



## Laboratório de Circuitos Lógicos - 3º Experimento

### CIRCUITOS COMBINACIONAIS: MAPA DE KARNAUGH

**OBJETIVO:** O mapa de Karnaugh é apresentado como uma ferramenta muito útil para a simplificação de funções booleanas de até cinco variáveis. Um circuito de decisão de maioria, em que a saída é 1 se e somente se a maioria das entradas for 1, é considerado como um exemplo de aplicação.

#### 1. INTRODUÇÃO TEÓRICA

##### 1.1. GENERALIDADES

O mapa de Karnaugh é uma forma ordenada para simplificar uma expressão booleana que geralmente nos leva a um circuito com configuração mínima. Não utiliza a tabela da verdade e pode ser facilmente aplicado em funções envolvendo duas a cinco variáveis. Para seis ou mais variáveis o método começa a se tornar incômodo e podemos usar outras técnicas mais elaboradas. Também pode ser usado para determinar se portas duais ou complementares tornarão o circuito mais simples.

##### 1.2. MINTERMOS E MAPAS DE 2 A 5 VARIÁVEIS

Qualquer função booleana pode ser escrita na forma canônica disjuntiva ou conjuntiva. A forma canônica disjuntiva é também conhecida como **soma de produtos**, e é escrita como soma de termos que apresentam sempre todas as variáveis envolvidas. Por exemplo, a função  $f_1(A, B, C) = A \cdot (C + \bar{B})$  pode ser escrita na forma canônica disjuntiva como se segue:

$$f_1(A, B, C) = A \cdot (C + \bar{B}) = A \cdot C + A \cdot \bar{B} = A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$$

Cada termo é conhecido como **produto padrão**, **produto canônico** ou **mintermo**.

O mapa de Karnaugh é uma forma de representar uma dada função de maneira que cada mintermo mantenha-se vizinho de todos aqueles dos quais difere apenas por uma variável (de 1 muda para 0 ou vice-versa). Assim, os mapas de Karnaugh de 2 a 5 variáveis são indicados na **Figura 1**.

Os números dentro das células representam o mintermo correspondente. No caso, por exemplo, de 3 variáveis tem-se:

$$\begin{array}{llll} m_0 = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} & m_1 = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C & m_2 = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} & m_3 = \bar{A} \cdot B \cdot C \\ m_4 = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} & m_5 = A \cdot \bar{B} \cdot C & m_6 = A \cdot B \cdot \bar{C} & m_7 = A \cdot B \cdot C \end{array}$$

Assim, o mapa de Karnaugh da função  $f_1$  do exemplo anterior terá 1's nas células 4, 5 e 7; como indicado na **Figura 2**.



A		0	1
B	0	0	2
	1	1	3

AB		00	01	11	10
C	0	0	2	6	4
	1	1	3	7	5

AB		00	01	11	10
CD	00	0	4	12	8
	01	1	5	13	9
	11	3	7	15	11
	10	2	6	14	10

A		0				1			
BC									
DE	00	01	11	10	10	11	01	00	
	00	0	4	12	8	24	28	20	16
	01	1	5	13	9	25	29	21	17
	11	3	7	15	11	27	31	23	19
	10	2	6	14	10	26	30	22	18

**Figura 1 – Mapa de Karnaugh para 2, 3, 4 e 5 variáveis**

AB		00	01	11	10
C	0				1
	1			1	1

**Figura 2 – Mapa de Karnaugh de  $f_1$**

A minimização pelo uso do mapa de Karnaugh baseia-se na relação  $A \cdot B + A \cdot \bar{B} = A$ .

Na **Figura 2** as células 4 e 5 são vizinhas pois  $m_4 = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$  e  $m_5 = A \cdot \bar{B} \cdot C$ , ou seja, eles diferem somente pelo  $C$ . Desta forma, elas podem ser agrupadas para produzir o termo  $A \cdot \bar{B} = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{B} \cdot C$ .

Esta ideia pode ser estendida para grupos de 2, 4, 8, ...,  $2^n$  ( $n$  natural) células.

