Se uso motore a ecc. elettrica è perché voglio lavorare sia nelle zone di coppia costante, che in quelle di potenza costante.

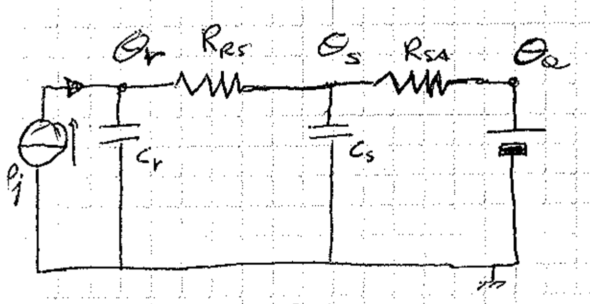
Nelle macchine a ecc. elt. si ha il limite di commutazione che interseca la curva di funz. permanente nella zona di funz. a pot. costante.
La pendenza della curva di funzionamento è praticamente nulla a causa delle elevate perdite dovute all'eccitazione.

Nelle macchine ~~a ecc. elt.~~ in continua come posso restare nella zona a funz. non permanente?
Introduciamo il modello termico del motore DC (analogia termico-elettrica).

al flusso termico → corrente
alla temperatura → tensione
R therm → R
C therm → C

Supponiamo che Θ statore sia isotermico e rotore idem.

$P_j = R_a i_a^2$ (dimentichiamo perdite ferro e meccaniche).



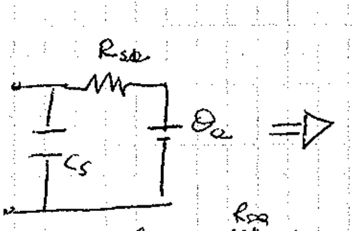
MACCHINA P.M.

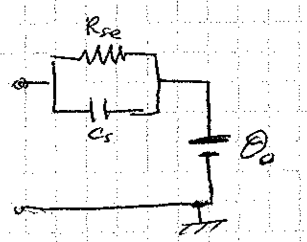
La capacità termica di un corpo dipende
$m \cdot C_{spec}$
Poiché lo statore è più grosso si ha che
$C_s > C_r$

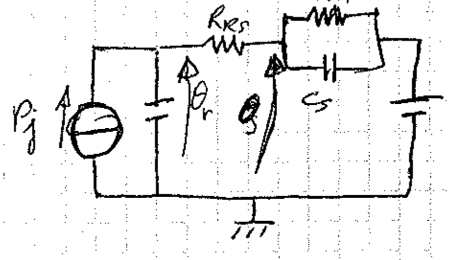
Sperimentalmente si ha che $C_s \cdot R_{sa} > C_r R_{rs}$

Facciamo un circuito meno rigoroso, ma più ~~semplice~~ semplice.

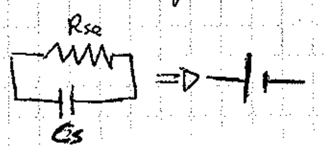
Per $t=0$ $\quad \Theta_r = \Theta_s = \Theta_a$



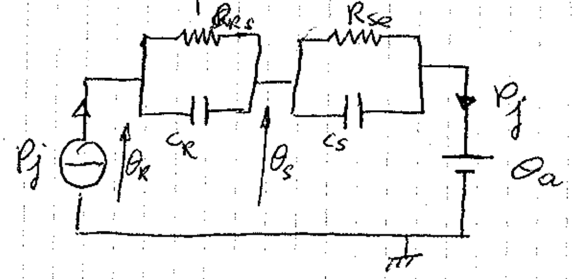




ipotizziamo che $C_s R_{sa} \gg C_r R_{rs}$
in questo caso la temperatura dello statore varia molto più lentamente che ~~rispetto~~ al rotore.
possiamo quindi approx



Arriviamo quindi al modello termico approx




$C_S \cdot R_{SE} > C_R R_{RS}$

$\theta_R \geq \theta_S$ - $\theta_R$ cresce più velocemente di $\theta_S$. Posso quindi avere $\theta_R$ di valore elevato con $\theta_S \simeq \theta_a$. Il problema è che non è facile misurare la $\theta_R$.
La misura di $\theta_S$ non è sufficiente per garantire la protezione del motore.
Bisogna avere dei metodi che a partire da $P_j(t)$ $[\Leftrightarrow i_a(t)]$ permettano di calcolare le $\theta_R$ e $\theta_S$.

