

Eletrônica Digital I - Exercícios sobre FSM

1) Um elevador de carga atende a uma construção de 2 andares. Os pedidos para subir ou descer são feitos por botões exteriores (um para cada andar) ou por meio de um botão que fica no interior do elevador. Dois sensores, um em cada andar, indicam se o elevador está corretamente posicionado no andar. As duas portas (poço e do elevador) são acionadas simultaneamente e se movimentam paralelamente tanto para abrir como para fechar. Sensores A e F indicam se as mesmas estão completamente fechadas ($F=1$) ou completamente abertas ($A=1$). Um outro sensor, I, detecta se existe algo impedindo o fechamento das portas. Encontrando-se no andar desejado, e uma vez abertas, as portas devem permanecer nesta situação até que alguém solicite o uso do elevador. O elevador só se movimenta com as portas fechadas. Quando algo impedir o fechamento das portas, estas devem ser abertas e assim permanecer até que seu fechamento seja permitido para que o elevador se movimente. Faça uma máquina de estados síncrona que acione:

- o motor que movimenta o elevador, motor este com dois comandos distintos: Subir, Descer;
- o motor que movimenta as portas, motor este com dois comandos distintos: Fechar, Abrir.

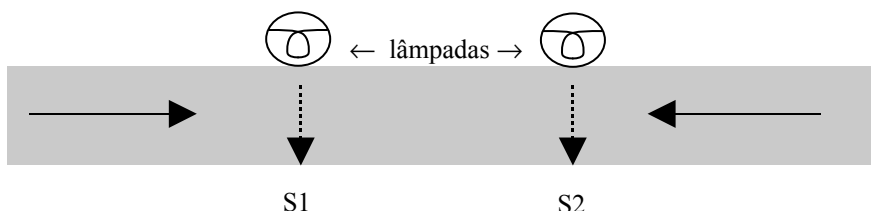
Assuma:

- elevador só atende a pedidos quando se encontrar parado no andar e de porta aberta,
- para permanecer parado, não é necessário acionar os comandos do motor do elevador,
- Flip Flops tipo D.

2) Dois sensores óticos S1 e S2 são responsáveis pela detecção de peças que se movimentam (**uma por vez**) nas duas direções possíveis, conforme figura. A distância entre os dois sensores é menor que o menor comprimento das peças. Um contador é acionado de tal modo que:

- peças no sentido esquerda → direita são contadas crescentemente (UP);
- peças no sentido direita → esquerda são contadas decrescentemente (DOWN_L - ativo em NL. 0)

Assuma que o contador, já previamente “zerado”, além da entrada de clock possua duas outras: conta e UP/DOWN_L. Projete uma máquina de estados que realize a contagem acima usando Flip Flops tipo D. Suponha gatilhamento pela borda de descida tanto para os Flip Flops quanto para o contador.



3) Uma secretária eletrônica, quando disparada após o recebimento de uma chamada, apresenta a seguinte operação:

Ligação de terceiros para deixar recados gravados:

Primeiramente emite-se uma mensagem M1 pré-gravada, de duração T1, seguida de um sinal S1 de duração T2 após o qual é possível deixar um recado gravado (de duração máxima T3). Ao final do recado, a máquina volta ao seu estado de espera inicial.

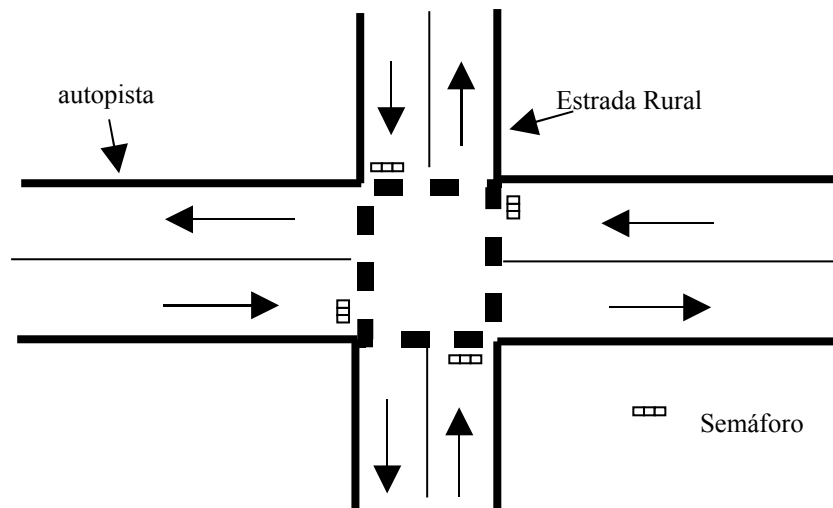
Ligação do dono da casa para a secretária a fim de ouvir os recados gravados:

Neste caso, a pessoa possui um código de 2 dígitos. Uma vez que o código de entrada esteja correto, a máquina emite uma mensagem MN (de duração TM) dizendo que a pessoa pode digitar a tecla 1 para ouvir o último recado gravado (duração do último recado = T4) ou a tecla 2 para ouvir todos os recados (duração de todos os recados = T5). Caso não haja recados, a secretária deve emitir uma mensagem de “sem recados” (de duração T6) e voltar ao estado de espera inicial. Admite-se que a pessoa possa errar, no máximo, 3 sequências de código de entrada com o qual a máquina vai a um estado de erro e ali permanece até que a ligação telefônica se desfaça. A pessoa que fez a chamada pode interromper a ligação a qualquer instante. Faça o diagrama de estados (ASM ou bolhas) que implemente a máquina controladora acima. Assuma que, quando se inicia uma mensagem, as variáveis de duração vão para o N.L. zero e retornam ao N.L. 1 só quando a mensagem termina.

4) Uma FSM síncrona possui 4 entradas (G1–G4) feitas por chaves de pressão. Cada uma das chaves corresponde a um LED (portanto 4 LED's L1-L4) que, em conjunto com 2 outros LED's: ACERTO e ERRO, caracterizam a saída da máquina. A máquina implementa na verdade um jogo onde se deseja medir a velocidade de reação de uma pessoa. Um sinal de clock é aplicado à máquina de modo a que os LED's sejam ativados em sequência (apenas um deles aceso por vez) e a uma taxa de 5 Hz. Caso a pessoa consiga pressionar o botão no momento exato em que o LED correspondente ao botão pressionado esteja aceso, a máquina acende o LED ACERTO que assim permanece até que o botão não seja mais pressionado. Caso a pessoa erre, a máquina deve acender o LED ERRO e só retornar ao seu funcionamento normal quando o botão pressionado for liberado. Faça o diagrama de bolhas da máquina.

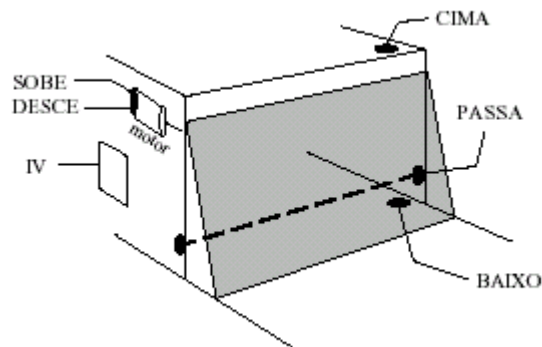
5) Faça uma FSM síncrona com uma entrada X e duas saídas U e H tal que U seja 1 se e somente se X é 0 e a sequência de entrada recebida em X para a transição de 7 períodos de clock foi 0110111. H deve ser 1 se e somente se o valor corrente de X está correto, conduzindo a máquina para a detecção da sequência, com o qual U deve assumir valor 1. Sua solução deve privilegiar a utilização mínima de Flip-Flops.

6) Uma autopista é interceptada por uma pequena estrada rural, como mostra a figura, e detetores de veículos (variável de entrada C) são colocados na região de retenção da estrada rural como indicado. Deve-se construir uma FSM síncrona que controle o sinal de trânsito neste cruzamento. A FSM deve ser tal que quando um veículo é detectado na estrada rural, as luzes da autopista devem passar para amarelo e depois vermelho, liberando as luzes da estrada rural de vermelho para verde. Sinal verde na estrada rural deve ser gerado somente se for detectado algum veículo pelo sensor C. Assuma um temporizador programável externo que ativa um sinal de controle ST (*set timer*) toda vez que um intervalo de tempo pré-programado terminou. Sua programação de tempo é feita por sinais TS (*short time*) ou TL (*long time*), que quando ativos sinalizam para que o timer conte 5 segs (tempo do amarelo) ou 30 segs (tempo do verde) respectivamente. O contador é automaticamente zerado quando ST é ativado.



