

Universidade Federal de Santa Catarina  
EEL5105: Circuitos e Técnicas Digitais  
Semestre: 2016/2 – Projeto

## Micro-ondas

O projeto final consiste na implementação de um circuito na placa de desenvolvimento *DE1* fazendo uso das estruturas e conhecimentos obtidos durante o curso. O circuito vai implementar uma máquina interativa com funcionamento similar a um micro-ondas. O comportamento do micro-ondas está definido a seguir:

- O micro-ondas inicia desligado e com a porta fechada (estado *INIT*). Mediante o uso do botão *KEY1* (botão *enter*) o micro-ondas é ligado e sua porta é aberta, passando para o estado *OPEN*. No estado *OPEN*, todos os 10 LEDs (*LEDR9...LEDR0*) devem piscar simultaneamente com uma frequência de 1Hz.
- O usuário deve então optar por um dos dois métodos de aquecimento: manual (pressionar o botão *KEY1*) ou automático (pressionar o botão *KEY2*).
- Caso o método manual seja escolhido pelo usuário, é necessário definir o tempo de aquecimento, e o micro-ondas passará para o estado *IN\_TIME*. A entrada do tempo é realizada por meio das chaves (*switches SW9...SW0*), sendo as chaves *SW9...SW6* atribuídas para os minutos e as chaves *SW5...SW0* atribuídas para os segundos (tempo máximo de aquecimento: 15 minutos e 59 segundos). Neste estado o tempo é apresentado nos displays *HEX3* e *HEX2* (minutos) e *HEX1* e *HEX0* (segundos), conforme o usuário entra com a informação por meio das chaves. Para confirmar o tempo de aquecimento o usuário deverá apertar o botão *KEY1*.
- Uma vez selecionado o tempo de aquecimento, no modo manual, o micro-ondas passará para o estado de definição da potência de aquecimento (estado *IN\_POT*). Neste estado a potência será definida por meio das chaves (*switches SW9...SW0*), com um nível de potência entre 1 e 10. Caso a chave *SW0* seja selecionada, a potência será 1, e o LED *LEDR0* será aceso. Caso a chave *SW1* seja selecionada, a potência será 2, e os LEDs *LEDR0* e *LEDR1* serão acesos. Caso a chave *SW2* seja selecionada, a potência será 3, e os *LEDR0*, *LEDR1* e *LEDR2* serão acesos, e assim sucessivamente. Para confirmar a potência selecionada o usuário deverá pressionar o botão *KEY1*.
- Uma vez definida a potência, o micro-ondas passa para o estado de aquecimento (estado *WARM*). Neste estado um contador descendente é acionado e o tempo apresentado nos displays será decrementado a cada segundo.
- Uma vez que o micro-ondas se encontre no estado *WARM* duas situações podem ocorrer: final do aquecimento devido ao término do tempo (avança automaticamente para o estado *READY*) ou o aquecimento pode ser parado por meio do botão *KEY1* (transição para o estado *READY*). No estado *WARM* o aquecimento poderá ser pausado usando o botão *KEY3* (botão *pause*) o qual desabilita o sinal de *enable* do contador como será explicado mais a frente.

- No estado *READY*, a palavra *hot* deve ser apresentada nos displays *HEX2*, *HEX1* e *HEX0*. Neste estado os LEDs devem mostrar um efeito de luz usando o relógio *CLK2* com uma frequência  $f_{CLK2}$ . A frequência  $f_{CLK2} = ((C + 5) \times 1Hz)$ , onde  $C$  é o último dígito da matrícula do aluno (caso o trabalho seja feito em dupla, corresponderá ao último dígito da matrícula do aluno mais novo). Tendo em consideração a fórmula anterior, a frequência  $f_{CLK2}$  deverá estar entre 5 e 14Hz. Cada dupla deverá enviar um e-mail ao seu professor de laboratório, identificando os nomes dos elementos da dupla que vão fazer o projeto, e posteriormente o professor responderá via e-mail com o efeito luminoso a ser realizado no estado *READY*. Finalmente, ao pressionar o botão *KEY1*, o micro-ondas deve retornar ao estado *OPEN*.
- Caso o usuário escolha o método de aquecimento automático (pressionando o botão *KEY2* no estado *OPEN*), o micro-ondas transita para o estado *IN\_PREDEF*. Neste estado, um dos modos pré-definidos de aquecimento deve ser selecionado. As informações de tempo e potência de cada modo pré-definido estão armazenados na ROM, e o usuário pode selecionar oito modos a partir das chaves switches *SW2...SW0*. Ao selecionar um dos modos, a palavra referente ao modo deve aparecer nos displays (pipoca - *PIPO*, cha - *ChA*, legumes - *LEgU*, etc). Após definir o modo, o usuário deve confirmá-lo pressionando o botão *KEY1*. Assim, o micro-ondas avança para o estado *WARM*.

