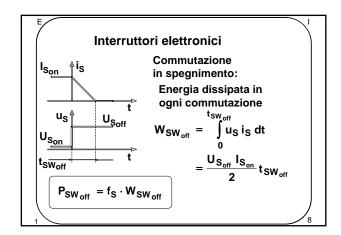


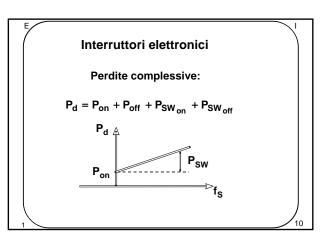
Interruttori elettronici di potenza
Caratteristiche dinamiche
Commutazione in spegnimento:

Ison is
Usoff
Us



Interruttori elettronici

- Le perdite di commutazione sono circa proporzionali ad I_{Son}, U_{Soff} ed f_S
- Le perdite di conduzione sono circa proporzionali ad I_{Son} (ed indipendenti da f_S)
- Le perdite di interdizione sono trascurabili



Interruttore ideale

- Dal punto di vista dell'analisi dei circuiti a commutazione, le nonidealità degli interruttori elettronici sono scarsamente influenti
 - I tempi di commutazione degli interruttori sono infatti molto più piccoli dei tempi con cui evolvono le grandezze del circuito
 - Le cadute di tensione in conduzione sono solitamente trascurabili rispetto alle tensioni in gioco nel circuito

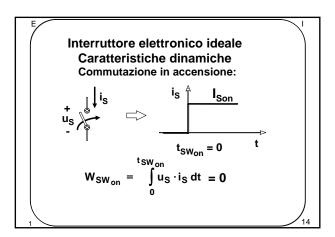
Interruttore ideale

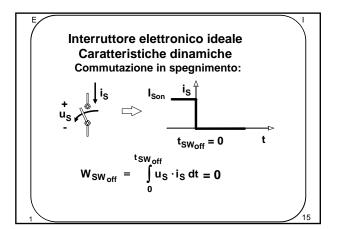
- Dal punto di vista dell'analisi dei circuiti a commutazione, le nonidealità degli interruttori elettronici sono scarsamente influenti
- I circuiti vengono dunque analizzati, in prima approssimazione, assumendo interruttori ideali
- Gli effetti delle nonidealità (in particolare le perdite) vengono valutati in seconda approssimazione

12

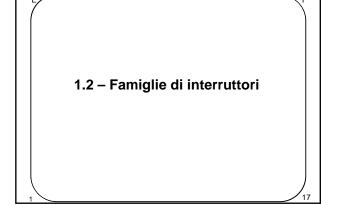
Interruttore elettronico ideale Caratteristiche statiche

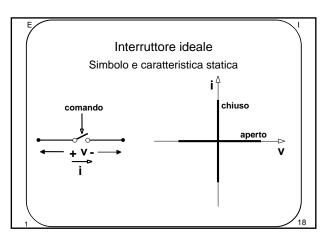
| Conduzione: |
| Us | Son
$$\Rightarrow U_S = 0 \Rightarrow P_{on} = U_S i_S = 0$$
| Interdizione: |
| Us | Soff $\Rightarrow i_S = 0 \Rightarrow P_{off} = U_S i_S = 0$
| In ambo i modi di funzionamento l'interruttore non dissipa potenza



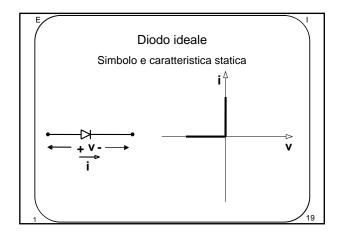


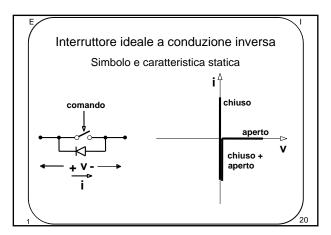
Interruttori elettronici ideali
 Caduta di tensione in conduzione nulla
 Corrente in interdizione nulla
 Tempi di commutazione nulli
 Nessuna potenza dissipata

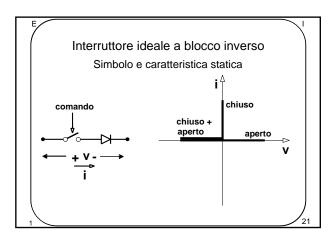




-9.3-









Interruttori reali a semiconduttore

I dispositivi attivi di commutazione a semiconduttore, usati come interruttori, si discostano dal comportamento dell'interruttore ideale per molti aspetti diversi.

