



Costruzione di robot umanoidi: dalla progettazione alla consegna

Il corpo umano è una meraviglia, dall'acutezza e profondità della visione binoculare, al tatto e alla destrezza nel maneggiare gli oggetti e nell'usare gli strumenti. Gli ambienti costruiti da e per gli esseri umani sono progettati per sfruttare al meglio queste capacità.

Ambienti di questo tipo sono comuni anche nelle realtà produttive, di magazzino e industriali più avanzate. Nonostante l'elevato grado di automazione, è ancora necessaria una forza lavoro umana per colmare le lacune tra i molteplici sistemi di automazione fissi, ciascuno progettato per raggiungere uno scopo specifico. Le attività incentrate sull'uomo, che spesso variano da un giorno all'altro, richiedono un motion flessibile e autonomo per superare i processi automatizzati e assicurare la continuità e le prestazioni dell'intera operazione.

Il problema è che la forza e la resistenza umane sono limitate. I lavoratori che ricoprono questi ruoli possono subire infortuni. Il turnover in lavori faticosi e talvolta pericolosi è elevato. Di conseguenza, possono crearsi dei vuoti nella forza lavoro, con gravi interruzioni dell'offerta e della produzione.

I compiti eseguiti da operatori umani possono essere effettuati aggiungendo altre macchine progettate per un unico scopo senza grandi spese e modifiche estese alla fabbrica o al magazzino. Ma questi compiti sono le applicazioni ideali per i robot umanoidi: eliminano le preoccupazioni per la carenza di manodopera e liberano gli esseri umani dalle fatiche

e dai potenziali pericoli, consentendo loro di ricoprire ruoli più creativi.

Ecco perché i robot umanoidi, un tempo associati alle fantasie della fantascienza e agli animatronic dei parchi a tema, sono diventati un settore vitale della ricerca e dello sviluppo. Negli ultimi 10 anni, la tecnologia degli umanoidi è progredita al punto che molti team accademici, startup e aziende affermate stanno sviluppando umanoidi che promettono di trasformare i luoghi di lavoro, evitando rischi per le persone.

La rivoluzione in corso nelle capacità degli umanoidi è guidata dai progressi nei sistemi di visione, nei sensori tattili e propriocettivi, nella densità delle batterie, negli algoritmi di intelligenza artificiale, nella velocità di elaborazione e in altre tecnologie. Il punto fondamentale, tuttavia, è sempre il motion. Se gli arti di un robot non sono in grado di rispondere agli input sensoriali e ai comandi di motion del sistema con velocità, potenza, precisione e persino grazia, non possono svolgere il loro lavoro in modo soddisfacente. I progressi nei motori e negli attuatori motorizzati sono fondamentali per la rivoluzione in corso nei progetti robotici incentrati sull'uomo.

Le sfide legate alle movimentazioni degli umanoidi sono sia tecniche che commerciali

Nel settore in rapida espansione dei robot umanoidi, gli ingegneri sono sotto pressione per sviluppare rapidamente progetti in grado di fornire nuove funzionalità, mantenendo un prezzo accessibile, in anticipo rispetto ai potenziali concorrenti. In questo ambiente di sviluppo, tutto dipende dalla rapidità di progettazione e iterazione per arrivare a un prototipo di successo. Ma è in questa fase di prototipazione che diventa evidente la vera portata delle sfide motion.

Progettare un robot con prestazioni di motion ottimali è impegnativo. Progettarlo in modo che sia altamente producibile aggiunge un'ulteriore dimensione alla sfida. Il progetto è a rischio quando i team di progettazione non riescono a conciliare le prestazioni con la commerciabilità. Un prototipo di successo deve affrontare fin dall'inizio considerazioni sia tecniche che commerciali.

