ARGOMENTO *Volano*

RIFERIMENTO Volume 3, Capitolo 10

Per regolare il regime di rotazione di un gruppo elettrogeno, viene calettato sull'albero di trasmissione del motore un volano in ghisa. Si hanno i seguenti dati:

- coppie polari dell'alternatore $p = 2$;
- frequenza della corrente elettrica di rete $f = 50$ Hz;
- potenza all'asse del motore (diesel 4 cilindri, 4 tempi) $P_t = 30$ kW.

Il candidato, dopo avere assunto con motivato criterio i dati ritenuti necessari, effettui:

- il dimensionamento di massima del volano;
- la verifica della corona alla forza centrifuga;
- lo schizzo quotato dell'organo meccanico.

Il candidato, inoltre, illustri sinteticamente le caratteristiche costruttive e di funzionamento dell'organo meccanico.

Dimensionamento del volano

Come sappiamo un volano, applicato a macchine motrici che hanno la coppia motrice variabile nel tempo periodicamente, serve per ottenere un funzionamento all'incirca uniforme; infatti la sua massa supplementare in rotazione assorbe lavoro nelle fasi di accelerazione (cioè di eccesso della coppia motrice) e lo restituisce nelle fasi di decelerazione (cioè di difetto di coppia motrice), in modo che la fluttuazione del lavoro risulti limitata entro i margini richiesti.

Stabiliamo prima di tutto la velocità che deve avere l'alternatore per erogare corrente alla frequenza costante di 50 Hz. Sappiamo che:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ giri/min}$$

Il grado d'irregolarità richiesto per alternatori in parallelo sulla rete (v. Manuale, tab. 11, pag. 111) è al massimo di $\delta = 0{,}003$. Questo significa, per la definizione stessa di grado di irregolarità, che l'alternatore potrà funzionare a una velocità minima pari a:

$$n_{min} = n \cdot \left(1 - \frac{\delta}{2}\right) = 1500 \cdot \left(1 - 0{,}00015\right) \cong 1497{,}75 \text{ giri/min}$$

e a una massima pari a:

$$n_{max} = n \cdot \left(1 + \frac{\delta}{2}\right) = 1500 \cdot \left(1 + 0{,}00015\right) \cong 1502{,}25 \text{ giri/min}$$

quindi con la frequenza che può variare da 49,925 Hz a 50,075 Hz, ossia con oscillazioni di frequenza inferiori a 0,1 Hz.

Per dimensionare il volano occorre conoscere il lavoro eccedente, ossia il massimo scarto di energia cinetica rispetto al valor medio.

Questo si può valutare tracciando il diagramma del lavoro del motore, ma, non conoscendone in questo caso i dati termodinamici, si dovrà utilizzare il coefficiente di fluttuazione, normalmente ricavabile dai manuali per ogni tipo di macchina. A pag. 110 del Manuale si vede che nel nostro caso il coefficiente di fluttuazione può essere compreso tra 0,2 e 0,3; assumiamo $\varphi = 0{,}25$.

A questo punto si calcola il momento d'inerzia del volano con la formula (v. pag. 110):

$$I = 2\pi \cdot \varphi \cdot \frac{P}{\delta \cdot \omega^3}$$

dove P è la potenza del motore e ω la sua velocità angolare:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cong 157{,}08 \text{ rad/s}$$

Si ottiene:

$$J = 2\pi \cdot 0{,}25 \cdot \frac{30\,000}{0{,}003 \cdot 157{,}08^3} \cong 4{,}051 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Decidiamo di realizzare un volano a corona sottile, e, per realizzarlo in ghisa, stabiliamo una velocità massima di 40 m/s.

Si ottiene:

$$R_m = \frac{v}{\omega} = \frac{40}{157} \cong 0{,}255 \text{ m}$$

Fissiamo quindi il diametro medio della corona: D_m = 500 mm.

