

IL PROBLEMA DELLA DISSIPAZIONE TERMICA

Prerequisiti:

Conoscenza delle leggi della termodinamica

Obiettivi:

Saper risolvere un problema termico.

Quando si ha a che fare con le potenze è necessario e naturale tener conto, **sempre**, dei rendimenti raggiunti. Infatti, tanto più alto è il rendimento del sistema tanto migliore sarà la sua efficienza e tanto meno sarà il calore prodotto.

Lo smaltimento del calore è uno dei problemi più seri nel campo dell'elettronica dello stato solido. Sappiamo già come i semiconduttori siano sensibili agli aumenti della temperatura, e conosciamo già quanti sistemi di polarizzazione e stabilizzazione termica più o meno validi vengono usati correntemente. **Quando, però, il calore prodotto nella giunzione è elevato nasce anche imperiosamente la necessità di dissiparlo, altrimenti non vi è stabilizzazione termica che possa salvare dalla distruzione il componente attivo, sottoposto ad innalzamento termico.**

Lo smaltimento del calore avviene attraverso i dissipatori termici.

I Dissipatori Termici

Dalla Termodinamica ricordiamo che la **Potenza Termica Pd** (calore nell'unità di tempo) trasmessa da un corpo caldo all'ambiente circostante a temperatura più bassa è data da:

$$P_d = \frac{T_j - T_a}{R} \quad (1)$$

dove T_j è la temperatura del corpo caldo, T_a la temperatura dell'ambiente ed R rappresenta la resistenza termica (ossia la difficoltà che ha il corpo caldo a trasferire il suo calore all'ambiente freddo circostante),.

Se ci riferiamo ad un transistor, R è la resistenza termica tra la giunzione di collettore e l'esterno, T_j è la temperatura di giunzione e T_a è la temperatura ambiente. All'equilibrio termico la temperatura di giunzione T_j si stabilizzerà, per la (1), sul valore:

$$T_j = T_a + R \cdot P_d \quad (2)$$

Perciò è indispensabile che i valori del secondo membro dell'equazione non facciano raggiungere alla T_j la T_{jmax} che la giunzione può sopportare (**80÷100°C per il Germanio e 180÷200°C per il Silicio**). Per rispettare questa condizione si deve intervenire oclatamente sui tre parametri T_a , R , P_d che determinano la T_j .

Abbiamo detto che T_a è la temperatura dell'ambiente che circonda il transistor e, quindi, praticamente è la temperatura che si stabilizza all'interno del contenitore dell'apparato.

Dalla (2) si vede che un aumento di T_a impone una diminuzione della P_d per mantenere la stessa T_j . Perciò, quando si progetta un apparato elettronico allo stato solido **bisogna sapere quale sarà la**

temperatura massima a cui sarà sottoposto, per stabilire la potenza P_{dmax} che potranno dissipare i suoi elementi attivi.

Come si può vedere dal diagramma di Fig.01 disegnato per un elemento al Germanio, alla temperatura circostante $T_a = 62.5^\circ\text{C}$ il transistor potrà dissipare solo il 50% della sua P_{dmax} nominale (calcolata a 25°C).

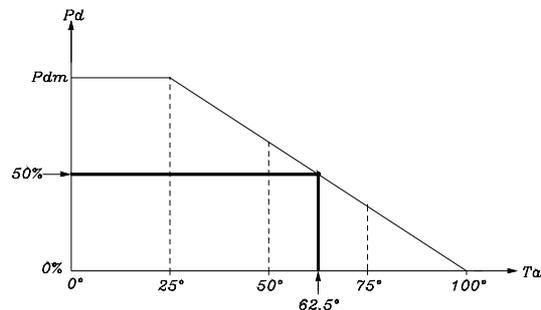


Fig.01

Il più delle volte, però, è difficile prevedere quale sarà la temperatura ambiente T_a . Perciò, seguendo una norma ben collaudata nella progettazione e ben sostenuta dai risultati pratici, si suppone in modo fittizio che la T_a rimanga a 25°C , imponendo, però, che in queste condizioni la temperatura massima di giunzione T_{jm} non superi il 50÷70% della T_{jmax} . Ossia deve verificarsi che:

$$T_{jm} = 0,5 \div 0,7 \cdot T_{jmax} \quad (3)$$



Nelle due foto sono riportati alcuni tipi di dissipatori: dai più piccoli (con Resistenze Termiche molto elevate) nella foto di sinistra, a quelli medio-grandi (con Resistenze Termiche medio-basse) nella foto di destra.



