

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de Hardware de um sistema de Controle Numérico
Computadorizado para uma punçioneira.

95 (more e meio)
Bon trabalho!
C. S. T.

Autor : Valter Augusto de Moraes
Orientador : Carlos Chien-Ching Tu

1985

ÍNDICE

=====

	PAG.
I - Introdução	1
II - Estabelecimento da Necessidade	2
III - Objetivos	3
IV - Plano de Trabalho	6
1 - Análise do que existe	6
2 - Descrição da Máquina	8
3 - Descrição do sistema atual de funcionamento	8
V - Definição do Projeto	11
1 - Módulo de Posicionamento	13
2 - Módulo de Controle	13
3 - Módulo do Microcomputador	14
4 - Integração	14
VI - Estudo de Viabilidade do Módulo de Posicionamento	16
1 - Estabelecimento da Necessidade	16
2 - Formulação do Projeto	16
3 - Síntese de Soluções	17
4 - Exigibilidade Física	19
5 - Valor Econômico	23
6 - Viabilidade Financeira	23
7 - Conclusão	23
VII - Projeto Básico do Módulo de Posicionamento	24
VIII - Definição Detalhada de Componentes da Solução Escolhida	26
1 - Análise Cinemática	26
2 - Estudo das Forças	26
3 - Análise de Sensibilidade	26
4 - Análise de Compatibilidade	27
5 - Estabilidade	27
6 - Otimização Formal	28

ÍNDICE

	pag.
IX - Modulo de Seleção do Microcomputador	29
X - Modulo Operacional	36
XI - Modulo de Linguagem	42
XII - Modulo de Software Aplicativo	43
XIII - Integração do Modulo de Posicionamento e o Computador	45
1 - Sistema de Realimentação	45
2 - Mecânica do Sistema de Realimentação	45
3 - Sinais Gerados para o sistema de Controle	47
4 - Processamento dos Sinais da Mesa	48
5 - Analise dos Sinais	51
6 - Processamento dos Sinais	51
XIV - Modulo de Controle de Atuação	54
1 - Integração do Micro ao Sistema de Atuação	55
2 - Processamento Final	56
XV - Modulo de Controle do Motor	58
Bibliografia	61
Apendice	63

I - INTRODUÇÃO

Iremos desenvolver neste trabalho um estudo de implantação das modificações necessárias para a transformação de uma máquina, puncionadeira "automatica", para o processo de Controle Numérico.

Com estas modificações teremos maior flexibilidade no sistema de manufatura no tocante a sua capacidade de adaptação as mudanças dos padrões de hábito e consumo.

A máquina a ser remodelada é uma puncionadeira que executa as operações de corte, marcação e furação em perfis estruturais.

A adoção desta técnica abre horizontes para a implantação de uma filosofia extremamente produtiva - os Sistemas Flexíveis de Manufatura - que é conceitualmente uma técnica de manufatura que expande a flexibilidade de um sistema produtivo, mediante a otimização da relação produção versus variedades de peças.

Iremos desenvolver este estudo em varias fases como descrito no plano de trabalho para uma melhor organização e discutiremos os problemas específicos a fase em discussão. A ênfase do projeto será o hardware necessário para CNC, o qual será especificado com detalhe. Porém, é impossível projetar o hardware de um sistema utilizando microcomputador, sem o necessário software acompanhante. Portanto, os objetivos gerais dos vários pacotes de software utilizados serão também especificados.

II - ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

Ao analisarmos o processo de manufatura dos perfis estruturais, observa-se que existem diversas operações a serem executadas, tais como, corte, furação, marcação e soldagem, sendo em sua maioria realizadas manualmente.

Analisaremos as operações de corte, marcação e furação dos perfis. Estas operações são realizadas da seguinte maneira :

- a) Através de uma lista de corte, cortam-se os perfis nas dimensões desejadas;
- b) Traça-se os perfis marcando-se os pontos onde serão realizada as furações;
- c) Procede-se a execução das furações.

Todas estas operações exigem a movimentação dos perfis, espaço para armazenamento e diversos operários em cada fase.

Estas operações podem ser realizadas numa puncionadeira automática para determinadas dimensões de perfis, mas devido ao tempo de preparação da máquina ser elevado, esta operação torna-se viável quando temos elevado número de peças implicando na sua não utilização para pequenos lotes de peças.

Devido a mudanças dos padrões de hábito e consumo, ocorrem ultimamente grande número de pequeno lotes de peça, com isto inviabilizando a sua utilização.

Portanto existe uma necessidade latente da modificação da máquina, diminuindo assim o tempo de preparação e tornando-a mais flexível à mudanças nos padrões de produção.

III - OBJETIVOS

Este projeto tem por finalidade modificar o sistema atual de funcionamento, convencional, desenvolvendo um sistema de Controle Numérico.

Pretende-se utilizar o Controle Numérico, que não é um tipo de máquina, mas sim uma técnica de controle, a qual possibilita o controle automático de uma única operação ou mesmo de diversas operações.

- Caracterização de uma Máquina através do Controle Numérico (NC)

As máquinas NC são empregadas para automatização de diversas tarefas, sejam elas de pinturas, furação, corte ou operações que necessitem de modificações no processo de fabricação por motivos de velocidade, precisão ou mesmo para atender exigências técnicas não alcançadas através dos sistemas convencionais de manufatura.

Este sistema pode interpretar um conjunto de instruções, que podem ser fornecidas através de fitas perfuradas ou mesmo através de um teclado, sendo estas pré-registradas em algum formato simbólico, o qual permite ao controlador identificar, executar as instruções e monitorar os resultados, desta maneira mantendo as funções e precisões requeridas tecnicamente.

A instrução simbólica é transferida para a unidade de controle, realizando as operações lógicas requeridas e saindo assim as instruções precisas que controlam a operação da máquina.

Muitos sistemas de CN contêm dispositivos os quais controlam (sensoriam) o estado da máquina, fornecendo estes dados para o controlador. Quando isto ocorre chamamos este sistema de um sistema com realimentação ou sistema fechado, caso contrário, é denominado um sistema aberto. Estes dispositivos acima

possibilitam verificar se a operação da máquina esta conforme as instruções fornecidas.

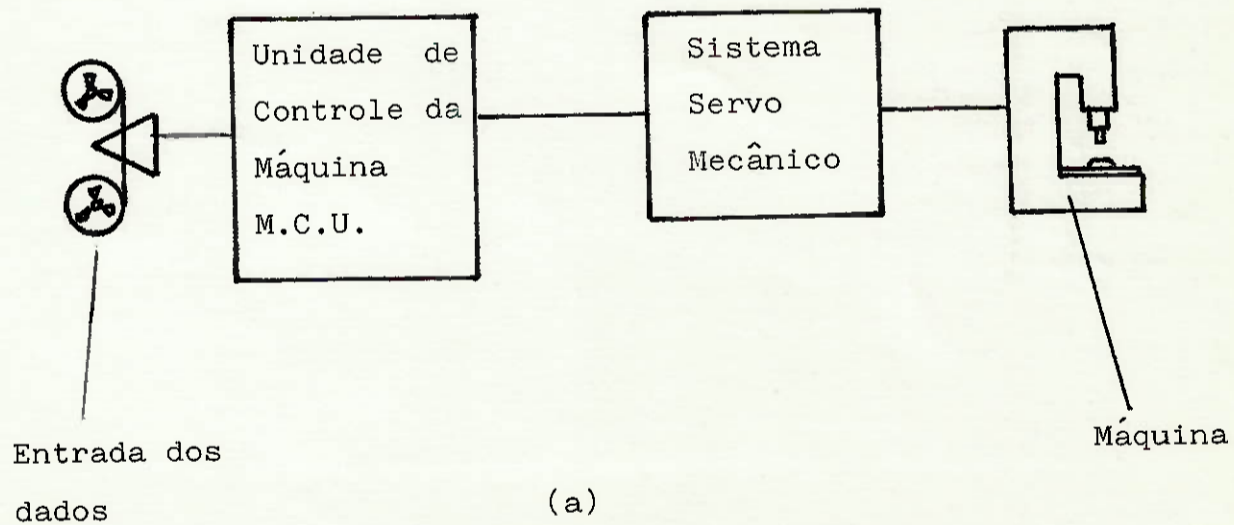
Os benefícios diretos de uma máquina por Controle Numérico estão diretamente relacionados com a precisão, velocidade e automaticidade das operações a serem executadas.

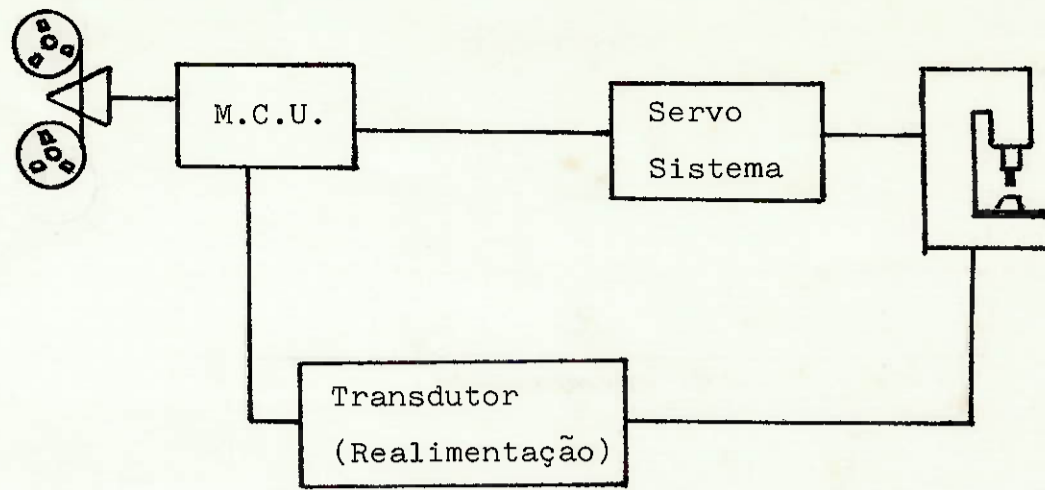
Devido as diversidades das tarefas e devido ao volume de trabalho tem-se exigido uma maior flexibilidade do sistema, com isto, adiciona-se um computador como parte do controlador da máquina. Este sistema chama-se sistema por Controle Numérico "Computadorizado" (CNC).

O mais significativo benefício de uma máquina CNC é a flexibilidade do sistema, pois o sistema de controle é fixo, isto é, não pode ser alterado, mas o computador pode facilmente ser reprogramado, diferentes programas podem ser eficientemente, armazenados para a execução de várias tarefas. Por estas razões um sistema CNC prove uma multiplicidade de opções que não poderiam ser praticamente implementadas em uma configuração convencional de Controle Numérico.

Esta flexibilidade permite também a utilização de vários dispositivos, para a entrada de instrução e para o controle de vários controladores, caso seja necessário.

A configuração básica de uma máquina de Controle Numérico é mostrada na Fig. 2, abaixo.





(b)

Fig. 2 a) Sistema sem realimentação (feedback)

b) Sistema com realimentação

Na Fig. 3 está representada a configuração CNC

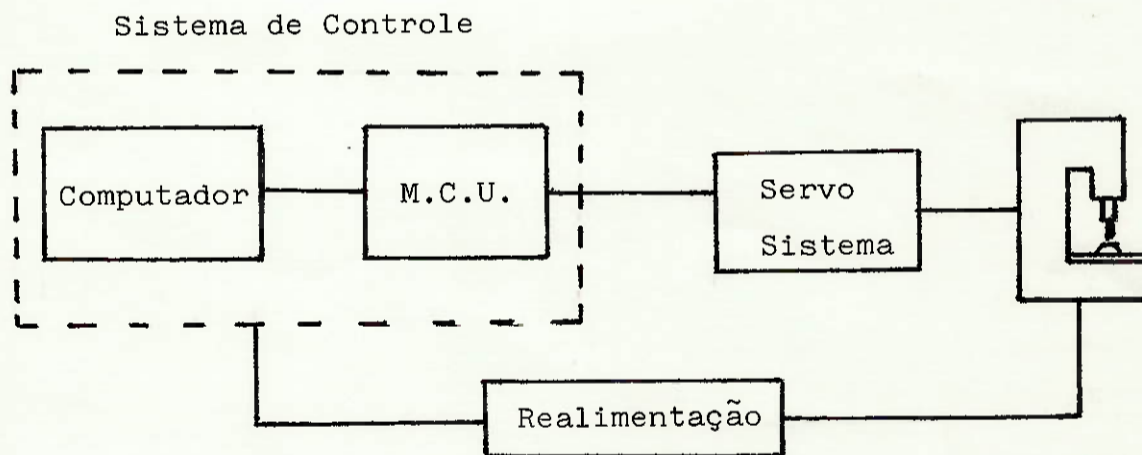


Fig. 3 Sistema CNC

IV - PLANO DE TRABALHO

1 - Analise do Que Existe

Baseado na literatura e através de contatos com instituições e profissionais que atuam nesta area, verificamos que no mercado nacional podemos encontrar grande parte dos equipamentos necessários para a modificação da máquina e também existindo a possibilidade de fabricação de alguns em nosso parque industrial, dependendo apenas de uma análise de custos.

Os equipamentos a serem utilizados estão diretamente relacionados com as características da máquina a ser modificada, como verificaremos futuramente em nossos estudos.

Com relação ao sistema de controle, podemos realiza-lo com realimentação (feedback) ou não. A análise de vários sistemas demonstram a necessidade da realimentação, pois ela afeta diretamente a estabilidade, sensibilidade, o ganho entre o sinal de saída e o de entrada e ainda afeta diretamente a precisão das operações do sistema.

Diante do grande desenvolvimento da tecnologia em microprocessadores, com isto, possibilitando a aquisição de microcomputadores a custos acessíveis, ocasionou uma tendência à utilização do CNC e sua evolução para o DNC (Controle Numérico Distribuido) o qual utiliza computadores de maior porte.

A seguir descreveremos as característica da máquina e seu sistema atual de funcionamento.

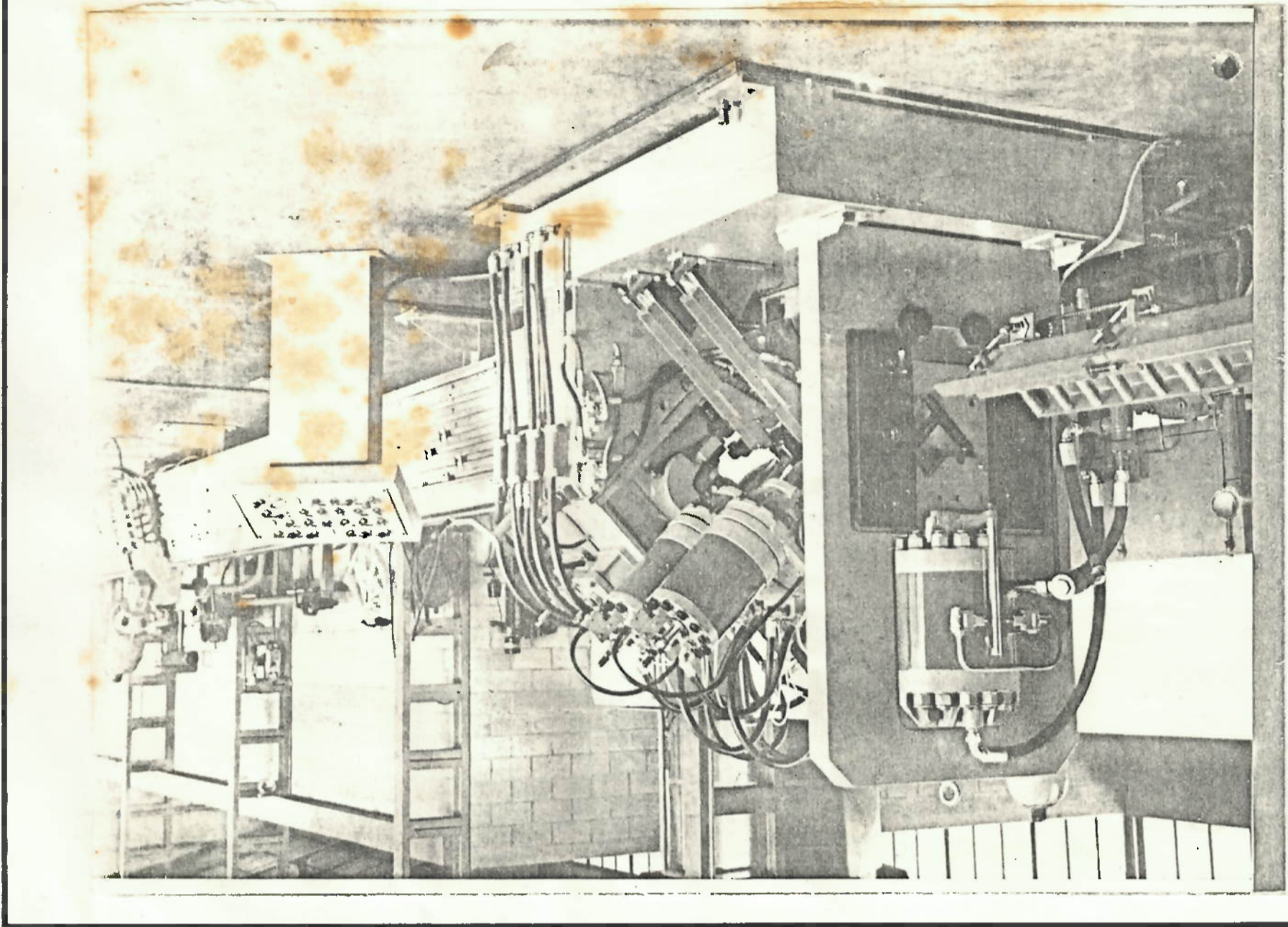


Fig. 4 Máquina FICEP modelo LAFT-MT
Puncionadeira "automática"

2 - DESCRIÇÃO DA MÁQUINA

A máquina a ser modificada é uma puncionadeira "automática" que realiza a marcação, corte e furação, em perfis estruturais.

Ela pode realizar estas operações nos perfis:

L (cantoneira), T , I e U.

Características da Máquina

- Puncionadeira de marca FICEP, modelo "LAFT-MT"
- Executa as operações em perfis de dimensões :
Cantoneira max 2"x1/2" ou 5 1/2" x 5/8"
perfil T max 4" x 3/8"
perfil I max 5" x 1/2"
perfil U max 6"
- Velocidade de operação de 5m/min
- Possui duas mesas sendo uma de alimentação com comprimento de 12,5m e uma mesa de recebimento de comprimento 8m.
- Possui um carro transportador que executa a movimentação dos perfis.
- Possui quatro punções, dois a dois paralelos com diâmetros máximo de furação 1/2".
- Possui uma unidade de marcação.
- Cizalhadeira no final para a execução dos cortes.

3 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ATUAL DE FUNCIONAMENTO

A máquina atualmente é controlada por "stopper", os quais são posicionados pelo operador nas posições de furação, marcação e corte do perfil.

A operação de setagem das posições de trabalho é muito trabalhosa, pois ela é feita no sentido inverso do croquis de fabricação e ao longo de toda a mesa de alimentação da máquina, ocasionando a repetição da marcação através de toda a mesa ou tendo que utilizarmos perfis já cortado nas dimensões desejadas portanto subutilizando a máquina.

