

RESISTORI LEGGI E FORMULE FONDAMENTALI

Sia la costruzione che l'impiego dei resistori sono governati da alcune leggi fondamentali.

Legge di Ohm

Esprime, in un circuito, la relazione tra resistenza, corrente e tensione:

$$V = R \cdot I$$

Legge di Joule

La corrente che attraversa un conduttore di resistenza R produce calore. La quantità di calore Q è espressa dalla relazione:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

Se R è espressa in ohm, I in ampere e t in secondi, Q risulta espresso in joule. Ne segue che la potenza dissipata in watt sarà:

$$W = R \cdot I^2 \quad \text{essendo:} \quad W = J/sec$$

Leggi di Kirchhoff sulle reti

1^a - La somma algebrica delle correnti relative ad ogni nodo è uguale a zero:

$$\sum I = 0$$

Ciò significa che la somma delle correnti che affluiscono in un nodo è uguale alla somma delle correnti che se ne allontanano.

2^a - La differenza di potenziale tra due punti qualsiasi della rete è indipendente dal cammino lungo la quale essa viene valutata.

Resistori in serie e in parallelo

In accordo con le due leggi suddette sono le formule per il calcolo della resistenza di più resistori in serie o in parallelo

- resistori in serie: $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

- resistori in parallelo: $1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$

Postulato di Newton

Se un corpo è a contatto con un fluido (per esempio l'aria) attraverso la superficie di separazione S passa una quantità di calore:

$$Q = h \cdot S \cdot (T_{\text{corpo}} - T_{\text{fluido}})$$

dove h è il coefficiente di adduzione, che è dato dal prodotto:

$$h = f \cdot r$$

dove f (coefficiente liminare) è dovuto ai fenomeni di conduzione e convezione ed r (coefficiente di irraggiamento) è dovuto all'irraggiamento.

Legge di Stefan-Boltzmann

L'energia irradiata nell'unità di tempo da un corpo nero è data da:

$$E = K \cdot (T^4 - T_0^4)$$

dove K è la costante di Stefan-Boltzmann, pari a:

$$K = 5,76 \cdot 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2} \cdot \text{°K}^4\text{]} = 4,96 \cdot 10^{-8} \text{ [Cal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°K}^4\text{]}$$

T è la temperatura del corpo e T₀ è la temperatura dell'ambiente, entrambe in gradi Kelvin.

Nel caso di un corpo non nero il coefficiente K va moltiplicato per il coefficiente di emissività, che per le resistenze smaltate e cementate è di 0.8 - 0.9.

Postulato di Fourier

Stabilisce i parametri della conduzione del calore attraverso i solidi (ad esempio del filo metallico attraverso lo smalto). Nell'unità di tempo la quantità di calore che passa da una parete di superficie S di spessore s è pari a: $Q = k \cdot S \cdot (T_1 - T_2) / s$

dove T₁ e T₂ sono le temperature sulla superficie della parete e k è il coefficiente di conduttività termica del mezzo trasmissivo. Ad esempio lo smalto fra i 100 e i 400°C presenta un coefficiente pari a 0,6 - 0,8 [Cal · h · m⁻¹ · °C⁻¹]

Definizioni e termini

Vengono richiamati di seguito i termini e le definizioni che maggiormente ricorrono nello studio dei resistori.

Resistenza

E' la misura di un resistore e viene espressa in ohm (Ω). Un resistore presenta la resistenza di 1 ohm quando applicando ai suoi capi una tensione di 1 Volt passa una corrente di 1 Ampere: $R = V \cdot I$

Resistore

Bipolo passivo caratterizzato da una resistenza R.

Resistività

Caratteristica di comportamento al passaggio della corrente di ogni materiale conduttore, definita come la resistenza elettrica che un cubo di 1 centimetro di lato presenta tra due facce opposte. Essa è definita come:

$$D = R \cdot s / l \text{ [ohm} \cdot \text{cm]}$$

dove s è la sezione del conduttore ed l la sua lunghezza.

