TESE
408

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

UM MÉTODO PARA O ENSINO DE CIRCUITO HIDRÁULICO E PNEUMÁTICO

JOÃO ZANGRANDI FILHO

Orientador: IGNÁCIO SÉRGIO MIRANDA FERREIRA

Co-orientador: ULDERICO MANDOLESI

Trabalho de Dissertação apresentado à Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Engenharia Mecânica"

Itajubá, setembro de 1983

RESUMO

O objetivo deste trabalho é dar ao estudante os elementos básicos para o início do estudo de circuitos hidráulicos e pneumáticos, assim como, gradativamente, aprofundar-se para resolver circuitos mais elaborados.

Usando circuitos hidráulicos e pneumáticos básicos, através de uma determinada seqüência, procurar discutir aqueles circuitos que serão a base dos circuitos mais complexos.

Através da Álgebra de Boole, inicialmente relacionamos os elementos pneumáticos com as equações lógicas para depois podermos resolver os circuitos combinacionais e as seqüenciais.

E, fazendo-se analogia com a eletrônica, são estudados os circuitos contadores.

ABSTRACT

The purpose of this work is to give to the student the basic elements to start studying the hydraulic and pneumatic circuits, just as to go deeper, in order to solve more complex circuits.

Using basic hydraulics and pneumatics circuits and being guided by a determined sequence it'is attempted to discus those circuits which will be the basis of more complex circuits.

Through the Boolean ālgebra study the pneumatic elements are related to the logic equations in order to, soon after, be able to solve combinational and sequential circuits.

Finaly, an analogy with electronics is made to study the counters.

Aos meus pais João e Rosa a cujos sacrifícios devo minha formação.

À minha esposa Cristina pelo incentivo dado.

Aos meus filhos Fernando e Lívia.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 - Introdução

A moderna tecnologia continuamente necessita de uma produção mais eficiente, rápida e crescente, de qualidade do produto melhorada, de perdas reduzidas, de custos de produção mais baratos e maneiras de obter mais potência de volumes menores.

Alguns engenheiros acreditam que a tecnologia da energia hidropneumática encontrou as necessidades da indústria com muito sucesso no passado e pode prever ainda um quase sem número de novas oportunidades no futuro.

Outros discordam. Eles não apenas desafiam estes requisitos, mas questionam a habilidade da tecnologia da energia hidropneumática para encontrar e desenvolver os controles de sistemas mais sofisticados e em crescente necessidade que novos projetos requerem.

Pode a energia hidropneumática desenvolver-se? Pode, como realmente ? Ela tem a capacidade e resistência inerentes para mostrar que é uma tecnologia altamente versátil, confiável e demonstrar convincentemente que é a escolha certa do projeto ?

Vamos examinar.

Tente dar nome a um produto que não tem sido, em algum lugar, ao longo da linha de fabricação, manuseado conformado, estampado, empurrado, repuxado ou transportado pela energia hidropneumática; se a questão é mover caixas em um armazem, construir estradas, colher grãos, construir automóveis ou explorar o espaço - pode estar certo que a energia hidropneumática tem participação.

Embora a energia hidropneumática ofereça vantagens incomparáveis a qualquer outra forma de transmissão de energia, tem também seus pontos contrários.

Enquanto o uso da energia hidropneumática está sendo desafiado em algumas aplicações, em outras, especialmente onde a mobilidade é um fator essencial, a energia hidropneumática tem virtualmente nenhuma competição como meio para controlar e transmitir energia. Contudo, mesmo nesta área segura da tecnologia, as companhias não estão estagnadas. Avanços consideráveis têm sido feito, especialmente em controles, e muitos outros novos são desenvolvidos.

Sentimos que a energia hidropneumática se estabeleceu como uma tecnologia viável para transmitir energia economica e eficientemente. Embora eles ainda tenham problemas, os controles pneumáticos e hidráulicos e seus acionamentos podem ser achados virtualmente desde a indústria aeroespacial até as minas de zinco.

Em lugar de usar embaraçosos e geralmente ruidosas engrenagens, polias, correias e corrente, a energia hidropneumática usa fluído pressurizado para multiplicar entradas de pequenas forças para saídas de valores milhares de vezes maiores.

Com botões e alavancas simples de operar, o operador de uma máquina controlada pneumática ou hidraulicamente pode prontamente iniciar, parar, acelerar e desacelerar grandes forças, geralmente dentro de tolerâncias de alguns milésimos de milímetros.

Somente máquinas acionadas e controladas pela energia hidropneumática podem fornecer força e torque constantes; isto ainda vale se a carga deve ser movida alguns milímetros ou a milhares de rpm.

Um sistema hidráulico em pneumática normalmente tem muito menos peças móveis que um sistema equivalente elétrico ou mecânico. Por esta razão, um sistema com energia hidropneumática é mais simples, mais econômico para se fabricar e operar e mais confiável. E, sem dúvida, um sistema hidropneumático oferece as melhores relações peso/potência.

Acionamentos e controles hidropneumáticos oferecem muitas vantagens importantes: menos vibração, solidez, operação silenciosa, reversibilidade instantânea e imunidade a sobrecarga. Uma das vantagens decisivas da energia hidropneumática é a liberdade dada ao projetista para instalar os componentes de um sistema onde eles são necessitados conveniente e eficientemente. Tubulações, ao contrário dos sistemas mecânicos, facilmente contornam os obstáculos para unir a energia hidropneumática aos atuadores.

Pneumática é usada em quase ilimitada variedades de aplicações para controle lógico, controle de potência e na produção industrial.

O ar comprimido é usado em grande variedade de ferramenta de produção,tais como: lixadeiras, rebitadeiras, chaves de impacto, martelos, furadeiras,guinchos, etc. ,e sua aplicação é virtualmente ilimitada.

Agricultura e Construção

A produção de alimentos, uma das grandes e importantes indústrias, tem demonstrado sem erro e com espanto que hoje menos fazendas estão produzindo mais alimentos para mais pessoas. A energia hidropneumática, usada extensivamente nas máquinas agrícolas,é uma das razões. E as transmissões hidrostáticas aumentam a habilidade das máquinas que plantam e colhem.

Por outro lado, quando construtores devem mover toneladas de pedras para construir prédios, estradas, pontes ou represas, eles usam máquinas acionadas e controladas hidráulicamente. A hidráulica está na direção e controle de scrapens, guindastes, carregadeiras, escavadeiras e máquinas de lagarta, para enumerar alguns deles. Em outros equipamentos a hidráulica posiciona e mantém o ângulo das lâminas em tratores de esteiras patrols, etc.

É a hidráulica que estabiliza as sapatas e manipula os movimentos compostos de uma retro - escavadeira ou uma perfuratriz de poços.

E, atualmente, o controle remoto permite operar uma máquina a distância, sendo este desenvolvimento de especial importância aos fabricantes e operadores de máquinas de mineração subterrânea.

Transporte e Movimentação de Materiais.

O transporte é um fator importante em uma economia, e a energia hidropneumática ajuda no transporte de equipamentos.

É usada em todos os meios de transporte moderno: aviões, navios, trens, ônibus e caminhões pesados.

A hidráulica provê a potência para suspender e abaixar trens de pouso e para atuar nas superfícies de controle nos aviões militares e comerciais.

A energia hidropneumática dá partida em motores nos navios, dirige o navio, abaixa e levanta , e opera cabrestantes e molinetes.

Dificilmente um equipamento de manuseio de materiais atualmente não utiliza a energia hidropneumática. O controle e a atuação hidráulica constituem um binômio em quase todas as máquinas de elevação hidráulica; levanta, abaixa e inclina os mastros e torres. E, em muitos modelos, a transmissão hidrostática faz o deslocamento.

Aço e Máquinas de Usinagens

A produção de aço, raiz da economia, requer enormes forças combinadas com controles precisos para cada passo, des de derreter, fundir, tratar e obter chapas, barras ou outras formas. Somente a energia hidropneumática pode fazer o trabalho de manusear lingotes, derramar aço derretido dos cadinhos gigantes dentro dos moldes, tirar os moldes dos lingotes e abrir e fechar as portas das fornalhas.

A indústria de máquinas-ferramentas tornou-se um dos maiores usuários da energia hidropneumática, porque nenhum outro meio de transmissão e controle de energia possui tanta força e controle e confiabilidade para prensas, alimentação de tornos automáticos, avanço em furadeiras, movimentação de mesas de retíficas, segurar peças e acionar placas e mandris.

A energia hidropneumática acha extensivo uso em aproximadamente todas as máquinas de corte e conformação de me tais, assim como nas linhas transfer, em grandes produções, nas instalações altamente automatizadas.

É incontável o número de indústrias e tecnologias que usam a energia hidropneumática não como conveniência, mas como necessidade.

1.2 - Objetivo

O presente trabalho visa a dar ao estudante uma forma de conhecer as aplicações inúmeras da hidropneumática, assim como os seus circuitos básicos, os quais aqui são mostrados numa seqüência progressiva de introdução dos elementos.

Tendo em vista que não dispomos de livros que nos apresentem o assunto de forma bastante didática, procuramos, aqui, fazer com que esta forma de apresentação desses circuitos chame a atenção de pontos importantes ao descrevermos seu funcionamentos.

Devemos, no entanto, para podermos compreender estes circuitos, ter , primeiramente, conhecimento do funcionamento dos elementos dos circuitos, fato que não mostraremos neste trabalho. Entretanto, tais elementos são explicados em livros, revistas e catálogos técnicos de fabricantes, os quais mostram cortes, vistas e explicações suficientes para entendê-los.

É, porém , muito importante sabermos como funciona cada elemento para podermos entendê-lo no circuito e o circuito propriamente dito. Isto não apenas ajuda também a elaborarmos circuitos, assim como a estendermos circuitos prontos e ainda a descobrirmos os efeitos num circuito com problemas.

Devemos lembrar que sempre o objetivo do estudo de um circuito é, além do exposto, fazê-lo, num futuro próximo, funcionar na prática; mas para isto é necessário outro treinamento.

Nos circuitos pneumáticos apresentados, o objetivo também é iniciar com o circuito mais simples possível, e depois, gradativamente, resolvermos circuitos que necessitam de métodos para torná-los viáveis prática e economicamente. Desta forma, além dos métodos de tentativa, apresentamos o método Cascata e Passo a Passo.

Ainda na parte referente à pneumática, é necessário apresentar os circuitos eletropneumáticos devido a sua crescente introdução em todos os ramos da automatização. Vale lembrar ainda neste assunto que os circuitos práticos encontrados que muitas vezes parecem complexos são apenas a junção destes circuitos mais simples e, portanto, não queremos que eles, aqui, sejam assim.

Quando apresentamos os circuitos combinacionais, queremos mostrar, através da aplicação da álgebra de Boole e mapas de Karnaugh, como obter circuitos através das equações lógicas.

Tal enfoque não é novidade, se considerarmos a solução usando-se apenas válvulas que permitem escoamento em qualquer sentido, isto é, aquelas onde o fluxo pode caminhar contrário às setas nos símbolos sem problemas. Referimo-nos, então, à válvula de carretel.

Por outro lado as soluções dos problemas que apresentamos utilizam as válvulas de prato, sendo este o ponto importante.

Os circuitos combinacionais têm o objetivo de resolver os circuitos através da analogia com circuitos eletrônicos, através da escolha de válvulas equivalentes. Estes circuitos necessitam, portanto, também, da álgebra de Boole, mapas de Karnaugh e o método de Huffman para podermos solucioná-los.

Em dispositivo de memória, a analogia com circuitos eletrônicos é também necessária, mas o objetivo não é o uso de contadores para números grandes, devido, a princípio, não ser viáveis economicamente em comparação com a eletrônica, mas poder, em alguns setores, ser necessário.

A seqüência utilizada neste trabalho é devido ter o próprio desenvolvimento prático assim evoluído, pois é, através do fluido incompressível, que inicialmente melhor assimilamos o funcionamento dos circuitos, para depois passarmos para o compressível. E, foi também nesta seqüência que surgiu a necessidade da introdução dos circuitos elétricos, assim como, posteriormente, da eletrônica. No entanto, a utilização praticamente não precisa seguir esta seqüência, tendo em vista a quase independência dos assuntos, desde que tenhamos aqueles conhecimentos iniciais dos elementos e álgebra de Boole.

CAPÍTULO 2 - CIRCUITOS HIDRÁULICOS

2.1 - Generalidades

Apresentaremos uma seqüência de circuitos hidráulicos que gradativamente se tornarão mais complexos, não devido à dificuldade de entendê-los, mas sim pelo aumento dos elementos componentes. Estes elementos serão, em cada circuito, composto de no mínimo

- bombas
- atuador
- fluido

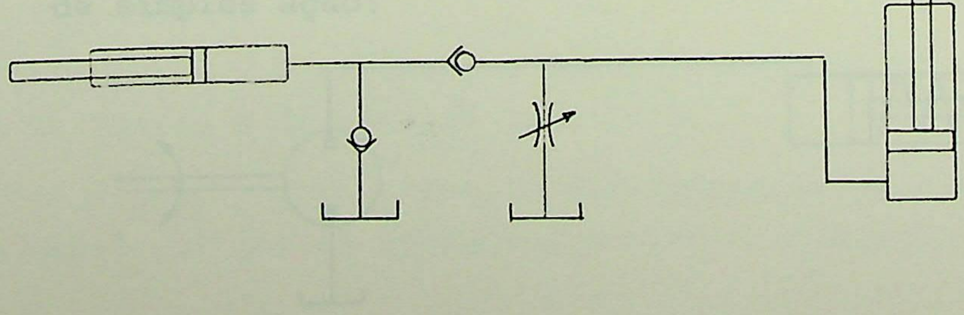
Podemos, em seguida, acrescentar válvulas, as quais poderão ser controladoras da pressão, direção ou fluxo e que ainda poderão ser acionadas por pressões pilotos, mecanicamente através de solenóides, manualmente, etc. Ainda, os circuitos poderão ser compostos com filtros, acumuladoras, trocadores de calor, reservatório e dutos com seus complementos.

Quando necessitamos, pois, de realizar uma determinada tarefa com a hidráulica, teremos necessidade de circuitos com símbolos de um circuito hidráulico, ou hidráulico mais elétrico, ou hidráulico mais pneumático ou então todos juntos.

2.2 - Circuitos programados

São circuitos apresentados onde o funcionamento detalhado não é levado em conta, mas são comentados os pontos mais importantes.

1) Circuito de um macaco hidráulico usado em oficinas mecânicas:

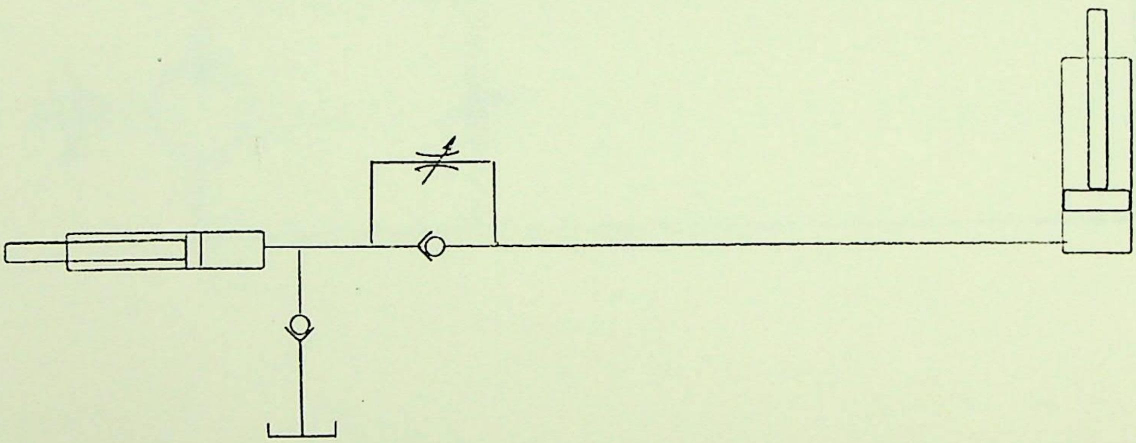


Neste tipo de circuito normalmente temos um cilindro concêntrico, onde o interno é atuador e o volume entre este e o externo é o reservatório.

Praticamente não temos dutos, pois curtíssimos furos entre a bomba e o reservatório não poderiam ser chamados de dutos. A bomba, por outro lado, é composta de um outro cilindro de diâmetro bem menor, o qual tem o pistão acionado por um sistema de alavancas e duas válvulas de retenção em linha, atuando como válvulas de entrada e saída. Temos ainda uma válvula controladora de fluxo.

Praticamente, é um conjunto super-compacto e simples.

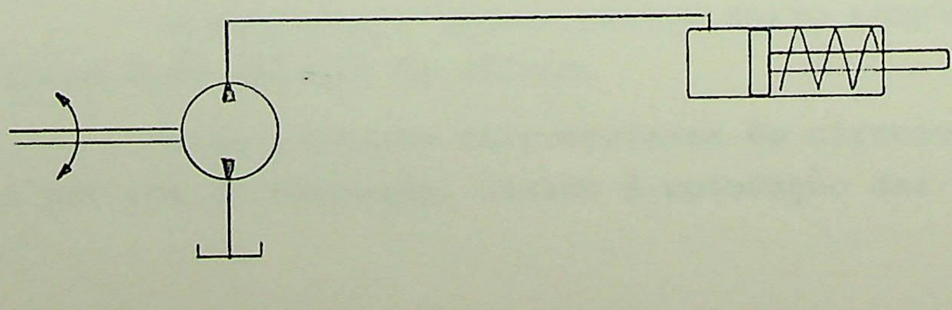
2) Circuito de um macaco hidráulico em unidades separadas:



É composto basicamente dos mesmos elementos do circuito 1, acrescentando-se um duto flexível. Fisicamente, podemos destacar o conjunto bomba-válvulas, o duto e o atuador.

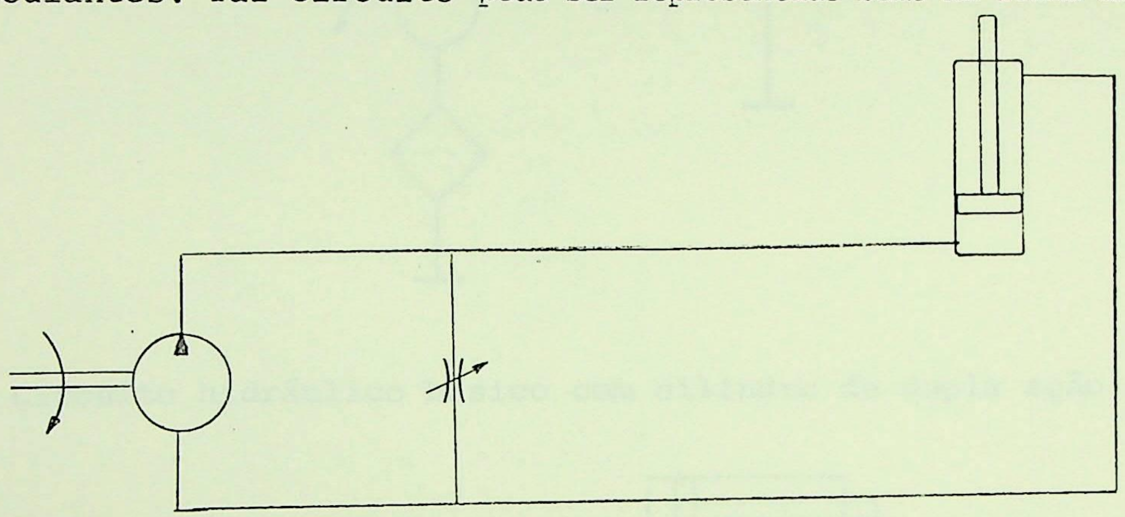
O atuador, além do cilindro propriamente dito, tem muitas outras funções tais como sacador de rolamentos e polias, como mão hidráulica, etc.

3) Circuito hidráulico elementar com bomba rotativa e cilindro de simples ação:



É o circuito mais simples que podemos montar, mas devemos ter o grande cuidado de acionar a bomba, pois deveremos girar apenas um determinado número de voltas para avançar ou retornar.

Utilizando um cilindro de simples ação com retorno pela carga e com tubo de parada e com alguns furos convenientes no final do curso, podemos obter um circuito muito simples, semelhante ao mostrado acima e usado intensamente nos caminhões basculantes. Tal circuito pode ser representado como na forma abaixo.



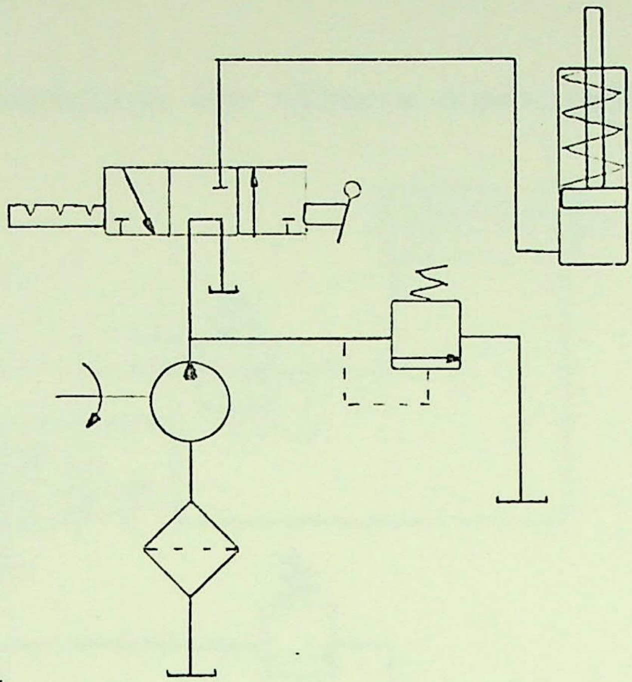
Neste tipo de montagem, quando o cilindro chega no final de curso, o fluido recircula não havendo perigo de pressão infinita.

As bombas usadas neste circuito são praticamente de engrenagens com o acionamento podendo ser em qualquer uma das engrenagens, pois o sentido de acionamento do motor nem sempre é o mesmo e o sentido da bomba precisa ser apenas um.

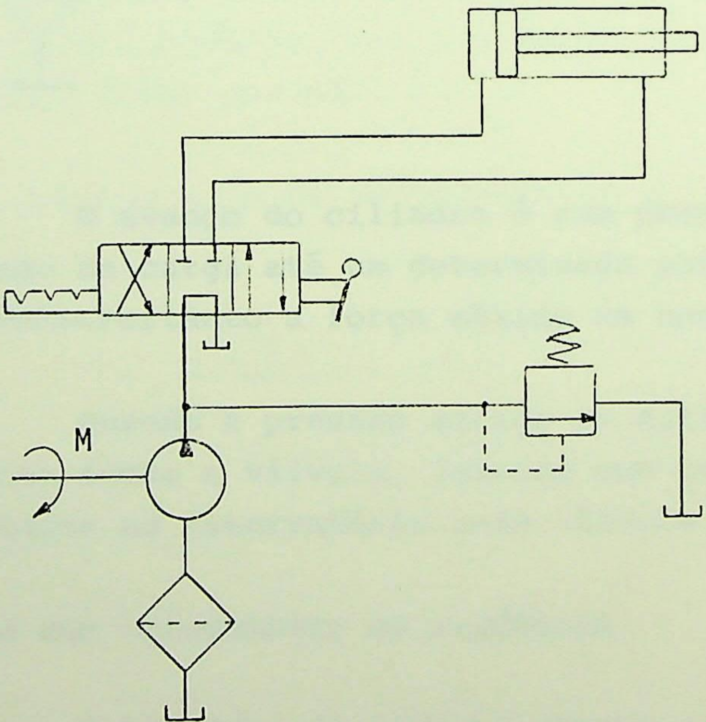
4) Circuito hidráulico básico com cilindro de simples ação

O circuito a seguir, embora muito simples, é dotado de filtro e de válvula de alívio.

Este circuito diferencia-se do circuito 3 principalmente por ser de operação, devido à colocação das 2 válvulas.

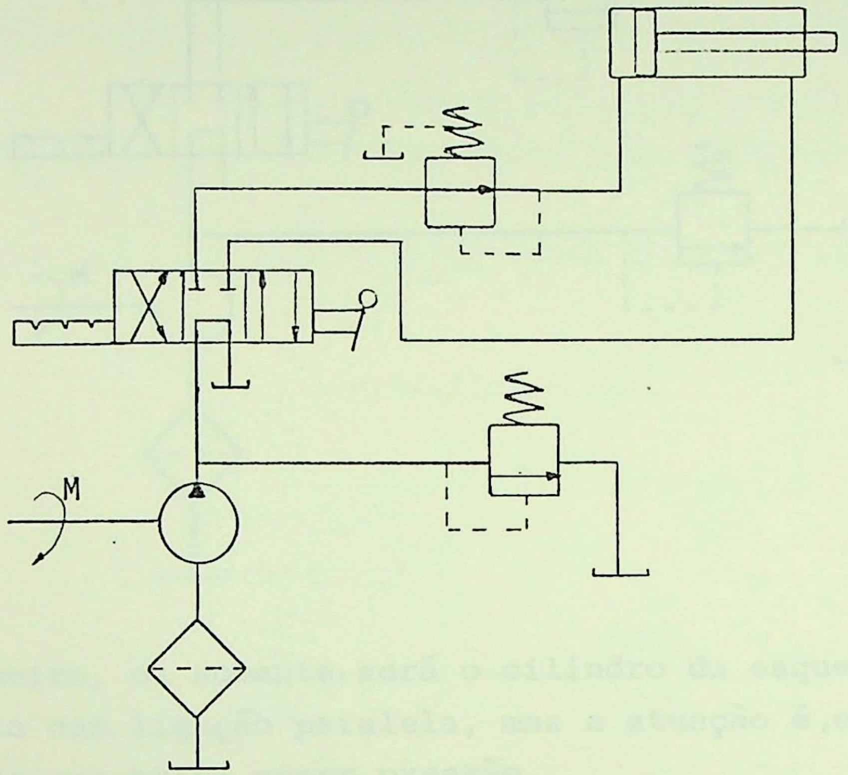


5) Circuito hidráulico básico com cilindro de dupla ação:



O menor dos elementos normais que o compõe , um ponto importante no cilindro de dupla ação é a diferença entre a velocidade de avanço e retorno. Devemos, ainda, analisar a velocidade do fluido que retorna ao reservatório, no avanço e no retorno, e compará-las, principalmente se os dutos de ligação são iguais e as relações de áreas entre coroa e pistão são grandes.

6) Circuito hidráulico com válvula controladora de pressão:



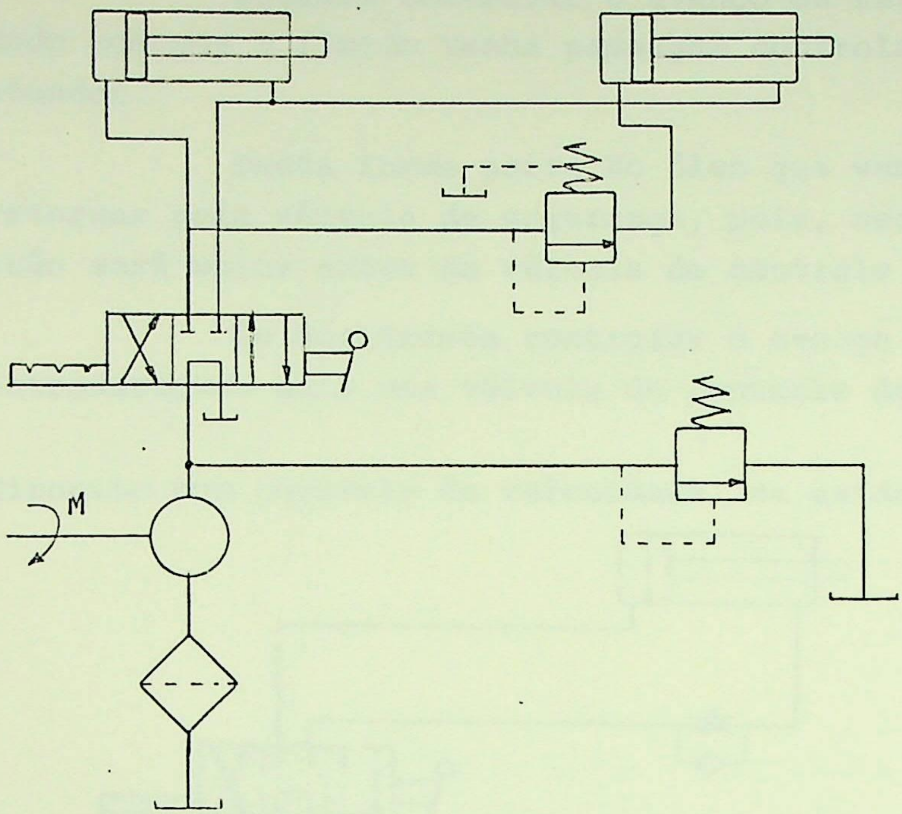
O avanço do cilindro é com pressão limitada, isto é, ela depende da carga até um determinado ponto previamente calibrado no máximo. Portanto a força máxima na haste também é limitada.

Quando a pressão atinge um determinado valor, a pressão piloto fecha a válvula, fazendo com que o óleo que sai da bomba retorne ao reservatório pela válvula de segurança.

7) Circuito com acionamento em seqüência

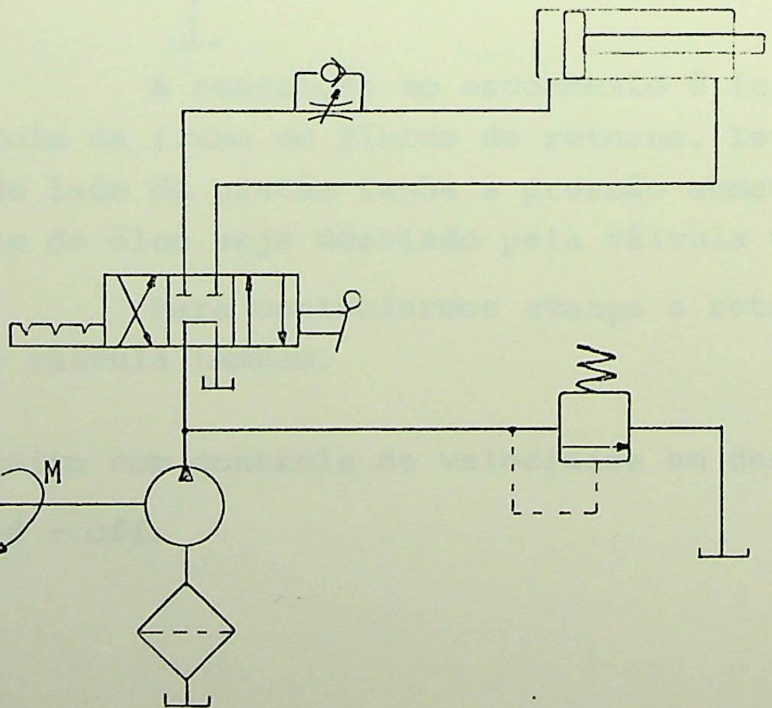
O cilindro de direita avança primeiramente e, quando chega no final de curso, a pressão cresce pilotando a válvula de seqüência, fazendo, então, avançar o cilindro da esquerda.

Devemos tomar cuidado para que a carga não seja tal que uma pressão maior que aquela necessária para pilotar a válvula de seqüência não atue, pois, nesse caso, quem avançará



primeiro, ou somente, será o cilindro da esquerda. O retorno é feito com ligação paralela, mas a atuação é, em primeiro lugar, da quele que exige menor pressão.

8) Circuito com controle de velocidade na entrada - meter - in:

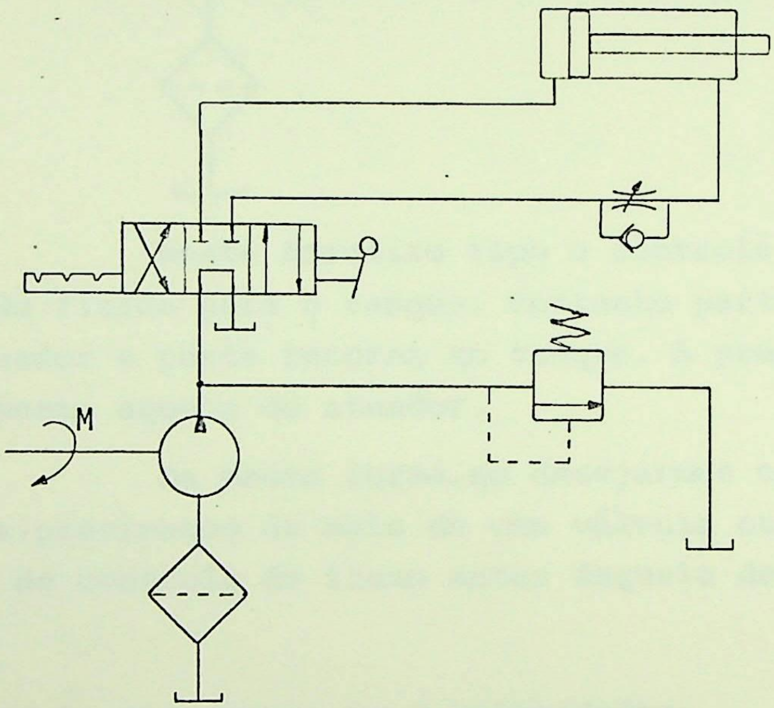


Podemos controlar o avanço ou retorno do cilindro fazendo com que o fluido tenha passagem controlada ao entrar neste atuador.

Desta forma parte do óleo que vem da bomba deverá retornar pela válvula de segurança, pois, necessariamente, a pressão será maior antes da válvula de controle de fluxo.

Se desejarmos controlar o avanço e o retorno, basta introduzirmos mais uma válvula de controle de fluxo.

9) Circuito com controle de velocidade na saída - METER - out:

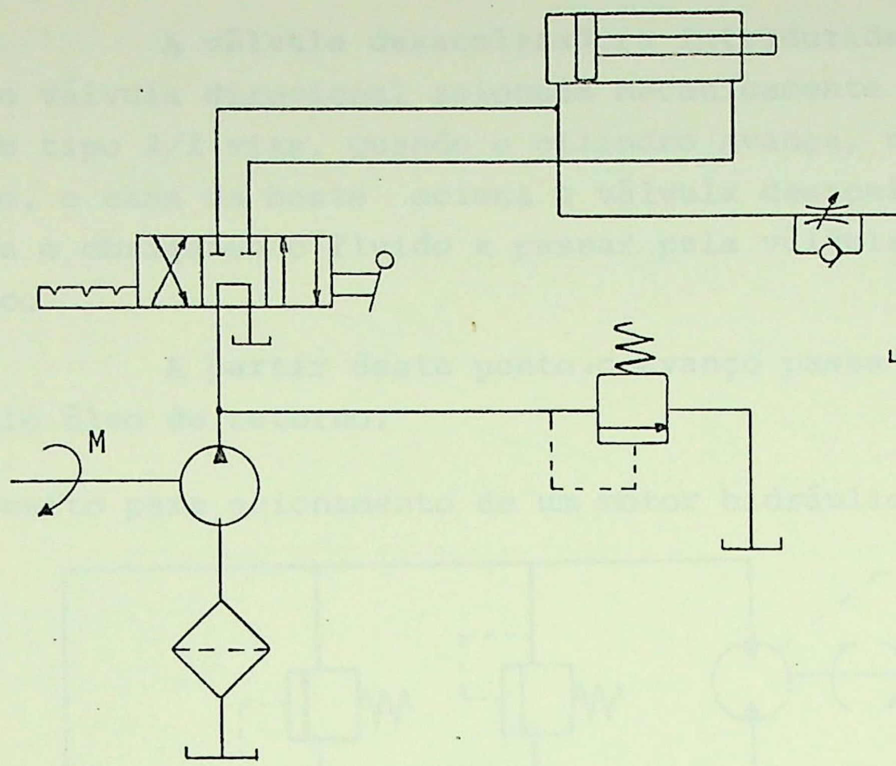


A restrição ao escoamento é feito por uma válvula de controle de fluxo no fluido de retorno. Isto faz com que o fluido do lado do pistão tenha a pressão aumentada, fazendo com que parte do óleo seja desviado pela válvula de segurança.

Para controlarmos avanço e retorno, precisamos de mais uma válvula também.

10) Circuito com controle de velocidade em desvio -

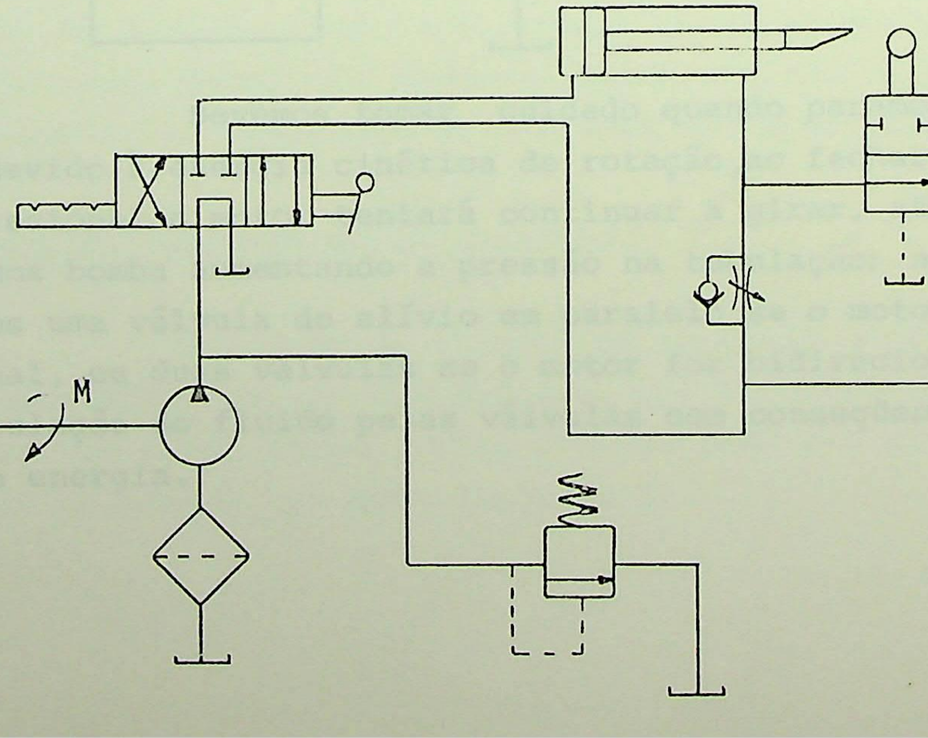
Bleed - off:



Neste terceiro tipo o controle é feito através do desvio do fluido para o tanque. Portanto parte do fluido vai para o atuador e parte retorna ao tanque. A pressão da bomba é praticamente aquela do atuador.

Da mesma forma, se desejarmos o controle nos dois sentidos, precisamos de mais de uma válvula ou, então, colocamos a válvula de controle de fluxo antes daquela de controle direcional.

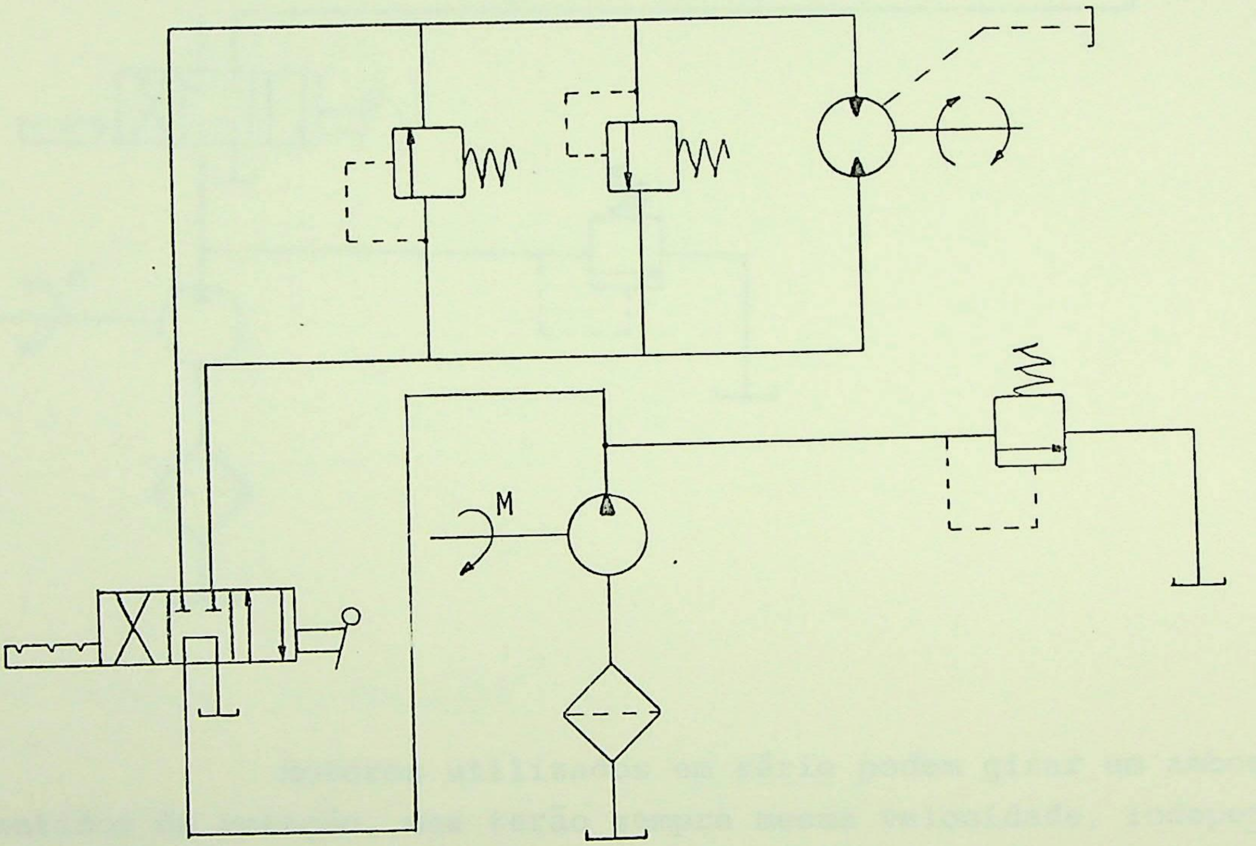
11) Controle com avanço em 2 velocidades:



A válvula desaceleradora introduzida neste circuito é uma válvula direcional acionada mecanicamente pela haste, e é uma do tipo 2/2 vias. Quando o cilindro avança, num determinado ponto, o came da haste aciona a válvula desaceleradora fechando-a e obrigando o fluido a passar pela válvula de controle de fluxo.

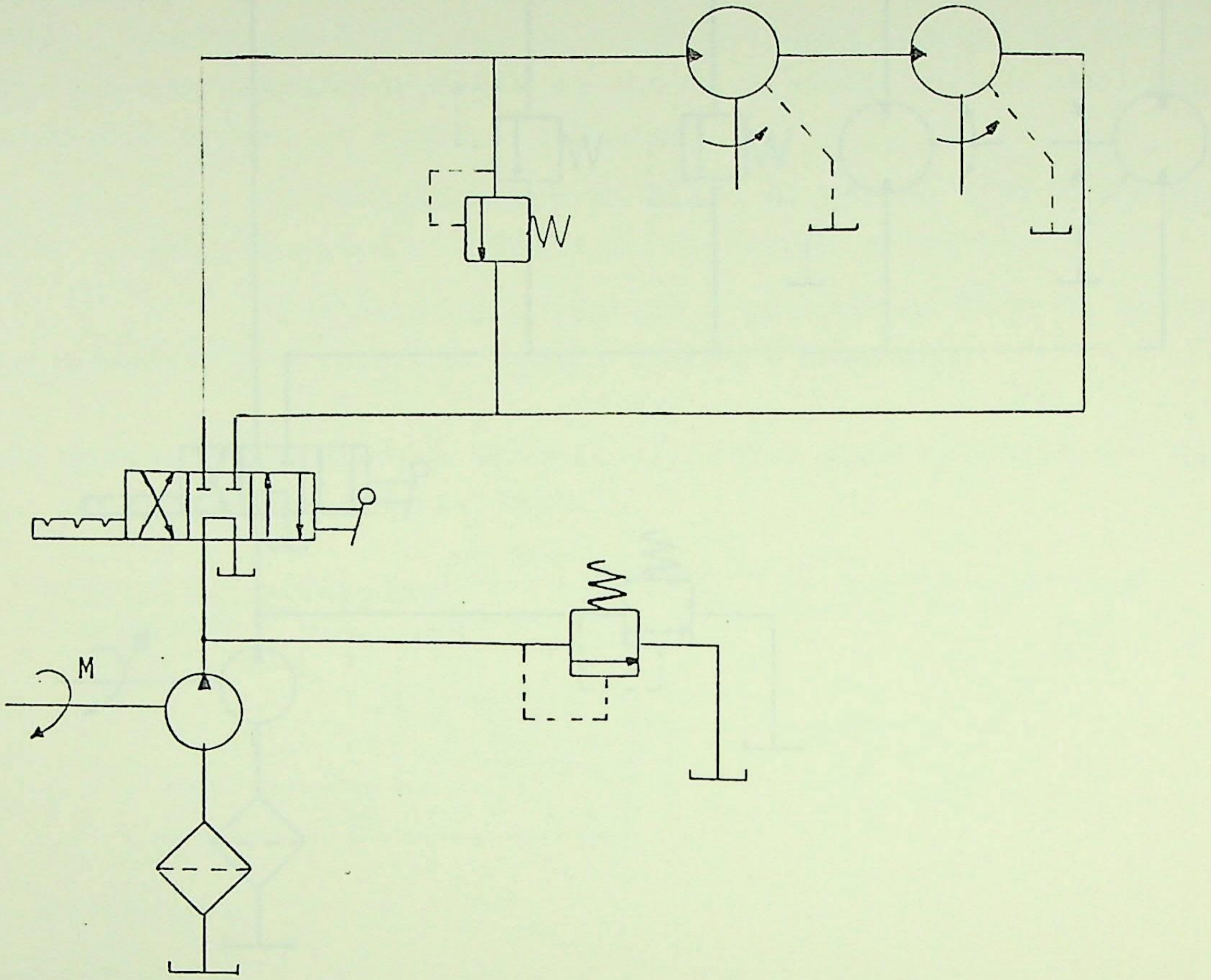
A partir deste ponto, o avanço passa a ser controlado pelo óleo de retorno.

12) Circuito para acionamento de um motor hidráulico:



Devemos tomar cuidado quando paramos o motor, pois, devido à energia cinética de rotação, ao fecharmos a válvula direcional, o motor tentará continuar a girar, atuando, então, como uma bomba aumentando a pressão na tubulação; no entanto se usarmos uma válvula de alívio em paralelo se o motor for unidirecional, ou duas válvulas se o motor for bidirecional, teremos a circulação do fluido pelas válvulas com conseqüente dissipação de energia.

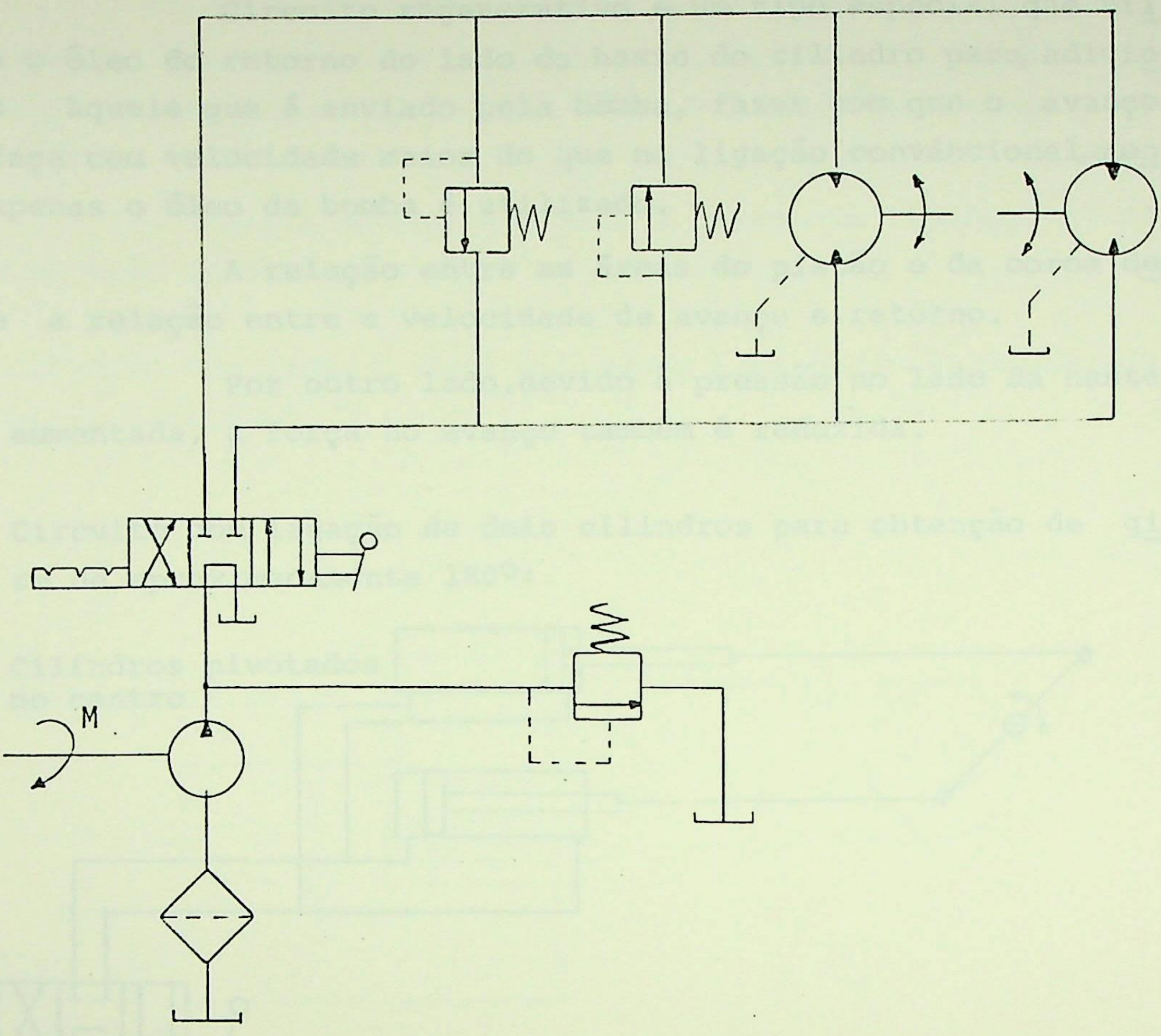
13) Circuito com motores em série :



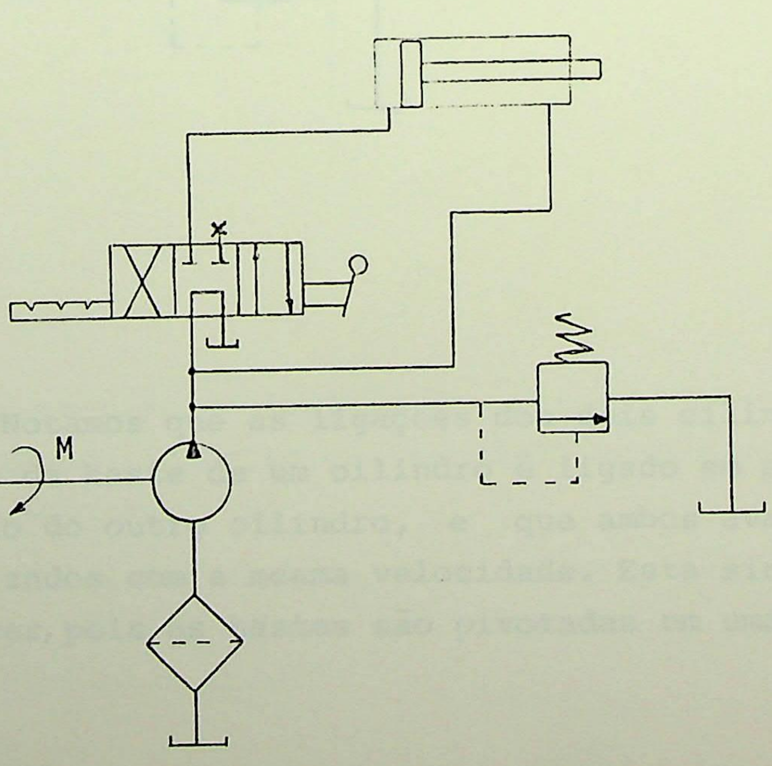
Motores utilizados em série podem girar em ambos sentidos de rotação, mas terão sempre mesma velocidade, independente da carga desde que tenham o mesmo tamanho. Este tipo de esquema pode ser utilizado em esteiras transportadoras.

14) Circuito com motores em paralelo:

Nos motores ligados em paralelo, dependendo da carga teremos mais rotação num motor do que no outro (mais rotação no motor com menor carga). Este sistema pode ser utilizado por sistemas de tração com ação diferencial.



15) Circuito regenerativo :

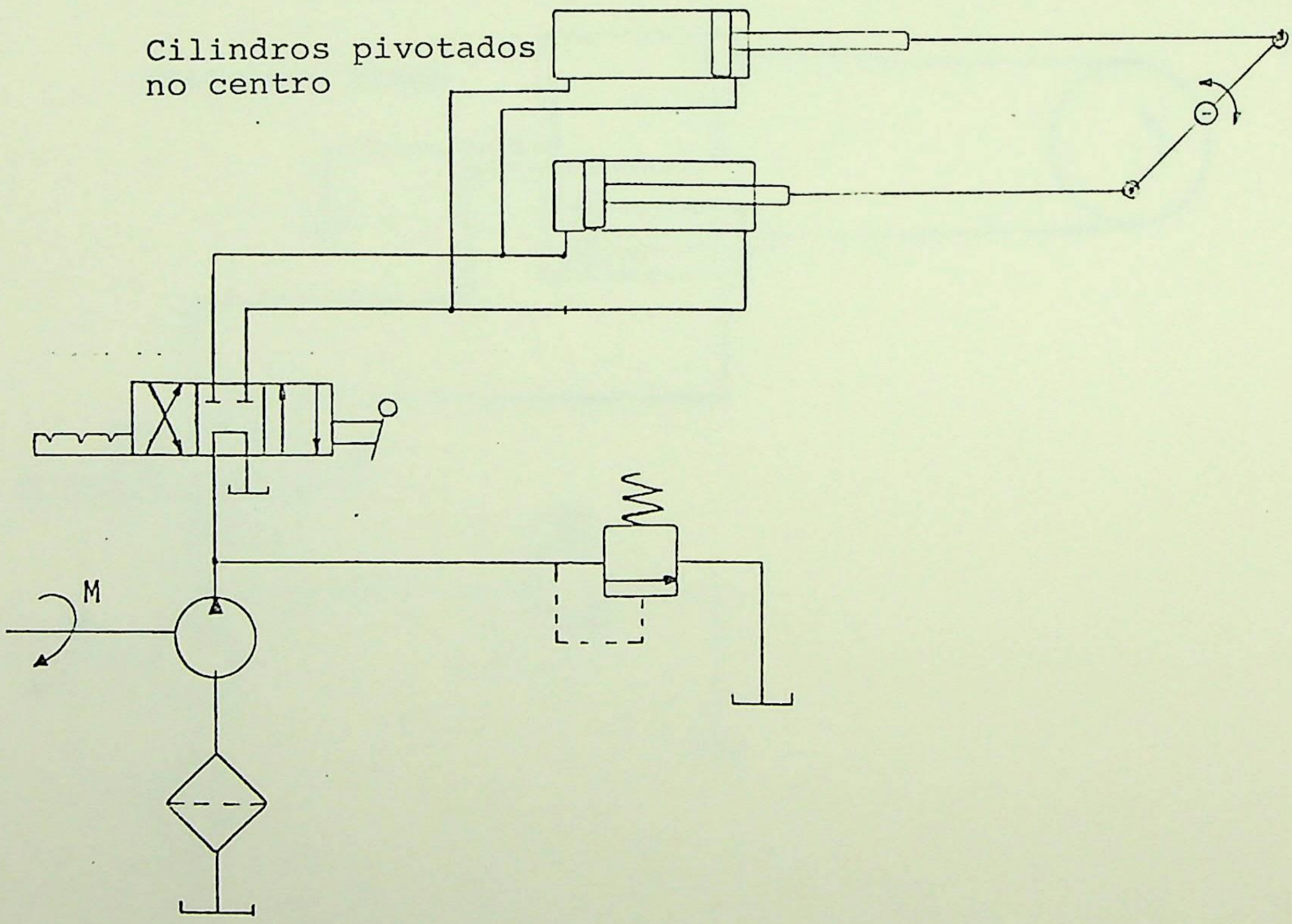


Circuito regenerativo é um tipo especial que utiliza o óleo do retorno do lado da haste do cilindro para, adicionado àquele que é enviado pela bomba, fazer com que o avanço se faça com velocidade maior do que na ligação convencional, quando apenas o óleo da bomba é utilizado.

A relação entre as áreas do pistão e da coroa define a relação entre a velocidade de avanço e retorno.

Por outro lado, devido à pressão no lado da haste ser aumentada, a força no avanço também é reduzida.

16) Circuito com ligação de dois cilindros para obtenção de giro de aproximadamente 180º:



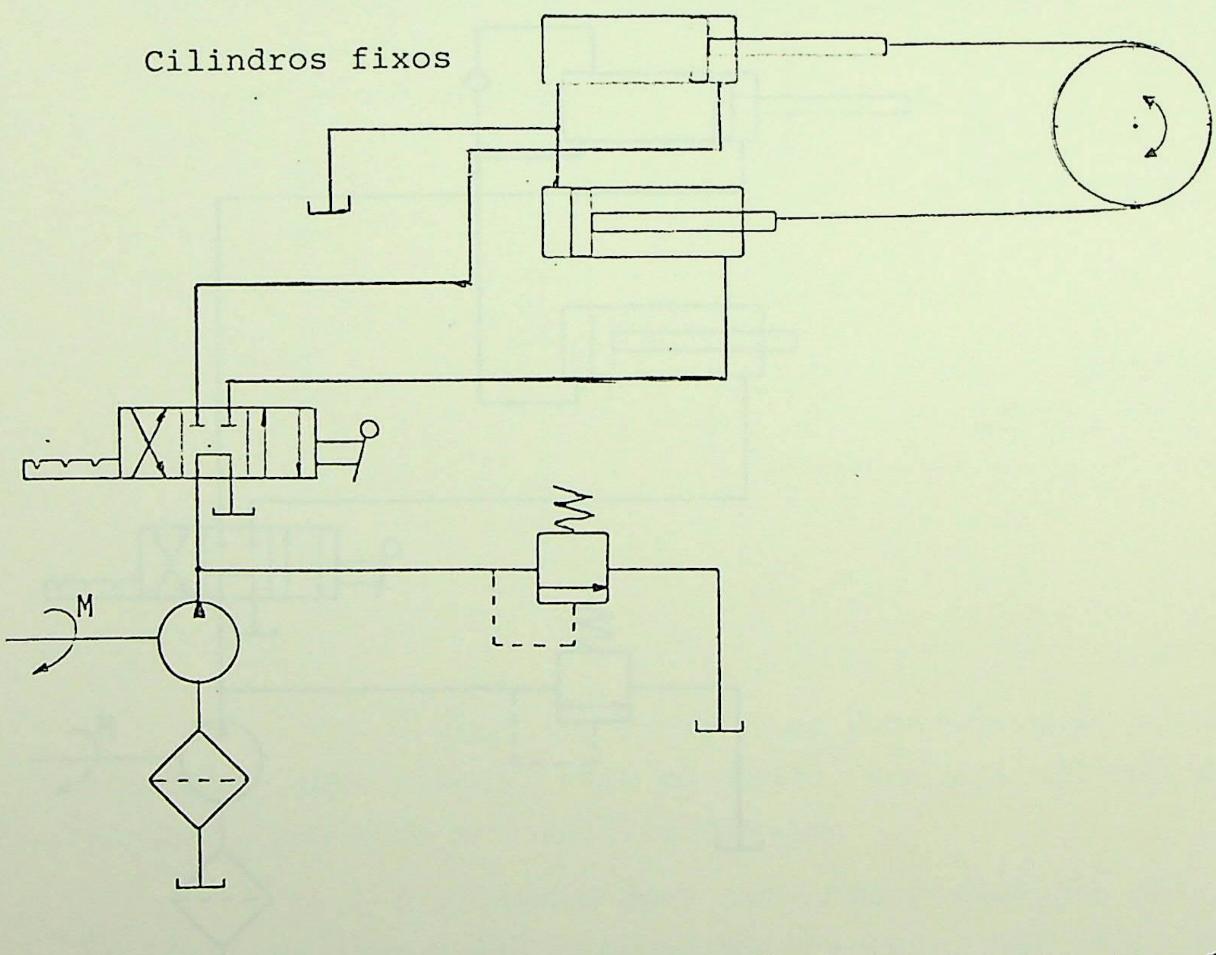
Notamos que as ligações dos dois cilindros são tais que o lado da haste de um cilindro é ligado em paralelo com o lado do pistão do outro cilindro, e que ambos avançam e retornam sincronizados com a mesma velocidade. Esta sincronização tem que acontecer, pois as hastes são pivotadas em uma barra rígida giratória.