casi:

0) $T$ = cost $\rightarrow$ diagrammi della SOA del motore
1) $T \neq$ cost, ma $T(t)$ periodica. In questo caso può essere pensata come valore medio + $\underbrace{\text{armoniche}}_{\text{valore medio nullo}}$

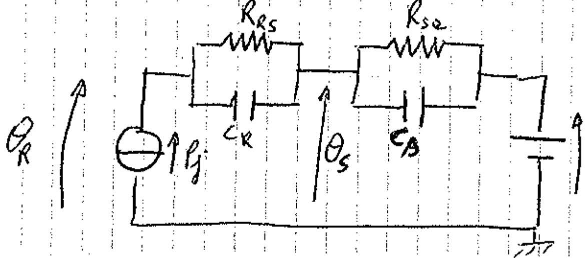
Dobbiamo calcolare la temperatura media del motore (legata al valore efficace della $i_a$).

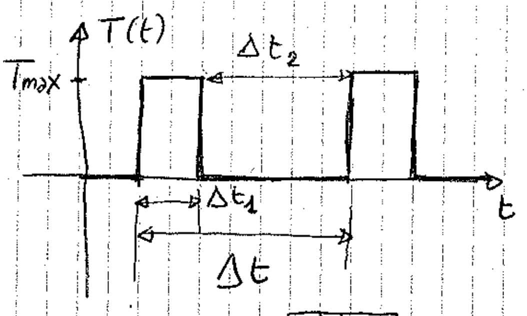
$i_a(t) = \dfrac{T}{K_T}$ è funzione periodica $i_{RMS} > i_{aN}$ ?
$< i_{aN}$ ?

Se $i_{RMS} > i_{aN}$ il sistema non può funzionare perché la temperatura media è maggiore della max temperatura ammessa.

Se $i_{RMS} < i_{aN}$ dobbiamo confrontare la durata degli intervalli di sovraccarico con la costante di tempo termica di rotore.

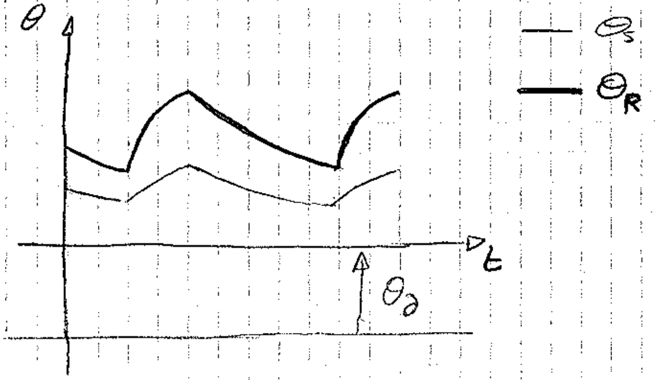
<u>Caso specifico:</u>



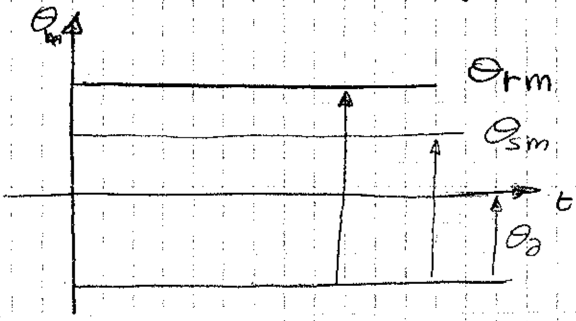




$$i_{RMS} = \frac{T_{Max}}{K_T}\sqrt{\frac{\Delta t_1}{\Delta t}} \Longrightarrow \underbrace{K_T\, i_{RMS}}_{T_{RMS}} = T_{Max}\sqrt{\frac{\Delta t_1}{\Delta t}}$$

$$T_m = \frac{T_{max}\,\Delta t_1}{\Delta t}$$




Se la coppia fosse uguale alla coppia media si avrebbe




$$\theta_{sm} = \theta_a + P_{jm} R_{sa}$$

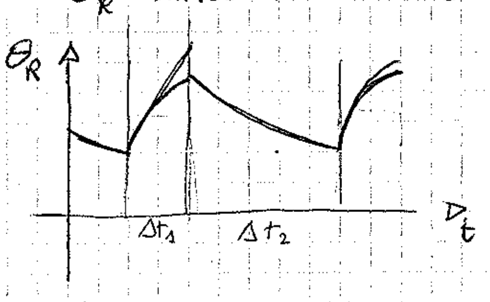
$$P_{jm} = R_a \, i_{RMS}^2$$

$$\theta_{rm} = \theta_a + P_{jm} \left( R_{sa} + R_{rs} \right)$$

$R_{sa}$ e $R_{RS}$ sono facili da misurare e quindi sono noti.

