

Esami di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere  
Sessione I - 2006 Vecchio Ordinamento  
Ingegneria Informatica - Tema n. 3

Controllo di un Apparato di Movimentazione

Lo schema illustrato in Figura 1 descrive un apparato di movimentazione ("giostra"), montato su un piano verticale e comandato da un servo-motore con riduttore calettato sul mozzo A, che riceve dall'alto una serie di pezzi aventi forma cilindrica, di massa  $m \pm \Delta m$ , e ruota in senso antiorario per scatti di  $90^\circ$ , portando il pezzo nella posizione inferiore, da dove viene prelevato.

L'alimentazione dei pezzi è sincronizzata nel modo seguente: un sensore di prossimità rileva la presenza del pezzo P sul piatto superiore e fa scattare i fermi (non indicati) che immobilizzano il pezzo; il servomotore ruota in senso antiorario di  $90^\circ$ , secondo una legge del moto a velocità trapezoidale (vedi Figura 2). Il pezzo successivo può venire caricato sul piatto superiore, solo dopo che questo si è arrestato.

Successive rotazioni portano il piatto nella posizione inferiore, dove un sensore di prossimità avverte la presenza del pezzo, libera i fermi e consente il prelievo del pezzo stesso.

Devono essere previsti degli interblocchi logici tali da

1. impedire la rotazione quando il piatto superiore è vuoto;
2. impedire la rotazione per tutta la durata di scarico pezzo dal piatto inferiore, che inizia quando il sensore di prossimità individua il pezzo e termina quando lo stesso sensore non rileva più il pezzo, aumentata - per ragioni cautelative - di un intervallo di tempo pari a  $\Delta T_1$ .

I parametri geometrici e meccanici dell'apparato sono indicati nella Tabella 1. I parametri cinematici sono indicati nella Tabella 2.

Il candidato sviluppi i seguenti punti:

- 1) Sulla base della descrizione schematica relativa alla sequenza di movimenti desiderata dall'apparato,
  - a. descriva il flusso logico della sequenza delle operazioni, utilizzando un pseudo-linguaggio a blocchi o altre forme di descrizione a stati logici a sua scelta. Consideri gli interblocchi tra le operazioni e introduca ogni altra informazione che ritenga utile ai fini dell'ottimizzazione del tempo ciclo, purché realistica e chiaramente espressa;
  - b. fornisca una motivata stima del tempo ciclo totale, dall'arrivo del pezzo sul piatto superiore, fino al termine della fase di scarico dal piatto inferiore, considerando una alimentazione continua dei pezzi sul piatto superiore. Per effettuare i calcoli consideri, se necessario, le velocità e le accelerazioni massime fornite in Tabella 2 e ogni altra informazione che ritenga utile, purché realistica e chiaramente espressa;
  - c. illustri la sequenza di operazioni con un diagramma temporale a sua scelta.

- 2) Calcoli la velocità e l'accelerazione angolari massime ammissibili al mozzo A. per evitare che il pezzo venga rilasciato dai fermi a causa delle forze tangenziali e radiali (centrifughe). Consideri che il fermo è stato progettato per sostenere una forza pari al doppio del peso massimo del pezzo cilindrico.

Per lo svolgimento dei punti successivi utilizzi il minimo tra i valori di velocità e accelerazione tra quelli così calcolati e quelli forniti in Tabella 2.

- 3) Scegli un riduttore al mozzo della giostra con un rapporto di riduzione  $r$  tra 2 e 100 tale che esso, utilizzando uno dei primi tre motori indicati nel data-sheet allegato (potenza nominale 20, 50 o 100 W), sia compatibile con le velocità e le accelerazioni massime calcolate al punto precedente.

Consideri un riduttore reale, cioè quello per cui vi è una perdita di potenza tra primario (lato motore) e secondario (lato mozzo), descritto dalle relazioni

$$\omega'' \tau'' = \eta \omega' \tau'; \quad \omega'' = \omega' / r; \quad \tau'' = \eta r \tau'$$

dove il rendimento  $\eta$  è fornito dalla curva in Figura 4.

