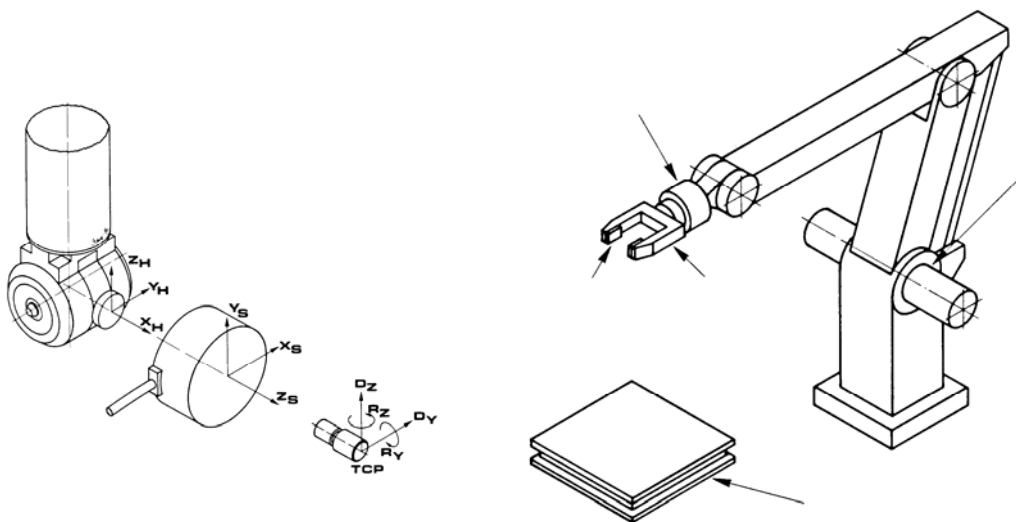


INDUSTRIROBOTAR OCH GIVARE

Ett moment i kursen Mekanik för I

Kursmomentets omfattning i tid :	2 h
Lokal:	IEI Monteringstekniks laboratorium, Hus A, Ingång 15, till vänster efter C-korridoren
Gruppstorlek:	10 teknologer
Tider för laborationstillfällen:	Enligt anmälningslistorna



LABORATIONSKOMPENDIETS UPPBYGGNAD

	sida	
1.	Mål, syfte och översikt av industrirobotavsnittet i kursen	3
1.1	Inledning	3
1.2	Mål och syfte	5
1.3	Huvudmoment vid laborationen	6
2.	Allmänt om industrirobotar	7
2.1	Industrirobotar	7
2.2	Ett exempel	10
2.3	Industrirobotar – en kort historik	11
2.4	Definitioner	12
2.5	Industrirobotens huvuddelar; mekanisk arm, styrsystem och gripdon/verktyg	14
2.5.1	Allmänt om robotstyrsystem	17
2.5.2	Mekanisk arm	18
2.5.3	Gripdon/verktyg	23
2.6	Industrirobotprestanda	27
2.7	Programmering av industrirobotar	32
2.7.1	Allmänt om robotprogrammering	32
2.7.2	Exempel på rörelsefunktioner i robotprogrammeringsspråk	34
2.7.3	Exempel på förberedelser och programmering av en industrirobot ASEA Irb 6/2	40
3.	Underlag för laborationsmomenten	45
3.1	Programmering av ASEA Irb 6/2 och ASEA Irb 1000	45
3.1.1	Laborationsmoment– Manuell manövrering av en robotarm	47
3.1.2	Laborationsmoment – Mätning av en robots repeternoggrannhet	48
3.1.3	Uppgifter under laborationsmomentet	49
3.1.4	Uppgifter efter laborationen	49
3.2	Givare och gripdon	50
3.2.1	Laborationsmoment – Exempel på givare som används vid automatisering	50
3.2.2	Laborationsmoment – Exempel på givare och gripdon	50
3.3	Maskinbetjäning med Irb – förreglingsexempel	51
3.3.1	Laborationsmoment – Givare som används för förregling – tillämpningsexempel	51
3.3.2	Uppgifter under laborationsmomentet	53
3.4	Ett industriexempel – Montering av mikrofon i ljusledare Ericsson/Flextronics	54
3.4.1	Uppgifter under laborationsmomentet	54
3.5	Laborationsmoment – Kraft-/momentgivare för givaråterkopplad styrning	55

1. Mål, syfte och översikt av industrirobotavsnittet i kursen

1.1 Inledning

Industriroboten är en ”hel” maskin som innehåller mekanik, motorer, elektronik, programvara och kan i allra högsta grad sägas vara en ”mekatronik- produkt”. Prestandakraven som finns på en industrirobot är stora. Höga förflyttningshastigheter och noggrannhet i komplicerade rörelsemönster vid låga och höga hastigheter krävs i många tillämpningar.

Industriroboten utgör en viktig komponent vid automatisering inom tillverkningsindustrin och har för många blivit en symbol för modern produktionsteknik. Roboten används som en enhet för att automatisera materialhantering och processer i tillverkningsstationer, tillverkningslinjer, flödesgrupper och i s.k. FMS-system.

Generaliteten hos industriroboten har också gjort det möjligt att tillföra processoperationer, t ex automatiserad avgradning, till tillverkningsceller där maskinbetjäningssuppgifter utgör huvuduppgiften.

Industriroboten är en generell maskin för hantering och kan också hantera olika verktyg. Vi känner idag många processtillämpningar, t.ex. sprutmålning, punktsvetsning, metallbågsvetsning(MIG/MAG), avgradning och vattenskarving (Water Jet Cutting).

Montering är ett annat exempel på tillämpningsområde. Motiven för att investera i robotiserade lösningar kan sammanfattas i följande punkter:

- Rationalisering av tillverkningen
- Jämnare och högre produktkvalité
- Arbetsmiljö

Motiven växlar för olika investeringar och nedan anges några exempel.

Rationalisering av tillverkningen

Arbetsproduktiviteten kan höjas genom automatisering och den manuella insatsen per produkt kan reduceras. Även om roboten inte arbetar snabbare än en operatör, kan man göra vinster genom att den automatiserade tillverkningscellen eller systemet kan arbeta obemannat under raster och kanske också under del av ett efterföljande skift.

Industriroboten används också för att binda ihop olika produktionsmaskiner till korta och snabba flöden. Detta innebär att kapitalproduktiviteten förbättras. Dessutom kan man ibland låta roboten utföra tillägsarbete förutom ren maskinbetjäning eller hantering.

Jämnare och högre produktkvalité

En robot är programstyrd och repeterar programmet med hög noggrannhet. Om programmet är väl justerat/intrimmat uppnås en jämnare produktkvalité vilket innebär att kostnader för kassation och för ombearbetning/justering minskar. Kostnaden för kassation består dels av en materialkostnadsdel och dels av kostnaderna för arbetet som

tillförts produkten. Dessutom kan man se att tillverkningsavsnittets kapacitet belastas och om avsnittet är en s k "flaskhals" så minskar tillverkningskapaciteten i hela systemet. I och för sig kan man kanske ta igen kapacitet men övertid och utnyttjande av extraskift är ofta dyrbart.

Arbetsmiljö

Förbättrad arbetsmiljö är ofta ett motiv för att automatisera, dels kan arbetsmiljön eller arbetsmomenten vara direkt riskfyllda, och dels kan många arbetsuppgifter verka slitande på lång sikt genom enahanda och belastande rörelser. Industriroboten är mycket lämplig för att utföra rörelser som repeteras. Förutom att man kan undvika arbetsskador och därmed sammanhörande mänskligt lidande så kan kostnader för sjukskrivningar, arbetsskador och rehabilitering undvikas. Vid sjukskrivningar kan kostnader uppkomma dels genom att arbetsstyrkan måste vara dimensionerad med ersättare och dels genom att ersättare inte klarar erforderlig takt. En dålig arbetsmiljö kan också medföra en hög personalomsättning vilket i sin tur innebär kostnader för nyanställning och kapacitetsförluster

De vinster eller kostnadsreduceringar som kan erhållas skall vägas mot de kostnader som en automatisering med robot kan ge.

Exempel på kostnader som kan tillkomma är:

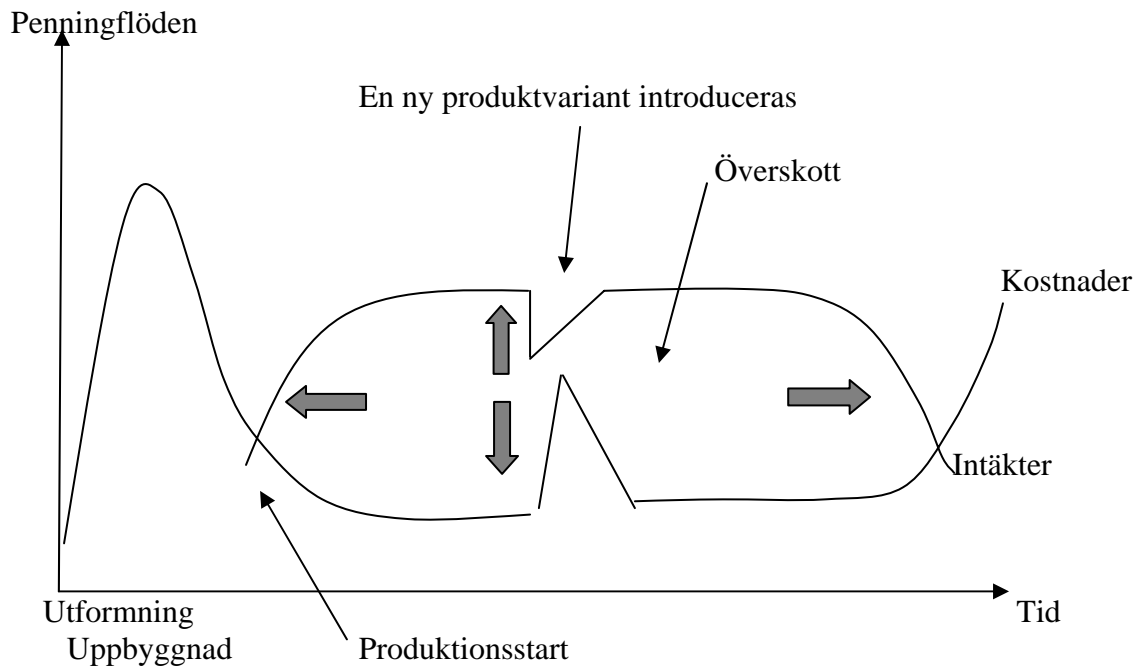
- kostnader för anpassade magasin för materialtillförsel mm.
- kostnader för fixturer.
- **kostnader för att åstadkomma en automatisk arbetscykel, t ex automatisering av avsyning, mätning eller andra operationer som operatören normalt utför i en manuell metod.**

Produktionsteknikern har i och med utvecklingen av industriroboten fått tillgång till en maskin, som om den utnyttjas rätt, innebär att:

- projektering, uppbyggnad och intrimning av produktionsceller kan snabbas upp genom att standardiserade maskiner och tillbehör utnyttjas,
- förändringar av systemet kan införas snabbt vid produktmodifieringar,
- flexibiliteten med robotar ger snabb omställbarhet och produktion av olika produktvarianter kan göras i takt med aktuell efterfrågan.

Robotarna är generella och kan återanvändas i andra tillämpningar(högt restvärde).

Ibland åskådliggörs detta i ett diagram som visar penningflödena vid en investering i ett tillverkningssystem:



1.2 Mål och syfte

Syftet med laborationen är att exemplifiera utrustning med anknytning till mekatronik i kursen Mekatronik för I4.

1.3 Huvudmoment vid laborationen

- 3.1 Programmering av ASEA Irb 6/2 och ASEA Irb 1000
- 3.1.2 Laborationsmoment – Manuell manövrering av en robotarm
- 3.1.3 Laborationsmoment – Mätning av en robots repeteringsexempel
- 3.1.3 Uppgifter under laborationsmomentet
- 3.1.4 Uppgifter efter laborationen
- 3.2 Givare och gripdon
- 3.2.1 Laborationsmoment – Exempel på givare som används vid automatisering
- 3.2.2 Laborationsmoment – Exempel på givare och gripdon
- 3.3 Maskinbetjäning med Irb – förreglingsexempel
- 3.3.1 Laborationsmoment – Givare som används för förregling – tillämpningsexempel
- 3.3.2 Uppgifter under laborationsmomentet
- 3.4 Ett industriexempel – Montering av mikrofon i ljusledare Ericsson/Flextronics
- 3.4.1 Uppgifter under laborationsmomentet
- 3.5 Laborationsmoment – Kraft-/momentgivare för givaråterkopplad styrning

2. Allmän teoridel som dokumenterar föreläsningarna

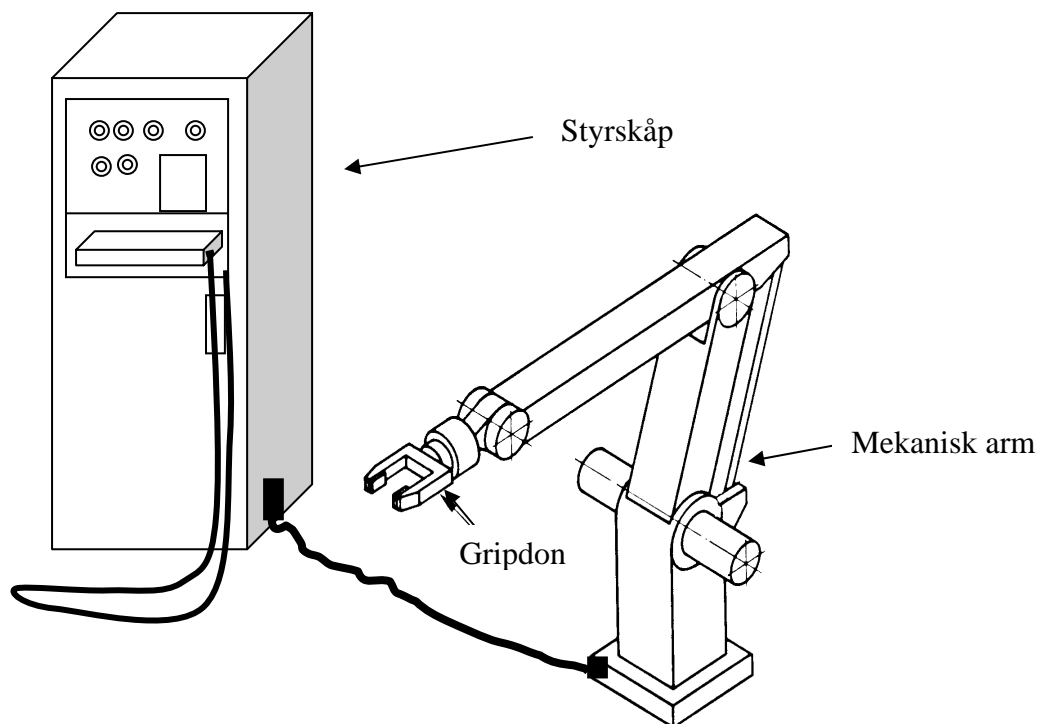
2.1 Industrirobotar

Industrirobotarna är i stort uppbyggda som numeriskt styrda verktygsmaskiner men användningsområdena för dessa båda viktiga maskintyper skiljer sig åt. Verktygsmaskiner skall ta upp stora bearbetningskrafter samt ge bra form-, mått- och ytkvalité på de producerade detaljerna, medan industrirobotar skall kunna utföra snabba förflyttningar av arbetsstycken och verktyg. Detta gör att industrirobotar och numeriskt styrda verktygsmaskiner har olika mekanisk utformning.

Funktionen för en industrirobot är att automatiskt utföra förflyttning av arbetsstycken eller verktyg vid hanteringsoperationer respektive förflyttning i förädlade processer, till exempel bågsvetsning.

En industrirobot har haft följande principiella uppbyggnad sedan de första exemplaren installerades i industrin:

- en mekanisk arm
- ett styrsystem
- ett utbytbart gripdon/verktyg monterat till robotarmens handled.



Figur 1. Ett industrirobotsystem.

I ett industrirobotsystem som används för hantering eller förädling i produktion innebär det att roboten arbetar i en tillverkningscell som förutom roboten består av diverse kringutrustning; t ex verktygsmaskiner, maskiner, magasin och fixturer. Magasin behövs för att roboten skall kunna arbeta utan direkta operatörsingripanden under lite

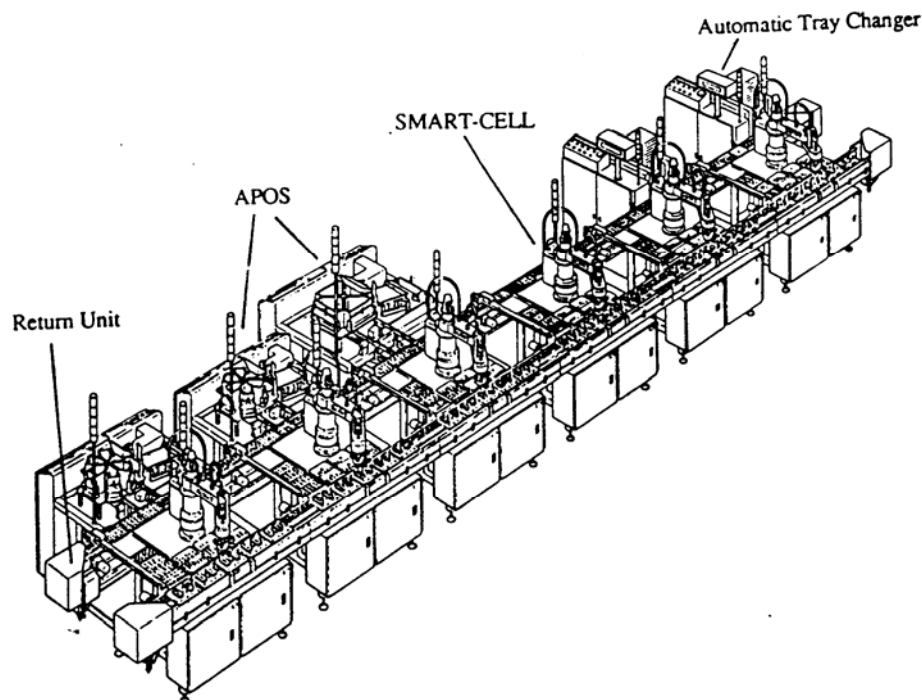
längre tid. Dessutom behöver detaljernas hämta- och lämnpositioner vara väldefinierade. En fixtur är en anordning som positionerar och håller fast arbetsstycket i ett väldefinierat läge med korrekt kraft för den aktuella bearbetningen eller processoperationen.

Teknikutveckling pågår ständigt och det kan vara svårt att karakterisera en industrirobot en gång för alla, men den första generationen industrirobotar föll inom ramen för följande karakteristika (ref Professor Nils Mårtensson, LiTH, CTH):

- En arm
- 4 till 6 frihetsgrader
- Fast monterad i verkstaden (ej mobil)
- Ett utbytbart gripdon eller verktyg kopplat till armen
- Omprogrammerbart rörelsemönster
- Omprogrammerbar sekvens

Dessa karakteristika gäller för många industrirobotar i drift även idag. Den första punkten på listan, ”en arm”, kommenteras nedan.

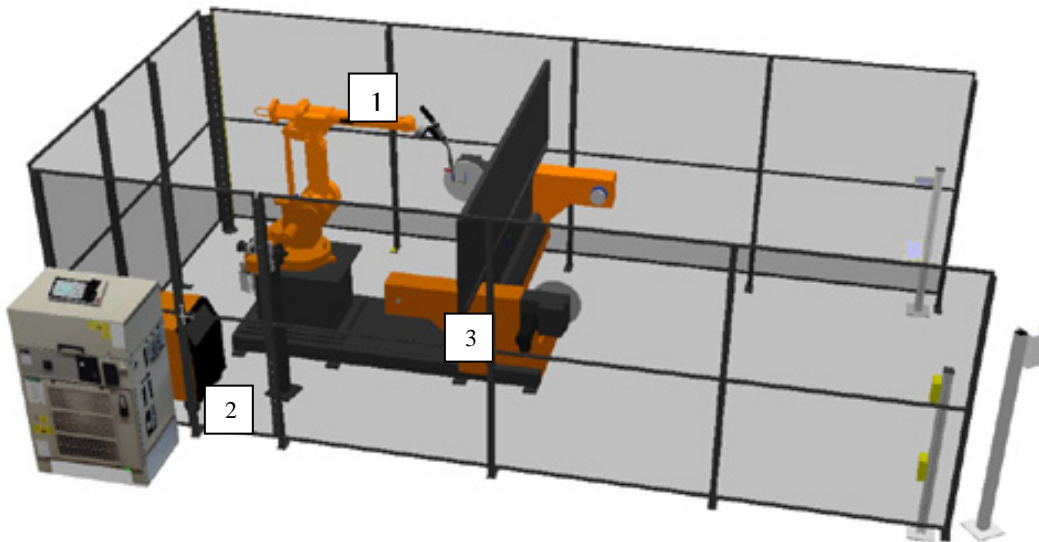
I en tillverkningslina som innehåller flera robotar som arbetar sida vid sida, t ex med montering i telecom-industrin, gäller oftast att varje arm utför sitt delmoment innan nästa robot i linan tar över osv och därmed gäller ovanstående karakteristika för respektive robot i tillverkningslinan.