Da un punto di vista tecnico, i prodotti di motion che non sono stati progettati specificamente per il motion robotico possono essere troppo grandi, troppo pesanti e poco adatti ai requisiti cinematici dell'esecuzione di compiti simili a quelli svolti dagli esseri umani. Ad esempio, i progettisti possono essere tentati di specificare motori ampiamente disponibili che sono stati originariamente progettati per l'uso nei droni. Tuttavia, questi motori sono progettati per funzionare a un numero di giri relativamente elevato e non sono in grado di fornire la coppia costante nell'intero intervallo di velocità richiesto dai giunti delle braccia e delle gambe degli umanoidi.

Da un punto di vista commerciale, la progettazione per la producibilità e la commerciabilità è fondamentale fin dall'inizio. Un motore che offre un adattamento approssimativo a un prezzo contenuto può aiutare i progettisti a rispettare tempi e budget ristretti. Tuttavia, se il robot funziona in modo non ottimale e se un motore di serie a prezzi accessibili non viene prodotto con una qualità costante e supportato da un'assistenza tecnica efficace, il progetto può risultare problematico.

D'altra parte, una soluzione personalizzata di alta qualità aumenta il rischio, perché aumenta sostanzialmente i costi e potrebbe non essere scalabile per la produzione in serie.

Questi rischi di performance e di mercato non sono tuttavia inevitabili. Le sfide tecniche e commerciali possono sembrare in contrapposizione, ma possono essere entrambe risolte attraverso una strategia di sviluppo ottimizzata che specifichi i prodotti di motion in base ai requisiti di prestazione e di producibilità.



Inizia con una strategia di motion a livello di sistema

Le decisioni sul motion devono tenere conto del sistema nel suo complesso. Ai livelli di prestazioni richiesti per il motion umanoide, un motore non è solo un motore. Deve essere ottimizzato per forma, peso e caratteristiche prestazionali altamente specifiche, tra cui la capacità di rispondere alle raffiche di accelerazione dinamiche richieste da un giunto di un robot umanoide e di operare con la massima efficienza. Deve inoltre soddisfare questi criteri mantenendo l'economicità e la producibilità di una soluzione commerciale di serie.

Per ottenere le specifiche del motore ideale, è necessario iniziare a comprendere e documentare i requisiti applicativi di ciascun giunto robotico, compresi l'intero intervallo di coppia e velocità dinamica, l'ampiezza dei carichi inerziali che si possono incontrare durante il funzionamento e gli obiettivi di peso e ingombro di installazione.

Una volta compresi i requisiti dinamici di ciascun punto di snodo, si inizia la progettazione del giunto tralasciando il motore e definendo il sistema meccanico - che si tratti di un giunto rotante o lineare - nonché la cinematica della trasmissione. Queste specifiche determineranno il giusto abbinamento tra il motore e il riduttore.

Ad esempio, si pensi ai potenziali difetti di conformità e al backlash negli ingranaggi. Una leggera imprecisione che potrebbe essere accettabile in un'applicazione di automazione industriale potrebbe essere problematica in un robot umanoide che deve mantenere l'equilibrio mentre esegue compiti estremamente delicati e potenti. Oppure si consideri che anche l'umanoide più capace può andare a sbattere contro qualcosa o cadere in un mondo dinamico, proprio come un essere umano in carne e ossa. Gli ingranaggi scelti devono essere in grado di resistere a questi carichi e forze imprevedibili.

Una discussione approfondita sui tipi di ingranaggi va oltre lo scopo di questo documento. Tuttavia, noteremo che i giunti rotanti sono il tipo più comune nei robot umanoidi, combinati in modo da replicare il movimento di caviglie, ginocchia, anche, spalle, gomiti, polsi e così via. I riduttori armonici soddisfano in modo eccezionale i requisiti di questi giunti rotanti.