- 4) Scriva le equazioni dinamiche a tempo continuo in forma letterale e numerica, scegliendo opportunamente gli ingressi (comando e disturbi), le uscite e le variabili di stato.

- Ipotizzi un rendimento unitario tra potenza elettrica fornita al motore e potenza meccanica resa all'albero.
- Ipotizzi il riduttore reale calcolato al passo precedente.
- Ipotizzi una meccanica rigida, salvo che per un'elasticità torsionale dovuta ai bracci  $b$  che si ipotizza "concentrata" a valle del mozzo A, secondo lo schema di Figura 3. L'elasticità torsionale è assimilabile a quella di una molla avente costante di rigidità  $k_r$  indicata nella Tabella 3.
- Ipotizzi di trascurare la dinamica elettrica del motore, considerando trascurabile l'induttanza di armatura.
- Ipotizzi di trascurare l'attrito coulombiano e di primo distacco di tutte le parti in moto.
- Assuma i valori numerici del motore di Tabella 3.
- Assuma la presenza di un encoder incrementale sul lato motore.

- 5) Progetti un controllore (nel continuo) del servomotore che aziona la giostra, considerandolo assimilabile al classico motore in c.c.; faccia l'ipotesi che l'azionamento fornisca già l'anello di corrente e che quindi il motore si comporti come un attuatore di coppia.

Per semplicità, si faccia l'ipotesi che nel progetto del controllo l'elasticità torsionale sia trascurata; la dinamica elastica trascurata ha una frequenza propria di risonanza tra i 100 e i 150 Hz, tenendo presente che essa è incerta al 10% e accompagnata da armoniche (fino alla quarta);

Il progetto del controllo dovrà soddisfare le seguenti caratteristiche, sia in assenza sia in presenza del pezzo P sul piatto e.

- Precisione statica:  $\epsilon_{ss} \simeq 0.005$  rad.
- Sovraelongazione massima ammissibile ad un riferimento a gradino  $\leq 20\%$ , in assenza di disturbi.
- Tempo di salita:  $T_s \simeq 0.500$  s.
- Non eccitazione delle "dinamiche parassite" elastiche.

- 6) Volendo successivamente progettare un controllore digitale,

- si scelga la frequenza di campionamento  $f_c$  dell'unità di controllo digitale, tenendo presente la frequenza propria di risonanza del sistema e che essa è incerta al 10% e accompagnata da armoniche (fino alla quarta);

– Si scelga il livello di quantizzazione  $q$  [rad] del trasduttore di posizione angolare e il suo numero  $n_b$  di cifre binarie e conseguentemente si scelga l'encoder utilizzando il data sheet allegato.

- 7) Illustri sinteticamente le caratteristiche principali dei componenti che dovranno essere utilizzati per la realizzazione pratica del sistema di controllo, mettendo in evidenza i punti critici della soluzione proposta dal punto di vista delle prestazioni e quindi dei costi. Ad esempio, potrà analizzare l'attività del comando e i suoi riflessi sulla scelta dell'azionamento e i requisiti di precisione dei sensori, ecc.

**Nota:** il candidato può, ove lo ritiene, introdurre approssimazioni o semplificazioni anche di natura numerica, purché realistiche, non in contrasto con le ipotesi assunte e chiaramente specificate.

Descrizione	Simbolo	Unità di misura	Valore
massa braccio b		trascurabile	
massa piatto c		trascurabile	
lunghezza braccio b	$l$	m	0.2
momento d'inerzia mozzo A	$J_A$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	10
massa nominale pezzo P	$m$	kg	0.250
variabilità massa pezzo P	$\Delta m$	kg	0.025
altezza pezzo P	$h$	m	0.060
raggio base pezzo P	$\rho$	m	0.025
costante gravitazionale	$g$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	$\approx 10$

Tabella 1: Dati Geometrici.