Figur 2. Sony SMART monteringslina (ref Sony). Ett antal industrirobotar arbetar i en tillverkningslina sida vid sida, men operationer som kräver flera armar i direkt samarbete utförs inte.

Bågsvetsningstillämpningen däremot innebär ofta att två armar samarbetar i en tillverkningscell. En manipulator håller fixturen med arbetstycket och positionerar fogen i ett gynnsamt läge för svetsrobotarmen som utför svetsningen. Manipulatorarmens funktion innebär också att robotarmen inte behöver ha så stor räckvidd. Tillsammans brukar dessa två armar ha upp till 9 stycken leder (rörelseaxlar). Detta kan uppfattas som att stationen är utrustad med en tvåarmsrobot.

RobotStudio



Figur 3. Figuren (Ref ABB) visar en robotsvetsstation för bågsvetsning som består av:

Svetsrobot med svetspistol (1)

Strömkälla med trådmatarverk för svets elektroden (2)

Ett slangpaket:

- för överföring av svets elektroden från matarverket fram till pistolen
- för överföring av ström till svets pistolen
- för överföring av skyddsgas som skall skydda smältan och materialet under svetsförloppet och under stelning/avsvalning efter att ljusbågen släckts
- för överföring av kylvatten för kylning av svets pistolen.

Svetsmanipulator(3), två stycken lägesställare är monterade så att de kan indexeras till två lägen och därmed möjliggöra att en operatör kan ladda/plundra arbetsstycken på den ena medan roboten svetsar på den andra. Svetsmanipulatorns(svetslägesställaren) uppgift är att positionera arbetstycken och fixtur för bästa åtkomlighet samt för att ge svetsfogen en lämplig orientering i rummet under svetsförloppet. Fixturen är utbytbar för olika svetsobjekt och uppgiften är att noga positionsbestämma (styra upp) svetsobjektets delar. Fixturen är försedd med spännband för snabb fastklämning/frigöring av svetsobjektets delar.

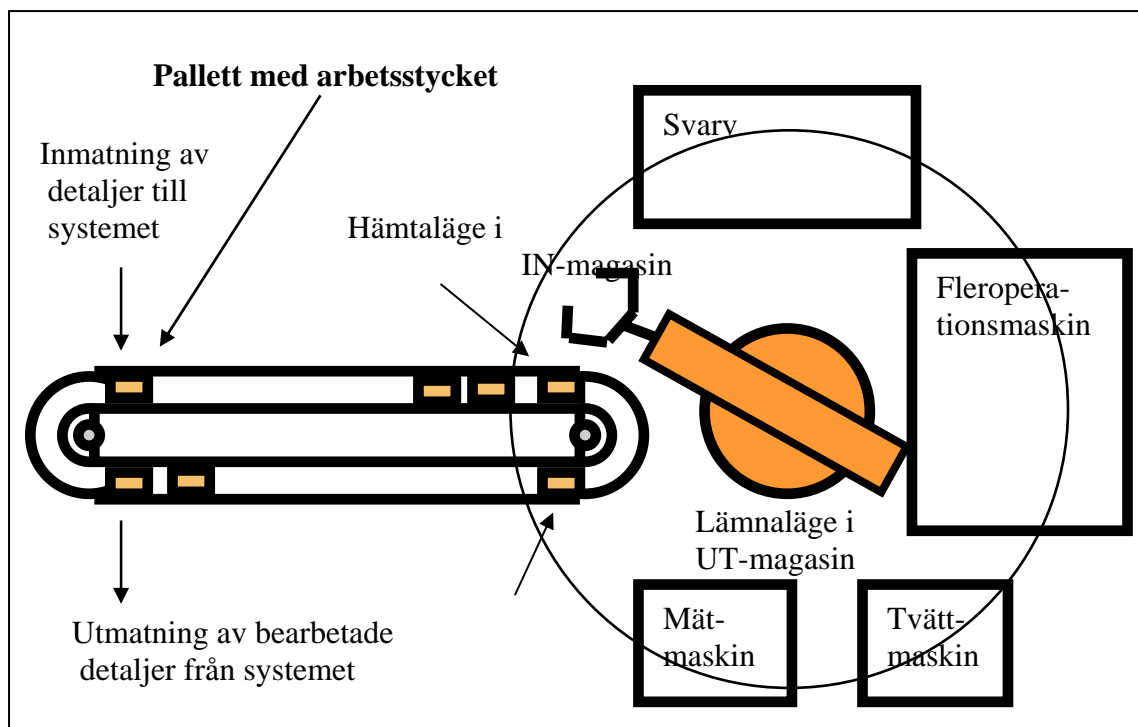
Idag finns också exempel på industrirobotar som är monterade på mobila plattformar men detta är fortfarande ovanligt. Det är vanligare att man monterar robotarmar på linjärenheter (åkbanor, åk), i traverskonstruktion etc för att utöka arbetsområdet.

2.2 Ett exempel

Figur 4 visar översiktligt ett exempel på en industrirobot i en maskinbetjäningstillämpning. Industriroboten är centralt placerad i maskingruppen som består av en svarv, en fleroperationsmaskin, en tvättmaskin, en mätmaskin samt en transportbana som fungerar som in-magasin och ut-magasin. Industriroboten utför all hantering av arbetsstyckena från in-magasinet via bearbetning, tvättning och mätning innan de färdiga detaljerna placeras i ut-magasinet. I en tillverkningscell finns ofta en centralt placerad operatörspanel för manuell körning av cellens olika funktioner.

En tillverkningscells funktion styrs normalt av ett styrsystem som överordnat styr hela cellen och därför måste det finnas kommunikation mellan styrsystemet och respektive magasin, maskiner och industrirobot. Säkerhet mot haverier innebär att förreglingar utnyttjas. Principen är att med givare känna av tillståndet i cellen innan styrsignaler ges, t ex att känna av att en palett med arbetsstycket finns på plats i korrekt läge innan roboten får order att utföra hämtningsrörelsen. Andra exempel på signaler som måste kännas av innan nya order ges är:

- att arbetsstycket är på plats i respektive maskiner
- signaler från maskinerna som indikerar feltillstånd
- gripdonets ändlägen
- signaler som ges från operatörspanelen, mm

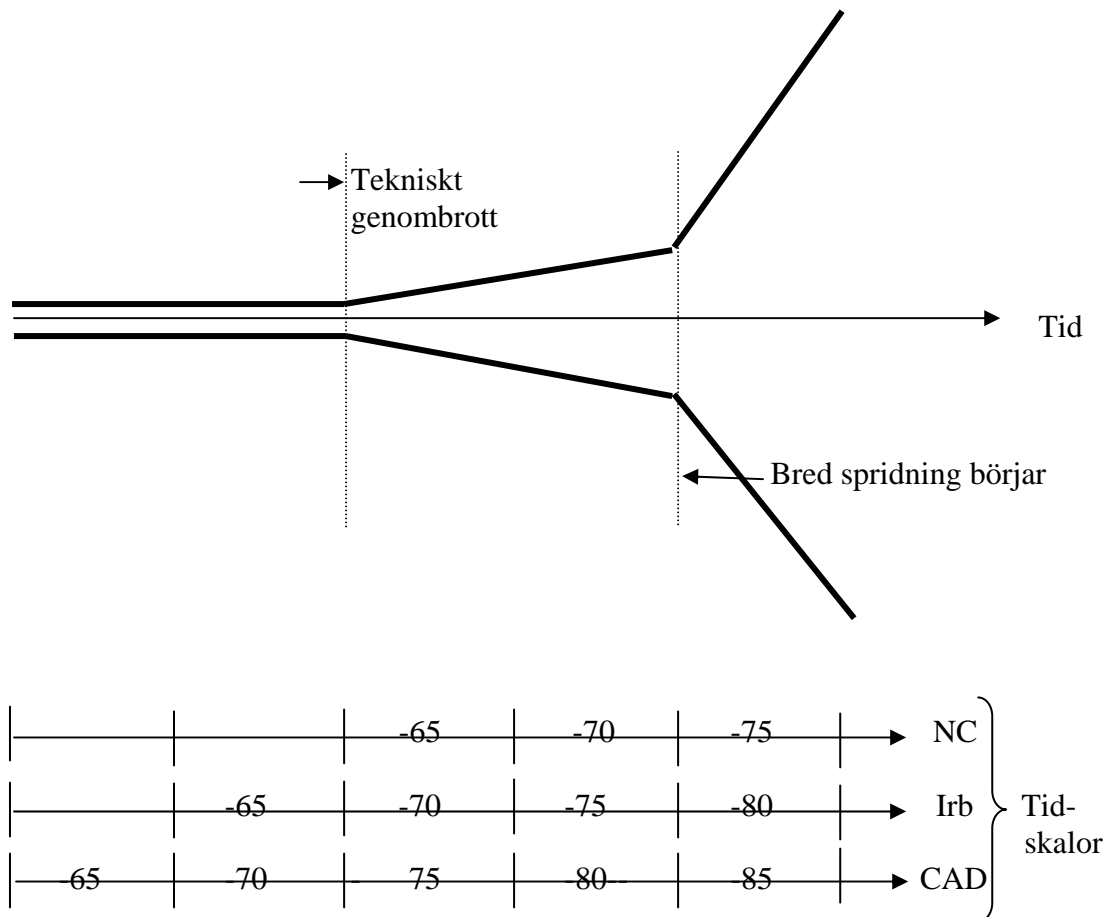


Figur 4. En layout som visar en tillverkningscell.

2.3 Industrirobotar – en kort historik

Numeriskt styrda verktygsmaskiner togs fram i början av 50-talet och idéerna om att programmera och styra hanteringsarmar på samma sätt fanns säkert vid samma tid. En patentansökning som beskrev industriroboten lämnades in i England redan 1954 vilken sedan godkändes 1957. Den första industriroboten som sattes i drift kom i början av 60-talet, Unimate, utvecklades av Devol och Engelberger. Företaget som bildades för att utveckla och tillverka denna robot var Unimation Inc.

Utveckling och utnyttjandet av ny teknik följer ofta ett mönster som innebär att forskning och utveckling resulterar i ett tekniskt genombrott. Resultaten utnyttjas först av företag som ser möjligheter med den nya tekniken och som därför satsar resurser för att lära tekniken samt tillämpa den. När kunskapen om den nya tekniken mognar kan en bredare spridning iakttas. I figur 5 visas tidsförloppen för utveckling och spridning av NC-maskiner (CNC-maskiner), industrirobotar(Irb) samt Computer Aided Design (CAD-Datorstödd konstruktion) (ref Mårtensson, Data och elektronikkommittén).



Figur 5. Spridning av NC, industrirobotteknik samt CAD i industrin (ref DEK).

En bred spridning av industrirobottekniken kan sägas ha börjat omkring 1980.

2.4 Definitioner

Robot och industrirobot kanske inte direkt behöver definieras eftersom vi genom tidskrifter mm ofta har en känsla för vad en industrirobot är för något. En av grundarna till Unimation Inc, Joseph Engelberger, uttryckte denna intuitiva förståelse för begreppet på följande sätt:

”I know if it is a robot when I see it”

Denna ”definition” ger dock inte klara besked och i detta kursmomentet som översiktligt behandlar industrirobotar tar vi upp ISO:s (Internationella standardiseringsorganisationen) definition i första hand.

En industrirobot benämns Manipulating industrial robot i ISO definitionen som också är en Europainorm (EN ISO 8373:1996) och definitionen lyder:

”An automatically controlled, reprogrammable, multi-pupose, manipulative machine with several degrees of freedom, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications”

Nyckelorden är således:

- Automatiskt styrd
- Omprogrammerbar
- För många användningsområden - universell
- Hanteringsmaskin med många frihetsgrader
- Fast monterad eller mobil
- För användning i industriella tillämpningar

I standarden påpekas att begreppet omprogrammerbar innebär att omprogrammeringen skall kunna göras utan att man ändrar den mekaniska strukturen på robotarmen eller ändrar styrsystemet.

Många frihetsgrader innebär oftast att den mekaniska armen måste ha minst 3-4 leder (axlar).

Om man studerar litteratur inom robotområdet ser man ofta att industrirobotar benämns efter tillämpningsområde, specifika tillämpningar och efter mekanisk uppbyggnad.

Tillämpningsområdena som ofta refereras är hantering, process samt montering och därmed ser man en uppdelning av industrirobotarna i:

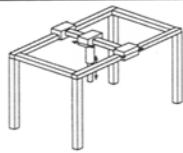
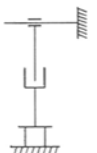
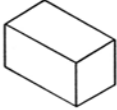
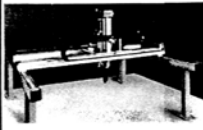
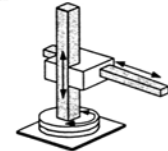
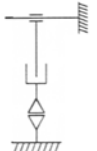


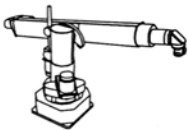
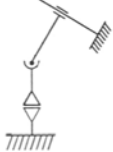

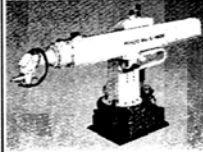
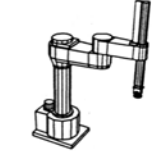
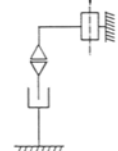


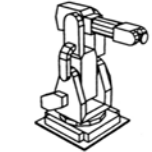
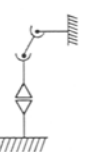


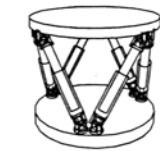
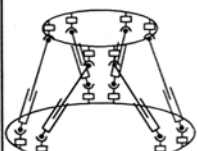


- Hanteringsrobotar (handling robots)
- Processrobotar (process robots)
- Monteringsrobotar (assembly robots)

Med hanteringsrobotar avses industrirobotar för ren hantering, t ex förflyttning av arbetsstycken samt maskinbetjäning. Med processrobotar avses robotar som utför förädlade arbete, t ex svetsar, limmar, målar och avgradar. Med monteringsrobotar

avses oftast robotar för mekanisk montering. I många fall är det fråga om att använda generella industrirobotar med gripdon/verktyg, speciell kringutrustning, speciella funktioner samt mjukvara anpassad för den specifika tillämpningen.

Industrirobotar benämns ofta efter den specifika tillämpningen, bågsvetsrobotar, punktsvetsrobotar, målningsrobotar etc och samma förklaring som i det föregående stycket gäller att generella robotar utrustas för den specifika tillämpningen.

I litteraturen hittar man också begreppen, kartesisk robot, cylinderrobot, sfärisk robot, böjarmsrobot etc. och då avses hur industrirobotarnas leder kopplats samman. I figur 6 visas ett antal robotar som har olika mekanisk uppbyggnad.

Robot	Axes		Examples
	Kinematic Structure	Workspace	
 Cartesian Robot			
 Cylindrical Robot			
 Spherical Robot			
 SCARA Robot			
 Articulated Robot			
 Parallel Robot			

Figur 6. Klassificering av robotar efter mekanisk struktur.
 (ref World Robotics 2000, sidan 17)

En av de stora datorsystemutvecklarna och leverantörerna, IBM, angav vid ett sommaruniversitet 1983 i Grassau, Tyskland följande karakteristika för robotar:

- Manipulation
- Sensing
- Intelligence
- Data processing

Naturligtvis finns manipulering med, men fokus ligger också på avkänning, utnyttjande av avancerade program och datakraft för styrningen.

Med avkänning (sensing) menas att man med givare känner av robotens omgivning och tillverkningsprocessen. Till exempel kan detaljpositionen för ett arbetsstycke bestämmas med datorsyn (vision) och därefter justeras robotens position för en korrekt gripning i nästa operation. Detta kan innebära en ökad flexibilitet genom att omställning kan ske genom omprogrammering i stället för att använda magasin som ger detaljen dess bestämda läge. Om magasin för specifika detaljer måste konstrueras och tillverkas så innebär detta kostnader och ledtid.

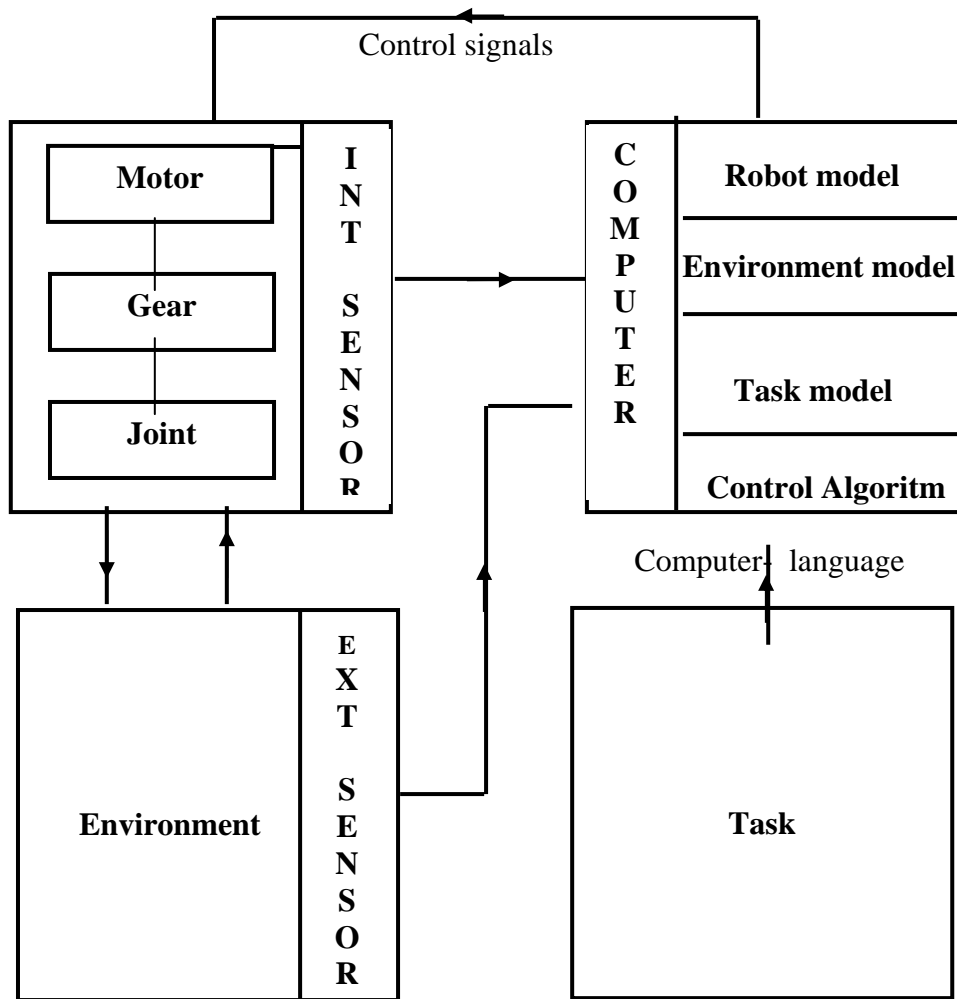
Med ”intelligence” avses avancerad programvara för användning vid givarstyrning etc.

Behovet av databehandling (data processing) i stor skala anas när en mängd utrustningar i ett tillverkningsavsnitt kopplas samman med andra system i företaget, t ex:

- datoriserade material- och produktionsstyrningssystem
- datorstödda konstruktionshjälpmedel (CAD)
- datorstödda berednings- och maskinprogrammeringssystem (CAM)

2.5 Industrirobotens huvuddelar; mekanisk arm, styrsystem och gripdon/verktyg:

I detta avsnitt är fokus riktat mot industrirobotens huvuddelar och innan varje del behandlas så ges en översikt. Blockdiagrammet i figur 7 bildar basen för översikten.



Figur 7 Blockschema med en industrirobot som utför en uppgift. (ref. Coiffet & Chirouze).

De fyra större blocken är robotarmen (ö t v), styrsystemet (ö t h), omgivningen där roboten arbetar (n t v) samt uppgiften (n t h). Via ett programspråk programmeras robotens rörelsemönster mm in i styrsystemet.

