

ELEMENTI DI ELETTROTECNICA

Premessa.

Vi sono alcune particelle che, se poste a una distanza limitata, esercitano le une sulle altre forze di tipo attrattivo o repulsivo. Queste forze non possono essere, per ovvie ragioni, di tipo gravitazionale ma vengono dette forze di natura elettrica e le particelle in questione sono dette cariche elettriche. Un atomo, di norma è elettricamente neutro, con lo stesso numero di cariche elettriche positive e negative (protoni, elettroni). Gli elettroni girano su delle orbite attorno al nucleo. Può accadere che qualche elettrone si stacchi dall'atomo cui era legato e diventa un elettrone libero. Gli elettroni liberi sono le cariche che sotto certe condizioni costituiscono il passaggio di corrente. L'unità di carica elettrica è il coulomb che si indica con la lettera C. Una carica generica si indica con la lettera q o Q.

MATERIALI CONDUTTORI E ISOLANTI

Un materiale conduttore (ad esempio un metallo), ha moltissimi elettroni liberi e pertanto in esso la corrente elettrica passa più facilmente e per questo si chiama conduttore.

Un materiale isolante ha pochissimi elettroni liberi quindi la corrente passa con molta più difficoltà e in quantità molto inferiore, a parità di altre condizioni, rispetto ai materiali conduttori.

CAMPO ELETTRICO

Una certa zona dello spazio è sede di un campo elettrico se ponendo in tale zona una carica elettrica essa sarà soggetta a forze di natura elettrica. Il campo elettrico è indicato con la lettera E; il suo valore in un punto è dato dalla forza F che agirebbe su una carica q messa in quel punto diviso per la carica stessa. In formule avremmo $E=F/q$. In altre parole si potrebbe dire che il valore del campo elettrico in un punto è la forza che agirebbe su una carica unitaria messa in quel punto. *Se prendiamo una zona dello spazio che non è sede di un campo elettrico, nel momento in cui vi collochiamo una carica elettrica, nella suddetta zona nascerà un campo elettrico. Quindi mettendo una seconda carica succederà che ciascuna eserciterà una forza sull'altra..*

CONFRONTO FRA CAMPO ELETTRICO E CAMPO GRAVITAZIONALE TERRESTRE

Ad ogni punto del campo gravitazionale terrestre è possibile associare una certa energia potenziale (gravitazionale) che è uguale a quella che avrebbe una massa unitaria posta in quel punto (sarebbe mgh ma poiché $m=1$ solamente gh). Sotto opportune condizioni da questa energia potrebbe essere ricavato un lavoro. Senza dirlo esplicitamente, l'energia potenziale gravitazionale o più semplicemente il potenziale in un punto va sempre calcolato rispetto ad un riferimento che potrebbe ad esempio essere suolo. Così come è possibile definire il potenziale di un punto, possiamo anche definire una differenza di potenziale fra 2 punti e cioè il lavoro che si può ricavare o che si deve fornire per spostare la massa unitaria da un punto all'altro. Adesso ritorniamo al campo elettrico.

POTENZIALE DI UN PUNTO A

Il potenziale in un punto A di un campo elettrico è il lavoro necessario per spostare la carica unitaria dal punto A fino all'infinito, lungo un percorso qualsiasi. L'unità di misura è il Volt e si indica con la lettera V. Anche in questo caso, come per il campo gravitazionale, il potenziale (elettrico) di un punto va calcolato rispetto ad un riferimento, che in questo caso è il potenziale dei punti che si trovano all'infinito.

DIFFERENZA DI POTENZIAL FRA DUE PUNTI

La differenza di potenziale tra due punti di un campo elettrico è il lavoro necessario per spostare la carica unitaria da un punto all'altro. In particolare se indichiamo i due punti con A e B, la differenza di potenziale di $V_{AB} = V_A - V_B$ è il lavoro svolto dal campo elettrico per portare la carica unitaria da B ad A lungo un percorso qualsiasi. La differenza di potenziale elettrico è anche detta tensione elettrica, si indica con la lettera V e si misura in Volt.

CORRENTE ELETTRICA

Si definisce corrente elettrica un flusso ordinato di cariche elettriche (elettroni) che si muovono nella stessa direzione e nello stesso verso. Un movimento casuale (non ordinato) di cariche elettriche non si può definire corrente elettrica. Ovviamente affinché le cariche si muovano, in modo ordinato, in una stessa direzione e in uno stesso verso, occorre che ci sia un qualcosa che le faccia muovere. Questo qualcosa è il campo elettrico.