Ma vi sono anche dei dissipatori molto grandi.
Alcuni di questi possono avere resistenze termiche di qualche decimo di $^\circ\text{C}/\text{W}$.

Ad esempio, se $T_{jmax} = 200^{\circ}C$, noi faremo in modo che, alla temperatura di 25° , si abbia una temperatura di giunzione massima non superiore a:

$$T_{jm} = 0,6 \cdot T_{jmax} = 0,6 \cdot 200 = 120^{\circ}C .$$

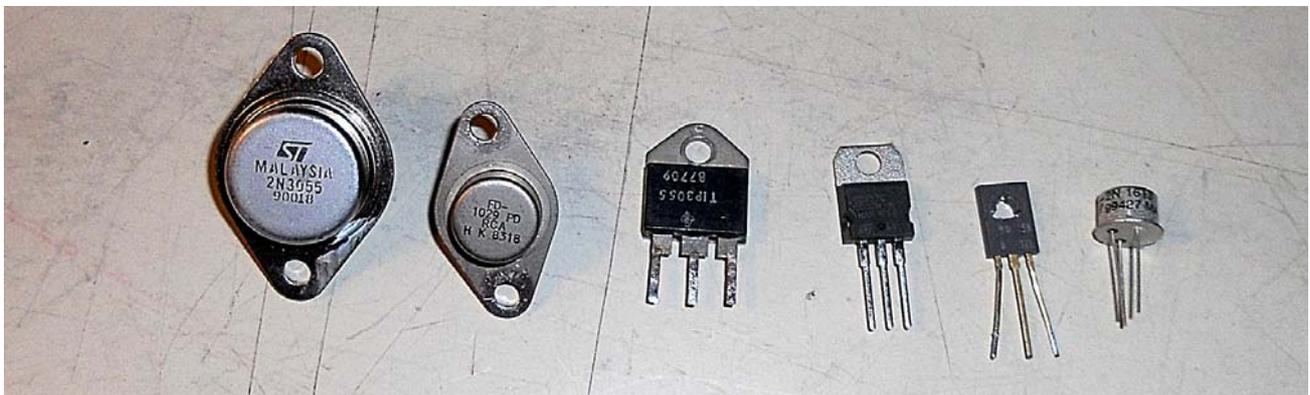
Infatti, se pur la temperatura ambiente si innalzasse addirittura di $55^{\circ}C$ sopra i $25^{\circ}C$ fino al valore di $(25+55)^{\circ}C=80^{\circ}C$, la T_{jm} raggiungerebbe al massimo $120+55=175^{\circ}C$, ancora sufficientemente al di sotto dei $200^{\circ}C$ di T_{jmax} .

-----*

Nel percorso della dissipazione del calore prodotto, avremo di solito a che fare con tre diversi tipi di resistenza termica.

Con le notazioni comunemente adottate definiamo queste tre resistenze termiche:

- 1) **Rj-mb:** Resistenza Termica tra giunzione e base di montaggio del componente.
- 2) **Rmb-h:** Resistenza Termica tra base di montaggio e dissipatore.
- 3) **Rh-amb:** Resistenza Termica tra dissipatore e ambiente circostante.



Alcuni contenitori (cases) di transistor. Da sinistra, verso destra: To3, To66, To3p, To220, To126, To39

Rmb-h (C°/W)	To3	To66	To3p	To220	To126	To39	To117	SOT48
Cont.Diretto	0,26	1,10	0,40	0,80	1,40	1,10	2,10	1,82
Cont.Dir.Silicone	0,12	0,65	0,22	0,50	1,10	0,70	1,70	1,50
Mica Interposta	0,80	1,80	1,10	1,40	2,10	---	---	---
Mica e Silicone	0,42	1,40	0,70	1,20	1,50	---	---	---

Fig.02.

La resistenza termica totale Rj-amb tra la giunzione e l'ambiente è data dalla somma di queste tre resistenze:

$$R_{j-amb} = R_{j-mb} + R_{mb-h} + R_{h-amb} \tag{4}$$

Spieghiamo i loro significati.

