Esami di stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere - I sessione 1996

Ingegneria Informatica

TEMA 2

CONTROLLO DI POSIZIONE DI UN BRACCIO MECCANICO

Si consideri lo schema di Figura 1, che descrive un braccio meccanico di inerzia J_2 e posizione angolare θ, mosso da un motore elettrico a corrente continua tramite un riduttore ad ingranaggi di rapporto τ, la cui rigidità torsionale è indicata con K_r. I coefficienti di attrito viscoso sono indicati con β_i, $i=1,2$. Il motore sia alimentato da un alimentatore in grado di fornire al motore una corrente $I(t)$ proporzionale alla tensione di comando $V(t)$. Sul braccio agisca una coppia resistente C_2 e sull'albero motore agisca una coppia di attrito radente A_1.

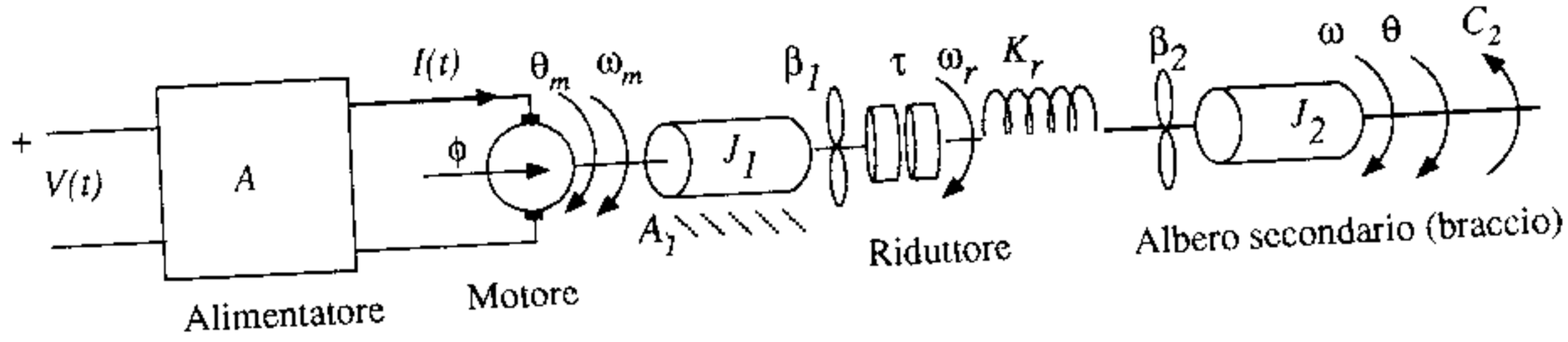


Figura 1 - Schema elettromeccanico

Il rapporto di riduzione τ è definito come $\tau=\omega_m/\omega_r$, Φ indica il flusso motore o costante di coppia del motore a corrente continua e θ_m indica la posizione angolare dell'albero motore.

TEMI DA SVOLGERE

ANALISI DINAMICA NEL TEMPO (tema comune)

1. Si scrivano, a partire dagli schemi di Figura 1 e Figura 2, le equazioni di stato a tempo continuo in forma letterale e numerica, scegliendo con cura ingressi (comando e disturbi) e variabili di stato.
2. Si calcolino, trascurando l'attrito radente e la coppia di gravità, gli autovalori dell'equazione di stato in forma approssimata, assumendo che gli autovalori siano separabili in due autovalori di bassa frequenza e in due autovalori di alta frequenza. Ad esempio, per calcolare gli autovalori di alta frequenza, si approssimi l'equazione degli autovalori nell'ipotesi che due radici siano di modulo elevato (lontane dall'origine). Si riporti per ciascun autovalore la formula approssimata e il valore numerico.

Dati numerici: J_2=20 kgm^2, J_1=0,0004 kgm^2, l=1m, M=4kg, τ=250, K_t=150000 Nm, ϕ=0,2 Vs, β_1=0,002 Nms, β_2=0, A=1A/V.

DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL CONTROLLO
Tema 1 - CONTROLLO DIGITALE

Specifiche

Si consideri un braccio meccanico come in Figura 2.

Le caratteristiche geometriche siano:

1. utensile di massa $M \leq 4Kg$
2. braccio e suo contrappeso con momento d'inerzia complessivo pari a $J_b = 20Kgm^2$
3. braccio di lunghezza $l = 1m$

I requisiti di movimentazione del braccio siano:

1. Il braccio ruoti nel piano verticale.
2. Il movimento sia del tipo punto-punto e soddisfi i seguenti vincoli cinematici, che limitano le traiettorie di riferimento: limite di velocità del braccio $\bar{\omega}$=1 rad/s, limite di accelerazione del braccio $\bar{\alpha}$ =3 rad/s^2, limiti di posizione angolare $\bar{\theta} = \pm\pi$.
3. Precisione della posizione angolare θ: in posizione (braccio nominalmente fermo) $\varepsilon \leq 1$mrad, in movimento $\varepsilon_m \leq 20$mrad.
4. Requisiti dinamici: tempo di assestamento $\tau_a \leq 0,5$s.
5. Misura: trasduttore digitale di posizione montato sull'albero secondario (solidale al braccio)

Dimensionamento

Si dimensioni un sistema di controllo digitale che soddisfi le specifiche precedenti. Ogni scelta deve essere chiaramente giustificata.

1. Si scelga da catalogo (allegato) il motoriduttore e se ne riportino i dati suddivisi in: dati necessari per i parametri dell'equazione di stato precedente e dati necessari per costruire un simulatore numerico. Si stabilisca, da catalogo, la coppia limite del riduttore. Si stabiliscano, da catalogo, i limiti minimo e massimo del coefficiente di attrito viscoso e della coppia di attrito radente; quali di questi valori devono essere usati nel simulatore numerico? Si scelga un gioco del riduttore compatibile con le specifiche di precisione.