Per semplificare facciamo l'ipotesi che $\theta_s$ sia uguale e costante uguale a $\theta_{sm}$.

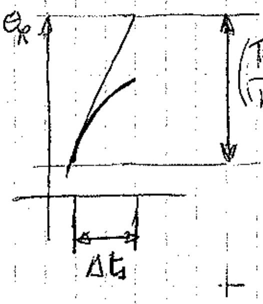
$\theta_R$ invece non è costante.




<u>In $\Delta t_1$</u> $\theta_r(t) = \theta_a + \exp$ con $\tau_s = R_{sa} C_s$ $+ \exp$ con $\tau_R = R_{RS} C_R$

se $\tau_s > \tau_R$ allora il 2° termine è trascurabile perché in $\Delta t_1$ varia poco.

Approx l'esponenziale con la retta tg. nell'origine. $\left( \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \Rightarrow \frac{t}{\tau} \right)$ se considero tempi inferiori a $\tau$.

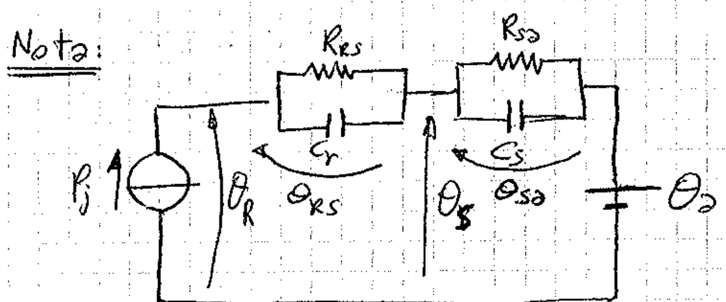



$$\left(\frac{T_{max}}{K_T}\right)^2 R_a \underbrace{\frac{\Delta t_1}{R_{RS} C_R}}_{\frac{\Delta t_1}{\tau}} R_{RS}$$

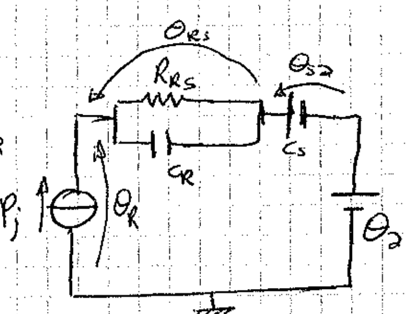
$\left(\frac{T_{max}}{K_T}\right)^2 R_a$ sono le $P_j$ quando la macchina fornisce coppia

$$\theta_{rmax} = \theta_{rm} + \left(\frac{T_{max}}{K_T}\right)^2 R_a \frac{\Delta t_1 R_{RS}}{R_{RS} C_r} \cdot \frac{1}{2}$$

<u>Nota:</u>




se $\tau_s \gg \tau_R$ $\Longrightarrow$



Infatti $\theta_R = \theta_{RS} + \theta_{Sa} + \theta_a$. Se $\tau_S \gg \tau_R$ le variazioni di temperatura $\theta_{Sa}$ sono molto basse e posso quindi sostituire il gruppo RC con un generatore di tensione. Inoltre se la macchina è ferma da molto tempo $\theta_{Sa} \simeq 0$ quindi $\theta_R - \theta_a = \theta_{RS}$

$\boxed{\text{Esempi numerici}}$: servomotore. motore totalmente chiuso non ventilato

| | |
|---|---|
| Peso 36 Kg | $J = 0{,}033$ Kgm sec$^2$ |
| Coppia (al. DC) | 25 Nm |
| Coppia (SCR) | 17 Nm |
| $\tau_R$ = | 105 minuti |
| Max coppia impulsiva | 240 Nm |
| Attrito | 1,1 Nm |

Questa serie di motori viene fornita con 3 tipi di avvolgimento. Tutti gli avvolgimenti danno la stessa coppia. La scelta tra gli avvolgimenti dipende dal convertitore (se fornisce bene V e alta i o viceversa).

