UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS

USP / FQ / 1991

8-2-666611

OK

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO
DE CIRCUITOS INTERRUPTORES
COM RELÉS POLARIZADOS

José Carlos Felizatti

Tese apresentada ao Instituto de
Física e Química de São Carlos-USP
para a obtenção do título de
Doutor em Ciências (Física Aplicada)

Orientador: Prof. Dr. Valentim Obac Roda

DEPARTAMENTO DE FÍSICA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

São Carlos - 1991

**IFSC UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**
Instituto de Física e Química de São Carlos

Fone (0162) 72-6222
Fax (0162) 72-2218

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
Caixa Postal 369
CEP 13560 - São Carlos - SP
Brasil

MEMORIO DA COMISSÃO JULGADORA DA TESE DE DOUTORADO DE JOSE CARLOS FELIZATTI APRESENTADA AO
INSTITUTO DE FÍSICA E QUÍMICA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 19.12.1991

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Valdir Alves Rueda

Prof. Dr. Ivan Rotta

Prof. Dr. Danilo Pereira Lazzarini

Prof. Dr. Wagner Manoel Martins

Prof. Dr. Milton Del Piccolo

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Valentin Obac Roda, do IFQSC, meu orientador, pelas demonstrações de clareza, objetividade e segurança nos momentos decisivos.

Ao prof. Roberto Clarete Pessotta, do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP, meu amigo, pela efetiva colaboração.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram.

RESUMO

No presente trabalho estudam-se os circuitos interruptores com relés polarizados, enfocando-se quatro tópicos principais, a saber: a tecnologia e os comandos múltiplo, combinatório e sequencial.

Em relação à tecnologia, propõe-se um dispositivo eletromecânico de comando e chaveamento denominado "quantor", com características construtiva e operacional superiores aos relés polarizados tradicionais.

Os diversos sistemas desenvolvidos utilizando relés polarizados, mostram a extraordinária flexibilização que se obtém na execução dos comandos múltiplo e combinatório com teclas pulsantes.

Apresentam-se, também, a metodologia e a "conceituação" para o projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios e sequenciais com relés polarizados.

ABSTRACT

In this thesis we present a study on switching circuits using biased relays. The following main topics are focused: technological aspects and the multiple, combinational and sequential commands.

A new switching and commanding device called by us "quantor" is proposed. Some of the constructive and operating characteristics of this device are presented, showing that the proposed device offers improvements over conventional relays. The proposed devices are very attractive for the implementation of multiple and combinational commands using pulsed switches.

We also present the methodology for the design of switching circuits used for the implementation of simple and combinational commands. Also for the sequential commands we present a design methodology using biased relays.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - Dispositivos Eletromecânicos de Comando e

Chaveamento: Estado da Arte e Proposta do

Trabalho..... 1

1.1 - Introdução..... 1

1.2 - Evolução dos Materiais Magnéticos..... 3

1.2.1 - Materiais Magneticamente Moles..... 3

1.2.2 - Materiais Magneticamente Duros..... 4

1.2.3 - Obsevação Comparativa..... 5

1.3 - Evolução da Síntese de Circuitos Lógicos

Interruptores com Relés Convencionais..... 6

1.4 - Proposta do Trabalho..... 7

CAPÍTULO 2 - Comando Múltiplo e Combinatório..... 9

2.1 - Introdução..... 9

2.2 - O Comando Múltiplo..... 9

2.3 - O Comando Combinatório..... 12

2.4 - Conclusões Parciais..... 23

CAPÍTULO 3 - Contribuição Tecnológica..... 24

3.1 - Introdução..... 24

3.2 - Descrição Analítica dos Novos Dispositivos..... 25

3.3 - Variação Construtiva dos Novos Dispositivos..... 35

3.4 - Conclusões Parciais..... 36

CAPÍTULO 4 - Quantor: A Técnica do Pulso Energético

Quantificado e Recursos de Comando.....	38
4.1 - Introdução.....	38
4.2 - A Técnica do Pulso Energético Quantificado.....	39
4.3 - Aplicação da Técnica do Pulso Energético Quantificado no Desenvolvimento de Sistemas de Comando.....	44
4.3.1 - Sistemas de comando utilizando quantor "repele-repele", com quantificação capacitiva ou indutiva.....	44
4.3.2 - Sistemas de comando utilizando quantor "atrai-repele", com quantificação capacitiva ou indutiva.....	59
4.3.3 - Sistemas híbridos de comando, com quantificação capacitiva e indutiva.....	68
4.3.4 - Sistema particular de comando.....	70
4.4 - Conclusões Parciais.....	72

CAPÍTULO 5 - Extensão da Aplicação da Técnica do Pulso

Energético Quantificado.....	74
5.1 - Introdução.....	74
5.2 - Sistemas de Comando a Transruptor.....	75
5.3 - Sistemas de Comando a Relé "Latching".....	80
5.4 - Sistemas de Comando a Chave Magnética.....	84

CAPÍTULO 6 - Comando Sequencial.....	85
6.1 - Introdução.....	85
6.2 - Comando Sequencial com Relés Convencionais:	
Conceituação Geral e Técnica de Projeto.....	85
6.3 - Comando Sequencial com Relés Polarizados:	
Desenvolvimento da Conceituação e da Técnica de	
Projeto.....	90
6.3.1 - Técnica de projeto para os de duas bobinas,	
quantificação indutiva.....	90
6.3.2 - Técnica de projeto para os de uma bobina,	
quantificação indutiva.....	96
6.3.3 - Técnica de projeto para os de uma ou de duas	
bobinas, quantificação capacitiva.....	100
6.4 - Propriedade Associada ao Comando Sequencial com	
Relés Polarizados.....	100
6.5 - Conclusões Parciais.....	106
 CAPÍTULO 7 - Exemplos de Aplicação.....	 108
7.1 - Introdução.....	108
7.2 - 1º Exemplo: O Circuito de Montgomerie.....	109
7.3 - 2º Exemplo: Circuito de Sinalização Automática de	
Entrada de Pátios.....	114
7.4 - 3º Exemplo: Circuito para Semáforo de Duas Fases.....	119

CAPÍTULO 8 - Discussão dos Principais Tópicos e	
Respectivas Conclusões.....	129
 BIBLIOGRAFIA.....	 134
 APÊNDICE A - A Matriz de Projeto.....	 138
 APÊNDICE B - Dispositivos Eletromecânicos de Comando e	
Chaveamento: Descrição dos Principais Tipos....	143

CAPÍTULO 1

DISPOSITIVOS ELETROMECAÂNICOS DE COMANDO E CHAVEAMENTO: ESTADO DA ARTE E PROPOSTA DO TRABALHO

1.1 - Introdução

Vários são os dispositivos eletromecânicos, utilizados no comando e chaveamento de circuitos, os quais em função da sua natureza construtiva/operacional (Martins, 1985), permitem maior ou menor flexibilidade no estabelecimento da lógica do comando e chaveamento.

Os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, podem ser divididos em dois grupos, sendo o primeiro referente àqueles que operam por atração magnética baseados no princípio de eletroímã, denominados convencionais, e o segundo, referente àqueles que utilizam ímãs permanentes no circuito magnético e operam por atração ou repulsão magnética, denominados polarizados ou de remanência.

Com artigos publicados em diferentes épocas, Grossman(1978), Morris(1982) e Caillié(1986), concordam que o relé, um dos dispositivos eletromecânicos do grupo dos convencionais, possui desde longa data (mais de 1 século), larga utilização no comando e chaveamento de cargas elétricas, principalmente devido ao baixo custo de produção aliado a outros aspectos tais como: proporcionar isolação galvânica entre circuitos de comando e de carga, além de cobrir uma extensa faixa de tensões e de correntes com boa tolerância tanto a

sobretensões quanto a sobrecorrentes.

Já os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento do grupo dos polarizados, são mais recentes do que os convencionais.

Caldwell(1958), por exemplo, faz referência em sua obra a relés polarizados especiais, para emprego em telefonia.

No entanto, foi em meados da década de 60, com o surgimento dos relés denominados "latching", que a utilização dos relés polarizados tornou-se mais significativa.

Segundo Strathearn(1986) e Antonitsch&Naples(1987), isso se deveu a forma construtiva e operacional dos relés "latching", que os tornou mais atrativos do que os relés convencionais para aplicações como estágio de potência em circuitos eletrônicos, pois além de possuir as vantagens do relé convencional, possui uma outra adicional que é o fato de não gastar energia na bobina (ou bobinas) de comando quando em operação.

A variedade de relés polarizados tipo "latching" é relativamente grande, sendo que os mais comuns podem ser encontrados nas publicações Teledyne(1973-78), Leyzan et al(1982) e Drachëv et al(1985).

Os relés polarizados tipo "latching" são fabricados para baixas potências, para tensão de comando normalmente de 5V, e correntes até 5A.

Na segunda metade da década de 60, Martins&Del Picchia(1966) propuseram o transruptor, o qual é um relé polarizado para potências mais elevadas do que os "latching", fabricado para tensões de 6 a 220V, e correntes de 10 a 63A.

Além dos aspectos mencionados, vários outros referentes ao estudo e desenvolvimento de relés em geral, foram motivo de preocupação desde Holm(1958), passando por Schnierl(1974), Cohn(1978), Yudewitz(1979) e Goldberg&Horton(1985), até Publicação Degussa(1991), Rieder&Strof(1991) e Lee&Leung(1991).

1.2 - Evolução dos Materiais Magnéticos

Um outro aspecto importante refere-se ao tamanho físico de um relé convencional ou polarizado, o qual depende do material magnético empregado, pois quanto maior a densidade de fluxo, menor o volume de material magnético necessário.

A evolução dos materiais magnéticos ao longo dos anos, relacionada ao aumento da densidade de fluxo, permitiu constante miniaturização dos relés, embora a cronologia de desenvolvimento dos materiais magneticamente moles seja diferente da dos magneticamente duros (ímãs permanentes).

1.2.1 - Materiais Magneticamente Moles

Na figura 1.1 (Gourishankar, 1969), são mostradas as curvas de magnetização de alguns materiais magneticamente moles, sendo que o aço laminado e o aço para transformadores USS são da década de 40, o aço fundido e principalmente o ferro fundido, são bem mais antigos.

Fig. 1.1 - Curvas de magnetização de alguns materiais magneticamente moles.

Atualmente, são disponíveis outras ligas, como por exemplo, as de ferro-cobalto, que apresentam níveis de saturação magnética (1,6 - 2,2T) bem maiores que o aço laminado, com baixa força de magnetização.

1.2.2 - Materiais Magneticamente Duros

Na figura 1.2 (Publicação Eriez, 1990), são mostradas as curvas de desmagnetização de alguns materiais magneticamente duros, sendo que o alnico e a ferrite são da década de 50/60 e o samário-cobalto (erimax), da década de 80.

Atualmente, é disponível a liga ferro-boro-neodímio, também da década de 80, que possui força coercitiva da ordem da de samário-cobalto, e densidade de fluxo residual em torno de 1.3T.

Fig. 1.2 - Curvas de desmagnetização de alguns materiais magneticamente duros.

1.2.3 - Observação Comparativa

Com base nas figuras 1.1 e 1.2 e considerações já feitas, devido ao fato dos materiais magneticamente moles possuírem nos dias de hoje níveis de saturação magnética maiores do que o fluxo remanescente dos materiais para ímãs permanentes, os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento convencionais, potencialmente são algo mais compactos do que os polarizados.

1.3 - Evolução da Síntese de Circuitos Lógicos Interruptores com Relés Convencionais

Em relação ao estudo dos circuitos lógicos interruptores, utilizando relés convencionais, várias são as referências.

Caldwell(1958), faz menção a circuitos lógicos interruptores de intertravamento, aplicados no século passado, em sinalização ferroviária.

No entanto, Shannon(1938) é considerado um marco inicial no estudo de circuitos lógicos interruptores, por ter sido o primeiro a aplicar métodos científicos na análise de circuitos de chaveamento com relés convencionais, utilizando álgebra binária.

Independentemente de Shannon(1938), Montgomerie(1948) desenvolveu uma álgebra para projeto de circuitos lógicos interruptores com relés convencionais, e propôs o denominado "Late Break Contact" para evitar incompatibilidades durante o tempo de transição de estado.

Em 1953, Raspanti(1953) estendeu a álgebra de Montgomerie(1948) para o campo complexo, e a partir de três teoremas desenvolveu o comando "shunt" de um relé, de forma a eliminar o "Late Break Contact" proposto por Montgomerie(1948).

Dentre outros, Martins(1965) resolveu, de uma maneira elegante, o problema de projeto de um circuito lógico interruptor combinatório e sequencial, com a proposição da "matriz de projeto", a partir da qual se obtém com extrema facilidade as equações funcionais dos referidos circuitos.

A partir de meados da década de 60, o estudo dos circuitos lógicos interruptores se concentrou no desenvolvimento de métodos para obtenção de soluções minimizadas.

1.4 - Proposta do Trabalho

Considerando-se o que já foi exposto, identifica-se uma lacuna no estudo de circuitos interruptores com relés polarizados, referente ao desenvolvimento de sistemas flexíveis para comando múltiplo de cargas elétricas, a resolução do problema geral de projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios e sequenciais, e a proposição das correspondentes topologias desses circuitos.

O presente trabalho, portanto, objetiva preencher essa lacuna, além de propor um dispositivo eletromecânico polarizado de comando e chaveamento denominado "quantor", de características ímpares.

Para tanto, no capítulo 2, abordam-se os comandos múltiplo e combinatório.

Em relação ao comando múltiplo, apresenta-se apenas o que já existe, tanto para os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento convencionais, quanto para os polarizados.

Em relação ao comando combinatório, desenvolve-se a sua representação topológica, bem como a técnica de projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios com relés polarizados.

No capítulo 3, propõe-se o "quantor" em suas possíveis configurações, o qual é um dispositivo eletromecânico de comando e chaveamento do grupo dos polarizados, com ímã permanente

móvel.

No capítulo 4, propõe-se a técnica de quantificação energética do pulso de corrente de comando, e exploram-se os recursos de comando proporcionados por ela, utilizando como elemento tecnológico o "quantor".

No capítulo 5, estende-se a aplicação da técnica do pulso energético quantificado para outros dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento polarizados diferentes do "quantor", e comparam-se os vários dispositivos e sistemas de comando entre si.

No capítulo 6, para os relés polarizados de uma e de duas bobinas, serão desenvolvidos a topologia bem como todo o procedimento, para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais a partir da "matriz de projeto" com nova conceituação.

No capítulo 7, utilizando relés polarizados, serão resolvidos três exemplos de aplicação, a saber: "Circuito de Montgomerie", circuito de "Sinalização Automática de Entrada de Pátios" e, circuito para "Semáforo de duas Fases".

No capítulo 8, apresentam-se as conclusões.

Completam o presente trabalho, a bibliografia utilizada e dois apêndices.

No apêndice A, tem-se a conceituação original proposta por Martins em 1965 para a "matriz de projeto", e no apêndice B, descrevem-se os principais dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento convencionais e polarizados atualmente disponíveis.

CAPÍTULO 2

COMANDO MÚLTIPLO E COMBINATÓRIO

2.1 - Introdução

No presente capítulo serão considerados os comandos múltiplo e combinatório dos dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento convencionais, e dos polarizados.

No tocante ao comando múltiplo, será apresentado apenas o que já existe, sem nada a acrescentar por ora. As contribuições nesse tópico virão mais adiante, nos capítulos 4 e 5.

Já em relação ao comando combinatório, haverá uma contribuição do presente trabalho, além de outras que também virão nos capítulos 4 e 5.

2.2 - O Comando Múltiplo

O comando múltiplo consiste em controlar uma única saída, através de m (múltiplos) pontos de atuação.

O esquema geral do comando múltiplo é mostrado na figura 2.1.

Fig. 2.1 - Esquema geral do comando múltiplo.

O comando múltiplo do relé convencional pode ser feito utilizando-se de simples interruptores paralelos e intermediários, como mostra a figura 2.2.

Fig. 2.2 - Comando múltiplo de um relé.

O comando múltiplo da chave magnética é conseguido, empregando-se botoeiras (L) normalmente abertas (NA) para ligar, e botoeiras (D) normalmente fechadas (NF) para desligar, como se vê na figura 2.3.

Fig. 2.3 - Comando múltiplo da chave magnética.

Para o transruptor, Del Picchia&Martins(1965) propuseram executar o comando múltiplo utilizando chaves de duas posições NA, podendo essa mesma proposta ser estendida para o relé "latching".

A representação encontra-se na figura 2.4.

Fig. 2.4 - Comando múltiplo com (a) transruptor (b) relé "latching".

Numa rápida comparação entre os esquemas apresentados nas figuras 2.2 a 2.4, percebe-se que nos relés polarizados, devido à característica operacional, o comando múltiplo é bem mais simples do que para o relé e chave magnética convencionais.

2.3 - O Comando Combinatório

O comando combinatório consiste em controlar n funções interruptoras de saída, através de m variáveis de entrada independentes.

O esquema geral do comando combinatório é ilustrado na figura 2.5.

Fig. 2.5 - Esquema geral do comando combinatório.

O circuito lógico interruptor combinatório da figura 2.5 é definido pelo seguinte sistema de funções,

$$\begin{aligned} Z_1 &= f_1(X_1, X_2, \dots, X_m) \\ Z_2 &= f_2(X_1, X_2, \dots, X_m) \\ &\vdots \\ Z_n &= f_n(X_1, X_2, \dots, X_m) \end{aligned}$$

o qual pode ser obtido a partir da "matriz linha de projeto" (Apêndice A).

No caso do relé convencional, a representação da bobina vale-se de uma única letra, por exemplo, X , sendo que quando a bobina está desenergizada anota-se $\underline{X}$, e quando energizada, $\bar{X}$.

A correspondência com a chave atuadora é da seguinte forma:

chave	bobina
aberta	$\underline{X}$
fechada	$\bar{X}$

Essas convenções podem ser verificadas utilizando-se a figura 2.6.

Fig. 2.6 - Representação esquemática do relé convencional.

A rede multiterminal de contatos pode ser construída para qualquer estado do circuito lógico interruptor, embora o normal seja representar o estado em que todos os relés estão desenergizados, pois este é o estado de "reset" automático. Sendo assim, os contatos x' são os NF.

A realização tecnológica por rede de contatos utilizando relés convencionais será então, segundo o esquema da figura 2.7.

Fig. 2.7 - Esquema geral de circuito lógico interruptor combinatório, por rede de contatos, com relés convencionais.

Visando elucidar todo esse processo, suponha-se um forno elétrico tendo dois elementos aquecedores de 1.000W e 2.000W, os quais são controlados por duas chaves principais.

Considere-se, como exemplo, o projeto de um circuito de sinalização para acender lâmpadas que indiquem o total de potência fornecida ao forno, com a seguinte combinação: uma lâmpada acesa quando desligado, duas lâmpadas acesas quando ligado a 1.000W, três lâmpadas acesas quando ligado a 2.000W e, quatro lâmpadas acesas, quando ligado a 3.000W.

Admitindo-se que Z_1 indica forno desligado, $Z_1 Z_2$ ligado a 1.000W, $Z_1 Z_2 Z_3$ ligado a 2.000W e, $Z_1 Z_2 Z_3 Z_4$, ligado a 3.000W, o problema pode ser esquematizado da seguinte forma:

A "matriz linha de projeto" correspondente, será:

Combinações dos elementos de entrada (informativos)			
$\underline{X_1 X_2}$	$\bar{X_1} \underline{X_2}$	$\underline{X_1} \bar{X_2}$	$\bar{X_1} \bar{X_2}$
1 $\bar{Z_1}$	2 $\bar{Z_1} \bar{Z_2}$	3 $\bar{Z_1} \bar{Z_2} \bar{Z_3}$	4 $\bar{Z_1} \bar{Z_2} \bar{Z_3} \bar{Z_4}$

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

1	$(x_1' + x_2')$	1 1	S_3
2	$(x_1 + x_2')$	0 1	S_1
3	$(x_1' + x_2)$	1 0	S_2
4	$(x_1 + x_2)$	0 0	S_0

As equações funcionais das variáveis de saída, são:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \boxed{1} \cdot \boxed{2} \cdot \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(0, 1, 2, 3) = (x_1 + x_2)(x_1 + x_2')(x_1' + x_2)(x_1' + x_2') \\
 Z_2 &= \boxed{2} \cdot \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(0, 1, 2) = (x_1 + x_2)(x_1 + x_2')(x_1' + x_2) \\
 Z_3 &= \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(0, 2) = (x_1 + x_2)(x_1' + x_2) \\
 Z_4 &= \boxed{4} = \Pi(0) = (x_1 + x_2)
 \end{aligned}$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = 0$$

$$Z_2 = x_1 x_2$$

$$Z_3 = x_2$$

$$Z_4 = x_1 + x_2$$

A representação esquemática da solução do circuito lógico interruptor do exemplo do forno, utilizando relés convencionais e rede de contatos, é mostrada na figura 2.8.

