

PROJECTE
ARQUITECTURA DELS CONTROLS NUMÈRICS - APLICACIONS

Antoni Viadé Riart

Abril de 2009

I. Introducció i Objectius del Projecte

II. Conceptes generals

A.Generalitats. Breu història

B.Tipus de controls numèrics

1. Controls numèrics modulars
2. Controls numèrics compactes
3. Evolució i tendències

III. Arquitectura interna

A.Anàlisi funcional

1. Mòduls de relació amb l'operari
2. Mòduls de relació amb la màquina

B.Software

1. Divisió en mòduls simultanis
2. Gestió de programes. Edició
3. Interpretació de programes
4. Monitorització
5. Generació de trajectòria
6. Servo

C.Hardware

1. Processadors
2. Eixos de moviment
3. Senyals d'entrada-sortida

IV. Elements d'accionament d'eixos

A. Motors i etapes de potència

1. Motors DC, Motors AC
2. Motors pas a pas

B. Captadors de posició

1. Captadors lineals
2. Captadors rotatius

V. Regulació d'un eix

A. Servo de velocitat

B. Servo de posició

1. Consideracions d'estabilitat
2. Connexionat bàsic
3. Resolució de captació
4. Determinació de l'origen
5. Paràmetres del servo

C. Alarmes i seguretats

1. Alarmes externes cablejades directes
2. Alarmes internes de funcionament

VI. Senyals d'entrada-sortida

A. Senyals digitals

1. Connexionat bàsic
2. Senyals descodificats

3. Senyals codificats
4. La cadena d'emergència
5. Altres senyals de seguretat

B. Senyals analògics auxiliar

VII. Aplicacions de CNC

A. Posicionat

1. Aplicacions d'alimentació de peces
2. Processos de treball perpendicular
3. Aplicacions de punxonat
4. Altres aplicacions multi eix
5. Seqüencialitat / processat simultani
6. Moviment curt - velocitat ràpida
7. Problemàtica moviment - aturada precisa

B. Contornejat

1. Interpolació lineal
2. Interpolació circular
3. Altres formes de programació d'interpolació circular
4. La interpolació lineal per trams
5. Algunes consideracions geomètriques
6. Exemples d'aplicacions de contornejat
7. Moviment de contorneig uniforme

C. Una aproximació al control adaptatiu

1. Presetting
2. Autogeneració de programes. Copiat

D. Comunicació amb l'exterior

- 1. Comunicació bàsica**
- 2. Programes DNC**
- 3. Sistemes CAD-CAM**

VIII. Conclusions

I. Introducció i Objectius del Projecte

Podríem definir un control numèric com un ordinador industrial orientat a comanar de manera controlada el moviment físic d'un sistema mecànic mòbil, a partir d'ordres elaborades numèricament.

Les sigles originals NC (Numerical Control) es refereixen al comandament de moviments d'eixos a partir de patrons predefinitos numèricament (targetes perforades, patrons mecànics, etc.). En certa manera, algunes joguines antigues, o fins i tot una "pianola de manivela", podria considerar-se un NC, com a enginy preparat per reproduir de forma controlada una sèrie de moviments, seguin un "programa" o patró susceptible de ser modificat (canviant el "bombo" o patró de la "pianola", es canvia la peça de música que reproduceix).

Les sigles CNC (Computer Numerical Control), fan referència a un control numèric computeritzat, en front de les antigues NC, que van desaparèixer definitivament la dècada dels 70, amb la irrupció dels microprocessadors.

Finalment, i deixant de banda definicions teòriques, etimològiques o fins i tot exòtiques, el que avui dia es coneix per Control Numèric, és un ordinador industrial especialitzat en governar les operacions i moviments d'una família de màquines (anomenades màquines-eina) destinades a la fabricació, transformació i manipulació mecànica de peces.

El fet de no ser ordinadors "de propòsit general", sinó més aviat uns equips altament especialitzats, n'ha impedit la standarització, tant en la seva construcció hardware i programari intern, com fins i tot en les seves funcionalitats i llenguatge d'operació de cara a l'usuari.

Amb tot, el que sempre han de complir són dues premisses ineludibles:

- Han de governar les operacions de la màquina amb una màxima precisió
- Han d'oferir una gran facilitat d'operació (són uns ordinadors, l'operador dels quals no sol tenir una formació informàtica)

En aquestes condicions, la tecnologia i prestacions dels controls numèrics, han evolucionat arreu, al mateix ritme que ho han anat necessitant les màquines-eina del mercat, i no es pot dir que hi hagi multitud de fabricats arreu del món.

Considerant l'entorn més proper (Deixant de banda Estats Units, i el Sud-Est asiàtic), a Europa s'han desenvolupat els controls numèrics bàsicament als països amb una certa tradició en fabricació de maquinària (Alemanya, Itàlia, i en menor mesura França). A Espanya, on els productors de maquinària es concentren a Euskadi, no es

pot pas dir que abundi la tecnologia CNC, que es limita a DOS (!) fabricants de controls numèrics de gamma mitja-alta. (un a Euskadi i l'altre a Catalunya).

Però no tot s'ha d'acabar amb "fabricants" de Controls Numèrics.

La necessitat de governar controladament processos amb moviments apareix molt sovint en multitud d'aplicacions que van mes enllà de les màquines tradicionals. Així, des de la gestió d'un magatzem robotitzat, fins a la construcció d'una màquina especial d'enfilat d'agulles hipodèrmiques, passant per la fabricació de somiers, o la inserció de xips a una placa electrònica, ens planteja una problemàtica funcional que només es pot resoldre amb la tecnologia d'un control numèric.

En aquest sentit, el disseny d'una solució que podria semblar una tasca impossible, ha deixat de ser-ho en popularitzar-se les eines de disseny informàtic, i els perifèrics i accionaments a l'abast.

El que pretén aquest treball és recopilar i exposar els requeriments que ha d'acomplir el disseny d'un control numèric pel que fa a la seva construcció i desenvolupament interns.

Tot exposant l'arquitectura interna dels CNC, es fa esment, a les característiques hardware a nivell de blocs, i sobretot als requeriments de disseny i funcionalitat dels mòduls software i programari intern, entrant amb un cert detall en la majoria de funcions, algorismes i macroinstruccions internes.

El control numèric no és un ordinador per treballar-hi aïlladament, sinó que va íntimament relacionat amb els accionaments i transductors als que s'ha de connectar.. És per això, que es fa una descripció de cada un d'aquests elements, les diferents tecnologies a l'abast, i en quina mesura influeixen i condicionen la pròpia arquitectura interna de disseny i construcció dels CNC.

Finalment, el disseny d'un control numèric, està fonamentalment condicionat pel tipus de màquina que pretén governar, no solament a nivell de construcció, sinó sobretot pel que fa a les seves capacitats d'interacció amb l'operari, i les funcionalitats de programació dels moviments i operacions. Es per això, que de forma continuada al llarg de gairebé tots els capítols, es té present el tipus de màquina o aplicació relacionada amb el tema que es tracta en cada moment, i es descriuen les característiques de tot un seguit d'aplicacions (convencionals i no tant.)

II. Conceptes generals

A. Generalitats. Breu història

L'aparició dels primers equips de control numèric es remunta als anys quaranta.

Es tractava d'aconseguir automatitzar les operacions de mecanització necessàries per a fabricar peces concretes.

L'objectiu era múltiple:

- obtenir perfils i formes de geometria complexa
- mecanitzar les peces amb la màxima precisió
- garantir una total repetitivitat en les característiques de les peces fabricades.
- Reduir els temps de fabricació i preparació.
- Mantenir un cost d'elaboració moderat.

Fou al si de l'indústria aeronàutica on primer es plantejà la necessitat de realitzar mecanitzacions de peces de manera molt precisa, i d'acord amb geometries que obeïen a expressions matemàtiques conegudes (així va ser, per exemple, amb l'hèlix d'un helicòpter)

Aquesta necessitat portà a desenvolupar els primers equips capaços de controlar numèricament els moviments coordinats dels eixos d'una màquina, tot seguint una trajectòria definida prèviament mitjançant un algorisme matemàtic.

Tot i tractar-se d'una aplicació que havia estat desenvolupada amb el propòsit de resoldre una problemàtica molt específica, amb la seva culminació es va obtenir també un element flexible que permetia fabricar diferents peces, sense altra tasca que canviar l'algorisme matemàtic a introduir-hi.

B. Tipus de controls numèrics

Poden establir-se diferents criteris a l'hora d'agrupar els diferents tipus de controls numèrics en famílies amb característiques comunes

Es consideraran dos grans grups, en funció de la seva arquitectura de construcció interna.

1. Controls numèrics modulars

Són els més utilitzats en aplicacions generals d'automatització.

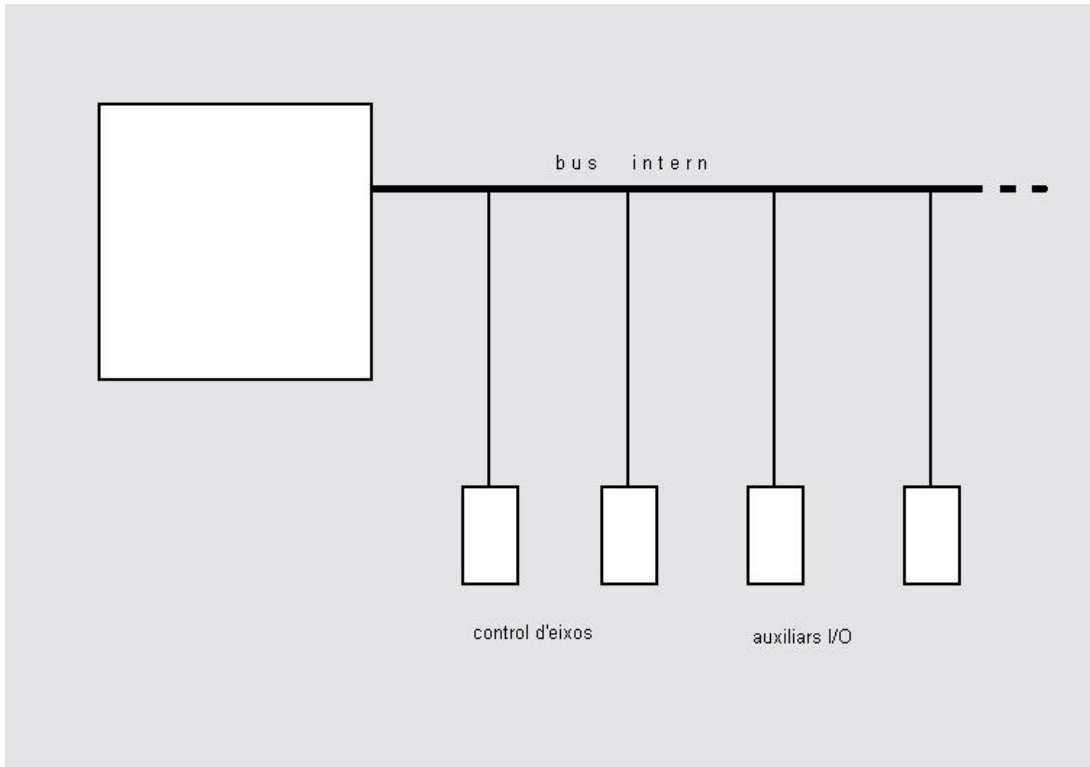
De filosofia de construcció similar a la dels autòmats programables, es diferencien d'aquests en la seva capacitat per a gestionar moviments simultanis d'interpolació d'eixos.

La seva arquitectura interna és configurable. Generalment disposen d'una unitat central de procés comuna, on s'hi poden incorporar diferents targetes en funció dels elements que es desitja comanar.

D'aquesta manera, un control numèric és vàlid per a aplicacions que requereixin gestionar el moviment d'un únic eix, i a l'hora, incorporant-hi les targetes oportunes, es pot trobar el mateix equip de control comanant una aplicació robotitzada gestionant sis o més eixos simultanis.

La modularitat s'estén també als diferents processos paral·lels al moviment dels eixos.

Per aquest motiu, disposen generalment d'altres targetes de connexió destinades al govern de senyals d'entrada-sortida digitals, senyals analògics, pilotat de motors pas a pas, botoneres remotes de maneig, connexió amb autòmats programables externs o altres equips CNC, així com targetes de comunicació sèrie amb altres ordinadors exteriors.



La seva operatòria i la relació amb l'usuari, també sol ser configurable, bé mitjançant macroinstruccions executables directament a la seva botonera exterior, bé emprant com a panell un ordinador compatible extern.

També poden ser considerats dins de la família dels controls numèrics modulars, aquelles targetes amb funcionalitat de control numèric que ha estat dissenyades per a incorporar-se dins d'altres equips. Particularment interessant és el cas en que aquests dispositius incorporen internament nodes per ser inclosos a estructures enllaçades via bus de camp o bus industrial.

Gestionen autònomament la relació amb la màquina, és a dir, la interpretació i execució seqüencial del programa-peça, i la generació de trajectòria i servos de posició.

La relació amb l'usuari, és a dir, les pantalles de presentació de dades i d'edició, la operatòria i la programació, corren a càrrec de l'equip dins del qual van inserides.

Generalment van incorporades dins d'ordinadors centrals i grans autòmats programables.

Els Controls numèrics modulars tenen com a principal avantatge, la seva capacitat per a adaptar-se a aplicacions específiques, les característiques de les quals no coincideixen amb les d'una màquina-eina convencional. Això pot suposar una optimització en el cost de l'equip i una simplificació en el funcionament final de l'aplicació.

Com a inconvenient, es pot esmentar que cal "construir" l'aplicació, tant des del punt de vista del hardware, definint els mòduls que es necessiten, com pel que respecta al software, on cal crear les pantalles de presentació de les dades i d'edició de programes, així com el llenguatge de programació, amb les oportunes macroinstruccions paramètriques.

Els fabricants solen proporcionar programes d'ajuda per a resoldre aquestes dificultats.

2. Controls numèrics compactes

L'existència d'alguns tipus de màquina-eina molt comunes i amb unes característiques de funcionament molt específiques ha motivat l'aparició d'unes famílies de controls numèrics directament orientats al seu govern.

Són equips que han estat concebuts i dissenyats per a governar un tipus determinat de màquina-eina (alguns d'ells fins i tot dissenyats pel mateix fabricant de la màquina)

Amb aquest propòsit, disposen d'un panell frontal que incorpora operacions específiques de la màquina.

Per a optimitzar-ne el procés de fabricació, solen ser d'arquitectura rígida (sovint mono tarja).

De la mateixa manera, tant l'operatòria de maneig, com les funcions i instruccions de programació solen ser fixes i tendint a una certa estandardització.

- Programació de condicions de moviment mitjançant "funcions G".
- Programació de la velocitat d'avanç mitjançant "Codi F".
- Codificació de funcions d'entrada i sortida digital mitjançant "Funcions M".

- Gestió integrada de canviadors d'eina seqüencials i canviadors "RANDOM".
- Origen flotant i diferents orígens de coordenades.
- Panells frontals amb polsadors específics per a les funcions tradicionals "single block", "tool inhibit", "tool man", "dry run", etc.
- Simulació gràfica de les operacions.

Malgrat presentar moltes funcions i característiques comunes, és possible diferenciar clarament els controls numèrics en funció del tipus o família de màquines a la que van adreçats.

- **Control numèric per a fresadora o centre de mecanitzat.**

És el més estàndard i universal de tots.

La nomenclatura de les seves funcions i instruccions és generalment utilitzada en la majoria de controls numèrics, constituint el que vulgarment s'anomena "codi de programació ISO".

Molt utilitzats inicialment pels sectors amb demanda de fabricació de peces en sèrie, darrerament incorporen prestacions orientades a realització de peça única, com són la matriceria i el motlle.

És el cas, per exemple, de les funcions de copiat i reproducció de models, dels evolucionats programes DNC, de la integració de software de programació assistida, de la potenciació de la programació semiautomàtica, etc.

Com a característiques més genèriques es poden esmentar:

- amb possibilitat de contornejar simultàniament de tres a sis eixos.
- cicles d'eina" específics (taladrat, roscat, caixeres, etc.)
- Correcció longitudinal unidimensional, i correcció radial al pla.

- Canvi de pla de treball
- Funcions de contorneig ràpid
- Enllaç DNC amb ordinador exterior.

També solen incorporar controls numèrics per a fresadora, les màquines de tall per làser, donat que la geometria de treball és molt similar.

- Control numèric per a torn

Orientat bàsicament a la fabricació de les sèries mitjanes i grans.

La seva funcionalitat, inicialment bidimensional i molt simple, s'ha vist posteriorment sofisticada amb la incorporació de prestacions encaminades a gestionar generacions de torns mes complexes.

És el cas de torns amb multi-treball, eines motoritzades que permeten "fresar" la peça, contrapunts motoritzats, etc.

Alguns models incorporen un mòdul de software de programació conversacional, o fins i tot un mòdul intern CAM de programació assistida amb simulació gràfica del treball a realitzar.

Amb tot, disposen d'algunes funcions de programació que els diferencien clarament dels models CNC per a fresadora:

- programació de cotes en diàmetre o en radi
- programació de la velocitat d'avanç en mm/min i en mm/volta.
- Moviment amb velocitat de tall constant.
- "Cicles d'eina" específics (desbastats longitudinals i transversals, roscats interiors i exteriors, etc.).
- Corrector radial d'eina, i corrector longitudinal bidimensional.
- Zones de seguretat
- .Gestió del capçal en velocitat i posició.

- **Control numèric per a punxonadora.**

Encara que no tan estesos com els equips per a fresadora i torn, alguns fabricants de CMC han desenvolupat controls numèrics específics per a punxonadora.

Requereixen una gran rapidesa de processat i interpretació (block-time), i una optimització en el tractament dels senyals d'entrada-sortida.

A nivell de programació, es potencia la utilització de cicles flexibles i paramètrics.

- Funcions de "nibbling" lineal i circular
- Cicles específics de punxonat de figures (reixes, ranures, cercles, etc.)
- Gestió d'una zona de seguretat per a les pinces.
- Funció de re posicionat de la xapa
- Orientació angular automàtica del punxó

- **Control numèric per a plegadores**

Són uns controls molt diferenciats, que han desenvolupar una simulació gràfica molt sofisticada i orientada a l'especial geometria de treball d'aquestes màquines

- Amb cicles específics de plegat
- Contemplant deformació i recuperació del material.
- Programació angular
- Simulació gràfica específica.
- Control per a corbadora de tubs

Són equips que generalment han estat desenvolupats a partir de la comanda del mateix fabricant de la màquina.

Sense grans complexitats pel que fa a la gestió dels moviments, requereixen una programació especial en forma de macroinstruccions que associen varies operacions a cada moviment.

També han de tenir en compte la flexibilitat del material a l'hora d'obtenir un determinat angle de corbat del tub, per tal de compensar la recuperació.

- Cicles especials de corbat
- Control de la recuperació de deformació
- Gestió de l'alimentació del tub
- Control de col·lisió del tub doblegat.

- **Control per a mecanització de fusta.**

Existeixen varietat de controls numèrics especials, fabricats per encàrrec pels fabricants de taladres i fresadores de fusta. També hi ha control especials per a taladres multibroca.

Aquestes màquines requereixen gestionar conjunts o "pintes" de taladres múltiples, que poden activar-se indistintament.

La necessitat d'aconseguir una programació raonablement simple, fa pràcticament inviable la utilització d'altres controls numèrics de geometria i funcionalitat similar, com podrien ser els de fresadora.

- funcions de contornejat ràpid
- Inhibició de rampes. Altes velocitats
- Gestió multi-taladre

- **Control numèric per a rectificadores i esmoladores.**

Són equips generalment desenvolupats pel propi fabricant de la màquina.

Requereixen unes altes velocitats d'interpolació, i una alta freqüència de mostreig al servo, per garantir alta precisió a avanços elevats.

Solen permetre operacions complexes i interpolacions realitzades semi automàticament a partir d'instruccions de panell frontal.

- Cicles d'eina especials

- Destalonats
- Cicles semiautomàtics
- Interpolacions manuals des del panell frontal.

- **Control numèric per a electro.erosió de fil.**

Són uns controls numèrics especials. La programació de les peces és molt complexa, i això fa que funcionin bàsicament a partir de la captura del programa des d'un ordinador extern provist d'un software CAM

- Gestió automàtica de cinc eixos
- Treball a partir de la programació dels perfils
- Operatòria de canvis d'electrode
- Comunicació DNC
- Detector de ruptura de fil

- **Control numèric per a electro-erosió de penetració.**

Disposen d'una gestió especial de l'eix vertical, atenent a un servo que manté un valor constant del camp elèctric entre el punxó i la peça.

Alguns equips sofisticats permeten fins i tot realitzar un contornejat a l'espai. Aquesta prestació s'aconsegueix fent extensiva la gestió que habitualment es feia únicament sobre el moviment vertical, al moviment combinat de tres o quatre eixos de la màquina.

- Gestió del "gap"
- Funcions d'orbitació
- Contornejat amb retrocés.

- **Control numèric per a robots.**

Són equips capaços de pilotar múltiples eixos simultanis.

La seva programació es sol fer per aprenentatge i captura de posicions reals, amb l'ajut de botoneres remotes de comandament.

- Funcions "teach-in" i "play-back"
- Paleta remota de maneig i programació
- Posicionat ràpid amb gestió de punts de pas
- Programació per aprenentatge.
- Conversió de coordenades a sistema SCARA.

- **Control de posicionament.**

Són equips concebuts per a manegar un o dos eixos com a màxim, i constitueixen la mínima expressió del control numèric.

En ser únicament per a posicionament, normalment no contempnen interpolacions lineals ni circulars.

La visualització sol ser amb visors simples, integrats a un panell frontal de reduïdes dimensions, generalment integrat al xassís de l'equip.

Tot i que tots aquests equips van molt orientats a un determinat tipus de màquina-eina, és molt freqüent la seva utilització en aplicacions o màquines especials, les característiques de les quals tenen trets comuns amb aquelles per a les que ha estat dissenyat el control.

Realment, la diferència essencial entre cada un dels tipus de controls numèrics abans relacionats, radica en la operatòria i algunes funcions de programació.

La gestió dels moviments, i la relació interna amb els elements de les màquines (motors, captadors, automatismes), és, la majoria dels casos, pràcticament idèntica.

És doncs normal veure bobinadores equipades amb controls numèrics per a torn, màquines d'oxitall amb CNC per a fresadora, o polidores amb controls de robots.

El motiu rau en el fet que la geometria dels moviments és semblant i, sovint, és més senzill adaptar-se a una operatòria similar, encara que aliena a la màquina, que dissenyar-ne una de nova amb un control numèric modular.

3. Evolució i tendències

Són diversos els factors que condicionen i condueixen l'evolució dels controls numèrics

- Tecnologia de construcció

El desenvolupament de la tecnologia microelectrònica permet d'incorporar en la construcció dels equips components cada cop més potents i amb més capacitat de processat d'informació

o Processadors i components

La utilització de microprocessadors de 32 bits multiplica les possibilitats dels equips permetent, no solament un treball multi tasca molt eficient, si no millorar individualment les prestacions de cada tasca, obtenint altes velocitats de mostreig en els servos dels eixos, disminuint el temps de processat dels programes, millorant la visualització en temps real, i permetent d'incorporar mòduls de software amb algorismes complexos (mòduls CAM i de simulació gràfica).

L'evolució no s'atura, i no solament apareixen equips amb processadors centrals especials de 64 bits, si no que s'estén la utilització simultània de microprocessadors compactes per a gestionar tasques perifèriques (arquitectura multiprocessador)

o Memòria

L'evolució dels dispositius d'emmagatzemament permet disposar de memòries internes de gran capacitat.

Això suposa la possibilitat d'emmagatzemar programes llargs de peces complicades, o bé una gran quantitat de programes-peça en memòria.

o Elements perifèrics

La incorporació de pantalles en color, de cristall líquid o plasma, així com la facilitat per a incorporar panells frontals amb botoneres de membrana, va comportar l'aparició d'equips CNC amb una relació amb l'usuari més senzilla i amigable.

En aquest sentit, l'empenta en el desenvolupament de la tecnologia en l'àmbit multimèdia fa difícil preveure quin serà l'aspecte i el tipus de comunicació que s'establirà en els controls numèrics del futur.

- Tecnologia de muntatge

La soldadura superficial, i els circuits multicapa van permetre, no solament integrar més components en un espai més reduït, si no també incrementar la freqüència de relloige del sistema, mantenint la màxima fiabilitat.

- **Evolució de les màquines-eina**

Òbviament, l'evolució dels equips de control numèric ha d'anar condicionada a la de les màquines que pretenen controlar, és a dir, les màquines-eina.

La progressiva sofisticació es manifesta en la incorporació d'elements perifèrics destinats, tant a aconseguir una millora en els temps de producció, com en augmentar la qualitat i fiabilitat dels productes produïts.

La incorporació de canviadors de pallets automàtics, i canviadors múltiples d'eina, han obligat els controls numèrics a perfeccionar la gestió dels senyals digitals d'entrada-sortida, bé incorporant internament un mòdul PLC propi, bé tenint cura dels processos de comunicació amb aquests elements PLS exteriors.

La utilització de detectors i palpadors externs per a identificar els utilitatges i detectar el tipus d'eina i el seu desgast, ha fet desenvolupar salts condicionals i macroinstruccions capaces d'alterar valors de programa (valors de correctors d'eina, orígens flotants i cots), en funció de les mesures que són capturades cíclicament.

El desenvolupament de sistemes de captura de la geometria d'un model mitjançant palpadors de contacte, deflexió o làser, han obligat a crear les macroinstruccions per a dirigir el moviment d'aquests elements al llarg de la peça.

D'igual manera, ha calgut augmentar la capacitat de la memòria interna, per tal que sigui capaç de recollir el núvol de punts capturat, o bé desenvolupar una conacció ràpida amb un

ordinador extern per tal de bolcar-hi en temps real totes les dades.

La proliferació de sistemes de programació assistida que generen trajectòries a partir de corbes polinòmiques compostes per multitud de punts, és la causa de que alguns controls numèrics disposin d'algorismes de mecanització ràpida a partir de dades traspassades a alta velocitat al CNC (en codi ASCII o binari).

L'existència de centres de treball mixtes (de mecanitzat i tornejat), ha motivat l'existència d'equips de control numèric de gamma alta, capaços de gestionar simultàniament dos o més processos..

També l'evolució dels motors i els seus accionaments, sent capaços de respondre més ràpida i fidelment a les consignes rebudes del control, han fet sofisticar les possibilitats de definició de paràmetres dinàmics com són les rampes d'acceleració i desacceleració (múltiples o no lineals), i els valors de guany (variable segons la posició).

Hi ha cops, però, que les funcions dels controls numèrics no van tant a gestionar noves prestacions, sinó a suplir electrònicament mancances o inexactituds en el comportament i precisió de la pròpia màquina.

Aquest és el cas dels algorismes de compensació d'errors de pas del vis, de compensació de joc, o de correcció de les dilatacions del capçal de la màquina a causa de les variacions de temperatura.

- El procés productiu

Com s'ha vist, l'evolució interna de les prestacions dels controls numèrics va lligada a les de les màquines eines, i a la pròpia evolució electrònica i informàtica general.

De la mateixa manera, les diferents tendències en el futur desenvolupament dels CNC, depenen i dependran de les característiques dels diferents processos productius, intentant adaptar-se a la seva evolució futura.

D'una banda, hi ha la tendència a dotar a cada lloc de treball de la possibilitat d'autocontrol de la seva feina, i de mantenir una certa autonomia o capacitat en la presa de

decisions, per tal d'optimitzar permanentment el procés del propi lloc de treball.

Això suposa dotar d'equip de control numèric de prestacions que permetin la presa de decisions en el que respecta al control de qualitat i el desenvolupament del procés o la peça que es realitza.

En aquest sentit, apunta la incorporació de sofisticats mòduls de CAM als equips de control numèric, i a la progressiva millora en la presentació de les dades, simulació prèvia del treball, gestió interactiva d'eines, operatòries amb menús desplegable i pantalles gràfiques "touch-screen" i, en general, la sofisticació de tot el que respecta a la interrelació entre l'operari i el control numèric.

Aquests controls numèrics, esdevenen veritables ordinadors de gestió, o d'oficina tècnica, sobre els que es poden alterar programes, visualitzar peces de diferents angles, simular diferents processos de mecanitzat, optimitzar la utilització del material, i moltes altres prestacions que, d'aquesta manera es traslladen des de l'oficina tècnica o de mètodes, a "peu de màquina".

Alguns fabricants d'aquests controls numèrics de gamma alta, segueixen utilitzant internament targetes electròniques especialment dissenyades, amb potents microprocessadors i software intern de base específics, sobre els que desenvolupen totes les prestacions de software.

Altres fabricants han optat directament per utilitzar com a base del control numèric, ordinadors de mercat, ja siguin ordinadors personals, o estacions de treball, als que incorporen les targetes internes d'interface amb la màquina, tot aprofitant els sistemes operatius i els softwares de base existents. Això els permet d'integrar-hi fàcilment paquets de software de mercat, tot adaptant-los al món industrial.

Hi ha, però, una segona tendència, molt lligada als processos productius seriat, que apunta justament en la direcció contrària.

En aquest cas, es tracta de "centralitzar la intel·ligència" del procés, interconnexionant cada una de les cèl·lules de treball a un o varis ordinadors centrals, que seran els responsables de gestionar la globalitat del procés.

D'aquesta manera, es limita la capacitat d'actuació o decisió a peu de màquina, i es concentren els mòduls de software a un ordinador remot. Els controls de les màquines esdevenen doncs, simples executors de les instruccions rebudes.

Aquesta filosofia de funcionament és abordada pels controls numèrics modulars.

La seva evolució va encaminada a optimitzar els procediments de comunicació bidireccional.

L'objectiu és rebre i interpretar de forma continuada les instruccions d'operació, processant en temps real les informacions rebudes.

De la mateixa manera, es tendeix a sofisticar el procés de comunicació, de forma que dins i tot es permeti la visualització en temps real de l'evolució del procés de treball o mecanitzat des del propi ordinador remot.

A la cèl·lula de control, a peu de màquina, li correspon la tasca de gestionar el moviment dels eixos i automatismes del sistema, i d'incorporar els transductors necessaris per a capturar fidelment les condicions de treball en cada moment.

L'ordinador central gestiona totalment l'execució del programa-peça, corregint-ne dinàmicament les condicions de treball, en funció de l'estat de les mesures que li va transmetent la cèl·lula de control.

III. Arquitectura interna

Farem una descripció de l'arquitectura de construcció interna dels equips de control numèric.

Es diferenciaran els diferents mòduls que els componen, i es profunditzarà en les característiques de cada un d'ells, tant des del punt de vista de hardware com de software.

L'exposició es farà des d'un punt de vista genèric, sense entrar en detalls concrets de realització, rutines o components, però exposant la funcionalitat de cada un dels mòduls, així com diferents alternatives de realització

A. Anàlisi funcional

Dins de l'organigrama general de funcionament d'un equip CNC, es poden distingir diferents tasques, totes elles integrades, però amb una naturalesa funcional independent.

S'agrupen aquestes tasques en dues grans famílies, atenent a la naturalesa de la missió que duen a terme.

- Tasques que es relacionen amb l'operari.
- Tasques que es relacionen amb la màquina.

Aquesta divisió teòrica, pot correspondre amb una divisió real dels mòduls interns que componen un control numèric.

Pel que fa al software, pot estar dividit en programes independents enllaçats i interrelacionats entre sí.

Aquesta divisió de programes en dos grups, sol començar a l'hora de triar el llenguatge intern de programació.

Els algorismes de relació amb la màquina requereixen una alta rapidesa de procés, i una accessibilitat directa als diferents elements del hardware.