Descrizione	Simbolo	Unità di misura	Valore
velocità nominale massima a valle del riduttore	$\dot{\theta}_m$	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	10
accelerazione nominale massima a valle del riduttore	$\ddot{\theta}_m^+ = \ddot{\theta}_m^-$	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$	2
tempo attesa scarico pezzo	$\Delta T_1$	s	2

Tabella 2: Dati Cinematici.

Descrizione	Simbolo	Unità di misura	Valore
rapporto di riduzione	$r$		$2 \div 200$
costante rigidità torsionale	$k_r$	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$	$1 \cdot 10^4$
inerzia riduttore		trascurabile	
costante corrente-coppia	$K_\tau$	$\text{V} \cdot \text{s}$	0.200
costante tensione-velocità angolare	$K_\omega = K_\tau$		
momento inerzia rotore	$J_m$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	0.010
attrito viscoso rotore e parti a monte	$\beta_1$	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$	0.001
attrito viscoso parti a valle	$\beta_2$	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$	5
induttanza circuito armatura	$L_a$	H	$\approx 0$
resistenza circuito armatura	$R_a$	$\Omega$	10

Tabella 3: Dati Riduttore e Motore cc.

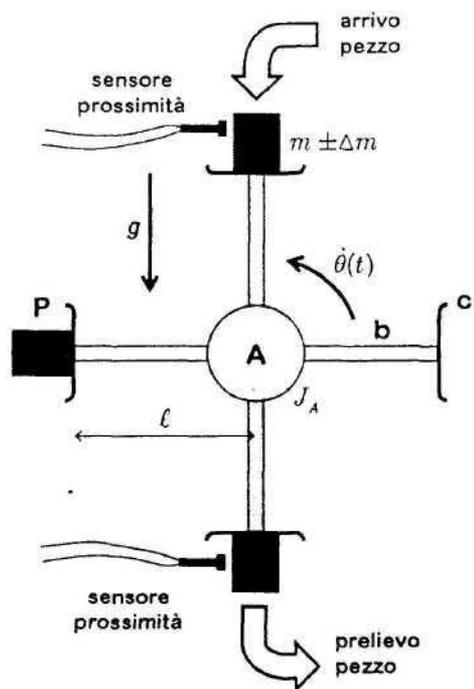


Figura 1: Schema fisico dell'apparato.

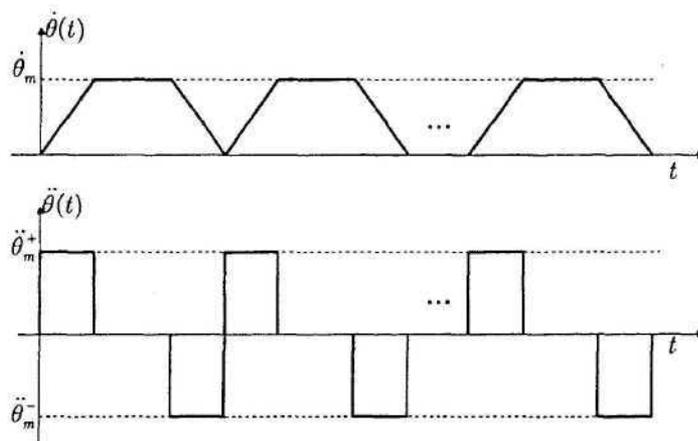


Figura 2: Velocità e accelerazioni.