Fig. 2.8 - Representação da solução do exemplo do forno utilizando relés convencionais.

Como contribuição do presente trabalho aos circuitos lógicos interruptores combinatórios, propõe-se executá-los utilizando relés polarizados em substituição aos convencionais.

Para tanto, de início, deve-se achar uma representação adequada para o relé polarizado, que corresponda ao relé convencional, levando-se em consideração as diferenças construtivas e operacionais.

Considerando-se como elemento tecnológico o transruptor, e baseado na sua construção e operação (ap. B, fig. B.5), propõe-se uma representação como a da figura 2.9.

Fig. 2.9 - Representação esquemática proposta para o transruptor.

O esquema da figura 2.9 significa que, das duas posições estáveis que o transruptor pode assumir, está representada aquela em que o ímã permanente está grudado no núcleo da bobina de ligar (X'), de forma que o contato móvel, solidário à lâmina condutora, está galvanicamente ligado ao contato fixo (x'), em série com a bobina de ligar, ficando armado o gatilho de ligar (L).

Essa posição implica, na rede de contatos, que todos os contatos x' do transruptor estão fechados.

A chave atuadora de entrada, agora de duas posições, é fechada para o lado (D) da bobina de desligar (X), a qual está interrompida, pois o contato fixo (x) está aberto, já que se encontra desencostado do contato móvel.

Têm-se então as duas bobinas (X' , X) desenergizadas, coerente com qualquer uma das posições estáveis do transruptor, pois cada uma é devida unicamente ao campo remanescente do ímã, e cuja correspondência com a chave atuadora é da seguinte forma:

posição da chave	bobina que vai receber o pulso	posição dos contatos	
		x	x'
D	$\underline{X}$	aberto	fechado
L	$\bar{X}$	fechado	aberto

Saliente-se que a representação esquemática proposta para o transruptor (fig. 2.9) serve para o relé "latching", se se utilizar uma chave atuadora de duas posições NA e dispensar os contatos x e x', para compensar a diferença construtiva entre o relé "latching" e o transruptor.

Então, se forem compensadas as diferenças construtivas entre os vários relés polarizados, a representação proposta na figura 2.9 pode ser considerada genérica.

Para obter as equações funcionais das variáveis de saída, pode-se utilizar a "matriz linha de projeto", com a seguinte convenção: nas combinações dos elementos de entrada (informativos), basta representar simplesmente as bobinas que vão receber o pulso de energia, ou seja, as que estão gatilhadas.

Na figura 2.10, tem-se um exemplo de parte de uma "matriz linha de projeto" para relés polarizados.

Combinações dos Elementos de Entrada (informativos)		
...	$\underline{X}_1 \underline{X}_2 \bar{X}_3$	...
...	5 $\bar{Z}_1 \bar{Z}_4$	...

Fig. 2.10 - Parte de uma "matriz linha de projeto" para relés polarizados.

No alvéolo marcado [5], vinculado aos termos S significará,

[5] $(x'_1+x'_2+x_3)$ 1 1 0 ou S_6 ,
e o estado do circuito lógico interruptor correspondente a esse alvéolo será da seguinte forma:

Relé Polarizado	Bobina Gatilhada	situação dos contatos		Posição da chave
		fechado	aberto	
X_1	X'_1	x'_1	x_1	D
X_2	X'_2	x'_2	x_2	D
X_3	X_3	x_3	x'_3	L

Isso posto, vale observar que, tanto quanto no caso dos relés convencionais, a rede multiterminal de contatos também pode ser construída para qualquer estado do circuito lógico interruptor, quando se utiliza relés polarizados.

A realização tecnológica por rede de contatos empregando-se relés polarizados deverá ser então, segundo o esquema da figura 2.11.

Fig. 2.11 - Esquema geral de circuito lógico interruptor combinatório, por rede de contatos, com relés polarizados.

Voltando ao exemplo do forno, se este for resolvido com relés polarizados, as etapas apresentadas para os relés convencionais até a solução minimizada são as mesmas, e a realização tecnológica por rede de contatos para o estado inicial, é mostrada na figura 2.12.

Fig. 2.12 - Representação da solução do exemplo do forno utilizando relés polarizados.

Ainda com relação ao comando combinatório, Del Picchia & Martins (1982) propuseram executá-lo de uma forma alternativa, utilizando transruptores.

Consiste em se fazer todas as combinações possíveis das cargas comandadas e selecioná-las através de "teclas pulsantes", com direcionamento de correntes por "matriz de diodos".

Na figura 2.13 é mostrado o esquema geral desse tipo de comando combinatório, de acordo com a proposição original, com o objetivo de comentá-lo, de maneira que nos capítulos 4 e 5 fiquem evidentes as contribuições do presente trabalho para com esse tópico.

Fig. 2.13 - Esquema geral de comando combinatório de cargas elétricas selecionável por teclas pulsantes.

De início, deve-se perceber na figura 2.13, que é previsto nesse tipo de comando combinatório, um transruptor para cada carga.

Valendo-se das teclas pulsantes, são feitas as combinações das cargas uma a uma, depois duas a duas, até n a n.

Excetuando-se as combinações das cargas uma a uma, nas outras os pulsos de corrente de comando são dirigidos por diodos, de forma a se evitar recirculação desses pulsos de corrente de um gatilho para outro.

Como um exemplo desse tipo de comando combinatório, suponha-se que de um total de dez (C_1 a C_{10}) cargas, as cargas C_1 , C_5 , C_7 , C_8 e C_9 estejam ligadas, e deseja-se que somente as cargas C_1 e C_6 fiquem ligadas.

Para atingir o objetivo proposto, pode-se pressionar primeiro o gatilho de ligar $L_{1,6}$ correspondente a C_1 e C_6 , de forma que C_1 que já estava ligada, permanece ligada, e C_6 liga.

Após essa operação, pressiona-se o gatilho de desligar $D_{5,7,8,9}$ correspondente a C_5 , C_7 , C_8 e C_9 , desligando-se então essas cargas.

Vale observar que se fosse pressionado primeiro o gatilho $D_{5,7,8,9}$ e depois o $L_{1,6}$, o resultado seria o mesmo.

Observe-se que o esquema geral de comando combinatório por teclas pulsantes apresentado na figura 2.13 será o mesmo, se o transruptor for substituído pelo relé "latching" ou qualquer outro relé polarizado.

Observe-se ainda que o comando combinatório por teclas pulsantes não é possível de ser executado com relés convencionais.

Finalmente, a solução do exemplo do forno nessa filosofia de comando é mostrada na figura 2.14.

Fig. 2.14 - Solução do exemplo do forno empregando transruptores e teclas pulsantes.

2.4 - Conclusões Parciais

A representação esquemática proposta de um relé polarizado mostrada na figura 2.9 e desenvolvida a partir do transruptor, salvo pequenas alterações visando compensar diferenças construtivas e/ou operacionais existentes entre os relés polarizados, se mostra adequada, pois permite uma correspondência perfeita com a proposta de realização tecnológica por rede de contatos mostrada na figura 2.11.

Ainda, a conceituação dada para a "matriz linha de projeto" é correta, e possibilita o projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios utilizando relés polarizados, com o mesmo grau de dificuldade do projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios utilizando relés convencionais.

CAPÍTULO 3

CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA

3.1 - Introdução

O presente capítulo objetiva, propor novos dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, os quais vão contribuir no sentido de ampliar a família dos relés polarizados de potência baseados em ímãs permanentes móveis, família essa que já conta com os dispositivos eletromecânicos patenteados por Suzuki (1973) e Del Picchia et al (1977).

Será utilizado de início, apenas um arranjo geométrico/mecânico, que inclusive já foi objeto de divulgação (Felizatti&Pessotta, 1990), para descrever os diferentes princípios de funcionamento, e depois, será considerada uma variação construtiva mecânica para efeito de comparação.

Esses novos dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, resultaram num pedido de privilégio (Del Picchia et al, 1989/90) registrado no Brasil e no exterior, cujo relatório descritivo engloba, com os mesmos princípios de funcionamento, muitas outras variações construtivas, tanto geométricas quanto mecânicas.

A técnica de comando, os sistemas de comando que podem ser derivados com os respectivos diagramas de ligação, e os campos de aplicação, para os novos dispositivos, serão explorados no capítulo 4.

Por não contribuírem nem com a técnica, nem com a tecnologia, não serão feitas considerações tais como dimensionamentos de núcleo, de pressão de contatos, número de espiras, etc..

3.2 - Descrição Analítica dos Novos Dispositivos

Na figura 3.1, apresenta-se um primeiro dos novos dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, que será detalhado na sequência com relação a aspectos construtivo/operacional e, para facilidade de referência, será denominado "quantor". A justificativa do porque utilizar tal denominação será apresentada no capítulo 4.

(a)

(b)

Fig. 3.1 - Quantor numa das possíveis configurações. (a) estrutura física (b) representação esquemática.

Os vários elementos numerados no quantor da figura 3.1, numa das possíveis configurações que pode assumir, são:

- 1 - bobina fixa.
- 2 - núcleo de material magneticamente mole, com boas propriedades magnéticas, do tipo vazado, e não obrigatoriamente necessitando ser confeccionado com lâminas.
- 3 - eixo rígido de material com propriedades isolantes tanto elétrico quanto magnético.
- 4 e 5 - ímãs permanentes.

No caso do quantor na configuração mostrada na figura 3.1, o ímã permanente (5) está grudado no núcleo ferromagnético (2) devido à força magnética de atração entre o núcleo (2) e o ímã (5). Esta força é relativamente grande, pois o entreferro existente entre o ímã (5) e o núcleo (2) é extremamente pequeno, o que torna essa posição do ímã (5) altamente estável.

Já o ímã permanente (4) não é atraído pelo núcleo ferromagnético (2) devido ao entreferro existente entre eles, que deve ter um comprimento tal que, a força magnética de atração, seja comparavelmente pequena à entre o núcleo (2) e o ímã (5).

O princípio de operação do quantor da figura 3.1 é extremamente simples.

Com pulsos de corrente I na bobina (1) no sentido indicado na figura 3.1, são criados, enquanto durar cada pulso, um polo sul à esquerda e um polo norte à direita do núcleo ferromagnético (2).

Com base no quantor na configuração mostrada na figura 3.1, se um pulso de corrente (I) de curta duração circular pela bobina (1), o polo norte criado à direita repelirá o ímã permanente (5), fazendo com que o eixo rígido (3) se movimente, trazendo consigo o ímã permanente (4), que por sua vez, passa a ficar grudado no núcleo (2), assim que o movimento de translação do eixo (3) seja completado.

O quantor assume então uma nova configuração, e o próximo pulso de corrente (I) na bobina (1), restituirá a configuração anterior devido à expulsão do ímã permanente (4).

Evidentemente todo esse processo é repetitivo, e o movimento de translação dos ímãs permanentes pode ser utilizado para abrir e fechar contatos elétricos, obtendo-se assim um dispositivo eletromecânico que pode atuar com a função de chave, prestando-se para chaveamento de circuitos com comando à distância.

É desnecessário a confecção do núcleo ferromagnético (2) com lâminas, pois, para a grande maioria das aplicações do quantor, o tempo decorrido entre uma comutação e outra é de tal ordem que, as perdas magnéticas por histerese e Foucault, não são suficientes para causar aquecimento apreciável.

Pelo mesmo motivo exposto acima, a bobina pode ser subdimensionada, ou seja, pode ser utilizado um condutor de bitola menor, quando se compara em potência com um relé ou chave magnética, pois deve suportar um pulso de corrente de curta duração, enquanto que no relé ou chave magnética, a corrente flui ininterruptamente pela bobina. Esse fato contribui para a redução principalmente, de peso e volume.

Evidentemente se o quantor for utilizado em circuitos que exigem comutações muito rápidas e sucessivas, as observações acima ficam prejudicadas.

Ainda em relação ao aspecto operacional, uma consideração importante se faz necessária.

Existem duas velocidades envolvidas na operação do quantor da figura 3.1; uma elétrica e outra mecânica, sendo que a elétrica deve ser, e é, muito mais rápida do que a mecânica.

Esse desequilíbrio de velocidades é de capital importância, pois se as duas forem de igual magnitude, corre-se o risco de não se completar o movimento de translação dos ímãs permanentes (4 e 5), já que os polos criados no núcleo ferromagnético (2), forçarão o aparecimento de uma posição de equilíbrio, com os ímãs permanentes (4 e 5) equidistantes do núcleo ferromagnético (2), devido às iguais forças de repulsão aos dois.

É claro que essa posição de equilíbrio é instável e a extinção da corrente I na bobina (1), faz com que um dos ímãs permanentes (4 ou 5), grude no núcleo ferromagnético (2) através de forças magnéticas de atração.

Com o desequilíbrio das velocidades elétrica e mecânica, a operacionalidade do quantor da figura 3.1 está garantida pois, com um pulso "instantâneo" de corrente I na bobina (1), faz-se a expulsão também "instantânea" do ímã permanente que estiver grudado no núcleo ferromagnético (2), iniciando-se o movimento de translação e, com a extinção do pulso de corrente, não haverá mais impedimento algum para que o ímã permanente que não estava grudado no núcleo ferromagnético (2), complete o movimento total de translação.

As formas de se conseguir pulsos de corrente (I) "instantâneos", na prática, serão apresentadas no capítulo 4.

Observe-se portanto, que o quantor mostrado na figura 3.1 opera com pulsos de corrente na bobina, sempre unidirecionais, e pode ser classificado como "repele-repele" com uma bobina.

O quantor da figura 3.1 é dito que está numa das possíveis configurações que pode assumir, pelo fato de não ser a única. Outras configurações são possíveis, tanto operacional quanto construtiva.

É o caso, por exemplo, do quantor esquematicamente representado na figura 3.2, que possui uma diferença construtiva muito pequena da do quantor da figura 3.1, embora operacionalmente, a diferença seja grande.

Fig. 3.2 - Quantor numa outra configuração.

Procurou-se utilizar tanto quanto possível, no quantor da figura 3.2, os mesmos números índices representando os mesmos elementos do quantor da figura 3.1.

As correntes I_1 e I_2 são de mesmo valor, sendo que os índices 1 e 2 se referem apenas ao sentido de circulação pela bobina (1).

A diferença construtiva básica está na inversão, por exemplo, das faces polares do ímã permanente (4). Se a inversão tivesse sido a do ímã permanente (5), a operação seria análoga.

Já a diferença operacional é bastante significativa.

No quantor na configuração mostrada na figura 3.2, se um pulso de corrente I_1 circular pela bobina (1), são criados, enquanto durar o pulso, um polo sul à esquerda e um polo norte à direita do núcleo ferromagnético (2). O polo norte da direita irá repelir o ímã permanente (5), ao mesmo tempo que o polo sul da esquerda atrairá o ímã permanente (4), fazendo com que o eixo rígido (3) se movimente, trazendo consigo o ímã permanente (4).

O quantor assumirá então uma nova configuração, com o ímã permanente (4) grudado no núcleo ferromagnético (2) devido a força magnética de atração, e o ímã permanente (5) afastado do núcleo ferromagnético (2).

Com o quantor na nova configuração, para restituir a posição anterior, basta inverter os polos magnéticos no núcleo ferromagnético (2), através da aplicação da corrente I_2 , a qual criará, enquanto circular pela bobina (1), um polo norte à esquerda e um polo sul à direita do núcleo ferromagnético (2).

O polo norte da esquerda repelirá o ímã permanente (4), ao mesmo tempo em que o polo sul da direita atrairá o ímã permanente (5), forçando-os a se movimentarem juntamente com o eixo (3), de forma que o quantor assumirá a configuração anterior.

O quantor da figura 3.2 portanto, pode ser classificado como "atrai-repele" com uma bobina.

A diferença operacional existente entre os quantores das figuras 3.1 e 3.2 proporciona vantagens e desvantagens.

Em relação à capacidade de comutação, o quantor da figura 3.2 é superior, pois a sua operação é menos crítica, por não exigir um pulso de corrente "instantâneo".

No entanto, pesa contra o quantor da figura 3.2, o fato de ser necessário a inversão da corrente na bobina (1), enquanto que no quantor da figura 3.1, esta inversão não existe.

Se o circuito de comando é alimentado por uma fonte de corrente alternada simétrica em relação ao eixo dos tempos, não haverá maiores problemas para o quantor da figura 3.2, pois as correntes I_1 e I_2 estão disponíveis, sendo apenas necessário fazer o seu correto direcionamento.

Se o circuito de comando é alimentado por uma fonte de corrente contínua, a dificuldade operacional do quantor da figura 3.2 já é maior, pois será necessário a inversão de polaridade nos terminais da bobina (1), por intermédio, por exemplo, de um arranjo especial dos contatos do circuito de comando.

Outras diferenças significativas existem entre os quantores das figuras 3.1 e 3.2, resultantes da interação dos campos magnéticos neles presentes.

Visando melhor compreensão do que se pretende analisar, nas figuras 3.3 e 3.4 estão representados esquematicamente, tanto os quantores das figuras 3.1 e 3.2, quanto os principais fluxos magnéticos envolvidos, com as seguintes denominações.

ϕ_1 - fluxo magnético instantâneo: presente somente durante o tempo que a corrente circular pela bobina.

ϕ_4 - fluxo magnético permanente: próprio do ímã (4).

ϕ_5 - fluxo magnético permanente: próprio do ímã (5).

Fig. 3.3 - Esquema de fluxos magnéticos do quantor da fig. 3.1

Fig. 3.4 - Esquema de fluxos magnéticos do quantor da fig. 3.2.

No esquema da figura 3.3, e na ausência do fluxo ϕ_i (comportamento estático), os ímãs permanentes 4 e 5 estão magneticamente ligados através de uma força magnética de atração, devido a interação entre o fluxo ϕ_4 e uma parcela do fluxo ϕ_5 (aquela que fecha caminho magnético através do núcleo ferromagnético da bobina e entreferro).

A magnitude dessa força de atração entre os ímãs 4 e 5 depende da intensidade dos campos magnéticos neles gravados, bem como do comprimento do entreferro. De qualquer forma, a existência dessa força interfere na pressão mecânica de fechamento dos contatos elétricos, no sentido de aliviá-la.

Com base na figura 3.4, é fácil verificar que nesse esquema ocorre justamente o contrário do que foi descrito, o que implica, portanto, que em situação estática, o quantor da figura 3.1 necessita de um entreferro maior do que o quantor da figura 3.2.

Uma ressalva no entanto em relação ao comprimento do entreferro, no esquema da figura 3.4, se faz necessária.

Existe um comprimento mínimo do entreferro, pois o ímã (4) induz um polo sul no núcleo ferromagnético (2), gerando uma força magnética de atração, que pode ser maior do que a força magnética de repulsão entre o ímã (4) e o núcleo ferromagnético (2), devida ao polo norte criado a esquerda deste pelo ímã (5).

Essa força também agirá no sentido de aliviar a pressão mecânica de fechamento dos contatos elétricos, e esse fato tem que ser evitado.

Já em situação dinâmica, ou seja, com o fluxo magnético ϕ_i presente, os efeitos descritos acima possuem outro comportamento.

Considerando-se o esquema da figura 3.3, ao mesmo tempo que o ímã (5) é expulso devido a criação de um polo norte à direita do núcleo ferromagnético (2), há a tendência de expulsão do ímã (4), devido a criação de um polo sul a esquerda do núcleo ferromagnético (2). Dessa forma, e pelo fato dos polos norte e sul possuírem a mesma intensidade, a comutação do quantor é factível por causa do entreferro, pois este provoca um desequilíbrio de forças magnéticas de repulsão, fazendo com que a que expulsa o ímã (5), no início da translação, seja muito maior do que a que expulsa o ímã (4).

Observe-se então que o tempo de permanência do fluxo ϕ_i é crítico, e por isso se fez, quando da análise da operação do quantor da figura 3.1, a ressalva de que o pulso de corrente (I), na bobina (1), deve ser instantâneo.

Em relação ao esquema da figura 3.4, com a criação dos polos, norte a direita e sul a esquerda, há simultaneamente a expulsão do ímã (5) e atração do ímã (4).

Nesse caso portanto não há problemas nem de entreferro (quanto menor melhor, excetuando-se a limitação existente em situação estática), nem do tempo de permanência do fluxo ϕ_i .

Essas diferenças influem no tempo de comutação e na tensão de comando.

Em medidas práticas executadas num protótipo de quantor construído para 10A e 220V, foi necessário a aplicação de uma tensão de comando 30% superior no quantor da figura 3.1 em relação ao quantor da figura 3.2, para provocar a comutação.

Essas considerações comparativas e outras, ficarão evidenciadas no capítulo 5.

Na figura 3.5 apresenta-se um quantor, com duas bobinas (1a e 1b).

Fig. 3.5 - Quantor de duas bobinas.