Solen implementar-se directament en llenguatge ensamblador, o bé altres llenguatges de baix nivell recolzats per rutines ràpides en ensamblador.

Per la seva banda, els programes de relació amb l'usuari requereixen un àgil manegament de les dades de la memòria del sistema, una visualització en pantalla del funcionament de l'equip, i una gestió eficaç amb els diferents perifèrics existents.

Per a aquestes tasques es recomanable triar llenguatges de mes alt nivell, tot aprofitant-ne les llibreries de macroinstruccions i funcions existents.

Pel que fa al hardware, molts fabricants opten per diferenciar físicament la part de control numèric relacionada amb la m`quina, de la que es relaciona amb l'operari, responsabilitzant-ne a microprocessadors i sistemes diferents i interrelacionats.

La dificultat tècnica rau en garantir la fluïdesa en el traspàs de dades entre un processador i l'altre.

Una possible solució és compartir una àrea de registre, accessible des d'un dels micros a mode de memòria, i des de l'altre mitjançant una adreça específica de direccionament. Altres fabricants opten per responsabilitzar un tercer microprocessador de l'enllaç entre sistemes.

En aquest sentit, alguns fabricants duen a l'extrem aquesta divisió funcional, emprant un ordinador compatible per a la relació amb l'usuari.

En aquest cas, el software es desenvolupa recolzant-se en el mateix sistema operatiu del l'equip, tot emprant les seves eines, comandaments i funcions per a accedir als diferents perifèrics.

Així es resol de forma immediata el tema de la visualització de pantalla i gestió de teclat, a l'hora que s'incorporen al control numèric elements propis d'un ordinador convencional com són canals de comunicació i sistemes d'emmagatzemament massiu, la implementació dels quals fora molt costosa emprant com a base un sistema no compatible.

Una placa independent especialment dissenyada, amb un microprocessador de gran potència seria la responsable de gestionar les operacions de la màquina.

En aquest cas, l'enllaç entre els dos mòduls es realitza mitjançant el bus intern de l'ordinador, o fins i tot via un bus de camp extern d'alta velocitat.

Altres solucions, es basen en integrar targes o monoxips amb funcionalitat de CNC dins d'entorns d'estacions de treball, o d'instal·lacions generals de PLC. En aquests cassos, la relació amb l'usuari no és altra que la ja existent en l'entorn general, és a dir, la mateixa que proporciona l'equip "continent".

1. Mòduls de relació amb l'operari

Constitueixen el nucli de l'equip encarregat de la gestió de les dades, i contempnen des de la seva introducció i verificació, fins al seu processat i presentació de resultats a l'usuari.

- Organització i gestió interna de dades i programes

Com a suport d'aquesta informació, s'ha passat dels primitius rodets de cinta perforada que havien de ser llegits abans de l'execució de qualsevol programa, als sistemes d'emmagatzemament actuals.

L'accessibilitat i facilitat en la modificació d'aquestes dades, depèn de la naturalesa de la informació, estant restringida en alguns cassos, mitjançant contrasenyes o codis especials, a usuaris autoritzats.

- Programes-peça de l'usuari

Normalment són emmagatzemats directament en format ASCII.

Cada programa-peça és identificat per un codi i un nom, i conté internament la seqüència d'operacions corresponents a la peça a mecanitzar o realitzar.

- coordenades dels punts final de moviment.
- Definicions del tipus de moviment (posicionat, lineal, circular, etc.)
- Mètode de programació de les cotes (coordenades absolutes/incrementals, origen de coordenades, factors d'escala, girs, etc.).
- Condicions de cada moviment (velocitat, correctors d'eina o trajectòria, etc.)
- Activació d'elements auxiliars (capçals, refrigerants, canvis d'eina, ...)

Aquestes operacions van gairebé sempre agrupades en línies de programa anomenades "blocs" o seqüències", que seran executades seqüencialment, per rigorós ordre d'aparició. Cada bloc engloba una o varies instruccions elementals.

La codificació del programa, així com les restriccions en la possible constitució de cada bloc, es fan d'acord amb unes normes i un llenguatge específic definits pel fabricant.

Generalment organitzats dins d'un catàleg o directori, els programes-peça han de ser fàcilment accessibles i identificables per l'usuari.

- **Valors dels correctors d'eina**

La trajectòria originalment programada per l'usuari respon al perfil o la geometria de la peça a realitzar, i es correspon amb les mesures d'un plànol, o bé a partir de mesures preses directament sobre un model preexistent.

La trajectòria real que ha de descriure la màquina per a realitzar el treball desitjat, ha de ser modificada en funció de la geometria de l'eina amb que es treballarà la peça.

Aquesta alteració l'ha de calcular automàticament el control numèric en executar el programa, tot tenint en compte la geometria de l'eina amb la que es treballarà.

Per això, cal que el CNC permeti definir prèviament una taula on s'hi introdueixen les dades geomètriques essencials de cada eina.

Aquestes dades i paràmetres de les eines, seran òbviament diferents segons el tipus de màquina amb que s'està treballant.

Així, mentre a les fresadores es parla del radi i la longitud, als torns apareix el radi de plaqueta, a les punxonadores i polidores el perfil global, etc.

- **Llista d'ubicacions d'eines (canviadors RANDOM i ESTÀTICS)**

Els controls numèrics han de ser capaços de gestionar totalment un canviador automàtic d'eines.

Aquests canviadors disposen d'un "magatzem" on s'ubiquen les diferents eines, col·locades a caselles numerades.

A molts d'aquests magatzems hi ha una correspondència biunívoca entre cada eina i la seva casella (cas dels magatzems giratoris del tipus "caroussel").

Això vol dir que el CNC s'adreçarà sempre a una posició o casella concreta del canviador, en sol·licitar una determinada eina de treball. Un cop acabar el treball, "deixarà" l'eina a la mateixa casella física del magatzem d'on l'havia pres.

Altres canviadors automàtics d'eina, en realitzar un canvi, no deixen l'eina anterior en una casella concreta del magatzem, sinó que la deixen en el lloc que ocupava la següent eina que l'ha de substituir en el treball.

Això vol dir que la posició d'una eina al magatzem no és fixa, sinó que depèn dels canvis d'eina realitzats prèviament a la seva selecció.

Un control numèric capaç de gestionar integralment aquest tipus de magatzems, ha de mantenir en memòria una taula on s'indiqui quina eina hi ha en tot moment en cada casella. És el que s'anomena "gestió de canviador RANDOM".

Altres sistemes de canvi d'eina es basen en ubicar les eines uns utilatges sobre la mateixa taula de treball de la màquina. Per canviar l'eina, els eixos de la màquina s'han de desplaçar cap al punt on hi ha la casella corresponent.

En el cas d'aquest tipus de canviador (anomenat "canviador ESTÀTIC"), el CNC ha de mantenir una taula amb les coordenades absolutes de cada punt d'ubicació.

- **Valors dels orígens-peça**

La programació de les coordenades dels moviments dels eixos de la màquina es fan sempre referits a un origen de coordenades.

La pròpia màquina té internament un origen de coordenades fix anomenat "origen màquina".

Això no obstant, la referència de les cotes del programa a aquest origen és farragosa, i presenta l'inconvenient de fer les cotes dependents de la ubicació de l'utilatge sobre la taula de la màquina.

Per a resoldre aquest problema, la programació es fa referint les cotes a un "origen flotant".

Aquest origen flotant es fa coincidir normalment amb l'origen de coordenades del plànol de la peça.

Per a facilitar les tasques de programació, molts controls numèrics permeten definir una sèrie d'origens peá diferents, i emmagatzemar-los en memòria per a la seva utilització en posteriors programes.

Això comporta la necessitat de reservar una àrea de memòria mantinguda específica per a emmagatzemar aquesta informació.

- **Macroinstruccions definibles per l'usuari**

S'anomenen macroinstruccions a una sèrie de rutines i programes paramètrics que solen portar predefinitos alguns controls numèrics.

Tenen com a objectiu el facilitar la programació de peces en aquelles operacions que englobin una sèrie de moviments i operacions amb unes característiques comunes.

Els mateixos cicles fixes d'eina podrien ser considerats com un cas particular de macroinstruccions internes.

En altres casos, s'ofereix a l'usuari la possibilitat de construir ell mateix aquestes macro-instruccions, d'acord amb les seves pròpies necessitats.

Són normalment programades en el mateix llenguatge del CNC dels programes-peça (és a dir, en "codi ISO"), i la seva ubicació a la memòria interna del CNC sol ser diferenciada del catàleg general de programes, per tal de garantir-ne la seguretat i integritat.

- **Paràmetres reguladors del moviment de cada eix.**

En el moment de procedir a la posta en marxa inicial de la màquina, cal determinar els paràmetres reguladors de la dinàmica de cada eix, d'acord amb les característiques mecàniques i dinàmiques del seu moviment.

- rampes d'acceleració i desacceleració
- guany de realimentació
- naturalesa del captador de posició
- resolució de captació
- velocitat màxima

- error de seguiment i de posició màxims
- límits de recorregut.
- Taula de compensacions d'error de pas de vis i de joc mecànic
- ...

Aquests paràmetres són emmagatzemats en una àrea de memòria d'accés restringit o protegit.

- **Paràmetres dels Canals de comunicació**

Modificables per a adaptar el CNC al perifèric al que es vol connectar.

Al cas d'un canal sèrie convencional, serien el baud-rate, paritat, stop-bits, ...

Per als casos de comunicació més sofisticada i DNC, també és possible modificar i parametritzar les variables corresponents, com protocols, caràcters de control, i algorismes check-sum.

- **Paràmetres i temporitzacions per a les funcions d'entrada-sortida**

Per als senyals d'entrada, sol ser paramètric el valor dels filtres de software, així com la funcionalitat específica d'alguna entrada, tot assignant-li una significació específica (FEED-HOLD, EMERGÈNCIA, etc.).

Per a cada senyal de sortida es pot definir el diagrama de temps del perfil del senyal i la seva validació.

Tots aquests valors són emmagatzemats en una taula.

- **Matrius i seqüències d'operació dels senyals d'entrada-sortida.**

Alguns controls numèrics permeten associar a les instruccions input-output del programa-peça, una seqüència d'instruccions elementals internes d'activació, desactivació i espera de senyals.

Es tracta de convertir les tradicionals "funcions M" d'activació i desactivació del capçal de la màquina o del

refrigerant, en eines flexibles d'interrelació amb la maniobra del sistema

La filosofia vindria a ser la d'un "autòmat seqüencial", que desencadenaria l'execució d'un programa auxiliar, cada cop que en el programa-peça aparegués la funció en qüestió.

D'aquesta manera es poden aconseguir funcionalitats complexes dels perifèrics de la màquina, sense complicar-ne la programació standard.

Aquests programes auxiliars poden contenir salts condicionals, així com funcions booleans on intervenen els valors actuals de les entrades i de variables internes del sistema.

La programació es fa amb un llenguatge especial, i la seva ubicació en memòria és diferenciada dins del directori de programes-peça i de macro-instruccions.

L'accessibilitat a aquestes funcions és, evidentment restringida.

Casos típics d'aquestes aplicacions són els canviadors d'eines seqüencials, que necessiten desencadenar múltiples senyals i comprovacions lligades a partir d'una simple instrucció "T i M".

- **Visualització**

A les primeres èpoques dels controls numèrics, les limitacions tecnològiques condicionaven l'operativitat en aquest aspecte. Les possibilitats es reduïen a la utilització de visors de set segments, o com a molt, monitors funcionant seqüencialment en mode terminal.

Els sistemes mixtes i independents, permeten usar les eines pròpies d'un ordinador convencional, de cara a proporcionar, des d'ajudes gràfiques en línia, fins a edicions multipantalla via tecnologia "touch-screen".

- **Introducció de dades**

La introducció de les dades es pot fer mitjançant la importació des d'un ordinador extern, o bé directament a partir del propi teclat del CNC

La conveniència o no de procedir a la introducció directa des del CNC depèn bàsicament del perfil de l'operari al càrrec, del tipus de treball i de la naturalesa de la informació.

En qualsevol cas, cal facilitar al màxim aquest procés de programació a peu de màquina. En aquest sentit, és molt útil la funcionalitat que permet el simular gràficament a la pantalla el futur comportament geomètric dels eixos de la màquina.

Al llarg dels anys, el progressiu increment en les necessitats i funcionalitats, també ha comportat una sofisticació en la codificació interna dels programes.

Això va fer desaparèixer les inicials limitacions a unes poques famílies de funcions (codis G, M, T, F, i S).

Amb tot, la tendència general apunta a desenvolupar els programes externament (amb l'ajut de sistemes CAD-CAM o de programació assistida), deixant alguns graus de llibertat concrets i limitats per a ser modificats a peu de màquina (valors dels correctors d'eina, orígens flotants després de centrar la peça, velocitats i avanços, etc.)

Això rebaixa l'exigència pel que fa a la qualificació de l'operari, i permet centralitzar i uniformitzar la informació, post-processant-la cap a diferents màquines o controls numèrics segons les necessitats del moment.

- **Interpretació i execució seqüencial del programa**

És el mòdul encarregat de la traducció dels blocs del programa-peça, i del seu processat per a l'execució de les ordres a la màquina.

Tots els CNC opten pel processat mitjançant un programa "intèrpret" en temps real de les instruccions contingudes al programa-peça (usualment en format ASCII)

Es descarta optar per un procediment de compilació prèvia, malgrat plantejar a priori alguns avantatges teòrics:

- L'execució del programa ja compilat seria molt més ràpida (reducció del "BLOCK-TIME" o temps de processat de cada bloc
- L'existència d'un executor de programes precompilats permetria la recepció de programes exteriors i

"núvols de punts" directament en format binari a partir dels ordinadors externs. Això milloraria el rendiment dels processos de mecanització DNC, tot reduint-ne el temps de transmissió en línia i el d'execució

Malgrat això, la decisió es decanta ver un procés d'interpretació del programa "editable", per raons de pes:

- La pròpia naturalesa del procés d'execució és del tipus "debugger". L'existència d'algunes instruccions que provoquen una bifurcació condicional del programa en funció de l'estat "on-line" d'alguns senyals de la màquina no permetre el conèixer la seqüència d'execució de blocs anticipadament.
- Per tal de permetre l'execució d'instruccions "bloc a bloc", i altres operacions de panell frontal, tals com aturar momentàniament l'execució, reiniciar-la, etc., cal que el sistema faci una visualització en línia de la instrucció que s'està executant, així com de les immediatament successives. Aquesta visualització parcial de la porció de programa que s'està executant cal fer-la, òbviament, sobre el programa "font" origina. Això obliga a mantenir en memòria necessàriament el programa font, a més de l'hipotètic arxiu compilat. També obligaria a duplicar el processat del programa, atenent a l'hora, al font i a l'"objecte", i contradient els avantatges que suposadament s'obtenien amb un procés de compilació.
- D'altra banda, la utilització de microprocessadors de gamma alta permeten un procés d'interpretació prou ràpid.

El procés d'interpretació de programes-peça cal que estigui preparat per atendre els tres modes d'execució possibles:

- **Execució automàtica**

Els blocs del programa-peça són executats seqüencialment, seguint el número d'ordre, o bé atenent a les instruccions de salt condicional o incondicional que pot contenir.

Per a l'execució de les instruccions contingudes en cada bloc, hi ha dos possibles criteris.

Hi ha la possibilitat de considerar l'existència d'una llista de funcions "PRE" i funcions "POST". L'execució es fa atenent a aquesta llista.

- Les funcions "PRE" són executades abans del moviment d'eixos programat al bloc, independentment de la seva ubicació física a seqüència programada.
- Les funcions "POST" són executades un cop ha acabat el moviment dels eixos que hi ha a la línia.
- Una altra possibilitat és optar directament per una execució seqüencial dins de la pròpia seqüència. D'aquesta manera les instruccions són executades per rigorós ordre d'aparició al programa.

- Execució semiautomàtica

S'entén per execució semiautomàtica, la possibilitat que ha d'oferir el control numèric de processar i executar de forma immediata, una seqüència que ha estat introduïda directament pel seu teclat.

Un cop executada, la seqüència no queda emmagatzemada en memòria (a no ser que s'indiqui expressament), encara que la seva construcció ha de respectar les mateixes normes de programació que les contingudes en els programes-peça.

Alguns fabricants anomenen aquest mode de funcionament "MDI" (Manual Data Input)

- Execució manual

Es considera un mode d'execució manual, a la possibilitat de desencadenar operacions sobre la màquina mitjançant els pulsadors de que disposa la botonera frontal del control numèric.

En aquest cas, no es processa cap funció programada.

Cada pulsador va associat a una rutina interna especial d'execució:

- Pulsador de moviment manual dels eixos.

- Determinació de les velocitats d'avenc
- Posta en marxa d'alguns elements perifèrics (capçal, refrigeració, pinces, etc.)
- Condicions de funcionament.

Aquestes instruccions no comporten cap interpretació, però el seu efecte ha de quedar reflectit a les variables internes d'estat de la màquina dins de la memòria del CNC.

- **Monitorització de l'execució**

L'evolució interna dels CNC va influir molt en la progressiva millora d'aquesta tasca.

Els primers controls no tenien capacitat de procés on-line ni tan sols per visualitzar les cotes mentre els eixos eren en moviment. Alguns equips, fins i tot apagaven la pantalla quan havien de fer càlculs interns d'alguna complexitat.

Cal, però oferir una monitorització completa del procés, i durant l'execució de la peça, el control numèric ha de presentar a l'operari la situació en que es troba en tot moment.

Aquesta monitorització ha de ser totalment dinàmica, actualitzant-se en temps real cada cop que canvia alguna de les variables en qüestió, tot presentant:

- **Posició de la màquina**

Es mostra, de forma dinàmica, la posició en que es troben els eixos de la màquina (depenent d'un paràmetre de configuració intern, es poden mostrar a la pantalla les cotes reals (mesurades), o les teòriques (comanades).

Al mateix temps, es mostra per a cada moviment en curs, la distància que queda per recórrer per a cada eix i, opcionalment, l'evolució de l'error de seguiment.

- **Representació gràfica**

És molt útil representar gràficament per pantalla la trajectòria que segueix l'eina al treballar.

Alguns equips, fins i tot presenten en pantalla un dibuix de la peça "en brut", per tal de representar d'una manera mes

realista l'efecte del treball que s'hi realitza en executar el programa.

En aquest cas, cal poder parametritzar algunes variables de representació, com són el punt de visió, els punts de llum, l'escala del gràfic, i les dimensions de representació, entre d'altres.

- **Situació de l'execució del programa**

Cal mostrar la porció del programa que s'està executant, tot assenyalant dinàmicament el bloc en execució.

- **Condicions de funcionament.**

En pantalla es reflectirà dinàmicament l'estat en que es troben algunes variables, l'estat de les quals depèn de l'execució de les funcions "modals", és a dir, les que condicionen el desenvolupament posterior del programa.

- tipus de moviment (punt a punt, interpolació lineal, interpolació circular, etc.), velocitat d'avanç activa i pla d'interpolació
- origen-peça o origen flotant actiu
- programació en coordenades absolutes o incrementals
- valors dels factors d'escala i girs de coordenades actius
- cicle d'eina en curs d'execució.
- Correctors d'eina enclavats i tipus de correcció activa.

- **Estat dels elements perifèrics**

Aquesta presentació es limitarà als elements mes usuals, donat que el significat de totes les funcions d'entrada-sortida no està del tot estandarditzat (la correspondència entre els senyals i ordres del CNC i els elements de la màquina varien segons el fabricant de la màquina-eina)

- sentit de gir del capçal i velocitat de gir (funció "S")
- eina seleccionada i refrigerant actiu

2. Mòduls de relació amb la màquina

Aquest apartat fa referència a un conjunt de tasques que resten normalment ocultes a la percepció de l'operari, i la finalitat de les quals és dur físicament a terme les ordres, un cop ja han estat interpretades del programa-peça.

Un cop acabada l'execució de l'ordre, s'actualitza l'"status" del sistema, i es preparen per a executar la instrucció següent.

Aquestes tasques de software son normalment realitzades per mòduls de processat hardware especialment dedicats:

- Últim processat de les ordres

Aquest mòdul rep uns "paquets" d'informació procedents del processat realitzat durant la interpretació de l seqüència del programa-peça.

La informació (ja en binari), es compon de:

- el codi dels senyals d'entrada-sortida a activar.
- Els valors numèrics corresponents als recorreguts reals a realitzar per a cada eix, amb un flag que m'especificarà el tipus de moviment:
 - Punt a punt a velocitat ràpida.
 - Interpolació lineal
 - Interpolació circular a dretes o a esquerres
 - Seguint un roscat
 - ...

El procés d'interpretació ja haurà pre-processat els moviments programats, calculant-ne els efectes de les funcions "modals" actives (factors d'escala, girs, correctors de trajectòria, etc.)

En aquest punt doncs, la tasca d'aquest mòdul serà la de traduir aquesta informació, fent-la compatible amb els senyals físics de la màquina a enclavar o activar, és a dir:

- Preparant la gestió dels ports d'entrada-sortida

- Establint la correspondència entre el valor numèric de la distància a recórrer de cada eix, i la mesura a obtenir dels transductors de posició de la màquina
- Traduint la velocitat d'avanç a un valor d'excitació dels reguladors dels motors dels eixos.

- **Gestió dels eixos**

Parteix de la informació totalment processada del moviment els eixos a realitzar (recollida del mòdul anterior), i genera l'excitació al motor de cada eix, tenint el compte la captació de la posició real del propi eix.

En diferenciarem dos processos lògics: La generació de trajectòria i el servocontrol de la posició.

Ambdós processos tenen una característica comuna i molt important, i és el fet de treballar dins d'un període de mostreig fix, establert pel propi sistema CNC.

Aquest mostreig es correspon a un petit interval de temps, dins del qual cal pilotar el comportament físic de la màquina, i processar totes les variables que hi intervenen.

El valor de l'interval de temps és fonamental, i determinarà la precisió i qualitat dels moviments que descriurà la màquina.

- **Generació de trajectòria**

A cada tipus de moviment (punt a punt, interpolació lineal, interpolació circular, etc.) li correspon un algorisme de càlcul de l'excitació de cada eix.

Aquest algorisme divideix el moviment global original en una successió de múltiples trams de moviment elemental, cada un d'ells corresponent a un període de mostreig.

L'algorisme de generació calcula per a cada tram la futura posició teòrica de la màquina, d'acord amb la corba que es pretén descriure i la velocitat d'avanç programada per al moviment.

S'obté així, per a cada instrucció de moviment, una successió de posicions teòriques elementals de la màquina, corresponents a la descomposició de la corba original en trams.

La reproducció de la trajectòria de la corba original serà tant més fiable com més capacitat tingui el sistema per descompondre-la en trams elementals, i un període de mostreig reduït comportarà la capacitat del sistema per a dividir un moviment en una major quantitat de trams.

La llargada dels trams també dependrà directament de la velocitat d'avanç programada. A més velocitat, major serà la distància, i menys fidel serà la reproducció de la corba.

Del càlcul s'obté la successió de posicions teòriques instantànies, i cada valor serà capturat pel mòdul de servocontrol, que el convertirà en el valor d'excitació a transmetre al regulador de cada eix.

- **Servocontrol de la posició**

És el procés responsable de comparar la posició teòrica ordenada pel mòdul generador de trajectòria, amb la posició real en la que es troben els eixos de la màquina.

La captura de la posició es fa a partir de les dades obtingudes dels captadors situats a cada eix.

La comparació entre els dos valors es fa a terme independent per a cada eix, dins d'un període de mostreig, i es correspon a una funció o algorisme de càlcul predeterminat. Aquest algorisme de càlcul obtindrà el valor de l'excitació de correcció per a cada eix, processant la diferència existent entre el valor teòric i el real de la posició.

La possibilitat d'utilitzar un algorisme més o menys sofisticat depèn de la potència de processat del sistema, i de les necessitats de precisió i de la dinàmica de moviment del tipus de màquina a la que va destinat.

En la mesura que les etapes de potència i excitació dels motors s'han anat computeritzant, aquesta tasca de "servo de posició" va sent sovint assumida per la pròpia etapa reguladora del motor, tot lligant-la a l'altre servo de velocitat intern, quedant per tant exclosa de les responsabilitats de càlcul del CNC.

En aquest cas, el mòdul de generació de trajectòria transmet directament la posició teòrica de l'eix a l'etapa de

potència del motor, i el sistema de captació de posició va directament connectat a aquesta etapa externa.

En qualsevol cas, caldrà tenir en compte una sèrie de coeficients que seran determinants en la cadena cinemàtica de cada eix, i la combinació dels quals determinarà totalment el comportament dinàmic de cada eix.

En tot cas, estem parlant d'una excitació calculada per a cada període de mostreig, és evident que a una major freqüència en el càlcul de la correcció de la posició li correspondrà un major acostament entre les posicions teòrica i real de la màquina.

És doncs clar que, tant en el mòdul generador de trajectòria, com en el de servocontrol, una disminució en el temps de període de mostreig del sistema, redunda en una major qualitat en els moviments, i una major precisió en el posicionament de la màquina. La capacitat per a reduir aquest temps, depèn directament de factors tecnològics

- potència i rapidesa de procés
- eficiència en el disseny del software

- **Gestió del senyals d'entrada-sortida**

Es factible utilitzar el mòdul de relació amb l'operari, per a gestionar els senyals d'entrada-sortida conjuntament amb els procedents de la botonera o panell frontal del CNC.

- **senyals associats als eixos**

Es tracta dels senyals d'alarma relacionats amb el moviment de la màquina i amb els elements externs que intervenen en el moviment dels eixos (finals de carrera dels eixos, emergència general, alarma de captador o regulador, ...). El seu processat és asíncron, i no té res a veure amb les instruccions contingudes al programa-peça

La seva aparició ha de forçar una resposta immediata del sistema. Cal doncs concedir-li una alta prioritat en el seu processat i tractament, tant en el hardware com en el software

- **altres senyals**

Són els corresponents a les instruccions contingudes al programa-peça, i seran executades tenint en compte la taula de temporitzacions i el perfil associat prèviament a cada senyal.

Aquesta taula associada afecta a les transicions de l'enclavament i des enclavament del senyal, condiciona booleans amb variables o valors interns, i a la seva validació ("strobe")

B. Software

Inicialment es farà una justificació del perquè de la divisió del software dels controls numèrics en mòduls independents.

Posteriorment es passarà a descriure individualment les funcionalitats de cada un d'aquests mòduls

1. Divisió en mòduls simultanis

Consideracions de metodologia elemental de programació aconsellen com a norma general el dividir la globalitat del software constitutiu d'un sistema en diferents mòduls o rutines independents i enllaçats entre ells.

D'aquesta manera s'aconsegueix clarificar i racionalitzar el software, fent-lo més entenedor i fàcil de mantenir.

En el cas dels equips de control numèric, l'exigència de dividir la globalitat del software intern en mòduls independents, obeeix no tant a una qüestió relativa a la metodologia de programació, com a raons intrínseques al propi funcionament del sistema. En certa manera, als equips CNC, el requeriment de funcionalitat multitasca del sistema és primordial.

Aquest és el cas, per exemple, de la tasca de servo o de generació de trajectòria, que han de mantenir-se actives i en funcionament en tot moment, independent de que s'estiguin executant al mateix temps altres tasques.

El mateix passa amb la tasca de monitorització de l'estat de la màquina, que ha de ser simultània a la d'interpretació, i que no poden pas aturar-se per que s'estigui rebent un programa de l'exterior, o editant-lo a peu de màquina.

Aquestes premisses condicionen, d'una banda, el hardware imposant arquitectures bi o multi-processador, i forçant un utilització molt acurada de les interrupcions internes de cada microprocessador.

La tècnica de programació interna consisteix en mantenir una tasca seqüencial bàsica (generalment la interpretació), que serà interrompuda periòdicament per aquelles altres tasques que:

- tenen relació amb esdeveniments asíncrones (canals de comunicació, panell frontal o botoneres de la màquina, senyals d'emergència, ...)
- necessiten d'un processat periòdic a intervals fixes i no interrompi bles (servos de posició, visualització de moviments, watch-dog entre processadors, ...)

Cada tasca disposa d'un determinat interval de temps per a la seva execució, així com un període d'interrupció associat, a mode de cadència d'execució

Els processadors permeten d'associar diferents prioritats a cada interrupció, de manera que es pugui prioritzar la realització d'una tasca respecte a l'altra.

Cada tasca manté una arquitectura "variables d'entrada - processat - variables de sortida", i a partir d'aquí, l'intercanvi d'informació entre tasques es realitza a través d'aquestes variables (seguint una mena d'arquitectura que podríem assimilar a una "programació orientada a objectes").

Això, per exemple, la tasca d'interpretació "tradueix" el programa-peça, i deixa a unes variables internes els valors de les cotes corresponents al següent moviment a realitzar. La tasca de generació de trajectòria, pren aquestes variables, i descompon el moviment en una successió de punts teòrics a assolir per la màquina. Aquests punts són ubicats a unes altres variables internes, que seran llegides per la tasca de servo, que generarà la consigna de cada tram de moviment a realitzar.

2. Gestió de programes. Edició

Un programa-peça conté tot el conjunt de dades i instruccions que el control numèric necessita per a la mecanització d'una peça, o la realització d'un procés determinat.

Constitueix doncs, la unitat global d'informació a gestionar pel sistema CNC, que ha d'ésser capaç d'emmagatzemar-lo, modificar-lo i executar-lo a voluntat de l'usuari.

Els primers controls numèrics eren incapaços d'emmagatzemar en memòria cap informació. Cada programa havia de ser llegit just abans de ser executat, o fins i tot en alguns cassos, ser executats bloc

a bloc, a mesura que s'anava llegint una cinta perforada amb els codis de cada instrucció.

També hi va haver restriccions en la manera de gestionar internament els programes-peça. Alguns fabricants obligaven a que les seqüències del programa tinguessin una longitud fixa, per tal de simplificar-ne la seva ubicació i localització a la memòria, i a l'hora, simplificar-ne el processat i execució posterior. De manera similar, es limitava el sistema de manera que tan sols podia existir un únic programa-peça a la memòria. Això obligava a esborrar el programa anterior per a introduir-ne un de nou. Cal dir que alguns equips de gamma baixa orientats a feines simples o molt repetitives encara mantenen aquesta limitació.

Actualment, la flexibilitat pel que fa a la composició de les seqüències i la quantitat de programes emmagatzemats és total.

Normalment organitzats en un directori on cada programa consta d'un codi i un nom, els blocs que el componen solen numerar-se de manera que permeti identificar-los individualment.

El CNC sol numerar-los automàticament amb números múltiples de cinc o deu, de manera que es permeti fàcilment la inserció de nous blocs a la meitat d'un programa.

Pel que fa al procés d'edició d'un programa, hi ha múltiples possibilitats d'operatòria, en funció de l'arquitectura i capacitats de l'equip.

- Edició de línia (El mètode més elemental i rudimentari)
- Edició de pantalla
- Edició gràfica i guiada (permet visualitzar a la pantalla el resultat teòric de l'execució de les seqüències)
- Programació conversacional (el CNC sol·licita a cada pas la informació requerida per a cada seqüència)

Hi ha alguns procediments d'edició especialment orientats al món del CNC:

- PLAY-BACK

És el resultat de combinar el procés d'edició de programes amb l'execució manual de moviments de la màquina.

L'operari es posiciona dins de l'editor a la seqüència que desitja introduir, tot seguit desplaça la màquina mitjançant els moviments manuals ordenats des del panell frontal del CNC, o mitjançant moviments semiautomàtics, fins arribar al destí desitjat.

Finalment, s'activa la tecla específica de "gravació"

El resultat és la creació d'una nova seqüència, corresponent a un moviment de la màquina cap al punt referenciat.