Além destas dificuldades, as operações de corte, marcação e puncionamento são controladas por seis níveis de stopper, isto é, quatro níveis para os pistões de furação, um para marcação e o último para corte.

Os pontos de furação, marcação e corte estão disposto ao longo do eixo da máquina devido as limitações físicas o que ocasiona uma translação nas medidas a serem posicionadas, ocasionando mais um transtorno para a operação da máquina.

Para execução das operações, inicialmente recua-se o carro transportador até a posição onde se encontra o perfil a ser usinado. Fixa-se a garra do carro na extremidade do perfil, transfere-se o comando para a posição automática, com isto o carro locomove-se até o final executando as operações setadas inicialmente ficando assim na mesa de recebimento os perfis usinados nas dimensões desejadas.

Na Fig. 5 temos o desenho esquemático da máquina com as posições dos pontos de operação, carro de translação, níveis de stopper e as mesas de alimentação e recebimento de materiais.

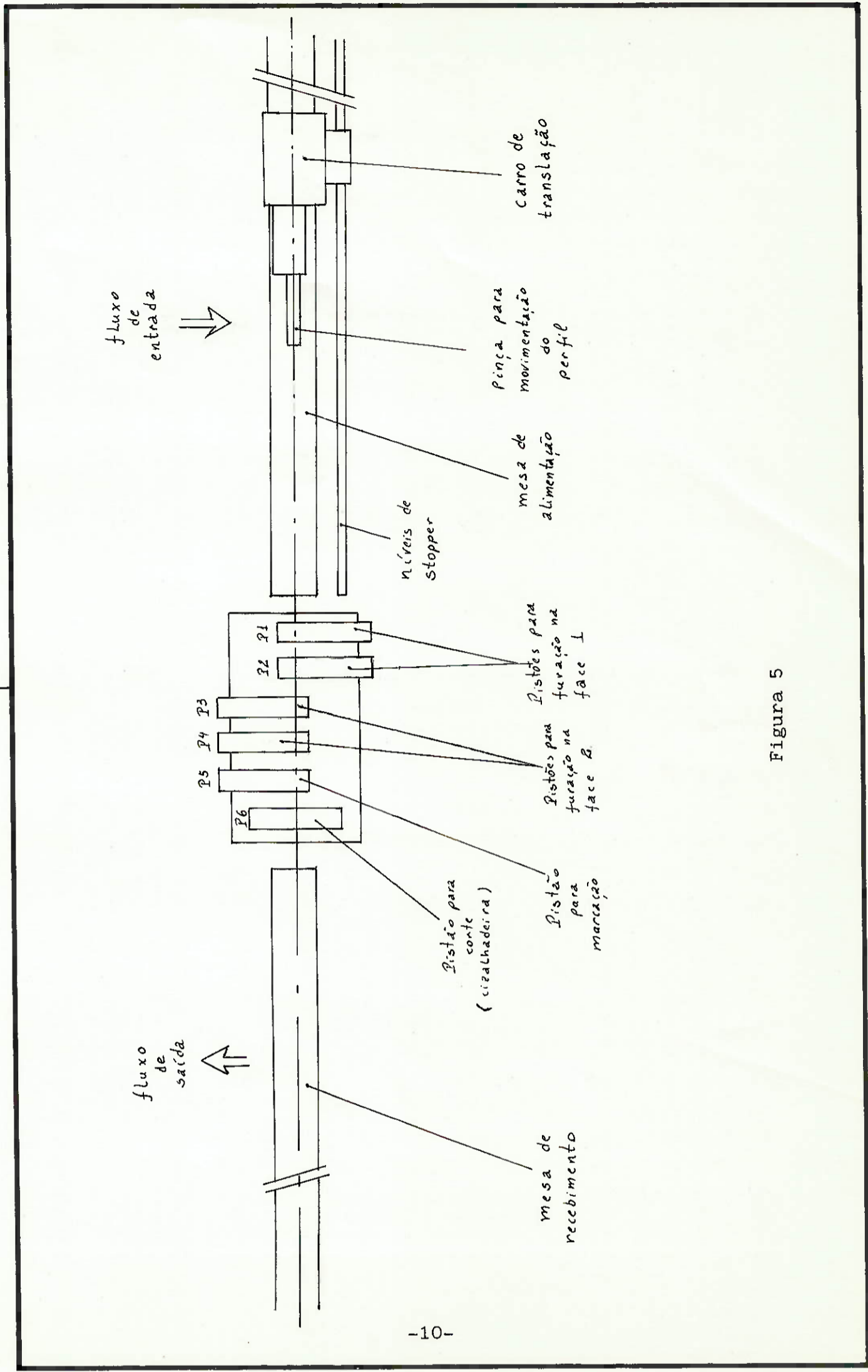


Figura 5

V - DEFINIÇÃO DO PROJETO

Levando em consideração as características do meio de produção existente, as exigências do mercado, o qual obriga a utilização cada vez maior de sistema flexíveis de manufatura e ainda devido as características do sistema CNC, será adotada a modificação para o sistema de controle Numérico por Computador (CNC), pois este sistema permite desenvolvimentos futuros apenas necessitando realizar modificações no Software ou apenas a geração de Software aplicativo.

Na Fig. 6 é apresentado o diagrama do sistema CNC a ser implementado na máquina.

Sistema de Controle

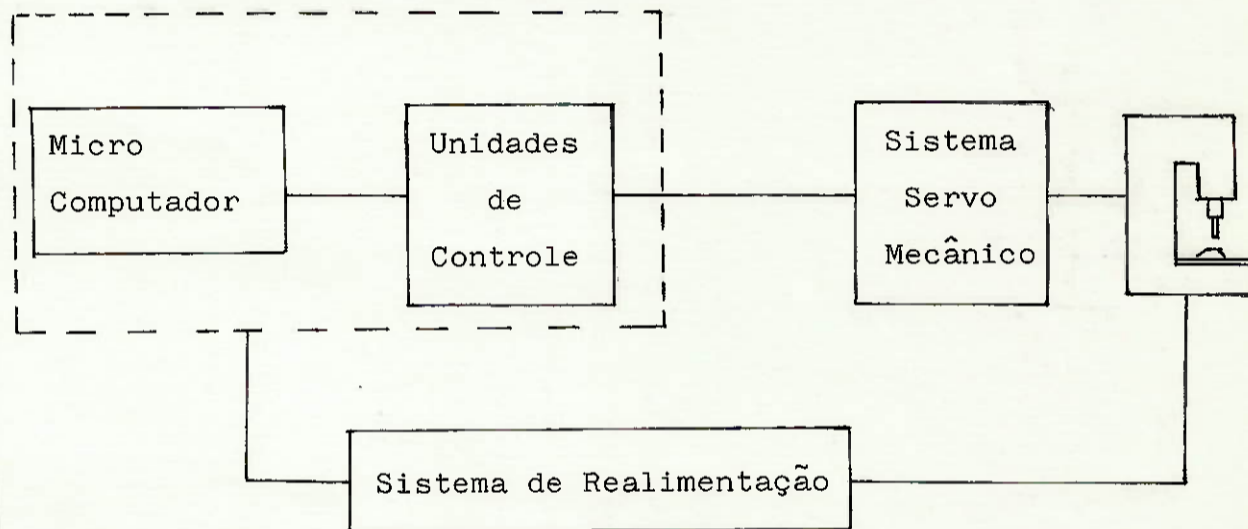


Fig. 6 Diagrama CNC a ser implantado

Será realizado o projeto através do desenvolvimento em módulos e a sua posterior integração.

Desenvolvimento em Módulo

Neste desenvolvimento define-se a arquitetura do módulo e também de maneira precisa todas as suas interfaces.

Para um melhor entendimento, define-se como módulo uma unidade com características funcionais bem delineadas, que pressupõem uma individualidade típica, permitindo desenvolvimento e teste independente do conjunto.

Desenvolvimento por Integração

Este desenvolvimento por integração consiste na composição dos módulos anteriormente confeccionados.

A fim de serem efetivadas essa integração deve obedecer a todas as interfaces.

Entende-se em projetar as ligações entre os módulos, os seguintes itens:

- Ajuste mecânico;
- Ligações elétricas;
- Alocação física dos módulos e
- Software necessário para a conexão entre os módulos (o que será só especificado em linhas gerais).

A seguir definiremos o desenvolvimento por módulos

1 - Módulo de Posicionamento

Neste módulo estudaremos o sistema de posicionamento mecânico do perfil para a realização das operações.

Este módulo deverá levar em consideração as precisões necessárias para a operação, maior flexibilidade do sistema, maior velocidade de operação e maior eficiência na operação.

A interface deste módulo serão os dados do controlador para o posicionamento, com isto podendo utilizar-se um sistema fechado ou aberto, isto é, com ou sem realimentação.

Caso seja utilizado realimentação existirá a interface entre os dados fornecidos pelo transdutor e o controlador.

2 - Módulo de Controle

Neste módulo serão estudados todos os dispositivos elétricos e de acionamento existente, suas características e modo de funcionamento, com isto sendo possível realizar as funções de controle sobre os motores, pistões e válvulas.

Este módulo será subdividido em :

2.1 - Módulo de Controle do Motor

Neste módulo controlará-se o motor de posicionamento do carro de translação.

2.2 - Módulo de Controle de atuação

Este módulo controlará a atuação dos pistões de punção, marcação e corte da máquina.

3 - Modulo do Microcomputador

Este modulo estabelecerá quais as características do microcomputador para a atuação sobre os modulos de controle, a realização das operações e outras funções.

Este modulo estará dividido em:

3.1 Modulo Operacional (Software Básico)

Será definido o sistema operacional que controlará as diversas funções de controle.

3.2 Modulo de Linguagem

Definiremos a linguagem a ser utilizada para a descrição das operações a serem realizadas pela máquina e pelo operador caso seja necessário, como por exemplo, a troca de ferramentas.

3.3 Modulo de Software Aplicativo

Definição dos programas que poderão auxiliar as operações da máquina, como otimizar a sua utilização.

Este modulo é bastante dinâmico e pode ser alterado ou criado novos programas sem exigir a necessidade de mudanças no sistema de controle.

4 - Integração

Após o Projeto dos Modulos Individuais, será Desenvolvido a integração dos sistemas de Controle, Posicionamento e o Microcomputador. Definido o projeto, o sistema CNC poderá ser construido e posteriormente testado de acordo com os seguintes passos :

4.1 - Integração Microcomputador

Nesta fase será integrada todo o software existente, realizando os testes e modificações necessárias para seu perfeito funcionamento.

4.2 - Integração Microcomputador - Motor de Posicionamento e o Modulo de Posicionamento.

Para que o perfil seja posicionado corretamente deveremos integrar estes modulos acima de maneira que através do posicionamento fornecido através do microcomputador seja acionado o motor e atingida a posição desejada.

4.3 - Integração Microcomputador - Atuação

Nesta fase será decodificada as instruções e acionado o pistão desejado.

4.4 - Integração Final e Testes a Nível de Sistema

Como já foram realizados vários testes e integração de alguns modulos, agora realizaremos a integração final de todos os modulos e o teste integrado do sistema, visando-se executar os ajustes finais e a avaliação do desempenho global do sistema o objetivo deste trabalho é somente o projeto do hardware deste sistema de CNC, porém a sequência toda de desenvolvimento esta mencionado para ter-se um panorama do projeto todo. O projeto do hardware e só o começo.

VI - ESTUDO DE VIABILIDADE MODULO DE POSICIONAMENTO

1 - Estabelecimento da Necessidade

Para a transformação da máquina para o processo de controle numérico existe a necessidade do sistema (máquina) saber a todo instante a posição da peça a ser usinada.

Além deste sistema ter a capacidade de informar ao controlador a posição da peça, esta informação deve ter uma precisão aceitável para a operação a ser executada pela máquina.

Portanto necessita-se de um sistema capaz de informar ao controlador a posição do carro de translação ao longo de toda a mesa de alimentação, tornado assim possível a usinagem ao longo de todo o perfil nas posições desejadas dentro de padrões aceitáveis.

2 - Formulação do Projeto

Existe uma série de pré-requisitos básicos que o sistema deverá atender para que o funcionamento da máquina atenda as operações requeridas.

Estes requisitos são :

- O sistema deve ser capaz de posicionar o carro de translação ao longo de toda a mesa de alimentação;
- Resolução de 1mm entre pontos;
- Possibilitar velocidade de funcionamento superior a velocidade atual que é de 5m/min;
- Facilidade de manutenção e
- Permitir uma maior eficiência na operação, tornando a operação mais flexível.

3 - Síntese de Soluções

Podemos adotar dois tipos de soluções, na qual uma utiliza sistema aberto e a outra utiliza sistema fechado.

Soluções de Sistema Aberto

Solução "A"

Podemos controlar a posição do perfil através do controle da velocidade e do número de voltas do motor de acionamento do carro de translação.

Nesta solução controlaria-se um motor DC.

Solução "B"

Idem anterior mas utilizando um motor servo hidráulico (SMH)

Solução de Sistema Fechado (com realimentação)

Solução "C"

Um parafuso com esfera recirculantes (parafuso bola) acoplado a este um motor e um "encoder".

A movimentação do carro de translação seria feita pelo parafuso e a posição seria controlada pelo "encoder" fixo neste.

Solução "D"

Um disco posicionado no início da cabine de operação e um no final, acoplado a estes um encoder a qual transferiria ao controlador a posição do perfil que esta sendo usinado.

Esta solução utiliza o perfil como superfície de apoio para o rolamento do disco.

Solução "E"

Idem anterior, mas com a utilização de um único disco e como superfície de contato a mesa de alimentação. O disco estaria no carro de translação, assim controlando a posição do carro estaríamos controlando a posição do perfil.

Solução "F"

Utilização de uma régua digital

Solução "G"

Esta solução é idêntica a solução "E", mas ao invés de utilizar-se um disco utiliza-se uma engrenagem e no lugar da mesa uma cremalheira.

Solução "H"

Idem anterior, mudando a cremalheira por uma corrente.

Solução "I"

Utilização de uma fita de aço perfurada presa ao carro de translação e um equipamento de leitura fixo no início da cabine de operação.

4 - EXEQUIBILIDADE FISICA

Soluções "A" e "B"

Nestas soluções que utilizam sistema aberto, existe um grande inconveniente, pois como o controle do posicionamento do perfil é realizado pelo controle da rotação e do número de voltas do motor, a medida que se utilizam perfis de varias dimensões e de comprimento com cerca de 12m, temos uma variação muito grande na inércia da peça a ser usinada e na força de atrito, as quais influem diretamente nas características do movimento.

Além destas características existe a possibilidade de corte do perfil o que modificaria a força de atrito e a inércia, modificando as condições de movimentação da peça, dificultando ainda mais o sistema de controle, pois estas variáveis influem diretamente no controle da rotação do motor, pois modificam as acelerações e desacelerações do sistema.

Devido as características do sistema aberto, após desligado o motor o carro de translação deveria parar instantâneamente, necessitando portanto utilizarmos um freio.

No motor servo Hidráulico precisamos levar em consideração também as perdas de carga no circuito.

Portanto estas soluções mostram-se pouco práticas para serem implantadas.

Solução "C"

Devido a impossibilidade de implantação de um "parafuso bola" de 13m de comprimento, a utilização deste fica limitada a dimensões de 2 a 3 m de comprimento.

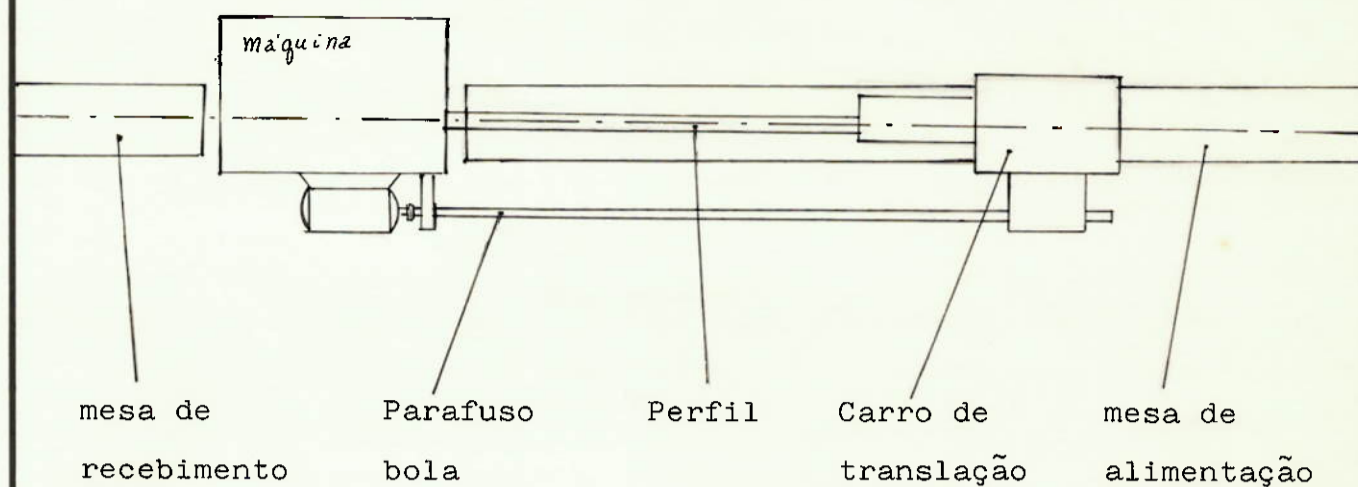


Fig. 7 Opção com parafuso de esferas recirculantes.

Portanto a usinagem do perfil seria realizado através de passos.

Esta solução para as características do nosso problema demonstra-se pouco prática pois temos :

- baixa velocidade de operação;
- utilização de um sistema de fixação do perfil que permita ao carro locomover-se livremente no retorno para a realização de um novo passo;
- não execução de operações em aproximadamente 1,5 m na extremidade final da barra, pois este sistema não conseguiria empurrar o perfil dentro da cabine de operação.

Solução "D"

Devido esta solução necessitar do perfil como superfície de apoio, deveremos utilizar dois discos.

Os discos estarão posicionados no início e no final da cabine de operação pois precisamos controlar a posição do perfil quando sua extremidade final estiver dentro da cabine de operação.

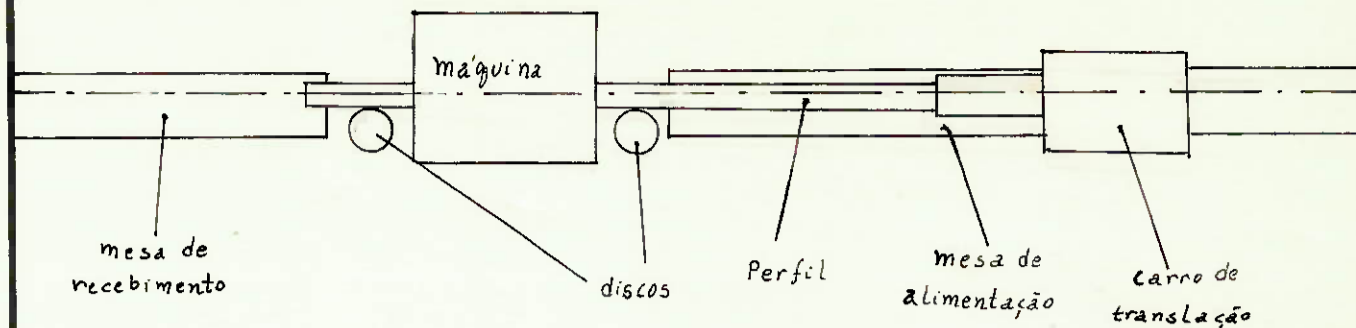


Fig. 8 Opção com discos de rolamento fixo.