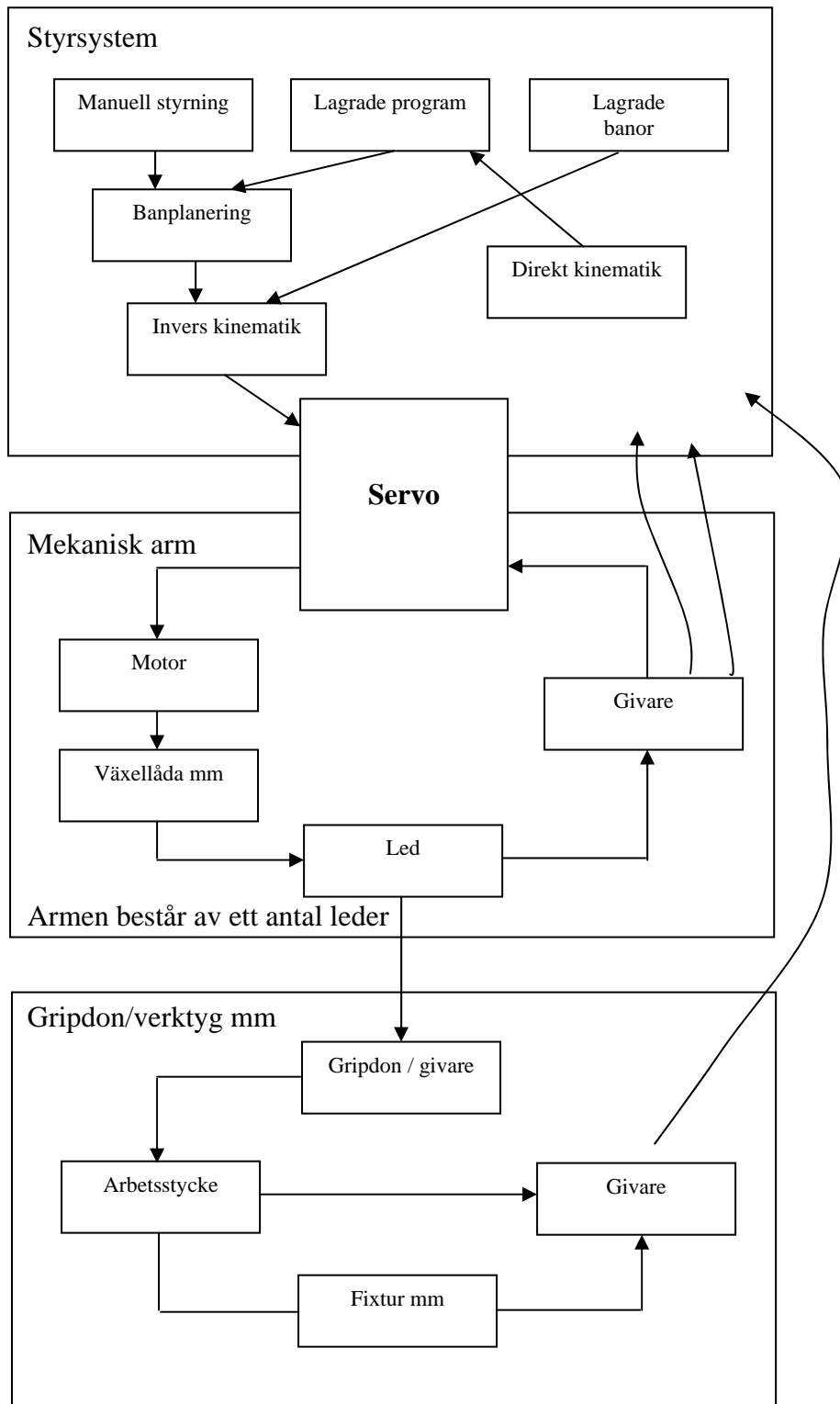
Styrsystemet är baserat på datorer och i styrsystemet exekveras den lagrade programkoden och styrsignaler genereras till den mekaniska armen.

Styrsignaler för varje motor krävs som sedan via kraftöverföringar vrider eller förflyttar leden. Signaler från interna givare (internal sensors) för varje motor eller led återkopplas sedan till styrsystemet (servostyrning)

Gripdonet eller verktyget som är monterat i den sista länken påverkar sedan omgivningen, t ex gripning och förflyttning av ett objekt. Signaler från yttre givare (external sensors) återkopplas till styrsystemet, t ex kan enkla binära givare bekräfta att gripdonets fingrar klämts samman innan roboten tillåts påbörja förflyttningsrörelsen.

I blocket som visar styrsystemet indikeras att styrsystemet innehåller uppgiftsmodeller och omgivningsmodeller, detta är dock ovanligt i dagens styrsystem.

Ytterligare ett blockschema som visar på huvudfunktioner som finns i en industrirobot presenteras och bildar utgångspunkt för den fortsatta beskrivningen.



Figur 8. Blockschema som visar ett industrirobotsystem. I schemat görs inte skillnad på mekanisk koppling, signalutbyte eller datautbyte.

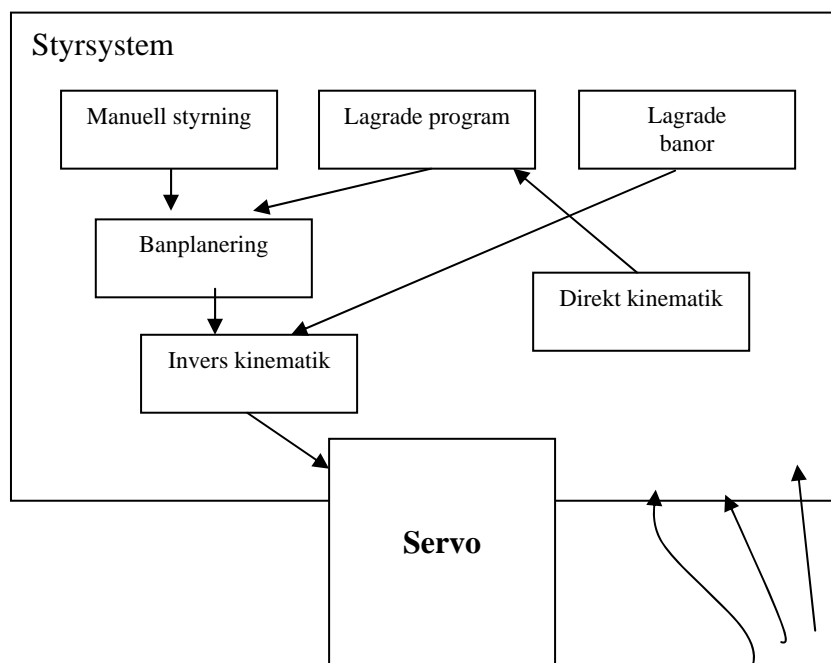
2.5.1 Allmänt om robotstyrssystem

Styrsystemet har många uppgifter i ett industrirobotsystem och här följer en lista med viktiga funktioner:

- Ta emot manuella styrorder från en styrspak, tangentbord eller knappsats och exekvera dessa.
- Exekvera lagrade program.
- Generera linjära rörelser och cirkulära rörelser för gripdonet/verktyget
- Räkna om rörelser i ett robotfast bassystem till robotens ledvinklar (invers kinematik).
- Räkna om ledvinklar till koordinater i ett robotfast bassystem (direkt kinematik).
- Räkna om ledvinklar för respektive led till rörelseinkrement för respektive drivmotor med hänsyn taget till utväxlingar, geometri i kraftöverföringar och växellådor.
- Mm

Styrsystemet tar emot givarsignaler från positionsgivare (vinkellägesgivare) i motorerna eller lederna för återkoppling vid servoregleringen av motorerna. Hastighetsgivare för återkoppling av ledvinkelrörelserna till servon kan också ingå i en robot. Givarna för den direkta servo-återkopplingen benämnes ofta som inre givare (internal sensors).

Yttre givare ingår också i ett system och ofta är de av binär typ och utnyttjas vid förregling av programmet. Som ett exempel på mer avancerade yttre givare, vars information utnyttjas för att korrigera robotens rörelser under exekvering av banor, är fogföljare som känner av robotpositionen relativt en svetsfog vars läge kan variera.

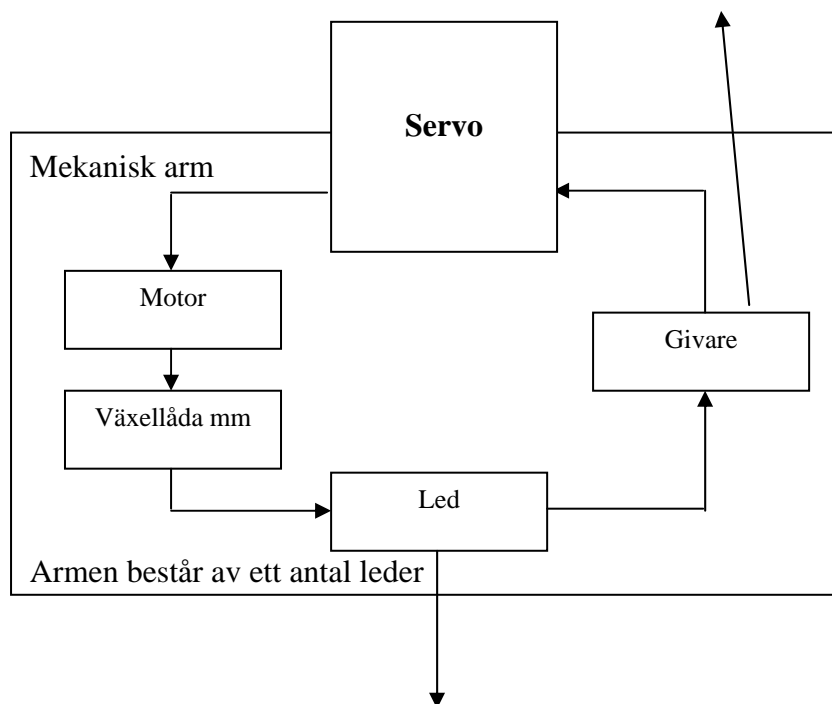


Figur 9. Blockschema för ett styrsystem till en industrirobot.

2.5.2 Mekanisk arm

Den mekaniska armen består av ett antal länkar som är kopplade till varandra i en kedja eller i ett parallellt arrangemang. En öppen kinematisk kedja börjar i robotens fundament och slutar i fästplattan för gripdonet eller verktyget. De vanligaste ledtyperna som förekommer för robotarmar med öppna kinematiska kedjor är vridleder respektive translationsleder.

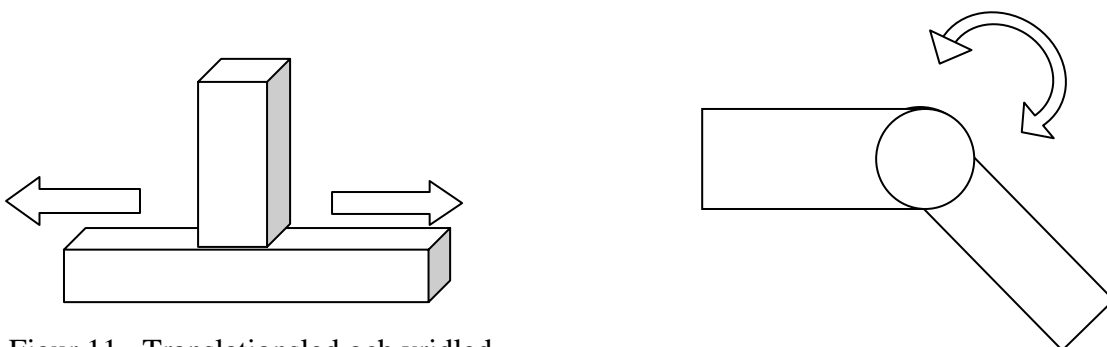
I figur 10 visas blockschemat för den mekaniska armen och förutom leden så ingår servot som utgör länken mellan styrsystemet och den mekaniska armen. Servosystemet driver motorn som i sin tur via kraftöverföringar och växellåda ombesörjer vridningen eller translationen. Dessutom ingår givare för avkänning av position eller vinkeläge samt hastighet eller vinkelhastighet.



Figur 10. Blockschemat för den mekaniska armen. Observera att det ingår ett antal länkar i serie eller parallellt i armen.

Vridleder benämns också rotationsleder (Revolute joints, Rotary joints).

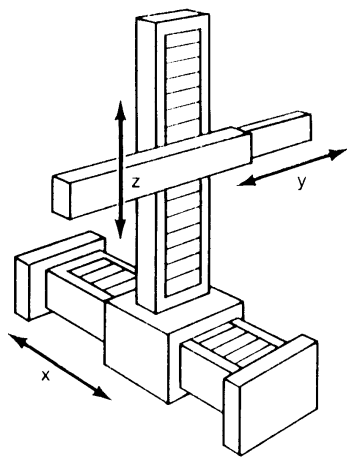
Translationsleder benämns linjära leder eller prismatiska leder (Linear joints, Prismatic joints).



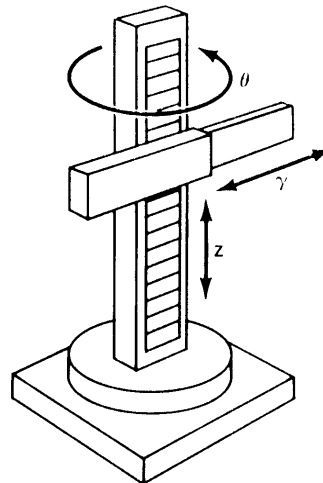
Figur 11. Translationsled och vridled

Länkarna kopplas ihop till en robotarm. För många robotkonstruktioner ser man att tre sammankopplade länkar ger en kedja som gör att armen kan nå en position i arbetsrymden. Därefter kopplas ytterligare tre länkar samman för att kunna ge gripdonet/verktyget dess rätta vinkelläge i arbetsområdet. Handledens utförande är oftast kompakt vilket ger stor flexibilitet när rörelserna skall programmeras och exekveras.

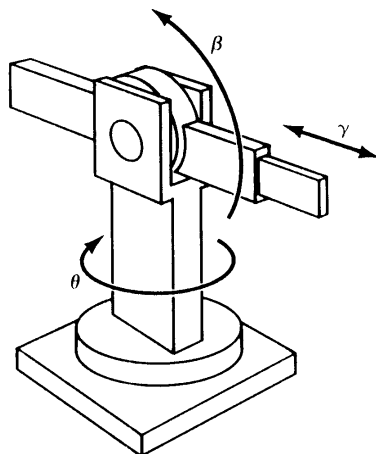
Nedan följer ett antal exempel på olika arrangemang som ger huvudrörelsen för armen, att nå en position i arbetsrymden.



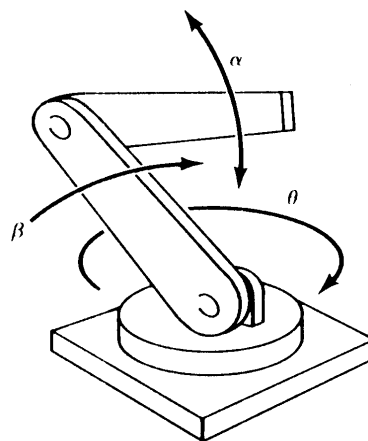
Kartesisk robotarm - PPP



Cylindrisk robot - RPP



Sfärisk robot – RRP



Revolute robot - RRR

Figur 12. Exempel på öppna kinematiska kedjor. I engelsk litteratur står P för prismatic och R för revolute.

Robotarmar med öppna kinematiska kedjor ger vanligtvis bra åtkomlighet för armen medan nackdelen är att konstruktion är vek och böjer ut vid belastning.

Ett antal konstruktioner har kommit ut på marknaden där målet varit en arm med stor strukturell styvhet som lämpar sig för lättare bearbetning och för montering som kräver presskrafter etc. Parallell kinematik har varit lösningen. Andra motiv för dessa parallellrobotar är att kunna minska massan i robotarmens länkar och därmed kunna åstadkomma mycket snabba förflyttningar genom armens låga masströghet.

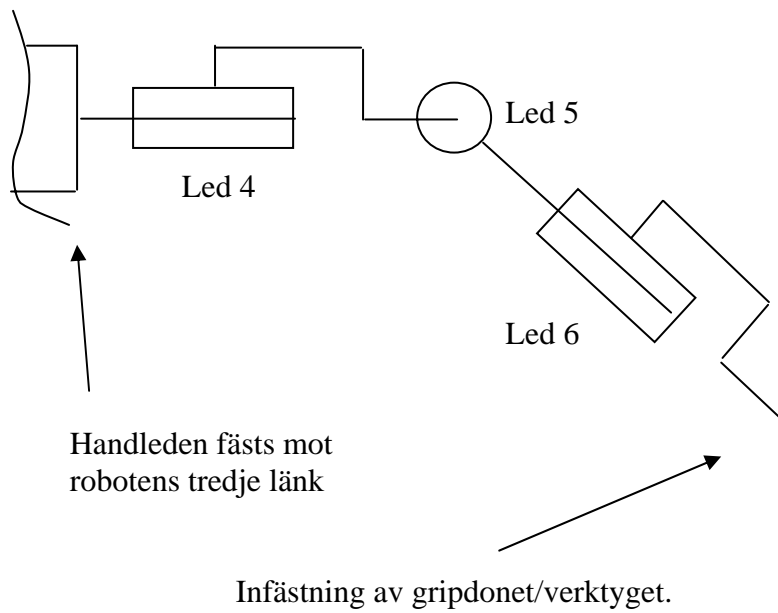


Figur 13. Ett exempel på en robot som har parallell kinematik för huvudrörelsen. Handleden har seriell kinematik. Robottypen utnyttjas för bearbetning och montering. (ref NEOS Robotics)

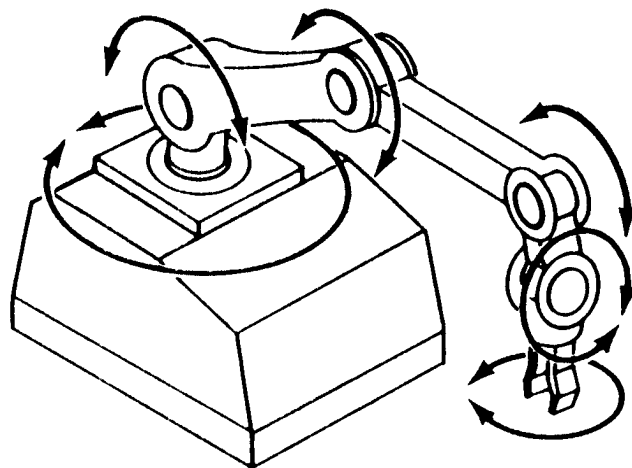


Figur 14. Ett exempel på en robot som har parallell kinematik. Roboten utnyttjas för plockning, paketering etc. Cykeltiden för att plocka, förflytta samt lämna en detalj är 0.45 s, vid lyfthöjden 25 mm och förflyttningsavståndet 305 mm (ref. ABB).

En vanlig konfiguration för robothandleder är tre rotationsaxlar i serie och där rotationsaxlarna skär varandra i en punkt.



Figur 15. Ett exempel på en robothandleds kinematiska uppbyggnad. (ref. Bolmsjö)



Figur 16. Ett exempel på en robotarm med 6 frihetsgrader. Roboten är uppbyggd i en öppen kinematisk kedja. (ref. Bolmsjö)

Industrirobotar kan drivas med tre huvudtyper av motorer, pneumatiska, hydrauliska samt elektriska motorer.

Pneumatiska motorer är mycket ovanliga på grund av svårigheten att reglera motortypen i industrirobotsammanhang. Pneumatiska motorer används i stor omfattning i enklare plockrobotar och för drivning av pick- and place-enheter (plockarmar) med ett begränsat antal leder och där rörelsen för varje led sker mellan fasta gränslägen och då passar det många gånger bra med pneumatik.

Hydrauliska motorer var vanliga i den första generationens industrirobotar men är idag inte så vanliga. Skälen till detta är flera, dels är hydraulkomponenter förhållandevis dyra och dels är underhållsarbetet större än för elektriskt drivna robotar. Kostnaden för installation av rör mm för att försörja respektive motor med olja är större än för att installera kablar vid elektrisk drivning. Ytterligare motivation för att använda elektriska motorer är att hydrauliken kan smutsa ner (hydraulolja i luften) i tillverkningen. I t ex livsmedels- och elektroniksektorn är renhetskraven stora. Hydraulikdrift innebär att motorerna har hög effekt i förhållande till motorernas storlek och för robotar som skall hantera mycket tunga objekt kan hydraulik komma ifråga.

Elektrisk drivning av industrirobotar är det vanligaste och likströmsservomotorer samt växelströmsservomotorer utnyttjas.

I en del robotar används elektriska högmomentmotorer som kopplas direkt till leden som skall vridas (Direct Drive). Motorerna är stora och tunga och därför används de oftast bara för drivning av de första axlarna i robotarmens kedja av länkar.

Elektriska stegmotorer är ytterligare ett exempel på drivmotorer som kan förekomma i robotar.

Det finns en mängd lösningar för att åstadkomma kraftöverföringen mellan motor och led. Som exempel på växellådor som är vanliga i industrirobotkonstruktioner kan nämnas:

- Harmonic drive
- CYCLO
- Kuggväxlar
- Kuls kruvar
- mm

Vid servostyrningen behövs givare för att återkoppla respektive leds position eller vinkelläge samt respektive leds hastighet eller vinkelhastighet. Det existerar en stor mängd lösningar för mätning av dessa storheter. Vanliga typer av vinkelgivare är optiska pulsgivare och resolvrar. I detta kompendium görs ingen genomgång av givarprinciper och givare men en kommentar som kan vara intressant för användaren är om systemet är absolutmätande eller inkrementellt mätande. Absolutmätande system underlättar en återstart av roboten efter strömavbrott, nödstopp etc.