- TEACH-IN

Suposa combinar el procés d'edició amb l'execució semiautomàtica de blocs de programa.

L'operatòria és molt similar a la de l'Play-Back. L'operari executa semiautomàticament una instrucció que ha introduït mitjançant el teclat del CNC. Un cop executada físicament la instrucció, i comprovat el resultat obtingut, el CNC dona la opció d'introduir-la al programa que s'està editant.

- CAM

Finalment, alguns equips CNC incorporen al seu interior mòduls de software que esdevenen veritables sistemes CAM diajuda a la programació, incorporant-hi tant moviments de tipus polinòmic (spline), com cicles complexos que generen automàticament porcions de programa a partir de variables i paràmetres predefinits (cicles de desbast, etc.)

3. Interpretació de programes

S'anomena interpretació, al procés mitjançant el qual el CNC processa i prepara l'execució de les instruccions contingudes en el programa-peça.

En principi, es tracta d'una simple tasca de traducció seqüencial de les funcions llegides en codi ASCII a la memòria del CNC, on hi ha ubicat el programa-peça, per passar a ordenar tot seguit la seva execució en màquina pel mòdul corresponent

Cada instrucció elemental serà executada immediatament, després de ser traduïda i processada pel sistema.

Cada moviment programat en un programa-peça, es tradueix en un moviment real de la màquina, que dependrà de les funcions modals introduïdes amb anterioritat al programa.

Així, per exemple, una intrucció "X100 Y32", es traduirà en un moviment diferent, dependent de l'enclavament previ d'una sèrie de funcions modals, com són

- coordenades absolutes / incrementals
- origen-peça activat
- factor d'escala i gir de coordenades
- velocitat d'avanç activa
- tipus de moviment activat (punt a punt, interpolació lineal, interpolació circular, etc.)
- últim cicle d'eina executat
- etc.

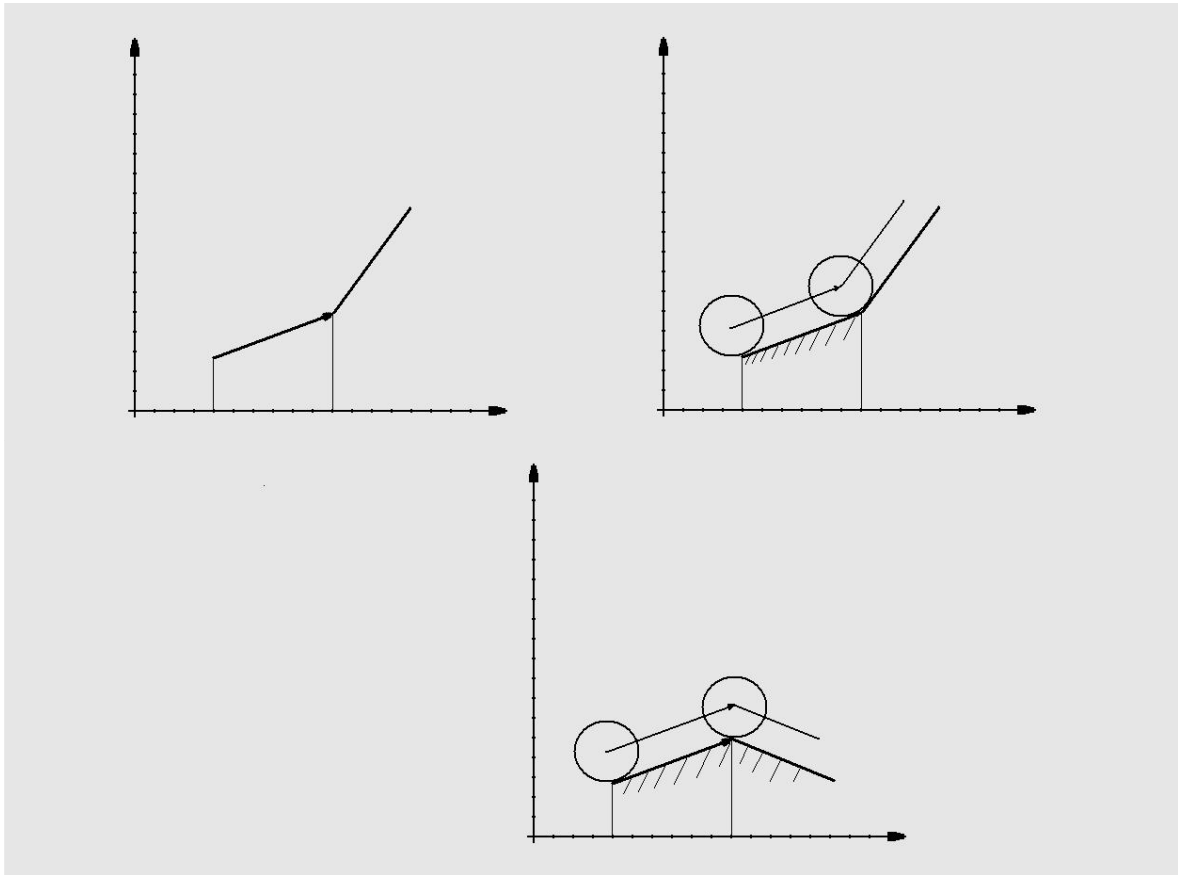
La correcta determinació del significat final de cada seqüència de moviment, obliga doncs a mantenir en memòria del procés d'interpretació una zona de "status" permanentment actualitzada, on hi haurà una sèrie de variables indicatives de l'estat en que les funcions modals van deixant el sistema.

N'hi haurà prou amb consultar l'estat d'aquestes variables cada cop que apareix un moviment d'eixos, i processar completament aquest moviment, tot afectant-lo convenientment pels valors de les funcions modal.

Per tal d'optimitzar els recursos, s'aprofita el temps que inverteix la màquina en realitzar físicament cada moviment, per interpretar "a l'avançada" la seqüència següent del programa.

Tot seria així de senzill, si no fos que els CNC precisen d'incorporar una determinada prestació relacionada amb el moviment dels eixos. Aquesta prestació és el corrector radial d'eina.

L'especial geometria del procés de correcció radial, fa que un determinat moviment, no solament depengui de les funcions que han estat programades prèviament, sinó també dels moviments que el segueixen en el programa.



Com es veu en el gràfic, una mateixa ordre de moviment es converteix en moviments de màquina diferents depenent dels moviments programats a continuació.

És per això que l'algorisme de correcció radial d'ena trenca la correspondència elemental "bloc traduït -bloc processat - bloc executat", complicant-se de manera notable l'organigrama global del procés d'interpretació.

La funció de correcció radial de l'eina obliga als controls numèrics a, en processar un moviment d'eixos, garantir que el sistema disposi en memòria de la informació preprocessada corresponent a un mínim de dos moviments posteriors.

Tot seguit exposarem detalladament aquest cas concret dins del mòdul d'interpretació.

El procediment es basa en definir tres "instants de processat", és a dir, tres processos simultanis de tractament i interpretació dels blocs de programa peça, amb un determinat decalatge entre ells.

Anomenem a aquests processos paral·lels, "PRE" per a la predecodificació, "CORR" per a la correcció de radi d'eina, i "ACT" per a l'execució real del bloc.

- Instant "PRE"

En l'instant "PRE" s'avançarà el processar d'un nombre determinat de blocs de programa (no inferior a tres).

El sistema ubicarà el resultat del preprocessar de les seqüències en un buffer circular, mantenint contínuament aquest número de seqüències d'avançament respecte al bloc que s'està executant físicament a la màquina. A cada registre d'aquest buffer circular li correspondrà una seqüència del programa.

Amb aquest "avançament al temps", es preprocessaran algunes seqüències abans de que siguin executades.

Un registre del buffer estarà compost per una sèrie de camps, de manera que contingui el resultat de la predecodificació total del bloc del programa-peça.

- adreça de la ubicació del bloc en qüestió.
- Codi del tipus de moviment
- Distància a recórrer per a cada eix
- Altres valors relacionats amb el moviment dels eixos:
 - Si és una interpolació circular, radi de la corba o coordenades del centre.
 - Velocitat d'avanç del moviment
 - Etc.
- Alguns càlculs auxiliars que es poden anticipar per a càlculs posteriors
 - Si és una interpolació lineal, mesura de la diagonal

- Si és circular, coordenades del centre referides a l'origen màquina
- Etc.
- Valors de les funcions d'entrada-sortida del bloc
- Altres (funcions modals, etc.)

Associada a aquest instant "PRE" anirà una àrea de variables "STATUS-PRE" idèntica a la descrita anteriorment. Aquest àrea constituirà un reflexe de la situació i valors en que aniria quedant el sistema en processar avançadament les funcions modals.

"STATUS-PRE" ve a ser un avançament històric (cotes, origen actiu, factors d'escala, girs de coordenades, funcions modals, etc.), amb uns quants blocs d'anticipació respecte al que el sistema està executant actualment.

Un cop omplert inicialment el buffer amb les primeres instruccions proprocessades, el sistema anirà alliberant-ne registres "disponibles", a mesura que es vagin executant en temps real per la màquina dins de l'instant de treball "ACT". L'alliberament d'un registre suposa una autorització per al pre-processar d'una nova seqüència, i com a conseqüència, un nou contingut "avançat" al registre recentment alliberat.

L'organigrama:

```
. inici d'interpretació del bloc
{
    . ocupa un registre-PRE lliure del buffer circular,
    tot gravant-hi l'adreça del bloc.
    . Interpreta una instrucció dins del bloc
    {
        . si és una funció d'entrada-sortida
        {
            Gravem la informació al registre, i
            no fem res, i tot esperant a a
            executar aquestes senyals durant
            l'instant "ACT"
        }
        . si és una funció modal
        {
```



```
        Processem la instrucció i actualitzem
        la variable corresponent a STATUS-
        PRE
    }
    . si és un moviment d'eix
    {
        Tradueix l'ordre ASCII, i la
        processa, tot tenint en compte els
        condicionants que s'indiquen a l'àrea
        STATUS-PRE. Un cop calculada la
        distància a recórrer ho grava al
        buffer, i determina la nova posició
        en que quedaria la màquina després
        del moviment (STATUS-PRE)
    }
    . si és una instrucció de salt incondicional o
    condicionat al valor d'un paràmetre fix.
    {
        Localitza al programa-peça la
        següent instrucció a interpretar
    }
    . Si és una instrucció de salt condicionat al
    valor d'una entrada o combinació d'entrades
    de la màquina, NO FA RES, ja que és
    impossible de preveure quin serà aquest
    valor en el moment en que la màquina
    executarà realment l'ordre.
    . si no s'està al final de se seqüència,
    continua amb la següent instrucció del bloc
    }
    . S'ha acabat el bloc (CRLF)
    {
        . ha quedat gravat el nou registre-PRE que
        s'ha ubicat en el següent lloc lliure del
        buffer circular
    }
}
. S'apunta a l'inici del següent bloc del programa peça
{...
```

Com es pot veure, el conjunt d'operacions a realitzar durant l'instant "PRE", no és altra cosa que una mena d'execució virtual, que ens permet obtenir dades avançades corresponents

a un petit nombre de seqüències de programa que encara no estan per executar realment.

- **Instant "CORR"**

En l'instant "CORR" actuarà en cas d'estar actiu el corrector radial d'eina, treballant amb les seqüències ja preprocessades en el buffer circular.

Es tracta d'alterar el moviment inicialment obtingut mitjançant el preprocessat del bloc de programa, tot seguint un algorisme geomètric de correcció que serà funció de la naturalesa de la correcció enclavada, però també dels blocs a executar immediatament després.

D'aquesta manera, un determinat recorregut programat, serà corregit en funció de:

- Valor del radi de l'eina
- Tipus de correcció
 - G41 A dretes
 - G42 a esquerres
- Relació amb el moviment següent.
 - Transició recta-recta
 - Transició recta-corba
 - Transició corba-recta
 - Transició corba-corba

Un cop obtinguda la correcció del moviment, es convertiran els valors obtinguts a un format binari, i s'ubicaran en el registre del buffer circular on apunta el procés "CORR"

- **Instant "ACTC"**

L'instant "ACT" correspon a l'execució real de cada bloc del programa.

El procés es limita a esperar l'acabament de l'execució del bloc en curs a la màquina, per ordenar-ne l'execució del bloc següent:

- Si és un senyal d'entrada-sortida, l'executa atenent a les temporitzacions de cada senyal
- Si és un moviment d'eixos, traspasa els valors del moviment de cada eix, des del registre del buffer cap al mòdul de generació de trajectòria
- Si és una funció modal, actualitza una àrea de STATUS-ACT

El procés "ACT" també manté una àrea de STATUS-ACT, on hi queda reflectida la situació en que queda el sistema després de l'execució ja acabada de cada bloc.

- Valors teòrics de posició de cada eix.
- Valors dels correctors longitudinals i radials.
- Cicle d'eina actiu, i paràmetres que el defineixen
- Valors dels factors d'escala i de gir de coordenades.
- Tipus de moviment i velocitat d'avanç activa
- Coordenades absolutes/incrementals, i origen-peça actiu

La finalitat de mantenir actualitzada aquesta àrea de STATUS-ACT, no és tant per a realitzar-ne cap càlcul (els càlculs ja hauran estat fets pels processos "PRE" i "CORR"), sinó per a permetre la monitorització a la pantalla del CNC de l'estat en que es troba el sistema en cada moment

4. Monitorització

S'entén per monitorització, a la presentació en pantalla de l'estat en que es troba el sistema durant l'execució del programa-peça.

Aquesta monitorització ha de permetre, amb un simple cop d'ull a la pantalla del CNC, de conèixer la situació actual de cada un dels paràmetres i variables que afecten a la màquina.

- Seqüència de programa en curs d'execució, i les immediatament següents a executar-se
- Posició teòrica i real de cada eix

- Distància que queda per recórrer dins del moviment en curs per a cada eix
- Tipus de moviment, i velocitat d'avanç
- Coordenades absolutes / incrementals
- Factors d'escala per a cada eix, i gir de coordenades actiu
- Origen peça actual
- Valors dels correctors radial i longitudinal de l'eina
- Cicle d'eina enclavat
- Número d'eina a la màquina, i velocitat de gir del capçal
- Senyals d'entrada/sortida enclavats
- Alarmes a la màquina o al CNC.

El sistema va prenent cíclicament aquestes informacions de la memòria STATUS-ACT del sistema, i va actualitzant-ne la pantalla.

5. Generació de trajectòria

A partir del programa-peça, el procés d'interpretació ha estat l'encarregat de preparar internament les dades, per a procedir ja a l'execució física dels moviments dels eixos del sistema. El resultat, de tot plegat, és l'obtenció dels paràmetres constitutius del que podríem anomenar la "funció de desplaçament" a executar.

Tot i que existeixen equips CNC capaços de generar trajectòries seguint funcions complexes (polinòmiques, el·líptiques, exponencials, ...) , la gran majoria limiten la seva capacitat de generació al cas de les funcions lineals i circulars, amb la confiança de que qualsevol altra tipus de trajectòria podrà ser raonablement aproximada per una combinació d'aquestes dues.

Anomenarem "generació de trajectòria" al procés mitjançant el qual serem capaços de generar una excitació elemental als accionaments dels eixos, d'acord amb la trajectòria teòrica a descriure.

Un pas previ serà la determinació exacte d'aquesta trajectòria teòrica, i aquest pas s'anomena vulgarment "interpolació"

En aquest punt, cal incidir de nou en el concepte de "període de mostreig", com a l'interval de temps constitutiu d'un cicle d'operació del CNC, dins del qual, l'equip ha de ser capaç de realitzar totes les tasques associades a un moviment elemental del sistema:

- determinació del següent punt de trajectòria a assolir
- captura de la posició real de cada eix
- càlcul de l'error de posició
- emissió de la consigna de nou posicionament
- processat de possibles alarmes relacionades amb el moviment dels eixos
- base de temps per a altres cicles superiors.

L'execució del cicle bàsic no pot ser pertorbat per cap altra activitat, i és condició primordial que la freqüència base sigui absolutament estable, i que a cada cicle s'executin la totalitat de les tasques internes fonamentals.

El mateix cicle de treball constitueix la "base de temps" del sistema, i serveix com a punt de referència per a altres cicles de treball, que poden considerar-se d'una durada múltiple del cicle bàsic, i que, malgrat la seva importància, no gaudeixen d'una condició de no pertorbació tant estricta.

- Tasques de monitorització
- Captura d'un nou moviment a realitzar
- Gestió de senyals d'entrada/sortida
- ...

La durada d'aquest període té una incidència decisiva en el moviment final obtingut dels eixos, dependrà d'aspectes de disseny intern:

- El hardware: la construcció de les plaques, la freqüència de treball que admeten, i el(s) microprocessador(s) intern(s)
- El software: el llenguatge intern de programació dins d'aquest hardware, i la seva eficiència.

Els valors típics en la durada d'un període van des de 20 mseg per a equips de gama baixa, fins a l'ordre dels 250 microseg per a equips de gama alta.

Dins d'aquest cicle elemental actua la tasca de generació de trajectòria, que ens determinarà el següent punt teòric a assolir pel sistema. Donat que el sistema ja té un coneixement previ de la "funció" identificativa de la trajectòria a seguir (usualment lineal o circular), el CNC haurà d'aplicar aquesta funció geomètrica i calcular, per a cada període de temps, la nova posició teòrica (donarem per sentat que es manté constant el valor de velocitat d'avenç "F" durant tot el moviment)

El resultat és la descomposició de la funció contínua original en una "poligonal" que enllaça els punts obtinguts en calcular re calcular la funció a cada interval de temps:

$$(x(t+Dt), y(t+Dt))$$

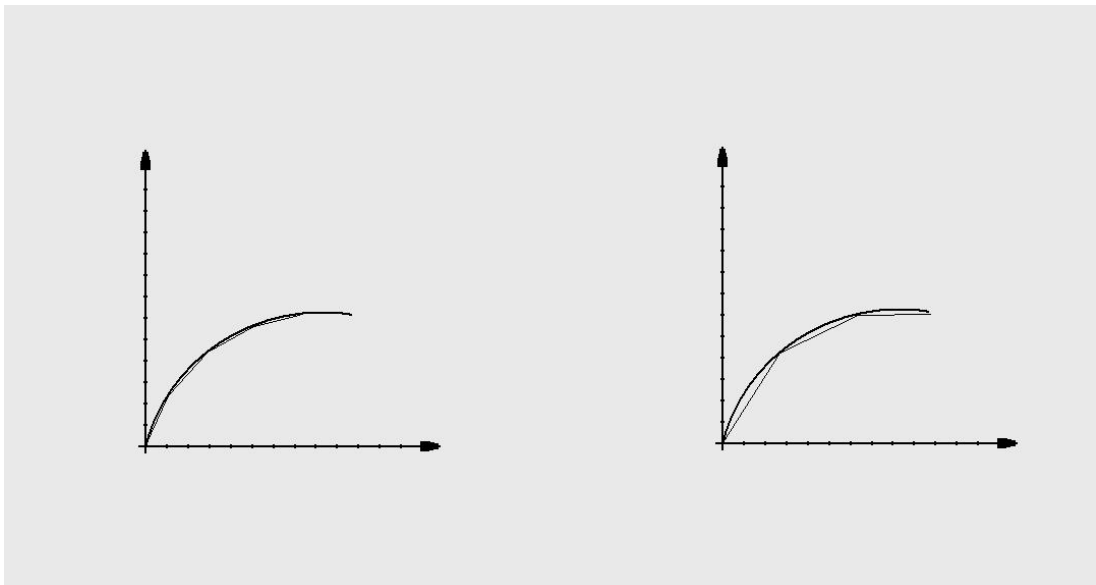
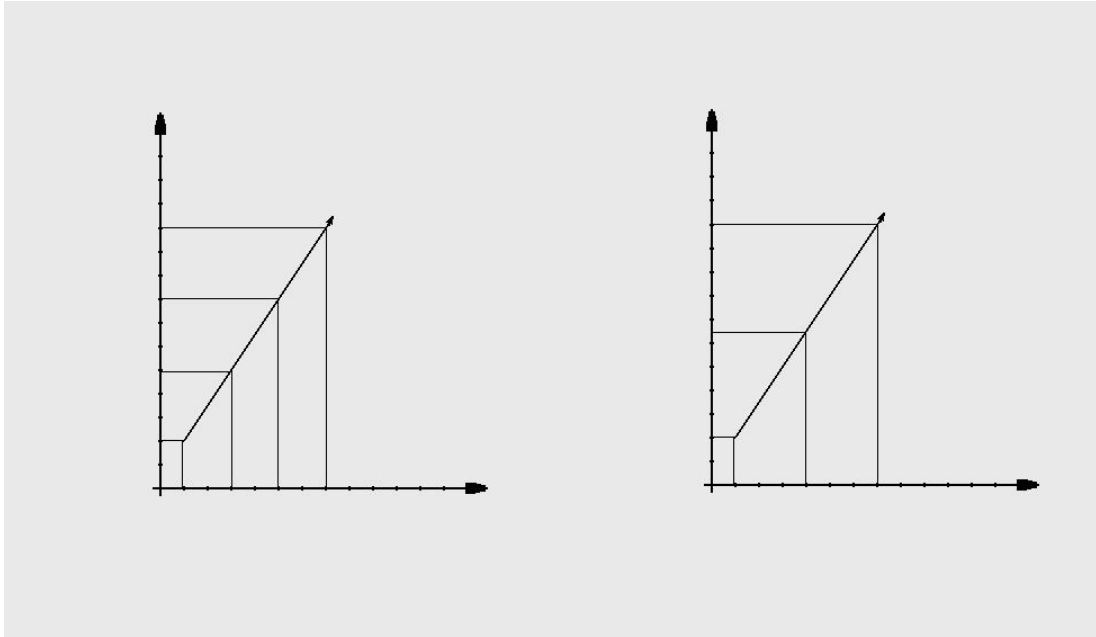
Al cas d'una interpolació lineal al pla ($y = ax + b$), el càlcul és molt elemental (recordem que el valor de velocitat "F" és constant), es manté la relació proporcional entre la posició dels eixos, x i y , a cada cicle de mostreig obtindrem un valor d'increment de posició per a cada eix, que serà proporcional a la velocitat i al propi període de mostreig del sistema.

A una interpolació circular ($(x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2$), tot i correspondre a un tram programat com a moviment de velocitat resultant constant (codi "F"), la component de velocitat de cada un dels eixos és contínuament variable, seguint l'equació de la circumferència, i el mateix raonament val per les components que obtindrem d'increments de posició.

Caldrà, en aquest cas, tenir en compte que els càlculs de les components dels eixos per a cada tram d'interpolació caldrà refer-los totalment i en temps real, dins de cada període de mostreig

Vist aquesta necessitat de recàlcul per a cada eix, dins de cada tram, cal disposar d'algorismes de càlcul prou ràpids, de manera que no quedi compromès el període de mostreig per unes operacions matemàtiques que ocupin massa temps de procés dins del cicle. (els algorismes matemàtics que utilitzen els compiladors per a obtenir valors raonablement precisos en funcions com l'arc tangent o l'arrel quadrada, solen basar-se en desenvolupaments en sèrie amb multiplicitat de termes, cosa que pot fer créixer de manera compromesa el temps de processat)

El valor del cicle de mostreig és irrellevant en descompondre un moviment lineal en una poligonal, però no és així al cas d'una interpolació circular.



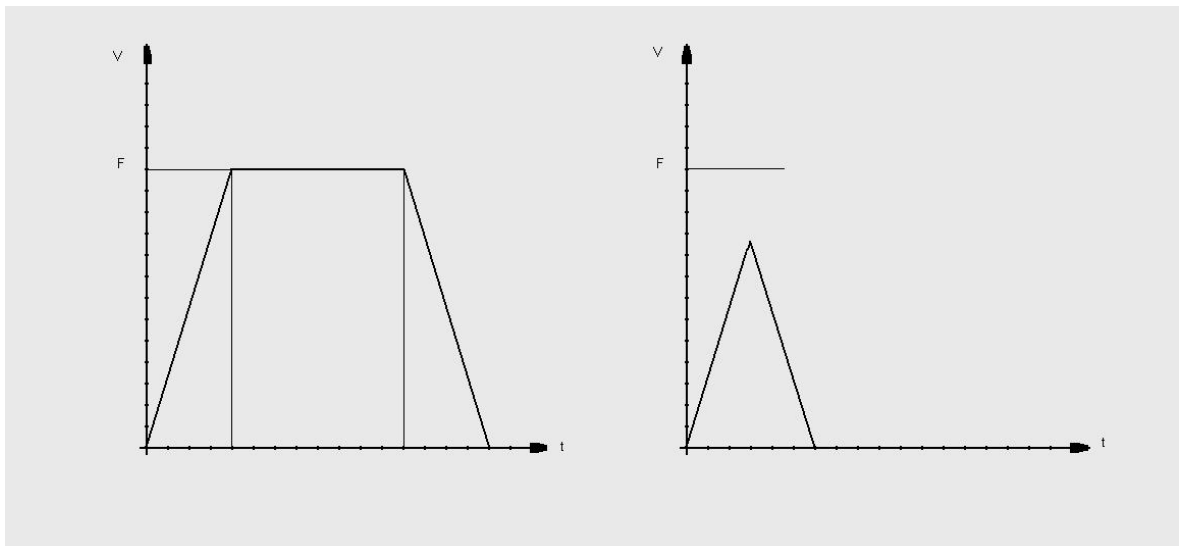
A igualtat de període de cicle, resulta també evident la incidència de la velocitat del moviment en la generació de la poligonal-trajectòria, i l'efecte resulta palpable en un moviment circular. El resultat serà una poligonal de punts més ajustada a la corba contínua original, si el moviment es fa a una velocitat reduïda. L'aproximació poligonal serà més barroera si es pretén executar el moviment a una velocitat d'avanç elevada.

En qualsevol cas, i deixant de banda consideracions de precisió, l'algorisme d'interpolació mantindria una certa simplicitat, fruit de la dependència "lineal" dels trams obtinguts respecte a una velocitat d'avanç del moviment que, en principi, es manté constant a un valor "F" programat.

El manteniment d'aquest valor constant, però, no està tan clar, i això caldrà considerar-ho a l'algorisme.

D'una banda, les funcions "Feed-override", "Rapid-override" i "Dry-run", permeten alterar en temps d'execució i des de la botonera frontal de comandament del CNC, la velocitat d'avanç del moviment.

D'altra banda, tots els moviments programats es veuen afectats per uns trams addicionals d'acceleració i desacceleració. En aquests trams, la velocitat dels eixos es veu afectada, i aquesta afectació pot ser d'acord amb una corba que pot ser lineal, multilineal per trams, o fins i tot exponencial o polinòmica. L'algorisme haurà de seguir també en compte la rampa teòrica d'acceleració i desacceleració.



Heus ací l'organigrama:

- Fase de càlcul previ

El sistema calcula, en funció de la velocitat "F" programada, i de la funció matemàtica de la rampa, els valors:

- temps global del tram d'acceleració i desacceleració
- distància a recórrer durant aquests dos trams

- Fase de moviment

○ Tram d'acceleració.

- calcula la velocitat del proper tram elemental, d'acord amb la funció de la rampa
- Amb la nova velocitat del tram, calcula les coordenades del següent punt de la interpolació
- Si ha arribat a la velocitat de règim (codi F), es dona per acabada la fase d'acceleració i es passa a la fase de velocitat constant.
- Si el recorregut fins al moment ha arribat a la meitat del total del moviment programat, es dona per acabada la fase d'acceleració, encara que no s'hagi recorregut tot el tram calculat prèviament, i es passa directament a la fase de desacceleració.
- Si es detecta la pulsació de STOP, o alguna alarma d'aturada controlada, passa a la fase de desacceleració.
- En cas de no donar-se cap de les condicions, segueix amb la fase d'acceleració.

○ Tram de velocitat constant

- Amb la velocitat de règim F, calcula les coordenades del següent punt de la interpolació.

- Quan el tram recorregut correspon al total, menys la distància del teòric tram de desacceleració, es dona per acabada la fase, i es passa a la fase de desacceleració.
 - Si es detecta la pulsació de STOP, o alguna alarma d'aturada controlada, passa a la fase de desacceleració.
 - En cas de no donar-se cap de les condicions, segueix amb la fase de velocitat constant.
- Tram de desacceleració
 - Calcula la velocitat del proper tram elemental, d'acord amb la funció de la rampa
 - Amb la nova velocitat del tram, calcula les coordenades del següent punt de la interpolació
 - Bucla, tot calculant, fins arribar-se a velocitat zero, o concloure l'execució del moviment programat.

Caldrà tenir en compte l'existència d'alguns paràmetres del sistema que permeten alterar el criteri pel qual es considera que el moviment ha acabat.

6. Servo

Tal com hem comentat, el mòdul de generació de trajectòria ens informa de "quina hauria de ser la posició de la màquina" en cada cicle de mostreig.

La missió del mòdul de servo és emetre un senyal de consigna de moviment a l'exterior, i a l'hora, controlar que el moviment s'ha realitzat realment d'acord amb les característiques desitjades, tot corregint-ne dinàmicament les possibles desviacions.

La realimentació de la posició del eixos, mitjançant uns captadors ubicats a cada eix, permet el realitzar una correcció dinàmica de les desviacions respecte a la posició teòrica.

Tanmateix, no tots els sistemes disposen d'aquesta possibilitat de realimentació de la posició. Efectivament, les màquines equipades amb motors de pas a pas, no solen incorporar captadors de posició als eixos, Aquest tipus de motors atenen directament a una consigna de posició, que consisteix en una successió d'impulsos.

De tota manera, la utilització de sistemes en bucle obert, ha quedat reduïda a aplicacions molt singulars, i els requeriments de fiabilitat i seguretat dels sistemes han comportat una generalització dels equips amb realimentació.

L'algorisme de correcció d'un sistema realimentat pot obeir a diferents criteris o funcions, però en tots ells és clau la magnitud de l'"error de seguiment", entès com la mesura dinàmica de la diferència entre la cota teòrica (d'acord amb les ordres de moviment i posicionat), i la cota real (mesurada a la màquina).

Aquest valor s'obté per a cada eix, dins d'un cicle de mostreig, i genera, a partir d'una funció de correcció, una consigna nova a emetre a l'accionament de l'eix.

A l'hora d'aplicar criteris de correcció al sistema, caldrà tenir en compte les condicions d'estabilitat del sistema, i la funció a aplicar presentarà una sèrie de coeficients, que caldrà ajustar depenent de les condicions mecàniques de cada eix.

- Factor multiplicatiu (o "guany" de realimentació), aplicat directament a l'error de seguiment.
- Factors proporcionals a la variació de l'error de seguiment en un cicle de mostreig (factor derivatiu)
- Altres factors.

El processat a realitzar durant el cicle haurà d'incloure algunes gestions paral·leles:

- Processament d'algunes correccions dinàmiques sobre la posició real obtinguda (compensació de "joc" del vis, compensació d'error de pas, etc.)
- Comprovació de que la posició real de cada eix no es troba fora dels límits de recorregut (prefixats mitjançant paràmetres a la posta en marxa inicial)

- Comprovació dinàmica de que el valor de l'error de seguiment no excedeix en valor absolut el valor màxim permès per a cada eix (valor de seguretat)
- Comprovació de que no s'excedeix un temps límit parametrizable per arribar a la posició teòrica final.