Este tipo de ligação é usado para o giro de retro escavadeira. Neste caso a diferença do circuito está apenas na válvula direcional que é do tipo móbil 6/3 vias, em relação a mostrada no circuito anterior.

Nesta montagem o giro é levemente trepidante devido ao tipo de escoamento que se processa.

17) Circuito com ligação de 2 cilindros para obtenção de movimentação rotativo:

Cilindros fixos



Este tipo de ligação dos dois cilindros é feito com o lado do pistão ligado ao reservatório apenas para respiro e se houver vazamentos.

O lado da haste de cada cilindro recebe alternadamente fluido da válvula direcional, fazendo com que funcionem como cilindro de simples ação.

Esta montagem faz com que o ângulo total de giro seja função do diâmetro da coroa e do curso dos cilindros.

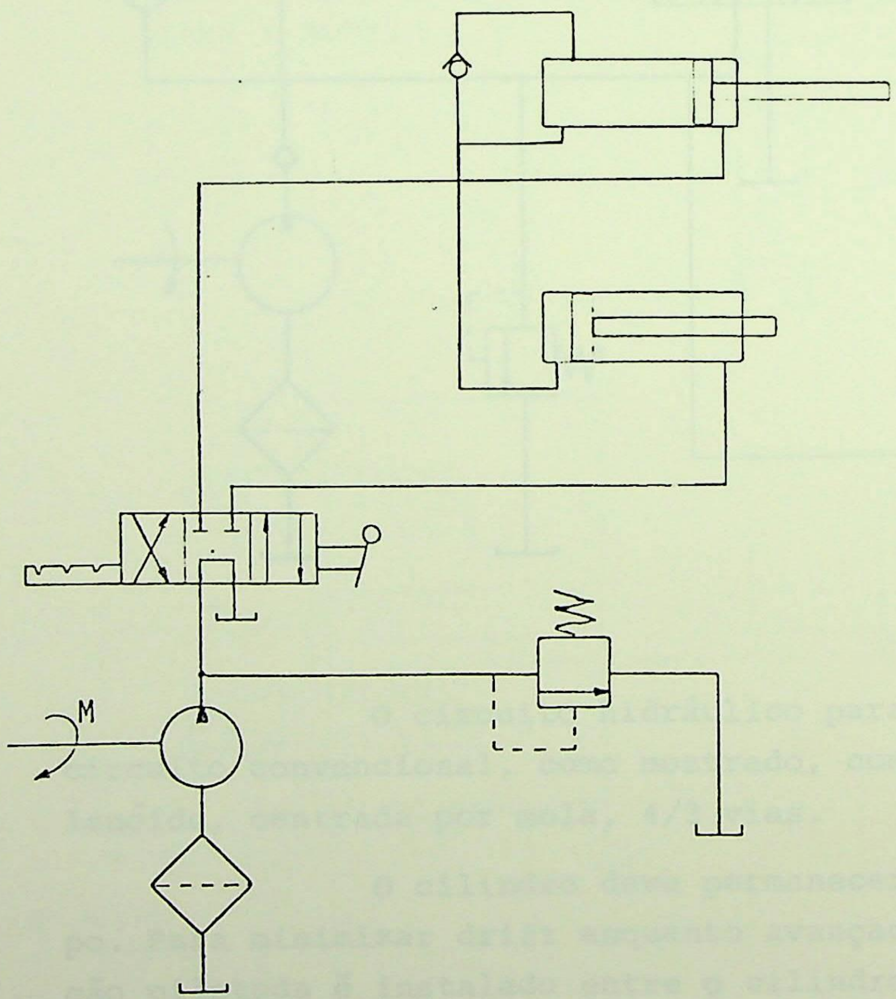
$$\Theta = \frac{2L}{D}$$

L = curso do cilindro

D = diâmetro da coroa

E usado em um determinado tipo de escavadeira e em alguns guinchos acoplados a carrocerias de caminhões.

18) Circuito para gerar movimento alternativo sincronizado sem ligação mecânica:



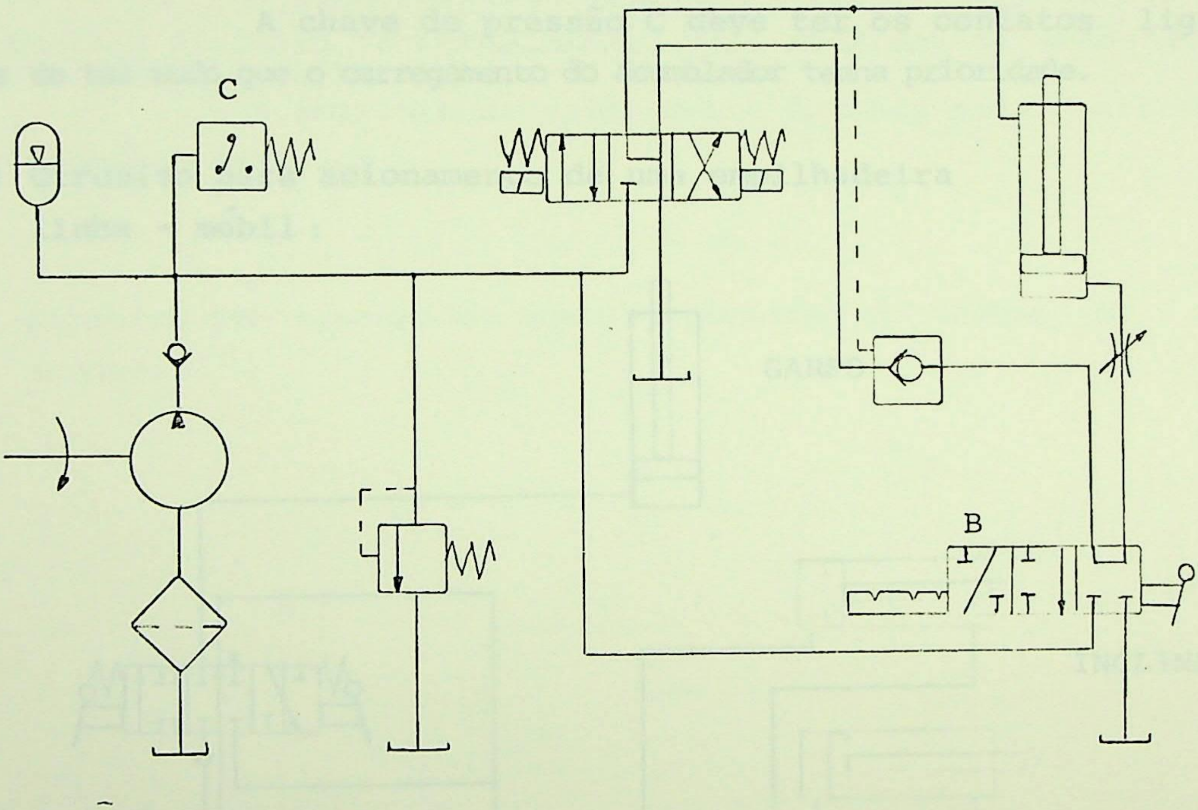
Os dois cilindros têm, inicialmente, o lado dos pistões interligados e preenchidos com óleo.

Quando um dos cilindros retorna, o outro obrigatoriamente avança, pois o óleo de retorno do lado do pistão é apli cado no lado do pistão do outro cilindro.

A ligação bypan num dos cilindros no final do curso de retorno é para suprir óleo devido a vazamentos internos.

Este tipo de circuito é usado em máquinas para bombeamento de concreto ou onde desejarmos este tipo de movimento.

19) Circuito para acionamento de um portão:



O circuito hidráulico para operação normal é o circuito convencional, como mostrado, com uma válvula duplo solenóide, centrada por mola, 4/3 vias.

O cilindro deve permanecer avançado por longo tempo. Para minimizar drift enquanto avançado, uma válvula de retenção pilotada é instalado entre o cilindro e a válvula direcional.

Uma operação stand by é colocada pela incorporação de um acumulador no sistema. É importante que o operador não sangre o acumulador inadivertidamente; por este motivo, a ligação das válvulas e o seu centro são importantes.

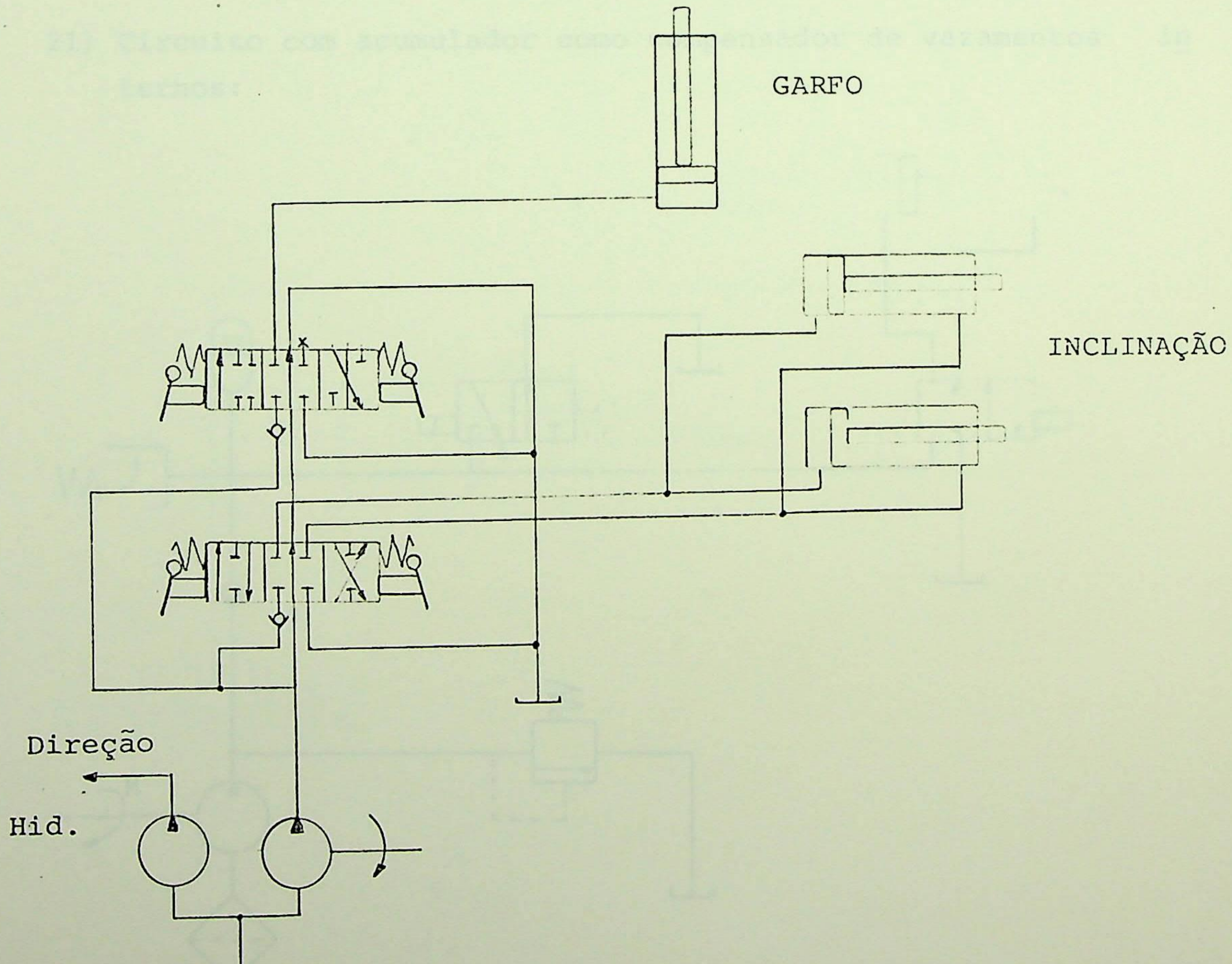
Durante operação normal a válvula B é externamente fechada bloqueando o fluxo do acumulador, mas permitindo fluxo para o cilindro e seu retorno.

Para operação stand by, a válvula B é mudada para o modo apropriado, isto é, abaixar ou levantar. O fluxo do acumulador é necessário apenas para avançar o cilindro; o retorno é feito por gravidade.

Isto maximiza o número de operações disponíves do acumulador carregado.

A chave de pressão C deve ter os contatos ligados de tal modo que o carregamento do acumulador tenha prioridade.

20) Circuito para acionamento de uma empilhadeira linha - móbil :

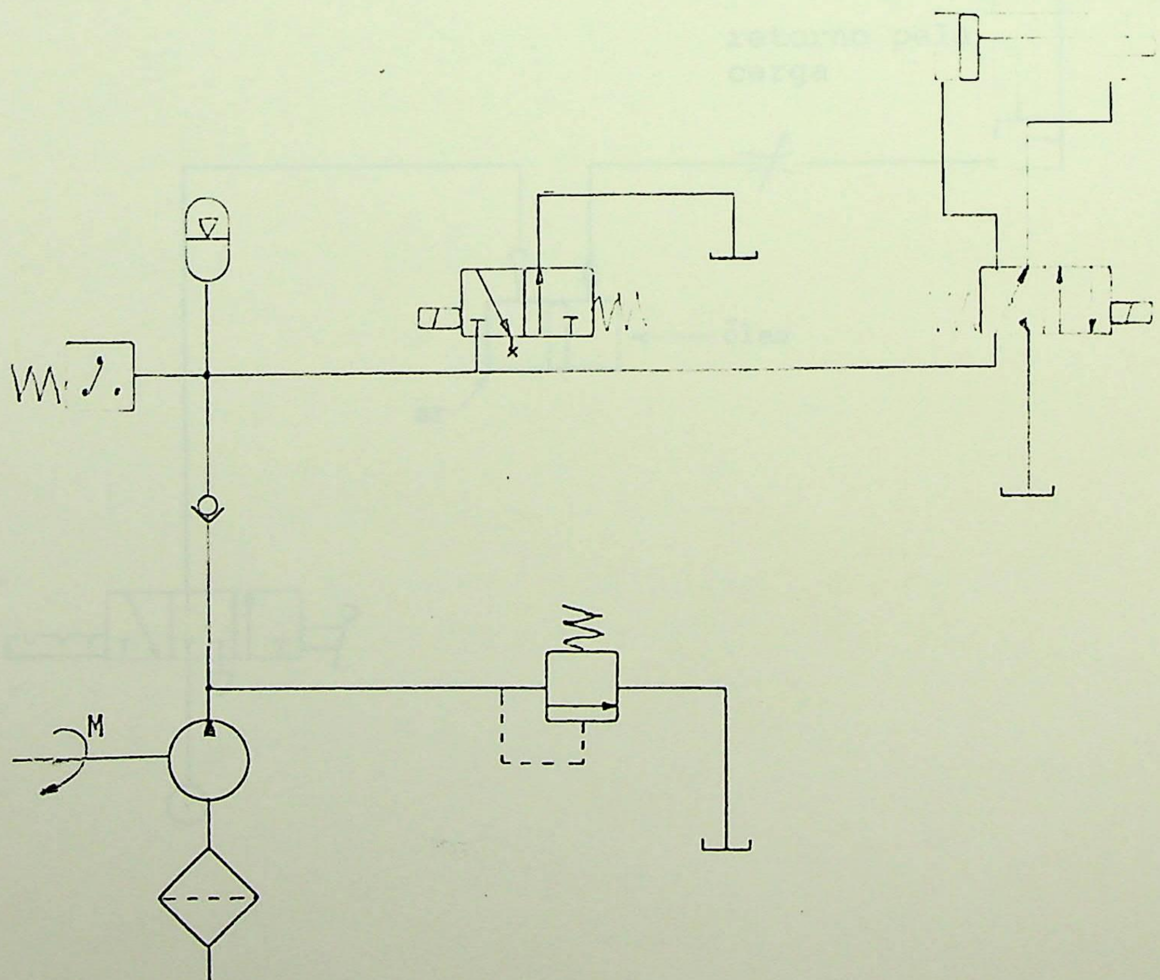


A operação dos cilindros é comandada por uma válvula direcional de duas secções. A primeira válvula, usada para o cilindro de inclinação, tem um carretel de dupla ação. Ela faz com que o cilindro seja movido nos dois sentidos. A segunda válvula tem um carretel de simples ação para fazer mover o cilindro de levantamento. Este cilindro retorna por gravidade; conseqüentemente, o símbolo da válvula mostra apenas um caminho aberto ao fluxo em cada posição fora de centro, e a passagem direta descarrega a bomba.

A bomba é acionada pelo motor da empilhadeira e alimenta o circuito de levantamento pela abertura de vazão maior.

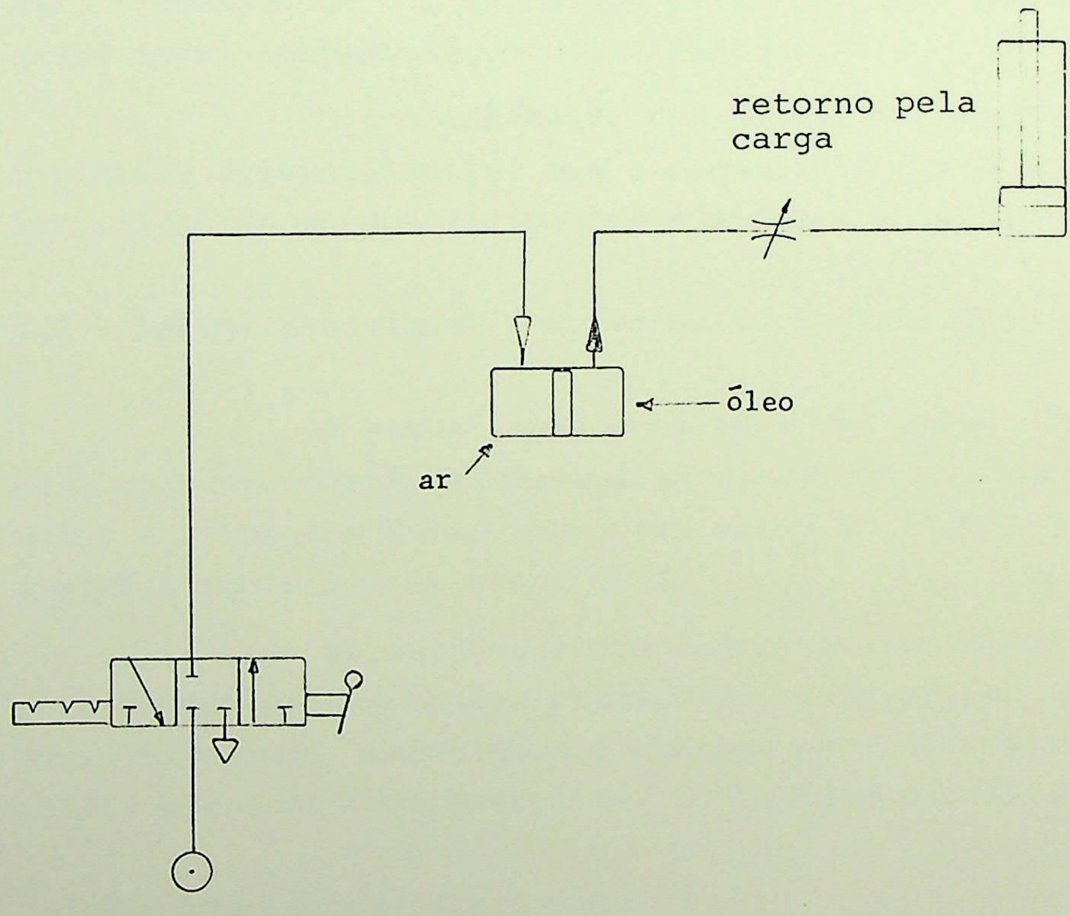
A abertura de vazão menor é usada para o sistema de direção hidráulica.

21) Circuito com acumulador como compensador de vazamentos internos:



Este tipo de circuito é típico para ser usado onde temos ciclo de trabalho muito longo, por exemplo, cilindro que aciona a placa do molde de uma máquina injetora. Em lugar de mantermos a bomba em constante trabalho para manter a pressão do circuito, o que irá acarretar um consumo de potência desnecessária assim como aquecimento do óleo através da descarga constante da vazão da bomba por uma válvula de alívio, podemos introduzir um acumulador que, após carregado com uma pressão máxima, permite-nos desligar a bomba. O acumulador manterá a pressão até que se chegue a um nível mínimo, quando já deveria ser iniciada outra fase do ciclo de trabalho, isto é, o acumulador deve ser dimensionado de forma a manter um determinado nível de pressão.

22) Circuito de elevador de posto de lavagem ;



Este circuito é do tipo hidropneumático, onde o óleo normalmente usado é do tipo solúvel, a fonte de ar comprimido é um compressor.

O ar atua sobre a superfície do líquido e, através da válvula 2/2 vias, controlamos a vazão no cilindro de simples ação.

No retorno é necessário primeiramente retirar o ar do reservatório através da válvula 3/3 vias e o controle da descida é feito também pela válvula controladora de fluxo.

CAPÍTULO 3 - CIRCUITOS PNEUMÁTICOS

3.1 - Generalidades

Os circuitos pneumáticos têm funcionamentos semelhantes aos hidráulicos, isto é, a forma de atuação das válvulas e atuadores em geral tem o mesmo princípio de funcionamento;no entanto, uma análise mais profunda mostra que existem diferenças fundamentais quando das aplicações, como, por exemplo, o movimento dos atuadores, e mesmo, os tempos de respostas nos acionamentos.

Nos circuitos pneumáticos programados não serão levados em conta estas diferenças e, portanto, podemos entendê-los praticamente como nos circuitos hidráulicos.

Também, nestes circuitos pneumáticos, aparecerão mais elementos de fim de curso, pois são elas que permitem a quase total automatização nos circuitos.

O funcionamento dos circuitos programados não é explicado detalhadamente, mas o comentário feito é tal que deve ser discutido porque são pontos realmente importantes.

3.2 - Estudo Programado dos Circuitos Pneumáticos

A seguir,apresentaremos uma seqüência de exercícios onde aparecerão elementos já estudados com respectivos símbolos e Elementos Novos, os quais serão aplicados e explicados e simbolizados nestes exercícios.

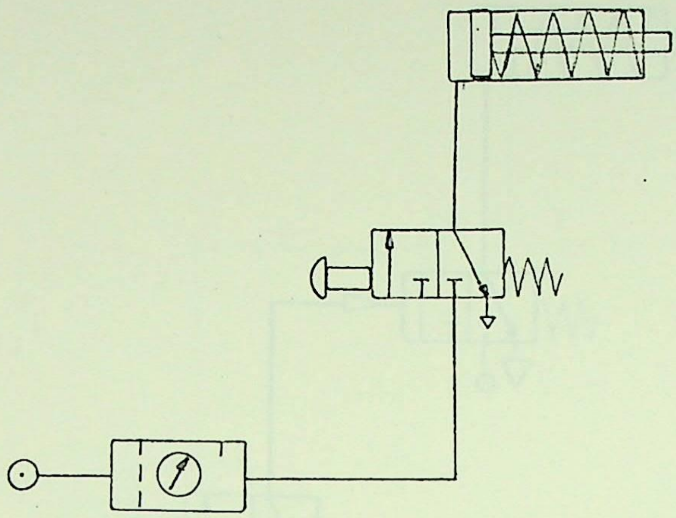
Na seqüência dos exercícios,usaremos as explicações dadas nos exercícios anteriores, para evitar repetição. Em "Nota Importante", chamaremos a atenção para exigências a serem seguidas e evitar acontecerem certos problemas críticos.

3.2.1 - Exercícios programados:

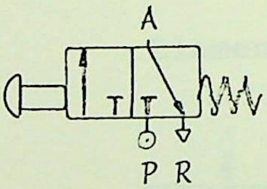
Exercício 1:

Acionar um cilindro de simples ação através de um botão:

Solução:



Elemento Novo:



- Válvula 3 vias (A, P e R) e 2 posições com retorno por mola, acionamento por botão e normal fechada.
- Escrevemos 3/2 vias, NF botão, retorno por mola.
- Posição normal é a da direita.

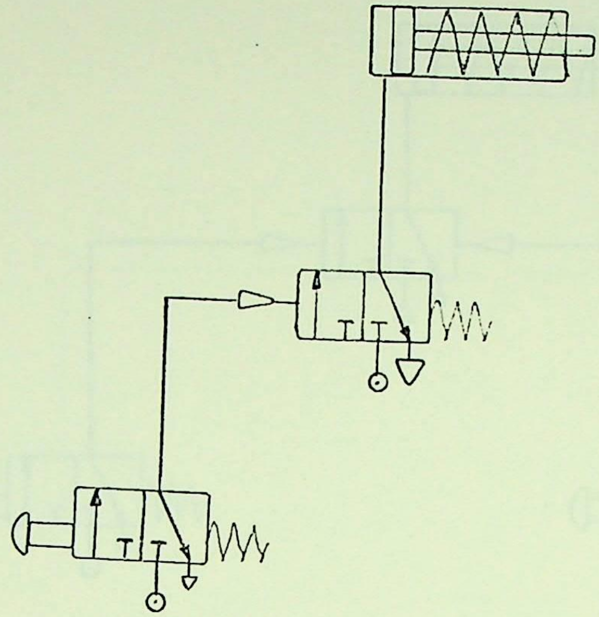
Nota Importante:

- Podemos mudar só o acionamento, sem alterar o funcionamento da válvula, mas podendo alterar sua característica construtiva como será visto em exercícios seguintes.

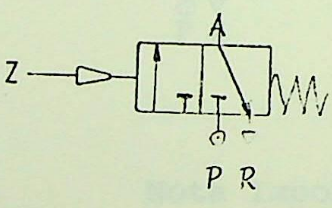
Exercício 2:

Acionar um cilindro simples ação através de um comando indireto.

Solução:



Elemento Novo ;



- Válvula 3/2 vias, pilotada em Z retorno por mola.

  O sinal Z é a pressão piloto que comuta a válvula.

Nota Importante ;

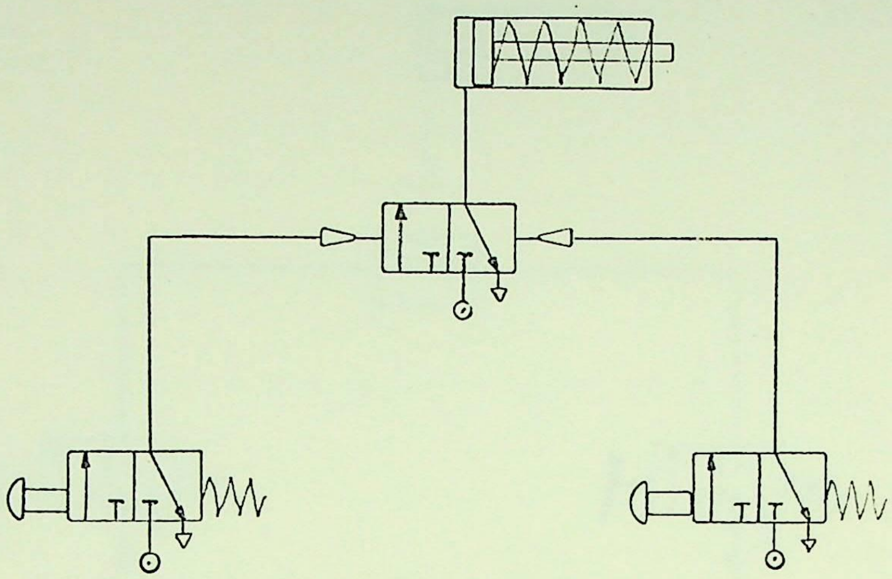
1. Válvula 3/2 vias, retorno por mola é um "Emissor de SINAL".

2. Substituiremos Unidade de Conservação apenas para facilitar.

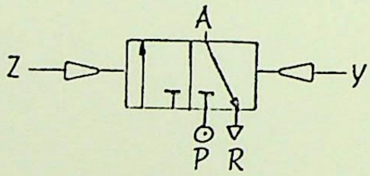
Exercício 3:

Acionar um cilindro de simples ação através de 2 sinais, sendo um para avanço e outro para retorno.

Solução:



Elemento Novo:



- Válvula 3/2 vias, duplo piloto (Z e Y) NF

Sinal Z faz posição da esquerda

Sinal Y faz posição da direita

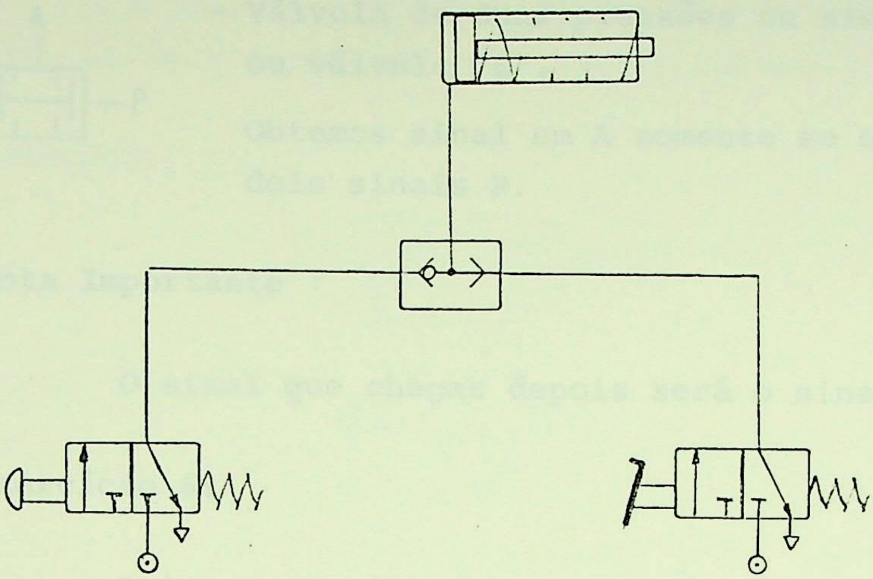
Nota Importante:

O sinal Z atua somente se o sinal Y estiver no escape e vice-versa.

Exercício 4:

Acionar um cilindro de simples ação através do sinal de um botão ou de um pedal.

Solução:



Elemento Novo :

- Válvula alternadora ou elemento "OU", Obte mos Sinal em A ou com um sinal P ou com o outro.

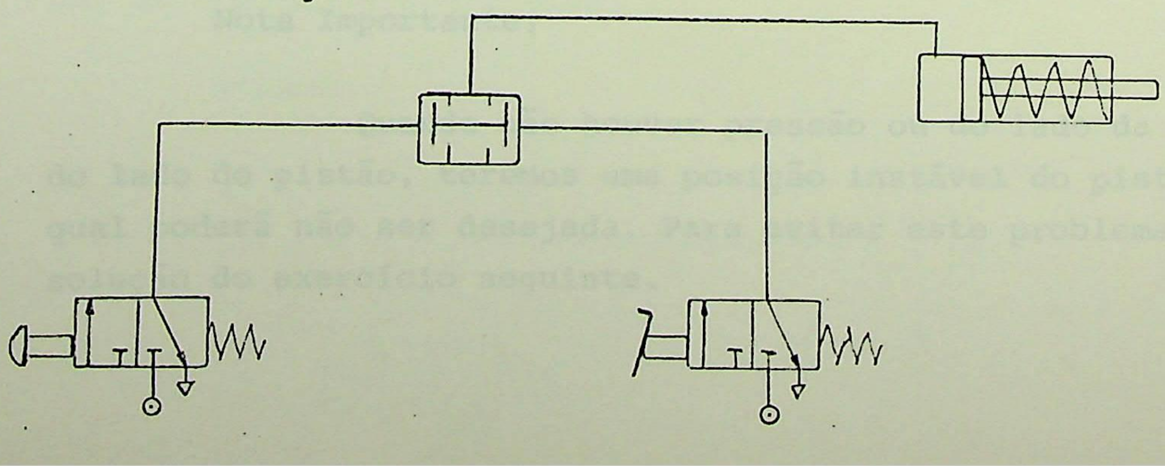
Nota Importante :

O sinal que chegar primeiro prevalece.

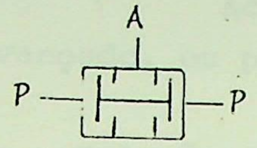
Exercício 5:

Acionar um cilindro de simpes ação com o sinal de um botão e de um pedal.

Solução:



Elemento Novo:



- Válvula de duas pressões ou simultaneidade ou válvula "E".

Obtemos sinal em A somente se existirem os dois sinais P.

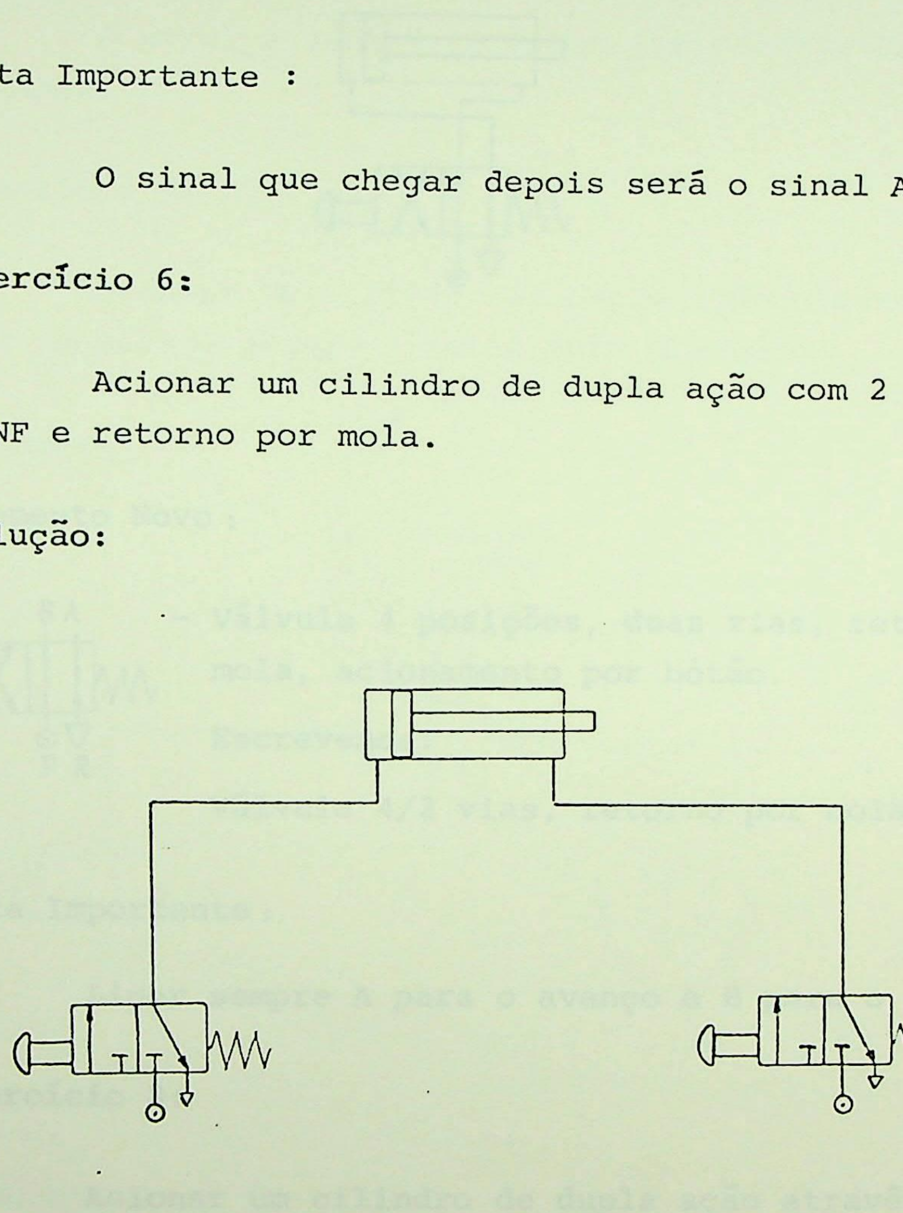
Nota Importante :

O sinal que chegar depois será o sinal A.

Exercício 6:

Acionar um cilindro de dupla ação com 2 válvulas 3/2 vias, NF e retorno por mola.

Solução:



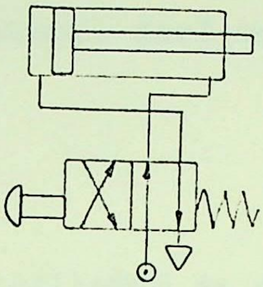
Nota Importante:

Quando não houver pressão ou do lado da haste ou do lado do pistão, teremos uma posição instável do pistão, a qual poderá não ser desejada. Para evitar este problema,temos a solução do exercício seguinte.

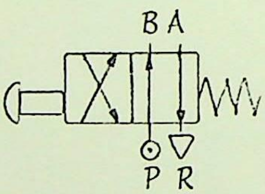
Exercício 7:

Acionar um cilindro de dupla ação tal que, ou pá ra avançado, ou para recolhido em situação estável.

Solução:



Elemento Novo :



- Válvula 4 posições, duas vias, retorno por mola, acionamento por botão.

Escrevemos:

Válvula 4/2 vias, retorno por mola, botão.

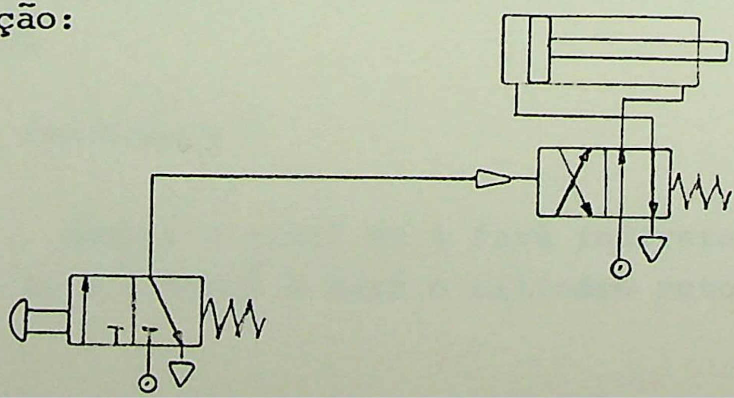
Nota Importante :

Ligar sempre A para o avanço e B para o retorno.

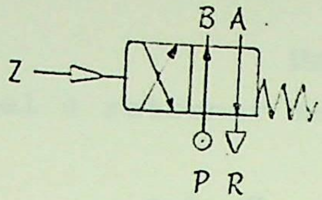
Exercício 8:

Acionar um cilindro de dupla ação através do si nal de uma válvula 3/2 vias.

Solução:



Elemento Novo :



- Válvula 4/2 vias, pilotada em Z, retorno por mola.

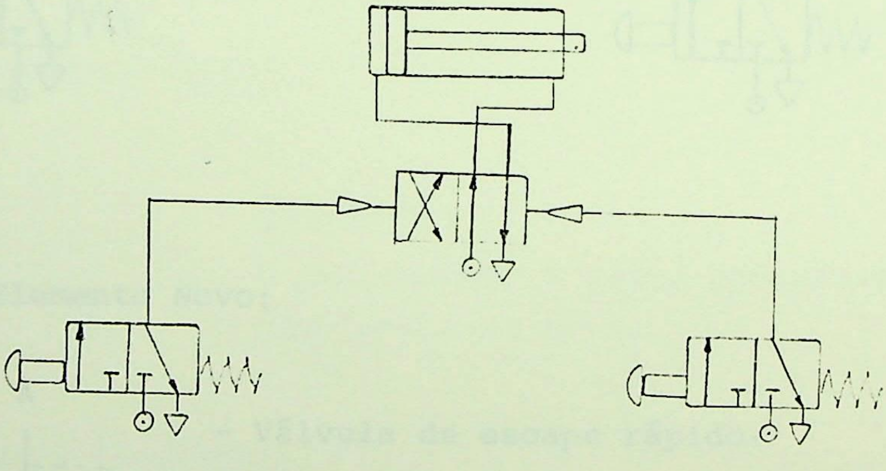
Nota Importante :

O sinal Z sempre fará com que, indiretamente, o cilindro avance.

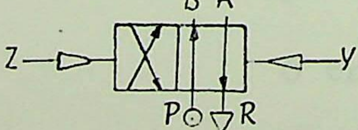
Exercício 9:

Acionar um cilindro de dupla ação através de 2 sinais, sendo um para o avanço e outro para o retorno.

Solução:



Elemento Novo:



Válvula 4/2 vias, duplo piloto.

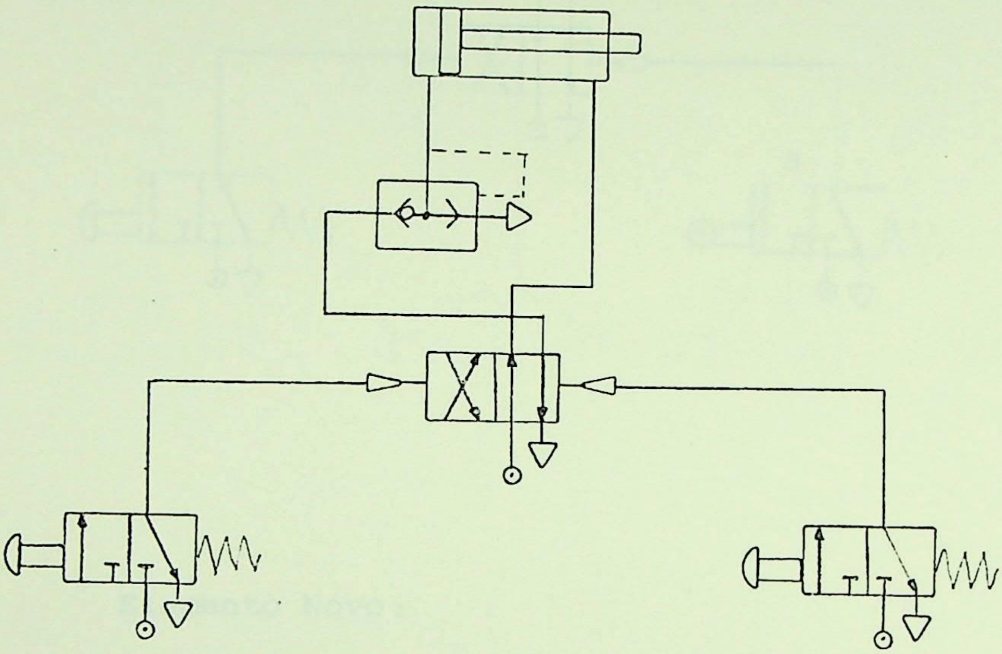
Nota Importante :

Sempre o sinal em Z fará indiretamente o cilindro avançar (P → A) e o sinal Y fará o cilindro retornar (P → B).

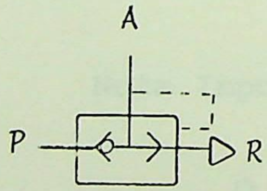
Exercício 10:

Um cilindro de dupla ação deve avançar com um sinal e retornar mais rapidamente com um outro sinal.

Solução:



Elemento Novo:



- Válvula de escape rápido.

O caminho A para R é feito diretamente encurtando caminho e tendo passagem mais livre.

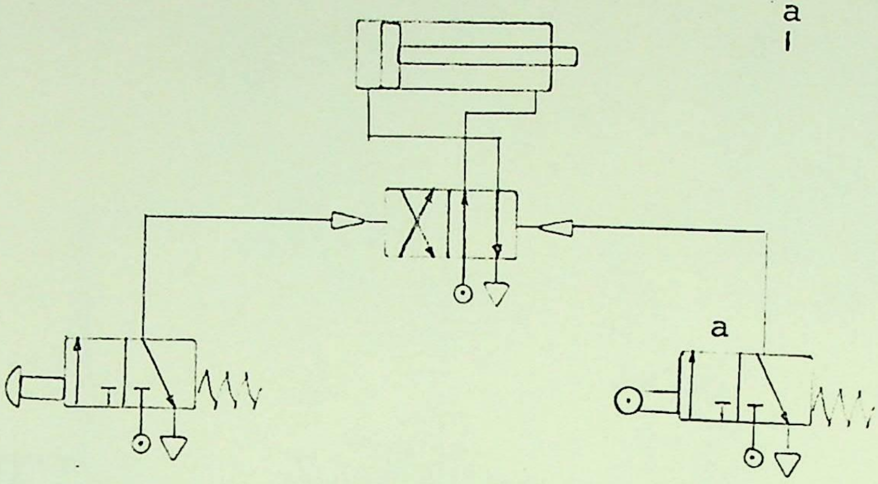
Nota Importante:

O trajeto A para P nunca acontece.

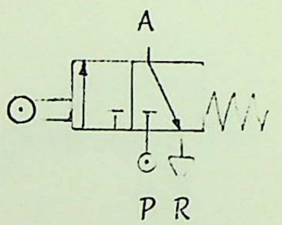
Exercício 11:

Um cilindro de dupla ação deve avançar com o sinal de um botão e retornar automaticamente no final do curso de avanço.

Solução:



Elemento Novo:



- Rolete NF.

O acionamento é feito mecanicamente por um came preso na haste.

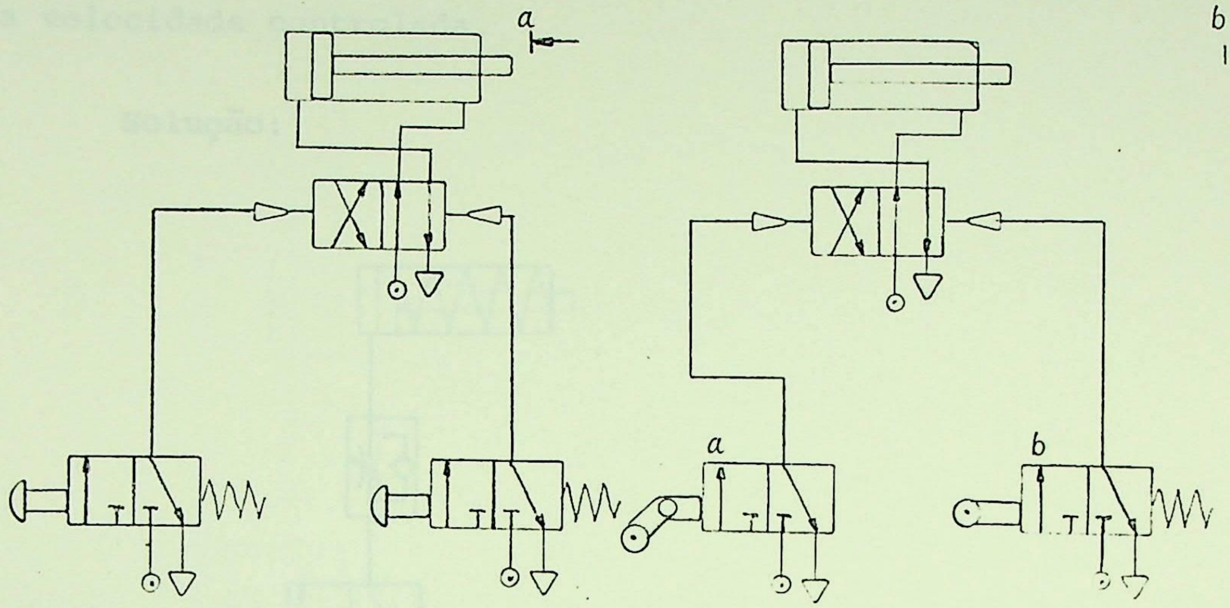
Nota Importante:

O rolete é acionado em qualquer sentido. A barra vertical no esquema indicará o lugar do rolete.

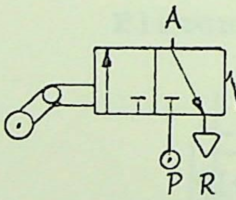
Exercício 12:

Um cilindro de dupla ação é acionado por um sinal de um botão, para o avanço. Um outro sinal de outro botão fará o cilindro retornar. No início do retorno, através de um came, um sinal é emitido fazendo um outro cilindro avançar e, no final do retorno do primeiro cilindro, um quarto sinal é dado para o retorno do segundo cilindro.

Solução:



Elemento Novo :



- gatilho NF.
- O acionamento é feito mecanicamente por um came preso na haste.

Nota Importante :

- O gatilho é acionado somente num sentido.
- Se for acionado no sentido falso, ele não é atuado pneumaticamente.
- A seta no esquema indica o sentido do acionamento e é obrigatória.

Exercício 13:

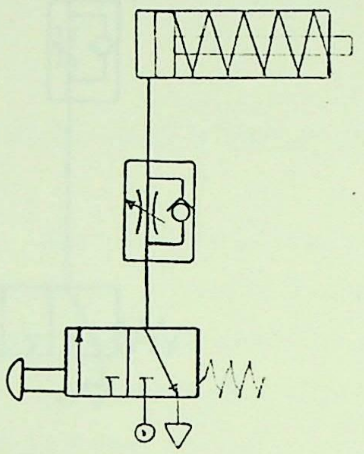
Comparar o rolete com o gatilho e analisar detalhadamente o que acontece quando o came toca este elemento.

Solução: - Resolver.

Exercício 14:

Um cilindro de simples ação deve avançar tendo sua velocidade controlada.

Solução:



Elemento Novo :

- Válvula reguladora de vazão.
- O fluxo num sentido é regulado e no senti do inverso é livre.

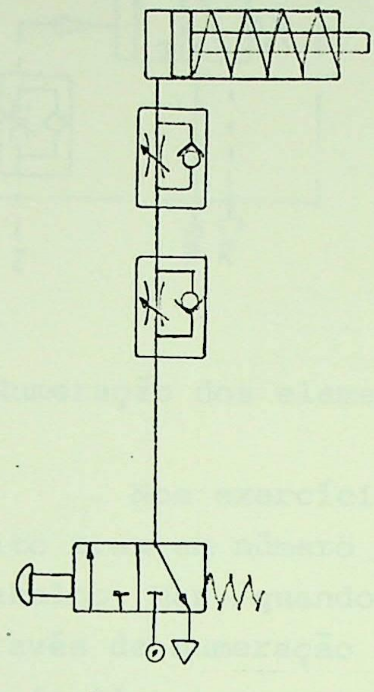
Nota Importante:

- Analisar o sentido na hora da ligação.
- No Cilindro com $\phi > 25$ mm não é aconselhável usar estrangulagem, pois avançará trepidando.

Exercício 15:

Um cilindro de simples ação deve ter velocidade controlada no avanço e no retorno.

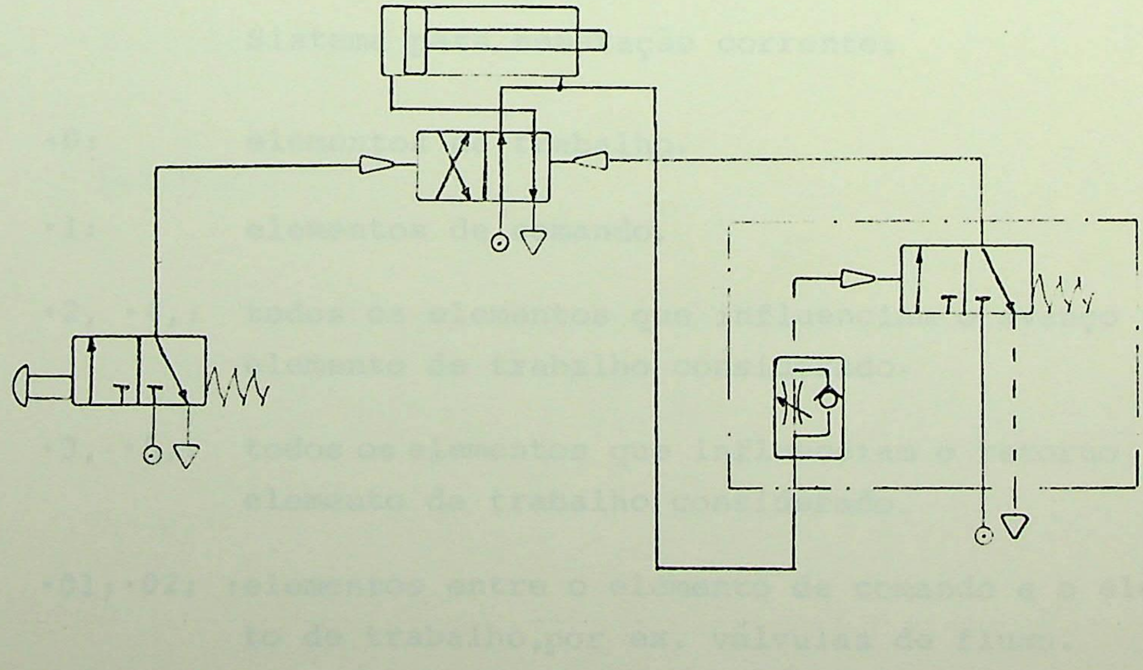
Solução:



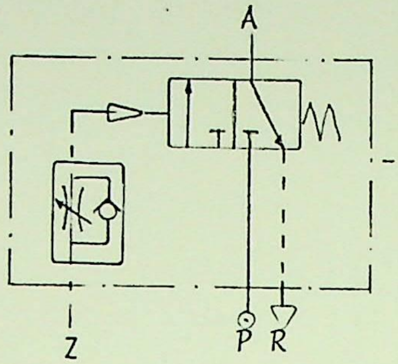
Exercício 16:

Um cilindro de dupla ação deve avançar com um sinal e retornar automaticamente depois de um determinado tempo.

Solução:



Elemento Novo:



- Válvula temporizadora NF ou retardadora

3.2.2 - Numeração dos elementos do circuito

Nos exercícios resolvidos até agora,os elementos do circuito eram em número reduzido e podíamos identificá-los em muito trabalho. Mas, quando o circuito se torna mais complexo podemos,através de numeração dos seus elementos, entendê-los mais rápida e facilmente.

Divisão de grupos:

GRUPO 0: todos os elementos de abastecimento de energia.

GRUPO 1, 2, 3: designação das diversas cadeias de comando (normalmente um número de grupo por cilindro).

Sistema para numeração corrente:

·0: elementos de trabalho.

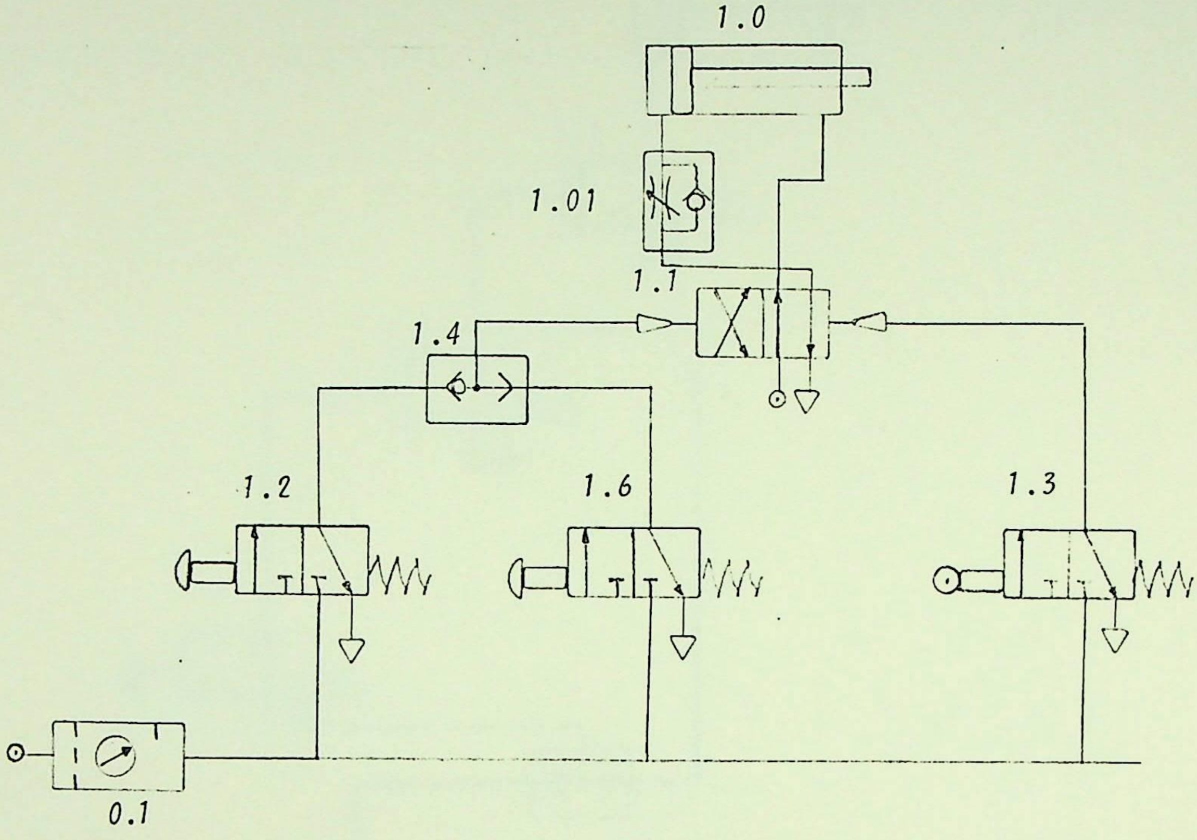
·1: elementos de comando.

·2, ·4,: todos os elementos que influenciam o avanço do elemento de trabalho considerado.

·3, ·5,: todos os elementos que influenciam o retorno do elemento de trabalho considerado.

·01;·02; :elementos entre o elemento de comando e o elemento de trabalho,por ex. válvulas de fluxo.

Exemplo:

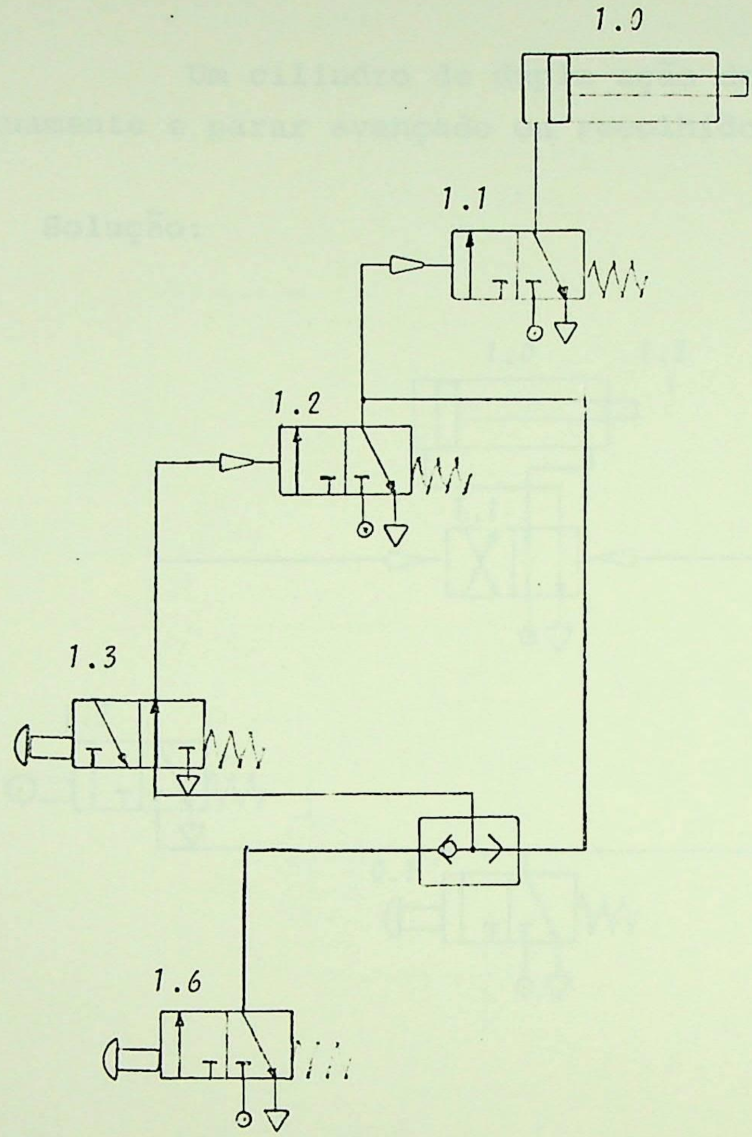


3.2.3 - Exercícios programados:

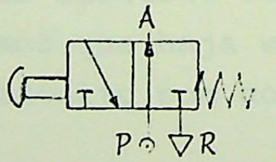
Exercício 17:

Um cilindro simples ação deve ser comandado indiretamente através de um "comando por retenção".