Devido ao apoio ser o perfil, devemos posicionar os discos de maneira que não ocorra escorregamento e garantir que as superfícies estejam isentas de sujeira e deformações.

Necessitamos ainda da sincronização do funcionamento dos discos para que não haja imprecisões devido a mudança de controle de um disco para o outro.

O início da mensuração é feito quando o perfil atinge o disco 1, portanto o sistema de medida é um sistema de medida relativo, pois ele mede os deslocamentos relativos do perfil a partir do momento que o perfil atingiu o disco.

Solução "E"

Nesta solução utilizamos a mesa de alimentação como superfície de apoio para o rolamento do disco e sendo o disco fixo ao carro de translação.

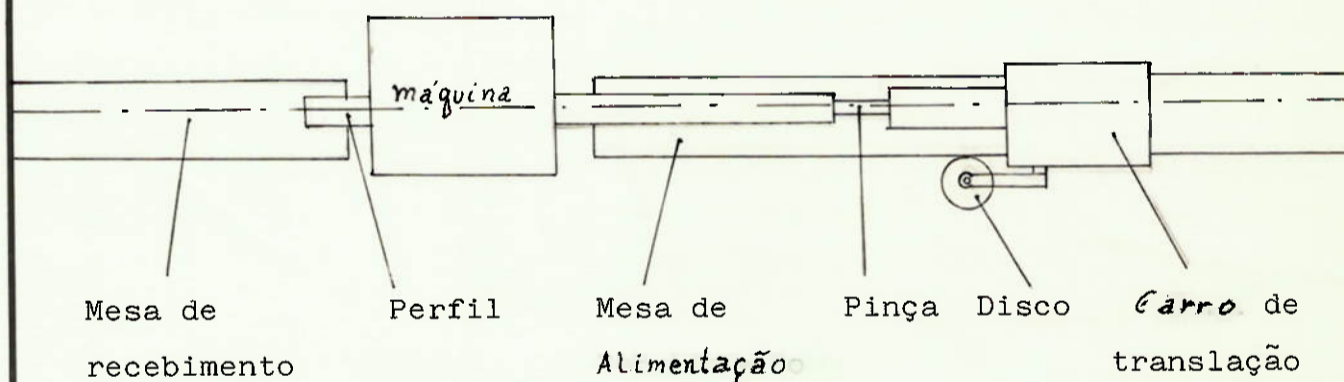


Fig. 9 Opção com disco de rolamento movel

A medida que o disco gira o encoder fixo no seu eixo transfere a posição para o controlador.

O sistema de medição neste caso é um sistema absoluto pois a medida que o carro de translação se movimenta sua posição está sendo controlada automaticamente podendo ser posicionado em qualquer ponto da mesa de alimentação.

Devido a esta característica, precisamos atuar no sistema a fim de fornecer o ponto inicial de operação, isto é, quando alimentarmos a máquina com um perfil de comprimento X, precisamos fornecer esta variável para o controlador. Esta operação pode ser feita através de duas maneiras distintas. Podemos fornecê-la através do operador que quando alimenta-se a máquina forneceria a dimensão do perfil, a outra maneira seria a introdução na máquina de um sensor que informaria a posição inicial do perfil, quando ele atingi-se o início da cabine de operação o que é mais conveniente, pois eliminaria uma fonte possível de erro, através da introdução deste sensor.

Solução "F"

Devido à não disponibilidade no mercado de régua digitais de comprimentos maiores que 2m, utilizaremos várias régua colocadas em seguida (série) fixadas na mesa de locomoção.

A leitura da régua é feita através de um dispositivo preso ao carro de translação, o qual transfere a leitura realizada para o controlador.

Solução "G"

Esta solução é idêntica a solução "E", mas ao invés de utilizar-se um disco, utilizamos uma engrenagem e ao invés da mesa uma cremalheira, garantindo assim que não haverá escorregamento e problemas de precisão devido ao desgaste das superfícies em contato ou mesmo uma imprecisão acidental ocasionada por sujeira nas superfícies rolantes ou mesmo o ajuste na manutenção do sistema.

Está solução difere da solução existente apenas pelo fato de possibilitar a preparação das operações a serem realizadas fora da máquina, isto é, a medida que a máquina está operando com uma fita, podemos operar uma máquina de impressão (perfuração) preparando assim outra fita.

A precisão deste sistema esta intimamente relacionado com a precisão do sistema de impressão e do sistema de leitura, pois quando identificar-se a operação a ser realizada devemos parar o carro de translação instantaneamente, necessitando portanto da implantação de um sistema de freio.

5 - VALOR ECONÔMICO

Analisando sob o ponto de vista de valor econômico, abandona-se a solução "F" devido ao seu custo excessivo.

As outras soluções viáveis têm valor econômico suficiente, pois todas elas diminuem os custos de fabricação da estrutura a ser produzida e influenciando muito pouco os custos de amortização destas soluções em relação ao acréscimo da produção.

6 - VIABILIDADE FINANCEIRA

Quanto a viabilidade financeira, levando-se em conta as disponibilidade da firma em termos de instalações, máquinas, dispositivos e eventual pessoal a ser contratado, no caso deste projeto, os investimentos são suficientes para que a firma possa executá-lo.

7 - CONCLUSÃO

Deste estudo de viabilidade resultam as soluções "D", "E", "G" e "I" como viáveis para o modulo de posicionamento.

VII - PROJETO BASICO DO MODULO DE POSICIONAMENTO

Do estudo da viabilidade resultaram quatro soluções possíveis "D", "E", "G" e "I". Nesta fase do projeto devemos escolher a melhor das soluções consideradas viáveis.

Para efetuar a escolha, os projetos foram analisados com base em propriedades consideradas importantes e suficientes para a determinação da melhor solução.

Esta escolha baseou-se em:

- Precisão : Característica ligada a confiabilidade do posicionamento do perfil.

- Manutenção : Característica que leva em consideração a quantidade de peças sujeitas a manutenção, bem como a facilidade com a qual essa manutenção possa ser executada.

- Durabilidade : Característica que mede o tempo de vida do equipamento.

- Facilidade de leitura : Característica que leva em consideração a atuação do sistema de controle.

- Erro Acidental : Característica que leva em conta o ambiente onde será instalado o modulo, estando este sujeito a erros acidentais devido a sujeira, detritos e outros fatores que influem no perfeito funcionamento.

- Facilidade de Fabricação.

- Espaço ocupado.

- Custos.

TABELAS DE PESOS E NOTAS DAS PROPRIEDADES

Propriedades	- Peso -	"D"	-	"E"	-	"G"	-	"I"
Precisão	- 5	70-35	-	80-40	-	100-50	-	80-40
Manutenção	- 4	60-24	-	70-21	-	100-30	-	100-30
Durabilidade	- 3	70-21	-	80-24	-	100-30	-	100-30
Fac. de Leitura	- 2	80-16	-	100-20	-	100-20	-	60-12
Erro Acidental	- 3	60-18	-	70-21	-	90-27	-	90-27
Fac. de Fabricação	- 3	70-21	-	80-24	-	100-30	-	100-30
Espço Ocupado	- 1	90-09	-	100-10	-	60-06	-	70-07
Custos	- 3	80-24	-	100-30	-	60-18	-	50-15
Pontos	- 23	168	-	190	-	196	-	179

Média "E" = 8.26

Média "G" = 8.52

Conclusão : Como podemos ver as soluções "E" e "G" se destacam em relação as outras, sendo que a solução "G" é a melhor solução. O ideal seria desenvolver "E" e "G", mas como o critico para nosso problema é a precisão então será desenvolvido a solução "G".

VIII - DEFINIÇÃO DETALHADA DE COMPONENTES DA SOLUÇÃO
ESCOLHIDA

Modulo de sistema cremalheira - engrenagem do indicador de posição.

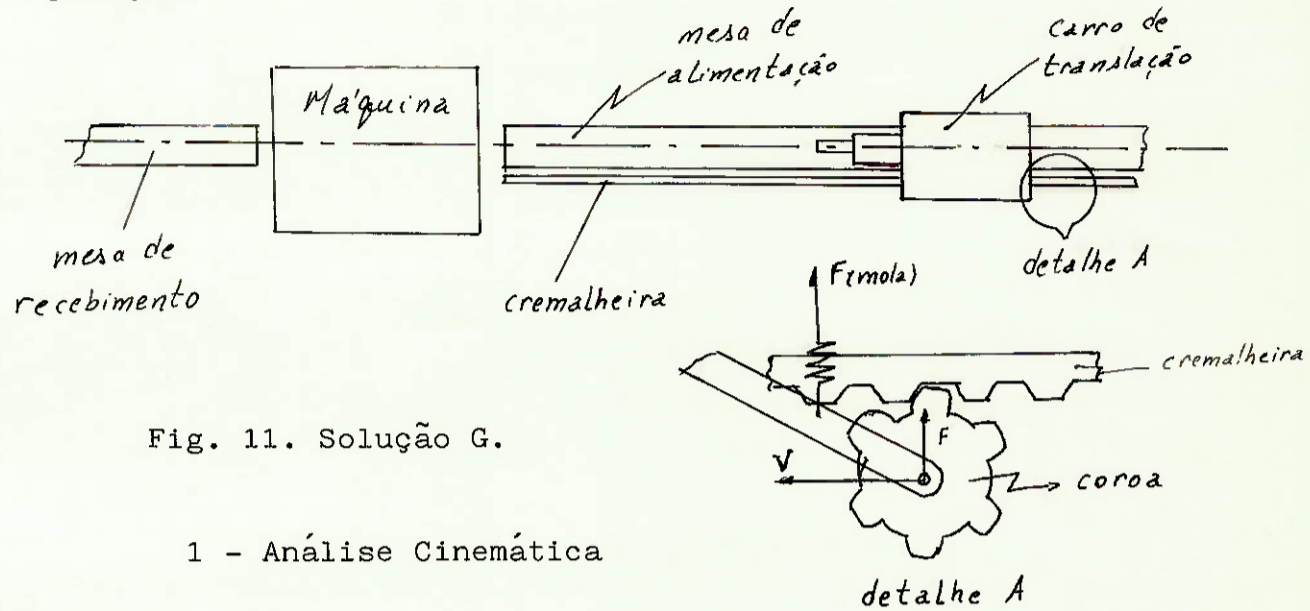


Fig. 11. Solução G.

1 - Análise Cinemática

Seja V a velocidade do carro de translação portanto $V = Wr$ onde r é o raio primitivo da engrenagem.

O espaço percorrido será $S = 2\pi R = p \cdot Z$.

Onde :

p = passo da engrenagem e z o nº de dentes.

2 - Estudo das Forças

Seja F a força de contato entre a engrenagem e a cremalheira, portanto temos que:

$$F = Mg + F(\text{backlash})$$

3 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Do estudo das forças temos que a força a mola deve ser maior ou igual a força de contato portanto $F(\text{mola}) = F = Mg + F(\text{backlash})$.

A força para movimentação da engrenagem é fornecida pelo carro de translação.

4 - Análise de Compatibilidade

Para que o sistema de cremalheira funcione perfeitamente como uma regua padrão, deverá ser rigidamente montada e calibrada de maneira que ela não tenha influência significativa sobre o sistema de medida, trabalhando como uma regua padrão sobre o qual serão realizadas as leituras de posicionamento.

Os perfis a serem manipulados tem dimensões máximas de $(12,0+0,2)$ m de comprimento, portanto o sistema de cremalheira deverá ter um comprimento que deverá levar este comprimento em consideração e ainda os comprimento da pinça e do carro de translação.

5 - Estabilidade

As dimensões do sistema de cremalheira devem ser fixadas levando em consideração que o sistema deverá trabalhar como regua padrão, assim devemos evitar o desgaste precoce do par engrenado e também dimensiona-la de maneira a facilitar a fixação e calibração da cremalheira.

O sistema engrenado deve ter modulo pequeno para eliminar problemas de contato e ter um funcionamento mais suave engrenamento.

A engrenagem deverá ter um diâmetro pequeno, pois a leitura da posição do sistema será realizado através do número de revoluções desta engrenagem o qual será obtido através do encoder preso ao eixo da engrenagem.

O encoder será definido com base no diâmetro da engrenagem, pois será dividida a circunferência primitiva em um certo número de partes que dependerá da precisão desejada para o encoder.

6 - Otimização Formal

Nesta fase serão fixados os principais parâmetros do modulo de posicionamento.

Comprimento do sistema de cremalheira, deverá ser de 13,5 metros.

Modulo do par engrenado: 2,0mm

Largura do par engrenado: 15,0mm

Espessura da cremalheira: 25,0mm

Engrenagem: adotou-se o diâmetro de 50mm

número de dentes $z=25$

Número de pulsos do encoder:

A resolução do encoder deverá ser menor que a precisão desejada para o sistema, portanto o comprimento da circunferência primitiva dividida pelo número de pulsos do encoder deverá ser menor que 0,5mm.

Portanto $\pi \cdot d / 0,5 = 315$, logo o encoder necessário deverá fornecer no minimo 315 divisões para a circunferência.

Será adotado um encoder de 500 divisões para a circunferência, sendo portanto o erro do posicionamento igual a ± 1 divisão do encoder que equivale a $\pm 0,3$ mm.

IX - MÓDULO DE SELEÇÃO DO MICROCOMPUTADOR

Para a realização do controle da máquina, isto é, para a realização do posicionamento do perfil e atuação sobre os dispositivos externos de maneira a serem realizadas as furações, corte e marcação, temos a necessidade de confeccionar controladores que atuarão sobre os dispositivos de maneira a serem realizadas as operações desejadas sobre o perfil estrutural.

Verificou-se que a construção destes controladores é inviável pela empresa, pois haveria a necessidade de formação de uma equipe na área de eletrônica e equipamentos somente para o desenvolvimento deste projeto, portanto procurou-se outros meios da realização destes controles.

Existem no mercado controladores lógicos programáveis no entanto estes controladores não atendem diretamente nossas necessidades, tendo um inconveniente muito grande que é a falta de flexibilidade na sua programação e uso, o que acarretaria os mesmos problemas atuais encontrado na máquina.

Encontramos na área de controle a utilização de computadores para o controle de processos e uma grande utilização deles nas máquinas de controle numérico, que nada mais são do que computadores com hardware e software específicos para aquelas máquinas, portanto verificou-se a possibilidade da utilização de um computador de propósito geral para a realização do controle da máquina.

Deste estudo averigou-se que poucas modificações no sistema elétrico da máquina são necessárias para o controle da operação.

Para o controle das operações pelo computador são necessários :

- a) Informar ao computador as operações e as respectivas posições no perfil destas operações, sendo facilmente realizado por software aplicativo.

b) Informar ao computador a posição do perfil a ser usinado em relação a máquina, o que será feito através de um encoder como veremos posteriormente;

c) Movimentação do perfil o que será feito pelo motor do carro de translação;

d) Atuação sobre os dispositivos externos de marcação, corte e furação pelo computador.

Portanto atendendo os requisitos acima, podemos realizar as operações sobre o perfil necessitando a confecção de um mínimo de circuito e a um baixo custo, pois grande parte dos circuitos necessários já estão embutidos dentro do computador, necessitando apenas a realização das interfaces para com os dispositivos externos realizando assim a comunicação deste com o computador.

A seguir serão descritas algumas características que levarão a adoção de um microcomputador de propósito geral "Apple" para o controle da máquina :

- Este computador é produzido por várias empresas, todos compatíveis com a configuração do "Apple Original";

- Um computador com uma configuração de 48K de memória custa aproximadamente o mesmo preço que um encoder comercial de 125 pulsos o que mostra que o preço do computador comparado com os dispositivos de controle é relativamente baixo;

- Encontramos no mercado inúmeros software e hardware sendo oferecidos constantemente, portanto temos bastante suporte para este computador;

- Inúmeras bibliografias que descrevem as características do computador, seu hardware e software e como trabalhar com eles para a realização das interfaces;

- Característica do seu hardware no qual o computador trata todos os dispositivos externos como memórias do computador, assim facilitando a construção de interfaces;

- Existem oito slots para a realização da comunicação com o meio exterior;

- Capacidade de memória da configuração básica é suficiente para a instalação do software operacional o qual realizará o controle dos dispositivos externos e ainda temos bastante memória para a instalação de software aplicativos com o qual poderemos facilitar e otimizar a utilização da máquina.

Características de Hardware do Microcomputador

O sistema de computador "Apple" usa um tipo de circuito integrado microprocessador 6502. Este "chip" forma o coração da unidade central de processamento (CPU) do computador.

O 6502 é um processador de 8 bits. Assim todas as operações matemáticas, transferência de dados, etc opera sobre oito bits por vez. O 6502 usa um bus de dados de 8 bits para transferir informações entre ele mesmo e as várias posições de memória e dispositivos de entrada e saídas, tais como Keyboard, impressoras e outros dispositivos externos.

Em casos onde a informação exceder o limite de 8 bits, múltiplos de palavra de 8 bits são usadas, cada palavra de dados de 8 bits é geralmente referida a um byte.

O 6502 usa um único conjunto de 8 pinos para fazer a conexão com o bus de dados. Este bus de dados é usado para transferir a informação para e do computador. Este tipo de bus é chamado bidirecional, pois ele permite o fluxo de informação nos dois sentidos.

Todo sistema de computador tem alguma memória associado com ele. Em geral, a memória é usada para armazenar um programa que controlará a operação do computador, tão bem como a informação que será processada. No computador 6502, cada posição de memória pode armazenar 8 bits de informação ou seja um byte.

A posição de memória deve ser endereçada de alguma maneira, assim o computador sabe exatamente onde será armazenado os dados ou obter informações de passos de programas. O microprocessador

6502 tem 16 pinos de endereçamento com isto sendo permitido endereçar cada uma das 65536 posições de memória, cada qual podendo conter um byte de informação.

A linha de bus de endereço são rotuladas de A0 até A7 e de A8 até A15 correspondendo ao byte menos significante (LSB) e o mais siginicante (MSB) respectivamente,

Ao contrário do bus de dados, o bus de endereço é unidirecional, pois o fluxo de informação de endereço é somente em uma única direção, da CPU para a memória e para dispositivos externos.

Um sinal de controle é gerado pelo processador 6502 para controlar o fluxo de informação no bus de dados. O sinal é especificado como Read/Write, ou mais simplesmente R/W, onde operações de leitura ou impressão devem ser realizadas.

O 6502 deve especificar um endereço de 16 bits para a posição de memória requerida ou para o dispositivo externo.

A barra sobre a notação do sinal indica que ele estará ativo quando um lógico zero.