### 1.3. EXEMPLOS

Minimizando a função  $f_2 = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} + A \cdot \bar{B} \cdot C$ :



AB \ CD	AB			
	00	01	11	10
00		1		
01		1		
11	1			1
10	1			1

Figura 3 – Mapa de Karnaugh de  $f_2$

A função mínima será  $f_2 = \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}$ .

---

Minimizando a função  $f_3 = B \cdot \bar{D} + B \cdot C \cdot D + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$ :

AB \ CD	AB			
	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01				
11		1	1	
10		1	1	1

Figura 4 – Mapa de Karnaugh de  $f_3$

A função mínima será  $f_3 = \bar{C} \cdot \bar{D} + B \cdot C + A \cdot \bar{D}$ .

Note que é possível desenhar o mapa de Karnaugh sem mesmo escrever a função na forma canônica disjuntiva. Basta vermos o mapa como regiões que representam as variáveis. A região de cada variável será composta pelas células onde seu valor é 1. Para um mapa com 4 variáveis temos as regiões mostradas na **Figura 5**.

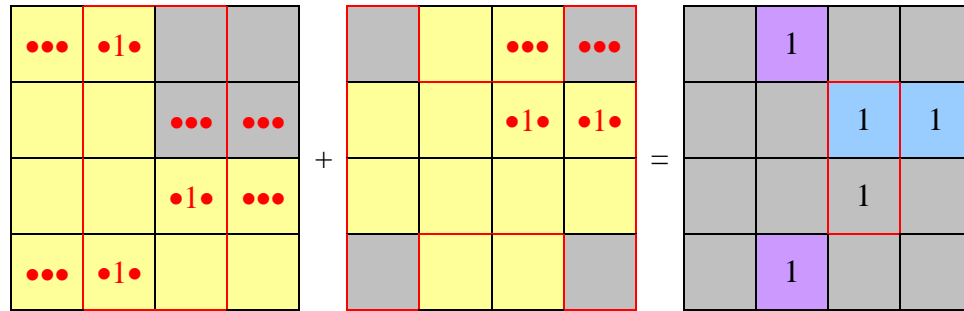
		A	A			B	B								
		A	A			B	B							D	D
		A	A			B	B			C	C	C	C	D	D
		A	A			B	B			C	C	C	C		

Figura 5 – Regiões das variáveis no mapa de Karnaugh

Minimizando a função  $f_4 = B \cdot (\bar{A} + C) \cdot (A \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{D}) + A \cdot \bar{C} \cdot (B + D) \cdot (\bar{B} + D)$ :

O primeiro termo será a interseção de  $B$  com  $(\bar{A} + C)$  e ainda com  $(A \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{D})$ . A primeira parte da **Figura 6** indica como encontrar este termo.

Analogamente, o mapa de Karnaugh do segundo termo está indicado na segunda parte da **Figura 6**. A função  $f_4$  é a união desses dois conjuntos conforme é indicado na última parte da **Figura 6**.



**Figura 6 – Mapa de Karnaugh de  $f_4$**

No primeiro mapa da **Figura 6**, temos a região amarela representando  $(\bar{A} + C)$ . A região delimitada pela linha vermelha representa  $B$ . E a união das células com pontos vermelhos forma a região que representa o termo  $(A \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{D})$ . Os 1's mostram as células que fazem parte das três regiões.

No segundo mapa da **Figura 6**, temos a região amarela representando  $(B + D)$ . A região delimitada pela linha vermelha representa  $(\bar{B} + D)$ . E a união das células com pontos vermelhos forma a região que representa o termo  $A \cdot \bar{C}$ . Os 1's mostram as células que fazem parte das três regiões.

Unindo-se os 1's aos pares como é mostrado na terceira parte da **Figura 6** obtém-se a função mínima desejada:  $f_4 = A \cdot \bar{C} \cdot D + A \cdot B \cdot D + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{D}$ .

Quando a função envolver 5 variáveis é necessário um certo cuidado para considerar devidamente as células vizinhas simetricamente distribuídas em relação ao eixo vertical de simetria. Por exemplo, minimizando a seguinte função:

$$f_5 = E \cdot (\bar{A} \cdot \bar{C} + A \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D}) + \bar{B} \cdot \bar{E} \cdot (A \cdot C + A \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot C):$$

A função mínima obtida pelo mapa da **Figura 7** é  $f_5 = \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{C} \cdot E + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{E} + A \cdot C \cdot D \cdot E$ .