INTENSITA' DI CORRENTE ELETTRICA

L'intensità della corrente elettrica è la quantità di carica che attraversa la sezione di un conduttore in un determinato intervallo di tempo. L'unità di misura è l'Ampère. 1 A è uguale ad 1 Coulomb fratto un secondo. Nei materiali conduttori la corrente è dovuta agli elettroni. Il verso convenzionale della corrente è quello opposto al movimento degli elettroni.

CURVA CARATTERISTICA

Si chiama curva caratteristica o più semplicemente caratteristica il grafico che riporta l'andamento della tensione e della corrente di un bipolo ossia di un elemento che ha 2 soli morsetti o 2 soli terminali (esempio una resistenza oppure un generatore). Di solito sull'asse delle ascisse si riporta la corrente e sull'asse delle ordinate si riporta la tensione.

GENERATORE IDEALE DI TENSIONE

Un generatore ideale di tensione fornisce ai suoi morsetti una tensione costante per qualsiasi valore di corrente erogata. La tensione di un generatore viene anche chiamata forza elettromotrice (f.e.m.). E' il generatore che crea il campo elettrico che spinge gli elettroni per dar luogo alla corrente elettrica. La caratteristica di un generatore ideale di tensione è una retta (orizzontale) parallela all'asse delle ascisse che taglia l'asse delle ordinate in un punto E che rappresenta il valore della f.e.m. del generatore.

LEGGE DI OHM

La differenza di potenziale ai capi di un conduttore è direttamente proporzionale alla corrente che lo attraversa. Se indichiamo con R la resistenza del conduttore e con V la tensione ha i suoi capi Avremo $V=R \cdot I$.

RESISTENZA ELETTRICA

E' la proprietà di un corpo di opporsi al passaggio di corrente elettrica. La resistenza elettrica si misura in ohm (Ω). Tanto più alto è il valore di resistenza elettrica tanto più difficile risulta il passaggio di corrente.

La caratteristica di una resistenza è una retta passante per l'origine, la pendenza è positiva ed è tanto più ripida quanto più alto è il valore della resistenza.

CONDUTTANZA.

La conduttanza è la proprietà opposta (duale) della resistenza. Quindi è la proprietà di un corpo di lasciarsi attraversare facilmente dalla corrente. Più alta è la conduttanza maggiore è la facilità con cui passa la corrente.

La conduttanza è l'inverso della resistenza, l'unità di misura è il Siemens che si scrive anche Ω^{-1} .

CONVENZIONE DEI VERSI DI TENSIONE E CORRENTE

Per convenzione si stabilisce che su un utilizzatore (resistenza) la tensione ha verso opposto a quello della corrente.

Se in un circuito elettrico, è presente un solo generatore allora la tensione e la corrente del generatore hanno lo stesso verso cioè sono equiverse. Quando vi sono più generatori non si può sempre stabilire, a priori, il verso.

SERIE DI RESISTENZE

Due o più resistenze si dicono in serie se la corrente che le attraversa è uguale, nel senso che la corrente che esce da una resistenza entra tutta quanta in quella successiva. E' chiaro che se fra due resistenze vi è un nodo (vedi dopo la definizione di nodo) allora le due resistenze non possono essere in serie. La resistenza equivalente ad una serie di resistenze è uguale alla somma dei valori delle singole resistenze.

PARALLELO DI RESISTENZE

Due o più resistenze sono in parallelo quando hanno gli estremi in comune, cioè collegati direttamente¹ fra di loro, sia da una parte che dall'altra. Ne consegue che le resistenze in parallelo hanno ai loro capi la stessa tensione. La conduttanza equivalente ad un parallelo di resistenze è uguale alla somma dei valori delle singole conduttanze. Nel caso particolare in cui tutte le resistenze in parallelo sono uguali allora il calcolo della resistenza equivalente diventa molto semplice: se le resistenze sono in numero n la resistenza equivalente è uguale a R/n . Quindi nel caso di 2 sole resistenze la resistenza equivalente è pari alla metà del valore.

SEMPLIFICAZIONE DI CIRCUITI CON RESISTENZE

Quando abbiamo un circuito costituito da resistenze collegate in serie e/o in parallelo, e consideriamo 2 punti A e B di questo circuito possiamo, sostituire tutte le resistenze collegate insieme fra loro e che fanno capo ai punti di cui sopra, con una sola resistenza equivalente, collegata sempre fra A e B in modo tale che il funzionamento della rimanente parte del circuito non viene alterato. Ovviamente il valore della resistenza equivalente R_{eq} deve essere calcolato con le regole su esposte.