Dispositivos de entrada e saída (Input,Output I/O) podem ser adicionados ao computador. Este dispositivos podem ser de próprio pojetao ou podem ser padrões.

Os dispositivos de entrada e saída são ligados ao bus de dados, assim dados podem ser transferidos para ele e deles, estes dispositivos também são conectados ao bus de endereço, sendo assim eles também são endereçados pelo processador 6502.

Antes de passarmos a discutir a transferência real de informações entre dispositivos de entrada e saída e o computador, nós devemos entender a circuiticidade e os sinais que são usados para identificar um individual dispositivo de entrada e saída.

Todo dispositivo de entrada e saída, que é para ser ligado ao computador, deve ser capaz de reconhecer seu próprio endereço, pois o computador trata todos dispositivos como memória, portantoo

os dispositivos devem monitorar constantemente as 16 linhas de endereço, A15-A0, para averiguar a ocorrência de seu endereço e com isto poder colocar ou retirar dados do bus de dados.

Existem três formas básicas para identificar o endereço do dispositivo, que são:

Gating - detecta uma combinação específica de sinais lógicos;

Decoding - uma forma flexível de gating no qual muitos endereços podem ser identificados;

Comparação - compara um endereço pré-fixado com os endereços no bus de endereço.

Utilizaremos a forma de decoding para a construção das interfaces que controlarão os dispositivos de controle da máquina.

Para a aquisição de dados pelo dispositivo do computador, temos a utilização do sinal W, a duração de um pulso deste sinal é de 500 nanosegundos, estando durante este tempo o processador recebendo ou transmitindo dados no bus de dados. Para eliminar este problema, cada porta de saída deve ser equipada com algum tipo de circuito que pode obter do bus de dados e manter os dados por tanto tempo quanto necessário até que ele seja renovado por outra transferência de dados.

O tipo de circuito que pode realizar este tipo de função é chamado de "latch", desde que ele pode segurar e manter a informação até que ela seja atualizada ou a fonte de potência seja desligada.

Estes latch são portas de saída e transferem informação de um byte ou seja 8 bits.

Ao contrário das portas de saída que devem ser capazes de receber e manter a informação que é colocada sobre o bus de dados em específico momento e podem estar continuamente conectado ao bus de dados, as portas de entrada devem ser capazes de se desconectar a si mesmo do bus de dados, quando elas não estiverem em uso.

Table 7-1. Apple Bus Signals and Descriptions

Pin	Name	Description
1	I/O SELECT	A logic zero signal, active at slot n , when the computer addresses locations CnOOH-CnFFH. Active during Φ_0 . Not available at slot 0. (10)*
2-17	A15-A0	Buffered address bus lines. (5)
18	R/W	Buffered read/write control signal. (2)
19	SYNC	Video timing synchronization signal. Available only at slot 7. (?)
20	I/O STROBE	A logic zero signal, active at all slots when the computer addresses locations C8OOH-CFFFH. Active during Φ_0 . (4)
21	RDY	Ready control input to 6502 processor.
22	DMA	Direct-memory access control input.
23	INT OUT	Interrupt daisy chain signal to adjacent slot.
24	DMA OUT	DMA daisy chain signal to adjacent slot.
25	+5 volts	+5-volt power supply connection. 500 mA maximum available to all cards.
26	GND	System electrical ground.
27	DMA IN	DMA daisy chain signal to adjacent slot.
28	INT IN	Interrupt daisy chain signal to adjacent slot.
29	NMI	Nonmaskable interrupt input to 6502 chip. Vectors processor to subroutine at 03FBH.
30	TRQ	Maskable interrupt input to 6502 chip. Address of interrupt subroutine in 03FE and 03FF.
31	RES	Input/output line. When pulled low, the Apple is reset. Interface may monitor or generate a reset.
32	INH	When pulled to a logic zero, all internal ROMs are disabled.
33	-12 V	-12-volt power supply connection. Total of 200 mA available to all cards.
34	-5 V	-5-volt power supply connection. Total of 200 mA available to all cards.
35	COLOR REF	This 3.580 MHz color reference signal is only present at slot 7. (?)
36	7M	A standard 7.159 MHz reference signal. (2)
37	Q3	A standard 2.046 MHz reference signal. (2)
38	Φ_1	Standard 1.023 MHz microprocessor clock signal. (2)
39	USER 1	Logic zero input. When pulled low, all internal I/O devices are disabled.
40	Φ_0	Standard 1.023 MHz microprocessor clock signal. Complement of Φ_1 . (2)
41	DEVICE SELECT	Logic zero signal, one per slot. Active for 16 addresses per slot (see Table 7-3). (10)
42-49	D7-D0	Buffered data bus signals. (1)
50	+12 V	+12-volt power supply connection. Total of 250 mA available to all cards.

*Number in parentheses indicates the number of SN74LS00-family inputs that each signal can drive per interface slot.

Circuitos especiais com saídas em três estados (zero, um e desconectado) são utilizados para simplificar o projeto das portas de entrada.

Portanto devemos confeccionar as interfaces dos dispositivos levando em consideração todas estas características, em seguida serão descritos alguns sinais no slot que facilitarão o projeto das interfaces com os dispositivos externos.

Nestes slots os sinais importantes do computador estão prontamente disponíveis para qualquer um que queira usá-los, com isto podemos projetar circuitos de interfaces especiais que podem tirar vantagem das muitas características de construção do computador Apple.

Os slots são numerados de 0-7, mas o slot 0 tem sido reservado pelo fabricante para expansão do computador, os slots 1-7 são para serem usados como desejar-se.

Alguns destes sinais já foram discutidos anteriormente, na tabela abaixo, temos uma lista completa dos sinais do computador disponíveis nos slots.

Caso haja algum interesse particular, recomenda-se a leitura do capítulo 7 da referência bibliográfica (5).

Table 7-2. I/O SELECT Address Allocations

Interface Slot	Address Range
1	C100-C1FF 49408-49663
2	C200-C2FF 49664-49919
3	C300-C3FF 49920-50175
4	C400-C4FF 50176-50431
5	C500-C5FF 50432-50687
6	C600-C6FF 50688-50943
7	C700-C7FF 50944-51199

Table 7-3. DEVICE SELECT Address Allocations

Interface Slot	Address Range
0	C080-C08F 49280-49295
1	C090-C09F 49296-49311
2	C0A0-C0AF 49312-49327
3	C0B0-C0BF 49328-49343
4	C0C0-C0CF 49344-49359
5	C0D0-C0DF 49360-49375
6	C0E0-C0EF 49376-49391
7	C0F0-C0FF 49392-49407

X - MODULO OPERACIONAL

Será descrito aqui o procedimento interno que deveremos realizar no computador.

Todo o software para a operação, controle e aplicativos não estarão residentes no computador, logo inicialmente devemos carregar no computador o software com os programas.

Portanto carregado o sistema o computador estará apto a controlar a máquina.

Para a execução das operações deveremos fornecer dados relativos ao perfil, materia prima, e as posições onde serão realizadas as operações, para um perfeito funcionamento estes dados devem ser checados com as características da máquina e montados em uma estrutura de maneira a linearizar as operações da máquina de forma a serem realizadas as operações em um unico passe ou no menor numero possível de passes.

Inicialmente devemos fazer uma rotina que realize o diagnóstico dos dados de entrada, isto é, verificar se os dados do perfil estão compatíveis com o uso da máquina.

Devemos averiguar as seguintes características:

- perfil a ser usinado (materia prima)
- comprimento do perfil
- número de ferramentas necessária por face, sendo no máximo duas por face, pois somente temos dois punções por face.
- número de linhas de furação por face e por ferramenta (diâmetro) pois estas linhas são fixas não podendo ser modificadas durante as operações, com isto podemos ter somente uma linha de furação por punção (furo).
- número de diâmetro por face, sendo no máximo dois diâmetros.
- averiguar a posição da marcação, não podendo estar sobre furação.
- averiguar número de croquis do perfil.

Averiguando todas estas condições acima, devemos notificar o operador caso ocorra alguma inconsistência e definindo assim o número de passes a ser realizado por peça (croquis).

Devemos evitar dar mais de um passe, pois isto implicaria em modificações das ferramentas ou linhas de furação o que aumentaria enormemente o tempo de execução da peça.

Todas as mensagens de aviso ao operador serão enviadas para o terminal de vídeo de forma que o operador seja informado sobre as operações que ele deve executar e em que fase encontra-se o ciclo de operação da máquina.

Uma vez realizada a consistência dos dados do perfil, o programa deverá montar as operações a serem realizadas sequencialmente nas duas faces, com isto evitando o retorno da máquina realizando assim as operações em um único sentido. Além disto, compatibilizando os valores das posições dos furos no perfil com relação ao deslocamento dos pistões, pois eles estão defasados, logo a posição do furo no croquis não será a mesma posição no sistema da máquina.

Portanto a rotina deverá levar em consideração os seguintes dados:

- face em que encontra-se o furo, com isto podemos utilizar somente os pistões 1 e 2 ou 3 e 4.
- linha de furação
- diâmetro do furo (ferramenta).

Com as três condições acima será selecionado um pistão que realizará a operação. Escolhido o pistão devemos calcular a posição do furo no sistema da máquina, para isto transferimos as coordenadas do furo para o sistema da máquina e deslocamos este conforme o deslocamento do pistão.

Portanto ao final deste programa de montagem teremos definidas as coordenadas do furos e os pistões que realizarão as operações.

Averigou-se que a maioria dos croquis de fabricação possuem duas linhas de furação com dois diâmetros diferentes, logo a maioria das operações serão realizadas em um único passe.

Devemos averiguar qual o comprimento do material e o número de peças que podemos executar com este comprimento.

Como toda operação da máquina será controlada pelo computador, devemos ter rotinas básicas que controlarão todas as operações. A seguir descreveremos as rotinas que deverão ser feitas para o controle da máquina.

Inicialmente alimenta-se a máquina com um perfil, em seguida movimenta-se o carro até um ponto de referência, com isto fixamos a origem do sistema para esta peça.

Com o perfil fixo na máquina e o sistema de coordenadas estabelecido, transferimos o controle das operações para o computador.

O computador movimentará o perfil até atingir a cabine com isto definido o comprimento da matéria prima fornecida, checagens são realizadas com relação ao comprimento dos croquis, informando ao operador quaisquer problemas encontrados.

Começamos então o ciclo de operação, no qual deveremos movimentar o perfil até a posição de operação e em seguida acionar o pistão com a operação desejada.

A rotina de movimentação deverá seguir o seguinte procedimento:

- Enviar a interface de controle do motor o sinal para movimentação do perfil:

- Ler a posição do perfil do modulo de posicionamento até atingirmos um ponto onde devemos começar a desaceleração.

- Enviar um sinal de desaceleração para a interface do motor.

- Enviar um sinal de parada do motor.

- Ler a posição onde se encontra o perfil e checar se é a posição desejada, caso contrário, verificar qual o sentido de locomoção, pois podemos ter passado do ponto desejado, e enviar um sinal para a interface de controle do motor com isto reiniciando o ciclo de movimentação.

Esta rotina deverá controlar a atuação do motor até atingir-se a posição desejada dentro da precisão pré-estabelecida.

Atingida a posição, deveremos acionar o pistão com as operações desejadas, como os pistões estão defasados devemos averiguar se não existem mais de uma operação sobre a mesma posição no sistema da máquina e executa-las uma a uma.

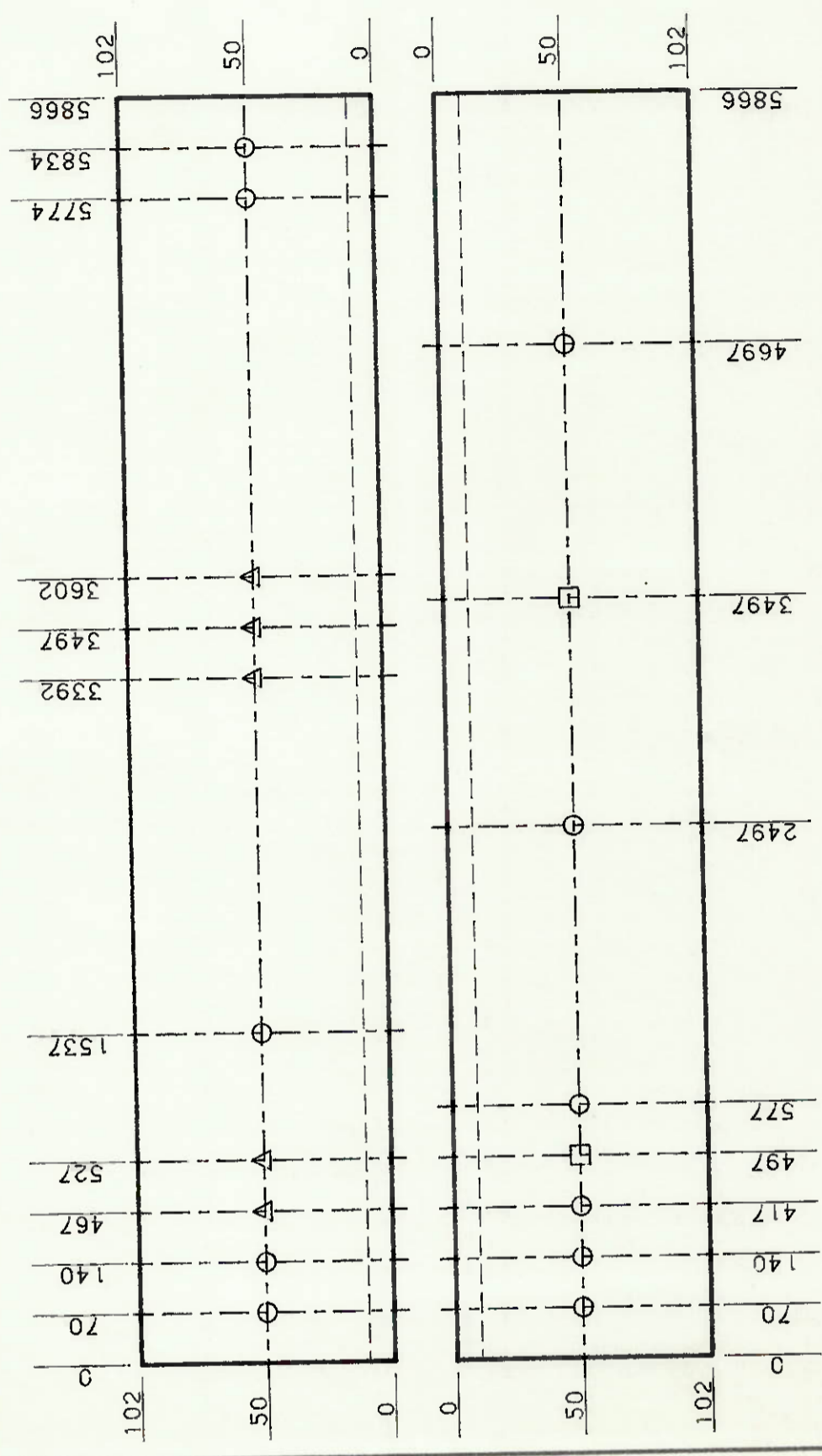
A operação estará completa sobre uma peça quando executarmos a operação de corte, pois não poderemos retornar mais esta peça, indicando assim o fim de operação sobre o perfil ou o início de uma nova peça (croquis).

MAT. O.F.	973	COD.		DES.	973F28	POS.	F33	PESO ESTO	01-L1271/12
	L 127.0 X 127.0 X 9.5 MM				QTDE	6		fls.	
								GRAVACAO	
								ASSEMBLAGEM	
								PREMONTAGEM	
								<input type="radio"/> S <input type="radio"/> N	
								ACABAMENTO	
								<input type="radio"/> G <input type="radio"/> PR <input type="radio"/> PT	
								SETOR	
								CORTE	
								MARCACAO	
								MECANICA	
OBS. :									
DATA: 10-JAN-86									
DES. : CPU 11/44									
VER. :									

METALCO-CPD

MAT.	O.F.	COD.	DES.	QTDE	POS.	PESO	ESTO
	973		973F27		F8		01-L1022/12
L 101.6 X 101.6 X 7.9 MM				8			file.

METALCO-CPD



GRAVACAO
ASSEMBLAGEM
PREMONTAGEM
(S) (N)
ACABAMENTO
(G) (PR) (PT)
SETOR
CORTE
MARCACAO
MECANICA
OBS.
DATA: 10-JAN-86
DES.: CPU 11/44
VER.:

XI - MODULO DE LINGUAGEM

Definiremos neste modulo uma sintaxe na qual iremos descrever as furações no perfil.

Devido a máquina trabalhar com as duas faces ao mesmo tempo e devido aos croquis terem muitos furos definiremos uma sintaxe para a descrição dos furos ao invés de defini-los ponto a ponto o que tornaria muito trabalhoso a descrição deste, pois em montantes e banzos é comum termos mais de 30 furos em uma face.

Esta sintaxe visa facilitar a entrada de dados e melhorar a estrutura das rotinas a serem usadas.

Atualmente na empresa existe um sistema de CAD (Computer Aided Design) com a qual realizamos alguns desenhos de estrutura e na figura 1.8 temos um croquis de fabricação obtido por este sistema.

A seguir descreveremos as informações necessárias e como deverão ser descritas.

Inicialmente devemos descrever as características do perfil, tais como:

- Código de estoque do material, o qual define o material a ser utilizado.
- Comprimento do perfil, indicando qual o comprimento deverá ser cortado.
- Numero de peças semelhantes.
- Marcação indentificando assim o croquis na estrutura para montagem e fabricação.
- Podemos informar ainda algumas características sobre o acabamento superficial como pinturas, etc.

Para a descrição dos furos, teremos:

- Face onde indicaremos a que face pertencem os furos descritos a seguir.

- Descrição dos furos na seguinte forma:

X Y DX DY N° Furos Diâmetro

onde :

X Y indicam as coordenadas de um furo no croquis sendo X sua posição ao longo do perfil e Y sua linha de furação

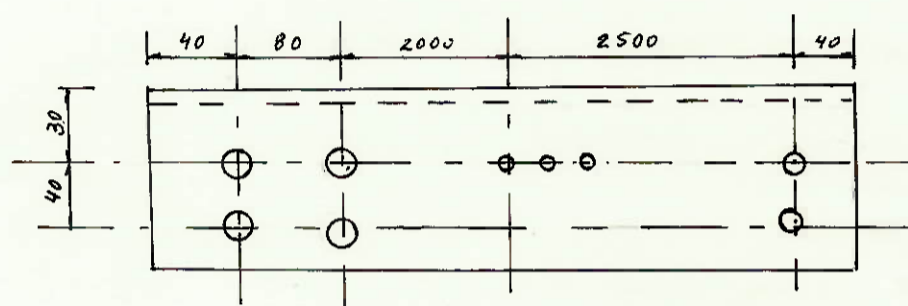
DX indica o espaçamento do conjunto de furos em relação ao eixo x

DY idem em relação ao eixo y

Nº Furos indica o numero de furos em sequência

Diâmetro indica qual a ferramenta a ser usada.

A seguir temos um exemplo de descrição:



Face 1.

40. 35. 80. 40. 4 12.7

2120. 35. 100. 0. 3 19.