Calore specifico

E' definito come la quantità di calore necessaria ad elevare di 1°C (per la precisione da 0 a 1°C) un grammo di un certo materiale e rappresenta la capacità termica di quella sostanza:

$$Cs = Q/g \cdot (T_2 - T_1) \quad [\text{cal} \cdot \text{gr}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} = 0,24 \text{ W}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}]$$

Coefficiente di temperatura

Rappresenta la variazione di resistenza di un resistore o di resistività di una sostanza dovuta alla variazione della temperatura. Viene normalmente data in parti per milione di variazione per °C di temperatura:

$$K^2 = \alpha^T = (R_1 - R_0) / R_0 \cdot (T_1 - T_0) \cdot 10^6 \quad [\text{ppm} \cdot \text{°C}^{-1}]$$

CARATTERISTICHE DEI RESISTORI

Vengono qui di seguito richiamati i principali parametri che caratterizzano i resistori.

Resistenza Nominale e tolleranza

E' il valore di resistenza attribuito dal costruttore ad un determinato resistore. Esso differisce dal valore reale per un R compreso nella tolleranza di valore stabilito per quel resistore.

Potenza nominale e rapporto temperatura potenza

Il valore che viene fornito come potenza nominale è quello che per quelle dimensioni e tecnologia costruttiva viene commercialmente accettato come potenza nominale ed è un numero che esprime una potenza in watt che non danneggia il resistore anche in impiego di lunga durata.

Il diagramma Potenza-Temperatura (detto anche curva di derating e riportato in figura 1) presenta il possibile campo di impiego di un resistore, che viene anche definito come "area operativa di sicurezza". Qualsiasi punto all'interno del diagramma è applicabile al resistore senza il timore di danneggiarlo.

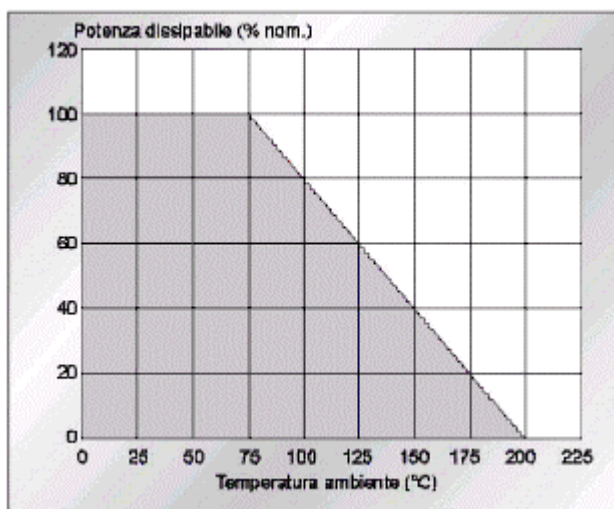


Fig. 1 - Curva di derating di un resistore, definibile come "area operativa di sicurezza" o diagramma potenza/temperatura ambiente