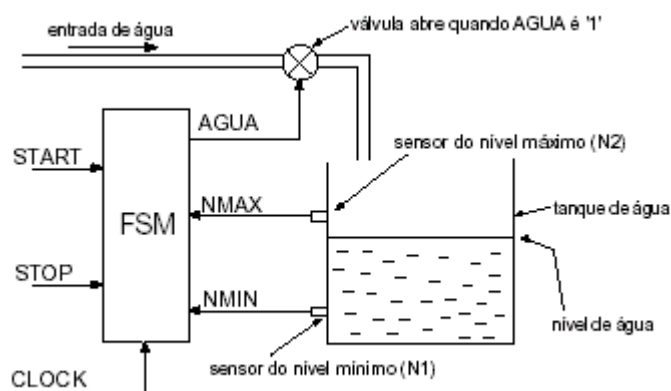
7) Faça um contador síncrono de 3 bits controlado por uma entrada x de 1 bit apenas de tal modo a: quando $x=0$ a contagem é Gray e quando $x = 1$ a contagem é binária pura.

8) Deseja-se controlar o motor que faz abrir (**SUBIR**) e fechar (**DESCER**) a porta de uma garagem conforme figura. A porta, bastante ampla, tem um sensor em cima, **CIMA**, que fica ativo quando a porta está completamente aberta, e um sensor em baixo, **BAIXO**, que fica ativo quando a porta está completamente fechada. Existe ainda um sensor de passagem, **PASSA**, que fica ativo enquanto um objeto está debaixo da porta. Finalmente, existe o sensor de infravermelhos, **IV**, que fica ativo quando o comando remoto da porta é atuado para abrir a porta, seja no interior ou exterior da garagem. A porta deve fechar-se



automaticamente.

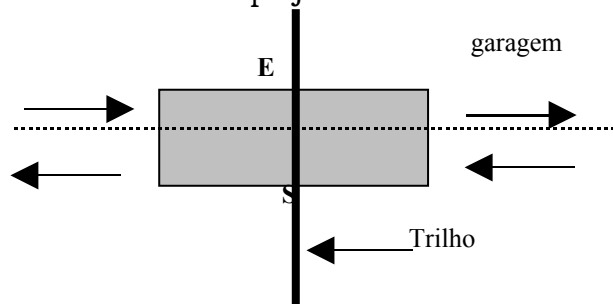
9) Pretende-se projetar o sistema de controlo do nível de água de um tanque para abastecimento público. O sistema tem uma saída **AGUA** que quando é ativada (nível lógico alto) abre uma válvula de entrada de água. Para controlar o nível de água dispõe-se de duas entradas **NMAX** e **NMIN** provenientes de sensores de nível de água, que são ativadas (nível



lógico alto) quando o nível no tanque se torna, respectivamente, maior do que o nível máximo N2 ou menor do que o nível mínimo N1. O sistema dispõe ainda de duas entradas ligadas a um botão de arranque (**START**) para iniciar o funcionamento do sistema e a um botão de paragem (**STOP**) para o desligar. Estas entradas tomam o valor lógico alto quando os botões respectivos são pressionados. Para controlar o nível de água no tanque, mantendo-o entre N1 e N2, deve-se abrir a válvula de entrada de água sempre que o nível de água no tanque for inferior a N1, e fechar quando for ultrapassado o nível N2.

10) Deseja-se um sistema que compare dois sinais periódicos e emita um sinal indicado se a frequência de um é maior, menor ou igual a do outro.

11) Um portão de garagem, que corre sobre trilhos, é acionado tanto para a entrada como para a saída de veículos por meio de chaves E e S, acessíveis ao motorista, conforme mostra a figura. Uma vez aberto, o portão deve permanecer nesta situação enquanto for detectada a presença de carro sobre a área hachurada. O portão é fechado se não houver mais carros sobre esta área. No caso de saída de veículos, um sinal luminoso deve permanecer aceso até que o carro saia da garagem. Suponha que o motor que movimenta o portão tenha dois comandos distintos: abrir e fechar o portão. Suponha que o zelador da garagem pode abrir e fechar o portão também por duas chaves. Assuma dois sensores de fim de curso que indiquem quando o portão está completamente aberto e completamente fechado. Faça os circuitos de controle que acionem o motor para abrir e fechar portão, assim como acionamento do sinal luminoso. Assuma FF tipo JK.