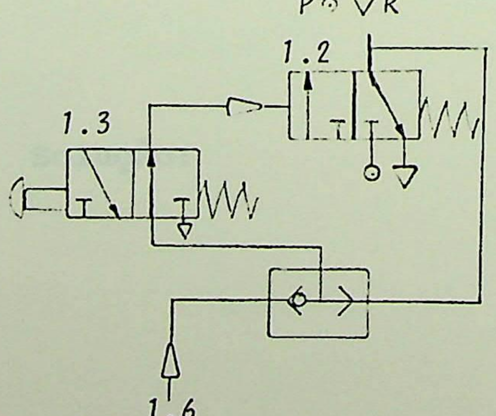
Solução:



Elemento Novo



- Válvula 3/2 vias, N.A. botão retorno por mola.



- Comando por retenção

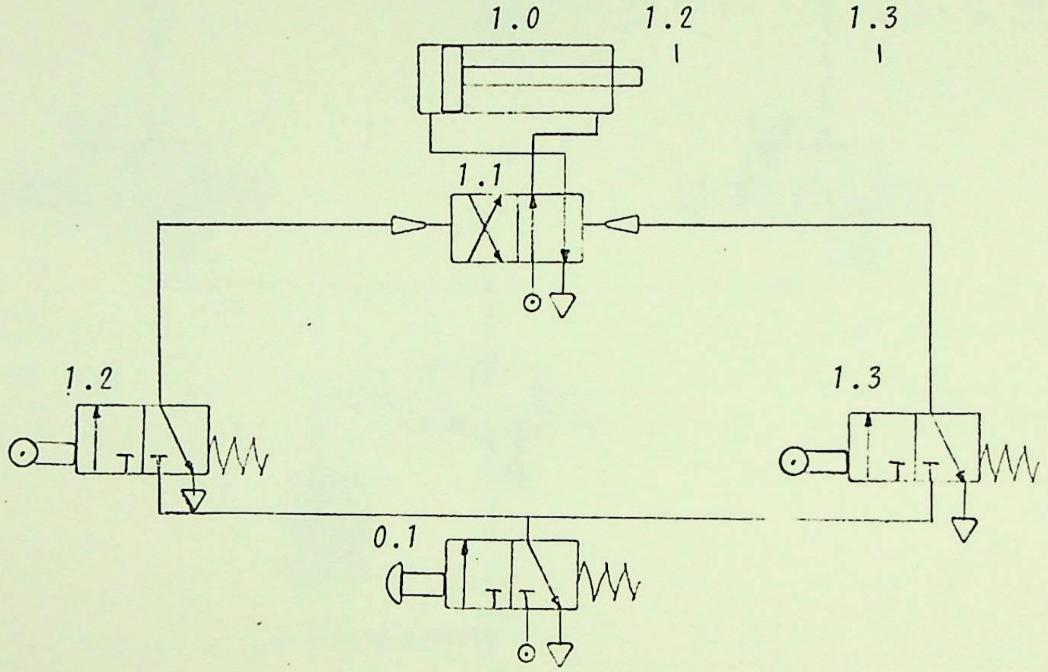
Válvula ·1·6 -cilindro avanço

Válvula ·1·3 -cilindro retorna

Exercício 18:

Um cilindro de dupla ação deve avançar e retornar continuamente e parar avançado ou recolhido.

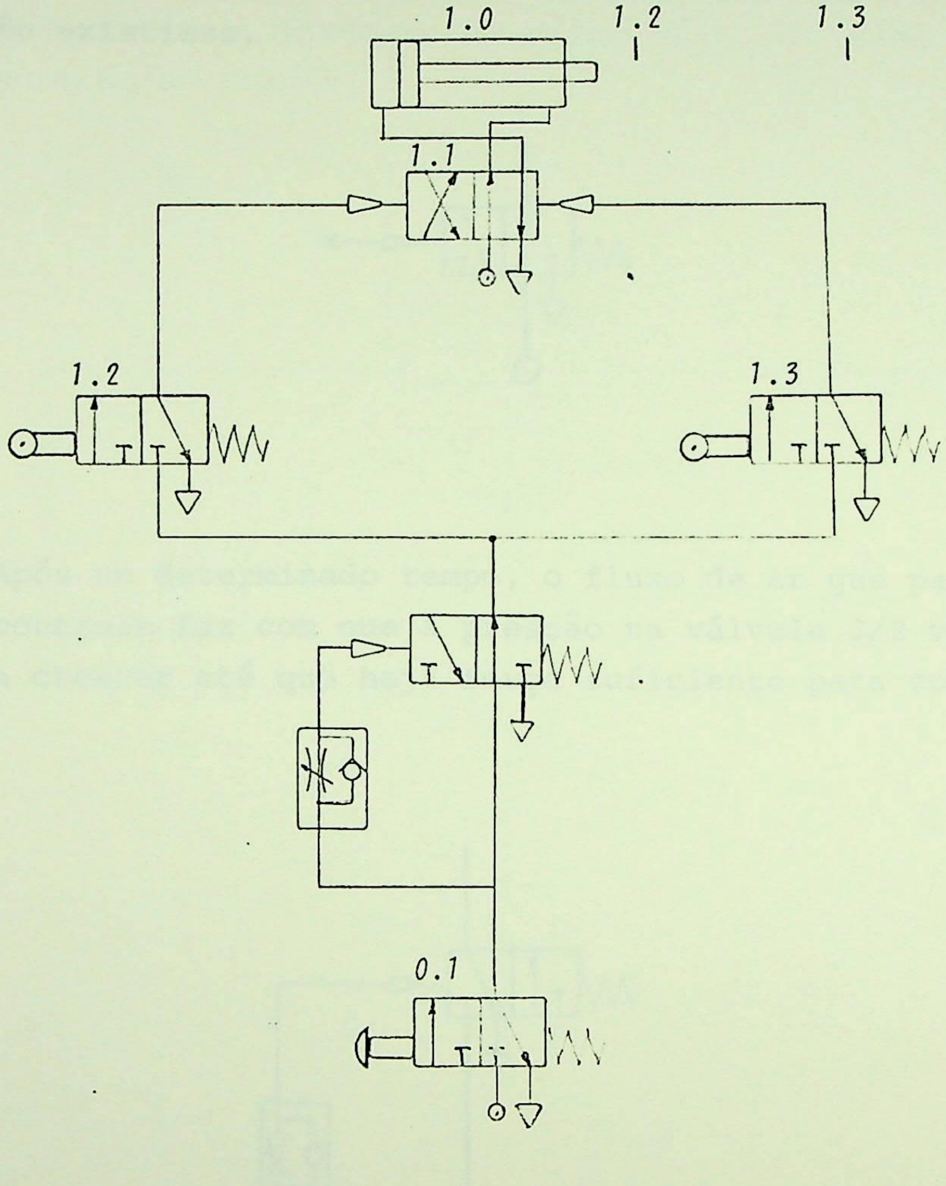
Solução:



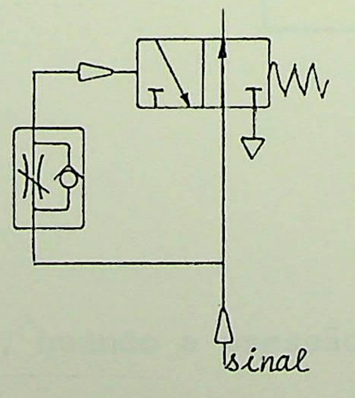
Exercício 19:

No circuito do exercício 18, o curso do cilindro é curto e queremos que haja um movimento apenas, mesmo mantendo 0.1 acionado. Circuito com corte de sinal ou encurtamento de sinal.

Solução:

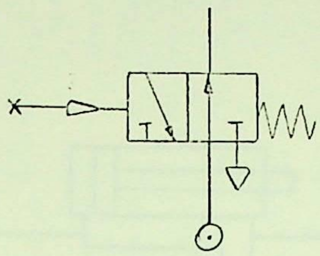


Elemento Novo :

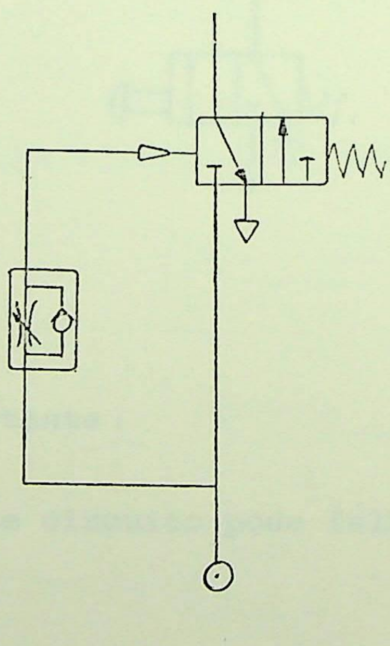


- Circuito para corte ou encurtamento de sinal :

Analisando este conjunto de dois elementos que formam o Elemento Novo, notamos que o ar de alimentação passa direto durante um intervalo de tempo, como se a válvula controladora de fluxo não existisse.



Após um determinado tempo, o fluxo de ar que passa através do controle faz com que a pressão na válvula 3/2 vias N.A. comece a crescer até que haja força suficiente para comutá-la.

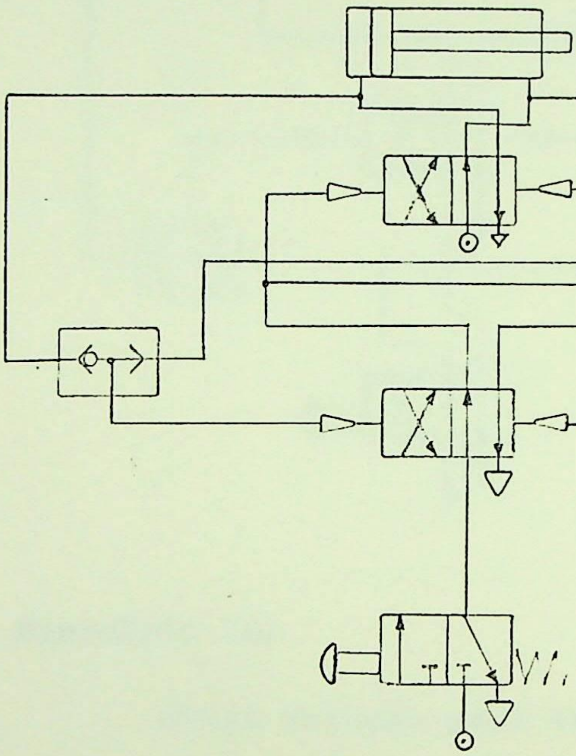


E, quando a pressão é retirada voltamos ao estado inicial.

Exercício 20:

Um cilindro de dupla ação deve avançar com o sinal de um botão e retornar com outro sinal do mesmo botão sem usar gatilho ou rolete.

Solução:



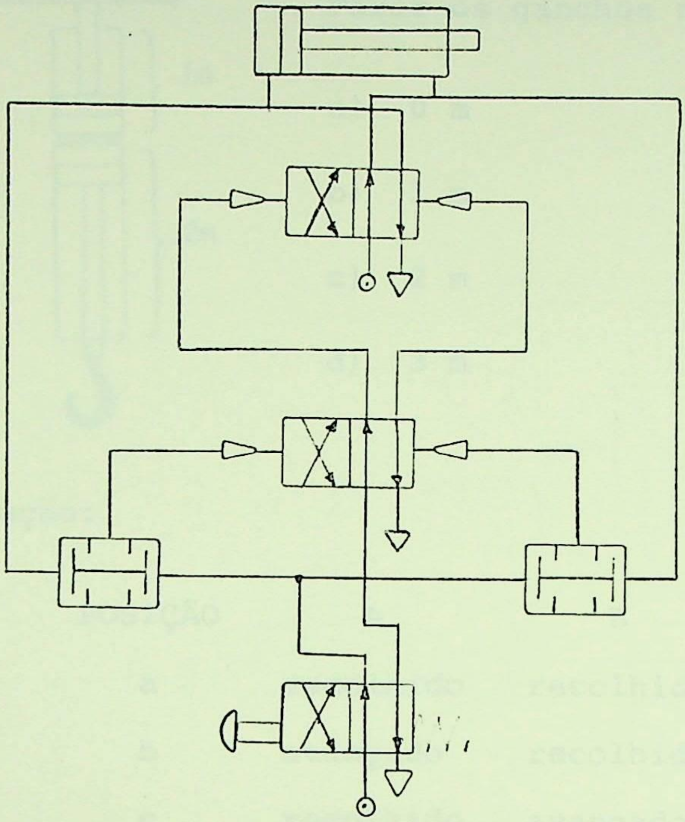
Nota Importante:

Este circuito pode falhar, se não houver simetria dos dutos.

Exercício 21:

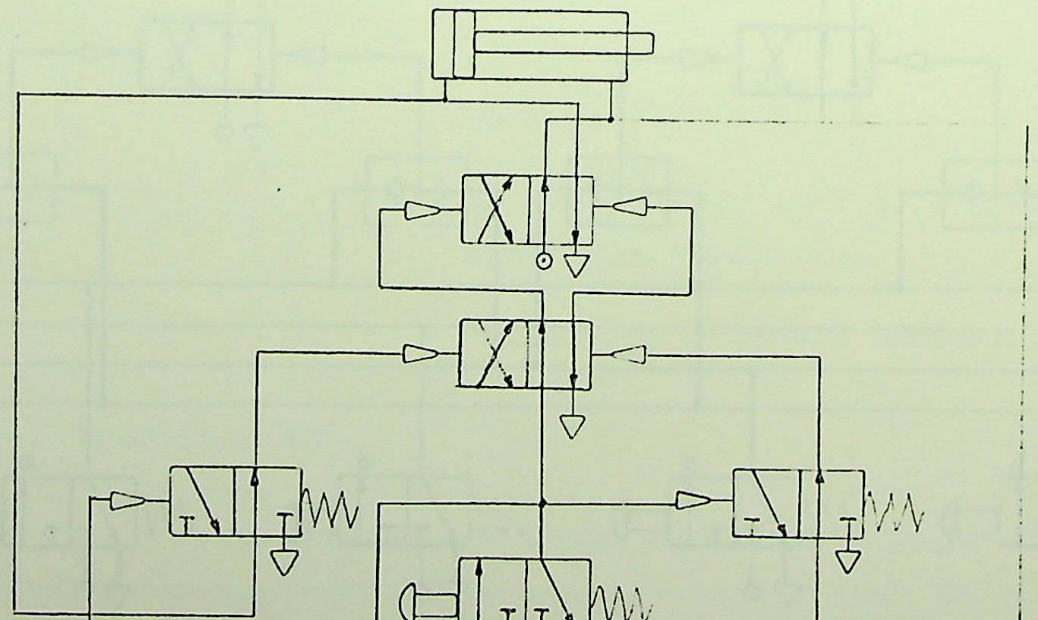
Outra solução para o exercício 20, mais estável.

Solução:

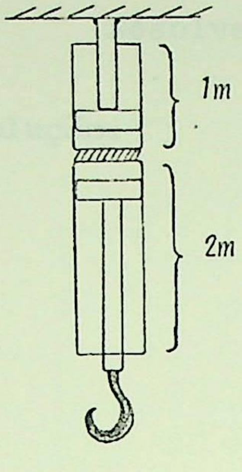


Exercício 22:

Outra solução para exercício 20 :



Exercício 23:



Parar os ganchos nas posições

a) 0 m

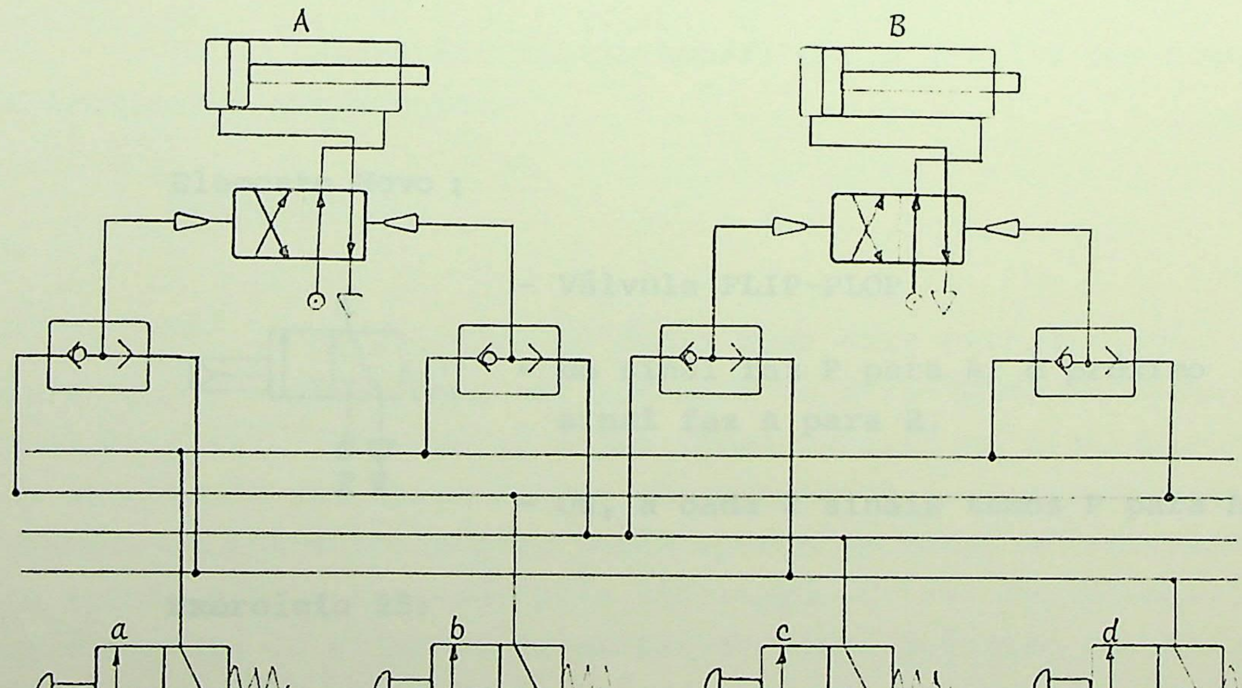
b) 1 m

c) 2 m

d) 3 m

Solução:

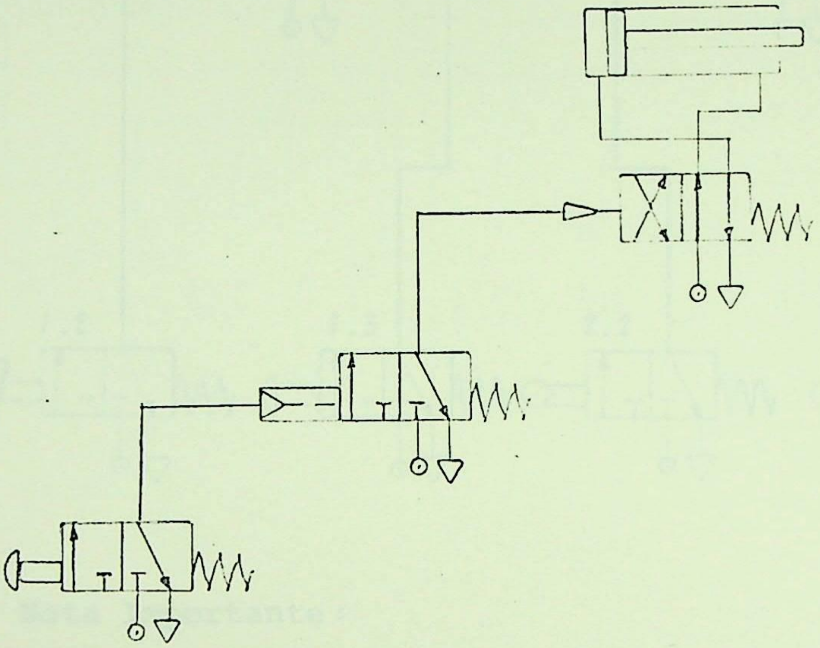
POSIÇÃO	A	B
a	recolhido	recolhido
b	avançado	recolhido
c	recolhido	avançado
d	avançado	avançado



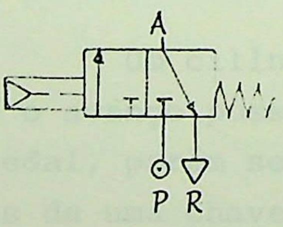
Exercício 24:

Resolver exercício 20 usando válvula FLIP-FLOP:

Solução:



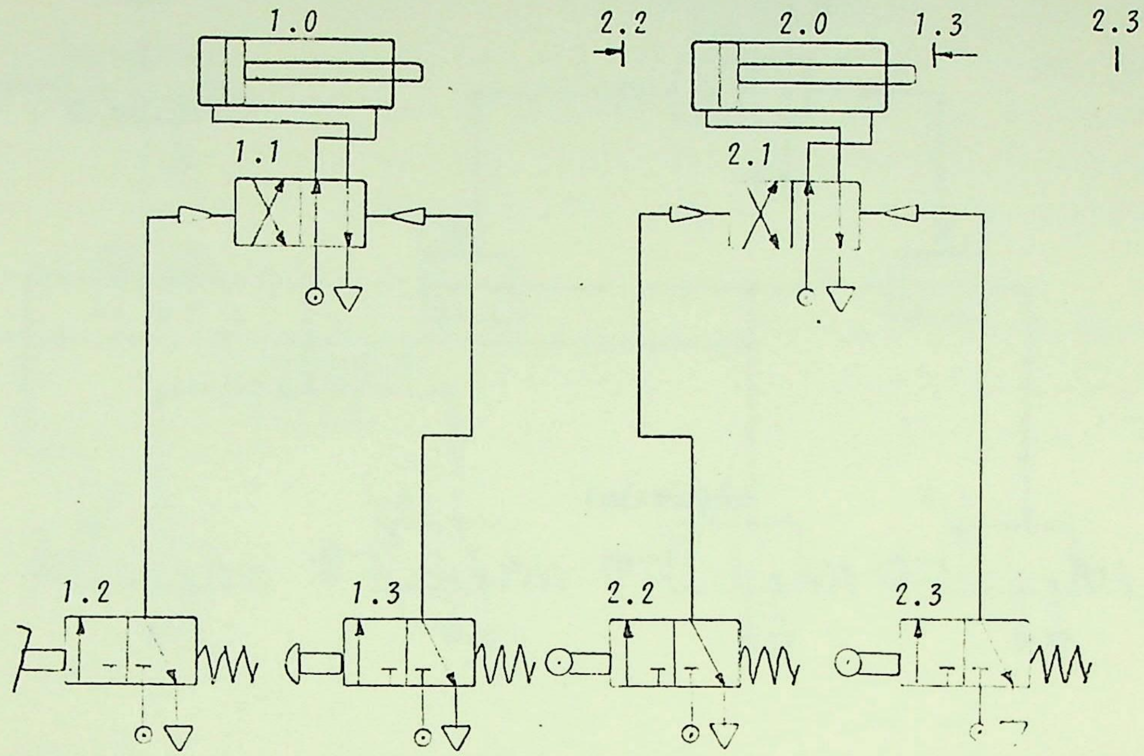
Elemento Novo ;



- Válvula FLIP-FLOP
- Um sinal faz P para A; o próximo sinal faz A para R.
- Ou, a cada 2 sinais temos P para A.

Exercício 25:

Um cilindro de dupla ação deve avançar. No final do curso de avanço, emitirá um sinal para o avanço de um segundo cilindro. Este, por sua vez, no final do avanço emitirá um sinal para o seu retorno. Quando estiver no final do retorno, emitirá um sinal para o retorno do primeiro cilindro.



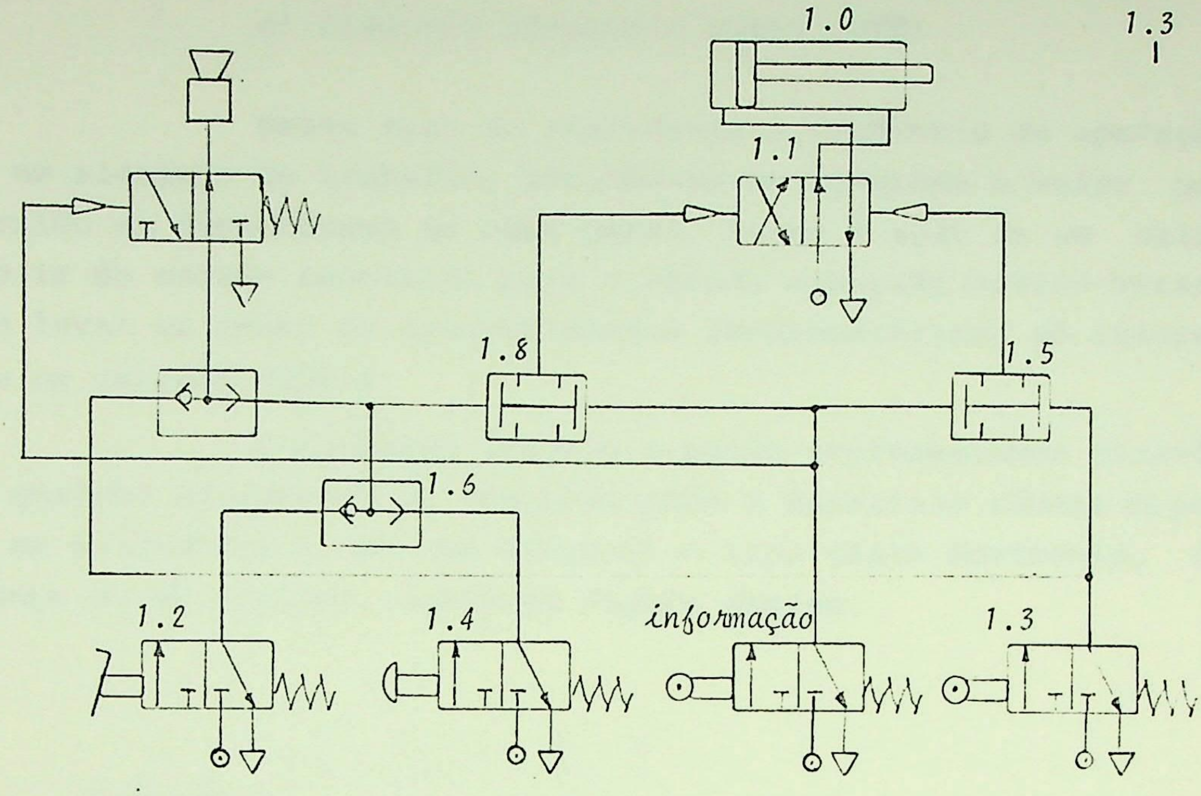
Nota Importante:

Sugestão: Tentar substituir o gatilho por rolete e analisar o que acontece.

Exercício 26:

Um cilindro de dupla ação deve ser comandado de meira que o avanço possa ser acionado ou através de um botão manual ou pedal, porém se ao mesmo tempo existir um sinal de retorno através de uma chave fim de curso adicional. O retorno deve efetuar-se automaticamente, porém apenas em caso da existência da informação de retorno. Se a informação de retorno não existir, os elementos de sinal devem emitir um sinal acústico no acionamento.

Solução:



3.2.4 - Diagramas de funcionamento

Nos exercícios que resolvemos até aqui, o enunciado era feito descrevendo os movimentos, sendo que para circuitos pequenos podemos acompanhar a descrição, mas quando o número de cilindros e movimentos aumenta, torna-se difícil. Portanto, uma outra forma de "ler" e rapidamente "saber" o que acontece em todos os instantes de uma operação completa, pode ser feito através do diagrama de funcionamento.

O diagrama de funcionamento é composto do (I) diagrama de movimento e do (II) diagrama de comando.

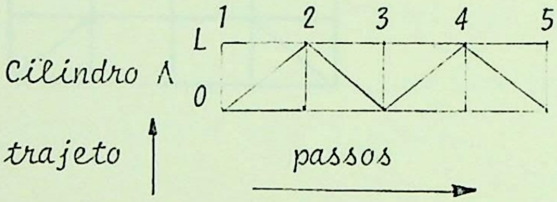
(I) Diagrama de movimento :

O diagrama de movimento pode ser feito pelo diagrama trajeto e passo ou trajeto e tempo.

a) Diagrama Trajeto e Passo (DTP)

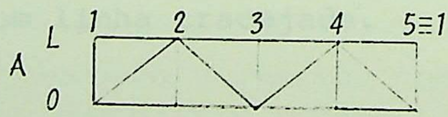
Neste caso se representa a seqüência de operação de um elemento de trabalho, levando-se ao diagrama o valor percorrido em dependência de cada passo. Passo é ação de um cilindro ir do estado recolhido para o estado avançado ou vice-versa, sem levar em conta os acontecimentos intermediários; só interessam os estados finais.

O diagrama trajeto e passo representamos através de quadros adjacentes da esquerda para a direita; o número de passo em movimentos, e com uma diagonal o tipo deste movimento, de avanço ou de retorno, conforme figura abaixo.



Desta forma no primeiro quadro temos avanço, no segundo retorno, no terceiro avanço e no quarto retorno.

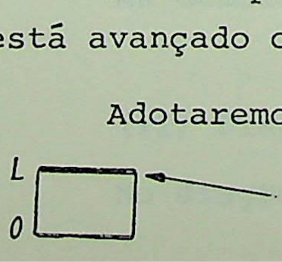
Cada passo é também numerado, como abaixo.



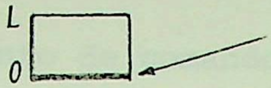
O último número coincidente com o número 1 significa que o próximo passo será igual ao primeiro.

Se num passo não houver diagonal significa que o cilindro está avançado ou recolhido.

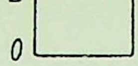
Adotaremos:



cilindro avançado

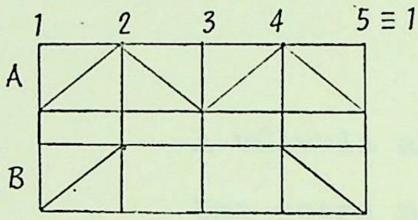


- cilindro recolhido

A ou 1.0 

- designação do cilindro à esquerda do diagrama

Quando tivermos mais de um cilindro (dois ou mais) desenhamos outros diagramas embaixo para formar o diagrama completo, como na figura abaixo.

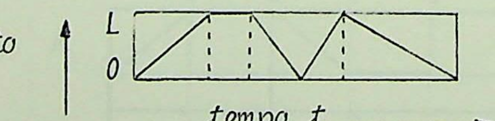


CICLO

Quando após o último passo, de cada elemento houver coincidência com o primeiro passo temos um ciclo de trabalho.

b) Diagrama Trajeto e Tempo (DTT)

Neste diagrama o tempo é representado em escala, e o trajeto com linha tracejada.

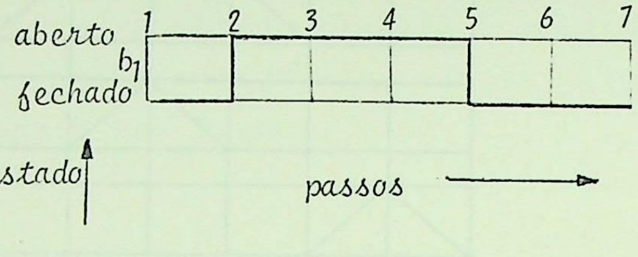


As demais notações são como no Diagrama Trajeto e Passo.

(II) Diagrama de comando

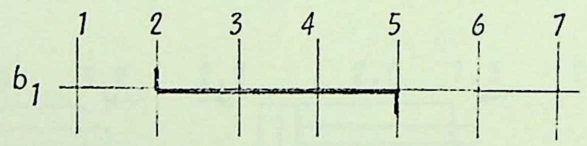
No diagrama de comando, o estado de comutação de um elemento de comando e representado em dependência dos passos ou dos tempos, o tempo de comutação não é levado em conta, mas às vezes é bom representar um pouco antes do fim do passo ou início.

Por exemplo



A válvula abre no passo 2 e fecha no passo 5.

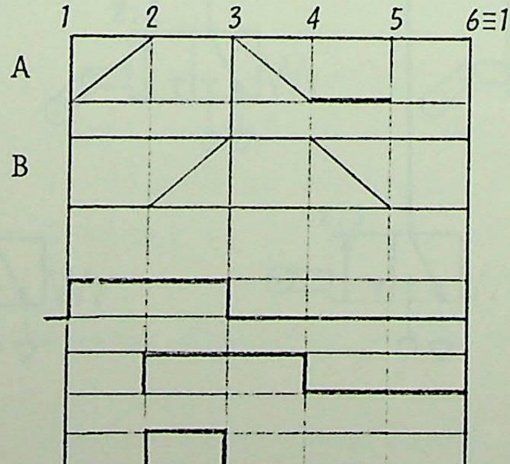
Uma outra maneira de representar é desenhar o diagrama apenas sobre uma linha:



Recomenda-se desenhar o diagrama de comando junto com o diagrama de movimento.

Diagrama de Funcionamento

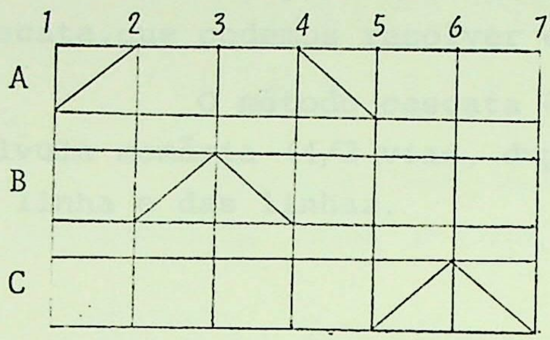
O diagrama de funcionamento será o conjunto dos diagramas de movimento e comando como mostrado abaixo:



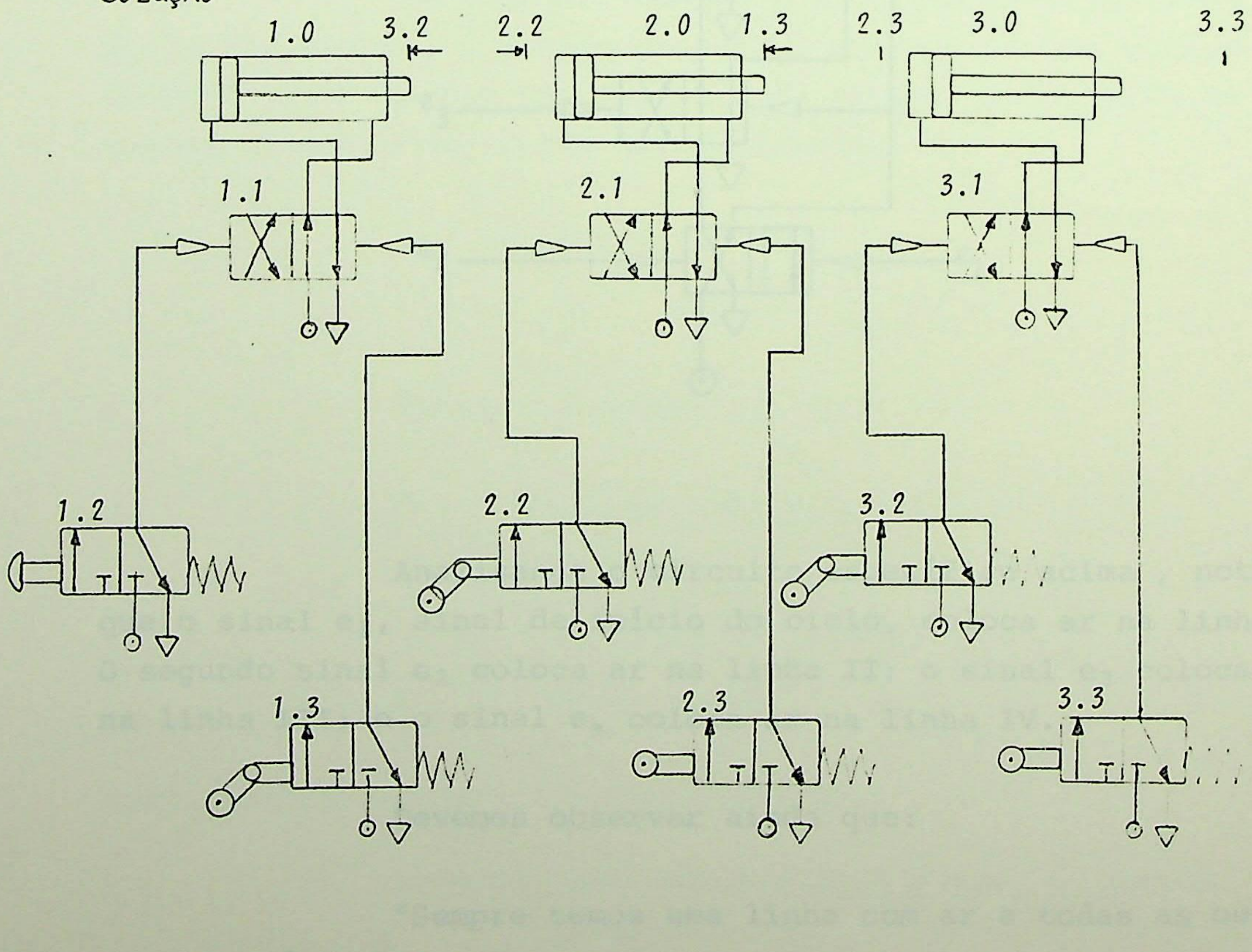
3.2.5 - Exercícios programados

Exercício 27:

Resolver o diagrama trajeto e passo abaixo



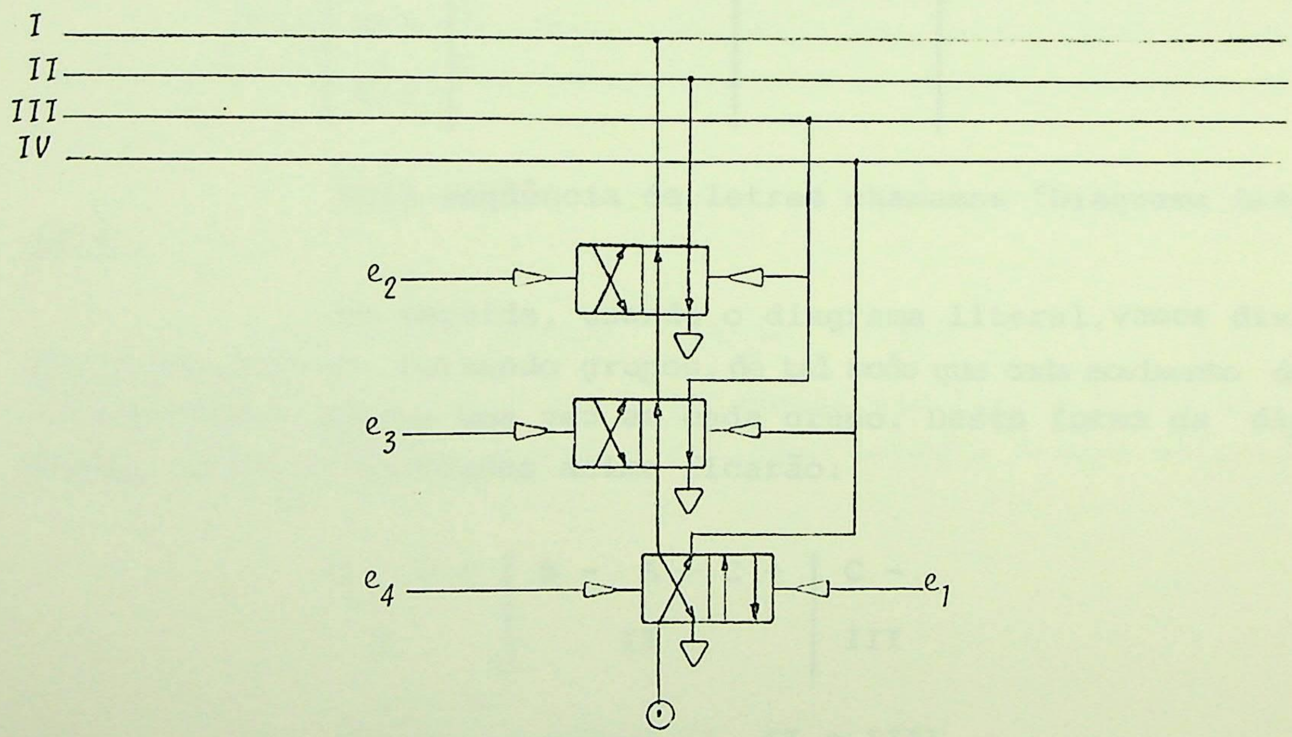
Solução:



3.2.6 - Método cascata

Os circuitos resolvidos até aqui foram feitos praticamente por "tentativa". Mas, quando existem muitos cilindros e muitos passos, estes poderão ficar complicados e não é muito econômico resolver os problemas desta forma. E, é através do método cascata, que podemos resolver esses problemas.

O método cascata é realizado basicamente através da válvula memória (4/2 vias, duplo piloto) dos sinais de mudança de linha e das linhas.



Analisando o circuito específico acima, notamos que o sinal e_1, sinal de início do ciclo, coloca ar na linha I. O segundo sinal e_2 coloca ar na linha II; o sinal e_3 coloca ar na linha III; e o sinal e_4 coloca ar na linha IV.

Devemos observar ainda que:

"Sempre temos uma linha com ar e todas as outras no escape".

Como aplicar o Método Cascata ?

Analisando o diagrama de movimentos no DTP estabelecemos a seqüência de acionamento dos elementos de trabalho, escrevendo a letra correspondente a cada elemento acompanhado do sinal + para avanço e - para retorno, como, por exemplo:

A + B + | B - A - C + | C - (Exercício 27)

Caso haja dois movimentos num mesmo passo escrevemos uma letra em baixo da outra, como por exemplo:

A +	B +	B - D + A +	D - A -
C -	A -		
	C +		

Esta seqüência de letras chamamos "Diagrama Literal".

Em seguida, usando o diagrama literal, vamos dividi-lo com barras, formando grupos, de tal modo que cada movimento de cilindro ocorra apenas uma vez em cada grupo. Desta forma os diagramas literais mostrados acima ficarão:

A + B +	B - A - C +	C -
I	II	III

Teremos 3 grupos (I, II e III)

e,

A +	B +	B - D + A +	D - A -
C -	A -		
	C +		
I	II	III	IV

onde teremos 4 grupos (I, II, III e IV).

Continuando, agora, com o número de grupos tere mos igual número de linha. Sendo assim, teremos:

3 grupos - I, II e III - 3 linhas

4 grupos - I, II, III e IV - 4 linhas

Estabelecido o número de linhas, o número de válvulas 4/2 vias, duplo piloto, será igual ao número de linhas menos um, ou seja:

3 linhas - 2 válvulas memória (4/2 vias, duplo piloto)

4 linhas - 3 válvulas memória (4/2 vias, duplo piloto)

Devemos notar, portanto, que ar na linha I fará os movimentos de acordo com as literais do grupo, e assim por diante.

Finalmente, teremos ainda que observar as seguintes exigências:

a) nunca usar gatilho - sempre rolete.

b) fins de curso são alimentados das linhas e não da rede, exceto quando o cilindro subir e descer mais de uma vez no ciclo.

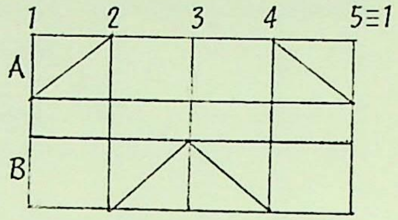
RESUMO

1) Analisar DTP
2) Escrever diagrama literal
3) Separar os grupos com barras
4) Numerar grupos
5) Número de linhas igual ao número de grupos
6) Número de memórias igual ao número de linhas menos um.

3.2.7 - Exercícios Programados

Exercício 28:

Resolver ,usando o Método Cascata ,o seguinte DTP.

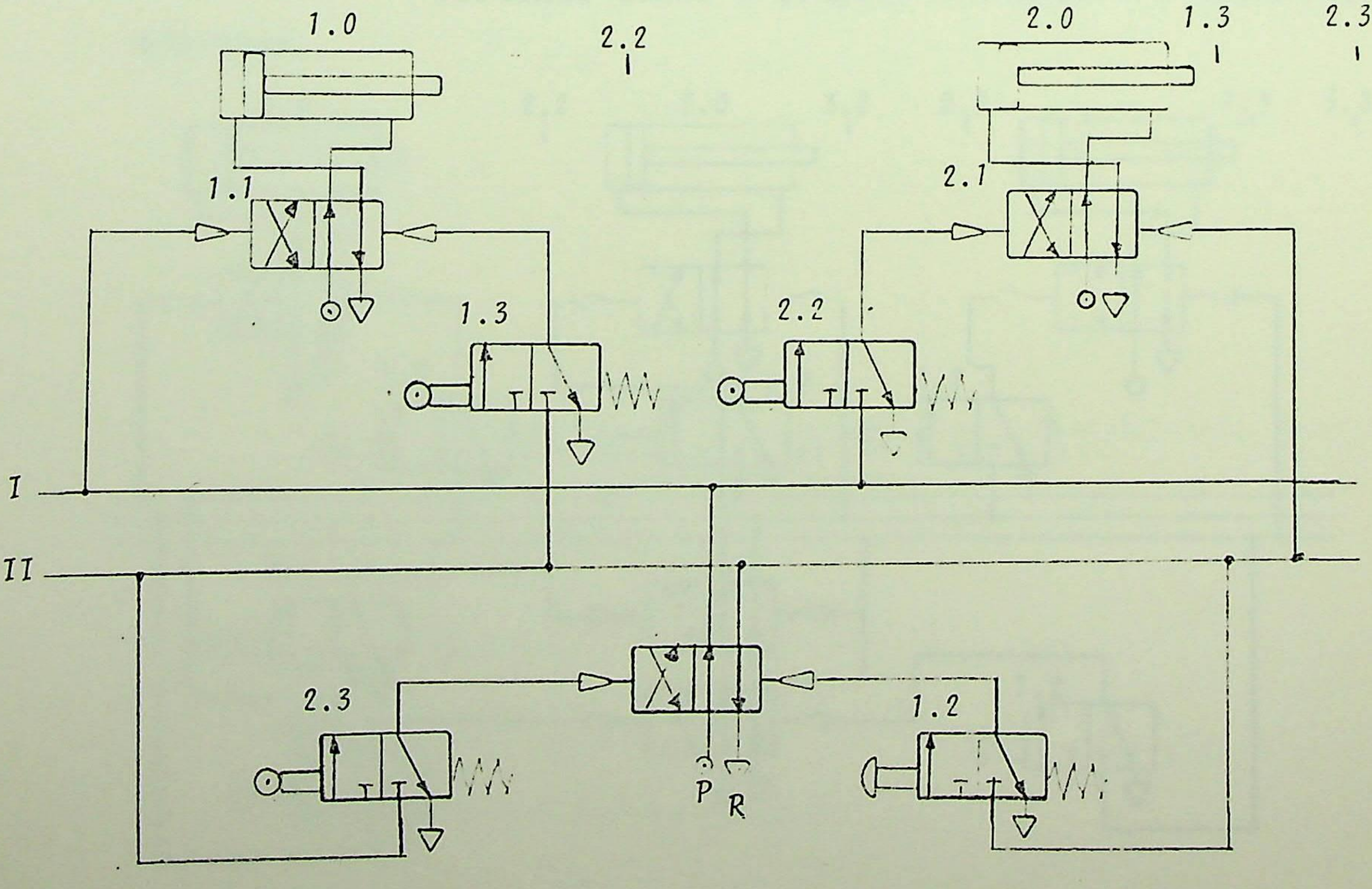


Solução:

O diagrama literal será:

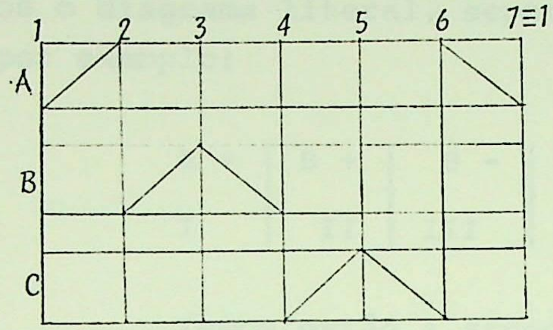
A + B +	B - A -
I	II

Portanto temos 2 grupos, 2 linhas e 1 válvula 4/2 vias.



Exercício 29:

Resolver o DTP abaixo pelo Método Cascata.

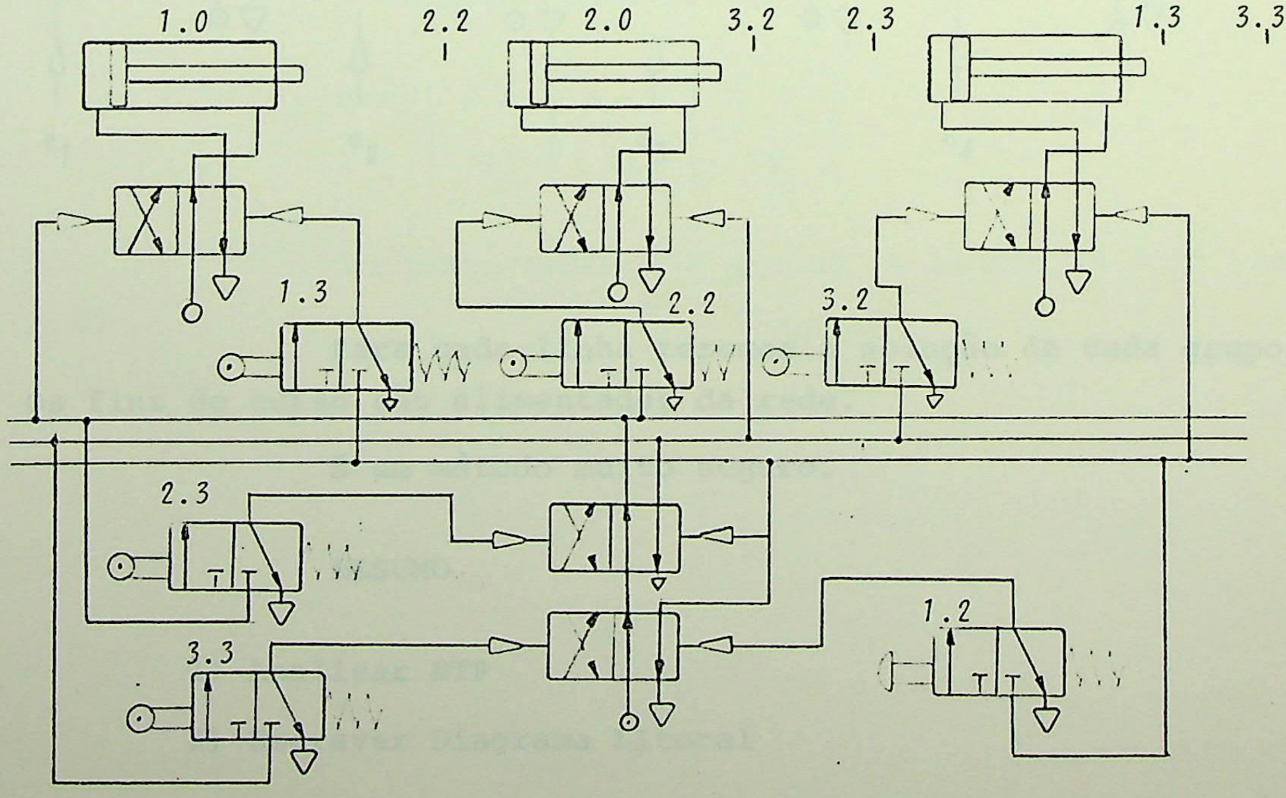


Solução:

O diagrama literal será:

A + B +	B - C +	C - A -
I	II	III

Portanto temos 3 grupos, 3 linhas e 2 válvulas 4/2 vias.

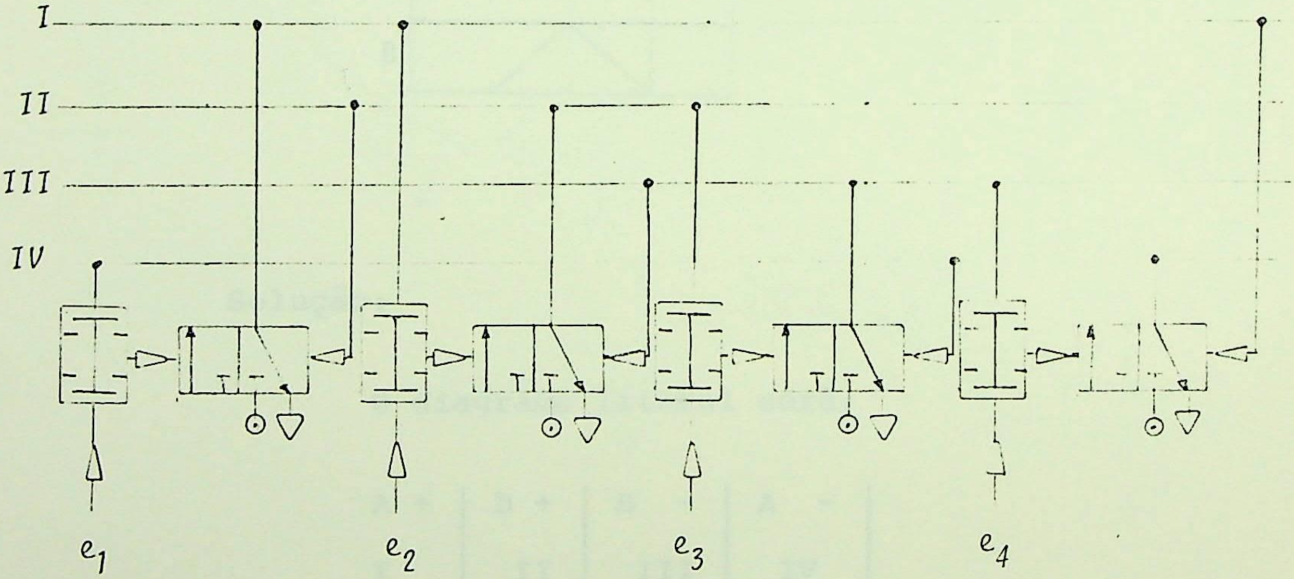


3.2.8 - Método Passo a Passo

O método Passo a Passo, como o próprio nome diz, é realizado passo por passo. Desta forma, analisando o DTP, escrevemos o diagrama literal, separando em grupos a cada passo, como, por exemplo:

A +	B +	B -	A -
I	II	III	IV

Temos, então, 4 grupos. E, a cada grupo corresponde uma linha, a qual será comutada por 4 conjuntos de uma válvula 3/2 vias NF e, uma válvula E, ligadas como abaixo:



Para cada linha teremos a solução de cada grupo. Os fins de curso são alimentados da rede.

É um método muito seguro.

RESUMO

1) Analisar DTP

2) Escrever Diagrama Literal

3) Formar os grupos

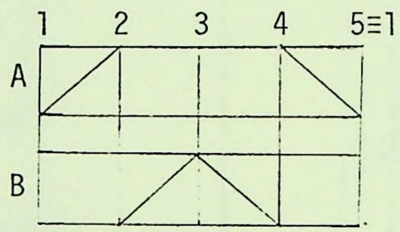
4) Número de grupos igual a número de linhas

5) Número de linhas igual ao número de válvulas 3/2 vias, duplo piloto + válvula E.

