

Universidade do Minho - Departamento de Eletrónica Industrial

Sistemas Digitais - Laboratórios

Análise de Circuitos Lógicos

Duração máxima: 1 aula.

Os alunos devem **entregar a preparação prévia ao docente no início da 1ª aula de cada trabalho (imediatamente ao entrar na sala)**, com a resolução de todas as questões indicadas a sublinhado no guia. **O atraso na entrega implicará uma penalização na nota.** A mesma resolução deve estar anotada no *logbook*.

Todos os esquemáticos entregues neste e nos próximos trabalhos devem indicar os circuitos integrados utilizados e a numeração dos pinos, como no exemplo fornecido na Figura 1.

Antes de realizar o trabalho, os alunos devem ter estudado os seguintes tópicos:

- 1) Tipos de portas lógicas;
- 2) Álgebra de Boole;
- 3) Preenchimento de tabelas de verdade;
- 4) Análise de circuitos combinacionais.

Durante a realização do trabalho, os alunos devem:

- 1) Realizar as montagens indicadas no guia;
- 2) Registrar no *logbook* todos os valores calculados e medidos.

Depois de realizar o trabalho na totalidade, os alunos devem:

- 1) Ter verificado experimentalmente os tópicos anteriores;
- 2) Saber consultar e construir documentação sobre circuitos lógicos;
- 3) Ter adquirido experiência de análise de circuitos lógicos combinacionais;
- 4) Ter adquirido experiência de projeto de circuitos lógicos combinacionais.

Elementos de estudo:

- 1) *Slides* de Sistemas Digitais.
- 2) John F. Wakerly, "Digital Design, Principles and Practices", Prentice Hall, 2000.

Desenho de Diagramas Lógicos

Há algumas regras de bom senso que devem ser utilizadas no desenho de diagramas esquemáticos de circuitos lógicos. Um bom diagrama facilita a leitura, a partilha de informação e a correção de erros, já que fornece toda a informação necessária quando é necessário analisar o circuito.

Sendo assim, para seu próprio benefício, deve seguir o conjunto de recomendações aqui apresentado, ilustrado no diagrama fornecido como exemplo na Figura 1.

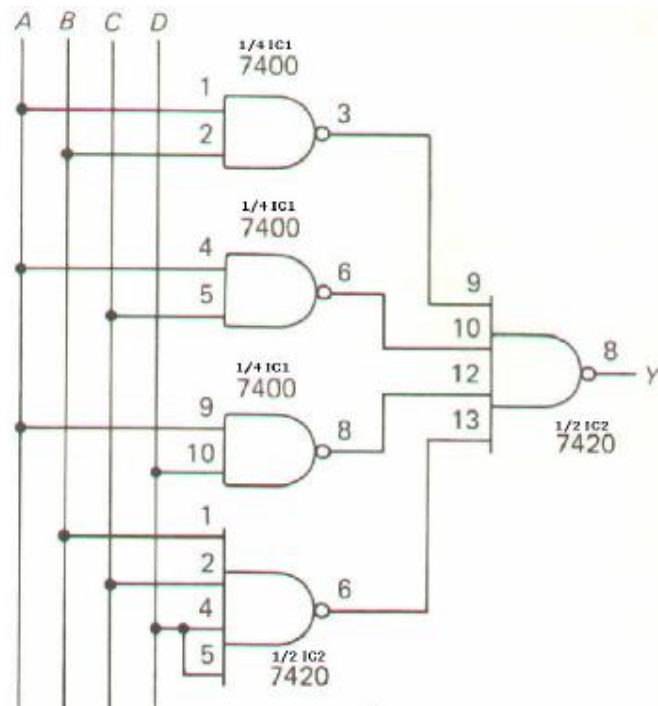


Figura 1 - Exemplo do desenho adequado de um diagrama lógico.

Repare nos seguintes detalhes:

1. Todos os circuitos integrados utilizados estão devidamente identificados, através da sua referência normalizada (e.g. 7400).
2. Todos os CIs estão numerados (IC1, IC2), permitindo diferenciar CIs iguais utilizados num mesmo circuito, sendo também fornecida informação sobre qual a parcela do CI que está sendo utilizada (e.g. 1/4 7400).
3. Todos os pinos de entrada e saída estão igualmente identificados pelo seu número. Desta forma nunca se confundirá o pino 1 do IC1 (7400 - QUAD 2-input NAND gate), com o pino 1 do IC2 (7420 - Dual 4-input NAND gate).