2. Si scelga da catalogo (allegato) il motore elettrico e se ne riportino i dati suddivisi in: dati necessari per i parametri dell'equazione di stato precedente e dati necessari per costruire un simulatore numerico. Si stabilisca la corrente massima del motore in movimento e in posizione.
3. Si scelga la frequenza di campionamento f e in base ad essa la banda passante limite p_a dell'alimentatore; nella scelta di f si tenga presente che la vibrazione fondamentale del gruppo motore-riduttore-braccio è incerta al 10% e accompagnata da armoniche (fino alla quarta). Si scelga la risoluzione ρ [rad] del trasduttore di posizione angolare e il suo numero m di cifre binarie. Data la corrente massima del motore, si stabilisca la risoluzione ρ_u del comando e il suo numero n di cifre binarie.
4. Si impostino le equazioni di stato discrete con cui progettare il controllo; si ponga cura nella descrizione dei disturbi. Se ne tracci lo schema a blocchi con i valori numerici dei guadagni.
5. Si progetti l'*osservatore degli stati;* si scrivano le equazioni di stato relative e se ne tracci lo schema a blocchi, indicandone chiaramente gli ingressi e le uscite. Si operi una scelta numerica degli autovalori, tenendo presente l'incertezza sul valore della vibrazione fondamentale; si spieghino gli effetti di una diminuzione o aumento del modulo di tali autovalori. Sulla base di tale scelta si calcolino i guadagni dell'osservatore e si verifichi se il tempo di assestamento è rispettato.
6. Si progetti il *generatore dei riferimenti* come un controllo ottimo ad anello chiuso non lineare (bang-bang): le sue uscite siano le traiettorie desiderate della posizione e della velocità del braccio e la corrente ad anello aperto del motore. Se ne tracci lo schema a blocchi e il diagramma di flusso (*flowchart)* della retroazione di tipo *bang-bang*. Tale retroazione deve essere descritta mediante un automa a stati finiti con tre stati: posizione, movimento (accelerazione o folle) e frenata. Si tracci su carta millimetrata l'andamento a tempo continuo delle uscite del generatore per un movimento punto-punto da $\theta(0)=0$ a $\theta=\pi$.
7. Si progetti il *controllo ad anello chiuso* e se ne tracci lo schema a blocchi, ponendo in evidenza i suoi ingressi e le sue uscite. Si operi una scelta numerica dei suoi guadagni e si spieghino gli effetti di una loro diminuzione o aumento.
8. Sulla base del dimensionamento di massima eseguito, si traccino su carta millimetrata gli andamenti qualitativi delle seguenti traiettorie: traiettoria desiderata di posizione (per il movimento del punto 6), posizione effettiva del braccio (θ) e stima di posizione calcolata dall'osservatore. In alternativa si possono tracciare l'errore di stima (misura - stima) e l'errore tra riferimento e stima.
9. (opzionale) Si progetti l'alimentatore del motore (digitale o analogico), sulla base dei seguenti dati: induttanza complessiva (motore e alimentatore): $L=1mH$, tensione massima di comando dell'alimentatore: $V_a=12V$ (essa stabilisce, tramite la corrente massima del motore, la resistenza di misura). Si calcoli la tensione massima che l'alimentatore deve fornire al motore, e si verifichi se sia compatibile con la tensione nominale del motore.

Allegati

1. n. 2 fogli di carta millimetrata
2. Catalogo di riduttori armonici (5 fogli)
3. Catalogo di motori elettrici a corrente continua (2 fogli)

b/ TBMA3

Tabelle normalizzate dei valori per i riduttori HARMONIC DRIVE

Velocità primaria giri/min 3500						2850				1750				1450				1150			
Taglia	Rapporto di riduzione	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Co d'u Nr
14	88	0.07	0.05	39.8	10	0.06	0.04	32.4	10	0.03	0.02	19.9	10	0.03	0.02	16.5	10	0.02	0.01	13.1	
	110 *	0.06	0.04	31.8	10	0.05	0.04	25.9	10	0.03	0.02	15.9	10	0.02	0.01	13.2	10	0.02	0.01	10.5	
20	80	0.21	0.15	43.8	30	0.18	0.13	35.6	31	0.11	0.08	21.9	31	0.09	0.07	18.1	31	0.07	0.05	14.4	
	96 *	0.26	0.15	36.5	31	0.16	0.12	29.7	32	0.11	0.08	18.2	37	0.09	0.07	15.1	37	0.08	0.06	12.0	
	128	0.15	0.11	27.3	32	0.14	0.10	22.3	35	0.10	0.07	13.7	43	0.09	0.07	11.3	43	0.07	0.05	9.6	
	160	0.13	0.10	21.9	33	0.12	0.09	17.8	36	0.09	0.07	10.9	43	0.08	0.06	9.1	46	0.07	0.05	7.2	
25	80	0.34	0.25	43.8	47	0.30	0.22	35.6	51	0.21	0.15	21.9	58	0.17	0.13	18.1	58	0.14	0.10	14.4	
	100	0.29	0.21	35.0	50	0.27	0.20	28.5	54	0.20	0.15	17.5	68	0.17	0.13	14.5	68	0.16	0.12	11.5	
	120	0.27	0.20	29.2	53	0.24	0.18	23.8	56	0.18	0.13	14.6	71	0.15	0.11	12.0	71	0.14	0.10	9.6	
	160	0.22	0.16	21.9	55	0.19	0.14	17.8	58	0.14	0.10	10.9	72	0.12	0.09	9.1	74	0.11	0.08	7.2	
	200	0.19	0.14	17.5	56	0.17	0.13	14.3	60	0.12	0.09	8.8	72	0.10	0.07	7.3	75	0.09	0.07	5.8	
32	78	0.75	0.55	44.9	103	0.67	0.49	36.5	109	0.41	0.30	22.4	112	0.34	0.25	18.6	112	0.27	0.20	14.7	
	104 *	0.65	0.48	33.7	114	0.56	0.41	27.4	119	0.42	0.31	16.8	144	0.36	0.26	13.9	153	0.31	0.23	11.0	
	131	0.53	0.39	26.5	114	0.48	0.35	21.6	124	0.33	0.24	13.3	144	0.31	0.23	11.0	158	0.26	0.19	8.7	
	157	0.46	0.34	22.2	114	0.43	0.32	18.0	125	0.29	0.21	11.1	144	0.27	0.20	9.2	158	0.22	0.16	7.3	
	208 *	0.37	0.27	16.8	114	0.34	0.25	13.7	125	0.24	0.18	8.4	144	0.22	0.16	7.0	158	0.18	0.13	5.5	
	260	0.31	0.23	13.5	114	0.29	0.21	11.0	125	0.20	0.15	6.7	144	0.18	0.13	5.6	158	0.15	0.11	4.4	
40	80	1.40	1.03	43.8	196	1.17	0.86	35.6	198	0.70	0.51	21.9	196	0.58	0.43	18.1	196	0.47	0.35	14.4	
	96 *	1.47	1.08	36.5	241	1.29	0.95	29.7	254	0.81	0.60	18.2	265	0.67	0.49	15.1	265	0.52	0.31	12.0	
	128	1.15	0.85	27.3	241	1.01	0.74	22.3	254	0.72	0.53	13.7	301	0.64	0.47	11.3	320	0.55	0.40	9.0	
	160	0.96	0.71	21.9	241	0.85	0.63	17.8	254	0.60	0.44	10.9	301	0.54	0.40	9.1	320	0.45	0.33	7.2	
	194 *	0.82	0.60	18.0	241	0.73	0.54	14.7	254	0.51	0.38	9.0	301	0.46	0.34	7.5	320	0.39	0.29	5.9	
	258	0.67	0.49	13.6	241	0.59	0.43	11.1	254	0.42	0.31	6.8	301	0.37	0.27	5.6	320	0.33	0.24	4.5	
50	80	2.6	1.91	43.8	357	2.1	1.54	35.6	357	1.27	0.93	21.9	357	1.1	0.81	18.1	357	0.85	0.63	14.4	
	100	2.6	1.91	35.0	447	2.3	1.69	28.5	476	1.65	1.21	17.5	564	1.4	1.03	14.5	565	1.10	0.81	11.5	
	120	2.3	1.69	29.2	447	2.0	1.47	23.8	476	1.42	1.04	14.6	564	1.3	0.96	12.1	600	1.09	0.60	9.6	
	160	1.8	1.32	21.9	447	1.6	1.18	17.8	476	1.12	0.82	10.9	564	1.0	0.74	9.1	600	0.96	0.63	7.2	
	200	1.5	1.10	17.5	447	1.3	0.96	14.3	476	0.94	0.69	8.8	564	0.8	0.59	7.3	600	0.72	0.53	5.8	
	242	1.3	0.96	14.5	447	1.2	0.88	11.8	476	0.83	0.61	7.2	564	0.7	0.51	6.0	600	0.63	0.46	4.8	
65	78	5.7	4.19	44.9	780 *	4.7	3.46	36.5	780 *	2.9	2.13	22.4	780	2.4	1.77	18.6	780	1.9	1.40	14.7	
	104	4.7	3.46	33.7	832 *	4.2	3.09	27.4	883 *	3.0	2.21	16.8	1050	2.7	1.99	13.9	1120	2.3	1.69	11.1	1
	132	3.9	2.87	26.5	832 *	3.2	2.35	21.6	883 *	2.4	1.77	13.3	1050	2.2	1.62	11.0	1120	1.9	1.40	8.7	1
	158	3.4	2.50	22.2	832 *	3.0	2.21	18.0	883 *	2.1	1.54	11.1	1050	1.9	1.40	9.2	1120	1.6	1.18	7.3	1
	208	2.7	1.99	16.8	832 *	2.4	1.77	13.7	883 *	1.7	1.25	8.4	1050	1.5	1.10	7.0	1120	1.3	0.96	5.5	1
	260	2.3	1.69	13.5	832 *	2.0	1.47	11.0	883 *	1.5	1.10	6.7	1050	1.3	0.96	5.6	1120	1.1	0.81	4.4	1
80	80					8.3	6.10	35.6	1400 *	5.0	3.68	21.9	1400	4.1	3.02	18.1	1400	3.3	2.43	14.4	1.
	96					8.9	6.55	29.7	1760 *	5.6	4.12	18.2	1840	4.7	3.46	15.1	1840	3.7	2.72	12.0	1:
	128					7.0	5.15	22.3	1760 *	5.0	3.68	13.7	2080	4.4	3.24	11.3	2220	3.8	2.79	9.0	2:
	160					5.8	4.27	17.8	1760 *	4.1	3.02	10.9	2080	3.7	2.72	9.1	2220	3.2	2.35	7.2	2:
	194					5.0	3.68	14.7	1760 *	3.5	2.57	9.0	2080	3.2	2.35	7.5	2220	2.7	1.99	5.9	2.
	258					4.1	3.02	11.1	1760 *	2.9	2.13	6.8	2080	2.6	1.91	5.6	2220	2.2	1.62	4.5	2:
	320					3.4	2.50	8.9	1760 *	2.4	1.77	5.5	2080	2.2	1.62	4.5	2220	1.8	1.32	3.6	2
100	80									8.9	6.55	21.9	2520	7.5	5.52	18.1	2520	6.0	4.41	14.4	2.
	100									11.1	8.16	17.5	3800	9.4	6.91	14.5	3800	7.4	5.44	11.5	3:
	120									9.7	7.13	14.6	3820	8.5	6.25	12.1	4060	7.4	5.44	9.6	4:
	160									7.6	5.59	10.9	3820	6.8	5.00	9.1	4060	5.8	4.27	7.2	4:
	200									6.4	4.71	8.8	3820	5.7	4.19	7.3	4060	4.9	3.60	5.8	4:
	242									5.6	4.12	7.2	3820	5.0	3.68	6.0	4060	4.3	3.16	4.8	4:
	320									4.5	3.31	5.5	3820	4.0	2.94	4.5	4060	3.4	2.50	3.6	4:

Nota:
*) I valori con asterisco non sono applicabili che in condizioni particolari di lavoro e di lubrificazione.
Vi preghiamo di consultarci.

*) Questi rapporti di riduzione verranno unificati in:
i = 100 e i = 200.
Vi preghiamo di consultarci.

Sovraccarichi

Per i valori indicati in tabella, basati su velocità d'ingresso di 1450 giri/min, sono ammessi sovraccarichi anche del 100% per la durata di 1–2 secondi e per 4–5 volte in un'ora, senza danneggiare la vita del riduttore.
In caso di sovraccarichi continui, dovuti per esempio ad accelerazioni e frenate consecutive, il riduttore deve essere selezionato in modo che la coppia massima di picco si avvicini alla coppia nominale del riduttore (vedi tabella).

Si può applicare continuativamente una coppia superiore; questo ha però una influenza negati sulla durata del riduttore, che dipende principal mente dalla velocità d'ingresso e dal carico.
Il riduttori HARMONIC DRIVE possono avere ur vita anche superiore alle 40.000 ore di lavoro.

Per velocità d'ingresso inferiori ai 500 giri/m occorre applicare i valori della colonna dei 500 giri.
I valori della tabella soprastante sono basati sul seguente tipo di montaggio:
Circular Spline: fisso
Wave Generator: ingresso
Flexspline: uscita

Applicabili ai riduttori HDUC ad elementi componibili ed ai riduttori completi sotto carter