3.2.9 - Exercícios Programados

Exercício 30:

Resolver o DTP abaixo pelo Método Passo a Passo

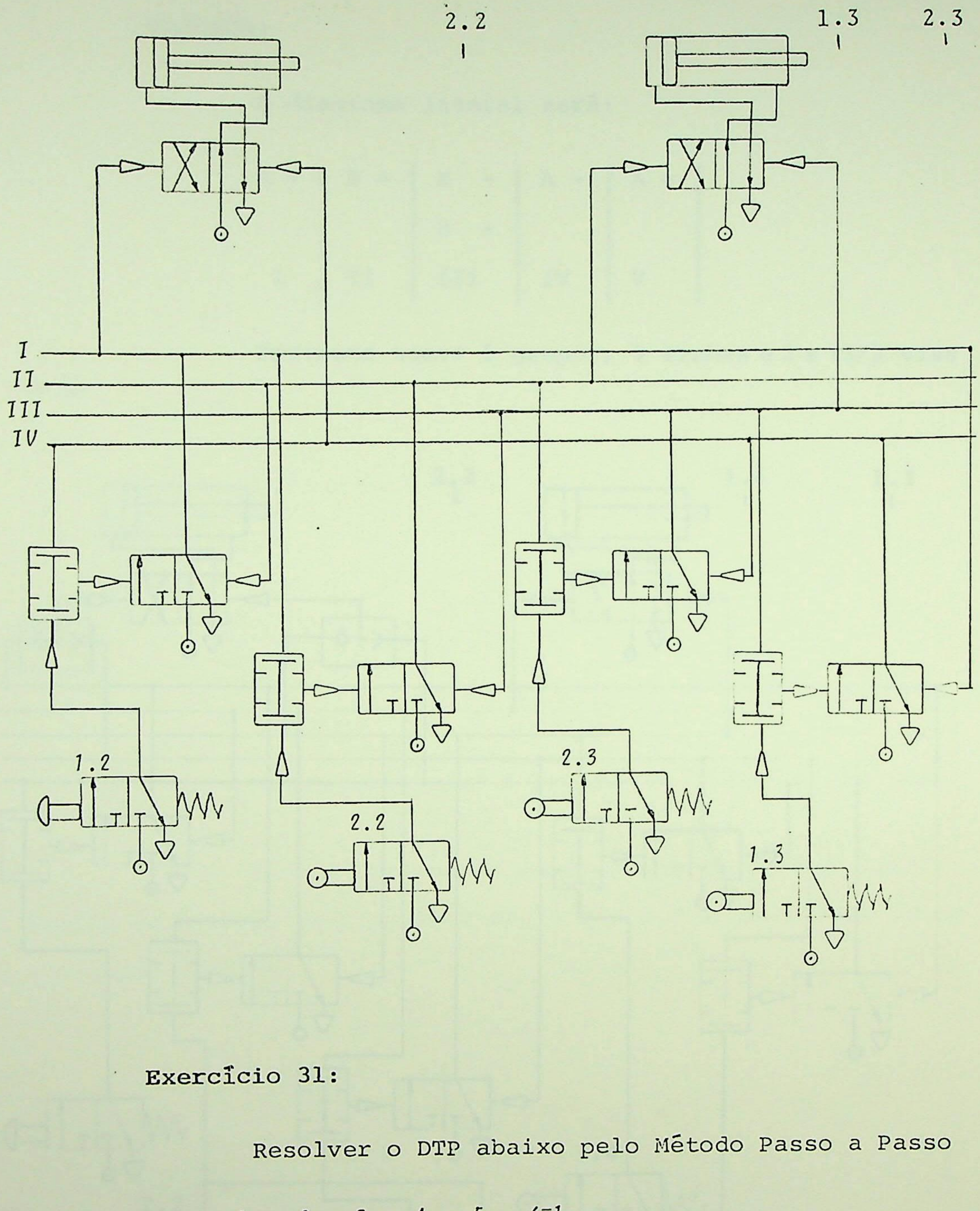


Solução:

O diagrama literal será:

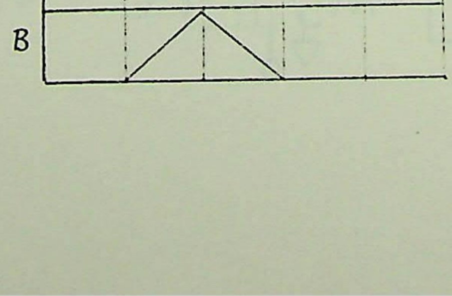
A +	B +	B -	A -
I	II	III	IV

Portanto teremos 4 grupos, 4 linhas, 4 (3/2 vias + E)



Exercício 31:

Resolver o DTP abaixo pelo Método Passo a Passo

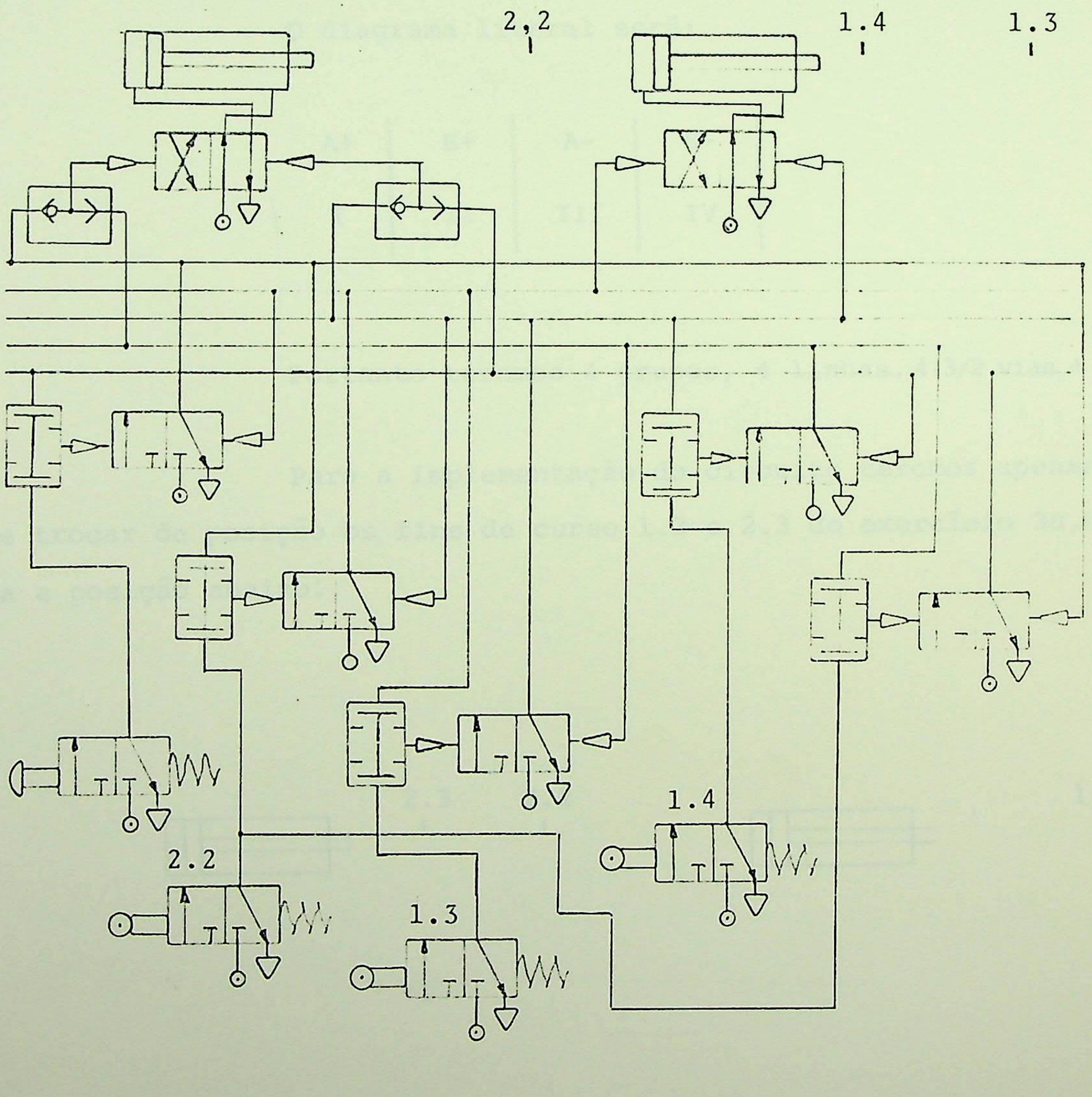


Solução:

O diagrama literal será:

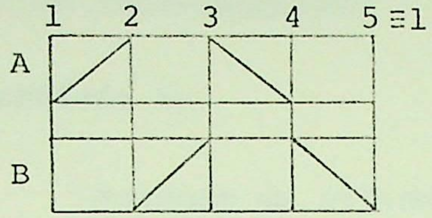
A +	B +	A -	A +	A -
		B -		
I	II	III	IV	V

Portanto temos 5 grupos, 5 linhas e 5 x (3/2 vias + E)



Exercício 32:

Resolver o DTP abaixo pelo Método Passo a Passo



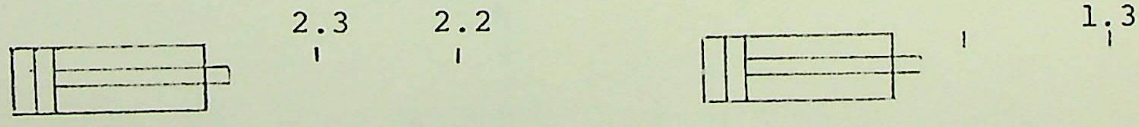
Solução:

O diagrama literal será:

A+	B+	A-	B-
I	II	III	IV

Portanto teremos 4 grupos, 4 linhas, 4(3/2 vias + E).

Para a implementação do circuito teremos apenas de trocar de posição os fins de curso 1.3 e 2.3 do exercício 30, para a posição abaixo:



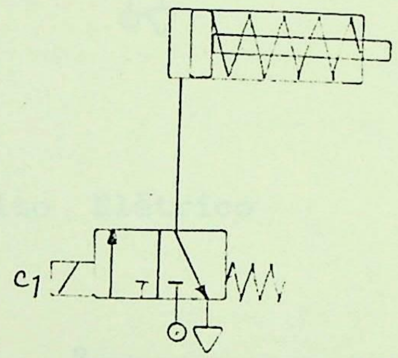
3.3 - Circuitos eletropneumáticos programados

Apresentamos uma seqüência de exercícios para a compreensão do funcionamento.

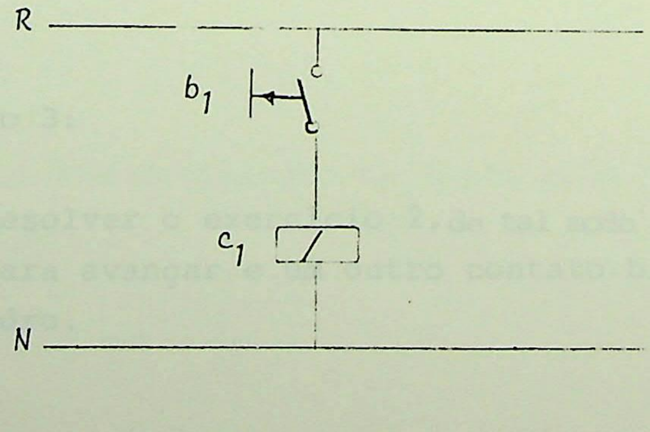
Exercício 1:

Acionar um cilindro de simples ação através de uma válvula solenóide 3/2, N.F., RM.

Solução:



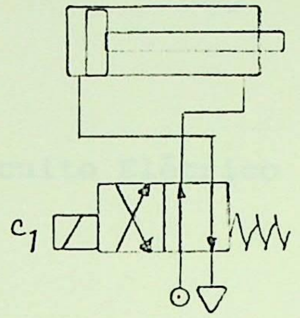
Circuito Elétrico



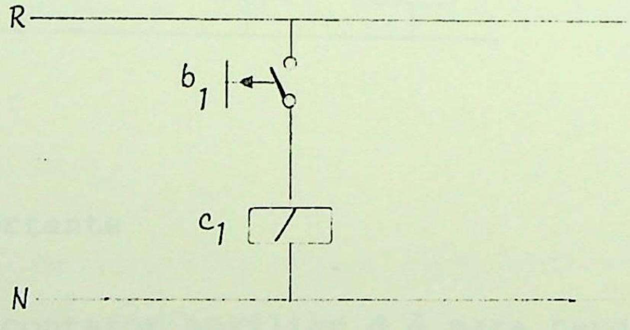
Exercício 2:

Acionar um cilindro de dupla ação através de uma válvula 4/2 vias, RM.

Solução:



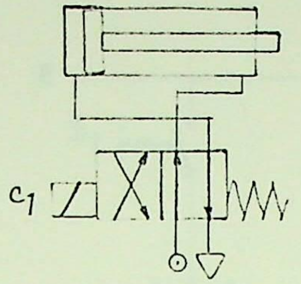
Circuito Elétrico



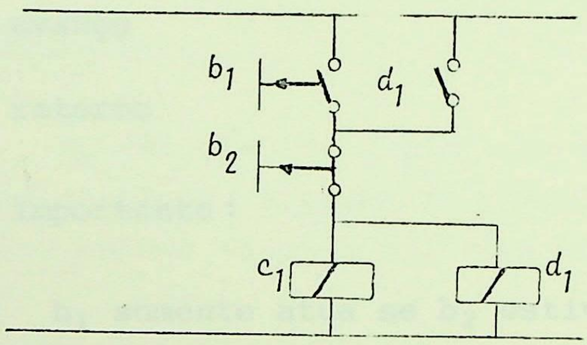
Exercício 3:

Resolver o exercício 2, de tal modo que um contato elétrico b_1 liga, para avançar e um outro contato b_2 desliga, para retornar o cilindro.

Solução:



Circuito Elétrico



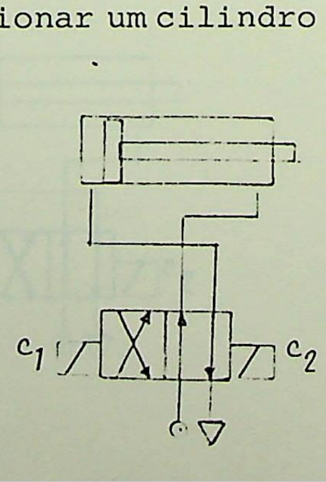
Nota Importante

O contator auxiliar d é para haver o comando com retenção.

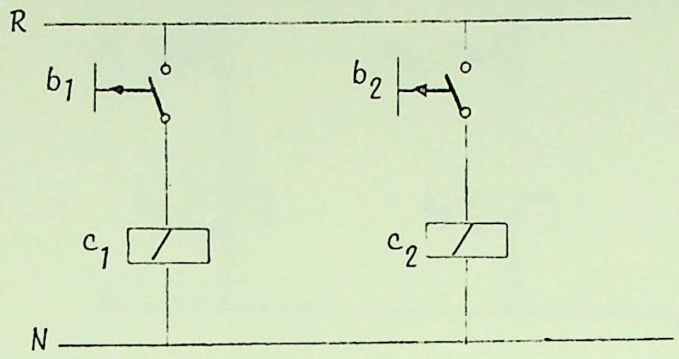
Exercício 4:

Acionar um cilindro de dupla ação com 4/2 vias, duplo solenóide.

Solução:



Circuito Elétrico



b_1 - avanço

b_2 - retorno

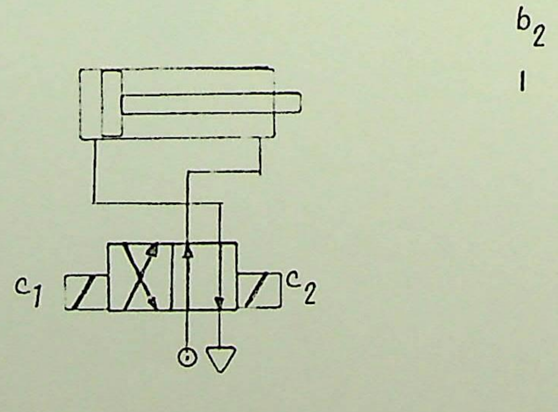
Nota Importante:

b_1 somente atua se b_2 estiver desligado e vice-versa.

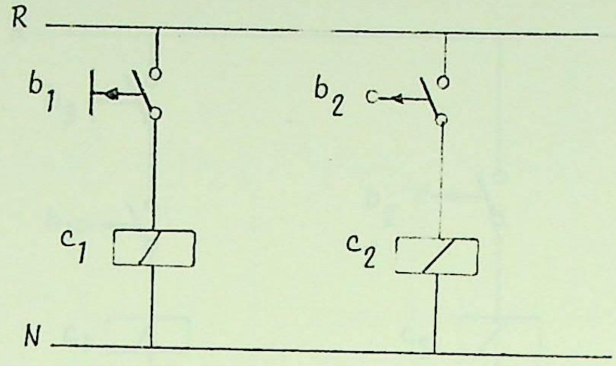
Exercício 5:

Um cilindro de dupla ação deve ser acionado por uma válvula 4/2 vias, duplo solenóide de tal modo que avança com um botão elétrico manual e retorna automaticamente no término do avanço.

Solução:



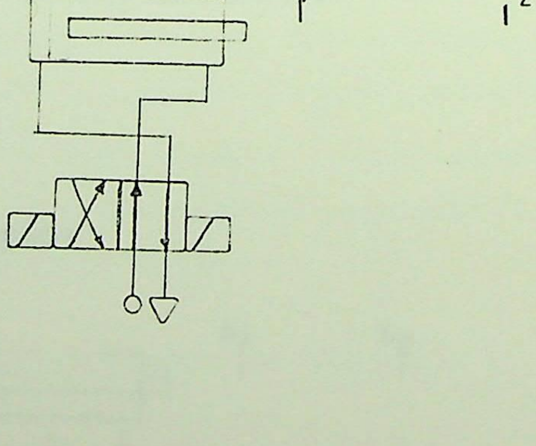
Circuito Elétrico



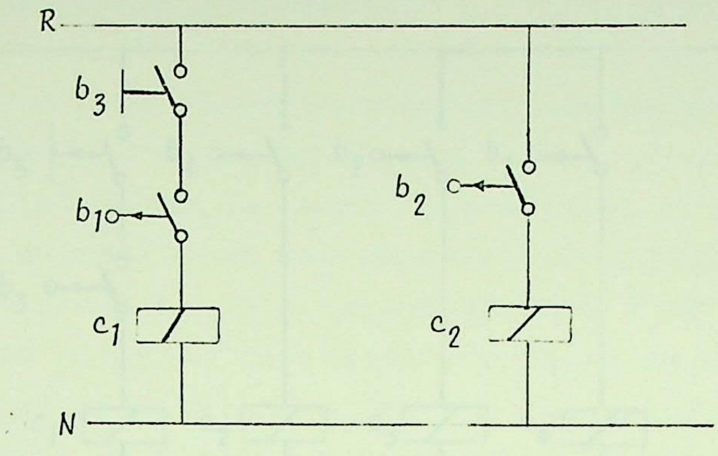
Exercício 6:

Um cilindro de dupla ação deve executar movimento oscilatório contínuo, e parar recolhido de um sinal de uma chave elétrica, usando válvula 4/2 vias duplo solenóide.

Solução:

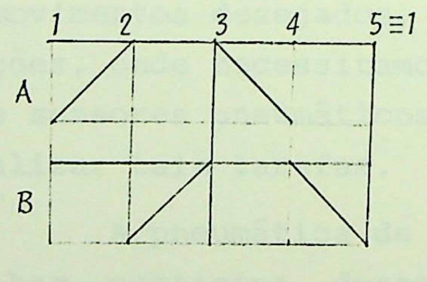


Circuito Elétrico

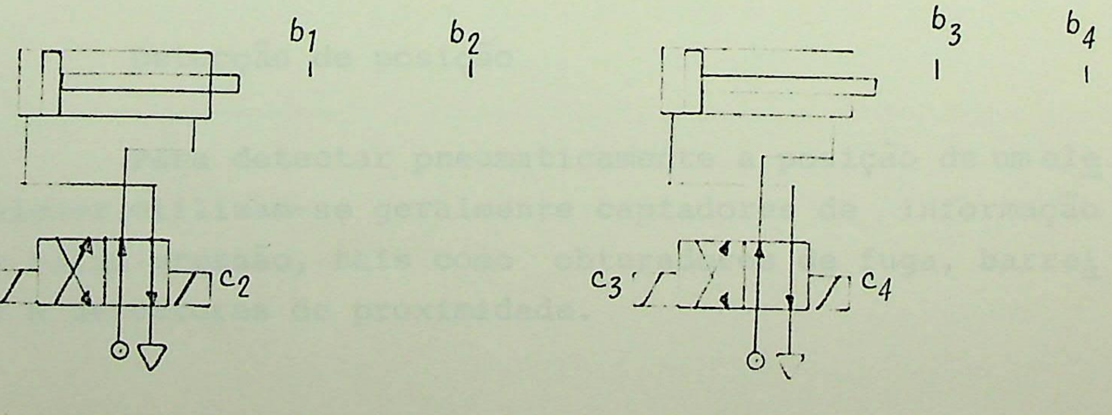


Exercício 7:

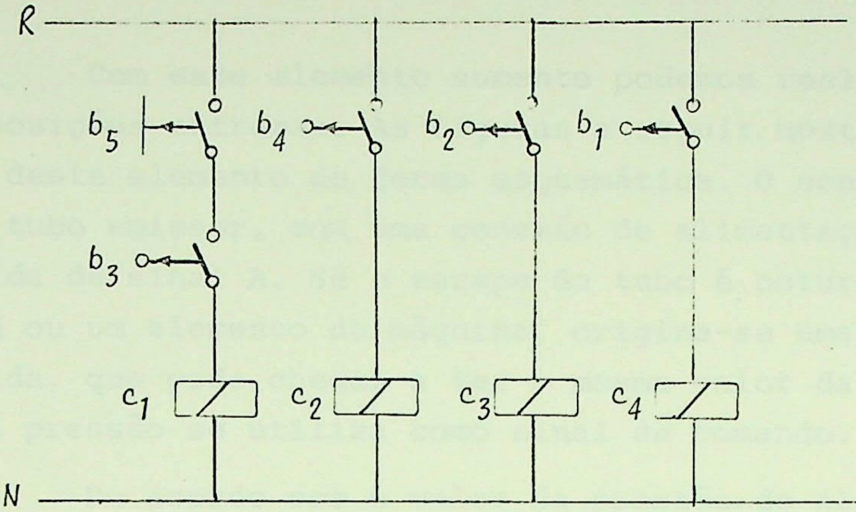
Resolver o DTP abaixo, com cilindros de dupla ação e válvulas 4/2 vias duplo solenóides:



Solução:



Circuito Elétrico



3.4 - Pneumática de Baixa Pressão

A automatização pneumática realiza praticamente todos os movimentos desejados, como visto, até certo limite.Existem situações, onde necessitamos de sinais pneumáticos provenientes de sensores pneumáticos; e,se assim não fosse, não poderíamos realizar tais tarefas.

A pneumática de baixa pressão, com valores entre 0,1 e 0,2 bar, participa, desta forma, nestas situações de maiores exigências na automatização, através de comando sem contato.

Por exemplo, obter sinais para contagem de peças de vidro seria praticamente impossível, numa esteira, sem a pneumática de baixa pressão.

Detecção de posição

Para detectar pneumaticamente a posição de um elemento qualquer,utilizam-se geralmente captadores de informação de alta e baixa pressão, tais como obturadores de fuga, barreiras de ar e detectores de proximidade.

3.4.1 - Elementos pneumáticos de baixa pressão

A) Sensor de barreira

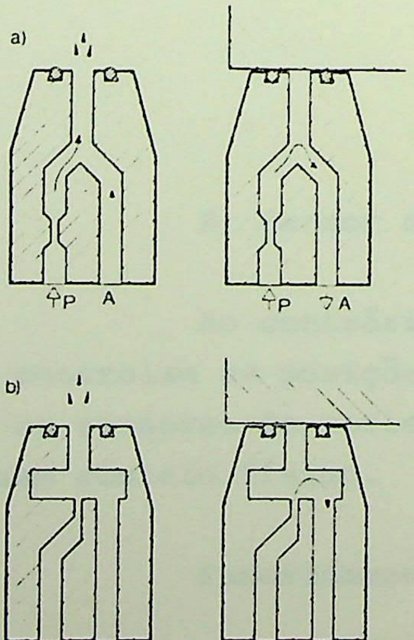
Com este elemento somente podemos realizar a detecção de posições extremas. As figuras a seguir mostram o funcionamento deste elemento de forma esquemática. O sensor de barreira é um tubo emissor, com uma conexão de alimentação P e um duto de saída de sinal A. Se o escape do tubo é obturado mediante uma peça ou um elemento da máquina, origina-se uma pressão no duto de saída, que pode chegar a ter o mesmo valor da alimentação P. Esta pressão se utiliza como sinal de comando.

De acordo com o valor da pressão de alimentação, que pode chegar até 8 bar aproximadamente, o sinal será obtido diretamente ou amplifica -se através de um elemento adequado.

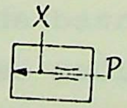
Funcionamento

No tipo A verifica-se uma subpressão no canal de sinal A, devido à disposição mútua dos canais até que apareça um objeto sobre o orifício de saída e impede o escape livre de ar, quando, então, o valor da pressão do sinal.

No tipo B o funcionamento é semelhante, porém não há subpressão.



Símbolo

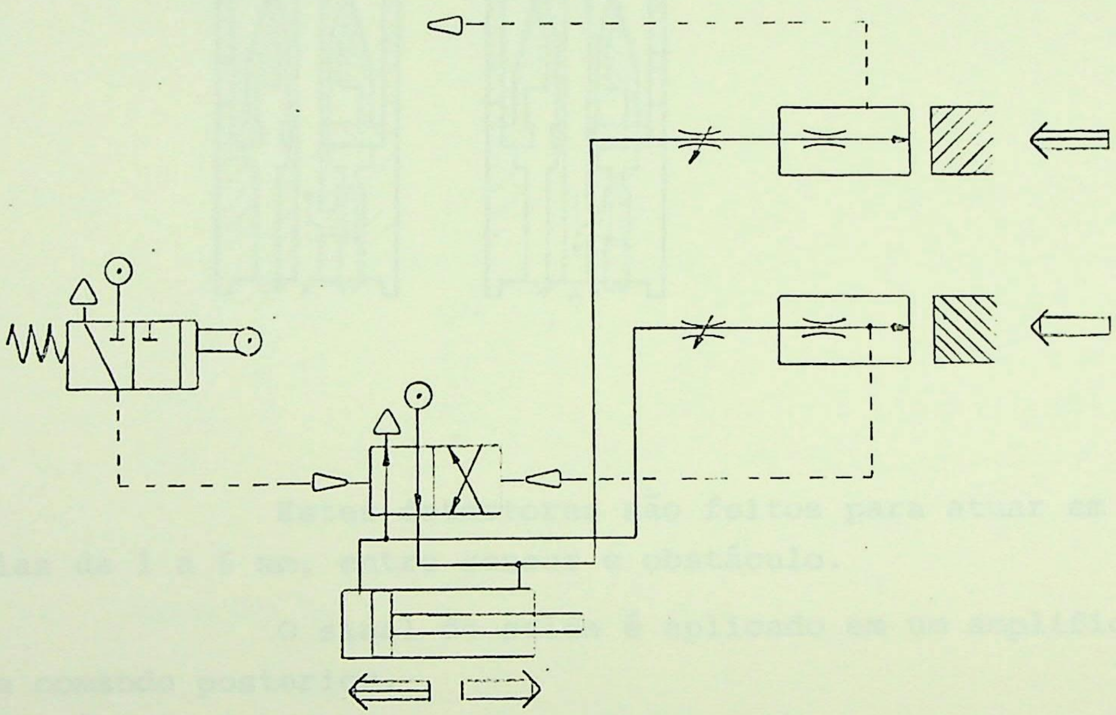


Pressão do sinal em função da pressão de alimentação e da distância a detectar.

Este gráfico é apresentado a seguir.

Exemplo:

Avanço e retorno de um cabeçote de uma fresa com detecção nos finais de curso.

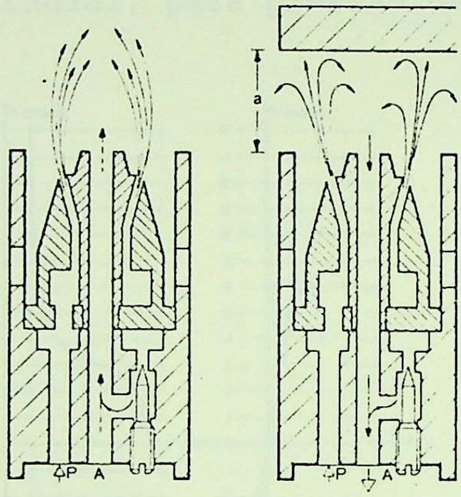


B) Sensor de reflexão ou proximidade

Ao contrário dos sensores de barreira, que geralmente controlam as posições finais de curso mediante contato físico, os sensores de reflexão são utilizados para obtermos sinais sem contato físico.

Funcionamento

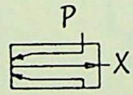
Concentricamente ao redor do bocal receptor exis te um bocal anular como emissor. O fluxo de ar que escapa produz uma subpressão no bocal receptor, aspirando também para o exterior o ar que flui através de um estrangulamento. Assim que o fluxo é perturbado, por exemplo, através de um objeto, constitui-se sobrepressão no bocal receptor, como mostrados nas figuras abaixo.



Estes detectores são feitos para atuar em distâncias de 1 a 6 mm, entre sensor e obstáculo.

O sinal de saída é aplicado em um amplificador para comando posterior.

Símbolo



Aplicação

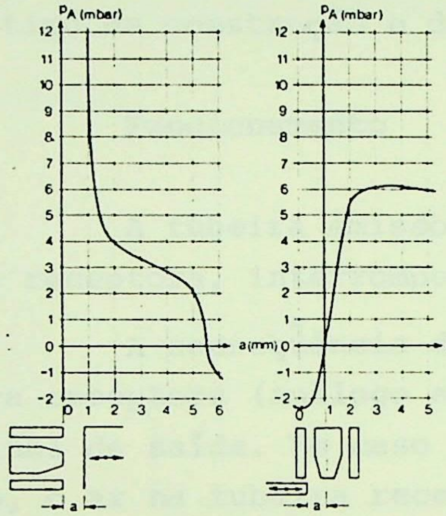
O sensor de reflexão é aplicado, por exemplo, em: dispositivos de controle, em ferramentas de prensas, brocas de furadeiras, contagem de peças, indústria têxtil, indústria de embalagens.

Vantagem

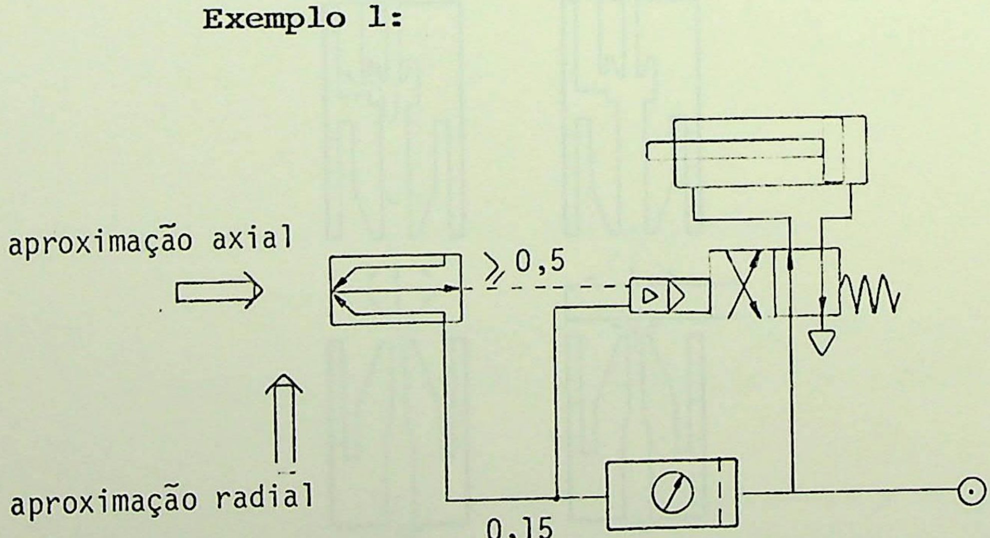
Utilizado em lugar poluído por sujeira, ondas sonoras. Perigo de explosão, escuridão, corpos transparentes não influenciam o sensor.

Gráfico pressão de saída x distância de aproximação

Este gráfico é apresentado abaixo para aproximação axial e radial, para pressão de alimentação de 150 (mbar).



Exemplo 1:



c) Barreira de ar

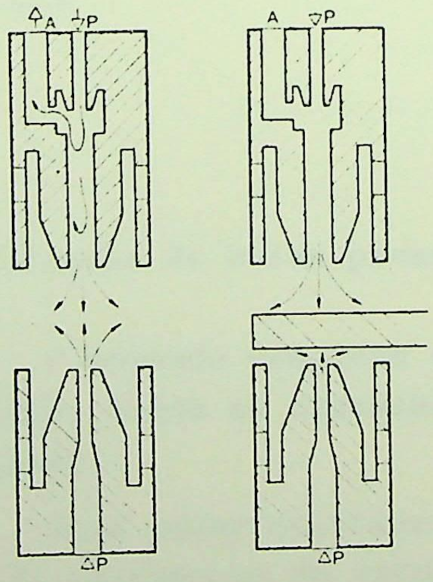
Uma barreira de ar consiste essencialmente de uma tubeira emissora e uma tubeira receptora. Tanto uma como a outra se alimentam com ar comprimido através de P. A pressão de alimentação máxima do emissor pode chegar até 4 |-bar| e o receptor até 500 |mbar|. A pressão normal de trabalho é de 150 |mbar|. Para um correto funcionamento é muito importante o alinhamento axial das tubeiras. A distância máxima entre estas depende do tipo de construção e da pressão.

Funcionamento

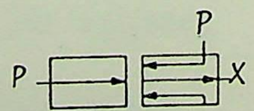
A tubeira emissora emite um jato livre de ar até à tubeira receptora, interrompendo a saída de ar desta.

A conseqüência da interrupção é uma turbulência na tubeira receptora (análogo ao sensor de proximidade) obtendo-se um sinal de saída. No caso de jato livre ser interrompido por um objeto, o ar na tubeira receptora poderá sair livremente desaparecendo o efeito de turbulência, com sinal de saída zero.

As figuras abaixo ilustram o funcionamento



Simbologia



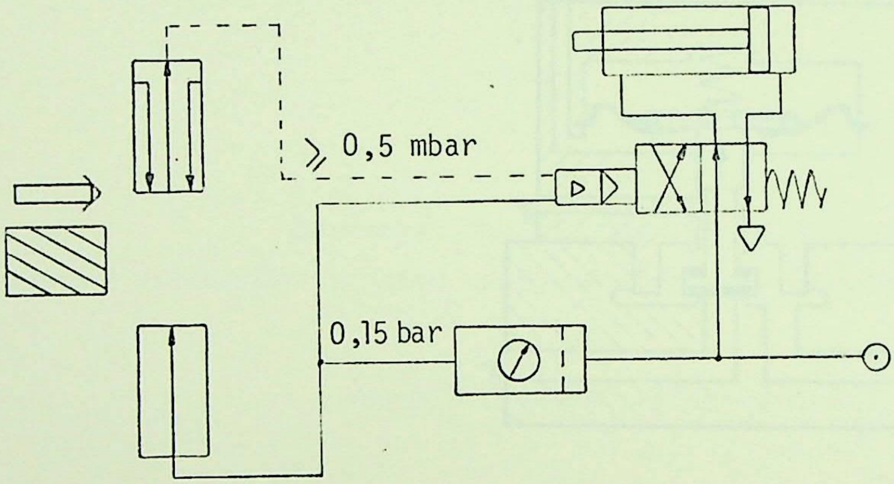
Funcionamento

Aplicado em circuitos para contagem, máquina de empacotar, controle, etc.

Vantagem

Uso em ambientes inflamáveis e com perigo de explosão, em peças transparentes, etc.

Exemplo:



3.4.2 - Amplificador de baixa pressão

O comando complexo se realiza preferencialmente em baixa pressão, donde se trabalha com níveis de sinais de 10.0 mbar e inferiores.

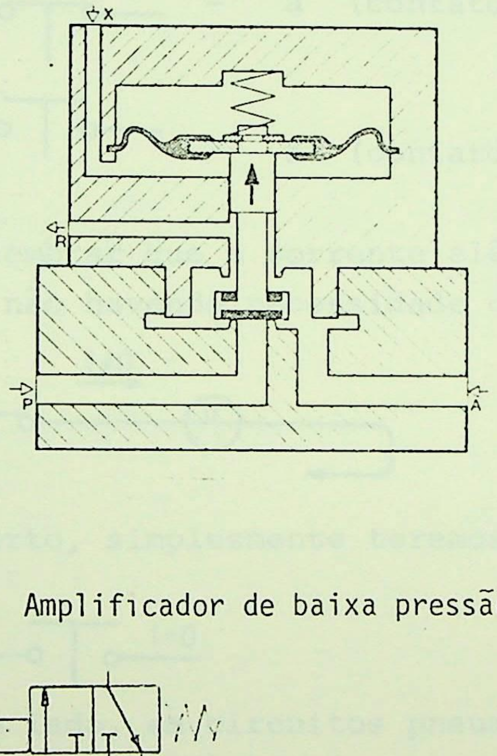
Para poder utilizar os sinais de baixa pressão (procedentes de captadores de informação) na pneumática de pressão normal (elementos de trabalho) deve-se utilizar um amplificador como elemento de enlace.

Funcionamento

Conforme figuras a seguir, com o cabeçote de co mando é transformado um sinal de baixa pressão em movimento mecânico. No amplificador encontra-se uma membrana ligada, através do êmbolo de comando, com o disco de vedação. Carregando a membrana com a pressão de comando, a sede de vedação da válvula é e a pressão maior de trabalho tem passagem livre.

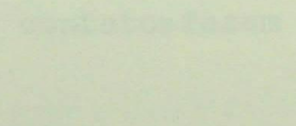
Quando há uma menor pressão de comando, por exemplo, 0, r mbar ou 10 mbar - são combinados dois amplificadores.

Na posição inicial, P está bloqueado e pode escapar para R. O sinal de entrada em x age sobre a grande superfície e sobre a mola. P obtém passagem para A, bloqueando R.



Amplificador de baixa pressão

Símbolo

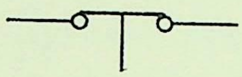


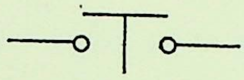
CAPÍTULO 4 - REPRESENTAÇÃO PNEUMÁTICA DAS VARIÁVEIS LÓGICAS

4.1 - Generalidades

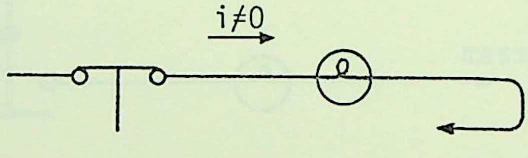
Para representarmos as variáveis lógicas de uma equação, utilizaremos os elementos pneumáticos correspondentes para cada situação.

Em eletricidade quando um contato é representado para se fazer equivalentes a um literal podemos fazê-lo:

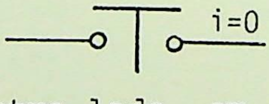

- $\bar{a}$ (contato N.F)


- a (contato N.A)

Devemos lembrar que a corrente elétrica flui sempre no circuito fechado não havendo necessidade do seu retorno, e



caso o circuito seja aberto, simplesmente teremos a sua interrupção.

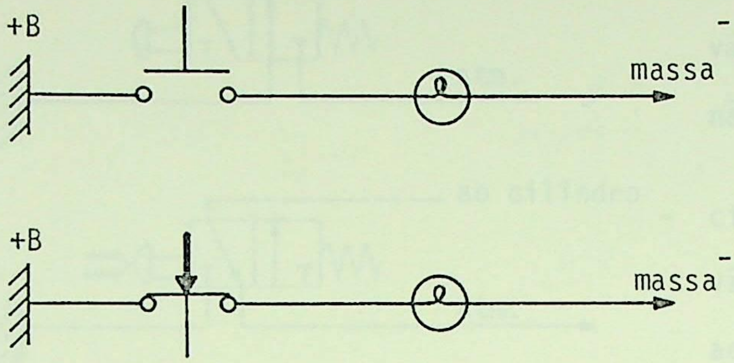


Por outro lado, em circuitos pneumáticos ao representarmos uma literal a devemos lembrar que o ar flui ao acionar um elemento de trabalho num sentido, acumula-se neste elemento, e depois, precisa retornar ao elemento de acionamento para completar o circuito.

Estes contatos fazem parte das seguintes situações físicas:

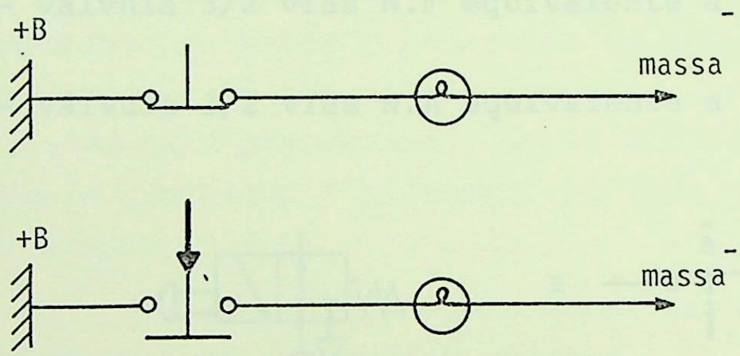
- *elétrica*

contato N.A



- lâmpada apagada contato aberto, não acionado.
- lâmpada acesa contato fechado, acionado.

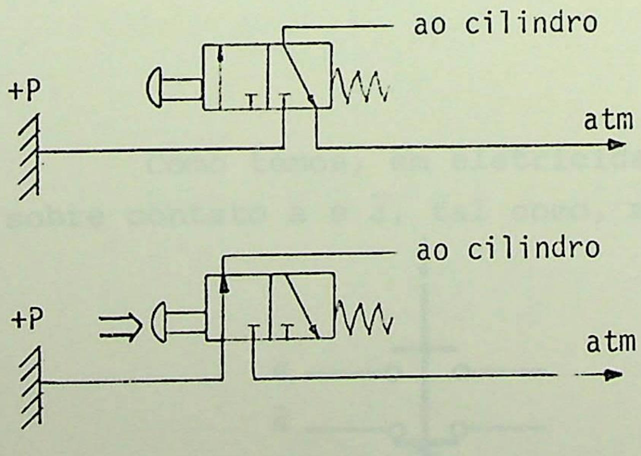
contato N.F



- lâmpada acesa contato fechado, não acionado.
- lâmpada apagada contato aberto, acionado.

- *pneumática*

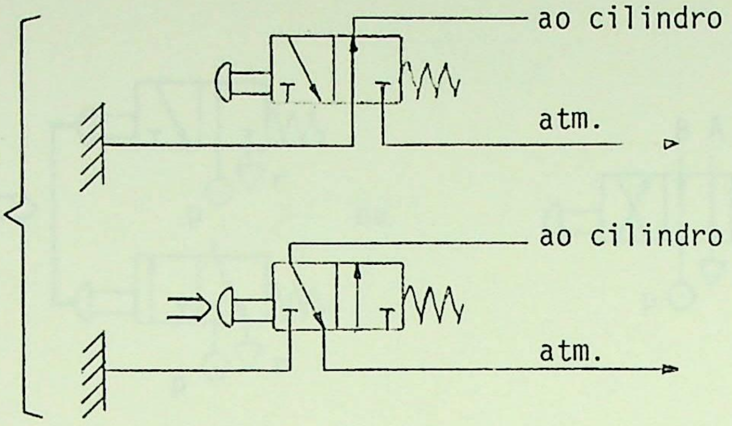
válvula N.F



- cilindro recolhido válvula fechada, não acionada.
- cilindro avançado válvula aberta, acionada.

válvula

N.A



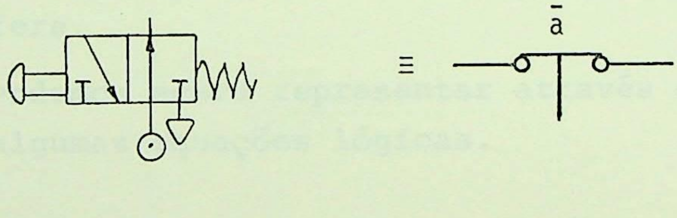
- cilindro avançado
válvula aberta,
não acionada.

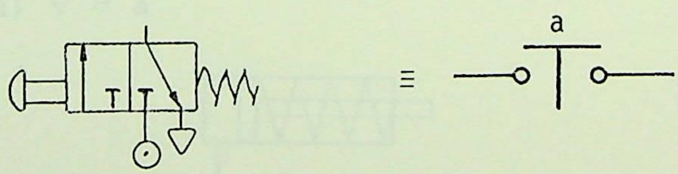
- cilindro recolhido
válvula fechada,
acionada.

Para representarmos, então, esta situação usamos u ma

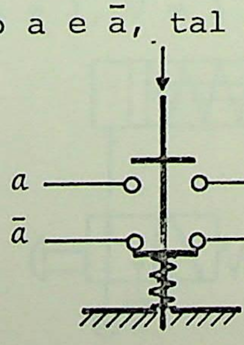
- Válvula 3/2 vias N.F equivalente a e,

- Válvula 3/2 vias N.A equivalente a ou

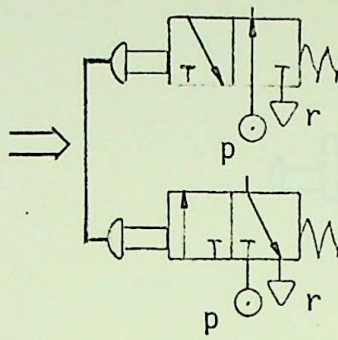




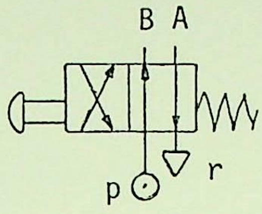
Como temos, em eletricidade, um mesmo acionamento atuando sobre contato a e ā, tal como, mostrado abaixo;



podemos, também, fazê-lo equivalente em pneumática



ou

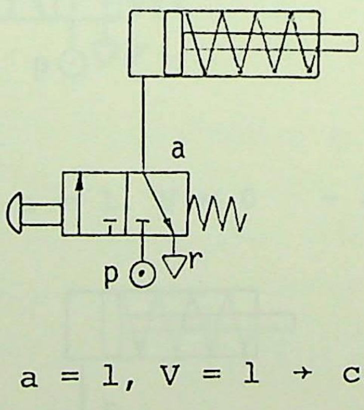


ou 5/2 vias

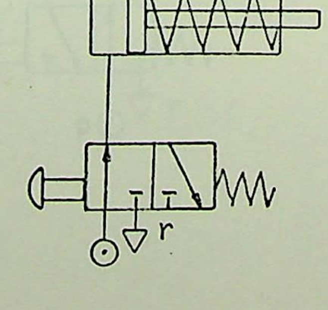
Analisando os circuitos pneumáticos acima, notamos que um "contato pneumático" necessita ao mesmo tempo que desenvolve uma situação lógica de alguma outra operação, pois, quando abrimos um "contato pneumático", temos necessidade de fechar a alimentação e comunicar o cilindro, no lado que foi pressurizado, com a atmosfera.

Podemos agora representar através do esquema normal pneumática algumas equações lógicas.

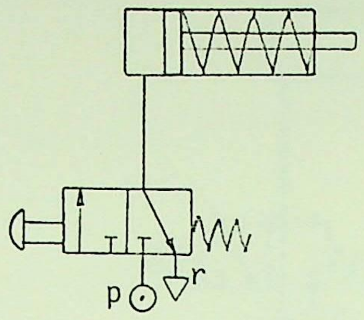
a) V = a



Para a = 1, V = 1 → cilindro avançado



Para a = 0, V = 0 → cilindro recolhido

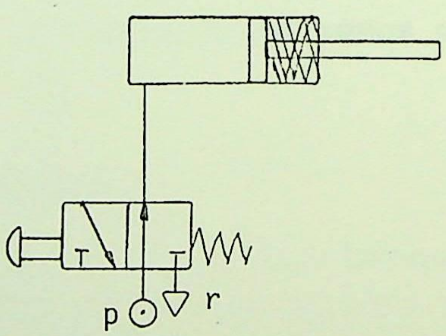


Devemos notar que para

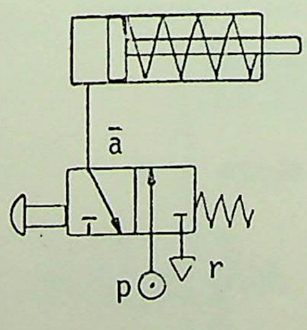
- a = 1, V = 1   P é ligado

- a = 0, V = 0   P é fechado e A está no escape

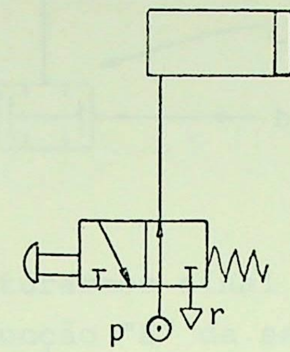
b) $V = \bar{a}$



Para a = 1, V = 0 → cilindro recolhido



Para a = 0, V = 1 → cilindro avançado



Devemos notar que:

- a = 1, V = 0, → P é fechado e A está no escape

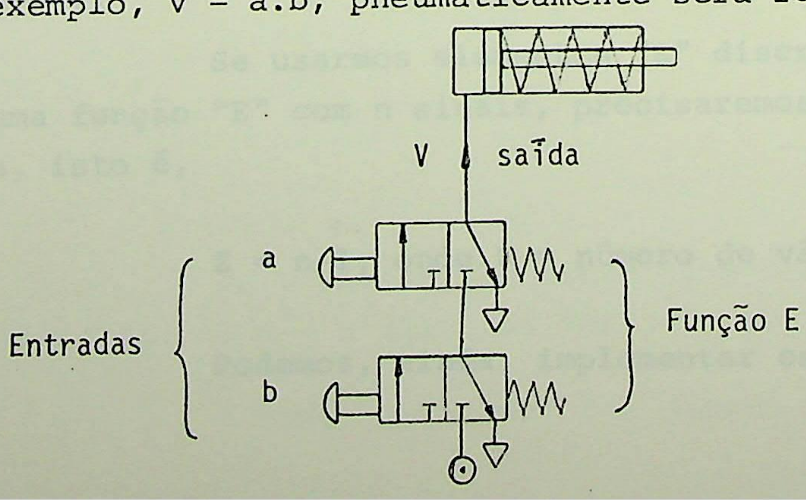
- a = 0, V = 1, → P é ligado

Analisando o que foi exposto até aqui, concluímos que as equações lógicas são traduzidas para o circuito pneumático simplesmente expressando se temos ou não pressão em A, ou seja, P → A ou A → R.

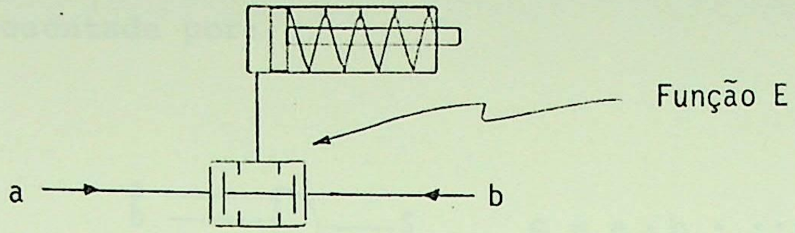
4.2 - Funções Lógicas

4.2.1 - Função "E"

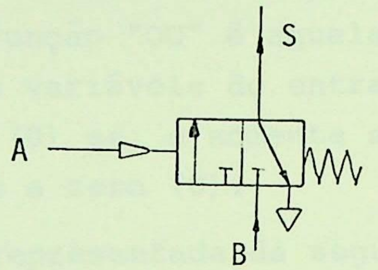
Podemos representar a função "E" utilizando z válvulas 3/2 vias, NF, RM em série, ou, então através do elemento "E" ou válvula de simultaneidade. Desta forma a equação lógica, por exemplo, V = a.b, pneumaticamente será representada por



ou,



Se misturarmos sinal com alimentação , poderemos ainda implementar a função "E" da seguinte forma:



A função E também é conhecida como:

conjunção
união AND
produto de Boole

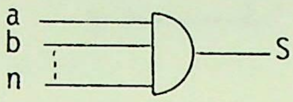
Observando o funcionamento da função E, podemos afirmar que o sinal de saída será 1, somente quando todos os sinais de entrada forem 1.

Podemos, ainda, representar n sinais de entrada e um único sinal de saída analogamente ao exemplo exposto anteriormente.

Se usarmos elementos "E" discretos para implementar uma função "E" com n sinais, precisaremos, então, de n-1 válvulas, isto é,

Z = n-1, onde Z = número de válvulas

Podemos, ainda, implementar esta mesma função através de blocos de elementos "E" ou PORTA E com n entradas, a qual é representada por:



$$S = a \cdot b \cdot \cdots \; n$$

4.2.2 - Função "OU"

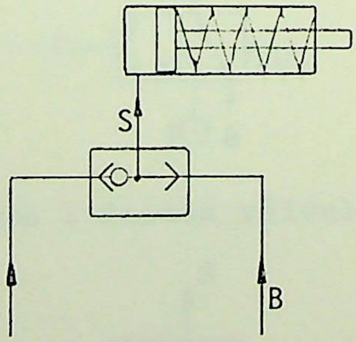
A função "OU" é aquela que assume valor um (1) quando uma ou mais variáveis de entrada forem iguais a um (1) e assume valor zero (0) se, e somente se todas as variáveis de entrada forem iguais a zero (0).

É representada da seguinte forma:

$S = A + B$ (lê-se $S = A + B$, onde o símbolo + é lido como OU)

Representamos a função "OU" pelo elemento "OU"ou válvula alternadora.

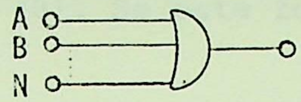
Desta forma, por exemplo, a função $S = A + B$ é implementada através do circuito.



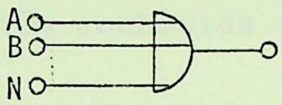
Se tivermos, no entanto, N sinais a função será implementada com N - 1 válvulas "OU", ou seja,

$Z = N - 1$, onde Z = número de válvulas "OU"

Estes mesmos N sinais poderão entrar em um bloco de elementos "OU" ou PORTA "OU", a qual é representada por:



ou,



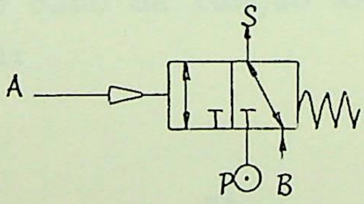
A função "OU" é conhecida também como:

Disjunção

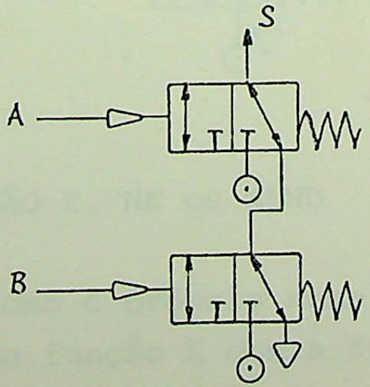
União OR

Soma de Boole

Existe ainda outra forma de implementação, isto é, usando a válvula 3/2 vias, NF, RM que permite a passagem em ambos os sentidos (Válvula de carretel), ou seja:



ou, então, através de 2 destas válvulas:



4.2.3 - Função NÃO

O sinal de saída (S) será um (1), se o sinal de entrada (A) for zero (0). Se este for um (1), o de saída será zero (0).

A operação lógica NÃO é representada pela expressão:

$S = \bar{A}$ (lê-se S = não A)

É também conhecida como:

Negação
União NOT
Complemento
Inversor

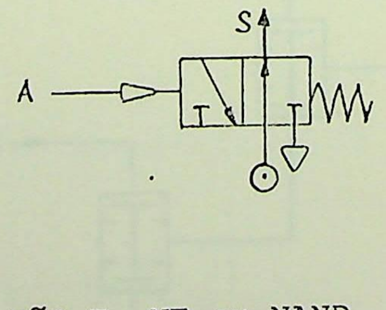
Sua representação será:

$\bar{A}$ 0 o——▷o——o $\bar{A}$

ou, o—— após um outro bloco lógico

ou, ——o antes de um outro bloco lógico

No caso da função NÃO só poderemos em pneumática da seguinte forma:



4.2.4 - Função NÃO E, NE ou NAND

Como o próprio nome "NÃO E" diz: essa função é uma composição da função E com a função NÃO, ou seja, teremos a função E invertida. É representada da seguinte forma:

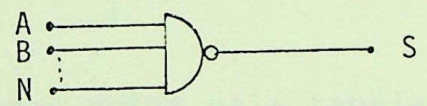
$S = (\overline{A \cdot B})$, onde este traço indica que temos a inversão do produto $A \cdot B$.

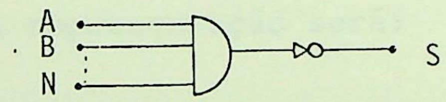
A tabela verdade da função NÃO E será:

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

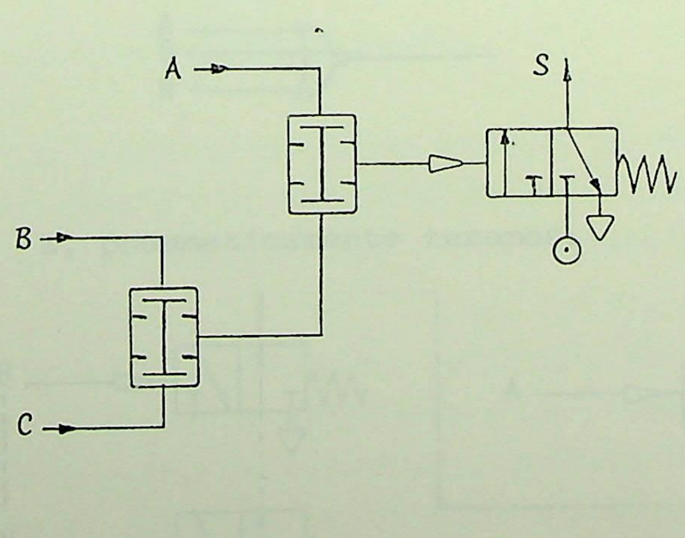
Pela tabela verdade, podemos notar que esta função realmente é o inverso da função E.

Sua representação será:





E, pneumaticamente, teremos:



4.2.5 - Função NÃO OU, NOU ou NOR

Analogamente a função NAND, a função NOR é a composição da função NÃO com a função OU, ou seja, a função NOR será o inverso da função OU.

É representada da seguinte forma:

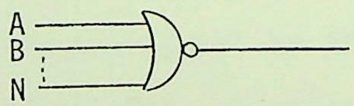
$S = \overline{A + B}$

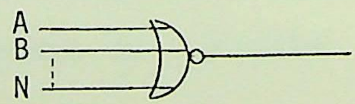
A tabela verdade da função NÃO OU será:

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

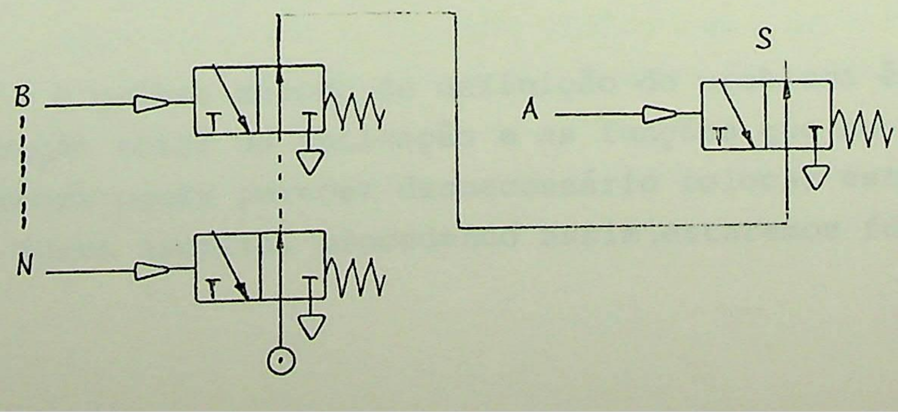
Podemos notar pela tabela verdade acima que a função NÃO OU, realmente, é a função OU invertida.

Sua representação será:





E, pneumaticamente teremos:



CAPÍTULO 5 - CIRCUITOS COMBINACIONAIS

5.1 - Generalidades

Os circuitos combinacionais ou de lógica pura ou combinatória são aqueles nos quais o estado do circuito está determinado pelo estado físico dos contatos que constituem a variável de entrada, isto é, pelas condições declaradas no enunciado do problema.

O funcionamento de tais circuitos decorrem inteiramente da tabela de combinações ou tabela verdade das variáveis de entrada; assim duas variáveis de entrada correspondem a 4 combinações, para três variáveis de entrada temos oito combinações e assim sucessivamente.

5.2 - Projeto de Circuitos Combinacionais com uma Saída

Veremos agora um processo passo a passo que poderá ser utilizado para projetar realmente qualquer circuito lógico combinacional com uma saída. Os passos nesse processo são:

1. Definição do problema
2. Desenvolvimento da tabela
3. Anotação das equações lógicas
4. Minimização das equações lógicas
5. Desenho do circuito

O primeiro passo no projeto de qualquer circuito lógico combinacional é uma completa definição do problema. Isto significa que devemos identificar inteiramente todas as funções do circuito.

O melhor método de definição do problema é escrever uma descrição total da aplicação e as funções que se deseja conseguir. Embora possa parecer desnecessário colocar estas informações na forma escrita, procedendo assim,estaremos forçados a identificar completamente e explicar o que deverá acontecer. Nessa descrição identificaremos os tipos e o número de sinais de entrada para o circuito. Também identificaremos o tipo e o número de saída a serem produzidos pelo circuito.

Desenvolvimento da tabela verdade

O próximo passo no procedimento do projeto é converter sua descrição do problema em uma tabela verdade. Esta tabela é onde identificaremos completamente todas as combinações de entradas possíveis e os estados lógicos correspondentes da saída; ela define totalmente a operação do circuito.

O primeiro passo no desenvolvimento da tabela verdade é determinar o número de entradas para o circuito lógico. Isso, é claro, é função da aplicação e esta informação deverá ser definida na descrição do problema. O número de entradas determinará o número máximo de estados de entrada que podem ocorrer com esse número de variáveis.

O total de estados de entrada possíveis é igual a 2^n onde n é o número de entradas.

Por exemplo, se definirmos quatro entradas para o circuito, há um número total de $2^4 = 16$ diferentes estados que podem acontecer.

Desenvolvimento das equações lógicas

O próximo passo é escrever as equações lógicas booleana a partir da tabela verdade. Isto colocará a função lógica numa forma em que ela possa ser manipulada com álgebra booleana, a qual permitirá reduzirmos a equação lógica e assim minimizar a quantidade de circuito necessária para implementá-la.

Para escrever a equação lógica pela tabela verdade, observamos as colunas de saída e escrevemos os produtos dos termos das entradas para cada saída onde ocorre um estado 1 binário. O resultado será uma equação lógica soma de produtos. Este processo levará a uma única equação booleana para cada saída.

Minimização de circuito

Utilizando as técnicas de Álgebra Booleana, as equações lógicas desenvolvidas a partir da tabela verdade poderão ser reduzidas.

