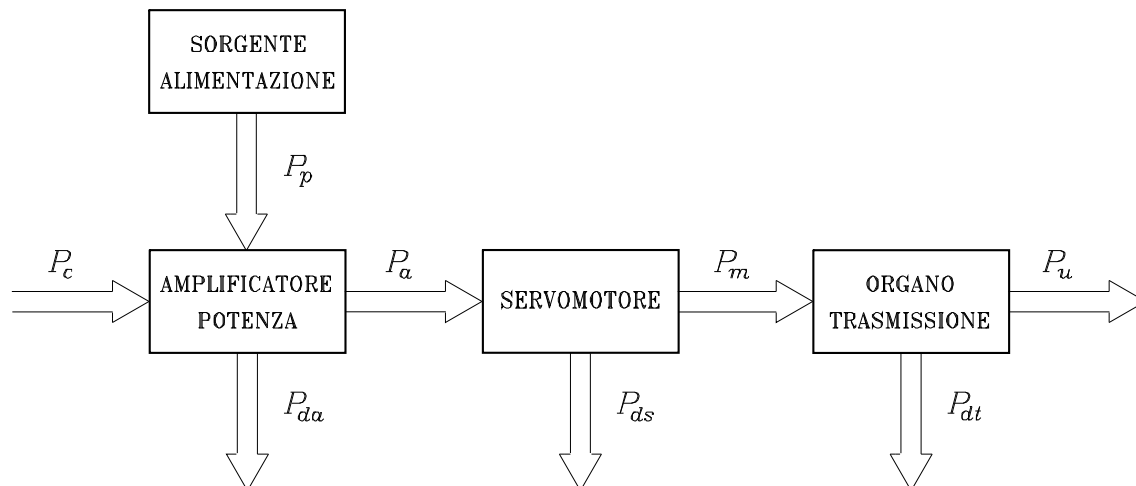


SISTEMA DI ATTUAZIONE DEI GIUNTI



Organi di trasmissione

- Moto dei giunti
 - ★ basse velocità
 - ★ elevate coppie

- *Ruote dentate*
 - ★ variano l'asse di rotazione e/o traslano il punto di applicazione
 - ★ denti a sezione larga e alberi tozzi (deformazioni limitate)

- *Coppie vite–madrevite*
 - ★ convertono il moto di rotazione in moto di traslazione
 - ★ viti a ricircolazione di sfere precaricate (riduzione attriti, aumento rigidità, riduzione gioco)

- *Cinghie dentate*
 - ★ consentono di allocare il motore lontano dall'asse del giunto attuato
 - ★ alte velocità e basse forze (deformabili)

- *Catene*
 - ★ consentono di allocare il motore lontano dall'asse del giunto attuato
 - ★ basse velocità (vibrazione)

- *Accoppiamento diretto*
 - ★ si eliminano elasticità e gioco
 - ★ algoritmi di controllo più sofisticati

Servomotori

- *Motori pneumatici*
 - ★ energia pneumatica fornita da un compressore, trasformata in energia meccanica mediante pistoni o turbine ad aria

- *Motori idraulici*
 - ★ energia idraulica immagazzinata in un serbatoio di accumulazione mediante opportune pompe, trasformata in energia meccanica

- *Motori elettrici*
 - ★ energia elettrica della rete di distribuzione

- Motori per robot industriali

- ★ bassa inerzia ed elevato valore del rapporto potenza/peso
- ★ elevata possibilità di sovraccarico e sviluppo di coppie impulsive
- ★ capacità di sviluppare elevate accelerazioni
- ★ elevato campo di variazione di velocità (da 1 a 1000)
- ★ elevata precisione di posizionamento (almeno 1/1000 di giro)
- ★ basso fattore di ondulazione della coppia in modo da garantire rotazioni continue anche a bassa velocità



- Servomotori

- ★ inseguimento di traiettoria
- ★ regolazione di posizione

- *Servomotore a corrente continua a magneti permanenti*
 - ★ un circuito statorico che genera il flusso magnetico di eccitazione (induttore): questo generatore è sempre a magneti permanenti realizzati con materiali ceramici o con terre rare (campi elevati in spazi ridotti)
 - ★ un circuito di armatura (indotto) che reca un avvolgimento costituito dalle spire di un solenoide avvolto su materiale ferromagnetico che costituisce il rotore
 - ★ un collettore che consente di collegare, mediante delle spazzole, i circuiti rotorici ad un circuito esterno di alimentazione secondo una logica di commutazione attuata dal movimento del rotore

