + y_2$$

2.1 Prima legge di Ohm

La corrente è direttamente proporzionale alla tensione e inversamente proporzionale alla resistenza. Quindi più si alza la resistenza più diminuisce la corrente. La prima legge di ohm stabilisce la relazione lineare tra corrente e tensione.

$$I = \frac{V}{R}$$

2.2 Seconda legge di Ohm

Dato un materiale di lunghezza l e con sezione s , considerato un coefficiente di resistività ρ , la resistenza si ricava attraverso la formula:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s}$$

La legge si applica ai cavi utilizzati per trasportare corrente elettrica, ogni cavo impone una resistenza (seppur piccola) nel circuito.

3 Componenti elementari

I componenti presi in considerazione in un circuito elettrico consistono in parti con uno o più terminali di connessione, e sono detti **bipoli** elettrici se ne presentano due, tripoli se ne presentano tre e così via.



Figura 3: Bipolo elettrico

Un esempio di bipolo può essere una resistenza (o resistore), componente che ha lo scopo di impedire parzialmente il flusso di corrente.

3.1 Interruttore

Un componente in grado di aprire o chiudere un circuito in un determinato punto. Viene indicato con la lettera S , e se indicato nel disegno con una freccia e un tempo (fig.4) vuol dire che viene chiuso nel tempo T_1 . Osservazione: un circuito chiuso fa passare la corrente, un circuito aperto la interrompe.

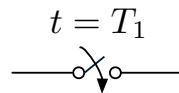


Figura 4: Interruttore

Aggiungendo ulteriori uscite, si può definire un altro componente detto **deviatore**, che permette di chiudere il circuito con un ramo oppure con un altro.

3.2 Generatore ideale di tensione (GIV)

Un generatore ha lo scopo di creare una differenza di potenziale costante in un circuito. La erogazione di corrente può essere variabile, ma *la tensione deve rimanere sempre uguale*. Con la analogia idraulica, un generatore di tensione si può pensare come una **turbina**, che quindi impone una certa **pressione** ma può far passare una corrente anche nel verso contrario. Esercita una pressione, ma non obbliga il flusso di corrente.

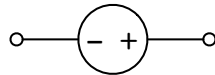


Figura 5: Generatore di tensione

I poli indicano la direzione in cui scorre la corrente. Per convenzione, il **flusso di corrente** (non di elettroni) scorre *dal polo positivo al negativo*, mentre gli elettroni vengono emessi dal polo negativo e arrivano al positivo. Si può pensare la corrente come il flusso di cariche positive. Il verso della corrente è quindi contrario al verso del flusso di elettroni.

Inoltre va considerato il caso in cui la tensione E venga fornita come un numero negativo; normalmente se si ha una tensione $E > 0$ allora vuol dire che prendendo un multimetro e attaccando la sonda positiva al polo positivo e l'altra al negativo si misura una tensione positiva, ma se la tensione fornita è negativa, allora i poli vengono invertiti, ed effettivamente il polo positivo agisce da negativo e viceversa. Questo non va a cambiare la notazione dell'elemento, che rimane con i simboli nello stesso posto, semplicemente per misurare una tensione positiva bisogna scambiare le sonde del multimetro rispetto a prima.

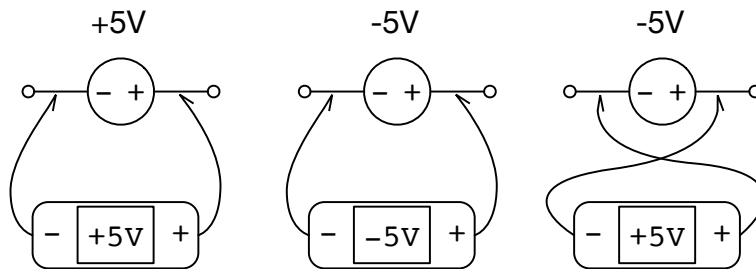


Figura 6: Misurazioni con tensioni negative

3.3 Generatore ideale di corrente (GII)

Un componente che fa in modo di mantenere costante la corrente in uscita. Bisogna tenere conto che questo, come il generatore di tensione, è un componente ideale e non ohmico, quindi non si applica la legge di Ohm (che darebbe valori assurdi comunque).

