



Giovanni Schgör (g.schgor)

PROGRAMMI MATHCAD PER SIMULAZIONE MOTORI IN CONTINUA (1)

16 November 2012

Premessa

La recente disponibilità di un'edizione gratuita (anche se di potenzialità ridotta) di Mathcad, il **Mathcad Express**, rende possibile l'uso di questo strumento ad una vasta platea di utenti.

Per questo penso siano oggi validi esempi di applicazione a problemi di elettrotecnica e di elettronica.

Fra i più facili sotto questo aspetto, sono quelli relativi alla simulazione del comportamento del motore in corrente continua.

Questa prima parte riguarda le prestazioni di un motore ad eccitazione indipendente, in regime stazionario (o semplicemente **a regime**), mentre una successiva riguarderà i comportamenti dinamici (in accelerazione o decelerazione).

Le "caratteristiche"

I dati principali che caratterizzano un motore sono i cosiddetti **dati di targa**, e cioè la tensione nominale V , in volt, la potenza nominale P , in watt, e la velocità di rotazione ω , in giri/min, che corrisponde a quella potenza.

Oltre a questi è importante la resistenza di armature R_a , non sempre nota, ma facilmente misurabile.

Con questi dati è possibile ricavare le prestazioni in base a semplici equazioni che definiscono le relazioni fra tensione applicata, velocità di rotazione e coppia sviluppata all'albero del motore.

$V := 24 \text{ [V]}$	$P := 600 \text{ [W]}$	$\omega := 500 \text{ [g/min]}$	$R_a := 0.8 \text{ [Ohm]}$
dati di targa			
$V = R_a \cdot I_a + \omega \cdot k \cdot \phi$			
$C = I_a \cdot K \cdot \phi$			
equazioni motore			
$C_{max} := \frac{P}{\omega \cdot 2 \cdot \pi} \cdot 60$	$C_{max} = 11.459$	$I_{max} := \frac{P}{V}$	$I_{max} = 25$
$k\phi := \frac{V}{\omega}$	$k\phi = 0.048$	$\omega_{max} := \omega$	$\omega_{max} = 500$
$K\phi := \frac{C_{max}}{I_{max}}$	$K\phi = 0.458$		

Si nota in particolare che la tensione V applicata è bilanciata dalla caduta di tensione sull'armatura RaI_a , e dalla forza controelettromotrice generata dalla rotazione, proporzionale ad ω ed al flusso Φ (a sua volta determinato dalla corrente di eccitazione).

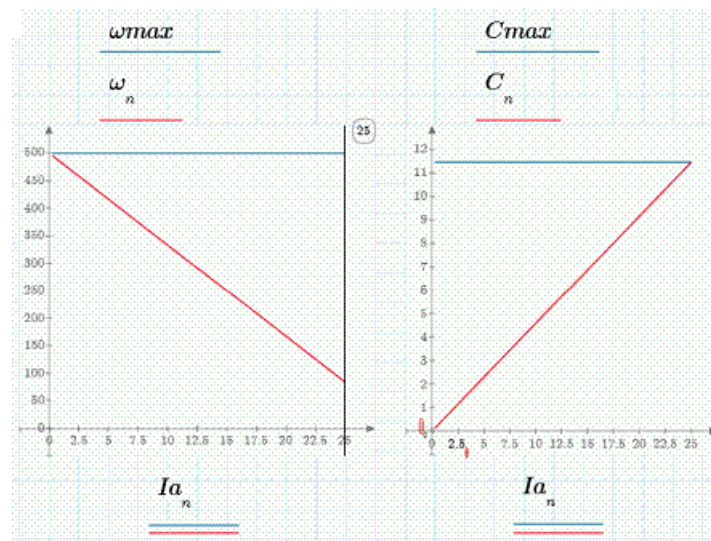
La coppia generata C , in Nm, è invece proporzionale alla corrente di armatura oltreché al flusso.

I coefficienti di proporzionalità ed il flusso, possono essere stabiliti in particolari condizioni di funzionamento, sotto forma di termini, come indicato in figura.

Come C_{max} si assume quella ricavata dalla potenza meccanica (uguagliata nell'ipotesi di perdite nulle a quella elettrica), con la conversione della velocità in rad/s, anziché in g/min. Come velocità massima si assume per il momento quella nominale. Stabiliti i parametri, si è ora in grado di ricavare le espressioni per il tracciamento delle cosiddette **caratteristiche elettromeccaniche e meccaniche** di quel motore. Impostando i valori "attuali" di tensione applicata V_a (in questo caso uguale alla nominale) e di eccitazione ecc (in % rispetto alla massima), si può far variare la corrente da 0 a I_{max} in 100 valori (indice n), per calcolare altrettanti valori di velocità di rotazione e di coppia.

$$\begin{array}{l}
 n := 1, 2 \dots 100 \\
 \boxed{V_a := 24 \quad ecc := 100} \quad \text{dati impostati} \\
 I_{a_n} := I_{max} \cdot \frac{n}{100} \\
 \omega_n := \frac{V_a - R_a \cdot I_{a_n}}{k\phi \cdot \frac{ecc}{100}} \\
 C_n := I_{a_n} \cdot K\phi \cdot \frac{ecc}{100}
 \end{array}$$

Le caratteristiche elettromeccaniche rappresentano infatti l'andamento rispettivamente della velocità di rotazione e della coppia, in funzione della corrente di armatura. Ed ecco il risultato:



In assenza di fenomeni di saturazione, le caratteristiche sono rettilinee, ma ovviamente variano al variare dei dati impostati.