960				870				750				600				500			
Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm	Potenza d'ingresso CV	kW	Velocità d'uscita giri/min	Coppia d'uscita Nm
0.02	0.01	10.9	10	0.02	0.01	9.9	10	0.01	0.007	8.5	10	0.01	0.007	6.8	10	0.01	0.007	5.7	10
0.02	0.01	8.7	10	0.01	0.007	7.9	10	0.01	0.007	6.8	10	0.01	0.007	5.5	10	0.01	0.007	4.5	10
0.06	0.04	12.0	31	0.06	0.04	10.9	31	0.05	0.04	9.4	31	0.04	0.03	7.5	31	0.03	0.02	6.2	31
0.06	0.04	10.0	37	0.06	0.04	9.1	37	0.05	0.04	7.8	37	0.04	0.03	6.3	37	0.03	0.02	5.2	37
0.06	0.04	7.5	44	0.05	0.04	6.8	44	0.04	0.03	5.9	44	0.04	0.03	4.7	44	0.03	0.02	3.9	44
0.06	0.04	6.0	50	0.05	0.04	5.4	50	0.04	0.03	4.7	50	0.03	0.02	3.8	50	0.03	0.02	3.1	50
0.12	0.09	12.0	58	0.10	0.07	10.9	58	0.09	0.07	9.4	58	0.07	0.05	7.5	58	0.06	0.04	6.2	58
0.13	0.10	9.6	81	0.12	0.09	8.7	81	0.10	0.07	7.5	81	0.08	0.06	6.0	81	0.07	0.05	5.0	81
0.12	0.09	8.0	84	0.11	0.08	7.3	90	0.10	0.07	6.2	93	0.08	0.06	5.0	98	0.07	0.05	4.2	98
0.10	0.07	6.0	85	0.10	0.07	5.4	90	0.08	0.06	4.7	94	0.07	0.05	3.8	104	0.06	0.04	3.1	108
0.08	0.06	4.8	86	0.08	0.06	4.4	90	0.07	0.05	3.8	94	0.06	0.04	3.0	104	0.05	0.04	2.5	108
0.23	0.17	12.3	112	0.20	0.15	11.2	112	0.17	0.13	9.6	112	0.14	0.10	7.7	112	0.11	0.08	6.4	112
0.25	0.18	9.2	161	0.23	0.17	8.4	161	0.19	0.14	7.2	161	0.15	0.11	5.8	161	0.13	0.10	4.8	161
0.23	0.17	7.3	181	0.21	0.15	6.6	181	0.19	0.14	5.7	199	0.16	0.12	4.5	207	0.13	0.10	3.8	207
0.21	0.15	6.1	181	0.18	0.13	5.5	181	0.17	0.13	4.8	199	0.14	0.10	3.8	208	0.13	0.10	3.2	224
0.16	0.12	4.6	181	0.15	0.11	4.2	181	0.14	0.10	3.6	199	0.11	0.08	2.9	208	0.10	0.07	2.4	224
0.14	0.10	3.7	181	0.13	0.10	3.4	181	0.11	0.08	2.9	199	0.10	0.07	2.3	208	0.09	0.07	1.9	224
0.39	0.29	12.0	196	0.35	0.26	10.9	196	0.29	0.21	9.4	196	0.23	0.17	7.5	196	0.19	0.14	6.2	196
0.45	0.33	10.0	265	0.40	0.29	9.1	265	0.34	0.25	7.8	265	0.27	0.20	6.3	265	0.22	0.16	5.2	265
0.49	0.36	7.5	366	0.45	0.33	6.8	378	0.38	0.28	5.9	380	0.30	0.22	4.7	380	0.25	0.18	3.9	380
0.41	0.30	6.0	368	0.38	0.28	5.4	378	0.34	0.25	4.7	403	0.29	0.21	3.8	433	0.26	0.19	3.1	461
0.35	0.26	4.9	366	0.32	0.24	4.5	378	0.29	0.21	3.9	403	0.25	0.18	3.1	433	0.22	0.16	2.6	461
0.28	0.21	3.7	366	0.26	0.19	3.4	378	0.23	0.17	2.9	403	0.20	0.15	2.3	433	0.18	0.13	1.9	461
0.7	0.51	12.0	357	0.64	0.47	10.9	357	0.5	0.37	9.4	357	0.43	0.32	7.5	357	0.35	0.26	6.2	357
0.9	0.66	9.6	565	0.83	0.61	8.7	565	0.7	0.51	7.5	565	0.55	0.40	6.0	565	0.46	0.34	5.0	565
1.0	0.74	8.0	680	0.86	0.63	7.3	680	0.7	0.51	6.2	680	0.57	0.42	5.0	680	0.48	0.35	4.2	680
0.8	0.59	6.0	686	0.71	0.52	5.4	709	0.6	0.44	4.7	756	0.54	0.40	3.8	812	0.48	0.35	3.1	864
0.6	0.44	4.8	686	0.59	0.43	4.4	709	0.5	0.37	3.8	756	0.45	0.33	3.0	812	0.40	0.29	2.5	864
0.6	0.44	4.0	686	0.52	0.38	3.6	709	0.5	0.37	3.1	756	0.40	0.29	2.5	812	0.35	0.26	2.0	864
1.6	1.18	12.3	780	1.4	1.03	11.2	780	1.2	0.88	9.6	780	0.9	0.66	7.7	780	0.8	0.59	6.4	780
1.9	1.40	9.2	1210	1.7	1.25	8.4	1210	1.4	1.03	7.2	1210	1.2	0.88	5.8	1210	1.0	0.74	4.8	1210
1.7	1.25	7.3	1280	1.5	1.10	6.6	1320	1.4	1.02	5.7	1410	1.2	0.88	4.5	1490	1.0	0.74	3.8	1600
1.5	1.10	6.1	1280	1.3	0.96	5.5	1320	1.2	0.88	4.8	1410	1.0	0.74	3.8	1490	0.9	0.66	3.2	1600
1.2	0.88	4.6	1280	1.1	0.81	4.2	1320	1.0	0.74	3.6	1410	0.8	0.59	2.9	1490	0.7	0.51	2.4	1600
1.0	0.74	3.7	1280	1.0	0.74	3.4	1320	0.8	0.59	2.9	1410	0.7	0.51	2.3	1490	0.6	0.44	1.9	1600
2.8	2.06	12.0	1400	2.6	1.91	10.9	1400	2.1	1.54	9.4	1400	1.7	1.25	7.5	1400	1.3	0.96	6.2	1400
3.1	2.28	10.0	1840	2.8	2.06	9.1	1840	2.3	1.69	7.8	1840	2.0	1.47	6.3	1840	1.6	1.18	5.2	1840
3.4	2.50	7.5	2540	3.1	2.28	6.8	2620	2.8	2.06	5.9	2770	2.3	1.69	4.7	2770	1.8	1.32	3.9	2770
2.8	2.06	6.0	2540	2.8	1.91	5.4	2620	2.4	1.77	4.7	2800	2.0	1.47	3.8	3010	1.8	1.32	3.1	3190
2.4	1.77	4.9	2540	2.2	1.62	4.5	2620	2.0	1.47	3.9	2800	1.7	1.25	3.1	3010	1.5	1.10	2.6	3190
2.0	1.47	3.7	2540	1.8	1.32	3.4	2620	1.6	1.18	2.9	2800	1.4	1.03	2.3	3010	1.2	0.88	1.9	3190
1.6	1.18	3.0	2540	1.5	1.10	2.7	2620	1.4	1.03	2.3	2800	1.2	0.88	1.9	3010	1.1	0.81	1.6	3190
5.0	3.68	12.0	2520	4.5	3.31	10.9	2520	3.8	2.79	9.4	2520	3.0	2.20	7.5	2520	2.5	1.84	6.2	2520
6.2	4.56	9.6	3800	5.6	4.12	8.7	3800	4.7	3.46	7.5	3800	3.7	2.72	6.0	3800	3.1	2.28	5.0	3800
6.5	4.78	8.0	4650	6.1	4.49	7.3	4810	5.1	3.75	6.2	4840	4.1	3.02	5.0	4840	3.4	2.50	4.2	4840
5.2	3.82	6.0	4650	4.8	3.53	5.4	4810	4.3	3.16	4.7	5110	3.6	2.65	3.8	5500	3.3	2.43	3.1	5840
4.3	3.16	4.8	4650	4.0	2.94	4.4	4810	3.6	2.65	3.8	5100	3.1	2.28	3.0	5500	2.7	1.99	2.5	5840
3.8	2.79	4.0	4650	3.5	2.57	3.6	4810	3.1	2.29	3.1	5110	2.7	1.99	2.5	5500	2.4	1.77	2.0	5840
3.0	2.21	3.0	4650	2.8	2.06	2.7	4810	2.6	1.91	2.3	5110	2.2	1.62	1.9	5500	2.0	1.47	1.6	5840

I valori indicati in tabella sono basati su un fattore di servizio 1.