12) Uma pequena central de alarmes monitora **de forma contínua e sequencial** 16 sensores espalhados em um local, sendo o tempo total de monitoramento de 1 segundo. Assuma que cada sensor informa apenas 1 bit: N.L. 0 se não houve disparo e N.L. 1 se houve disparo (em caso de invasão). Faça um sistema digital que, no caso de haver uma intrusão, acione uma sirene AC (127 VRMS – 60 Hz) e, ao mesmo tempo, mostre em displays de 7 segmentos o código BCD referente ao sensor disparado, permanecendo assim em ambos os casos mesmo que o status do sensor retorne para N.L. 0. Desenhe o circuito digital da central, assim como o acionamento da sirene e dos displays (não é necessário fazer sua lógica decodificadora mas indique-a).

13) Dois dispositivos digitais distintos - TX (transmissor) e RX (receptor) comunicam periodicamente palavras de 8 bits, paralelamente, da seguinte forma (por meio de um barramento): TX testa uma variável interna TD que quando ativa no N. L. 1 significa que deseja enviar um byte a RX. Para isto, TX leva uma saída DV para o N.L. 1 informando a

RX que deseja transmitir. RX, por sua vez, ao detectar DV ativo, verifica o status (situação) de uma variável interna OK que quando ativa no N. L. 1 informa a RX para sinalizar a TX que comece a transmissão. TX só começa a transmissão depois de informado que RX está apto para receber. Durante a transmissão, TX só termina por manter os dados no barramento quando receber de RX um sinal DACK, ativo no N.L1, informando que o recebimento está completo. Portanto, assuma que RX, para carregar o byte, requeira que o mesmo permaneça por um tempo $T = 3 \times \text{período de clock de RX}$. Faça as máquinas de estados para TX e RX que controlem a transferência do byte e fique apta para próximas transferências. Assuma comando de carga paralela LD (RX) e a saída (TX) do byte é em *tri-state* controlada por OE ativa em zero (quando em 1 → saída em alta impedância). Que considerações podem ser feitas para a frequência dos clocks?

14) Um circuito digital mede a distância a que se encontra de um objeto, em metros, por meio de emissão de um sinal de ultra-som. Supondo a velocidade do som de 340 m/s o sistema emite um pulso de ultra-som, ao mesmo tempo que inicia uma contagem. A contagem só termina quando o sistema recebe o retorno do sinal transmitido (eco do pulso), refletido pelo objeto. A partir do valor contado, pode-se estimar a distância entre o objeto e o circuito digital. Suponha que se deseja medir distâncias de até 10 m. Faça um circuito digital que controle os circuitos de disparo e detecção e informe em displays de 7 segmentos a distância medida em centímetros. Assuma que uma chave CH1 quando pressionada (ativa no N.L. 0) dá início a um novo processo de medição. A resolução desejada deve ser de 1 cm.

15) Com uma única porta EX-OR de duas entradas, projete uma máquina sequencial que realize a operação ou exclusivo de duas palavras de 32 bits cada e armazene o resultado em um registrador. Mostre o circuito completo inclusive do controlador e explique o seu funcionamento.

16) Faça um circuito digital que meça o tempo de reação de uma pessoa em milissegundos. O circuito deve dispor de 2 chaves CH1 e CH2: CH1 fica sob o comando da pessoa avaliadora do experimento e CH2 fica sob o comando da pessoa cuja velocidade de resposta deseja-se avaliar (ambos sem contato visual entre si. Tão logo o avaliador pressione CH1, acende-se um LED indicando à pessoa avaliada que pressione CH2 o mais rápido que puder. Seu circuito deve registrar, em milissegundos - faixa de 000 a 999, a diferença de tempos entre os acionamentos de CH1 e CH2 e mostrar o resultado em displays de 7 segmentos. O circuito deve tratar a situação onde o avaliador permanece pressionando CH2 e isto não deve interferir no seu funcionamento. Use blocos contadores módulo 16 com clock pela borda de subida. Escolha a frequência conveniente de clock. Adicione uma terceira chave para "zerar" os contadores.