Il riduttore armonico offre:

- Rapporti di riduzione elevati in un singolo stadio per un'elevata densità di potenza e un'accelerazione/decelerazione fluida.
- Assenza di backlash per un posizionamento preciso e una tenuta affidabile.
- Il fattore di forma più compatto in senso assiale, che consente di progettare robot compatti e agili.
- Affidabilità e resilienza in caso di impatto del carico.
- Disponibilità di prodotti commerciali di serie adatti all'uso nei giunti robotici.

Tipo di riduttore	Coppia/Forza	Backlash	Peso	Efficienza	Costo
Planetario	Neutro	Negativo	Neutro	Positivo	Positivo
Armonico	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo
Cicloidale	Positivo	Neutro	Negativo	Neutro	Negativo
Vite a sfere	Positivo	Neutro	Positivo	Neutro	Positivo

Tipi di riduttori e relative caratteristiche

Quando si sceglie un riduttore armonico, è sempre conveniente utilizzare quelli con il diametro esterno maggiore, compatibilmente con i requisiti di progetto. L'aumento del diametro permette di utilizzare un motore di diametro maggiore, consentendo di sfruttare la regola D²L. Questa regola stabilisce che la coppia aumenta in modo direttamente proporzionale all'aumento della lunghezza dello stack del motore o, in alternativa, al quadrato dell'aumento del braccio.

In altre parole, raddoppiando il diametro del braccio si ottiene il quadruplo della coppia o, in alternativa, si può ridurre la lunghezza dello stack di tre quarti senza alcuna perdita di coppia. La regola D²L offre un modo semplice per massimizzare la coppia di ciascun giunto. Inoltre, in molti progetti, la riduzione della lunghezza assiale di un giunto robotico consente di ottenere un robot più agile e più libero di lavorare in spazi ristretti e in prossimità degli oggetti del mondo circostante.



Progettazione per la producibilità e la commerciabilità su larga scala

Una volta progettata un'architettura di giunto adeguata, il passo successivo consiste nel valutare se i componenti di tale architettura possano essere scalati fino alla produzione completa di un robot adatto al mercato a cui ci si rivolge. Chiediti se il tuo progetto sia abbastanza solido da poter essere scalato e se i componenti scelti saranno facilmente disponibili, funzionalmente ottimali e meccanicamente affidabili quando passerai dal prototipo alla produzione su vasta scala.

In Kollmorgen abbiamo assistito a molti casi di prototipi creati in tempi ristretti o con vincoli di budget, in cui la convenienza del progetto o il prezzo del prodotto erano i principali criteri di selezione. Quando il risultato è un progetto di giunto troppo grande, troppo pesante e con prestazioni inferiori alla media, il risultato è una spesa ancora maggiore in termini di tempo e denaro per rifare il progetto per ottenere il giusto risultato, o addirittura il completo abbandono del progetto. Il risultato peggiore è quello di andare avanti con la produzione del progetto con grandi spese, solo per affrontare il rifiuto sul mercato.

Crediamo fermamente nel valore a breve e a lungo termine di una progettazione corretta fin dall'inizio, in modo da poter arrivare sul mercato più rapidamente con un prodotto migliore e più redditizio. Per molte aziende, questo richiede un cambiamento di mentalità che separa il dipartimento di R&S dalla produzione. In realtà, per avere successo è necessario collocare il dipartimento R&S e la produzione su un continuum di obiettivi, risorse e processi condivisi.

L'eccellenza operativa, oltre alla progettazione funzionale, deve essere integrata nel processo di prototipazione. Fin dall'inizio del progetto, considera come il progetto si evolverà e scalerà dal prototipo ai test sul campo, alla produzione iniziale a bassa velocità e poi alla produzione a pieno ritmo. In questo modo, potrai evitare ritardi, contrattempi o addirittura la necessità di una riprogettazione totale.