- *Servomotore a commutazione elettronica*
 - ★ un generatore di flusso magnetico di eccitazione (induttore) che funge da rotore; questo generatore è a magneti permanenti di materiale ceramico o a terre rare
 - ★ un circuito di armatura (indotto) costituito da un avvolgimento polifase che funge da statore
 - ★ un circuito di commutazione statico che, a partire dai segnali forniti da un sensore di posizione posto sull'albero motore, genera la sequenza di alimentazione delle fasi del circuito di armatura in dipendenza del moto di rotazione del rotore

- *Motori a passo*
 - ★ caratteristiche di funzionamento dinamico dipendenti dal carico
 - ★ impiegati nei micromanipolatori

- Servomotori *idraulici*
 - ★ coppia pistone–cilindro (moti di traslazione)
 - ★ servomotori idraulici con pistoni assiali o radiali

- Servomotori elettrici

Pro:

- ★ disponibilità diffusa di sorgente di alimentazione
- ★ costo contenuto e vasta gamma di prodotti
- ★ buon rendimento di conversione di potenza
- ★ facile manutenzione
- ★ assenza di inquinamento dell'ambiente di lavoro

Contro:

- ★ problemi di surriscaldamento in situazioni statiche a causa dell'effetto della gravità sul manipolatore (freni di stazionamento)
- ★ necessità di particolari protezioni per impiego in ambienti infiammabili

- Servomotori idraulici

Pro:

- ★ non presentano problemi di surriscaldamento in situazioni statiche
- ★ sono autolubrificati e il fluido circolante facilita lo smaltimento del calore
- ★ sono intrinsecamente sicuri in ambienti pericolosi
- ★ hanno un ottimo rapporto potenza/peso

Contro:

- ★ necessità di una centrale idraulica di alimentazione
- ★ costo elevato, ridotta gamma di prodotti, difficoltà di miniaturizzazione
- ★ basso rendimento nella conversione di potenza
- ★ necessità di manutenzione periodica
- ★ inquinamento dell'ambiente di lavoro per perdite di olio

- Servomotori elettrici
 - ★ buone caratteristiche dinamiche
 - ★ ottima flessibilità di controllo
 - ★ necessità di organi di trasmissione

- Servomotori idraulici
 - ★ caratteristiche dinamiche dipendenti dalla temperatura del fluido in pressione
 - ★ coppie elevate a basse velocità

Amplificatori di potenza

- Funzione di modulazione del flusso di potenza dall'alimentazione verso l'attuatore (sotto l'azione del controllo)

- Servomotori elettrici
 - ★ amplificatori a transistori
 - convertitori controllati c.c./c.c. (chopper)
 - convertitori controllati c.c./c.a. (inverter)

- Servomotori idraulici
 - ★ servovalvole elettroidrauliche

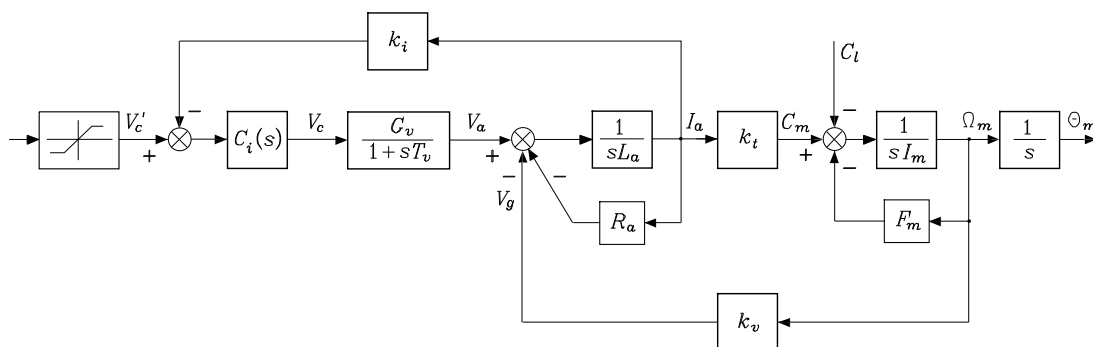
Sorgenti di alimentazione

- Azionamenti elettrici
 - ★ trasformatore + ponte raddrizzatore (non controllato)
- Azionamenti idraulici
 - ★ pompa azionata da motore primo (asincrono trifase) a velocità costante + serbatoio di accumulazione + filtri + valvole