O esquema geral do projeto é mostrado na Figura 1 e inclui sete blocos diferentes que serão explicados com mais detalhe a seguir.

### PRÉ-DEFINIÇÃO

A memória  $2^3 \times 40$  ROM deve ser preenchida com as informações dos estados pré-definidos. No moodle da disciplina é fornecido parte do código de uma memória ROM (ROM.vhd). O aluno deve escrever o resto do código da memória usando as dicas fornecidas na aula 9 de laboratório, a qual trata do assunto memórias. O vetor de saída da ROM deve ser de 40 bits (*MODE39...MODE0*). Os 20 bits mais significativos (*MODE39...MODE20*) serão utilizados para mostrar o nome do modo. Cada caractere a ser mostrado nos displays *HEX3*, *HEX2*, *HEX1* e *HEX0* possui 5 bits. A lista de caracteres a ser fornecida pelo decodificador de 7 segmentos está parcialmente mostrada na Figura 2(a) e os caracteres a serem usados na Figura 2(b). Por exemplo, para visualizar *PIPO* (de pipoca), as chaves devem estar posicionadas em *SW2..0* = "000", e os 20 bits mais significativos do vetor de saída da ROM de-

vem fornecer os caracteres *PIPO* "  $\overbrace{11000}^P \overbrace{10011}^I \overbrace{11000}^P \overbrace{10111}^O$  ". Os próximos 10 bits do vetor de saída da ROM (*MODE19...MODE10*) serão utilizados para o tempo de aquecimento (10 bits  $\rightarrow$  4 para minutos e 6 para segundos). Os 10 bits menos significativos do vetor de saída da ROM (*MODE9...MODE0*) serão utilizados para a potência do modo pré-definido. Um exemplo de ROM parcialmente preenchida é mostrada na Figura 2(c). O aluno deverá preencher as 8 linhas da memória com nomes associados a modos pré-definidos de operação do micro-ondas.

*Dicas: O aluno deve incluir mais um bit de entrada no decodificador de 7 segmentos desenvolvido na aula 5 e incluir até 16 caracteres adicionais mostrados na Figura 2(a)*