17) Antes da execução do processo na coluna (a) abaixo, R continha o valor "00000000" e b estava em '0'. Pede-se o valor de R após a execução do processo, justificando sua resposta. Esboce ou explique o circuito lógico implementado pela especificação VHDL da coluna (b). Justifique.

(a)	(b)
Architecture a_arch of a_entity is	Architecture b_arch of b_entity is

```

Signal R : std_logic_vector (7 downto 0);
Signal b : std_logic;
Begin
  Process (clk)
    Begin
      If (clk'event and clk = '1') then
        R <= R + "00000001";
        If (b = '1') then R <= R + "00000010";
        Else R <= R + "00000011";
        End if;
      End if;
    End process;
  End a_arch;

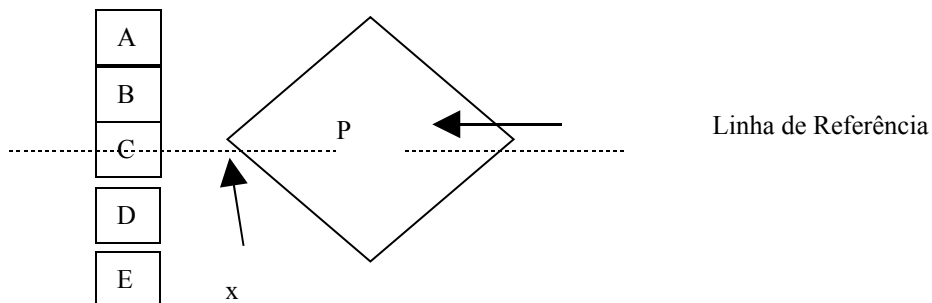
```

```

Signal a, b, s : std_logic;
Begin
  Process (a, b)
    Begin
      If (a = '1' and b = '1') then s <= '1';
      End if;
    End process;
  End b_arch;

```

18) Uma peça, no formato abaixo, deve passar alinhadamente pelo conjunto de sensores A,B,C,D,E. A peça, que se desloca da direita p/ esquerda, não sofre translação nem para cima e nem para baixo mas pode sofrer pequenas rotações em torno do seu ponto central P. Ao passar pelos sensores, o ponto x da peça sempre toca primeiramente o sensor C (com algum pequeno desvio angular em relação à linha de referência). Faça o diagrama de bolhas de uma FSM que indique se a peça passou perfeitamente alinhada e, em caso de detecção de pequena rotação, sua FSM deve sinalizar se esta foi para cima ou para baixo e só deve permitir nova análise de alinhamento de peça quando uma chave de pressão S sinalizar que a peça foi completamente retirada da presença dos sensores. Não use recursos de ULA.

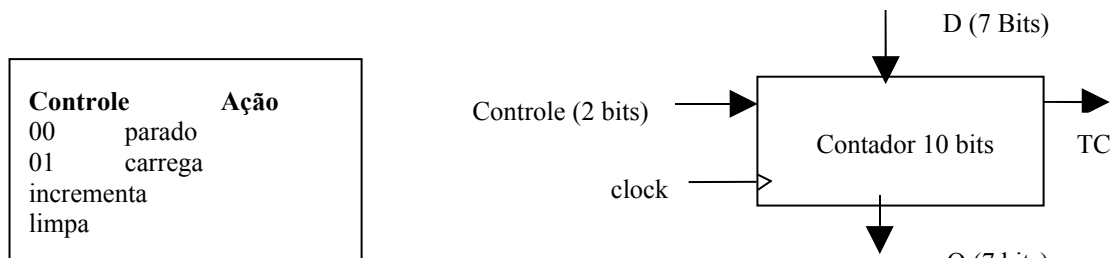


19) Um carro deve passar por um trecho de uma estrada monitorada por 4 sensores onde a velocidade máxima é de 60 km/h. Cada sensor dista do outro de 1Km. Faça um circuito digital que detecte se o carro passou por todos os sensores sem ultrapassar a velocidade. Assuma F_{clock} alto e que um temporizador (na forma de um contador) de 60 s está disponível e possua como entradas CONT (inicia contagem), C ("zera" contador - síncrona) e saída TC (término de contagem ativo em N.L.1). Use FF tipo D ↑.