C. Hardware

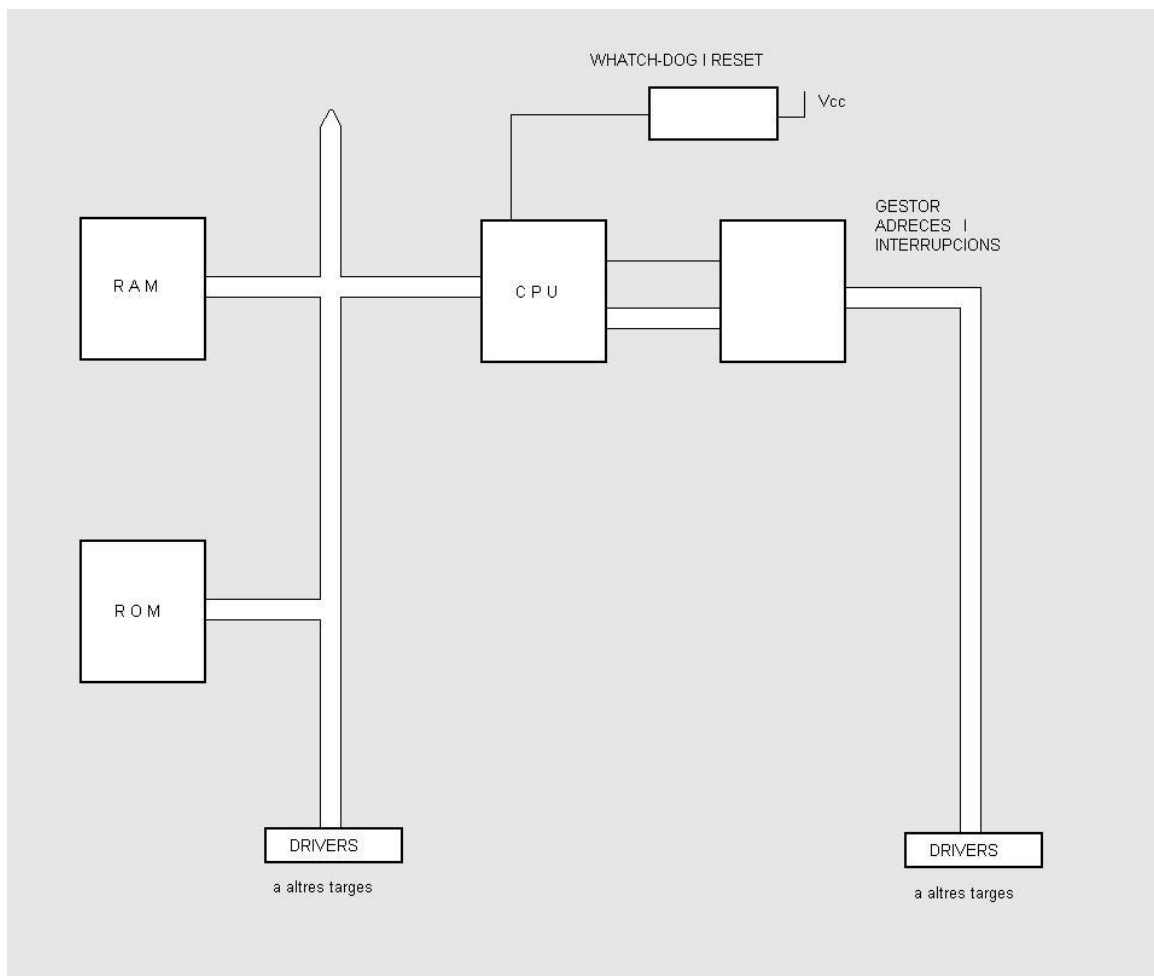
És molt difícil el presentar un exemple de construcció, com a model "típic" d'arquitectura hardware, quan, d'entrada, cada fabricant presenta la seva pròpia filosofia de construcció interna (arquitectura monotarja o multi-tarja, utilització de tècniques multiprocessador, ...)

És per això que plantejarem la descripció a nivell de diagrama de blocs.

Obviarem, per tractar-se d'elements standaritzats, el mòdul d'alimentació general.

1. Processadors

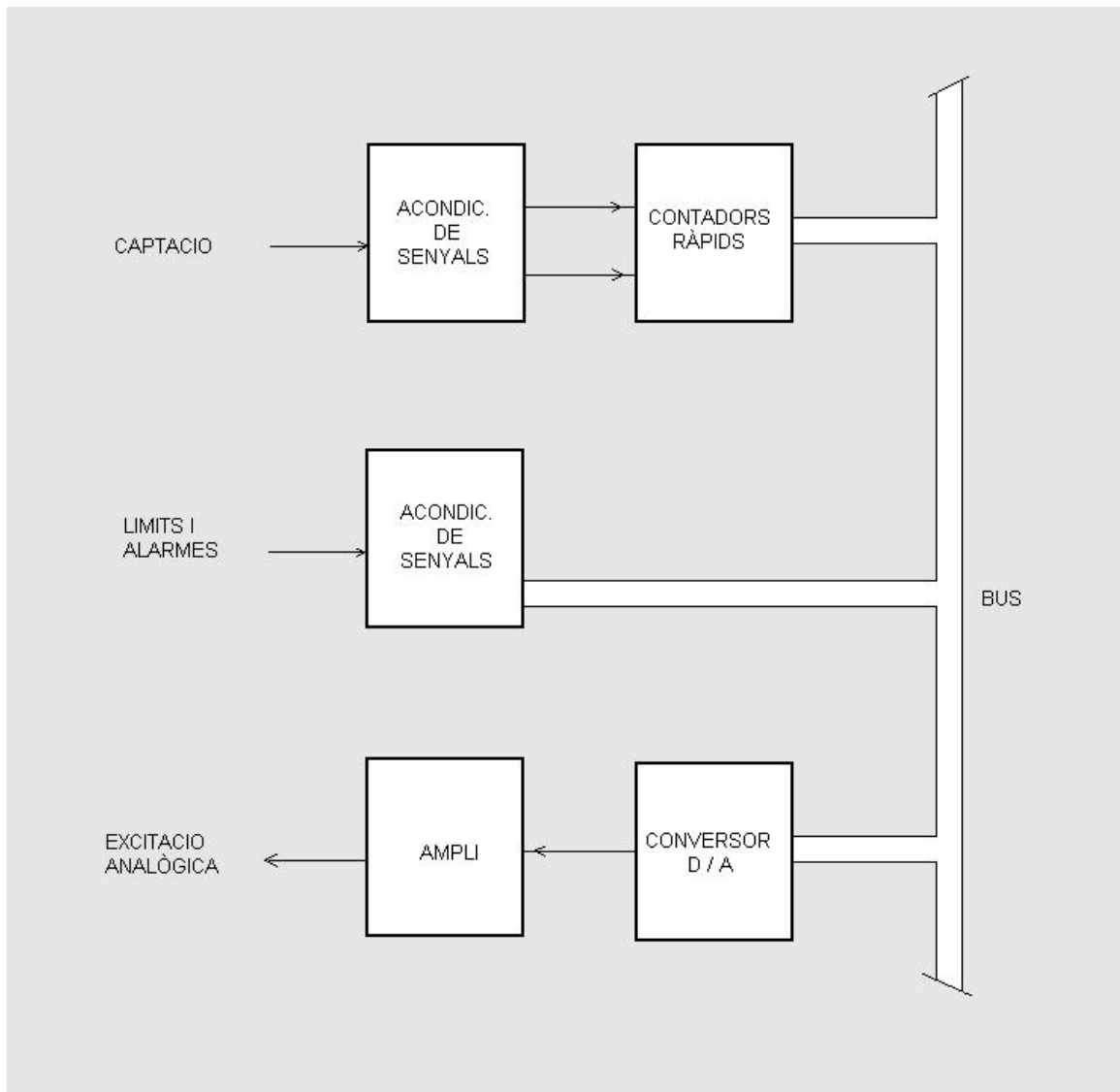
El mòdul hardware de processat central presenta la arquitectura típica de totes les targetes basades en un microprocessador.



Un element comú a totes les targetes CPU en general, i a les dels CNC en particular, és l'existència d'un mòdul de control dels "RESET" sofisticat, incorporant una lògica "watch-dog" de seguretat.

2. Eixos de moviment

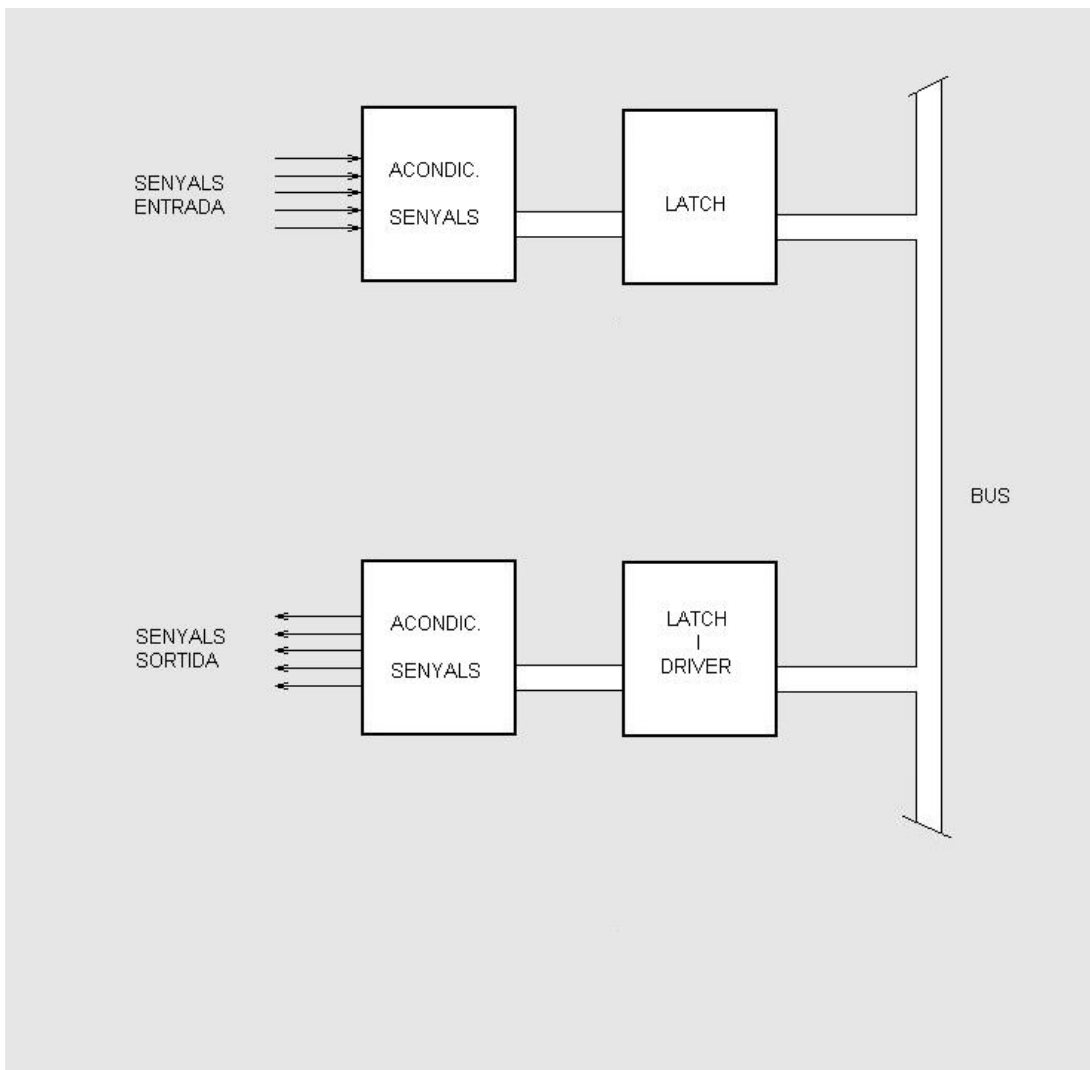
La gestió dels senyals relacionats amb els eixos de moviment sol constituir un mòdul hardware diferenciat dins del CNC (alguns equips, amb una tarja per eix), i en alguns casos, integrat dins del mateix hardware d'accionament de potència del motor de l'eix.



A nivell de diagrama de blocs:

- una etapa d'accés bidireccional al processador central
- un bloc que es relaciona amb els dispositius captadors de posició, i acondiciona els senyals rebuts..
- tractament dels senyals d'entrada-sortida relacionats directament amb cada eix (límits de finals de cursa, senyals d'alarma dels accionaments, etc.)
- Senyal de consigna a l'etapa de regulació i potència (pot ser una consigna cap un bus de camp, o mes usualment, un senyal analògic d'actuació)

3. Senyals d'entrada-sortida



Mentre alguns CNC presenten directament vies d'entrada TTL (apropiats per a connexió directa a les sortides d'un PLC proper), d'altres incorporen un element opto-acoblador, la missió del qual és aïllar elèctricament els senyals exteriors, de la circuiteria interna de l'equip.

Pel que fa a la sortida, alguns equips simples disposen de sortida mitjançant relé, que els fa capaços d'atacar directament dispositius externs.

IV. Elements d'accionament d'eixos

Aquest capítol pretén fer una ullada general sobre els diferents elements que intervenen a l'accionament d'un eix d'un control numèric.

A. Motors i etapes de potència

Històricament, es pot parlar de l'existència de multiplicitat de tipus d'actuadors, com són les turbines de vapor o de gas, els motors hidràulics i neumàtics, i els motors de combustió interna, tots ells recolzats per sistemes mecànics d'acoblament.

La gran evolució dels dispositius semiconductors de potència, la millora dels materials magnètics utilitzats en la construcció de motos, i la incorporació de microprocessadors i algorismes software en les tasques de pilotatge, ha suposat la "reconversió elèctrica" de la indústria, on els motors elèctrics han substituït eficaçment els altres tipus d'accionadors a les aplicacions industrials, i com a cas particular, en les aplicacions de moviment controlat d'eixos.

1. **Motors DC, Motors AC**

Els tipus de motors aplicables es diferencien genèricament

D'una banda hi ha els motors d'alterna, que transformen un corrent alterna en moviment., sent la seva velocitat de gir directament proporcional a la freqüència d'excitació

D'entre ells, els anomenats "asíncrones" són molt econòmics, i mentre proporcionen una potència raonablement constant amb la velocitat, ofereixen un PARELL molt baix a baixes velocitats. És per això que són indicats per a pilotar capçals de gir, però no s'usen per a realitzar posicionats d'eixos.

Sí que són utilitzats en el moviment d'eixos, els motors d'alterna "síncrones", que poden ser regulats en velocitat mitjançant un convertidor de freqüència, i citarem després.

Durant molts anys, els motors amb mes aplicació com a accionament elèctric del moviment del eixos han estat els motors "de corrent continu", malgrat la posterior substitució per un altre tipus de motors d'alterna, la seva tecnologia i mode de pilotatge, ha condicionat el disseny de la part de regulació i accionament continguda als CNC.

La regulació no pot ser més simple: la seva velocitat de gir és proporcional a la tensió contínua d'alimentació, i el parell que proporciona és proporcional al corrent que circula pel devanat de l'induit.

La velocitat es controla electrònicament a partir de la mesura que es pren "in situ" mitjançant un tacòmetre. Aquest element proporciona un nivell de tensió proporcional a la velocitat de gir. La realimentació d'aquesta tensió al regulador permetrà a l'electrònica de control corregir les desviacions a la velocitat del motor, respecte a l'excitació original (un valor de consigna de tensió).

Malgrat la simplicitat en la seva regulació, aquests motors presenten alguns punts febles, derivats de la seva construcció interna:

A aquests motors,, el corrent continu que alimenta el motor es transforma en corrent alterna a l'induit, mitjançant un commutador mecànic format per un col·lector rotatiu, i una sèrie de contactes ("escombretes") associats. El commutador provoca en girar la inversió del corrent aplicat, i aquest efecte, combinat amb l'existència d'uns imans permanents a l'estator, provoca el moviment del sistema, mantenint un parell constant amb la velocitat, i resultant molt eficients per al posicionat precís, en respondre molt bé a baixes voltes.

És l'existència d'aquest contacte elèctric no continu actuant per fricció un dels punts febles:

- Un contacte commutant, limita el corrent de l'induit, i la tensió d'alimentació, i com a conseqüència, en queden limitades la potència i la velocitat màximes de construcció.
- El desgast de les "escombretes" de contacte obliga a un manteniment periòdic i especialitzat.
- La presència d'aquests tipus de contacte commutat, pot provocar arcs de commutació, i els fa inviables per a funcionar en determinats entorns d'utilització, i en zones "classificades".
- El col·lector al rotor n'augmenta la inèrcia.

La solució adoptada per a resoldre aquests problemes ha estat substituir la commutació mecànica per un dispositiu electrònic capaç de commutar el sentit del corrent de l'induit a cada bobina, d'acord amb una mesura de la orientació del rotor respecte a l'estator.

En aquest cas, les bobines d'excitació ja poden ser a l'estator, ubicant-se els imans al rotor del sistema. Amb un rotor intern d'imans permanents, i un estator amb bobines desfasades, un resolver o captador de posició intern, va detectant el gir dels pols de l'estator, i n'informa l'etapa d'accionament, que commuta la polaritat de l'excitació, garantint-ne un gir regulat.

Aquests motors, ofereixen en la seva gama alta, prestacions comparables als clàssics motors de corrent contínua (i potser, per comparació, s'els anomena "brushless", tot remarquant l'absència d'escombretes de contacte intern).

- sense manteniment (no hi ha escombretes"
- sense els problemes derivats de la commutació mecànica.
- Els devanats són a l'estator, i això permet el contacte amb la carcassa, i una millor dissipació de calor.
- Menor inèrcia.

Una característica interessant d'aquests accionaments, és l'existència d'un sensor de posició relativa del rotor. Encara que un mètode senzill podrien ser un detectors interns d'efecte hall activats directament pels imans del rotor, és molt millor incorporar un captador rotatiu ou un resolver.

L'avantatge és que el mateix transductor pot ser l'utilitzat per tancar el llaç de realimentació de posició.

2. Motors pas a pas

Es podria dir que un motor pas a pas no és tant un accionament industrial com un transductor de posició.

Bàsicament és un motor síncron, amb una sèrie de devanats a l'estator (fases) i un gran nombre de pols al rotor. L'activació cíclica i sincronitzada de cada una de les fases, origina un gir elemental i constant del rotor, anomenat "pas".

Segons el nombre de pols i la seva distribució, s'aconseguirà dividir una volta completa en mes o menys passos (un valor típic són 200 passos per volta), podent-se pilotar el "pas sencer", "mig pas", o micropassos.

A mode d'exemple, un motor amb 200 passos per volta aplicat a un vis de 5 milimetres de pas, i funcionant en règim de "mitjos passos",

proporciona una resolució màxima de posicionament (mig pas) de 0,0125 mm.

Un dels avantatges en la utilització d'aquests motors és la simplicitat en el senyal de consigna que cal subministrar a l'etapa de potència. (de fet, hi ha multitud de circuits integrats al mercat, i fins i tot targes PC-compatibles especialitzades en el seu pilotatge).

N'hi ha prou amb emetre un tren de polsos (un per a cada "pas" o recorregut elemental, acompanyat d'un senyal de "signe" positiu o negatiu. La freqüència d'emissió d'aquests polsos determinarà la velocitat del moviment.

El fet de tractar-se d'una excitació digital, fa que no apareguin problemàtiques de soroll elèctric associades als senyals analògics necessaris per a pilotar altres tipus d'accionaments.

El sistema proporciona màxim parell quan està aturat, i aquest parell baixa quan augmenta la velocitat.

La seva regulació és en "llaç obert" (sense realimentació), i això n'és el principal problema. Efectivament, el sistema no és capaç de detectar si el circuit de control es descompta o "perd passos", i això pot passar:

- si hi ha una càrrega mecànica excessiva
- amb una acceleració o desacceleració inadequades
- un punt dur a l'eix de desplaçament.
- Un moviment de l'eix incontrolat, o fet manualment.

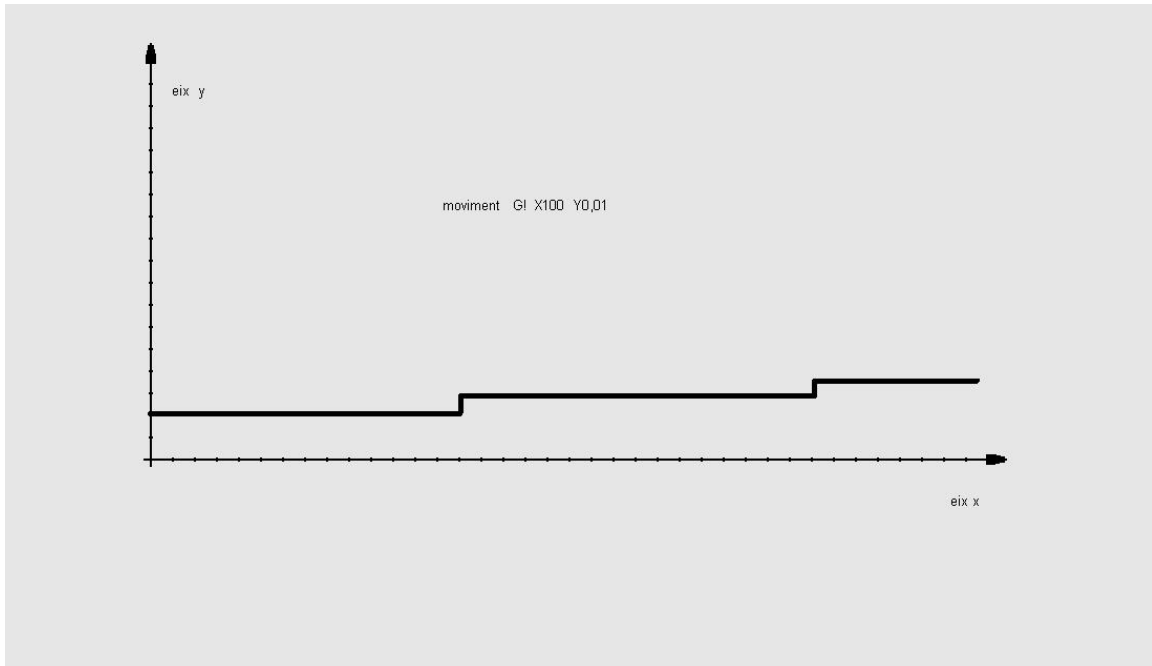
El fet que el parell subministrat sigui decreixent amb la velocitat del moviment, no mes que agreujar aquests problemes, i n'ha limitat la utilització a màquines petites i amb moviments lents.

El posicionament que proporcionen és molt precís i estable, però la naturalesa "discreta" del moviment pot ocasionar algun problema en aplicacions de contornejat de precisió.

Efectivament, un sistema en llaç tancat i comanat en velocitat presenta un comportament molt més amortit que un sistema comanat en mode posicionament.

Així, per exemple, si es fa una interpolació lineal a dos eixos, on el component del moviment respecte a un dels eixos és molt gran

respecte al segon component, ens podem trobar amb unes "marques" a la peça, provocades pel salt del "pas" que realitza l'eix amb menys recorregut.



B. Captadors de posició

Com és sabut, la naturalesa en llaç tancat de l'accionament dels eixos de control numèric, comporta la necessitat de capturar la posició en que es troba cada eix en tot moment. Aquesta captura es fa mitjançant els dispositius anomenats "captadors de posició"

Poden establir-se múltiples criteris a l'hora de diferenciar en famílies els diferents tipus de captadors. Així, podem diferenciar entre captadors analògics i digitals, captadors absoluts i incrementals, i altres.

La diferenciació que considerarem, serà atenent a les seves característiques físiques

1. Captadors lineals

Normalment anomenats "regles", consisteixen en una vareta o element lineal que es fixa físicament a l'eix (a una fresadora de bancada fixa, per exemple, aniria fixat a la mateixa bancada). Lligat a aquest element lineal hi ha un element "captor", que anirà fixat a l'element mòbil.

En desplaçar-se l'eix, el capçal lector també es desplaçarà al llarg de la regla, de manera que sigui capaç de mesurar el moviment realitzat.

- òptics, magnètics.

Al cas d'un dispositiu òptic de lectura, el capçal disposa d'un lector capaç de detectar unes minúscules marques o "ranures" gravades a la regla lineal, normalment sobre una fina làmina de vidre. Són els més estesos i econòmics, encara que resulten sensibles als cops i a la contaminació ambiental, i necessiten una certa atenció al moment de la instal·lació.

Per als cassos als que cal un sistema immune a la contaminació, o fins i tot capaç de treballar submergit en un líquid, existeixen regles magnètiques amb un sistema de detecció magnètic.

En ambdós cassos, els lectors proporcionen un senyals sinusoidals, fent falta un conformador extern de senyals (vulgarment anomenat "exe"), per tal d'obtenir els trens d'impulsos que espera el mòdul de captació del CNC o el regulador.

- Incrementals - absolutes

Les regles lineals solen treballar en mode incremental, és a dir, subministren un tren d'impulsos associat al moviment, sent l'etapa de captació del CNC la que ha de gestionar aquestes senyals, per tal de conèixer exactament en quina posició es troba l'eix.

Com a punt de referència, la regla disposa d'un "senyal d'origen", que es cableja separatament al CNC, un cop detectat el qual, s'hi referenciarà la posició de l'eix, tot comptabilitzant els impulsos incrementals rebuts. Aquest origen pot ser mòbil, de manera que es pot triar al moment de la instal·lació inicial en quina posició física es desitja que estigui ubicat l'origen de cada eix.

Les anomenades "regles absolutes", subministren en tot moment un senyal en codi binari, que indica la posició absoluta de l'eix. En aquest cas, cal una interfase específica al CNC.

L'avantatge d'aquests dispositius és que la pròpia regla dona la informació completa de la posició, i no cal que la màquina passi per l'origen físic per referenciar l'eix, cada cop que es reinicia o connecta de nou el sistema.

2. Captadors rotatius

Anomenats vulgarment "encoder", la filosofia interna de construcció és similar a la dels dispositius lineals.

Una unitat de captació detecta una sèrie de marques que estan gravades a un disc o làmina circular interior. El detector es fixa a la carcassa de la màquina, mentre el disc gravat es mou solidàriament amb l'eix giratori acoblat al motor.

En detectar les línies gravades, el lector emet un tren de polsos, que són els que detectarà el CNC, fent-ne un tractament de mode incremental.

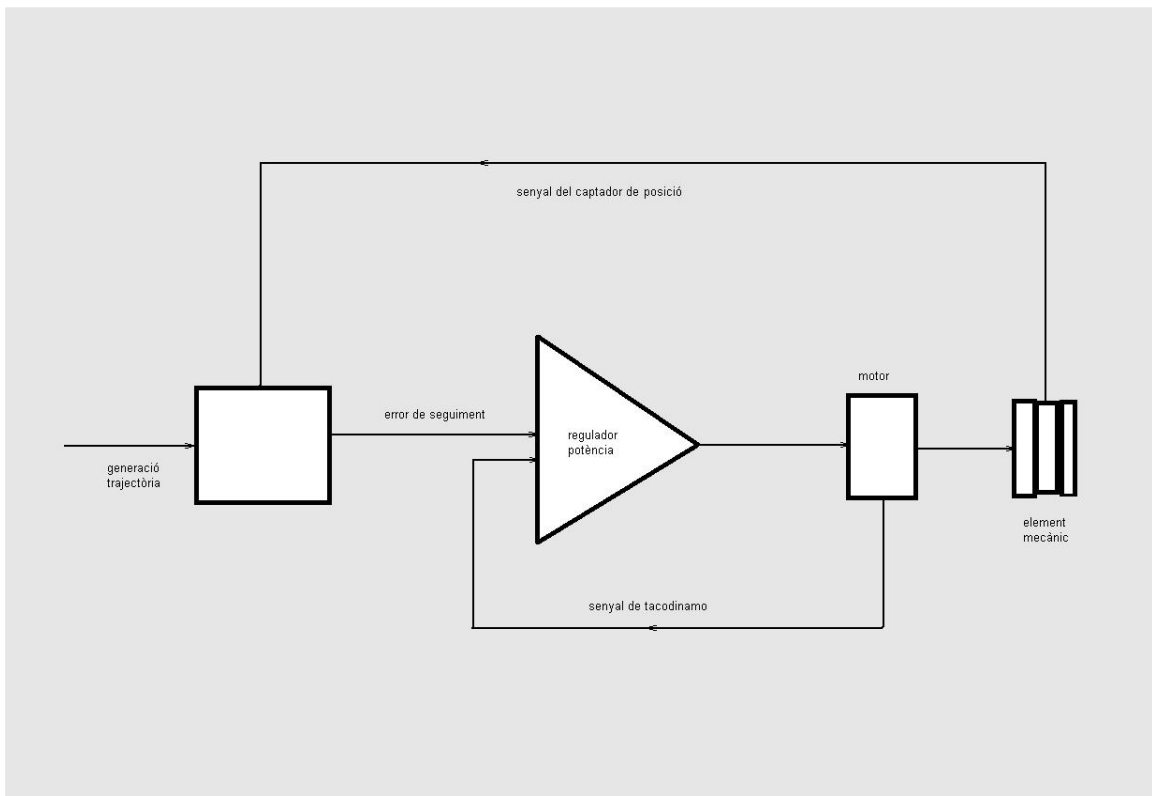
Associat a aquests impulsos de captació, també hi ha un senyal d'origen, el tractament del qual és similar als dels captadors lineals, amb l'única salvedat de que caldrà seleccionar un únic origen per al recorregut total de l'eix, d'entre els varis que emetrà el captador en moure's l'eix (el captador emetrà un "origen" per cada gir complet del seu disc intern).

D'igual manera a com passava amb els captadors lineals, existeixen també captadors rotatius magnètics (anomenats vulgarment "resolvers". Solen emetre uns senyals sinusoidals, que cal conformar adequadament mitjançant uns mòduls hardware, per tal de fer-los compatibles amb els senyals que emeten els captadors òptics.

V. Regulació d'un eix

De tot el procés de posta en marxa d'un sistema on hi intervé un control numèric, potser la part més important i complexa és la que correspon a la regulació del moviment dels eixos.

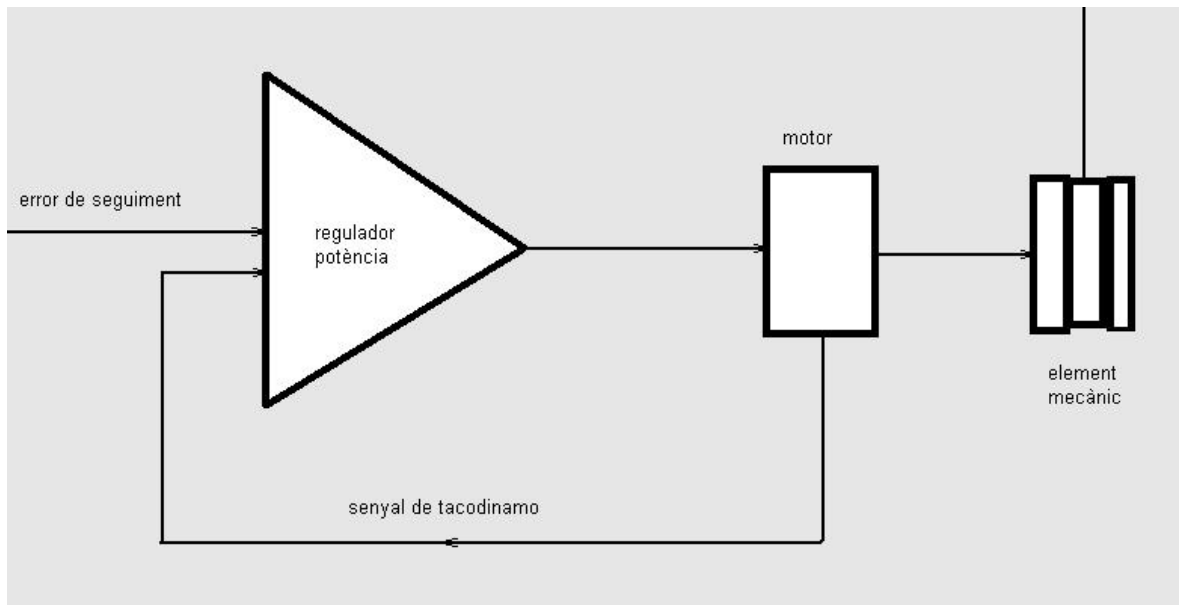
És un apartat on hi interaccionen tots els ajustos particulars de cada element, i fins i tot cal considerar que l'ajust de cada un dels eixos, es pot veure condicionat per l'ajust de tots els altres, i tots ells en conjunt, condicionats pel contingut dels paràmetres generals del sistema.