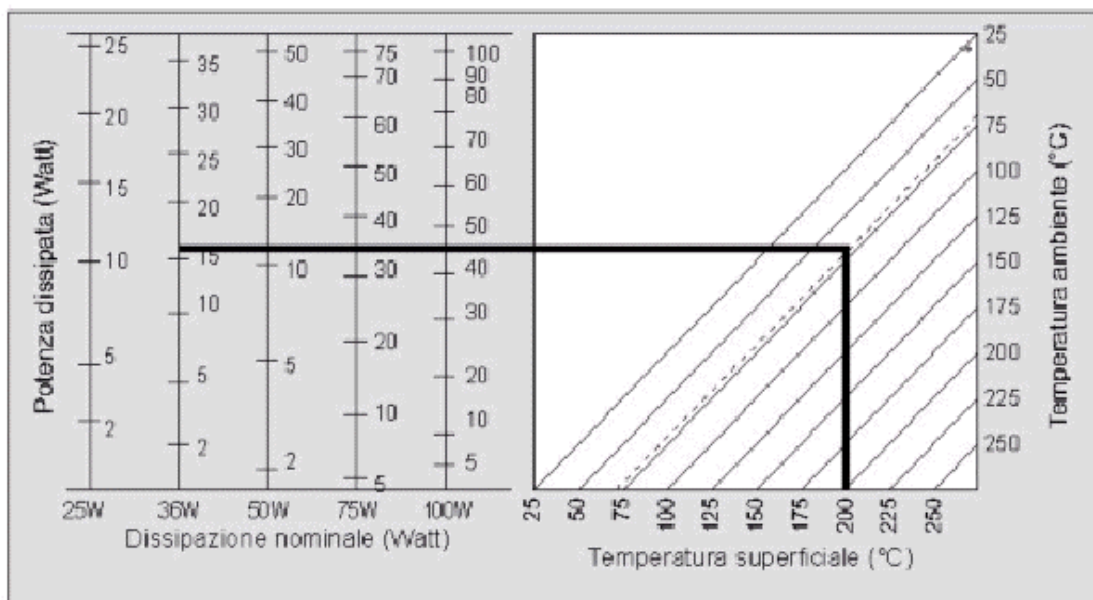


Fig. 2 - Temperatura superficiale di un resistore in funzione del tipo, della potenza dissipata e della temperatura ambiente

Il diagramma riportato in figura 2 fornisce indicazioni sulla massima potenza dissipabile da una certa

famiglia di resistori in diverse condizioni di carico e temperature ambiente. La linea in neretto indica ad esempio che un resistore di 36 W di potenza nominale, impiegato a 16 W in un ambiente a 70°C manifesta una temperatura superficiale di 200°C. Correttamente impiegato, questo diagramma fornisce indicazioni sul derating più opportuno per evitare di superare, a determinate temperature ambiente, temperature superficiali troppo elevate.

Tensione limite

E' la tensione massima che il costruttore consiglia di non superare, anche come impulso, ai capi di un resistore, indipendentemente dalla legge di Joule, e solo per motivi legati a questioni costruttive.

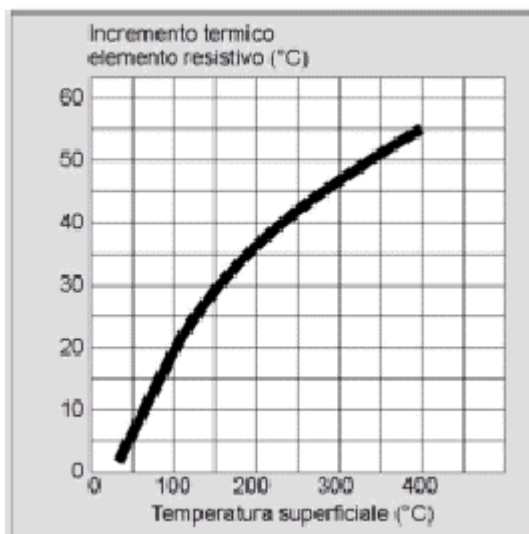
Resistenza critica

E' il valore resistivo più alto che può essere impiegato a piena potenza senza superare la tensione limite.

IL RESISTORE NELLE DIVERSE CONDIZIONI D'IMPIEGO

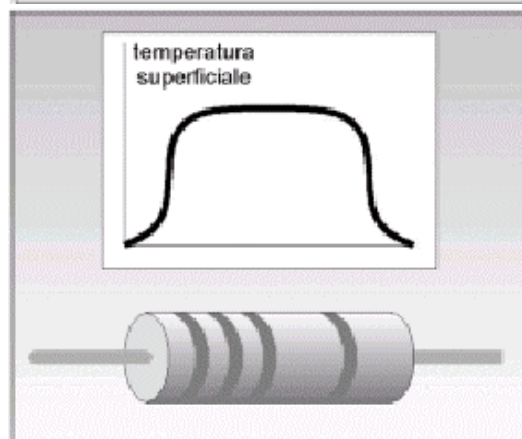
Regime

Il resistore raggiunge - a regime - una temperatura che è funzione della potenza dissipata e della temperatura ambiente, come indicato dai diagrammi potenza-temperatura di figura 2. In realtà, però,



la superficie esterna del resistore presenta una temperatura inferiore a quella dell'elemento resistivo interno il quale, non essendo direttamente a contatto con l'aria o con il dissipatore, raggiunge una temperatura più elevata. A questo proposito il costruttore fornisce un grafico -vedi figura 3 - che indica, in funzione della temperatura superficiale, qual'è la maggior temperatura dell'elemento resistivo.

