

Il trasporto di energia elettrica

Negli esempi dei paragrafi precedenti abbiamo visto l'influsso su un circuito di un generatore di ddp reale rispetto a uno ideale così come degli strumenti di misura. D'altro canto abbiamo invece sempre considerato i cavi di collegamento come ideali, cioè come se non avessero una loro resistenza.

Eppure anche questi ultimi possono influire sul circuito. Vediamo alcuni esempi.

Cominciamo con un caso nel quale il loro influsso è trascurabile.

Supponiamo di alimentare un consumatore di potenza $120W$ con un generatore di ddp da $12,0V$ (ad esempio alimentiamo i due fari anabbaglianti di un'auto). Si supponga che siano collegati alla batteria con un cavo di rame lungo $l = 2,00m$ e sezione $A = 6,0mm^2$ (dalla seconda legge di Ohm ricaviamo che $R_{cavi} = 5,6 \cdot 10^{-3} \Omega$).

Calcoliamo ora la resistenza del nostro consumatore pari a:

$$R = \frac{U^2}{P} = 1,20 \Omega.$$

Sommando assieme le due resistenze (resistenze in serie) otteniamo una resistenza totale pari a $1,2056 \Omega$ praticamente uguale alla resistenza del consumatore. I cavi di collegamento possono essere considerati ideali.

Un calcolo accurato indicherebbe che il consumatore sarebbe alimentato con una tensione di $11,94V$, con una potenza pari a $119W$ e potenza "persa" nei cavi di circa $0,5W$.

Un discorso diverso lo abbiamo quando il consumatore si trova a una distanza più grande, per esempio a $l = 200m$. Se la sezione del cavo non cambia, allora la resistenza dei cavi diventa 100 volte più grande, vale a dire: $R_{cavi} = 0,56 \Omega$, che è paragonabile a quella del consumatore. Rifacendo gli stessi calcoli di prima vedremmo che la resistenza totale è pari a $1,76 \Omega$ (ammesso e non concesso che la resistenza del consumatore sia costante), la tensione al consumatore diventa di $8,18V$, la potenza pari a $56W$ (meno della metà) e una potenza "persa" nei cavi di $26W$. Tutto questo è inaccettabile anche perché al di sotto di una certa tensione molti consumatori non funzionano (senza contare poi le perdite che rappresentano circa un terzo della potenza erogata dal generatore di ddp).

Come possiamo rimediare?

Idealmente lo si può fare aumentando la sezione del cavo in modo da riportare la sua resistenza ai valori di prima. Per riuscirci dobbiamo aumentare la sezione di 100 volte, vale a dire aumentare di 10 volte il diametro (passare cioè da un cavo di diametro $d = 2,8mm$ a un cavo di $d = 28mm$ (quasi $3,0cm$ di diametro)).

Vi immaginate cosa vuol dire?

In alternativa si potrebbe pensare a un impianto alimentato con una tensione più alta fin dall'inizio, per esempio con una tensione di $240V$.

Rifacciamo i calcoli e vediamo cosa succede.

Primo caso: potenza del consumatore pari a $120W$, corrente elettrica $0,500A$, resistenza del consumatore 240Ω ; resistenza dei cavi di $2,0m$ di lunghezza uguale a $5,6 \cdot 10^{-3}\Omega$; resistenza totale uguale a $240,0056\Omega$.

Secondo caso: potenza del consumatore pari a $120W$, corrente elettrica $0,500A$, resistenza del consumatore 240Ω ; resistenza dei cavi di $200m$ di lunghezza uguale a $0,56\Omega$; resistenza totale uguale a $240,56\Omega$.

Come potete notare l'aver aumentato la tensione di alimentazione fa in modo che la resistenza dei cavi risulti trascurabile in entrambi i casi. Quindi è una buona soluzione.

Ma che cosa succede se si deve alimentare un intero quartiere (potenza necessaria $2,0MW$) trasportando l'energia elettrica da distanze molto più grandi di quelle che abbiamo calcolato nel secondo caso, per esempio da $200km$?

Il problema si ripresenta anche utilizzando cavi di diversi centimetri di diametro.

È pensabile alimentare il tutto con tensioni ancora più alte?

La risposta è no. Sarebbe troppo pericoloso.