A operação é similar à do quantor da figura 3.2, sendo que a presença das duas bobinas elimina a necessidade de inverter o pulso de corrente. Isso significa que o quantor apresentado na figura 3.5, opera indistintamente, no circuito de comando, com corrente contínua ou corrente alternada.

O quantor da figura 3.5 portanto, pode ser classificado como "atrai-repele" com duas bobinas.

Comum a todos os quantores apresentados, é a memorização permanente do estado, ou seja, atingido um estado (ímã 4 ou 5 grudado no núcleo 2) este só é mudado com uma nova atuação sobre o comando.

É também comum o fato da não necessidade de energização constante da bobina (ou bobinas), para manter qualquer um dos estados mencionados, além das estruturas físicas serem idênticas.

3.3 - Variação Construtiva dos Novos Dispositivos

Na figura 3.6 é mostrado uma variação construtiva do quantor, referente a parte mecânica, embora a filosofia operacional seja a mesma.

(a)

(b)

(c)

Fig. 3.6 - *Variação construtiva do quantor.*

Operacionalmente o quantor da figura 3.6 (a) é equivalente ao quantor da figura 3.1, o da figura 3.6 (b) ao da figura 3.2 e, o da figura 3.6 (c), ao da figura 3.5.

O mecanismo apresentado na figura 3.6 prevê um braço rígido, que possui movimento de rotação em torno do pivô (3).

A vantagem do mecanismo rotacional é possuir atrito menor do que o mecanismo translacional, o que proporciona diminuição do tempo de comutação.

3.4 - Conclusões Parciais

No presente capítulo, demonstrou-se, com base nas análises feitas, que o quantor, em qualquer das versões apresentadas, é operacional.

Confrontando-se o quantor com o transruptor e o relé "latching", o tipo "repele-repele" ganha em simplicidade por necessitar de uma única bobina de comando, enquanto que o tipo "atrai-repele", apesar de possuir duas bobinas de comando, ganha em eficiência por aproveitar o efeito combinado de atração e de repulsão magnética em cada mudança de estado.

Pode-se dizer, então, que o quantor, nas várias versões apresentadas, constitui-se numa evolução dos relés polarizados.

CAPÍTULO 4

QUANTOR : A TÉCNICA DO PULSO ENERGÉTICO QUANTIFICADO E RECURSOS DE COMANDO

4.1 - Introdução

A finalidade do presente capítulo é apresentar a técnica de quantificação energética do pulso de corrente de comando necessário para a mudança de estado, e explorar os recursos de comando proporcionados por ela.

Os recursos de comando a serem explorados, se referem ao desenvolvimento de sistemas de comando, os quais se constituirão em contribuições do presente trabalho aos comandos múltiplo e combinatório por teclas pulsantes, introduzido no capítulo 2.

Apesar de por ora se utilizar apenas do quantor, isso não significa que outro dispositivo eletromecânico de comando e chaveamento já apresentado, não possa operar nessa técnica.

Visando facilidade de referência, será estabelecido um código para identificação dos sistemas nas várias configurações que podem assumir, como segue:

QR - abreviação de quantor.

- 1 - o princípio de funcionamento é "repele-repele", com uma bobina.
- 2 - o princípio de funcionamento é "atrai-repele", com uma bobina.
- 3 - o princípio de funcionamento é "atrai-repele", com duas

bobinas.

α - um gatilho.

β - dois gatilhos.

A - necessita de apenas um fio de comando.

B - necessita de dois fios de comando.

C - necessita de três fios de comando.

Em relação ao número de fios de comando, tanto o negativo no caso de corrente contínua, quanto o neutro em corrente alternada, não serão contados, pois normalmente na maioria das instalações elétricas, eles estão disponíveis em todos os pontos.

4.2 - A Técnica do Pulso Energético Quantificado

A quantificação energética do pulso de corrente de comando, que será de dois tipos, capacitiva ou indutiva, se relacionará a algum tipo de travamento do referido pulso, visando limitar o seu tempo de duração, além de depender dos valores da tensão e corrente de comando.

A quantificação capacitiva implica em se travar o pulso de corrente de comando, utilizando-se de um capacitor no circuito de comando do quantor, e é automática. A quantificação indutiva, que depende fundamentalmente da indutância da bobina, pode ter ou não travamento automático do pulso de corrente de comando. O travamento humano, que depende do operador, não é automático.

Visando esclarecer o que são as quantificações capacitiva e indutiva, considere-se a figura 4.1, onde apresenta-se o esquema básico de um protótipo, construído especialmente para ensaios, cujos elementos principais, excetuando-se os assinalados, são facilmente identificáveis.

(a)

(b)

Fig. 4.1 - Esquema básico de um protótipo para visualizar (a) a quantificação capacitiva (b) a quantificação indutiva.

Na figura 4.1 (a) e (b), a tensão anotada V_1 , sobre o resistor R_1 , foi monitorada através de um osciloscópio de memória, com vistas a análise que vem a seguir.

Considerando-se a figura 4.1 (a), ao ser pressionada a chave S, um pulso de corrente fluirá durante o tempo necessário para carregar o capacitor, e será quase que totalmente travado por este, independentemente do tempo que durar a pressão sobre a chave S (evidentemente a partir de um tempo mínimo).

No esquema apresentado na figura 4.1(a), o pulso de corrente ao circular pela bobina, cria um polo norte à direita do núcleo ferromagnético desta, que se tiver intensidade suficiente expulsa o ímã, fazendo a lâmina condutora se movimentar forçando a separação dos contatos fixo e móvel, e interrompendo totalmente a circulação de qualquer corrente no circuito de comando.

Todo o procedimento descrito acima pode ser visualizado na figura 4.2, onde é mostrada a forma de onda da tensão monitorada V_1 da figura 4.1 (a), que coincide com a forma de onda da corrente, pois foi medida sobre um resistor de aproximadamente 1Ω , confeccionado com um pedaço de arame retilíneo de níquel-cromo. Os outros valores utilizados foram: $V_{cc} = 12V$, $C = 10\mu F$ e $R_2 = 100\Omega$.

Fig. 4.2 - Forma de onda da tensão v_1 do esquema da fig. 4.1(a).

Observando-se a figura 4.2 percebe-se que o capacitor não trava totalmente o pulso de corrente (pico de aproximadamente 760mA) pois, uma parcela (cerca de 120mA), continuará fluindo através de todo o conjunto (exceto o capacitor), via resistor R_2 , com uma intensidade que depende de R_2 .

Se não houvesse a separação dos contatos fixo e móvel, provocada pelo movimento da lâmina condutora, essa parcela de corrente (120mA) somente cessaria com a abertura da chave S.

Percebe-se também que o tempo mínimo necessário de fechamento da chave S para a mudança de estado, é de aproximadamente 1ms.

Uma vez que o pico de corrente de comando necessário para a mudança de estado do dispositivo, depende da presença do capacitor no circuito de comando, esse tipo de acionamento será

denominado de comando por "pulso energético quantificado capacitivo".

Já no esquema mostrado na figura 4.1(b), com o fechamento da chave S, circulará pelo circuito de comando um pulso de corrente que será automaticamente extinto assim que, devido ao movimento da lâmina condutora da mesma forma como foi descrito anteriormente, houver a separação dos contatos fixo e móvel, independentemente do tempo de fechamento da chave S (também a partir de um tempo mínimo).

Essa situação pode ser visualizada na figura 4.3, onde é mostrada a forma de onda da tensão monitorada V_1 da figura 4.1 (b) sobre o mesmo resistor R_1 do caso anterior, e com a mesma tensão de alimentação $V_{cc} = 12V$.

Fig. 4.3 - Forma de onda da tensão V_1 do esquema da fig. 4.1(b).

Nota-se, então, que o travamento do pulso de corrente de comando neste caso é total, e depende exclusivamente de um

movimento mecânico, referente ao tempo de separação dos contatos fixo e móvel, embora se vê na figura 4.3 que o tempo mínimo necessário para a expulsão do ímã, ou seja, o tempo mínimo necessário para a mudança de estado do dispositivo, é de aproximadamente 1,2ms, que é o tempo de estabilização da corrente de comando.

Como o tempo de estabilização da corrente depende da constante de tempo L/R da bobina, esse tipo de acionamento será denominado de "pulso energético quantificado indutivo".

Em função do que foi exposto e comparando-se com a quantidade de energia que pode fluir ininterruptamente pela lâmina condutora, o dispositivo necessita de apenas uma "fração" ou um "quantum" de energia para a mudança de estado. Por isso foi denominado quantor e pode ser visto como um interruptOR que opera por QUANTum energético.

Os recursos de comando decorrentes da quantificação energética do pulso são vários, e dependem tanto da versão utilizada quanto das conexões efetuadas.

4.3 - Aplicação da Técnica do Pulso Energético Quantificado no Desenvolvimento de Sistemas de Comando.

4.3.1 - Sistemas de comando utilizando quantor "repele-repele", com quantificação capacitiva ou indutiva.

Sendo assim e com o intuito de evidenciar tais recursos, considere-se inicialmente o esquema da figura 4.4, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado

capacitivo.

O quantor utilizado no esquema da figura 4.4, possui princípio de funcionamento idêntico ao descrito para o da figura 3.1 (cap. 3), sendo portanto do tipo "repele-repele" com uma bobina.

Fig. 4.4 - Sistema QR1αA para comando múltiplo.

O esquema de conexões prevê que um dos terminais da bobina é diretamente conectado a rede de alimentação, o outro à associação paralela resistor-capacitor, de forma que dessa associação sai apenas um fio de comando para as botoeiras (L,D), as quais se comportam como gatilhos únicos (liga, desliga).

Devido a essas observações, e considerando-se a convenção estabelecida no início do presente capítulo, associa-se o código QR1αA para o sistema da figura 4.4.

A mudança de estado do sistema QR1αA é conseguida, através da pressão sobre qualquer uma das botoeiras (L,D), pressão essa que provoca a circulação de um pulso de corrente pela bobina com tempo de duração limitado pelo capacitor, e circulando num sentido tal que cria um polo norte a direita e um polo sul a esquerda, de forma que o quantor comuta devido a expulsão do ímã que estiver grudado no núcleo ferromagnético da bobina.

Se a pressão sobre a botoeira for mantida, o quantor permanece na configuração para a qual comutou, pois o capacitor permanece carregado, e só comutará novamente se a pressão sobre a botoeira for retirada, o capacitor se descarregar, e se der nova atuação sobre qualquer uma das botoeiras.

Considerando-se a alimentação em corrente contínua, o pulso de corrente de comando possui a forma do apresentado na figura 4.2, com uma pequena diferença, pois a interrupção total da corrente neste caso, somente se dá com a remoção da pressão sobre a botoeira (L,D) que foi acionada. Se o acionamento é manual, fica então caracterizado que o travamento total final do pulso de corrente de comando, é humano (não automático).

É claro que enquanto a corrente residual, que depende do resistor R no circuito de comando, e será tão menor quanto maior for esse resistor, circula, existem polos no núcleo ferromagnético que se opõem ao perfeito fechamento dos contatos. No entanto essa corrente pode ser mantida tão pequena, de forma que se tenha forças polares pouco significativas.

Em dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento de potência, a faixa de tempo média para se fazer a mudança de estado por completo é de 10 a 16ms. (Publicações; ICR

1991, Siemens 1975, Teledyne 1973-78)

Observando-se figura 4.2, percebe-se que decorridos aproximadamente 3ms, o pulso de corrente de comando passou pelo seu valor máximo (cerca de 1ms), provocando a expulsão do ímã que estava grudado no núcleo ferromagnético da bobina, e praticamente retornou ao patamar mínimo, de forma que o movimento dos ímãs se dá quase que livremente durante pelo menos 70% do tempo de comutação.

Mesmo durante o primeiro ms, onde as forças polares criadas no núcleo ferromagnético da bobina são máximas, os ímãs se movimentam facilmente pois esses vão senti-las com intensidades diferentes, pelo fato dos entreferros não possuírem o mesmo tamanho.

Isso demonstra que, com a quantificação energética capacitiva do pulso de corrente de comando, compatibiliza-se o desequilíbrio entre as velocidades elétrica e mecânica, consideradas no capítulo anterior, sobre o qual se fundamenta a operacionalidade do sistema QR1αA com relação à capacidade de comutação.

O sistema QR1αA da figura 4.4, que só opera com quantificação capacitiva, proporciona vantagens significativas.

Através de um único fio de comando de bitola reduzida pode-se instalar um grande número de atuadores, que se comportam como gatilhos únicos, pois servem tanto para ligar quanto para desligar.

Há memória permanente da operação executada, ou seja, uma vez pressionada qualquer uma das botoeiras (L,D), é feita a comutação da carga e esta permanece no novo estado atingido. No entanto, não há memória do comando, pois não se sabe, quando se

executa uma operação, se está ligando ou desligando a carga, a menos que esta esteja no campo visual do operador, ou que se saiba de antemão o estado em que se encontrava.

Até agora foi considerada a alimentação do sistema em corrente contínua, embora se a alimentação for em corrente alternada o sistema também é operacional.

Basta acrescentar um diodo corretamente polarizado no circuito de comando. A diferença é o início da operação, pois se esta se dá, por exemplo, para um ciclo positivo da onda de tensão, e a atuação for num instante em que a onda é desfavorável (ciclo negativo), é necessário esperar o ciclo favorável para desencadear o processo.

Isso possibilita que se tenha o circuito de comando independente do circuito de carga (não mostrado na figura 4.4), com as seguintes combinações:

circuito de comando	circuito de carga
C.C.	C.C.
C.C.	C.A.
C.A.	C.C.
C.A.	C.A.

É importante salientar que há um intervalo de tempo mínimo entre uma operação e outra, devido ao carregamento do capacitor provocado pela atuação sobre qualquer um dos atuadores (L,D).

Para que se possa executar a operação seguinte, é necessário a abertura do atuador, e esperar que o capacitor se

descarregue através do resistor, durante um intervalo de tempo que se se adotar ser no mínimo igual ao produto RC , significará que o sistema estará apto a comutar novamente assim que a carga do capacitor cair a $1/3$.

Quanto maior o resistor maior o intervalo de tempo entre uma e outra operação (aspecto desfavorável), embora a corrente residual seja menor, contribuindo então para diminuir a interferência negativa no fechamento dos contatos (aspecto favorável).

Ainda, considerando-se que a energia armazenada num capacitor é $CV^2/2$, é preferível operar com tensões mais elevadas e capacitâncias menores, o que permite a utilização de capacitores sem polaridade, em vez dos que possuem polaridade.

Dessa forma, fica demonstrado que não há grandes problemas em dimensionar o capacitor e o resistor, de maneira que se tenha um compromisso bastante razoável, entre o intervalo de operação e a interferência negativa no fechamento dos contatos.

Por exemplo, com os valores utilizados para o levantamento da curva da figura 4.1(a), o intervalo mínimo de operação será $10\mu \cdot 100 = 1\text{ms}$, e corrente residual de 120mA . Se o resistor for aumentado para 1000Ω , o intervalo passa a ser de 10ms , e a corrente residual de 12mA .

Esses aspectos impõem algumas restrições na utilização do sistema QR1αA, embora a de maior significado se refere a impossibilidade de se fazer o comando combinatório de cargas por teclas pulsantes.

Embora existam essas restrições, o campo de aplicação do sistema QR1αA é bastante amplo, sendo indicado principalmente

para o comando de cargas, onde o estado destas é previamente conhecido, com tensão padrão de rede (110, 127 e 220V), e intervalo de tempo normal entre uma e outra operação.

Como exemplo, uma aplicação típica é a iluminação de áreas comuns tais como garagens, halls, pátios, corredores, etc., onde se exige grande quantidade de atuadores. Nestes casos, substitui com muitas vantagens tais como simplicidade da lógica, economia de fiação (quantidade e bitola), redução de custo, etc., os interruptores paralelos e intermediários.

Uma outra vantagem do sistema QR1αA é, pelo fato dos atuadores (L,D) serem do tipo botoeira, a possibilidade de instalar até 6 atuadores numa caixa padrão 4"x2", onde cabem no máximo 3 interruptores comuns de uma única via.

É possível no sistema QR1αA saber o estado da carga, bastando para isso instalar uma lâmpada piloto junto a uma ou mais botoeiras, como por exemplo, mostra a figura 4.5.

Fig. 4.5 - Sistema QR1αA com indicação de estado.

Evidentemente o número de botoeiras com lâmpada piloto é limitado, devido a complexidade da fiação exigida.

Mas em alguns casos pode ser interessante.

Considere-se, por exemplo, a garagem de um edifício, onde o controle da iluminação está normalmente na portaria, e o porteiro, via de regra, não tem a garagem no seu campo visual. Nesse caso instala-se apenas uma lâmpada piloto na portaria.

Utilizando-se do mesmo quantor da figura 4.4, os recursos de comando podem ser ampliados, como mostrado no esquema da figura 4.6, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado indutivo.

Fig. 4.6 - Sistema QR1βB para comando múltiplo.

O esquema de conexões prevê que um dos terminais da bobina é diretamente conectado a rede de alimentação, o outro conectado a um contato móvel biestável através de uma lâmina condutora, visando obter o travamento do pulso de corrente de comando automaticamente, quesito necessário no comando do quantor "repele-repele" de uma bobina.

O contato móvel coopera com dois contatos fixos, dos quais partem dois fios de comando para os atuadores, que por sua

vez, são teclas pulsantes (L,D) de duas posições NA que servem de gatilhos.

Devido a essas considerações, e levando-se em conta a convenção estabelecida no início do presente capítulo, associa-se o código QR1 β B para o sistema da figura 4.6.

A mudança de estado do sistema QR1 β B é conseguida, através da pressão sobre qualquer dos gatilhos L ou D, conforme a carga esteja ligada ou desligada e se deseja ligá-la ou desligá-la, pressão essa que provoca a circulação de um pulso de corrente pela bobina, com duração limitada pelo tempo de separação entre o contato móvel e o fixo correspondente, e circulando num sentido tal que cria um polo norte a direita e um polo sul a esquerda, de forma que o quantor comuta devido a expulsão do ímã que estiver grudado no núcleo ferromagnético da bobina.

Se a pressão sobre o gatilho (L ou D) for mantida, o quantor permanece na configuração para a qual comutou, pois esse gatilho é automaticamente desarmado devido a separação entre o contato móvel e o fixo correspondente.

O pulso de corrente de comando que flui pela bobina é do tipo mostrado na figura 4.3, o qual após um certo tempo se estabiliza num patamar elevado, diferentemente do caso capacitivo, onde após algum tempo se reduz a um valor residual (fig. 4.2).

O pulso de corrente de comando precisa então ser rapidamente interrompido, através da separação entre os contatos fixo e móvel, após decorrido um intervalo de tempo (cerca de 1,2ms no caso da fig. 4.3) compatível com a velocidade elétrica, para garantir a comutação do quantor.

Na prática, a referida compatibilidade se consegue, na própria construção do quantor, simplesmente através do correto dimensionamento do comprimento da lâmina.

Isso está mostrado na figura 4.7, onde em (a) tem-se um sistema de ação lenta se comparado a (b) pois, para se conseguir a pressão mecânica necessária entre os contatos fixo e móvel, através de um efeito de mola, a lâmina possui maiores comprimento e curvatura, de maneira que o ímã precisa percorrer um espaço maior até a abertura dos contatos. Como consequência, o intervalo de tempo de interrupção do pulso de corrente de comando é maior em (a) do que em (b).

Fig. 4.7 - Sistemas de interrupção do pulso de corrente de comando (a) ação lenta (b) ação rápida.

Note-se que no quantor do sistema QR1/3B sempre é necessário a montagem de no mínimo duas lâminas, uma para o circuito de comando, e outra para o circuito de carga.

Não é possível aproveitar a lâmina do circuito de comando para comutar uma outra carga, como representado na figura 4.8, pois este além de não possuir capacidade de potência, forçaria a circulação permanente de corrente no circuito de comando, o que inviabiliza o sistema.

Fig. 4.8 - Sistema não operacional.

O sistema QR1 β B, se comparado ao sistema QR1 α A, possui algumas desvantagens.

Com relação ao quantor em si, necessário no sistema QR1 β B, por ser construtivamente mais elaborado, é de montagem mais demorada e portanto, de maior custo, mesmo dispensando o capacitor e o resistor.

Ainda, necessita de dois fios de comando, ou seja, o dobro do exigido no sistema QR1 α A.

No entanto, há vantagens do sistema QR1 β B em relação ao sistema QR1 α A.

Há memória do comando, pois ao executar uma operação se sabe de antemão se está ligando ou desligando a carga, uma vez que as chaves de liga (L), e desliga (D), são bem identificadas.

Note-se também que só se pode ligar a carga se esta estiver desligada, e vice-versa.

O intervalo entre uma e outra operação, é limitado apenas pelo tempo necessário para a translação do contato móvel, entre os contatos fixos.