Perdite di conduzione

Perdite di dispersione

Perdite di commutazione

Interruttori reali a semiconduttore
In commutazione:
tensione e la corrente non passano
istantaneamente da zero al massimo o viceversa,
ma impiegano tempi finiti ("tempi di
commutazione").

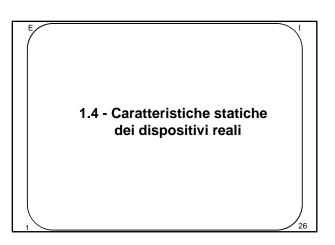
La potenza media dissipata nelle commutazioni non è
di solito trascurabile.
Essa costituisce il principale fattore che limita la
frequenza di operazione degli interruttori reali

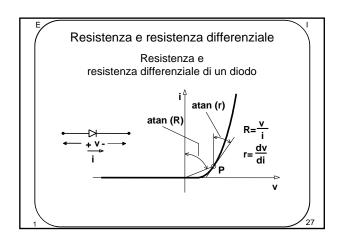
Interruttori reali a semiconduttore

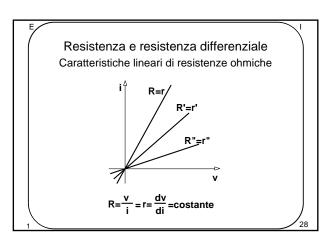
I dispositivi a semiconduttore più usati in Elettronica di potenza Diodi di potenza e Diodi Schottky, MOSFET di potenza, (Transistori Bipolari soprattutto Darlington), IGBT, SCR e TRIAC, GTO, IGCT.

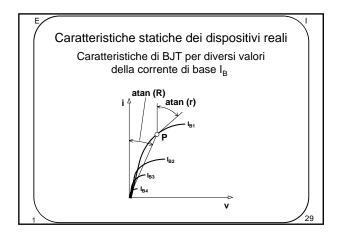
Differenza principali:
velocità di commutazione
Massime tensioni, correnti e potenze dissipabili

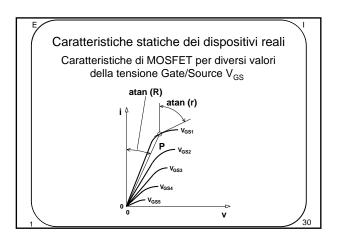
MOSFET piccole potenze ed elevate frequenze
IGBT ampia zona intermedia di potenze e frequenze
SCR, GTO, IGCT alte potenze e basse frequenze