Fattori di servizio

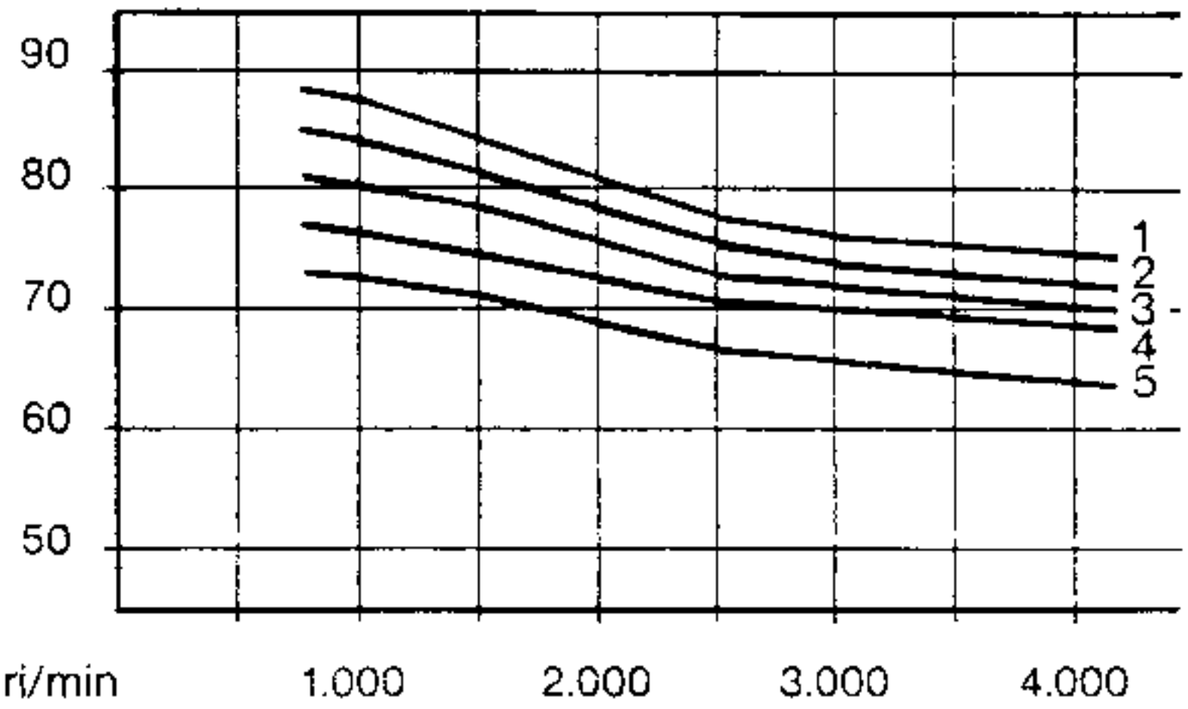
Elemento di comando	Durata servizio	Carichi Uniformi	Con urti medi	Con urti elevati
Motore elettrico	**3 h. al dì (intermitt.)**	0.80	1.00	1.50
	10 h. al dì	1.00	1.25	1.75
	24 h. al dì	1.25	1.50	2.00
Motore a scoppio	3 h. al dì	1.00	1.25	1.75
	10 h. al dì	1.25	1.50	2.00
	24 h. al dì	1.50	1.75	2.25

8

Rendimento

Questo grafico ci dà il rendimento in percento col 100% del carico, in funzione di differenti velocità d'ingresso, a seconda del rapporto di riduzione i.

1 = i 80, 9t
2 = i 128
3 = i 160
4 = i 194
5 = i 258

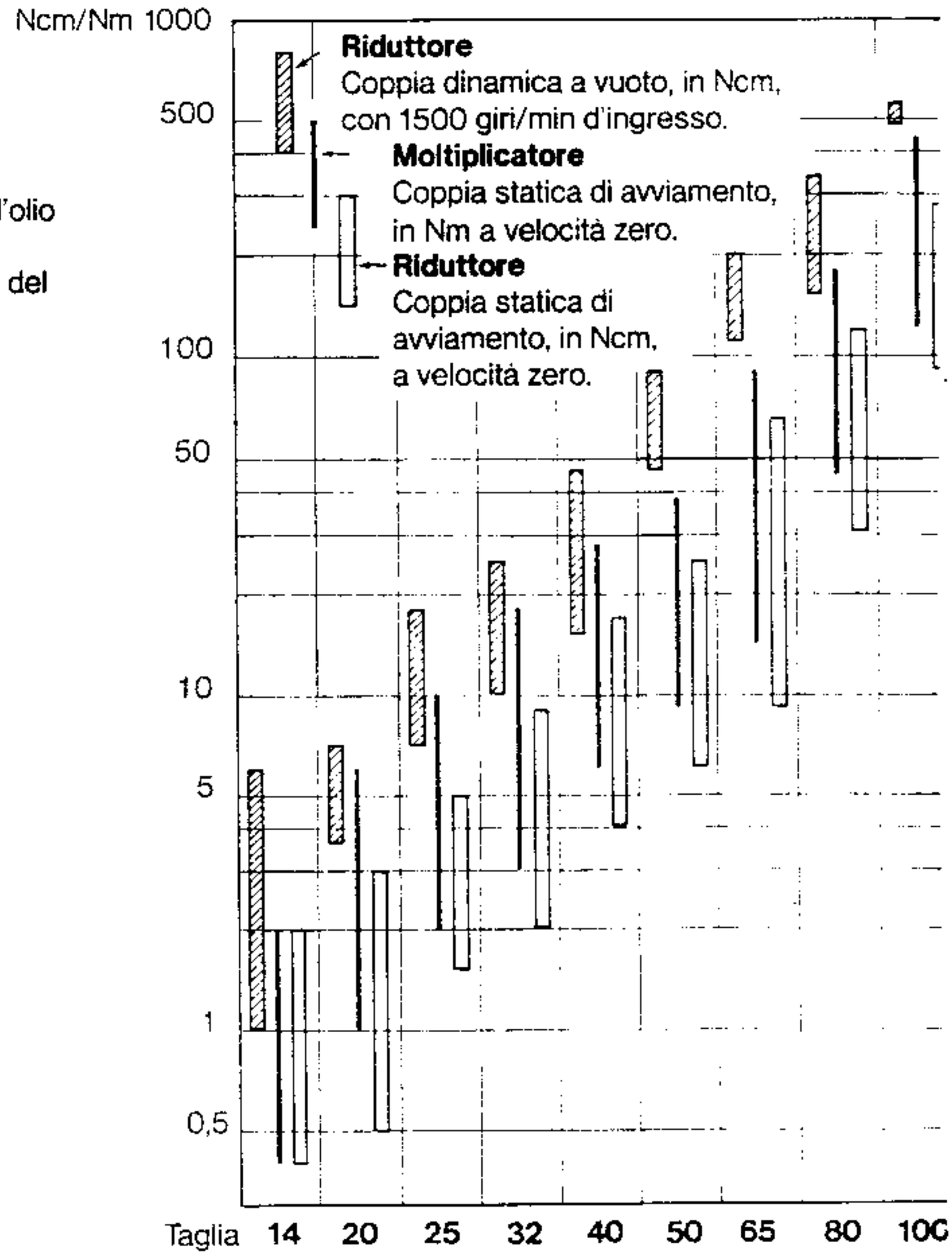


Note:
1. Nell'esecuzione precisa BL3 – BL1 il rendimento scende di un 3 – 5%.
2. Se si lavora col 50% del carico in uscita, a 1500 giri/min d'ingresso, e con l'olio a temperatura +40°C, il rendimento scende di circa il 10%.