¹ Senza altri elementi circuitali inseriti tra i collegamenti

Autore: prof. Franco Cappello

ELEMENTI DI UN CIRCUITO ELETTRICO

Maglia: è un qualsiasi percorso chiuso (che si ottiene partendo e arrivando sullo stesso punto) che contiene almeno un elemento attivo o passivo. Elemento attivo è un generatore; elemento passivo una resistenza.

Nodo: è un punto del circuito in cui confluiscono almeno 3 elementi (o 3 rami) di un circuito.

Ramo: è un tratto di circuito che unisce due nodi adiacenti o consecutivi.

PARTITORE DI TENSIONE.

Si applica quando abbiamo due o più resistenze in serie. La tensione si ripartisce sulle resistenze in modo direttamente proporzionale al valore di ciascuna resistenza. Ricordate che la corrente è uguale per tutte le resistenze.

La tensione ai capi di una resistenza R_i è uguale al prodotto fra la tensione ai capi di tutta la serie per la resistenza R_i fratto la somma di tutte le resistenze della serie.

LEGGE DELLA DUALITÀ

Alcune grandezze sono duali fra loro. Ad esempio: tensione e corrente, resistenza e conduttanza, serie e parallelo, nodo e maglia.

La legge della dualità stabilisce che data una certa legge o un certo principio posso ricavare un'altra legge o un altro principio, altrettanto validi, sostituendo a ciascun termine della prima il suo corrispondente termine duale.

Un caso evidente dell'applicazione di questa legge riguarda i partitori: data la regola del partitore di tensione si può ricavare facilmente quella del partitore di corrente sostituendo nella prima i corrispondenti termini duali.

PARTITORE DI CORRENTE

Si applica quando abbiamo due o più rami in parallelo. La regola del partitore di corrente stabilisce che la corrente totale si ripartisce in modo direttamente proporzionale alla conduttanza di ciascun ramo.

La corrente in un ramo è uguale al prodotto tra la corrente totale che entra nel parallelo e il rapporto fra la conduttanza G_i , del ramo considerato, e la somma delle conduttanze di tutti i rami del parallelo. Nel caso particolare in cui abbiamo 2 sole resistenze (o rami), il calcolo diventa molto più semplice: la corrente in un ramo si calcolano moltiplicando la corrente totale I per la resistenza complessiva dell'altro ramo fratto la somma delle resistenze complessive dei 2 rami.

Autore: prof. Franco Cappello

PRIMA LEGGE DI KIRCHHOFF (AI NODI)

In un nodo la somma algebrica di tutte le correnti è uguale a zero (si sceglie il segno + per le correnti entranti e – per quelle uscenti).

Oppure, la somma delle correnti entranti in un nodo è uguale alla somma delle correnti uscenti.

SECONDA LEGGE DI KIRCHHOFF (ALLE MAGLIE)

La somma algebrica delle f.e.m. e delle c.d.t. sulle resistenze ($R \cdot I$) è uguale a zero. Per stabilire il segno si sceglie un verso di percorrenza della maglia (orario o antiorario). Le f.e.m. e le c.d.t. che hanno verso concorde a quello scelto sono positive, altrimenti sono negative.

CALCOLO PRATICO DELLA D.D.P. (o TENSIONE) FRA 2 PUNTI A e B

Per calcolare la tensione fra 2 punti A e B di un circuito si procede in questo modo:

si parte dal punto B e si va verso il punto A lungo un percorso qualsiasi (conviene scegliere il più semplice).

Si fa la somma algebrica (con segno) di tutte le f.e.m. e di tutte le c.d.t. ($R \cdot I$) sulle resistenze che si incontrano andando da B verso A.

Il segno delle f.e.m. e delle c.d.t. sulle resistenze sarà considerato positivo se concorde a quello del percorso fatto per andare da B verso A; altrimenti è negativo.

In un circuito con N nodi, il numero delle equazioni ai nodi indipendenti che si può scrivere è N -1.

In un circuito con N maglie semplici, il numero di equazioni indipendenti alle maglie è N.