Per quanto riguarda la scelta, il dimensionamento e la configurazione dei motori, ciò significa prendere in considerazione diversi fattori oltre alle caratteristiche di velocità, coppia e potenza, ad esempio:

- Le caratteristiche di carico del sistema di ingranaggi negli ambienti altamente variabili in cui operano i robot umanoidi e le prestazioni richieste al motore.
- La distanza tra il motore, la trasmissione e gli altri componenti del giunto.
- Temperature ambientali di funzionamento, aumento termico del motore ed eventuali disposizioni per la dissipazione del calore.
- In che modo il calore in eccesso potrebbe influire sulle prestazioni del motore o sui componenti vicini, come i lubrificanti degli ingranaggi e l'elettronica di retroazione.
- La sequenza di produzione in termini di passaggio dei cavi, l'installazione dei dispositivi di retroazione, la distribuzione degli adesivi e così via.

Questi e molti altri fattori sono di fondamentale importanza quando si progetta un prototipo che incorpora i principi della progettazione per la producibilità (DFM). Kollmorgen ha sempre lavorato in un'ottica di DFM, sia nella progettazione e produzione

dei propri sistemi di motion, sia nelle collaborazioni ingegneristiche con i propri clienti per aiutarli a ottimizzare i loro progetti per la DFM.

Abbiamo centinaia di anni di esperienza collettiva e abbiamo lavorato con migliaia di applicazioni dei clienti, aiutandoli a ottimizzare i motori per i requisiti di prestazione e di producibilità dell'applicazione. I nostri processi collaudati includono la collaborazione dalla progettazione iniziale, attraverso la prototipazione e la progettazione iterativa, fino alla revisione finale del progetto e alla scalabilità della produzione completa, dando ai clienti la certezza di un progetto che rimane in linea dall'inizio alla fine.

Inoltre, forniamo prodotti di motion con specifiche e qualità identiche anno dopo anno, anche se innoviamo continuamente per soddisfare le esigenze di un mercato in continua evoluzione. Il nostro obiettivo è sempre quello di fornire prodotti dalle prestazioni ottimali per le nuove iniziative di sviluppo, garantendo al contempo un accesso costante ai prodotti necessari per la produzione completa e per le esigenze di assistenza post-vendita.



Numerosi leader del settore della robotica umanoide hanno provato i nostri processi, le nostre capacità e i nostri prodotti visitando i nostri stabilimenti di produzione per condurre i propri audit. A ogni visita, Kollmorgen ha superato le aspettative.

Incorpora la tecnologia frameless Kollmorgen

I sistemi meccanici sono infinitamente vari e i prodotti di motion non sono creati allo stesso modo. Kollmorgen si impegna a fornire la più ampia selezione di motori pronti per i robot, in un'ampia gamma di dimensioni, con modifiche standard e personalizzate economicamente vantaggiose che soddisfano i precisi requisiti di prestazione di ogni applicazione senza sacrificare la producibilità.

L'impegno e la specializzazione di Kollmorgen consistono nel fornire prestazioni affidabili in motori di altissima qualità e una producibilità affidabile su qualsiasi scala.

Ad esempio, due dei requisiti più importanti sono la riduzione al minimo del consumo di energia, dato che i robot umanoidi operano tipicamente in autonomia con l'alimentazione a batteria, e l'ottimizzazione della coppia, dato che devono sostenere il proprio peso mentre eseguono compiti che richiedono una forza umana o addirittura sovrumana con estrema precisione.