4620. 95. 0. 40. 2 12.7

Com estas informações armazenadas para todas as faces e perfil (croquis) podemos montar uma estrutura na qual possibilitem utilizar vários programas, tais como: ordenação das furações, otimização de material e tempo de operação aglutinando croquis com características semelhantes.

XII - MODULO DE SOFTWARE APLICATIVO

Com estas rotinas pretendemos complementar o modulo operacional, facilitando a operação da máquina racionalizando seu uso e facilitando a operação da máquina.

Uma rotina deste modulo seria a rotina de otimização de material onde tentariamos colocar o máximo número de croquis no perfil a ser trabalhado, sendo para isto necessário analisar suas linhas de furação e diâmetros de furos.

A rotina de otimização das operações seria outra rotina deste modulo, sendo esta otimização pretendida através dos seguintes fatores.:

- evitar ao máximo a modificação nas linhas de furação e troca de ferramenta, procurando colocar os croquis semelhantes em ordem.
- enviar ao operador mensagens informar quantas ferramentas serão utilizadas e quais são elas.

Podemos fazer diversos programas que farão parte deste modulo e que dependerão da utilização desta máquina e das dificuldades encontradas.

XIII - INTEGRAÇÃO DO MÓDULO DE POSICIONAMENTO E O COMPUTADOR

1 - Sistema de Realimentação

O sistema de realimentação da posição é o responsável pelo correto posicionamento da máquina conforme comandado.

Embora os motores de corrente contínua sejam por si só dispositivos que possibilitem o controle do posicionamento em malha aberta, foi concluído que o seu funcionamento só será satisfatório em malha fechada, devido principalmente as características dinâmicas particulares da máquina, que não permitem determinar precisamente o máximo torque, ocasionando eventuais perdas de posicionamento do sistema.

Com o intuito de garantir que um erro de programação ou mesmo uma distração do operador, ocasionem prejuízos mecânicos à estrutura da máquina ao serem atingidos os seus limites, um conjunto de chaves de fim de curso, estão posicionadas para cada grau de liberdade, de forma que estas interrompessem o acionamento de motores ou dos pistões, no qual seu acionamento poderiam causar alguma avaria mecânica. Além desta função de segurança, estas chaves servem para determinar a posição de referência ao se energizar o sistema de controle da máquina.

2 - Mecânica do Sistema de Realimentação

Para o sistema de realimentação da máquina foi projetado um codificador angular incremental (encoder) com sensores ópticos (diodo emissor de infravermelho e foto transistor) montados em um disco de acrílico como uma máscara fixa neste disco.

O codificador angular incremental está fixo à máquina no carro de translação preso ao eixo da engrenagem, a qual se movimenta sobre uma cremalheira como descrito no módulo de posicionamento.

Para se conseguir a resolução necessária para a precisão desejada entre pontos devemos utilizar um codificador com 500 pulsos como definido no módulo de posicionamento. Um disco com 125 divisões como mostrado na figura 12 com dois sensores será utilizado.

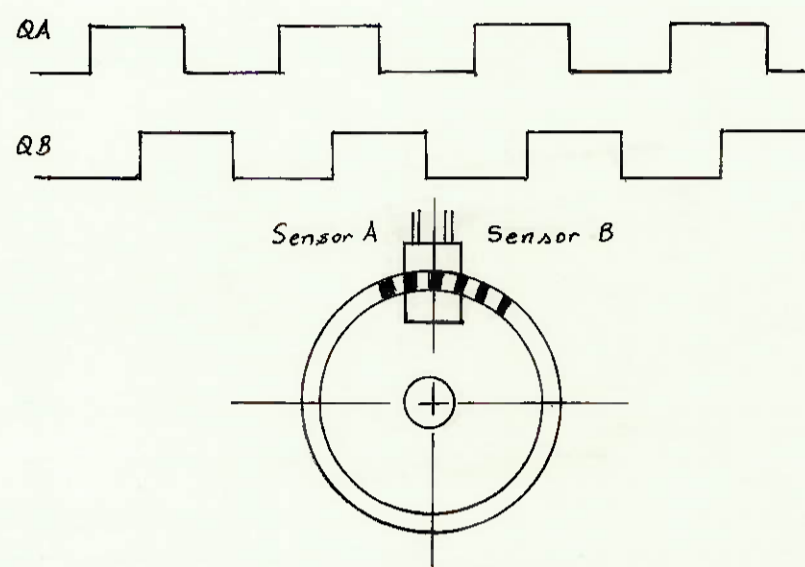


Fig. 12 Codificador angular incremental (encoder)

O circuito eletrônico associado ao codificador gera um sinal de direção e um sinal com pulsos para a contagem que indicará a posição do sistema, que serão gerados a cada transição de cada uma destas ondas quadradas, que são geradas pelo sensores ópticos a medida que o disco gira.

Os sensores fornecem uma onda quadrada e estão defasadas de um quarto do período, uma da outra, gerando ondas quadradas como mostrado na figura acima.

O disco utilizado possui 125 divisões, portanto em cada período teremos quatro transições, portanto obtemos assim a resolução desejada de 500 pulsos por volta da engrenagem.

Um dispositivo de ajuste permite calibrar a distância entre o sensores de modo a obter-se uma defasagem exata das duas ondas.

Os detalhes do princípio de funcionamento deste sensor e do circuito utilizado serão descritos em sessões posteriores.

Desta forma, os sinais originados nos sensores ópticos, permitem ao sistema de controle determinar precisamente a posição do carro de translação independentemente das variações de carga sobre o motor e também indicando se o motor esta conseguindo locomover o carro de translação.

Este sensor utilizado, "Incremental Angle Encoders" existe no mercado, portanto dependendo das dificuldades encontradas com os elementos opticos utilizados, distância de encoder ao sistema de controle, e para uma mais fácil manutenção, podemos utilizar o sensor fabricado pela Diadur com as seguintes especificações: ROD 402,125 pulsos ou 500 pulsos o qual dependerá do sistema a ser usado sobre os sinais e com sinais nível TTL.

No apêndice temos as características destes elementos fabricados pela Diadur.

3 - Sinais Gerados Para o Sistema de Controle

Os sinais gerados na arquitetura mecânica que são entrada para o sistema de controle são de dois tipos:

- Sinais vindo dos codificadores angulares incremental do sistema de posicionamento.
- Sinais vindo de um conjunto de chaves, umas associadas ao fim de curso do carro de translação e outras associadas ao sincronismo do sistema pois o carro de translação não pode atuar quando os pistões estão sendo atuados.

São duas as funções das chaves limitadoras de curso:

- a - Proteger a estrutura, interrompendo o acionamento ao ser atingida alguma chave;
- b - Fornecer uma referência para o sistema de controle, determinando assim a posição do sistema ao ser energizado ou para início de operação sobre um novo perfil a ser usinado,

garantindo assim confiabilidade no sistema de referência, pois ele esta sendo renovado a toda nova usinagem evitando com isto acumulos de erros durante operações sucessivas.

São duas as chaves limitadoras de curso, posicionadas nas extremidades da mesa, com isto controlado o grau de liberdade de locomoção do carro.

Temos ainda quatro chaves para a setagem do sistema de referência, sendo usadas conforme o comprimento dos perfil em uso. Estas chaves estão posicionadas a 3m, 6m, 9m e 12m a partir da cizalhadeira, com isto permitindo a setagem do sistema, precisarmos locomover o carro até a extremidade da mesa.

4 - Processamento dos Sinais da Mesa

Será descrito a transferência de processamento dos sinais, para o computador, do modulo de posicionamento e da mesa.

O Decodificador Angular Incremental, Encoder, transfere dois sinais para o computador : sinal de Clock, o qual traz os pulsos a serem contados, os quais indicarão a posição do perfil; sinal de direção do carro de translação.

Para obtermos o sinal de direção devemos processar juntamente o sinal de Clock e Up/ Down vindo do transdutor.

Quando utilizarmos contagem simples dos pulsos, utilizaremos o circuito da Figura 13, que é o circuito mais simples.

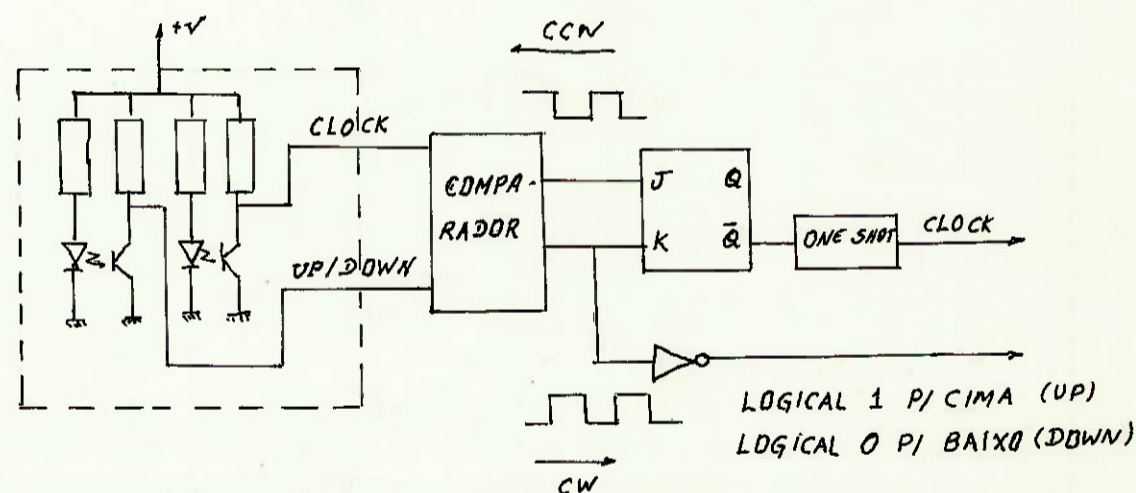


Fig. 13 Sinais p/ contagem simples.

Se utilizarmos a quadruplicação de sinal, devemos utilizar o circuito da figura 14.

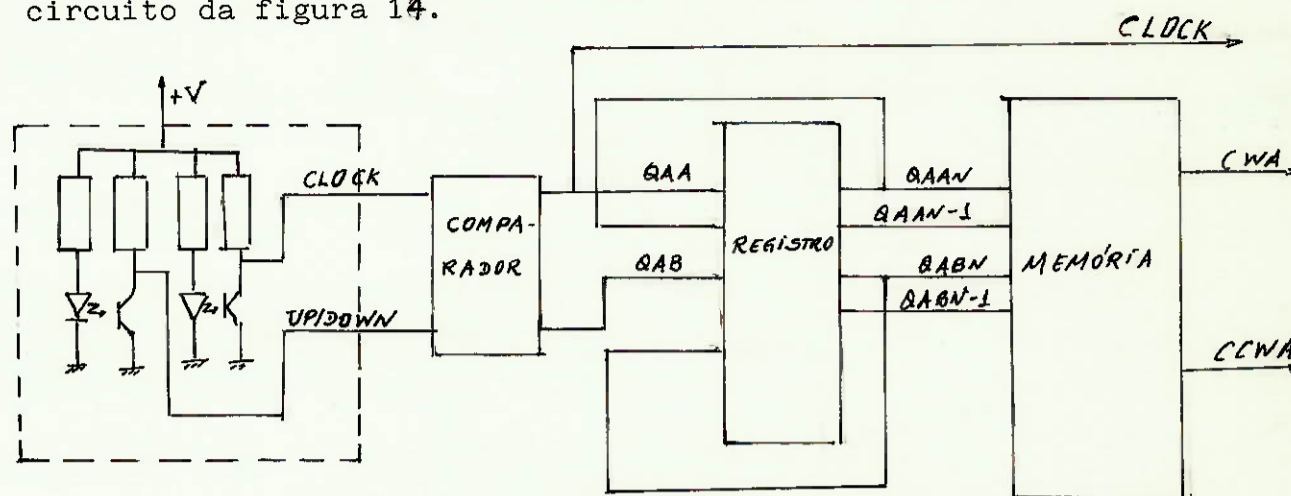


Fig. 14 sinais para contagem quadruplicada.

Os sinais do encoder são quadrados em um comparador e entram em um circuito decodificador de estado gerando pulsos a cada transição de qualquer um dos sinais.

Este circuito decodificador de estado é baseado em um registro que endereça a memória com os estados atuais (QAA, QAB) e anteriores (QAA', QAB') amostrados com uma frequência alta, o qual é suficientemente alta para a rotação do encoder, de forma que todas as transições geram pulso de contagem.

Assim, olhando na tabela 1 referindo-se ao estado de onda marcados na figura 12 podemos ver que quando o carro de translação esta movendo-se, enquanto estamos amostrando sinais na região 1, CWA e CCWA, sentido do relógio e contrário respectivamente, estarão em nível (1- 1). Ao avançarmos na direção CW, de 1 para 2, vemos que durante o período de amostragem a saída CWA irá para o (1- 2) e no próximo retornará para 1(2- 2) gerando um pulso na direção CW. Se ao invés irmos para o estado 2 a partir do 1, iremos para o estado 4, ou seja, andarmos na direção CCW, a saída CCWA irá para 0 (1- 4) durante um período de amostragem e em seguida retornando a 1(4- 4) gerando um pulso na direção CCW.

Assim, a cada transição de qualquer um dos sinais, o decodificador de estados gera um pulso de contagem na direção correta. Com um disco de 125 divisões, obteremos com este circuito um total de 500 pulsos por volta.

QABN-1	QABN	QAAN-1	QAA	CWA	CCWA	ESTADO	

- 0	-- 0	-- 0	-- 0	-- 1	-- 1	-- 1-	1 -
- 0	-- 0	-- 0	-- 1	-- 0	-- 1	-- 1-	2 -
- 0	-- 0	-- 1	-- 0	-- 1	-- 0	-- 2-	1 -
- 0	-- 0	-- 1	-- 1	-- 1	-- 1	-- 2-	2 -
- 0	-- 1	-- 0	-- 0	-- 1	-- 0	-- 1-	4 -
- 0	-- 1	-- 0	-- 1	-- 1	-- 1	-- ?	-
- 0	-- 1	-- 1	-- 0	-- 1	-- 1	-- ?	-
- 0	-- 1	-- 1	-- 1	-- 0	-- 1	-- 2-	3 -
- 1	-- 0	-- 0	-- 0	-- 0	-- 1	-- 4-	1 -
- 1	-- 0	-- 0	-- 1	-- 1	-- 1	-- ?	-
- 1	-- 0	-- 1	-- 0	-- 1	-- 1	-- ?	-
- 1	-- 0	-- 1	-- 1	-- 1	-- 0	-- 3-	2 -
- 1	-- 1	-- 0	-- 0	-- 1	-- 1	-- 4-	4 -
- 1	-- 1	-- 0	-- 1	-- 1	-- 0	-- 4-	3 -
- 1	-- 1	-- 1	-- 1	-- 0	-- 0	-- 3-	4 -
- 1	-- 1	-- 1	-- 1	-- 1	-- 1	-- 3-	3 -
- X	-- X	-- X	-- X	-- 1	-- 1	-- PAR	-
- X	-- X	-- X	-- X	-- 0	-- 0	-- PAR	-

Tabela de estados

X = 1 ou 0 ; ? ilegal ; PAR = parado

Portanto seja na forma de contagem simples ou quadrupla estes pulsos devem ser contados por um contador digital e este valor transferido para o computador.

5 - Analise dos Sinais

O sinal de posicionamento deve informar a posição em 13m de comprimento, com um encoder de 500 pulsos para um percurso da engrenagem de 0.157m, logo teremos um total de aproximadamente 45000 pulsos a serem contados caso utilizar-se um perfil de 13m. Portanto deveremos utilizar 16 bits para a contagem dos pulsos de deslocamento, sendo a contagem sempre realizada a partir da extremidade o que elimina a necessidade um bit de sinal.

Logo deveremos utilizar um contador com 16 bit que contará os sinais de Clock e que modifique o sentido de contagem conforme o sinal de Up/Down.

6 - Processamento dos Sinais

Descreveremos a interface que processará o sinal e transferirá para o computador.

Com o sinal do clock e de direção devemos contar os pulsos somando ou subtraindo dependendo do sinal de direção (Up/Down), além desta contagem devemos renovar a origem conforme o carro atinja as chaves de referência retornando o contador a zero.

Como definido acima, o nosso contador deverá ter 16 bits, portanto usaremos quatro contadores de 4 bits cada, ligados por efeito cascata, formando assim um contador de 16 bits.

A ligação destes contadores será realizada de maneira que todos os contadores modifiquem ao mesmo tempo quando ocorrer a condição de overflow.

A renovação da origem será feita através da característica especial do contador no qual podemos pré-fixar (preset) seus valores iniciais e através de um sinal chamado "load" podemos transferir estes valores para o contador, para isto basta colocar o valor zero para esta transferência e um para contagem, logo a setagem da origem realizaremos da seguinte forma:

- fixaremos os valores iniciais para zero.
- quando atingida a chave de referência, elas comutam o sinal de load para zero, retornando assim o contador para zero.

Portanto com os sinais de clock e Up/Down vindo do encoder e conforme a opção de contagem simples ou quadruplicada, a posição do perfil a todo momento será dada pelos contadores.

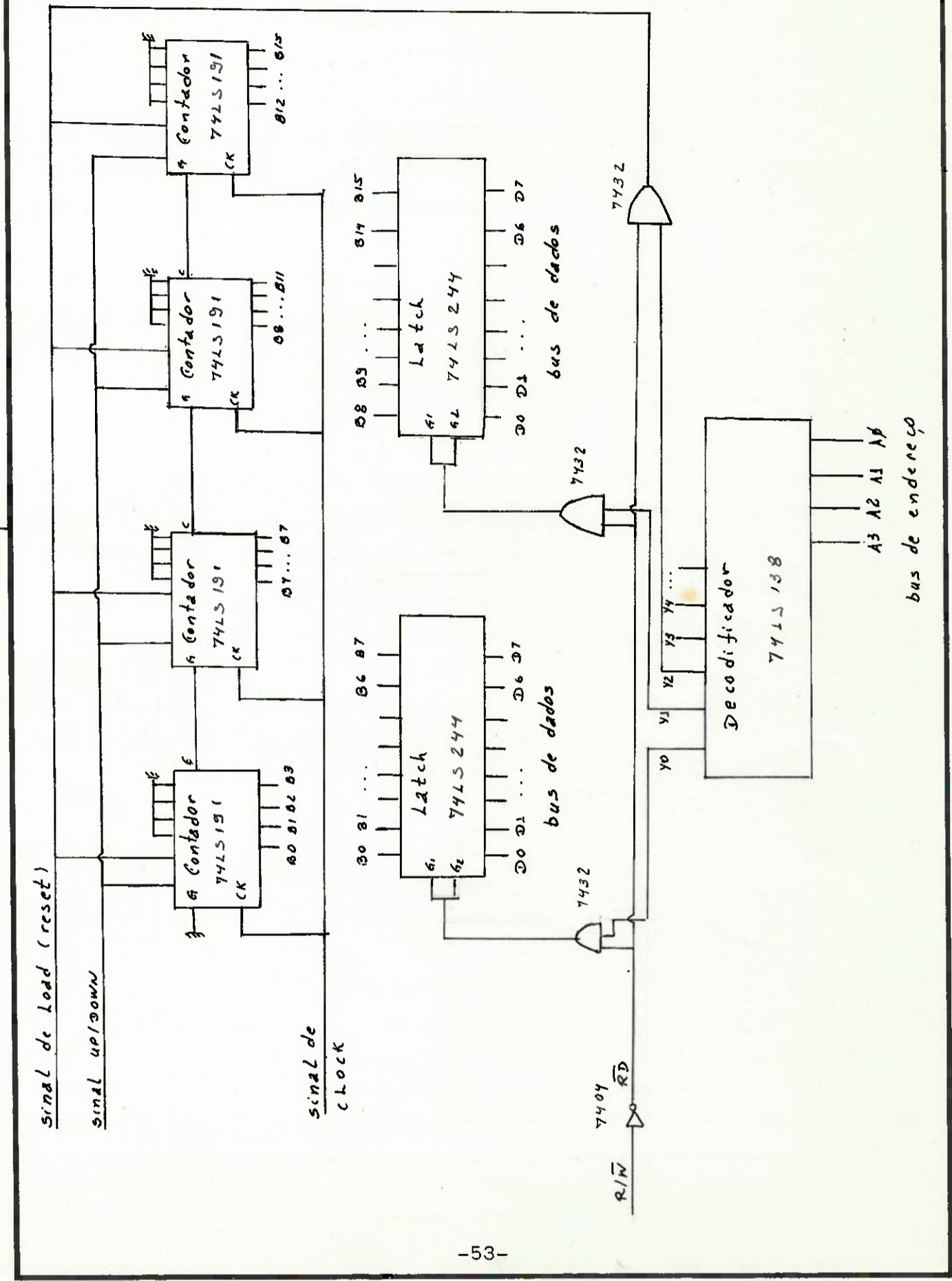
A transferência da posição para o computador será realizada em duas etapas, pois o computador trabalha com bus de dados de 8 bits, portanto transferiremos inicialmente os bits 0 a 7 e em seguida os bits de 8 a 15.