I riduttori HARMONIC DRIVE non sono auto-frenanti.

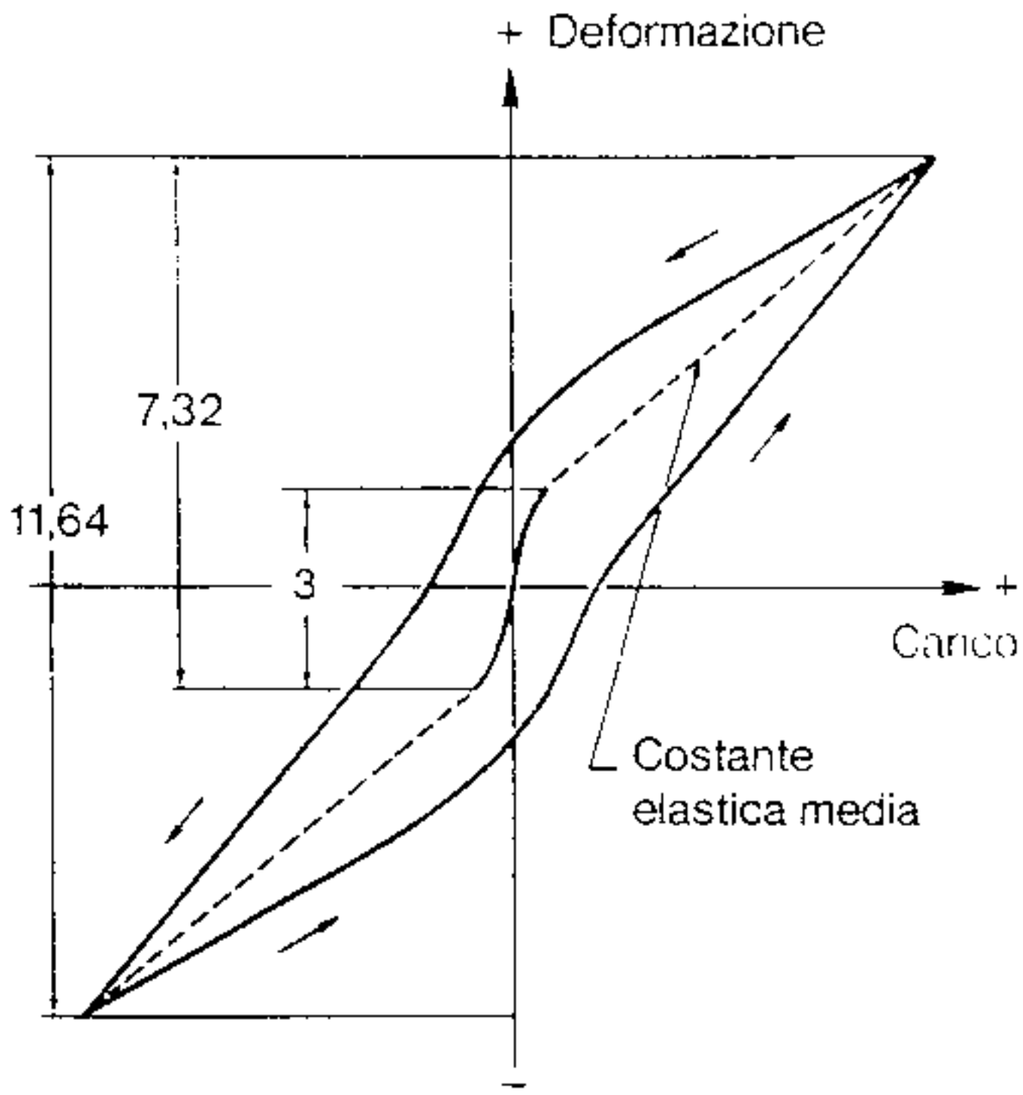
Coppie di spunto

I valori indicati sono validi con l'olio alla temperatura di 40°C.
La coppia cresce col crescere del rapporto di riduzione.



Gioco angolare e rigidità torsionale

Gioco angolare
Sia il gioco, sia la rigidità torsionale sono costanti nell'ambito di ciascuna taglia di riduttore, e indipendenti dal rapporto di riduzione, dalla coppia trasmessa, velocità di rotazione, temperatura e tipo di lubrificazione. I valori indicati nella sottostante tabella sono calcolati sull'uscita, ad albero di ingresso bloccato.
Nei riduttori HARMONIC DRIVE non esiste soltanto il gioco dei fianchi dei denti, ma si deve tenere conto di altri fattori determinanti, come il gioco del cuscinetto del Wave Generator e il gioco tra anello esterno del cuscinetto del Wave Generator e il Flexspline. Diminuendo il gioco dei fianchi dei denti e quello del cuscinetto del Wave Generator, il gioco nominale **sull'uscita,** che nei riduttori HDUC standard o semplificati è di 9 minuti d'arco, può essere ridotto a circa 3 minuti d'arco (esecuzione BL3) o addirittura a 1 minuto d'arco (esecuzione BL1).
Queste versioni richiedono una lavorazione accuratissima e di alta precisione, per cui sono considerate esecuzioni speciali.



Costante elastica del Flexspline
Il diagramma soprastante mostra la tipica curva di costante elastica dei riduttori HARMONIC DRIVE ad elementi componibili, ad albero d'entrata bloccato.
I numeri qui sotto riportati indicano i valori medi di costante elastica, con tolleranza ±10 %.

		Gioco totale sull'uscita in minuti d'arco, con albero d'entrata bloccato (senza valori della costante elastica)			Costante elastica media del Flexspline
HDUC	Carico* ±Nm	Riduttore standard	Esecuzione »BL3«	Esecuzione »BL1«	Costante elastica Nm/ Radiante
14	0.39	9.0	3.0	–	3370
20	1.18	9.0	3.0	1.0	23900 (20900)
25	2.25	9.0	3.0	1.0	37350 (34530)
32	4.50	9.0	3.0	1.0	81870 (82360)
40	9.00	9.0	3.0	1.0	142000
50	16.95	9.0	3.0	1.0	298800
65	38.22	9.0	3.0	1.0	585160
80	72.52	9.0	3.0	1.0	1138800
100	141.12	9.0	3.0	1.0	2112900

*) Sino a questo carico d'uscita, fa effetto unicamente il gioco nominale del riduttore.
A carico d'uscita maggiore, si deve aggiungere il corrispondente valore di costante elastica del Flexspline (vedasi esempio sottostante).

In parentesi i valori per l'esecuzione semplificata.