Sempre ricorrendo alla analogia idraulica, un generatore di corrente si può vedere come un **compressore**, che impone il flusso di una determinata quantità di corrente in un certo tempo, fregandosene del resto.

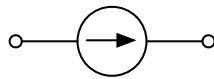


Figura 7: Generatore di corrente

3.4 Resistenza e conduttanza

Una resistenza è un componente che limita il flusso di corrente. A livello molecolare viene creata da un reticolo che impedisce parzialmente il flusso di elettroni. Nella seconda legge di Ohm la resistenza cambia a seconda del coefficiente di resistività, che varia da valori molto piccoli a valori esageratamente grandi:

$$\rho \rightarrow 10^{-7} \div 10^{14}$$

Il valore della resistenza si misura in Ohm $[\Omega]$, e indica quanto si oppone al flusso di corrente, quindi un valore più alto vuol dire che il bipolo lascia passare meno elettroni di uno con un valore più basso.



Figura 8: Resistenza

Al contrario della proprietà di resistenza, si può considerare un'altra proprietà che invece indica quanto il materiale è in grado di condurre elettroni, e si misura in Siemens $[S]$. Si ricava con l'inverso della resistenza.

$$G := \frac{1}{R} \tag{3.1}$$

3.5 Collegamento equipotenziale

Definizione 3.1. Un collegamento equipotenziale è un dipolo in cui il potenziale misurato alla fine è esattamente uguale a quello misurato all'inizio. Di fatto un cavo elettrico ideale di resistenza nulla.

In elettronica il comportamento di ogni componente è alterato dalla temperatura, quindi per esempio nel caso di un resistore se il calore aumenta, è maggiore la probabilità di urto a livello microscopico, quindi la resistenza aumenta.

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)] \quad (3.2)$$

Dove $T - T_0$ rappresenta l'incremento di temperatura, α è il coefficiente di temperatura e R_0 è la resistenza iniziale.

Questa caratteristica viene ignorata nella maggior parte dei problemi di questo corso, ma in realtà il cambiamento delle caratteristiche dato dalla temperatura *non è un elemento trascurabile*.

4 Circuiti elementari

4.1 Maglie

Definizione 4.1. Una maglia è definita come un circuito chiuso, che a sua volta non è composto da sottocircuiti.

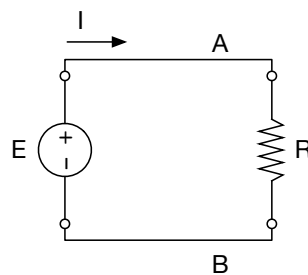


Figura 9: Maglia

In una maglia la corrente **in un istante** è costante in tutti i punti, e tutti i fili di collegamento sono equipotenziali, quindi il potenziale all'uscita del genera-

tore è uguale al potenziale in entrata dell'utilizzatore (qui rappresentato con un resistore).

4.2 Generatore e utilizzatore

Un dipolo può essere indicato come generatore oppure come utilizzatore a seconda di come si indica la corrente rispetto ai poli. Basta osservare che il generatore fa uscire corrente, quindi crea energia, mentre un utilizzatore deve usare della corrente, quindi assorbe energia.

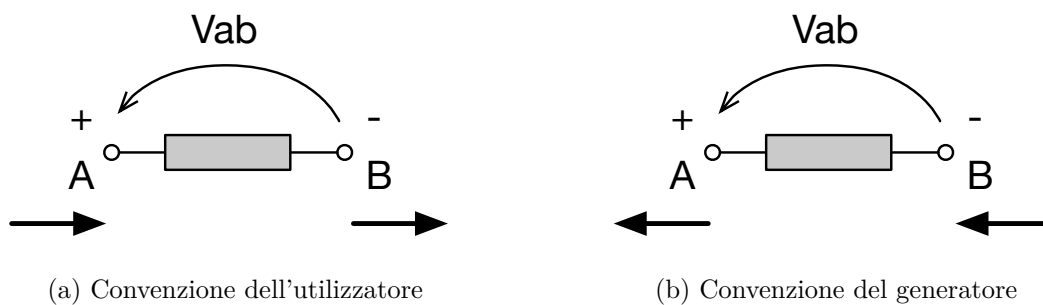


Figura 10: Convenzioni per dipoli

Bisogna prestare particolare attenzione a come si applica alla legge di Ohm, in un circuito si indica sempre la polarità della misurazione, quindi il risultato cambia di segno a seconda di come si "collegano le sonde di un ipotetico multimetro". Per esempio una corrente misurata positiva in figura 10a risulterebbe negativa nel caso in cui nel disegno la freccia fosse indicata al contrario. Non importa veramente in che direzione sia, basta che sia coerente con i calcoli.