Os dados serão transferidos para o bus de dados através de dois latches de 8 bits acoplado ao bus, estes latches serão acionados pelo sinal de R/\bar{W} e pelo sinal do decodificador de endereços, o qual indica se a interface está sendo requisitada.

Podemos renovar a origem pelo computador através do sinal de R/\bar{W} onde fixamos o valor do sinal load para zero.

Na Figura 15, temos o diagrama esquemático do circuito utilizado na interface do módulo de posicionamento com o computador.

Portanto através desta interface podemos a qualquer instante saber a posição do perfil, necessitando apenas dar um comando de leitura nas posições respectivas do slot, funcionando assim como memórias do computador.



XIV - MODULO DE CONTROLE DE ATUAÇÃO

Neste módulo serão descritos os dispositivos que serão controlados para a atuação dos pistões de corte, marcação e furação.

Inicialmente, na descrição do sistema atual de funcionamento, constatou-se que os acionamentos são realizados por stopper posicionados sobre a barra de marcação, em posições pré-determinadas, portanto evitando modificações no sistema elétrico, colocaremos chaves reles em paralelo a estas chaves acionadas pelo stopper, sendo acionadas pelo computador. Não será modificado o circuito existente, pois temos diversos controles acionados por estas chaves, por isto não podemos simplesmente controlar as eletro-válvulas dos pistões hidráulicos.

Durante o período de operação dos pistões hidráulicos existe uma lâmpada piloto para cada um destes, indicando qual o pistão que está em operação e seu período de funcionamento. Utilizaremos o sinal destas lâmpadas piloto para sincronizar o funcionamento do sistema de atuação, indicando ao sistema de controle quando o sistema está livre para uma nova operação e qual o pistão esta acionado.

Na figura 16 temos o circuito elétrico de acionamento dos pistões, a seguir indicaremos quais as chaves que deverão ser acionadas e as lâmpadas piloto respectivas.

CHAVE	LÂMPADA	FUNÇÃO
FC2	LS3	Pistão de furação 1
FC7	LS4	Pistão de furação 2
FC1	LS5	Pistão de furação 3
FC17	LS6	Pistão de furação 4
FC26	LS7	Pistão de marcação
FC21	LS8	Pistão de cizalhadeira

1 - Integração do Micro ao Sistema de Atuação

Utilizaremos um slot específico para este fim, simplificando assim a interface com o computador.

As chaves em paralelo ao stopper serão acionadas pelo computador, os quais serão acionados por um latch convenientemente setado.

O tempo de acionamento dos reles é relativamente curto, pois apenas necessita fornecer um pulso, simulando o stopper, que acionará outros reles, dando início assim ao ciclo de operação.

O procedimento de acionamento destes reles será descrito a seguir:

- aciona-se o pistão específico através da setagem conveniente do latch.
- aguarda-se o sinal da lâmpada piloto, indicando que o pistão fora acionado.
- desliga-se o rele, setando novamente o latch para zero.

Para evitar erros, o modulo de controle seguirá uma normalização definida, o qual controlará as operações e evitará ambiguidades.

BIT	FUNÇÃO
D0	aciona o pistão 1
D1	aciona o pistão 2
D2	aciona o pistão 3
D3	aciona o pistão 4
D4	aciona a marcação
D5	aciona o corte
D6	-
D7	-

Os bits 6 e 7 foram deixados para uma futura expansão, manutenção ou testes.

O acionamento será realizado através da setagem do bit específico para a operação.

Não deverá ocorrer multipla setagem dos bits, pois podemos atuar somente um pistão por vez, logo o programa do modulo de controle operacional deverá seguir esta normalização, sendo este controle realizado por software e não via hardware.

2 - Processamento Final

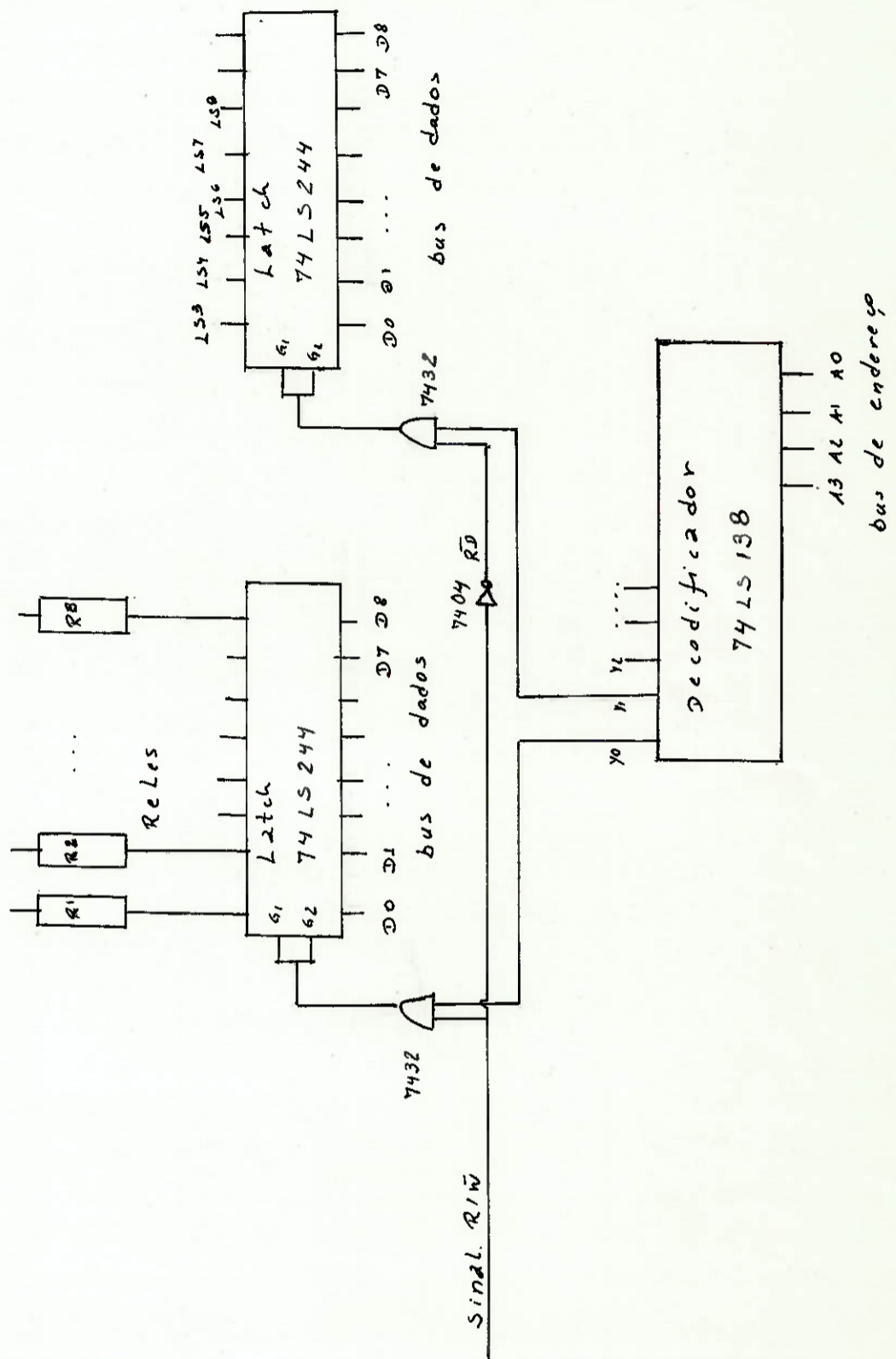
Descreveremos a interface que processará o sinal para o modulo de atuação.

Os reles serão acionados por latches, os quais serão setados pelos bus de dados conforme a operação.

Um decodificador de endereços será utilizado para acionar os latches quando o endereço da interface for fornecido no bus de dados.

Um segundo latch serão utilizado para colocarmos no bus de dados os sinais das lâmpadas piloto que indicarão qual o pistão está em funcionamento.

Na figura 17, temos o diagrama esquemático da interface utilizada para o modulo de atuação.



XV - MÓDULO DE CONTROLE DO MOTOR

O Motor a ser controlado é um motor de corrente contínua com as seguintes características:

- Potência 0,0022 / 2,2 Kw
- Rotação 3,6 / 3600 rpm
- Varm 12 / 320 V Iarm 11 / 12,7 A
- Vecc 48 V Iecc 1 A

O controlador receberá três sinais:

- sinal para aceleração do carro de translação
- sinal para desaceleração do carro de translação
- sinal para parada (acionamento do freio)

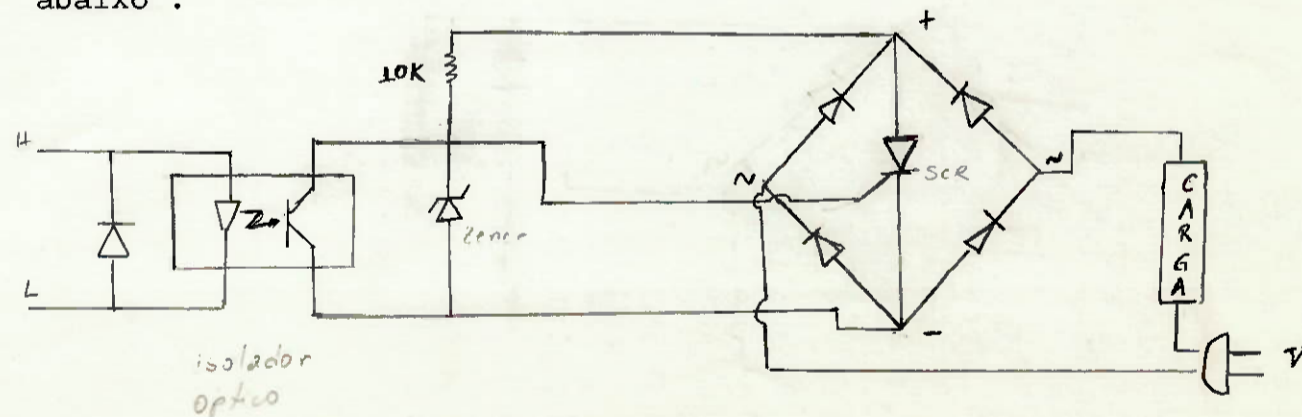
Logo o controlador, mediante as características de carga sobre o motor, deverá manter a velocidade do carro de translação constante durante a movimentação entre pontos, acelerando no início e desacelerando no final.

O controlador deverá ser capaz de realizar pequenas deslocamentos do carro de translação, com isto possibilitando o posicionamento do perfil para distância entre furos pequenos.

Devido a esta característica o controle do motor não poderá ser do tipo liga-desliga (bang-bang) pois precisamos controlar a velocidade do carro de translação para pequenos e grandes deslocamentos.

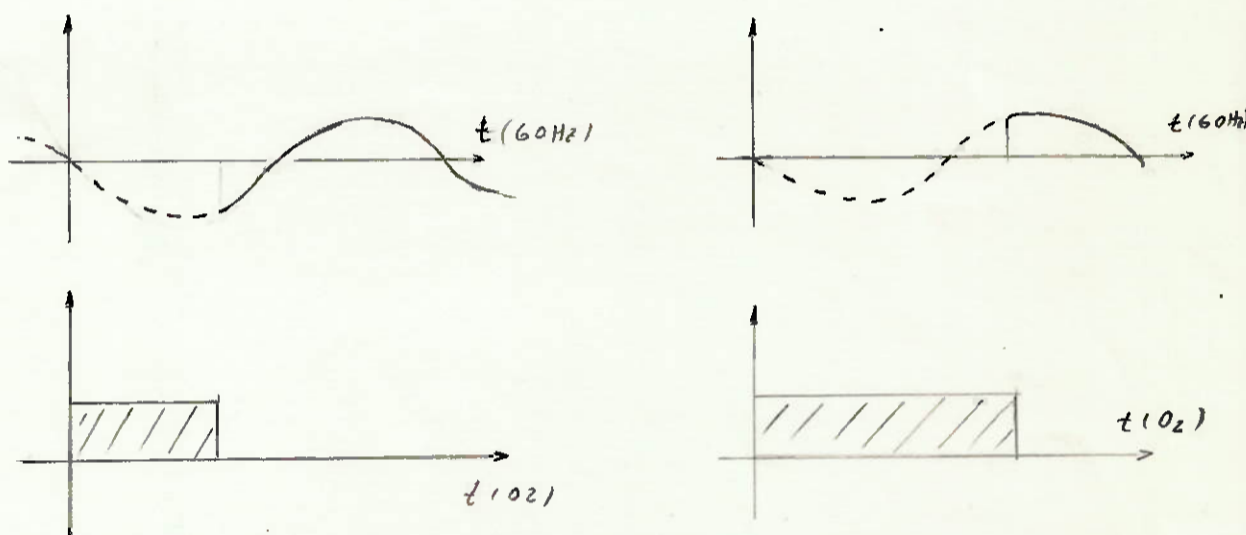
O controle a ser utilizado será o controle do tipo proporcional, o qual controlará o fluxo de energia fornecida para o motor.

Este fluxo de energia é controlado através do circuito abaixo :



Durante o tempo no qual a tensão entre H e L estiver com 5 Volts, o fototransistor conduzirá e efetivamente curto circuitará o diodo Zener, assim que o sinal aparece no gate do SCR. No instante em que o fototransistor parar de conduzir, o zener ligará o SCR. Portanto podemos controlar o fluxo de energia fornecido ao motor controlando-se a tensão entre H e L, esta tensão será controlada por ciclo da fonte de alimentação para isto devemos sincronizar esta variação da tensão com a frequência de 60 Hz fornecida.

Um metodo que pode ser usado para realizar isto é usar uma das seções do MC6840 (PTM) como uma variável, o qual gera um intervalo de tempo que é armazenado no PTM, esta variável é um latch de um contador no qual colocamos um valor inicial, o PTM irá decrescer este valor até 0 gerando um sinal quando atingir o valor 0 (underflow), este sinal gerado irá disparar o SCR.



A figura acima mostra o funcionamento do PTM sincronizado com a fonte de tensão de 60 Hz.

Na descida da onda quadrada de 60 Hz, o PTM inicializa a contagem para zero. Quando ele atinge o valor zero, o sinal de underflow, O2, torna-se baixo (0 Volts), voltando para alto (5 volts) quando o sinal da onda quadrada decrescer novamente.

Quando 02 é alto, o fotodiodo na figura está emitindo luz o qual corta o SCR. O SCR somente será capaz de conduzir novamente quando o sinal 02 é baixo. Portanto variando-se o conteúdo do latch do contador o SCR poderá ser ligado por uma duração de tempo variável durante um ciclo de 60 Hz como mostra a figura acima.

A interface entre o microcomputador e o motor será feita através do SCR. Um isolador ótico proverá a necessária isolação entre a fonte requerida e o controle do microcomputador. O valor do intervalo de tempo do disparo é armazenado no latch do contador, contudo o software deverá decidir quando devemos aumentar ou diminuir este valor através da distância a ser vencida entre pontos e através dos sinais de aceleração e desaceleração do sistema.

Nenhum problema existirá se o 60 Hz é positivo ou negativo o SCR não conduzirá somente quando o 60 Hz é zero.