1) **La Rj-mb** è la resistenza che incontra il calore per passare dalla giunzione interna alla parte esterna dell'involucro o alla base di appoggio o di montaggio del contenitore (*case*) del transistor. **Di solito il suo valore è fornito dalla casa costruttrice dell'elemento attivo.**

2) **La Rmb-h** è la resistenza che incontra il calore per passare dalla base di montaggio dell'elemento attivo al dissipatore e dipende molto dal materiale interposto (*mica, silicone, ecc...*). **Essa non è facilmente rintracciabile sui manuali.** Diamo, perciò, nella tabella di Fig.02, alcuni valori pratici tra i più significativi, in funzione dei principali contenitori ed in base ai materiali isolanti interposti tra transistor e dissipatore.

3) **La Rh-amb** è la resistenza che incontra il calore per passare finalmente dal dissipatore all'ambiente circostante. **Questa resistenza è, in fondo, l'incognita del problema.**

Ricordando la (1), possiamo scrivere:

$$T_j - T_{amb} = R_{j-amb} \cdot P_d \quad (5)$$

da cui, per quanto detto sopra:

$$T_j - T_{amb} = (R_{j-mb} + R_{mb-h} + R_{h-amb}) \cdot P_d \quad (6)$$

Conoscendo tutti gli altri parametri si ricava la **Rh-amb**:

$$R_{h-amb} = \frac{T_j - T_{amb}}{P_d} - (R_{j-mb} + R_{mb-h}) \quad (C^\circ/W) \quad (7)$$

L'espressione (7) è fondamentale per il calcolo dei dissipatori e deve essere sempre applicata.

Semplice calcolo di un dissipatore

Per una maggiore comprensione delle formule precedenti facciamo un esempio concreto per il calcolo di una resistenza termica “dissipatore-ambiente” **Rh-amb**.

Un transistor 2N3055 inserito in un circuito elettronico è costretto a dissipare una $P_d = 20W$ (*non si confonda la potenza utile P_u con la potenza dissipata P_d !*). Dai listini sappiamo che il 2N3055 ha una $T_{jmax} = 200^\circ C$ e una $P_{dmax} = 115W$. La R_{j-mb} è anch'essa di solito riportata: Risulta $R_{j-mb} = 1.52^\circ C/W$ (Altrimenti basta fare: $(200-25)/115 = 1.52^\circ C/W$). Imponiamo che il transistor non sorpassi una temperatura di giunzione superiore a $T_j = 0,6 \cdot T_{jmax} = 120^\circ C$.

Montiamo il 2N3055 (che ha un case To3) su dissipatore con mica interposta senza silicone (dalla tabella di Fig.02: $R_{mb-h} = 0.80^\circ C/W$).

Avendo posto, per la convenzione già accettata, che sia $T_{amb} = 25^\circ C$, calcoliamo la **resistenza termica massima** necessaria del dissipatore:

$$R_{h-amb} = \frac{120 - 25}{20} - (1,52 + 0,8) = 2,43 \text{ } C^\circ/W \quad (8)$$

Il dissipatore che dovremo montare sul transistor 2N3055 dovrà avere al più una Resistenza termica di $2,43^\circ C/W$ o, ancor meglio, più bassa.

-----*

Il problema ora è reperire, o addirittura, costruire materialmente un dissipatore (heat sink) che abbia il valore calcolato.

Diamo, allora, uno sguardo ai dispositivi di raffreddamento comunemente adoperati. Nella pratica corrente i radiatori più usati sono quelli in **fusione** e quelli a **profilo estruso**. Essi sono di forme ed alettature svariatissime e sono in grado di dissipare anche enormi potenze. Mediante le alettature, più o meno pronunciate e più o meno serrate, questi tipi di dissipatori riescono a produrre una grande superficie di irradiazione in un piccolo volume, concentrato intorno al generatore di energia termica (transistor, diodo, diodo controllato, integrato, ecc...ma anche una testata di motocicletta, un radiatore per il riscaldamento, e così via!). Nel catalogo di un rivenditore serio di componenti elettronici dovrebbe essere sempre associato al dissipatore il suo valore di resistenza termica.

I **radiatori piani**, formati da comuni lastre di metallo, vengono invece usati quando le potenze da smaltire sono solo dell'ordine di appena un centinaio di Watt al massimo, perché, altrimenti, le loro superfici assumerebbero valori proibitivi, con un'efficienza dissipativa sempre più bassa.