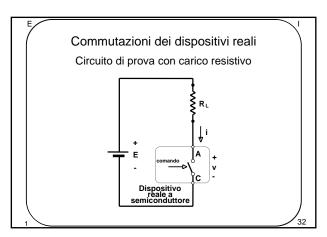


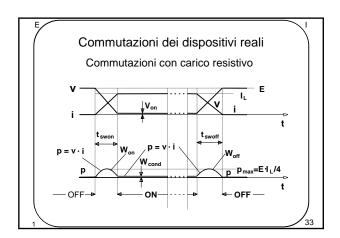


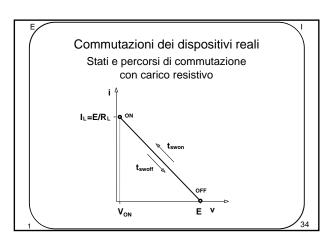


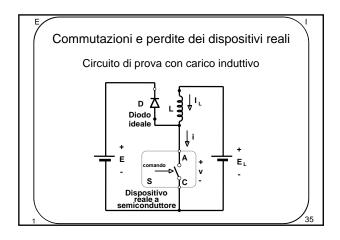


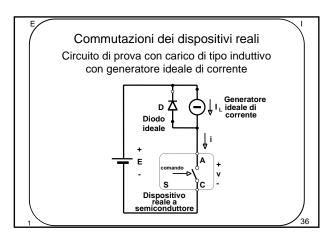


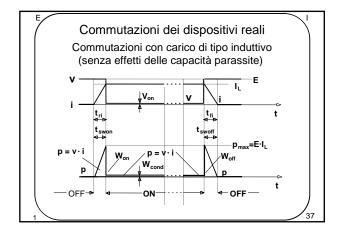


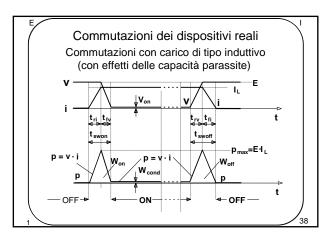


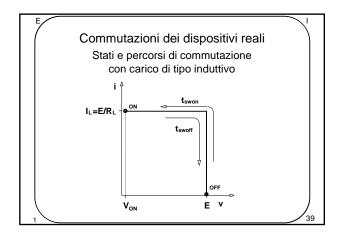


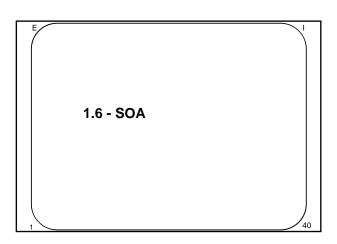


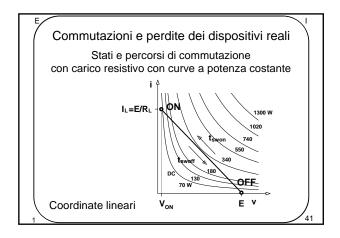


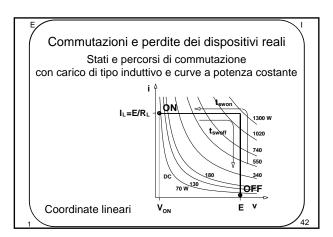


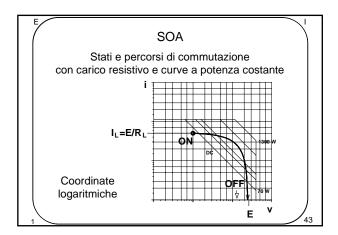


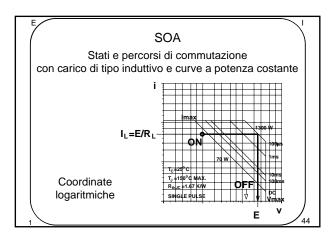


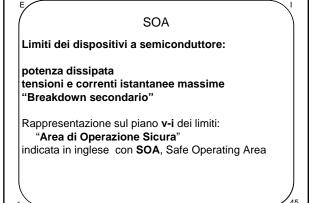


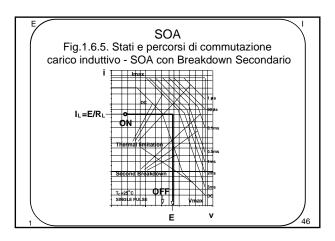












1.7 - SNUBBER

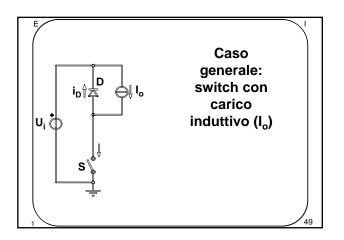
Scopi:

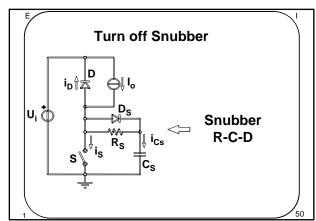
- ridurre le **perdite** nel dispositivo
- limitare le velocità di variazione delle tensioni e/o correnti

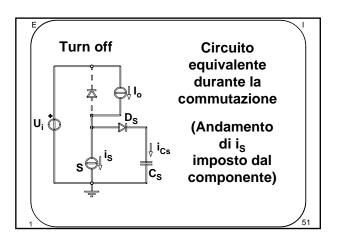
Tipi di snubber

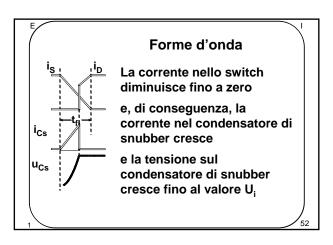
- ✓ snubber RCD (turn-off): usati per limitare la du/dt e modificare la traiettoria di commutazione allo spegnimento, e limitare la sovratensione nei dispositivi attivi allo spegnimento
- ✓ snubber LRD (turn-on): usati per limitare la di/dt e modificare la traiettoria di commutazione all'accensione