Pode ser feita a sinalização do estado da carga, através da instalação de lâmpadas piloto junto aos atuadores.

Possui muito mais recursos de lógica para o comando com teclas pulsantes.

Tanto quanto no sistema QR1 α A, o sistema QR1 β B admite circuito de comando independente do circuito de carga, podendo ser alimentado em corrente contínua ou corrente alternada.

Valem os mesmos comentários feitos anteriormente para o sistema QR1 α A, com relação à necessidade de instalação do diodo corretamente polarizado, e ao início da operação (no caso de corrente alternada), bem como às combinações dos tipos de tensões no circuito de comando e de carga.

Outra vantagem significativa do sistema QR1 β B é se poder fazer o comando combinatório de cargas elétricas com teclas pulsantes, o múltiplo do total ou parte do combinatório, sendo que um exemplo para duas cargas é mostrado na figura 4.9.

Fig. 4.9 - Sistema QR1 β B com seções para comando combinatório parcial e total.

Note-se na figura 4.9, que no conjunto de gatilhos a esquerda têm-se o comando individual de C_2 e o combinatório de C_1 e C_2 , no conjunto do meio o comando individual de C_1 e o combinatório de C_1 e C_2 e, no conjunto da direita, todas as combinações de C_1 e C_2 .

Ressalte-se que qualquer um desses conjuntos, pode ser repetido em outras posições.

Como o sistema QR1 β B possui menos restrições do que o sistema QR1 α A, isso implica um campo de aplicação maior, sendo indicado principalmente para o comando de cargas onde o estado destas não necessariamente é conhecido, e se exige o comando combinatório.

Pelo fato de não precisar de capacitor no circuito de comando, opera indiferentemente tanto com tensões padrão de rede (110, 127 e 220V), quanto com tensões padrão de comando (12, 24 e 48V).

Como exemplo, uma aplicação típica é a utilização do sistema QR1 β B como estágio de potência para controladores de demanda.

O sistema QR1 β B também opera na técnica de pulso energético quantificado capacitivo, como mostrado na figura 4.10 para comando múltiplo, onde são apresentadas duas possibilidades de colocação do capacitor.

Em (a) tem-se somente um conjunto capacitor-resistor para os dois gatilhos, enquanto que em (b), tem-se um conjunto capacitor-resistor para cada gatilho.

(a)

(b)

Fig. 4.10 - Sistema QR1 β B com quantificação capacitiva (a) um capacitor (b) dois capacitores.

A quantificação capacitiva favorece a construção do quantor por não exigir um sistema de interrupção da corrente de comando com regulagem tão fina quanto a da quantificação indutiva (fig. 4.7).

Note-se que no sistema QR1 β B com quantificação capacitiva, há uma diferença fundamental em relação ao sistema QR1 α A pois, o capacitor, começa a descarregar pelo resistor

assim que os contatos fixo e móvel se separam, independentemente do tempo de atuação do operador sobre as chaves (L,D). O pulso de corrente de comando possui a mesma forma do da figura 4.2.

Um outro aspecto interessante a ser destacado é que a corrente de comando, pelo fato de ter um valor residual no instante da separação entre os contatos fixo e móvel, praticamente não produz arco elétrico. Isso estende de forma significativa a durabilidade dos contatos do circuito de comando.

Exceto essas diferenças, o resto é similar ao sistema QR1 β B com quantificação indutiva, inclusive o comando combinatório.

Na figura 4.11 tem-se um sistema cujo código é QR1 β C, para comando múltiplo, que está sendo considerado apenas como curiosidade em relação ao esquema de conexões.

Fig. 4.11 - Sistema QR1 β C para comando múltiplo.

Apesar de operar tanto na técnica de pulso energético quantificado indutivo, quanto capacitivo (com um ou dois capacitores), não proporciona vantagens sobre os sistemas QR1 α A e QR1 β B devido a quantidade de fiação exigida para o circuito de comando.

Com o sistema QR1 β C não é possível fazer o comando combinatório com teclas pulsantes.

Nos sistemas até agora considerados só aparece um tipo de quantor: aquele cujo princípio de funcionamento é "repele-repele".

Na sequência, serão explorados os recursos de comando, advindos da quantificação energética indutiva e/ou capacitiva do pulso de corrente de comando, dos sistemas que contêm o quantor "atrai-repele" simultaneamente (figs. 3.2 e 3.5).

4.3.2 - Sistemas de comando utilizando quantor "atrai-repele", com quantificação capacitiva ou indutiva

Um dos sistemas possíveis é mostrado na figura 4.12, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado capacitivo.

O quantor no esquema da figura 4.12, é do tipo "atrai-repele" com uma bobina, idêntico ao da figura 3.2.

O esquema de conexões prevê que um dos terminais da bobina é diretamente conectado a rede de alimentação, o outro a associação paralela capacitor-resistor, de forma que desta associação sai apenas um fio de comando para as teclas pulsantes (gatilhos) de duas posições NA.

Fig. 4.12 - Sistema QR2βA para comando múltiplo.

Devido a essas observações, e considerando-se a convenção estabelecida no início do presente capítulo, associa-se o código QR2βA para o sistema da figura 4.12.

Como o quantor, do sistema QR2βA, é operacional somente com a inversão do sentido de circulação do pulso de corrente de comando pela bobina, a alimentação do circuito de comando tem de ser exclusivamente em corrente alternada.

Essa inversão é conseguida, com a colocação de diodos com polaridades contrárias nos gatilhos, conforme mostrado na figura 4.12.

A mudança de estado do sistema QR2βA é conseguida, através da pressão sobre qualquer dos gatilhos L ou D, conforme a carga esteja ligada ou desligada e se deseja ligá-la ou desligá-la, pressão essa que provoca um pulso de corrente pela bobina com tempo de duração limitado pelo capacitor, e circulando num sentido tal que cria no núcleo ferromagnético da

bobina, no lado que o ímã estiver grudado um polo de mesma polaridade da face grudada deste, no lado que o ímã estiver afastado um polo de polaridade contrária a da face deste voltada para o núcleo ferromagnético da bobina, de forma que o quantor comuta devido simultaneamente a expulsão do ímã que estiver grudado e atração do ímã que estiver afastado.

Se a pressão sobre o gatilho (L ou D) for mantida, o quantor permanece na configuração para a qual comutou, pois esse gatilho é desarmado devido ao quase total travamento do pulso de corrente de comando pelo capacitor.

Deve-se ressaltar, no entanto, que o capacitor não pode ter polaridade, além do que não é necessário esperar o seu total descarregamento para se executar uma operação pois, para ligar ou desligar a carga, os semi-ciclos favoráveis à mudança de estado são opostos.

O sistema QR2/βA admite circuito de comando independente do circuito de carga, (não mostrado na figura 4.12) com as seguintes combinações:

circuito de comando	circuito de carga
C.A.	C.C.
C.A.	C.A.

Admite o comando combinatório, sendo que um exemplo para duas cargas é mostrado na figura 4.13, e o múltiplo total ou parcial do combinatório.

Há memória tanto da operação executada quanto do comando, e a possibilidade de instalação de lâmpada piloto para sinalização do estado da carga.

Fig. 4.13 - Sistema QR2βA para comando combinatório.

O sistema QR2βA é também operacional com quantificação indutiva, possuindo os mesmos recursos de comando já mencionados.

A diferença em relação à quantificação capacitiva, está no fato de que o pulso de corrente de comando circulará enquanto uma das posições L ou D de qualquer uma das chaves estiver pressionada, não tendo portanto nenhum mecanismo de travamento automático.

Isso não acarreta nenhum problema do ponto de vista operacional, sendo até favorável como comentado quando da análise do esquema da figura 3.2, embora se possa ter um sobreaquecimento devido a perdas no núcleo ferromagnético da bobina, se o tempo de pressão sobre a chave for relativamente

longo e, se o tempo entre uma e outra operação, for relativamente curto.

O fato da alimentação ser só em corrente alternada limita um pouco o campo de aplicação do sistema QR2βA, sendo empregado preferencialmente para o comando de cargas onde o estado destas não é previamente conhecido.

Um outro sistema possível utilizando o princípio "atrai-repele", é mostrado na figura 4.14, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado indutivo.

Fig. 4.14 - Sistema QR3βB para comando múltiplo.

O quantor no esquema da figura 4.14, é do tipo "atrai-repele" com duas bobinas, idêntico ao da figura 3.5.

O esquema de conexões prevê alimentação de dois contatos fixos, por intermédio de um contato móvel, a eles solidário dependendo da posição dos ímãs permanentes, sendo uma

das extremidades de cada bobina de comando conectada a esses contatos fixos, a outra extremidade de cada bobina conectada, através de dois fios de comando, a teclas pulsantes (gatilhos) de duas posições NA.

Dessa forma, e de acordo com a convenção estabelecida no início do presente capítulo, pode-se associar o código QR3/βB para o sistema da figura 4.14.

A mudança de estado do sistema QR3/βB é conseguida, através da pressão sobre qualquer dos gatilhos L ou D, conforme a carga esteja ligada ou desligada e se deseja ligá-la ou desligá-la, pressão essa que provoca um pulso de corrente pela bobina que correspondentemente ao gatilho pressionado estiver alimentada pelo contato móvel, com tempo de duração limitado pela separação dos contatos móvel e fixo, e circulando num sentido tal que cria no núcleo ferromagnético comum das bobinas, no lado que o ímã estiver grudado um polo de mesma polaridade da face grudada deste, no lado que o ímã estiver afastado um polo de polaridade contrária a da face deste voltada para o núcleo ferromagnético das bobinas, de forma que o quantor comuta devido simultaneamente a expulsão do ímã que estiver grudado e atração do ímã que estiver afastado.

Se a pressão sobre o gatilho (L ou D) for mantida, o quantor permanece na configuração para a qual comutou, pois esse gatilho é automaticamente desarmado devido a separação entre o contato móvel e fixo correspondente.

O sistema QR3/βB por operar com pulsos alternados numa e noutra bobina, permite circuito de comando com alimentação em corrente contínua ou alternada independente do circuito de carga.

Admite o comando combinatório, sendo que um exemplo para duas cargas é mostrado na figura 4.15, e o múltiplo do total ou parcial do combinatório.

Fig. 4.15 - Sistema QR3B para comando combinatório.

Há memória tanto da operação executada quanto do comando, e a possibilidade de instalação de lâmpada piloto para sinalização do estado da carga.

Possui um campo de aplicação bastante amplo, sendo indicado preferencialmente para o comando de cargas onde o estado destas não é previamente conhecido.

O sistema QR3B também opera com quantificação capacitiva, com um ou dois capacitores, instalados de forma similar a da figura 4.10, embora pode-se perceber facilmente que não há vantagens em empregar essa técnica no caso dos esquemas das figuras 4.14 e 4.15.

Ainda, utilizando o quantor "atrai-repele" com duas bobinas, um outro sistema possível de ser construído é mostrado na figura 4.16, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado capacitivo.

Fig. 4.16 - Sistema QR3A para comando múltiplo.

O esquema de conexões prevê alimentação de dois contatos fixos, por intermédio de um contato móvel, a eles solidário dependendo da posição dos ímãs permanentes, sendo uma das extremidades de cada bobina de comando conectada a esses contatos fixos, a outra extremidade de cada bobina são unidas, o ponto de união conectado a uma associação paralela capacitor-resistor, de forma que dessa associação sai apenas um fio de comando para as botoeiras (L,D), as quais se comportam

como gatilhos únicos (liga,desliga).

Então, conforme a convenção já estabelecida, associa-se o código QR3αA para o sistema da figura 4.16.

A mudança de estado do sistema QR3αA é conseguida, com a pressão sobre qualquer uma das botoeiras (gatilhos), pois isso faz com que o capacitor se carregue, provocando a circulação de um pulso de corrente na bobina de comando que está alimentada através dos contatos móvel e fixo.

O pulso de corrente cria no núcleo ferromagnético comum das bobinas, polos magnéticos que simultaneamente expulsa o ímã que estiver grudado no núcleo e atrai o ímã que estiver afastado, fazendo com que se movimentem, de forma que o contato móvel se separa do contato fixo, interrompendo temporariamente a alimentação do circuito de comando.

Durante o tempo de translação do contato móvel entre os contatos fixos, o capacitor está em descarga através do resistor e, quando o contato móvel encosta no outro contato fixo, se a botoeira continuar pressionada o capacitor se carrega novamente, provocando na outra bobina um sobre-pulso de corrente no circuito de comando, o qual deve ter a menor amplitude possível, para se evitar nova comutação, o que pode ser conseguido facilmente escolhendo-se adequadamente o resistor.

Os recursos de comando e as limitações do sistema QR3αA são análogos aos do sistema QR1αA (fig. 4.4).

4.3.3 - Sistemas híbridos de comando, com quantificação capacitiva e indutiva

Até agora, neste capítulo, os sistemas considerados operam ou na técnica de pulso energético quantificado indutivo, ou capacitivo.

No entanto, pode-se construir em alguns casos, sistemas híbridos (indutivo e capacitivo) com o objetivo de ampliar os recursos de comando.

Um desses sistemas é mostrado na figura 4.17, referente ao comando múltiplo de uma carga.

Fig. 4.17 - Sistema $QR1\alpha A\beta B$ para comando múltiplo.

Utilizando o quantor tipo "repele-repele" com uma bobina, idêntico ao da figura 3.1, pode-se perceber, no esquema mostrado na figura 4.17, que estão unidos, com relação aos recursos de comando, o sistema $QR1\alpha A$ (fig. 4.4) e o sistema $QR1\beta B$ (fig. 4.6) num único conjunto.

Pode-se, portanto, associar ao sistema da figura 4.17, o código $QR1\alpha A\beta B$.

A seção com quantificação indutiva do sistema $QR1\alpha A/\beta B$, possui funcionamento análogo ao descrito para o sistema $QR1/\beta B$.

A seção que opera com quantificação capacitiva, tem comportamento análogo ao descrito para o sistema $QR3\alpha A$, sendo então comparativamente muito mais lenta do que a seção com quantificação indutiva.

Considerando tudo o que já foi exposto até aqui, e a figura 4.17, fica evidente a excepcional flexibilidade de comando proporcionado pelo sistema $QR1\alpha A/\beta B$.

O sistema $QR1\alpha A/\beta B$ admite o comando combinatório, o múltiplo do total ou parcial do combinatório, só para a seção com quantificação indutiva.

O campo de aplicação do sistema híbrido é bastante amplo e se presta para o comando de cargas onde, a seção com quantificação capacitiva é empregada quando o operador tem a carga no seu campo visual e, a seção com quantificação indutiva, quando o operador não tem a carga no seu campo visual.

Um outro sistema híbrido pode ser derivado facilmente, como mostra a figura 4.18 para comando múltiplo de uma carga.

Fig. 4.18 - Sistema $QR3\alpha A/\beta B$ para comando múltiplo.

No esquema mostrado na figura 4.18, que utiliza o quantor "atrai-repele" de duas bobinas, percebe-se que estão unidos, com relação aos recursos de comando, o sistema QR3 α A (fig. 4.16) e o sistema QR3 β B (fig. 4.14) num único conjunto.

O código a ser associado ao sistema da figura 4.18 será, portanto, QR3 α A β B.

4.3.4 - Sistema particular de comando

Finalmente, pode-se construir um sistema que utiliza o quantor "atrai-repele" com duas bobinas para operar com apenas um fio de comando e dois gatilhos, como mostra a figura 4.19, cujo código será QR3 β A, para operação com quantificação indutiva.

Na figura 4.19 (a) tem-se o comando múltiplo de uma carga e, na figura 4.19 (b), tem-se o comando combinatório.

O sistema QR3 β A apesar de empregar o quantor "atrai-repele" com duas bobinas, opera somente com alimentação dos circuitos de comando em corrente alternada.

Fig. 4.19 - Sistema QR3βA para (a) comando múltiplo
(b) comando combinatório.

O esquema de conexões mostrado na figura 4.19 (a) prevê a inversão da ligação dos terminais de uma das bobinas, para permitir a inclusão de dois diodos com polaridades contrárias conectados em uma das extremidades de cada bobina, desses diodos saindo apenas um fio de comando, o qual vai para os gatilhos (L,D), que por sua vez, também possuem dois outros diodos com polaridades invertidas.

Considerando-se o sistema QR3βA na configuração mostrada na figura 4.19 (a), para desligar a carga pressiona-se qualquer um dos gatilhos D, o que provoca a circulação de um pulso de corrente pela bobina de comando que está alimentada (a da direita), e pelos diodos com mesma polaridade colocados na saída da bobina e entrada do gatilho D pressionado, o pulso de

corrente circulando cria um polo norte a direita e um polo sul a esquerda do núcleo ferromagnético comum das bobinas, que simultaneamente expulsa o ímã da direita e atrai o ímã da esquerda, de maneira que com o movimento dos ímãs o contato móvel se separa do contato fixo, desarma a bobina que recebeu o pulso e desliga a carga.

Após completado o movimento dos ímãs, o sistema QR3/3A assume nova configuração, com o contato móvel encostado no outro contato fixo, armando dessa forma a outra bobina (a da esquerda) de comando.

Se a pressão sobre o gatilho D for mantida, o sistema permanece na nova configuração, pois apesar da bobina se encontrar armada, o diodo colocado na sua saída possui polaridade contrária à do diodo na entrada do gatilho D pressionado, de forma que se tem travamento total e automático do pulso de corrente de comando.

4.4 - Conclusões Parciais

No presente capítulo, de início, formulou-se a técnica do pulso energético quantificado.

Posteriormente, a aplicação da referida técnica ao quantor nas suas várias versões, aliada às conexões elétricas efetuadas, permitiram o desenvolvimento de diversos sistemas de comando, os quais na sua totalidade, cobrem todas as possibilidades de combinação para a execução dos comandos múltiplo e combinatório com teclas pulsantes, a saber: com um ou dois gatilhos, memória ou não do comando executado e utilização de um, dois ou três fios de comando.

Particularmente, o pulso energético quantificado capacitivo mostrou-se eficaz quando aplicado ao quantor "repele-repele", pois além de garantir o seu funcionamento dispensando construções elaboradas, simplifica a execução do comando múltiplo de uma carga pelo fato de eliminar um fio no circuito de comando.

Finalmente, as análises dos recursos de comando feitas para cada um dos sistemas desenvolvidos, mostraram de forma inequívoca as suas vantagens e limitações.

CAPÍTULO 5

EXTENSÃO DA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO PULSO ENERGÉTICO QUANTIFICADO

5.1 - Introdução

Este capítulo tem como objetivos, estender a aplicação da técnica do pulso energético quantificado capacitivo e/ou indutivo, no sentido de apresentar sistemas de comando que se utilizam de outros dispositivos que operam por pulso além do quantor, comparar os vários dispositivos e sistemas de comando entre si, de maneira geral, com relação às suas qualidades, deficiências e recursos de lógica para o comando.

Será utilizado no presente capítulo o mesmo código do capítulo anterior para identificação dos novos sistemas, embora ampliado com os seguintes elementos:

TR - abreviação de transruptor.

RL - abreviação de relé "latching".

4 - o princípio de funcionamento é só "repele", com duas bobinas.

5 - o princípio de funcionamento é só "atrai", com duas bobinas.

Os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, convencionais ou polarizados, além do quantor, que operam por pulso, como já foi visto, são o transruptor e o relé "latching" para ligar e desligar, e a chave magnética só para ligar.

Para esses dispositivos é possível estender a aplicação da técnica do pulso energético quantificado.

5.2 - Sistemas de Comando a Transruptor

Baseado no transruptor, pode-se construir diversos sistemas de comando.

Um deles já foi mostrado no capítulo 2, figura 2.4 (a), a qual está sendo rerepresentada na figura 5.1, com o intuito de se fazer uma análise mais detalhada, e refere-se ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação baseia-se no pulso energético quantificado indutivo.

Fig. 5.1 - Sistema TR43B para comando múltiplo.

O transruptor utilizado no esquema da figura 5.1 é idêntico ao da figura B.5 (ap. B), sendo portanto do tipo "repele" com duas bobinas.

O esquema de conexões prevê alimentação de dois contatos fixos, por intermédio de um contato móvel, a eles

solidário dependendo da posição do ímã permanente, sendo uma das extremidades de cada bobina de comando conectada a esses contatos fixos, a outra extremidade de cada bobina conectada, através de dois fios de comando, a teclas pulsantes (gatilhos) de duas posições NA.

Dessa forma, e de acordo com a convenção já estabelecida, pode-se associar o código TR4/3B para o sistema da figura 5.1.

A mudança de estado do sistema TR4/3B é conseguida, através da pressão sobre qualquer um dos gatilhos L ou D, conforme a carga esteja ligada ou desligada e se deseja ligá-la ou desligá-la, pressão essa que provoca um pulso de corrente pela bobina que correspondentemente ao gatilho pressionado estiver alimentada pelo contato móvel, com tempo de duração limitado pela separação dos contatos móvel e fixo, e circulando num sentido tal que cria no núcleo ferromagnético da bobina alimentada, um polo de polaridade contrária a da face do ímã grudada no referido núcleo, de forma que o transruptor comuta devido a expulsão do referido ímã.