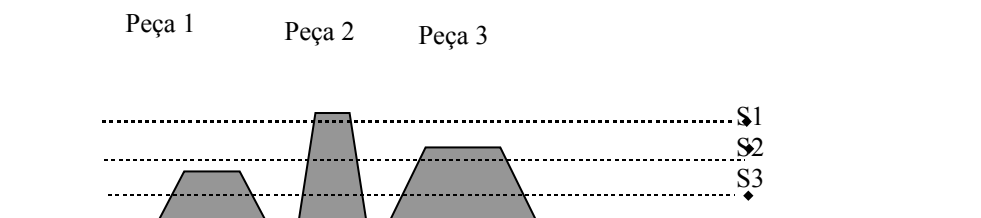
20) Em veículos de câmbio automático a troca automática de marcha é feita segundo o giro do motor (RPM – rotações por minuto). Após ligar o carro, o motorista coloca o câmbio na posição D (4 marchas automáticas) o que permite a troca automática sem intervenção do condutor a menos do controle de aceleração e freio. Acelerando, o motorista aumenta o giro do motor o que leva a trocas de marchas a frente segundo a sequência (1→2→3→4).

Ao usar o freio, o motorista reduz o giro do motor proporcionando a sequência reversa. Suponha 4 níveis de giro $G1 < G2 < G3 < G4$ de modo a, acima de $G1$ a marcha a ser selecionada deva ser 2, acima de $G2$ a marcha a ser selecionada deva ser 3 e acima de $G3$ a marcha a ser selecionada deva ser 4. Faça uma FSM controladora que indique qual a marcha que o carro se encontra. Use FF tipo D.

21) Um sistema verificador de senhas é baseado em 2 dígitos decimais. Faça uma FSM controladora de tal modo a desativar uma tranca solenóide **S** toda vez que se detectar a sequência correta (suponha 75). Assuma que um usuário pode realizar no máximo 3 tentativas. Após a 3ª tentativa errada, o sistema deve ser travado, não aceitando mais entrada de dígitos, devendo soar um alarme **A** por um período de 2 minutos. Finalizado esse tempo o usuário terá, novamente, mais três tentativas. Suponha que o usuário dispõe de, entre a entrada de um dígito e seu subsequente, um período máximo 10 segs. Se estourado esse tempo, a máquina deve contabilizar como sequência errada e esperar pela próxima entrada ou disparar o alarme. Sua máquina deve evitar sinalizar dígito errado, sinalizando apenas senha errada. Suponha que você dispõe de um contador de 7 bits a assumo, por simplificação, frequência de clock de 128 Hz.



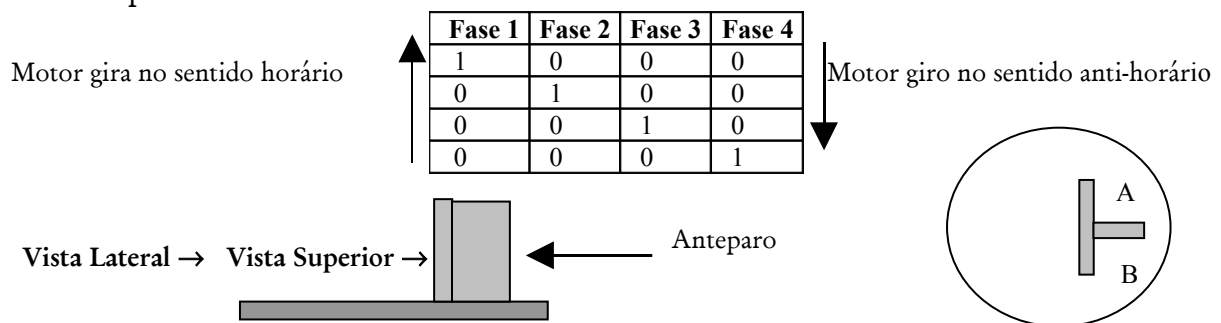
22) Uma correia transportadora carrega 3 tipos de peça cujo perfil é visto na figura abaixo. Q (7 bits) uma por vez, sempre na mesma orientação indicada e sem se tocarem, sendo aleatória a ordem de transporte do tipo de peça. As peças são detectadas por 3 foto-sensores dispostos alinhadamente uns sobre os outros. Ao passar em frente a um sensor, a peça inibe a incidência de luz, proporcionando uma saída no N.L.1. **Implemente** o diagrama de bolhas de uma FSM síncrona que informe o tipo da peça, após sua passagem completa pela coluna de sensores; e assim permaneça (informando o tipo da peça) até que comece a circulação de uma nova peça. **Desenhe** uma implementação digital de sua FSM.