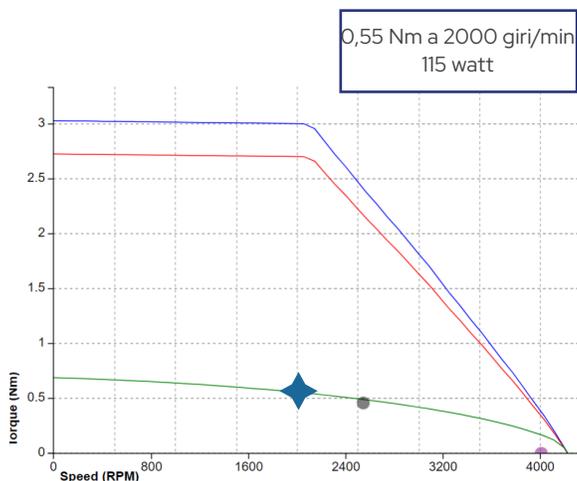
Kollmorgen offre motori frameless progettati specificamente per i requisiti dei giunti robotici. Sono compatti, leggeri ed efficienti dal punto di vista energetico, con la possibilità di regolare con precisione le caratteristiche dell'avvolgimento per ottenere la massima efficienza negli intervalli di coppia e velocità specifici di ogni applicazione.

Queste caratteristiche aiutano gli ingegneri robotici a ridurre al minimo le dimensioni, il peso e il consumo energetico, fornendo una coppia ottimale in motori più piccoli e leggeri. I giunti leggeri consentono una migliore distribuzione del peso che migliora l'equilibrio e la stabilità del robot. I giunti assialmente più piccoli consentono una maggiore destrezza del braccio robotico, riducendo al contempo il rischio di impatto con strutture e oggetti. L'efficienza energetica consente tempi di funzionamento più lunghi tra una carica e l'altra della batteria.

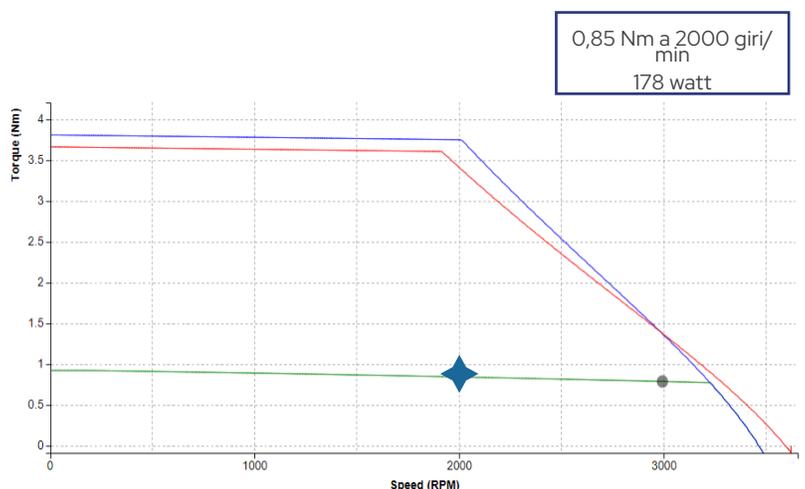
Si pensi, ad esempio, alla serie di servomotori frameless TBM2G di Kollmorgen, progettati specificamente per soddisfare i requisiti di fattore di forma, consumo energetico e prestazioni dei giunti robotici. Sono progettati per soddisfare i requisiti dimensionali, di coppia e di velocità degli ingranaggi armonici standard, per consentire la realizzazione di giunti robotici più compatti e precisi senza dover ricorrere a ingranaggi personalizzati.

I motori TBM2G sfruttano la regola D²L per erogare le massime prestazioni con i giunti più leggeri e assialmente compatti. Questo design consente anche un ampio foro passante per ospitare il cablaggio e altri componenti che passano attraverso i giunti del braccio robotico. Questi motori funzionano con un'ampia gamma di encoder e possono essere forniti anche con sensori Hall integrati che non aumentano la lunghezza del motore.

Grazie a un aumento termico eccezionalmente basso, i motori TBM2G possono funzionare in prossimità di componenti sensibili alla temperatura senza compromettere le prestazioni. Ad esempio, la temperatura massima di 155 °C dell'avvolgimento di un motore con isolamento di Classe F equivale a 140 °C nominali in prossimità dei componenti dell'encoder e dell'ingranaggio. Ma i motori TBM2G possono fornire prestazioni eccezionali senza superare gli 85 °C, migliorando notevolmente l'affidabilità e la durata dei giunti robotici.