O uso da Álgebra Booleana é um pouco demorado e penoso. Para algumas equações a redução poderá ser feita rapidamente e sem muito trabalho. Porém, com equações maiores e mais complexas, o processo de minimização poderá requerer uma substancial quantidade de tempo. Precisaremos rearranjar a equação e reagrupar os termos várias vezes antes de chegar a um resultado mínimo. Além disso esse procedimento nem sempre leva a uma minimização otimizada. Podemos, então, usar os mapas de Karnaugh para minimização das equações

Desenho do circuito

Obtendo a expressão mais simples que satisfaça o circuito, podemos, então, a partir desta expressão minimizada, desenhar o circuito.

Exercício 1:

Em um dispositivo deseja-se que um cilindro seja acionado ou por um botão junto a um operador ou um outro perto de outro operador.

Solução:

1. Sendo definido o problema no enunciado, passamos para o segundo passo.
2. Tabela verdade

   Temos duas variáveis de entrada → quatro combinações possíveis.

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3. Equações lógicas

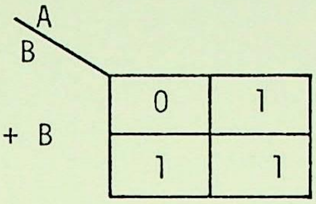
$$S = A\bar{B} + \bar{A}B + AB$$

4. Minimização

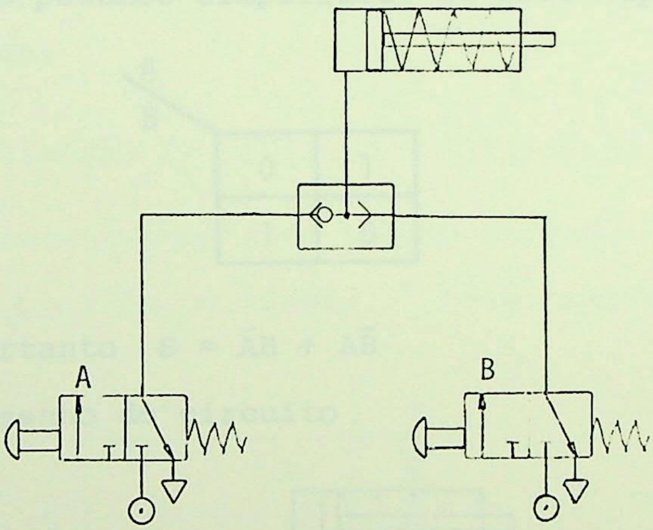
$$S = A\bar{B} + \bar{A}B + AB = A\bar{B} + AB + \bar{A}B = A + \bar{A}B = A + B$$

ou

pelo Mapa de Karnaugh $S = A + B$



5. Desenho do circuito



Exercício 2:

Deseja-se acionar um cilindro S.A. de dois pontos diferentes com a ajuda de dois botões a ou b e deseja-se também que o cilindro retorne através de a se avançou através de b ou vice-versa.

Solução:

1. Definição do problema ⟹ enunciado

2. Desenvolvimento da tabela verdade.
   Temos duas variáveis de entrada.

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

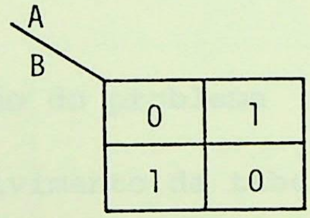
3. Equações lógicas

$$S = A\bar{B} + \bar{A}B$$

4. Minimização das equações lógicas

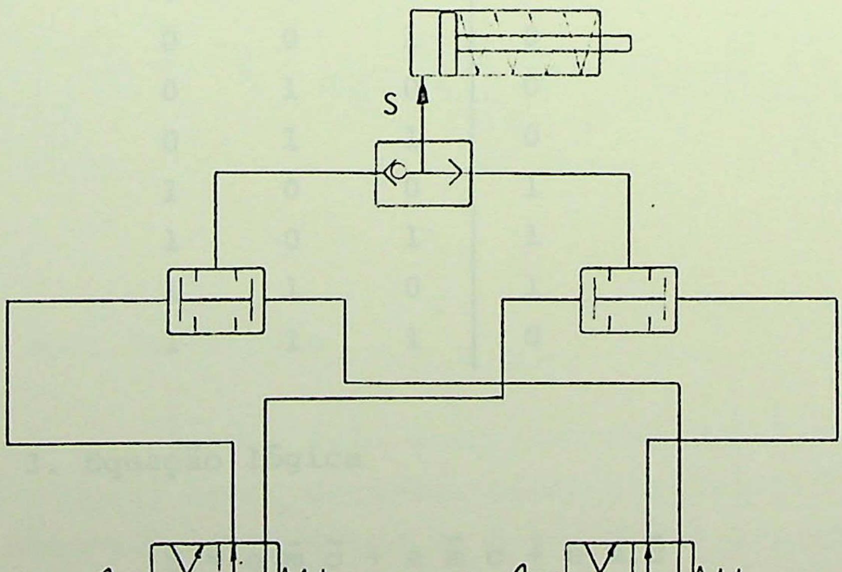
$$S = \bar{A}B + A\bar{B} \quad \text{(ou exclusivo)}$$

   não podemos simplificar ou pelo Mapa de Karnaugh



   Portanto $S = \bar{A}B + A\bar{B}$

5. Desenho do circuito



Exercício 3:

Um cilindro A deve ser acionado através de três botões: e, m e c satisfazendo as seguintes condições:

e - acionado sozinho
ou, c e e acionados — cilindro avança
ou, e e m acionados

m - acionado sozinho
ou, c - acionado sozinho
— cilindro não avança
ou, m e c acionados
ou, m, e e c acionados

Solução:

1. Definição do problema enunciado

2. Desenvolvimento da tabela verdade

   Temos três variáveis oito combinações possíveis

e	m	c	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

3. Equação lógica

$$S = e\,\bar{m}\,\bar{c} + e\,\bar{m}\,c + e\,m\,\bar{c}$$

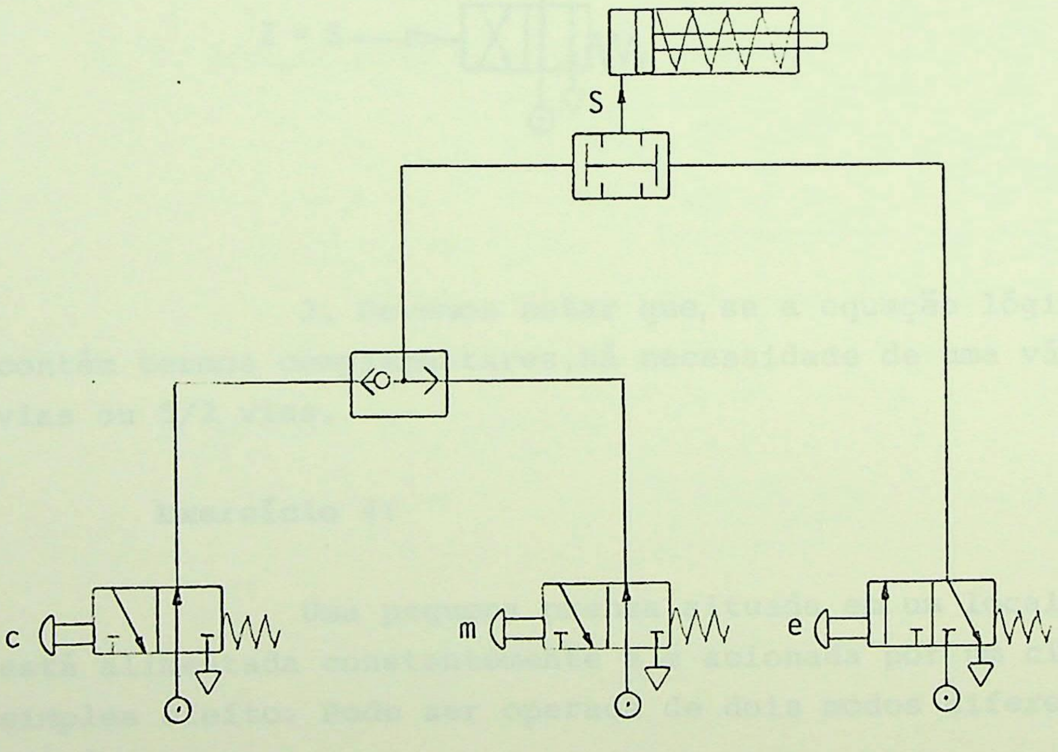
4. Minimização da equação lógica

Utilizando o Mapa de Karnaugh temos:

e \ m c	00	01	11	10
0	0	0	0	0
1	1	1	0	1

$$S = e\,\bar{c} + e\,\bar{m} = e\,(\bar{c} + \bar{m})$$

5. Desenho do circuito

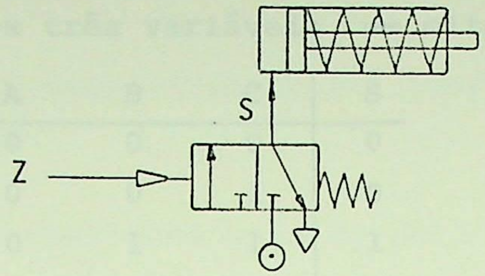


Nota Importante

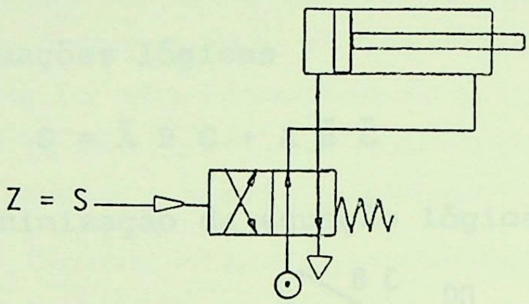
1. Nos três exemplos mostrados foram usados cilindros de simples ação, os quais podem ser acionados indiretamente com uma válvula pilotada em Z e retorno por mola, fazendo-se, simplesmente,

$$Z = S$$

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá



2. Os cilindros, também, podem ser de dupla ação pelo mesmo motivo, como mostrado no circuito abaixo.



3. Devemos notar que, se a equação lógica final contém termos complementares, há necessidade de uma válvula 4/2 vias ou 5/2 vias.

Exercício 4:

Uma pequena prensa situada em um local isolado está alimentada constantemente e é acionada por um cilindro de simples efeito. Pode ser operada de dois modos diferentes, por um só operador:

a) Se o operador está junto à prensa, existem dois botões b e c que devem ser acionados simultaneamente para que a prensa funcione, por motivo de segurança.

b) Se o operador está afastado da prensa, a sua ação sobre apenas um botão permite o funcionamento.

Solução:

1. Definição do problema ⟶ enunciado.

2. Desenvolvimento da tabela verdade.

Temos três variáveis $\Longrightarrow$ oito combinações possíveis

A	B	C	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	Ir
1	1	0	Ir
1	1	1	Ir

3. Equações lógicas

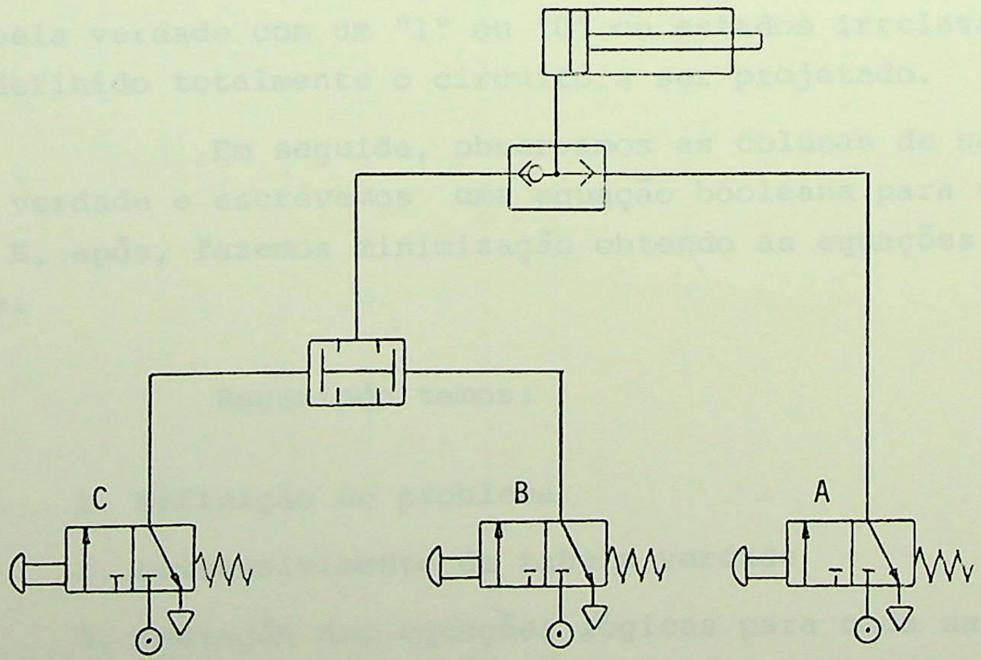
$$S = \bar{A}\,B\,C + A\,\bar{B}\,\bar{C}$$

4. Minimização da equação lógica

A \ B C	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	x	x	x

$$S = A + B\,C$$

5. Desenho do circuito



Nota Importante

A simplificação foi imediata usando-se os estados irrelevantes.

5.3 - Circuitos Combinacionais de Múltiplas Saídas.

Os circuitos combinacionais vistos anteriormente relacionavam-se apenas com uma única saída. Diversos estados de entrada eram controlados e um só sinal de saída era devolvido para indicar a ocorrência de estados específicos. Há muitas aplicações, porém, que requerem várias saídas, assim como múltiplas entradas. Todos os procedimentos de projeto que vimos anteriormente aplicam-se aos circuitos combinacionais de diversas saídas. Apenas algumas pequenas variações se farão necessárias.

Nestes circuitos combinacionais de múltiplas saídas temos inicialmente a conversão do problema numa tabela verdade que definirá completamente a operação do circuito. O número de entradas determinará o número total de entradas que pode existir. Depois, ao invés de definir uma simples saída baseada nestas entradas, definimos todas as saídas requeridas pela aplicação. Simplesmente, isto significa criar uma coluna separada na tabela verdade para cada saída do circuito. Uma vez completada a tabela verdade com um "1" ou "0" ou estados irrelevantes, teremos definido totalmente o circuito a ser projetado.

Em seguida, observamos as colunas de saída na tabela verdade e escrevemos uma equação booleana para cada uma delas. E, após, fazemos minimização obtendo as equações para cada saída.

Resumindo temos:

1. Definição do problema
2. Desenvolvimento da tabela verdade
3. Anotação das equações lógicas para cada saída
4. Minimização das equações lógicas
5. Desenho do circuito.

Exercício

Deseja-se implementar os números de 0 a 9, análogo à eletrônica, em um circuito pneumático, usando um display de 7 segmentos.

Solução:

1. Definição do problema

Para solucionarmos este problema precisamos passar do código BCD 8421 para um display de 7 segmentos.

2 . Tabela verdade

Dec.	BDC 8421				a	b	c	d	e	f	g
	A	B	C	D							
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
10	1	0	1	0	-	-	-	-	-	-	-
11	1	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-
12	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
13	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-
14	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
15	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-

3. Equações lógicas

$a = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}BCD$
$+ A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D$

$b = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$
$+ A\bar{B}\bar{C}D$

$c = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D}$
$+ \bar{A}BCD + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D$

$d = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D$

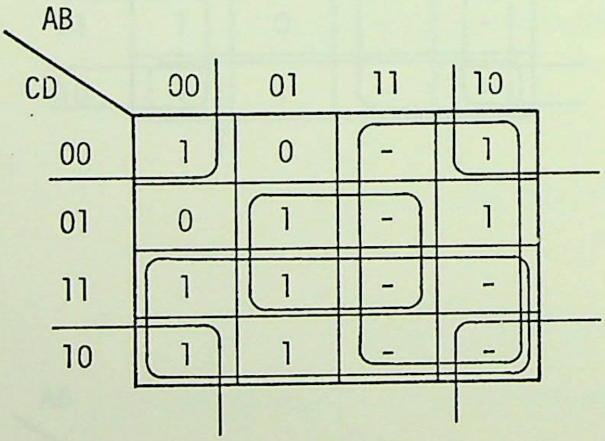
$e = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}BC\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$

$f = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D$

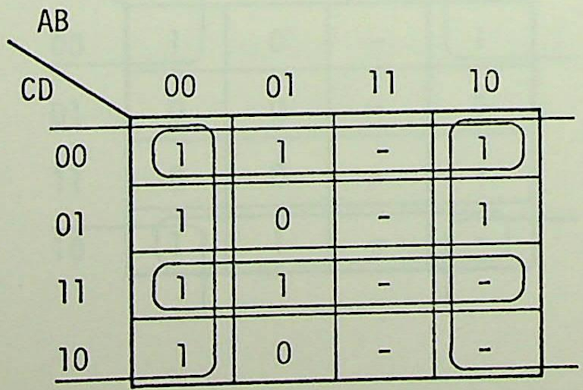
$g = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}D + \bar{A}BC\bar{D} + A\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}\bar{C}D$

4. Minimização das equações

Usando o Mapa de Karnaugh temos:



$\Longrightarrow a = \bar{B}\bar{D} + A + C + BD$



$\Longrightarrow b = \bar{B} + \bar{C}\bar{D} + CD$

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	1	-	1
01	1	1	-	1
11	1	1	-	-
10	0	1	-	-

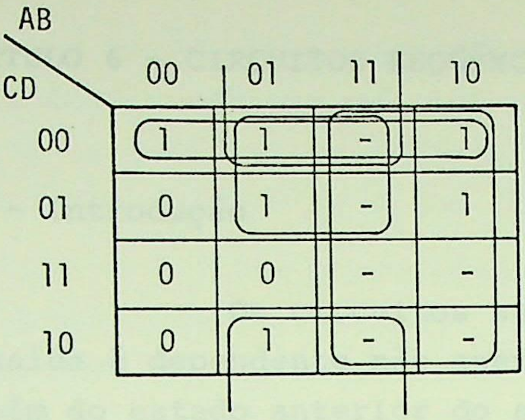
$\Rightarrow \quad c = \bar{\bar{C}} + B + D$

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	0	-	1
01	0	1	-	1
11	1	0	-	-
10	1	1	-	-

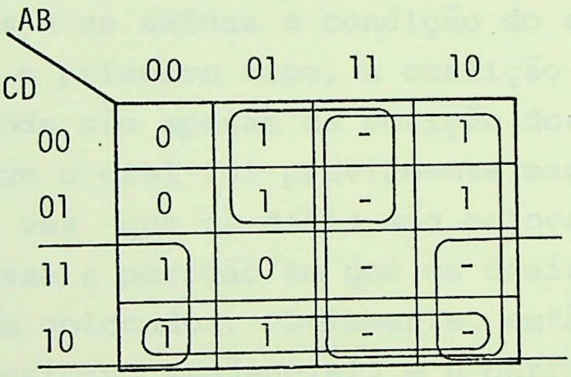
$\Rightarrow \quad d = A + \bar{B}\bar{D} + C\bar{B} + C\bar{D} + \bar{C}DB$

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	0	-	1
01	0	0	-	0
11	0	0	-	-
10	1	1	-	-

$\Rightarrow \quad e = \bar{B}\bar{D} + C\bar{D}$



$\Rightarrow \quad f = A + \bar{C}\bar{D} + \bar{C}B + B\bar{D}$



$\Rightarrow \quad A + B\bar{C} + \bar{B}C + C\bar{D}$

5. Desenho do circuito

Para desenhar o circuito precisamos de 4 válvulas 4/2 vias duplo piloto as quais fornecerão os sinais para as válvulas E ou OU a fim de obtermos os sinais a, b, ... f, g. Estes sinais serão aplicados a cilindros ou elementos eletropneumáticos que implementarão os segmentos do display.

CAPÍTULO 6 - CIRCUITOS SEQÜÊNCIAIS

6.1 - Introdução

Os circuitos seqüenciais são aqueles onde o valor da saída é dependente não apenas dos valores das entradas, mas também do estado anterior do sistema.

Como exemplo, consideremos dois tipos de "cadeados". Um tipo, o cadeado convencional usado em cofre, tem apenas um "dial". O segundo tipo, algumas vezes usado em bicicletas, maletas, etc., tem vários "diais". As entradas são as posições dos diais e as saídas a condição do cadeado estar aberto ou fechado. Para o primeiro tipo, a condição do cadeado (aberta ou fechada) depende não apenas da posição dos números mas também da maneira em que o dial foi previamente manipulado. O segundo tipo abrirá toda vez que os diais são colocados no número correto; não interessa a posição em que os diais estavam ou em que ordem eles foram colocados. Obviamente, então, o "cadeado" de cofre é um dispositivo seqüencial, e o outro um dispositivo combinacional.

O sistema do telefone é outro exemplo de sistema seqüencial. Suponha que tenhamos discado os seis primeiros dígitos de um número de telefone e estamos agora discando o último dígito. Este sétimo é a entrada do sistema, e a saída é um sinal que fará a ligação desejada. Obviamente, o sétimo dígito não é o único fator determinado que número a ligação alcançou, desde que os outros seis dígitos são igualmente importantes.

Além desses exemplos temos os circuitos elétricos, eletrônicos, pneumáticos e hidráulicos onde podemos ter um circuito seqüencial.

6.2 - Método de Huffman

A solução dos problemas de lógica seqüencial pode efetuar-se aplicando vários métodos. Limitar-nos-emos ao Método de Huffman.

Quando na tabela verdade temos estados com mesmas entradas porém saídas diferentes, o problema não seria então possível de ser solucionado sem a intervenção de uma terceira variável ou variável secundária; e a válvula ou da qual a variável secundária depende será uma válvula ou relé secundário.

Uma propriedade dos relés secundários é que há uma demora entre a excitação e sua resultante mudança de estado. Os estados dos secundários são representados por y's. O próximo estado de um secundário será o mesmo que sua presente excitação, isto é, y após uma demora se tornará o mesmo que o correspondente presente y.

Nos circuitos secundários os relés ou válvulas, os secundários são esses elementos.

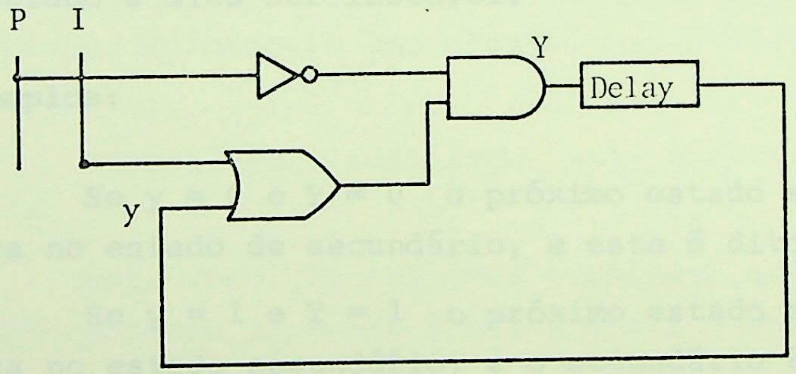


FIG. 6.1 - CIRCUITO SEQÜENCIAL

Nos circuitos seqüenciais eletrônicos, os secundários são linhas de realimentação, Fig. 6.1, que deixam o circuito combinacional e o realimentam. A demora pode ser inserida ou já pode ser inerente à realimentação.

Também toda realimentação deve ter ganho, assim os circuitos envolvidos tem auto-sustentação.

Portanto amplificadores precisam ser inseridos nas realimentações se não há amplificação inerente já presente.

Nos circuitos seqüenciais a relé, os secundários são relés. A demora está inerente nos tempos de operação e inoperação dos relés.

A excitação de um relé secundário é descrita pela energização ou desenergização da bobina; o estado de um relé secundário é descrito pela operação ou inoperação dos contactos.

Conceito de Estabilidade

Quando a excitação de um secundário é a mesma que o seu presente estado, isto é, $Y = y$ o próximo estado será o mesmo que o presente estado, e desde que não há mudança de estado, este é dito ser estável.

Quando a excitação de um secundário não é a mesma que o presente estado isto é $Y \neq y$, o próximo estado não será o mesmo que o presente estado e haverá uma mudança de estado, neste caso o estado é dito ser instável.

Exemplos:

Se $y = 0$ e $Y = 0$ o próximo estado será 0, não haverá mudança no estado de secundário, e este é dito ser estável.

Se $y = 1$ e $Y = 1$ o próximo estado será 1, não haverá mudança no estado secundário, e o secundário é estável.

Se $y = 0$ e $Y = 1$ o próximo estado será 1, haverá mudança no estado secundário, e o secundário é dito ser instável.

Se $y = 1$ e $Y = 0$ o próximo estado será 0, haverá mudança no estado secundário, e o secundário é instável.

O conceito de estabilidade pode ser facilmente visualizado em termos de operação de relés.

Consideremos a bobina de um relé e seu contacto normalmente aberto, Fig. 6.2. A seguinte designação é feita:

$Y = 0$: contacto inoperado
$Y = 1$: contacto operado
$Y = 0$: bobina desenergizada
$Y = 1$: bobina energizada

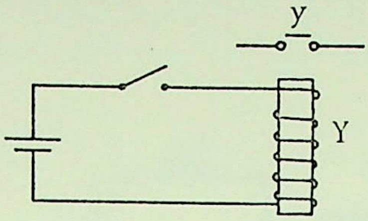


FIG. 6.2 - RELÉ COM CONTATO NORMAL ABERTO

Suponha para começar, que a chave está aberta, a bobina desenergizada e o contacto inoperado, nesse instante : $Y = 0$ e $y = 0$ secundário é estável.

Agora suponha que a chave é fechada por um breve período de tempo, a bobina é energizada, mas o contacto, está ainda inoperado.

Durante este instante $Y = 1$ e $y = 0$ secundário é instável.

Esta condição instável terminará, quando os contactos operarem, e nesse instante $Y = 1$ e $y = 1$ o secundário é estável.

Agora suponha que a chave volta para sua posição aberto. Por um breve período de tempo, a bobina é desenergizada, mas os contactos ainda estão operados.

Durante este instante, $Y = 0$, e $y = 1$, secundário é instável.

Esta condição instável terminará, quando os contactos retornam ao seu estado normal, neste instante, novamente $Y = 0$ e $y = 0$ o secundário é estável.

Voltando ao nosso problema

Para justificar nosso método de solução, vamos supor o problema resolvido.

Seja um circuito satisfazendo as condições do problema Figs. 6.3 e 6.4.

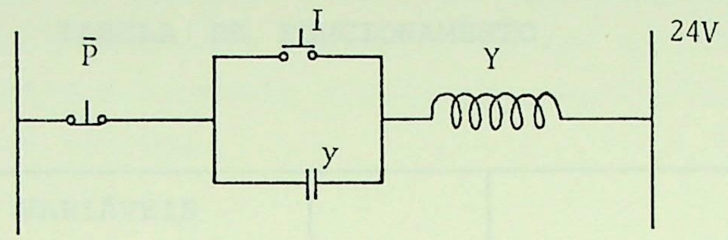


FIG. 6.3 - CIRCUITO DE COMANDO OU DE CONTROLE

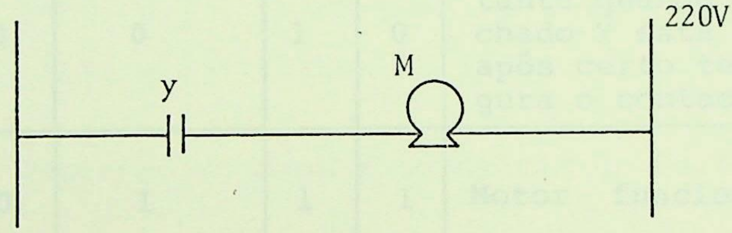


FIG. 6.4 - CIRCUITO DE POTÊNCIA

As equações boolenas de Y e M são:

$$Y = p\ (I + y)$$

$$M = y$$

Em que:

P e I são variáveis primárias de entrada

y variável secundária

Façamos agora uma análise de funcionamento do circuito:

Convenção:

Os estados estáveis serão sempre circulados; os estados transitórios ou instáveis serão sempre, sem círculos.

TABELA DE FUNCIONAMENTO

ESTADO	VARIÁVEIS Primária I	P	Secundária y	SAÍDAS Y	M	OBSERVAÇÕES
1	0	0	0	0	0	Motor parado
2	1	0	0	1	0	Durante um pequeno instante quando I está fechado Y está energizado, após certo tempo y assegura o contacto
2	1	0	1	1	1	Motor funcionando
3	0	0	1	1	1	Motor funcionando
4	0	1	1	0	1	Durante um pequeno instante o contacto y está fechado e assegura a comutação.
4	0	1	0	0	0	Motor M pára

Desta tabela de análise vemos, conforme já foi visto, que:

1. Para os estados estáveis o relé Y e seu contato y tem mesmo valor, isto é a equação Booleana do relé é satisfeita.

2. Para os estados instáveis (transitórios) o relé Y não tem o mesmo valor que para o estado estável correspondente, e a equação Booleana do relé não é satisfeita.

Mostramos a seguir a Fig. 6.5 uma tabela de fluxo unida com designação secundária ou matriz contraída ou matriz reduzida, que é uma tabela mostrando a ordem cronológica das operações; sendo um mapa de Karnaugh construído em função das variáveis primárias de entrada I e P e da variável secundária y. Para cada quadrado colocamos o número do estado correspondente, observar que os estados estáveis e seus correspondentes instáveis estão nas mesmas colunas.

y \ IP	00	01	11	10
0	1	4	-	2
1	3	4	-	2

FIG. 6.5 - TABELA DE FLUXO

Obtenção do mapa Y ou matriz do relé secundário Y

Tendo em vista as regras anteriores referentes a estados estáveis e instáveis, da tabela de fluxo unida com designação secundária, obtemos o mapa Y ou matriz do relé secundário Y.

y \ IP	00	01	11	10
0	0	0	-	1
1	1	0	-	1

FIG. 6.6 - MAPA Y

Grupando-se os 1 lemos a expressão de Y:

$$Y = \bar{P}I + \bar{P}y = \bar{P}\,(I + y)$$

Considerando-se as combinações opcionais, temos:

$$Y = I + \bar{P}y$$

Matriz de saída M ou mapa de saída

É obtido da tabela de fluxo com designação secundária auxiliada pela primitiva tabela de fluxo (ainda não mostrada), ou então, neste nosso caso, pela tabela de análise.

IP

y	00	01	11	10
0	0	0	-	0
1	1	1	-	1

M = y

FIG. 6.7 - MAPA M

Conclusão:

Constatamos que, da tabela de fluxo unida com designação secundária, é um elemento importante no estabelecimento das equações lógicas dos dispositivos estudados.

A seguir, damos os passos de uma sistemática para a solução de problemas de circuitos seqüenciais.

Sistemática para projetos de circuitos seqüenciais.

1. Construção da primitiva tabela de fluxo (PTF) da sentença dada no problema.

2. Testar a primitiva tabela de fluxo para estados redundantes, o número de estados estáveis pode ser reduzido se houver redundâncias.

3. Obtenção de uma tabela de fluxo unida, pela união das filas da primitiva tabela de fluxo; usar diagrama de união na obtenção de união ótima.

4. Designação de estados secundários é feita para a tabela de fluxo unida, mapa de transição e usado para determinar a designação.

5. Usar tabela de fluxo com designação secundária na obtenção, mapa Y.

6. Obtenção da saída ou mapa S da tabela de fluxo com designação secundária e da primitiva tabela de fluxo.

7. Desenhar o circuito seqüencial a partir das expressões da saída.

IP

00	01	11	10	M
1	-	-	2	0
3	-	-	2	1
3	4	-	-	1
1	4	-	-	0

FIG. 6.8

Outro Exemplo:

Um circuito seqüencial deve ter duas entradas x_1 e x_2 e uma saída S. S deve ser ligada quando x_2 é ligada desde que x_1 já esteja ligada. S deve desligar quando x_2 desligar.

Somente uma entrada pode mudar de estado por vez.

Solução:

O desenvolvimento da primitiva tabela de fluxo pode ser iniciado considerando inicialmente a seqüência de ligar a saída. Tdas as entradas opcionais na tabela são devidas à restrição de uma não mudança de entrada.

00	01	11	10	S
1	-	-	2	0
1	-	3	2	0
-	4	3	2	1
1	4	3	-	1

(x_1x_2)

Fig. 6.9

00	01	11	10	S
1	5	-	2	0
1	-	3	2	0
-	4	3	2	1
1	4	3	-	1
1	5	6	-	0
-	5	6	2	0

(x_1x_2)

Fig. 6.10

da S e da excitação secundária Y; antes, porém, checar e eliminar os azares.

Agora vamos passar por mais detalhes em cada um desses passos individualmente.

Primeiro Passo: Construção da primitiva tabela de fluxo (PTF) da sentença dada do problema.

O primeiro passo na síntese de circuitos sequenciais é a construção da primitiva tabela de fluxo da sentença dada do problema.

Em uma primitiva tabela de fluxo, cada estado estável (circulado) é designado para uma fila separada, com isto estamos considerando a instabilidade, isto é, o tempo entre a excitação e a correspondente mudança de estado. Isto implica em que um diferente estado secundário seja designado para cada estado estável, embora a designação dos estados secundários não seja feita neste passo. Além disso, implica também que cada mudança de entrada é seguida de uma mudança secundária acompanhando uma transição de um estado estável para outro.

Estas implicações aplicam-se somente à primitiva tabela de fluxo, que é o primeiro passo na síntese; a primitiva tabela de fluxo é mais tarde modificada, e mais do que um estado estável pode ser designado para a mesma fila e transições de um estado para outro podem ser acompanhados, por mudanças de entrada somente.

Na primitiva tabela de fluxo, o estado de saída para cada estado estável está à direita da correspondente fila.

Para estudo vamos fazer a primitiva tabela de fluxo para o problema dado no início desse capítulo.

Se o circuito está no estado estável (2) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 10$ para $x_1x_2 = 00$, o circuito retorna ao estado estável (1) .

Se o circuito está no estado estável (3) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 11$ para $x_1x_2 = 10$ o circuito retorna ao estado estável (2) (a saída muda de $S = 1$ para $S = 0$). Se o circuito está no estado estável (3) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 11$ para $x_1x_2 = 01$, o circuito deve mudar para um estado estável (4) para o qual $S = 1$.

Se o circuito está no estado estável (4) , e as entradas mudam de $x_1x_2 = 01$ para $x_1x_2 = 11$, o circuito retorna ao estado estável (3) . Se o circuito está no estado estável (4) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 01$ para $x_1x_2 = 00$, o circuito retorna ao estado estável (1) (as saídas mudam de $S = 1$ para $S = 0$) a primitiva tabela de fluxo nesse estágio do desenvolvimento está mostrada na Fig. 6.9.

Se o circuito está no estado estável (1) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 01$ para $x_1x_2 = 11$, o circuito retorna ao estado estável (3) . Se o circuito está no estado estável (4) , e as entradas mudam de $x_1x_{2\,2} = 01$ para $x_1x_2 = 00$, o circuito retorna ao estado estável (1) (as saídas mudam de $S = 1$ para $S = 0$) a primitiva tabela de fluxo nesse capítulo do desenvolvimento está mostrada na Fig. 6.9.

Se o circuito está no estado estável (1) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 00$ para $x_1x_2 = 01$, o circuito muda para um novo estado estável (5) , para o qual $S = 0$.

Se o circuito está no estado estável (5) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 01$ para $x_1x_2 = 00$, o circuito retorna ao estado estável (1) . Se o circuito está no estado estável (5) , e as entradas mudam de $x_1x_2 = 01$ para $x_1x_2 = 11$, o circuito muda para um novo estado estável (6), para o qual $S = 0$.

Se o circuito está no estado estável (6) e as entradas mudam $x_1x_2 = 11$ para $x_1x_2 = 01$, o circuito retorna ao estado estável (5). Se o circuito está no estado estável (6) e as entradas mudam de $x_1x_2 = 11$ para $x_1x_2 = 10$ o circuito retorna ao estado estável (2). A primitiva tabela de fluxo completa está mostrada na Fig. 6.10.

A construção da primitiva tabela de fluxo força o projetista lógico a levar em consideração toda possível ação ao circuito.

Podem ocorrer certas seqüenciais de entrada, que o projetista não tenha pensado inicialmente,

Contudo, na construção da tabela de fluxo, estas seqüenciais chamam sua atenção, e ele deve decidir qual será a ação do circuito, se estas seqüenciais ocorreram (ou então determinar, qual ação do circuito é opcional).

Estado da saída quando se liga pela primeira vez, ou estado de "Energização".

As especificações de saída de um circuito seqüencial podem ser completa tendo em vista a ação requerida uma vez que o circuito está "em operação", mas o estado de saída quando a energia é ligada pela primeira vez, pode ser arbitrário.

Por exemplo, considere a seguinte exigência do circuito:

Um circuito seqüencial tem duas entradas, x_1 e x_2 e duas saídas, S_1 e S_2. Somente uma mudança de entrada pode ocorrer por vez, o estado de saída $x_1x_2 = 11$ nunca pode ocorrer.

Quando - $x_1x_2 = 01$ ou 10 $\quad S_1S_2 = 00$

Quando - $x_1x_2 = 00$ depois de $x_1x_2 = 01$ $\quad S_1S_2 = 01$

Quando - $x_1x_2 = 00$ depois de $x_1x_2 = 10$ $\quad S_1S_2 = 10$

Se $x_1x_2 = 00$ quando a energia é ligada pela primeira vez, qual deveria ser a saída ?

Pode ser que qualquer saída S_1S_2 = 01 ou S_1S_2 = 01 ou S_1S_2 = 10 possa ser arbitrariamente escolhida como estado de saída na "Energização".

Assim sendo, supondo que o estado estável, (1) e o estado estável de energização qualquer uma das duas primitivas tabelas de fluxo nas figuras 6.11 seriam satisfatórias.

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
(1)	3	-	4	01
(2)	3	-	4	10
1	(3)	-	-	00
2	-	-	(4)	00

FIG. 6.11.a

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
(1)	3	-	4	10
(2)	3	-	4	01
2	(3)	-	-	00
1	-	-	(4)	00

FIG. 6.11.b

Se uma das duas condições de saída S_1S_2 = 01 ou S_1S_2 = 10 é preferida e especificada como estado de saída "energizada", somente uma das tabelas de fluxo seria satisfatória.

Ainda outra possibilidade é que S S = 00 possa ser desejada como estado de saída na energização. Se assim for a primitiva tabela de fluxo na Fig. 6.12 descreveria a ação do circuito. Note-se que uma vez iniciada a ação do circuito causando um movimento fora da primeira fila da tabela de fluxo, o circuito não mais retornará ao estado estável (1) . O estado estável (1) serve, então, somente como estado estável na "energização". A não ser que sejam especificamente requeridos tais estados estáveis adicionais devem ser evitados desde que eles geralmente levem a circuitos mais dispendiosos.

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
(1)	4	-	5	00
(2)	4	-	5	01
(3)	4	-	5	10
2	(4)	-	-	00
3	-	-	(5)	00

FIG. 6.12

Segundo Passo: Eliminação de estados estáveis redundantes

Na construção de uma primitiva tabela de fluxo, é possível introduzir mais estados estáveis do que necessário. Isto é algumas vezes feito inadivertidamente porque não é claro que dois ou mais estados estáveis são realmente equivalentes. Se dois estados estáveis são equivalentes, um deles é redundante e pode ser removido, eliminando-se uma fila da primitiva tabela de fluxo. Uma vez que a primitiva tabela de fluxo tenha sido completada, então o próximo passo no procedimento da síntese é testar para quaisquer estados estáveis redundantes que possam estar presentes.

Critérios de Equivalências

Dois estados estáveis são equivalentes se:

Exemplo 1:

Na primeira tabela do fluxo da Fig. 6.13 os estados estáveis 2 e 4 são equivalentes, pois têm as mesmas entradas: $x_1x_2 = 01$, tem a mesma saída $S_1S_2 = 10$; e desde que nas entradas há uma transição destes estados estáveis para os mesmos estados.

Quando dois estados estáveis são equivalentes, é costume eliminar-se o de número mais alto.

Todas as ocorrências do número mais alto são substituídas pelo número mais baixo, e a fila contendo o estado estável do número mais alto é eliminado inteiramente. A Fig. 6.14 mostra a primitiva tabela de fluxo com o estado estável redundante eliminado.

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
1	2	-	6	00
1	2	5	-	10
3	4	-	6	10
1	4	5	-	10
-	4	5	6	01
3	-	5	6	11

FIG. 6.13

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
1	2	-	6	00
1	2	5	-	10
3	2	-	6	10
-	2	5	6	01
3	-	5	6	11

FIG. 6.14

Exemplo 2:

Na primitiva tabela de fluxo da Fig. 6.15 a equivalência dos estados estáveis (2) e (4) pode ser imediatamente estabelecida como no exemplo 1. Estados estáveis (1) e (3) tem as mesmas entradas e as mesmas saídas, e portanto os dois primeiros critérios de equivalências são satisfeitos. O exame da primeira e terceira fila mostra que as entradas restantes são idênticas, coluna por coluna, exceto, para a coluna x x = 01. Nesta coluna há um 2 na primeira fila e um 4 na terceira fila. A equivalência dos estados estáveis (1) e (3) portanto é dependente da equivalência dos estados estáveis (2) e (3). Desde que a equivalência de (2) e (4) foi estabelecida, (1) e (3) são também, equivalentes.

A primitiva tabela de fluxo reduzida está mostrada na Fig. 6.16.

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
(1)	2	-	6	00
1	(2)	5	-	10
(3)	4	-	6	00
1	(4)	5	-	10
-	7	(5)	6	01
3	-	5	(6)	11
3	(7)	5	-	11

FIG. 6.15

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
(1)	2	-	6	00
1	(2)	5	-	10
-	7	(5)	6	01
1	-	5	(6)	11
1	(7)	5	-	11

FIG. 6.16

Exemplo 3:

Na primitiva tabela de fluxo da Fig. 17 a equivalência dos estados estáveis (1) e (3) é dependente da equivalên cia dos estados estáveis 2 e 4 .

A equivalência de 2 e 4 contudo é dependente da equivalência de 1 e 3 . Se 1 e 3 são feitos equivalentes e 2 e 4 são feitos equivalentes, a análise mostrará que a ação do circuito é a mesma que a da original tabela de fluxo; a Fig. 6.19 mostra a primitiva tabela de fluxo reduzida para este exemplo.

00	01	11	10	S_1S_2
1	2	-	6	00
3	2	5	-	10
3	4	-	6	00
1	4	5	-	10
-	7	5	6	01
3	-	5	6	11
3	7	5	-	11

FIG. 6.17

00	01	11	10	S_1S_2
1	2	-	6	00
1	2	5	-	10
-	7	5	6	01
1	-	5	6	11
1	7	5	-	11

FIG. 6.18

Equivalências podem, então, ser feitas quando são interdependentes, ou quando são dependentes de outras equivalências estabelecidas.

As exigências para equivalências podem ser estabelecidas de outra maneira mais direta:

"Dois estados estáveis com as mesmas entradas e as mesmas saídas podem ser feitos equivalentes a não ser que a equivalência dependa de uma não equivalência".

Exemplo 4:

O exame da primitiva tabela de fluxo da Fig.6.20 mostra que há possíveis equivalências entre os estados estáveis 1 , 4 e 12 ; e entre 2 , 7 e 9 ; entre 5 , 6 e 11 e entre 3 e 8 . Estabelecendo-se imediatamente as não equivalências (dentro de uma coluna) entre os estados estáveis 3 e 10 , entre 8 e 10 .

00	01	11	10	S_1S_2
1	2	6	3	00
4	2	5	3	11
1	7	6	3	01
4	7	5	8	00
1	9	5	3	10
12	2	6	10	10
1	7	11	3	11
12	9	11	8	01
12	9	6	8	11
1	7	6	10	11
1	2	11	10	10
12	2	11	8	00

FIG. 6.19

Para auxiliar no estabelecimento de outras não equivalências, usa-se a aproximação tabular.

Uma Tabela é construída com uma fila para cada possível equivalência, e uma coluna para cada possível equivalência e não equivalência estabelecida. Todas não equivalências são circuladas para identificação. Marcas de check são colocadas em locais apropriados da tabela; uma marca de check indicando que a possível equivalência na fila correspondente é dependente de uma possível equivalência ou de uma não equivalência estabelecida na correspondente coluna.

A tabela para o exemplo 4 está mostrada na Fig. 6.20.

	1.4	1.12	4.17	2.7	2.9	7.9	5.6	5.11	6.11	3.8	3.10	8.10
1.4				V			V			V		
1.12									V	V		
4.12				V				V				
2.7	V							V				
2.9			V				V			V		
7.9		V							V	V		
5.6		V			V						V	
5.11					V						V	
6.11		V										
3.8		V				V			V			

FIG. 6.20

As não equivalências 3.10 e 8.10 são circuladas para identificação. Quaisquer estados estáveis cujas equivalências são dependentes de uma não equivalência devem ser não equivalente, na Fig. 6.20, as marcas de cheque na coluna 3.10 estabelecem que os estados estáveis 5 e 6 são não equivalentes, e que os estados 5 e 1 são não equivalentes.

As designações das colunas 5.6 e 5.11 devem ser circuladas. As marcas de cheque nestas duas colunas estabelecem que 1.4, 2.9, 4.12 e 2.7 são não equivalentes. As designações dessas colunas são também circuladas, e as marcas de cheque nas quatro colunas indicam as não equivalências de 2.7, 2.9, 1.4, 4.12, 5.6 e 5.11. Estas não equivalências já foram estabelecidas e, desde que não há oûtras não equivalências, o procedimento está completo. Todas designações de colunas sem estarem circuladas indicam equivalências que podem ser feitas: 1.12, 7.9, 6.11 e 3.8.

A primitiva tabela de fluxo pode, portanto, ser reduzida a oito filas, Fig. 6.21.

x_1x_2: 00	01	11	10	S_1S_2
1	2	6	3	00
4	2	5	3	11
1	7	6	3	01
4	7	5	3	00
1	7	5	3	10
1	2	6	10	10
1	7	6	3	11
1	7	6	10	11

FIG. 6.21

Pseudo-Equivalência

Dois estados estáveis podem ser equivalentes em todos aspectos exceto para uma ou ambas das seguintes condições:

A) Para uma dada mudança de entrada, há uma transição de um destes estados estáveis para um estado designado, enquanto a transição do segundo estado é opcional.

B) Um estado de saída associado com um desses estados estáveis está designado, enquanto que, para o segundo estado estável, o correspondente estado de saída é opcional.

Se uma das condições anteriores existe, os dois estados estáveis são denominados Pseudo Equivalentes, e podem ser considerados como equivalentes. Estas condições são ilustradas pelos dois seguintes exemplos:

Exemplo 1: Transição Opcional

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
1	3	5	4	00
2	3	-	4	00

≡

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
1	3	5	4	00

FIG. 6.22.A FIG. 6.22.B

Estados estáveis 1 e 2 são pseudo-equivalentes desde que uma mudança na entrada de $x_1x_2 = 00$ para $x_1x_2 = 11$ resulte em uma transição do estado estável 1 para 5, enquanto a transição do estado estável 2 é opcional. Desde que uma entrada opcional pode ser substituída com um 5, os estados estáveis 1 e 2 podem ser feitos equivalentes.

Exemplo 2: Saída Opcional

Neste exemplo Fig. 6.23 estados estáveis, 1 e 2 são pseudo-equivalentes desde que para o estado estável 1 $S_2 = 0$ enquanto que para o estado estável 2 S é opcional. Desde que uma entrada opcional possa ser substituida com um 0, os estados estáveis 1 e 2 podem ser feitos equivalentes.

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
1	3	5	4	00
2	3	5	4	0-

≡

x_1x_2

00	01	11	10	S_1S_2
1	3	5	4	00

FIG. 6.23.A FIG. 6.23.B

Um estado estável pode ser pseudo-equivalente a dois ou mais estados estáveis os quais entre si são não equivalentes.

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	4	-	7	0
2	5	6	-	0
3	-	6	7	0
1	4	6	-	1
2	5	6	-	0

FIG. 6.24

Estados estáveis 1 e 3 são pseudo-equivalentes, estados estáveis 2 e 3 são pseudo-equivalentes, enquanto os estados 1 e 2 são não equivalentes, as três possíveis reduções são mostradas nas Figs. 6.25.

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	4	6	7	0
2	5	6	-	0
1	4	6	-	1
2	5	6	-	0

1 = 3

FIG. 6.25.A

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	4	-	7	0
2	5	6	7	0
1	4	6	-	1
2	5	6	-	0

2 = 3

FIG. 6.25.B

x_1x_2 00	01	11	10	S
1	4	6	7	0
2	5	6	7	0
1	4	6	-	1
2	5	6	-	0

1 = 3

2 = 3

FIG. 6.25.C

Exemplo:

x_1x_2 00	01	11	10	S
1	4	-	7	0
1	2	-	5	0
1	3	-	6	1
1	4	-	7	-
1	3	-	5	1
1	2	-	6	1
1	4	-	7	1

FIG. 6.26

00	01	11	10	S
1	2ou3		5ou6	0
1	2	-	5	0
1	3	-	6	1
1	3	-	5	1
1	2	-	6	1

FIG. 6.27

Estados estáveis 2 e 3 são não equivalentes, e portanto os estados estáveis 5 e 6 são também não equivalentes. Estados estáveis 2 e 4 podem ser feitos equivalentes se estados estáveis 5 e 7 sejam feitos equivalentes. A equivalência de 5 e 7, por sua vez, depende da equivalência de 3 e 4 ; a equivalência de 3 e 4 depende da equivalência de 6 e 7 ; e a equivalência de 6 e 7 depende da equivalência de 2 e 4 , as seguintes equivalências podem, portanto, serem feitas:

$$2 \equiv 4 \qquad 5 \equiv 7$$

$$3 \equiv 4 \qquad 6 \equiv 7$$

e a tabela reduzida aparece na Fig. 6.27 · Notar que 4 e 7 na primeira fila pode cada qual ser substituído com qualquer das duas equivalências.

Terceiro Passo - Tabela de fluxo unida

Diagrama de União

Após testar e eliminar quaisquer estados estáveis redundantes, o próximo passo é unir as filas da primitiva tabela de fluxo e obter uma Tabela de Fluxo Unida. Na primitiva tabela de fluxo, cada estado estável é designado para uma fila separada, e todas transições entre estados estáveis envolvem uma mudança de entrada e uma mudança secundária. A união reduz o número de filas na tabela de fluxo colocando mais de um estado estável na mesma fila. Transições, entre estados estáveis na mesma fila são realizadas por mudanças de entradas somente.

A vantagem da união é que, reduzindo o número de filas na tabela de fluxo, o número de estados secundários requeridos é reduzido e, freqüentemente, como uma conseqüência o número de secundário requerido é também reduzido. Estas reduções, geralmente, levam a grande economia de circuito. Deve ser notado que a união reduz o número de filas da tabela de fluxo, mas não reduz o número de estados estáveis.

As regras para união são as seguintes:

1. Duas ou mais filas podem ser unidas se, dentro das filas não houve número de estados, conflitando em qualquer co-

luna. Por exemplo, duas filas podem ser unidas se cada coluna contém um ou dois números de estados iguais, ou uma contém um número e a outra, ou ambas contêm .

2. Todos os números circulados nas filas de união são escritos nas respectivas colunas da fila unida. Se um número de estado é circulado, nas filas de união, ele é circulado na fila unida, mantendo a designação de estado estável.

Exemplo:

A união das duas filas da Fig. 6.28 está mostrada na Fig. 6.29.

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	2	3	-	0
-	2	-	-	1

FIG: 6.28

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	2	3	-	0

FIG. 6.29

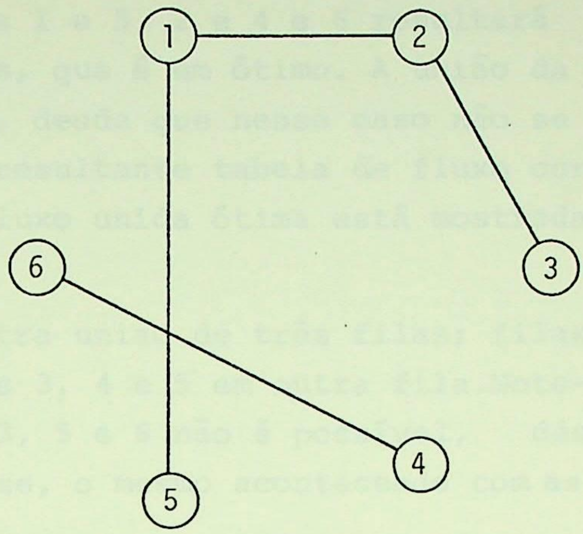
Geralmente, há mais de uma maneira de unir-se as filas de uma tabela de fluxo, e a escolha das uniões pode afetar a economia do circuito, na obtenção de uma união ótima, um diagrama de união é usado.

Para construir um diagrama de união, os números dos estados estáveis são dispostos num circuito, os números são usados somente para identificar as filas da primitiva tabela de fluxo, duas filas podem ser unidas aos correspondentes números de estados estáveis no diagrama de união são conectadas por uma linha. Todos os pares de filas são examinados para uma possível união, e, após todas linhas de conexão terem sido traçadas, o diagrama de união é inspecionado, a fim de se obter uma união ótima. O objetivo, em geral, é unir, a fim de se obter um mínimo número de filas na tabela de fluxo unida.

Uma primitiva tabela de fluxo e seu diagrama de união estão mostrados na Fig. 6.30.

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	5	-	2	0
1	-	3	2	1
-	6	3	2	0
-	6	4	2	1
1	5	4	2	1
1	6	4	-	0



Primitiva tabela de fluxo

Diagrama de União

FIG. 6.30.

x_1x_2

00	01	11	10
1	5	4	2
1	6	3	2
1	6	4	2

Tabela de fluxo unida

FIG. 6.31

Do diagrama de união, vemos que a fila 2 pode ser unida com a fila 3 ou com a fila 1, porém as filas 1 e 3 não podem ser unidas. Portanto as filas 1, 2 e 3 não podem se unir em uma só fila, e a escolha deve ser entre a união da fila 1 com 2 e a união da fila 2 com 3.

A união das filas 1, 2 e 5 não pode ser feita pela mesma razão, e uma escolha deve ser feita entre a união da fila 1 com 2 e da união da fila 1 com 5.

A união das filas 1 e 5, 2 e 4 e 6 resultará numa tabela de fluxo de três filas, que é um ótimo. A união da fila 1 e 2 não seria interessante, desde que nesse caso não se poderia unir a fila 3 com 5, e a resultante tabela de fluxo conteria quatro filas. A tabela de fluxo unida ótima está mostrada na Fig. 6.32.

A Fig. 6.32 ilustra união de três filas; filas 1, 2 e 6 unem-se em uma fila, filas 3, 4 e 5 em outra fila. Note-se que a união de quatro filas 2, 3, 5 e 6 não é possível, desde que as filas 2 e 5 não podem unir-se, o mesmo acontecendo com as filas 3 e 6.

x_1x_2

00	01	11	10	S
1	5	6	2	0
1	-	-	2	1
-	5	3	2	0
4	5	3	-	0
4	5	-	-	1
-	5	6	2	1

Primitiva tabela de fluxo

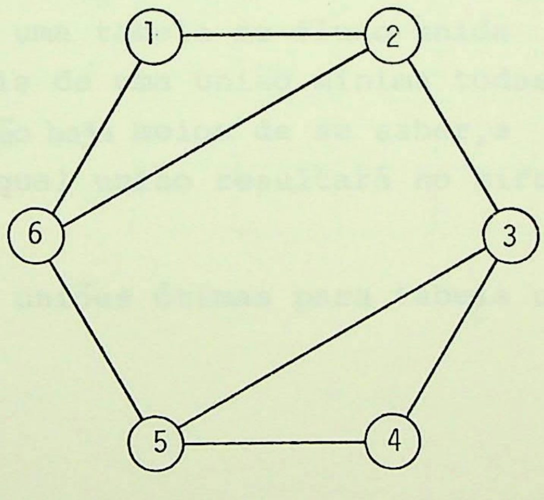


Diagrama de União

FIG. 6.32

x_1x_2

00	01	11	10
1	5	6	2
4	5	3	2

Tabela de fluxo unida

FIG. 6.33

A Fig. 6.34 é um exemplo de uma união de quatro filas. As Filas 1, 2, 5 e 6 podem ser unidas em uma só fila, e há também uma união entre as filas 3 e 4.

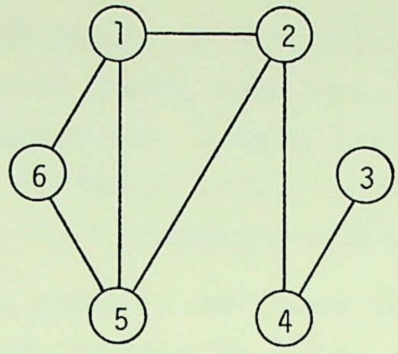
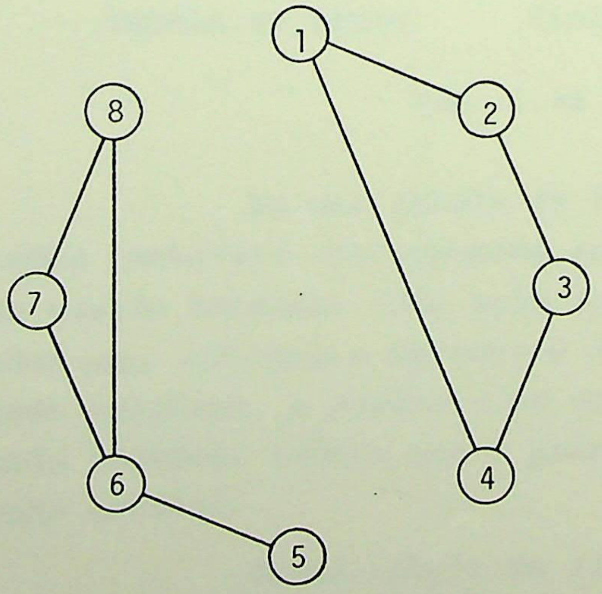


FIG. 6.34

Às vezes pode haver mais de uma maneira de obter uma união com um número mínimo de filas. Na Fig. 6.35 há quatro diferentes maneiras de se obter uma tabela de fluxo unida com quatro filas. Quando existem mais de uma união mínima todas devem ser consideradas, desde que não haja meios de se saber, a esta altura do projeto do circuito, qual união resultará no circuito mais econômico.

Quatro possíveis uniões ótimas para tabela unida



1) 1-2, 3-4, 5, 6-7-8.

2) 1-2, 3-4, 5-6, 7-8.

3) 1-4, 2-3, 5, 6-7-8.

4) 1-4, 2-3, 5-6, 7-8.

FIG. 6.35

Antes de passarmos ao 3º passo, examinemos os conceitos de ciclos, corridas não críticas e corridas críticas.

Ciclos

Até agora, a discussão de estados instáveis foi limitada aos casos nos quais após uma mudança secundária um estado estável era alcançado. O caso que será agora considerado é o de que um estado instável leva a outro estado instável. Tal sucessão de duas ou mais mudanças secundárias é chamado de ciclo.

Um exemplo de ciclo está mostrado na Fig. 6.36 na coluna x_1x_2 = 00 da tabela de fluxo e do mapa Y associado.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1			
01	1	4		
11	1			3
10	1	2		

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00			
01	00	01		
11				11
10	11	10		

Tabela de fluxo   Ciclo   Mapa Y

FIG. 6.36

Em uma tabela de fluxo Fig.6.36 todos os números de estados instáveis correspondem ao estado estável que será alcançado quando terminar toda ação do circuito secundário. Setas são usadas para indicaram o movimento de um estado instável para outro estado instável. A ausência de uma seta saindo de um número de estado instável indica que o próximo número é o correspondente estado estável.

Nesta tabela de fluxo e mapa Y associado, se o circuito está no estado estável 2 e ocorre uma mudança de entrada de x_1x_2 = 01 para 00 haverá um ciclo de três mudanças secundárias, sucessivas antes que o estado estável 1 seja alcançado: y_1y_2 = 10, para 11, para 01 e, para 00.