Se a pressão sobre o gatilho (L ou D) for mantida, o transruptor permanece na configuração para a qual comutou, pois esse gatilho é automaticamente desarmado devido a separação entre o contato móvel e o fixo correspondente.

Em comparação com os sistemas que utilizam o quantor, o sistema TR4/3B possui muitas semelhanças com o sistema QR3/3B (fig. 4.14, cap. 4), valendo portanto as considerações feitas quando da descrição do sistema QR3/3B, exceto algumas poucas diferenças.

Uma delas, evidentemente, deve-se à diferença existente no princípio de funcionamento entre o transruptor e o quantor.

Uma outra, se refere aos circuitos de comando e de carga.

Embora tanto no sistema TR4 β B quanto no sistema QR3 β B, a rede de alimentação possa ser indistintamente em corrente contínua ou corrente alternada, no sistema TR4 β B, devido à proposição construtiva do transruptor (Publicação Pelmag, 1988; Del Picchia et al, 1977) não há isolação galvânica entre o circuito de comando e o de carga, enquanto que no sistema QR3 β B a referida isolação existe devido a proposição de construção multi-vias para o quantor.

Vale lembrar que o comando combinatório com teclas pulsantes para o sistema TR4 β B, é da forma apresentada na figura 2.13 (cap. 2).

Um outro sistema com transruptor é mostrado na figura 5.2, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação só pode ser a de pulso energético quantificado capacitivo.

Fig. 5.2 - Sistema TR4 α A para comando múltiplo.

Como o esquema de conexões do sistema da figura 5.2 prevê apenas um fio de comando, e os atuadores (L,D) se comportam como gatilhos únicos, o código a ser associado é TR4αA.

O sistema TR4αA possui os mesmos recursos de comando e limitações dos sistemas QR1αA (fig. 4.4, cap. 4) e QR3αA (fig. 4.16, cap. 4), sendo que a análise feita para a mudança de estado do sistema QR3αA vale para o sistema TR4αA, salvo as características construtiva e operacional entre o quantor e o transruptor.

Na figura 5.3 tem-se mais um sistema utilizando transruptor, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação é a de pulso energético quantificado indutivo.

Fig. 5.3 - Sistema TR4βA para comando múltiplo.

Como o esquema de conexões do sistema da figura 5.3 prevê apenas um fio de comando, e os atuadores (L,D) são de duas posições NA, o código a ser associado é TR4 β A.

O sistema TR4 β A possui os mesmos recursos de comando do sistema QR3 β A (fig. 4.19 (a), cap. 4), além do que valem as considerações feitas com relação à rede de alimentação, travamento do pulso de corrente de comando e a inversão da ligação dos terminais de uma das bobinas.

Finalmente, utilizando transruptor, pode-se também construir sistema híbrido, como mostra a figura 5.4, referente ao comando múltiplo de uma carga.

Fig. 5.4 - Sistema TR4 α A β B para comando múltiplo.

Observando o esquema de conexões da figura 5.4, de imediato conclui-se que o código a ser associado é TR4 α A β B.

O sistema TR4 α A β B é, com relação aos recursos de comando, a união dos sistemas TR4 α A (fig. 5.2) e TR4 β B (fig. 5.1) num único conjunto.

5.3 - Sistemas de Comando a Relé "Latching"

Com base no relé "latching" também se pode construir diversos sistemas de comando, sendo que um deles já foi mostrado no capítulo 2., figura 2.4 (b), a qual está sendo reapresentada na figura 5.5, visando uma análise mais detalhada, e refere-se ao comando múltiplo de uma carga, com técnica de operação baseada no pulso energético quantificado indutivo.

Fig. 5.5 - Sistema RL5 β B para comando múltiplo.

O relé "latching" utilizado no esquema da figura 5.5 é idêntico ao da figura B.4 (ap. B), sendo portanto do tipo "atrai" com duas bobinas.

O esquema de conexões prevê alimentação das bobinas de comando a partir de uma rede de corrente contínua ou alternada, através de uma das extremidades de cada bobina, a outra extremidade de cada bobina conectada, por intermédio de dois fios de comando, a teclas pulsantes (gatilhos) de duas posições NA.

Portanto, conforme a convenção já estabelecida, pode-se associar o código RL5 β B para o sistema da figura 5.5.

A mudança de estado do sistema RL5 β B é conseguida, através da pressão sobre qualquer um dos gatilhos L ou D, conforme a carga esteja ligada ou desligada e se deseja ligá-la ou desligá-la, pressão essa que provoca a circulação de corrente pela bobina correspondente ao gatilho pressionado, com tempo de duração limitado pelo tempo que durar a pressão sobre o gatilho, e circulando num sentido tal que cria no núcleo ferromagnético da referida bobina, um fluxo magnético de sentido contrário ao estabelecido pelo ímã, anulando-o, de forma que o relé "latching" comuta devido a atração magnética da armadura pelo fluxo magnético estabelecido pelo ímã no núcleo ferromagnético da outra bobina (a desenergizada).

Se a pressão sobre o gatilho (L ou D) for retirada, o relé "latching" permanece na configuração para a qual comutou, devido a diferença de intensidade das forças magnéticas atuando sobre a armadura, provocada pela desigualdade no comprimento dos entreferros.

Em comparação com os sistemas que utilizam o quantor e o transruptor, excetuando-se o princípio de funcionamento e o fato de não possuir mecanismo de travamento automático da corrente de comando, o sistema RL5 β B possui os mesmos recursos de comando dos sistemas QR3 β B (fig. 4.14, cap. 4) e TR4 β B (fig. 5.1), inclusive o comando combinatório com teclas pulsantes.

Pode-se, no entanto, proporcionar travamento automático da corrente de comando para o sistema RL5 β B, se se fizer com que opere na técnica do pulso energético quantificado capacitivo, bastando para isso que se acrescente em cada circuito de comando, uma associação paralela capacitor-resistor.

O sistema apresentado utilizando relé "latching", é o único possível levando-se em conta o seu tipo construtivo e conexões elétricas.

No entanto, se forem feitas pequenas alterações, tanto construtiva quanto nas conexões elétricas, outros sistemas de comando podem ser derivados.

Na figura 5.6 tem-se um desses sistemas, referente ao comando múltiplo de uma carga, sendo que a técnica de operação só pode ser a de pulso energético quantificado capacitivo.

Como o esquema de conexões do sistema da figura 5.6 prevê apenas um fio de comando, e os atuadores (L,D) se comportam como gatilhos únicos, o código a ser associado é RL5 α A.

Note-se na figura 5.6 que as alterações efetuadas no relé "latching", foram:

- * construtiva - foram acrescentados um contato móvel e um contato fixo.

* elétrica - a alimentação do circuito de comando é através dos contatos móveis.

Fig. 5.6 - Sistema $RL5\alpha A$ para comando múltiplo.

O sistema $RL5\alpha A$ possui travamento automático do pulso de corrente de comando, mas não admite o comando combinatório com teclas pulsantes.

Considerando-se o relé "latching" alterado, e com base no esquema da figura 5.3, pode-se imaginar facilmente o sistema $RL5\beta A$, com travamento automático do pulso de corrente de comando operando com quantificação indutiva.

Ainda, baseando-se na figura 5.4, pode-se imaginar também um sistema de comando com o código $RL5\alpha A/\beta B$.

5.4 - Sistemas de Comando a Chave Magnética

No caso da chave magnética (fig. B.3, ap. B), a sua característica operacional natural para ligar é a de pulso energético quantificado indutivo, sendo que não há nenhuma vantagem na operação com quantificação capacitiva.

Sendo assim, o sistema de comando com chave magnética apresentado no capítulo 2 (fig. 2.3), é o único possível de ser construído.

CAPÍTULO 6

COMANDO SEQUENCIAL

6.1 - Introdução

Nos capítulos anteriores, foram explorados, levando-se em conta os vários dispositivos eletromecânicos apresentados, os recursos dos comandos múltiplo e combinatório.

No presente capítulo serão explorados os recursos do comando sequencial.

Para tanto, de início, serão apresentadas a conceituação geral do comando sequencial e a técnica de projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés convencionais, a partir da "matriz de projeto" (ap. B).

Em seguida, será desenvolvido todo o procedimento para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais, com relés polarizados de uma e de duas bobinas, além da análise de uma propriedade inerente a esses circuitos, tomando-se um exemplo de aplicação comum ao capítulo todo.

6.2 - Comando Sequencial com Relés Convencionais: Conceituação Geral e Técnica de Projeto

O comando sequencial consiste em controlar n funções interruptoras de saída, através de m variáveis de entrada independentes, valendo-se de p funções interruptoras ditas "secundárias" ou de "realimentação", as quais atuam tanto na

entrada quanto na saída, e são responsáveis pelas "memórias" do circuito lógico interruptor sequencial.

Segundo Bartee&McCluskey (1962) e Martins (1965), o comando sequencial pode ser tratado como sendo um circuito lógico interruptor combinatório, acrescido das funções interruptoras de realimentação, cuja realização tecnológica por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 6.1.

Fig. 6.1 - Esquema geral do comando sequencial, por rede de contatos, com relés convencionais.

As equações funcionais $Z = f(X_m, Y_p)$ e $Y = f(X_m, Y_p)$, podem ser obtidas a partir da "matriz de projeto" (Cap. B).

Apesar de ser indiferente a adoção dos termos S ou P (Cap. A), no presente trabalho serão adotados os termos S com conseqüente notação funcional pelo produtório.

Visando desenvolvimentos e comparações posteriores, será resolvido, em seguida, utilizando "matriz de projeto" e relés convencionais, um exemplo extraído de Caldwell (1958), o qual será anotado exemplo 6.1, que consiste em projetar um circuito lógico interruptor sequencial, constituído por uma variável informativa de entrada ($X_1=X$), representada por um botão de contato e quatro decisões funcionais de saída (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4), de acordo com a seguinte prescrição lógica:

ENTRADA	SAÍDA
1 - x aberto	situação inicial só Z_1 ativada
2 - x é fechado pela 1ª vez	só Z_2 ativada
3 - x é aberto pela 1ª vez	só Z_3 ativada
4 - x é fechado pela 2ª vez	só Z_4 ativada
5- x é aberto pela 2ª vez	só Z_1 ativada, voltando à situação inicial

Utilizando-se duas funções secundárias Y_1, Y_2 , a "matriz de projeto" correspondente, será:

Funções Secundárias (realimentação)	Combinações dos elementos sensoriais			
	1ª vez		2ª vez	
$Y_1 \quad Y_2$	$\underline{X}$	$\bar{X}$	$\underline{X}$	$\bar{X}$
$\underline{Y_1} \quad \underline{Y_2}$	1 ↑ $\bar{Z_1}$	2 ↓ $\bar{Z_1} \bar{Y_2}$		
$\underline{Y_1} \quad \bar{Y_2}$		3 ↓ $\bar{Z_2} \bar{Y_2}$	4 ↓ $\bar{Z_2} \bar{Y_1} \bar{Y_2}$	
$\bar{Y_1} \quad \underline{Y_2}$	8 ← $\bar{Z_4}$			7 ↑ $\bar{Z_4} \bar{Y_1}$
$\bar{Y_1} \quad \bar{Y_2}$			5 ↓ $\bar{Z_3} \bar{Y_1} \bar{Y_2}$	6 ↑ $\bar{Z_3} \bar{Y_1}$

Note-se na "matriz de projeto" apresentada para o exemplo 6.1 que, de acordo com a formulação do apêndice B, no alvéolo estável [3], por exemplo, estão anotadas somente as variáveis ativadas Z_2Y_2 . Na transição deste alvéolo para o alvéolo estável [5], Y_2 continua ativada, e serão ativadas Y_1 e Z_3 .

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

[1]	$(y'_1 + y'_2 + x')$	1 1 1	S_7
[2]	$(y'_1 + y'_2 + x)$	1 1 0	S_6
[3]	$(y'_1 + y_2 + x)$	1 0 0	S_4
[4]	$(y'_1 + y_2 + x')$	1 0 1	S_5
[5]	$(y_1 + y_2 + x')$	0 0 1	S_1
[6]	$(y_1 + y_2 + x)$	0 0 0	S_0
[7]	$(y_1 + y'_2 + x)$	0 1 0	S_2
[8]	$(y_1 + y'_2 + x')$	0 1 1	S_3

As equações funcionais das variáveis de saída e de realimentação, são:

$$Z_1 = [1] \cdot [2] = \Pi(6,7) = (y'_1 + y'_2 + x)(y'_1 + y'_2 + x')$$

$$Z_2 = [3] \cdot [4] = \Pi(4,5) = (y'_1 + y_2 + x)(y'_1 + y_2 + x')$$

$$Z_3 = [5] \cdot [6] = \Pi(0,1) = (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2 + x')$$

$$Z_4 = [7] \cdot [8] = \Pi(2,3) = (y_1 + y'_2 + x)(y_1 + y'_2 + x')$$

$$\begin{aligned} Y_1 &= [4] \cdot [5] \cdot [6] \cdot [7] = \Pi(0,1,2,5) = \\ &= (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2 + x')(y_1 + y'_2 + x)(y'_1 + y'_2 + x') \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= [2] \cdot [3] \cdot [4] \cdot [5] = \Pi(1,4,5,6) = \\ &= (y_1 + y_2 + x')(y'_1 + y_2 + x)(y'_1 + y_2 + x')(y'_1 + y'_2 + x) \end{aligned}$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = y'_1 + y'_2$$

$$Z_2 = y'_1 + y_2$$

$$Z_3 = y_1 + y_2$$

$$Z_4 = y_1 + y'_2$$

$$Y_1 = xy_2 + x'y_1 = xy_2 + y_1(y'_1 + x')$$

$$Y_2 = xy_2 + x'y'_1 = xy_2 + y'_1(y_1 + x')$$

A representação da solução do exemplo 6.1, correspondente ao alvéolo [1], por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 6.2.

Fig. 6.2 - Representação da solução do exemplo 6.1 utilizando relés convencionais.

6.3 - Comando Sequencial com Relés Polarizados: Desenvolvimento da Conceituação Geral e da Técnica de Projeto

6.3.1 - Técnica de projeto para os de duas bobinas, quantificação indutiva

Encerrada essa etapa referente aos relés convencionais, será desenvolvido agora o procedimento para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais, com relés polarizados, primeiramente para os de duas bobinas e quantificação indutiva.

Considerando-se como representação esquemática do relé polarizado aquela mostrada na figura 2.9 (cap. 2), propõe-se que a realização tecnológica por rede de contatos do comando

sequencial com relés polarizados, seja segundo o esquema da figura 6.3.

Fig. 6.3 - Esquema geral do comando sequencial, por rede de contatos, com relés polarizados.

No tocante às variáveis de realimentação, cada uma das duas bobinas de um mesmo relé polarizado é representada relacionada a uma variável de realimentação.

Para diferenciar as bobinas no mesmo relé polarizado, será adotada a convenção de "traço" superior e "traço" inferior. Isso posto, às bobinas do relé polarizado Y_1 , por exemplo, associam-se os símbolos $\underline{Y}_1$ e $\bar{Y}_1$.

Vale observar na figura 6.3, que quando o estado é estável, todas as bobinas correspondentes às variáveis de realimentação $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ estão desenergizadas.

As equações funcionais das saídas $Z=f(X_m, Y_p)$ não sofrem qualquer alteração, sendo portanto obtidas da mesma forma como foram obtidas para os relés convencionais.

As equações funcionais das realimentações $Y=f(X_m, Y_p)$ serão obtidas com base na "matriz de projeto" utilizada para os relés convencionais (ap. B), propondo-se algumas "modificações conceituais", com vistas a compatibilizá-la com o esquema geral do comando sequencial mostrado na figura 6.3.

Visando esclarecer quais são essas "modificações conceituais", considere-se, por exemplo, a figura 6.4, onde se tem parte de uma "matriz de projeto" de um circuito lógico interruptor sequencial com relés polarizados.

Funções Secundárias (realimentação)	Combinações possíveis e sequenciais dos elementos sensoriais do circuito interruptor			
	$Y_1 \dots Y_k \dots Y_p$	$\bar{X}_1 \dots \bar{X}_i \dots \bar{X}_m$	$\bar{X}_1 \dots \underline{X}_i \dots \bar{X}_m$	$\dots$
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	
$\bar{Y}_1 \dots \bar{Y}_k \dots \bar{Y}_p$	$\dots$	<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</div> → <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8</div> </div> $\bar{Y}_1 \dots \bar{Y}_k \dots \bar{Y}_p$	<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8</div> ↓ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</div> </div> $\bar{Y}_1 \dots \bar{Y}_k \dots \bar{Y}_p$	$\dots$
$\bar{Y}_1 \dots \underline{Y}_k \dots \bar{Y}_p$	$\dots$		<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</div> </div> $\bar{Y}_1 \dots \underline{Y}_k \dots \bar{Y}_p$	$\dots$
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	

Fig. 6.4 - Conceituação da "matriz de projeto" para relés polarizados.

Considerando-se a situação representada na figura 6.4, na transição do alvéolo estável [7] para o alvéolo estável [9], passando pelo alvéolo instável [8], foram alteradas tanto a variável independente de entrada X_i , que passou de $\bar{X}_i$ (alvéolo [7]) para X_i (alvéolo [8]), quanto a variável de realimentação Y_k , que passou de $\bar{Y}_k$ (alvéolo [8]) para Y_k (alvéolo [9]).

Pode-se visualizar com mais clareza o que acontece nessa transição de estado, partindo-se das expressões algébricas interruptoras vinculadas aos referidos alvéolos que, no caso da adoção das funções S, são,

$$[7] (y_1 + \dots + y_k + \dots + y_p + x_1 + \dots + x_i + \dots + x_m)$$

$$[8] (y_1 + \dots + y_k + \dots + y_p + x_1 + \dots + x'_i + \dots + x_m)$$

$$[9] (y_1 + \dots + y'_k + \dots + y_p + x_1 + \dots + x'_i + \dots + x_m)$$

ou seja, após a mudança da variável independente X_i de $\bar{X}_i$ para X_i , a bobina $\bar{Y}_k$ que estava gatilhada, devido ao fechamento de um ou mais contatos x'_i , recebe o pulso de corrente de comando (alvéolo [8]), o qual provoca a comutação do relé polarizado Y_k , e com a abertura de um ou mais contatos y_k , desenergiza automaticamente a bobina $\bar{Y}_k$.

Isso significa que, dos três alvéolos assinalados [7], [8] e [9], somente o alvéolo [8] (instável) está relacionado a variável de realimentação $\bar{Y}_k$, embora esse fato não implica que esta variável não possa constar em outros alvéolos instáveis.

Com base nessa nova conceituação, será resolvido na sequência o exemplo 6.1 com relés polarizados, visando evidenciar todo o procedimento que acabou de ser exposto.

ser á:

Funções Secundárias realimentação		Combinações dos elementos sensoriais			
		1ª vez		2ª vez	
Y_1	Y_2	$\underline{X}$	$\bar{X}$	$\underline{X}$	$\bar{X}$
$\underline{Y}_1$	$\underline{Y}_2$	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;">1</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-left: 10px;">2</div> </div> $\bar{Z}_1 \underline{Y}_1 \underline{Y}_2$	$\bar{Z}_1 \underline{Y}_1 \underline{Y}_2$		
$\underline{Y}_1$	$\bar{Y}_2$		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;">3</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-left: 10px;">4</div> </div> $\bar{Z}_2 \underline{Y}_1 \bar{Y}_2$	$\bar{Z}_2 \underline{Y}_1 \bar{Y}_2$	
$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;">5</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-left: 10px;">6</div> </div> $\bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$	$\bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$
$\bar{Y}_1$	$\underline{Y}_2$	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-right: 10px;">8</div> <div style="border-bottom: 1px solid black; width: 50px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px; margin-left: 10px;">7</div> </div> $\bar{Z}_4 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$			$\bar{Z}_4 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

1	$(y'_1 + y'_2 + x')$	1 1 1	S_7
2	$(y'_1 + y'_2 + x)$	1 1 0	S_6
3	$(y'_1 + y_2 + x)$	1 0 0	S_4
4	$(y'_1 + y_2 + x')$	1 0 1	S_5
5	$(y_1 + y_2 + x')$	0 0 1	S_1
6	$(y_1 + y_2 + x)$	0 0 0	S_0
7	$(y_1 + y'_2 + x)$	0 1 0	S_2
8	$(y_1 + y'_2 + x')$	0 1 1	S_3

As equações funcionais das variáveis de saída e de realimentação, são:

$$Z_1 = \boxed{1} \cdot \boxed{2} = \Pi(6,7) = (y_1' + y_2' + x)(y_1' + y_2' + x')$$

$$Z_2 = \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(4,5) = (y_1' + y_2 + x)(y_1' + y_2 + x')$$

$$Z_3 = \boxed{5} \cdot \boxed{6} = \Pi(0,1) = (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2 + x')$$

$$Z_4 = \boxed{7} \cdot \boxed{8} = \Pi(2,3) = (y_1 + y_2' + x)(y_1 + y_2' + x')$$

$$\underline{Y}_1 = \boxed{4} = \Pi(5) = (y_1' + y_2 + x')$$

$$\bar{Y}_1 = \boxed{8} = \Pi(3) = (y_1 + y_2' + x')$$

$$\underline{Y}_2 = \boxed{2} = \Pi(6) = (y_1' + y_2' + x)$$

$$\bar{Y}_2 = \boxed{6} = \Pi(0) = (y_1 + y_2 + x)$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = y_1' + y_2'$$

$$Z_2 = y_1' + y_2$$

$$Z_3 = y_1 + y_2$$

$$Z_4 = y_1 + y_2'$$

$$\underline{Y}_1 = y_1' + y_2 + x'$$

$$\bar{Y}_1 = y_1 + y_2' + x'$$

$$\underline{Y}_2 = y_1' + y_2' + x$$

$$\bar{Y}_2 = y_1 + y_2 + x$$

A representação da solução do exemplo 6.1, correspondente ao alvéolo $\boxed{1}$, por rede de contatos com relés polarizados de duas bobinas, é mostrada na figura 6.5.