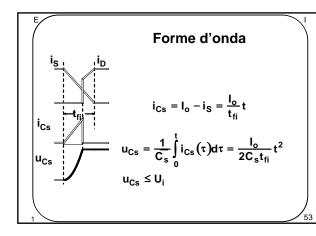
18

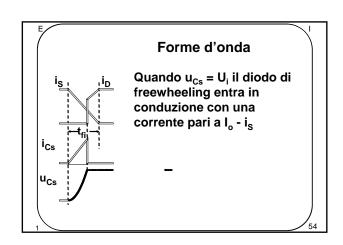


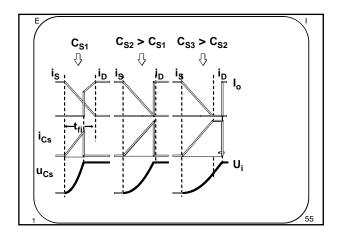


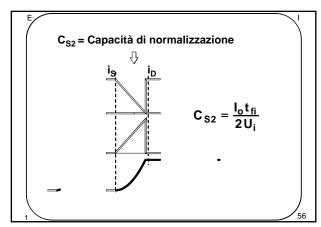


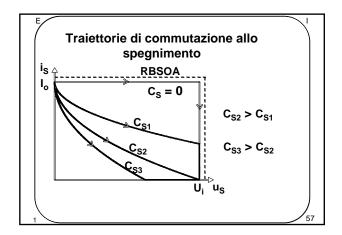








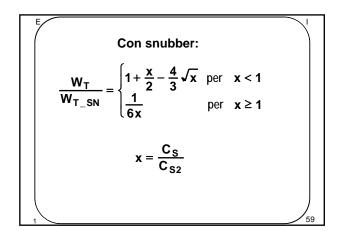


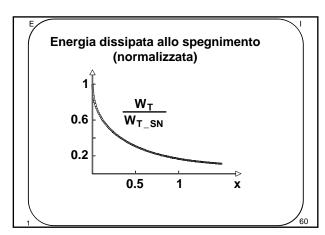


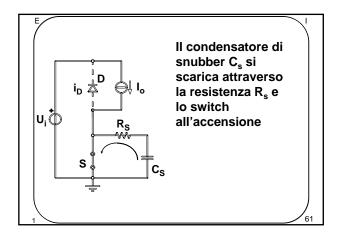
Effetto dello snubber sull'energia dissipata nello switch allo spegnimento

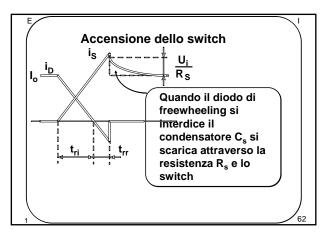
Senza snubber: $W_{T_SN} = U_i I_o \frac{t_{fi}}{2}$

Nota: si trascura l'intervallo di crescita della tensione da 0 a $U_{\rm i}$ (intervallo $t_{\rm ru}$)









Energia dissipata nella resistenza di snubber R_s:

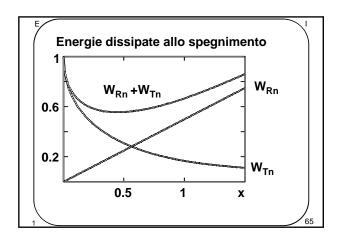
$$W_R = \frac{1}{2}C_SU_i^2$$

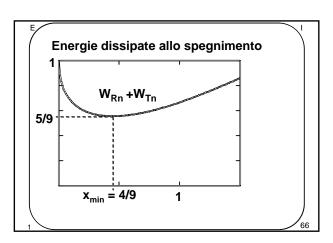
Corrente di picco nella resistenza di snubber:

$$\frac{U_i}{R_s} < I_{rr}$$

Commenti

- ✓ L'energia del condensatore di snubber viene dissipata nella resistenza di snubber
- ✓ La corrente di picco nello switch all'accensione non aumenta





Criteri di scelta del condensatore di snubber

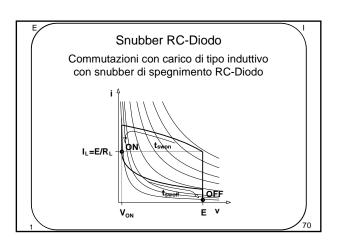
- √ mantenere la traiettoria di commutazione allo spegnimento all'interno della RBSOA
- √ ridurre la potenza dissipata nello switch (considerazioni termiche)
- √ mantenere bassa la totale potenza dissipata (W_T+W_R)