AZIONAMENTI

Azionamenti elettrici

- Servomotore elettrico con amplificatore



- Equilibrio elettrico

$$V_a = (R_a + sL_a)I_a + V_g$$

$$V_g = k_v \Omega$$

- Equilibrio meccanico

$$C_m = (sI_m + F_m)\Omega + C_r$$

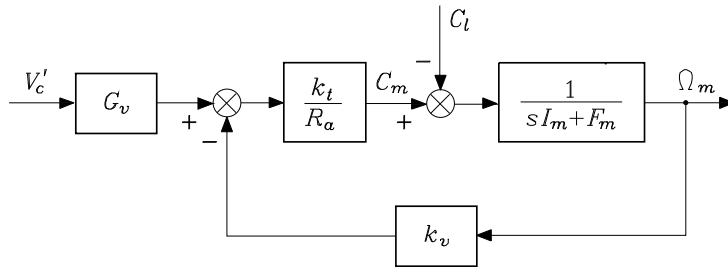
$$C_m = k_t I_a$$

- Amplificatore di potenza

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{G_v}{1 + sT_v}$$

- Retroazione di corrente

● Generatore controllato di velocità



★ $k_i = 0$

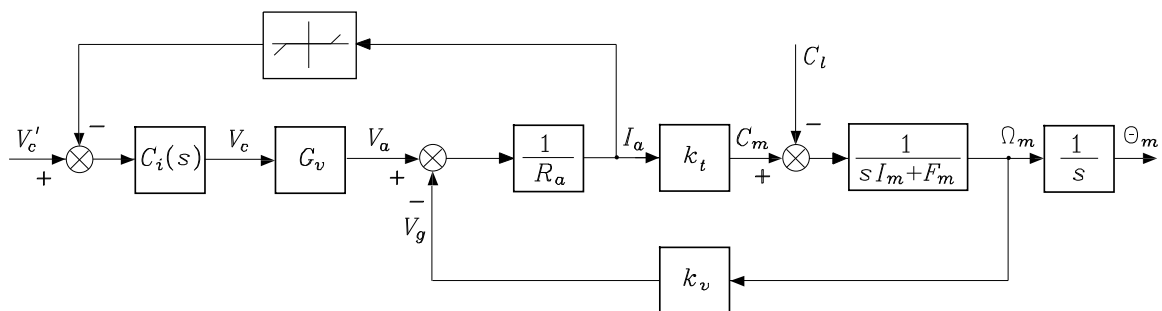
★ $F_m \ll k_v k_t / R_a$

$$\Omega_m = \frac{1}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_t}} \frac{G_v V'_c}{k_v} - \frac{\frac{R_a}{k_v k_t}}{1 + s \frac{R_a I_m}{k_v k_t}} C_l$$

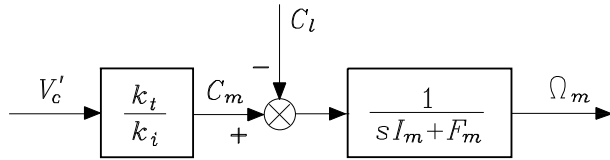
★ a regime:

$$\omega_m \approx \frac{G_v}{k_v} v'_c$$

● Protezione di corrente



- Generatore controllato di coppia



- ★ $G_v k_i \gg R_a$

- ★ $k_v \Omega_m / G_v k_i \approx 0$

$$\Omega_m = \frac{\frac{k_t}{k_i F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} V'_c - \frac{\frac{1}{F_m}}{1 + s \frac{I_m}{F_m}} C_l$$

- ★ a regime:

$$c_m \approx \frac{k_t}{k_i} \left(v'_c - \frac{k_v}{G_v} \omega_m \right)$$

- Funzione di trasferimento tra ingresso di controllo e posizione di uscita dell'attuatore