Fig. 3 - Aumento della temperatura dell'elemento resistivo di un resistore a regime, secondo il postulato di Fourier



Vi è da notare inoltre che il valore indicato dal diagramma rappresenta la massima temperatura che assume il resistore in quanto, in realtà, la temperatura non è omogenea su tutta la superficie. Ad esempio, su di un resistore posto orizzontalmente essa varierà come indicato nella figura 4.

Fig. 4 - A causa della dissipazione fornita dai terminali, la temperatura superficiale (e interna) del resistore non è omogenea

Si ricordi, comunque, che l'elemento resistivo all'interno del resistore raggiunge una temperatura più alta della superficie, e se la resistenza è impiegata in maniera corretta (assenza di sovraccarichi, possibilità di dissipare correttamente) non deve superare il massimo valore indicato dal costruttore.

Sovraccarico

Si definisce sovraccarico l'applicazione al resistore di una potenza superiore a quella nominale per un tempo definito.

Esempio tipico è la prova prevista dalla MIL-R-26 che prevede l'applicazione di 10 volte la potenza nominale per 5 secondi. Se come esempio prendiamo un resistore da 250W, dovremmo applicare una potenza di 2500 W per 5 sec. Considerando che il resistore è freddo, nel primo secondo la temperatura dell'elemento resistivo non potrà superare i 250°C in quanto è facilmente calcolabile (postulato di Fourier) che la conducibilità dell'involucro permetterà una dissipazione maggiore della potenza erogata. La temperatura esterna della resistenza raggiunge così i 60-80 °C.

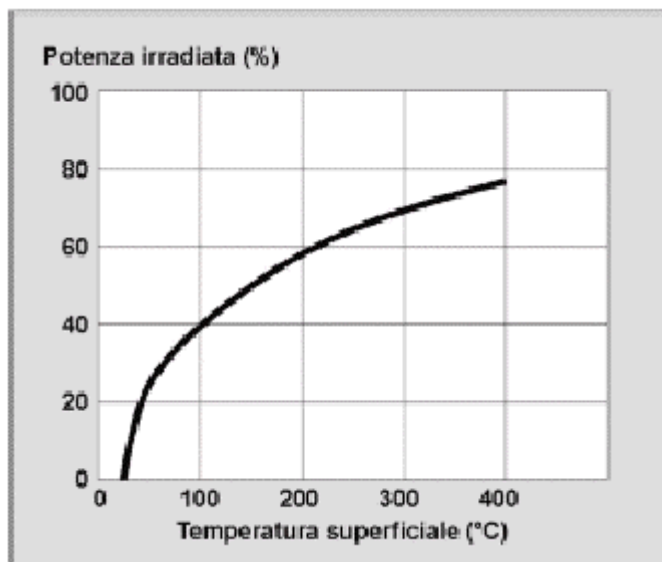
Durante i periodi successivi la temperatura aumenta in maniera analoga, partendo però da livello raggiunto nel periodo precedente. Complessivamente quindi l'esterno della resistenza non supererà i 250°C ma l'elemento resistivo raggiungerà ben 250°C in più e cioè 500°C.

Al termine della prova, l'energia dissipata dalla resistenza sarà di 12.500 Joule. Se il sovraccarico dovesse avvenire su resistori già a regime, bisogna tenere presente che l'elemento resistivo si trova ad una temperatura elevata, e quindi con poco margine per assorbire ulteriore energia.