Che cosa fare allora?

La soluzione diventa allora quella di trovare un sistema che permette il trasporto ad alta tensione (dalla formula per calcolare la potenza si evince che aumentando la tensione diminuisce in proporzione la corrente e quindi la potenza "persa" nei cavi ($P = R_{\text{cavi}} \cdot I^2$)) potendola poi distribuire a tensione più bassa.

Per fare tutto ciò si ricorre a quegli apparati chiamati trasformatori.

Prima di affrontare le problematiche legate all'uso dei trasformatori, occorre fare una distinzione fra correnti continue e correnti alternate.

Durante la fase sperimentale in classe non ci siamo mai soffermati sul fatto che stessimo alimentando i nostri consumatori (che erano sempre delle resistenze, sia che si trattasse di lampadine oppure di resistori) con un generatore di ddp in corrente continua o alternata. Solo il docente sceglieva, là dove necessario, i vari selettori del multimetro in modo appropriato. I risultati cui siamo pervenuti non erano influenzati.

Che differenza esiste allora fra i due tipi di alimentazione?

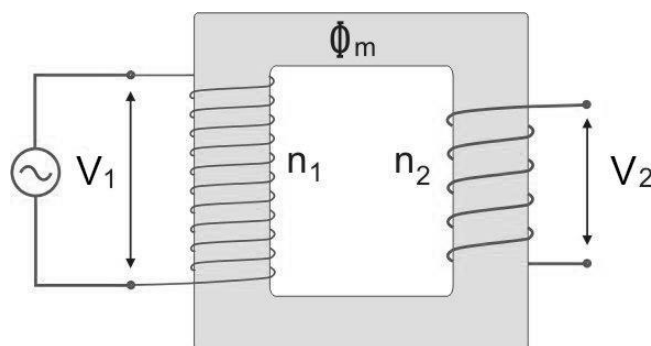
Fondamentalmente un generatore di ddp in corrente continua (ad esempio una batteria) mantiene una differenza di potenziale costante (la batteria di una automobile garantisce una differenza di potenziale di $12,0V$) mentre la rete di distribuzione domestica (le prese di corrente tanto per intenderci) garantisce un potenziale efficace (non vogliamo soffermarci sul significato di potenziale efficace) di $230V$ oscillando secondo una funzione sinusoidale fra le tensioni di picco (anche su questo concetto non vogliamo soffermarci) 50 volte al secondo (in altri paesi valgono altre tensioni efficaci e anche la frequenza può essere diversa).

I trasformatori funzionano solo con correnti alternate.

Nelle prossime poche righe si cercherà di spiegare in modo molto semplificato e tutt'altro che esaustivo il motivo perché un trasformatore funziona solo con correnti alternate.

Quando un filo è percorso da corrente elettrica, esso diventa sorgente di un campo magnetico (il concetto di campo magnetico verrà trattato nel corso di FAM o nel corso di OC Fisica). Un campo magnetico interagisce con le cariche di un altro conduttore, un altro filo, solo se si muovono (scorre una corrente elettrica o è il filo stesso ad essere in movimento) oppure se il campo magnetico varia nel tempo. Questa seconda situazione è quella utilizzata per costruire un trasformatore.

Un trasformatore funziona pertanto nel seguente modo: un generatore di ddp in alternata alimenta una bobina (un filo che si avvolge a spirale) detta primaria all'interno della quale vi è un elemento di ferro in grado di convogliare quello che viene chiamato flusso magnetico (anche questo concetto verrà studiato nei corsi di FAM o OC Fisica) ad un'altra bobina, detta secondaria, nella quale viene indotta una corrente. Lo schema a lato mostra la situazione. Nello schema è indicato con V_1 il potenziale in alternata del primario, con V_2 il potenziale del secondario, con n_1 e con n_2 il numero di avvolgimenti (spire) del primario rispettivamente del secondario e infine con Φ_m il flusso magnetico.