A. Servo de velocitat

L'existència d'un servo de velocitat és conseqüència del fet que els motors dels eixos són accionats amb una consigna de valora proporcional a la velocitat desitjada.

Els servomotors recullen una mostra de la velocitat real del motor, i compensen interna i contínuament l'excitació que li envien, per tal de mantenir-la estable al valor teòric desitjat.



El llaç de realimentació està format pels següents elements:

- Un detector de la velocitat de gir, directa o indirectament acoblat al motor (una tacodinamo per als servomotors de corrent continu, o un resolver per als de corrent altern).
- Una unitat de control (regulador de potència), que a partir del valor de consigna, i del senyal de detecció capturada, emet l'excitació cap al motor.
- El motor.

El regulador, com a unitat de control (actualment molt computeritzats), no es limita a excitar el motor, sinó que és capaç de gestionar les anomalies en el funcionament del sistema.

Tot gestionant uns valors d'ajustament (guany de realimentació, rampes, corrent eficaç i corrent màxim, ...), l'equip actuarà el motor, i a l'hora gestionarà també una seqüència d'emergència, en cas de detectar qualsevol anomalia (limitació al corrent eficaç i de sobreintensitat, control de sobretemperatura, detecció de defecte al captador, ...)

Independentment del seus mecanismes propis, el regulador emet un senyal de defecte a l'exterior, anomenada VRDY, que haurà de ser capturada i processada pel CNC.

B. Servo de posició

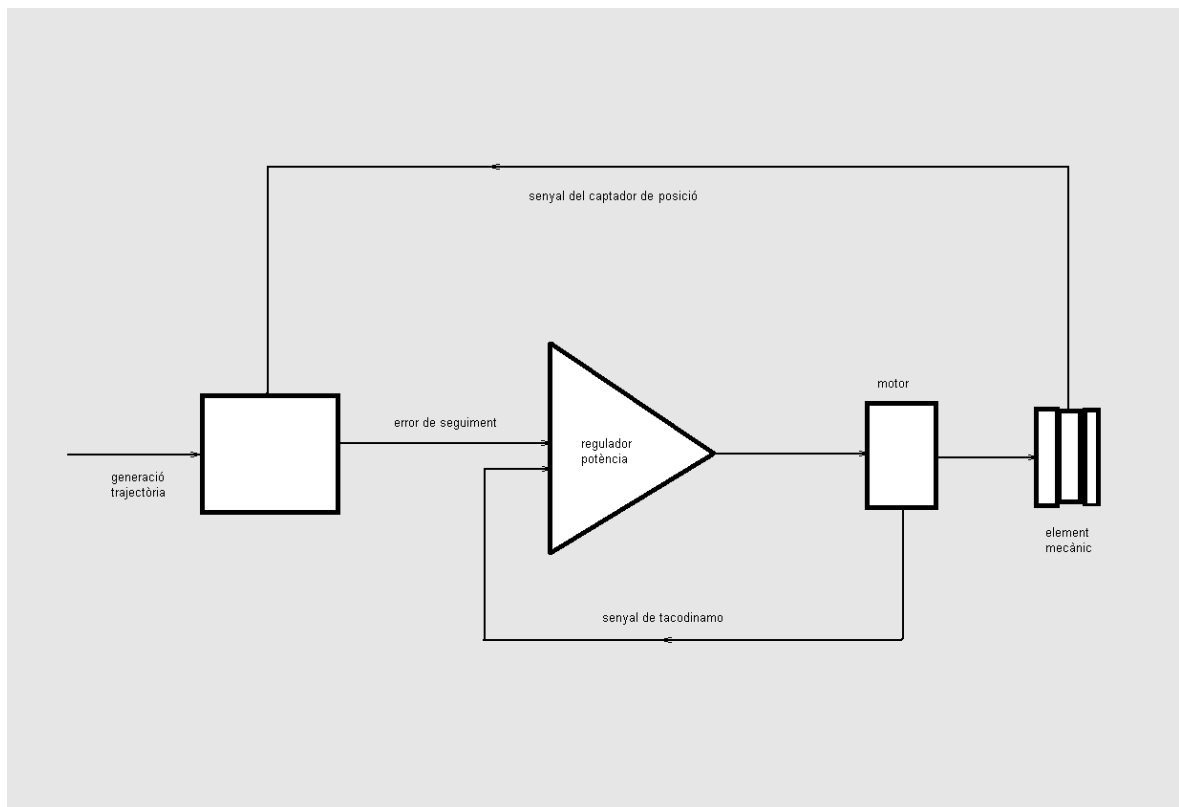
El servo de posició dels eixos del sistema, sol ser gestionat internament pel CNC, però també pot anar incorporat a l'accionament computeritzat del motor (on es gestiona el servo de velocitat)

El llaç està format pels següents elements:

- un captador de posició, lligat a la mecànica del sistema.
- Una unitat de control (normalment el propi CNC)
- Una etapa de potència
- El motor

1. Consideracions d'estabilitat

El diagrama de blocs bàsic dles elements que interveine a la regulació seria:



On el model matemàtic clàssic en parla de tres termes de realimentació (proporcional, integral i derivativa).

Els tres termes són susceptibles de ser incorporats fàcilment en un regulador digital, i a tots ells, cal arribar a un compromís entre una minimització de l'error de seguiment, i el manteniment de les condicions d'estabilitat.

En la regulació de l'eix, s'hi pot afegir un terme d'excitació relacionat amb una consigna de velocitat del mòdul de generació de trajectòria ("feed Forward"), però amb moltes precaucions pel que fa a la seva contribució a d'instabilitat (i als efectes del tipus "over-shooting").

Com sempre, una anàlisi teòrica del servo de cada eix suposa, no solament estudiar-ne el comportament en "règim permanent", sinó també la resposta a les transicions, a l'excitació inicial, i a possibles perturbacions del sistema. (les etapes de potència computeritzades, responsables tant del llaç de velocitat com del de posició, disposen d'unes seqüències d'autoajust "auto-tuning", en les que es generen una sèrie d'excitacions, i s'auto-calculen els paràmetres òptims del servo automàticament, després de processar-ne les respostes a cada una).

Amb tot, la dificultat més important és la modelització exacta del sistema, i la quantificació de l'efecte de cada un dels elements que el componen (acoblements, amortiment, inèrcies mecàniques, etc.)

Com a resultat, el procés de posta en marxa d'un sistema presenta un caràcter sorprenentment empíric.

Un exemple real il·lustratiu, pot ser l'efecte que provoca el "joc" produït per un mal ajustament del vis de la màquina al seu cargol, combinat amb l'efecte d'una lleugera fricció a la transmissió del sistema, i la seva repercussió en un moviment curt de l'eix.

Cas a. Eix amb un captador rotatiu.

A una petita consigna del CNC, li seguirà un moviment del motor, que serà automàticament capturat pel captador rotatiu de posició que hi està directament acoblat, i que girarà per tant solidàriament.

El CNC "entendrà" que el moviment s'ha realitzat correctament, donat que el captador haurà girat, encara que l'eix lineal associat no s'hagi realment mogut, en ser absorbit el gir del vis pel "joc"

del sistema, o no respondre-hi simplement per problemes de deslligament.

El sistema serà doncs "imprecís, però estable"

Cas b. Eix amb un captador lineal (regla)

Idèntica hipòtesi. La consigna del CNC desencadena un moviment del motor, el gir es absorbit pel "defecte" del sistema, i no és tradueix en cap moviment físic de l'eix. En aquest cas, però, el sistema de captació, associat directament al moviment lineal, informarà correctament, en no detectar cap moviment.

El servo intentarà corregir l'error, generant una sobre-excitació del sistema. Fins que el sistema aconsegueixi respondre físicament. Quan ho faci, probablement ho farà amb un moviment que ultrapassi el moviment teòric programat, provocant, com a conseqüència, una excitació en sentit contrari per tal de corregir el nou l'error.

La repetició d'aquesta seqüència portaria a una oscil·lació continuada de l'eix

2. Connexionat bàsic

Alguns equips de control numèric agrupen el senyals d'interconnexió en funció del dispositiu extern. Així, en mosts cassos, hi ha físicament un connector per al captador, i un altre per a les senyals del regulador de l'eix.

Cal tenir en compte que al CNC no sempre hi arriba directament la senyal del captador de posició. Com ja hem dit, en els accionaments amb servomotors "brushless", existeix un resolver acoblat al motor que subministra senyals a l'etapa de potència. En aquest cas, el propi regulador conforma aquests senyals, i envia al CNC uns senyals "compatibles" amb els que enviaria un captador rotatiu convencional.

Una consideració prèvia: L'evolució tecnològica dels darrers anys ha revolucionat les prestacions i capacitat de connexió de tots aquests dispositius.

Efectivament, la incorporació de tècniques de control on-line distribuït a sectors com per exemple, l'automoció, ha disparat el desenvolupament tecnològic de xarxes de comunicació d'alta velocitat i eficiència (al cas de l'automoció, per exemple, el bus CAN). La

incorporació d'electrònica especialment dedicada als diferents elements distribuïts, fa que s'hagin dedicat esforços a establir standards de comunicació de xarxes industrials (i fins i tot, IP, via bluetooth o Wi-Fi).

Fruit d'aquesta evolució ha estat una simplificació de la interconnexió dels elements que acompanyen un CNC a les aplicacions industrials.

Malgrat tot, una breu anàlisi de la naturalesa dels senyals, i fins i tot de la connexió per mitjans "tradicionals", ajudarà a descriure'n les característiques.

- **Senyals del captador.**

o Senyal d'alimentació.

Els captadors de posició solen tenir unes especificacions molt estrictes pel que fa a la seva alimentació (+5V estabilitzats), i cal tenir en compte, que una fallada en aquest senyal provocaria un error de comptatge, i amb ell una pèrdua de posició (que en un eix d'una màquina eina, pot ser fins i tot molt perillosa)

Aquesta criticitat aconsella el cablejat d'un "retorn" del senyal d'alimentació cap a la font, de manera que aquesta en pugui corregir desviacions. També existeix un senyal d'alarma d'alimentació, l'activació de la qual serà detectada pel CNC, per aturar el funcionament del sistema.

o Senyals de posició.

Són senyals fonamentals per al sistema

Un captador de posició tradicional, lliura al controlador dos trens d'impulsos rectangulars desfasats 90°, normalment anomenats "A" i "B".

Si els senyals han d'arribar des del captador (ubicat normalment a un extrem de l'eix de la màquina) cap al CNC, això pot suposar una distància considerable. És per això, que caldrà protegir-les adequadament (circuit "line driver" de sortida, i cable de parells trenats i apantallats).

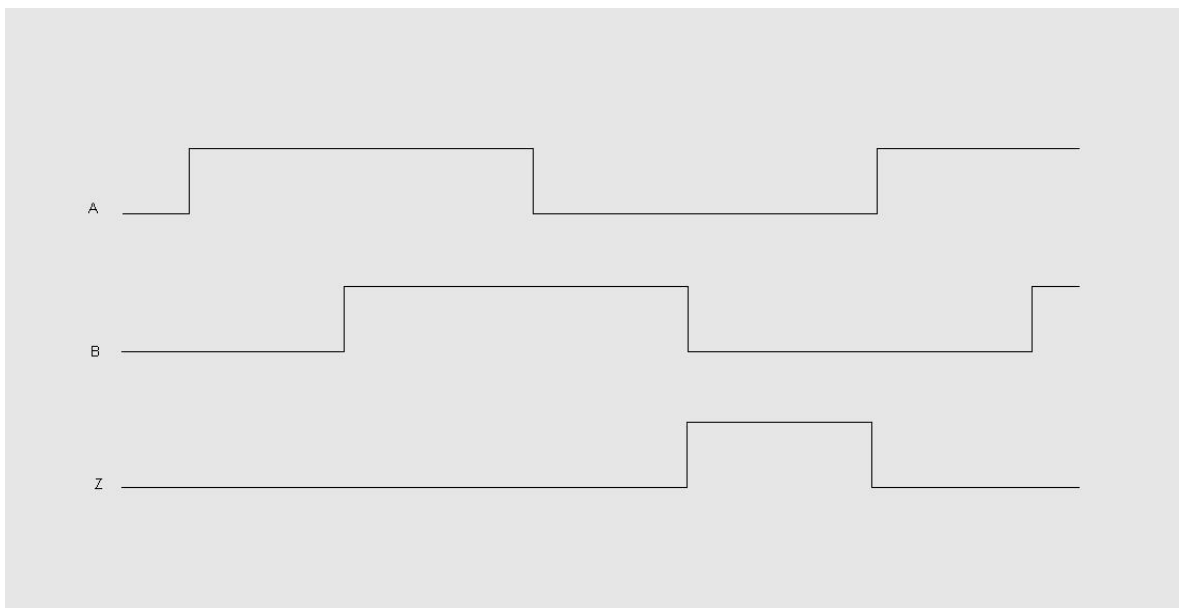
- Senyals d'alarma.

Alguns captadors disposen d'una sortida d'alarma de funcionament, encara que no tots els CNC estan preparats per a processar-la.

- Senyal d'origen

Els captadors han de subministrar un senyal d'origen, en algun punt del seu recorregut..

Per tal de garantir una correcta detecció d'aquest senyal, els captadors el fan coincidir amb uns determinats nivells del senyal A i B (generalment, el nivell alt, encara que sol ser parametrizable)



- **Senyals del regulador de potència.**

- Senyal de consigna

Encara en la majoria de sistemes, la consigna que va des del CNC al regulador és un senyal analògic (proporcional a la velocitat).

És doncs un senyal delicat, qualsevol pertorbació suposarà un moviment no desitjat a la màquina, i per

tant, cal extremar les precaucions en manegar-lo (cable trenat i apantallat, de longitud el mes curt possible, sense passar per bornes o regletes, sense derivacions, i físicament el mes allunyat possible d'altres cables de l'armari de la maniobra)..

Les especificacions elèctriques varien d'un CNC a l'altre, sobretot pel que fa al mínim increment de tensió que és capaç de generar (aquest valor estableix la resolució d'excitació del CNC, i amb ella, la precisió en la regulació del moviment i la posició).

Uns valors típics serien:

- Tensió nominal a avanç ràpid: 8V (Tensió màxima: 10V)
- Mínim increment de tensió: 305 microVolts (el que correspondria a un DAC de 16 bits)

○ Senyals auxiliars

- Senyal VRDY

És un senyal emesa pel regulador, indica el correcte funcionament del conjunt variador-motor. La detecció d'una anomalia en aquest senyal ha de provocar una alarma "fatal" del sistema, sols rearmable amb un RESET general.

- Senyal ENVAR

El senyal "Enable Var" l'emet el CNC per a habilitar o bloquejar el regulador de potència del motor.

En sistemes que disposin de servos no continus, com és el cas d'eixos amb frens o sistemes de blocatge mecànic en arribar a la posició, aquest senyal s'utilitza per a accionar el blocatge.

- **Altres senyals**

- Senyal ZVAL

En aquells eixos als quals el captador emeti mes d'un zero per a tot el recorregut (és el cas dels captadors rotatius), l'activació del contacte ZVAL servirà per a validar un dels punts zero del captador com a origen màquina.

El senyal sol anar cablejada a un microrruptor associat a una lleva. Aquesta lleva ha de disposar d'un tram de contacte lo suficient curt com per que l'ña seva activació tan sols coincideixi amb un dels orígens del captador.

- Finals de carrera

Per a cada eix, el sistema gestiona les entrades "lim+" i "lim-". Van associades a uns microrruptors col·locats a l'extrem dels recorreguts de l'eix, i indiquen els límits físics a cada un dels recorreguts.

Aquests senyals són mostrejats continuament, de manera que si es "trepitja" un dels microrruptors, immediatament es genera l'alarma de seguretat corresponent, que fa que el CNC forci una aturada controlada del moviment (amb una rampa molt abrupta).

No s'han de confondre aquests límits de final de carrera del CNC amb els límits finals d'emergència de seguretat del sistema. En ser trepitjats, aquests límits desconnecten immediatament l'alimentació de les etapes de potència dels eixos.

Caldrà doncs situar les lleves dels lim+ i lim- de manera que tinguin prou recorregut, i permetin l'actuació completa del procés de frenada controlada de l'eix (calculat a màxima velocitat), abans que l'emergència final actui desconnectant els reguladors, cosa que deixaria el sistema descontrolat

3. Resolució de captació

En control numèric pren la posició de cada eix a partir dels senyals que rep del corresponent captador.

La correspondència entre els senyals rebuts i la mesura física de distància que hi v associada, no depèn únicament del CNC i del

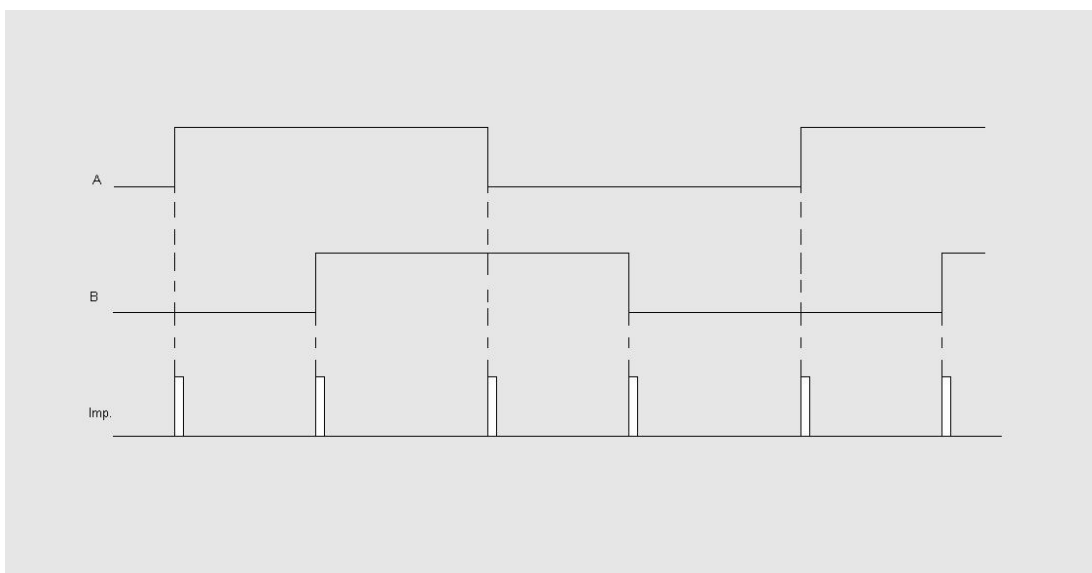
captador, sinó que està relacionada amb els elements que intervenen en la cadena cinemàtica de l'eix.

- tipus de captador i impulsos que emet
- existència d'acoblaments, visos, cremalleres, politges, que alterin la relació física entre la mesura del captador i el moviment físic de l'eix.
- Conversió interna del CNC dels impulsos rebuts.
- ...

El CNC treballa internament amb una entitat bàsica anomenada "impuls de captació". Aquest impuls serà la unitat bàsica que el CNC convertirà, via software, en unitats físiques de distància, l'ordre de magnitud de les quals dependrà de les necessitats de cada aplicació:

- Una micra (el cas més usual a fresadores, torns, puntejadores i altres màquines de precisió)
- Una centèsima de milímetre (cas de punxonadores, màquines làser, etc.)
- Una dècima de milímetre (màquines d'oxitall, polidores, aplicacions per a la fusta, etc.)

Tant pel cas dels captadors lineals, com als rotatius, el CNC rebrà dues senyals A i B, i d'aquests dos senyals, el CNC és capaç d'extreure'n els corresponents impulsos de captació.



Paramètricament es pot decidir si s'obtenen, per a cada cicle dels senyals A i B, quatre impulsos (corresponents a quatre flancs) o bé dos impulsos, i un paràmetre intern de la configuració del NCN permetrà associar una distància física a cada impuls de captació

Els graus de llibertat en l'elecció d'aquest paràmetre depenen del CNC, però els valors més característics fan que un impuls equivalgui als valors de 0,001 mm., 0,005 mm., 0,01 mm., 0,02 mm., 0,05 mm., o 0,1 mm. (o l'equivalent en graus sexagesimals per als eixos giratoris)

Al cas dels captadors lineals, la parametrització és immediata. Al cas dels captadors rotatius, cal estudiar una mica l'eix en qüestió, i seleccionar el tipus de captador a utilitzar..

- Exemple-1

Es pretén obtenir una resolució d'una micra, en un eix amb un vis de 5 mm. de pas, a l'extrem del qual s'ha d'acoblar directament un captador rotatiu a determinar.

N = pulsos per volta del captador (valor a calcular)

Parametritzem el CNC per obtenir 4 impulsos per cada pols del captador

L'eix recorre una distància de 5 mm. per a cada volta del captador (és el pas del vis)

El CNC associa 0,001 mm. a cada impuls de captació.

$$N = [(1 (\text{imp.CNC} / 0,001\text{mm})) * (5 (\text{mm./volta})) / (4 (\text{imp.CNC} / \text{puls captador}))]$$

$$N = 1250 (\text{pulsos /volta})$$

Caldrà doncs seleccionar un captador rotatiu que proporcioni 1250 impulsos per volta (és un valor típic)

- Exemple-2

Es pretén obtenir una resolució d'una centèsima de grau, en un plat giratori, amb el que el motor d'accionament (i l'encoder que hi va acoblat) manté una relació de gir 1:90 (valor típic)

N = pulsos per volta del captador (valor a calcular)

Parametritzem el CNC per obtenir 4 impulsos per cada pols del captador

Un gir del plat són 360°

A cada volta del plat li corresponen 90 voltes del captador

El CNC associa 0,01° a cada impuls de captació.

$$N = \frac{[1 (\text{impuls CNC} / 0,01^\circ) * 360 (\text{°} / \text{volta plat})]}{[90 (\text{voltes captador} / \text{volta plat}) * 4 (\text{impulsos CNC} / \text{pols captador})]}$$

$$N = 1000 (\text{polsos} / \text{volta captador})$$

En aquest cas caldrà seleccionar un captador rotatiu que proporcioni 1000 impulsos per volta (també és un valor típic)

4. Determinació de l'origen

Tal com s'ha explicat, a cada eix del sistema li ha de correspondre un punt d'origen-màquina, i aquest senyal és subministrat pel captador de posició, i cablejat cap al CNC.

Alguns sistemes especials són capaços de mantenir internament la posició de la màquina respecte a l'origen-màquina, fins i tot quan s'ha desconnectat l'alimentació del sistema.

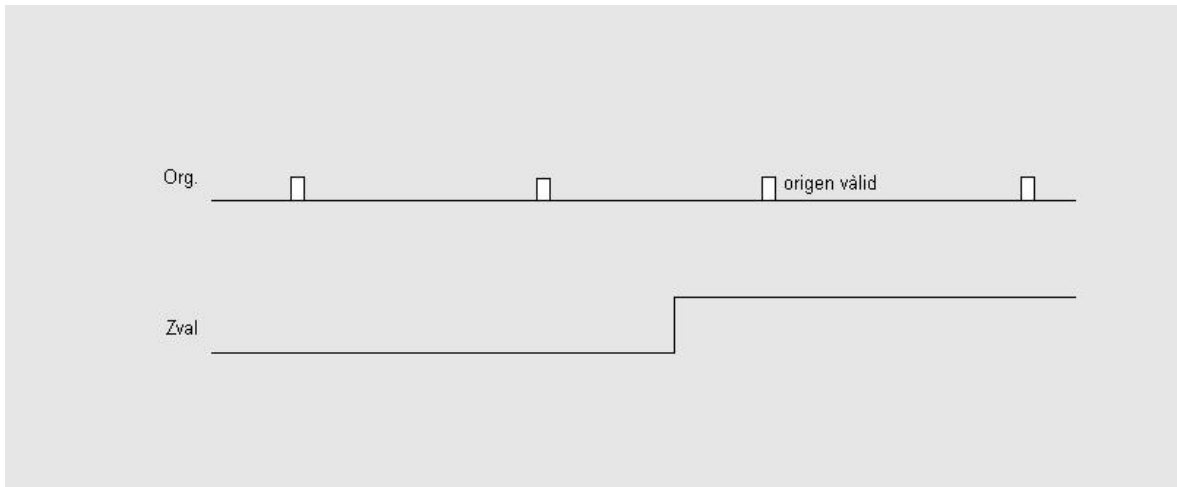
El procediment es basa en la utilització de captadors absoluts, que proporcionen per sí mateixos la mesura absoluta de la posició respecte al seu propi origen. Quan s'utilitzen captadors incrementals, també es pot aconseguir l'objectiu, mantenint una alimentació garantida als captadors de posició, i a la part del CNC que vi és relacionada.

Amb tot, la majoria dels sistemes es basen en la utilització de captadors incrementals, i el sistema no és capaç de detectar variacions a la posició de la màquina quan s'ha desconnectat l'alimentació.

És per això que cal procedir necessàriament a una detecció física de l'origen després d'haver fet un "RESET" del sistema, i aquesta

detecció suposa un pas previ i ineludible, abans de procedir a treballar amb la màquina.

Aquesta detecció inicial pot fer-se manualment mitjançant pulsadors especials del panell frontal, que acosten cada eix cap a la zona on es troba l'origen. També pot fer-se una detecció automàtica, tot executant una instrucció especial del CNC per la qual l'equip "reconeix en quin sentit s'ha de moure cada eix per tal d'aproximar-se a la zona on es troba l'origen



Per a la determinació d'aquest sentit d'aproximació s'utilitza la mateixa senyal ZVAL.

5. Paràmetres del servo

Aquest paràmetres cal introduir-los al sistema, com a part de la seva configuració inicial, a la posta en marxa.

- Velocitat màxima

En un sistema, cada eix sol tenir el seu propi valor de velocitat màxima (normalment mesurat en mm/min) de desplaçament, que dependrà de la seva construcció.

- Guany de realimentació

Són els valors dels coeficients a aplicar als factors Proporcional ("Ke"), i Derivatiu, i Feed Forward (en cas de que existeixin) del servo de l'eix.

Uns valors massa elevats poden produir una oscil·lació amortida, i fins i tot una oscil·lació inestable, mentre uns valors massa baixos es tradueixen en una sub-excitació, i per tant una dinàmica lenta i imprecisa.

Als sistemes que treballen interpolant eixos, cal garantir que la dinàmica de cada un dels eixos a interpolar sigui idèntica (en cas contrari, l'execució d'una recta podria donar com a resultat una trajectòria en forma d'essa (S)). Per evitar aquest efecte, si per exemple sols treballem amb el factor K_e , cal que el producte de multiplicar la velocitat màxima i la K_e , tingui un valor resultat idèntic per a cada eix, encara que aconseguir-ho suposi sacrificar una mica una òptica dinàmica d'alguns dels eixos.

- Error de seguiment

És la distància que hi ha en tot moment entre la cota real i la cota teòrica de cada eix. L'algorisme de servo de posició fa servir aquest valor per afectar-lo dels factors de realimentació, i generar la correcció corresponent.

La seva magnitud depèn de:

- Guany de realimentació
- Velocitat màxima de l'eix
- Període de mostreig del CNC
- Característiques mecàniques de l'eix.

Per a cada eix, el control numèric disposa d'un paràmetre intern que indica quin és el valor límit per sobre del qual el CNC entén que s'ha ultrapassat el valor màxim tolerable d'error de seguiment, i cal desencadenar una alarma (un valor típic per aquest paràmetre sol ser el valor standard mesurat per a un moviment a la màxima velocitat del sistema, afectat d'un valor de seguretat de 1,25).

- Rampes d'acceleració

La rampa d'acceleració suposa un valor teòric que ha de ser introduït en els paràmetres dels eixos, i ha de ser el més aproximat possible a la resposta real del sistema mecànic.

Al cas d'una rampa lineal, el valor a introduir és el temps en milisegons que es concedeix al sistema per a arribar a la màxima velocitat lineal.

Alguns equips disposen de la possibilitat de definir transitoris d'acceleració no lineals (en forma de poligonal formada per dos o mes trams lineals amb pendents parametrizables).

- **Error de posició**

Aquest valor indica l'entorn de posicionament màxim dins del qual el sistema considera que s'ha arribat a la cota programada en el moviment, i es pot continuar normalment l'execució del programa amb la següent seqüència.

- **Funcionament amb blocatge**

Molts controls numèrics disposen d'un paràmetre intern que permet considerar un dels seus eixos com a eix continu, o bé com un eix a funcionar amb blocatge. En aquest darrer cas, el sistema fa us del senyal d'habilitació del regulador per a gestionar la maniobra de bloqueig de l'eix en arribar a cada posició:

- el sistema arriba a la cota programada
- Si després de passat un determinat temps (parametrizable, i normalment de l'ordre de 100 msec.), no ha arribat cap altra ordre de moviment, el CNC desactiva el senyal ENVAR d'habilitació del regulador de potència.
- El mateix senyal ENVAR desencadena la maniobra pròpia del blocatge (activació d'un fre, buló, etc.)
- Tot i procedir a la deshabilitació del regulador, el CNC manté en memòria el valor de l'error de posició de l'eix, per tal de corregir-lo quan torni a ser habilitat (cal tenir en compte que el mateix procés de blocatge pot provocar un lleuger moviment de l'eix)

- **Altres paràmetres dels eixos**

Hi ha molts altres paràmetres a introduir en el moment de la posta en marxa dels eixos, encara que no tinguin una relació directa amb el servo de posició.

- límits de final de carrera per software
- valor de compensació de "joc" a aplicar .
- valors de compensació d'errors de pas del vis
- altres paràmetres per a eixos especials (discontinus o "hirth", giratoris, etc.)

C. Alarmes i seguretats

1. Alarmes externes cablejades directes

Ja se n'ha fet esment al capítol anterior.

- **Alarma de regulador**

Provinent del regulador, indica un mal funcionament d'aquest element. També pot indicar una anomalia tèrmica al motor.. Provoca una "emergència fatal" no rearmable.

- **Alarma de captador**

Rarament cablejada, indica un mal funcionament del captador. Provoca una emergència no rearmable.

- **Límit de final de carrera d'eix**

S'enclava en activar-se el microrruptor per aproximació a l'àrea de final de cursa.

El sistema desencadena una emergència "no fatal", permetent un moviment manual de l'eix afectat, en sentit contrari

2. Alarmes internes de funcionament

- **Alarma per error de seguiment**

Es detecta quan, debut a qualsevol defecte, un dels eixos "es separa" de la posició teòrica que el CNC li té assignada, excedint d'un valor màxim parametrizat.

És una anomalia de difícil diagnòstic, en ser un eix CNC un sistema realimentat, on una anomalia en qualsevol dels elements repercuteix en tots els altres.

Es tracta d'una alarma fatal no rearmable, que es produiria si:

- S'ha produït un defecte al captador (o al cablejat que vehicula les senyals. El CNC no detecta el senyal de

moviment, i interpreta que l'eix s'ha aturat i no segueix la consigna.

- Hi ha una anomalia mecànica, i l'eix s'ha "clavat", aturant-se el moviment.
- Hi ha un mal funcionament d'algun dels elements del servo de velocitat (comanat pel regulador), que provoca un moviment estrany i aliè a la consigna
- La consigna del CNC no arriba al regulador (l'eix no es mou)

- **Error de posicionament**

S'activa quan el sistema detecta que no s'ha pogut arribar físicament al punt de destí d'un moviment, quedant fora de l'entorn de tolerància indicat per un paràmetre interna del sistema.