A seconda della tecnica costruttiva impiegata per il resistore, è possibile che dopo una prova di sovraccarico l'elemento resistivo non subisca necessariamente un danneggiamento catastrofico, per cui il resistore - riportato a temperatura ambiente - appare nuovo come appena costruito.

Precauzioni al montaggio

Il resistore dissipa l'energia applicata per convezione, irraggiamento e conduzione (verso i terminali e il circuito stampato oppure verso il dissipatore per i resistori che prevedono questo tipo di montaggio).



Mentre il calore scambiato per convezione si dirige verso l'alto per effetto camino o può essere convogliato opportunamente mediante ventilazione, quello scambiato per irraggiamento propagandosi in linea retta può danneggiare componenti sensibili al calore.

Per fornire una valutazione del fenomeno il diagramma riportato qui a lato, dedotto dalla legge di Stefan-Boltzmann, fornisce la percentuale di potenza dissipata per irraggiamento in funzione della temperatura superficiale.

Impiego del resistore in aria ventilata

I dati esposti nei paragrafi precedenti si riferiscono ad un resistore in aria calma.

Nel caso di ventilazione forzata il coefficiente limite può aumentare fino a 6 volte per i resistori

smaltati e cementati. Questo significa che a parità di temperatura superficiale i resistori possono dissipare potenze superiori come indica il diagramma di figura 6.

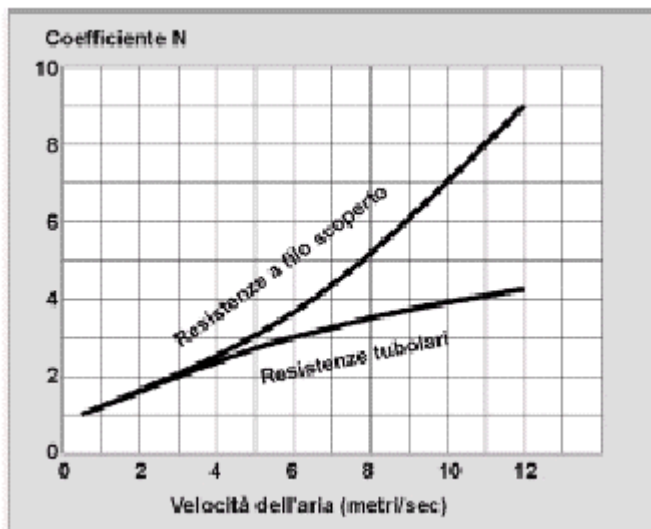


Fig. 6 - Influenza della velocità dell'aria sul carico applicabile

$$\text{Carico} = N \cdot P_{nom} \quad [\text{Watt}]$$

Comportamento in regime alternato

Se il resistore è del tipo a filo avvolto o a strato spiralizzato, esso assume un comportamento induttivo. Nel caso del resistore a filo avvolto, le capacità parassite esistenti tra spira e spira cominciano in genere a far risentire il loro effetto solo dopo il Megahertz.

Il valore dell'induttanza di un resistore varia in funzione del valore ohmico e delle dimensioni (maggiore è il valore ohmico e la dimensione, maggiore sarà l'induttanza). Ad esempio, un resistore da 250W presenta un'induttanza di 10 - 15 μH per valori inferiori a 50 ohm, mentre se si prende il tipo da 150 Kohm l'induttanza raggiunge i 200 mH! Non è quindi possibile a priori fornire un criterio generale per la valutazione dell'induttanza o più in generale della reattanza di un resistore alle varie frequenze.

Resistenze antinduttive

Per ridurre l'effetto dell'induttanza le resistenze denominate antinduttive, sono realizzate con il sistema Ayrton-Perry che consiste nel costruire un resistore con due avvolgimenti contrari, incrociati e messi in parallelo.

Con tale sistema l'induttanza si compensa e resta al di sotto del μH (microhenry) per le resistenze di grandi dimensioni, o si riduce fino a pochi nH (nanohenry) per le piccole resistenze, ovvero a valori assolutamente trascurabili. Tali resistori, però, presentano dimensioni maggiori di quelli standard e sono di costo più elevato.