Fig. 6.5 - Representação da solução do exemplo 6.1, utilizando relés polarizados de duas bobinas.

6.3.2 - Técnica de projeto para os de uma bobina, quantificação indutiva

Todo esse procedimento atrás desenvolvido para a solução de circuitos lógicos interruptores sequenciais, com relés polarizados de duas bobinas e quantificação indutiva, pode ser utilizado para os relés polarizados de uma bobina.

Nesse caso, ainda considerando-se quantificação indutiva, algumas observações referentes à realização tecnológica por rede de contatos (fig. 6.3) e à obtenção das equações funcionais das variáveis de realimentação devem ser feitas.

Em relação à realização tecnológica por rede de contatos (fig. 6.3), cada variável de realimentação estará associada a apenas uma bobina, e serão anotadas simplesmente $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$.

Os relés polarizados $X_1, X_2, \dots, X_m$ associados às variáveis independentes de entrada, podem continuar sendo os mesmos, tal qual os da figura 6.3.

Se se quizer, pode-se utilizar como variáveis independentes de entrada relés polarizados de uma bobina, como por exemplo, o quantor com conexões iguais as da figura 4.6 (cap. 4).

Nesse caso, propõe-se que a sua representação esquemática seja a da figura 6.6, de forma a se manter a mesma correspondência estabelecida para os relés polarizados de duas bobinas, ao se passar da "matriz de projeto" para a rede de contatos.

Fig. 6.6 - Representação esquemática do quantor da figura 4.6.

A "matriz de projeto" continuará igual à do caso dos relés polarizados de duas bobinas, bem como a obtenção das equações funcionais das saídas $Z=f(X_m, Y_p)$.

As equações funcionais das realimentações, serão obtidas a partir da "matriz de projeto", fazendo-se o produtório, no caso da adoção das funções S , de todas as expressões algébricas vinculadas àqueles alvéolos em que a bobina de um determinado relé polarizado receber o pulso de corrente de comando.

Sendo assim, considerando-se, por exemplo, um relé Y_k , a equação funcional da realimentação associada a esse relé, será o produtório das expressões algébricas vinculadas aos alvéolos onde tanto $\underline{Y}_k$ quanto $\bar{Y}_k$ recebem o pulso de corrente de comando, ou seja, é o produtório das duas equações funcionais referentes ao mesmo relé que se obtém quando os relés polarizados são de duas bobinas.

Portanto, toda a conceituação formulada para a "matriz de projeto" é genérica, não importando se o relé polarizado utilizado é de uma ou de duas bobinas. O que muda é simplesmente a forma como se obtém as equações das realimentações a partir dessa matriz.

Isso posto, será resolvido na sequência, o exemplo 6.1 com relés polarizados de uma bobina, visando sintetizar as considerações que se acabaram de fazer.

A "matriz de projeto" correspondente será igual à atrás montada para os relés polarizados de duas bobinas, além do que são também iguais as equações funcionais das variáveis de saída com as respectivas soluções.

As equações funcionais das variáveis de realimentação, são:

$$Y_1 = \underline{Y}_1 \cdot \bar{Y}_1 = [4] \cdot [8] = \Pi(3,5) = (y_1 + y_2' + x')(y_1' + y_2 + x')$$

$$Y_2 = \underline{Y}_2 \cdot \bar{Y}_2 = [2] \cdot [6] = \Pi(0,6) = (y_1 + y_2 + x)(y_1' + y_2' + x)$$

A correspondente solução completa minimizada, será:

$$Z_1 = y_1' + y_2'$$

$$Z_2 = y_1' + y_2$$

$$Z_3 = y_1 + y_2$$

$$Z_4 = y_1 + y_2'$$

$$Y_1 = y_1 y_2 + y_2' y_1' + x'$$

$$Y_2 = y_1 y_2' + y_2 y_1' + x$$

A representação da solução do exemplo 6.1, correspondente ao alvéolo [1], por rede de contatos com relés polarizados de uma bobina, é mostrada na figura 6.7.

Fig. 6.7 - Representação da solução do exemplo 6.1, utilizando relés polarizados de uma bobina.

6.3.3 - Técnica de projeto para os de uma ou de duas bobinas, quantificação capacitiva

Até agora, no presente capítulo, todo o desenvolvimento feito para projetar circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados, levou em consideração o emprego de relés polarizados operando somente com quantificação indutiva.

No entanto, pode-se empregar relés polarizados operando com quantificação capacitiva, bastando conectar em série com a bobina ou cada bobina de comando, conforme o relé polarizado seja de uma ou de duas bobinas, uma associação paralela capacitor-resistor.

Deve-se frisar, porém, que, em função das análises feitas nos capítulos 3 e 4, só é vantajosa a quantificação capacitiva quando se utilizar o quantor "repele-repele" de uma bobina, de forma a se conseguir pulsos de corrente "instantâneos" sem a necessidade de construções mecânicas elaboradas como, por exemplo, a que foi mostrada na figura 4.7(b).

6.4 - Propriedade Associada ao Comando Sequencial com Relés Polarizados

Finalmente, será analisada uma propriedade interessante, associada apenas aos circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados.

Refere-se ao projeto desses circuitos sem obedecer "rota a código de Gray".

Quando se utilizam como elemento tecnológico relés convencionais, consegue-se achar uma solução algébrica para o problema que normalmente é inviável praticamente, pois numa determinada mudança de estado, não se garante que o estado atingido seja o almejado.

Já quando se utilizam como elemento tecnológico relés polarizados, a solução algébrica encontrada é sempre factível.

Visando identificar com mais clareza a referida propriedade, será resolvido na sequência o exemplo 6.1, sem obedecer rota a código de Gray, tanto com relés convencionais quanto com relés polarizados.

No caso de se utilizar relés convencionais, pode-se, por exemplo, montar a seguinte "matriz de projeto":

Funções Secundárias realimentação	Combinações dos elementos sensoriais			
	1ª vez		2ª vez	
$Y_1 \quad Y_2$	$\underline{X}$	$\bar{X}$	$\underline{X}$	$\bar{X}$
$\underline{Y_1} \quad \underline{Y_2}$	<div> <div>1</div> <div>→</div> <div>2</div> </div>	$\bar{Z}_1 \bar{Y}_2$		
$\underline{Y_1} \quad \bar{Y_2}$		<div> <div>3</div> <div>→</div> <div>4</div> </div>	$\bar{Z}_2 \bar{Y}_1$	
$\bar{Y_1} \quad \underline{Y_2}$			<div> <div>5</div> <div>→</div> <div>6</div> </div>	$\bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$
$\bar{Y_1} \quad \bar{Y_2}$	<div> <div>8</div> <div>←</div> <div>7</div> </div>			$\bar{Z}_4 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$

Note-se na "matriz de projeto" apresentada, que as transições de estado não obedecem rota a código de Gray.

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

$\boxed{1}$	$(y_1' + y_2' + x')$	1 1 1	S_7
$\boxed{2}$	$(y_1' + y_2' + x)$	1 1 0	S_6
$\boxed{3}$	$(y_1' + y_2 + x)$	1 0 0	S_4
$\boxed{4}$	$(y_1' + y_2 + x')$	1 0 1	S_5
$\boxed{5}$	$(y_1 + y_2' + x')$	0 1 1	S_3
$\boxed{6}$	$(y_1 + y_2' + x)$	0 1 0	S_2
$\boxed{7}$	$(y_1 + y_2 + x)$	0 0 0	S_0
$\boxed{8}$	$(y_1 + y_2 + x')$	0 0 1	S_1

As equações funcionais das variáveis de saída e de realimentação, são:

$$Z_1 = \boxed{1} \cdot \boxed{2} = \Pi(6,7) = (y_1' + y_2' + x)(y_1' + y_2' + x')$$

$$Z_2 = \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(4,5) = (y_1' + y_2 + x)(y_1' + y_2 + x')$$

$$Z_3 = \boxed{5} \cdot \boxed{6} = \Pi(2,3) = (y_1 + y_2' + x)(y_1 + y_2' + x')$$

$$Z_4 = \boxed{7} \cdot \boxed{8} = \Pi(0,1) = (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2 + x')$$

$$Y_1 = \boxed{4} \cdot \boxed{5} \cdot \boxed{6} \cdot \boxed{7} = \Pi(0,2,3,5) =$$

$$= (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2' + x)(y_1 + y_2' + x')(y_1' + y_2 + x')$$

$$Y_2 = \boxed{2} \cdot \boxed{3} \cdot \boxed{6} \cdot \boxed{7} = \Pi(0,2,4,6) =$$

$$= (y_1 + y_2 + x)(y_1 + y_2' + x)(y_1' + y_2 + x)(y_1' + y_2' + x)$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = y_1' + y_2'$$

$$Z_2 = y_1' + y_2$$

$$Z_3 = y_1 + y_2'$$

$$Z_4 = y_1 + y_2$$

$$Y_1 = y_1(y_2 + x') + y_1'y_2'x$$

$$Y_2 = x$$

A representação da solução do exemplo 6.1 obtida sem obedecer rota a código de Gray, correspondente ao alvéolo **3**, por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 6.8.

Fig. 6.8 - Representação da solução do exemplo 6.1 sem obedecer rota a código de Gray, utilizando relés convencionais.

Com base na figura 6.8, pode-se verificar que a solução obtida pode ser falsa, pois na mudança do estado correspondente ao alvéolo [3] para o estado correspondente ao alvéolo [5], de acordo com a "matriz de projeto", os contatos x abrem e os contatos x' fecham, o relé Y_2 pára de conduzir e o relé Y_1 que deveria passar a conduzir, não necessariamente o faz, de forma que o circuito interruptor pode retornar ao estado correspondente ao alvéolo [1].

No caso de se utilizar relés polarizados de duas bobinas, e mantendo-se a mesma sequência proposta no caso anterior para as funções secundárias, a correspondente "matriz de projeto", será:

Funções Secundárias realimentação	Combinações dos elementos sensoriais			
	1ª vez		2ª vez	
Y_1 Y_2	$\underline{X}$	$\bar{X}$	$\underline{X}$	$\bar{X}$
$\underline{Y_1}$ $\underline{Y_2}$	<div> <div>1</div> <div>↑</div> <div>$\bar{Z}_1 \underline{Y_1} \underline{Y_2}$</div> </div>	<div> <div>2</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_1 \underline{Y_1} \underline{Y_2}$</div> </div>		
$\underline{Y_1}$ $\bar{Y_2}$		<div> <div>3</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_2 \underline{Y_1} \bar{Y_2}$</div> </div>	<div> <div>4</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_2 \underline{Y_1} \bar{Y_2}$</div> </div>	
$\bar{Y_1}$ $\underline{Y_2}$			<div> <div>5</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_3 \bar{Y_1} \underline{Y_2}$</div> </div>	<div> <div>6</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_3 \bar{Y_1} \underline{Y_2}$</div> </div>
$\bar{Y_1}$ $\bar{Y_2}$				<div> <div>7</div> <div>↓</div> <div>$\bar{Z}_4 \bar{Y_1} \bar{Y_2}$</div> </div>
		<div> <div>8</div> <div>←</div> <div>$\bar{Z}_4 \bar{Y_1} \bar{Y_2}$</div> </div>		

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos de [1] a [8] são as mesmas do caso anterior, bem como a solução referente às variáveis de saída.

Já as equações funcionais das variáveis de realimentação, são:

$$\underline{Y}_1 = [4] = \Pi(5) = y_1' + y_2 + x'$$

$$\bar{Y}_1 = [8] = \Pi(1) = y_1 + y_2 + x'$$

$$\underline{Y}_2 = [2] \cdot [6] = \Pi(2,6) = (y_1 + y_2' + x)(y_1' + y_2' + x)$$

$$\bar{Y}_2 = [4] \cdot [8] = \Pi(1,5) = (y_1 + y_2 + x')(y_1' + y_2 + x')$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = y_1' + y_2'$$

$$Z_2 = y_1' + y_2$$

$$Z_3 = y_1 + y_2'$$

$$Z_4 = y_1 + y_2$$

$$\underline{Y}_1 = y_1' + y_2 + x'$$

$$\bar{Y}_1 = y_1 + y_2 + x'$$

$$\underline{Y}_2 = y_2' + x$$

$$\bar{Y}_2 = y_2 + x'$$

A representação da solução do exemplo 6.1 sem obedecer rota a código de Gray, correspondente ao alvéolo [3], por rede de contatos com relés polarizados, é mostrada na figura 6.9.

Fig. 6.9 - Representação da solução do exemplo 6.1 sem obedecer rota a código de Gray.

Com base na figura 6.9, pode-se verificar que a solução obtida é correta, e não só está de acordo com a prescrição lógica formulada para o exemplo 6.1, como a executa completamente.

6.5 - Conclusões Parciais

Estabeleceu-se, no presente capítulo, uma "nova conceituação" para a "matriz de projeto" referente às variáveis de realimentação, levando-se em consideração a característica fundamental dos relés polarizados, que é a operação por pulsos energéticos.

Essa "nova conceituação" aliada tanto a representação esquemática de um relé polarizado quanto a realização tecnológica por rede de contatos proposta, permitiu desenvolver

todo o procedimento para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados.

CAPÍTULO 7

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

7.1 - Introdução

No presente capítulo, serão resolvidos três exemplos de aplicação, sendo que cada um deles foi escolhido por um determinado motivo.

O primeiro, que é o "Circuito de Montgomerie", originalmente proposto em 1948, foi escolhido devido ao seu valor histórico, por ter sido o primeiro trabalho a levar em consideração o período de transição na mudança de estado de um circuito lógico interruptor sequencial com relés convencionais.

O segundo, que é um circuito de "Sinalização Automática de Entrada de Pátios", originalmente proposto em 1965, por Martins, foi escolhido por apresentar um grau de decisão, ou seja, para um determinado estado há duas possibilidades distintas de saída dependendo da variável independente de entrada acionada, de forma que se demonstrará a generalidade do desenvolvimento feito no capítulo anterior, para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados.

O terceiro, que é um circuito para "Semáforo de duas Fases", foi escolhido por ser uma possível aplicação prática de circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados, alternativa aos circuitos de semáforo eletroeletrônico tradicionais, possibilitando maiores

simplicidade e recursos operacionais com menor custo.

7.2 - 1º Exemplo: O Circuito de Montgomerie

Montgomerie (1948) propôs e resolveu em seu artigo "Sketch for an Algebra of Relay and Contactor Circuits", um problema cuja formulação original é a seguinte:

"Como um exemplo de circuito mais complicado, considere-se o projeto de um circuito que inclui um relé externo α , e a seguinte sequência de operações: α , relés A e B estão desenergizados; α energiza, A energiza; α é desenergizado, A permanece energizado, B energiza; α é energizado uma segunda vez, A desenergiza, B permanece energizado; α é desenergizado, B desenergiza, restituindo o sistema à condição original".

A solução apresentada por Montgomerie (1948), que conforme a formulação do problema corresponde ao 3º estado, por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 7.1.

Fig. 7.1 - Solução original do circuito de Montgomerie, com relés convencionais.

Essa solução prevê no relé α , um contato especial α_y denominado "Late Break Contact", cujo tempo de abertura é maior

do que os demais, de modo a tornar possível a transição do 3º (fig. 7.1) para o 4º estado.

Raspanti (1953), estendeu a álgebra de Montgomerie (1948) para o campo complexo, e a partir dos três teoremas seguintes,

$$\begin{aligned} f_1 + f_2 &= f_1 + j\bar{f}_2 \\ (f_1 + f_2) + jf_3 &= f_1 + j(f_3 \cdot \bar{f}_2) \\ f_1 + j(f_2 \cdot f_3) &= f_1 + \bar{f}_2 + jf_3 \end{aligned}$$

desenvolveu o comando "shunt" de um relé e eliminou o contato especial α_y .

A solução apresentada por Raspanti (1953), que conforme a formulação do problema corresponde ao 3º estado, por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 7.2

Fig. 7.2 - Solução original de Raspanti para o circuito de Montgomerie, com relés convencionais.

Com base na figura 7.2, note-se que não há nenhum empecilho na transição do 3º para o 4º estado.

Martins (1965), solucionou o circuito de Montgomerie (1948) a partir da "matriz de projeto", e não utilizou nem contatos especiais, nem o comando "shunt" de um relé.

A solução apresentada por Martins (1965), que conforme a formulação do problema corresponde ao 3º estado, por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 7.3.

Fig. 7.3 - Solução de Martins para o circuito de Montgomerie, com relés convencionais.

Tal qual a solução de Raspanti (1953), a de Martins (1965) não possui nenhum empecilho na transição do 3º para o 4º estado.

Diferentemente dos relés convencionais, quando se utiliza relés polarizados não existem estados estáveis com bobinas energizadas.

Dessa forma, utilizando-se relés polarizados, para se ter a mesma sequência de comutações dos relés α , A e B, proposta por Montgomerie (1948), a prescrição lógica equivalente deverá ser como segue: α , relés A e B com os contatos α' , a' e b' fechados; α e A comutam, α' e a' abrem; α e B comutam, α' fecha e b' abre; α e A comutam, α' abre e a' fecha; α e B comutam, α' e b' fecham, voltando à condição original.

Sendo assim, a correspondente "matriz de projeto" para o circuito de Montgomerie com relés polarizados de duas bobinas, será:

Funções Secundárias (realimentação)	Combinações dos Elementos Sensoriais			
A B	$\underline{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$\underline{\alpha}$	$\bar{\alpha}$
$\underline{A}$ $\underline{B}$	1 → $\underline{A} \underline{B}$	2 $\underline{A} \underline{B}$		
$\bar{A}$ $\underline{B}$		3 → $\bar{A} \underline{B}$	4 $\bar{A} \underline{B}$	
$\bar{A}$ $\bar{B}$			5 → $\bar{A} \bar{B}$	6 $\bar{A} \bar{B}$
$\underline{A}$ $\bar{B}$	8 ← $\underline{A} \bar{B}$			7 $\underline{A} \bar{B}$

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

1	(a'+b'+α')	1 1 1	S ₇
2	(a'+b'+α)	1 1 0	S ₆
3	(a+b'+α)	0 1 0	S ₂
4	(a+b'+α')	0 1 1	S ₃
5	(a+b+α')	0 0 1	S ₁
6	(a+b+α)	0 0 0	S ₀
7	(a'+b+α)	1 0 0	S ₄
8	(a'+b+α')	1 0 1	S ₅

As equações funcionais das variáveis de realimentação, são:

$$\underline{A} = \boxed{2} = \Pi(6) = a' + b' + \alpha$$

$$\bar{A} = \boxed{6} = \Pi(0) = a + b + \alpha$$

$$\underline{B} = \boxed{4} = \Pi(3) = a + b' + \alpha'$$

$$\bar{B} = \boxed{8} = \Pi(5) = a' + b + \alpha'$$

A solução do circuito de Montgomerie (1948), que conforme a formulação do problema corresponde ao 3º estado (alvéolo $\boxed{5}$), por rede de contatos com relés polarizados de duas bobinas, é mostrada na figura 7.4.

Fig. 7.4 - Solução do circuito de Montgomerie, com relés polarizados de duas bobinas.

A solução apresentada para o circuito de Montgomerie (1948), com relés polarizados de duas bobinas (fig. 7.4), não possui restrições em nenhuma mudança de estado.

7.3 - 2º Exemplo: Circuito de Sinalização Automática de Entrada de Pátios.

Prescrição lógica:

Fig. 7.5 - Esquema geral do 2º exemplo.