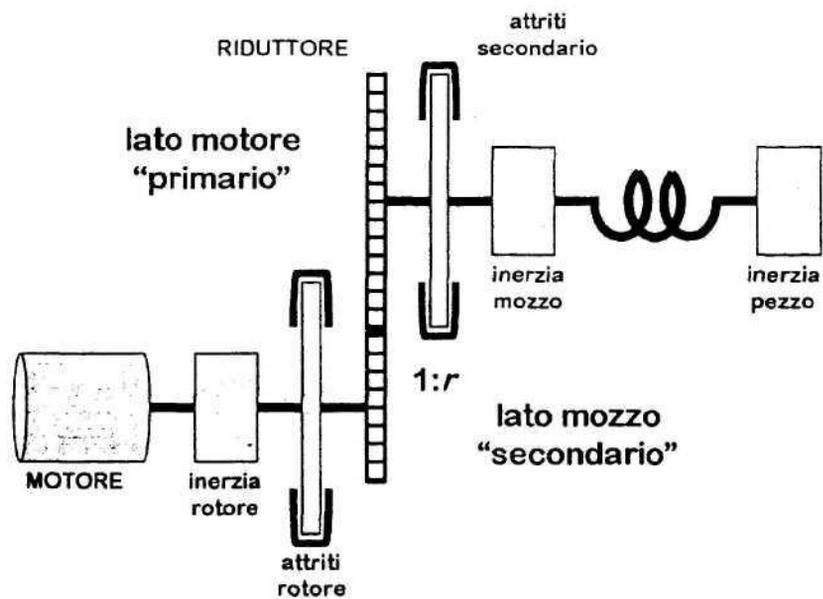


Figura 3: Schema di principio.

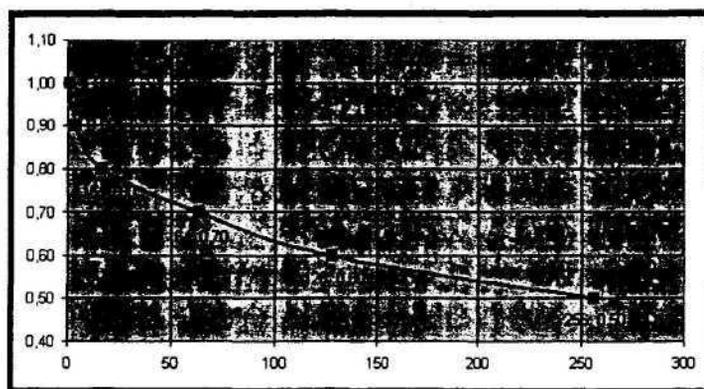


Figura 4: Rendimenti del riduttore.

si sceglia questo motore se adatto, altrimenti si passi al successivo. Non si vada oltre R7M-A10030

## Servomotori cilindrici

Specifica	R7M-A03030	R7M-A05030	R7M-A10030	R7M-A20030	R7M-A40030	R7M-A75030	
Potenza nominale	30 W	50 W	100 W	200 W	400 W	750 W	
Coppia nominale	0,095 N·m	0,159 N·m	0,318 N·m	0,637 N·m	1,27 N·m	2,39 N·m	
Velocità di rotazione nominale	3.000 giri/min	3.000 giri/min	3.000 giri/min	3.000 giri/min	3.000 giri/min	3.000 giri/min	
Velocità massima di rotazione momentanea	4.500 giri/min	4.500 giri/min	4.500 giri/min	4.500 giri/min	4.500 giri/min	4.500 giri/min	
Coppia massima momentanea	0,29 N·m	0,48 N·m	0,96 N·m	1,91 N·m	3,82 N·m	7,1 N·m	
Corrente nominale	0,42 A (rms)	0,6 A (rms)	0,87 A (rms)	2,0 A (rms)	2,6 A (rms)	4,4 A (rms)	
Corrente massima momentanea	1,3 A (rms)	1,9 A (rms)	2,8 A (rms)	6,0 A (rms)	8,0 A (rms)	13,9 A (rms)	
Inerzia del rotore	$1,7 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$2,2 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$3,6 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$1,19 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$1,87 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$6,67 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	
Power Rate	5,31 kW/s	11,5 kW/s	28,1 kW/s	34,1 kW/s	86,3 kW/s	85,6 kW/s	
Carico radiale consentito	68 N	68 N	78 N	245 N	245 N	392 N	
Carico di spinta consentito	54 N	54 N	54 N	74 N	74 N	147 N	
Peso	Senza freno 0,3 kg Con freno 0,6 kg	Senza freno 0,4 kg Con freno 0,7 kg	Senza freno 0,5 kg Con freno 0,8 kg	Senza freno 1,1 kg Con freno 1,6 kg	Senza freno 1,7 kg Con freno 2,2 kg	Senza freno 3,4 kg Con freno 4,3 kg	
Risoluzione encoder	2.000 impulsi/giro per fase A e fase B, 1 impulso/giro per fase Z						
Dimensioni radiatore	16 X 250 mm quadrati						
Caratteristiche del freno	Inerzia freno	$0,85 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$0,85 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$0,85 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$6,4 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	$6,4 \times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	
	Tensione di eccitazione	24 Vc.c. $\pm 10\%$ V					
	Assorbimento (a 20 °C)	6 W	6 W	6 W	7 W	7 W	7,7 W
	Assorbimento di corrente (a 20 °C)	0,25 A	0,25 A	0,25 A	0,29 A	0,29 A	0,32 A
	Coppia attrito statico	0,2 N·m min.	0,2 N·m min.	0,34 N·m min.	1,47 N·m min.	1,47 N·m min.	2,45 N·m min.
	Tempo di attrazione	30 ms max.	30 ms max.	30 ms max.	60 ms max.	60 ms max.	60 ms max.
	Tempo di rilascio	60 ms max.	60 ms max.	60 ms max.	20 ms max.	20 ms max.	20 ms max.
	Gioco meccanico	1°	1°	1°	1°	1°	1°
	Classificazione	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
	Grado di isolamento	Tipo F	Tipo F				
Servoazionamento applicabile (R7D-)	APA3H	APA5H	AP01H	AP02H	AP04H	AP08H	