5 Leggi di Kirchhoff

Definizione 5.1. Un nodo è un punto di incontro di più fili.

5.1 Prima legge

La sommatoria di tutte le correnti entranti in un nodo è uguale a zero, in altre parole la corrente che entra in un nodo deve essere uguale a quella che esce. Il

nodo non disperde e non usa energia.

$$\sum^x I_x = 0 \quad (5.1)$$

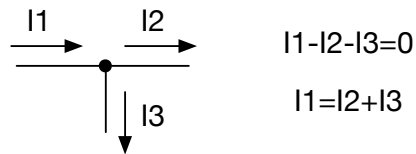


Figura 11: Prima legge di Kirchhoff

5.2 Seconda legge

In una maglia chiusa (fig.12), la somma delle tensioni misurate in tutti i bipoli è uguale a zero

$$\sum^x \Delta V_x = 0 \quad (5.2)$$

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} + V_{DA} = 0 \quad (5.3)$$

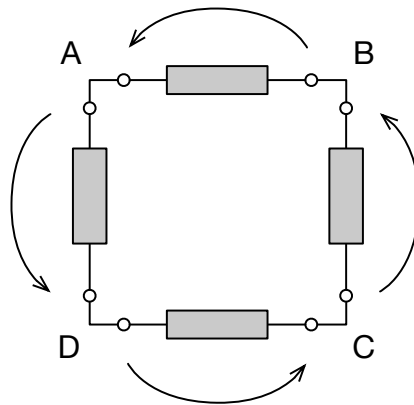


Figura 12: Maglia chiusa

6 Potenza elettrica e termica

La potenza elettrica *assorbita da un dipolo* utilizzatore si ottiene facendo il prodotto della tensione e la corrente passante per esso.

$$P_{ASS} = V_{AB} \cdot I \quad (6.1)$$

In particolare vale che:

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (6.2)$$

La stessa cosa vale per la potenza generata da un dipolo:

$$P_{GEN} = V_{AB} \cdot I \quad (6.3)$$

Una resistenza, quando viene attraversata da una corrente, genera calore per effetto Joule; quando il circuito viene acceso la temperatura sale fino a raggiungere un limite massimo in cui la potenza in entrata nella resistenza è esattamente la stessa che viene dissipata nell'ambiente sotto forma di calore.

Questo fenomeno si esprime con la formula:

$$RI^2 dt = cM d(T_r - T_a) + \lambda S_r (T_r - T_a) dt \quad (6.4)$$

La potenza in entrata, quindi assorbita dal componente è uguale alla somma di due elementi:

- Potenza che si traduce in riscaldamento

c (capacità termica specifica)

M (massa dell'elemento)

d (differenziale)

T_r (temperatura della resistenza)

T_a (temperatura ambientale)

- Potenza liberata nell'ambiente

λ (coeff. di scambio termico)

S_r (superficie esterna della resistenza)

Dopo un periodo di transitorio si arriva al punto di equilibrio termico. A questo punto si semplifica la formula eliminando i differenziali per poter stabilire la **temperatura presunta a regime**:

$$P = \lambda S_r (T_{max} - T_a)$$

I parametri λ e S_r vengono inglobati nell'inverso della resistenza termica $\frac{1}{R_t}$, ottenendo:

$$T_{max} - T_a = R_t \cdot P \quad (6.5)$$

La resistenza termica indica quanto un materiale si oppone a dissipare calore e si misura in $[\frac{^\circ C}{W}]$, per esempio un dissipatore efficiente deve possedere un valore minore possibile.

7 Bipoli in serie

Due o più componenti si dicono in serie se sono concatenati senza diramazioni.

7.1 Resistenze

Delle resistenze in serie sono percorse tutte dalla stessa corrente.