Risoluzione di un circuito elettrico, applicando le leggi di Kirchhoff:

si individuano i nodi (n) e le maglie “semplici” (m)

si scelgono i versi delle correnti per ciascun ramo

si scelgono i versi di percorrenza delle maglie “semplici”

si scrivono le equazioni agli n-1 nodi

si scrivono le equazioni alle m maglie

Una generica equazione alla maglia si scrive in questo modo:

Si fa la somma algebrica delle f.e.m. di tutti i generatori di tensione, della maglia, considerandole positive se il verso è concorde a quello di percorrenza scelto per la maglia; negative nel caso opposto.

Si fa la somma algebrica di tutte le tensioni $R \cdot I$ delle resistenze della maglia considerata, considerandole positive se il verso è discorde a quello di percorrenza scelto per la maglia; negative nel caso opposto.

Si pone l'uguaglianza fra la somma algebrica delle f.e.m. e la somma algebrica delle tensioni sulle resistenze

Alla fine si otterranno tante equazioni quante sono le correnti incognite: si risolve il sistema.

GENERATORE IDEALE DI CORRENTE

Un generatore ideale di corrente eroga una corrente costante, qualunque sia il valore dell'attenuazione ai suoi morsetti. La caratteristica di un generatore ideale di corrente è una retta (verticale) parallela all'asse delle ordinate che taglia l'asse delle ascisse in un punto I che rappresenta il valore della corrente costante del generatore.

POTENZE

La potenza, in corrente continua, è data dal prodotto fra tensione e corrente e si misura in watt (lettera W). $P=V \cdot I$ [W].

Se indichiamo con la lettera E la tensione (o meglio la f.e.m.) del generatore di tensione allora la potenza di un generatore è data da $P_g = E \cdot I$.

Invece per una resistenza avremo $P_R = V \cdot I$ e le altre 2 formule che si possono ottenere da questa combinandola con la legge di Ohm. $P_R = R \cdot I^2$ $P_R = V^2 / R$.

GENERATORI REALI

Un generatore reale di tensione fornisce una tensione che diminuisce all'aumentare della corrente erogata. Si tiene conto di questo fatto, immaginando che il generatore reale sia costituito dalla serie fra un generatore ideale e una resistenza R_i che viene chiamata resistenza interna del generatore. Pertanto la caratteristica è una retta in pendenza decrescente che taglia gli assi in 2 punti: il punto E sull'asse delle tensioni, che rappresenta la f.e.m. del generatore ideale ossia la tensione a vuoto (con corrente nulla) fra i morsetti del generatore reale; il punto I_{cc} sull'asse delle correnti, che rappresenta la corrente di corto circuito ossia quella che circolerebbe cortocircuitando i morsetti del generatore (tensione nulla fra i morsetti). In questo caso l'unica resistenza che si oppone al passaggio della corrente è la R_i . In queste condizioni la potenza erogata al carico è nulla e quindi tutta la potenza viene dissipata all'interno del generatore. Un generatore reale di corrente fornisce una corrente che diminuisce all'aumentare della tensione ai suoi morsetti. Si tiene conto di questo fatto, immaginando che il generatore reale sia costituito dal parallelo fra un generatore ideale e una resistenza R_i che viene chiamata resistenza interna del generatore. Il generatore ideale di tensione è come se avesse una resistenza interna nulla mentre quello ideale di corrente è come se avesse una resistenza interna infinita. Le condizioni peggiori di lavoro sono: quella in corto circuito per il generatore di tensione e quella a vuoto per il generatore di corrente. In entrambi i casi nessuna potenza verrebbe erogata al carico e quindi verrebbe tutta dissipata all'interno del generatore.

TEOREMA DI MILLMAN

Il teorema di Millman si applica alle reti con 2 soli nodi per trovare la tensione fra questi 2 punti. Una rete così fatta è costituita da 2 o più rami tutti collegati fra di loro nel punto A (nodo) e nel punto B (altro nodo). La tensione V_{AB} si ottiene facendo il rapporto fra la somma algebrica (con segno) delle correnti di corto circuito di ciascun ramo e la somma aritmetica (tutto positivo) delle conduttanze complessive di ciascun ramo.

La corrente di corto circuito di un ramo si calcola dividendo la f.e.m. del generatore (presente) per la resistenza complessiva di quel ramo. Il segno si prende positivo se il verso della f.e.m. del generatore va da B verso A, altrimenti si prende col segno meno. È ovvio che se in un ramo non vi è alcun generatore, al numeratore mancherà la corrente di corto circuito di quel ramo.