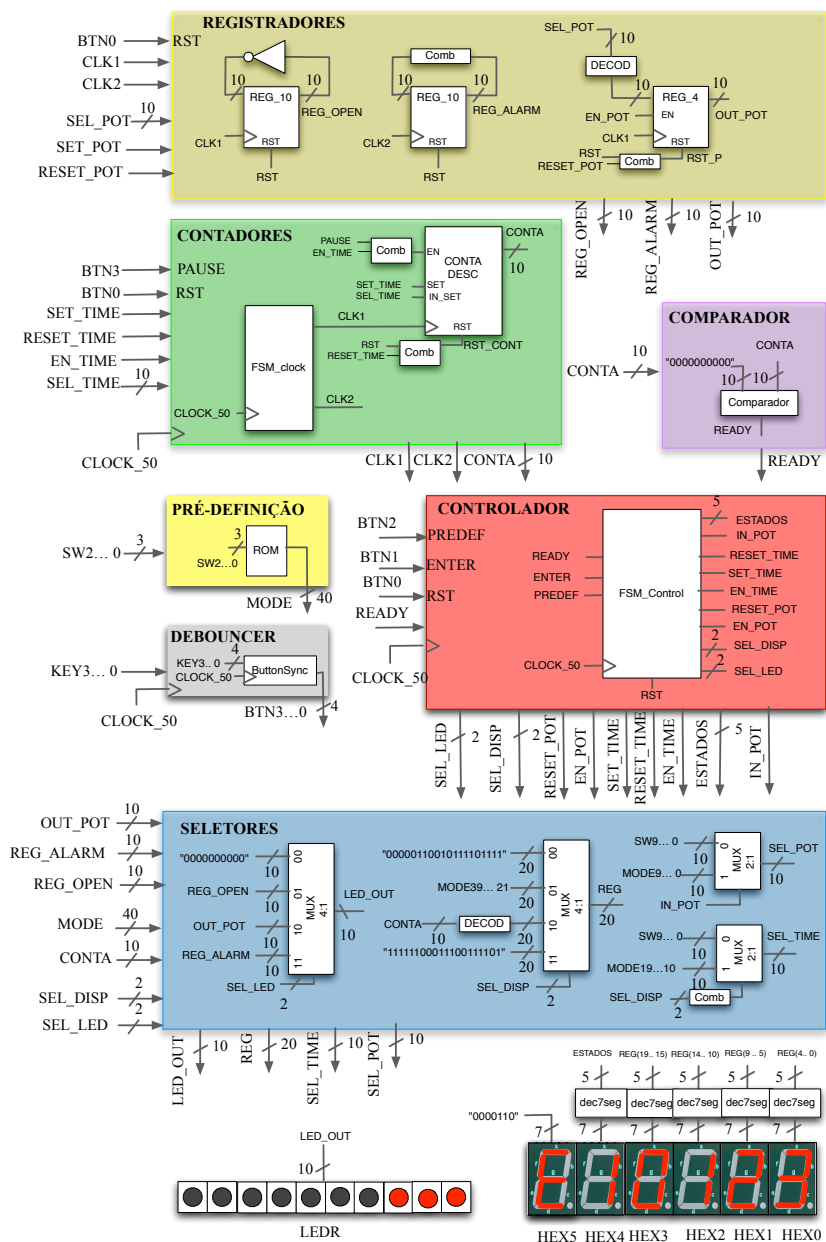


Figura 1: Diagrama de blocos do micro-ondas.

**TABELA DEC7SEG**

C4	C3	C2	C1	C0	Car
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	2
0	0	0	1	1	3
0	0	1	0	0	4
0	0	1	0	1	5
0	0	1	1	0	6
0	0	1	1	1	7
0	1	0	0	0	8
0	1	0	0	1	9
0	1	0	1	0	A
0	1	0	1	1	b
0	1	1	0	0	C
0	1	1	0	1	d
0	1	1	1	0	E
0	1	1	1	1	F
1	0	0	0	0	g
1	0	0	0	1	h
1	0	0	1	0	i
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	0	
1	0	1	0	1	
1	0	1	1	0	
1	0	1	1	1	
1	1	0	0	0	P
1	1	0	0	1	o
1	1	0	1	0	
1	1	0	1	1	
1	1	1	0	0	
1	1	1	0	1	t
1	1	1	1	0	
1	1	1	1	1	" "

(a)

(b)

Dados armazenados na ROM

HEX3	HEX2	HEX1	HEX0	TEMPO	POTÊNCIA
P	I	P	o	02:00	5
	C	h	A	2:30	4
L	E	g	U	6:00	7

(c)

Figura 2: a) Tabela de verdade do Decodificador de 7 Segmentos a ser implementado, b) exemplo de caracteres em hexadecimal, e c) exemplo de modos pré-definidos.

e alguns exemplos de caracteres para sete segmentos são mostrados na Figura 2(b). Além disso, recomenda-se aplicar os conceitos mostrados na aula 9 sobre a memória ROM. O aluno deve preencher a tabela de verdade do decodificador de 7 segmentos com 32 caracteres diferentes (incluindo o caractere espaço para  $C4C3C2C1C0 = "11111"$ ).

## COMPARADOR

Circuito combinatório encarregado de gerar um sinal de controle quando o tempo decrescente de aquecimento chegar ao fim. Este sinal será uma entrada do controlador, a qual indica se o tempo de aquecimento se cumpriu (comparação de CONTA com zero). O comparador deverá gerar um '1' lógico quando CONTA chegar a zero.

*Dica: Para a implementação do comparador sugere-se usar uma abordagem estrutural, baseada em portas ANDs.*

## CONTADOR

Neste bloco há uma FSM encarregada de gerar dois clocks:  $CLK1$  de  $1Hz$  e  $CLK2$  de frequência  $f_{CLK2}$  a partir do *clock* interno de  $50MHz$  da placa DE1. O  $CLK1$  será utilizado para o contador decrescente (implementado também neste bloco) e para o acionamento dos LEDs quando a porta do micro-ondas estiver aberta. O  $CLK2$  será utilizado para o alarme de fim de aquecimento, onde os LEDs devem piscar com frequência de  $f_{CLK2}$ .