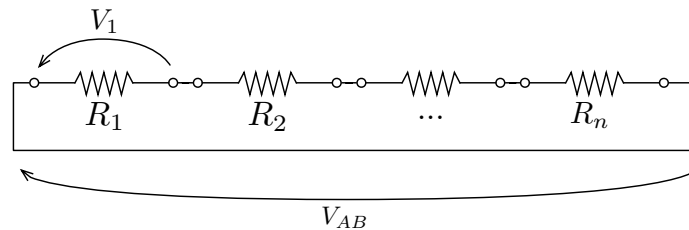


Figura 13: Resistori in serie

Applicando la seconda legge di Kirchhoff si ottiene che la somma di tutti i voltaggi nella maglia deve essere uguale a zero:

$$V_{AB} - V_1 - V_2 - \dots - V_n = 0 \Leftrightarrow V_{AB} = \sum_k V_k$$

La resistenza equivalente si trova con la legge di Ohm:

$$R_{eq} = \frac{V_{AB}}{I} = \frac{\sum_k V_k}{I} \quad (7.1)$$

Delle resistenze in serie, si comportano quindi come un **partitore di tensione**.

Per capire il funzionamento del partitore di tensione (e della caduta di tensione all'interno di una resistenza) si può visualizzare la maglia come una serie di "cascate" poste a quote diverse. L'acqua più in alto rappresenta un potenziale maggiore rispetto alla terra (massa), e le resistenze rappresentano le cascate. Alla fine tutte le tensioni sommate devono essere uguali a zero (fig.14).

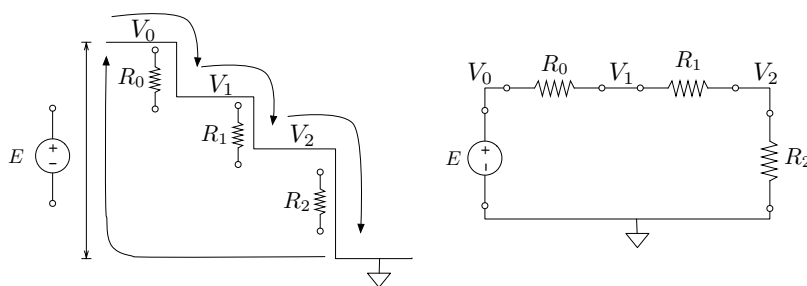


Figura 14: Partitore di tensione

La tensione ai capi di un componente specifico R_k si trova sempre con la legge di Ohm, misurando la corrente con la resistenza equivalente e poi applicandola al resistore in oggetto:

$$V_k = \frac{V_{AB}}{\sum R} \cdot R_k \quad (7.2)$$

7.2 GIV

Mettendo in serie dei generatori si ottiene la somma delle tensioni individuali. Sempre applicando la seconda legge di Kirchhoff si ottiene che la somma di tutti i potenziali misurati deve essere uguale a zero.

$$V_{AB} - E_1 - E_2 - \dots - E_n = 0 \quad (7.3)$$

Quindi per ottenere la tensione equivalente del sistema si fa semplicemente la somma.

$$V_{AB} = \sum_k V_k \quad (7.4)$$

7.3 GII

Mettere in serie componenti di questo tipo è paradossale, non ha senso misurare la corrente ottenuta, dato che ognuno singolarmente vuole mantenere una corrente costante differente, tutti con "forza infinita".

8 Bipoli in parallelo

In una configurazione in parallelo (fig.15, tutti i morsetti sono collegati assieme a coppie. La tensione in entrata è uguale per tutti i bipoli nel circuito.

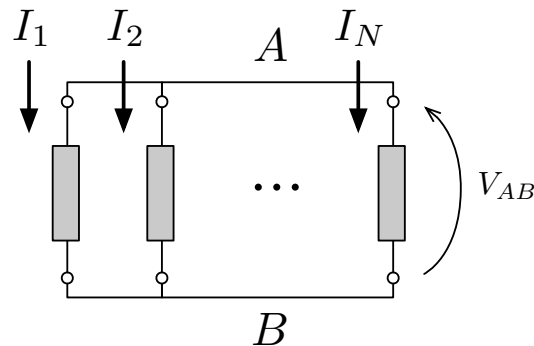


Figura 15: Bipoli in parallelo

La tensione V_{AB} è uguale per tutti i dipoli, mentre attraverso ognuno passa una corrente diversa.

