

Laboratório de Sistemas Digitais

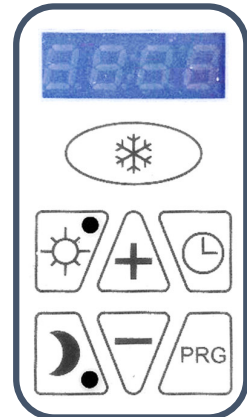
Ano Letivo 2022/23

Projeto Final – enunciado 5

Controlo de radiador (temperaturas programáveis)

1. Introdução

Pretende-se realizar, com o kit de desenvolvimento *Altera DE2-115*, um controlador para radiadores de aquecimento doméstico. A figura ao lado apresenta a interface de um modelo comercial típico. Todos os recursos aí empregues (visores hexadecimais, LED, botões de pressão...) estão disponíveis no *kit* e foram amplamente explorados nas aulas práticas. Dado que as funcionalidades essenciais, descritas em seguida, são simples, é possível construir um sistema muito realista.



2. Princípios de funcionamento

2.1. Controlo ON/OFF

O sistema envolve um único actuador – o elemento de aquecimento – controlado em modo ON/OFF (também chamado *controlo integral* ou *bang-bang*).

Envolve também um único sensor – de temperatura ambiente – instalado sob o radiador de forma a evitar influência directa da fonte de calor. O valor medido (T_{AMB}) é constantemente comparado com um valor de referência (temperatura ambiente desejada, T_{REF}), para decidir em que alturas o radiador deve ser ligado (visando aumentar a temperatura ambiente) ou desligado (o que, em princípio, a fará diminuir).

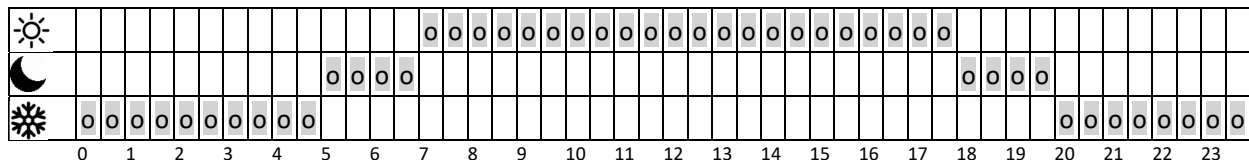
Impõe-se criar uma diferença, Δ (dita 'janela de histerese'), entre os limiares de ligação (T_{ON}) e desligação (T_{OFF}) – digamos $T_{ON}=T_{REF}-\Delta/2$ e $T_{OFF}=T_{REF}+\Delta/2$. A regulação melhora com a redução de Δ , mas à custa de comutações cada vez mais frequentes (vide http://controlo-processos.dei.uminho.pt/seb/2_2_1.htm). No limite ($\Delta=0$ e, portanto, $T_{ON}=T_{OFF}=T_{REF}$), o comportamento seria anómalo (efeito campainha).

2.2. Programação horária

A referência (T_{REF}) considerada pelo controlo ON/OFF varia (em ciclos diários e/ou semanais) segundo um perfil programável com base em três níveis (pré-definidos ou eles próprios também programáveis pelo utilizador):

- Nível de conforto: T_{SOL} ☀ – por exemplo, 20°C
- Nível de economia: T_{LUA} ☾ – por exemplo, 16°C
- Nível anti congelamento: T_{GEL} ❄ – por exemplo, 4°C

Esse perfil é normalmente constituído por blocos de uma hora ou meia-hora. Segue-se um exemplo de ciclo diário dividido em 48 períodos de meia-hora.

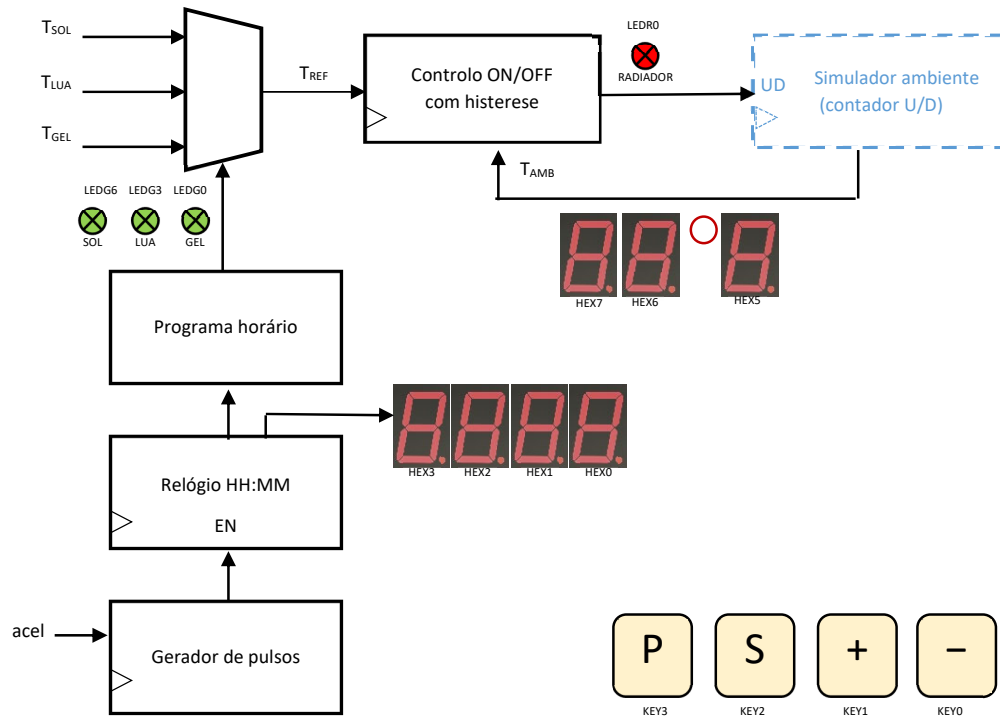


Para endereçar o perfil em função da hora do dia (e do dia da semana, no caso de ciclos semanais), o sistema requer um relógio sob o formato HH:MM (ou D:HH:MM), que deve poder ser acertado pelo utilizador.