SECONDA LEGGE DI OHM

Consideriamo un conduttore di lunghezza l [in m] e di sezione S [mm²]. La resistenza di questo conduttore è data da $R = \rho * l / S$. Dato che la resistenza R si misura in ohm, la lunghezza l si misura in metri e la sezione S in mm² la resistività ρ si misura in $\Omega * \text{mm}^2 / \text{m}$. La resistività è una proprietà dei materiali che prescinde da forma e dimensioni. Quindi vi è una resistività del rame, dell'alluminio, dell'argento ecc. Invece la resistenza è una proprietà di un tratto di circuito o di un pezzo di materiale: quindi dipende dal materiale ma anche dalle sue dimensioni fisiche. La 2^a legge di Ohm ci dice che più lungo è un filo maggiore è la sua resistenza (proporzionalità diretta); maggiore è lo spessore del filo è minore e la sua resistenza (proporzionalità inversa). La resistività di un materiale è influenzata dalla temperatura ed aumenta all'aumentare di questa. Pertanto anche la resistenza di un circuito è influenzata dalla temperatura. La formula che lega la variazione di ρ al variare della temperatura è la seguente: $\rho_1 = \rho_0 (1 + \alpha * \Delta t)$ dove ρ_0 e ρ_1 sono rispettivamente le resistività a temperatura t_0 e t_1 mentre Δt è la differenza fra le 2 temperature: $\Delta t = t_1 - t_0$ con $t_1 > t_0$.

PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI.

In una rete lineare, la cui caratteristica è una linea retta, in cui sono presenti più generatori si può applicare il principio di sovrapposizione degli effetti .

Premessa: annullare un generatore di tensione significa mettere al suo posto un corto circuito; annullare un generatore di corrente significa mettere al suo posto un circuito aperto.

Il principio di sovrapposizione degli effetti dice che, in un circuito, dove ci sono 2 o più generatori, l'effetto complessivo di questi generatori su una grandezza elettrica è uguale alla somma dei singoli effetti che ciascun generatore, preso singolarmente, avrebbe sulla grandezza elettrica considerata. In altre parole possiamo considerare una solo generatore per volta annullando tutti gli altri. Si effettuano i calcoli che servono e si memorizzano questi dati parziali (con il segno corretto); poi si considera un altro generatore annullando tutti gli altri si effettuano i nuovi calcoli e si memorizzano i dati. Il procedimento va ripetuto per tutti i generatori presenti nel circuito. Alla fine si sommano algebricamente tutti i risultati parziali (con il segno corretto) e i risultati ottenuti sono gli stessi del circuito di partenza con la presenza di tutti i generatori.

TEOREMA DI THEVENIN

Si applica alle reti in lineari. Una rete elettrica, lineare, comunque complessa, che fa capo a due morsetti A e B, può essere sostituita con un bipolo equivalente (bipolo di Thevenin) formato da un generatore ideale di tensione in serie ad una resistenza elettrica ovviamente scelti in modo opportuno. In sostanza in una rete elettrica molto complessa noi possiamo individuare due morsetti A e B, tagliare tutta una parte di rete che fa capo a questi due morsetti e sostituirla con un bipolo molto più semplice formato da due soli elementi. Il valore di R_o , del bipolo equivalente, coincide con la resistenza equivalente vista dai morsetti A e B dopo aver annullato tutti i generatori. Il valore della f.e.m. V_o del bipolo equivalente coincide con la tensione a vuoto fra i morsetti A e B. Per tensione a vuoto si intende la tensione che si ha fra i morsetti A e B quando in essi NON circola corrente. L'importanza del teorema di Thevenin è legata al fatto che io posso sostituire una rete molto complessa con una molto più semplice ma del tutto equivalente a quella di partenza. Una spiegazione qualitativa del teorema di Thevenin è la seguente: la caratteristica di una rete lineare, anche se complessa, vista da due punti è una retta (nel piano V-I) che taglia gli assi in due punti; ma anche una semplice rete con un generatore ideale e una resistenza in serie ha come caratteristica una retta che taglia gli assi V-I in due punti. Allora se scegliamo in modo opportuno i valori della f.e.m. V_o e della R_o , possiamo fare in modo che le due caratteristiche coincidano e pertanto il comportamento elettrico è del tutto equivalente. In altre parole la parte rimanente della rete elettrica non si accorge minimamente che l'altra parte è stata sostituita con un bipolo molto più semplice.