A contagem decrescente deverá ser mostrada nos *displays* em formato  $MM : SS$  (minutos e segundos). O aluno deverá criar uma FSM de um contador decrescente usando o relógio  $CLK1$  no qual ao fim de 60 ciclos de segundo, decremente um na saída correspondente a minutos. A contagem decrescente deverá estar ativada no estado *WARM*, como indicado no diagrama de estados da Figura 3. É importante destacar que existe a possibilidade de pausar a contagem usando o botão *KEY3* (botão *pause*). O aluno deverá explicar qual será a lógica a ser introduzida na entrada de *reset*, *set* e *enable* do contador decrescente.

*Dicas: Recomenda-se aplicar os conceitos aprendidos na aula 7b sobre o conversor de frequência  $50MHz \rightarrow 1Hz$ .*

## SELETORES

Esta unidade consiste em 4 multiplexadores, dois de  $4:1$  e dois de  $2:1$ . Os multiplexadores deverão atuar para selecionar o que é esperado nos displays e LEDs para cada estado. O multiplexador  $4:1$  de 10 bits seleciona as entradas para os LEDs nos estados *INIT*, *IN\_PREDEF*, *OPEN*, *IN\_POT*, *READY*. O multiplexador  $4:1$  de 20 bits seleciona as entradas para os *displays* *HEX3...HEX0*. Por ultimo, os multiplexadores  $2:1$  de 10 bits selecionam as entradas de tempo e potencia (modo manual ou pré-definido) usando o botão *KEY2* (botão *predef*). O decoder existente na entrada "01" do multiplexador  $4:1$  de 20 bits deve converter o formato de 10 bits da conta para um formato de 20 bits que seja adequado para a posterior visualização nos displays *HEX3*, *HEX2*, *HEX1* e *HEX0*.

*Dicas: Recomenda-se aplicar os conceitos aprendidos na aula 4 sobre o Multiplexador.*

## REGISTRADORES

Neste bloco são apresentados 3 registradores de 10 bits. O primeiro registrador fornece as entradas para os LEDs no estado *OPEN*, onde todos os LEDs piscam simultaneamente com uma frequência de  $1Hz$ . O segundo registrador fornece um efeito luminoso nos LEDs usando o relógio  $CLK2$  com uma frequência  $f_{CLK2}$ . Este efeito luminoso será diferente para cada equipe e deve ser solicitado pelo grupo, por e-mail, ao professor de laboratório da disciplina. O último registrador fornece a informação de potência (seja modo manual ou pré-definido). É importante destacar que é preciso de um decodificador para transformar o sinal de 10 bits da seleção da potência. Por exemplo, quando o usuário seleciona o valor 7 nos *Switches*  $SW(9...0) = "0010000000"$  o decodificador deverá fornecer uma saída de 10 bits  $"0001111111"$ . O aluno deverá obter a tabela verdade para as 10 combinações permitidas. Cabe ao aluno escolher a lógica combinatória associada à entrada de *reset* do registrador.

*Dicas: Recomenda-se o uso das dicas fornecidas na aula 6 para a implementação de registradores.*

## CONTROLADOR

Este bloco é responsável por gerar os sinais de controle para os outros blocos. O controlador deve implementar o diagrama de estados do micro-ondas.

Na Figura 3 podemos observar que o estado inicial (*INIT*) da FSM consiste no aguardo do sistema ligar. Neste estado inicial os contadores estão em estado de *reset* pois o micro-ondas ainda não foi ligado. As saídas *SEL\_DISP* e *SEL\_LED* estão em "00", indicando que a palavra mostrada nos *displays* será *OFF* e os LEDs estarão desligados.

O usuário deve pressionar o botão *KEY1* (*enter*) para ligar o micro-ondas e abrir sua porta. Ocorre então a transição para o estado *OPEN*, onde quatro saídas do sistema são definidas. Cabe ao aluno interpretar e explicar os valores das saídas da FSM dadas na Figura 3.