A		0				1			
BC	DE								
		00	01	11	10	10	11	01	00
00			1					1	1
01		1	1		1			1	
11		1	1		1		1	1	
10			1					1	1

**Figura 7 – Mapa de Karnaugh de  $f_5$**

Resumindo, a minimização pelo uso de mapas de Karnaugh de até 5 variáveis pode ser esquematizada como se segue:

- 1º passo: Coloque 1's em todas as células correspondentes aos mintermos envolvidos na função.
- 2º passo: Identifique e marque circundando todos os grupos de 16 mintermos, se houver, que possuam adjacências dois a dois.
- 3º passo: Repita o 2º passo para grupos de 8, 4 ou 2 mintermos que ainda não tenham sido circundados.
- 4º passo: Identifique e marque circundando todos os mintermos que não possuem adjacências e ainda não tenham sido circundados.
- 5º passo: Escreva a função mínima a partir dos maiores grupos de mintermos assim formados.

Observe que podem ocorrer situações em que resulte mais de uma expressão mínima. Neste caso é indiferente adotar-se uma ou outra expressão.

Finalmente, note-se que existem situações em que é mais cômodo trabalhar com a forma canônica conjuntiva (produto de somas). Por exemplo, para a função  $f_6 = A \cdot C + A \cdot D + \overline{B} \cdot C + \overline{B} \cdot D$ , temos:

AB	CD	00	01	11	10
00		0	0	0	0
01		1	0	1	1
11		1	0	1	1
10		1	0	1	1

**Figura 8 – Mapa de Karnaugh de  $f_6$**

Pela **Figura 8**, tem-se utilizando produto de somas:  $f_6 = (C + D) \cdot (A + \overline{B})$ .



## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Considere-se um circuito de decisão de maioria com 4 entradas. A saída  $Y_1$  será 1 se e somente se a maioria das entradas for 1. Listando-se todas as saídas em funções das variáveis de entradas obtemos a função desejada. Isto é:

$$Y_1 = \bar{A}BCD + A\bar{B}CD + AB\bar{C}D + ABC\bar{D} + ABCD$$

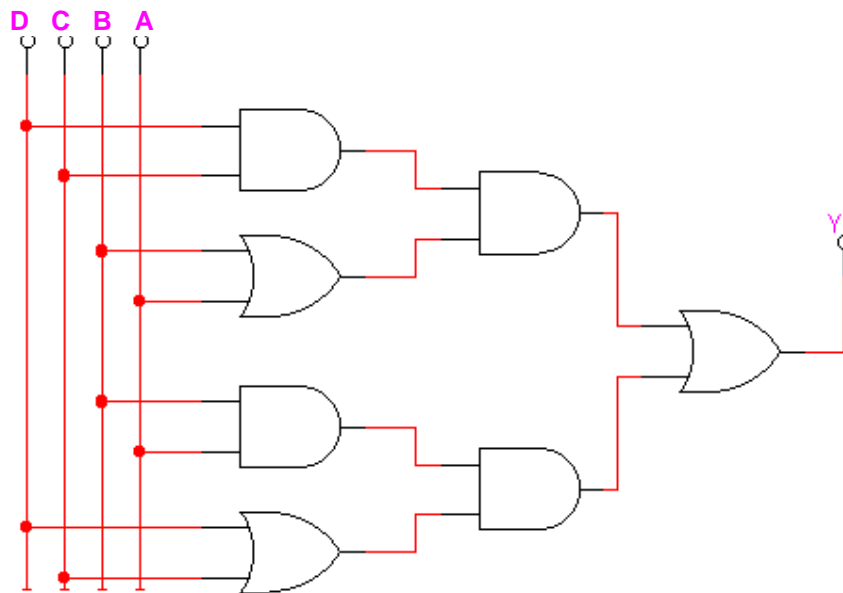
Simplificando-se esta função através do mapa de Karnaugh da **Figura 9**, temos:

$$Y_1 = ABD + ABC + BCD + ACD = AB \cdot (C + D) + CD \cdot (A + B)$$

AB \ CD	00	01	11	10
00				
01			1	
11		1	1	1
10			1	

**Figura 9 – Mapa de Karnaugh de  $Y_1$**

Implementando-se temos:



**Figura 10 – Circuito de decisão de maioria**



- 2.1. Projete e monte um circuito equivalente ao da **Figura 10** usando apenas portas NAND (com qualquer número de entradas), use as chaves (D,C,B,A) como entradas e o LED L0 como saída  $Y_1$ , fotografe o circuito montado e filme o procedimento para completar a tabela da verdade abaixo.