La causa sol ser un defecte mecànic debut a un problema de fricció o joc mecànic. També saltaria aquesta alarma si un valor d'offset es sobreposés a la consigna analògica del CNC, falsejant-ne el comportament.

- **Alarma d'acceleració**

Alguns equips són capaços, mitjançant un algorisme intern, de detectar una sobreacceleració anormal de l'eix.

D'aquesta manera, s'aconsegueix reaccionar davant qualsevol pertorbació brusca del moviment aliena a l'excitació (un cop, desajustaments mecànics, l'efecte d'un senyal paràsit sobre la senyal d'excitació analògica, etc.)

VI. Senyals d'entrada-sortida

Acompanyant els senyals del control numèric relacionats amb el moviment dels eixos de la màquina, hi ha una altra família de senyals auxiliars, la missió dels quals és intercanviar informació i ordres de comandament amb altres elements perifèrics del sistema.

Són les que s'agrupen sota la denominació de senyals d'entrada-sortida.

Els eixos són simplement eixos, independentment de la màquina que mouen. Vol dir això que, amb matisos, la naturalesa dels elements que el componen és standard, i per tant la dels senyals a tractar és previsible. No passa el mateix amb els altres senyals auxiliars, i això comporta diferents tipus de solucions i arquitectures.

A. Senyals digitals

1. Connexionat bàsic

El mòdul de connexionat dels senyals digitals del CNC varia en funció de l'equip.

- Sortida en col·lector obert
- Sortida lliure de potencial
- Senyals d'entrada

D'entre les modalitats en les etapes d'entrada, la més simple és l'entrada directa d'un nivell TTL.

L'alternativa més comú és la utilització d'una bateria d'optoacopladors

- Connexió en xarxa

Alguns CNC ofereixen la possibilitat d'incorporar un mòdul especial de connexió en xarxa amb altres elements. Això permet la màxima eficiència de connexió amb elements fins i tot llunyans, i amb una gran densitat d'intercanvi d'informació entre ells.

Uns mòduls interns incorporats a cada equip, són capaços de serialitzar la informació, i d'incorporar-la a una xarxa (CAN, ModBus, Profibus, industrial ETHERNET, ...). Cada element

connexionat, disposarà de la seva pròpia etapa com a "node" de la xarxa, respectant els mateixos protocols d'intercanvi.

La simplificació que s'obté és espectacular_

- S'unifiquen al cent per cent els interfases a l'exterior.
- La connexió en xarxa es pot fer fins i tot extensiva a les etapes de potència de cada eix (per a busos de camp molt eficients)
- Simplificació definitiva del connexionat físic (n'hi ha prou amb un parell trenat, i el senyal de terra)

2. Senyals descodificats

Per a aquells casos als que el control numèric ha d'accionar directament els dispositius externs, s'ofereix la possibilitat de gestionar els senyals digitals en forma descodificada.

Això comporta disposar d'una correspondència física senyal de sortida - dispositiu extern.

D'igual manera, cada entrada procedent de l'exterior, disposarà de la seva pròpia línia independent.

3. Senyals codificats

Quan en l'aplicació es disposa d'autòmats programables externs destinats a gestionar senyals auxiliat, la tasca del CNC pel que fa als senyals d'entrada-isortida es veu molt simplificada.

Efectivament, en aquest casos s'opta per comunicar-se amb els elements mitjançant senyals codificats, normalment BCD hexadecimal de dos o quatre dígit (subministrant vuit línies, suposa gestionar dos dígit, i direccionar fins a 256 senyals de sortida).

Treballant amb una informació en paral·lel "tipus bus", cal la utilització d'un senyal auxiliar de validació "STROBE", que s'activa quan l'estabilització de les línies paral·leles està garantida.

La utilització de mes d'un senyal de strobe permetrà al sistema multiplicar les possibilitats de direccionament (per exemple, la diferenciació de dos senyals STROBE és el mètode que s'utilitza per a

indicar al PLC exterior si el que el CNC envia és una "funció M" o una "funció T"

4. La cadena d'emergència

Independentment de les línies particulars de defecte de funcionaments a la regulació dels eixos, tots els sistemes disposen d'una línia independent destinada a desencadenar l'aturada d'emergència del procés. És el que s'anomena "cadena d'emergència".

Aquesta cadena està formada per la connexió en sèrie (o l'equivalent lògic booleà a una connexió sèrie s'hi s'està utilitzant un PLC) de tots els senyals de defecte del sistema, tant si provenen d'elements de la maniobra, com si els ha desencadenat el propi CNC.

Aquests senyals es cablegen de manera que es mantinguin amb el contacte "tancat" quan el sistema està funcionant correctament. L'obertura de qualsevol contacte provinent de qualsevol dels elements que la componen, originarà la interrupció de la continuïtat de la línia, i amb ella, el desencadenament d'una emergència general del sistema.

Amb aquest propòsit, els equips CNC disposen d'un senyal de sortida "emergència out" (dos contactes lliures de potencial) prestos a incorporar-se a aquesta cadena. D'igual manera, disposen d'un senyal d'entrada especial "emergència in" on cal adreçar aquells senyals de defecte externs que hagin d'ocasionar una emergència al CNC

5. Altres senyals de seguretat

Una senyal amb un tractament intern especial és l'anomenada "FEED-HOLD".

En activar-se aquest senyal, el CNC realitza una aturada instantània del moviment en curs. L'equip no desencadena cap alarma, sinó que manté en suspens l'execució del moviment en curs, i amb ell la del conjunt del programa, en espera que es desactivi el senyal. Quan el FEED-HOLD es desactiva, el moviment continua l'execució normal des del punt on s'havia aturat.

A la majoria d'aplicacions, aquest senyal va associat a una barrera òptica de seguretat, o a l'obertura inadequada de proteccions o portes de seguretat.

B. Senyals analògics auxiliars

A part de la consigna de comandament del moviment dels eixos (una sortida de nivell, sovint un senyal analògic de tensió), els CNC ha de gestionar algunes funcions que també requereixen l'emissió de senyals d'aquesta naturalesa. És el cas, per exemple, de la gestió de la velocitat del capçal d'una fresadora o un torn (normalment programat sota una "funció S"). , o la gestió de la intensitat d'un capçal làser.

Per no incorporar una electrònica especial, alguns equips opten per derivar la utilització d'un dels mòduls destinats originàriament a gestionar un eix de moviment, però fent-lo treballar en llaç obert, ometent la rebuda de cap senyal de captació.

El procediment a seguir per activar el senyal consisteix en provocar per programa un "error de posició" fruit d'una instrucció de moviment fictici. Aquesta instrucció, en no veure's corresposta per un moviment real en forma d'impulsos de captació, provoca una excitació proporcional a aquest error, en forma de senyal analògic.. El valor de la sortida analògica serà positiu o negatiu, segons el sentit del moviment programat. Per alterar el valor d'aquesta "consigna", n'hi ha prou amb incrementar o decrementar el senyal d'error, és a dir, allargar o escurçar la instrucció de moviment fictici.

Pel que fa als senyals analògics d'entrada, son rars els equips de control numèric que els contemplen, donat que aquests senyals són de naturalesa molt delicada, i solen convertir-se a binari en el mateix transductor que els genera (un exemple seria la detecció del valor de temperatura del capçal de gir de l'eina, que alguns CNC detecten per compensar possibles dilatacions)

VII. Aplicacions de CNC

Poden establir-se múltiples criteris de classificació a l'hora de tractar les aplicacions de control numèric.

La divisió primària i més elemental consistiria en agrupar les aplicacions en tantes famílies com tipus de màquina diferents es poden comanar. D'aquesta manera, es distingirien aplicacions de fresat, taladrat, tornejat, polit, plegat, punxonat, corbat, tallat, manipulació i transport, etc.

Si el que s'atén és a la geometria del treball a realitzar, podria establir-se una classificació atenent al sistema de coordenades emprat (cartesianes, cilíndriques, ...). D'aquesta manera, control de fresadora, centre de mecanitzat i punxonadora, anirien dins d'un mateix grup, d'igual manera que les aplicacions de bobinat i tornejat, o les aplicacions de corbat i plegat.

Un altre criteri podria estar relacionat amb el nombre d'eixos a controlar en cada aplicació.

En aquest capítol, es diferencien dos grans grups genèrics d'aplicacions de control numèric, atenent al tipus de govern de moviments que hi siguin presents.

- aplicacions de posicionat d'eixos
- aplicacions de contorneig.

Cal tenir en compte que aquesta divisió entre tipus d'aplicacions no es correspon amb famílies diferenciades d'equips CNC (la majoria d'equips CNC, són generalment capaços de gestionar indistintament tant el processos de posicionat com els que requereixen un control de la trajectòria durant el moviment.

A. Posicionat

S'englobaran dins de la família d'aplicacions de posicionat, tots aquells processos en els que és necessari controlar l'assoliment amb la màxima precisió, per part de la màquina, d'una successió de determinades posicions físiques predeterminades, on hauran d'executar-se les oportunes instruccions de treball.

En aquests casos, no es programa el recorregut o trajectòria, sinó que és el propi control qui determina el camí a recórrer per a cada moviment.

El posicionament es realitza a la màxima velocitat del sistema per a cada eix, sense importar en absolut la trajectòria seguida, donat que l'únic que interessa és assolir amb la màxima precisió i rapidesa cada punt programat.

La programació d'aquests moviments es fa mitjançant l'ordre modal "GO", seguida dels valors de les coordenades del punt de destí. Un cop assolida cada posició programada, el control numèric executa les instruccions d'entrada-sortida, destinades a comanar l'actuació d'elements externs.

No hi ha limitació pel que fa al nombre d'eixos. És per això que tant es poden trobar aplicacions de posicionat d'un únic eix, com aplicacions sofisticades amb sis o mes eixos simultanis.

En citeu una sèrie d'exemples significatius

1. Aplicacions d'alimentació de peces

Solen constituir elements perifèrics o auxiliars a altres processos automàtics.

Gestionant generalment un, dos o alguns cops tres eixos, els exemples mes habituals són:

- alimentadors de premses automàtiques
- alimentadors de peces i/o utillatges per a robots
- alimentadors de cadenes de muntatge.
- ...

La naturalesa del seu disseny i funcionament depenen en gran mesura de les característiques i grau d'automatització de que disposa el procés o màquina central al que s'adjunta.

En algunes aplicacions, el CNC de l'alimentador acaba responsabilitzant-se de la centralització de la globalitat del procés (màquina central inclosa), de manera que és l'alimentador qui governa la cadència i durada de tot el cicle de treball. En aquests casos, el programa-peça inclou les instruccions pròpies de l'alimentació, però també les instruccions d'activació i desactivació dels elements de la màquina central.

El més corrent però, és que la màquina central disposi del seu propi PLC o CNC de govern, amb les funcions i cadències perfectament predeterminades, o bé que vagi integrada dins d'una cadena amb altres cèl·lules.

En aquest cas, el funcionament de l'alimentador té un caràcter "esclau" del procés central.

Donat que el funcionament d'ambdós processos ha de ser paral·lel i simultani, cal definir acuradament els elements de sincronisme entre ells, així com les proteccions contra operacions errònies.

La programació és generalment molt senzilla, i es limita a una successió d'instruccions de moviment.

A l'inici de cada moviment, s'hi incorpora una instrucció d'entrada d'un senyal de "permís", que indicarà a l'alimentador que ja pot executar el seu moviment. Aquest senyal vindrà cablejat des del PLC o la maniobra de la màquina central

D'igual manera, al final de cada moviment s'hi incorpora una instrucció de sortida d'un senyal "JA", que indica a la premsa o element extern que la peça ja ha estat col·locada, i pot treballar amb ella.

Cal incorporar, a mode de protecció, un dispositiu que eviti el moviment de l'alimentador durant aquelles fraccions de cicle de treball en les que aquest moviment pogués interferir, o veure's interferit pel treball de la màquina principal. D'igual manera, aquests dispositius han de protegir l'actuació de l'operari al càrrec.

Les proteccions solen basar-se en el cablejat vers el senyal "FEED-HOLD" del CNC, d'una combinació de senyals de la màquina, de manera que qualsevol moviment de l'alimentador sigui aturat instantàniament quan no es compleixin les condicions de seguretat establertes.

Paral·lelament, es sol incorporar una instrucció d'entrada i comprovació de senyal extern, prèvia a l'execució de cada moviment. L'estat d'aquest senyal (que sol correspondre a una combinació de senyals externs) esdevé una condició que l'equip espera abans d'iniciar cada moviment.

Alguns equips CNC tenen predefinides unes subrutines "PRE-moviment" i "POST-moviment" parametrizables, de manera que es faciliti la definició d'aquestes funcions de protecció i sincronisme, sense que calgui introduir-les en el programa-peça, evitant així el perjudici que podria causar l'oblidar-ne la programació. Aquestes subrutines són associades a cada moviment d'eixos, i són executades automàticament pel CNC

2. Processos de treball perpendicular

Són aquells casos en els que el CNC ha de governar un moviment mono o biaxial, per tal d'assolir la posició on s'ha d'executar un treball de taladrat, mandrinat, o qualsevol altre tipus de mecanització.

Depenent de la naturalesa del treball a realitzar, hi ha dues alternatives bàsiques:

- **Moviment de la peça sota un útil fix**

En aquest cas, l'element a governar sol ser una taula de coordenades, on hi va estacada la peça. Aquesta es desplaça a la posició desitjada, per a procedir al treball vertical.

També hi ha aplicacions on la peça va estacada sobre un plat divisor, el posicionament del qual va governat per un CNC d'un eix.

- **Pilotatge de l'útil vertical**

La peça va fixada a un utilatge inferior.

És l'útil de treball qui es desplaça controladament mitjançant un pòrtic bidimensional o tridimensional. En arribar a la posició, s'activa la seqüència de treball vertical.

La funcionalitat d'aquestes aplicacions és molt similar a l'explicada a l'apartat anterior per al cas dels alimentadors, encara que adaptades a cada cas particular, depenent de la naturalesa del treball a realitzar:

- operacions manuals

La peça es desplaça automàticament a la posició, i el CNC emet un senyal perceptible (un so, o una llum connectades a una sortida). L'operari realitza l'operació manual (generalment un taladrat), i pitja un botó quan ha acabat. Aquest botó activa un senyal d'entrada al CNC, que suposa el "permís" per a executar la següent instrucció de posicionat.

- operacions automàtiques

L'útil de treball és accionat per un dispositiu pneumàtic o hidràulic, i governat per una petita maniobra o un PLC. En aquest cas, els senyals de sincronisme amb el CNC posicionador han d'anar directament cablejats a l'electrònica de l'útil, tot seguint els procediments de seguretat esmentats en l'apartat anterior

3. Aplicacions de punxonat

Un cas molt particular de les aplicacions de posicionament controlat d'eixos el constitueixen les aplicacions de punxonat.

Les punxonadores són unes màquines amb unes característiques molt específiques, i amb una diferenciació tan clara respecte a altres màquines, que han comportat l'aparició d'una família pròpia d'equips CNC destinats a governar-les, i es podria dir que en el seu funcionament conflueixen tots els aspectes més problemàtics de les aplicacions de posicionat.

Bàsicament es tracta de pilotar un moviment de dos eixos paraxials, en els que va fixada, mitjançant unes pinces, la peça a ser treballada.

El treball vertical el realitza un punxó accionat mecànic o pneumàticament, i ubicat en un canviador automàtic incorporat a la columna de la màquina. Aquest punxó descendeix i incideix sobre la peça, retirant-se ràpidament per a permetre el següent moviment.

La particularitat rau en el fet que els requeriments pel que fa a la velocitat global d'operació són molt estrictes (nombre de punxonats per minut)

- el moviment de posicionat dels eixos ha de ser a alta velocitat
- Normalment, les operacions a realitzar suposen desplaçaments d'eixos successius i de curta distància.
- L'operació de treball vertical (punxonat) és molt ràpida.

Uns requeriments molt ambiciosos fa que les prestacions finals del sistema no vinguin fixades tan sols per la resposta dels motors i la mecànica de la màquina, sinó que fins i tot puguin veure's limitades per la capacitat de processament del propi control numèric.

Les funcions de "nibbling" són el millor exemple d'aquest requeriments estrictes.

Aquesta funció consisteix en realitzar una sèrie de punxonats molt propers entre sí, de manera que el resultat s'assimili al de "tallar" la peça, tot seguint una determinada figura.

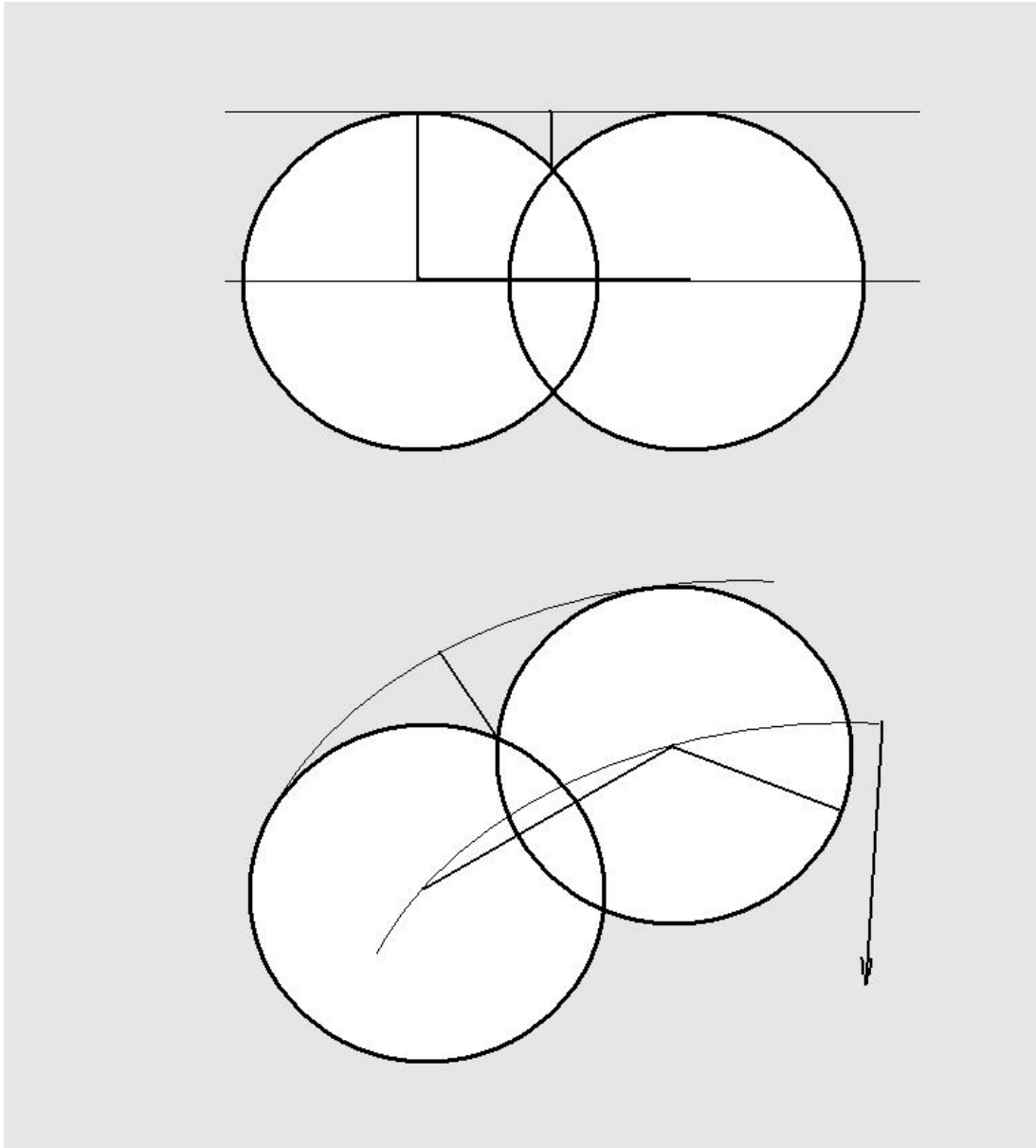
En el programa-peça se li indica quin tipus de perfil s'ha de tallar, d'una manera similar a la que es programaria una interpolació a una fresadora. D'aquesta manera, es pot triar entre fer un "nibbling lineal", o un "nibbling circular a dretes o a esquerres".

El control numèric s'encarregarà de realitzar un càlcul matemàtic, en el que hi intervindrà el diàmetre o la geometria del punxó, i el "dentat" de tolerància o rugositat amb que es vol que quedi el tall.

El resultat d'aquest càlcul, és una poligonal formada per múltiples moviments punt a punt, que van resseguint la corba programada, tot intercalant-hi, entre moviment i moviment, una actuació del punxó.

Això suposa sobreposar tres problemes simultanis:

- Els moviments a realitzar són molt curts, i han de fer-se a la velocitat màxima (veure apartat "problemàtica moviment curt - velocitat ràpida")
- El cicle de punxonat vertical ha de ser molt ràpid, sense que això suposi una relaxació en els algorismes de protecció i coordinació amb els moviments horitzontals de la màquina



- El control numèric ha de ser capaç de realitzar tots els processos de càlcul interlínia durant el curt interval de temps que hi ha entre moviment i moviment (sincronismes i proteccions el moviment vertical del punxó, monitorització de l'execució del programa, preparació del següent moviment, control de l'àrea de les pinces com a "zones prohibides", etc.)

4. Altres aplicacions multi eix

Les aplicacions on s'ha posat més de manifest el progressiu acostament entre les prestacions de control de moviment, de les dues famílies de control industrial (equips CNC i equips PLC), són les de posicionament multieix.

Són aplicacions on coincideix la necessitat de governar el moviment d'una sèrie d'eixos simultanis (sovint sense una exigència estricta de precisió o de control de trajectòria), amb el pilotatge d'una gran quantitat de senyals auxiliars i d'activació d'elements externs.

Com a exemples significatius:

- soldadura per punts.

És el cas de moltes cèl·lules integrades a cadenes contínues en el sector de l'automoció.

- posicionament de topes o finals de carrera

Molt usats a maquinària especial per a l'emalatge, màquines molduradores per a la fusta, línies de muntatge, etc.

- canviadors estàtics de palets o d'eines

Elements perifèrics de màquines eines de gama alta.

- manipulació de peces en general

Amb aplicació a línies contínues amb peces de poc pes i volum (línia blanca, petit electrodomèstic, automoció, ...)

5. Seqüencialitat / processat simultani

Previ a la presa de decisió del model, marca i tipus de control numèric a utilitzar a l'hora d'automatitzar un procés, cal decidir si un únic equip serà suficient per a dur a terme l'aplicació, o bé farà falta l'acció combinada de dos o més equips CNC treballant simultàniament.

Contra el que podria semblar, aquesta decisió no depèn tant del nombre total d'eixos a controlar, com de la pròpia naturalesa del procés a controlar.

Tampoc és estrictament un problema de potència o capacitat dels CNC's, ja que les exigències de seqüencialitat i/o simultaneïtat dels moviments dels eixos ens poden portar en alguns casos, per

exemple, a necessitar tres equips CNC d'un eix per a governar una aplicació de tres eixos, i per altres casos, a seleccionar un únic control numèric de cinc eixos per a controlar totalment una aplicació multieix.

La clau de l'elecció és la seqüencialitat del procés.

Els equips de control numèric tenen un funcionament intern estrictament seqüencial. Això vol dir, que el sistema executarà les instruccions que se li hagin programat, seqüencialment, és a dir, "una darrera l'altre".

D'aquesta manera, l'inici de l'execució d'un ordre requereix com a condició prèvia indispensable, que hagi acabat totalment l'execució de l'ordre anterior, i així successivament amb tots els blocs del programa-peça, tant si són instruccions de moviment d'eixos, com si es tracta de l'activació o gestió d'altres senyals d'entrada-sortida.

D'igual manera, els equips de control numèric es caracteritzen pel fet de que controlen el comportament i la trajectòria descrita per la màquina durant la totalitat del recorregut del moviment (i no tan sols l'arribada al punt de destí, com farien autòmats programables, o simples controladors d'eixos). Aquest seguiment intern, no s'atura fins que el moviment ha acabat.

És clar que un control numèric pot desencadenar moviments simultanis d'eixos (és el cas de moviments multieix punt a punt o interpolacions lineals i circulars), però el que també queda clar és que l'equip no iniciarà l'execució del següent bloc de programa (que també pot ser un moviment múltiple), fins que hagi acabat totalment l'execució de la instrucció precedent, o fins que TOTS els eixos hagin assolit la posició-destí del moviment anterior.

El concepte a retenir, seria del tipus "un processador per a cada procés", o si es vol, "un CNC per a cada procés unitari seqüencial"

S'entén per procés unitari, aquell que manté unes condicions de seqüencialitat en totes les instruccions de programa que el componen.

Es farà necessària la utilització de dos processadors, és a dir, de dos controls numèrics independents quan:

- A una aplicació calgui engegar una instrucció o seqüència d'instruccions durant l'execució d'una altra ("a mig moviment").
- Hi hagi més d'una cadena de seqüències simultànies (per exemple, una successió de senyals d'entrada-sortida per una

banda, i una successió de moviments per l'altra, o bé dues seqüències de moviments d'eixos independents i simultànies).

- Hi hagi cicles d'instruccions simultanis amb cadències fixes i diferents entre sí.

Queda clar, però, que la utilització de més d'un CNC no suposa el renunciar a la centralització i ordenació del procés global.

Cal tenir cura d'establir a cada un dels programes continguts als CNC, l'existència d'instruccions de sincronització entre ells (generalment senyals d'entrada-sortida interconexionats), de manera que hi hagi punts d'ambdós programes en els que els dos processos es referenciïn mútuament.

Un procediment habitual és designar un dels equips (CNC o PLC) com a "master", de manera que incorpori instruccions que habilitin o aturin l'execució dels programes dels altres equips, tot aconseguint-ne punts de sincronització.

6. Moviment curt - velocitat ràpida

Un aspecte que cal tenir molt en compte a l'hora de dissenyar un sistema global de posicionat punt a punt, és el tipus de moviments que normalment caldrà realitzar.

Si bé es pot partir de la base que un CNC no ha de tenir especials problemes per a governar moviments de posicionat, cal tenir en compte molt especialment quin serà el comportament dinàmic del procés per a determinats tipus de moviments.

Un cas especialment problemàtic és el dels moviments de posicionat en trams molt curts.

Si el que es desitja és un posicionat ràpid i precís, les instruccions de moviment aniran a la velocitat màxima del sistema (normalment programades sota l'ordre modal "G0").

La sorpresa apareix quan es constata que la velocitat efectiva del moviment o moviments que s'han programat, no arriba, ni de bon tros, a la que era d'esperar, a la vista de la velocitat màxima teòrica del sistema.

El motiu d'aquesta desviació és la brevetat dels trams de posicionat, i l'existència de rampes d'acceleració-desacceleració associades als moviments dels eixos.

Efectivament, el CNC estableix un algorisme d'acceleració mitjançant el qual el sistema parteix d'una situació de repòs, fins arribar a la velocitat de règim del moviment programat.

De la mateixa manera, el CNC gestiona un algorisme de desacceleració que actua en el tram final de cada moviment, de manera que l'arribada al punt de destí s'ajusti a les condicions cinemàtiques de la màquina, i es realitzi sense brusquedats.

Suposem, per simplicitat, que aquests algorismes obeeixen a una rampa lineal de pendent parametrizable.

És clar que l'existència d'un tram transitori d'acceleració i desacceleració associat a cada moviment, suposarà una disminució en la velocitat mitja de la globalitat del moviment.

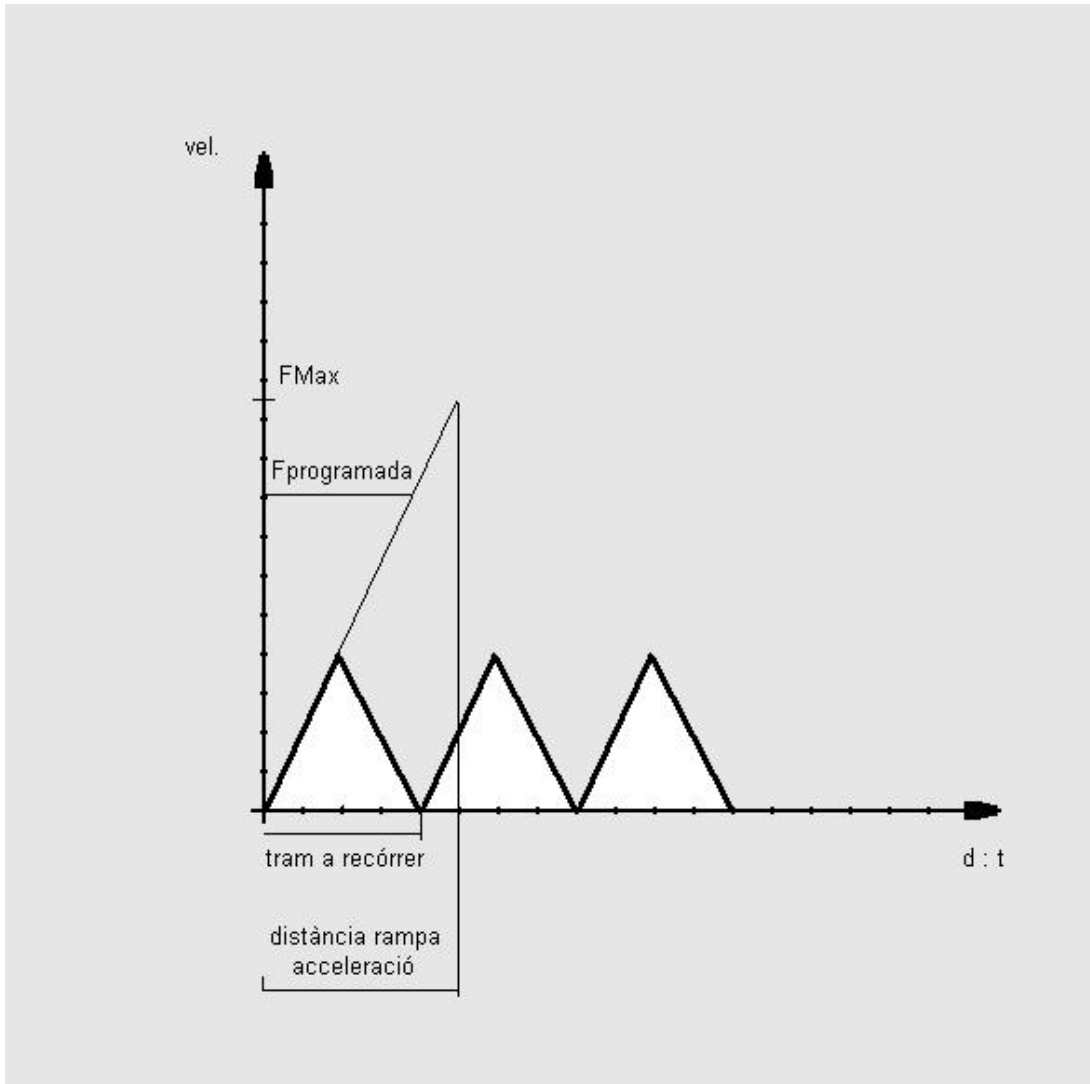
Aquest fet es pot considerar desprezable en el cas de moviments llargs, on el recorregut efectuat durant els trams transitoris inicial i final són irrellevants en front del tram central de moviment realitzat a velocitat de règim.

Malauradament, no és així quan el moviment a realitzar correspon a una distància molt curta

En aquest cas, és molt normal que el sistema encara estigui accelerant, i sense haver arribat encara a la velocitat de règim, es vegi obligat a iniciar el procés de desacceleració, donat que la posició s'acosta al punt de destí.

