ELT 548 – Controladores Lógicos Programáveis

Prof. Dr. Alexandre Santos Brandão

Aula 1 – Sistemas Combinatórios e Sequenciais

Conteúdo

1. Circuitos Digitais
   1. Circuitos Lógicos
   2. Circuitos Combinatórios
   3. Circuitos Sequenciais
2. Controle Sequencial
3. Circuitos Digitais

Os sistemas desenvolvidos para a automação industrial têm sua base fundamentada nos circuitos digitais. Com o auxílio da álgebra de Boole, problemas associados à natureza lógica puderam ser solucionados de forma matemática. Basicamente, o conceito lógico se dá pela definição de dois estados, 0 (zero) e 1 (um), os quais estão intimamente correlacionados com o sistema binário de numeração. Qualquer variável booleana somente poderá assumir um desses estados. Vale ressaltar que o valor do estado não representa um dado quantitativo, e sim, a situação na qual a variável se encontra. Em outras palavras, o estado lógico 0 representa um contato aberto, um relé não energizado, um transistor em corte (não condução), etc.; em contrapartida, o estado lógico 1 representa um contato fechado, um relé energizado, um transistor em saturação (em condução).

Basicamente, um circuito digital é definido pela combinação lógica de três portas lógicas básicas: E (AND), OU (OR), Não (NOT). Elas serão detalhadas na sequência enfatizando sua representação através de diagramas de contato e de montagem.

Um circuito direto de acionamento de uma carga é apresentado na Figura 1. Verifique que ao acionar a chave A, faz-se o acionamento da lâmpada H. Quando a chave está aberta, o estado lógico é 0, e a lâmpada está apagada. Quando a chave é fechada, a lâmpada é ligada e sua estado lógico passa a ser 1. Pode-se concluir que o estado da saída é diretamente igual ao estado da entrada.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | | --- | --- | | A | H | | 0 | 0 | | 1 | 1 | |
| Figura 1 - Circuito de ligação direta. | |

Na Figura 2, verifica-se um circuito de desligamento da saída através do acionamento da entrada. Nesse caso, ao acionar a chave A (estado 1), a lâmpada desliga (estado 0). Por sua vez, enquanto a chave não é acionada (estado 0), a lâmpada permanece ligada (estado 1). Portanto, o estado da saída é inverso ao estado da entrada. Entende-se tal circuito com um circuito de negação ou lógica Não (NOT).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | | --- | --- | | A | H | | 0 | 1 | | 1 | 0 | |
| Figura 2 - Circuito de ligação invertida ou lógica de negação Não (NOT). | |

A lógica E (AND) é apresentada na Figura 3. Nela somente é possível ativar a lâmpada (estado 1), quando ambas as chaves A e B estiverem ativadas. Qualquer outra combinação faz com que a saída permaneça em estado desligado.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | A | B | H | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0 | | 1 | 0 | 0 | | 1 | 1 | 1 | |
| Figura 3 - Circuito de ligação utilizando lógica E (AND). | |

Na Figura X, pode-se verificar que o acionamento da lâmpada se dá tanto pelo acionamento da chave A, quanto da chave B. Em outras palavras, ao ativar a chave A ou a B, a lâmpada assume estado lógico 1. Portanto, a figura ilustra um circuito lógico OU (OR).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | A | B | H | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 1 | | 1 | 0 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| Figura 4 - Circuito de ligação utilizando lógica OU (OR). | |

* 1. Circuitos Lógicos

A associoção de chaves é utilizada para a criação de circuitos lógicos. A Figura 5 ilustra uma combinação de chave, que apresenta lógica em redundância. Ao utilizar os conceitos da álgebra de Boole, pode-se fazer uma simplificação dos contatos. Em suma, a expressão lógica é dada por , cuja simplificação resulta em . As etapas intermediárias são

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Figura 5 - Circuito lógico representado por associação de contatos. | |

Uma forma de auxiliar na solução de problemas complexos com lógica digital é a utilização de variáveis auxiliares. Na Figura 6, as variáveis auxiliares são representadas pelos relés X e Y. A lógica de acionamento da lâmpada L é fracionada em três circuitos, que interagem entre si. As expressões parciais são , e L = . Ao substituir *X* e *Y* em *L*,tem-se

.

A álgebra de Boole é utilizada para simplificação de circuitos digitais, porém não se tem a garantia de uma expressão final na forma mais minimizada. Para tal, faz-se a utilização de mapas de Karnaugh, os quais são vistos no conteúdo de sistemas digitais, para simplificação de um conjunto de N variáveis de entrada.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Figura 6 – Circuito lógico com a presença de contatos auxiliares. | |

* 1. Circuitos Combinatórios

Entende-se por circuitos combinatórios, aqueles cujas saídas dependem somente das entradas no instante de tempo observado. Em outras palavras, um circuito sequencial não possui com entrada uma realimentação de uma saída. Tal característica indica um circuito com memória de estado. A Figura 7 ilustra um sistema combinatório.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 7 – Sistema combinatório. |

O sistema digital apresentado na Figura 8 é também um exemplo de um circuito combinatório. Note que para tal sistema, é possível determinar uma expressão de saída, a qual depende exclusivamente das entradas previamente estabelecidas. Em outras palavras, a saída Y é uma combinação lógica direta das entradas A, B e C.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 8 – Exemplo de um circuito combinatório utilizando sistemas digitais. |