Entradas				Saída
D	C	B	A	$L0=Y_1$
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

**Tabela I – Tabela da verdade do circuito de decisão de maioria**

- 2.2. Projete um circuito de decisão de minoria usando apenas portas NAND. A saída  $Y_2$  (LED L1) será 1 se e somente se a maioria das 4 entradas (D,C,B,A) for 0. Monte o circuito projetado, fotografe o circuito montado, verifique seu funcionamento filmando o preenchimento da tabela verdade.
- 2.3. Dado que você projetou e possui os circuitos dos itens 2.1 e 2.2 ainda montados no *protoboard*, **use-os** e construa um circuito em que a saída  $Y_3$  (LED L2) será 1 se e somente se o número de 1's e de 0's nas quatro entradas (D,C,B,A) forem iguais. Use apenas portas NAND e outro *protoboard* auxiliar, caso seja necessário. Fotografe o circuito obtido, filme o preenchimento da tabela verdade do seu circuito.

### 3. SUMÁRIO

O mapa de Karnaugh é apresentado como um procedimento simples e ordenado de simplificar uma função booleana de até 5 variáveis. As formas canônicas de expressões booleanas são dadas bem como o conceito de mintermos. São feitos o projeto, implementação e verificação de um circuito que simula um sistema de votação democrática.



#### **4. EQUIPAMENTOS E MATERIAL**

- ~~Kit Digital;~~
- ~~Fios conectores;~~
- ~~Portas lógicas NAND(74HC00, 74HC10 e 74HC20)~~
- Tinkercad





## 5. TESTE DE AUTOAVALIAÇÃO

1. No mapa de Karnaugh da **Figura 11** a função dada é equivalente a:

- a)  $f = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C}$
- b)  $f = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot C$
- c)  $f = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C$
- d)  $f = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}$

		B	
		1	0
AC	10		
	11	1	1
	01	1	1
	00		

**Figura 11**

2. Na **Figura 11** a função minimizada é:

- a)  $f = \bar{A}$
- b)  $f = \bar{B}$
- c)  $f = \bar{A} \cdot \bar{B}$
- d)  $f = C$

3. Na **Figura 12**, suponha que X pode ser 1 ou 0 (*don't care*), a função mínima será:

- a)  $f = A + B \cdot D + \bar{B} \cdot \bar{D} + C \cdot D$
- b)  $f = A + B \cdot D + \bar{B} \cdot \bar{D} + C \cdot \bar{B}$
- c) As opções **a** e **b** estão corretas.
- d) NDA

		AB			
		00	01	11	10
CD	00	1		X	1
	01		1	X	1
	11	1	1	X	X
	10	1		X	X



**Figura 12**

4. Dada a seguinte função:

$$f = \frac{A \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D + \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot B \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}}{\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}}$$

Qual é a sua forma mínima?

- a)  $f = \bar{A} \cdot D + \bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{B} \cdot D + \bar{A} \cdot C$
- b)  $f = A \cdot \bar{D} + A \cdot B + B \cdot \bar{D} + A \cdot C$
- c)  $f = \bar{A} \cdot D + A \cdot B + \bar{B} \cdot D + \bar{A} \cdot C$
- d)  $f = \bar{A} \cdot D + A \cdot B + \bar{B} \cdot D + A \cdot \bar{C}$

5. A função simplificada  $\bar{f}$  da questão 4 é:

- a)  $\bar{f} = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot D + B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
- b)  $\bar{f} = A \cdot B + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
- c)  $\bar{f} = A \cdot B + A \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$
- d)  $\bar{f} = A \cdot B + A \cdot \bar{D} + B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D}$