Circuitos Lógicos

Um circuito lógico pode ser visto como um bloco que recebe sinais digitais variáveis no tempo nas suas entradas (e.g. A, B, C) e produz sinais de saída (e.g. S1, S0), como é ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Exemplo de representação de um circuito lógico.

Internamente, o bloco representado na Figura 2 pode ser constituído por vários blocos interligados entre si (e.g., portas lógicas ou outros componentes digitais). Num nível hierárquico ainda mais baixo, cada porta lógica, é constituída por outros blocos/componentes (e.g. transístores, díodos, resistências, etc.).

Em qualquer nível hierárquico, o conceito de **bloco** permite-nos abstrair da complexidade da implementação dos seus circuitos internos, ou seja, tratar o bloco como se fosse uma **caixa negra**. Isso facilita muito o trabalho, mas requer que conheçamos detalhadamente a **função** do bloco, ou seja, compreender como as suas saídas se comportam em função dos valores das entradas.

Para evitar confusão na compreensão do funcionamento de um bloco, convém que a sua função lógica seja **representada de modo formal**. Há diversas formas básicas de fazer isso, como a tabela de verdade, o somatório dos termos mínimos, a soma algébrica (canónica ou com minimização) ou o produto algébrico, além de formas mistas.

Um circuito lógico cuja saída só dependa dos valores atuais das entradas é por definição um **circuito combinacional**.

Um circuito lógico cuja saída dependa não só dos valores atuais das entradas mas também de valores anteriores das mesmas é por definição um **circuito sequencial**, também chamado de circuito com memória. Estes circuitos normalmente também contém blocos de lógica combinacional.

Os circuitos sequenciais serão abordados noutros trabalhos mais adiante no semestre, onde os conceitos teóricos e práticos aprendidos nas aulas anteriores com circuitos combinacionais serão essenciais.

Uma mesma função pode ser implementada das mais diversas formas, algumas mais eficientes ou convenientes que outras. Quando os valores observados nas saídas de um bloco não se comportam de acordo com o esperado, é necessário abandonar a abstração de caixa negra e efetuar uma **análise**¹ ao bloco a nível dos seus componentes internos. Este trabalho prático tem como objetivo a aquisição de competências práticas nessa área.

¹ A análise é o processo de decomposição de um bloco/sistema nos seus componentes constituintes internos, visando o estudo e compreensão do funcionamento destes componentes e da relação entre eles, em oposição à síntese/projeto, que parte da compreensão do funcionamento dos componentes individuais para construir um sistema.

PROCEDIMENTO

Antes de iniciar o procedimento, leia atentamente o conteúdo apresentado nas páginas anteriores.

Quando um circuito montado nas aulas não funciona conforme o esperado, a tendência dos alunos é desmontar tudo e voltar a montar tudo de novo. Além de ser demorado, este procedimento não funciona na maioria dos casos. O procedimento correto consiste em determinar o local exato do problema no circuito, por meio da análise do circuito, para poder corrigi-lo de forma simples e rápida. Esta análise deve ser feita em duas etapas, sendo que a segunda não é necessária se a primeira resolver o problema:

1. **Análise teórica ao projeto.**
2. **Análise experimental à montagem.**

1 - Suponha que um colega seu projetou o circuito da Figura 3 em resposta ao seguinte problema: “*Projete um circuito que indique (com valor lógico “1”) na sua saída F que um número entre 0 e 7 é par e não é primo. O número é representado pelas variáveis A (MSB), B, C*”.

Obs.: Os números 0 e 1 não são números primos.