Prestazioni tipiche del motore a temperatura ambiente di 25 °C e temperatura massima dell'avvolgimento di 85 °C



Prestazioni del motore TBM2G a temperatura ambiente di 25 °C e temperatura massima dell'avvolgimento di 85 °C

Il potente generatore di curve di prestazione di Kollmorgen, uno dei numerosi strumenti di progettazione online self-service disponibili sul sito web di Kollmorgen, è stato utilizzato per creare le analisi dei motori mostrate nei grafici. Come si può notare, il motore TBM2G offre prestazioni eccezionali pur funzionando a una temperatura di avvolgimento di 85 °C. Per ottenere prestazioni paragonabili, praticamente tutti gli altri servomotori frameless disponibili devono funzionare a temperature molto più elevate, in genere con una temperatura massima degli avvolgimenti di 155 °C.

Questo è un problema importante per i giunti robotici strettamente integrati. Quando la temperatura degli avvolgimenti supera gli 85 °C, il lubrificante degli ingranaggi si degrada rapidamente e i dispositivi elettronici di retroazione possono diventare inaffidabili. Al contrario, se un motore progettato per prestazioni ottimali a 155 °C viene fatto funzionare a una temperatura massima dell'avvolgimento di 85 °C,

le sue prestazioni ne risentono in modo sostanziale. TBM2G è l'unico servomotore frameless sul mercato progettato per fornire prestazioni superiori entro i limiti di temperatura reali di un giunto robotico.

I servomotori TBM2G offrono inoltre ai progettisti di robot la possibilità di dimensionare ogni motore per ogni giunto. I motori TBM2G sono disponibili in sette dimensioni di frame, ciascuna con tre lunghezze di stack, e una vasta gamma di opzioni per un'integrazione ideale con l'applicazione. Diverse varianti di avvolgimento ottimizzano le prestazioni del motore per le varie tensioni di BUS, compresi gli avvolgimenti specifici per i robot umanoidi a batteria.

La serie TBM2G è costruita secondo i più alti standard di qualità, con la producibilità, la consegna e l'assistenza necessarie per portare il robot umanoide dal prototipo alla produzione su larga scala a qualsiasi volume, ovunque nel mondo.

Il partner di motion è importante

La serie di servomotori frameless TBM2G è solo un esempio dell'impegno di Kollmorgen per una robotica di qualità superiore. I nostri motori frameless TBM e RBE, insieme a numerosi altri prodotti, soddisfano un'ampia gamma di requisiti di motion per il settore in rapida crescita degli umanoidi e di altri progetti robotici.

Inoltre, il nostro team di ingegneri ha una vasta esperienza nel campo della robotica. Possiamo aiutarti a progettare in modo collaborativo la soluzione di motion ottimale per dare vita alle capacità uniche del tuo robot. Grazie alla nostra

produzione snella, ai processi ripetibili e ai controlli di qualità, ti aiuteremo a passare rapidamente dal prototipo alla produzione a pieno ritmo, con sistemi di motion consegnati sempre in tempo. Inoltre, forniremo un'assistenza a lungo termine per sostenere la consegna del prodotto durante l'intero ciclo di vita del robot, gestendo i costi e scalando la produzione in base alle necessità.

Contattaci per discutere le tue esigenze e i tuoi obiettivi con un esperto di robotica di Kollmorgen.

Informazioni su Kollmorgen

Kollmorgen, un marchio Regal Rexnord, vanta oltre 100 anni di esperienza nel settore del motion, comprovata da motori, azionamenti, soluzioni di controllo AGV e piattaforme di automazione dalle prestazioni tra le più elevate e affidabili del settore. Forniamo soluzioni innovative che non hanno rivali in termini di prestazioni, affidabilità e facilità di utilizzo, garantendo ai costruttori di macchine un indubbio vantaggio sul mercato.