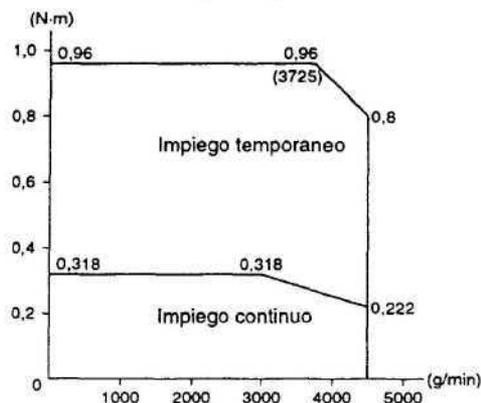
## Caratteristiche velocità di rotazione e coppia

### Servomotori cubici

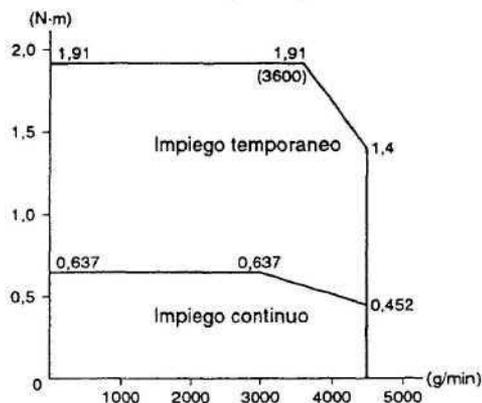
non considerare i servomotori cubici, ma quelli cilindrici alla pagina successiva

Nei seguenti grafici sono illustrate le caratteristiche con un cavo standard di 3 m e un servoazionamento R7D-AP @ H (ingresso a 200 Vc.a.).

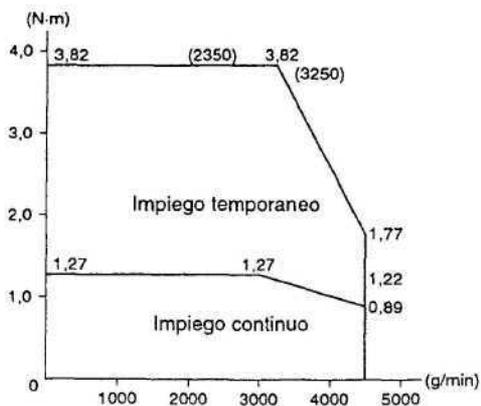
R7M-AP10030 (100 W)