Trascurando l'eventuale contributo delle razze e del mozzo, e supponendo che tutto il momento d'inerzia sia dovuto alla corona, si ha che:

$$J = m \cdot r_m^2 \qquad \text{ossia} \qquad m = \frac{J}{r_m^2} = \frac{4{,}051}{0{,}25^2} \cong 64{,}8 \text{ kg}$$

Si noti che al medesimo risultato si arriva utilizzando la (10.21) del volume 3:

$$m = 21{,}88 \cdot 10^3 \cdot \varphi_0 \cdot \frac{P}{\delta \cdot D^2 \cdot n^3} = 21{,}88 \cdot 10^3 \cdot 0{,}25 \cdot \frac{30\,000}{0{,}003 \cdot 0{,}5^2 \cdot 1500^3} \cong 64{,}8 \text{ kg}$$

Essendo la densità della ghisa ρ = 7250 kg/m^3 si ha che la superficie della corona volanica deve essere:

$$A = \frac{m}{\rho \cdot \pi \cdot D_m} = \frac{64{,}8}{7250 \cdot \pi \cdot 0{,}5} \cong 5694 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 5694 \text{ mm}^2$$

Usando una sezione con rapporto tra i lati tale che $b = 2 \cdot s$ si ottiene:

$$s = \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{5694}{2}} \cong 53{,}4 \text{ mm}$$

Assumeremo s = 54 mm; ne consegue che $b = 2 \cdot 53{,}4 = 106{,}8$ mm, che assumeremo uguale a 107 mm.

Verifica della corona alla forza centrifuga

Si utilizza per questa verifica la formula $\sigma = \rho \cdot v^2$, dove ρ è la densità del materiale e v è la velocità media della corona. Risulta:

$$\sigma = \rho \cdot \left(\omega \cdot R_m\right)^2 = 7250 \cdot \left(157 \cdot 0{,}25\right)^2 \cong 11{,}1 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 11{,}1 \text{ N/mm}^2$$

che è inferiore a 12 N/mm^2, tensione ammissibile per la ghisa.

La corona risulta essere verificata alla forza centrifuga.

Schizzo quotato

Per fare uno schizzo quotato del volano (cosa che non rientra nella nostra disciplina di studio) occorrerà poi stabilire il diametro dell'albero di trasmissione e il numero e tipologia delle razze del volano.

Il diametro dell'albero si calcola in base al momento torcente, facilmente valutabile conoscendo la potenza e la velocità di rotazione del motore. Si calcola

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{30\,000}{157{,}08} \cong 191 \text{ N}\cdot\text{m} = 191\,000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

e, ipotizzato un materiale che abbia $\sigma_{am} = 50$ N/mm^2 e quindi

$$\tau_{am} = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{3}} \cong 29 \text{ N/mm}^2$$

si calcola il diametro dell'albero:

$$d = \sqrt[3]{\frac{191\,000}{0{,}2 \cdot 29}} \cong 32 \text{ mm}$$

che portiamo a 37 mm per tener conto della profondità della cava per la linguetta di calettamento del volano sull'albero.

Il diametro esterno del mozzo può essere valutabile in 85 mm, utilizzando formule empiriche simili a quelle dei giunti a dischi.

Per il collegamento del mozzo alla corona si potrebbe utilizzare un disco sottile, oppure delle razze, di numero pari e mai inferiore a quattro, da verificare a trazione a causa della forza centrifuga. Supponendo che le razze siano quattro, e che su ciascuna di esse agisca la forza centrifuga di un quarto di corona, si calcola la sezione minima di ciascuna razza:

$$F_c = \frac{(m_c/4)v^2}{r} = \frac{16{,}2 \cdot 39{,}25^2}{0{,}25} \cong 99\,830 \text{ N}$$

$$A_0 = \frac{F_c}{\sigma_{am}} = \frac{99\,830}{12} \cong 8320 \text{ mm}^2$$

da cui risulta un diametro di 52 mm, appena compatibile con le dimensioni della corona ($s = 54$ mm); quindi sei razze sarebbero preferibili.