Scegliamo il 202130-8.

Dati secondari:

- attrito statico: 1,13 N/m dovuto ai cuscinetti e alle spazzole
- max accelerazione teorica allo stallo: 7300 $\frac{rad}{s^2}$
- costante di fem ($K_E$) = 0,76 $\frac{V}{rad/s}$ $\pm 10\%$ (caratteristiche del magnete dipendono dalla temperatura)
- costante di coppia ($K_T$) = 0,76 $\pm 10\%$
- $R_a$ in DC = 0,18 $\Omega$ (senza spazzole); 0,23 $\Omega$ (con spazzole) $\pm 10\%$

  manca la $\theta$ a cui è riferita la resistenza

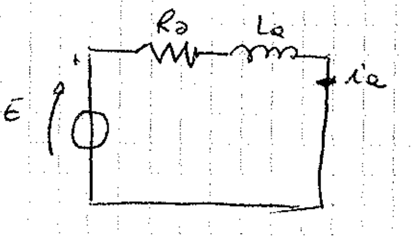
$L_a = 0{,}76$ mH

$\tau_e = 3$ ms $\qquad \tau_e = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0{,}00076}{0{,}23} = 3{,}3$ ms

$$\tau_m = \frac{R_a J}{K_E K_T} = \frac{0{,}23 \cdot 0{,}033}{0{,}76 \cdot 0{,}76} = 13{,}1 \text{ ms} \qquad \tau_m > \tau_e$$

max acceler. teorica allo stallo: Prendo la max coppia impulsiva

$$\ddot{\theta}_{max} = \frac{T_{max}}{J} = \frac{240}{0{,}033} = 7272 \ \frac{rad}{s^2}$$




$i_a \simeq \frac{E}{R_a}$ circa perché in questo caso la $i_a$ è variabile nel tempo.

$$T = \frac{K_E \omega}{R_a} K_T = \frac{K_E K_T}{R_a} \omega = \underbrace{2{,}51}_{\frac{Nm}{rad/s}} \omega$$

## SELF OPERATING AREA

$I_{max}$ 33 A
T allo stallo 25 Nm $\Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta\theta$ 155 °C

tachimetro: $0{,}286 \frac{V}{rad/s}$

ripple: 1% manca il n° di ondulazioni

$R_e = 150\ \Omega$
$L_e = 4\ mH$

richiede carico $> 10\ k\Omega$

comportamento termico.

il costruttore ha fatto ruotare il rotore a 60 rpm a 40°C e corrente 33 A. Ha misurato $\theta_r$ e $\theta_s$.

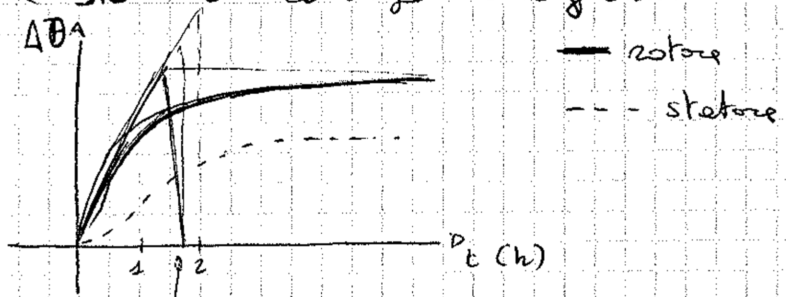
$P_j = R_e I_e^2 = 0{,}23 \cdot 33^2 = 250{,}47\ W$

0,23 è la resistenza a freddo

noi dobbiamo calcolare la resistenza a 195° $(40° + 155°)$ $R_{195} = 0{,}23 \frac{235+195}{235+20} = 0{,}39\ \Omega$

$P_{j\,195} = 0{,}39 \cdot 33^2 = 424{,}71\ W$

il **315 W** del catalogo è ragionevole.