2.5.3 Gripdon/verktyg

Tillämpningen bestämmer naturligtvis gripdonstyp/verktygstyp samt kraven på gripdon och verktyg. I processtillämpningen sprutmålning så är verktyget en sprutpistol, för bågsvetsningstillämpningen är verktyget en svetspistol och så vidare.

Gripdon klassificeras enligt någon princip, t ex gripningsprinciper, vakuum, klämmande, magnetiska etc, men det är mest logiskt att börja med gripdonets huvudfunktioner i kompendiets framställning.

Gripdonet har primärt följande huvudfunktioner:

- Att hålla fast arbetsstycket.
- Att positionera detaljen, dvs att ge detaljen ett korrekt läge och orientering efter att gripningen utförts. Alternativa benämningar som brukar användas är dels att ”styra upp” detaljen och dels att lokalisera detaljen.
- Att stödja arbetsstycket.

Den första funktionen är självklar, den andra behövs inte i alla tillämpningar men det normala vid automatiserad tillverkning är att hög noggrannhet för detaljpositionen krävs. Vid manuellt arbete klaras hanteringsuppgifterna genom att operatören använder sina sinnen samt sin kunskap om uppgiften, t ex utgör inte ”plockning av en detalj ur en låda med oordnade detaljer” något problem. Denna uppgift är svår att automatisera.

Att hålla fast arbetsstycket

Gripningsprinciper har redan berörts och förutom gripning med vakuum, magnet respektive klämmande don finns ytterligare principer, t ex nålar, klistrig yta, hakar.

Respektive gripningsprincip har olika för- och nackdelar samt ställer olika krav på detaljen som skall hanteras.

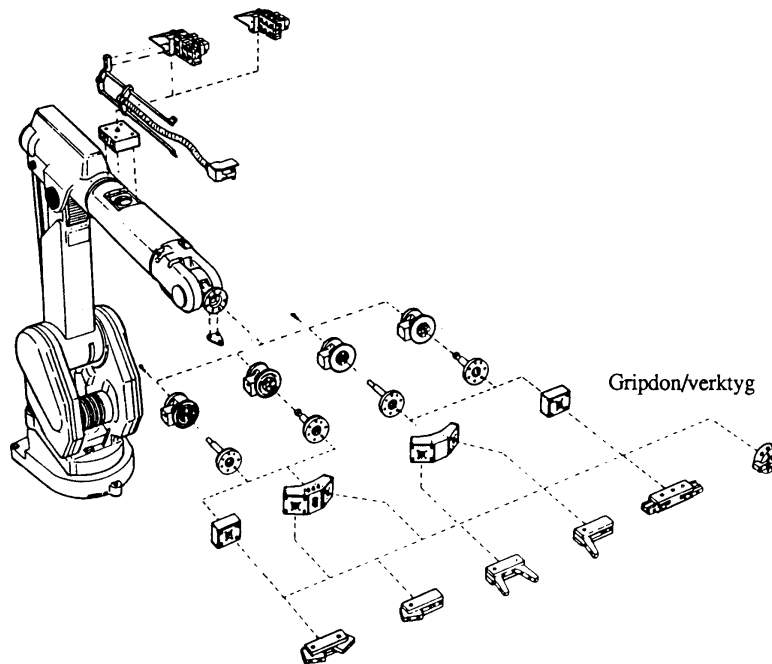
Vakuumbgripdon används ofta om man önskar lagra detaljer i ett stapelmagasin med hög packningstäthet. Detaljerna ligger an mot varandra och åtkomst från en sida är ett önskemål och då är vakuumbgripdon en bra lösning. Vakuumbgripdon ställer krav på detaljens yta och form, t ex kan perforerade ytor och ojämna ytor göra det svårt eller omöjligt att uppnå ett tillräckligt vakuum. På marknaden finns flera leverantörer av sugkoppar för användning i robotgripdon. För att skapa vakuum används dels vakuumpumpar och dels ejektorer.



Vakuumbgripdon med ejektor

Figur 17. Sugkoppar till vakuumbgripdon.(ref. PIAB).

Klämmande gripdon innebär att arbetsstycket kläms fast med två fingrar eller mer. Lösningar med expanderande gripdon finns också. Det är vanligast med pneumatiskt drivna fingerrörelser och det finns fler leverantörer av gripdonssystem på marknaden. Ett exempel på gripdonssystem visas i figur 18. Genom ett modulariserat byggsystem kan ett gripdon byggas samman av standardiserade delar och därigenom uppnås att insatsen för verktygskonstruktion hålls låg och kan koncentreras mot funktionen att positionera arbetsstycket. Användning av standardiserade detaljer innebär oftast också att driftsäkerheten förbättras på grund av att konstruktionen är beprövad.



Figur 18. Gripdonssystem med standardiserade enheter för gripning och verktygsväxling. (ref. ABB Robotics)

Magnetiska gripdon finns både med permanentmagneter och elektromagneter och det första kravet som finns på arbetsstycket är att materialet är magnetiskt. Frigöringen av detaljen från gripdonet måste också säkerställas. Dessutom kan restmagnetism i arbetsstycket ställa till med problem när detaljen sitter på plats i produkten, t ex att metalldamm eller grader häftar fast och bidrar till en snabbare förslitning.

Avmagnetiseringsutrustningar finns men ett extra processteg och en utrustning måste införas i produktionen och detta betyder också extra kostnader. Avmagnetisering genom uppvärmning till curietemperaturen innebär ett extra processteg samt tidsåtgång som innebär svårigheter vid integrering i flödesinriktade produktionssystem. Ytterligare en metod för avmagnetisering är känd: att "knacka" hårt på arbetsstycket. Metoden är dock inte helt säker.

Att positionera arbetsstycket

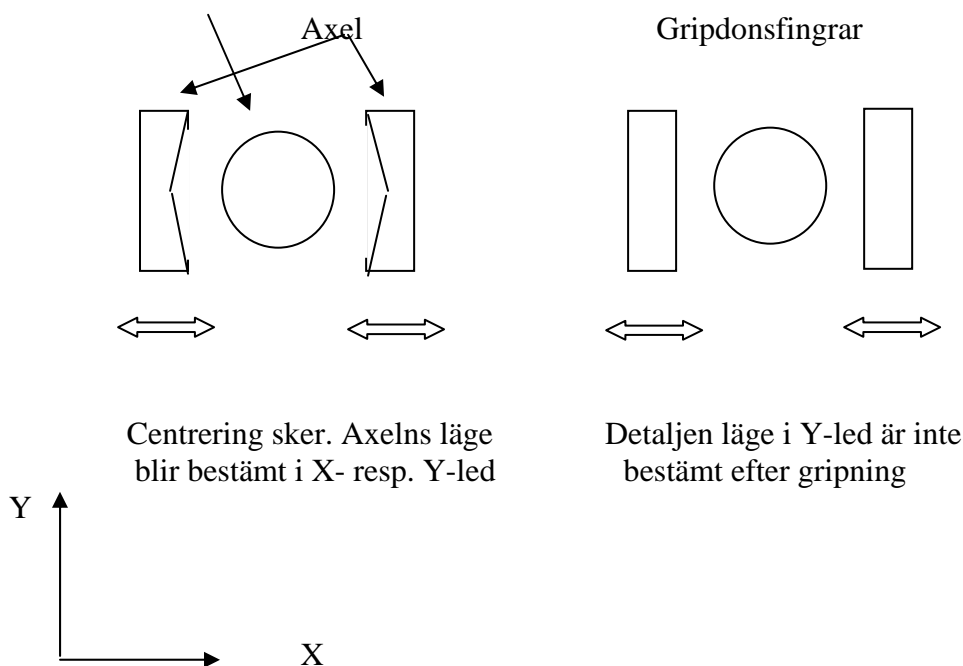
Den andra huvudfunktionen som gripdonet har är att positionera arbetsstycket till ett noggrant läge (efter att detaljen gripits). I exemplet att en detalj skall monteras till en

basdetalj så kräver inpassningen till slutläget att båda detaljerna är noggrant uppstyrda till både position och orientering. Basdetaljen styrs upp i fixturen och tillsatsdetaljen styrs upp av gripdonet. I figur 19 visas som exempel hur en cylindrisk detalj (axel) kan styras upp. Detta sker genom att de två gripfingrarna förses med "V-block".

Exempel på frågor som verktygskonstruktören ställer sig när gripdonet och fingrarna skall utformas för att positionera detaljen är:

- Hur noggrann detaljposition krävs?
- Vilka ytor är tillgängliga för grepp?
- Förändras ytorna mellan det första och efterföljande hanteringstillfälle?
- Vilka är toleranserna mellan gripytorna och funktionsytorna på detaljerna?

Verktygskonstruktören måste samverka nära med produktionsteknikern som ansvarar för produktionsupplägget och metoderna. Det går kanske inte att svara på frågan om "Vilka ytor som är tillgängliga för grepp" bara genom att studera detaljen, utan detta bestäms i många fall också av hur detaljen tillförs till robotsystemet och av transportförpackningens eller magasinets geometri. Viktig information om efterföljande operation efter gripningen, t ex en maskinladdning, behövs också för att kunna välja gripytor för uppstyrningen av detaljen.



Figur 19. Centrering av axeldetalj. Respektive gripdon är i "öppet" läge.

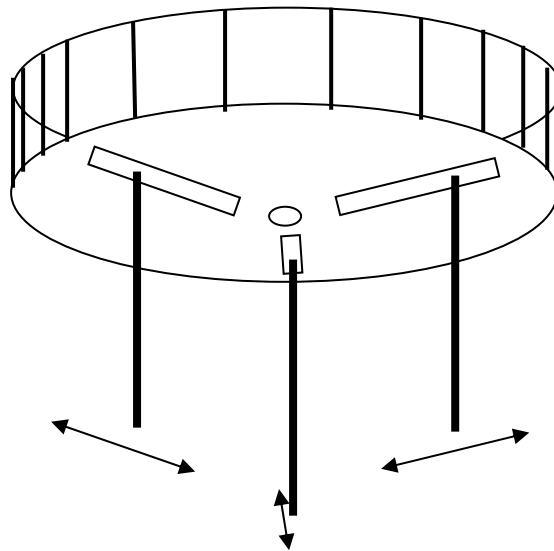
Gripdonet kan också behöva ha en stödande funktion för att undvika att arbetsstycket deformeras. Stödytorna skall dock inte medföra att detaljens position i gripdon blir överbestämd (jämför med positioneringsfunktionen).

Förutom gripdonets huvudfunktioner finns också tilläggsfunktioner, t ex att detaljläget i gripdonet skall verifieras efter gripningen. I sådana fall kan det vara aktuellt att bygga in givare i gripdonet.

Ett exempel på hur en detalj kan positioneras i gripdonet

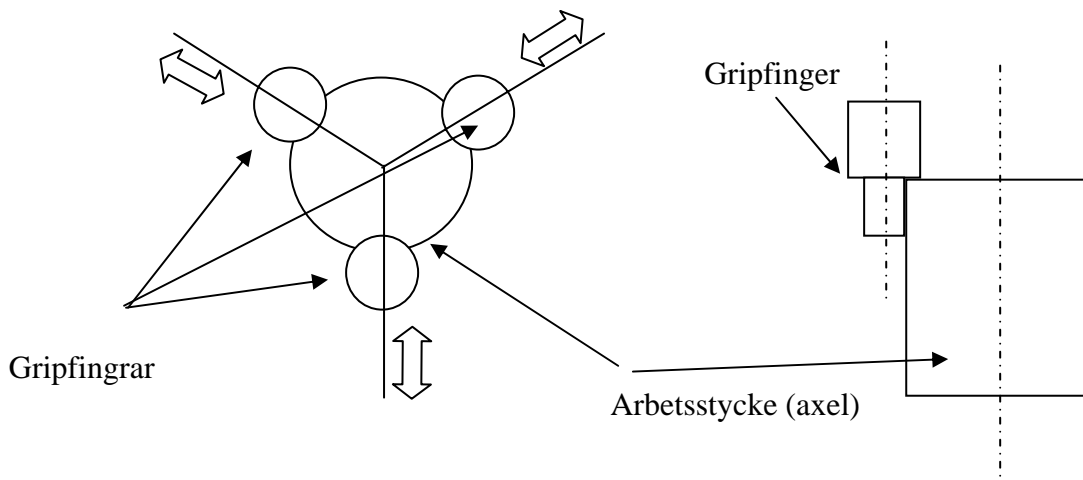
Cylindriska detaljer inom diameterområdet 20-55 mm skall hanteras av en industrirobot. Gripdonet som valts är ett så kallat trefinger-gripdon där gripfingrarnas rörelser sker i radiell led, se figuren. Hanteringen innebär bland annat att detaljerna skall inpassas i fixturer och dessa operationer kräver i detta exempel kraft samtidigt som hög noggrannhet vid positioneringen krävs.

Uppgiften är att detaljutforma gripfingrarna. I figuren är gripfingrarna symboliserade med grova linjer.

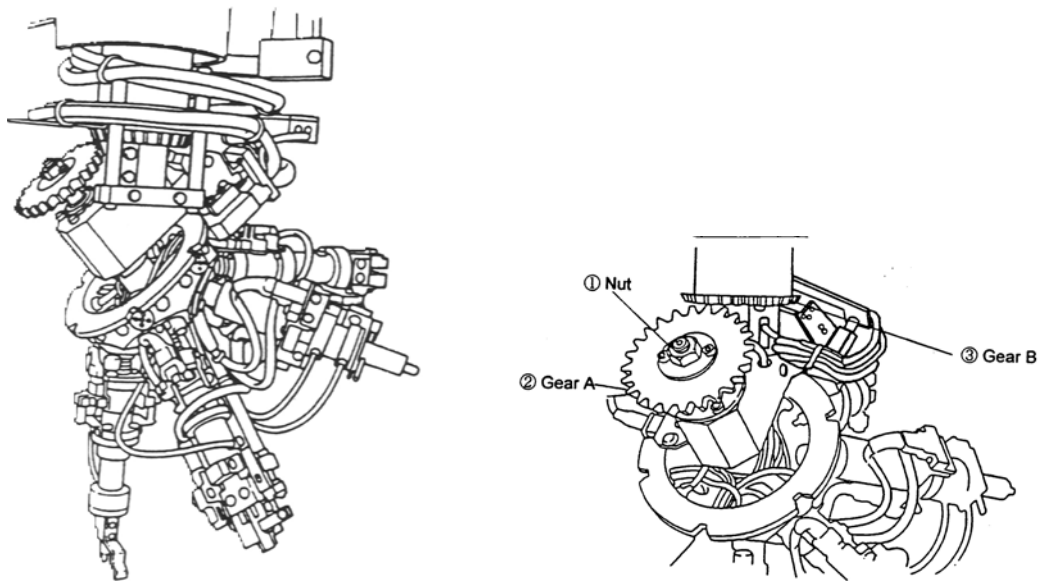


Figur 20. Gripdonsmekanism. Varje gripfinger rör sig radiellt under grip- och släpprörelse.

Förslag till lösning för gripfingrarnas utformning:



Ett exempel på hur flera detaljer positioneras i gripdonet



Figur 21. Revolvergripdon (turret head) (ref Sony)

Stela gripdon är utformade för en detaljgeometri och denna typ är vanligast.

I IEI-Monteringstekniks laboratorium finns ett antal demonstrationsbord där gripdonets huvudfunktioner kan studeras.

2.6 Industrirobotprestanda

En produktionstekniker som arbetar med utformning av tillverkningsceller och produktionssystem är intresserad av följande prestanda för en industrirobot:

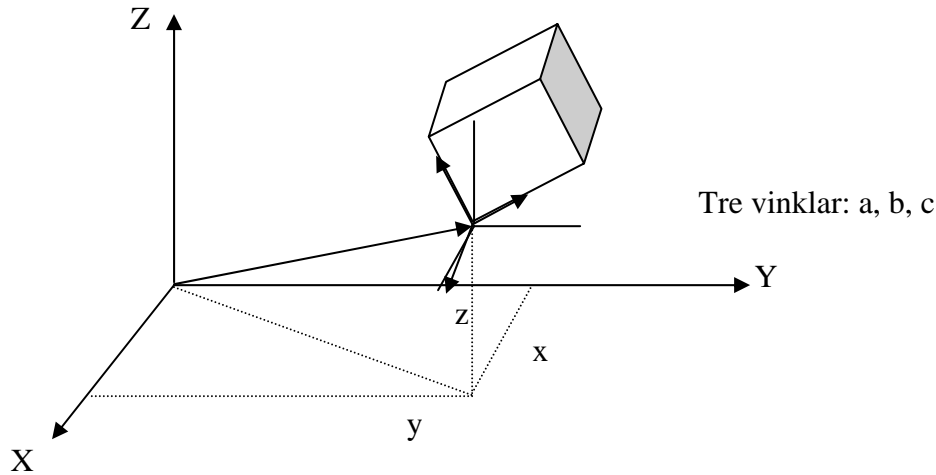
- Antal frihetsgrader vid positionering
- Räckvidd och arbetsområde
- Positioneringsnoggrannhet
- Repeternoggrannhet
- Hastighetsprestanda
- Hanteringskapacitet

Förutom dessa prestanda är ytterligare en mängd data om robotsystem av intresse att studera inför valet av industrirobot. Exempel på intressanta uppgifter är tillförlitlighet, servicevänlighet, mjukvarufunktioner i programmeringsspråket, kommunikationsinterface för styrning av kringutrustning, för inkoppling till givare samt för kommunikation med överordnade styrsystem.

Det finns internationella standarder som definierar olika prestanda och hur provningen skall gå till.

Antal frihetsgrader vid positionering

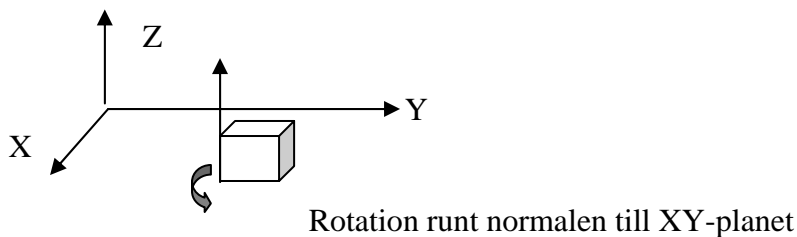
För att positionera ett objekt valfritt i arbetsrymden krävs 6 frihetsgrader, principiellt 3 stycken för att nå en punkt i arbetsrymden och 3 stycken för att ge önskad orientering av objektet. Leverantörerna av industrirobotar anger antalet axlar för en robotarm och då avses antalet leder.



Figur 22. Frihetsgrader

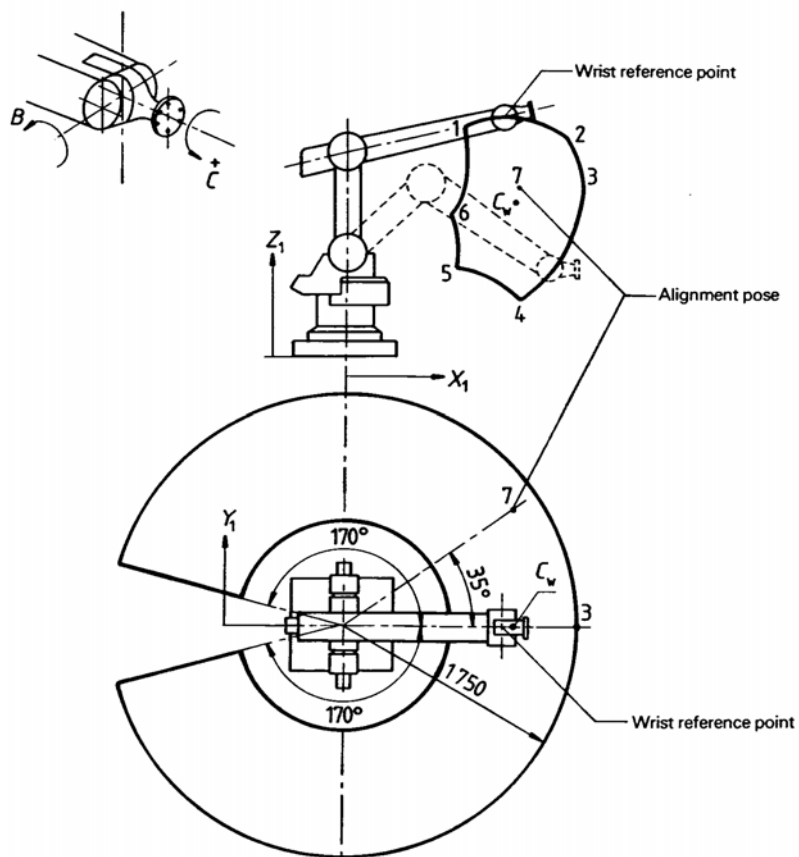
Industrirobotar har ofta 6 leder eller axlar för att det skall vara möjligt att positionera ett arbetsstycke eller verktyg i valfri position och attityd i arbetsrymden, vilket är viktigt vid de flesta tillämpningsområdena, hantering, processtillämpningar och montering.