El resultat obtingut és l'execució del moviment programat, a una velocitat efectiva molt inferior a la velocitat teòrica programada.

Els efectes negatius es poden veure fins i tot agreujats quan la màquina va equipada amb etapes de potència i motors la resposta dels quals no és tot lo independent de la velocitat que seria de desitjar, oferint un pobre rendiment en condicions de baixa excitació o velocitat. D'igual manera són negatius aquells sistemes que presentin factors inercials importants.



Tots aquests efectes són particularment greus en aquelles aplicacions de posicionat on es requereix una aturada total i precisa dels moviments a cada posició. És el cas, per exemple, dels processos de taladrat o punxonat, on podem arribar a una caiguda dramàtica del rendiment global i prestacions de la màquina (especialment crítics seran els processos "nibbling" de les punxonadores, on apareix una successió continuada i repetitiva de moviments curts i punxonats verticals)

L'única solució possible, en tots els casos, és ajustar els paràmetres del sistema al límit de les possibilitats de la màquina. Això vol dir:

- algorismes d'acceleració i desacceleració al CNC molt "abruptes", per tal de minimitzar l'interval de temps durant el qual el sistema es mou a una velocitat inferior a la màxima.
- Etapes de potència d'accionament dels eixos eficaces, i amb transitoris molt breus.
- Eixos amb motors de baixa inèrcia, que suportin pics elevats d'excitació a les arrencades i aturades.
- Elements i acoblaments mecànics que suportin acceleracions i desacceleracions brusques

7. Problemàtica moviment - aturada precisa

En aquest apartat es tractarà de les aplicacions d'alimentació de peces, i dels efectes que hi motiva el funcionament del CNC en mode "cantos vius", o "cantos matats"

Els controls numèrics disposen internament d'uns registres on hi ha permanentment actualitzada la posició de cada un dels eixos del sistema. Cada un d'aquests valors s'actualitza amb els moviments i canvis de posició que s'hi van produint.

Per a cada un dels eixos, aquesta posició emmagatzemada no és única, sinó que l'equip hi manté simultàniament dos valors diferenciats:

- "cota teòrica". És el valor de posició corresponent al valor de la darrera excitació de moviment que s'ha processat. Es correspon amb la cota allà on hauria de trobar-se l'eix si s'atén estrictament a l'algorisme de generació de trajectòria del CNC.
- "cota real". És el valor de posició corresponent a la posició real en que es troba l'eix de la màquina. S'obté directament a partir dels impulsos del captador de posició de l'eix en qüestió.

Per a cada un dels eixos, la diferència entre aquests dos valors s'anomena vulgarment "error de seguiment"..

El valor d'aquest "error de seguiment" és controlat contínuament pel CNC. A partir d'ell, el control numèric calcula l'excitació que s'envia al regulador de potència de l'eix (per a corregir l'error teòric de posició). La seva magnitud és en tot instant directament depenent de la

velocitat a la que es mou l'eix, i condicionat a l'algorisme de realimentació del servo.

En qualsevol moviment programat que segueixi l'eix, la cota real anirà sempre "per darrera" de la cota teòrica, sent la distància entre ambdues igual a l'error de seguiment.

Com és natural, el control numèric tan sols donarà per acabada l'execució d'un moviment d'eixos quan s'hagi assolit la posició final programada. Com a molt, es permet definir un paràmetre d'interval fix de tolerància a l'entorn dels punts de destí, dins del qual es considera que la posició final ha estat assolida.

Ara bé, el comportament dinàmic del sistema és molt diferent si el sistema considera com a valor de comprovació d'arribada al punt de destí, la cota real de l'eix, o la seva cota teòrica.

Quan el sistema considera la cota real, es diu que està treballant amb "cantos vius", o en mode "aturada precisa". L'efecte que s'hi observa és que a la màquina sembla que "li costa" donar per acabat cada moviment, donat que:

- Cal que hi arribi real i físicament per a cada un dels eixos
- Cal haver executat completament cada rampa de desacceleració.
- En el trem final del moviment (de la rampa), es sotmet als reguladors i motors dels eixos a una excitació molt feble, amb els problemes de rendiment que això sol comportar.

Treballar en aquest mode no és ni eficient ni vistós, donat que la màquina sembla aturar-se massa a cada punt de posicionament, i també sembla quedar quasi aturada un temps aparentment innecessari fins que inicia el següent moviments.

Aquests efectes disminueixen la velocitat efectiva d'operació dels sistema, aspecte que pot comprometre greument l'assoliment de la cadència desitjada, sobretot en aplicacions d'alimentació de peces.

És per això que molts controls numèrics opten per treballar, per defecte, en mode "cantos matats". En aquest cas, el sistema considera, a l'hora de comprovar el final de cada moviment, la posició de la cota teòrica de cada eix en lloc de la cota real.

L'efecte obtingut és una màquina amb uns moviments mes vius, donat que:

- El CNC dona per acabat el moviment quan hi ha arribat la cota teòrica, encara que la cota real vagi per darrera.
- Cada moviment s'inicia, per tant, amb la màquina encara en moviment, abans que hagi assolit física i realment la posició anterior. Això vol dir que no arriba a aturar-se mai completament en el punt de destí de cada instrucció de moviment.
- El punt físicament més proper al punt real de destí per a cada moviment és DEPENDENT DE LA VELOCITAT a la que s'ha realitzat aquest moviment, donat que depèn de l'error de seguiment (diferència entre cota teòrica i cota real) de cada eix.

Amb el sistema treballant en aquest mode, les transicions són molt més ràpides, i la màquina sembla guanyar en rendiment, en resultar les cadències de moviments elevades.

Malauradament, aquesta solució és inviable en la majoria d'aplicacions de d'alimentació (el cas d'un moviment de vaivé amb un únic eix), pel fet que:

- No podem garantir una aturada real de la màquina al final de cada moviment.
- El punt físic al que arriba la màquina per a cada moviment s'allunya del desitjat, en una magnitud que és dependent de la velocitat.
- En el cas d'un moviment de vaivé, s'inicia el moviment de retorn quan encara no s'ha arribat al final del moviment d'anada. L'efecte és que la màquina escurça els moviments, i no arriba mai a fer el recorregut programat, amb un error de posicionat que depèn de la velocitat de treball. En el comble de l'inadmissible, la posició obtinguda depèn de l'activació del conmutador "feed-override" del panell frontal del CNC.

Donat que les aplicacions d'alimentació de peces cal garantir l'assoliment real del punt de destí de cada instrucció, i també hi sol haver uns requeriments crítics pel que fa a la cadència resultant, caldrà dissenyar i parametritzar molt acuradament les variables de cada eix.

B. Contornejat

Les aplicacions de contornejat són aquelles a les que el programador, mitjançant el programa-peça, defineix totalment no solament els punts de destí de cada un dels moviments, sinó també la velocitat de treball i la trajectòria que ha de seguir la màquina durant l'execució de cada un d'aquests moviments.

Encara avui en dia, no tots els equips del mercat disposen de la capacitat per afrontar aquest tipus d'aplicació.

Efectivament, tota una família d'equips de gama baixa, bàsicament orientats a aplicacions de manipulació, no disposen dels algorismes interns necessaris per a contornejar. Amb tot, es pot dir que la inmensa majoria de controls numèrics compactes i modulars de gama mitjana-alta disposen de la capacitat per a gestionar aquest tipus d'aplicacions, encara que amb prou diferències pel que fa a la seva operatòria i facilitat de programació.

Passarem deliberadament per alt el cas d'alguns equips molt sofisticats que disposen d'algorismes d'interpolació helicoidal, desenvolupar a partir d'una combinació dels d'interpolació lineal i circular. També es podria fer esment en alguns equips de gama alta que disposen d'algorismes d'interpolació el·líptica, i de corbes B-spline.

Ens centrarem en els equips que disposen de dos algorismes matemàtics interns de generació de trajectòria: la interpolació lineal i la interpolació circular

1. Interpolació lineal

Correspon a l'execució d'un tram en el qual els eixos programats es mouren a velocitat controlada constant durant tot el recorregut del moviment.

A cada tram hi poden intervenir un, dos o més eixos simultanis, que sempre mantindran una velocitat resultant uniforme (amb l'excepció lògica dels trams d'acceleració i desacceleració).

El CNC s'encarregarà de mantenir un factor de proporcionalitat constant entre les velocitats de cada un dels eixos (valor del "pendent") durant tota la trajectòria del moviment. La velocitat individual de cada eix es correspondrà amb la "projecció" de la velocitat lineal d'avanç programada, sobre la component de cada un dels eixos, i aquesta proporcionalitat es mantindrà també durant les fases d'acceleració i desacceleració.

D'altra banda, i per tal de no distorsionar la trajectòria, durant els períodes inicial i final, el CNC igualarà automàticament els paràmetres interns de rampa de cada eix, prenent com a valor comú en tots els eixos que hi intervinguin, el corresponent a la rampa més llarga o poc abrupte (la menys exigent).

La programació clàssica d'aquests moviments es fa mitjançant l'ordre modal "G1", precedida de la velocitat d'avanç del moviment (programada sota la funció "F"), i seguides de les coordenades del punt de destí

2. Interpolació circular

Correspon a l'execució d'aquells moviments en els quals els eixos segueixen una trajectòria que respon a un arc de circumferència.

A cada tram hi intervenen dos únics eixos, i, de manera anàloga al cas de la interpolació lineal, el CNC disposa d'un algorisme de càlcul destinat a gestionar durant tota la trajectòria, els valors de velocitat i posició dels dos eixos que hi són involucrats.

La programació es basa en l'especificació de la instrucció modal "G2" quan es pretén descriure una corba a dretes (en la direcció de les agulles del rellotge), o bé la instrucció "G3" per als moviments circulars a esquerres. En el mateix bloc cal especificar-hi les coordenades del punt de destí.

Per completar les especificacions de la trajectòria, cal indicar les dues coordenades del centre de l'arc de circumferència a descriure, normalment referides al punt de partida del tram.

En algunes aplicacions, no és del tot senzill el conèixer les coordenades del centre de l'arc. És per això que alguns controls numèrics permeten substituir l'especificació de les coordenades del centre, per la indicació del radi de l'arc de la circumferència. En aquests casos, cal una convenció especial per tal de resoldre l'ambigüitat que suposa l'existència de dos radis de circumferència diferents, amb el mateix radi, entre dos punts del pla.

Per a aquesta convenció, es sol utilitzar el signe del radi (donat que originalment sempre té un valor positiu). Es solen programar les coordenades del punt de destí, seguides del valor del radi amb signe positiu quan es fa referència a l'arc de menys de 180°. Es programa el radi afectat d'un signe negatiu, per al cas d'arcs de més de 180°

Tal com passava en el cas de la interpolació lineal, el moviment resultant es realitzarà a la velocitat d'avanç especificada prèviament, mitjançant la funció "F"

3. Altres formes de programació d'interpolació circular

Algunes instruccions de programació avançada permeten generar trams d'arcs de circumferència amb una gran facilitat, sense necessitat d'utilitzar les funcions clàssiques G2 o G3.

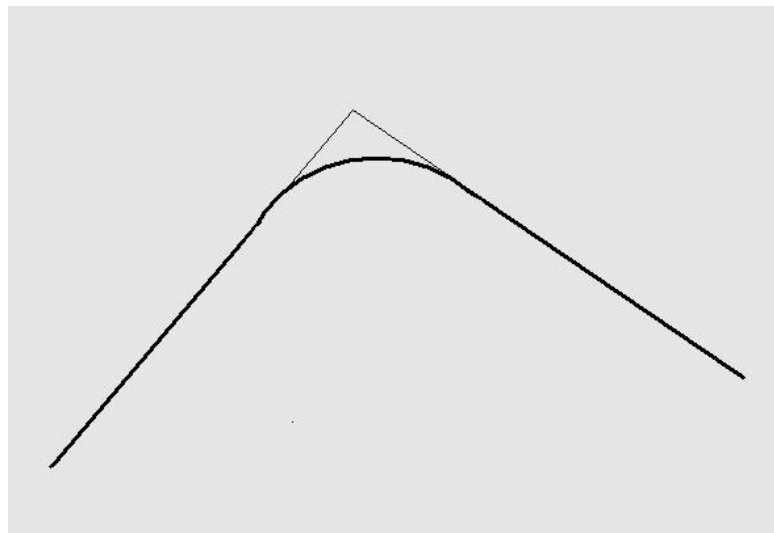
És el cas del "arrodoniment automàtic d'arestes".

Aquesta funció intercalada entre dos moviments qualsevol, és capaç de generar una instrucció d'interpolació circular, amb una trajectòria tangent als dos trams originals.

El mètode de programació consisteix en insertar al final del primer dels dos moviments a arrodonir, la instrucció d'arrodoniment automàtic (normalment una funció auxiliar "G"), seguida del valor del radi de l'arc.

El control numèric calcula interna i automàticament els punts de tangència de l'arc generat amb els dos moviments, recalcula els nous punts final i origen dels dos trams originals, i hi intercala el corresponent tram d'arc de circumferència.

La diferència amb el mètode tradicional d'interpolació circular consisteix únicament en el sistema emprat en la programació de la instrucció.



L'algorisme intern de càlcul i execució de la trajectòria és únic i comú als dos mètodes

4. La interpolació lineal per trams

L'evolució del sistema s'orienten a desubir del CNC el procés de càlculs geomètrics complexos, tot potenciant la utilització de sistemes externs centralitzats de programació assistida (sistemes CAM).

Aquests sistemes, no solament disposen d'utilitats gràfiques i geomètriques molt potents, que permeten modelar i representar les figures i trajectòries a recórrer per la màquina, sinó que, al mateix temps, són capaços de generar els programes-peça que haurà d'executar el CNC mitjançant el que s'anomena "mòdul de post-processat".

L'objectiu primari d'aquests mòduls, és prendre les informacions gràfiques i geomètriques originals, que han servit per a definir les característiques de la peça i treball a desenvolupar, i generar a partir d'elles, una traducció en un fitxer, que estarà format per instruccions directament intel·ligibles pel CNC (un programa-peça).

Per tal de simplificar al màxim els algorismes interns d'aquests mòduls de software, la tendència més generalitzada és la d'utilitzar el mínim nombre possible d'instruccions del CNC.

Aquesta tendència també és aplicada a l'hora de post-processar un perfil de contornejat. Mentre alguns mòduls sofisticats descomponen els perfils en combinacions de moviments circulars i lineals, la immensa majoria es limita a traduir les corbes a seguir en poligonals formades per una successió de trams rectes.

Aquesta tècnica és vàlida per a qualsevol tipus de trajectòria, ja sigui regular o irregular, mentre es tingui la precaució de generar el suficient nombre de trams, de manera que la poligonal resultant sigui el més aproximada possible al perfil original. Es tendeix, doncs a utilitzar únicament trams d'interpolació lineal.

Aquesta "interpolació lineal per trams", podria arribar a substituir fins i tot la necessitat de disposar d'un algorisme intern d'interpolació circular al CNC

5. Algunes consideracions geomètriques

Quan es parla d'interpolació lineal o circular, fem esment a les característiques d'un algorisme intern de generació de trajectòria, que relaciona els increments de posició de dos eixos, segons una funció matemàtica lineal o circular.

Això no vol dir necessàriament, que el moviment resultant de la màquina, es correspongui amb una línia recta o un arc de circumferència. Ben al contrari, la realitat és que el resultat obtingut depèn de la geometria del sistema de coordenades amb el que es treballa.

Mentre es treballi amb dos eixos coplanaris, ja siguin x-y, x-z o y-z, el resultat serà efectivament una línia recta o un arc de circumferència, però si es treballa amb altres sistemes de coordenades, el moviment resultant pot ser molt diferent, i fins i tot difícil de preveure.

Un exemple clar, és el cas d'aquells sistemes amb simetria cilíndrica, on es pretén combinar moviments d'un eix rotatiu, amb un segon eix longitudinal i perpendicular al rotatiu, passant pel centre del gir.

Es tracta, d'un exemple tan comú com el cas d'un plat divisor ubicat sobre la taula d'una fresadora, i que apareix també a les màquines esmoladores, i en alguns tornos de gama alta amb capçal motoritzat en "mode-eix".

En aquest cas, el resultat d'una interpolació lineal entre els dos eixos, no és una línia recta, sinó un moviment helicoidal o espiral a l'espai, a mode de vis-sens-fi de pas continu.

El que ja no és tan clar és el resultat d'executar una interpolació circular entre els mateixos dos eixos. Aquí, les distàncies dels trams reals a recórrer, tenen una correspondència amb els moviments programats dels dos eixos, que depèn de la distància de separació entre el punt de treball i l'eix de simetria del plat giratori. Això fa que el concepte de "radi de la corba", o "centre de l'arc" dins de la instrucció d'interpolació tinguin una complicada relació amb els seus homònims standard, i el resultats obtinguts, siguin simplement sorprenents.

Els efectes es veuen complicats en alguns sistemes que disposen de plats divisors giratoris, muntats sobre plats divisors basculants

(algunes fresadores o rectificadores de cinc eixos, orientades a la fabricació d'eines).

També requereix una anàlisi matemàtica important el cas d'un plat divisor amb un segon eix de treball perpendicular a l'eix de gir (el cas d'algunes rectificadores de lleves)

Un altre exemple habitual que presenta complicacions semblants és el cas dels robots giratoris de columna, capaços de treballar a tot l'espai, o en plans horitzontals (robots SCARA). Aquests equips solen tenir una disposició sobreposada dels eixos d'un braç, a la manera d'una combinació "espatlla-colze, canell", tots ells combinats amb altres eixos giratoris sobre altres plans a l'espai.

Aquests robots cal programar-los amb l'ajut d'un sistema extern de CAD-CAM, o bé mitjançant aprenentatge o tècniques d'edició tipus "play-back".

En qualsevol cas, la modelació de la trajectòria no és immediata (un exercici matemàtic estimulants pot ser esbrinar la funció que guiaria dos eixos giratoris "espatlla-colze" d'un robot tipus SCARA de dos eixos, per tal de descriure un senzill segment rectilini en el pla).

6. Exemples d'aplicacions de contornejat

- Aplicacions de contornejat al pla

Una gran majoria de les aplicacions de contornejat, limiten la seva complexitat al seguiment de figures en el pla.

És el cas d'aquelles màquines que disposen d'una taula de coordenades x - y damunt la qual hi ha ubicada la peça a ser treballada.

Alguns conjunts màquina-CNC permeten el conmutar els eixos, de manera que la mecanització, sempre bidimensional, es pugui fer també sobre els plans x - z o y - z .

El moviment s'aconsegueix motoritzant la taula on va estacada la peça, o bé fixant la taula i ubicant l'eina a una estructura superior mòbil de tipus pòrtic.

En aquests casos, el moviment vertical de l'eina no és simultani als moviments del pla. És el que s'anomena comunament "geometria en dues dimensions i mitja", donat que, malgrat la màquina disposi de motorització i control dels tres eixos

cartesians, el procés de contornejat tan sols s'executa simultàniament sobre dos dels eixos.

Exemples d'aquestes aplicacions serien:

- Fresadores
- Centres de mecanitzat
- Taules de coordenades motoritzades
- Màquines d'oxitall o tal per plasma
- Màquines de marcar o tallar per làser.

- **Altres aplicacions de contorneig bidimensional**

Tal com s'ha explicat a l'apartat anterior, no totes les aplicacions de contorneig bidimensional suposen moviments sobre un pla d'eixos cartesians.

És el cas, per exemple, d'aquelles aplicacions a les que es combina un eix lineal amb un altre eix giratori.

Alguns casos serien:

- un plat divisor sobre una taula d'eixos motoritzada.
 - amb eix de moviment paral·lel a l'eix de gir.
 - Amb eix de moviment perpendicular a l'eix de gir.
- Màquines bobinadores cilíndriques
- Algunes rectificadores especials.

La programació dels perfils a seguir per a aquestes màquines sol ser molt complexa, i en la gran majoria de casos, el més aconsellable és recolzar-se en un sistema especial de programació assistida extern (donat que que rarament els sistemes standard són capaços d'enfrontar-se a problemes geomètrics associats a sistemes de coordenades no cartesians).

- Contorneig tridimensional i multidimensional

Solen constituir el casos mes complexes d'aplicacions de contornejat. En ells, el perfil a seguir suposa la combinació del moviment coordinat de tres o mes eixos de la màquina.

El mètode d'execució dels perfils rarament utilitza la interpolació circular. El mes usual és descompondre el perfil en una poligonal tridimensional, formada per trams lineals consecutius, reduint, a la pràctica, el problema d'execució a l'entorn del CNC, al cas d'una successió de simples interpolacions lineals.

En citem alguns exemples significatius:

- Aplicacions de fresat en tres eixos.

És el cas de mecanitzat de figures a l'espai.

Els exemples mes significatius es presenten en els treballs que es realitzen en el sector del motlle, i són aplicacions que van encaminades a resoldre una problemàtica que tradicionalment es resolvia mitjançant fresadores "copiadores", que treballaven sense ajuda de cap control numèric.

Les fresadores CNC han anat guanyant terreny, recolzades per la generalització de programes CAD-CAM especialment orientats al sector. De tota manera, encara avui en dia, per a moltes peces amb figures artístiques i formes irregulars, encara és més ràpid construir un model artesanal, que generar-lo informàticament via un sistema CAD.

Amb tot, la tendència apunta en una sola direcció, impulsada per les necessitats de repetitivitat i màxima precisió en el mecanitzat

- Aplicacions de fresat en cinc eixos.

És una derivació sofisticada del cas anterior de figures tridimensionals, on s'ha motoritzat el capçal que suporta l'eina de fresat amb dos eixos giratoris azimuthals.

Això permet que l'eina de fresat treballi, durant tota la trajectòria, perpendicularment a la superfície de

la peça que està mecanitzant, independentment de la seva forma.

Una vegada més, els controls numèrics capaçs de gestionar aquestes aplicacions, es recolzen en sistemes CAM, que els hi generen les corresponents interpolacions lineals de cinc eixos per trams.

- Màquines d'electro-erosió per fil

Són una família de màquines molt especials, governades per equips de control numèric desenvolupats específicament per a elles.

Controlen simultàniament un mínim de quatre o cinc eixos, destinats a guiar l'orientació de l'electrode (fil) a l'espai, per procedir a un procés d'erosió de la peça.

La programació dels perfils es fa amb l'ajut de mòduls CAM especialment orientats a l'aplicació.

- Robots multi eix de contornejat.

Són equips multieix orientats a aplicacions de pintura, soldadura contínua, aplicació de segellats de perfils a l'espai, màquines polidores, etc..

En totes elles, cal resseguir una trajectòria a l'espai, tot governant-ne de manera contínua l'angle d'incidència de l'útil de treball.

7. Moviment de contorneig uniforme

La missió primordial dels equips de control numèric a les aplicacions de contorneig és doble, i tots els controls numèrics dedicats ho aconsegueixen:

- garantir el seguiment acurat del perfil programat.
- Assegurar que aquesta trajectòria serà executada a la velocitat preestablerta pel programa.

Hi ha, però tota una sèrie d'aplicacions a les que l'exigència de mantenir una velocitat uniforme durant tota la trajectòria es fa molt estricte.

És el cas d'aquells processos als quals una petita variació en la velocitat d'avanç durant el treball pot tenir unes conseqüències fatals en el resultat final.

Així, per exemple, una màquina de tall per làser o plasma, ha de garantir que el canó es desplaçarà per damunt de la peça sempre a la mateixa velocitat. Una mínima disminució de l'avanç pot suposar un sobreescalfament de la peça, amb el conseqüent deteriorament del perfil de tall obtingut.

Un problema similar pot aparèixer en alguns processos de fresat, on cal mantenir una relació estrictament uniforme entre la velocitat d'avanç i la velocitat de rotació de l'eina. Al cas, per exemple de la mecanització d'una peça de fusta, una lleugera disminució de la velocitat fa que la peça quedi "cremada" o marcada en els trams afectats.

Els efectes són igualment perniciosos en màquines o robots dissenyats per a dosificar un determinat producte al llarg d'un perfil determinat. Una variació en la seva velocitat d'avanç repercuteix directament en una sobre-dosificació o una dosificació insuficient en el tram afectat.

La regulació de la velocitat que realitzen els equips CNC és, a aquests efectes, plenament satisfactòria. El problema apareix en les transicions entre seqüències de moviments.

Efectivament, la majoria de perfils programats no suposen una única instrucció d'interpolació, sinó una successió de moviments lineals i/o circulars consecutius.

En aquests casos, l'existència de les rampes d'acceleració i desacceleració a l'inici i al final de cada moviment es converteixen en un problema. Els efectes d'aquestes alteracions transitòries a la velocitat d'avanç, poden ser intolerables en determinades aplicacions.

Per resoldre parcialment el tema, alguns controls numèrics disposen d'una funció modal anomenada "contorneig sense acceleracions".

Aquesta funció és capaç de detectar el grau de continuïtat o tangència entre cada parella de moviments consecutius. En el cas que es detecti que ambdós moviments no presenten una discontinuïtat important en la seva direcció, el CNC inhibeix els algorismes d'acceleració i desacceleració, de manera que es mantingui permanentment la velocitat d'avanç programada sota la funció "F". Si

l'enllaç entre els dos blocs suposa un canvi significatiu en la direcció inicial del moviment, el sistema continua treballant normalment, desaccelerant el moviment inicial i accelerant el següent fins arribar de nou a la velocitat de règim.

L'existència d'aquesta funció pot ser suficient per a alguns treballs que suposin l'execució de perfils continus, i sense arestes abruptes.

Amb tot, no queda resolt el tram d'acceleració inicial del primer dels moviments, ni el de desacceleració final del darrer tram del perfil compost.. d'altra banda, també és molt corrent la necessitat de tallar o mecanitzar a velocitat constant figures poligonals, o simplement amb arestes.

La solució que es sol adoptar és incorporar al sistema global, una unitat de regulació de l'acció de l'eina, que gradui la seva magnitud en funció de la velocitat instantània d'avanç dels eixos.`

Per als exemples abans esmentats, al cas de la màquina làser, suposaria regular la intensitat del canó del làser; en el cas de la fresadora, regular la velocitat de gir de l'eina, i en el cas de la màquina dosificadora, regular l'obertura de dosificació.

En algunes aplicacions, aquesta regulació no es fa amb un element extern, sinó que s'utilitza un eix de CNC addicional (tercer o quart eix), que es fa treballar amb les seves pròpies rampes d'acceleració, de manera que actui coordinadament amb els eixos de moviment convencional.

C. Una aproximació al control adaptatiu

Des de la seva aparició, la missió primordial dels equips de control numèric va ser automatitzar l'execució de determinats processos, la realització dels quals resultava un tasca difícil si havia de ser duta a terme manualment, i amb la seva implantació es va aconseguir automatitzar la fase de programació i pilotatge.

D'una banda, s'aconseguia una millora en la precisió de l'execució, garantint la perfecta repetibilitat en la realització de la feina. D'altra banda, apareixien eines, internes al CNC, i també externes (CAD-CAM), orientades a facilitar al màxim l'especificació completa de les característiques del treball a realitzar.

Actualment, es pot afirmar que el desenvolupament dels CNC és en plena fase de maduresa, i la seva evolució segueix encaminada cap a la missió d'automatitzar aquelles funcions que, per les seves característiques, encara estan reservades a una execució manual.

Ja resolta, o facilitada en gran mesura, la tasca d'especificació teòrica del treball a realitzar, queda pendent el tema de corregir les desviacions respecte aquest comportament teòric, a partir de la percepció i avaluació de les anomalies o canvis en els condicions de treball que es puguin produir durant la seva execució.

L'objectiu final és, en definitiva, aconseguir dissenyar un sistema plenament autosuficient, que sigui capaç per ell mateix d'avaluar de manera contínua les condicions de l'entorn que poden afectar el funcionament del procés, i en funció d'aquesta "percepció", programar, alterar i corregir dinàmicament el seu treball.

És el que s'anomena genèricament "control adaptatiu".

1. Presetting

Uns primera aproximació al tema de l'autorregulació, el varen constituir algunes funcionalitats encaminades a corregir electrònicament, algunes disfuncionalitats mecàniques dels sistemes.

La tècnica utilitzada consisteix en reservar alguns paràmetres interns del CNC, per tal de complementar-los amb els valors mesurats en el moment de la posta en marxa inicial del sistema.

És el cas de la "compensació dels errors de pas del vis", i la compensació dels "jocs" en els moviments de cada eix.

Amb tot, es tracta d'uns algorismes de compensació dinàmics, però treballen amb valors estàtics, és a dir, que un cop fixats i introduïts en els corresponents paràmetres interns del CNC, esdevenen uns valors fixes i permanents del sistema.

Un pas endavant important suposa la incorporació de prestacions que permetin capturar dinàmicament l'alteració de variables externes, tot afectant també dinàmicament el sistema.

La filosofia de funcionament no es veu alterada. El sistema es recolza en la capacitat dels equips d'admetre la programació paramètrica.

Una programació paramètrica permet confeccionar un programa-peça, sabent que alguns valors d'execució a programar-hi hauran de ser substituïts pels valors interns continguts en una sèrie de paràmetres..

Es tracta, per exemple, de programar la instrucció "X#1 Y#2", i aconseguir que el sistema sigui capaç d'assignar a aquestes variables #1 i #2, uns valors dependents de les mesures obtingudes amb l'ajut de transductors externs.

La incorporació d'aquesta prestació requereix solventar prèviament dues qüestions genèriques. Primerament cal definir quina ha de ser la naturalesa dels elements de transducció capaços de capturar les dades de l'entorn. Al mateix temps, cal dotar al CNC de les capacitats per a processar aquestes dades, i respondre de manera adequada.

- **captura d'una posició**

El denominador comú de la majoria de les aplicacions de presetting és la necessitat de capturar una posició física de la màquina.

Donat que el control numèric del sistema manté en tot moment una imatge al seu interior, de la posició real de la màquina, n'hi haurà prou amb enregistrar els valors de les cotes reals dels eixos, just en el moment en que el transductor proporciona el senyal provinent de l'exterior .

L'activació del senyal de captura de posició no pot ser totalment aleatòria. Per això els equips disposen d'unes macros o subrutines, que cal incorporar en els punts determinats del programa-peça on interessa fer efectives les comprovacions i correccions.

Aquestes macro-instruccions inclouen una sèrie de seqüències internes que poden agrupar-se en tres seccions:

- Un moviment d'aproximació a velocitat lenta cap a l'àrea on s'espera que s'activi el senyal del transductor.
- Una instrucció interna de captura precisa de la posició i d'ubicació interna dels valors obtinguts.
- Un moviment de retirada vers el punt inicial d'execució de la macro.

En aquelles aplicacions en que es requereix una captura de la posició molt precisa, cal dedicar especial atenció als diagrames de temps del CNC. Com que la captura cal fer-la just en el moment que s'activa el transductor, no és aconsellable la seva connexió a una de les entrades standard del CNC, donat que els filtres de software que incorporen per a garantir-ne l'estabilitat, provoquen un retard en la recepció del senyal que afectaria la precisió de la captura. Per resoldre el problema, en lloc d'això, els CNC habiliten una entrada especial de resposta ràpida.

Els transductors mes utilitzats són els de contacte, anomenats vulgarment "palpadors".

Ubicats generalment en el mateix porta-eines de la màquina, són bàsicament uns interruptors d'alta precisió que activen un senyal digital en el moment en que entren en contacte amb un obstacle.

En reble el senyal, a mes de capturar la cota real de la màquina, el CNC ha de provocar una instrucció d'aturada instantània del moviment d'aproximació (que dins de la macro ja s'haurà programat a velocitat lenta, per tal de protegir el propi palpador del xoc contra l'obstacle).