23) Um veículo trafega em uma pista com 5 ímãs ($S1$ a $S5$) dispostos longitudinalmente ao longo do asfalto da pista. A distância entre os ímãs é muito maior que o comprimento do veículo. O veículo possui um sensor de campo magnético preso na sua parte de baixo e sempre passa sobre os ímãs de modo a detectar sua posição na pista. O campo magnético de cada ímã só é detectado no veículo quando este passa exatamente sobre um ímã. À medida que o carro trafega em direção a um anteparo AP, uma lâmpada incandescente no interior do veículo deve brilhar mais forte, alertando para a proximidade do anteparo. O ciclo de

trabalho desejado para o acionamento da lâmpada, dada a passagem por cada sensor, é: 12,5% para S1, 25% para S2, 50% para S3, 75% para S4 e 100% para S5. Se o carro se afastar de AP, o brilho da lâmpada deve diminuir. Assuma $f_{\text{clock}} = 32.768\text{Hz}$. Sua solução deve ser **exclusivamente** digital e síncrona. Mostre **completamente** o diagrama de bolhas da FSM implementada.

24) Um motor de passo possui solidário a seu eixo um disco que gira, conforme figura, seguindo um foco de luz. Um anteparo em forma de T provoca sombra em um ou mais sensores em caso de desalinhamento do mesmo com a fonte de luz. O foco de luz é uma lâmpada que uma pessoa movimentada em torno do disco. Dois sensores óticos, A e B, são usados para captar a luz da fonte luminosa. Sempre quando apenas um dos sensores é iluminado ($AB = "10"$ ou $"01"$), o motor de passo deve girar até que ambos os sensores sejam iluminados ($AB = "11"$). Nesta situação (A e B iluminados) o motor de passo deve parar. Se nenhum dos 2 sensores estiver iluminado, o motor de passo também deve permanecer parado até que um dos sensores seja iluminado. Observe que se a fonte de luz se mover continuamente em torno do disco, o disco vai segui-la. **Projete a FSM síncrona (bolhas e circuito digital com FF tipo D disparado pela borda de subida), mostrando apenas as equações minimizadas dos estados (não precisa mostrar as equações de saída) mas seu diagrama de bolhas deve estar completo (com inclusive as saídas).** Assuma a tabela abaixo de excitação das 4 fases do motor de passo e o sentido de giro conforme seqüência indicada pelas setas.



25) Desenhe completamente o circuito digital que é possível inferir do código VHDL abaixo, dizendo qual é circuito e o que ele faz. Diga se a máquina é Moore ou Meally e justifique. Implemente utilizando Flip-Flops tipo T.

```
library ieee;
use      ieee.std_logic_1164.all;
use      ieee.std_logic_unsigned.all;

entity pf is
  port (ent      : in std_logic;
        saida    : out std_logic_vector(2 downto 0));
end pf;

architecture a of pf is
  type te is (s0, s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7);
```

```
signal estados : te;
begin
  process (ent)
  begin
    if ent'event and ent = '0' then
      case estados is
        when s0 => estados <= s7;
        when s1 => estados <= s0;
        when s2 => estados <= s1;
        when s3 => estados <= s2;
        when s4 => estados <= s3;
        when s5 => estados <= s4;
        when s6 => estados <= s5;
```



```
when s7 => estados<=s6;  
  when others => null;  
  end case;  
end if;  
end process;  
with estados select  
saida <= "000" when s0,  
  "001" when s1,
```

```
"010" when s2,  
"011" when s3,  
"100" when s4,  
"101" when s5,  
"110" when s6,  
"111" when s7;  
end a;
```