Capitolo 9

Per realizzare un moto rotatorio uniforme è necessario che il momento motore M_m sia uguale al momento resistente M_r. A causa delle variazioni del momento resistente il momento motore deve quindi essere adeguato dall'operatore o da opportuni meccanismi di regolazione.

Se una macchina, a causa delle proprie particolarità costruttive, ha una curva di coppia dove il momento motore diminuisce con l'aumentare del numero dei giri n, la macchina non ha bisogno di interventi esterni: M_m si adegua automaticamente a M_r.

Se invece in una macchina M_m aumenta all'aumentare di n, il suo comportamento è instabile e necessita di essere regolata.

Esistono molti tipi di **regolazione** (on-off, proporzionale, integrale, derivativa e mista). L'intervento di un regolatore fa oscillare n attorno al punto di funzionamento; le oscillazioni sono tanto minori quanto più il regolatore è sensibile alle variazioni di M_r.

Si definisce **grado di insensibilità** il rapporto:

$$\varepsilon = \frac{n_2 - n_1}{n}$$

variabile da 0,03 a 0,012. Tanto più il suo valore è basso tanto più la regolazione è efficace. Il **grado di irregolarità del regime** (**grado di staticità**) è dato da:

$$\Delta = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n}$$

ed è compreso tra 0,02 e 0,08. Poiché si può ipotizzare

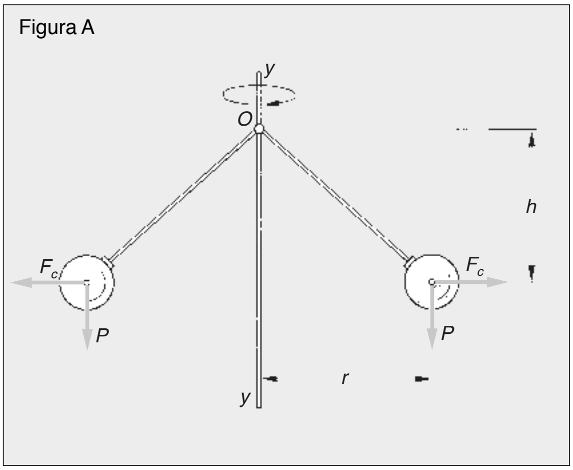
$$n \approx \frac{n_{\max} + n_{\min}}{2}$$

si ottiene:

$$\Delta = \frac{n_{\max}^2 - n_{\min}^2}{2 \cdot n^2}$$

Se $\Delta = 0$ il regolatore si dice *astatico* ed è sconsigliabile in quanto darebbe origine a continue oscillazioni del valore di n attorno al valore di regime; se $\Delta > 0$ il regolatore si dice *statico* ed è in grado di realizzare l'equilibrio.

I regolatori meccanici si basano soprattutto sugli effetti della forza centrifuga (figura A).



A causa della rotazione, le masse m ($P = m \cdot g$) si dispongono in equilibrio in una posizione tale che

$$h \cong \frac{900}{n^2}$$

Se i due bracci mobili che portano le masse sono collegati a un collare che scorre sull'albero, questo si sposta in funzione del regime di rotazione e può agire di conseguenza sulle leve di comando della macchina stessa.

Il **regolatore di Watt** si basa su questo principio ed era utilizzato sulle prime macchine a vapore. A regimi di rotazione elevati (già 300 giri/min), la regolazione diventa difficile in quanto i bracci sono praticamente orizzontali (a 300 giri/min, $h \simeq 1$ cm) e non subiscono più ulteriori spostamenti apprezzabili all'aumentare di n. L'aumento delle masse dei pesi alle estremità dei bracci non porta alcun vantaggio (in quanto la forza centrifuga è anch'essa proporzionale alla massa); si dispone quindi un carico Q (dovuta a una massa m_q) sul collare. Se il collare è collegato ai bracci in corrispondenza delle masse, si può scrivere:

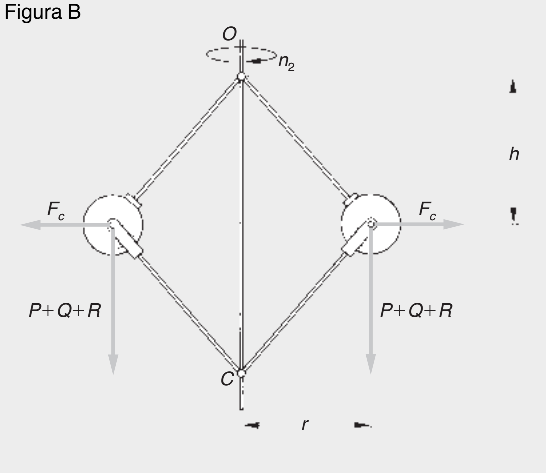
$$h = \frac{g}{\omega^2} \cdot \left(1 + \frac{m_q}{m}\right)$$

oppure

$$h = \frac{g}{\omega^2} \cdot \left(\frac{P + Q}{P}\right)$$

Costruttivamente si tratta di porre le sfere a due vertici opposti di un quadrilatero con i quattro bracci uguali; lo spostamento verticale del collare risulta doppio di quello delle sfere. Un regolatore così proporzionato è noto come **regolatore Porter** (figura B).

Figura B



Considerando anche le resistenza passive R applicate al collare, se il collare tende a innalzarsi a seguito di una diminuzione del momento resistente, il regolatore non interviene fino alla velocità ω_2 che ne caratterizza il grado di insensibilità; si ottiene:

$$\omega_2^2 = \frac{g}{h} \cdot \left(\frac{P + Q + R}{P} \right)$$

In occasione di un aumento del momento resistente, si ottiene:

$$\omega_1^2 = \frac{g}{h} \cdot \left(\frac{P + Q - R}{P} \right)$$

Se $\omega = (\omega_1 + \omega_2)\,/2$ si ha:

$$\varepsilon = \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2 \cdot \omega^2}$$

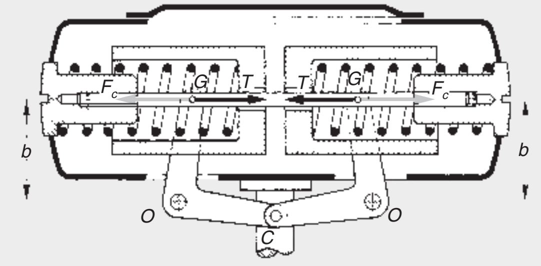
e quindi

$$\varepsilon = \frac{R}{P + Q}$$

Per ottenere un regolatore efficace, deve essere $\varepsilon < \Delta$. Inoltre, se il regolatore è collegato a una motrice alternativa, ε deve essere tale da non consentire l'intervento del regolatore per le piccole oscillazioni che spesso si hanno in queste macchine.

Il **regolatore Hartung**, più compatto del Porter, soprattutto agli alti regimi di rotazione, si basa su due molle che spingono due masse; quando la forza centrifuga sulle masse vince la resistenza delle molle, le prime si allontanano dall'asse e, se collegate al collare (mediante due leve a «L» con bracci uguali), lo fanno innalzare (figura C). Le molle possono essere regolate per esercitare una spinta più o meno maggiore in funzione del regime che si vuole far tenere alla macchina.

Figura C



Indicando con T la forza esercitata da ognuna delle molle, si ottiene:

$$\omega^2 = \frac{T}{r \cdot m}$$

Se R sono le resistenze passive, si ha:

$$\varepsilon = \frac{R}{2 \cdot T}$$

Il **dimensionamento di un regolatore Porter** consiste nel calcolo di m, m_q e della corsa s del collare compatibile con Δ, una volta note le altre grandezze. Si determina il valore della **forza antagonista**

$$F = P + Q = \frac{R}{\varepsilon}$$

e quindi F e Q essendo h noto. La corsa

$$s = 2 \cdot (h_{\max} - h_{\min})$$

può essere calcolata se sono noti $\omega_{\min}$ e $\omega_{\max}$ corrispondenti alle due posizioni estreme del collare; queste si possono ottenere risolvendo il sistema composto dalla definizione di Δ e $\omega = (\omega_{\max} + \omega_{\min})/2$.

Il **dimensionamento di un regolatore Hartung** si avvale di tabelle, dalle quali si ottengono le caratteristiche geometriche. Si ricava successivamente il valore di T e quindi di m e si calcola il valore della corsa come per il regolatore Porter.

Successivamente si ricava il valore massimo della forza centrifuga (corrispondente a $\omega_{\max}$), che agisce assialmente sulla molla, e quindi si determinano il diametro del tondino e le altre grandezze della molla. Il numero di spire della molla è legato alla freccia f che deve essere pari a s:

$$s = \frac{64 \cdot z \cdot F \cdot R^3}{G \cdot d^4}$$

dove F è la differenza tra la forza centrifuga massima e quella minima.