8.1 Resistenze

Il sistema si può in questo caso vedere come un unico utilizzatore, la cui corrente assorbita è uguale alla somma delle singole correnti assorbite dalle resistenze.

$$\begin{aligned}
 I &= \sum_{K=1}^N I_K = I_1 + I_2 + \dots + I_N = \frac{V_{AB}}{R_1} + \dots + \frac{V_{AB}}{R_N} = \\
 &= V_{AB} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_N} \right) = V_{AB} \cdot (G_1 + \dots + G_N)
 \end{aligned} \tag{8.1}$$

Da notare nella equazione 8.1 che la somma dell'opposto delle resistenze equivale alla somma delle conduttanze. Sono state applicate le leggi di Ohm e Kirchhoff.

Si può quindi ottenere che la resistenza equivalente è uguale all'inverso della somma degli inversi delle resistenze (eq.8.2), o meglio, la conduttanza equivalente è uguale alla somma delle singola conduttanze (eq.8.3).

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_N}} \quad (8.2)$$

$$G_{eq} = G_1 + \dots + G_N \quad (8.3)$$

Esiste anche una forma semplificata applicabile solo nel caso in cui siano presenti **due resistenze**.

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (8.4)$$

Mentre le resistenze in serie si comportano come partitore di tensione, le stesse in parallelo sono **partitori di corrente**. La corrente che passa attraverso un componente specifico si trova con la formula seguente.

$$\begin{cases} V_{AB} = \frac{I}{\sum_L G_L} \\ I_K = V_{AB} \cdot G_K \end{cases} \Rightarrow I_K = I \cdot \frac{G_K}{\sum_L G_L} = I \cdot \frac{\frac{1}{R_K}}{\sum_L \frac{1}{R_L}} \quad (8.5)$$

Dove G_K rappresenta la conduttanza dell'elemento da indagare (e $\frac{1}{R_K}$ la resistenza, stessa cosa), $\sum_L G_L$ la somma di tutte le conduttanze singole, I la corrente totale del circuito.

Anche qui esiste il caso particolare in cui ci sono solo due resistenze, quindi come calcolare la corrente che passa attraverso la prima.

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8.6)$$

8.2 GII

Per la prima legge di Kirchhoff la corrente totale è la somma di ogni singola corrente.

$$I = \sum_{K=1}^N I_K \quad (8.7)$$

8.3 GIV

Come i GII in serie, non ha senso, dato che ogni componente con forza infinita impone il suo valore nel circuito.

9 Generatori reali

A differenza dei generatori ideali, questi modelli si applicano meglio alla realtà, aggiungendo un livello di complessità nei calcoli.

9.1 Generatori reali di tensione (GRV)

È un bipolo che internamente è formato da un generatore ideale di tensione e una resistenza in serie. La resistenza stessa causa una caduta di tensione che varia a seconda del carico, quindi la tensione in uscita *non è sempre costante*.

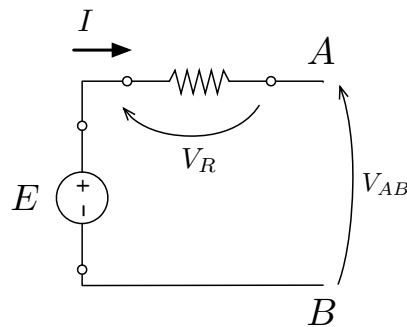


Figura 16: Generatore reale di tensione

$$V_R = I \cdot R \quad (9.1)$$

$$V_{AB} = E - I \cdot R \quad (9.2)$$

9.2 Generatori reali di corrente (GRI)

In modo simile ai generatori reali di tensione, la corrente in uscita varia a seconda della tensione ai capi.