En klass av robotar som är mycket vanlig för montering, så kallade SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), har 4 leder vilket ger en begränsning i antalet frihetsgrader vid hanteringen. Tillämpningsområdet för en SCARA är montering där detaljerna i huvudsak ”staplas” och då behöver roboten kunna positionera gripdon i X-, Y-, och Z-led, samt vrida detaljen runt normalriktningen till det plan som utgör monteringsytan. Monteringsrörelsen sker i Z-led.



Räckvidd och arbetsområde

Leverantörerna anger ofta rörelseområdet för varje led. Dessutom anges arbetsvolymen i form av en måttfatt skiss (två vyer, ovanifrån och från sidan), se figur 23 och 24.



Figur 23. Exempel på specifikation av arbetsområde för en robot med 6 leder. (ref ISO)

Point in space	Working space		Range of movement of secondary axes	
	X_1	Z_1	B	C
1	925	1 635	+ 75° - 90°	+ 170° - 150°
2	1 610	1 550	+ 75° - 90°	± 180°
3	1 750	1 140	+ 75° - 105°	± 180°
4	1 310	345	+ 45° - 120°	± 180°
5	870	600	+ 45° - 120°	+ 150° - 170°
6	840	1 000	+ 75° - 120°	+ 140° - 150°
7	1 350	750	-	-

Figur 24. Exempel på specifikation av arbetsområde för en robot med 6 leder. (ref ISO)

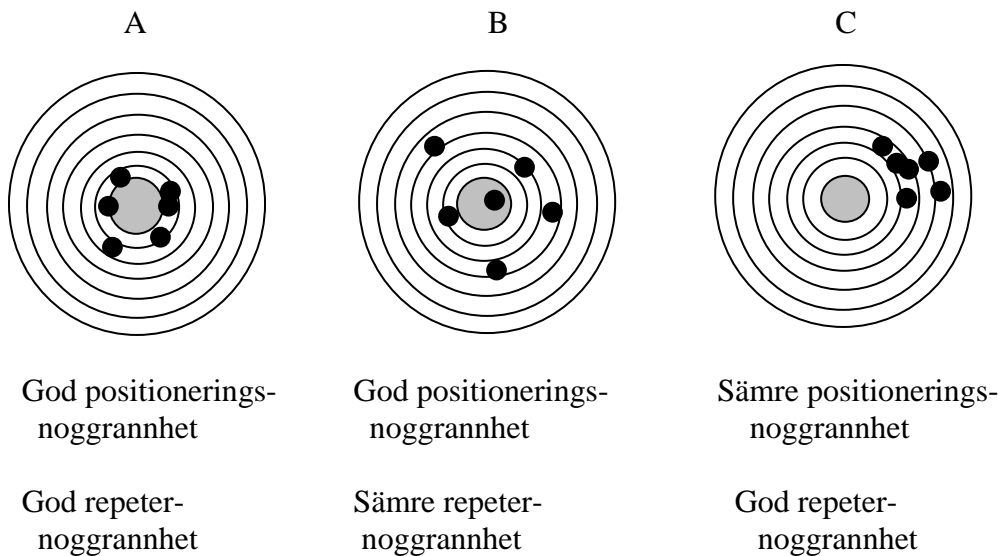
Positioneringsnoggrannhet (pose accuracy)

Positioneringsnoggrannhet är ett mått på variation i lägesnoggrannhet. Detta är ett mått som är viktigt om man skall kunna avgöra lämpligheten för att använda offline-programmering som programmeringsmetod för roboten. Off-line innebär bland annat att koordinatvärden (numeriska värden) anges som specifikation för önskade positionen.

Repeternoggrannhet (pose repeatability)

Repeternoggrannheten är ett mått på överensstämmelse mellan uppnådda lägen vid upprepade inkörningar i samma riktning mot ett programmerat läge.

I figur 25 illustreras positioneringsnoggrannhet och repeternoggrannhet med en analogi där tre pistolskyttar skjuter till måls. Träffbilderna är olika och det är träffbild C som bäst beskriver en industrirobots prestanda.

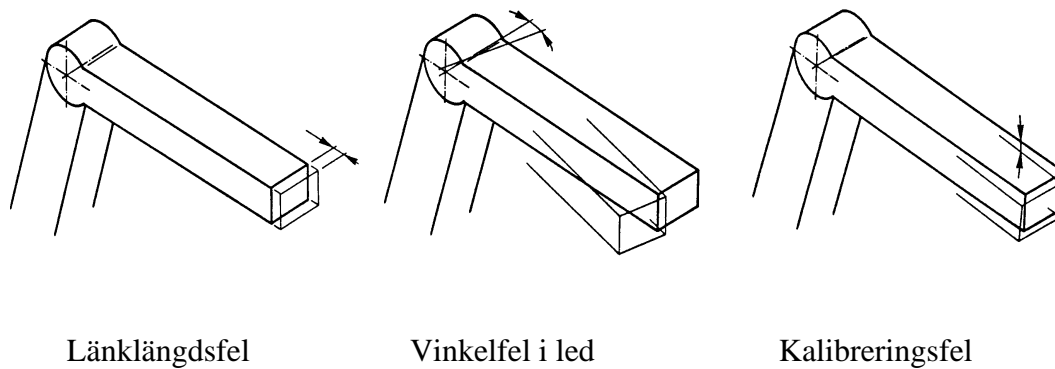


Figur 25. Positioneringsnoggrannhet och repeternoggrannhet – en analogi med träffbilder vid pistolskytte.

Den begränsade positioneringsnoggrannheten beror av:

- Parameterfel (länklängder, vinkelfel i leder, kalibreringsfel).
- Varierande detaljvikter (som ger nedböjningar).
- Omgivningsfaktorer (temperaturvariation som ger längdutvidgning mm).
- Numeriska fel.

I figur 26 visas exempel på parameterfel för en länk i en robotarm. För en industrirobot som har 6 leder så inses att det inte är enkelt att uppnå så snäva toleranser i tillverkning och montering så att en hög positioneringsnoggrannhet kan nås. Dessutom tillkommer dimensionsfel och formfel i kraftöverföringarna som ytterligare begränsar absolutnoggrannheten för robotarmen.



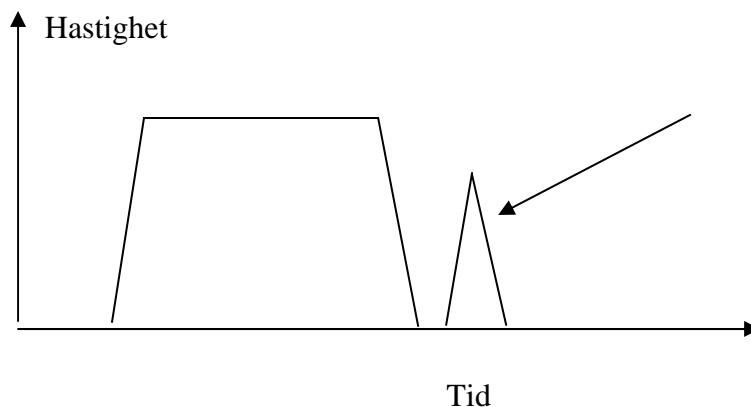
Figur 26. Exempel på parameterfel som påverkar robotarmens positioneringsnoggrannhet.

Sammanfattningsvis innebär detta att gripdonets verkliga position avviker från den position som styrsystemet räknat fram från den mekaniska modellen av robotarmen.

Hastighetsprestanda

Leverantörerna anger ofta hastighetsprestanda för respektive led. Dessutom anges maximal banhastighet (path velocity) under specificerade förhållanden.

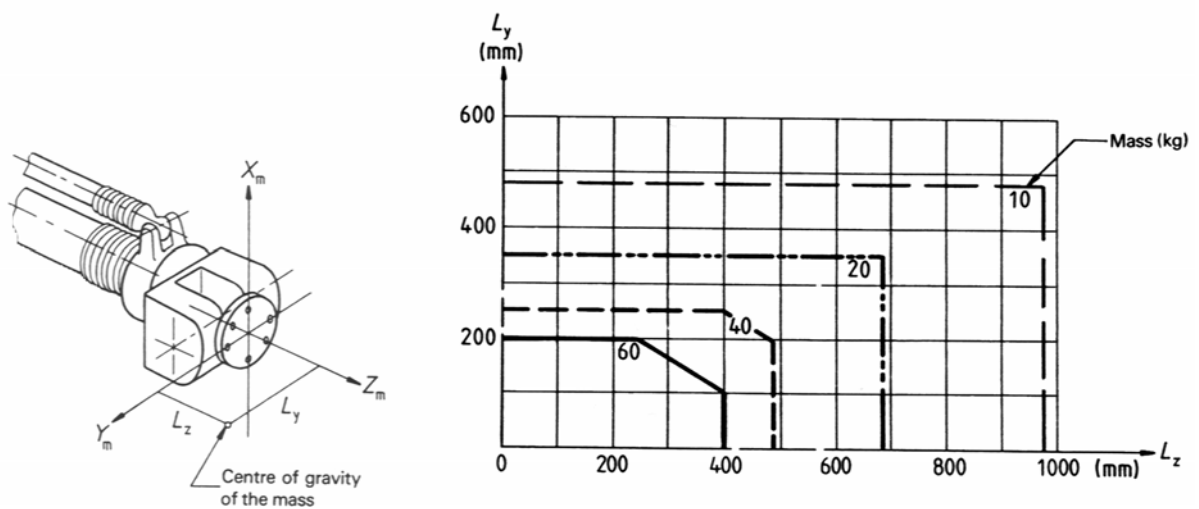
Cykeltiden är svår att bestämma ur dessa data. Accelerationsdata anges oftast inte och om förflyttningarna är korta och höga hastigheter är programmerade så kommer robotarmen att vara under acceleration eller retardation under en stor del av cykeltiden.



Figur 27. Hastighetsprofiler för robotrörelser

Hanteringskapacitet

Leverantörerna anger hanteringskapaciteten i den sista länken (i förhållande till fästplattan för gripdonet/verktyget) under givna förutsättningar på driftsvillkor. Dessutom brukar lastdiagram medfölja specifikationen som visar hur nyttolasten måste reduceras när angreppspunkten för lasten förflyttas ut från roboten handled. Se figur 27. Leverantörer specificerar i en del fall också tillåten maximal extralast som kan monteras på armen.



Figur 28. Exempel på lastdiagram för en industrirobot(ref ISO).

2.7 Programmering av industrirobotar

2.7.1 Allmänt om robotprogrammering

Sammanfattningsvis kan man säga att programmering av industrirobotar utförs på två sätt, dels med inläring (teach-in och playback) och dels med offline-metod. Metoderna kommer att beskrivas översiktligt men först kommer en sammanställning av vad som behöver programmeras i en industrirobottillämpning:

- förflyttning av robotarmen i önskade banor till önskade slutpositioner,
- sekvensen av rörelser och operationer,
- styrning av yttre utrustning, maskiner, etc,
- förregling av programsekvensen,
- givarfunktioner,
- kommunikation med överordnade styrsystem.

Teach-in programmering har varit dominerande som programmeringsmetod och detta beror på att robotarna har haft en begränsad positioneringsnoggrannhet. Inläring genom att köra robotarmen till de önskade positionerna och lagra dessa har fungerat bra p g a att robotarnas repeter Noggrannhet är hög. Dessutom har man inte behövt programmera om robotarna så ofta men i takt med att man önskar ställa om anläggningarna i ökad omfattning får robotprogrammeringen ett ökad intresse.

Programmeringen enligt teach-in sker oftast med hjälp av en programmeringslåda (alternativa namn: programmeringsenhet, programmeringsdosa, teach-box, teach pendant etc) där roboten manövreras av operatören till de önskade positionerna med hjälp av en styrspak eller knappsats. Övriga funktioner som styr programlogiken, kommunikation med yttre enheter etc matas också in via programmeringslådan.

Persondatorer och dataterminaler har också utnyttjats som programmeringsinterface för robotar av en del tillverkare.

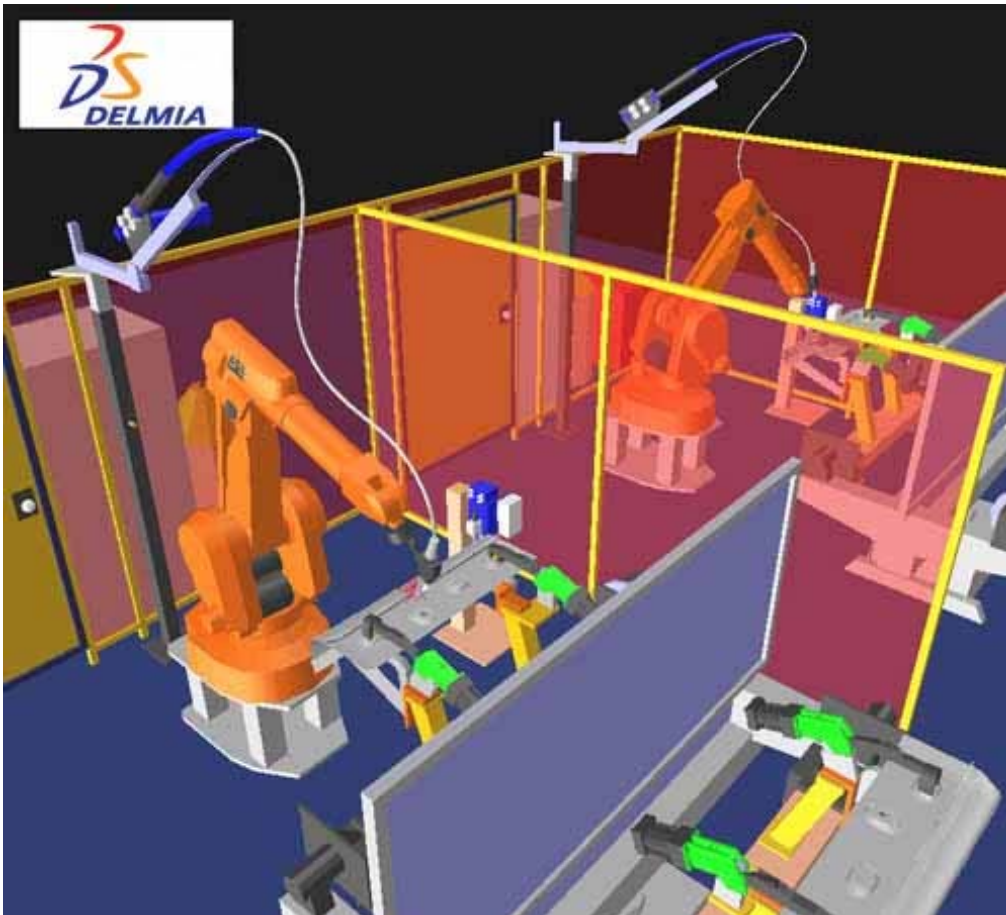
Play-back metoden som även den är en inlärningsmetod har utnyttjats framförallt vid programmering av sprutmålningsrobotar. Tillämpningen kräver ofta rörelsebanor som är svåra att programmera med teach-in. Programmeringen sker i stället med ett inspelningsförfarande (play back) där operatören utför en sprutmålning av en detalj genom att föra roboten med sprutmålningspistolen genom hela rörelsecykeln. Resultatet som önskas är en jämnt målade yta där färgen täcker väl och där inga rinningar skett, således inte för lite eller för mycket färg. Det finns exempel på robotleverantörer som utrustat systemet med en speciell manipulatorarm som används enbart för programmeringen. Manipulatorarmen är en exakt geometrisk kopia av robotarmen men saknar drivmotorer. Givare för avläsning av ledvinklar finns på manipulatorn.

Inlärningsmetoderna kräver tillgång till robot och kringutrustning och detta innebär att under programmeringen sker ingen produktion. Off-line-programmering ger möjlighet att programmera roboten utan att ha tillgång till det producerande systemet.

Det finns flera exempel på offline-systemlösningar, dels rent textbaserade system och dels grafikbaserade system. I textbaserade system editeras en textfil som kompileras samt överförs till robotstyrsystemet för testning och justering samt teach-in-programmering av robotpositionerna i programmet.

Utnyttjande av grafikbaserade system och grafisk simulering ger än större möjligheter att redan på programmeringsstadiet testa program och därmed senare kunna göra en snabb inkörning av det offline-genererade programmet. Grafikbaserade system kräver att robot, produkt och kringutrustning i form av fixturer, magasin mm finns modellerade. Man skulle kunna programmera på samma sätt som vid teach-in men utföra arbetet i den modellerade "världen". Genom att produktens och arbetscellens geometri finns på numerisk form kan en mängd kraftfulla funktioner underlätta programmeringen av robotrörelser, t ex så kan en programmerare definiera en svetsfog och ge kommando om förflyttning av svetspistolen längs fogen med en bestämd lutningsvinkel.

Grafisk simulering ger också möjlighet att detektera om roboten kolliderar med kringutrustning etc och därefter korrigera rörelserna innan de överförs till robotstyrsystemet. Utprovning av rörelseprogram för att minimera cykeltiden kan också göras. Dessa funktioner är givetvis också användbara under projekteringen av en tillverkningscell och det är då möjligt att prova ut placeringen av robotarm och övrig utrustning för att nå god åtkomlighet och undvika områden i robotens arbetsvolym där styrningen fungerar dåligt.



Figur 29. En bild som visar en modellerad svetsrobotstation. Bilden är hämtad från ett grafikbaserat simuleringssystem.(Ref DELMIA)

Programspråk för robotprogrammering utvecklas ofta av respektive robotleverantör och språken kan vara utökningar av existerande generella programmeringsspråk eller helt nya språk. Ett robotspråk måste innehålla funktioner för rörelsestyrning, givarintegration etc och exempel på funktioner finns i bilagematerialet.

2.7.2 Exempel på rörelsefunktioner i robotprogrammeringsspråk

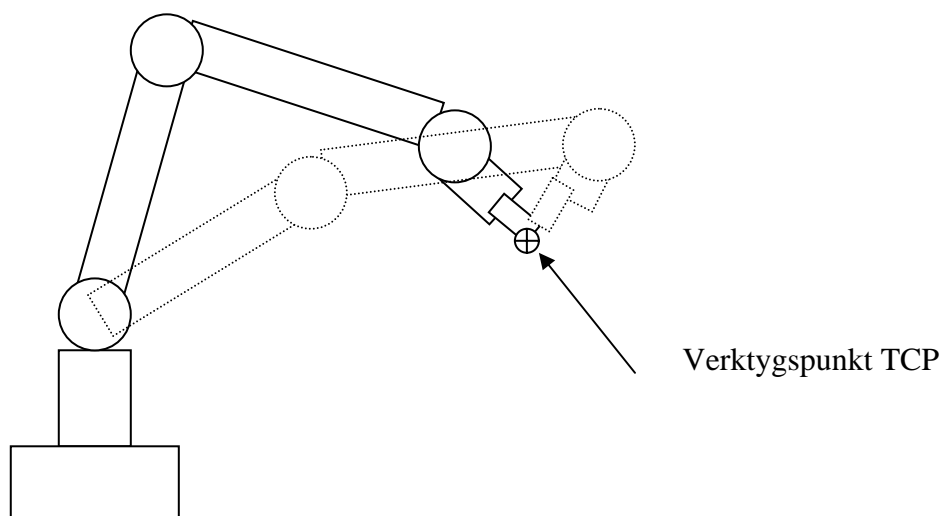
I detta stycke kommer exempel på rörelsemöjligheter som är programmerbara i ett robotsystem att behandlas. Robotprogrammeringsspråken har förutom rörelserelaterade funktioner en mängd andra funktioner som kan programmeras, t ex styrande satser, I/O-hantering etc.

Språken kan vara av tolkerande eller kompilerande typ. Språken kan vara allt ifrån ”enkla” med få möjligheter i språket, t ex Basic-liknande med ”hopp-sats” som enda styrande sats, till avancerade språk där egna datatyper kan definieras och en mängd styrande satser (statement labels, if-then, if-then-else, while-do, do-until, for, begin-end, procedure/function/subroutine) kan utnyttjas etc.

Rörelsefunktionerna omfattar den manuella körningen av robotarmen under programmering, testkörning samt för automatisk drift. Här följer några exempel på rörelserelaterade funktioner.

TCP - Tool Center Point (verktygspunkt)

Funktionen innebär att programmeraren kan välja en verktygspunkt och att alla rörelser sedan sker som translationer av TCP samt rotationer runt TCP. Funktionen är mycket praktisk sett ur programmerarens synvinkel, speciellt i fall när tillämpningen kräver omorienteringar av gripdonet eller verktyget. I dessa fall tjänar man mycket tid på att translation och rotation är separerade i en TCP, vilket innebär att man inte behöver justera positionen när orienteringen förändras.