Quan no és possible la utilització d'aquests tipus de transductors, s'opta per tècniques alternatives, com són, per exemple, la detecció d'un sobre-consum en el motor principal de gir de l'eina.

Aquesta tècnica ha estat utilitzada en alguns robots sofisticats (fins a sis eixos simultanis) de polit de peces, on cal conèixer i compensar de forma continua, el progressiu desgast

de l'eina (en aquest cas, un drap de polir). El procediment consisteix en aproximar l'útil de treball en plena rotació fins a tocar la peça. El sistema detecta el punt de contacte, mesurant el sobreconsum que es produeix en el motor principal de gir, fruit del fregament de l'útil contra la peça.

- **Captura d'una temperatura**

Hi ha alguns cassos on cal capturar dades diferents a la posició de la màquina. És el cas d'algunes aplicacions on cal prendre mesures de les condicions de treball, com és, per exemple, la temperatura.

El CNC ha de dedicar-hi una entrada especial (un senyal que pot ser analògic, BCD, o sèrie).

El procediment és idèntic al cas de captura de la posició. Cal generar una macro-instrucció o una sub-rutina, incloent-hi la seqüència de captura, i les corresponents instruccions posteriors de compensació o correcció de paràmetres associats.

Aquestes macro-instruccions s'intercalen a diferents punts del programa-peça, per tal d'aconseguir-ne una execució cíclica dins del conjunt del procés.

- **Exemples de presetting**

- Dimensions de l'eina de treball

Com ja s'ha explicat, el sistema fa servir un palpador de contacte com a útil de mesura.

Algunes aplicacions més sofisticades són capaces de "llegir" la referència de l'eina a emprar, mitjançant un lector de codi de barres que s'aproxima a una etiqueta adosada a l'eina. Aquest codi obtingut permetrà adreçar-se a una taula interna d'on s'obtindran les dades de longitud i diàmetre de l'eina en qüestió.

- Centrat de l'utilitatge de la peça

Algunes aplicacions disposen d'elements paletitzadors capaços de canviar automàticament l'utilitatge fixador de la peça a treballar.

Tan en aquests cassos, com en el cas d'una fixació manual de l'utilitatge, no és senzill el garantir que la

posició en que quedarà aquest utillatge respecte a les coordenades físiques dels eixos de la màquina serà sempre la mateixa.

Això compromet la fiabilitat en l'execució repetitiva de programes-peça, encara que ja hagin estat utilitzats i provats anteriorment, i obliga a realitzar mesures precises de centratge de la peça abans de desencadenar l'execució definitiva del treball.

El centratge automàtic es basa en prendre la mesura de la posició de l'utillatge, tot acostant un palpador de contacte a algunes zones o punts de centrat predefinits.

En funció de les mesures obtingudes, el CNC alterarà el valor dels orígens-peça, i si és necessari, desencadenarà l'enclavament d'una instrucció addicional de gir de coordenades.

- Desgast de l'eina de treball

A algunes aplicacions d'alta precisió, o a altres a les quals les dimensions de l'útil de treball poden patir al llarg del procés alteracions importants fruit del desgast, s'aplica una tècnica de compensació automàtica.

Per a això, el procediment és similar al cas de la detecció de les dimensions de l'eina, tot i que sovint amb uns requeriments de precisió més grans

Un cop enregistrada la mesura, el sistema alterarà automàticament el valor en curs dels correctors de l'eina

- Dilatació del capçal

En algunes màquines, la dilatació que experimenta un dels eixos, a causa de l'augment de la temperatura fruit de la rotació del motor principal, pot suposar diferències en la posició de l'eina de l'ordre de dècimes de mil·límetre.

Aquest error és, en molts cassos, absolutament intolerable, i això fa que alguns equips CNC hagin incorporat la possibilitat de dur a terme una compensació dels efectes d'aquesta dilatació.

En prendre la mesura de la temperatura del capçal, el sistema alterarà dinàmicament els valors dels orígens-peça del sistema

2. Autogeneració de programes. Copiat

Si atractiva resulta la idea de gaudir d'un sistema capaç de compensar dinàmicament alteracions a la situació de l'entorn, tot corregint paràmetres interns del sistema, o si cal, porcions del programa-peça, tant o més atractiu resultaria disposar d'un sistema que fos capaç, no tan sols de modificar el programa, sinó d'anar més enllà i autogenerar el propi programa-peça.

Estem referint-nos als sistemes de copiat electrònic.

Bàsicament orientats al sector de la matriceria i el motlle, es tracta d'equips que, mitjançant un procés de digitalització, són capaços de capturar la geometria d'un model preexistent per , després del processament d'aquestes dades, reproduir-lo amb la màxima exactitud.

D'aquesta manera, s'aconsegueix convertir una fresadora CNC convencional, en una mena de "copiador computeritzat".

- Digitalització del model

El primer pas en el procés de copiat és la digitalització del model.

L'objectiu és obtenir una imatge digital, d'una superfície tridimensional. Per a aconseguir-ho, el CNC haurà d'obtenir la posició exacta d'una col·lecció de punts situats damunt d'aquesta superfície.

Òbviament, si es vol que la imatge obtinguda es correspongui al màxim amb la imatge original, caldrà obtenir una gran quantitat d'aquests punts. Tant més aproximada i fidel a l'original serà la digitalització, com més punts sigui el sistema capaç de processar.

Amb aquest propòsit, el control numèric disposa d'una sèrie de cicles de digitalització capaços de recollir un "enreixat" de punts damunt de la superfície de mostra.

Aquests cicles es componen d'una successió de moviments controlats de dos eixos (usualment els eixos cartesianes X-Y),

combinats amb una macro-instrucció de captura de la cota del tercer eix (en aquest cas, de l'eix Z).

La seqüència seria la següent:

- interval de moviment X-Y
- l'eix Z avança fins a tocar la peça
- el control captura la cota Z de contacte, i l'associa a la posició X-Y
- l'eix Z retrocedeix a una posició de seguretat
- ja es pot fer el següent interval X-Y

La longitud dels intervals X-Y, donaran una mesura de la fiabilitat del model obtingut, respecte a la superfície original.

Els controls disposen d'una varietat de cicles diferents, dependent de la geometria de la superfície a digitalitzar.

Depenent d'aquests cicles, els intervals de captura seguiran una trajectòria diferent, que pot correspondre a una "reixa rectangular (el més usual), a una col·lecció de circumferències concèntriques, etc.

Una mateixa superfície es pot dividir en diferents zones de digitalització, i per a cada una d'elles, i segons la seva complexitat, es pot plantejar un cicle diferent, amb una geometria i distància entre trams de digitalització adaptats.

El procés de captura de la posició del tercer eix es sol fer mitjançant uns palpadors de precisió que proporcionen un impuls al CNC en el moment en que entren en contacte amb la peça.

Hi ha altres transductors capaços d'activar-se per deflexió i que poden treballar "en moviment". En aquests casos, el sistema treballa mitjançant un mostreig temporal de la posició. També hi ha dispositius de detecció basats en tecnologia làser, molt ràpids d'operació, però amb algunes limitacions pel que fa a la geometria de la superfície a digitalitzar.

- Emmagatzemament i processat de les dades

El procés de digitalització haurà generat l'equivalent a un "núvol de punts"

Això comporta l'ocupació d'una gran extensió de memòria, per tal de mantenir aquesta informació al CNC, i no tots els equips disposen d'una gran capacitat de memòria, com per mantenir el fruit d'una digitalització complexa.

Per resoldre el problema, es pot obrir un procés de transmissió de dades a un ordinador central, treballant de manera simultània al procés de digitalització. Aquesta transmissió cal fer-la a la màxima velocitat, per tal d'evitar col·lapses a la memòria interna, que anirà treballant en mode "FIFO".

Un cop obtinguda la informació, cal processar-la.

Si l'ha de fer el propi CNC, aquest processat sol consistir en afectar el punts per una transformació geomètrica (usualment, un factor d'escala, o l'aplicació d'una "imatge mirall").

Si s'ha optat per transmetre el núvol de punts a un ordinador exterior, existència d'un paquet de CAD amb un tractament de superfícies, ens permetrà alterar a voluntat les dades obtingudes.

Un cop realitzades les transformacions i tractaments desitjats, ja es pot procedir a la mecanització de la peça.

- **Reproducció del model**

La reproducció del model obtingut, consistirà simplement en reconvertir les posicions obtingudes durant el processat, tot obtenint-ne les instruccions de moviment dels eixos.

- **Autorregulació**

Hi ha altres objectius relacionats amb el control adaptatiu que no tenen res a veure amb els processos de programació.

A l'inici d'aquest apartat, s'ha esmentat coma exemple elemental, el cas de la introducció de paràmetres del sistema, a la seva posta en marxa, per tal de corregir disfuncions mecàniques del sistema.

En la majoria dels casos, un com ha acaba la posta en marxa, i s'ha determinat el valor dels paràmetres interns de funcionament del sistema (rampes d'acceleració, paràmetres del servo de realimentació, finals de carrera, etc.), el sistema ja

queda a punt per treballar, i aquests paràmetres inicials es pot considerar que seran vàlids per a qualsevol tipus de treball.

Aquesta estabilitat dels paràmetres , no és, però certa en tots el sistemes.

És el cas, per exemple, d'alguns tipus de robot (generalment tipus braç), als quals les característiques dinàmiques i cinemàtiques dels seus eixos varien en funció de la posició en que es troben els mateixos eixos, i de la càrrega que suporten (la peça...)

Aquesta variació contínua en els condicions de treball obliga a una adaptació contínua dels paràmetres interns del sistema relacionats. Amb aquest propòsit, alguns equips de control especialitzats en el pilotatge de robots, disposen de sofisticats algorismes interns que adapten contínuament els seus paràmetres.

D. Comunicació amb l'exterior

Des dels seus orígens, la filosofia de funcionament dels controls numèrics ha estat fonamentada en la voluntat de disposar d'una eina de treball autosuficient.

L'objectiu prioritari ha estat el permetre que el mateix operari de la màquina fos capaç de definir totalment la geometria i condicions de treball a realitzar, i paral·lelament, que el CNC governes autònomament tots els elements de la màquina, d'acord amb aquestes instruccions.

Amb aquest objectiu bàsic, s'ha dotat als equips de la capacitat de gestionar totalment els moviments i automatismes de la màquina, i a l'hora, d'eines pròpies de programació i actuació sobre el procés a realitzar (manual, semiautomàtica o automàticament), de cara a garantir la funcionalitat necessària per a definir totalment el treball a fer, sempre mitjançant ordres i instruccions emeses "a peu de màquina".

És també avançant en aquesta direcció, que s'ha dotat als controls numèrics d'un hardware i software d'interfase amb l'operador, potent i amigable, amb editors sofisticats, simuladors d'execució de peces, i capacitats CAM de desenvolupament integrats.

Tota aquesta evolució, acompanyada d'un important esforç de desenvolupament, ha anat encaminada a potenciar la concentració de "la intel·ligència del procés" a peu de màquina.

Malgrat tot, i sobretot en els darrers anys, s'aprecia una tendència que apunta justament en el sentit contrari.

En alguns casos, potenciar l'autonomia a peu de màquina, comporta una redundància en eines de disseny i elements auxiliars, dels que potser ja es disposa en altres llocs de treball.

De la mateixa manera, una gran autonomia de treball a cada màquina presumeix disposar de personal altament capacitats manejant cada màquina.

També el fet de que cada operari tingui la llibertat per a definir el procés, sent el responsable de confeccionar el programa-peça del CNC, porta a una dispersió d'esforços i recursos, implicant la necessària sinergia entre els diferents treballs, i provocant processos i desenvolupaments redundants.

L'autonomia de funcionament, pot també arribar a provocar una falta d'uniformitat en la realització dels processos, constituint fins i tot una invitació al desordre, i una pèrdua de rendiment global.

Totes aquestes consideracions han abonat una progressiva tendència a potenciar una gestió remota i centralitzada dels processos de fabricació.

Es tracta de dotar una oficina central amb eines de disseny i simulació de processos suficientment potents, de manera que es permeti la definició total del procés a realitzar, i tan sols calgui traslladar les dades contrastades teòricament, a la mateixa màquina-eina, la missió de la qual es limitarà a "fer la peça"

El creixent desenvolupament i abaratiment dels equips informàtics i ha propiciat la proliferació de paquets de software amb eines molt eficients, encaminades a dur a terme aquesta gestió remota dels processos de fabricació.

El ventall de possibilitats va des d'un elemental editor de programes-peça sobre un ordinador personal, fins al més potents sistemes de programació assistida i CAD-CAM.

La creixent adopció d'aquesta filosofia de funcionament ha obligat als equips de control numèric la seva capacitat de comunicació amb els equips exteriors.

Encara que la majoria de controls numèrica sofisticats permeten la seva inclusió a una xarxa de comunicació tipus ETHERNET, encara avui en dia, el mètode de comunicació més usual és el "punt a punt", i la via utilitzada és un canal sèrie RS-232 convencional, (com a molt, RS-422 si la distància és molt gran).

En aquestes condicions, establir les normes de comunicació és tan simple com ajustar els paràmetres de comunicació (baud-rate, paritat, bits/caràcter,...); fixar el format intern del programa a rebre/transmetre, i establir el protocol de comunicació (check-sum de comprovació, XON/XOFF, etc.)

1. Comunicació bàsica

- Comunicació de programes

L'objectiu més elemental de la interconnexió entre CNC i ordinador extern és la transmissió bidireccional de programes-peça.

Després de prefixar i unificar les condicions i paràmetres de comunicació dels dos equips, cal conèixer la seqüència d'operacions a realitzar en el CNC, per tal d'establir la comunicació (tot i tractar-se d'un tipus de comunicació molt simple i estandaritzada, cada control en defineix la seva operatòria).

Així, davant de situacions diferents com poden ser:

- esborrar un programa -peça del CNC.
- modificar-ne un ja contingut al CNC
- crear-ne un de nou

caldrà tenir clar com es comportarà el CNC, i assumir que no sempre es podran contemplar tots els casos possibles. De fet, sovint es fa necessari establir un diàleg "a viva veu" entre els operadors de l'ordinador i del CNC (certament no és el protocol més elegant, ni "high technology", però sens dubte és el més flexible).

- **Back-up de memòria**

Una altra opció de comunicació bidireccional, consisteix en la transmissió o recepció de la globalitat de la memòria interna del CNC.

Això requereix un programa de comunicació especial per part de l'ordinador, donat que la memòria interna del CNC conté caràcters binaris de contingut indiscriminat. Això descarta la utilització de caràcters de control (tipus CRLF, XONXOFF, etc.), i obliga a fixar la transmissió d'un nombre fix i determinat de bytes a transmetre.

Com a prestació addicional, aquesta modalitat de comunicació en mode back-up, proporciona una còpia de seguretat del contingut del CNC (programes-peça i paràmetres interns) fàcilment recuperable, prestació que els usuaris que hagin gaudit de l'experiència d'una pèrdua de memòria del CNC ben segur apreciaran (no cal oblidar la relativa fragilitat de la memòria interna dels CNC, normalment mantinguda per una pila o bateria).

2. Programes DNC

Ses sigles "DNC" es corresponen amb les inicials "Direct Numerical Control".

El propòsit d'aquesta tecnologia és dur a l'extrem les possibilitats de comunicació entre els CNC i els ordinadors exteriors. El que es tracta és d'aconseguir traslladar a l'ordinador de l'oficina tècnica, la totalitat del comandament del procés de la planta, tot evitant al màxim les manipulacions a fer per l'operari sobre el CNC "a peu de màquina).

Aquest objectiu resulta molt ambiciós si el que es pretén és desencadenar remotament la totalitat de les operacions i comandaments (moviments manuals dels eixos, selecció d'orígens, programa a executar, valors de correcció, ...)

De fet, el canal que usualment s'utilitza pe a la connexió CNC-ordinador és un simple canal sèrie RS232.

- Descripció d'algunes solucions

La primera solució adoptada per alguns equips consisteix en dotar a l'ordinador de la possibilitat d'emular remotament el teclat i el panell frontal del CNC, a mode d'una mena de "control remot".

D'aquesta manera, i després d'una adaptació a la operatòria del CNC en qüestió, es pot dissenyar un programa d'ordinador que emuli les operacions del teclat CNC, possibilitant desencadenar moltes de les seves funcions semiautomàtiques (entrar a l'editor, alterar correctors d'eina, ordenar l'execució d'un programa, ...)

Coma aspecte positiu d'aquesta solució, podem mencionar que proporciona molta flexibilitat pel que fa a les possibilitats d'actuació remota. Com a factor en contra, és nu mètode de comunicació amb un baix rendiment i velocitat.

Una altra família d'equips opten per solucions DNC més orientades a controlar l'execució d'els programes-peça quan la seva longitud és molt gram.

Efectivament al cas dels processos de "copiat" o mecanització de figures a l'espai (molt habitual al sector del motlle), els programes-peça són generats externament per paquets de programació assistida (CAD-CAM), i l'exigència de

proporcionar un acabat de mecanitzat superficial de la peça molt precís obliga a generar múltiples passades de mecanització, de manera que el programa-peça generat estarà format per una gran quantitat de blocs.

Quan la longitud d'aquest programa excedeix a la memòria interna del CNC, no es podrà transmetre la totalitat del programa generat.

Aparentment, una solució senzilla seria procedir a la mecanització de la peça per parts, generant diferents programes-peça de tamany mes reduït, però aquesta solució no sempre és factible. Molts equips CNC precisen, en iniciar-se l'execució, definit totes les condicions de funcionament (funcions modal, orígens, correctors, ..). D'aigual manera, l'enclavament de l'algorisme de correcció d'eina sol portar associades unes seqüències automàtiques d'aproximació dels eixos, que poden resultar indesitjables si es realitzen quan s'està a mitja mecanització de la peça.

La solució adoptada és treballar amb un únic programa-peça generat pel procés CAM. El CNC gestiona internament una àrea de memòria a mode de "buffer FIFO" on s'ubicaran els blocs de programa a executar.

A mesura que el CNC vagi executant les seqüències de programa del buffer, anirà sol·licitant a l'ordinador exterior la transmissió de noves seqüències (el protocol de sol·licitud pot ser un simple "XON-XOFF").

Aquesta tècnica permet la transmissió de porcions del programa-peça original per part de l'ordinador, a mesura que el CNC va executant les seqüències anteriors, i és el propi CNC que governa la llargada de la porció de programa a rebre, tot interrompent la transmissió quan la memòria-buffer és plena.

El resultat final és una execució ininterrompuda de la totalitat del programa-peça, mitjançant una operatòria totalment governada per l'ordinador exterior.

Una altra cosa serà quan calgui aproximar-se a un DNC totalment remot, intentant reduir la autonomia de treball a peu de màquina a la mínima expressió.

En aquests cassos, el canal de comunicació entre els elements ha de ser molt consistent, de manera que garanteixi la

possibilitat de realitzar de manera fiable operacions que semblen reservades a l'operari que manega la màquina, com són els moviments individuals dels eixos, les aturades "STOP", els canvis d'avanç, etc.

Assumir la responsabilitat sobre aquestes instruccions, va més enllà de resoldre l'enviament remot en temps real d'instruccions al CNC, sinó també rebre a aquest mateix ordinador, les informacions imprescindibles de l'estat en que es troben les diferents variables de funcionament del procés.

El coneixement d'aquestes variables, possibilitarà el processat de filtres i seguretats, i el seu processament, també en temps real, per a prendre i enviar de nou decisions en forma de noves instruccions de comandament al CNC.

Aquests requisits obliguen a implementar una via de comunicació les característiques del qual van molt més enllà del que es pot aconseguir amb un simple canal sèrie.

La millor opció és emprar una xarxa industrial amb un canal de comunicació més immune (un bus de camp), amb un protocol de transmissió molt més evolucionat que el que s'utilitza per a transmetre programes-peça amunt i avall (no oblidem que estem parlant de cicles de processat de l'ordre de pocs milisegons).

La tècnica és factible en la mesura que es puguin incorporar a la xarxa transductors compatibles de tot tipus, i a més, que siguin capaços de detectar automàticament, disfuncions que (i això ja no és tan fàcil) un operari amb alguna experiència a peu de màquina detectaria amb facilitat (per exemple, un desgast de l'eina, o la necessitat en algun tram de mecanitzat de reduir la velocitat de treball de l'eina)

Amb tot, l'assignatura pendent, és establir un standard que uniformitzi tant el protocol de comunicació software, com la millor solució d'arquitectura hardware, d'entre les diferents opcions de bus de camp que hi ha al mercat (no descartant-se l'opció d'una xarxa ETHERNET evolucionada especialment)

- **Problemàtica transmissió/meconització**

L'execució de programes en mode DNC suposa la realització simultània de dos processos: el de mecanització i el de recepció.,

Mes enllà del requeriment al processador de l'equip per atendre aquestes dues tasques simultànies, hi ha una altra qüestió que en compromet un resultat correcte.

Ja s'ha mencionat que els processos de mecanització de superfícies a l'espai, requereixen generalment una mecanització, en la fase d'acabat, a una velocitat d'avanç relativament elevada (depenent del material a treballar, es pot parlar d'avanços superiors als 1000 mm/mil). Darrerament, també la tecnologia evolucionada en la fabricació d'eines, i la possibilitat d'incorporar velocitats de gir del capçal molt elevades, convida a una mecanització a altes velocitats.

D'altra banda, la generació d'un programa-peça que segueixi fidelment una corba irregular d'un model, suposa la generació de contorns formats per múltiples trams de curta longitud.

Considerem un sistema DNC "clàssic", sustentat en un canal sèrie convencional, treballant a 9600 bauds, i que cada caràcter a transmetre consta de 10 bits (8 bits, mes la paritat i els stop-bits). Suposem també que el sistema és prou eficient com per mantenir i garantir que la totalitat de la transmissió en mode CNC es realitza sempre a aquesta màxima velocitat.

Si el sistema CAM ha generat trams elementals de, per exemple, 1mm de longitud, i s'admet que cada una d'aquests blocs de moviment està format per una mitjana de 38 caràcters ASCII (10 caràcters per eix, mes el número de bloc, i els caràcters de control de línia), es troba que la velocitat màxima de recepció del programa ve donada per:

$$(9600 \text{ bits/seg}) \times (1 \text{ caràcter}/10 \text{ bits}) \times (1 \text{ bloc}/38 \text{ caràcters}) = 25 \text{ blocs/seg}$$

Si els blocs són de 1 mm, tenim:

$$(25 \text{ blocs/seg}) \times (1\text{mm}/\text{bloc}) \times (60\text{seg}/\text{mm}) = 1500 \text{ mm/seg}$$

Es veu, doncs, que la mateixa transmissió del programa limita la màxima velocitat possible d'avanç de mecanització, que aquest avenç màxim és molt inferior al desitjat, i que aquest fet és tant més greu, com més acurats siguin els trams que ens genera el sistema de CAD-CAM exterior.

És una perspectiva prou negativa com per plantejar iniciatives per a resoldre el problema.

- incrementant la velocitat de transmissió

Suposa abordar la comunicació en xarxa o punt a punt via un bus de camp, o bé exprémer el canal sèrie fins allà on es pugui. (velocitats de 19600 bauds o superior)

- Reduir la llargada dels blocs a transmetre

Es tracta de rebre i processar blocs de programa prèviament descodificats.

Expressar els moviments en codi binari, en lloc d'ASCII, i fer-ho en coordenades incrementals en lloc d'absolutes, pot reduir el nombre de caràcters per bloc dràsticament (2 caràcters per eix)

3. Sistemes CAD-CAM

Als darrers anys, l'oferta de sistemes informàtics d'ajuda al disseny i a la fabricació ha experimentat un creixement i desenvolupament gairebé explosiu.

Dos aspectes evolutius paral·lels; d'una banda l'evolució tecnològica (hardware i software), i de l'altra una progressiva "popularització" de les solucions, fent-les molt més assequibles econòmicament, ha propiciat l'aparició de sistemes d'aquest tipus orientats multitud de sectors i activitats

- Cartografia
- Arquitectura i interiorisme
- Productes tèxtils
- Disseny de plaques electrònics i maniobres elèctriques
- Sistemes oleohidràulics
- Disseny mecànic
- ...

- CAD. Dissenyar per a fabricar

Un paquet de CAD (Computer Aided Design) permet dissenyar i definir completament la peça que es desitja fabricar.

Amb aquest propòsit, els sistemes CAD proporcionen un complet equip d'entitats geomètriques simples, la concatenació de les quals esdevenen un disseny complet. En aquest sentit, hi ha sistemes que disposen d'una veritable biblioteca de components elementals, la combinació, alteració, i incorporació dels quals al disseny, facilita enormement la tasca del dissenyador.

La incorporació de potents possibilitats de manipulació gràfica, proporciona la màxima flexibilitat en el treball (atributs gràfics (color, format), desplaçaments i vistes, zooms directes i inverses, treball multi-finestra, ...)

- Funcions lineals
 - Línies
 - Cercles
 - Arcs
 - Corbes polinòmiques i isoparamètriques
 - Gestió de punts de tangència i de punts de pas
 - Interseccions, ...
- Tractament de Superfícies
 - Superfícies de revolució
 - Reglades o dirigides
 - "mallades"
 - Per escombrat, evolutives i per extrusió
 - "B-spline", ...

En combinació amb transformacions geomètriques

- Projeccions i interseccions entre elements
- Rotacions, translacions i escalats

- Alineats, simetries i inversions
- ...
- Modelat de sòlids
 - Modelat adaptatiu
 - Edició de formes per aproximació dimensional
 - Disseny paramètric en tres dimensions
 - Operacions booleanes constructives entre elements
 - Control de propagació de canvis
 - Modificacions per variació dimensional (arrodoniments, xamfranats, estirar, encongir)
 -

- **CAM, . Preparació de la mecanització**

Un cop dissenyada la peça a realitzar, i determinades totes les seves característiques, cal especificar de quina manera haurà de treballar la màquina-eina, per tal d'obtenir el resultat desitjat.

Cal, en definitiva, definir el procés de treball, que haurà de concloure amb la generació d'un programa-peça capaç de ser interpretat pel control numèric de la màquina..

Davant la gran "vistositat" de les eines de disseny (CAD), podria pensar-se que el mòdul CAM no és altra cosa que una mena d'apèndix que segueix la part "importat" del procés, sense gaires dificultats tècniques ni geomètriques. Res mes allunyat de la realitat.

El mòdul CAM es troba amb una sèrie d'elements geomètrics mes o menys complexes, que defineixen totalment la peça, i la seva tasca és:

- Matemàtica, processant els elements geomètrics de disseny, i obtenint-ne una "seqüenciació", que culminarà en el "camí" que ha de seguir l'eina per a mecanitzar-la

- geomètrica, analitzant la interacció de la geometria de la peça amb la de les eines que es faran servir per a mecanitzar-la
- tecnològica, analitzant el material a emprar, i definint-ne les condicions de treball
- Logística, administrant una llibreria d'eines i de materials de la peça a fabricar..

Existeixen diferents mòduls CAM, en funció del tipus de màquina al que apunten:

- Mòduls per a tornejat

Permeten la simulació del treball a centres de tornejat, tan simples (2 eixos) com múltiples (4 eixos, eix "C")

Són capaços de generar seqüències simples, i també d'utilitzar les instruccions sofisticades del CNC, fins i tot els cicles fixes:

- desbastos frontals o paral·lels
- acabat
- foradat, estriat
- orientació del capçal, roscat
- cicles simples o multipassada.

- Mòduls de fresat

- sistemes de 2 $\frac{1}{2}$ eixos

capaços de generar programes-peça per a mecanització en el pla, tot controlant independentment el moviment vertical del tercer eix.

- gestió de caixeres interiors
- salt d'illes interiors i control de col·lisions

- funcions de foradat, utilitzant els cicles fixes del CNC
- xamfranat i arrodoniment automàtic
- ...
- sistemes de 3 o mes eixos

Permeten el fresat de peces amb superfícies complexes i irregulars, tot controlant sistemes de 3 a 5 eixos simultanis.

Són capaços de fer un tractament de la geometria de l'eina de treball, tot considerant-la un "sòlid-eina", que interaccionarà amb la superfície de treball

Contemplen diferenciadament les operacions de desbast i d'acabat, tot utilitzant variades estratègies de tall, i efectuant un test d'interferència entre elles.

Disposen de sofisticats algorismes de comprovació, encaminats a fiabilitzar al màxim el programa generat.

- evitant inicis de treball indesitjats
 - comprovant possibles col·lisions
 - analitzant la tecnologia de tall a emprar, en funció del material
 - gestionant una biblioteca d'eines
- Altres sistemes CAM

Existeixen alguns mòduls de CAM específics per altres tipus de màquines:

- Electro-erosió

Són mòduls capaços de controlar les màquines de fil de 2, 4 i $4\frac{1}{2}$ eixos.

Gestionen totalment el contornejat amb calat constant i variable, així com caixes i

contorneijos en el moviment de dues corbes paral·leles.

- Punxonadora

Mòduls especials capaços d'incorporar els cicles d'eina:

- brides lineals i circulars
- reixes paramètriques
- nibbling lineal i circular

- **Post-processat**

Encara que els paquets CAM vagin orientats a un tipus determinat de màquina-eina (fresadora, torn, etc.), cal garantir que el programa-peça que han generat serà intel·ligible pel control numèric que hi ha instal·lat.

Efectivament , i malgrat la certa standarització que suposa l'existència de la "codificació ISO" en la programació dels CNC, cada control numèric serà capaç d'interpretar el programa-peça sempre i quan sigui escrit seguint un format específic que, en general, no té per què coincidir amb el d'un altre control numèric.

Així, cues màquines-eina idèntiques equipades amb dos CNC de marques o models diferents, hauran de ser programades amb programes-peça diferents, encara que el procés que hagin de realitzar sigui idèntic, i això planteja un problema, donat que no sembla raonable que el procés CAM sigui dependent del CNC.

Per tal de solventar el tema, els mòduls CAM del mercat generen un "programa de mecanització " únic, d'acord amb les especificacions del treball a realitzar, i independentment del control numèric al que ha de ser transmès.

La "traducció" d'aquest "programa original" al format de programa intel·ligible per cada CNC, la du a terme el mòdul de "post-processador".

Aquest mòdul és bàsicament una taula de conversió d'instruccions.

VIII. Conclusions

Al llarg d'aquest treball, s'ha passat amb detall per la totalitat de blocs hardware i mòduls software, que constitueixen l'arquitectura interna d'un CNC., i se n'han detallat perifèrics i elements associats.

També s'han detallat les diferents aplicacions d'aquests equips, pormenoritzant-ne les característiques i aspectes que les poden fer crítiques a l'hora de ser pilotades per un equip de control.

En tots els apartats, s'ha fet esment a l'evolució històrica del que es tractava, explicant de quina manera els avenços tecnològics han anat afectant el disseny i l'arquitectura internes dels controls numèrics al llarg dels anys.

Paral·lelament a l'explicació d'aquesta evolució històrica, s'ha intentat exposar cap a on ens porta la tecnologia actual, i quins camins esta seguint el disseny i la tecnologia d'aquests equips.

I és aquí on en acabar el treball a un li apareixen els dubtes alarmants.

S'ha estat intentant exposar cap a on porta l'evolució tecnològica, i n'hi ha prou amb fullejar el darrer número d'algunes revistes especialitzades per admetre que ja caldria escriure'n alguns annexes voluminosos.

Torns de 3 capçals simultanis, màquines d'alta velocitat amb accionaments lineals, controls numèrics capaços de governar processos simultanis asíncrones, pilotatge controlat de més de vint eixos, temps de mostreig de l'ordre de microsegons, ... tot just s'acaba d'escriure aquest treball, i un ja té la convicció de que caldria començar a escriure'n un de nou, i quan aquest s'acabés, ...

Antoni Viadé Riart
Abril de 2009