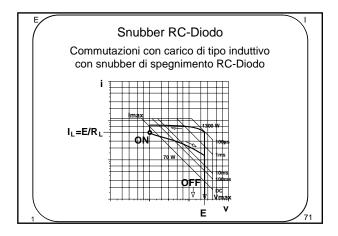
Vincolo sui valori

Il condensatore di snubber deve scaricarsi completamente durante il minimo intervallo di "ON" dello switch:

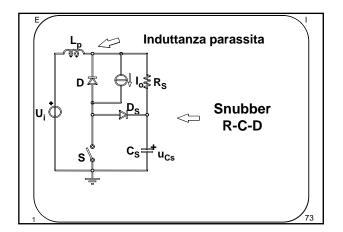
 $t_{ON\,min} > 2.3\,R_SC_S$

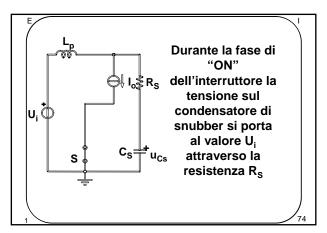
per avere $u_{Cs} = 0.1 U_i$

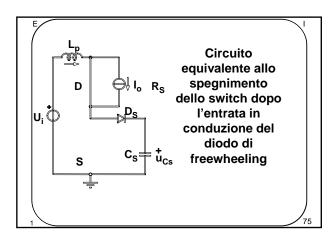




Snubber R-C polarizzati (overvoltage snubber)



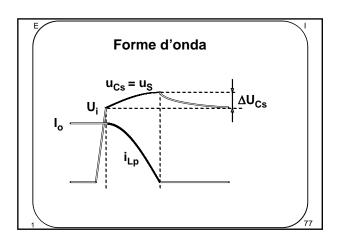




Essendo C_s precaricato al valore U_i la sovratensione ΔU_{Cs} si può calcolare dal bilancio energetico:

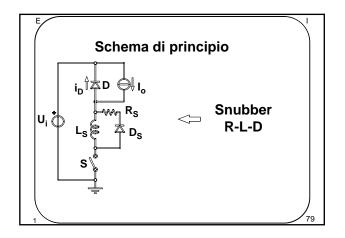
$$\frac{1}{2}C_S\Delta U_{Cs}^2 = \frac{1}{2}L_pI_o^2$$

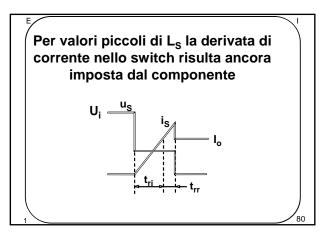
Nota: un valore elevato di C_s riduce la sovratensione sullo switch

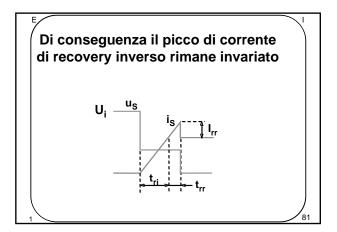


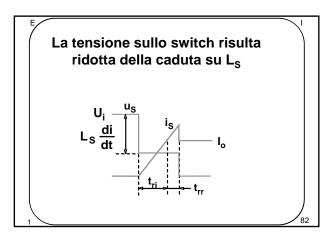
Snubber L-R (turn-on snubber)

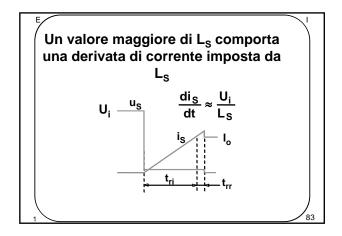
- √ ridurre le perdite dello switch all'accensione
- ✓ ridurre la di/dt all'accensione
- √ ridurre il picco della corrente di recovery inverso