Una analisi di dettaglio mostra che vale la seguente relazione:

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \quad \text{cioè} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Nel caso di un trasformatore ideale deve valere inoltre:

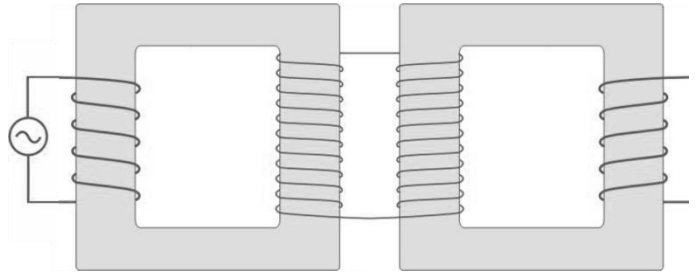
$$P_1 = P_2, \quad \text{vale a dire} \quad V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad \text{e di conseguenza}$$

$$I_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot I_1 = \frac{n_1}{n_2} \cdot I_1.$$

Torniamo allora al problema iniziale che è quello nel quale dobbiamo alimentare un consumatore di potenza $P = 120W$ con un generatore di ddp $V = 12V$ in corrente alternata (utilizziamo il simbolo V per la differenza di potenziale al posto del simbolo U così da distinguere fra corrente alternata e corrente continua) a una distanza tale che i cavi di collegamento hanno una resistenza pari a $R_{cavi} = 0,56\Omega$.

Grazie a due trasformatori innalziamo la tensione per il trasporto per poi riabbassarla al valore desiderato al consumatore. Lo schema dei due trasformatori è indicato nel disegno a lato.

Nel caso più semplice i due trasformatori sono simmetrici, vale a dire che il rapporto fra il numero di spire del primario e quelle del secondario è lo stesso, evidentemente invertito.



Se i due trasformatori sono ideali deve valere, per il principio di conservazione dell'energia, la seguente relazione:

$$P_p = P_f + P_c \text{ dove:}$$

P_p è la potenza alla produzione,

P_f è la potenza persa nel trasporto (dove f sta per fili),

P_c è la potenza al consumatore.

Nel caso di trasformatori simmetrici, indicando con I la corrente al produttore e sapendo che:

$I_f = \frac{I}{k}$, dove $k = \frac{n_2}{n_1}$ è il rapporto fra il numero di avvolgimenti del secondario e quelli del primario al primo trasformatore (al secondo trasformatore sarà il suo inverso) si può scrivere:

$$\begin{aligned} V_p \cdot I &= R_f \cdot \left(\frac{I}{k}\right)^2 + P_c = \frac{R_f}{k^2} \cdot I^2 + P_c \\ &= R_f \cdot \left(\frac{I}{k}\right)^2 + V_c \cdot I = \frac{R_f}{k^2} \cdot I^2 + V_c \cdot I \\ &= R_f \cdot \left(\frac{I}{k}\right)^2 + R_c \cdot I^2 = \frac{R_f}{k^2} \cdot I^2 + R_c \cdot I^2 \end{aligned}$$

Si osservi che la corrente al consumatore è uguale a quella al produttore solo nel caso di trasformatori simmetrici e che per fare in modo che la tensione durante il trasporto di energia elettrica sia più alta che al consumo il fattore k deve essere maggiore di 1 e generalmente molto grande.

Riprendiamo ora il caso in cui si deve alimentare un consumatore di potenza nominale $120W$ quando è allacciato ad un generatore di ddp in alternata di tensione $12,0V$ a $200m$ di distanza (si prenda in considerazione gli stessi cavi di prima con $R_f = 0,56\Omega$).

Come abbiamo già avuto modo di calcolare, senza passare attraverso un sistema di innalzamento della tensione di trasporto, la situazione diventa insostenibile.

Vediamo cosa succede se si usa un sistema di trasformazione con $k = 10$. Se la resistenza al consumatore vale $R_c = 1,2\Omega$, si può scrivere:

$$12,0V \cdot I = \frac{0,56\Omega}{10^2} \cdot I^2 + 1,2\Omega \cdot I^2$$

da cui si ricava: $I = 9,95A$.

Tutto questo significa che

la tensione al consumatore vale: $V = 11,94V$,

la potenza al produttore vale: $P_p = 119,4W$,

la potenza al consumatore vale: $P_c = 118,8W$ e

la potenza "persa" nel trasporto vale: $P_f = 0,55W$.

Confrontando questi risultati con gli esempi precedenti si può notare che questa situazione corrisponde a quella con i cavi di collegamento di lunghezza $2,0m$ senza trasformatori.