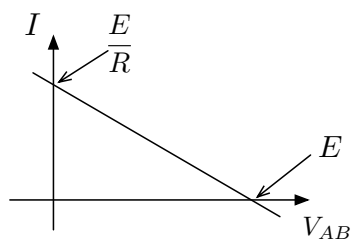
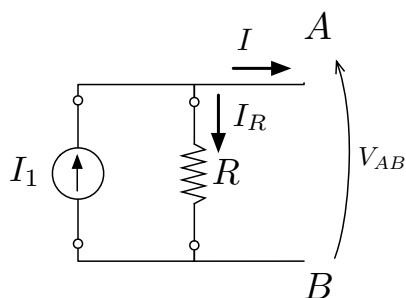
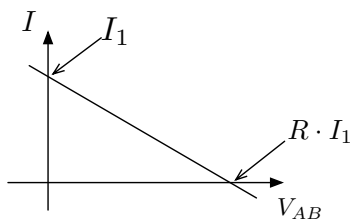
Figura 17: Andamento di V secondo I 

Figura 18: Generatore reale di corrente

La corrente che passa per la resistenza R si ottiene sempre con la legge di Ohm. Man mano che V_{AB} aumenta, la frazione di corrente consumata dalla resistenza aumenta, fino ad arrivare ad un punto in cui non è più disponibile corrente in uscita.

$$I_R = \frac{V_{AB}}{R} \quad (9.3)$$

Per esempio, se la tensione ai capi di AB fosse zero (quindi un cortocircuito) la corrente in uscita sarebbe massima; effettivamente tutta la corrente passerebbe attraverso il filo, è come se la resistenza non esistesse. Sempre rimanendo nell'ipotesi in cui il filo abbia conduttanza infinita.

Figura 19: Andamento di I secondo V

9.3 GRI e GRV

Un generatore di tensione collegato ad un circuito si può sostituire con un generatore di corrente equivalente senza notare differenze. La resistenza rimane uguale, semplicemente bisogna calcolare la tensione o corrente in uscita.

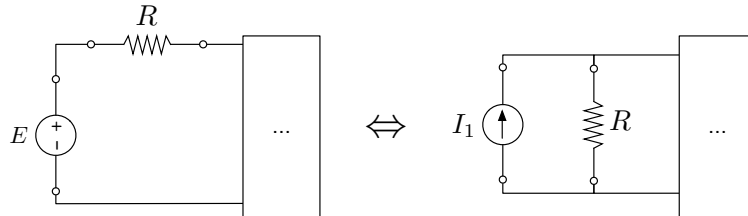


Figura 20: Equivalenza tra GRI e GRV

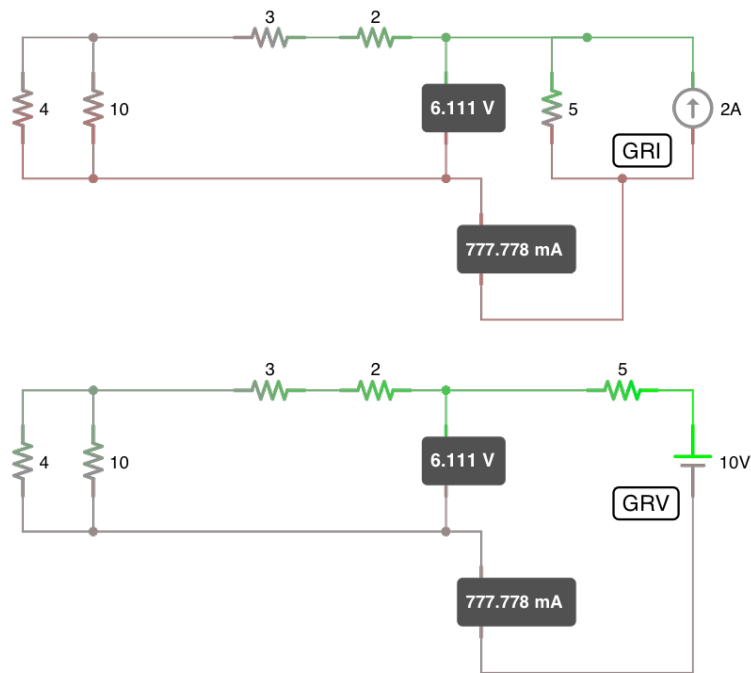


Figura 21: Esempio di applicazione

$$\begin{cases} R = R \\ I_1 = \frac{E}{R} \end{cases} \quad (9.4)$$

Esempio 9.1.