3. Especificações

3.1. Unidade de execução

O diagrama de blocos que se segue apresenta a base do *datapath* do sistema e inclui informação complementar para caracterizar a interface com o utilizador e sugerir como a implementar no *kit*.



- 1) Deve ser aplicado um único sinal de 'clock' (50MHz) a todos os componentes sequenciais.
- 2) Em funcionamento normal, o relógio deve receber pulsos à frequência de 1 por minuto, é claro. No entanto, a demonstração do sistema não é prática sem acelerar o tempo – daí o comando 'acel' no gerador de pulsos. Implemente esse comando usando comutadores (por exemplo SW(1..0)) para configurar factores de aceleração 1 (frequência normal), 60 (1Hz), 600 (10Hz) e 3600 (60Hz).
- 3) A interface com o utilizador inclui entradas por botão de pressão para os comandos 'P' (programação), 'S' (set => acerto), '+' (incremento) e '-' (decremento). Todas devem ser tratadas de forma a gerar, a cada toque, um único pulso síncrono com a duração de um período de 'clock'. Para facilitar as situações de acerto, é conveniente dotar as teclas '+' e '-' da capacidade adicional de detectar toque longo (e.g. de duração superior a 1s) e nesse caso gerar trem de pulsos síncronos a frequência adequada (e.g. 10Hz).
- 4) O relógio deve suportar dois modos de funcionamento: normal e de acerto. Neste, deve permitir acerto separado dos dois pares de dígitos: HH e MM. O acerto será efectuado sob o comando das teclas 'S', '+' e '-' nos seguintes moldes:
 - Toque em 'S' – entra no modo de acerto; activa acerto das horas: piscam os dígitos HH;
 - teclas '+' e '-' permitem ajustar HH
 - Toque em 'S' – activa acerto dos minutos: piscam os dígitos MM;
 - teclas '+' e '-' permitem ajustar MM
 - Toque em 'S' – volta ao modo normal

5) O programa horário será em ciclo diário com 24 blocos (0-1h, 1-2h, ..., 23-24h), definido em ROM.

6) A gama de temperaturas de interesse é estritamente positiva. A resolução de uma décima de grau centígrado é amplamente suficiente. Assim, os valores de temperatura serão representados como números inteiros em formato binário natural, sendo a unidade de temperatura 0.1°C e será suficiente considerar 9 *bits*, para dispor de uma gama de 0 a 51.1°C.

7) Ao contrário da janela de histerese Δ , que será pré-fixada, as referências de temperatura (T_{SOL} , T_{LUA} e T_{GEL}) serão programáveis pelo utilizador, o que implica modificar o *datapath* e acrescentar-lhe elementos omissos no diagrama anterior. O mecanismo de programação das referências é, em grande medida, análogo ao do acerto do relógio (valores HH e MM). Em modo de programação, os visores HEX7 a HEX5, que em modo normal mostram a temperatura ambiente, passam a mostrar a temperatura de referência em ajuste (T_{SOL} , T_{LUA} ou T_{GEL}).

8) A programação é efectuada sob o comando das teclas 'P', '+' e '-', nos seguintes moldes:

- Toque em 'P' – entra no modo de programação; activa acerto de T_{SOL} e selecciona-a para ser visível em HEX7 a HEX5 (com dígitos a piscar); acende o LED correspondente (LEDG6).
 - teclas '+' e '-' permitem ajustar T_{SOL}
- Toque em 'P' – activa acerto de T_{LUA} e selecciona-a para ser visível em HEX7 a HEX5 (com dígitos a piscar); acende o LED correspondente (LEDG3).
 - teclas '+' e '-' permitem ajustar T_{LUA}
- Toque em 'P' – activa acerto de T_{GEL} e selecciona-a para ser visível em HEX7 a HEX5 (com dígitos a piscar); acende o LED correspondente (LEDG0).
 - teclas '+' e '-' permitem ajustar T_{GEL}
- Toque em 'P' – volta ao modo normal

9) O estado do radiador será representado por LEDR0. Para incorporar o comportamento do ambiente (fazendo a temperatura subir quando o radiador está ligado e descer quando está desligado) deve ser incluído um contador de 9 *bits* crescente/decrescente a funcionar a uma frequência considerada conveniente para efeitos de teste do sistema. O valor de saída desse contador representa a temperatura ambiente e, em modo normal, deve ser apresentado em formato decimal nos visores HEX7 a HEX5.

3.2. Unidade de controlo

Naturalmente, é necessário desenvolver uma máquina de estados finitos para promover a inicialização adequada do sistema e, a partir daí, articular e gerir os modos de operação: **normal**, **acerto** (do relógio) e **programação** (das referências de temperatura) enviando sinais de controlo / habilitação adequados aos blocos do *datapath* em função dos comandos recebidos do utilizador. Para este efeito, são especialmente relevantes as especificações 4) e 8) do número anterior, relativas ao acerto do relógio e ao ajuste das referências.

4. Recomendações gerais

Este sistema presta-se de forma muito evidente ao modelo de projecto hierárquico preconizado na UC. Recomenda-se uma abordagem faseada, planeando, construindo e testando sucessivamente os vários blocos /conjunto de blocos (estratégia *bottom-up*).