In un radiatore le calorie vengono disperse in tre modi:

- 1) **Per conduzione**; la dispersione dipende dal materiale utilizzato, dalla sua forma e dalla sua superficie.
- 2) **Per irraggiamento**; la dispersione dipende dalla quantità di raggi infrarossi emessi.
- 3) **Per convezione**; la dispersione dipende dalla sua posizione e dal salto termico tra radiatore e ambiente.

Attraverso un particolare coefficiente di dispersione termica σ , l'insieme di questi tre fenomeni caratterizza il dissipatore termico. **Questo coefficiente σ deve essere il più grande possibile, poiché rappresenta l'efficienza del dissipatore.**

Per l'**alluminio** e il **rame**, il coefficiente σ ha una gamma di valori che va da circa 1 mW/cm^2 a oltre 8 mW/cm^2 a seconda delle condizioni e delle superfici dei materiali. Come si può notare, σ ha un ventaglio molto ampio di valori, che non avvantaggia il progettista.

Diciamo che la **Resistenza Termica** di un radiatore R_{th} , è:

- Una funzione inversa della sua superficie
- Notevolmente dipendente dalla finitura della superficie (brillante, annerita, anodizzata, ecc.)
- Inversamente dipendente dal coefficiente σ .

La semplice formula che ci permette di calcolare la superficie di un **radiatore piano e in posizione verticale** è la seguente:

$$S(\text{cm}^2) = \frac{1}{R_{th} \cdot \sigma} \quad (9)$$

dove il coefficiente σ , che ha il significato precedentemente esposto, **non è purtroppo una costante.**

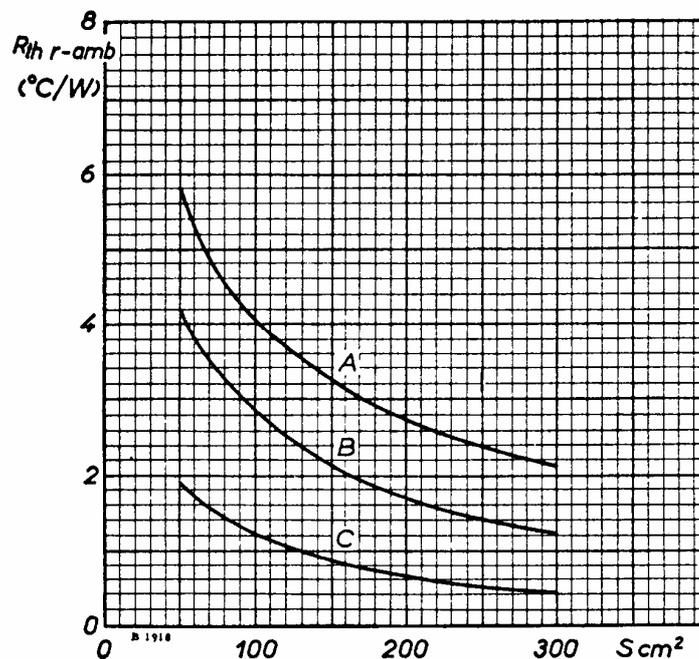


Fig.03¹

Diagrammi di resistenza termica in funzione della superficie di un radiatore piano in rame da 2mm o di alluminio da 3mm, montato verticalmente: A) Superficie brillante; B) Superficie annerita; C) Ventilazione forzata su superficie annerita e con velocità dell'aria a 5m/s.

Dalle curve di Fig.03 si vede come σ varia con il variare della superficie e delle caratteristiche del radiatore.

Per esempio, si evince dalla **curva A (alluminio lucido)** che 100 cm^2 di radiatore hanno un coefficiente di dispersione:

$$\sigma = 1/R_{th} \cdot S = 1/(4 \cdot 100) = 2,5 \text{ mW/cm}^2$$

invece 200 cm^2 hanno un coefficiente di dispersione:

$$\sigma = 1/(2,8 \cdot 200) = 1,7 \text{ mW/cm}^2$$

molto più basso.