Si consideri il circuito in figura 22a, trovare la corrente I_2 . Si può ottenere un

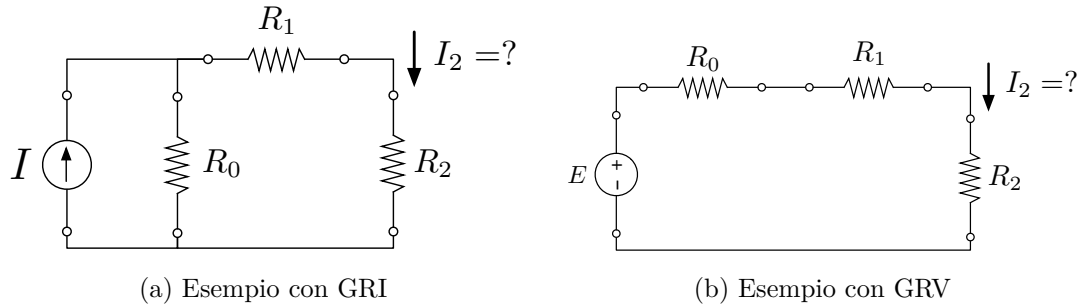


Figura 22: Esempio

circuito formato da una unica maglia scambiando il generatore con la resistenza R_0 con un equivalente generatore di tensione (che invece ha la resistenza in serie e non in parallelo).

$$E = R_0 \cdot I \quad (9.5)$$

In questo modo si ottiene un generatore ideale di tensione e tre resistenze in serie (figura 22b), e calcolare la corrente nel nodo in oggetto risulta semplice.

$$I_2 = \frac{E}{\sum_K R_K} \quad (9.6)$$

9.4 GRV in serie

Due o più generatori reali di tensione, se messi in serie, si possono ridurre in un solo generatore (sempre del tipo reale), dato che per componenti ohmici la serie di dipoli può avere ordine arbitrario. Quindi si sommano le tensioni dei generatori e i valori delle resistenze.

$$V_{AB} = E_1 - V_1 + E_2 - V_2 = E_1 + E_2 - V_1 - V_2 \quad (9.7)$$

$$E_{eq} = E_1 + E_2 \quad (9.8)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \quad (9.9)$$

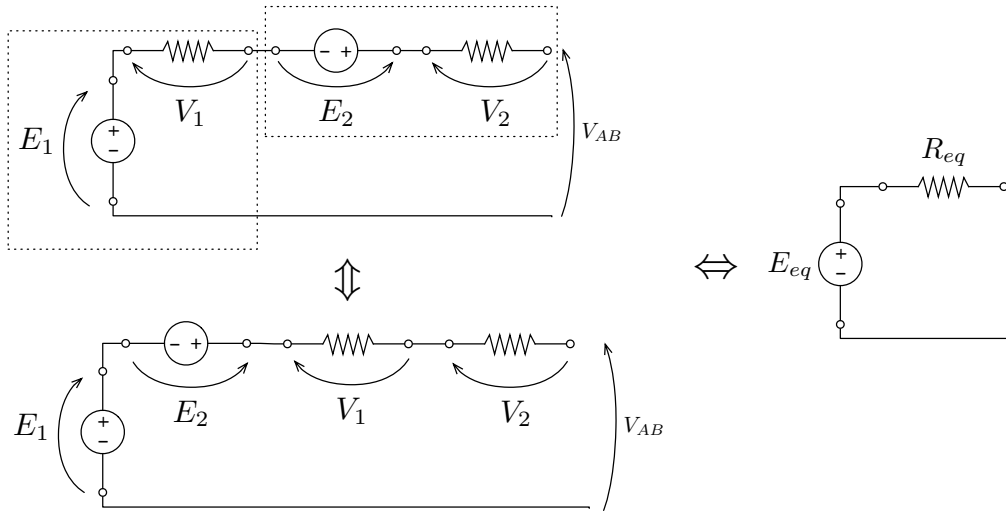


Figura 23: GRV in serie

9.5 GRI in serie

Un discorso simile a quello per un GRV vale anche per un generatore reale di corrente, con la differenza che invece che le tensioni si deve considerare la somma di correnti.

$$I = I_1 - I_{R1} + I_2 - I_{R2} \tag{9.10}$$

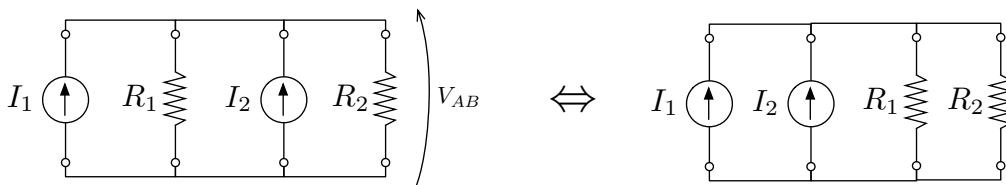


Figura 24: GRI in serie

$$I_{eq} = I_1 + I_2 \tag{9.11}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \tag{9.12}$$

10 Generatori pilotati

In un generatore pilotato il valore interno dipende da una tensione o una corrente campionata in un altro punto nel circuito.