1 radiante = $\frac{180^\circ}{\pi}$ = 57,29578 gradi

1 grado = 60 minuti d'arco

Esempio
HDUC 20–160–2ABL3.
Con carico in uscita di 30 Nm.

Gioco: 3 minuti d'arco

Rigidità = $\frac{57{,}29578 \cdot 30 \cdot 60}{23.900}$ = 4,32 minuti d'arco

Gioco + rigidità = 3 + 4,32 = 7, 32

Con servizio reversibile (2 sensi di rotazione): 11,64 minuti d'arco.

10

Momento d'inerzia (J*) del Wave Generator in kgm^2

Il valore del momento d'inerzia dipende da tutti gli elementi, tranne l'anello esterno del cuscinetto del Wave Generator. Non si può ridurre il momento d'inerzia se non in termini molto limitati e tenendo conto che asportare troppo materiale può ridurre la robustezza del mozzo del Wave Generator.
L'esperienza ci ha dimostrato che la riduzione del momento di inerzia non può superare il 10%.

Taglia	Riduttore HDUC ad elementi componibili
14	$3{,}30 \cdot 10^{-5}$
20	$2{,}05 \cdot 10^{-4}$
25	$6{,}08 \cdot 10^{-4}$
32	$1{,}94 \cdot 10^{-3}$
40	$5{,}30 \cdot 10^{-3}$
50	$1{,}50 \cdot 10^{-2}$
65	$5{,}93 \cdot 10^{-2}$
80	$1{,}59 \cdot 10^{-1}$
100	$4{,}65 \cdot 10^{-1}$

$^*J = \frac{GD^2}{4}$

Velocità massima d'ingresso

La velocità massima non si può raggiungere che in ben determinate condizioni. Il carico d'uscita non può superare il 50% di quello indicato nella tabella a pag. 1.02 per la velocità di 1450 giri/min.
La velocità massima può essere utilizzata solo in caso di servizio intermittente, con rapporto 1:20 tra le punte di velocità.
Vogliate comunque consultarci prima di realizzare un'applicazione di questo tipo.

Taglia	Giri/min
14	3.600
20	10.000
25	7.500
32	7.000
40	5.600
50	4.500
65	3.500
80	3.500
100	2.500

Riduttori per carichi leggeri

Per applicazioni con carichi molto leggeri e senza inversioni di marcia, i riduttori HARMONIC DRIVE della serie HDUC dalla taglia 14 fino alla 32 possono essere forniti in esecuzione semplificata. In questa esecuzione il Flexspline è in acciaio inossidabile col fondo saldato, mentre nella serie HDUC standard, tipo A, il Flexspline è in acciaio speciale al nickel/cromo ed in un pezzo unico.
Al momento dell'ordine di un riduttore in esecuzione semplificata, il suffisso »A« **non** viene indicato.

Senso di montaggio

Se si seguono le norme per la lubrificazione, i riduttori HARMONIC DRIVE possono venire montati in tutti i sensi.

**) Tachymétrable sur demande.

****) Moteur refroidi par une ventilation extérieure de 80 l/s.

2) Courant à quelques tours/min.

d'alimentation qui a la protection IP 00.

b) Pour 10.000 h à 3000 tr/mn

c) Exécution fermée.

d) Exécution ouverte avec prise de ventilation

11

TEMA 3

---

* Motor must be cooled by an external fan minimum 10 l/s under 13 mm H_2O.

** Integral tachometer can be mounted.

**** Motor must be cooled by an external fan minimum 80 l/s.

1) Cycle S3 - 50 ms - 1%

2) Very low speed

a) IP 44/IP 00 means motor is protection IP 44, but terminals are IP 00.

b) For life time 10.000 hours at 3000 r.p.m.

c) Uncooled execution.

d) Cooled execution.

e) Terminals resistance.

Self induction de rotor	Couple de frottement sec	Constante de temps mécanique	Charges maximum admissibles sur l'arbre b)		Aimants	Coefficient de température des aimants	Caractéristiques thermiques: Constantes de temps thermique 2)		Caractéristiques thermiques: Résistances thermiques 2)		Protection a)	Masse		Type de servomoteur
L	T_F	τ	RADIALE seule	AXIALE seule	—	—	τ_{ca}	τ_{ca}	R_{dc}	R_{ca}	—	—		Symbole
µH	N cm	ms	N	N	—	%/°C	s	s	°C/W	°C/W	—	kg		Unité
Self induction of the rotor	Friction torque (static)	Mechanical time constant	Maximum permissible shaft loads b)		Permanent magnets	Magnets temperature coefficien	Thermal characteristics: Thermal time constant		Thermal characteristics: Thermal resistance		Protection a)	Weight		Motor Type
L	T_F	τ	RADIAL ONLY	AXIAL ONLY	—	—	τ_{dc}	τ_{ca}	R_{dc}	R_{ca}	—	—		Symbol
µH	cm N	ms	N	N	—	%/°C	s	s	°C/W	°C/W	—	kg		Unit
< 100	2,5	39,6	120	110	1 S 8	0,02	72,5	1865	1,208	0,746	IP44/IP00	1,1		F 9 M 4 R**
< 25	2,5	13,2	200	150	2 S 8	0,02	30	1054	1,125	0,878	IP44/IP00	2,3		F 9 M 2**
< 100	2,5	10,2	200	150	2 S 8	0,02	30	1054	1,125	0,878	IP44/IP00	2,3		F 9 M 4**
< 100	2,5	4,5	200	40	2 S 8	0,02	30	1054	1,125	0,878	IP44/IP00	2,8		F 9 M 4 H**
< 25	2,5	4,1	200	40	2 S 8	0,02	30	1054	1,125	0,878	IP44/IP00	2,8		F 9 M 2 HA**
< 100	3	37,6	120	110	1 S 8	0,02	59	1820	0,678	0,608	IP44/IP00	1,9		F 12 M 4 R**
< 25	3	14	220	150	2 S 8	0,02	52	1630	0,952	0,880	IP44/IP00	3,85		F 12 M 2**
< 100	3	10	220	150	2 S 8	0,02	52	1630	0,952	0,680	IP44/IP00	3,85		F 12 M 4**
< 100	3	4,7	220	150	2 S 8	0,02	52	1630	0,952	0,680	IP44/IP00	5,00		F 12 M 4 H**
< 100	3	3	220	150	2 S 8	0,02	52	1630	0,952	0,680	IP44/IP00	5,00		F 12 M 4 HA*
30	2,6	12	300	330	2 S 10	0,02	102	1940	0,818	0,746	IP44	4		MC 13 S
< 80	6	8,2	450	330	2 S 10	0,02	108	2725	0,72	0,649	IP44	8,5		MD 15 HS
< 100	6	10	450	330	2 S 10	0,02	168	3040	0,601	0,563	IP44	7,5		MD 17 CS
< 100	6	7,2	450	330	2 S 10	0,02	168	3040	0,601	0,563	IP44	8,6		MD 17 HS
< 200	9	17,2	600	600	2 S 10	0,02	147	2440	0,588	0,610	IP44	6,5		MC 17 H **
< 100	12	40	600	600	2 S 10	0,02	96	2930	0,724	0,611	IP44	6,5		MC 17 B **
< 100	10	7,4	600	600	2 S 10	0,02	64	3020	0,478	0,457	IP44	9,7		MC 19 P**
< 100	10	7,4	600	600	2 S 10	0,02	47	900	0,304	0,070	IP20	9,7		MC 19 P**(*)
< 400	10	6,5	600	600	2 S 10	0,02	64	3020	0,478	0,457	IP44	9,7		MC 19 S**
< 400	10	6,5	600	600	2 S 10	0,02	47	900	0,304	0,070	IP20	9,7		MC 19 S**(*)
< 3	11	11	600	600	2 S 10	0,02	64	3020	0,478	0,457	IP44	9,7		MC 19 B**
< 250	12	8	750	800	2 S 10	0,02	87	4250	0,437	0,283	IP44	17		MC 23 S**
< 250	12	8	750	800	2 S 10	0,02	32	1200	0,215	0,065	IP20	17		MC 23 S** (*)
< 100	15	5,1	750	800	2 S 10	0,02	90	5540	0,360	0,277	IP44	23		MC 24 P**
< 100	15	5,1	750	800	2 S 10	0,02	46	1800	0,200	0,060	IP20	23		MC 24 P**(*)
< 100	20	6	900	500	2 S 10	0,02	158	4176	0,244	0,261	IP44	35		MC 27**
< 100	20	6	900	500	2 S 10	0,02	85	1500	0,180	0,050	IP20	35		MC 27**(*)
< 200	50	5,5	900	500	4 S 10	0,02	90	2320	0,110	0,066	IP42	58		M 26 D**(****)