$$M(s) = \frac{k_m}{s(1 + sT_m)}$$

- ★ generatore controllato di velocità

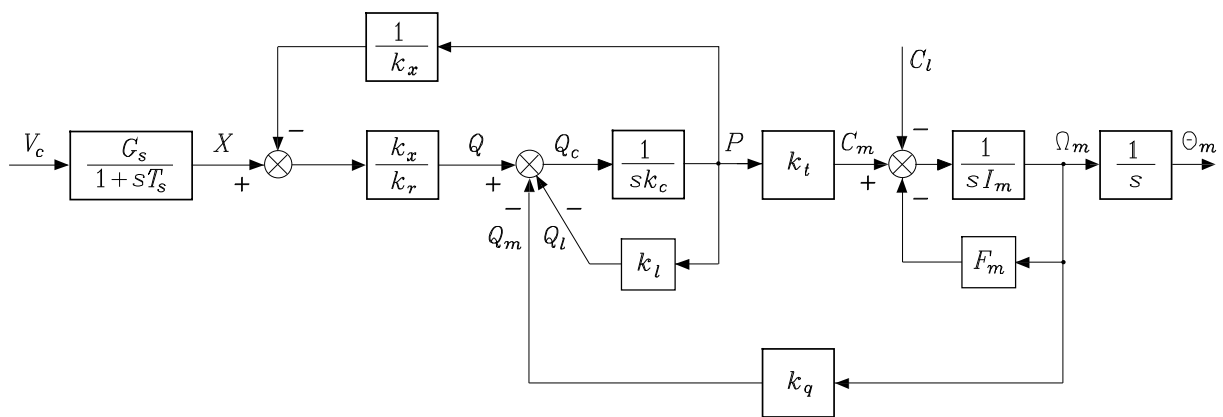
$$k_m = \frac{1}{k_v} \quad T_m = \frac{R_a I_m}{k_v k_t}$$

- ★ generatore controllato di coppia

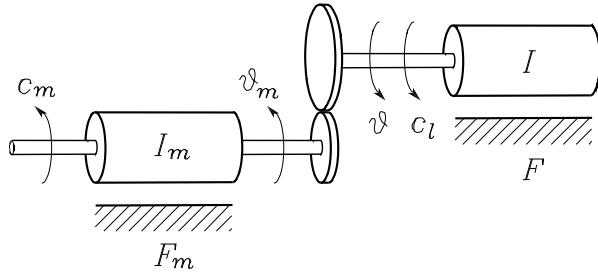
$$k_m = \frac{k_t}{k_i F_m} \quad T_m = \frac{I_m}{F_m}$$

Azionamenti idraulici

- Motore idraulico con servovalvola e distributore



Effetti di un riduttore meccanico



$$c_m = I_m \dot{\vartheta}_m + F_m \omega_m + f r_m$$

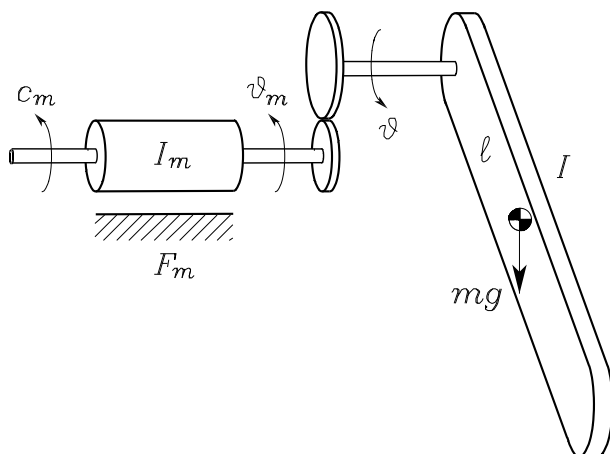
$$f r = I \dot{\vartheta} + F \omega + c_l$$

⇓

$$c_m = I_{eq} \dot{\vartheta}_m + F_{eq} \omega_m + \frac{c_l}{k_r}$$

$$I_{eq} = \left(I_m + \frac{I}{k_r^2} \right) \quad F_{eq} = \left(F_m + \frac{F}{k_r^2} \right)$$

- Pendolo attuato tramite riduttore meccanico



$$c_m = I_m \dot{\omega}_m + F_m \omega_m + f r_m$$

$$f r = I \dot{\omega} + F \omega + m g l \sin \vartheta$$

⇓

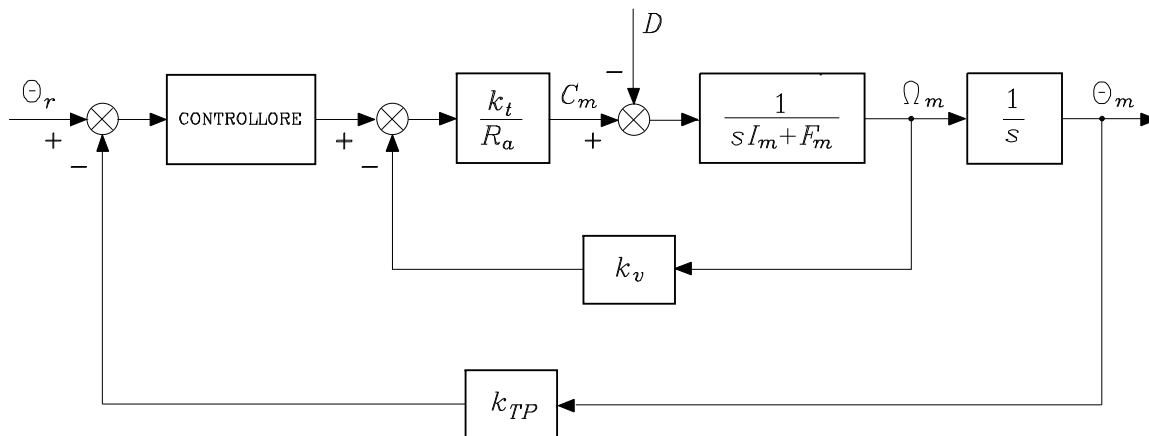
$$c_m = I_{eq} \dot{\omega}_m + F_{eq} \omega_m + \left(\frac{m g l}{k_r} \right) \sin \left(\frac{\vartheta_m}{k_r} \right)$$