BIBLIOGRAFIA

LIVROS

- 1 - Automatic Control System
Benjamin C. Kuo
Editora Prentice Hall Inc.
4ª Edição - 1982
- 2 - Numerical Control & Computer Aided Manufacturing
Roger S. Pressman, John E. Willians
Editora John Wiley S. Sons
1977
- 3 - Numerical Control Reatue and Aplication
William J. Patton
Editora Reston Publishing Inc.
1972
- 4 - Data Communications for Microcomputers
Elizabeth A Nichols, Joseph C. Nichols
Editora Mcraw Hill
1982
- 5 - Apple Interfacing
Jonathan A. Titus, David G. Larsen
Editora Howard W. Sams & CO., Inc.
1983 1ª Edição
- 6 - 6502 Software Design
Leo J. Scanlon
Editora Haward W. Sams & CO., INC.
1ª Edição 1981
- 7 - Transducer in Digital Systems IEE Control Engenerring
Editora G A. Woovevet
Peter Peregrinus L,T,D, - 1977

APOSTILAS E TRABALHOS

- 1 - Apostila de Projeto Industrial
Prof. Omar Moore de Madureira
EPUSP - Dep Eng. Mecânica - 1984
- 2 - Trabalho : Sistemas Avançados de Manufatura
SEI / CTI, Instituto de Automação
- 3 - 1º Congresso de Automação Industrial - CONAI
Tema : Automação e desenvolvimento Tutoriais
11a 15 Julho 1983
- 4 - Tese Apresentada a Escola Politécnica da U.S.P. para
obtenção do Título de Doutor em Engenharia
Título: Concepção e Implementação de um laboratório para
Desenvolvimento de técnicas e programação de tarefas de robos
industriais.
Autor Paulo Faria Santos Amaral
Orientador : Professor Dr. Lucas Antonio Moscato
São Paulo - 1985 - Vol. I e II

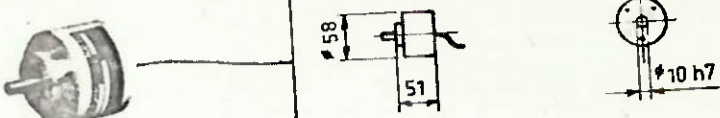


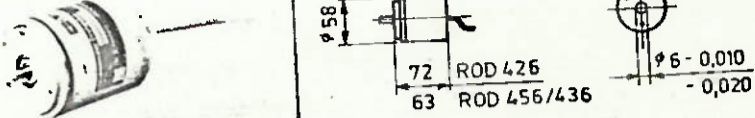



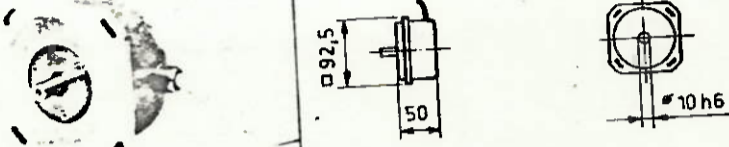



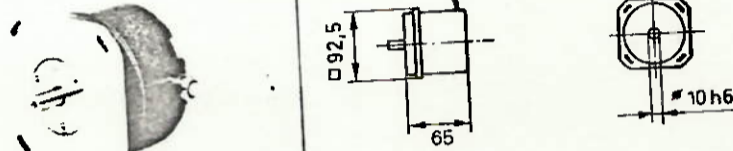

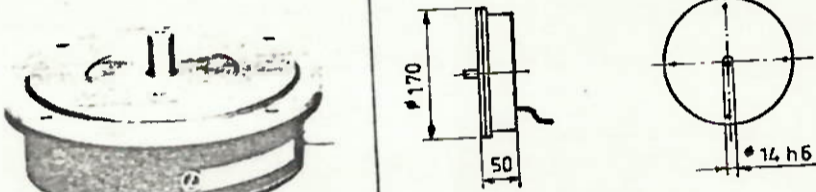


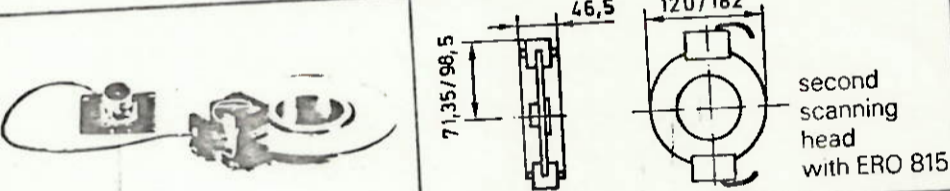


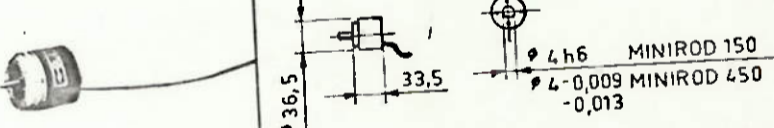


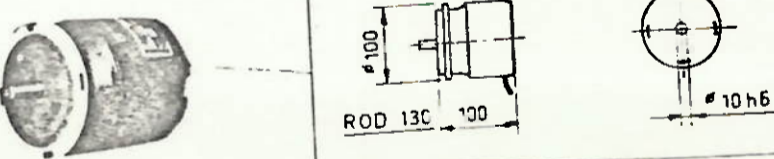

CATALOGO

- 1 - Logical Databook
National Semiconductor Co. Volume 2 - 1984
- 2 - Sistema Peddmit para la fabrication de estruturas metálicas
Peddinghaus
- 3 - Catalogo da FICEP
Divisione Carpintarie Metaliche
- 4 - Catalogo de Decodificadores angular incremental (encoder)
Diadur
- 5 - Structural Shears and Cut to length systems
Fabriline

Apêndice

A seguir temos os dados técnicos do Encoder, decodificador angular incremental, fabricado pela Diadur e encontrado no mercado nacional.

Types Incrementale Angle Encoders ROD/ERO

Type	Overall dimensions mm	Output signals/ operating voltage
ROD 420		TTL  / +5V
ROD 450 NAC		 / +5V
ROD 426		TTL  / +5V
ROD 436		HTL  / +12... +15V
ROD 456		 / +5V
ROD 220		TTL  / +5V
ROD 250		 / +5V
ROD 260		TTL  / +5V
ROD 271		TTL  / +5V
ROD 700		 / +5V
ROD 800		 / +5V
ERO 715		 / +5V
ERO 815		 / +5V
MINIROD 150		 / +5V
MINIROD 450		 / +5V
ROD 130		HTL  +12 V / or +15 V

Line numbers (special line numbers on request) Reference mark: standard feature	max. measuring steps/rev.	Finest angular resolution	Characteristics
50/60/100/120/125/128/150/180/200/ 250/254/256/360/400/420/500/512/ 600/625/635/720/800/900/1000/1024/ 1080/1125/1250/1270/1500/1800/ 2000/2048/2080/2500/2540/3000/3600 ROD 450/ROD 426/436/456 additionally 4096/4500/5000	14400	-	standard encoders Several special versions are available of the widely used ROD 426.
	100000	-	
	20000	-	
	20000	-	
	100000	-	
360/400/500/512/600/720/800/900/ 1000/1024/1156/1250/1500/2000/ 2048/2500/3600/4096/5000/6000/7854/ 8192/9000/10000/10800/12500/18000	72000	0,005°	Heavy-duty angle encoder (also for high resolutions)
	360000	0,001°	
9000/10000/125000/18000	72000	0,005°	Max. frequency 1 MHz
5000/6000/9000/10000/10800/12500/ 18000 corresponding to 25000/30000/45000/50000/54000/ 62500/90000 signal periods	100000	-	suitable for rotary tables 5 x interpolation incorporated
	180000	0,002°	
	200000	-	
	216000	0,1'	
	250000	0,001°	
9000/18000/25920/36000	180000	0,002°	High-precision angle encoder, especially suitable for rotary tables.
	259200	5"	
	360000	0,001°	
	720000	0,0005°	
18000/25920/36000	360000	0,001°	
	720000	0,0005°	
	1296000	1"	
	1800000	0,0002°	
	2592000	0,5"	
3600000	0,0001°		
9000/18000/36000	180000	0,002°	Modular angle measuring assemblies: application if design does not permit use of a conventional ROD.
	360000	0,001°	
	720000	0,0005°	
100/200/250/360/500/600/900/1000/ 2500/3600	72000	0,005°	miniature encoders
	20000	-	
100/200/250/360/720/1000	20000	-	
360/600/900/1000/1200/2500/3600/ 4096/5000/7854/9000/10000/10800/ 12500/18000	72000	0,005°	

Types

Operating principle

Incremental angle encoders are used for measurement of rotary displacements, i.e. determination of **rotary angles and angular speeds**. By using a rack and pinion, nut and spindle or friction wheel as a measuring element, incremental angle encoders can also be used for measurement of linear movement, i.e. for determination of lengths distances and feed rates.

"Incremental measurement" means "measurement by counting". The "measuring step" is referred to as a counting increment (also "resolution" of the encoder).

All incremental angle encoders from HEIDENHAIN operate on the **photo-electric scanning principle**. DIADUR gratings on glass are the measuring standard. These gratings are provided with certain line numbers. When the shaft is rotated, the silicon solar cells generate two **cyclic sinusoidal signals**. The total number of signal cycles per revolution corresponds to the line number of the grating.

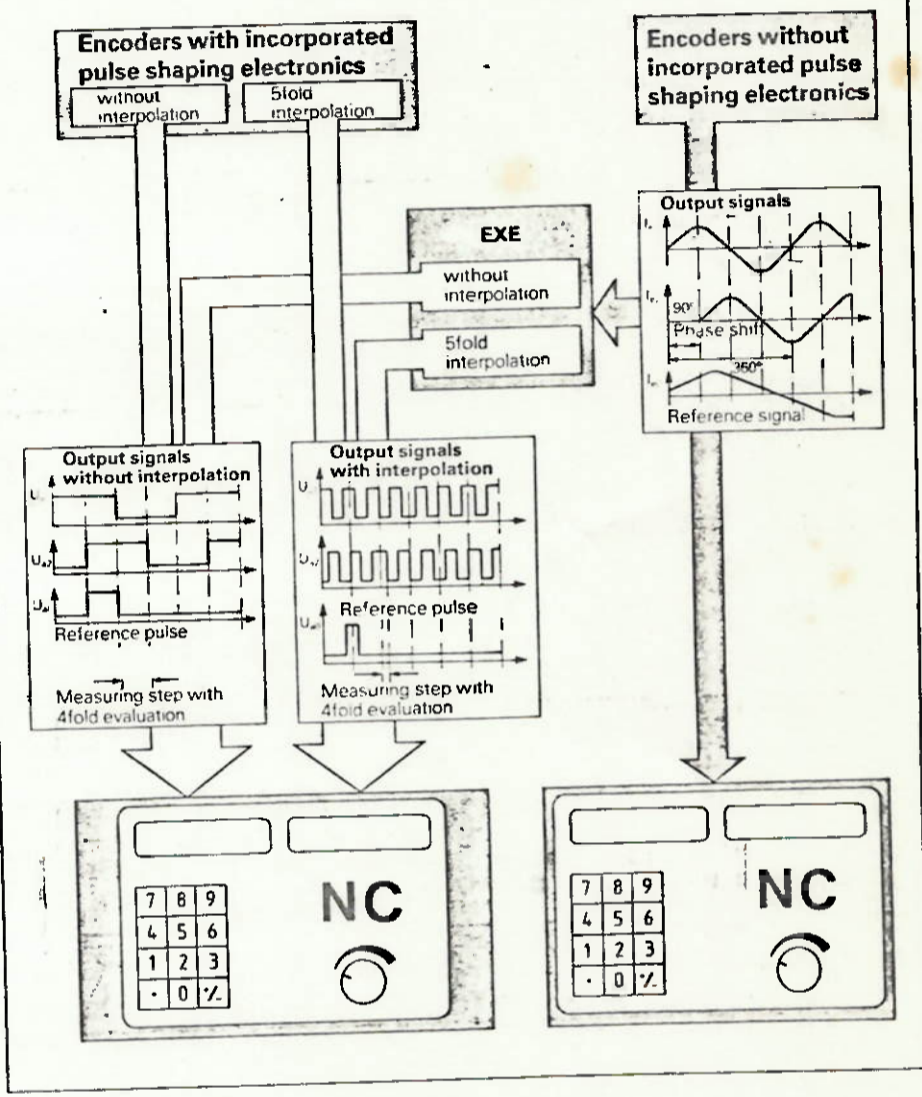
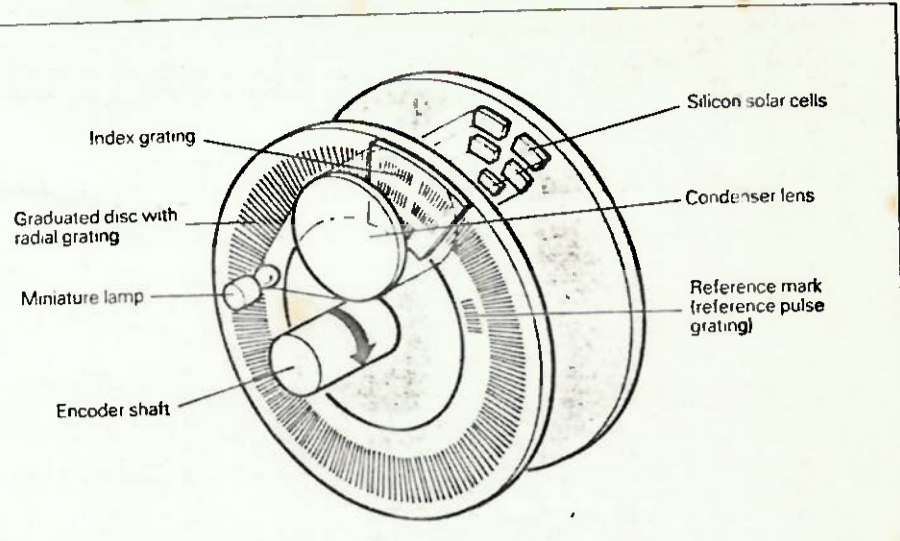
Pulse shaping/Interpolation/Resolution

1. Encoders with incorporated pulse shaping electronics

Angle encoders **ROD 420/426/436, ROD 220/260, ROD 130** contain Schmitt triggers and output stages for shaping both of the analogue solar cell signals into square wave signals U_{a1} , U_{a2} . If all the slopes of these square wave signals are evaluated for counting pulses in the subsequent electronics (four slopes per signal cycle), the number of measuring steps is 4x the line number (4 x evaluation). The measuring step (i.e. resolution) then represents a 1/4 of the grating pitch or $\frac{1}{4} \cdot \frac{360^\circ}{\text{line number}}$.

Example:
ROD 426/250 lines
4 x evaluation provides 1000 measuring/steps/rev.;
measuring step 0.36°.

If both slopes of only one of the square wave signals (U_{a1} or U_{a2}) are evaluated, the number of measuring steps/rev. is double the line number (2 x evaluation); the measuring step is then 1/2 grating pitch or $\frac{1}{2} \cdot \frac{360^\circ}{\text{line number}}$.



Example:
ROD 426/250 lines
2 x evaluation provides 500 measuring steps/rev.;
measuring step 0.72°.

Angle encoders **ROD 271** contain an integral 5 x interpolation stage for "quintupling" of the analogue signals: with 4 x evaluation the line number 18000 results in 360 000 measuring steps - one step being 0.001°.

Angle encoder without incorporated pulse shaping electronics
 encoder types **ROD 250, ROD 700/800** and **ERO 715/815** and **MINIROD 50/450** contain no electronic components with exception of the solar cells. These encoders require an external pulse shaping electronic which is either contained in a separate unit (see "EXE" page 60/61) or forms part of a subsequent numerical control or display unit (see "VRZ" page 62/63). Each external pulse shaping unit normally has an interpolation factor of 25, sometimes 10 or 4.

The measuring step (resolution) depends on:
 the line number of the encoder,
 the interpolation (subdivision factor),
 the evaluation within the subsequent electronics (x4 or x2; also x1).

relationship steps/revolution: line number

	without interpolation	interpolation (in „EXE“)	
		5x	25x
with 4x evaluation	4	20	100
with 2x evaluation	2	10	50

likewise, the following resolutions can be obtained with the encoders ROD 700/800 with 36000 lines:

	without interpolation	interpolation (within „EXE“)	
		5x	25x (ROD 800 only)
with 4x evaluation	(0,0025°)	0,0005°	0,0001°
with 2x evaluation	(0,005°)	0,001°	0,0002°

In addition to the encoder versions with incorporated pulse shaping stage, certain versions of the ROD 200 and ROD 400 series operate in conjunction with external pulse shaping electronics units (for numerical controls or digital read-outs which are equipped with pulse shaping stages; for long cable lengths):

incorporated pulse shaping stage	external pulse shaping stage
ROD 220 ROD 260 ROD 271	ROD 250
ROD 420 ROD 426 ROD 436	ROD 450 ROD 456

Reference pulse

After switch-off of the control or display unit, or in the event of a power failure, incremental encoders normally lose the correlation between angle position and measured value.

In order to reproduce this correlation, all HEIDENHAIN encoders generate a reference pulse U_{a0} . With the reference pulse, a certain angle position and a certain measuring step have been allocated to this "absolute" position.

Signal suppression

In addition to the square wave signals U_{a1} , U_{a2} and reference pulse U_{a0} , the inverted signals \bar{U}_{a1} , \bar{U}_{a2} and \bar{U}_{a0} are also provided at the encoder output for suppression of spurious signals.

Direction discrimination

Depending on the rotating direction one of the two square wave signals is leading. The evaluation electronics can thus determine the direction of rotation.

System accuracy

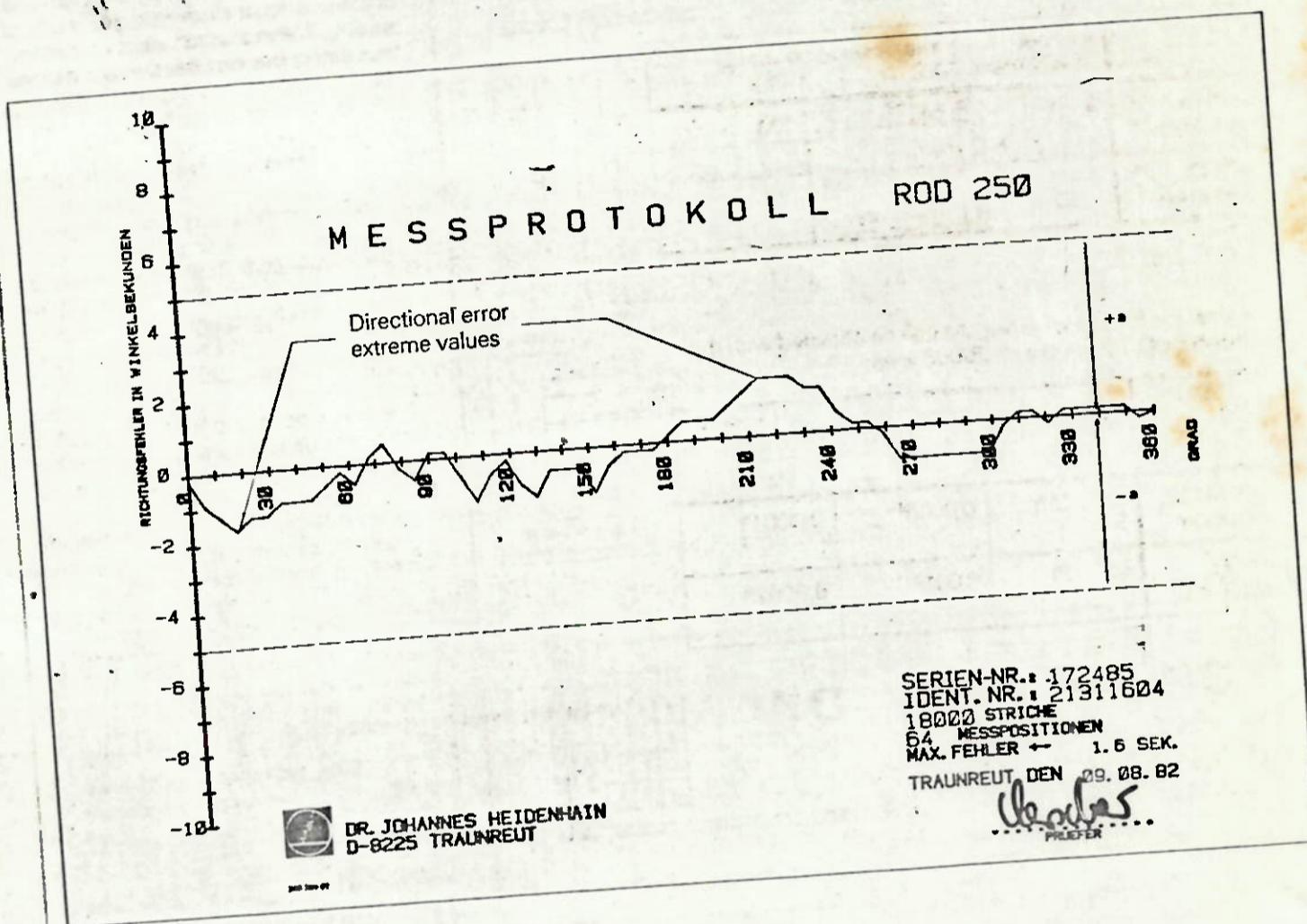
The system accuracy of ROD encoders comprises the graduation errors, subdivisional errors and errors of the coupling which was used during calibration (the torsional error of the coupling has not been considered). With ERO modular angle measuring assemblies, errors of subdivision and eccentricity have not been considered as these depend on the trimming of the electronics and the centring of the disc.