S DEMANDER LES FICHES TECHNIQUES INDIVIDUELLES
EASE ASK FOR TECHNICAL DATA SHEET

Caractéristiques générales des servomoteurs AXEM

12. TBMA3

Ratings and constants for AXEM D.C. servo motors

Type de servomoteur	Couple nominal	Couple impulsionnel maximum 1)	Vitesse nominale	Vitesse maximale	Puissance utile nominale	Courant nominal	Courant vitesse lente 2)	Courant impulsionnel maximum 1)	Tension nominale	Résistance aux bornes a)	Couple par ampère	F.E.M. par ktr/mn	Constante de couple visqueux	Moment d'inertie du rotor	Ch vit à t cor
Symbole	C_n	C_{imp}	N_n	N_{max}	P_n	I_n	I_l	I_{imp}	U_n	R	K_T	K_E	K_D	J	
Unité	N. cm	N. cm	tr/mn	tr/mn	W	A	A	A	V	ohm	N. cm/A	V/ktr/mn	N. cm/ktr/mn	g. cm²	tr/mn
Motor Type	Rated torque	Maximum pulse torque (1)	Rated speed	Maximum speed	Rated power output	Rated current	Maximum current at very low speed	Maximum pulse current (1)	Nominal voltage	Terminal resistance at 25° C c)	Torque per ampere	E.M.F. per 1000 r.p.m.	Viscous damping constant	Rotor moment of inertia	Ra of ca vi be
Symbol	C_n	C_{imp}	N_n	N_{max}	P_n	I_n	I_l	I_{imp}	U_n	R	K_T	K_E	K_D	J	
Unit	cm. N	cm. N	r.p.m.	r.p.m.	W	A	A	A	V	ohm	cm. N/A	V/kr p.m.	cm. N/kr p.m.	g. cm²	rp
9 M 4 R**	14	115	4800	9000	70	6,4	6,7	40	22	1,10	2,96	3,1	0,5	350	1
9 M 2**	28,2	173	3000	8500	88	11	11	60	14	0,43	2,96	3,1	0,7	290	
9 M 4**	34,6	345	3000	8000	108	8,7	6,7	60	26	1,10	5,92	6,2	0,8	350	
9 M 4 H**	53,7	490	3000	8000	168	6,5	6,75	55	35	1,10	8,8	9,2	0,85	340	
9 M 2 HA**	30,9	264	3000	9000	97	8	7,9	60	20	0,65	4,4	4,6	0,6	100	
12 M 4 R**	42	290	4800	9000	210	8	8,3	50	37	0,93	5,90	6,2	0,7	1500	
12 M 2**	61	430	3000	6000	190	11,7	11,7	75	24	0,47	5,73	6,0	1,6	1050	
12 M 4**	77	860	3000	5000	240	7,7	8,2	75	43	0,93	11,46	12,0	2,7	1500	
12 ** 4 H**	110	1300	3000	5000	345	7,2	8,2	75	61	0,93	17,2	18,0	3,3	1600	
12 4 HA**	95	950	3000	5000	300	6	6,6	55	63	1,40	17,2	18,0	2,5	670	
AC 13 S c)	127	850	3000	6000	400	8	6,5	50	65	1,5	16,7	17,5	1,5	2350	5
AD 15 HS c)	190	900	3000	4000	600	8,25	8,00	36	88	1,25	24,8	26,00	2,7	4230	1
AD 17 CS c)	270	1300	3000	4000	850	10	8,80	45	100	1,00	28,8	30	3,0	8150	1
AD 17 HS c)	318	1500	3000	4000	1000	10	9,22	45	116	1,00	33,8	35,2	3,80	8150	0
AC 17 H ** c)	190	1400	3000	5000	600	7,3	7,14	49	105	1,8	28,6	30	4	7900	2
AC 17 B ** c)	120	1200	3200	3900	400	24	21	200	24	0,175	5,75	6	1,6	7900	4
AC 19 P** c)	320	2440	3000	5000	1000	14,4	16,5	100	83	0,46	24,4	25,5	8	10000	0
AC 19 P**(*) d)	510	2440	3000	5000	1600	22,2	22,3	100	87	0,46	24,4	25,5	8	10000	0
AC 19 S** c)	320	2440	3000	5000	1000	7,2	8,5	50	164	1,6	48,8	51	8	10000	0
AC 19 S** (*) d)	510	2440	3000	5000	1600	11,1	11,4	50	171	1,6	48,8	51	8	10000	0
AC 19 B** c)	320	2440	3000	5500	1000	51,5	50	380	24	0,05	6,7	7	4	10000	1
AC 23 S** c)	700	5000	3000	5000	2200	14,8	12	100	172	0,9	50,8	53	13	23000	0
AC 23 S** (*) d)	1050	5000	3000	5000	3300	21,8	20	100	178	0,9	50,8	53	13	23000	0
AC 24 P** c)	980	8400	3000	4000	3000	25	20	200	140	0,285	41,5	43,6	12,5	32000	0
AC 24 P**(*) d)	1600	8400	3000	4000	5000	40	36	200	145	0,285	41,5	43,5	12,5	32000	0
AC 27** c)	1432	11500	3000	4300	4500	32,8	37,5	250	150	0,18	46,1	48,3	20	74000	0
AC 27**(*) d)	2290	11500	3000	4300	7200	52	50	250	154	0,18	46,1	48,3	20	74000	0
A 28 D**(****)	2850	16240	3000	4000	9000	37,5	38	200	272	0,50	80,2	85	50	73000	0