- ★ nel caso di un manipolatore ad n bracci, gli accoppiamenti non lineari tra i motori verranno ridotti dalla presenza di organi di trasmissione con elevati rapporti di riduzione

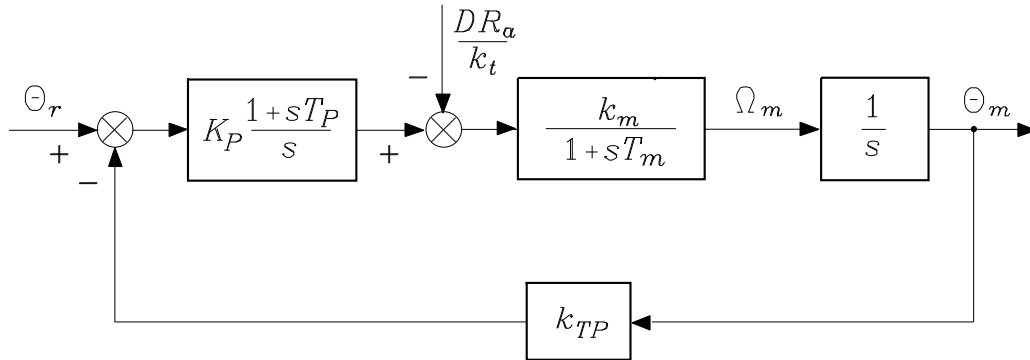
Controllo di posizione

- Schema generale di controllo di un azionamento elettrico
 - ★ generatore controllato di velocità

$$\frac{R_a}{k_v k_t} \ll \frac{1}{F_m}$$



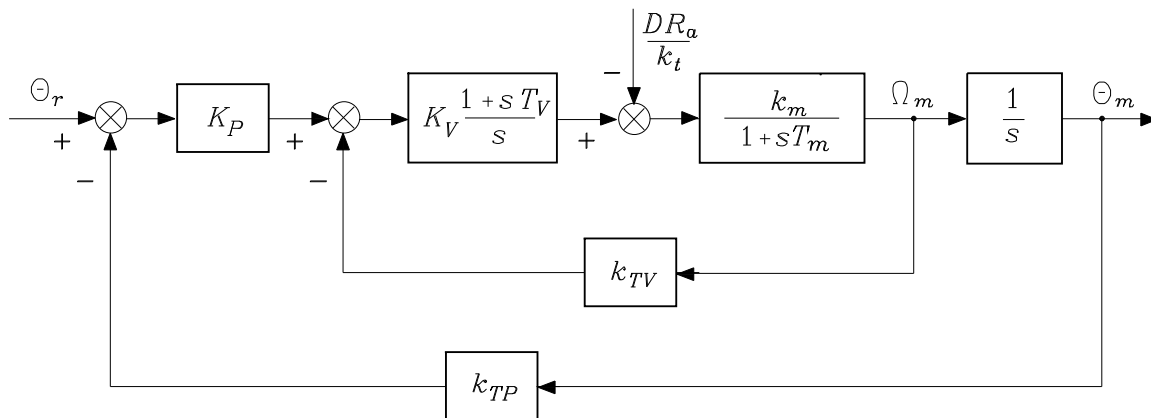
- Riduzione degli effetti del disturbo \implies azione PI



$$k_m = \frac{1}{k_v} \quad T_m = \frac{R_a I_m}{k_v k_t}$$

★ K_P e T_P in modo da garantire stabilità e buon comportamento dinamico

- Miglioramento della risposta transitoria \implies retroazione tachimetrica



★ riduzione degli effetti del disturbo anche in transitorio