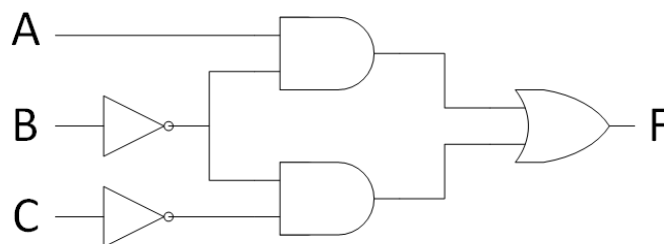


Figura 3 - Circuito projetado.

a) Indique quais são os sinais de entrada e quais são os sinais de saída do problema. Pode verificar que, neste aspecto, o projeto satisfaz o que é pedido, pois identifica claramente os sinais de entrada e saída no desenho e utiliza os mesmos nomes utilizados no problema. **É um erro muito comum os alunos ignorarem isso, não colocando os nomes corretos dos sinais ou substituindo-os por desenhos de interruptores nas entradas e LEDs nas saídas. Estes componentes são úteis para testar o circuito, mas não fazem parte do problema (os sinais é que fazem), pelo que não devem ser desenhados nem de modo formal (com símbolos eletrônicos padrões) e muito menos de forma estilizada/artística.**

b) Efetue a análise teórica a este projeto da seguinte forma: determine a tabela de verdade para o circuito da Figura 3 (entradas A, B e C, saída F). Compare com os valores de saída F com os valores esperados (outra coluna, saída F_E) tendo em consideração o enunciado do problema. Há concordância entre todos os valores de F e F_E ? Se não, o erro está no projeto, não adianta montar e remontar porque nunca irá funcionar!

2 - Projete um circuito com base no enunciado do problema anterior utilizando somente portas lógicas OR e AND de 2 entradas e portas NOT.

- Apresente a tabela de verdade com os valores de entrada e saída.
- Apresente a função lógica na forma de soma canônica.
- Minimize a função utilizando álgebra de Boole, representando-a na forma de soma de produtos. Quantas portas lógicas de cada tipo e quantos circuitos integrados são necessários?
- Consegue reduzir o número de portas necessárias pela manipulação da expressão lógica obtida na alínea anterior? Desenhe o diagrama esquemático resultante tendo em consideração as recomendações da página 2.

Monte e teste o circuito.

3 - Se o projeto estiver correto mas não funcionar conforme esperado, é necessário aprofundar a análise. Nesse sentido, efetue o seguinte procedimento:

Parte teórica:

- Escolha uma combinação para a qual o valor de saída não está conforme o valor esperado.
- Escreva no diagrama esquemático o valor lógico (0 ou 1) esperado em cada ponto do circuito.

Parte experimental:

- Verifique se está a utilizar os circuitos integrados corretos e com o *pinout* correto.
- Conforme referido no TP0, verifique em primeiro lugar se os CIs estão corretamente alimentados, ou seja, **meça com o multímetro a tensão entre Vcc e GND para todos os CIs diretamente nos pinos**. As demais tensões também devem ser medidas sobre os pinos dos CIs.
- Meça a tensão em cada ponto do circuito e compare com o valor esperado obtido na etapa 2. A tensão medida deve estar dentro dos limites indicados pelo fabricante para V_{OL} e V_{OH} . Valores fora dos limites, como por exemplo 2 V, indicam erros na montagem (como no caso de curto-circuito entre 2 saídas) ou componentes danificados (neste caso deve medir a saída em aberto para determinar se o problema é na saída deste componente ou na entrada do componente ao qual está ligado).

Obs.: As medições devem ser feitas dos 2 lados de cada ligação saída-entrada, pois pode haver tensão numa saída mas esta não chegar à entrada correspondente por causa, por exemplo, de um fio partido.

- Após identificar o local do erro e corrigir o problema, volte a testar o funcionamento do circuito. Caso ainda haja erros, repita o procedimento.

4 - Depois de apresentar a montagem a funcionar ao professor, desafie o seu colega de grupo a “sabotar” a montagem sem que veja (mas sem fazer alterações que possam danificar componentes), como por exemplo: retirar um dos fios de alimentação de um CI, retirar um fio entre uma entrada e uma saída, ou trocar um CI por outro com mesmo *pinout* mas função diferente. A seguir, tente encontrar e corrigir o problema com base no procedimento indicado na parte 3. Depois disso troquem os papéis e repitam o desafio.