Si vede come σ diminuisce al crescere della superficie e ciò è ovvio perché nei punti lontani dalla sorgente di calore (nel nostro caso, il transistor) il radiatore assume temperature sempre più basse con conseguente perdita di efficienza nello scambio termico. Dalla **curva B (alluminio annerito)**

¹ Da "M.Gaudry - Raddrizzatori, diodi controllati, triac" – Biblioteca Tecnica Philips – Milano- 1972

100cm² danno un $\sigma = 1/(2.9 \cdot 100) = 3,4 \text{ mW/cm}^2$, con un'efficienza doppia rispetto alla curva A. Nella **curva C (ventilazione forzata)** lo stesso dissipatore di alluminio annerito ha un valore di $\sigma = 1/(1.2 \cdot 100) = 8,3 \text{ mW/cm}^2$ ed è, quindi, molto efficiente.

(Le curve riportate in Fig.03 sono abbastanza valide per superfici verticali di alluminio da 3mm di spessore).

Riprendiamo, a questo punto, il valore di **Rh-amb** calcolato più sopra per il transistor 2N3055 e vediamo quant'è la superficie di **alluminio lucido verticale** che dobbiamo usare **approssimativamente** per realizzare un dissipatore che soddisfi il valore trovato.

Poniamo per sicurezza un valore basso di σ ad es. $\sigma = 1,7 \text{ mW/cm}^2$, pensando anche che il risultato potrebbe fornire probabilmente una superficie intorno a 200 cm². Infatti:

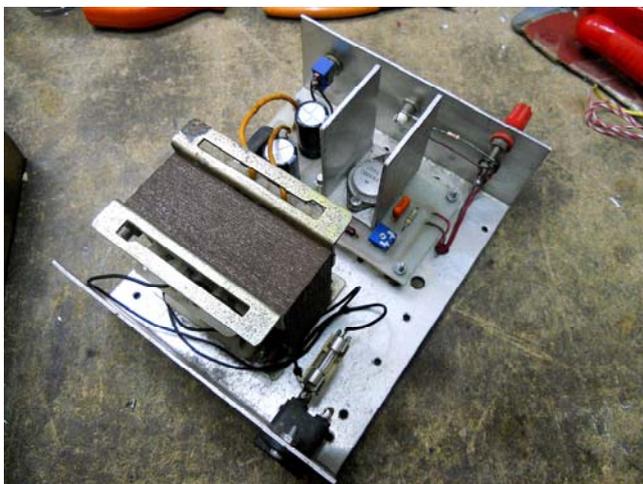
$$S = \frac{1}{2,43 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3}} = 242 \text{ cm}^2 \quad (10)$$

Calcoliamo per la stessa resistenza termica **Rh-amb** (2,43°C/W) il dissipatore formato da **alluminio anodizzato nero** e utilizziamo il valore di $\sigma = 3,4 \text{ mW/cm}^2$. Otteniamo:

$$S = \frac{1}{2,43 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3}} = 121 \text{ cm}^2 \quad (10a)$$

con una superficie ridotta della metà. Si può quindi concludere che **è sempre conveniente, utilizzare superfici trattate e annerite.**

Il valore della (10a), calcolato un po' empiricamente, è **il minimo valore di superficie in cm²**, sufficiente a realizzare la **Rh-amb** desiderata, ed è chiaro che superfici maggiori vanno ancora meglio. E' anche da considerare che il calcolo è valido per la doppia superficie di una piastra verticale, per garantire la circolazione d'aria su ambedue le facce della lastra. Se, per qualche



motivo, vi è la necessità di mettere la piastra in posizione orizzontale è bene raddoppiare la superficie (valutata sempre come la minima indispensabile), poiché in questo caso, l'aria stagnante sotto la piastra non aiuta lo scambio termico e fa aumentare la resistenza termica del dissipatore.

Comunque, se è possibile, è sempre auspicabile piegare ad U il lamierino del dissipatore, per poter avere una sua buona parte in verticale. Nella foto è visibile il dissipatore ad "U", calcolato precedentemente ed utilizzato in un alimentatore stabilizzato.

Quanto detto, quindi, deve essere di pratica e immediata applicazione nello studio di amplificatori di potenza allo stato solido.

Infatti, in un'oculata progettazione di un amplificatore di potenza, il problema dello smaltimento del calore è il primo che deve essere affrontato e risolto.

Senza questo studio preventivo potremmo assistere a delle belle e calde fumate con annessi componenti arrostiti! A volte non si ha nemmeno il tempo di togliere la spina.