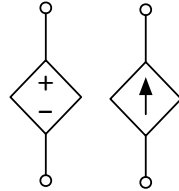


Figura 25: Generatori pilotati

Possono esistere quattro casi a seconda del tipo di generatore (ideale) e della misurazione.

1. Generatore di tensione pilotato in tensione: $E = \alpha \cdot V_k$
2. Generatore di tensione pilotato in corrente: $E = R \cdot I_k$
3. Generatore di corrente pilotato in tensione: $I = G \cdot V_k$
4. Generatore di corrente pilotato in corrente: $I = \beta \cdot I_k$

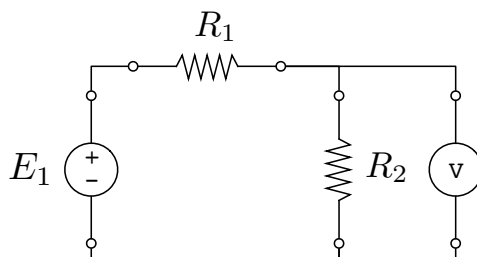
Da notare che k si riferisce al valore da un'altra parte, e nel secondo caso si utilizza R perché dimensionalmente è una resistenza.

11 Strumenti di misura

Lo scopo di uno strumento di misura è quello di rilevare una grandezza in un circuito perturbando i segnali il meno possibile.

11.1 Voltmetro

Un voltmetro si collega in parallelo al componente che si vuole misurare, e rileva la tensione presente su due nodi. Per non interferire deve possedere una resistenza interna più alta possibile, anche se comunque potrebbe dare problemi nella misurazione della tensione ai capi di una resistenza molto alta.

Figura 26: Voltmetro per leggere la tensione ai capi di R_2

11.2 Amperometro

Serve per misurare la corrente passante in un filo, si collega in serie al componente da cui misurare la tensione (quindi interrompendo il circuito e collegandoci lo strumento), e deve possedere una resistenza interna minore possibile.

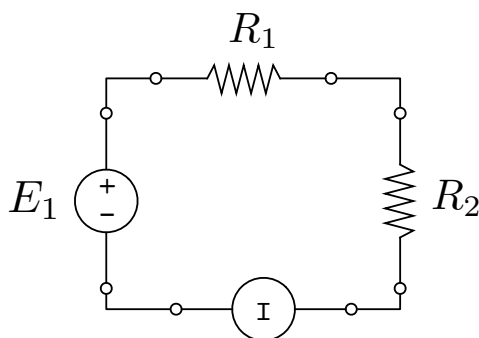


Figura 27: Amperometro per leggere la corrente della maglia

11.3 Ohmetro

È uno strumento che calcola la resistenza di un componente facendoci passare una corrente specifica e misurando la tensione ai capi. Sfrutta la legge di Ohm per calcolare il valore, non lo misura in modo diretto.

Per eseguire una misura più precisa si può utilizzare un multimetro a quattro morsetti invece che due, che può risultare utile soprattutto nella misurazione di resistenze molto piccole.

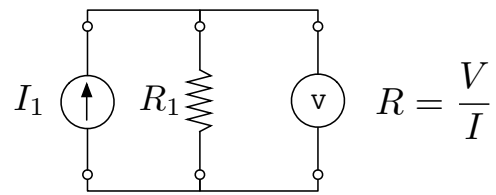


Figura 28: GII e Voltmetro per misurare la resistenza

11.4 Wattmetro

Come l'ohmetro, effettua una misura indiretta. La potenza assorbita da un dispositivo viene rilevata misurando la tensione ai capi dei poli e la corrente passante. Moltiplicando i due valori si ottiene la potenza.