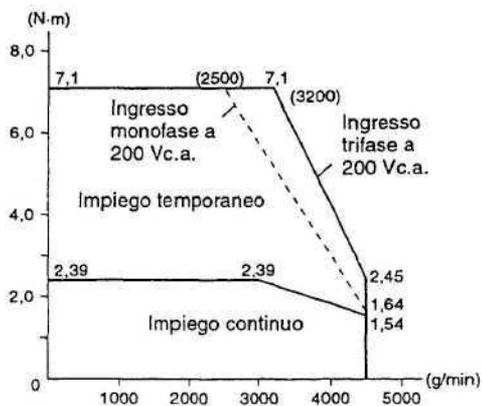
R7M-AP20030 (200 W)



R7M-AP40030 (400 W)



R7M-AP75030 (750 W)



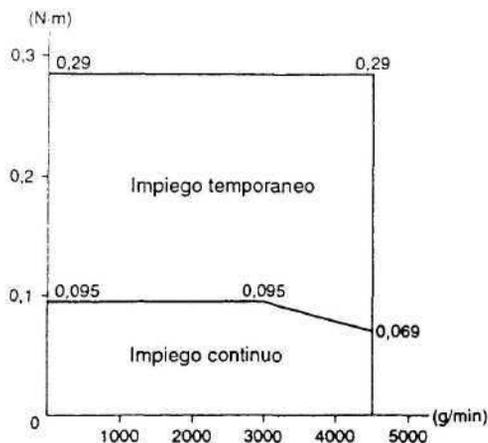
**Caratteristiche velocità di rotazione e coppia**

Servomotori cilindrici

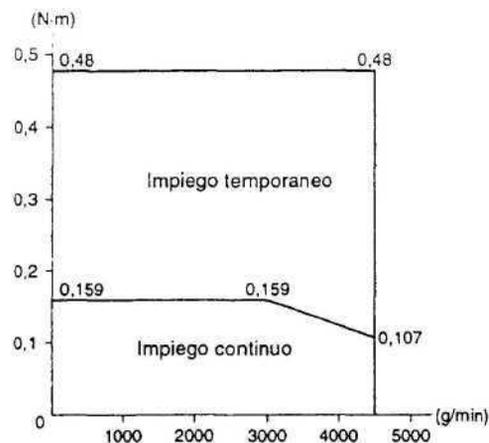
considerare i servomotori cilindrici

Nei seguenti grafici sono illustrate le caratteristiche con un cavo standard di 3 m e un servoazionamento R7D-AP□H (ingresso a 200 Vc.a.).