Se o circuito está no estado estável 3 , e ocorre uma mudança de entrada de x_1x_2 = 10 para 00, haverá um ciclo de somente duas mudanças secundárias sucessivas antes que a estabilidade seja alcançada: y_1y_2 = 11 para 01 para 00.

Se o circuito está no estado estável 4 e ocorre uma mudança de entrada de x_1x_2 = 01 para 00 o estado estável 1 é alcançado após uma mudança secundária simples de y_1y_2 = 01 para 00.

Corridas:

Nos ciclos e mudanças secundárias simples, discutidas anteriormente, cada excitação secundária diferia do presente estado secundário em somente uma variável, isto é somente um secundário era instável por vez. Se mais de um secundário é instável por vez, é dito existir uma condição de corrida.

Um exemplo de corrida está mostrado na coluna x_1x_2 = 00 da tabela de fluxo associado da Fig. 6.37.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1			
01	1			
11	1	2		
10	1			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00			
01	00			
11	00	11		
10	00			

Tabela de fluxo Corrida não crítica Mapa Y

FIG. 6.37

Se o circuito está no estado estável 2 , e ocorre uma mudança de entrada de x_1x_2 = 01 para 00 a exitação

$y_1y_2 = 00$ diferirá do estado secundário $y_1y_2 = 11$, em duas variáveis e ambos secundários tenderão a mudar de estado ao mesmo tempo. Contudo, os tempos de resposta física dos secundários podem diferir, e um secundário pode responder mais rápido do que o outro. Se ambos secundários respondem ao mesmo tempo, o próximo estado secundário será: $y_1y_2 = 00$ e não ocorrerá nenhuma outra ação, desde que este estado seja estável. Se y_1 responde primeiro, o próximo estado secundário será $y_1y_2 = 01$, este estado é instável, e uma outra mudança secundária para o estado: $y_1y_2 = 00$ ocorrerá. Se y_2 responde primeiro, o próximo estado secundário será $y_1y_2 = 10$, este estado é instável, e uma outra mudança secundária para o estado estável, $y_1y_2 = 00$ ocorrerá.

No exemplo anterior não interessa qual o resultado da corrida (y_1 responde primeiro, ou y_2 responde primeiro, ou y_1 e y_2 respondem juntos), a ação do circuito termina no estado estável desejado, tal corrida é denominada não-crítica.

Um exemplo mais complexo está mostrado, na Fig. 6.38.

$y_1y_2y_3$ \ x_1x_2	00	01	11	10
000	1			
001	1			
011	1			
010	1			
110	1			
111	1	2		
101	-			
100	1			

Tabela de fluxo

$y_1y_2y_3$ \ x_1x_2	00	01	11	10
000	000			
001	000			
011	000			
010	000			
110	100			
111	010	111		
101	---			
100	000			

Mapa Y

FIG. 6.38

Se o circuito está no estado estável (2) e há uma mudança de entrada de x_1x_2 = 01 para 00, haverá uma condição de corrida do estado $y_1y_2y_3$ = 111 para o estado $y_1y_2y_3$ = 010 ou 011. O estado 010 muda para o estado estável 000; o estado 110 cicla através do estado 100 para o estado estável 000.

O estado 011 tende a mudar para o estado 000, acontece aí outra condição de corrida com o próximo estado secundário sendo 000 (estável), 010 ou 001. Os estados 010 e 001 ambos mudam para o estado estável 000. Portanto não interessa qual o resultado das corridas, a ação do circuito vai terminar no estado $y_1y_2y_3$ = 000, e as corridas são, então, não críticas.

Todas as possíveis ações do circuito da Fig. 6.38, estão ilustradas no diagrama da Fig. 6.39

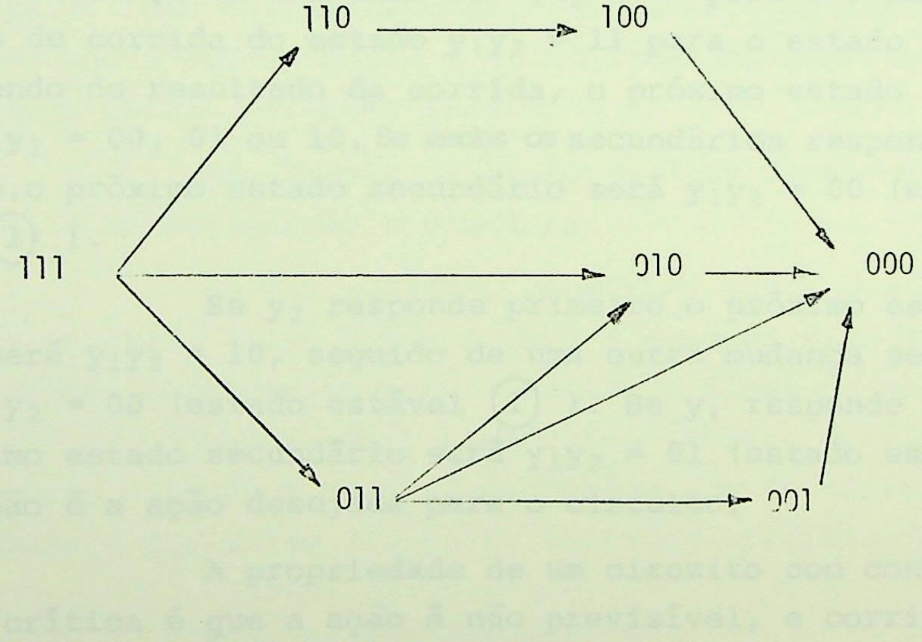


FIG. 6.39

Uma corrida que pode terminar em dois ou mais estados estáveis não equivalentes (ou pode ciclar indefinidamente) é denominada corrida crítica.

Um exemplo de corrida crítica está mostrada na coluna x_1x_2 = 00, da tabela de fluxo e mapa Y associado da Fig. 6.41.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	(1)			
01	(2)			
11	1	(3)		
10	1			

Tabela de fluxo

Corrida Crítica

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00			
01	01			
11	00			
10	00	11		

Mapa Y

FIG. 6.41

Se o circuito está no estado estável (3) e ocorre uma mudança de entradas de x_1x_2 = 01 para 00, haverá uma condição de corrida do estado y_1y_2 = 11 para o estado y_1y_2 = 00. Dependendo do resultado da corrida, o próximo estado secundário será y_1y_2 = 00, 01 ou 10. Se amobs os secundários respondem ao mesmo tempo, o próximo estado secundário será y_1y_2 = 00 (estado estável (1)).

Se y_2 responde primeiro o próximo estado secundário será y_1y_2 = 10, seguido de uma outra mudança secundária para y_1y_2 = 00 (estado estável (1)). Se y_1 responde primeiro, o próximo estado secundário será y_1y_2 = 01 (estado estável (2)), que não é a ação desejada para o circuito.

A propriedade de um circuito com condição de corrida crítica é que a ação é não previsível, e corridas críticas portanto representam projeto impróprio e devem ser evitados.

Contudo, corridas não críticas e ciclos são não somente permissíveis no projeto de circuitos seqüenciais, como podem ser desejáveis.

Ciclos podem ser usados para evitar corridas críticas ou para introduzir demora adicional nas transições secundárias. Corridas não críticas são usuais onde curtas transições de tempo são desejáveis. Ciclos ou corridas não críticas podem, em determinados casos, levarem a circuitos mais econômicos.

Corridas críticas podem ser evitadas,se um secundário inerentemente ou pela inserção de demoras adicionais, responde mais lento do que o outro. Nas discussões seguintes contudo,isto não é levado em consideração, e os tempos relativos de respostas são indeterminados.

Quarto Passo - Designação de estados secundários

Generalidades

Os próximos passos no projeto de circuitos seqüenciais é fazer a designação de estados secundários para as filas da tabela de fluxo unida.

Arbitrariamente o estado estável 1 será sempre colocado na primeira fila da tabela de fluxo, e designará o estado tudo 0; isto é, todos os estados de entrada iguais a 0 e todos os estados secundários iguais a 0. O estado secundário tudo 0 será designado para a primeira fila.

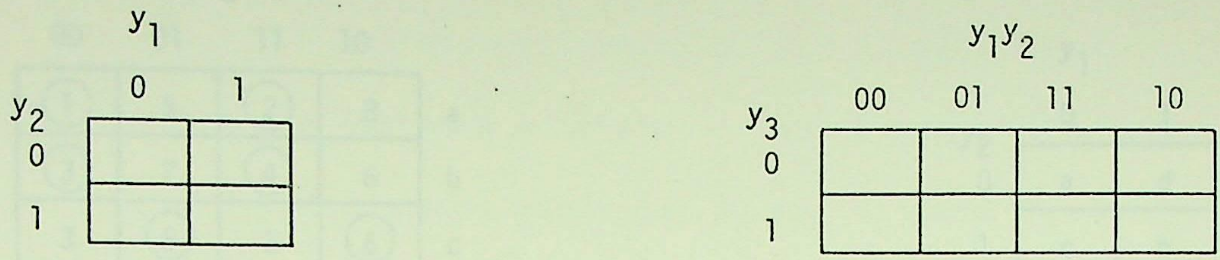
Uma tabela de fluxo de duas filas não apresenta problemas de designação secundária.

Um secundário é requerido com a designação y = 0 para a primeira fila, e y = 1 para a segunda fila. Quando se fazem designações secundárias para tabelas de fluxo de três ou mais filas, não se pode designar; para estas tabelas de fluxo, um mapa de transição ajuda a achar designações com um mínimo número de variáveis e que sejam livres de corridas críticas.

Mapa de Transição

Os secundários são as variáveis de um mapa de transição, cada quadrado em um mapa representa um estado secundário. Com dois secundários, quatro estados secundários são possíveis.

Com três secundários, oito estados secundários são possíveis, e assim por diante. Mapas de transição de duas e três variáveis são mostradas na Fig. 6.42.



Mapa de Transição de Duas Variáveis

Mapa de Transição de Três Variáveis

FIG. 6.42

Como um primeiro passo na determinação de uma designação secundária, para cada fila na tabela de fluxo unida é designada uma letra de referência. A designação de um estado secundário para uma fila em uma tabela de fluxo está associada com a entrada da letra de referência da fila no correspondente do mapa de transição.

Na designação de estados secundários para as filas de uma tabela de fluxo unida, as possíveis transições fila para fila devem ser examinadas: se há uma transição entre duas filas particulares, os estados secundários para as duas filas devem ou diferirem em somente uma variável, ou se eles diferem em mais do que uma variável, deve ser prescrito ou um ciclo ou uma corrida não crítica. Corridas críticas devem ser evitadas.

Note-se que designações secundárias diferindo em somente uma variável devem ser representadas em um mapa de transição por Entrada Adjacente . Portanto,se há uma transição entre duas filas particulares, suas letras de referência devem ou aparecerem em quadrados adjacentes de um mapa ou então deve ser prescrito ou um ciclo ou uma corrida não crítica.

Exemplo 1:

Na Fig. 6.43 para a fila a é arbitrariamente designada o estado $y_1y_2 = 00$, e um a entra no correspondente quadrado do mapa de transição.

	x_1x_2 00	01	11	10	
	1	5	2	8	a
	3	7	4	6	b
	3	5	2	6	c
	1	7	4	8	d

Tabela de fluxo unida

y_2 \ y_1	0	1
0	a	d
1	c	b

Mapa de Transição

FIG. 6.43

O exame da tabela de fluxo mostra que todas as transições fila para fila devem ser executadas por mudanças secundárias simples, desde que ñão é possível ciclos ou corridas não é possível ciclos ou corridas não críticas.

Há uma transição entre filas a e c (estados estáveis 1 ou 2 para 5).

Portanto a designação secundária para a fila c deve diferir da designação para a fila a em somente uma variável, isto é, a designação para a fila c deve ser ou y_1y_2 = 01 ou 10. A designação y_1y_2 = 01 é escolhida arbitrariamente e um c entra então, no correspondente quadrado do mapa de transição.

Há também uma transição entre as filas a e c (estados estáveis 1 ou 2 para 8); para a fila d deve portanto ser designado o estado 0 estado y y = 10, um d entra, então, no correspondente quadrado do mapa de transição.

A transição entre as filas b e d (estados estáveis 3 ou 4 para 7) requer que as duas designações das filas correspondentes difiram em somente uma variável, e a fila b deve ser designada o estado restante y y = 11, um b entra, então, no correspondente quadrado do mapa de transição.

Resta ser determinado se estas designações satisfazem todas as outras transições na tabela de fluxo. As restantes transições são entre as filas.

b e c (estados estáveis 3 ou 4 para 6)

c e b (estados estáveis 5 ou 6 para 3)

c e a (estados estáveis 5 ou 6 para 2)

d e a (estados estáveis 7 ou 8 para 1)

d e b (estados estáveis 7 ou 8 para 4)

Todas as transições são entre entradas adjacentes do mapa, e a designação secundária, como indica no mapa, é, portanto, satisfatória. A tabela de fluxo com desingação secundária está mostrada na Fig. 6.44.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	5	2	8	a
01	3	5	2	6	c
11	3	7	4	6	b
10	1	7	4	8	d

FIG. 6.44

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00		00	
01		01		01
11	11		11	
10		10		10

Mapa Y incompleto

FIG. 6.45

Devido ao inter-relacionamento entre designação de estados secundários que é o 4º passo do nosso método de projetos de circuitos seqüenciais e o 5º passo que é mapa Y, passamos agora ao mapa Y ao mesmo tempo em que estudamos designação secundária.

Quinto Passo - Mapa Y

Na obtenção de um mapa Y da tabela de fluxo com designação secundária é conveniente preencher-se primeiro as entradas do mapa para os estados estáveis. Cada entrada no mapa (excitação secundária) correspondendo a um estado estável será a mesma que o presente estado secundário. Um mapa Y parcialmente completo da tabela de fluxo da Fig. 6.44 está mostrado na Fig. 6.45.

Desde que não sejam prescritos nenhum ciclo neste exemplo, cada entrada do mapa correspondendo a um estado instável será a mesma que a entrada do mapa do correspondente estado estável.

O mapa Y completo está mostrado na Fig. 6.46.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00	01	00	10
01	11	01	00	01
11	11	10	11	01
10	00	10	11	10

FIG. 6.46 - MAPA Y

Todas as entradas do mapa Y do lado esquerdo definem y_1, e todas entradas do mapa Y do lado direito definem y_2. As expressões para os circuitos de excitação secundária são lidas do mapa, Fig. 6.47.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00				1
01	1			
11	1	1	1	
10		1	1	1

$$Y_1 = \bar{x}_1\bar{x}_2y_2 + x_2y_1 + x_1\bar{x}_2\bar{y}_2$$

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00		1		
01	1	1		1
11	1		1	1
10			1	

$$Y_2 = \bar{x}_1\bar{x}_2y_1 + x_1y_1 + \bar{x}_2y_2$$

FIG. 6.47

Quando, em uma coluna de uma tabela de fluxo, um número de estado instável aparece mais de uma vez, um ciclo ou uma corrida não crítica pode ser prescrito naquela coluna.

Exemplo 2:

x_1x_2	00	01	11	10	
	1	2	7	4	a
	1	5	3	6	b
	1	2	3	6	c
	1	5	7	4	d

FIG. 6.48

Uma coluna tendo somente 1 estado estável não precisa ser fonte de preocupação ao se fazer uma designação secundária, desde que ciclos e corridas não críticas possam prescritos em tal coluna.

Portanto, ignorando a coluna $x_1x_2 = 00$, temporariamente, as transições de fila para fila nas outras três colunas levam à designação secundária mostrada na Fig. 6.49.

y_2 \ y_1	0	1
0	a	d
1	c	b

Mapa de transição

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	2	7	4	a
01		2	3	6	c
11		5	3	6	b
10		5	7	4	d

Tabela de fluxo incompleto com designação secundária.

FIG. 6.49

As opções disponíveis para tratar a coluna $x_1x_2 = 00$ estão mostrados na Fig. 6.50 e 6.51. Deve ser lembrado que transições de um estado instável para outro são indicados por flechas; a ausência de uma flecha saindo de um número instável indica que o próximo estado é o correspondente estado estável.

As opções são numeradas para referência:

opção	1	2	3	4	5	6	7
y_1y_2	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00
00	1	1	1	1	1	1	1
01	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1

Coluna $x_1x_2 = 00$ da tabela de fluxo

FIG. 6.50

opção	1	2	3	4	5	6	7
y_1y_2	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00	x_1x_2 00
00	00	00	00	00	00	00	00
01	00	00	00	00	11	00	10
11	00	01	10	01	10	01	10
10	00	00	00	11	00	01	00

Coluna $x_1x_2 = 00$ do Mapa Y

FIG. 6.51

Na opção 1, a transição da fila $y_1y_2 = 11$ para a fila $y_1y_2 = 00$ é feita por uma corrida não crítica. Na opção 2 ela é feita por um ciclo: $y_1y_2 = 11$ para 01 para 00, opção 4 é similar a opção 2 exceto que a transição da fila $y_1y_2 = 10$ para a fila $y_1y_2 = 00$, em vez de ser direta, é executada por um ciclo: $y_1y_2 = 10$ para 11 para 01 para 00.

Opção 6 é similar à opção 2 exceto que uma corrida não crítica entra na transição da fila $y_1y_2 = 10$.

Opção 3, 6 e 7 são semelhantes em tipo às opções 2, 4 e 6 respectivamente.

A tabela de fluxo completa com designação secundária, usando opção 1, está mostrada na Fig. 6.52, com o mapa Y associado.

x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	2	7	4	a
01	1	2	3	6	c
11	1	5	3	6	b
10	1	5	7	4	d

Tabela de fluxo com designação secundária

x_1x_2	00	01	11	10
00	00	01	00	10
01	00	01	11	01
11	00	11	11	01
10	00	11	00	10

Mapa Y

FIG. 6.52

Quando várias opções são possíveis, como no exemplo anterior, ou quando designações alternativas são possíveis, elas devem ser investigadas, desde que, a esta altura do projeto, não haja meios de se saber qual delas levará a solução mais econômica.

A economia do circuito de excitação secundária e do circuito de saída pode ser afetada pela escolha da designação, e das opções de transição.

Problemas Propostos

1. Unir a primitiva tabela de fluxo das Figs.6.53 e 6.54.

x_1x_2 00	01	11	10	S
1	4	2	-	0
-	-	2	5	0
8	3	-	5	0
1	4	-	7	1
8	4	2	5	0
8	3	6	-	1
1	4	-	7	1
8	3	6	-	1

FIG. 6.53

x_1x_2 00	01	11	10	S
1	5	-	4	0
2	-	-	9	1
-	7	3	-	0
6	7	3	4	1
1	5	8	9	1
6	7	-	9	0
6	7	8	-	0
-	7	8	9	1
2	5	3	9	0

FIG. 6.54

2. Unir a primitiva tabela de fluxo da Fig.6.55.

x_1x_2 00	01	11	10	M
1	-	-	2	0
3	-	-	2	1
3	4	-	-	1
1	4	-	-	0

FIG. 6.55

Tendo em vista um estudo mais completo do 4º passo da nossa sistemática de projetos de circuitos seqüenciais, voltemos agora à continuação do 4º passo, com o estudo de:

Utilização de estados secundários de reserva.

A designação secundária para uma tabela de fluxo de três filas pode sempre ser feita com duas variáveis secundárias, embora algumas vezes o quarto estado secundário de "reserva" deva ser utilizado para evitar corridas críticas. Esta exigência ocorre quando existem transições entre todos os três pares de filas, ab, ac e bc, como mostrado na Fig. 6.56 não importa como são feitas as designações secundárias, haverá uma transição entre duas filas cujas designações de estados secundários diferem em duas variáveis.

x_1x_2: 00	01	11	10	
1	2	3	4	a
5	2	6	7	b
5	8	3	4	c

FIG. 6.56

	y_1: 0	1
y_2: 0	a	b
1	d	c

Mapa de transição

FIG. 6.57

Por exemplo, com a designação secundária, mostrada no mapa de transição da Fig. 6.57 as filas a e c são cada qual adjacente à fila b, mas não são adjacentes entre si: contudo transições entre as filas a e c podem ser feitas sem introduzir condições de corrida crítica: prescrevendo-se ciclos através de estado secundário de reserva $y_1y_2 = 01$, arbitrariamente denominado d. A tabela de fluxo com esta designação secundária está mostrada na Fig. 6.58 com o mapa Y associado.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	2	3	4	a
01			3	4	d
11	5	8	3	4	c
10	5	2	6	7	b

a) Tabela de fluxo com designação secundária

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00	10	01	00
01	--	--	11	00
11	11	11	11	01
10	11	10	10	10

b) Mapa Y

FIG. 6.58

Duas outras designações secundárias para o mesmo problema estão mostrados nas Figs. 6.59 e 6.60, uma na qual as filas b e c não são adjacentes, e a outra na qual as filas a e b não são adjacentes.

y_2 \ y_1	00	1
0	a	b
1	c	d

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	2	3	4	a
01	5	8	3	4	c
11	5				d
10	5	2	6	7	b

FIG. 6.59

y_2 \ y_1		
0	a	c
1	d	b

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10	
00	1	2	3	4	a
01		2			d
11	5	2	6	7	b
10	5	8	3	4	c

FIG. 6.60

As três designações secundárias mostradas nas Figs. 6.58, 6.59 e 6.60 em geral, levam a soluções diferentes.

Uma designação secundária, sem corridas críticas, para uma tabela de fluxo de quatro filas, não pode ser sempre encontrada com duas variáveis secundárias e três secundários podem ser exigidos. Com três secundários, dispõe-se de oito estados secundários: quatro para designar as quatro filas da tabela, e quatro como reserva.

Um exemplo de uma tabela de fluxo, requerendo três secundários está mostrado na Fig. 6.61. Este exemplo ilustra uma condição de "pior caso", no qual há transições entre todos os seis pares de filas ab, ac, ad, bc, bd, cd.

Três secundários às vezes podem ser requeridos para tabelas de fluxo de quatro filas nos quais há transições entre três pares de filas somente, como mostra a Fig. 6.62.

x_1x_2

00	01	11	10	
1	2	3	4	a
5	2	6	7	b
5	8	6	4	c
1	8	3	7	d

FIG. 6.61

x_1x_2

00	01	11	10	
1	2	3	4	a
1	2	5	6	b
1	7	3	8	c
1	9	10	4	d

FIG. 6.62

Algumas vezes pode parecer a princípio que secundários adicionais são necessários, quando na realidade este não é o caso. Por exemplo, na Fig. 6.63, a análise das três colunas da esquerda da tabela de fluxo mostra transições entre as filas, a e b, b e c, c e d e a e d, e o mapa de transição até este ponto é satisfatório.

	x_1x_2 00	01	11	10	
	1	2	3	4	a
	5	2	6	7	b
	5	8	6	4	c
	1	8	3	4	d

Tabela de fluxo

y_2 \ y_1	0	1
0	a	d
1	b	c

Mapa de transição

FIG. 6.63

A coluna $x_1x_2 = 10$ contém uma transição de d para c, para a qual a designação secundária mostrada é ainda satisfatória.

Contudo esta coluna também uma transição de a para c, a qual, com a designação mostrada, envolve uma mudança de duas variáveis secundárias. Uma corrida crítica pode,contudo,ser evitada sem o uso de secundário adicional, prescrevendo-se o ciclo a d e para esta transição.

Sexto Passo - Mapa S

As expressões da saída são lidas do mapa S. O mapa S é obtido da tabela de fluxo com designação secundária e primitiva tabela de fluxo, e a localização, no mapa S, do estado de saída é identificado na tabela de fluxo com designação secundária. Também as transições de um estado para o estado atual são identificadas na primitiva tabela de fluxo, esta informação sendo usada na designação dos estados de saída para os estados instáveis.

A Fig. 6.64 mostra uma primitiva tabela de fluxo e a correspondente tabela de fluxo unida com designação secundária.

x_1x_2				
00	01	11	10	S
1	2	3	4	0
-	2	5	4	0
1	2	3	4	1
1	2	5	4	1
-	2	5	4	0

Primitiva tabela de fluxo

y \ x_1x_2	00	01	11	10
0	1	2	3	4
1	1	2	5	4

Tabela de fluxo unida com designação secundária

FIG. 6.64

Na construção do mapa S, o estado de saída para cada estado estável entra no mapa em primeiro lugar. O estado de saída para cada estado estável é achado na primitiva tabela de fluxo; a localização, no mapa S, do estado de saída corresponde à localização do estado estável associado na tabela de fluxo com designação secundária. Um mapa S parcialmente completo está mostrado na Fig. 6.65.

y \ x_1x_2	00	01	11	10
0	0		1	
1		0	0	1

Mapa S parcialmente completo

FIG. 6.65

Na designação dos estados de saída para estados instáveis, as seguintes regras são observadas:

1. Se em uma transição, os estados da saída para os estados estáveis inicial e final são os mesmos, este mesmo estado de saída deve ser designado para os estados instáveis envolvidos na transição. Mudanças transitórias nos estados de saída são então impedidas.

2. Os estados de saída para todos os estados instáveis não cobertos pela regra 1 podem ser opcionais, exceto que em todas as transições , envolvendo uma mudança no estado de saída, a saída deve mudar de estado somente uma vez. A exceção deve ser notada somente quando há dois ou mais estados instáveis envolvidos em uma transição, mudanças oscilatórias dos estados de saída são então impedidas.

O mapa S anterior será agora completado.

A tabela de fluxo com designação secundária, indica que o estado instável 2 pode ser envolvido em uma transição do estado estável 1 para 2 ou em uma transição do estado 3 para 2 A transição de 1 para 2 não especifica mudança no estado de saída (o estado de saída inicial é 0 e o estado de saída final é 0). Se esta transição realmente ocorrer, o estado de saída deve ser 0 para o estado instável 2.

Usando a primitiva tabela de fluxo, como referência, vê-se que a transição de 1 para 2 realmente ocorre. Portanto o estado de saída 0 deve ser designado para o estado instável 2.

A tabela de fluxo com designação secundária indica que o estado instável 4 pode ser envolvido em uma transição de 1 para 4 ou em uma transição de 3 para 4 . Neste caso a transição de 3 para 4 é a crítica; ambos estados inicial e final são 1. Usando-se a primitiva tabela de fluxo como referência vê-se que a transição de 3 para 4 ocorre realmente, portanto o estado de saída deve ser 1 para 0 estado instável 4.

A tabela de fluxo com designação secundária indica que o estado instável 1 pode ser envolvido em transição de 2 para 1 , ou de 5 para 1 ou de 4 para 1. Ambas as transições de 2 para 1 ou de 5 para 1 especificam que não há mudança no estado de saída.

Se qualquer uma dessas transições ocorre, o estado de saída deve ser 0 para o estado instável 1. A primitiva tabela de fluxo, contudo, mostra que nenhuma dessas transições ocorre.

Desde que o estado instável 1 não esteja envolvido numa transição especificando não mudança no estado de saída, o estado de saída deve ser opcional para o estado instável 1. A figura abaixo mostra o mapa S completo e as expressões de saída.

$y \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	-	0	0	1

$$S = x_1\bar{y} + x_1\bar{x}_2$$

ou

$$S = x_1\bar{y} + \bar{x}_2 y$$

A Fig. 6.66 mostra um exemplo com duas saídas. A primitiva tabela de fluxo não está mostrada, mas, a partir dela, foi obtido o estado de saída para cada estado estável. Estes estados de saída aparecem no mapa S parcialmente completo. A primitiva tabela de fluxo mostra que todas as transições indicadas na tabela de fluxo com designação secundária ocorrem.

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	1	2	3	4
01	1	2	5	4
11	6	7	5	8
10	6	7	3	8

Tabela de fluxo unida com designação secundária

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	00		11	
01		01		10
11			01	
10	10	00		11

Mapa S parcialmente completo

FIG. 6.66

O mapa S será agora completo.

O estado instável 2 é envolvido, em uma transição de 1 para 2 estados de saída 00 → 01; é também envolvido em uma transição de 3 para 2 , estados de saída 11 → 01. O exame das duas saídas independentemente mostra

transições	Estados de saída S	S
1 para 2	0 → 0	0 → 1
3 para 2	1 → 0	1 → 1

que a transição de 1 para 2 especifica não mudança no estado da saída S_1, requerendo $S_1 = 0$ para o estado instável 2; e a transição de 3 para 2 especifica não mudança no estado de saída S_2, requerendo $S_2 = 1$ para o estado instável 2. Portanto $S_1S_2 = 01$ é requerido para o estádo instável 2.

A exigência do estado de saída $S_1S_2 = 10$ para o estado instável 4 é similarmente determinada: A transição de 1 para 4 requer $S_2 = 0$, e a transição de 3 para 4 requer $S_1 = 1$.

O estado instável 1 requer o estado de saída $S_1 S_2 = 00$; a transição de 2 para 1 requerendo $S_1 = 0$, e a transição de 4 para 1 requerendo $S_2 = 0$, O estado estável 5 requer o estado de saída $S_1S_2 = 01$, a transição de 2 para 5 estabelece ambos estados das saídas S_1 e S_2. Os estados das saídas para estado instável 6 podem ser opcionais desde que,na transição de 5 para 6, ambas as saídas mudem estados. A transição, de 5 para 7 requer o estado de saída $S_1 = 0$ para o estado instável 7. enquanto S_2 pode ser opcional desde que mude estado. A transição 5 para 8 requer o estado de saída da $S_2 = 1$ para estado instável 8 enquanto S_1 pode ser opcional desde que mude estado. Estado instável 3 requer o estado de saída $S_1S_2 = 11$.

O mapa S completo e as expressões de saída são mostradas na Fig. 6.67.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	00	01	11	10
01	00	01	01	10
11	--	0-	01	-1
10	10	00	11	11

$$S_1 = x_1\bar{y}_2 + x_1\bar{x}_2 + \bar{x}_2y_1$$

$$S_2 = x_2\bar{y}_1 + x_1y_1$$

FIG. 6.67

Algumas vezes pode haver uma exigência que, se uma transição envolve uma múltipla mudança de saída, todas as mudanças de estados de saída ocorram simultaneamente. Por exemplo, com esta exigência na transição 5 para 6 no exemplo anterior, os estados de saída para o estado instável 6 seriam restringidos a $S_1S_2 = 01$ ou então a $S_1S_2 = 10$.

Considerações de tempo podem, algumas vezes, ter prioridades sobre economia do circuito, e estados de saída definitivos podem ser designados no lugar de estados opcionais. Por exemplo:

Se é desejado que todas as saídas sejam de tão curta duração quanto possível, todas as entradas opicionais podem ser substituídas por 0s.

Se é desejado que todas as saídas sejam de tão longa duração quanto possível, todas as entradas opcionais podem ser substituídas por 1s.

Se é desejado que todas as mudanças de saída ocorram tão cedo quanto possível, todas as entradas opcionais podem ser substituídas pelo valor das saídas, para os estados estáveis finais correspondentes.

Se é desejado que todas as mudanças de saída ocorram tão tarde quando possível, todas as entradas opcionais podem ser substituídas pelo valor das saídas, com os estados estáveis iniciais correspondentes.

Tais considerações de tempo, podem, é claro, ser aplicadas a transições particulares somente.

A seguir, temos alguns exemplos de designações de estado de saída para estados instáveis envolvendo ciclos e corridas.

Ciclo sem mudança no estado de saída

Da tabela de fluxo (não mostrada) temos que para o estado estável 1 a saída é 0 e para o estado estável 2 a saída é 0.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1			
01	1			
11	1			
10	1	2		

Tabela de fluxo com designação secundária

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	0			
10	0	0		

Mapa S

FIG. 6.68

S = 0 deve ser designado para todos os estados instáveis para que não ocorra mudança transitória na saída.

Ciclo com Mudança no Estado de Saída

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1			
01	1			
11	1			
10	1	2		

Tabela de fluxo com designação secundária

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	-			
11	-			
10	-	1		

Mapa S

FIG. 6.69

A saída deve mudar de estado somente uma vez, portanto a escolha dos estados de saída opcionais é restringida as soluções da Fig. 6.70.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	0			
10	0	1		

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	0			
10	1			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	1			
10	1	1		

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	1			
11	1			
10	1	1		

FIG. 6.70 Mapa S

Corrida sem mudança no estado de saída.

Da primitiva tabela de fluxo (não mostrada) observa-se que as saídas para os estados 1 e 2 são ambas 0.

S = 0 deve ser designado para todos os estados instáveis para que não ocorra mudança transitória na saída.

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	1			
01	1			
11	1	2		
10	1			

Tabela de fluxo com designação secundária

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	0	0		
10	0			

Mapa S

FIG. 6.71

Corrida com mudança no estado de saída

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	1			
01	1			
11	1	2		
10	1			

Tabela de fluxo com designação secundária

$y_1y_2 \backslash x_1x_2$	00	01	11	10
00	0			
01	-			
11	-	1		
10	-			

Mapa S

FIG. 6.72

A saída deve mudar de estado somente uma vez e portanto a escolha dos estados de saída opcionais é restringida às soluções da Fig. 6.73.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	1	1		
10	0			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	1	1		
10	1			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	1			
11	1	1		
10	0			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	1			
11	1	1		
10	1			

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	0			
01	0			
11	0	1		
10	0			

FIG. 6.73 Mapas S

Mudanças transitórias; especificações cíclicas.

Saídas transitórias, associadas somente, com particulares estados instáveis, podem algumas vezes ser especificadas numa exigência de um circuito seqüencial. Por exemplo, na tabela 6.74, uma saída transitória associada com o estado instável 2 pode ser desejada, a expressão para esta saída sendo:

$$S = \bar{x}_1 x_2 \bar{y}_1 \bar{y}_2$$

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1	2		
01		2		
11				
10				

FIG. 6.74

Alguns ciclos pódem ser prescritos com a finalidade de introdução de uma série de saídas transitórias como no exemplo da Fig. 6.75.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	1	2		
01		2		
11		2		
10		2		

$$S_1 = \bar{x}_1 x_2 \bar{y}_1 \bar{y}_2$$
$$S_2 = \bar{x}_1 x_2 \bar{y}_1 y_2$$
$$S_3 = \bar{x}_1 x_2 y_1 y_2$$

FIG. 6.75

Uma série contínua de saídas transitórias é, algumas vezes, desejada, como no exemplo da Fig. 6.76.

y_1y_2 \ x_1x_2	00	01	11	10
00	(1)	2		
01		2		
11		2		
10		2		

$$S_1 = \bar{x}_1 x_2 \bar{y}_1 \bar{y}_2$$
$$S_2 = \bar{x}_1 x_2 \bar{y}_1 y_2$$
$$S_3 = \bar{x}_1 x_2 y_1 y_2$$
$$S_4 = \bar{x}_1 x_2 y \bar{y}$$

FIG. 6.76

Quando ocorre uma mudança de entrada para $x_1x_2=01$ o circuito irá ciclar continuamente, produzindo uma série de saídas transitórias até ocorrer outra mudança de entrada.

Quando um ciclo é requerido como parte das especificações originais do circuito, tal que forneça uma série de saídas transitórias, transições de e para as mesmas filas de uma tabela de fluxo ocorrem na mesma coluna, impondo restrições na aplicação dos modelos de designação secundária já discutidas.

Por exemplo, nas três colunas da esquerda, da tabela de fluxo da Fig. 6.77, ocorrem transições entre todos os seis pares de filas.

x_1x_2: 00	01	11	10	
(1)	2	5	7	a
3	(2)	6	7	b
(3)	4	(5)	7	c
1	(4)	(6)	(7)	d

FIG. 6.77

y_3 \ y_1y_2	00	01	11	10
0	a	c	h	e
1	t	g	b	d

Modelo 5

FIG. 6.78

Enquanto estamos tratando três colunas da esquerda, a designação secundária (modelo 5) da Fig. 6.78 é satisfatória.

Contudo esta designação não é satisfatória para a coluna $x_1x_2 = 10$. Se a transição de a para b é prescrita pelo ciclo atgb, a transição de b para c tem de ser prescrita pelo ciclo bhc e não existe então nenhum estado de reserva adjacente a c para executar a transição de c para d .

Designações secundárias alternadas com o mesmo modelo podem ser aplicadas quando tal condição existe. Por exemplo, a designação na Fig. 6.79 é satisfatória.

y_3 \ x_1x_2	00	01	11	10
0	a	b	h	e
1	t	g	c	d

Fig. 6.79 Modelo 5

FIG. 6.79 Modelo 5

Modelo 6 é o único que é aplicável para qualquer tabela de fluxo de quatro filas, independente de qualquer tipo de ciclo que passa ser prescrito,

Azares (ou Acasos)

Os dispositivos físicos usados para executar os circuitos de chaveamento não são ideais que se possa afirmar que as relações

se $x = 0$ então $\bar{x} = 1$

se $x = 1$ então $\bar{x} = 0$

Sempre existem. Isto porque durante os tempos de transição as relações:

$$x = \bar{x} = 0 \quad \text{ou} \quad x = \bar{x} = 1$$

podem existir brevemente.

Alguns exemplos das conseqüências, nos circuitos seqüenciais, da imperfeição nos dispositivos serão agora estudadas. A execução da expressão:

$$AB + \bar{A}C$$

será usada como exemplo corrente.

Exemplo:

Considerar a execução de relé na Fig. 6.80, na qual os contactos de transferência do relé A são do tipo "suspende antes de fazer" (Break-Before Make).

Supor a condição dos relés B e C operados, e relé A mudando de estado. O circuito estará fechado antes e após a mudança, mas por um breve intervalo de tempo durante a transição do relé A, ambos contactos A e $\bar{A}$ estão abertos, e o circuito estará portanto aberto. Tal condição falsa do circuito é chamada de AZAR.

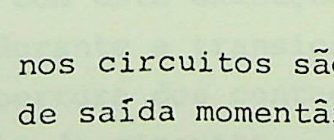


FIG. 6.80

Azares nos circuitos são indesejáveis somente devido à falsa condição de saída momentânea. Se azares existem no circuito de excitação secundária, podem resultar conseqüências mais sérias de operação incorreta do circuito.

O azar no exemplo anterior pode ser eliminado fazendo uso da relação

$$AB + A\bar{C} = (A + C)\ (\bar{A} + B)$$

e executando o circuito conforme a Fig. 6.81.

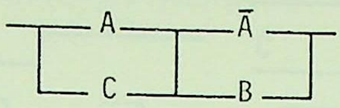


FIG. 6.81

Com esta execução de relé na Fig. 6.82, na qual os contactos de transferência do relé A são do tipo "faz antes de suspender" (Make Before Break) ou do tipo transferência contínua.

Supor a condição dos relés B e C inoperados e relé A mudando estado, o circuito está aberto antes e após a mudança, mas por um breve intervalo de tempo durante a transição do relé A, ambos contactos A e Ā fechados e o circuito está portanto fechado.

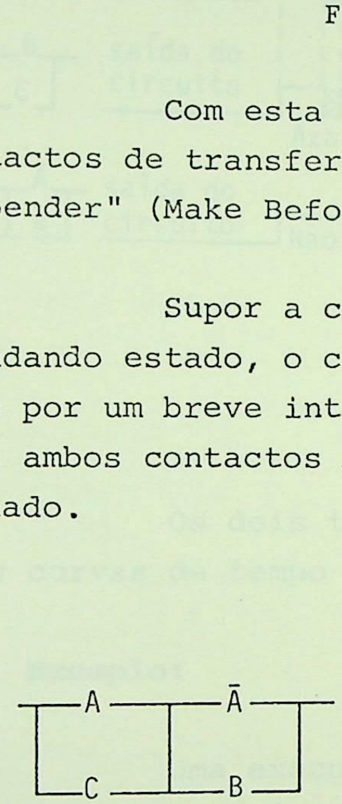


FIG. 6.82

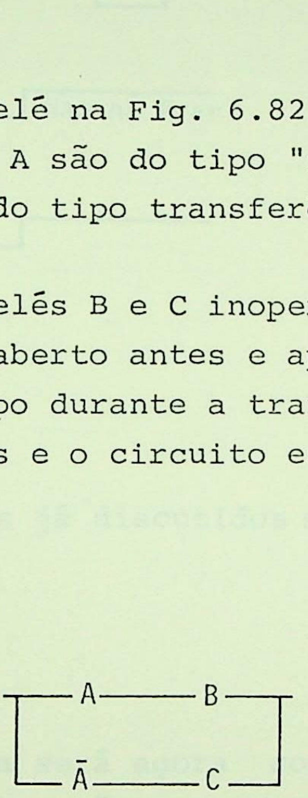


FIG. 6.83

Este azar pode ser eliminado executando o circuito como na Fig. 6.83, com esta execução, quando ambos os contactos A e Ā estão fechados durante a transição de relé A, o circuito permanece aberto, a abertura dos contactos B e C impede o estabelecimento do fechamento do circuito.

Contacto de A do tipo "Suspende antes de fazer".

Contato de A do tipo "Faz antes de suspender".

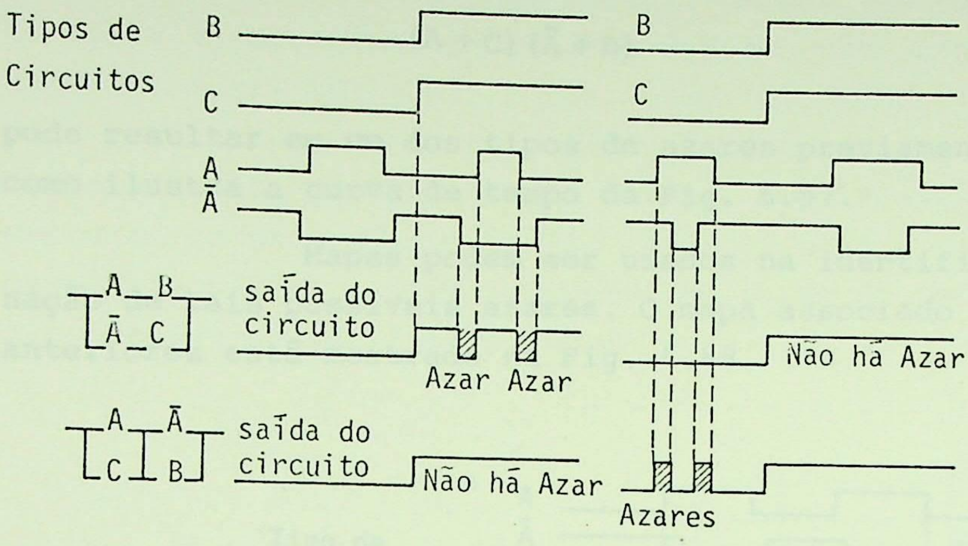


FIG. 6.84

Os dois tipos de azares já discutidos são ilustrados nas curvas de tempo da Fig. 6.84.

Exemplo:

Uma execução eletrônica será agora considerada, na qual um inversor é usado para executar Ā Fig. 6.85. Há uma demora inerente entre a mudança na entrada do inversor e a correspondente mudança na saída do inversor, como ilustrado na curva de tempo da Fig. 6.86.

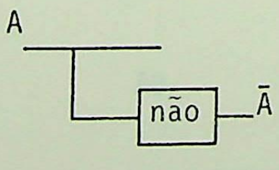


FIG. 6.85

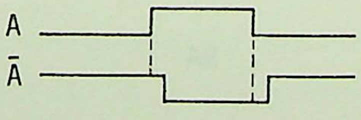


FIG. 6.86

A execução de qualquer expressão:

$$AB + \bar{A}C$$

ou

$$(A+C)(\bar{A}+B)$$

pode resultar em um dos tipos de azares previamente discutidos, como ilustra a curva de tempo da Fig. 6.87.

Mapas podem ser usados na identificação e eliminação de tais possíveis azares. O mapa associado com os exemplos anteriores está mostrado na Fig. 6.88.

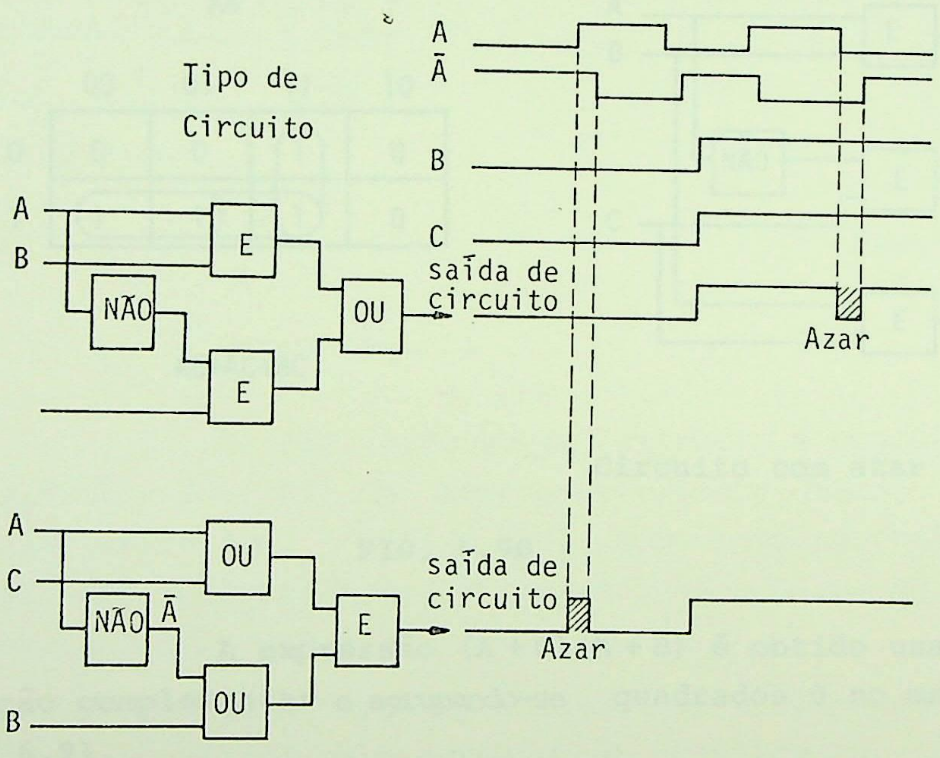


FIG. 6.87

C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

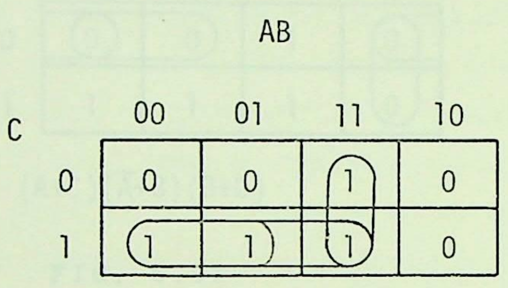
FIG. 6.88

C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

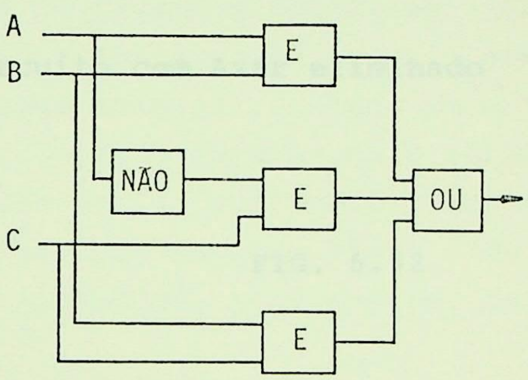
FIG. 6.89

A expressão $AB + A\bar{C}$ é obtida grupando-se os quadrados 1 como na Fig. 6.89.

Um azar pode existir quando uma mudança no circuito causa um movimento entre dois estados não no mesmo grupo; por exemplo, entre ABC = 011 e 111, como indicado pelas flechas na Fig. 6.89, o azar pode ser eliminado grupando-se os quadrados 1 entre os quais este movimento existe, como mostrado no mapa e no circuito correspondente na Fig. 6.90. O azar é eliminado desde que o bloco lógico, correspondendo ao termo BC, mantenha a saída do circuito no estado ligado quando BC = 11.



$AB+\bar{A}C+BC$



Circuito com azar eliminado

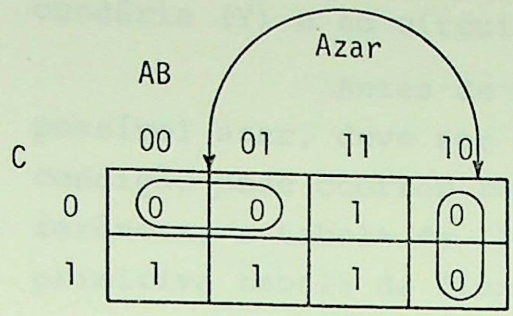
FIG. 6.90

A expressão $(A + C)(A + B)$ é obtido usando a aproximação complementar e agrupando-se quadrados 0 no mapa como na Fig. 6.91.

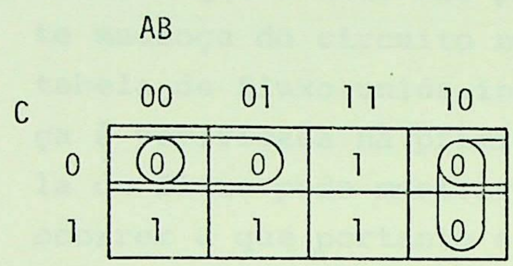
Um azar pode existir neste caso, quando há uma mudança no circuito entre ABC = 000 e 100, como indicado pelas flechas.

O azar pode ser eliminado grupando-se estes quadrados 0 como mostrado no mapa e no circuito correspondente na Fig. 6.92 ; o azar é eliminado desde que os blocos lógicos, correspondendo ao fator $(B + C)$, mantenha a saída do circuito no estado desligado quando BC = 00.

Para se eliminarem azares em circuitos sequenciais, algumas vezes são requeridas as redundâncias.

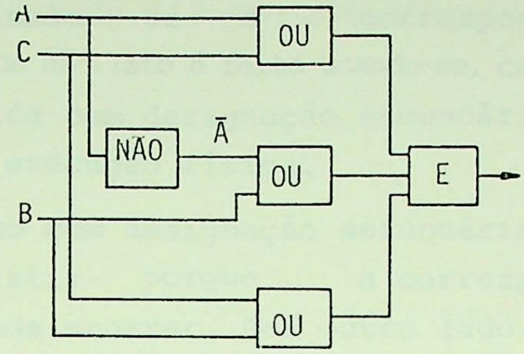


$(A+C)(\bar{A}+B)$



$(A+C)(\bar{A}+B)(B+C)$

FIG. 6.91



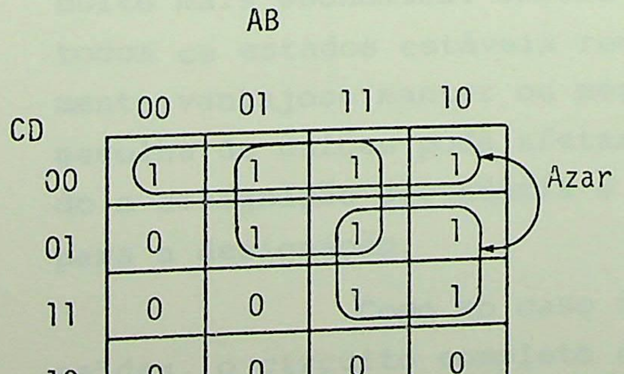
Circuito com Azar eliminado

FIG. 6.92

Outro exemplo

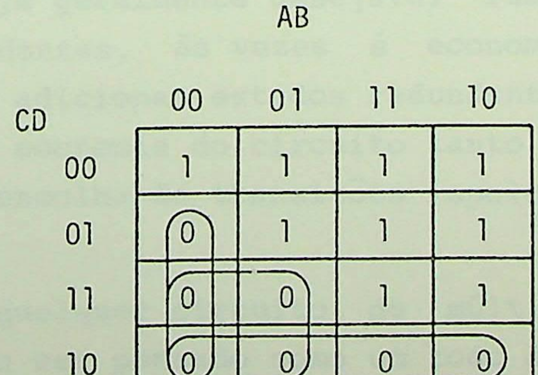
Na Fig. 6.93 se um circuito é executado da expressão $\bar{C}\bar{D} + B\bar{C} + AD$, um azar pode existir quando há mudança no circuito entre ABCD = 1000 e 1001, como indicado pelas flechas. O azar pode ser eliminado adicionando-se o termo $A\bar{C}$ à expressão, e executando $\bar{C}\bar{D} + AD + A\bar{C}$.

Se o circuito é executado da expressão $(A + B + \bar{D})$ $(A + \bar{C})(\bar{C} + D)$ obtida pela aproximação complementar Fig. 6.74 não pode existir azar.



$\bar{C}\bar{D} + B\bar{C} + AD$

FIG. 6.93



$(A+B+\bar{D})(A+\bar{C})(\bar{C}+D)$

FIG. 6.94

Azares podem ocorrer no circuito de excitação secundária (Y) e no circuito de saída (S).

Antes de modificar um circuito para eliminar um possível azar, deve ser determinado se a correspondente condição pode ocorrer realmente ou não. Isto é feito usando-se, como referência, a tabela de fluxo unida com designação secundária, a primitiva tabela de fluxo e a execução física.

A tabela de fluxo com designação secundária pode mostrar que o azar não pode existir porque a correspondente mudança do circuito nunca pode ocorrer. Por outro lado, se a tabela de fluxo unida indica que a mudança pode ocorrer, a mudança é verificada na primitiva tabela de fluxo. A primitiva tabela de fluxo pode mostrar que a mudança do circuito nunca pode ocorrer e que portanto o azar não pode existir. Contudo se é verificado que a mudança pode ocorrer, o tipo de mudança 0 para 1, 1 para 0, ou ambos - e os estados das outras variáveis são relacionados com a execução física (ver por exemplo Fig . 6.84 e 6.87) e a determinação final se a condição pode ocorrer realmente.

Se a condição nunca pode ocorrer, então não existe azar realmente. Se a condição pode ocorrer, então o azar deve ser eliminado.

Os azares discutidos até aqui são do tipo chamado estático. Existem outros tipos de azares.

Considerações do circuito mais econômico.

Há muitos fatores envolvidos na obtenção do circuito mais econômico. Embora seja geralmente desejável remover todos os estados estáveis redundantes, às vezes é economicamente vantajoso manter ou mesmo adicionar estados redundantes. A escolha de uniões pode afetar a economia do circuito tanto quando a designação secundária e a escolha de transições opcionais para a designação.

Como no caso de qualquer circuito de múltiplas saídas, o circuito completo deve ser pensado como um todo desde que as várias excitações secundárias e os circuitos de saída po dem participar em comum de blocos lógicos ou contactos. Quando há modos diferentes de ler os mapas, considerações devem ser feitas para a compatibilidade de expressões sob um ponto de vista de economia total do circuito. O seguinte exemplo ilustra este ponto.

Exemplo:

y	00	01	11	10
0	0	1	0	0
1	0	1	1	0

y	00	01	11	10
0	0	-	0	0
1	-	1	1	-

Mapa Y

Mapa S

$Y = x_1x_2 + x_2y = x_2(x_1 + y)$

$S = y$

FIG. 6.95

As expressões acima levam as execuções com relés mostradas na Fig. 6.96.

O contacto y no circuito de saída pode ser eliminado, contudo se diferente expressão de saída: $S = x_1x_2 + x_1y = = x_2(x_1 + y)$ é usada. Esta expressão é idêntica à expressão para excitação secundária e o mesmo circuito é feito, então, para servir as duas funções (Fig. 6.97).

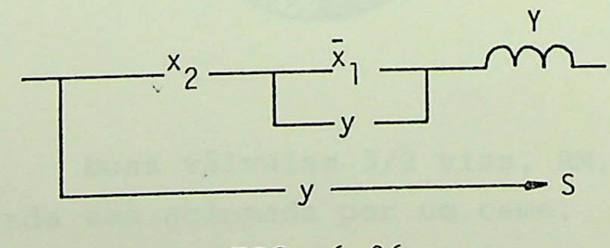


FIG. 6.96

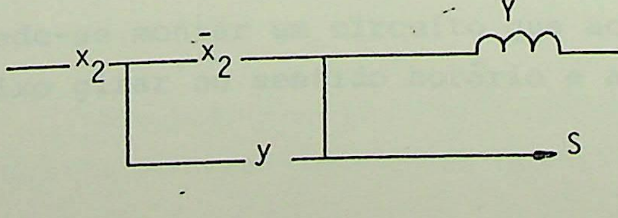


FIG. 6.97

Problemas Ilustrativos:

Os problemas seguintes, desde a sentença inicial até o circuito final, revêem os princípios discutidos.

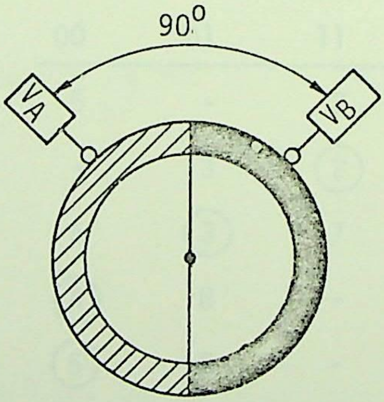
1. Um circuito de chaveamento eletrônico deve ter duas entradas $x_1 x_2$ e uma saída S. S deve ligar quando x_1 ligar; S deve desligar quando x_2 desligar. Somente uma entrada pode mudar um estado por vez.

Solução:

Executando nossa sistemática passo a passo temos:
1. Construção da primitiva tabela de fluxo da sentença dada.

Exercício 1:

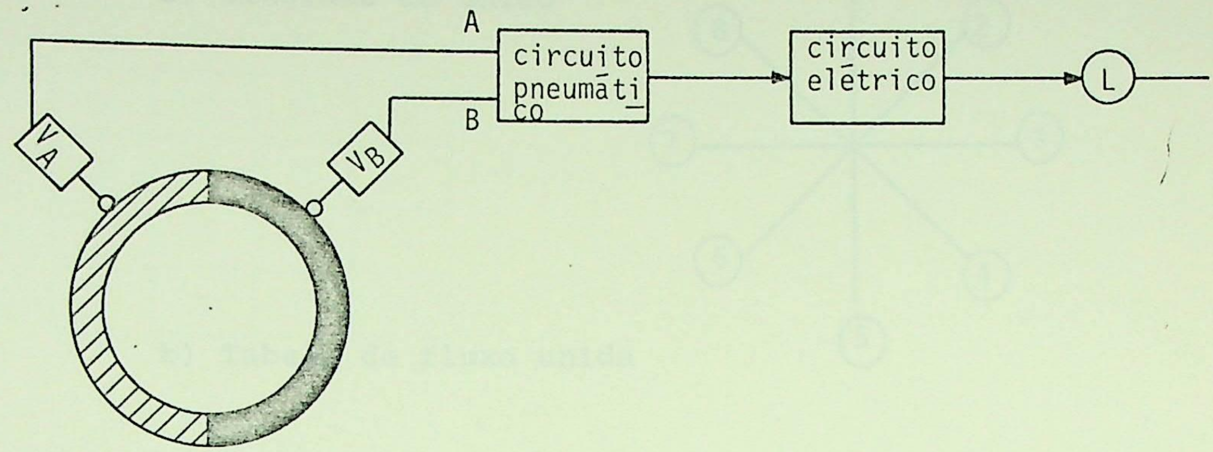
Um eixo possui dois cames que atuam durante 180°. Esses cames são de mesmos sentidos e ainda colocados paralelos.



Duas válvulas 3/2 vias, RM, NF, são colocados a 90° sendo cada uma acionada por um came.

Usando os sinais A e B de cada válvula respectivamente, pede-se montar um circuito que acenderá uma lâmpada quando o eixo girar no sentido horário e apagará quando contrário.

Solução:



Analisando o mecanismo podemos observar que teremos os seguintes estados de acordo com PTF.

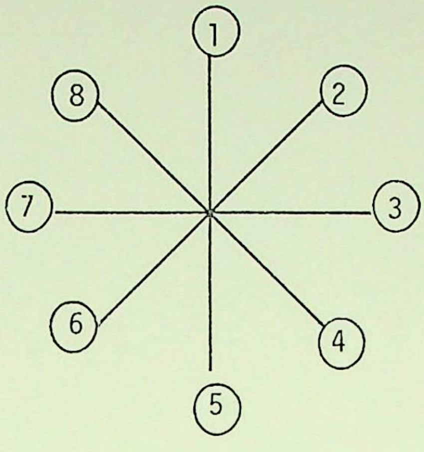
Primeiro Passo - Construção da PTF

AB 00	01	11	10	L
5	-	2	1	1
-	3	2	6	1
4	3	7	-	1
4	8	-	1	1
5	8	-	1	0
5	-	2	6	0
-	3	7	6	0
4	8	7	-	0

Segundo Passo - Verificação e eliminação dos estados redundantes. Analisando a PTF concluímos que não há redundância.