- 1 - Ao se aproximar da Estação, a presença do trem é detectada por um circuito de via, que remete ao circuito lógico interruptor uma informação X_1 .
- 2 - Isto acontecendo, deve ficar aceso num painel uma indicação de "trem chegando" (Z_2).
- 3 - Se a linha da plataforma da Estação (X_2) estiver livre, então deve ser dada "entrada livre" (Z_1) para o trem, tornando-se verde a coloração do sinal de distância (que estava amarelo) e do sinal de entrada do pátio (que estava vermelho) (Z_1).
- 4 - Com a ocupação da linha da plataforma da Estação (X_2), pelo trem, deve haver o cancelamento das indicações "entrada livre" e "trem chegando", e deverá aparecer no painel, indicação luminosa de "plataforma ocupada" (Z_3).
- 5 - Assim que o trem desocupar a linha da plataforma da Estação, a sinalização retorna ao estado inicial.
- 6 - Ocasionalmente, ocorrendo haver "plataforma ocupada" por

ocasião do recebimento do "trem chegando", então o sinal de distância não mudará de cor, indicando sua coloração amarela redução de velocidade da composição e cuidado na entrada do pátio, cujo sinal deverá estar a perigo.

- 7 - Assim que nesta hipótese, a plataforma voltar a ficar livre, o circuito interruptor deverá completar o itinerário anterior, permitindo a entrada do trem no pátio e seguindo-se o restabelecimento do circuito interruptor na forma do item 4.

Martins (1965) resolveu o circuito de "Sinalização Automática de Entrada de Pátios", a partir da "matriz de projeto" e utilizando-se de duas variáveis de realimentação Y_1, Y_2 .

A solução apresentada por Martins (1965), correspondente ao estado inicial, por rede de contatos com relés convencionais, é mostrada na figura 7.6.

Fig. 7.6 - Solução de Martins para o 2º exemplo, com relés convencionais.

Visando atender o que foi proposto nas considerações iniciais do presente capítulo, será resolvido, em seguida, utilizando "matriz de projeto" e relés polarizados de duas bobinas, o circuito de "Sinalização Automática de Entrada de

Pátios".

Adotando-se dois relés polarizados (Y_1, Y_2) para as variáveis de realimentação, pode-se construir a seguinte "matriz de projeto":

Funções Secundárias realimentação		Combinações dos Elementos Sensoriais Funcionamento Normal			
Y_1	Y_2	$X_1 X_2$	$\bar{X}_1 X_2$	$X_1 \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 \bar{X}_2$
$\underline{Y}_1$	$\underline{Y}_2$	<div>1</div> $\underline{Y}_1 \underline{Y}_2$	<div>2</div> $\underline{Y}_1 \underline{Y}_2$		<div>7</div> $\bar{Z}_3 \underline{Y}_1 \underline{Y}_2$
$\underline{Y}_1$	$\bar{Y}_2$				
$\bar{Y}_1$	$\underline{Y}_2$		<div>3</div> $\bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$	<div>4</div> $\bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$	
$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$			<div>5</div> $\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$	<div>6</div> $\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$

Funções Secundárias realimentação		Combinações dos Elementos Sensoriais Funcionamento Ocasional			
Y_1	Y_2	$X_1 \bar{X}_2$	$X_1 X_2$	$X_1 \bar{X}_2$	$\bar{X}_1 \bar{X}_2$
$\underline{Y}_1$	$\underline{Y}_2$	<div>14</div> $\bar{Z}_3 \underline{Y}_1 \underline{Y}_2$			<div>8</div> $\bar{Z}_3 \underline{Y}_1 \underline{Y}_2$
$\underline{Y}_1$	$\bar{Y}_2$				
$\bar{Y}_1$	$\underline{Y}_2$		<div>11</div> $\bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$	<div>10</div> $\bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$	<div>9</div> $\bar{Z}_2 \bar{Z}_3 \bar{Y}_1 \underline{Y}_2$
$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	<div>13</div> $\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$	<div>12</div> $\bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \bar{Y}_1 \bar{Y}_2$		

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

[1]	$(y_1' + y_2' + x_1' + x_2')$	1 1 1 1	S_{15}
[2]	$(y_1' + y_2' + x_1' + x_2')$	1 1 0 1	S_{13}
[3]	$(y_1 + y_2' + x_1' + x_2')$	0 1 0 1	S_5
[4]	$(y_1 + y_2' + x_1' + x_2')$	0 1 1 1	S_7
[5]	$(y_1 + y_2 + x_1' + x_2')$	0 0 1 1	S_3
[6]	$(y_1 + y_2 + x_1' + x_2)$	0 0 1 0	S_2
[7]	$(y_1' + y_2' + x_1' + x_2)$	1 1 1 0	S_{14}
[8]	$(y_1' + y_2' + x_1' + x_2)$	1 1 0 0	S_{12}
[9]	$(y_1 + y_2' + x_1' + x_2)$	0 1 0 0	S_4
[10]	$(y_1 + y_2' + x_1' + x_2)$	0 1 1 0	S_6
[11]	$(y_1 + y_2' + x_1' + x_2')$	0 1 1 1	S_7
[12]	$(y_1 + y_2 + x_1' + x_2')$	0 0 1 1	S_3
[13]	$(y_1 + y_2 + x_1' + x_2)$	0 0 1 0	S_2
[14]	$(y_1' + y_2' + x_1' + x_2)$	1 1 1 0	S_{14}

As equações funcionais das variáveis de saída e de realimentação, são:

$$Z_1 = [5] \cdot [6] \cdot [12] \cdot [13] = \Pi(2,3) = (y_1 + y_2 + x_1' + x_2)(y_1 + y_2 + x_1' + x_2')$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= [3] \cdot [4] \cdot [5] \cdot [6] \cdot [9] \cdot [10] \cdot [11] \cdot [12] \cdot [13] = \Pi(2,3,4,5,6,7) = \\ &= (y_1 + y_2 + x_1' + x_2)(y_1 + y_2 + x_1' + x_2')(y_1 + y_2' + x_1' + x_2)(y_1 + y_2' + x_1' + x_2')(y_1 + y_2' + x_1' + x_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_3 &= [7] \cdot [8] \cdot [9] \cdot [10] \cdot [11] \cdot [14] = \Pi(4,6,7,12,14) = (y_1 + y_2' + x_1' + x_2) \cdot \\ &(y_1 + y_2' + x_1' + x_2)(y_1 + y_2' + x_1' + x_2')(y_1' + y_2' + x_1' + x_2)(y_1' + y_2' + x_1' + x_2) \end{aligned}$$

$$\underline{Y}_1 = [2] \cdot [8] = \Pi(12,13) = (y_1' + y_2' + x_1' + x_2)(y_1' + y_2' + x_1' + x_2')$$

$$\bar{Y}_1 = [6] \cdot [13] = \Pi(2) = (y_1 + y_2 + x_1' + x_2)$$

$$\underline{Y}_2 = [4] \cdot [11] = \Pi(7) = (y_1 + y_2' + x_1' + x_2')$$

$$\bar{Y}_2 = [6] \cdot [13] = \Pi(2) = (y_1 + y_2 + x_1' + x_2)$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$Z_1 = y_1 + y_2$$

$$Z_2 = y_1 + y_2' x_1'$$

$$Z_3 = x_2$$

$$\underline{Y}_1 = y_1' + x_1$$

$$\bar{Y}_1 = y_1 + y_2 + x_2$$

$$\underline{Y}_2 = y_1 + y_2' + x_1' + x_2'$$

$$\bar{Y}_2 = y_1 + y_2 + x_2$$

A representação da solução do circuito de "Sinalização Automática de Entrada de Pátios", correspondente ao estado inicial (alvéolo 1), por rede de contatos com relés polarizados de duas bobinas, é mostrada na figura 7.7.

Fig. 7.7 - Solução do 2º exemplo, com relés polarizados de duas bobinas.

7.4 - 3^o Exemplo: Circuito para Semáforo de Duas Fases

O denominado "Semáforo de Duas Fases" é utilizado para sinalização de um cruzamento de duas vias, cada uma de mão única, conforme o esquema da figura 7.8.

Fig. 7.8 - Esquema geral do cruzamento de duas vias de mão única, com semáforo de duas fases.

Apesar do cruzamento de duas vias de mão única ser o mais simples em relação ao estabelecimento da lógica de sinalização, na prática representa cerca de 80% dos cruzamentos com semáforos.

A prescrição lógica do "Semáforo de duas Fases", é como segue:

Nº do estado	unidade 1			unidade 2		
	V _{m1}	A _{m1}	V _{d1}	V _{m2}	A _{m2}	V _{d2}
1	aceso					aceso
2	aceso				aceso	
3			aceso	aceso		
4		aceso		aceso		
5=1	aceso					aceso

Atualmente, o "Semáforo de duas Fases" denominado "Eletroeletrônico" possui boa participação no mercado de sinalização, com tendência de ampliação, pois se constitui numa alternativa bem mais econômica ao semáforo "Eletrônico", e possui maiores recurso operacional e facilidade de manutenção quando comparado ao "Eletromecânico" convencional (com base de tempo eletromecânica).

A concepção básica de um semáforo eletroeletrônico (Publicação Meng, 1990), prevê um circuito eletrônico para gerar a sequência de estados com temporização, acoplado a um estágio de amplificação de potência responsável pela excitação das bobinas de relés convencionais, cujos contatos, arranjados em circuito combinatório, controlam as várias fases luminosas do semáforo.

Na figura 7.9, é mostrado o esquema geral de um semáforo eletroeletrônico convencional de duas fases.

Fig. 7.9 - Esquema de um semáforo de duas fases eletroeletrônico convencional.

Apresentado o "Semáforo de duas Fases" eletroeletrônico convencional, será feito, a seguir, a proposição de um "Semáforo de duas Fases" eletromecânico com relés polarizados de duas bobinas, visando comparações posteriores.

Tal proposição constitui-se numa "nova concepção" para o "Semáforo de duas Fases", que prevê um circuito lógico interruptor sequencial com relés polarizados obtido a partir da "matriz de projeto", executando por si próprio a função de "drive" e selecionando automaticamente os circuitos temporizadores relacionados às variáveis de realimentação.

Adotando-se dois relés polarizados (Y_1, Y_2) para as variáveis de realimentação, e considerando-se a prescrição lógica do "Semáforo de duas Fases", pode-se montar a seguinte "matriz de projeto":

Funções Secundárias (realimentação)	Números dos Estados			
$Y_1 \quad Y_2$	1	2	3	4
$\underline{Y}_1 \quad \underline{Y}_2$	<div> <div>1</div> <div> $\underline{Y}_1 \underline{Y}_2$ $\bar{V}_{m1} \bar{V}_{d2}$ </div> </div>	<div> <div>2</div> <div> $\underline{Y}_1 \underline{Y}_2$ $\bar{V}_{m1} \bar{V}_{d2}$ </div> </div>		
$\bar{Y}_1 \quad \underline{Y}_2$		<div> <div>3</div> <div> $\bar{Y}_1 \underline{Y}_2$ $\bar{V}_{m1} \bar{A}_{m2}$ </div> </div>	<div> <div>4</div> <div> $\bar{Y}_1 \underline{Y}_2$ $\bar{V}_{m1} \bar{A}_{m2}$ </div> </div>	
$\bar{Y}_1 \quad \bar{Y}_2$			<div> <div>5</div> <div> $\bar{Y}_1 \bar{Y}_2$ $\bar{V}_{d1} \bar{V}_{m2}$ </div> </div>	<div> <div>6</div> <div> $\bar{Y}_1 \bar{Y}_2$ $\bar{V}_{d1} \bar{V}_{m2}$ </div> </div>
$\underline{Y}_1 \quad \bar{Y}_2$	<div> <div>8</div> <div> $\underline{Y}_1 \bar{Y}_2$ $\bar{A}_{m1} \bar{V}_{m2}$ </div> </div>			<div> <div>7</div> <div> $\underline{Y}_1 \bar{Y}_2$ $\bar{A}_{m1} \bar{V}_{m2}$ </div> </div>

Adotando-se as funções S, as expressões algébricas interruptoras vinculadas aos alvéolos, são:

1	$(y_1' + y_2')$	1 1	S_3
2	$(y_1' + y_2')$	1 1	S_3
3	$(y_1 + y_2')$	0 1	S_1
4	$(y_1 + y_2')$	0 1	S_1
5	$(y_1 + y_2)$	0 0	S_0
6	$(y_1 + y_2)$	0 0	S_0
7	$(y_1' + y_2)$	1 0	S_2
8	$(y_1' + y_2)$	1 0	S_2

As equações funcionais das variáveis de saída e de realimentação, são:

$$V_{m1} = \boxed{1} \cdot \boxed{2} \cdot \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(1,3) = (y_1 + y_2')(y_1' + y_2')$$

$$A_{m1} = \boxed{7} \cdot \boxed{8} = \Pi(2) = (y_1' + y_2)$$

$$V_{d1} = \boxed{5} \cdot \boxed{6} = \Pi(0) = (y_1 + y_2)$$

$$V_{m2} = \boxed{5} \cdot \boxed{6} \cdot \boxed{7} \cdot \boxed{8} = \Pi(0,2) = (y_1 + y_2)(y_1' + y_2')$$

$$A_{m2} = \boxed{3} \cdot \boxed{4} = \Pi(1) = (y_1 + y_2')$$

$$V_{d2} = \boxed{1} \cdot \boxed{2} = \Pi(3) = (y_1' + y_2')$$

$$\underline{Y}_1 = \boxed{2} = \Pi(3) = (y_1' + y_2')$$

$$\bar{Y}_1 = \boxed{6} = \Pi(0) = (y_1 + y_2)$$

$$\underline{Y}_2 = \boxed{4} = \Pi(1) = (y_1 + y_2')$$

$$\bar{Y}_2 = \boxed{8} = \Pi(2) = (y_1' + y_2)$$

A correspondente solução minimizada, será:

$$V_{m1} = y_2'$$

$$A_{m1} = y_1' + y_2$$

$$V_{d1} = y_1 + y_2$$

$$V_{m2} = y_2$$

$$A_{m2} = y_1 + y_2'$$

$$V_{d2} = y_1' + y_2'$$

$$\underline{Y}_1 = y_1' + y_2'$$

$$\bar{Y}_1 = y_1 + y_2$$

$$\underline{Y}_2 = y_1 + y_2'$$

$$\bar{Y}_2 = y_1' + y_2$$

A representação da solução do circuito para "Semáforo de duas Fases", eletromecânico com relés polarizados de duas bobinas, correspondente ao alvéolo [1] (estado 1), por rede de contatos, incluindo os circuitos de temporização relacionados às variáveis de realimentação, é mostrada na figura 7.10.

Fig. 7.10 - Esquema geral de um semáforo de duas fases eletromecânico com relés polarizados.

Note-se na figura 7.10, que os circuitos de temporização são totalmente independentes um dos outros, cada um começa a temporizar no início do estado correspondente, e no final, é automaticamente zerado devido ao descarregamento do capacitor pela respectiva bobina, de forma que o relé polarizado associado a essa bobina comuta, o sistema muda de estado e dispara o circuito de temporização subsequente.

Comparando-se os esquemas gerais apresentados para o "Semáforo de duas Fases" eletroeletrônico convencional (fig. 7.9) e o eletromecânico com relés polarizados (fig. 7.10), notam-se:

a) aspectos comuns:

- * segurança intrínseca em operação, pois devido à isolação galvânica inerentes tanto ao relé convencional quanto ao relé polarizado, é impossível se ter o estado V_{d1} e V_{d2} simultâneos.
- * ajuste da temporização para cada estado.
- * operação manual.
- * "reset".

b) aspectos diferenciados:

- * a concepção, pois os eletroeletrônicos convencionais preveem um circuito eletrônico sequencial e um circuito combinatório por rede de contatos com relés convencionais, enquanto que os eletromecânicos com relés polarizados preveem apenas um circuito lógico interruptor sequencial temporizado.
- * o eletromecânico com relés polarizados opera diretamente com tensão de rede, sem necessidade de circuitos adicionais com tensão reduzida.
- * o eletromecânico com relés polarizados, por ser de concepção mais simples do que o eletroeletrônico com relés convencionais, é de menor custo, e se for construído de forma modular, é de manutenção mais simples.

* no caso de falha de comutação ou de temporização, o eletromecânico com relés polarizados permanece num determinado estado, permitindo o tráfego em uma das vias, enquanto que o eletroeletrônico com relés convencionais, continua operando em desacordo com a prescrição lógica, podendo inclusive atingir o estado V_{m1} e V_{m2} simultâneos.

Os aspectos que acabaram de ser ressaltados, demonstram por si só, que o "Semáforo de duas Fases" eletromecânico com relés polarizados, é potencialmente competitivo no mercado de sinalização.

Finalmente, um outro aspecto do "Semáforo de duas Fases" eletromecânico com relés polarizados que merece destaque, se refere à fácil mudança de operação como módulo autônomo para operação com comando centralizado à distância.

Para melhor compreensão, considere-se a figura 7.11, onde se tem um esquema que permite visualizar a troca de operação como módulo autônomo para operação com comando centralizado.

Utilizando-se de um relé polarizado M convenientemente instalado (fig. 7.11), pode-se mudar a operação de autônoma para central, suspendendo as temporizações do módulo autônomo associadas a V_{d1} e V_{d2} , e passando a fazê-las a partir do comando centralizado.

Note-se que na mudança de operação de autônoma para central, e de central para autônoma, utiliza-se da mesma via elétrica (V_{d2}), e as temporizações associadas a A_{m1} e A_{m2} continuam sendo feitas no módulo autônomo, pois o tempo de permanência dessas fases luminosas normalmente é padronizado.

Fig. 7.11 - Operação autônoma/centralizada de um semáforo de duas fases com relés polarizados.

Para se ter uma noção de distância entre o módulo autônomo e a central de comando, se o relé polarizado, por exemplo, operar com tensão padrão de 12V na bobina de comando, com alimentação em 127V, pode-se ter uma queda de tensão no

circuito de comando da bobina de cerca de 90% ou 6km empregando-se cabo telefônico ($0,6\text{mm}^2$), e com alimentação em 220V, ter-se-á com o mesmo cabo, respectivamente, 95% ou 10km.

CAPÍTULO 8

DISCUSSÃO DOS PRINCIPAIS TÓPICOS E RESPECTIVAS CONCLUSÕES

Pelo fato dos relés polarizados não dissiparem energia no circuito de comando para manter o estado ligado ou desligado, possuírem memória permanente do comando mesmo na ausência da fonte de alimentação, permitirem grande simplicidade para se executar o comando múltiplo e o comando combinatório com teclas pulsantes, a tendência natural é de se concluir que os relés polarizados substituem completamente os relés convencionais.

Isso não acontece, pois, apesar de todas essas vantagens mencionadas, devido à diferença no princípio de operação, os relés polarizados não se prestam, por exemplo, para aplicações como sensores de falta de fase.

Portanto, não se pode dizer que o relé polarizado é melhor ou pior do que o relé convencional. O que se pode afirmar é que em aplicações onde o emprego de um ou de outro seja indiferente, o relé polarizado terá a preferência por apresentar características superiores.

Isso posto, fica justificado, tanto a importância dos relés polarizados dentre os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento, quanto a necessidade de se estudar os circuitos interruptores com relés polarizados com vistas a ampliar os conhecimentos sobre esses circuitos.

Confrontando-se o transruptor com o relé "latching", apesar de atenderem faixas de potência diferentes, no que se refere a forma construtiva e operacional, o transruptor é de

concepção mais interessante, destacando-se o fato de possuir interrupção automática do pulso de corrente de comando, que lhe confere características superiores ao relé "latching".

Confrontando-se o transruptor com o quantor, o segundo apresenta vantagens sobre o primeiro, tanto no aspecto construtivo quanto no aspecto operacional.

Em relação ao aspecto construtivo, com o mesmo arranjo estrutural e somente a inversão de polaridade magnética de um dos ímãs permanentes, obtem-se o quantor descrito no capítulo 3, em qualquer das versões apresentadas, ou seja, "repele-repele" de uma bobina, ou "atrai-repele", de uma ou de duas bobinas, diferentemente do transruptor que possui uma única versão construtiva.

Em relação ao aspecto operacional, o quantor "atrai-repele" de duas bobinas é superior ao transruptor, pois em cada mudança de estado opera com maior eficiência por aproveitar o efeito combinado de forças magnéticas de atração e de repulsão.

Se a alimentação for exclusivamente em corrente alternada, a superioridade operacional do quantor "atrai-repele" sobre o transruptor, constatada no parágrafo anterior, pode ser estendida para o quantor "atrai-repele" de uma bobina.

Na família dos "quantores", ainda se tem a opção do quantor "repele-repele", que utiliza uma única bobina e executa as mesmas funções dos dispositivos anteriores, com o circuito de comando podendo ser alimentado tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada.