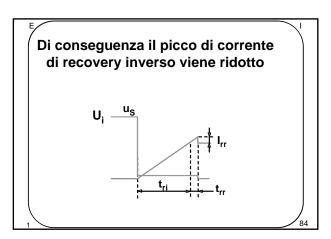


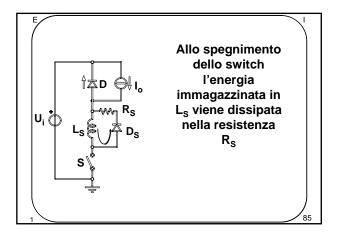


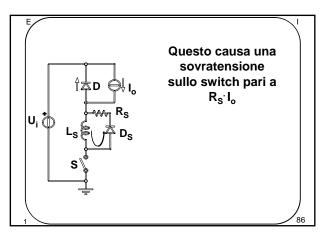


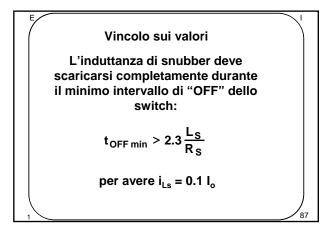


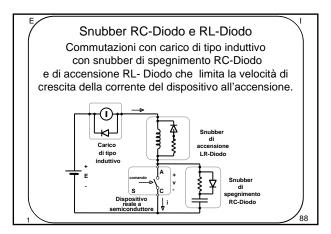


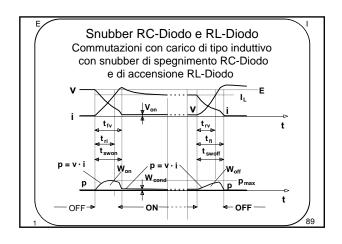


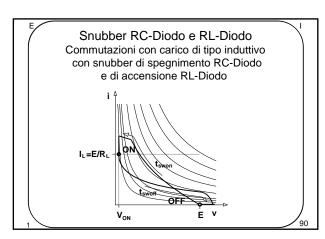


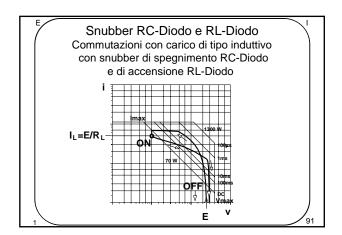












Snubber

Vantaggi:

riduzione delle dissipazioni per evitare stati pericolosi durante le commutazioni.

Svantaggi:

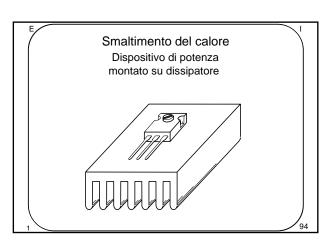
richiedono notevoli complicazioni circuitali che comportano aggravi di costi e, in molti casi, riduzioni di affidabilità.

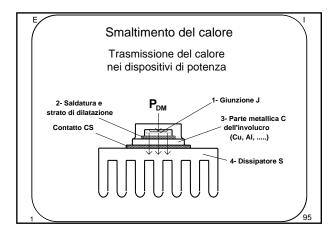
Tendenza attuale:

evitarne l'impiego, anche perchè si sono avuti notevoli miglioramenti nelle prestazioni (soprattutto la velocità) dei dispositivi.

92

1.8 - Smaltimento del calore,
Resistenze ed
Impedenze termiche





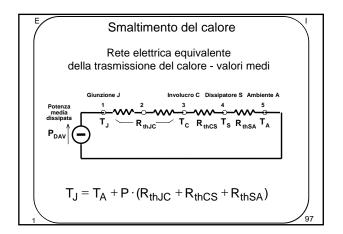
Smaltimento del calore

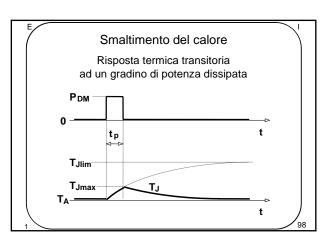
Per ogni passaggio si ha un salto di temperatura che, in prima approssimazione, si può considerare proporzionale al flusso di calore trasmesso.

Il fattore di proporzionalità salto di temperatura/flusso di calore è detto **resistenza termica**.

La quantità di calore è misurata in calorie o anche, essendo una energia, in Joule (1Cal=4185J).ll flusso di calore è misurato in Cal/s oppure in Joule/secondo, cioè in Watt. La resistenza termica si misura quindi in °C·s/Cal oppure in °C/W.

96





Capacità termiche

La variazione di temperatura del materiale assorbe una certa quantità di calore.

Si ha cioè una certa "Capacità termica" del materiale, la cui azione può essere rappresentata aggiungendo al circuito equivalente elettrico di delle capacità equivalenti Cth,

In ogni nodo, i valori di tali capacità dipendono dal volume di materiale, e quindi dalla sua massa, a cui il nodo corrisponde, e dal valore del calore specifico del materiale stesso.