Figur 30. Tool-Center-Point. Körning av roboten beordras som translation av TCP samt som rotation runt TCP.

Rörelse i ett robotfast kartesiskt koordinatsystem

Denna funktion liksom den föregående utnyttjas tillsammans med TCP vilket innebär att translationen av gripdonet/verktyget kan utföras längs huvudaxlarna i ett robotfast ortogonalt koordinatsystem med bibehållen verktygsorientering.

Rörelse i ett gripdonsfast kartesiskt koordinatsystem

Denna funktion liknar den föregående med den skillnaden att rörelsen utgår från ett handledsfast ortogonalt koordinatsystem, gripdonet/verktyget blir referensen för rörelsen.

Rörelse i ledvinkelkoordinater

Rörelsefunktionen är praktisk vid manövrering av roboten, speciellt i fall där styrsystemet inte klarar att hitta en giltig lösning på det inversa problemet. Det inversa problemet formuleras som att givet positionen i det robotfasta eller handledsfasta

koordinatsystemet transformera om till den uppsättning ledvinklar som krävs för att nå den önskade positionen i robotens baskoordinatsystem.

Linjära rörelser

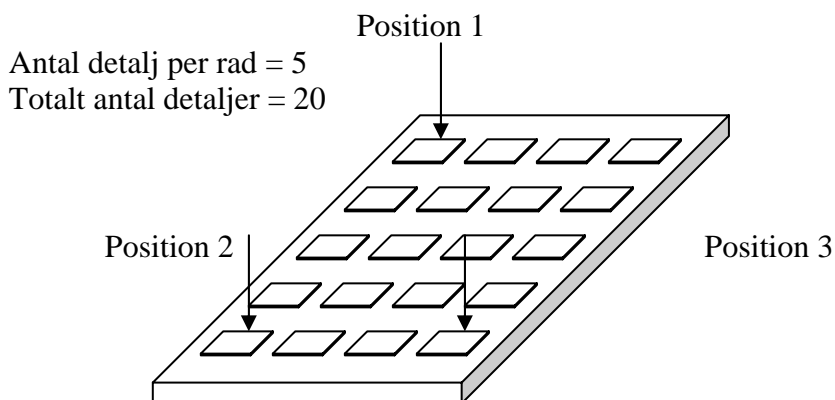
I många fall krävs att gripdonets rörelse skall ske längs en rät linje. Exempel på situationer när man har behov av linjära rörelser är när ett arbetsstycke skall laddas in i en maskin, när en axeldetalj skall passas in i ett lager eller när en svetspistol skall följa en fog på svetsobjektet under svetsförloppet. Endast en start- och en slutpunkt för rörelsen behöver programmeras om detta rörelsesätt anropas.

Cirkulära rörelser

På samma sätt som för föregående typ av rörelse kan det vara praktiskt att enkelt kunna programmera cirkelbanor. För en halvcirkelbåge behövs endast att startpunkt, slutpunkt och en mellanliggande punkt definieras.

Mönsterplockning och mönsterläggning

Mönsterprogrammering är en användbar funktion som innebär att en matris av positioner kan programmeras snabbt, t ex behövs oftast bara tre hörnpositioner definieras (programmeras) samt att antal rader och kolumner, alternativt rader och totalt antal plocklägen, anges. (se figuren nedan)



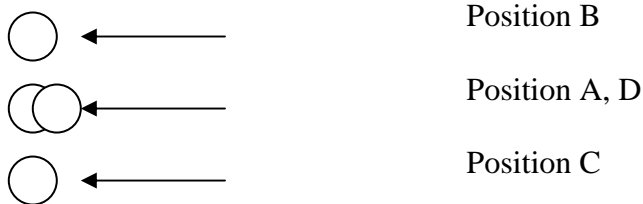
Överlagring av pendlingsrörelser

Överlagring av pendlingsprogram är en funktion som är praktisk inom MIG/MAG-svetsning där pendlingen används för att fylla en bredare fog. Rörelsen kan delas in i två huvuddelar som var för sig är enkla att programmera, dels en huvudrörelse och dels ett separat pendlingsprogram. (Se figuren nedan.)

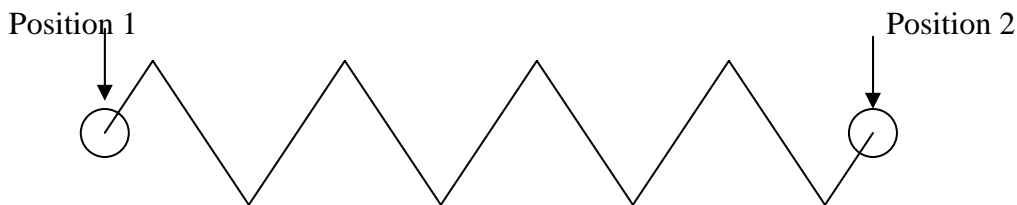
Pendling förekommer också när adaptiv fogföljning under svetsprocessen tillämpas. Under pendlingen avkännes svetsström och svetsspänning och robotbanan kan justeras efter fogens läge.



Huvudrörelse som definieras genom att ändpunkterna programmeras



Pendlingsrörelse



Figur 31 Exempel på delrörelser och resulterande pendlingsrörelse

Absolut rörelse i robotens baskoordinatsystem

Rörelserna programmeras oftast i det robotfasta koordinatsystemet.

Relativa förflyttningar

Relativa förflyttningar kan vara praktiska om en deloperation skall genomföras på flera huvudpositioner i programmet eller att startpunkten för ett underprogram skall ges efter en sökrörelse där givare utnyttjas för att bestämma arbetsstyckets position som tillåts variera.

Sökning

Sökning (alternativa ord: sökningsrörelse, sökstop, guarded move) kallas ofta för adaptiv funktion vilket inte skall förväxlas med användningen av ordet adaptiv inom reglertekniken där betydelsen är att reglerparametrar automatiskt justeras i reglersystemet. I industrirobotsammanhang avser man med en adaptiv funktion ofta att roboten justerar sin rörelsebana utgående från givarutslag.

Sökning innebär att roboten programmeras att förflytta sig, till exempel längs en linje. Rörelsen stoppas när en givare når ett förutbestämt värde.

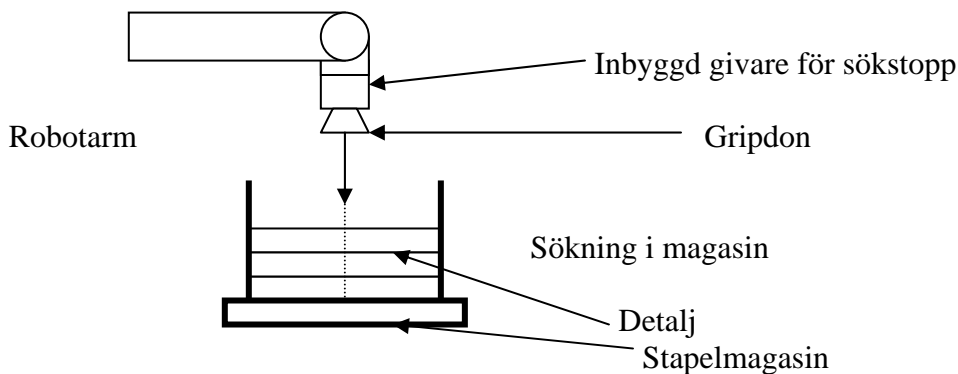
I figuren nedan finns en skiss som skall åskådliggöra funktionen sökning. Från ett startläge programmeras roboten att gå mot ett stapelmagasin med detaljer. När

gripdonet får kontakt med den översta detaljen slår en i gripdonet inbyggd binär kontakt till och rörelsen stoppas. Därefter sker gripning av detaljen, i detta exempel sker det med ett vakuumgripdon. Roboten backar sedan upp ur magasinet och programmet går vidare i arbetscykeln, t ex laddar en bearbetningsmaskin.

Om detaljer saknas i magasinet, vilket indikeras med att givaren inte slår om innan sökningsrörelsen nått till ändläget, den programmerade positionen, så programmeras en sekvens in som kallar på en operatör som genomför en påfyllning av magasinet.

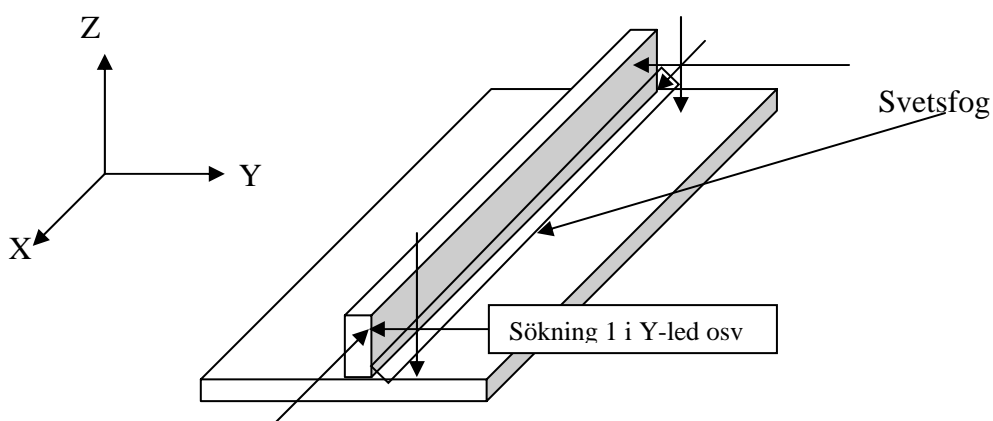
Sökning kan också användas för att bestämma ett arbetstyckes eller en fixturs position i arbetsrymden genom att upprepade sökningar gör längs flera koordinataxlar mot en eller flera ytor på arbetstycket.

Sökningen måste oftast genomföras med låg hastighet för att inte robot, gripdon/verktyg eller detalj skall skadas. Det finns exempel på robotstyrssystem som känner av givarens status med hög frekvens och efter att sökstopp givits stoppas roboten samt backar tillbaka till den position där givaren slagit om.



Figur 32. Exempel: sökning i stapelmagasin

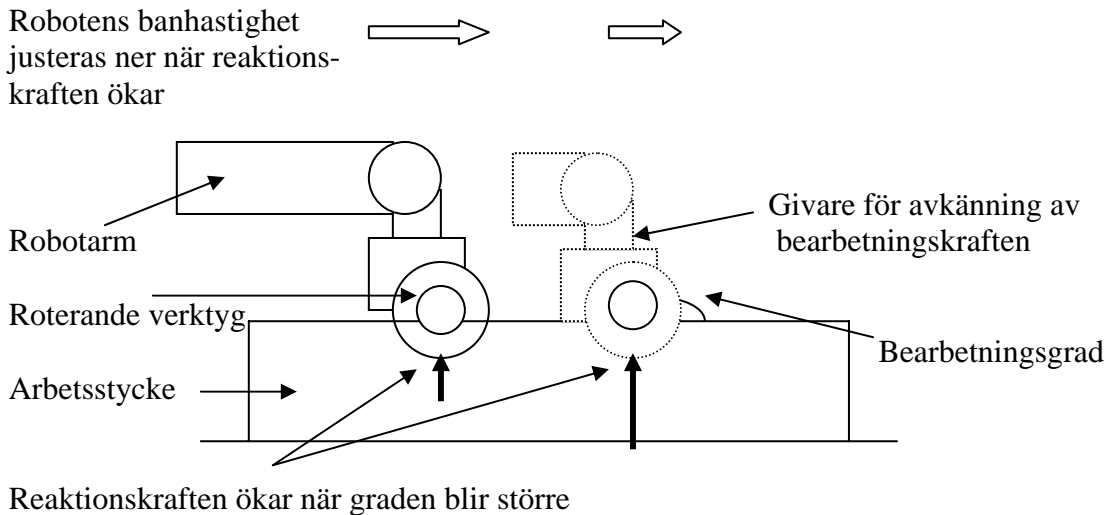
Ytterligare ett exempel på funktionen sökning visas i figuren nedan där 6 st sökningsrörelser i tre ortogonala riktningar, vid fogens början och slut, ger en bestämning av svetsfogens läge. Fogtypen som skall förbinda arbetstyckets båda delar kallas kälffog.



Figur 33. Exempel: sökning inför svetsning

Hastighetsstyrning

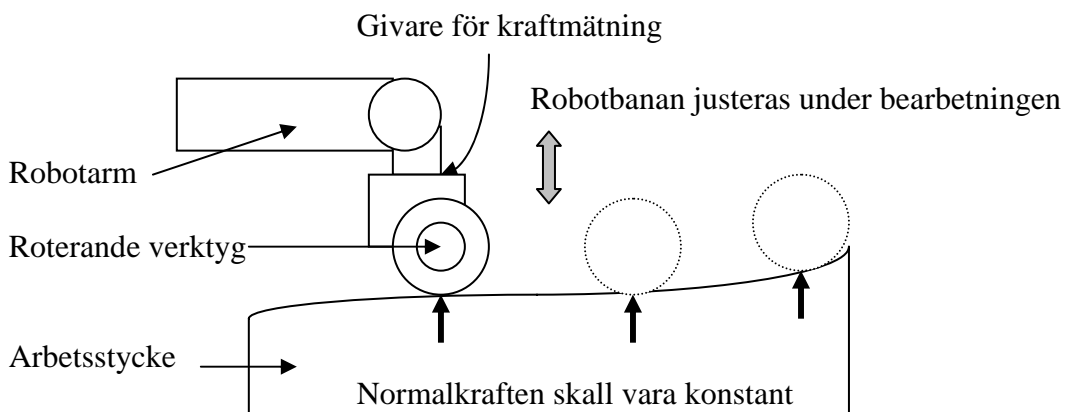
Hastighetsstyrning är ytterligare en s k adaptiv funktion som innebär att robotens banhastighet (matningshastighet) justeras beroende på ett givarutslag. Funktionen är framtagen för tillämpningen avgradning (gradning) och om storleken på graden ökar och därmed också kraften på roboten så sänks matningshastigheten etc.



Figur 34. Exempel: Hastighetsstyrning vid robotiserad avgradning.

Konturföljning

Konturföljningsfunktionen är snarlik hastighetsstyrningen. Funktionen är här att hålla konstant bearbetningskraft och därmed måste robotens bana justeras under bearbetningen. Se figuren nedan.



Figur 35. Exempel: Kraftstyrning vid robotiserad bearbetning.

Spegling av rörelser

Speglingsfunktioner finns med i en del tillverkares robotstyrssystem och genom denna funktion kan programmeringsarbetet reduceras t ex när höger och vänsterdetaljer föreligger.

3D-shift, framing, programförskjutning etc

En funktion som kan vara mycket praktisk är att enkelt kunna förskjuta ett helt program i robotens arbetsrymd, t ex när ett återkommande jobb skall sättas upp på nytt i robotstationen. Programmet finns men fixturens position avviker mer eller mindre från den som var aktuell när robotprogrammet skapades. Ett enkelt förfarande med några få justeringar finns att tillgå i en del robotsystem, t ex att definiera upp en ny frame genom att köra några få positioner i det aktuella programmet med efterföljande justering. Benämningen på funktion kan vara, 3D-shift, frame, programförskjutning, referensram etc.

Automatisering av denna funktion är också möjlig men då krävs givare för avkänning. Sökningsfunktionen kan då användas i s k "autoframing".

2.7.3 Exempel på förberedelser och programmering av en industrirobot ASEA Irb 6/2

Programmeringen sker enligt teach-in-förfarandet och följande steg kan urskiljas:

- Utformning av programkoncept.
Utformningen baseras på specifikationen av arbetscellens önskade funktion och operationssekvenser, utrustningen som är dokumenterad i form av en lay-out, elektriska kopplingsscheman över anläggningen mm.
- Programmering.
Under programmeringen måste programkonceptet uppdateras så att programmeraren kan utföra arbetet på ett säkert sätt. Konceptet blir ett stöd och om uppdateringen görs korrekt så finns programmet också dokumenterat på ett bra sätt när arbetet är slutfört.
- Provkörning och testning för att korrigera logiska fel samt fel hos de positioner som definierats under programmeringsfasen.
Provkörning av program kan först göras med reducerad hastighet. Provkörning med definierade hastigheter måste också göras. I det aktuella programmeringssystemet, som är av tolkerande typ, kan provkörning göras omedelbart efter att en programrad är inmatad.
- Automatisk körning i driftläge.

Programmeringen går i huvudsak till så att robotarmen styrs med en styrspak på en programmeringslåda till den aktuella punkten som skall lagras. Därefter matas

programraden in via knappsatsen på programmeringslådan. Övriga funktioner matas också in via programmeringslådan.

I teckenfönstret presenteras sedan de olika instruktionstyperna och programmeraren gör nya val samt matar in siffervärden på argument till vald funktion om systemet efterfrågar detta. Radnumrering sker automatiskt i steg om 10 och en ny programrad numreras när någon av huvudmenyerna för programmering trycks in.

Programmering med uppdelning i underprogram är möjlig. Styrande satser utgörs av villkorligt och ovillkorligt hopp, vänta-funktioner, programanrop samt programslut.

Automatisk cykel finns programmerad och styrs av programslutsfunktionen som medför återhopp till programmets första rad med förnyad exekvering(gäller i huvudprogram).

Programexempel 1:

	Kommentarer
10 V=50 MAX=200 MM/S	Definition av grund och max.hastighet
20 TCP 0	Val av arbetspunkt för handledsrotation
30 ROBOT COORD	Rörelse utan interpolering
40 FRAME 0	Val av baskoordinatsystem(robotens)
50 POS V= 100%	Positionering till vald punkt med 50 mm/s
60 WAIT UNTIL INP 3=1	Vänta till ingång 3 är sluten (t.ex klarsignal)
70 POS V=100%	Positionering till vald punkt med 50 mm/s
80 POS V=600%	Positionering till vald punkt med 200 mm/s
90 POS V=400%	Positionering till vald punkt med 200 mm/s
100 POS V=400% STORE LOC 3	Lagring av pos i 90 till lägesregister 3
110 RECT COORD	Val av rörelse med interpolering
120 POS V=25% FINE L	Pos. till vald punkt med 12.5 mm/s och hög noggrannhet
130 POS V=25% STORE LOC 4	Lagring av pos i 120 till lägesregister 4
140 POS V= 10% FINE	Pos. till vald punkt med 5 mm/s och högsta noggrannhet
150 GRIPPER WAIT 0.8 S	Gripdonsaktivering och väntetid 0.8 s
160 POS V=25% LOCATION 4	Pos. till punkt enligt positionsregister 4 med 12.5 mm/s
170 ROBOT COORD	Rörelse utan interpolering
180 POS V=100% LOCATION 3	Pos. till punkt enl. positionsregister 3 med 50 mm/s
-	
-	
-	
300 RETURN	Programslut med hopp till rad 10 för kontinuerlig körning

Positionerna som programmeras på raderna 50,70-90, 120 och 140 definieras genom att roboten körs manuellt till respektive punkt innan programraden skapas. Positionerna som programmeras på rad 160 och rad 180 kräver däremot inte att roboten manövreras till de önskade punkterna utan här sker en referering till tidigare programmerade positionsregister (rad 100 och rad 130).

I programexemplet nedan visas hur en insignal till robotstyrsystemet får styra exekvering av antingen operation A eller operation B.

I det aktuella programspråket är funktionerna att hoppa i programmet, villkorligt eller ovillkorligt, den möjlighet som bjuds att styra programflödet, t ex att låta en givares signaltillstånd bestämma hur programmet skall fortsätta.

Ett villkorligt hopp skrivs `JUMP TO xxx IF INP y =1` vilket ger funktionen:

Hoppa till raden med radnummer xxx om ingång y är sluten. Om ingång y = 0 fortsätter programmet att exekvera nästföljande programrad.

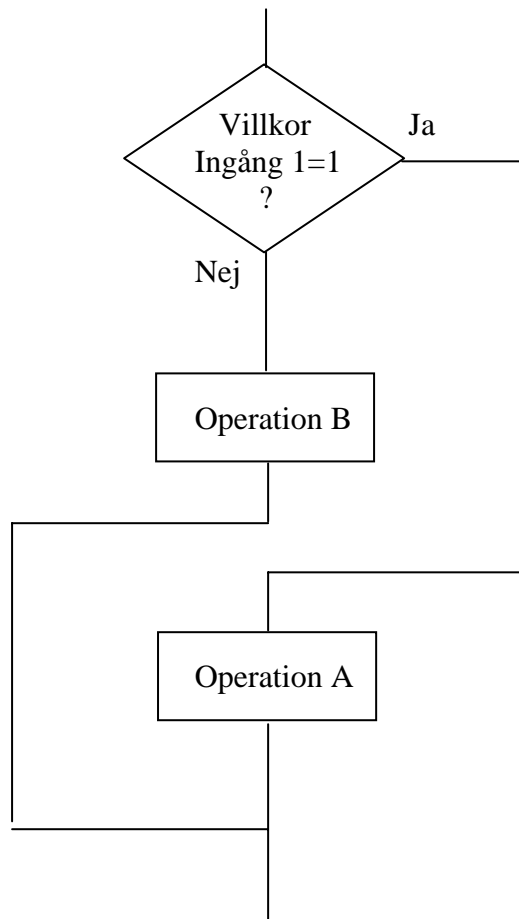
Sammansatta villkor kan specificeras på samma rad och registerinnehåll kan också vara basen för beslutet att hoppa. Ett register(REG) kan uppfattas som ett minne och kan sättas till ett värde eller räknas upp eller ner.