$\tau_R = 105\ min.$

Parto con motore a $\theta_{amb} = 30°C$ a $t=0$ $\theta_r = \theta_s = \theta_{amb}$

max $\theta_R = 170°$ $T = 1{,}7\ T_n$

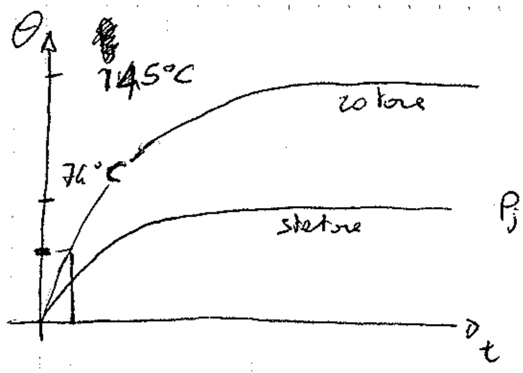
per quanto tempo posso chiedere **T** $= 1{,}7\ T_{nom}$, poi attendo un $\Delta t$ tale che $\theta_R$ ritorni $= \theta_{amb}$

A regime $\theta_{sa} = 74°C$ $P_j = 315\ W \Rightarrow R_{sa} = \frac{\theta_{sa}}{P_j} = 0{,}235 \frac{K}{W}$

la corrente con cui entro è circa $1{,}7\ I_n$.

$\theta_{ra} = 145°C$, $P_j = 315\ W$

(41)




$P_j = 315\,W$

Se $T = 1{,}7\,T_n$

$P_j = 315 \cdot 1{,}7^2 = 910{,}35\,W$

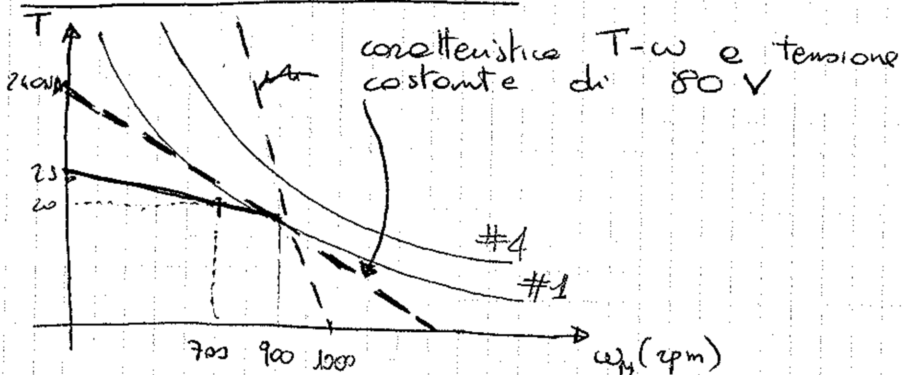
$\theta_{st\,t\to\infty} = 74 \cdot 1{,}7^2 \simeq 214\,°C$

$\theta_{ro\,t\to\infty} = 145 \cdot 1{,}7^2 = 419\,°C$

Voglio avere un $\theta_{max_{ro}} = 170°C - 30° = 140°C$ ciò significa che nel caso di $P_j = 315\,W$ $\theta_{ro} = \frac{140°}{1{,}7^2} = 48{,}44\,°C$

Dalla curva $t/\theta$ si legge che $t_{max} = 0{,}7\,h = 45\,min$, poi tempo con $P_j = 0$ per raffreddare motore. Il motore ci impiega circa 4 volte la costante di tempo (0,5 ore)

DIAGRAMMA SOA




Limite commutazione 1: potenza sotto il quale archi piccoli o trascurabili.
" " " " 4: in meno di 100000 di archi hai 5000 h di funz. delle spazzole

80V è la max tensione per cui sono sicuro di alimentare il motore senza che si smagnetizzi.
Manca la coppia max che mi può dare il motore senza smagnetizzarsi (la coppia max è 240 Nm)

Sappiamo di avere a 700 rpm ($\simeq 73\,\frac{rad}{s}$) a 20 Nm.
Quando il motore ruota per $\omega \simeq 0$ (60 rpm) $T = 25\,Nm$ e $P = P_j = 315\,W$
Per $\omega = 700\,rpm$ (73 rad/s) $T = 20\,Nm$ $P = 315\,W$ se $K_T = cost = 0{,}76\,\frac{Nm}{A}$

$T = 20\,Nm \Rightarrow I = 26{,}3\,A$

$P_j = \underset{\text{attuale}}{315}\left(\frac{26{,}3}{33}\right)^2 = 200\,W$

$P_{mec} + P_{Fe} = 115\,W$

$P_{mec} \simeq 1{,}13 \cdot 73{,}3\,\frac{rad}{s} \simeq 82{,}8\,W$

$P_{Fe} \simeq 115 - 82{,}8 \simeq 32{,}2\,W$