* 1. Circuitos Sequenciais

Em contraste com os circuitos explanados na seção anterior, os circuitos sequenciais são aqueles cujas saídas não dependem exclusivamente das entradas no instante de tempo observado, mas também das saídas no instante anterior. A Figura 9 ilustra um sistema sequencial. Note que há uma realimentação de estados, o que caracteriza a existência de alguém elemento de memória no circuito.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 9 – Sistema combinatório. |

Em sistemas digitais, os elementos biestáveis são considerados dispositivos de memória. Eles possuem dois estados estáveis na saída, os quais são alterados pela ação de um pulso externo em sua entrada. O pulso altera o estado lógico de um para outro. É importante mencionar que ao ser alterado, o elemento retém tal estado, ou seja, o biestável permanece em tal estado lógico até que outro estímulo seja dado em sua outra entrada. A Figura 10 ilustra um elemento biestável genérico. Para um biestável tipo RS (Set/Reset), entende-se que as entradas E1 e E2 sejam reset (R) e set (S), respectivamente.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 10 – Elemento biestável genérico e biestável tipo RS. |

A Tabela 1 demonstra as possibilidades de entradas e saídas de um biestável tipo RS. Quando a entrada S é acionada, a saída Q é imediatamente habilitada. Ao acionar somente a entrada R, a saída Q é instantaneamente desabilitada. Caso ambos as entradas não sejam acionadas, a saída Q apresentará o valor observado anteriormente. Note para a situação de ambas as entradas acionadas não é permitida para este elemento. Caso tal situação, não será possível determinar o estado da saída Q.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabela 1 – Tabela verdade de um biestável tipo RS.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | R | S | Q[n+1] | Estado | | 0 | 0 | Q[n] | Retém estado anterior | | 0 | 1 | 1 | Seta | | 1 | 0 | 0 | Reseta | | 1 | 1 | X | Não permitido | |

1. Controle Sequencial

Em automação industrial, o conceito de controle sequencial é estabelecido a todo e qualquer sistema, cujo funcionamento segue uma sequência de passos em um tempo e uma ordem predeterminada. Ao tomar o exemplo de um sistema de aquecimento mostrado na Figura 11, tem-se a seguinte sequência de eventos para seu devido funcionamento:

1. Encher o tanque com matéria-prima até o nível predefinido;
2. Aquecer o conteúdo do tanque, com uso de vapor, agitando até uma dada temperatura;
3. Dar vazão à matéria aquecida.

É possível notar que a ocorrência do evento ii deve ser posterior à ocorrência de i e deve preceder iii. Logo, o funcionamento do sistema ocorre em função de um nível de precedência de ações.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 11 – Exemplo de um sistema de controle sequencial de aquecimento. |

A sequência de eventos apresentada está dada em alto nível, ou seja, não se sabe a fundo o princípio operacional do sistema, o qual pode ser detalhado sequencialmente:

1. Abrir a válvula manual V1, para que a matéria chegue ao tanque;
2. Fechar V1, quando a matéria atingir o nível predeterminado mostrado no indicador L;
3. Abrir a válvula manual V2 para aquecimento com passagem de vapor pelo tubo e, simultaneamente, ligar o motor M fazendo girar o homogeneizador;
4. Quando a indicação do termômetro TH atingir certo valor, a passagem de vapor deve ser interrompida, ao fechar V2, e a agitação deve cessar, ao desabilitar M;
5. Dar vazão à matéria aquecida abrindo a válvula V3;
6. Quando o tanque esvaziar, fechar V3.

Para o princípio de funcionamento recém detalhado, são necessários os elementos indicados na Figura 11. Por sua vez, caso o controle sequencial seja realizado de forma automática, os elementos ilustrados na Figura 12 devem ser levados em consideração. Tendo os em mente, pode-se detalhar o funcionamento automatizado como:

1. Apertando-se uma botoeira de partida, o processo inicia com abertura da válvula  
   solenoide VS1 e a chegada de matéria ao tanque;
2. Quando for atingido certo nível de matéria, VS1 fecha devido à atuação do sensor  
   de nível SN;
3. Fechando-se VS1, a chave de fluxo CFC1 abre VS2 para aquecimento e também liga  
   o motor M;
4. Quando atingir temperatura, VS2 fecha e motor M para devido à atuação do sensor de temperatura ST;
5. Fechando-se VS2, CFC2 abra VS3, dando vazão à matéria e acionando um temporizador;
6. Após certo tempo, VS3 fecha e aciona CFC3 que irá abrir VS1, recomeçando o processo;
7. O processo será interrompido apertando uma botoeira de parada, quando VS3 estiver terminando de fechar.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 12 – Elementos para controle sequencial manual e automático de um sistema de aquecimento. |

Após o nível de detalhamento apresentado para um sistema de aquecimento, pode-se concluir que o controle sequencial tem como características:

1. A sequência de operações segue uma ordem predeterminada do sinal de entrada até o sinal de saída;
2. O sinal de controle é transmitido obedecendo certas condições durante a execução da sequência;
3. O passo seguinte é executado dependendo do resultado anterior.