Baseando-se nas confrontações anteriores entre os relés polarizados, pode-se concluir que o quantor, nas suas várias versões, constitui-se efetivamente numa evolução dos relés polarizados.

Em relação aos comandos múltiplo e combinatório com teclas pulsantes, confrontando-se os sistemas de comando desenvolvidos nos capítulos 4 e 5 do presente trabalho, com os tradicionais apresentados no capítulo 2, verifica-se que se conseguiu uma extraordinária flexibilização na execução desses mesmos comandos.

Isso se deve, de acordo com os desenvolvimentos feitos no capítulo 4, tanto à variedade das conexões elétricas possíveis de serem efetuadas, quanto à aplicação da Técnica do Pulso Energético Quantificado capacitivo e/ou indutivo, as quais conjuntamente permitem que se tenha todas as possibilidades de combinação para a execução dos comandos múltiplo e combinatório com teclas pulsantes, a saber: com um ou dois gatilhos, memória ou não do comando executado e utilização de um, dois ou três fios de comando.

Deve-se destacar o sistema híbrido de comando, possibilitado pela combinação da Técnica do Pulso Energético Quantificado capacitivo com o indutivo, que permite juntar os recursos de alguns dos vários sistemas num único.

Não se irá discorrer sobre as vantagens e limitações da utilização dos sistemas de comando desenvolvidos nos capítulos 4 e 5, para os diversos relés polarizados, pois isso já foi feito de forma detalhada em tais capítulos.

Pode-se, então, concluir que antes deste trabalho, os relés polarizados eram sub-utilizados para comando múltiplo e combinatório com teclas pulsantes.

Em relação ao comando combinatório, da forma como é executado com relés convencionais, pode-se concluir, com base nos desenvolvimentos, feitos no capítulo 2, referentes à representação esquemática de um relé polarizado, à realização tecnológica por rede de contatos e à conceituação adequada da "matriz linha de projeto", que o projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios com relés polarizados possui o mesmo grau de dificuldade que o projeto de circuitos lógicos interruptores combinatórios com relés convencionais.

Em relação ao comando sequencial, a confrontação do executado através de relés convencionais com o executado por relés polarizados, salienta uma diferença fundamental decorrente das características operacionais dos dispositivos tecnológicos utilizados, pois, num relé convencional uma das duas posições estáveis, que pode ser assumida, é função da corrente elétrica que deve circular ininterruptamente pela bobina de comando, enquanto que num relé polarizado, a função da corrente elétrica é somente a comutação, e não a manutenção de uma ou outra das duas posições estáveis, sendo a referida corrente elétrica necessariamente (caso do transruptor e do quantor), ou de preferência (caso do relé "latching"), interrompida logo após provocar a comutação.

Em consequência, na mudança de um estado para outro num circuito lógico interruptor sequencial com relés polarizados, todo relé que for comutar deve simplesmente estar gatilhado, não havendo qualquer restrição quanto ao número de relés.

Sendo assim, pode-se concluir, de acordo com o que foi apresentado no capítulo 6, que a "nova conceituação", dada para a "matriz de projeto" referente às variáveis de realimentação, compatível com a realização tecnológica por rede de contatos proposta, que possibilitou desenvolver todo o procedimento para o projeto de circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados, é correta, bem como fica justificado porque não é imperioso seguir rota a código de Gray quando se projetam circuitos lógicos interruptores sequenciais com relés polarizados.

Dessa forma, o presente trabalho está finalizado, pois a referida lacuna no estudo de circuitos interruptores com relés polarizados, identificada no capítulo 1, está preenchida.

BIBLIOGRAFIA

- * Antonitsch, S.; Naples, J. G. - "Polarised Relays for Electronic Design", Electronic Engineering, v. 59, n. 721, Jan 1987, pp 37-49.
- * Bartee, T. C.; McCluskey Jr., E. J. - "A Survey of Switching Circuit Theory" - McGraw Hill Book Company, Inc., New York, 1962, 205p.
- * Caillié, J. C. - "Application Criteria for Solid-State Relays", Brown Boveri Review, v. 73, n. 4, Apr 1986, pp 211-216.
- * Caldwell, S. H. - "Switching Circuits and Logical Design", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958, 686p.
- * Cohn, B. - "Control a Latching Relay from TTL Inputs with a Dual Photo-SCR Coupler", Electronic Design, v. 27, n. 2, Jan 1979, p 106.
- * Del Picchia, S.; Del Picchia, W.; Martins, W.W.; Silveira, D. G. - "Relé", Patente de Invenção nº 82.865, 1977, BR, 22p.
- * Del Picchia, W.; Felizatti, J. C.; Martins, W. W.; Pessotta, R. C. - "Dispositivos de Comando e Proteção pela Técnica de Pulso Energético Quantificado", Pedido de Privilégio PI 8.904.916, 1989 BR, PCT/BR 90/00017, 1990, 78p.
- * Del Picchia, W.; Martins, W. W. - "Comando Combinatório de Cargas Elétricas", Mundo Elétrico, Março 1982, pp 26-29.
- * Del Picchia, W.; Martins, W. W. - "Interruptor Biestável Polarizado de Comando à Distância e Respectivo Sistema de Utilização", Patente de Invenção nº 83.776, 1965, BR, 32p.

- * Drachëv, I. G.; Litovkin, I. A.; Perekhodnik, I. G.; Rabkin, L. I. - "Sealed Relays with a Magnetic Memory", Telecommunications and Radio Engineering, v. 38-39, n. 10, Oct 1984, pp 41-46.
- * Felizatti, J. C.; Pessotta, R. C. - "Relé Biestável com Memória Contínua Comandado por Pulso", 1^o SAI Simpósio de Automação Integrada, CEFET-PR, Curitiba, Anais 90, 1990, pp 64-67.
- * Goldberg, S.; Horton, W. F. - "The Effect of Harmonics on the Operating Points of Electromechanical Relays", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-104, n. 5, May 1985, pp 1178-1188.
- * Gourishankar, V. - "Conversión de Energía Electromecánica" - Representaciones y Servicios de Ingenieria S.A., México, 1969, 631p.
- * Grossman, M. - "Focus on Relays: Do Solid-State Relays and Electromechanicals Really Compete?", Electronic Design, v. 26, n. 26, Dec 20 1978, pp 119-129.
- * Holm, R. - "Electric Contacts Handbook", Springer-Verlag OHG., Berlin/Göttingen/Heidelberg, 3^a ed., 1958, 522p.
- * Lee, A.; Leung, C. H. - "Contact Erosion in Automotive DC Relays", IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, v. 14, n. 1, March 1991, pp 101-108.
- * Leyzan, L. I.; Rabkin, L. I.; Shul'man, S. M. - "Sealed Relays with Elastic Ferromagnetic Elements" - Telecommunications and Radio Engineering", n. 6, Jun 1982, pp 38-43.

- * Martins, W. W. - "As Técnicas de Chaveamento dos Circuitos Elétricos", Ciência e Cultura, v. 37, n. 5, Maio 1985, pp 719-728.
- * Martins, W. W. - "Contribuições ao Estudo dos Circuitos Interruptores", Tese de Livre Docência, EPUSP, São Paulo, 1965, 158p.
- * Martins, W. W; Del Picchia, W. - "Inovações na Técnica de Comando à Distância", Mundo Elétrico, n 79, ano 7, Abril 1966, 6p.
- * Montgomerie, G. A. - "Sketch for an Algebra of Relay and Contactor Circuits", Journal Institution of Electrical Engineers, London, v. 95, part II, 1948, pp 355-364.
- * Morris, H. M. - "Electromechanical Relays Gaining Space on Printed Circuits Board", Control Engineering, v. 29, n. 12, Nov 1982, pp 78-79.
- * Publicação Degussa - "Contatos Elétricos", Informativo Técnico da Degussa S.A., São Paulo, 1991, 9p.
- * Publicação Eriez - "Ímãs de Terras Raras" - Informativo Técnico da Eriez Terras Raras Ltda., São Paulo, 1990, 2p.
- * Publicação ICR - "Catálogo de Produtos", Indústria e Comércio de Relés Ltda., São Paulo, 1991, 20p.
- * Publicação Meng - "Especificações Técnicas de Semáforos" - Catálogo Técnico da Meng-Engenharia, Comércio e Indústria Ltda., São Paulo, 1990, 38p.
- * Publicação Pelmag - "Transruptor - a nova era dos contadores", Catálogo Técnico da Pelmag-Produtos Eletromagnéticos Ltda., São Paulo, 1988, 5p.

- * Publicação Siemems - "Dispositivos de Comando e Proteção de Baixa Tensão", Informativo Técnico da Siemens S.A., v. 1, 1^a ed., São Paulo, 1975, 192p.
- * Publicação Teledyne - "Innovations in Switching Technology", Coletânea de Catálogos de Relés da Teledyne Relays entre 1973-1978, Califórnia, USA.
- * Raspanti, M. - "A Complex Algebra for Relay Circuit", Electrical Engineering of AIEE, Nov 1953, pp 992-993.
- * Rieder, W. F.; Strof, T. W. - "Relay Life Tests with Contact Resistance Measurement After Each Operation", IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, v. 14, n. 1, March 1991, pp 109-112.
- * Schnierl, H. - "Full Spectrum of Relays with New Relays Families", Siemens Review, v. 41, n. 3, Mar 1974, pp 99-103.
- * Shannon, C. E. - "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", AIEE Transaction, v. 57, 1938, pp 713-723.
- * Strathearn, L. - "Relays-Reductions in Size and Power Consuption", Electronic Industry, v. 12, n. 6, Jun 1986, pp 31-37.
- * Suzuki, M. - "Relay Switch", United States Patent n^o 3.723.923, 1973, 6p.
- * Yudewitz, N. - "Predict Relay Life Reliably with Simple Empirical Equations", Electronic Design, v. 27, n. 3, Feb 1, 1979, pp 80-83.

APÊNDICE A

A MATRIZ DE PROJETO⁽¹⁾

De um modo geral, a prescrição lógica de um circuito interruptor diz respeito às relações entre as informações ou elementos de entrada, variáveis independentes $X_1, X_2, \dots, X_m$, e às decisões ou elementos de saída, funções interruptoras $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$.

Em circuitos sequenciais, deve-se prever na "matriz de projeto", funções interruptoras auxiliares secundárias $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$, que terão a seu cargo, de forma convencional, a retenção ou memorização das etapas sequenciais exigidas pela prescrição lógica, de modo que as decisões pretendidas pelo circuito possam ser atendidas.

A rigor não se pode estabelecer regras para a determinação da quantidade p dessas funções secundárias -pode-se proceder por tentativas, por exemplo, adotando-se crescentemente uma variável a mais de cada vez- ou de outro modo, que dependerá da prática do projetista, será verificar "a priori" quais e quantos são fatos notáveis das situações sequenciais que devem ser memorizados até que o circuito execute toda a sua prescrição cíclica -o número destes fatos notáveis constituirá uma primeira tentativa do projeto, que cumprirá então, diminuir ou aumentar, para se ter a certeza da adoção de um número p de variáveis auxiliares minimizado.

(1) Esse apêndice foi baseado em Martins (1965)

Nestas condições, "a matriz de projeto" terá até 2^p linhas, sendo p o número de funções secundárias adotadas, a fim de permitir todas as situações possíveis, combinatórios das funções adotadas. Também, o número de colunas será o mais conveniente, objetivando apresentar as combinações dos elementos sensoriais de entrada com as notáveis nuances de suas aparições sequenciais.

Isso tudo quer significar que esse universo topológico deverá ser adequado à realização e comportamento dos dados constantes na prescrição lógica inicial.

Dessa forma, está constituída a "matriz de projeto", invólucro fundamental que compreende o "campus" adequado desse universo topológico e portanto pode-se iniciar, conforme os dizeres da prescrição lógica inicial, um verdadeiro caminhamento cíclico através dos seus vários compartimentos (alvéolos) e, ainda, conforme a função de saída considerada, seja ela relativa às decisões do circuito ou relativa aos valores de retroação (feed-back posicional) daquelas mesmas funções secundárias adotadas $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$.

Convém observar que nesse caminhamento cíclico pelo "campus" da matriz de projeto, serão anotados com "traços" superiores as funções de saída excitadas e, inferiores, quando não excitadas.

É importante o exame crítico dos compartimentos não utilizados do "campus" do universo topológico, visto que se em alguns deles a função de saída for "indiferente", tem-se situações opcionais que são anotadas com o símbolo " ϕ ". Isto permitirá, eventualmente, que se possa exercer, a bem da minimização das equações finais, aquele efeito catalizador

característico dessa opcionalidade.

A tabela A.1 apresenta de um modo geral a matriz de projeto.

Tabela A.1 - Esquema geral da matriz de projeto.

Funções secundárias (realimentação)	Combinações possíveis e sequenciais dos elementos sensoriais do circuito interruptor			
$Y_1 \quad Y_2 \quad \dots \quad Y_p$	$\bar{X}_1 \underline{X}_2 \dots \underline{X}_m$	$\underline{X}_1 \bar{X}_2 \dots \underline{X}_m$	...	$\underline{X}_1 \underline{X}_2 \dots \underline{X}_m$
$\underline{Y}_1 \quad \underline{Y}_2 \quad \dots \quad \underline{Y}_p$	<div><div>1</div><div>$\xrightarrow{\underline{Z}_1 \underline{Y}_1}$</div><div>2</div></div>	$\bar{Z}_1 \bar{Y}_1$	...	3
$\bar{Y}_1 \quad \underline{Y}_1 \quad \dots \quad \underline{Y}_p$	4	<div><div>5</div><div>$\downarrow$</div></div>	$\bar{Z}_1 \bar{Y}_1$	...
...				
$\bar{Y}_1 \quad \bar{Y}_2 \quad \dots \quad \bar{Y}_p$	7	8	...	

2^p

1ª Observação: Os compartimentos do "campus" são numerados, na ordem natural do caminhamento ou dos caminhamentos necessários.

2ª Observação: Os deslocamentos desse caminhamento para uma dada função de saída se farão ou horizontalmente, isto é, ao longo de uma de suas linhas, ou verticalmente, isto é, ao longo de uma de suas colunas.

Sempre que a situação de excitação das funções secundárias figurantes num compartimento do "campus", for coerente com aquela representativa da linha que esse compartimento subentende, diremos que essa posição topológica é estável. Caso contrário, diremos, não estável.

Caminhamento no sentido vertical, busca situações de estabilidade, e portanto de coerência, entre as situações de excitação das funções secundárias e são de deslocamento natural, originários de uma posição não estável.

O deslocamento horizontal é sempre iniciado numa posição topológica estável da função secundária, para uma outra instável, situada na mesma linha e a ela obrigada, pelas modificações ocorrida em seus elementos informativos (mudança de coluna) -este deslocamento horizontal ocorrendo, imediatamente se seguirá o deslocamento vertical, buscando sua condição estável, se houver.

3ª Observação: As funções de saída $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$, que correspondem às decisões propriamente ditas do circuito interruptor, são sempre estáveis.

4ª Observação: Cada compartimento do "campus" do universo topológico que a matriz de projeto apresenta está vinculado a uma expressão algébrica interruptora, que corresponderá, indiferentemente, a um termo S ou a um termo P, conforme se pretenda estabelecer o equacionamento funcional por "produtórios" ou "somatórios".

Assim, por exemplo, um certo compartimento situado no cruzamento da linha $(\bar{Y}_1, \underline{Y}_2, \bar{Y}_3)$ (3 funções secundárias) com a coluna $(\underline{X}_1, \bar{X}_2)$, e numerado com o dígito, por exemplo [7], poderá significar o seguinte, quanto à sua vinculação aos termos S ou termos P

Y_1	Y_2	Y_3	...	X_1	$\bar{X}_2$
.	.	.		.	.
.	.	.		.	.
$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_3$		$\bar{Z}_1$	$\bar{Y}_1$

Portanto será:

- a) $\boxed{7} (y_1 + y_2' + y_3 + x_1' + x_2)$ 0 1 0 1 0 ou S_{10} em
térmos S ou
- b) $\boxed{7} (y_1' \cdot y_2 \cdot y_3' \cdot x_1 \cdot x_2')$ 1 0 1 0 1 ou P_{21} em
térmos P.

5ª Observação: Nas aplicações que serão feitas, embora seja indiferente utilizar as expressões correspondentes de uma forma ou de outra (térmos S ou térmos P), serão adotados de preferência, os térmos S e portanto, a notação funcional pelo produtório.

6ª Observação: Quando o circuito lógico interruptor é combinatório, a matriz de projeto assume sua forma particular, possuindo apenas uma única linha e, por isso, é denominada "matriz linha de projeto".

APÊNDICE B

DISPOSITIVOS ELETROMECAÂNICOS DE COMANDO E CHAVEAMENTO: DESCRIÇÃO DOS TIPOS PRINCIPAIS

No grupo dos convencionais, um dos dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento importante é o relé, cuja representação esquemática é mostrada na figura B.1.

Fig. B.1 - Esquema de circuito comandado por relé.

O funcionamento básico do relé é como segue: com a circulação da corrente de controle pela bobina do relé, cria-se um campo magnético que atrai uma armadura e provoca o fechamento de um ou mais contatos elétricos móveis. Se a corrente de controle é interrompida, uma mola puxa a armadura para uma outra posição, abre os contatos elétricos anteriormente referidos e os fecha nessa outra posição quando o relé é do tipo reversível.

As principais características do relé são:

- a - permite o comando de cargas com amplificação de corrente, ou seja, através de pequenas correntes no circuito de controle

comanda-se altas correntes de carga.

- b - possui memória do comando, desde que a alimentação do circuito de controle não falte.
- c - constante dissipação térmica no circuito de controle para manter um dos estados, ligado ou desligado.
- d - admite comando múltiplo.
- e - admite comando combinatório.
- f - permite circuito de controle independente (não mostrado na fig. B.1) do circuito de carga.
- g - o circuito de comando opera em corrente contínua ou corrente alternada, indistintamente.

As formas usuais de comando de um relé são os comandos "série" e "shunt", como mostrado na figura B.2.

Fig. B.2 - Relé com comando (a) série (b) "shunt".

O outro dispositivo eletromecânico de comando e chaveamento convencional importante é a chave magnética, que é basicamente um relé provido de um circuito de realimentação

devido ao acréscimo de um contato auxiliar, como mostra a figura B.3.

Fig. B.3 - Esquema de circuito comandado por chave magnética.

A chave magnética possui características similares às do relé, apesar de apresentar operação distinta no circuito de controle, já que opera por pulsos para ligar.

Já dentre os dispositivos eletromecânicos de comando e chaveamento polarizados, dois deles se destacam: o relé "latching" e o transruptor.

Na figura B.4 tem-se o esquema de um circuito comandado por relé "latching", cujo funcionamento é como segue: o ímã (estacionário) estabelece campo magnético (polarizado ou remanescente) permanente nas bobinas de ligar e desligar. Se o relé "latching" estiver, por exemplo, na posição carga ligada (fig. B.4), a circulação de um pulso de corrente pela bobina de desligar cria um campo magnético no sentido de anular o estabelecido pelo ímã, fazendo com que a armadura se movimente ao ser atraída pelo campo magnético presente na bobina de ligar,

dando-se então, a comutação. Na operação inversa, o pulso de corrente deve circular pela bobina de ligar.

Fig. B.4 - Esquema de circuito comandado por relé "latching".

As principais características do relé "latching" são:

- a - permite o comando de cargas com amplificação de corrente, ou seja, através de débeis correntes de curta duração no circuito de controle comanda-se altas correntes de carga.
- b - possui memória permanente do comando mesmo na ausência da fonte de alimentação.
- c - não há dissipação térmica no circuito de controle para manter um dos estados, ligado ou desligado.
- d - possui dois gatilhos: um só para ligar e outro, só para desligar.
- e - o circuito de controle pode ser em corrente contínua, ou em corrente alternada com seleção de polaridade.
- f - admite comando múltiplo.

- g - admite comando combinatório.
- h - admite o comando múltiplo do comando combinatório.
- i - permite circuito de controle independente (não mostrado na fig. B.4) do circuito de carga.

Finalmente, na figura B.5 (Publicação Pelmag, 1988), tem-se o esquema de um circuito comandado por transruptor, sendo o funcionamento básico descrito a seguir: o ímã (móvel) fica grudado por força magnética de atração no núcleo magnético ou da bobina de ligar, ou da de desligar, de forma que um dos gatilhos (L ou D) está sempre armado. Quando o gatilho que está armado é acionado, na bobina ligada em série com esse gatilho, circula uma corrente no sentido de criar um campo magnético contrário ao do ímã e, devido à força magnética de repulsão, o ímã se movimenta, provoca a comutação, desarma automaticamente o gatilho acionado e arma o outro.

Fig. B.5 - Esquema de circuito comandado por transruptor.

Fora o desarme automático do gatilho acionado, o transruptor possui as mesmas características do relé "latching".