Terceiro Passo - Obtenção da TFU

a) Diagrama de União



b) Tabela de fluxo unida

AB: 00	01	11	10
5	8	2	1
5	3	2	6
4	3	7	6
4	8	7	1

Quarto Passo - Designação dos estados secundários

y_1y_2 \ AB	00	01	11	10
00	5	8	2	1
01	5	3	2	6
11	4	3	7	6
10	4	8	7	1

Quinto Passo - Mapa Y

y_1y_2 \ AB	00	01	11	10
00	00	10	01	00
01	00	11	01	01
11	10	11	11	01
10	10	10	11	00

y_1 \ AB	00	01	11	10
	0	1	0	0
	0	1	0	0
	1	1	1	0
	1	1	1	0

$$Y_1 = \overline{A}B + \overline{A}y_1 + By_1$$

y_2 \ AB	00	01	11	10
	0	0	1	0
	0	1	1	1
	0	1	1	1
	0	0	1	0

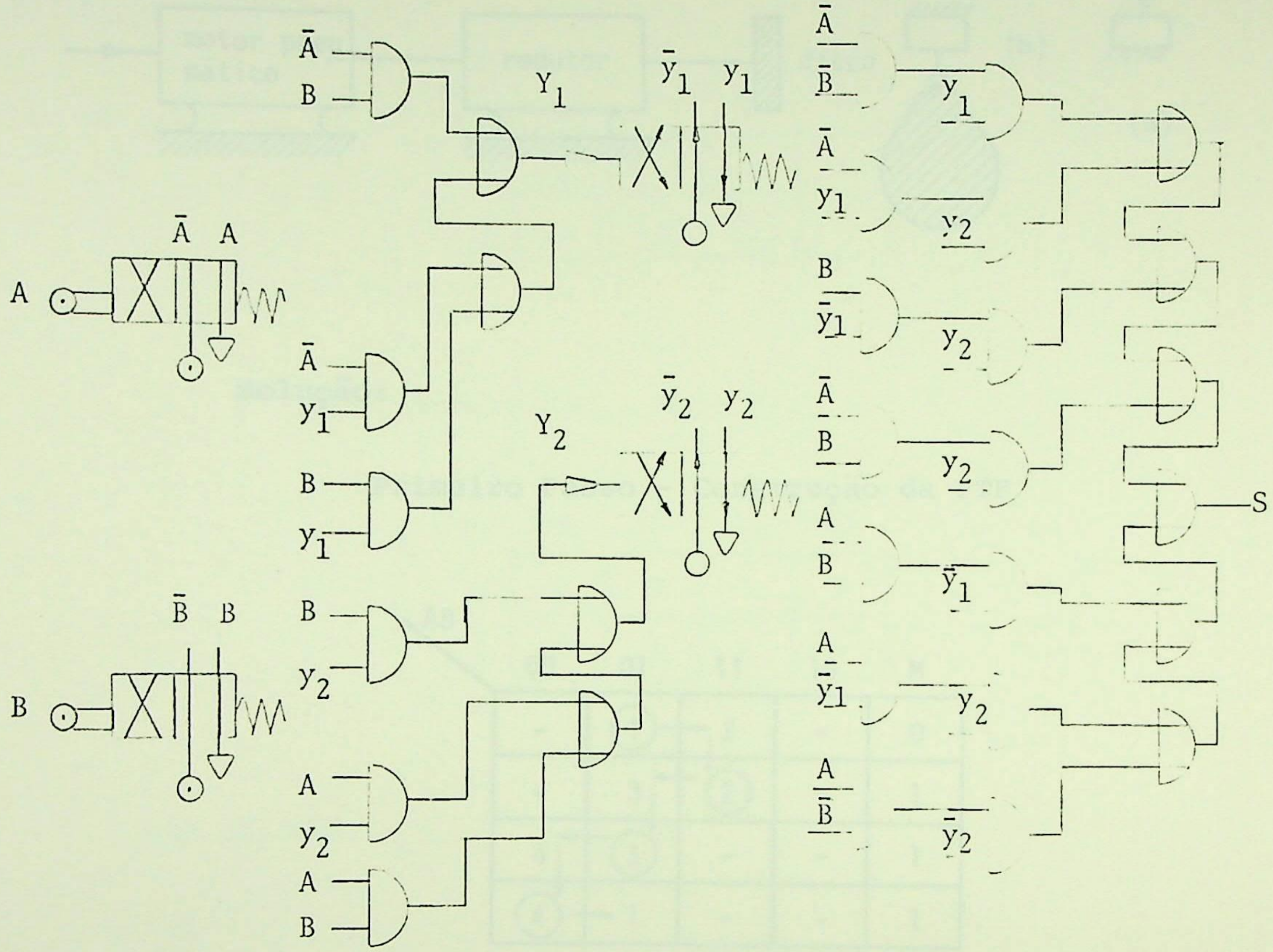
$$Y_2 = By_2 + Ay_2 + AB$$

Sexto Passo - Mapa S

y_1y_2 \ AB	00	01	11	10
00	0	0	1	1
01	0	1	1	0
11	1	1	0	0
10	1	0	0	1

$$S = \overline{A}\overline{B}y_1 + \overline{A}y_1y_2 + \overline{A}By_2 + B\overline{y}_1y_2 + AB\overline{y}_1 + A\overline{y}_1y_2 + A\overline{B}\overline{y}_2$$

Sētimo Passo - Circuito Pneumático



Exercício 2:

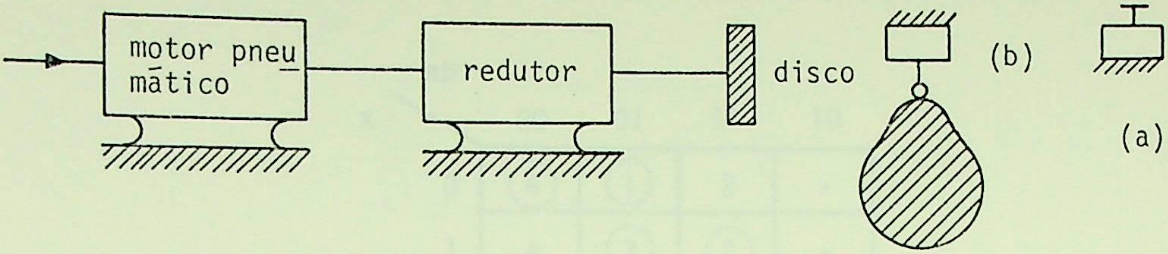
Em uma fábrica de pólvora, por motivos de segurança, não podemos instalar motores elétricos. Deste modo, temos um motor pneumático acoplado a um redutor que deverá proporcionar as seguintes condições:

a) quando apm = 0, o came do disco deverá manter acionada a válvula v.

b) quando o botão a é acionado e liberado logo em seguida, o disco deve girar uma volta e depois parar.

Pede-se

O circuito pneumático para estas condições.



Solução:

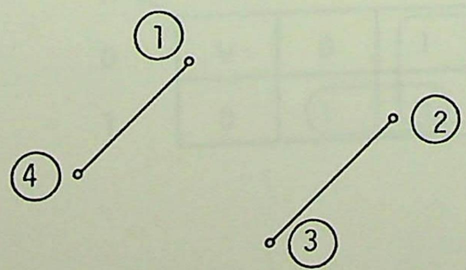
Primeiro Passo - Construção da PTF

AB 00	01	11	10	M
-	1	2	-	0
-	3	2	-	1
4	3	-	-	1
4	1	-	-	1

Segundo Passo - Verificação e eliminação dos estados redundantes.

Terceiro Passo - Obtenção da TFU

a. Diagrama de União



b. TFU

ab 00	01	11	10
4	1	2	-
4	3	2	-

Quarto Passo - Designação dos estados secundários TFU com duas filas não há problema de designação secundária.

x \ ab	00	01	11	10
0	4	1	2	-
1	4	3	2	-

Quinto Passo - Mapa Y

x \ ab	00	01	11	10
0	0	0	1	-
1	0	1	1	-

1a. SOLUÇÃO

x \ ab	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	0

$\Longrightarrow$ $x = ab + xb$

$x = b(a + x)$

2a. SOLUÇÃO

x \ ab	00	01	11	10
0	0	0	1	1
1	0	1	1	1

$\Longrightarrow$ $x = a + xb$

SEXTO PASSO - Mapa S

1a. SOLUÇÃO

x \ ab	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	1	1	1	0

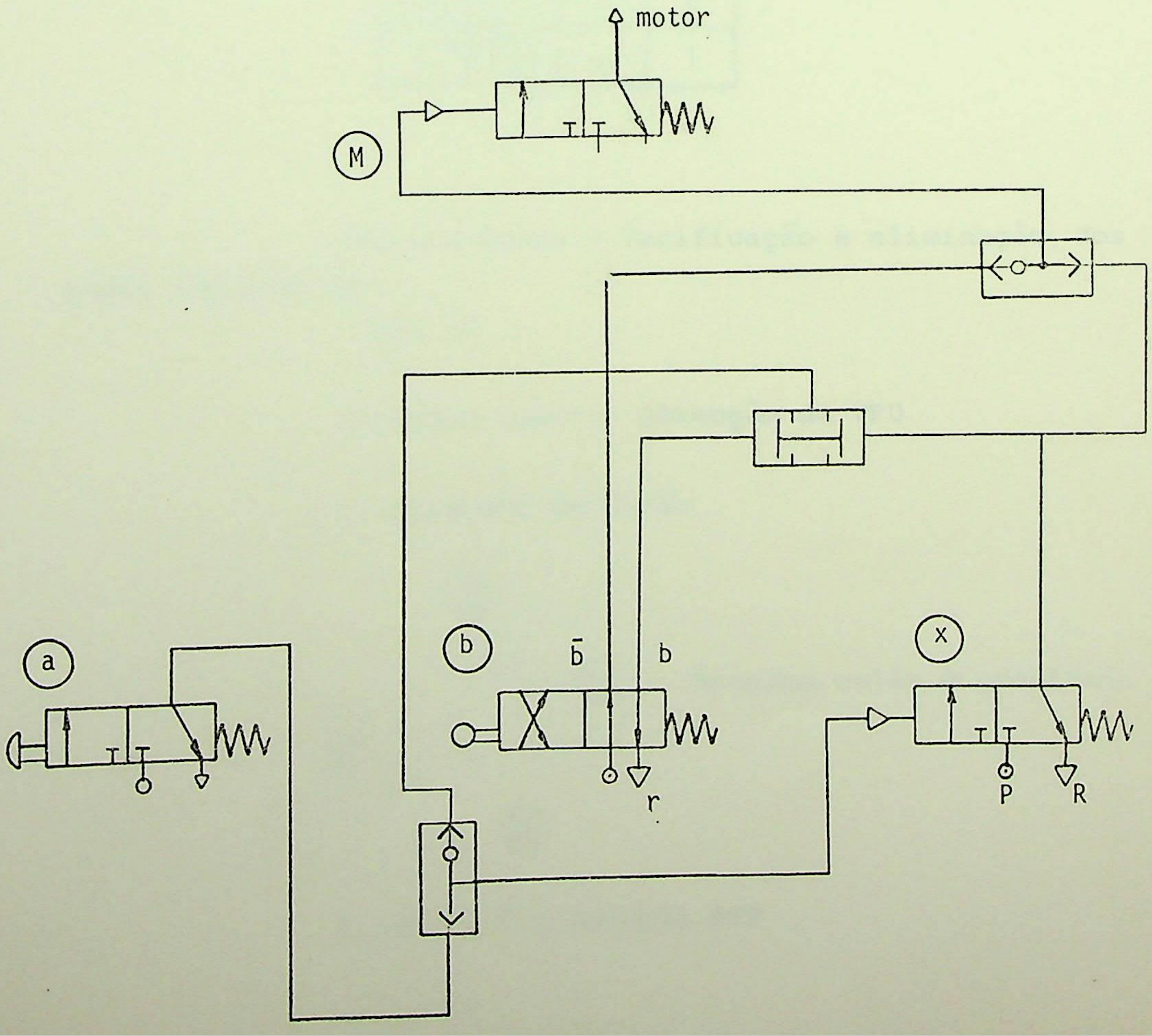
$\Rightarrow \quad S = \bar{a}\bar{b} + xb$

2a. SOLUÇÃO

x \ ab	00	01	11	10
0	1	0	0	1
1	1	1	1	1

$\Rightarrow \quad S = x + \bar{b}$

Sétimo Passo - Construção do circuito



Exercício 3:

Deseja-se avançar e retornar dois cilindros alternadamente com apenas um botão; no estado inicial V_1 está recolhido e V_2 avançado; o botão a é acionado e depois liberado; V_1 avança e V_2 recolhe; a é acionado novamente e depois liberado; V_1 recolhe e V_2 avança, e assim sucessivamente.

Solução:

Primeiro Passo - Construção da PTF

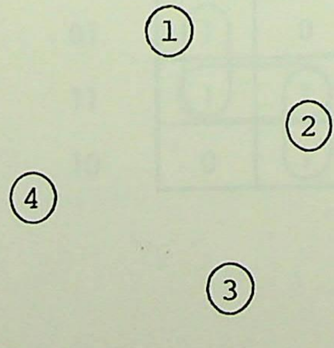
a = 0	a = 1	V_1	V_2
1	2	0	1
3	2	1	0
3	4	1	0
1	4	0	1

Segundo Passo - Verificação e eliminação dos estados redundantes:

- Não há .

Terceiro Passo - Obtenção da TFU

a. Diagrama de União



Nenhuma união é possível.

b. TFU - É a própria PTF

Quarto Passo - Designação dos estados secundários.

xy \ a	0	1
00	1	2
01	3	2
11	3	4
10	1	4

Quinto Passo - Mapa Y

xy \ a	0	1
00	00	01
01	11	01
11	11	10
10	00	10

a)

xy \ a	0	1
00	0	0
01	1	0
11	1	1
10	0	1

$$X = \overline{a}y + ax + xy$$

$$\Rightarrow X = (y + a)\ (\overline{a} + x)$$

b)

xy \ a	0	1
00	0	1
01	1	1
11	1	0
10	0	0

$$Y = a\bar{x} + \bar{x}y + \bar{a}y$$

$$\Rightarrow \quad Y = (a + y)\,(\bar{a} + x)$$

SEXTO PASSO - Mapa S

a) $S_1 \Rightarrow V_1$

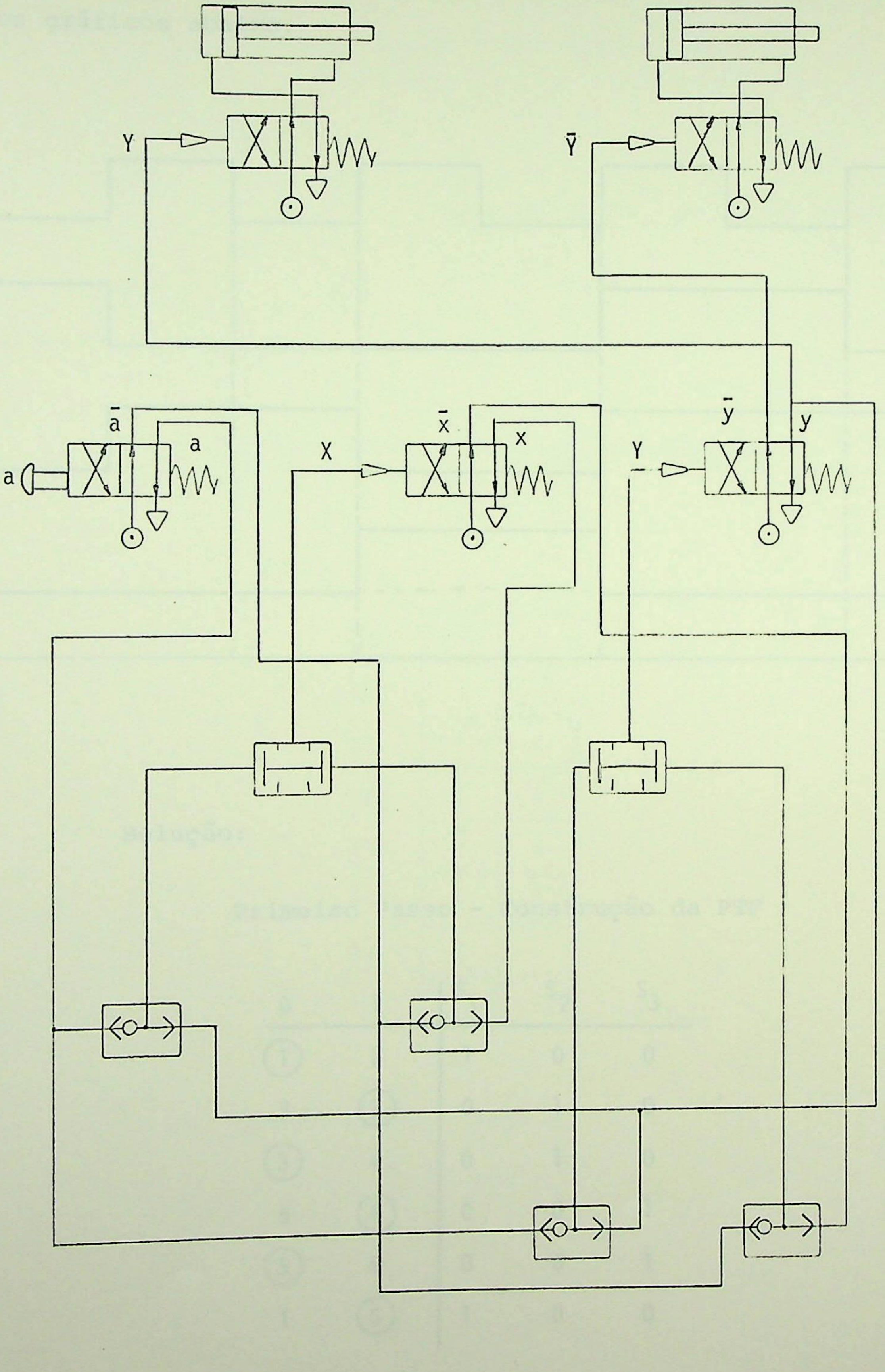
xy \ a		
00	0	0
01	1	1
11	1	1
10	0	0

$\Rightarrow \quad S_1 = y$

xy \ a	0	1
00	1	1
01	0	0
11	0	0
10	1	1

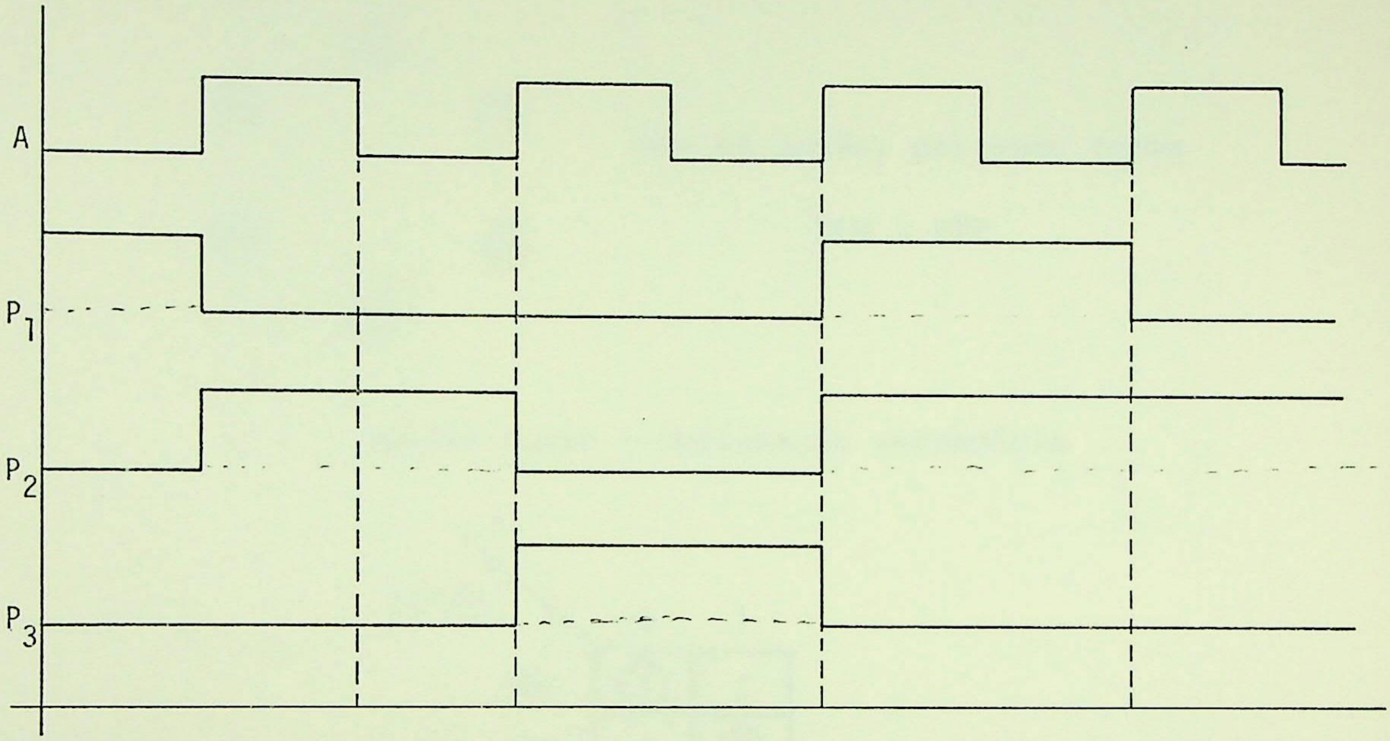
$\Rightarrow \quad S_2 = \bar{y}$

Sétimo passo - Desenho do circuito pneumático


Y
Ȳ
ā
a
a
x̄
x
X
ȳ
y
Y

Exercício 4:

Um botão A deve acionar 3 cilindros de acordo com os gráficos abaixo.



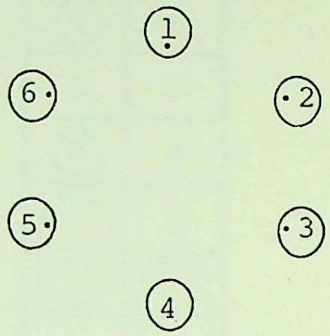
Solução:

Primeiro Passo - Construção da PTF

0	1	S_1	S_2	S_3
1	2	1	0	0
3	2	0	1	0
3	4	0	1	0
5	4	0	0	1
5	6	0	0	1
1	6	1	0	0

Segundo Passo - Verificação e eliminação dos estados redundantes. Não há.

Terceiro Passo - Obtenção da TFU



Não há união, portanto temos

TFU ≡ PTF

Quarto Passo - Designação secundária

$y_1y_2y_3$ \ A	0	1
000	1	2
001	3	2
011	3	4
010	5	4
110	5	6
111	1	6
101	1	-
100	1	-

Quinto Passo - Mapa Y

$y_1y_2y_3$ \ A	0	1
000	000	001
001	011	001
011	011	010
010	110	010
110	110	111
111	101	111
101	100	-
100	000	-

A / $y_1y_2y_3$	0	1
	0	0
	0	0
	0	0
	1	0
	1	1
	1	1
	1	-
	0	-

$$Y_1 = \overline{A}y_2\overline{y}_3 + Ay_1$$

A / $y_1y_2y_3$	0	1
	0	0
	1	0
	1	1
	1	1
	1	1
	0	1
	0	-
	0	-

$$Y_2 = \overline{A}\overline{y}_1y_3 + Ay_2 + \\ + y_2\overline{y}_3$$

A / $y_1y_2y_3$	0	1
	0	1
	1	1
	1	0
	0	0
	0	1
	1	1
	0	-
	0	-

$$Y_3 = \overline{A}\overline{y}_1y_3 + Ay_1 + \\ + A\overline{y}_2 + y_1y_2y_3$$

SEXTO PASSO - Mapa S

A / $y_1y_2y_3$	0	1
000	100	--0
001	010	010
011	010	0--
010	001	001
110	001	-0-
111	100	100
101	-	-
100	-	-

$y_1y_2y_3$ \ A	0	1
000	1	-
001	0	0
011	0	0
010	0	0
110	0	-
111	1	1
101	-	-
100	-	-

$$S_1 = y_1y_3 + \bar{y}_2\bar{y}_3$$

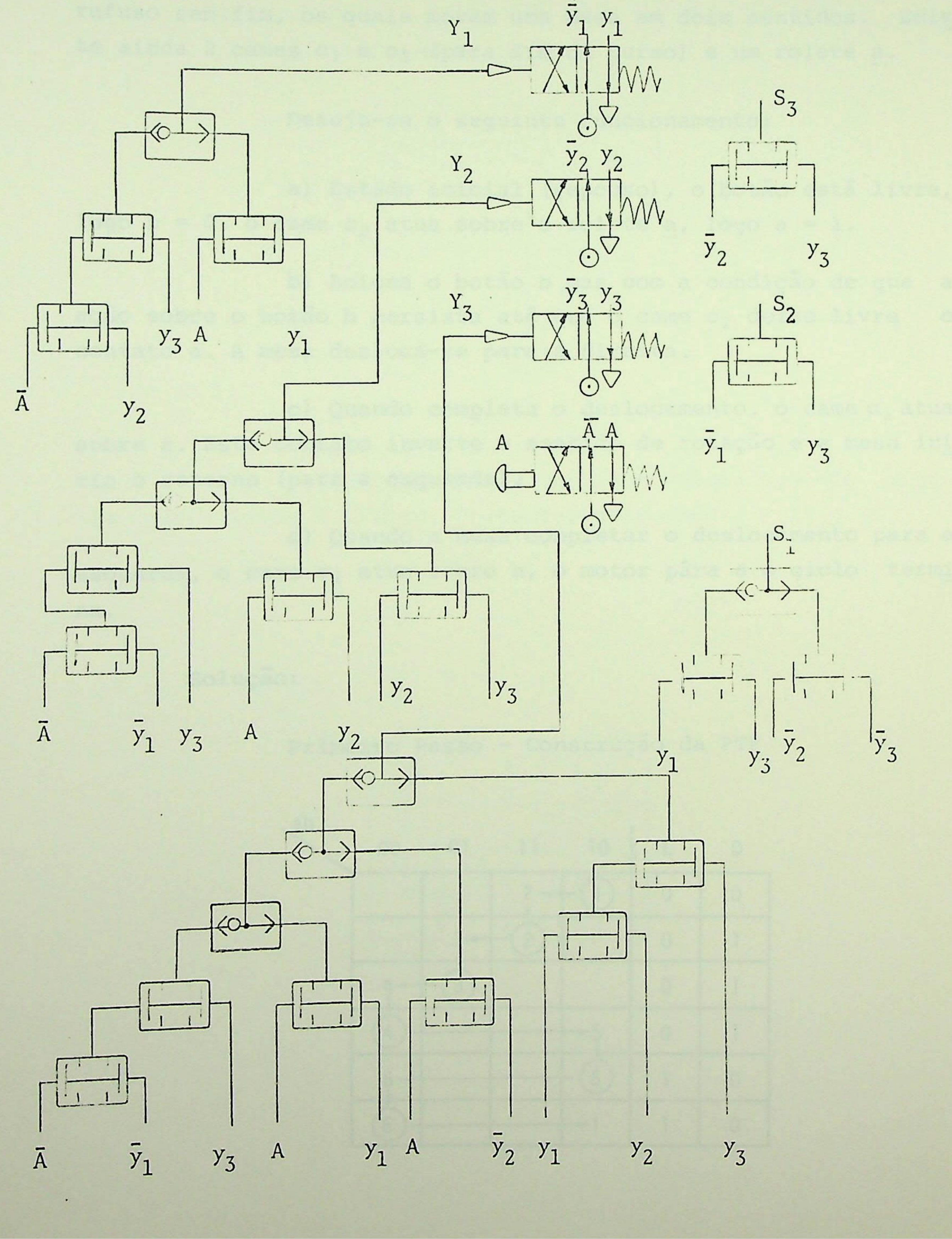
$y_1y_2y_3$ \ A	0	1
000	0	-
001	1	1
011	1	-
010	0	0
110	0	0
111	0	0
101	-	-
100	-	-

$$S_2 = \bar{y}_1y_3$$

$y_1y_2y_3$ \ A	0	1
000	0	0
001	0	0
011	0	-
010	1	1
110	1	-
111	0	0
101	-	-
100	-	-

$$S_3 = \bar{y}_2y_3$$

7. Circuito Pneumático



Exercício 5:

Uma máquina necessita, para ter ajuste fino da velocidade e devido a problemas de espaço, de um mecanismo composto de um motor hidráulico de duplo sentido de rotação e de um parafuso sem fim, os quais movem uma mesa em dois sentidos. Existe ainda 2 cames c_1 e c_2 (para fim de curso) e um rolete a.

Deseja-se o seguinte funcionamento:

a) Estado inicial (repouso), o botão está livre, logo b = 0, o came c_2 atua sobre o rolete a, logo a = 1.

b) Aciona o botão b, mas com a condição de que a ação sobre o botão b persista até que o came c_2 deixe livre o contato a. A mesa desloca-se para a direita.

c) Quando completa o deslocamento, o came c_1 atua sobre a. Este contato inverte o sentido de rotação e a mesa inicia o retorno (para a esquerda).

d) Quando a mesa completar o deslocamento para a esquerda, o came c_2 atua sobre a, o motor pára e o ciclo termina.

Solução:

Primeiro Passo - Construção da PTF

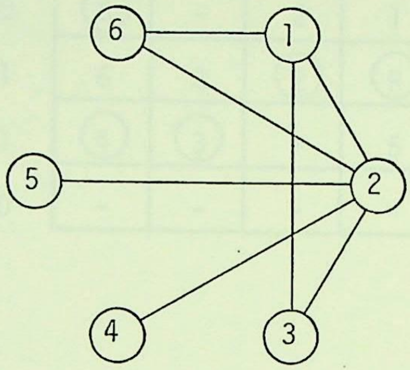
ab: 00	01	11	10	E	D
		2	1	0	0
	3	2		0	1
4	3			0	1
4			5	0	1
6			5	1	0
6			1	1	0

Segundo Passo - Verificação dos estados redundantes :

- Não há .

Terceiro Passo - Obtenção da TFU

a. Diagrama de União



b. Analisando o D de U, concluímos que não podemos obter apenas 2 linhas. Portanto, uniremos 16 - 25 - 34.

ab	00	01	11	10
	6	-	2	1
	6	3	2	5
	4	3	-	5
	-	-	-	-

Quarto Passo - Designação dos estados secundários

xy \ ab	00	01	11	10
00	6	-	2	1
01	6	3	2	5
11	4	3	-	5
10	-	-	-	-

Quinto Passo - Mapa Y

xy \ ab	00	01	11	10
00	00	-	01	00
01	00	11	01	01
11	11	11		01
10	-	-	-	

xy \ ab	00	01	11	10
00	0	-	0	0
01	0	1	0	0
11	1	1		0
10	-	-		

$X = \bar{a}b + \bar{a}x$

$X = \bar{a}\,(b + x)$

xy \ ab	00	01	11	10
00	0	-	1	0
01	0	1	1	1
11	1	1	-	1
10	-	-	-	-

$Y = b + x + ay$

SEXTO PASSO - Mapa S

E)

xy \ ab	00	01	11	10
00	1		0	0
01	1	0	0	1
11	0	0		0
10				

$E = \overline{a}\,\overline{b}\,\overline{x} + \overline{b}\,\overline{x}\,y$

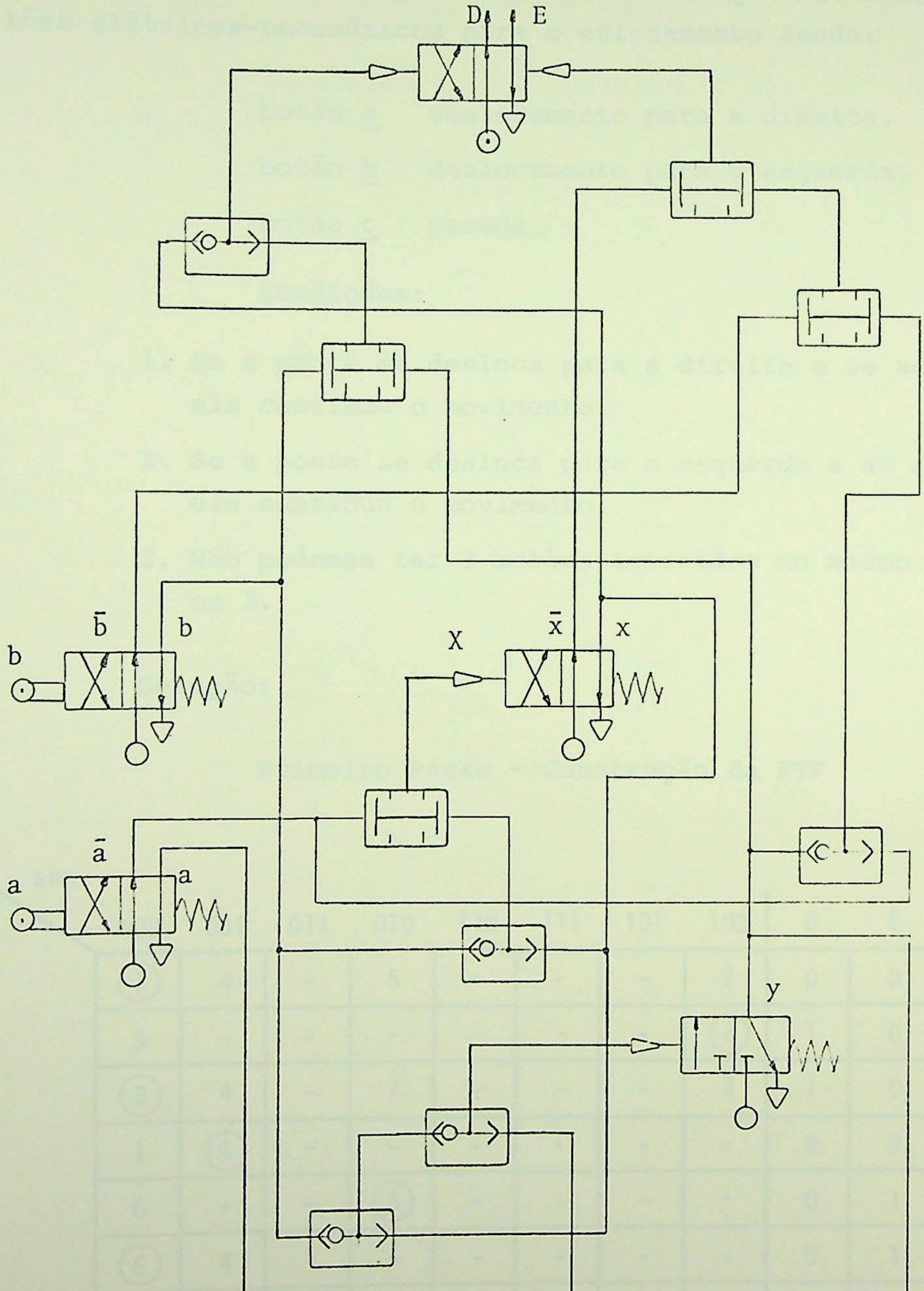
$E = \overline{b}\,\overline{x}\,(\overline{a} + y)$

D)

xy \ ab	00	01	11	10
00	0		0	0
01	0	1	1	0
11	1	1	-	1
10	-	-	-	-

$D = x + by$

SÉTIMO PASSO - Construção do circuito



Exercício 6: - Eletropneumática

Uma ponte rolante é acionada por um motor pneumático com deslocamentos para a direita ou esquerda. Existem 3 botões elétricos-pneumáticos para o acionamento sendo:

botão a deslocamento para a direita.

botão b deslocamento para a esquerda.

botão c parada.

Condições:

1. Se a ponte se desloca para a direita e se aciona b, ela continua o movimento.
2. Se a ponte se desloca para a esquerda e se aciona a, ela continua o movimento.
3. Não podemos ter 3 botões acionados ao mesmo tempo ou os 3.

Solução:

Primeiro Passo - Construção da PTF

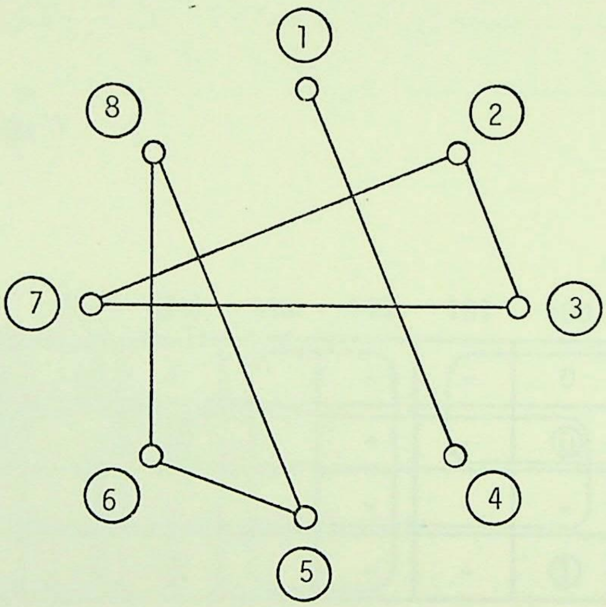
abc 000	001	011	010	110	111	101	100	D	E
1	4	-	5	-	-	-	2	0	0
3	-	-	-	-	-	-	2	1	0
3	4	-	7	-	-	-	2	1	0
1	4	-	-	-	-	-	-	0	0
6	-	-	5	-	-	-	-	0	1
6	4	-	-	-	-	-	-	0	1
3	-	-	7	-	-	-	-	1	0
6	-	-	-	-	-	-	8	0	1

Segundo Passo - Verificação dos estados redundan
tes:

- Não há

Terceiro Passo - Obtenção da TFU.

a. Diagrama de União



b. Tabela de fluxo unida

abc

1	4		5				2
3	4		7				2
6	4		5				8

QUARTO PASSO - Designação dos estados secundários

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00								
01								
11								
10								

QUINTO PASSO - Mapa Y

a) X

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	-	1	-	-	-	0
01	0	0	-	0	-	-	-	0
11	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	0	-	1	-	-	-	1

$$X = \overline{y}\,(a+c)\,(\overline{a}+\overline{c})\,(b+x)$$

$$X = \overline{y}\;\overline{c}\,(b+x)$$

b) Y

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	-	-	-	-	-	1
01	1	-	-	1	-	-	-	1
11	-	-	-	-	-	-	-	0
10	0	-	-	0	-	-	-	0

$$Y = \overline{x}\,(a+\overline{c})\,(\overline{a}+\overline{c})\,(a+y)$$

$$Y = \overline{x}\;\overline{c}\,(a+y)$$

SEXTO PASSO - Mapa S

a) D

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	-	0	-	-	-	0
01	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	-	0	-	-	-	0

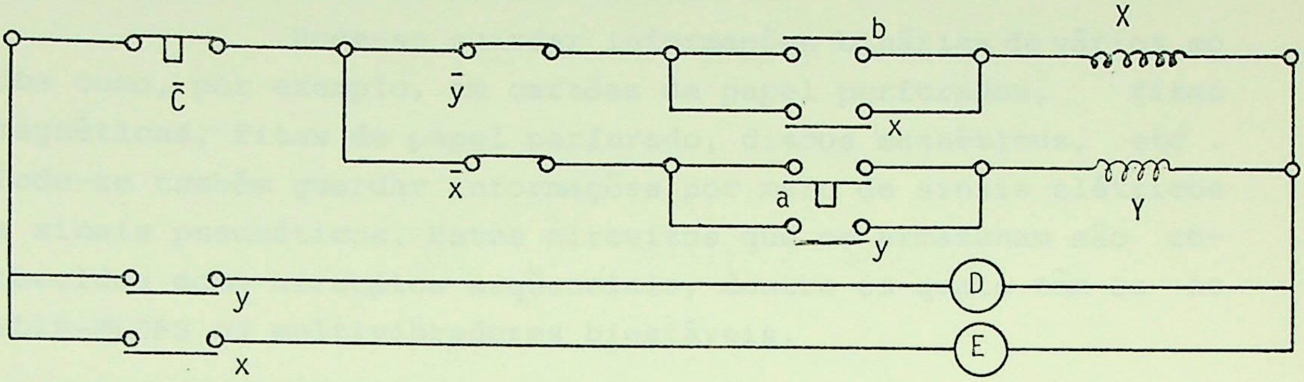
D = y

xy \ abc	000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	-	0	-	-	-	0
01	0	0	-	0	-	-	-	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1

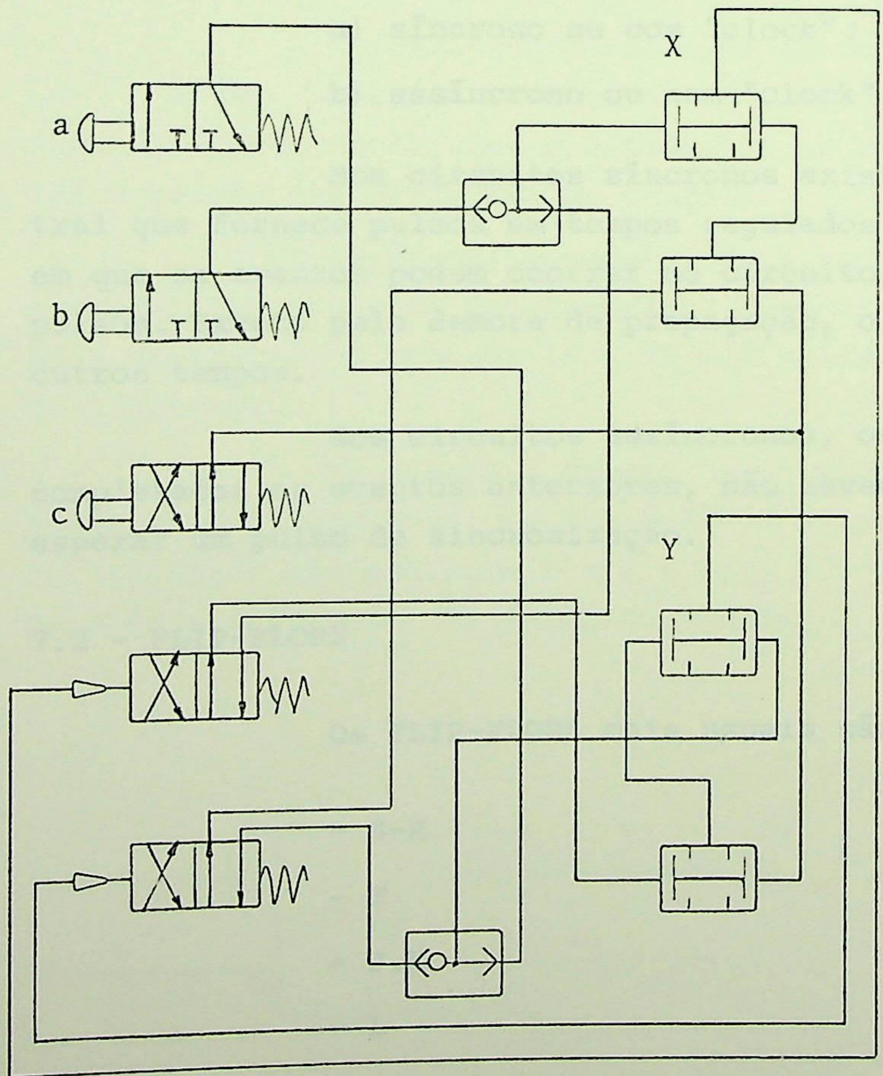
E = x

SÉTIMO PASSO - Desenho do circuito

a) Circuito Elétrico



b) Circuito Pneumático



CAPÍTULO 7 - DISPOSITIVOS DE MEMÓRIA

7.1 - Introdução

Pode-se guardar informações binárias de vários modos como, por exemplo, em cartões de papel perfurados, fitas magnéticas, fitas de papel perfurado, discos magnéticos, etc. Pode-se também guardar informações por meio de sinais elétricos e sinais pneumáticos. Estes circuitos que os armazenam são conhecidos como circuitos seqüenciais, dentre os quais têm-se os FLIP-FLOPS ou multivibradores biestáveis.

Os circuitos seqüenciais podem ser classificados em dois tipos principais:

a) síncrono ou com "clock";

b) assíncrono ou sem "clock".

Nos circuitos síncronos existe um oscilador central que fornece pulsos em tempos regulados e o único instante em que os eventos podem ocorrer no circuito, é durante um destes pulsos. Exceto pela demora de propagação, o circuito é inerte em outros tempos.

Nos circuitos assíncronos, os eventos ocorrem após completados os eventos anteriores, não havendo necessidade de esperar um pulso de sincronização.

7.2 - FLIP-FLOPS

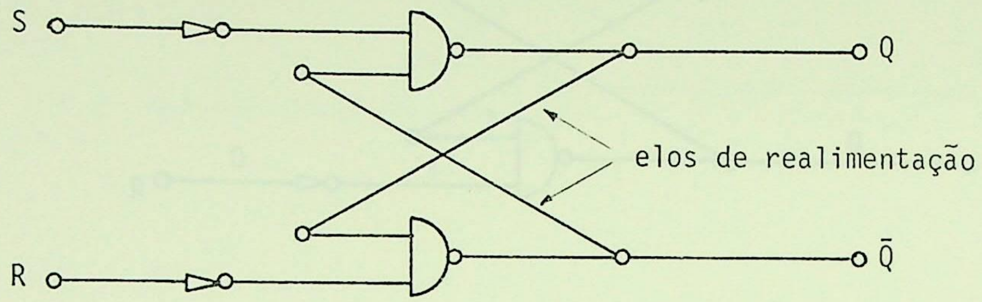
Os FLIP-FLOPS mais usuais são:

- S-R
- T
- J.K
- L

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

FLIP-FLOP R-S básico

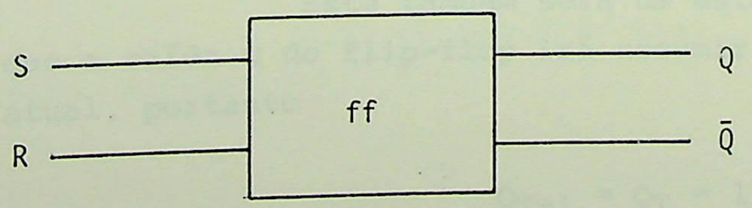
Primeiramente, vamos analisar o flip-flop -R - S (RESET-SET) algumas vezes também de Flip-Flop S-C (SET-Clear), construído a partir de portas NAND.



Notamos que esses elos de realimentação fazem com que sejam injetadas juntamente com as variáveis de entrada, ficando claro, então, que o estado que as saídas irão assumir, irá depender das variáveis de entrada.

Para analisarmos o comprimento do circuito, vamos construir a tabela de funcionamento, levando em consideração as duas variáveis de entrada (S e R) e a saída Q, que será injetada a entrada.

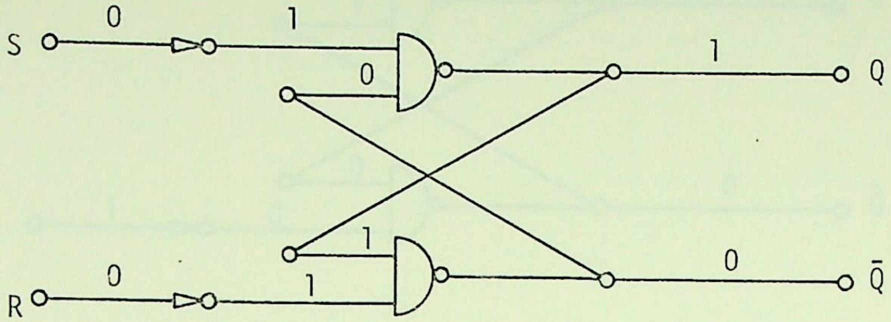
Na tabela a seguir " - " significa não deve acontecer ou não interessa; Q_T é a saída Q existente no instante (T) de aplicação das entradas S e R e Q_{T+1} é a saída Q, imediatamente após a aplicação das entradas S e R.



ENTRADAS		SAÍDA Q	
S	R	Q_T	Q_{T+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	1	0
0	1	0	0
1	1	0	-
1	1	1	-
1	0	1	1
1	0	0	1

Vamos agora analisar cada caso possível.

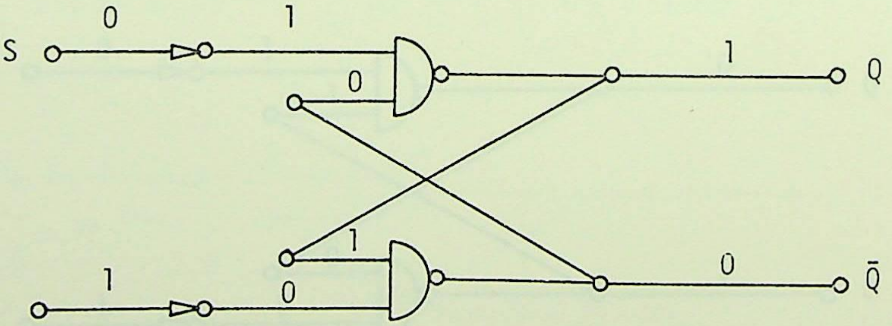
Primeiro Caso - $S = 0$, $R = 0$ e $Q_T = 0 \Rightarrow \bar{Q}_T = 1$



Podemos notar que esse estado é estável, logo o valor que a saída Q irá assumir será igual ao seu valor atual, portanto

$$Q_{T+1} = Q_T = 0$$

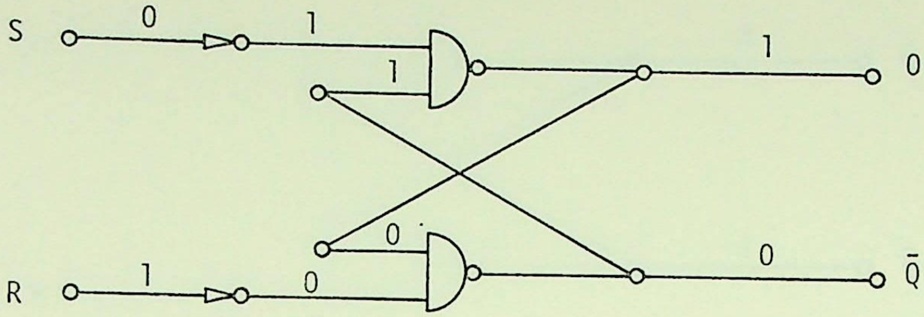
Segundo Caso - $S = 0$, $R = 0$ e $Q_T = 1 \Rightarrow \bar{Q}_T = 0$



Este também será um estado estável, logo o valor que a saída Q do flip-flop irá assumir será igual ao seu valor atual, portanto

$$Q_{T+1} = Q_T = 1$$

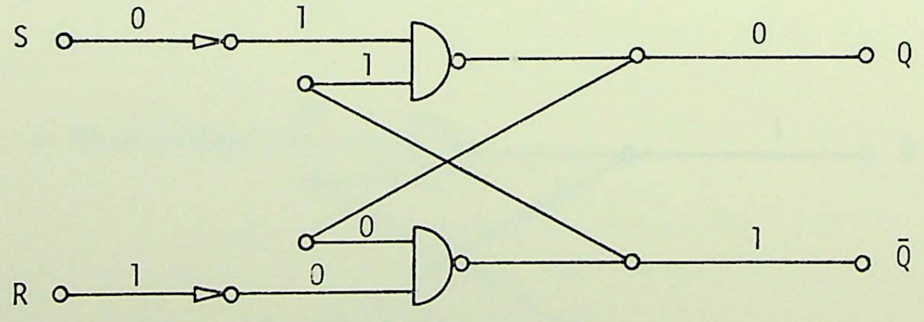
Terceiro Caso - $S = 0$, $R = 1$, $Q_T = 1 \Rightarrow \bar{Q}_T = 0$



Notamos, agora, que a saída Q está num estado instável, pois $\bar{Q}$ irá mudar para 1 forçando assim que Q assuma valor zero e aí, sim, teremos um estado estável, logo podemos escrever para esse caso:

$Q_{T+1} = 0$ (pois Q irá assumir valor zero)

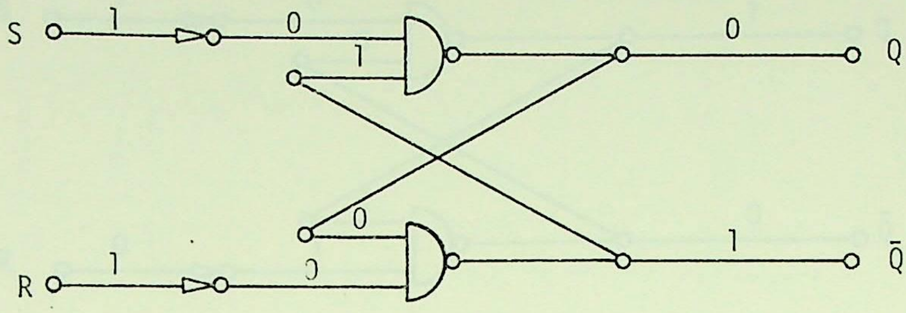
Quarto Caso - $S = 0$, $R = 1$, $Q_T = 0 \Rightarrow \bar{Q}_T = 1$



Este estado é estável, logo Q irá assumir valor zero, portanto

$$Q_{T+1} = 0$$

Quinto Caso - $S = 1$, $R = 1$, $Q_T = 0 \Rightarrow \bar{Q}_T = 1$

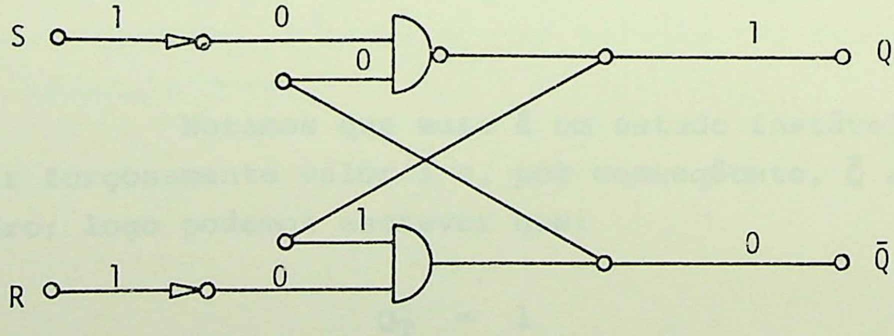


Notamos que esse é um estado instável, pois Q forçosamente irá assumir valor 1 e notamos que $\bar{Q}$ forçosamente irá assumir valor 1 .

Podemos escrever para esse caso que $Q_T = \bar{Q}_T = 1$??

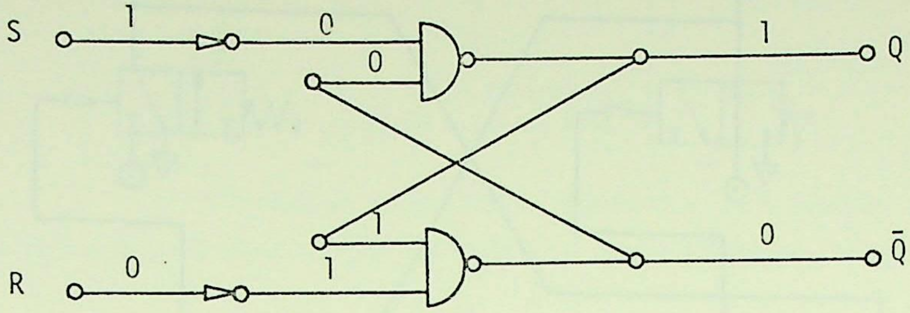
Esse caso não poderá ser permitido na entrada, pois forçará o flip-flop a assumir um estado de saída no qual a saída Q será igual à saída complementar $\bar{Q}$.

Sexto Caso - $S = 1$, $R = 1$, $Q_T = 1 \Rightarrow \bar{Q}_T = 0$



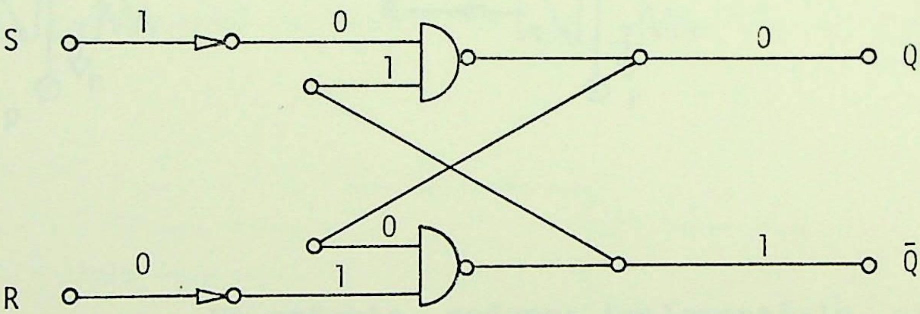
Notamos que essa é uma situação instável e análoga ao caso anterior, logo essa também será uma situação não permitida.

Sétimo Caso - $S = 1$, $R = 0$, $Q_T = 1 \Rightarrow \bar{Q}_T = 0$



Notamos que esse é um estado estável, logo podemos escrever para esse caso que $Q_{T+1} - 1$

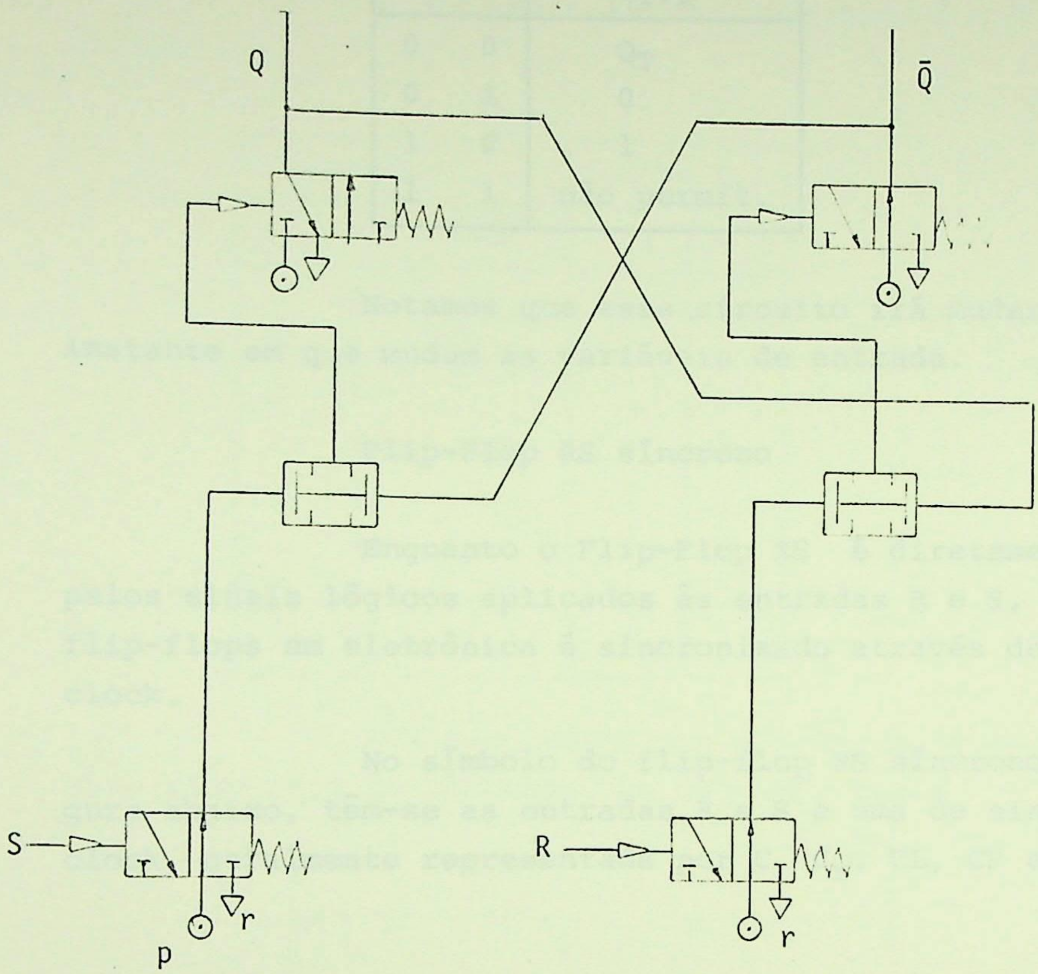
Oitavo Caso - $S = 1$, $R = 0$, $Q_T = 0 \Rightarrow \bar{Q}_T = 1$



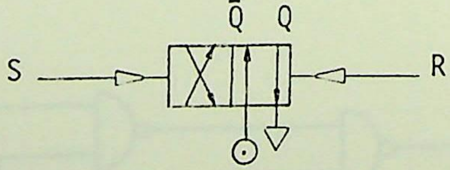
Notamos que esse é um estado instável, pois Q irá assumir forçosamente valor 1 e, por conseqüente, $\bar{Q}$ assumirá valor zero; logo podemos escrever que:

$$Q_T = 1$$

Podemos implementar o FLIP-FLOP R-S, análogo à eletrônica, em pneumática, do seguinte modo.