For encoders which have 9000 lines or less, the following is applicable:
 at 20° C ambient temperature and slow slewing speed (scanning frequency 1...2 kHz), the extreme values of the directional errors lie within

$$\pm \frac{1}{20} \text{ grating pitch} = \pm \frac{18^\circ}{\text{line number}}$$

Line number	System accuracy			ERO 715/815
	ROD 220/250 ROD 260/271	ROD 700	ROD 800	
9000	± 7"	± 5"	-	± 2"
10000 10800 12500	± 6"	-	-	-
18000	± 5"	± 2.5"	± 1"	± 2"
25920	-	± 2.5"	± 1"	-
32400	-	± 2.5"	-	-
36000	-	± 2.5"	± 1"	± 2"

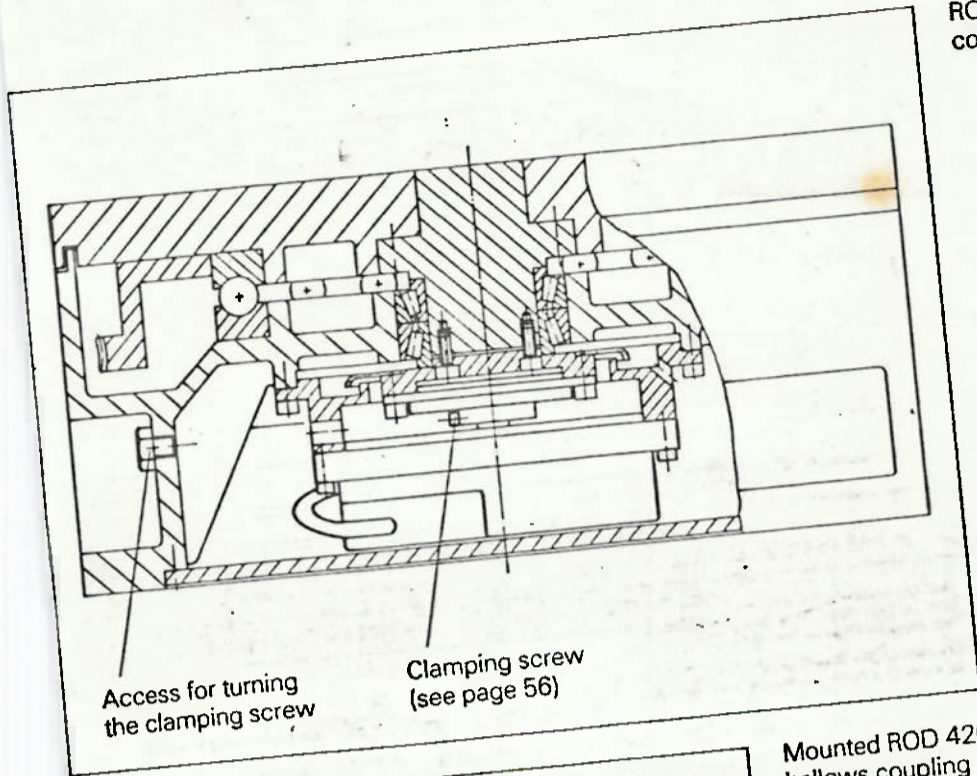
For encoders which have more than 9000 lines, the system accuracy is specified in the above table.



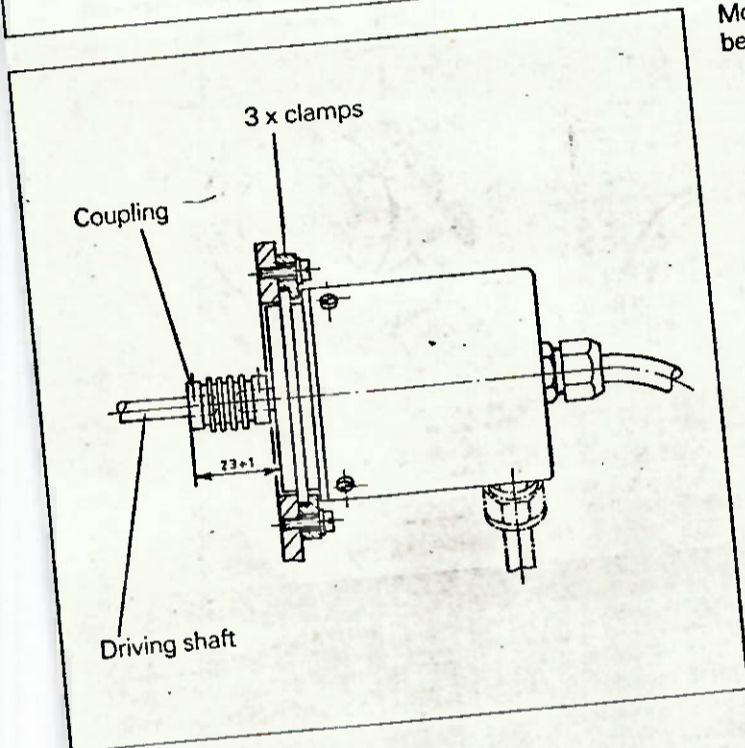
A calibration chart is supplied with all encoders which have 9000 lines or more.

Mounting examples

ROD 700/800 and high-precision flat coupling, mounted to rotary table



Mounted ROD 426/436/456 and metal bellows coupling



ROD 420

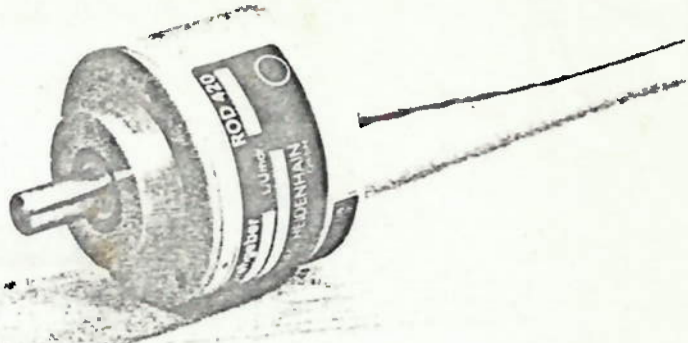
Finest resolution:
14400 steps/revolution
(with 3600 lines) after 4fold evaluation

Operating voltage: + 5 V

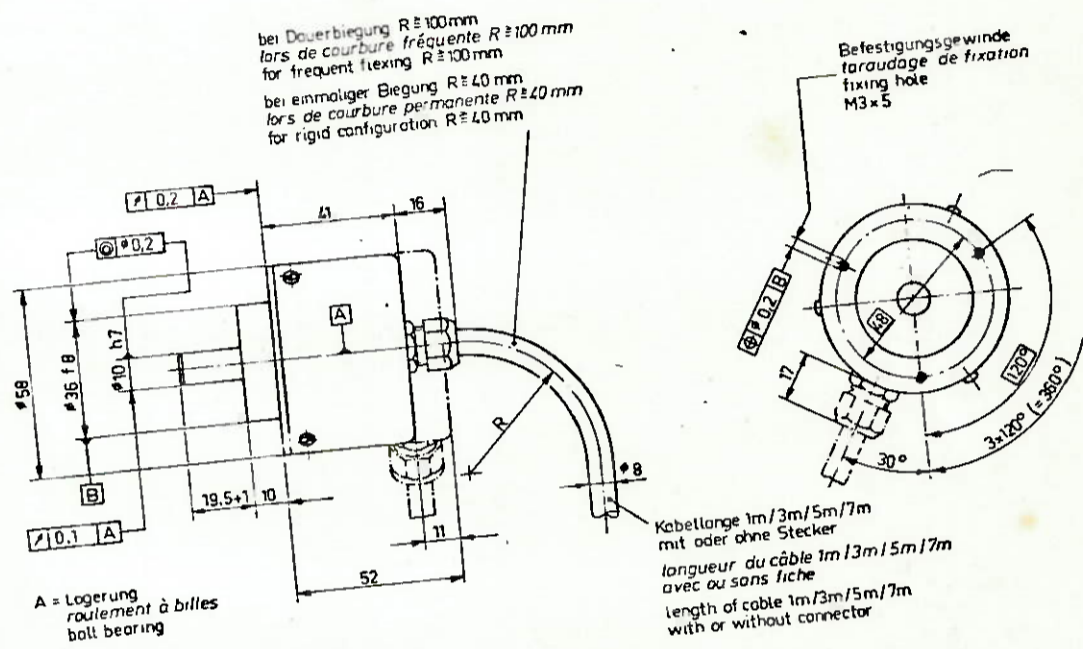
Output signals:
square-wave and reference pulse,
TTL-compatible

Scanning frequency:
0 ... 125 kHz

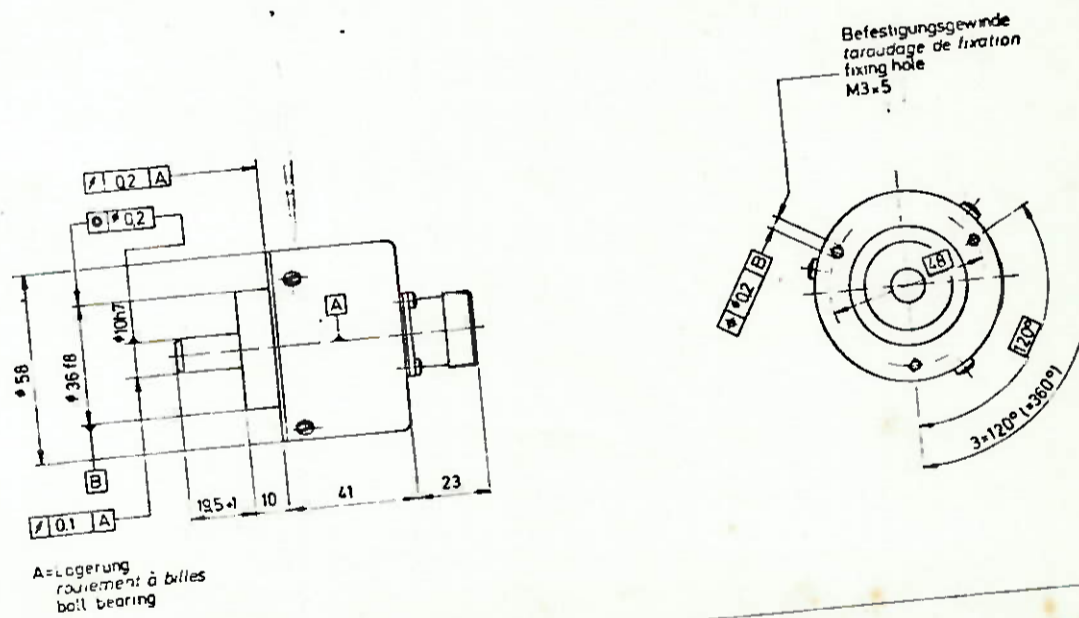
Mechanical design:
heavy-duty, high shaft loading



Dimensions (mm)



ROD 420.004

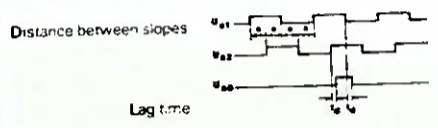


line numbers 50/60/100/120/125/128/150/180 200/250/254/256/360/400/420/500/512/600/625/635/720/800/900/1000/1024/1080/1125/1250/1270/1500/1800/2000/2048 2080/2500/2540/3000/3600 (special line numbers on request)

Mechanical data
 max. permissible slew speed 6000 min⁻¹
 moment of inertia of rotor 23 gcm²
 starting torque at 20° C ≤ 1 Ncm
 permissible shaft loads axial: 40 N
 radial (at shaft stub): 60 N
 weight approx. 0,3 kg
 dust and splashwater protection IP 64 (DIN 40050, IEC 529)
 temperature range operating temperature range: 0° ... 70° C
 storage temperature range: - 30° ... 70° C
 (larger temperature ranges on request)
 vibration ≤ 100 m/s² (10 to 2000 Hz)
 permissible acceleration ≤ 1000 m/s²

Electrical data
 light source miniature lamp 5 V/0,6 W
 operating voltage electronics incl. light source:
 + 5 V ± 5 % / ≤ 205 mA at load (I_{High} = 4 mA)
 pulse shaping electronics incorporated

output signals Incremental signals 2 square-wave trains U_{a1} and U_{a2} and inverted signals \bar{U}_{a1} and \bar{U}_{a2} .
 U_{a2} lagging to U_{a1} with clockwise rotation of shaft (viewed at shaft stub)



Reference pulse 1 square-wave pulse U_{a0} per revolution and inverted signal \bar{U}_{a0} , pulse width 90°
 Signal level U_{High} ≥ 2,4 V at I_{High} ≤ 4 mA
 U_{Low} ≤ 0,45 V at I_{Low} ≤ 4 mA

Switching times t₊ ≤ 0,5 μs
 t₋ ≤ 0,5 μs
 (measured 10% to 90% without cable and without load)
 Lag of pulse U_{a0} to signals U_{a1} and U_{a2}:
 t_d ≤ 1,2 μs

Distance between slopes a ≤ 1 μs with scanning frequency 125 kHz
 Load capacity I_{High} ≤ 6 mA, I_{Low} ≤ 20 mA, C_{Last} ≤ 1000 pF (at cable end)
 all outputs momentary short circuit proof against 0 V, 1 output permanently short circuit proof at ambient temperature ≤ 25° C

Max. permissible slew speed n_{max} n_{max} [min⁻¹] = $\frac{125}{z} \times 10^3 \times 60$ however, not exceeding the max. mechanical slew speed of 6000 min⁻¹
 z: line number

permissible cable length to subsequent electronics max. 50 m (HEIDENHAIN-cable [10 x 0,14 + 2 x 0,5] mm²) with differential line receiver at input of subsequent electronics and correct voltage maintained at encoder (measured at cable end via sensor leads). When employing a HEIDENHAIN display unit with TTL-input, the voltage drop in the supply lead is regulated up to a length of 50 m.

ROD 450

Finest resolution:
100 000 steps/revolution
(with 5000 lines) after 5x
interpolation and 4x evaluation

Operating voltage: + 5 V

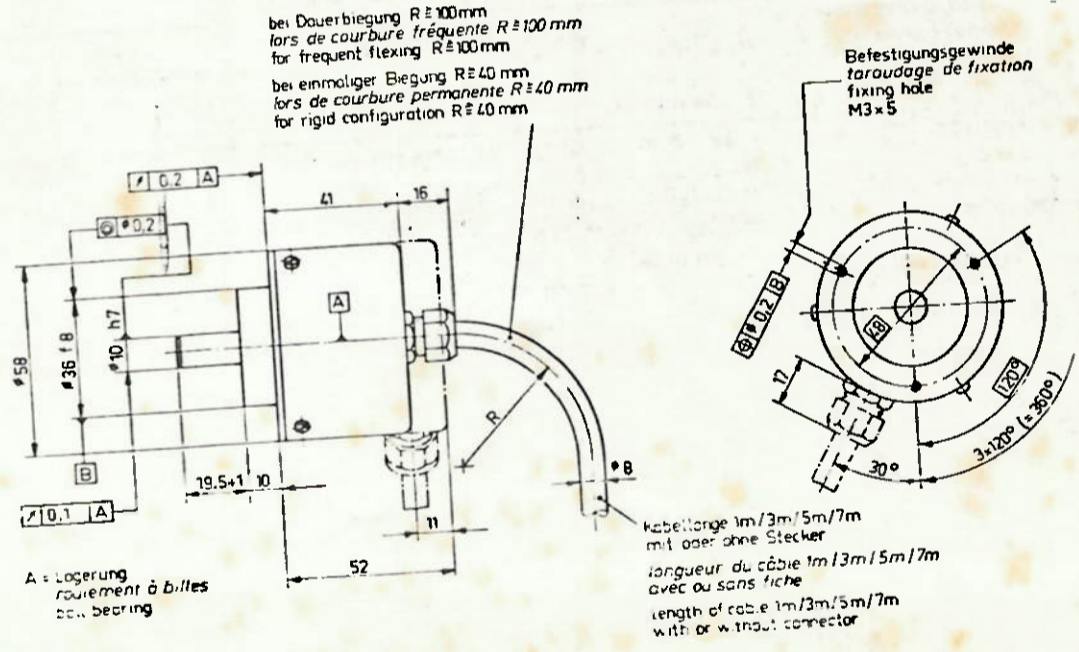
Output signals:
2 sinusoidal incremental signals
and reference signal

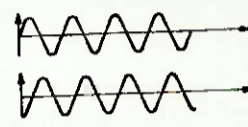
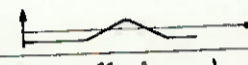
External pulse shaping electronics
(see page 60/61 or EXE- and VRZ-
brochures)

Mechanical design:
heavy duty, high shaft loading



Dimensions (mm)



Line numbers	50/60/100/120/125/128/150/180/200/250/254/256/360/400/420/500/512/600/625/635/720/800/900/1000/1024/1080/1125/1250/1270/1500/1800/2000/2048/2080/2500/2540/3000/3600/4096/4500/5000 (special line numbers on request)	
Mechanical data		
Max. permissible slew speed	6000 min ⁻¹	
Moment of inertia of rotor	23 gcm ²	
Starting torque at 20° C	≤ 1 Ncm	
Permissible shaft loads	axial: 40 N radial (at shaft stub): 60 N	
Weight	approx. 0,3 kg	
Dust and splashwater protection	IP 64 (DIN 40050, IEC 529)	
Operating temperature ranges	operating temperature range: - 20° ... 85° C storage temperature range: - 30° ... 85° C (larger temperature ranges on request)	
Vibration	≤ 100 m/s ² (10 to 2000 Hz)	
Permissible acceleration	≤ 1000 m/s ²	
Electrical data		
Light source	miniature lamp 5 V/0,6 W	
Operating voltage	light source: + 5 V ± 5% / 120 mA	
Pulse shaping electronics	a) within display unit, see VRZ-brochure b) external, see EXE-brochure	
Output signals		
Incremental signals	 <p>I_{e1} I_{e2}</p>	2 sinusoidal signal trains I_{e1} und I_{e2}
Reference signal	 <p>I_{e0}</p>	1 signal peak I_{e0} per revolution
Signal value	I_{e1} approx. 11 μA_{ss} I_{e2} approx. 11 μA_{ss} I_{e0} approx. 5,5 μA^* * usable part	at 1 k Ω load
Max. permissible slew speed n_{max}	$n_{max} [min^{-1}] = \frac{f_{max} [kHz]}{z} \times 10^3 \times 60$ z: line number f_{max} : max. input frequency of external pulse shaping electronics	
Permissible cable length to subsequent electronics	20 m (HEIDENHAIN cable [3 (2 x 0,14) + 2 x 0,5] mm ²)	

ROD 450