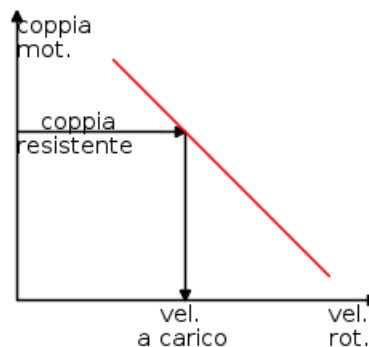
I limiti di tali rette sono per la velocità ovviamente quella stabilita come massima e così rispettivamente quella della coppia, ma per quella della velocità occorre tener conto anche della corrente massima: infatti la corrente di spunto (a motore fermo) potrebbe raggiungere valori V/R_a inaccettabili. Vedremo in seguito come ovviare a questo.

Si può inoltre osservare che diminuendo l'eccitazione, cambiano le pendenze: quella di velocità aumenta, quella della coppia diminuisce, ma è ancor più interessante riunire i due diagrammi, ottenendo la coppia in funzione della velocità di rotazione. Ecco infatti la **caratteristica meccanica** con tensione nominale e piena eccitazione:



Tutto lo spazio compreso fra la retta e gli assi è il campo di funzionamento del motore. Diminuendo la tensione applicata, ma sempre a piena eccitazione, la retta si sposta parallelamente verso sinistra. Perciò ad una data tensione, un carico con data coppia resistente è trascinato ad una precisa velocità.

L'uso pratico di tale diagramma ci permette quindi di ricavare, data la coppia resistente di un certo carico accoppiato al motore, la velocità corrispondente.



NOTA; Nell'esempio, il valore di R_a è molto elevato per meglio mostrare le variazioni delle caratteristiche. Nella realtà un valore del genere comporterebbe perdite elevate, quindi un rendimento inaccettabile.

La regolazione

Si è detto che esistono limiti oltre i quali il motore potrebbe essere danneggiato. Per tenerne conto si ricorre a regolatori che mantengono la grandezza controllata entro i limiti stabiliti.

Si è anche detto che la velocità a un dato carico può essere variata agendo o sulla tensione di armatura o sulla corrente di eccitazione, vi è quindi il problema di come scegliere fra queste possibilità.

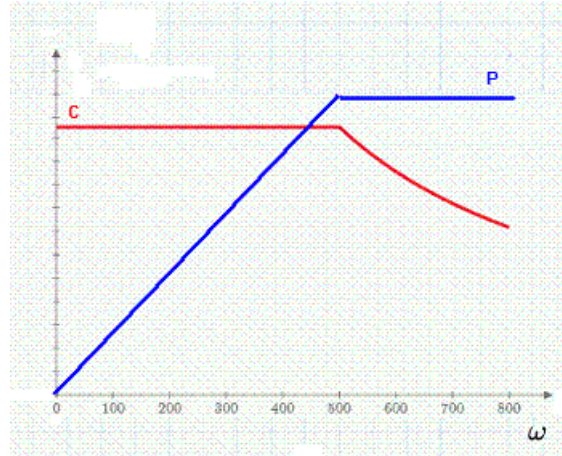
La pratica più comune è quella di adottare un regolatore di velocità che agisce sulla tensione di armatura: dando un certo "riferimento" di velocità, il regolatore provvede a stabilire la tensione che a quel dato carico fa corrispondere quella velocità.

Questo potrebbe però provocare un sovraccarico in corrente (ricordiamo l'accenno fatto in precedenza sulla corrente V_a/R_a , a motore fermo), per cui generalmente viene previsto un anello limitatore di corrente, interno a quello di velocità, col compito di far crescere la tensione di armatura esattamente per seguire l'aumento della forza contro elettromotrice (vedi prima equazione del motore), mantenendo la nel limite stabilito. Durante la limitazione, poiché anche l'eccitazione è costante, risulta costante anche la coppia motrice, per cui si definisce questa come **regolazione a coppia costante**.

Abbiamo fin qui supposto fissa (al valore massimo) la corrente di eccitazione ed abbiamo finora fissato il limite di velocità al valore nominale, ma il motore può sopportare meccanicamente velocità superiori (ovviamente fino ad un certo punto: ricordiamo che senza carico e senza eccitazione il motore può "andare in fuga" e sfasciarsi).

C'è quindi un margine di velocità oltre quella nominale, che può essere raggiunta "deflussando" il motore. L'aumento di velocità è però ottenuto a scapito della coppia motrice che, riducendo l'eccitazione, diminuisce in conseguenza. Se il regolatore di velocità agisce sull'eccitazione si ha una **regolazione a potenza costante**.

Un grafico sintetizza meglio quanto detto. Ecco come con la regolazione si può modificare la caratteristica del motore: coppia (in rosso) costante e potenza (in blu) crescente con la velocità nel primo tratto (fino alla <velocità nominale, qui di 500g/min), oltre tale velocità coppia decrescente iperbolicamente e potenza costante



Considerazioni

Il motore in corrente continua, dopo oltre un secolo di eccellente servizio, è in via di pensionamento. L'elettronica, mettendo a disposizione una gamma di soluzioni alternative, lo sta sostituendo con altri tipi di motori fra cui primeggia il brushless, con commutazione elettronica al posto del collettore e delle spazzole. Può sembrare quindi anacronistico parlare dei classici motori in continua. Ritengo tuttavia che il suo studio costituisca pur sempre una base utile per affrontare i ben più complessi problemi dei motori moderni.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:G.schgor:programmi-mathcad-per-simulazione-motori-in-continua-1>"