Programexempel 2:

Kommentarer

<pre> - - 120 JUMP TO 190 IF INP 1=1 130 POS V= 25% FINE - - - 170 POS V=100% 180 JUMP TO 260 190 POS V= 45% - - - 250 POS V=110% 260 - </pre>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <div> <p>(130 - 180 exekveras om ingång 1=0)</p> <p>Operation B</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <div> <p>(190 - exekveras om ingång 1=1)</p> <p>Operation A</p> </div> </div>	<p>Läser av givare 1 och styr sedan programflödet vidare</p>
--	--	--

Programexempel 2 visar den viktigaste programstyrningsmöjligheten i robotprogrammeringsspråket och i figuren nedan visas ett flödesschema för samma programavsnitt.



Figur 36. Flödesschema för programexempel 2.

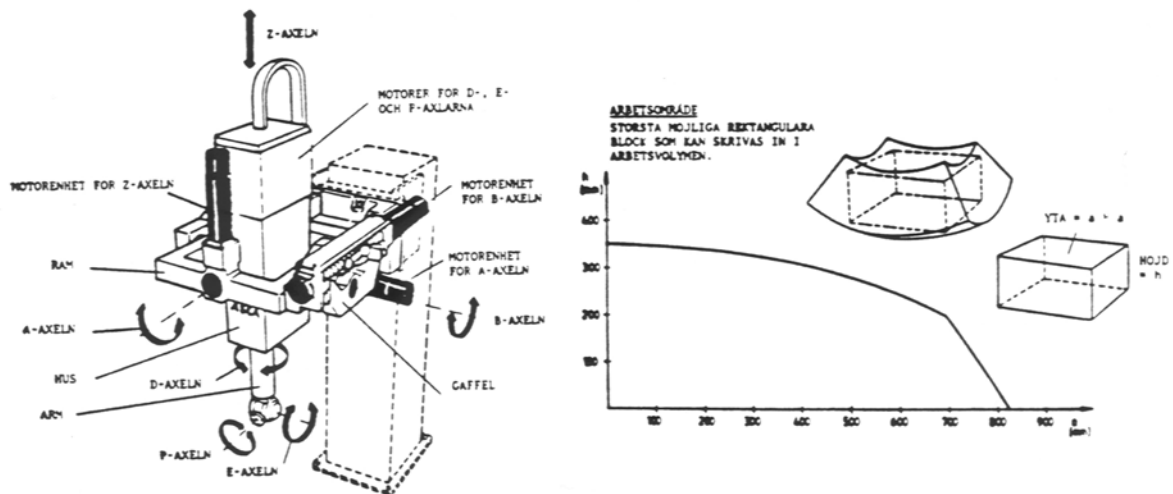
3. Underlag för laborationsmomenten

Underlaget är organiserat i ett antal punkter och turordningen under laborationen följer inte presentationen i underlaget.

3.1 Programmering av ASEA Irb 6/2 och ASEA Irb 1000

Industrirobotarna som används är av två typer. Båda är elektriskt drivna, dels en ASEA Irb 6/2 som är en böjarmsrobot och dels en ASEA Irb 1000 med en sfärisk konfiguration av axlarna för huvudrörelsen. ASEA Irb 1000 brukar ofta benämnas pendelrobot vilket beror på att robotarmen hänger vertikalt. Den förra roboten är 5-axlig och den senare 6-axlig men båda har snarlika styrsystem vilket gör att de båda kan behandlas lika sett ur programmeringsteknisk synvinkel. Mjukvaran för styrsystemet som kontrollerar ASEA Irb 1000 är av ett något senare datum och har betydligt fler funktioner men i den efterföljande presentationen beskrivs i huvudsak styrsystem och programmering för ASEA Irb 6/2.

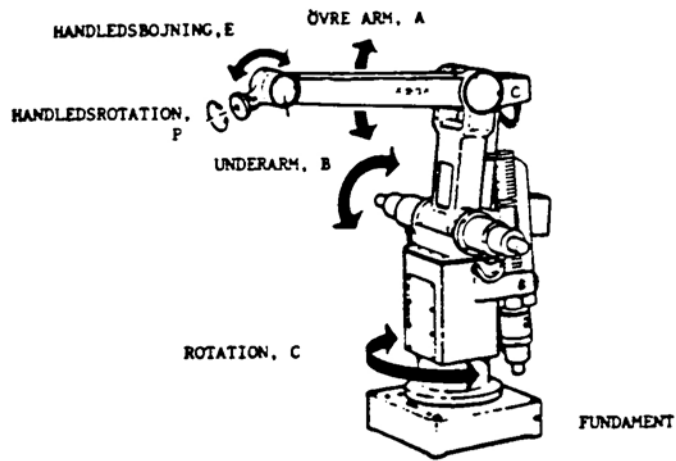
I figur 37 visas ASEA Irb 1000 samt några nyckeldata gällande robotarmen. I figur 38 visas på samma sätt ASEA Irb 6/2. Styrsystemet visas i figur 39 och 40 (Systemskiss och uppbyggnad).



Antal leder: 6
Repeternoggrannhet: < 0.1 mm
Maximal hastighet: 2000 mm/s
Robotarmens vikt: 125 kg

Hanteringskapacitet: ca 3 kg
Minsta förflyttning: ca. 0.05 mm
Styrskåpets vikt: 350 kg

Figur 37. ASEA Irb 1000 - mekanisk arm och data (Ref. ASEA AB)



Antal leder: 5

Repeternoggrannhet: < 0.2 mm

Maximal hastighet: 2300 mm/s

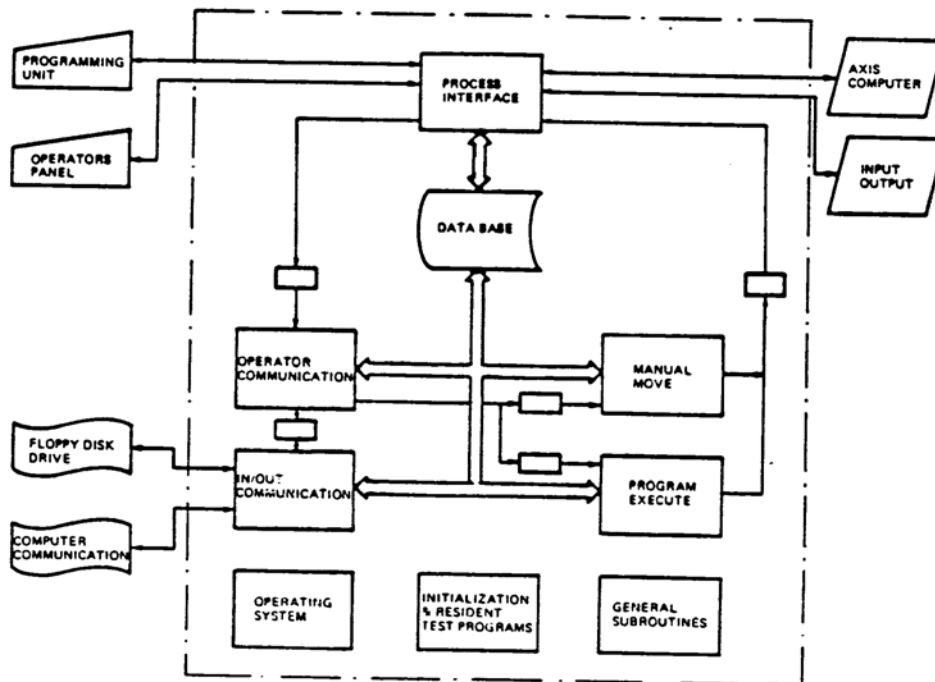
Robotarmens vikt: 135 kg

Hanteringskapacitet: 6 kg

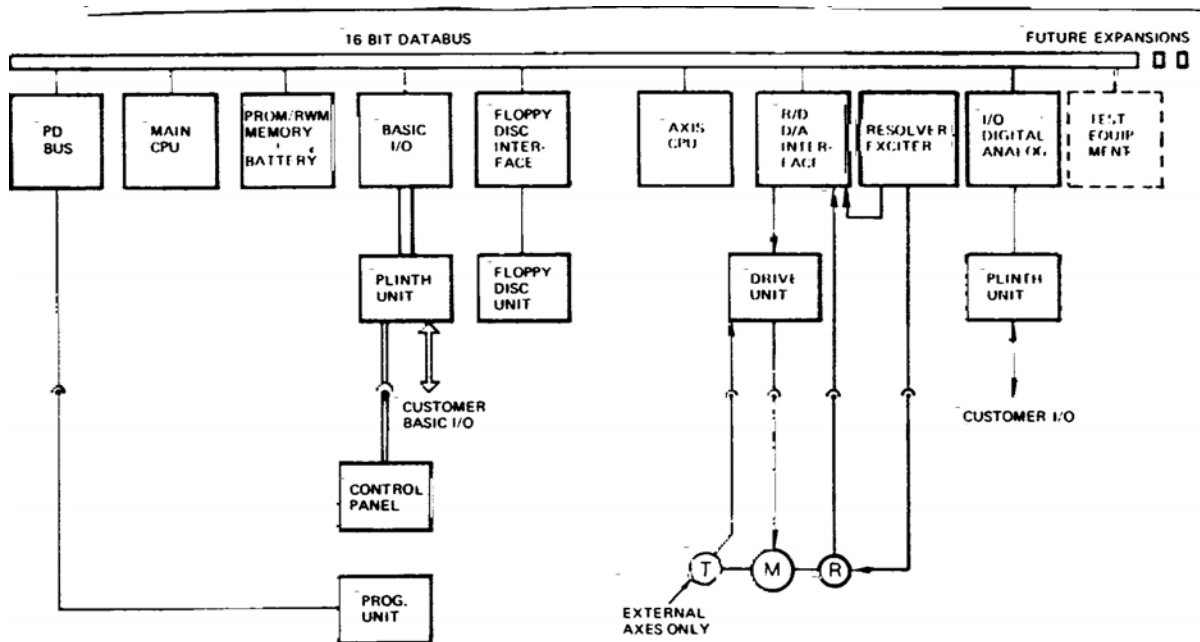
Minsta förflyttning: ca. 0.1 mm

Styrskåpets vikt: 350 kg

Figur 38. ASEA Irb 6/2 - mekanisk arm och data. (Ref. ASEA AB)



Figur 39. ASEA Irb robotstyrsystem 2 – systemöversikt. (Ref ASEA AB)



Figur 40. ASEA Irb robotstysystem 2 – uppbyggnad. (Ref ASEA AB)

3.1.3 Laborationsmoment– Manuell manövrering av en robotarm

Laborationsmomentet innebär att Du manövrerar robotarmen med en styrspak på robotens programmeringslåda i olika koordinatsystem. Inga direkta markeringar finns på robotarmen så det gäller att prova att röra styrspaken och se dess påverkan på robotarmen.

För ASEA Irb 1000 finns följande koordinatsystem att välja på, rektangulärt i robotens baskoordinatsystem, rektangulärt i robotens gripdon/verktygssystem samt i robotkoordinater (rörelse i robotens leder).

För ASEA Irb 6/2 finns följande koordinatsystem att välja på, rektangulärt i robotens baskoordinatsystem, rektangulärt i robotens gripdon/verktygssystem samt i cylinderkoordinater.

Robotarmens rörelsehastighet är begränsad av säkerhetsskäl när programmeringslådan är uttagen ur sitt fack i styrskåpet.

Robotarmens hastighet är proportionell mot styrspakens utslag (hastighetsstyrning).

Robotarmen kan också förflyttas med små inkrement. För ASEA Irb 1000 kommenderas steg om 0.0625 mm och för ASEA Irb 6/2 är steget omkring 0.1 mm

All manövrering måste ske med låga hastigheter. Tänk på att robotens masströghet gör att det tar en tid innan robotarmen stannar efter att man släpper styrspaken.

OBS! Programmeringslådorna är ömtåliga och måste därför behandlas varsamt. Handledaren visar hur det man manövrerar i inledningen av laborationsmomentet.

3.1.4 *Laborationsmoment – Mätning av en robots repeterbarhet*

Under laborationsmomentet 3.1.2 kommer ett litet program att matas in och avsikten är att Du som teknolog skall få en uppfattning om storleksordningen på robotens repeterbarhet (pose repeatability) samt översiktligt kunna studera hur människa/maskin-interfacet är uppbyggt(programmeringslådan).

Följande 4 programrader finns inmatade:

10 V=50 mm/s Vmax= 200 mm/s	(Grund- och maximal hastighet ställs in)
20 TCP 9	(Rotationspunkten väljs)
30 FRAME 0	(Robotens absoluta baskoordinatsystem väljs)
40 ROBOT COORD	(Okoordinerad rörelse väljs – vilket innebär att varje led styrs separat men alla ledernas rörelser avslutas ungefär samtidigt)

Respektive grupp kör sedan roboten till ett antal positioner i arbetsrymden (ca 10 stycken) och lagrar dessa. (handledaren visar). Därefter körs robotarmen till en position någon millimeter utanför den mätklocka som placerats ut. Mätklockans upplösning är 0.01 mm.

En programrad ser ut på följande sätt:

```
-  
80 POS V=400% FINE  
-
```

Därefter programmeras RECT COORD in på en programrad vilket innebär att rörelsen mellan de efterföljande punkterna blir linjär.

Robotarmen positioneras därefter i ”ingrepp” mot mätklockans avkännande del. Var vänlig och välj en position i mitten av mätområdet (mätområdet är 0 till 10 mm). Positionen programmeras därefter in på en egen rad och en låg hastighet väljs, till exempel 25 %.

För att kunna läsa av mätklockan så programmeras en väntetid in på 3 sekunder:

```
-  
140 WAIT 3 s  
-
```

Därefter positioneras robotarmen ut från mätklockan och en ny position programmeras in.

Som avslutning programmeras RETURN in på den sista raden vilket innebär att programmet börja om från början vid automatisk drift.

Programmet provas därefter vid stegvis körning för att därefter köras i automatisk drift.

Notera mätresultatet av 7 programcykler och ta det största värdet minus det minsta värdet och därmed har vi storleksordningen på repeteringsnoggrannheten. Hur stämmer mätresultatet med specifikationen för robotmodellen?



Figur 41 ASEA Irb 6/2 och ASEA Irb 1000 i laboratoriet

3.1.3 *Uppgifter under laborationsmomentet*

Studera robotens mekaniska uppbyggnad

3.1.4 *Uppgifter efter laborationen*

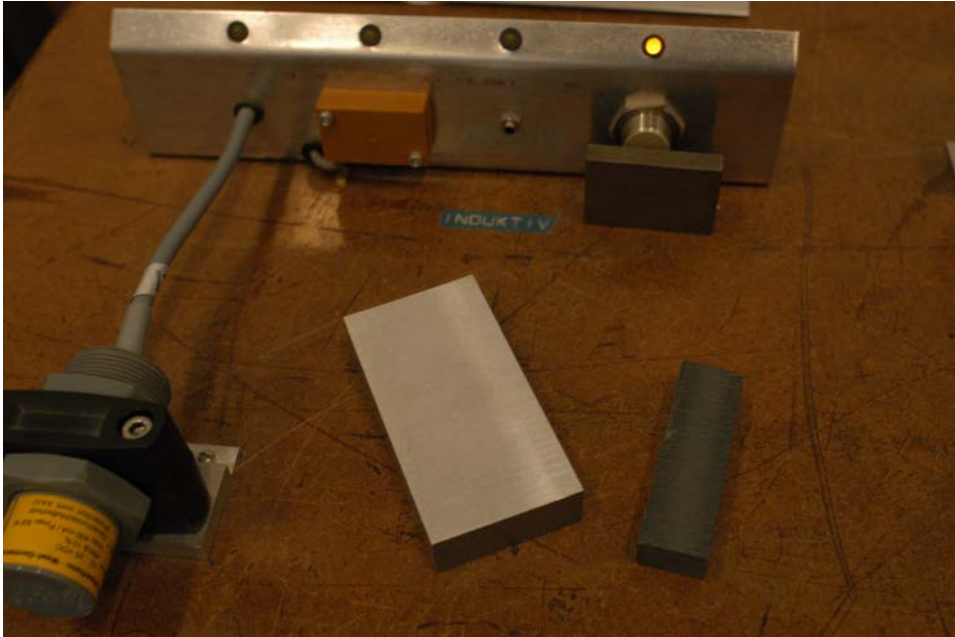
Ta reda på hur en resolver fungerar!

Vilken upplösning behöver vinkelgivaren ha för den första leden (rotationsrörelsen runt robotarmens fundament) hos ASEA Irb 6/2 ha för att upplösningen vid positionering ute i gripdonet skall vara 0.1 mm. Antag att drivmotorn för rotationsaxeln växlas ned 200 ggr.

3.2 Givare och gripdon

3.2.1 *Laborationsmoment – Exempel på givare som används vid automatisering*

I detta laborationsmoment får Du tillgång till ett antal givare som är inkopplade och monterade på demonstrationsbord och i olika laborationsuppställningar. Uppgiften är att studera vad som finns och hur de kan användas i de fall givarna är monterade i en station.



Figur 42 Detaljfotografi från ett ”demonstrationsbord” för givare.

Följande givare kan observeras:

- Induktiva
- Kapacitiva
- Fotoceller, reflekterande och gaffeltyp
- Fotocell med fiberoptik
- Mikrobrytare
- Induktiva analoga

3.2.2 *Laborationsmoment – Exempel på givare och gripdon*

Tre demonstrationsbord med olika typer av gripdon finns i laboratoriet vilka kan studeras under laborationen. Ett av gripdonen är utrustat med en potentiometer med tillhörande signallogik och 4 binära signaler ger information om gripfingrarnas position och kan användas för förreglingsändamål.

3.3 Maskinbetjäning med Irb - förreglingsexempel

3.3.1 Laborationsmoment – Givare som används för förregling - tillämpningsexempel

Handledaren visar tillämpningen ”Maskinbetjäning med Irb” som programmeras under en teknologlaboration som genomförs i olika andra kurser. I laborationsmomentet 3.3.1 körs ett redan färdigt program vars funktion studeras. Den studerade laborationsstationen är bestyckad med en ABB Irb 2000 samt med en enkel modell av en tillverkningscell som består av bearbetningsmaskin, en mätmaskin, palletter för materialtransport samt givare för förregling av programsekvensen mm. Givarna som används är dels induktiva och dels mikrobrytare.

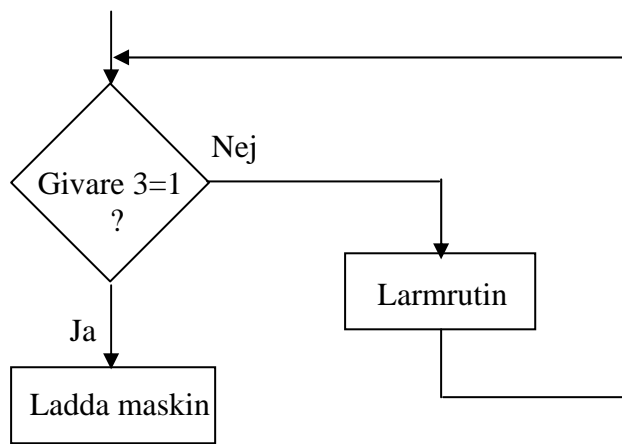
Industriroboten hanterar axlar till och från materialpalletter till en bearbetningsmaskin och en mätmaskin.

Programmet i fortvarighet (kontinuerlig produktion) innehåller följande delar:

- Plundra bearbetningsmaskin
- Ladda mätmaskin
- Hämta axel från IN-magasin
- Ladda bearbetningsmaskin (inklusive maskinstart)
- Plundra mätmaskin och lämna axeln i UT-magasin alternativt låda för ombearbetning beroende på mätresultat

Ett antal givare har installerats så att förregling av programsekvenser kan ske och säkerheten mot haverier därmed öka. I en automatiserad anläggning skall operatören kunna lämna anläggningen utan tillsyn under kortare eller längre tid. Anläggningen skall stanna om något går fel och vara lätt att återstarta efter att operatören justerat till det som fallerat.

Exemplet nedan visar på hur en förregling kan byggas upp i det aktuella programspråket. Ett flödesschema för förreglingsexemplet visas först och därefter visas hur det kan organiseras i robotprogrammet. Rutinen i exemplet förhindrar att roboten försöker ladda bearbetningsmaskinen om inte dörren till spånutrymmet är öppen.



Figur 43. Flödesschema för förreglingsexempel

Programexempel

Antag huvudprogrammet har ”namnet” 3000.