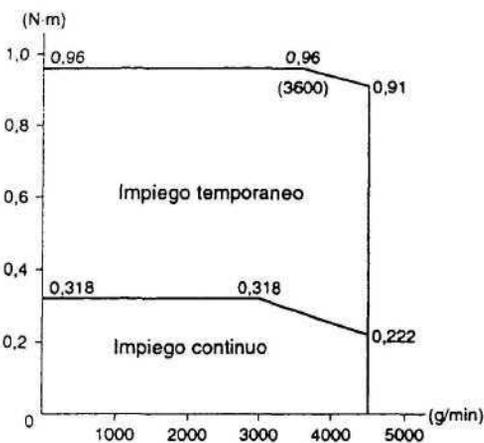
**R7M-A03030 (30 W)**



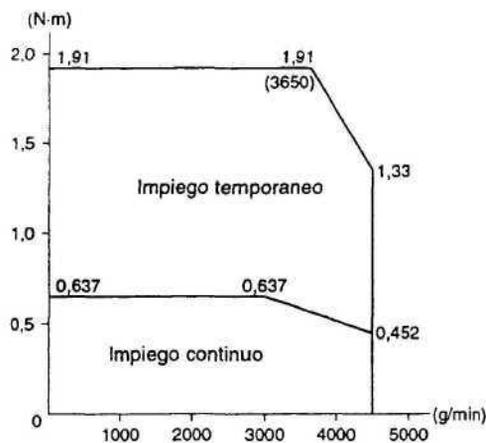
**R7M-A05030 (50 W)**



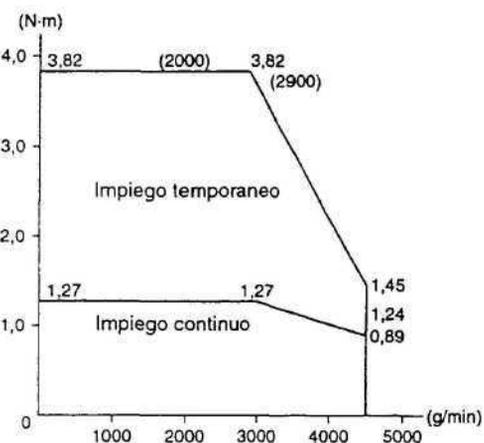
**R7M-A10030 (100 W)**



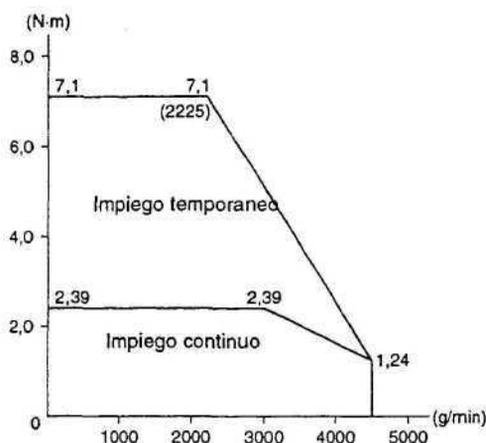
**R7M-A20030 (200 W)**



**R7M-A40030 (400 W)**



**R7M-A75030 (750 W)**

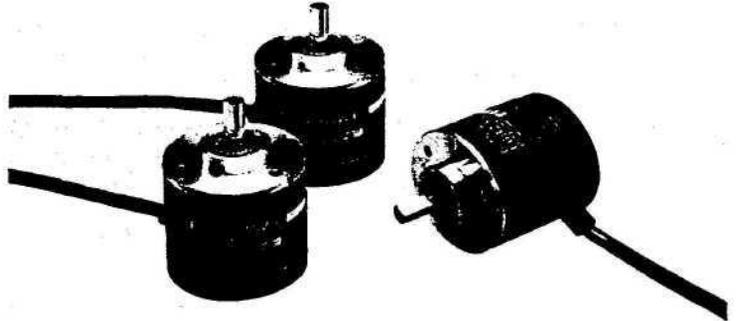


Incremental Rotary Encoder OD 40 dia.

# E6B2-C

## General-Purpose Incremental Rotary Encoder With Large Shaft 40 dia.

- A wide operating voltage range from 5 to 24 VDC (open collector model).
- High resolution models (2000 pulses per revolution) substantially improve measuring accuracy
- Easy-to-adjust zero index (phase Z) with origin indicating function
- A large load of 30 N in the radial direction and 20 N in the thrust direction are permitted.
- The load short-circuit and reversed connection protecting circuit assure high operation reliability.
- Available with Line Driver output (100 m max. extension available)
- Shock resistance strengthened by metal disk. (600 P/R max.) (Patent)



### Ordering Information

#### Sensors

Power supply voltage	Output form	Resolution (pulse/rotation)	Model
5 to 24 VDC	NPN open collector output	10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 720, 800, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000	E6B2-CWZ6C
12 to 24VDC	PNP open collector output	100, 200, 360, 500, 600, 1,000, 2,000	E6B2-CWZ5B
5 to 12 VDC	NPN voltage output	10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 1,000, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000	E6B2-CWZ3E
5 VDC	Line driver output	10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 200, 300, 360, 400, 500, 600, 1,000, 1,024, 1,200, 1,500, 1,800, 2,000	E6B2-CWZ1X

Note: When ordering, add the resolution (pulses per revolution) between the part number. For example, E6B2-CWZ6C 100 P/R.

#### Accessories (Order Separately)

Item	Model	Remarks
Coupling	E69-C06B	Attachment
	E69-C68B	Different end diameter
	E69-C610B	Different end diameter
	E69-C06M	Metal construction
Flanges	E69-FBA	---
	E69-FBA02	E69-2 Mounting Bracket included
Mounting Bracket	E69-2	---