No entanto, podemos implementá-lo, ainda, de maneira mais simples, através de uma válvula 4/2 vias, duplo piloto, da seguinte forma.



Podemos resumir a tabela de funcionamento do flip-flop R-S.

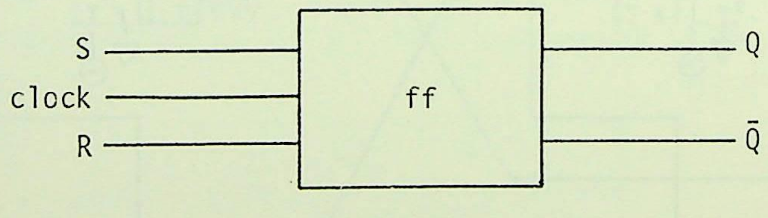
S	R	Q_{T+1}
0	0	Q_T
0	1	0
1	0	1
1	1	não permit.

Notamos que esse circuito irá mudar de estado no instante em que mudam as variáveis de entrada.

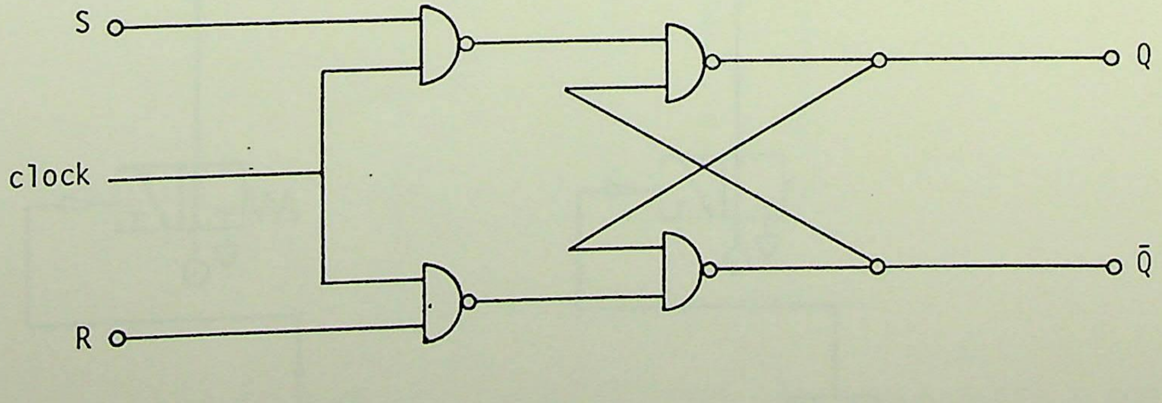
Flip-Flop RS síncrono

Enquanto o Flip-Flop RS é diretamente operado pelos sinais lógicos aplicados às entradas R e S, a maioria dos flip-flops em eletrônica é sincronizado através de uma linha de clock.

No símbolo do flip-flop RS síncrono, como na figura abaixo, têm-se as entradas R e S e uma de sincronização de clock, geralmente representada por C, C_r, CL, CP e T



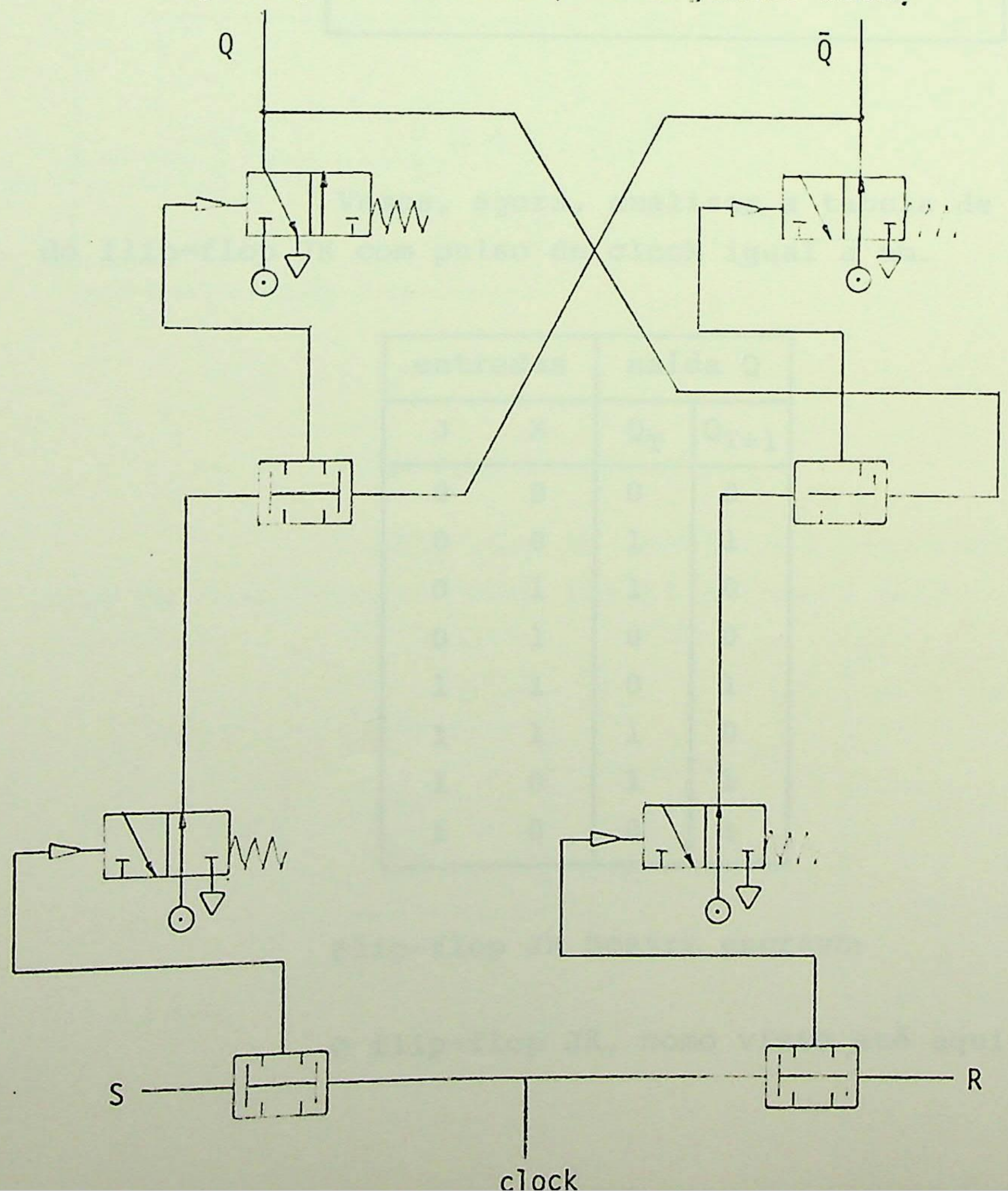
O flip-flop síncrono é implementado da seguinte forma:



E a tabela de funcionamento é mostrada na figura abaixo.

entradas			saída Q	
S	R	Clock	Q_T	Q_{T+1}
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	1	1	0
0	1	1	0	0
1	1	1	0	-
1	1	1	1	-
1	0	1	1	1
1	0	1	0	1

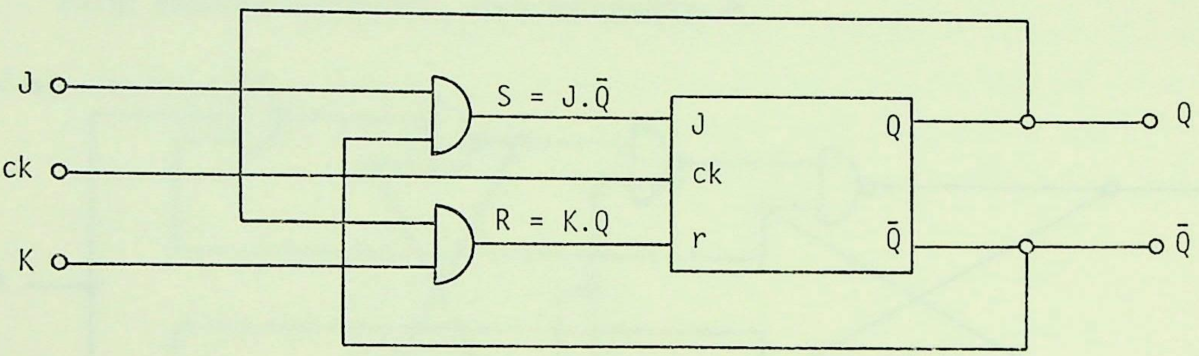
Podemos, usando pneumática implementar, analogamente o flip-flop RS síncrono, do seguinte modo:



Flip-Flop JK

No flip-flop RS, temos um estado não permitido, pois, quando as entradas R e S forem iguais a um, teremos uma saída indeterminada.

Para solucionarmos esse problema, utilizaremos o flip-flop JK. Esse nada mais é que um flip-flop RS realimentado da memória mostrada na figura.



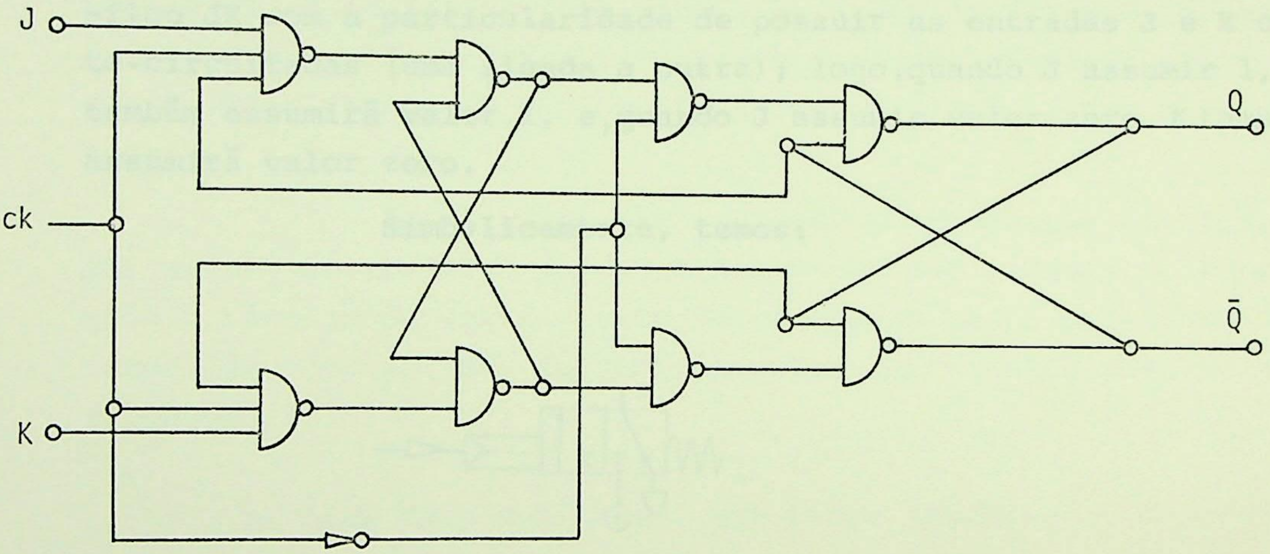
Vamos, agora, analisar a tabela de funcionamento do flip-flop JK com pulso de clock igual a um.

entradas		saída Q	
J	K	Q_T	Q_{T+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	1	0
0	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	0	1	1
1	0	0	1

Flip-flop JK Mestre escravo:

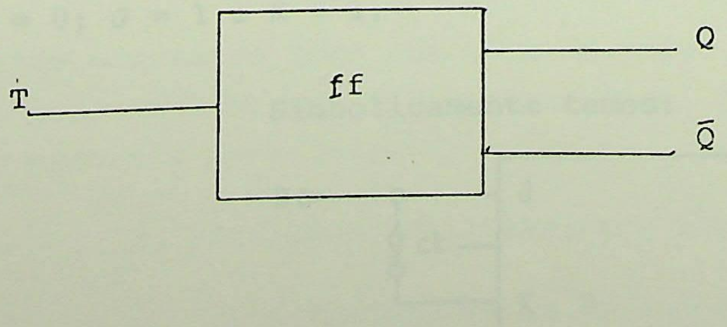
O flip-flop JK, como visto até aqui, resolveu o problema da indeterminação quando as entradas J e K forem iguais a um. Porém esse circuito ainda apresenta uma característica indesejável. Quando o clock for igual a um, nós teremos o circuito funcioanndo como sendo um circuito combinacional, pois haverá a passagem das entradas J e K e também da realimentação, na entrada de Q e $\bar{Q}$. Se no instante em que a entrada ck for igual a um, houver uma mudança nas entradas J e K, o circuito apresentará uma nova saída, podendo alterar seu estado tantas vezes quanto alterarem os estados das entradas J e K.

Para resolver este problema foi criado o flip-flop mestre-escravo, seu circuito é



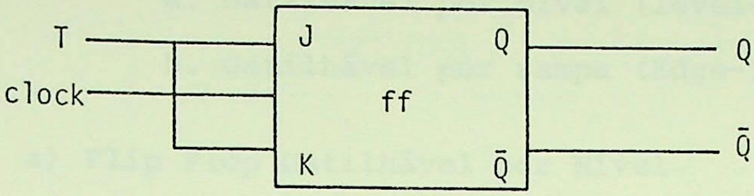
Flip-Flop T

O flip-flop T (toggle) ou complementar tem sua tabela de funcionamento como mostra a figura abaixo.



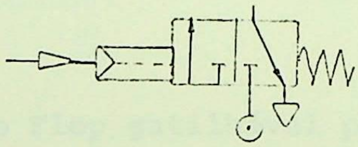
entrada	Saída Q	
T	Q_T	Q_{T+1}
0	0	0
0	1	1
1	1	0
1	0	1

O flip-flop T não é disponível comercialmente em eletrônica, mas o é em pneumática, como mostra a figura abaixo.



O flip-flop T pode ser obtido a partir de um flip-flop JK com a particularidade de possuir as entradas J e K curto-circuitadas (uma ligada a outra); logo, quando J assumir 1, K também assumirá valor 1, e, quando J assumir valor zero, K também assumirá valor zero.

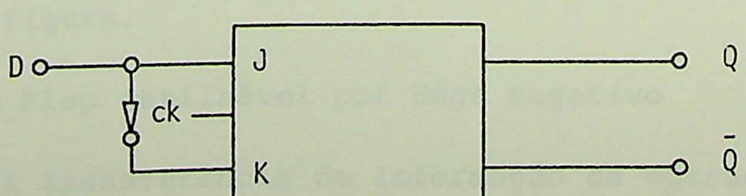
Simbolicamente, temos:



Flip-Flop D

Este também é um flip-flop JK com a particularidade de possuir as entradas J e K invertidas. Logo, nesse flip-flop, teremos as seguintes entradas possíveis: J = 0 e K = 1 ; J = 1 e K = 0. Obviamente, não irão ocorrer os casos: J = 0 e K = 0; J = 1 e K = 1.

Simbolicamente temos:



7.3 - Tipos de Gatilhamento dos Flip-Flops

Quando ao tipo de gatilhamento (clock), flip-flops são de dois tipos básicos:

a. Gatilhável por nível (level-triggered)

b. Gatilhável por rampa (Edge-Triggered)

a) Flip Flop Gatilhável por Nível

O estado do clock sendo 1 (denominado estado ativo, que ,dependendo da construção pode ser 0), uma ação pode ser realizada. Se os dados (nas linhas de dados do FF) mudarem mais de uma vez ou aleatoriamente durante o estado ativo do clock, podem ocorrer problemas com os circuitos gatilháveis por nível. Então:

"Basicamente em qualquer bloco lógico gatilhável por nível, as entradas de dados não devem ser mudadas, exceto após o término do estado ativo do clock. As características dos tempos de operação são fornecidas pelos fabricantes nas folhas de dados".

b) Flip Flop gatilhável por Rampa (EDGE)

Estes flip flops podem ser de dois tipos:

1. Edge positivo

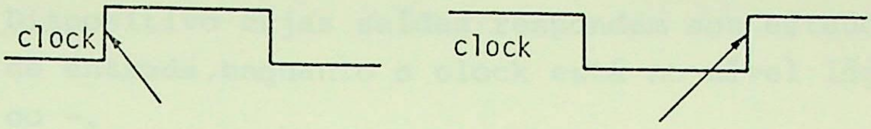
2. Edge negativo

1. Flip Flop gatilhável por Edge positivo

A transferência de informação da entrada para a saída ocorre no Edge positivo do pulso de clock. O Edge positivo pode ocorrer no início ou no final do pulso de clock conforme mostrado na figura.

2. Flip Flop gatilhável por Edge negativo

A transferência de informação da entrada para a saída ocorre no "Edge" negativo do pulso de clock. O "Edge" negativo pode ocorrer também no início ou no final do pulso de clock. A seguir dois tipos de "Edge" negativo.

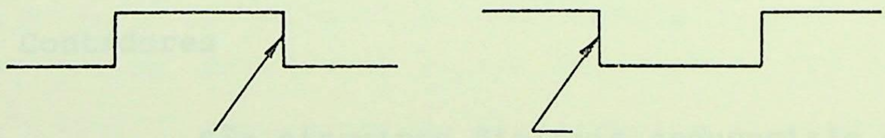


(a) "EDGE" positivo no início (b) "EDGE" positivo no final

FIG. 1 Exemplos de "EDGE" positivo num pulso de Clock

a. No início ou "Leading Edge".

b. No final ou "Trailing Edge".



(a) "EDGE" negativo no final (b) "EDGE" negativo no início

FIG. 2 Exemplos de "EDGE" negativo num pulso de Clock

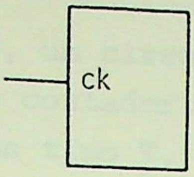
a. No final ou "Trailling Edge".

b. No início ou "Leading Edge".

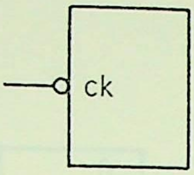
Pode-se estabelecer a seguinte regra para blocos lógicos gatilháveis por "EDGE".

"Basicamente um bloco lógico gatilhável por Edge pode ter seus dados de entrada mudados em qualquer instante exceto durante o Edge".

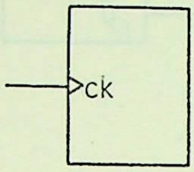
A figura 3 mostra simbolicamente os das conexões do clock.

a) 

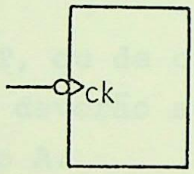
Dispositivo cujas saídas respondem aos estados de entrada, enquanto o clock está no nível lógico +.

b) 

Dispositivo cujas saídas respondem aos estados de entrada,enquanto o clock está no nível lógico -.

c) 

Dispositivo cujas saídas mudam de estado no instante da subida do pulso de clock.

d) 

Dispositivo cujas saídas mudam de estado no instante da descida do pulso de clock.

FIG. 7.3 - SIMBOLOGIA DAS CONEXÕES DO CLOCK

7.4 - Contadores

São circuitos digitais sequenciais que variam os seus estados sob o comando de um clock, de acordo com uma seqüência pré-determinada.

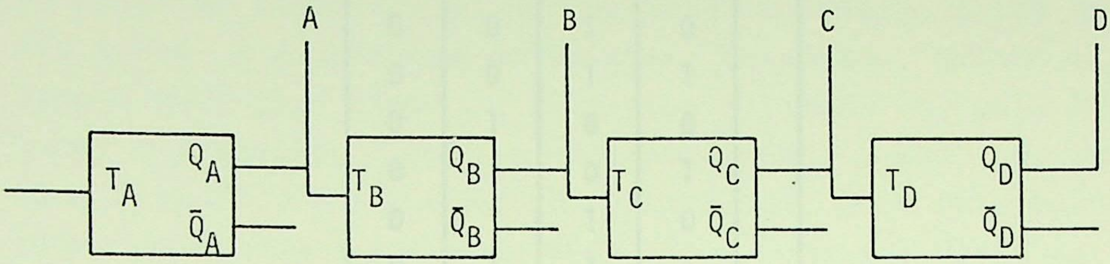
São utilizados principalmente para contagens, geradores de sinais, divisores de freqüência, seqüenciamento de operações de máquinas, etc.

Basicamente os contadores são divididos em: contadores assíncronos e contadores síncronos.

Contadores assíncronos

Estes contadores são caracterizados por não terem entrada clock comum. Essa se faz apenas no primeiro flip-flop e as outras entradas de clock dos outros flip-flops serão funções das saídas anteriores.

O contador assíncrono é um contador binário, isto é, um circuito seqüencial que utiliza o código binário comum. Como contador, é feito pela ligação em cascata de vários flip-flops tipo T, conforme figura



A saída normal de cada flip-flop é ligada à entrada T, ou de clock, do próximo flip-flop. Os pulsos de entrada que deverão ser contadores são aplicados à entrada T do flip-flop A.

Para ver como este contador binário funciona, lembre-se de que um flip-flop T se complementa ou muda de estado a cada vez que uma descida ou subida de pulso ocorre na entrada T.

Este problema é importante na construção da seqüência de contagem do contador. Os flip-flops devem mudar de estado quando a saída normal ou a complementar do flip-flop anterior comutar-se de 1 binário para 0 binário, ou de 0 binário para 1 binário, respectivamente. Quando ocorre o primeiro pulso na entrada, o flip-flop assume a condição SET. O número binário armazenado nos flip-flops indica o número de pulso que ocorreram. Para ler o número acumulado no contador, simplesmente observamos a saída normal dos flip-flops. O flip-flop A é o bit menos significativo da palavra. Portanto, o número de quatro bits presente no contador é designado DCBA. Após o primeiro pulso de entrada, o estado do contador é 0001. Isto indica que um pulso de entrada ocorreu.

D	C	B	A
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

Reciclagem

Quando o segundo pulso de entrada ocorre o flip-flop A muda de estado; desta vez assume a condição RESET. Estado em RESET sua saída normal é comutada de 1 binário para 0. Isto faz o flip-flop B passar para RESET. Observando o novo estado da saída, vemos que agora é 0010 ou 0 binário equivalente a 2 decimal.

Ao ocorrer o terceiro pulso de entrada o flip - flop A irá para SET novamente. A saída normal será comutada de 0 binário para 1. Esta transição é ignorada pela entrada T do flip-flop B. O número armazenado no contador neste momento é 0011 ou o decimal 3, indicando a ocorrência de três pulsos de entrada.

Com a ocorrência do quarto pulso, o flip-flop A muda para RESET. Sua saída normal vai de 1 binário para 0 binário comutando o estado do flip-flop B. Portanto, este deve ir para RESET. Quando isso acontece, sua saída normal vai de 1 para 0 binário, fazendo o flip-flop C passar para a condição SET. O número no contador, agora, é 0100 ou 4 decimal. Este processo continua enquanto ocorrem pulsos na entrada. A seqüência de contagem é o código binário comum de 4 bits indicado na figura.

Um ponto importante a considerar é a ação do circuito quando o número acumulado no contador atinge 1111. Este é o valor máximo de um número de 4 bits, e a máxima capacidade de contagem do circuito. Ao ser aplicado o próximo pulso de entrada, todos os flip-flops devem mudar de estado. Quando o flip-flop A muda para RESET, o flip-flop B também vai para RESET.Com isto, o flip-flop C também muda para RESET o que, por sua vez,fará o flip-flop D ser comutado para RESET. Como resultado, o conteúdo do contador torna-se 0000. Como pode ser visto na figura, Quando o conteúdo máximo do contador é atingido, este simplemente é reciclado e inicia sua contagem novamente.

Contagem máxima

A capacidade máxima de contagem de um contador binário é função do número de flip-flop. O número máximo que pode ser contido em um contador binário antes de reciclá-lo é determinado da mesma maneira que determinamos o número binário máximo que pode ser representado por uma tabela com um número específico de bits.

Contadores decrescentes

O contador binário já descrito é denominado contador crescente ou up. A cada vez que um pulso de entrada ocorre, o número binário no dispositivo é acrescido de um. No entanto, é possível também produzir um contador decrescente, ou down, onde os pulsos de entradas fazem com que o número binário contido diminua.

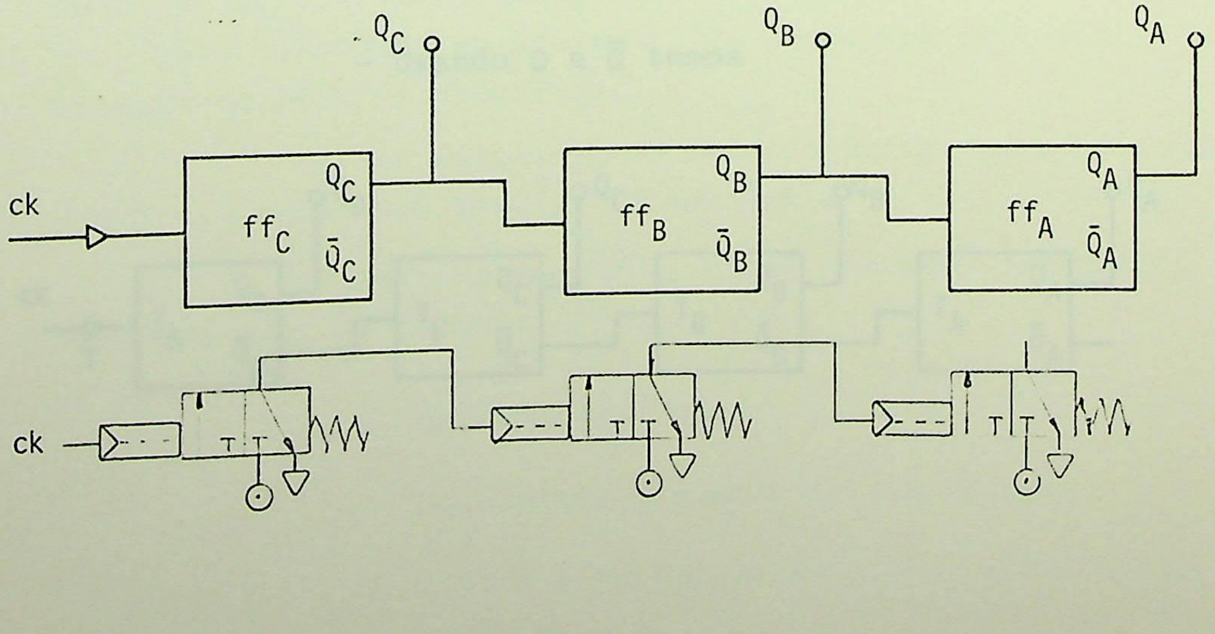
É praticamente idêntico ao contador crescent visto anteriormente. A única diferença é que a saída complementar, ao invés de saída normal, é conectada à entrada do flip-flop em seqüência. Isto faz com que a seqüência de contagem seja exatamente o reverso da contagem crescente.

7.5 - Contadores Pneumáticos

Em circuitos pneumáticos,devido ao tipo de gati lhamento do Flip-Flop T, isto é, sua mudança de estado é por ní vel (subida) devemos, para obedecer a tabela verdade crescente, acoplar a saída complementar de um Flip-Flop à entrada do próxi mo, e as saídas Q_A, Q_B e Q_C serão normais, como mostra a figura abaixo.

ck	A	B	C	T_A	T_B	T_C
1º	0	0	0	0	0	1
2º	0	0	1	0	1	1
3º	0	1	0	0	0	1
4º	0	1	1	1	1	1
5º	1	0	0	0	0	1
6º	1	0	1	0	1	1
7º	1	1	0	0	0	1
8º	1	1	1	1	1	1
1a.	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*1*

No entanto, por motivos de economia, podemos in verter a contagem, isto é, começando com A = 1, B = 1 e C - 1, como mostra a figura abaixo.



Desta forma teremos a tabela abaixo:

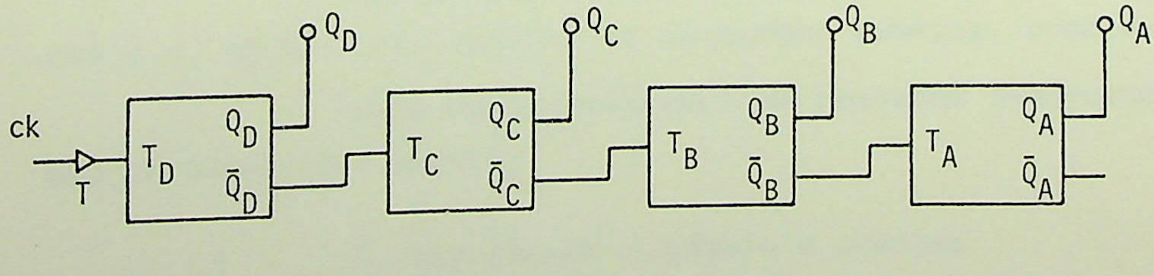
ck	A	B	C
1º	1	1	1
2º	1	1	0
3º	1	0	1
4º	1	0	0
5º	0	1	1
6º	0	1	0
7º	0	0	1
8º	0	0	0

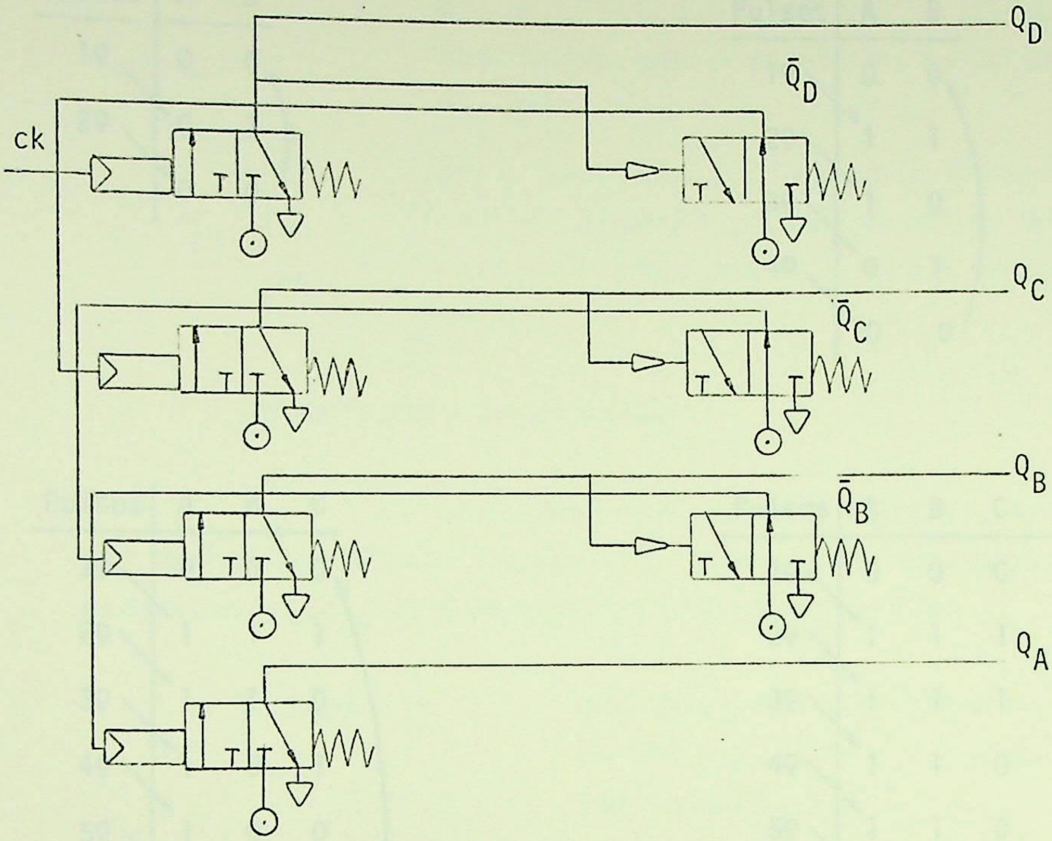
Isto é possível, pois no comércio encontramos o Flip-Flop pneumático, como sendo uma válvula 3/2 vias, RM, com a entrada binária.

Usar a saída Q é equivalente a usar apenas o Flip Flop propriamente dito, e, não acoplado à válvula 3/" vias que fornece a saída $\bar{Q}$.

Analogamente podemos analisar para o caso de 4 Flip-Flops.

- Usando Q e $\bar{Q}$ temos





Circuito Pneumático

7.6 - Método para a determinação de um contador assíncrono

Como foi explicado anteriormente, o flip-flop T pneumático muda de estado por nível e, quando ligado em série para contagem assíncrona, devemos observar que ele conta decrescente (Q ligado à entrada do próximo), ou crescente se conectar $\bar{Q}$ à entrada do próximo flip-flop.

Por motivos econômicos, utilizarremos a conexão com Q e, então, ele seguirá as seguintes tabelas, como exemplo:

Para esquematizarmos um contador assíncrono, faremos os seguintes passos:

1. Determinar o número a contar;

2. Determinar o número de flip-flops;

3. Montar a tabela verdade, ou parte desta, para análise.

Pulsos	A	B
1º	0	0
2º	0	1
	0	0

Pulsos	A	B
1º	0	0
2º	1	1
3º	1	0
4º	0	1
	0	0

Pulsos	A	B	C
1º	0	0	0
2º	1	1	1
3º	1	1	0
4º	1	0	1
5º	1	0	0
6º	0	1	1
7º	0	1	0
8º	0	0	1
	0	0	0

Pulsos	A	B	C	D
1º	0	0	0	0
2º	1	1	1	1
3º	1	1	1	0
4º	1	1	0	1
5º	1	1	0	0
6º	1	0	1	1
7º	1	0	1	0
8º	1	0	0	1
9º	1	0	0	0
10º	0	1	1	1
11º	0	1	1	0
12º	0	1	0	1
13º	0	1	0	0
14º	0	0	1	1
15º	0	0	1	0
16º	0	0	0	1
	0	0	0	0

4. Montar o circuito com os flip-flops, analisando os estados relativos ao último número, de tal forma que o circuito seja complementado para poder zerar o contador.

   Se a contagem for igual a 2^n, basta apenas ligar os flip-flops, não havendo necessidade do circuito para zerar, pois esta é automaticamente.

Observações Importante

No contador assíncrono, o gatilhamento pode ser por pulso ou nível. Quando for pulso, este precisa dar tempo suficiente para a mudança do primeiro flip-flop.

Exemplo 1: Esquematizar um contador assíncrono para contar de 0 a 2, usando flip-flop T com conexão Q.

Solução:

1. Det. nº a contar

   $N = 3$

2. Det. nº de flip-flops

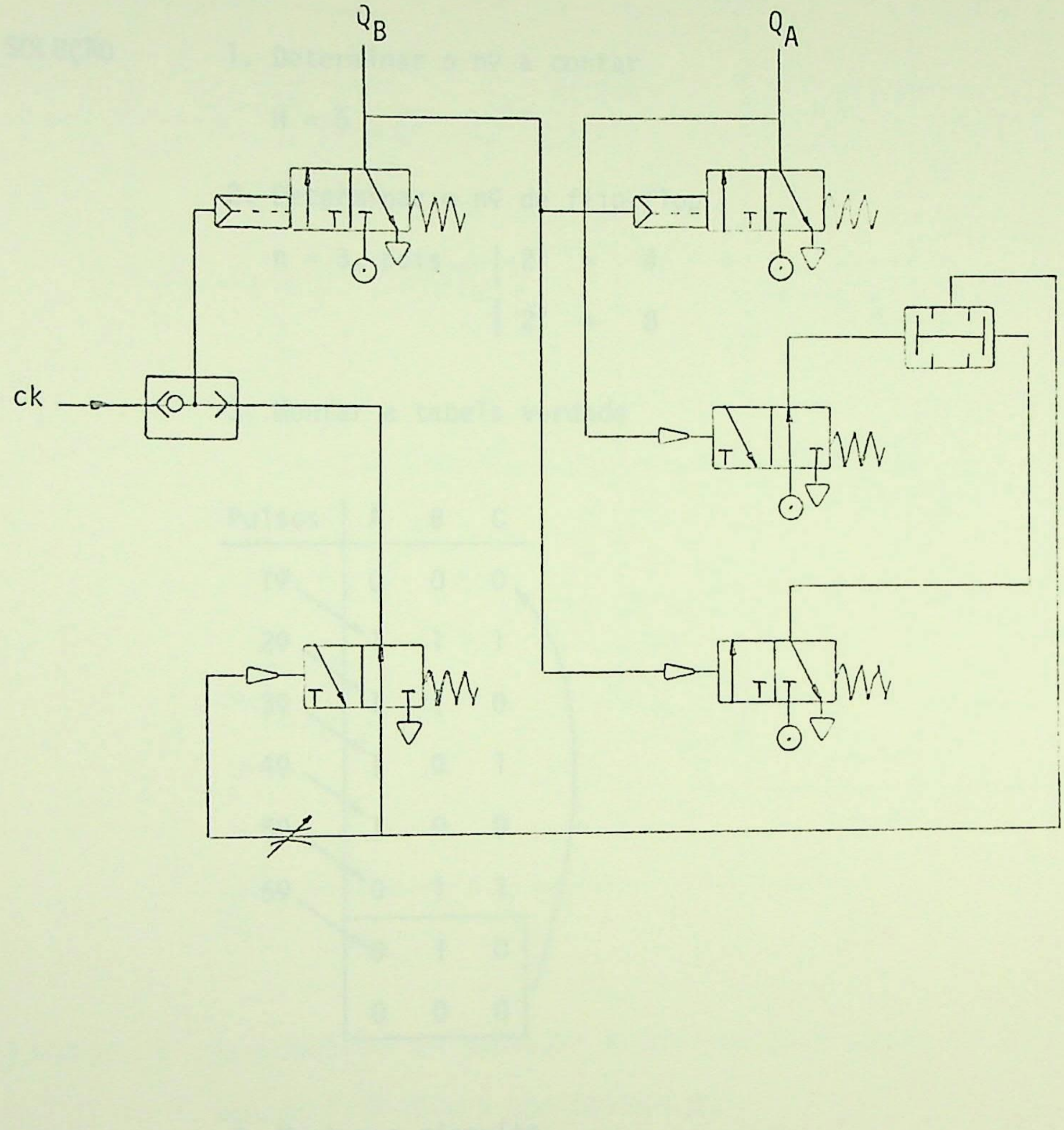
   $n = 2$, pois $2^1 = 2$

   $2^2 = 4$

3. Montar tabela verdade

Pulsos	A	B
1º	0	0
2º	1	1
3º	1	0
	0	1
	0	0

4. Montar o circuito



EXEMPLO 2 Esquematizar um contador assíncrono para contar de 0 a 5, usando flip-flop T com conexão Q.

SOLUÇÃO 1. Determinar o nº a contar

$N = 6$

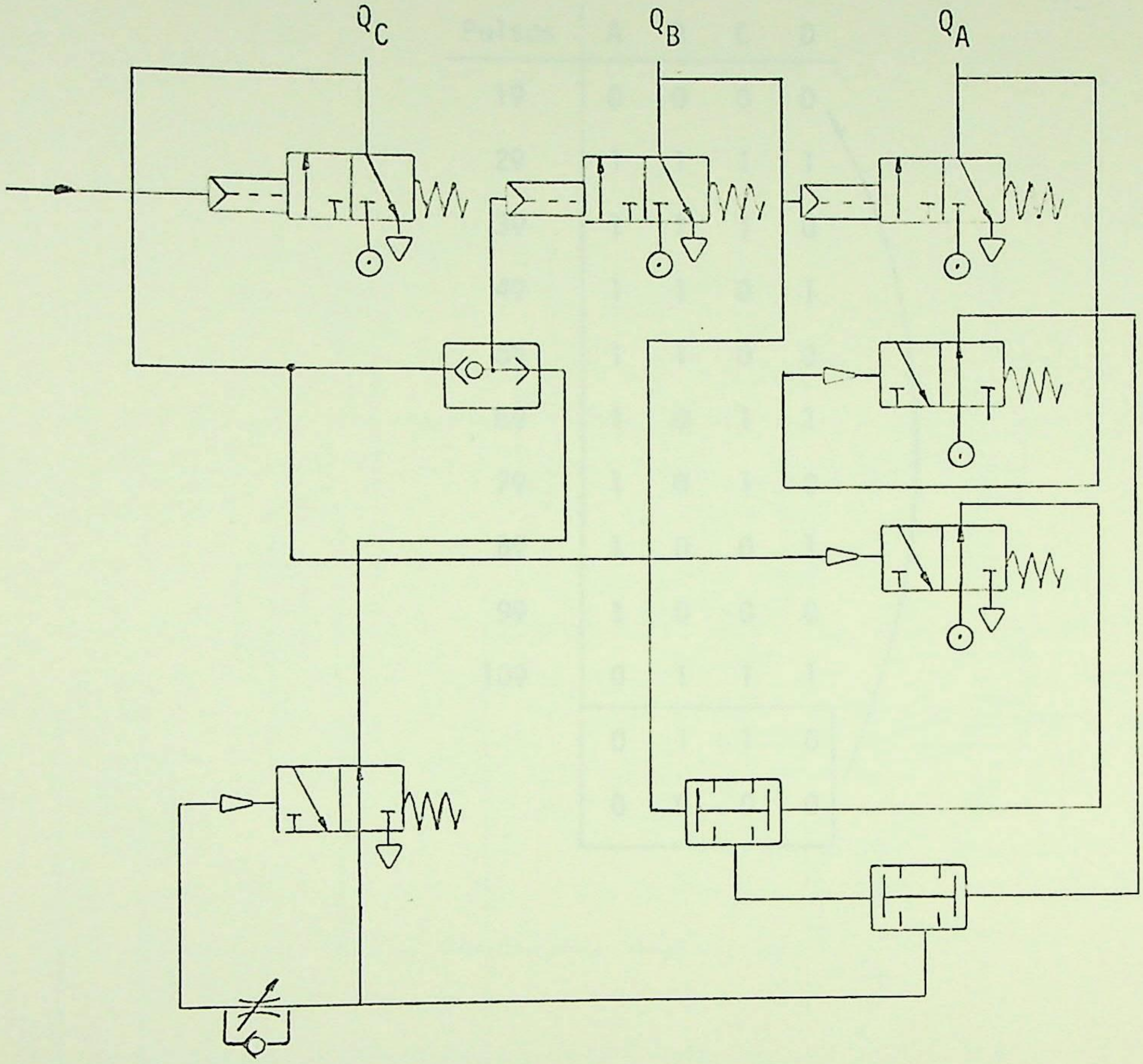
2. Determinar o nº de flip-flop

$n = 3$, pois $\left| \begin{array}{l} 2^2 = 4 \\ 2^3 = 8 \end{array} \right.$

3. Montar a tabela verdade

Pulsos	A	B	C
1º	0	0	0
2º	1	1	1
3º	1	1	0
4º	1	0	1
5º	1	0	0
6º	0	1	1
	0	1	0
	0	0	0

4. Montar o circuito



EXEMPLO 3 Esquematizar um contador assíncrono para contar de 0 a 9, usando flip-flop T com conexão Q.

SOLUÇÃO

1. Determinar o nº a contar

   N = 10

2. Determinar o nº de flip-flops.

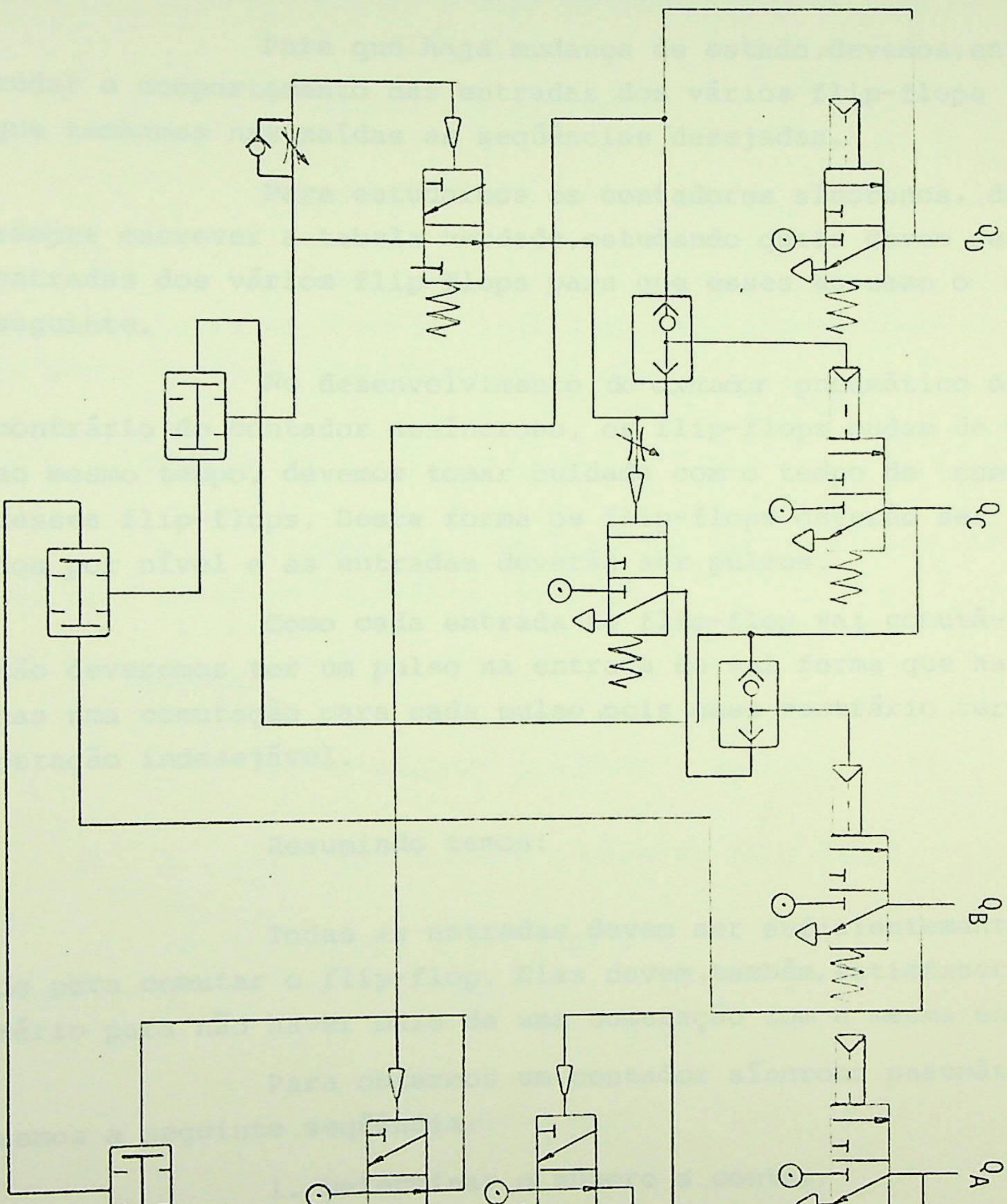
   n = 4 pois, $2^3 = 8$

   $2^4 = 16$

3. Montar a tabela verdade

Pulsos	A	B	C	D
1º	0	0	0	0
2º	1	1	1	1
3º	1	1	1	0
4º	1	1	0	1
5º	1	1	0	0
6º	1	0	1	1
7º	1	0	1	0
8º	1	0	0	1
9º	1	0	0	0
10º	0	1	1	1
	0	1	1	0
	0	0	0	0

4. Montar o circuito



7.7 - Método para a determinação de um contador síncrono

Estes são contadores que em eletrônica possuem as entradas clock curto-circuitadas, ou seja, o clock entra em todos os flip-flops simultaneamente.

Para que haja mudança de estado, devemos, então, estudar o comportamento das entradas dos vários flip-flops para que tenhamos nas saídas as seqüências desejadas.

Para estudarmos os contadores síncronos, devemos sempre escrever a tabela verdade, estudando quais devem ser as entradas dos vários flip-flops para que esses assumam o estudo seguinte.

No desenvolvimento do contador pneumático onde, ao contrário do contador assíncrono, os flip-flops mudam de estado ao mesmo tempo, devemos tomar cuidado com o tempo de comutação desses flip-flops. Desta forma os flip-flops deverão ser comutados por nível e as entradas deverão ser pulsos.

Como cada entrada no flip-flop vai comutá-lo, então deveremos ter um pulso na entrada de tal forma que haja apenas uma comutação para cada pulso, pois, caso contrário, teremos operação indesejável.

Resumindo temos:

Todas as entradas devem ser suficientemente grande para comutar o flip-flop. Elas devem, também, satisfazer o critério para não haver mais de uma comutação com a mesma entrada.

Para obtermos um contador síncrono pneumático faremos a seguinte seqüência:

1. Determinar o número a contar;
2. Determinar o número de flip-flops ;
3. Eleger o código a utilizar;
4. Eleger o tipo de flip-flop a utilizar (T ou R-S);

5. Determinar os valores da entrada de cada flip flop que definem o estado do contador a cada impulso de avanço, usando a tabela de funcionamento e a tabela verdade;
6. Montar o Mapa de Karnaugh para cada entrada e simplificar;
7. Montar o circuito.

Observação Importante:

Faremos sempre o impulso de avanço vir de um elemento que gera um pulso de valor ajustado, independente da entrada deste elemento ser pulso ou nível.

Exemplo 1:

Esquematizar um contador síncrono para contar de 0 a 6, utilizando flip-flop tipo R-S.

Solução:

1. Determinar o número a contar N = 6;

2. Determinar o número de flip-flops

$$n = 3, \text{ pois } \left| \begin{array}{l} 2^2 = 4 \\ \\ 2^3 = 8 \end{array} \right.$$

3. O código será 8421;

4. Flip-flop R-S.

5. Determinação dos valores de entrada de cada Flip-flop

av	A	B	C	R_A	S_A	R_B	S_B	R_C	S_C
1º	0	0	0	-	0	-	0	0	1
2º	0	0	1	-	0	0	1	1	0
3º	0	1	0	-	0	0	-	0	1
4º	0	1	1	0	1	1	0	1	0
5º	1	0	0	0	-	-	0	0	1
6º	1	0	1	0	-	0	1	1	0
7º	1	1	0	1	0	1	0	-	0
	0	0	0	-	0	-	0	0	1

6. Mapa de Karnaugh das entradas e simplificação

C \ AB	00	01	11	10
0	-	-	1	0
1	-	0	-	0

$R_A = AB$

C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	0	-
1	0	1	-	-

$S_A = BC$

C \ AB	00	01	11	10
0	-	0	1	-
1	0	1	-	0

$R_B = BC + AB$

C \ AB	00	01	11	10
0	0	-	0	0
1	1	0	-	1

$S_B = \bar{B}C$

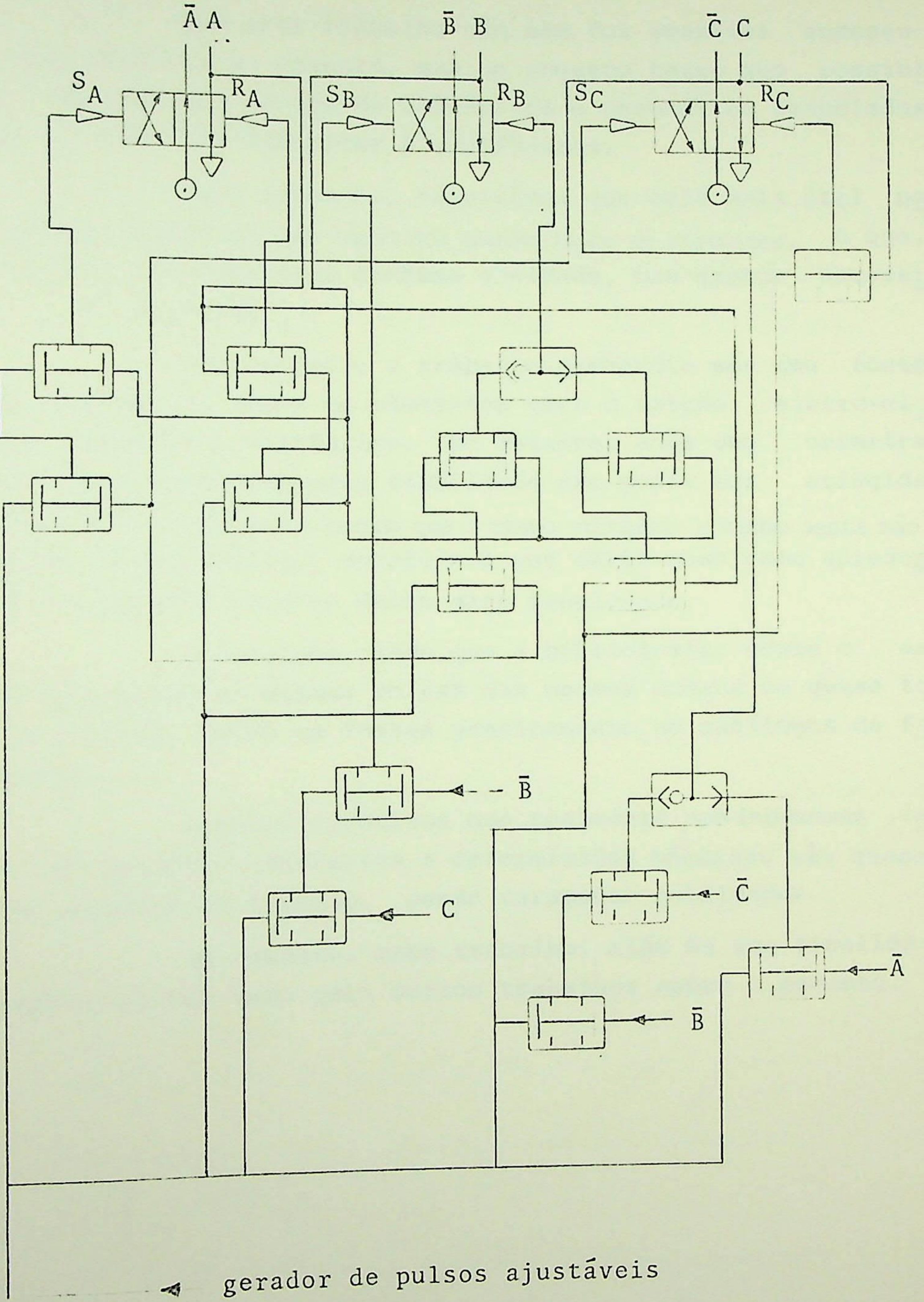
C \ AB	00	01	11	10
0	0	0	-	0
1	1	1	-	1

$R_C = C$

C \ AB	00	01	11	10
0	1	1	0	1
1	0	0	-	0

$S_C = \bar{B}\bar{C} + \bar{A}$

7. Circuito Pneumático


Ā A
B̄ B
C̄ C
S_A
R_A
S_B
R_B
S_C
R_C
B̄
C
C̄
Ā
B̄
gerador de pulsos ajustáveis

8. CONCLUSÕES

Com este trabalho não nos foi possível apresentar tudo relativo ao assunto, mas um pequeno texto que possibilite o aprendizado básico de hidráulica e pneumática associados, ainda, a circuitos elétricos e eletrônicos.

Este trabalho, concluímos que será mais útil para aquelas pessoas que têm noção dos quatro tipos de circuitos, o que, atualmente, não constitui nenhuma novidade, mas grande necessidade e até imposição.

A princípio, o trabalho pretendia ser uma fonte quase completa de todos os elementos para o estudo eletro-eletrônico-pneumático-hidráulico. No entanto, após uma primeira elaboração, notamos que esta finalidade não podia ser atingida em virtude do volume muito grande que o mesmo atingiria e mesmo assim não completo. Após análise, concluimos que deste modo como apresentamos o trabalho, haveria muito mais finalidade.

Concluímos, ainda, que a bibliografia sobre o assunto traz quase as mesmas coisas nas mesmas ordens em quase todos os autores, sendo as fontes praticamente os catálogos de fabricantes.

Aqueles circuitos que realmente nos interessam, isto é, os circuitos referentes a determinadas máquinas são quase sempre material de segredo, sendo raramente publicados.

No entanto, este trabalho, além da sua finalidade didática, é uma base para outros trabalhos sobre o assunto.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

|1| APPLIED Hydraulic and Pneumatics in Industry. Morden, Trade and Technical Press, 1968.

|2| BRUNELL, R. Hydraulic & Pneumatic cylinders. Morden, Trade & Technical Press/ S.d./, 168 p.

|3| DRAPINSKI, Janusz Hidráulica e Pneumática Industrial e móvel. Editora McGraw-Hill/ 1968/.

|4| HYDRAULIC Technical Data. Morden, Trade & Techincal Press /S.d./

|5| HYDRAULIC Standards Lexicon and Data. Morden, Trade and Technical Press /1967/ 737 p.

|6| HYDRAULIC Technical Data. Morden, Trade & Technical Press /S.d./

|7| OEHLER Gerhard Hydraulic Presses. London, E. Arnold, /1968/ 379 p.

|8| PRINCIPLES of Hydraulics. Morden, Trade & and Technical Press /S.d./ 140 p.

|9| THOMAS, Jean Modern oil hydraulic engineering Morden, Trade & Technical Press, /S.d./ 331 p.

|10| STEWART, Harry L. Hydraulic and Pneumatic Power for Production. New York, The Industrial Press /1955/.

|11| DEPPERT W/ K. STOLL. Aplicaciones de la Pneumática. Barcelona, Marcombo /1977/.

|12| FORT, P. J. Techniques Simples D'automatizion Tome 2. Paris, Foucher /1967/.

|13| FORT, P.J. Automatisation des Machines Paris, Foucher /1970/

|14| HASEBRINK, Kobler Técnicas de Comando 1. São Paulo, Festo Didatic /S.d./

|15| MEIXNER, KOBLER Manual para pessoal de Manutenção e Montagem. São Paulo, Festo Didatic /S.d./.

|16| POLORNY-FMA, Manual de las tecnicas del aire comprimido. São Paulo, Poligono /1970/.

|17| SIMPLES, Comandos de Memória e Circuitos lógicos, São Paulo, Festo Didatic /S.d./.

|18| ZIESLING, Konrad Circuitos Neumáticos Regulation y mando de maquinaria. Tused Blume /1975/.

|19| BOOLEAN ÁLGEBRA, Federal Electric Corporation New Jersey, Prentice-Hall In /1966/.

|20| PETICLERC, A. Tratado de Ordenadores - Principales elementos e organizacion de um ordenador. Barcelona, Editores Técnicos Associados /s.d./.

|21| PETICLERC, A. Tratado de Ordenadores - Álgebra lógica, aritmética binária e algoritmos. Barcelona, Editores Técnicos Associados /S.d./.

|22| FERREIRA, Ignácio Sérgio Miranda. Circuitos Combinacionais. Itajubá, EFEI /1969/.

|23| KOHAVI ZVI Switching and Finite Automata Theory. New Delhi, Tata McGraw-Hill /1970/.

|24| MARCUS, Mitchell P. Switching Circuits for Engineers. New Jersey, Prentice Hall - Inc /1975/.

|25| BOIX, Ramon Farand Circuitos Neumáticos, elétricos e hidráulicos. Madrid, Marcombo Boixerau /1975/.

|26| IDOETA, Ivan V. Elementos de Eletrônica Digital. São Paulo, Érica /1980/.