

Calcolo efficienza a regime del PMSM

Elia Brescia

Ottobre 2025

L'efficienza di un motore elettrico si calcola come rapporto tra potenza meccanica in uscita e potenza elettrica in ingresso:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

La potenza elettrica in ingresso può essere calcolata conoscendo le tensioni e correnti dq mediante la seguente formula:

$$P_{in} = 3/2(v_{sd}i_{sd} + v_{sq}i_{sq}) \quad (2)$$

La potenza meccanica in uscita corrisponde alla potenza netta trasferita al carico:

$$P_{out} = C_r \omega_r / n_p \quad (3)$$

Tuttavia, poichè raramente si dispone di misure della coppia di carico C_r , la potenza meccanica in uscita deve essere calcolata (stimata) in maniera alternativa. Considerando l'equazione di equilibrio meccanico:

$$\frac{J}{n_p} \frac{d\omega_r}{dt} = C_e - B\omega_r / n_p - C_r \quad (4)$$

dove B rappresenta il coefficiente di attrito viscoso, a regime possiamo scrivere che:

$$C_e - B\omega_r / n_p = C_r \quad (5)$$

Trascurando le perdite nel ferro, nel caso di un SPMSM, la relazione precedente si può esprimere come segue:

$$K_c i_{sq} - B\omega_r / n_p = C_r \quad (6)$$

Questo significa che se disponiamo di una stima di K_c e B , possiamo calcolare la coppia di carico a regime.

Poichè inoltre raramente si dispone di misure delle tensioni, anche la potenza in ingresso risulta difficilmente calcolabile secondo la formula (2). Si può allora utilizzare la seguente relazione per stimare la potenza in ingresso:

$$P_{in} = P_m + \text{Perdite Elettriche} = K_c i_{sq} \omega_r / n_p + \text{Perdite Elettriche} \quad (7)$$

dove P_m rappresenta la potenza meccanica totale del motore.

Supponendo che le perdite nel ferro siano trascurabili, le perdite elettriche coincidono con le perdite Joule:

$$P_{joule} = 3/2 R_s I^2 = 3/2 R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2) \quad (8)$$

Pertanto, la il rendimento può essere calcolato come segue:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\omega_r (K_c i_{sq} - B\omega_r / n_p) / n_p}{K_c i_{sq} \omega_r / n_p + 3/2 R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2)} \quad (9)$$

Come si può notare, il rendimento dipende tanto dalle perdite elettriche (legate ad R_s) quanto dalle perdite meccaniche (legate a B). Volendo chiarire meglio questo concetto, possiamo esprimere il rendimento del motore in funzione di due rendimenti, quello della conversione elettromeccanica dell'energia e quello meccanico.

Il rendimento della conversione elettromeccanica dell'energia si esprime come:

$$\eta_{el} = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{\omega_r K_c i_{sq} / n_p}{K_c i_{sq} \omega_r / n_p + 3/2 R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2)} \quad (10)$$

Il rendimento meccanico del motore si esprime invece come:

$$\eta_{mecc} = \frac{P_{out}}{P_m} = \frac{P_m - \text{Perdite Meccaniche}}{P_m} = \frac{\omega_r K_c i_{sq} / n_p - B(\omega_r / n_p)^2}{\omega_r K_c i_{sq} / n_p} \quad (11)$$

In definitiva, possiamo esprimere il rendimento complessivo del motore come:

$$\eta = \eta_{el} \eta_{mecc} = \frac{P_m}{P_{in}} \frac{P_{out}}{P_m} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (12)$$