No estado *OPEN* o tempo e potência devem ser introduzidos de forma manual ou pré-definida. Caso *KEY1* seja pressionada, a máquina transitará ao modo manual, onde o tempo deve ser introduzido (estado *IN\_TIME*) e depois a potência (estado *IN\_POT*), ambos pressionando *KEY1*. Uma vez selecionado o tempo e potência, *KEY1* deve ser pressionada novamente para começar o aquecimento (estado *WARM*). No estado *WARM* as saídas de *enable* do contador são habilitadas e mostrando no display a contagem decrescente referente à duração do aquecimento (em formato MM:SS) e nos LEDs a potência de aquecimento. Quando a contagem acabou ou *KEY1* é pressionada, a máquina transita ao estado *READY*, onde os *displays* e os LEDs mostram a palavra *hot* e um efeito luminoso, respectivamente.

Caso o modo pré-definido seja selecionado, pressionando o botão *KEY2* no estado *OPEN*, a máquina transitará até o estado *IN\_PRED* onde nos LEDs e nos *displays* são mostradas as informações escolhidas na memória.

Os *displays* *HEX5* e *HEX4* mostraram a letra *E* de *Estado* e o número de estado, respectivamente. Por exemplo, no estado *OPEN* deveria aparecer nos Displays 5 e 4 os caracteres *E1*.

*Dicas: Recomenda-se o uso de dois process para a implementação da FSM. O diagrama de estados apresentado na Figura 3 não é único podendo ser refeito pelos alunos.*

## DEBOUNCER

Visando evitar problemas de temporização em função do aperto de um KEY por um ser humano durar muitos ciclos de *clock*, o *Button Press Synchronizer* (*ButtonSync*) será fornecido em conjunto com o projeto deve ser utilizado. O *ButtonSync* converte apertos das KEYS em pulsos com período de um ciclo de *clock*. Assim, em seu projeto, as KEYS devem ser ligadas nas estradas do *ButtonSync*, e as saídas *BTN0* a *BTN3* do *ButtonSync* deverão ser utilizadas para controlar o projeto.

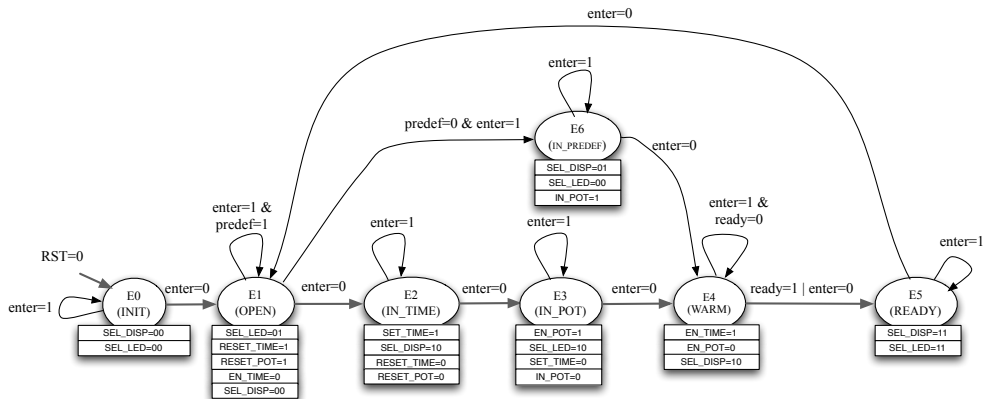


Figura 3: Diagrama de estados de alto nível da *FSM\_control*.

#### Orientações Gerais:

- Na apresentação, todos os membros do grupo deverão estar presentes.
- O aluno deverá usar o modelo de trabalho escrito disponível no moodle da turma de laboratório (Trabalho.doc), e deve ser mantida a estrutura apresentada neste modelo.
- Os códigos VHDL do trabalho devem ser entregues via moodle. Os códigos não devem ser integralmente incluídos no relatório, mas devem ser apenas discutidos no trabalho escrito.
- A apresentação e a entrega do trabalho deverão ser feitas no horário da última aula de laboratório, em horário específico para cada equipe. Os horários de apresentação de cada equipe serão definidos pelo professor de laboratório de cada turma. Atrasos não serão tolerados, resultando em nota zero.
- A avaliação será feita levando em conta o projeto em funcionamento e o trabalho escrito.
- Os testes do projeto no kit poderão ser feitos sempre nos horários de aula durante as semanas que antecedem o prazo final de entrega. Poderão também ser realizados na sala de monitoria. Outros horários poderão ser eventualmente utilizados em função da disponibilidade do laboratório e do professor.
- Os alunos devem levar a planilha com os modos de aquecimento pré-definidos no dia da apresentação do trabalho.