Antag larmprogrammet har ”namnet” 3010.

3000

-

-

110 JUMP TO 140 IF INP 3=0

120 CALL PROG 3010

130 JUMP TO 110

140

- Ladda maskin

-

-

Kommentarer

Hoppvillkor

Anrop av sub-program

Hoppa tillbaka rad 110 för ny test

3010

10 SET OUTP 5

20 WAIT UNTIL INP 7=1

30 RESET OUTP 5

40 RETURN

Kommentarer

Tänd larmlampa

Vänta på kvittens

Släck larmlampa

Återhopp till program

3000 rad 130

Program 3010 kan anropas från valfri plats i huvudprogrammet och återanvändas.

ABB 2000 - I/O inkopplingar i maskinbetjäningssuppställningen i laboratoriet

INGÅNGAR

INP 1=1 =0	Lilla palletten i läge Pallett saknas
INP 2=1 =0	Stora palletten i läge Pallett saknas
INP 3=1 =0	Spånskydd i laddningsläge Spånskydd ej i laddningsläge
INP 4=1 =0	Mätmaskin i mätläge Mätmaskin ej i mätläge
INP 5=1 =0	Mätmaskin i laddningsläge Mätmaskin ej i laddningsläge
INP 6=0 =1	Godkänd detalj Underkänd detalj
INP 7=1	Återstart efter larm
INP 8=1 =0	Bearbetning klar Bearbetning pågår

UTGÅNGAR

OUTP 1=1 =0	Spånskydd till laddningsläge Spånskydd till bearbetningsläge
OUTP 2=1 =0	Låsning av chuck Frigöring av chuck
OUTP 3=1 =0	Mätpallett till mätläge Mätpallett till laddningläge
OUTP 5=1 =0	Larmlampa tänd Larmlampa släckt
OUTP 6=0 =1	Förberedelse för maskinstart Start av bearbetningsmaskin



Figur 44 ABB Irb 2000 i laboratoriet

3.3.2 *Uppgifter under laborationsmomentet*

Studium av hur anläggningen är uppbyggd avseende installation av givare.

Anläggningen har inte tillräckligt antal givare för en säker funktion. Föreslå ytterligare givare, typ och placering, så att en betydligt högre säkerhet mot haverier uppnås!

Skissera en lösning för hur två stycken binära givare kan utnyttjas för att förregla det pneumatiskt drivna klämmande gripdonet som är monterat till robotens handled.
(Ledande fråga: Vilken typ av information kan man vilja ha?)

3.4 Ett industriexempel – Montering av mikrofon i ljusledare Ericsson/Flextronics

I detta laborationsmoment kommer en robotmontering av en mikrofon i en ljusledare att köras. Därefter demonstreras den så kallade Sony SMART-cellens funktion och uppbyggnad.

Demonstrationen av cellen görs av handledaren som visar delfunktionerna och kommenterar monteringscellens uppbyggnad avseende:

- Robotarm med styrsystem
- Gripdonsrevolver med gripdon, ”floating unit” samt signalindikator
- Monteringscellen uppbyggnad
 - Stativ
 - Transportbanor för ”Platen”, palett med fixtur
 - Platen med fixturdelar och eskortminne, dess fixering inför monteringsoperationerna
 - Transportbana för tillsatsdetaljer
 - PLC-styrning för att styra hela monteringscellen
 - Säkerhet
- Materialtillförselalternativ
 - Tape-matning
 - ATC-L bricka



Figur 45 Sony SMART-monteringscell

3.4.1 Uppgifter under laborationsmomentet

Studium av hur anläggningen är uppbyggd avseende installation av givare.

3.5 Laborationsmoment – Kraft/moment-givare för givaråterkopplad styrning

Kraft/moment-givarna är givare som detekterar krafter och moment i olika riktningar som uppstår vid gripning, hantering och bearbetning. Med kännedom om de operationer som utförs är det möjligt att tolka kraft- och momentreaktioner samt styra robotens position.

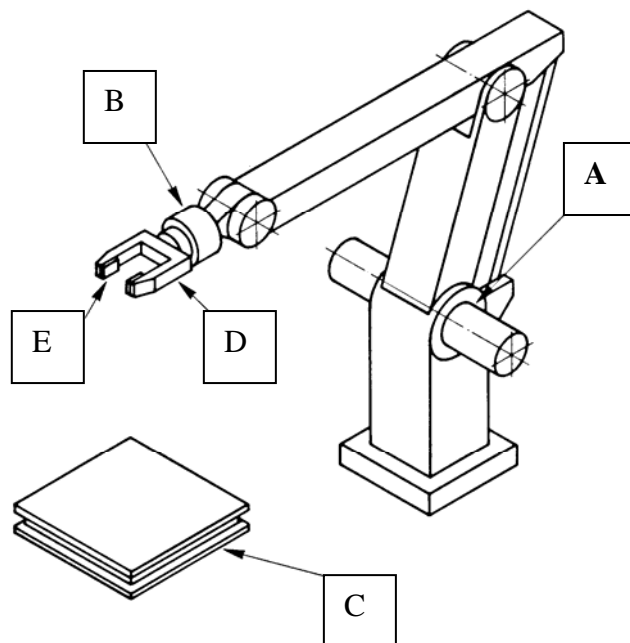
Kraft/moment-givarna för industrirobotar har utvecklats under en trettioårsperiod. Drivkraften för utvecklingen har varit att:

- ge möjlighet att studera monteringsoperationer och bearbetningsoperationer genom kraft/moment-avkänning,
- använda givarna som informationskälla vid adaptiv styrning av robotar vid olika tillämpningar.

De kraft/moment-givarfunktioner som behövs vid olika tillämpningar har inneburit olika konstruktionslösningar för givarna.

Givarplaceringar som kan vara aktuella vid avkänning av kraft/momentreaktioner som uppstår vid hantering, montering eller bearbetningsprocess är: (se figur 46)

- i robotens alla leder (Joint Torque Sensing) - A
- **i robotens handled (Wrist Sensor) - B**
- i fixturen eller motsvarande (Force Pedestal) - C
- i gripfingrarna på gripdonet (Finger Sensors) - D
- i gripytorna på gripdonet (Tactile Array Sensors) - E

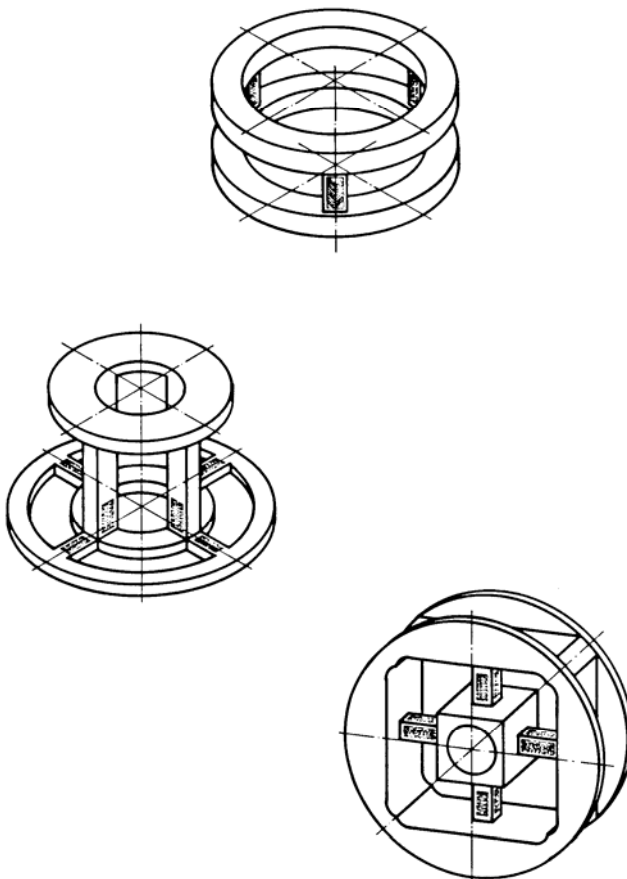


Figur 46. Placeringsmöjligheter för givare för kraft-/momentavkänning.

Givarplacering i robotens handled (Wrist Sensor) - B

Ett stort antal kraft-/momentgivare för montage till robotens handled har utvecklats vid olika forskningsställen. Kraft-/momentgivare av motsvarande typ kan idag köpas som tillbehör till robotar. Kraft-/momentgivare med trådtöjningsgivare applicerade i ett bearbetat block är den mest förekommande. Trådtöjningsgivarna är applicerade på förvekningar i strukturen. Töjningarna översätts till kraftkomponenter och momentkomponenter i ett givarfast kartesiskt koordinatsystem. Flertalet av konstruktionerna kräver att en noggrann kalibrering utförs och för en tredimensionell kraftgivare med sex trådtöjningsgivare (t ex The ASTEK-sensor som finns i laboratoriet) krävs 6 linjärt oberoende belastningsfall för att bestämma den kalibreringsmatris som transformerar bryggspänningarna till kraftkomponenter och momentkomponenter. Olika lösningar för den mekaniska strukturen för kraft-/momentgivare visas i figur 47.

26



Figur 47. Exempel på mekanisk

Shimano och Roth (Stanford) anger fyra viktiga konstruktionskrav för kraft/momentgivare; hög styvhet, kompakt utförande, god linjäritet samt liten hysteres och inre friktion. Konstruktionskraven motiveras också i det refererade arbetet och återges här.

"Hög styvhet ger hög egenfrekvens, vilket medför att störkrafter dämpas ut snabbt. Avläsning kan därmed ske snabbt. Hög styvhet ger också en liten utböjning när sensorn belastas. Liten utböjning medför att korrigering av robotens position och orientering inte blir nödvändig".

De värden på maximal utböjning som anges för givare av den beskrivna typen är av samma storleksordning som upplösningen vid positionering av moderna monteringsrobotar (= 0.05-0.1 mm).

"Kompakt utförande. Genom att placera givaren så nära verktyget som möjligt så minimeras positioneringsfelet när robothanden roteras små vinklar på grund av deformationerna i kraftgivaren. Dessutom är det önskvärt att mäta så stor kraft som möjligt på handen genom att minimera avståndet mellan hand och givare. Slutligen kommer robotens arbetsområde inte att påverkas negativt om givare har små dimensioner".

Små dimensioner ger naturligtvis mindre positioneringsfel som beror av vinkelförändringar. Motivet att hävarmen skall vara liten för att medge högre maximala krafter är något oklart, på grund av att hävarmen för det mesta ges av gripdonets eller verktygets utförande. Tilläggas bör att det är viktigt att givaren har låg vikt så att inte givaren blir dimensionerande vid valet av monteringsrobot.

"God linjäritet. Genom att säkerställa god linjäritet hos givarelementen i förhållande till pålagd last ges möjlighet att utnyttja enkla matrisoperationer. Detta förenklar också kalibreringen av kraftgivare på grund av att endast linjära ekvationer behöver användas".

"Låg hysteres och inre friktion. Inre friktion reducerar känsligheten hos kraftsensorelementen på grund av att friktionen först måste övervinnas innan en mätbar förskjutning kan detekteras. Dessutom ger den inre friktionen en hystereseffekt så att startvärdet inte uppnås efter pålastning med efterföljande avlastning".

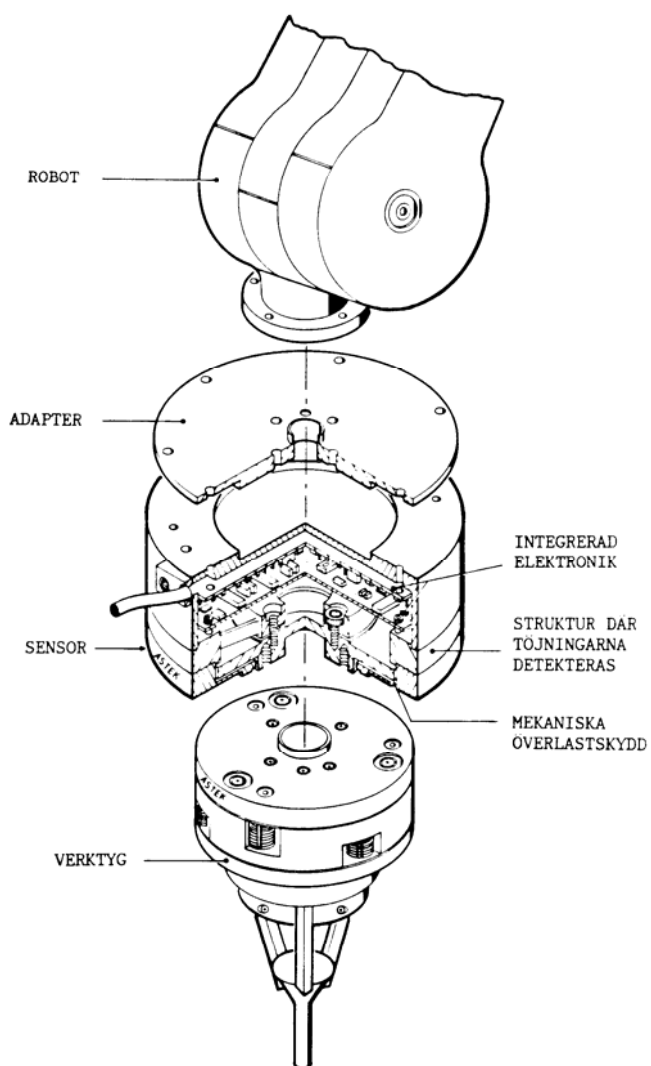
Ett viktigt krav på kraft-/momentgivare är hög tillförlitlighet. Det är dessutom viktigt att givaren tål överlast, vilket kan uppstå vid handhavandet av robot eller vid programkörning.

Kraft-/momentgivare av multikomponenttyp är i de flesta fallen utrustade med trådtöjningsgivare på grund av att elementen är små, billiga och enkla att använda. Det bör dock påpekas att den konstruktiva utformningen ger höga kostnader på grund av höga toleranskrav på de mekaniska delarna i konstruktioner, precisionsarbetet vid montering samt att individuell kalibrering av varje givare krävs.

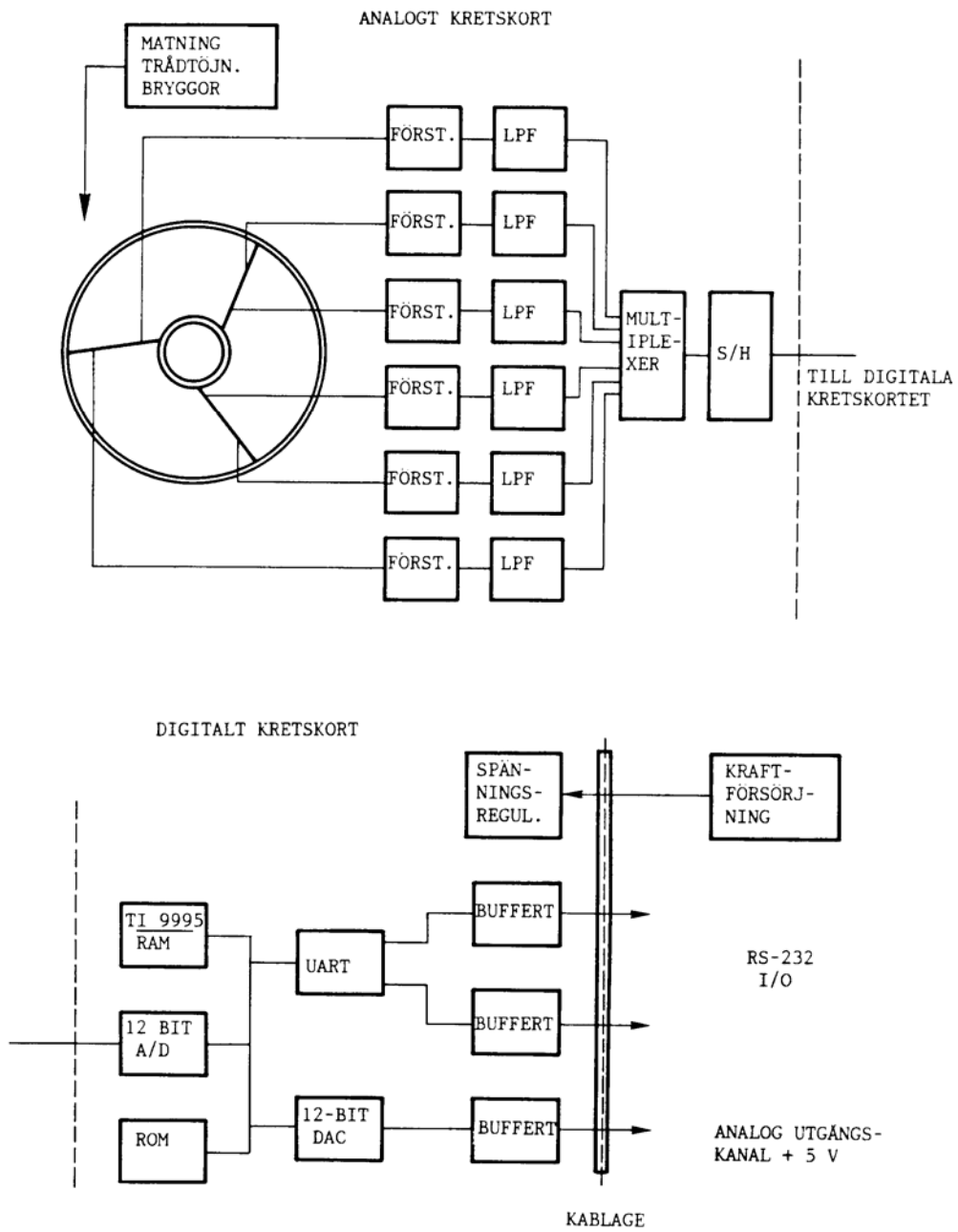
Shimano och Roth beskriver en metod för automatisk bestämning av kalibreringsmatrisen för en kraft-/momentgivare monterad till industrirobotens handled. Metoden innebär att tillräckligt antal linjärt oberoende belastningsfall skapas genom att roboten positionerar en känd last i erforderligt antal positioner. Kalibreringsmatrisen kan därefter bestämmas. Svagheter med metoden är att roboten måste kunna positioneras med hög absolutnoggrannhet.

Utnyttjande av trådtöjningsgivare kräver också eftertanke vid konstruktionen så att känsligheten för temperaturvariationer minimeras.

Signalbehandlingen för multikomponentgivare sker i digitaliserad form med hjälp av mikroprocessorer. Mjukvarorna för de på marknaden förekommande tre-dimensionella kraft-/momentgivare ger möjlighet till nollställning i aktuell attityd med aktuell last vilket också kan utnyttjas för att kompensera för temperaturdrift. Mjukvarorna ger också möjlighet att förflytta origo för det koordinatsystem där momentet presenteras och därigenom förenklas tolkningen av kraft-/momentensignalerna.



Figur 48. Exempel på en kraft-/momentgivare. (Ref. Barry Wright Inc)



Figur 48. Systemuppbyggnad för en kraft-/momentgivare. (Ref. Barry Wright Inc)

För den Kraft/moment-givare som visas i Figur 47 och 48 gäller följande.

Trådtöjningsbryggornas utsignaler förstärks och filtreras innan A/D-omvandling sker. De digitala signalerna genomgår därefter följande signalbehandling:

- Läsning av de 6 kanalerna.
- Kontroll om överlast föreligger.
- Filtrering.
- Signalerna från obelastad sensor i aktuell attityd subtraheras från aktuell utsignal.
- Multiplikering av sensorsignalen med en kalibreringsmatris som resulterar i utdata i form av tre kraftkomponenter och tre momentkomponenter i ett givarrelaterat koordinatsystem.
- Gränsvärdeskontroll.
- Transformerings till aktuellt utdataformat.

Programförloppet genomlöps på tiden 2.08 ms, vilket ger den maximala mätfrekvensen 240 Hz för 6 kanaler och 480 Hz för 3 kanaler.

Mikroprocessorn som utför signalbehandlingen och exekvering av användarens olika kommandon, väntar vid spänningstillslag på tecknet Carrige Return (ASCII = 13). När tecknet sänds bestämmer givaren kommunikationshastigheten och anpassar sin mottagnings- och sändningshastighet.

Allmänna data för ASTEK-sensorn

Mätområde:	
(Kraftkomponenter)	+/- 200 N
(Momentkomponenter)	+/- 4000 Nmm
Mätupplösning:	
(Kraftkomponenter)	0.1 N
(Momentkomponenter)	2 Nmm
Noggrannhet:	0.2 % av fullt mätutslag (0.4 N, 8 Nmm)
Temperaturdrift:	0.1 %/ grad C (Maximalt värde)
Hysteres:	0.1 % efter maxbelastning
Dimensioner:	Diameter 120 mm, Höjd 55 mm
Vikt:	0.5 kg
Omgivningstemperatur:	0-55 grad C
Spänningsmatning:	+ och - 16 V (DC)
Givaren är programmerbar och kommunikation sker via RS-232-länk	